

**LA RESISTENZA AL FUOCO DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI IN LEGNO: LA NORMA UNI 9504 E LA NORMA EUROPEA SPERIMENTALE ENV 1995 – 1 - 2 (“Progettazione di strutture in legno, parte 1 - 2”).**

**SOMMARIO**

*La relazione affronta il problema della resistenza al fuoco delle strutture in legno, mettendo a confronto due norme redatte in ambito volontario, la prima dall’UNI (Ente nazionale italiano di normalizzazione) e la seconda, ancora in una fase sperimentale, dal CEN (Comitato Europeo di normalizzazione).*

*L’analisi mostra che la norma europea sperimentale, che forma parte dell’Eurocodice n. 5, pur se ancora un pò macchinosa (vi è una gran quantità di rimandi e/o riferimenti a paragrafi e appendici), appare molto più efficace rispetto a quella italiana.*

*In tale norma sperimentale è, infatti, possibile scorgere sia aspetti interessanti dal punto di vista scientifico (v. ad es., nell’ambito dei cosiddetti metodi semplificati, l’adozione della “**sezione trasversale efficace**”, attraverso cui si tiene implicitamente conto dell’effettiva diminuzione delle proprietà meccaniche e di rigidità del materiale al di sotto dello strato carbonizzato), sia aspetti innovativi rispetto alle stesse norme italiane di Prevenzione Incendi, nella parte in cui si definiscono i parametri o requisiti di resistenza al fuoco degli elementi costruttivi.*

**1. LA NORMA ITALIANA CNVVF - CCI - UNI 9504.**

La norma italiana elaborata in sede UNI fissa come obiettivo la “**Valutazione della resistenza al fuoco degli elementi costruttivi in legno**” sottoposti all’incendio di tipo normalizzato, limitando la sua l’analisi alla determinazione analitica del solo parametro “**R**” di resistenza al fuoco (stabilità o capacità portante).

La sua ambizione principale, pur se rivolta a SINGOLI elementi strutturali di legno<sup>1</sup>, è quella di offrire al progettista delle opere un metodo di calcolo alternativo alle prove sperimentali le quali, per moltissimi anni, hanno rappresentato l’unica fonte di dati di riferimento per la progettazione e/o verifica degli elementi costruttivi esposti al fuoco.

Tra le grandezze introdotte dal testo normativo, quella che sicuramente appare importante, essendo la sua determinazione punto focale per l’espletamento del metodo proposto, è la “**SEZIONE EFFICACE RIDOTTA**” ovvero la “*sezione resistente calcolata tenendo conto della riduzione dovuta alla carbonizzazione del legno*”.

Con l’introduzione di tale grandezza e sotto l’ipotesi di invariabilità delle proprietà meccaniche all’interno della parte legnosa non raggiunta dalla carbonizzazione (indagini relativamente recenti mostrano, invece, la variabilità di tali parametri al di sotto dello strato carbonizzato, almeno fino ad una certa profondità - v. Fig. 1), la norma risolve in maniera alquanto semplice il complesso fenomeno della pirolisi del legno.

Il metodo di calcolo procede, in definitiva, attraverso i seguenti passi:

**A) DETERMINAZIONE DELLA VELOCITA’ DI PENETRAZIONE DELLA CARBONIZZAZIONE.**

Una volta determinato il valore **caratteristico** di tale parametro attraverso l’effettuazione di prove normalizzate al 5° percentile, si perviene al valore di **calcolo** dividendo il predetto valore caratteristico di velocità di penetrazione della carbonizzazione per un coefficiente parziale di sicurezza, la cui filosofia appare in linea con quella europea, minore dell’unità e posto pari a 0,8.

In alternativa, però, la norma ritiene possibile, relativamente agli elementi in legno massiccio e lamellare incollato appartenenti alle specie elencate al p.to 8.2.2, utilizzare direttamente i seguenti valori di calcolo:

$$\begin{aligned} V_{\text{char}} &= 0,9 \text{ mm/min} && \text{LEGNO MASSICCIO} \\ V_{\text{char}} &= 0,7 \text{ mm/min} && \text{LEGNO LAMELLARE INCOLLATO.} \end{aligned}$$

**B) DETERMINAZIONE DELLA SEZIONE EFFICACE RIDOTTA.**

Dalla velocità di carbonizzazione e sotto le seguenti ipotesi:

- la carbonizzazione del legno sotto l’azione del fuoco proceda normalmente alle superfici esposte dell’elemento a velocità costante;

---

<sup>1</sup> La norma parla di elementi di legno massiccio o lamellare incollato, distinguendo per essi sia gli elementi non protetti che gli elementi protetti (con rivestimenti continui e aderenti oppure trattati con prodotti ignifughi).

- il legno conservi inalterate le sue proprietà meccaniche nella parte non raggiunta dalla carbonizzazione;
- la tensione aumenti linearmente con la deformazione fino alla rottura, è immediato pervenire alla sezione efficace ridotta.

**C) VERIFICA CAPACITA' PORTANTE ALLO STