

Come indicato al Par. 4.4.14 del D.M. 14/01/2008 ,

Le verifiche di resistenza al fuoco potranno eseguirsi con riferimento a UNI EN 1995-1-2, utilizzando i coefficienti γ_M (v. § 4.4.6, Tab. 4.4.III) relativi alle combinazioni eccezionali.

Come indicato al Par. C4.4.14 della Circolare N.617 del 02/02/2009

C4.4.14 RESISTENZA AL FUOCO

A completamento di quanto previsto nel §3.6.1 delle NTC, e con riferimento a una prefissata resistenza al fuoco, espressa come grandezza temporale, per una generica sezione trasversale di un elemento ligneo si definisce:

- linea di carbonizzazione: il confine tra lo strato carbonizzato e la sezione trasversale residua;
- sezione trasversale residua: la sezione trasversale originaria ridotta dello strato carbonizzato;
- sezione trasversale efficace: la sezione trasversale originaria ridotta, oltre che dello strato carbonizzato, anche di un successivo strato in cui si considerano nulli i valori di resistenza e di rigidità.

La resistenza al fuoco può essere valutata sotto l'ipotesi che le proprietà meccaniche della sezione lignea residua non risultino ridotte rispetto alle condizioni a temperatura di normale utilizzo.

Il calcolo della capacità portante allo stato limite ultimo di collasso (per rottura o per instabilità) di ogni singolo elemento strutturale deve essere effettuato con riferimento a una sezione trasversale efficace, geometricamente definita ad un determinato istante in funzione della velocità di demolizione della sezione lignea causata dalla carbonizzazione.

Generalmente il calcolo può essere effettuato nella sezione ridotta più sollecitata.

Per quanto riguarda gli effetti prodotti dalle azioni dirette applicate alla costruzione si adotta, in generale, la combinazione valida per le cosiddette combinazioni eccezionali di cui al §3.6 delle NTC.

Per quanto riguarda la velocità di carbonizzazione, nonché per i valori di resistenza e di modulo elastico di progetto della sezione efficace, si potrà fare riferimento a quanto riportato nelle pertinenti normative tecniche di comprovata validità.

La resistenza della struttura lignea non coincide, in generale, con quella delle singole membrane componenti, essendo determinanti le prestazioni dei collegamenti e degli altri componenti (come ad esempio i sistemi di stabilizzazione) che, nella pratica, sono abitualmente realizzati con elementi metallici.

Ai fini del calcolo della resistenza al fuoco della struttura lignea è necessario quindi potere valutare la resistenza al fuoco offerta dagli eventuali collegamenti presenti.

Le cosiddette unioni "non protette" (cioè unioni realizzate con elementi metallici esposti, in tutto o in parte), progettate correttamente per le combinazioni a temperatura ambiente e purché a comportamento statico globalmente simmetrico, possono essere generalmente considerate soddisfacenti alla classe di resistenza R15 o R20, secondo quanto riportato nelle pertinenti normative tecniche di comprovata validità.

Oltre tali valori sono necessari requisiti aggiuntivi da considerare attentamente in sede di progetto, in particolare sullo spessore dell' elemento ligneo collegato e sulla distanza del generico mezzo di connessione dai bordi e dalle estremità del medesimo elemento.

Una più elevata resistenza al fuoco per un collegamento può essere ottenuta, in genere, con una adeguata progettazione del medesimo o mediante protezioni da applicare in opera: anche in questo caso si potrà fare riferimento ad idonea sperimentazione o a quanto riportato nelle pertinenti normative tecniche di comprovata validità.

Come indicato al Capitolo 12 delle “
**Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo delle
Strutture di Legno,**

CNR-DT 206/2007

12. Comportamento al fuoco

Di seguito sono riportate alcune istruzioni riguardanti il calcolo della “resistenza al fuoco” della struttura lignea. È utile porre in evidenza, sin dall’inizio, la distinzione esistente tra i concetti di “resistenza al fuoco” e di “reazione al fuoco”. Per reazione al fuoco si intende la capacità di un materiale di contribuire a un incendio e di propagarlo, mentre la resistenza al fuoco indica la capacità di un manufatto di svolgere la propria funzione dal momento in cui viene investito da un incendio. Mentre la reazione al fuoco di un materiale (o manufatto) sarà quindi espressa da un codice corrispondente ad una classificazione (UNI-EN 13501/1), la resistenza sarà espressa in termini di tempo (usualmente minuti).

La resistenza al fuoco non è una caratteristica intrinseca dei materiali ma esprime una prestazione dell’elemento strutturale, o dell’elemento non strutturale, o della struttura nei confronti dell’azione di incendio, dipendendo quindi, oltre che dalle proprietà fisiche e meccaniche del materiale, dai criteri costruttivi e realizzativi della struttura e quindi anche dalle scelte progettuali effettuate.

La resistenza della struttura lignea non coincide, in generale, con quella delle singole membrature componenti, essendo determinanti le prestazioni dei collegamenti e degli altri componenti (come ad esempio i sistemi di stabilizzazione) che, nella pratica, sono abitualmente realizzati con elementi metallici.

Si assume che le proprietà meccaniche della sezione lignea residua, ad una certa distanza dallo strato carbonizzato, non risultino ridotte rispetto alle condizioni standard.

Per quanto riguarda gli effetti prodotti dalle azioni dirette applicate alla costruzione si adotta, in generale, la regola di combinazione valida per le cosiddette **combinazioni eccezionali**, effettuando quindi una **verifica allo stato limite ultimo** utilizzando valori pertinenti dei coefficienti di sicurezza e dei coefficienti di combinazione.

I metodi di valutazione della sicurezza prevedono differenti livelli di semplificazione, potendosi in genere attuare:

- l'analisi strutturale globale, quindi verificando la disequazione:

$$A_{d,fi}(t) \leq R_{d,fi}(t) \quad (12.1)$$

nella quale:

- $A_{d,fi}$ è l’effetto (valore di progetto) delle azioni nella situazione di incendio; se gli effetti non aumentano durante l'incendio (come usualmente avviene), è accettabile ipotizzare che:

$$A_{d,fi} = 0.7 \cdot A_d;$$

- $R_{d,fi}$ è la corrispondente resistenza di progetto nella medesima condizione,
- t è la durata di esposizione al fuoco;

- l'analisi di parti della struttura, considerando in modo approssimato l'interazione tra le

diverse parti della struttura;

- l'analisi di singoli elementi, considerando come condizioni iniziali al contorno quelle

corrispondenti alle normali condizioni di servizio.

Si definiscono i seguenti termini che nel seguito saranno utilizzati, con riferimento alla sezione trasversale di un generico elemento di legno (Figura 9):

- *linea di carbonizzazione*: confine tra strato carbonizzato e sezione trasversale residua;
- *sezione trasversale residua*: sezione trasversale originaria ridotta dello strato carbonizzato;
- *sezione trasversale efficace*: sezione trasversale originaria ridotta dello strato carbonizzato e

di un successivo strato in cui si considerano nulli i valori di resistenza e di rigidezza.

Il metodo di calcolo che può essere adottato per il singolo elemento di legno prevede quindi la preventiva valutazione della velocità di demolizione della sezione lignea causata dalla carbonizzazione, la determinazione di una sezione efficace ridotta rispetto a quella originaria in corrispondenza della resistenza (tempo) richiesta, il calcolo della capacità portante (per rottura o per instabilità) allo stato limite ultimo di collasso, calcolo che può essere effettuato nella sezione ridotta più sollecitata.

Per quanto nel seguito non esplicitamente trattato, si potrà comunque fare riferimento a quanto riportato nella normativa EN 1995-1-2.

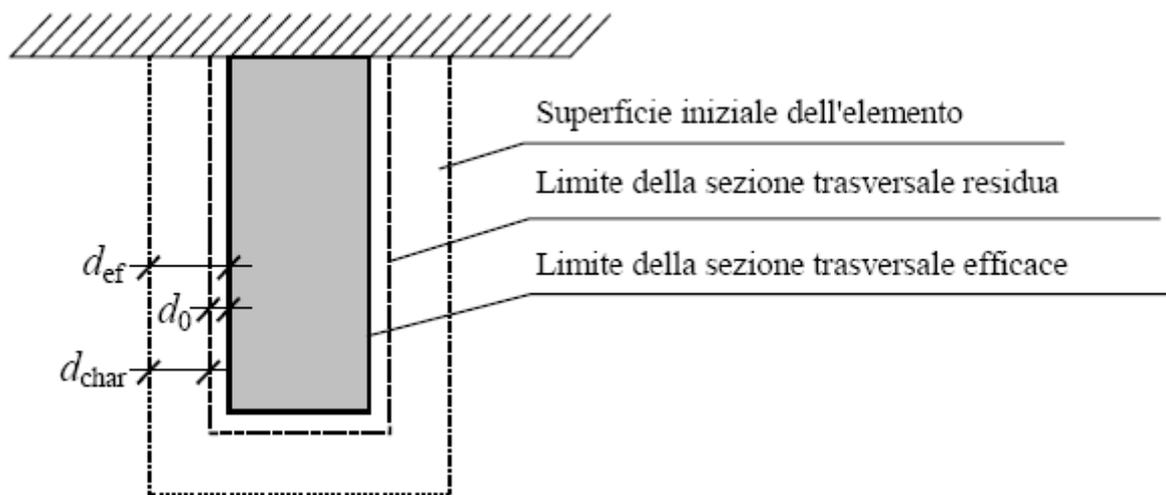


Figura 1 – Sezione trasversale di un elemento ligneo parzialmente carbonizzato

Resistenza di un elemento ligneo esposto al fuoco

Per il singolo elemento ligneo esposto al fuoco, in assenza di valutazioni più rigorose, si può fare riferimento al calcolo della cosiddetta "sezione efficace" in corrispondenza del tempo t richiesto di resistenza al fuoco. Tale sezione si ottiene riducendo la sezione iniziale di una profondità di carbonizzazione "effettiva" calcolata come di seguito esposto:

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 d_0$$



dove:

- d_{ef} è la profondità di carbonizzazione;
- $d_{char} = \beta_o t$;
- β_o è la velocità di carbonizzazione ideale, convenientemente superiore a quella effettiva, per includere gli effetti (negativi) di fessurazioni e arrotondamento degli spigoli della sezione;
- k_o è il coefficiente dipendente dal tempo t , variabile linearmente tra 0 (in corrispondenza del tempo $t = 0$) e 1 (in corrispondenza del tempo $t = 20$ minuti), ed assunto costante e pari ad 1 per $t > 20$ minuti;
- $d_o = 7 \text{ mm}$.

Per quanto riguarda la velocità di carbonizzazione β_o , in mancanza di valutazioni sperimentali dirette effettuate in accordo alle pertinenti normative CEN, si può fare riferimento a quanto riportato nella Tabella 12.1.

Tabella 12.1–Velocità di carbonizzazione β_o

Materiale	β_o [mm/minuto]
a) Conifere e faggio	
Legno massiccio con massa volumica caratteristica non inferiore a 290 kg/m^3	0.8
Legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica non inferiore a 290 kg/m^3	0.7
b) Latifoglie	
Legno massiccio o legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica non inferiore a 290 kg/m^3	0.7
Legno massiccio o legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica non inferiore a 450 kg/m^3	0.55
c) LVL	
con massa volumica caratteristica non inferiore a 480 kg/m^3	0.7

Per la resistenza e per i moduli elastici di progetto della sezione efficace, nella verifica della capacità portante, si adottano i seguenti valori:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad (12.3)$$

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} k_{fi} \frac{S_{0.5}}{\gamma_{M,fi}} \quad (12.4)$$

dove:

- $f_k, S_{0.5}$ sono i valori di una generica proprietà di resistenza del materiale o di modulo di elasticità a temperatura normale (si vedano le tabelle riportate in Appendice 4);
- $f_{d,fi}, S_{d,fi}$ sono i valori di progetto di una proprietà di resistenza o di modulo di elasticità del materiale;
- k_{fi} è il coefficiente da assumere pari a 1.25 per il legno massiccio e a 1.15 per il legno lamellare incollato e pannelli derivati dal legno;
- $\gamma_{M,fi}=1.0$ è il coefficiente parziale di sicurezza in situazione di incendio;
- $k_{mod,fi}=1.0$ sostituisce il parametro k_{mod} a temperatura ambiente.

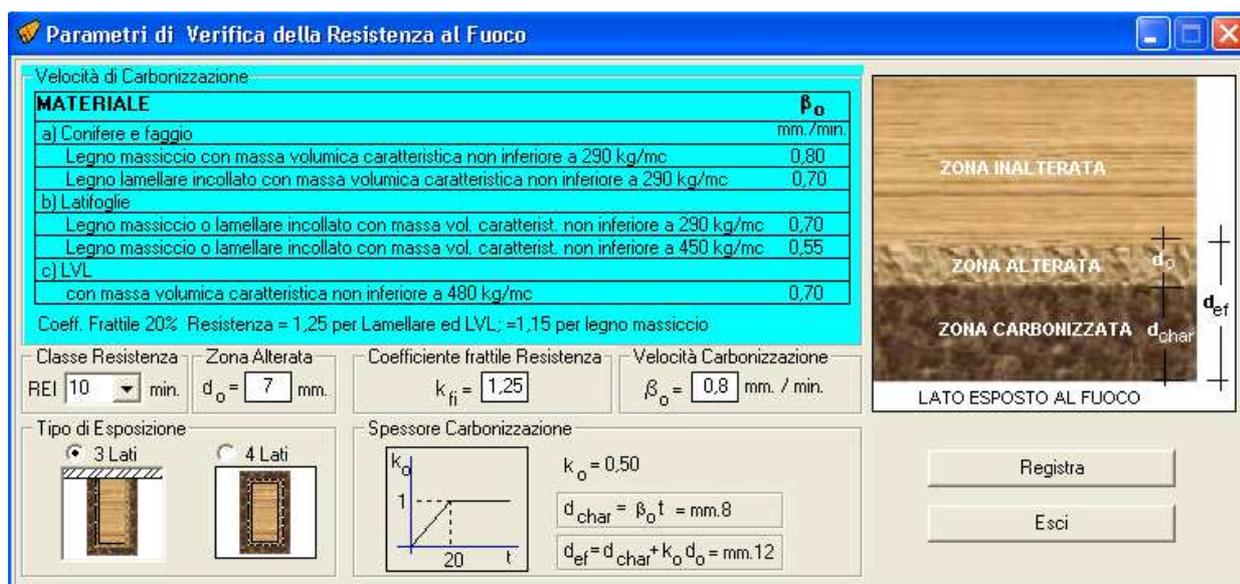
SOFTWARE: SOLAI LEGNO e CAPRIATE LEGNO

Il software, effettua la verifica di resistenza al fuoco degli elementi in legno, nel rispetto delle norme sopra indicate.

In prima istanza, consente di definire i parametri necessari alla Verifica:

Parametri per Verifica di resistenza al Fuoco

Qualora è necessario eseguire la Verifica di resistenza al Fuoco, selezionando il relativo comando nel riquadro relativo alle travi principali, si attiva il pulsante  [Imposta Parametri x Verifica Resistenza al Fuoco], mediante il quale è possibile attivare la seguente finestra di dialogo, in cui possono registrarsi i parametri necessari per effettuare la suddetta verifica.



La finestra di dialogo "Parametri di Verifica della Resistenza al Fuoco" è divisa in diverse sezioni:

- Velocità di Carbonizzazione:** Una tabella con il titolo "MATERIALE" e la colonna "β_o" (mm./min.).

MATERIALE	β _o
a) Conifere e faggio	0,80
Legno massiccio con massa volumica caratteristica non inferiore a 290 kg/mc	0,70
Legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica non inferiore a 290 kg/mc	0,70
b) Latifoglie	0,70
Legno massiccio o lamellare incollato con massa vol. caratterist. non inferiore a 290 kg/mc	0,55
Legno massiccio o lamellare incollato con massa vol. caratterist. non inferiore a 450 kg/mc	0,55
c) LVL	0,70
con massa volumica caratteristica non inferiore a 480 kg/mc	0,70
- Coeff. Frattile 20%:** Resistenza = 1,25 per Lamellare ed LVL; =1,15 per legno massiccio
- Classe Resistenza:** REI 10 min.
- Zona Alterata:** d_o = 7 mm.
- Coefficiente frattile Resistenza:** k_{fi} = 1,25
- Velocità Carbonizzazione:** β_o = 0,8 mm./min.
- Tipo di Esposizione:** 3 Lati (selezionato) e 4 Lati.
- Spessore Carbonizzazione:** k_o = 0,50. Un grafico mostra k_o vs t con un punto a t=20 e k_o=1. Formule: d_{char} = β_ot = mm.8 e d_{ef} = d_{char} + k_od_o = mm.12.
- Diagramma:** Una sezione trasversale di un elemento in legno con tre zone: "ZONA INALTERATA" (parte superiore), "ZONA ALTERATA" (parte centrale) e "ZONA CARBONIZZATA" (parte inferiore). Le dimensioni d_o, d_{char} e d_{ef} sono indicate con linee e frecce. Sotto il diagramma c'è la dicitura "LATO ESPOSTO AL FUOCO".
- Bottoni:** "Registra" e "Esci".

In relazione ai parametri fissati ed alla sezione della trave in legno, il software determina la sezione resistente (detrando dalla sezione effettiva la zona bruciata nel tempo t, $d_{ef}=d_{char}+k_o d_o$) e calcola le tensioni interne nell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane e di una relazione lineare tra tensioni e deformazioni fino alla rottura.

Esempio: Trave di sezione 14x20

VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO

Classe di Resistenza	REI 20(tempo di esposizione al fuoco t=20min.)
Tipo di Esposizione	3 lati
Sezione Rettangolare	in Legno Lamellare GL24h), Massa 380,00 kg/m ³
Velocità di Carbonizzazione	$\beta_0=0,80$ mm/min.
Profondità zona Carbonizzata	dchar=16 mm.
Profondità zona Alterata	d _o =7 mm.
Coefficiente di Carbonizzazione	t=20 min. k _o =1
Profondità effettiva di Carbonizzazione	def=dchar+k _o d _o =23 mm.

Caratteristiche Sezione Ridotta

Altezza ridotta	h =	17,70 cm
Base ridotta	b =	9,40 cm
Area trasversale	A =	166,38 cm ²
Momento d'Inerzia	I _y =	4343,77 cm ⁴
Modulo resistente	W _y =	490,82 cm ³

Coefficiente K _{mod} a Temperatura Ambiente	k _{mod,fi} = 1,00
Coefficiente parziale sicurezza in situazione d'incendio	$\gamma_{M,fi}$ = 1,00
Coefficiente per il 20% percentile della resistenza	k _{fi} = 1,25
Coefficiente K _m di Ridistribuzione delle tensioni	k _m = 0,70
Resistenza a Flessione	: f _{md} = 30,00 N/mm ² = 3,00 kN/cm ²
Resistenza a Taglio	: f _{vd} = 3,38 N/mm ² = 0,34 kN/cm ²

VERIFICA TENSIONI NORMALI - SEZIONE MEZZERIA

M = q · L ² / 8 =	9,73 kNm
$\sigma = M / W_y =$	1,98 kN/cm ² < f _{md}

VERIFICA TAGLIO

T = q · L / 2 =	9,27 kN
$\tau = T / A_r =$	0,03 kN/cm ² < f _{vd}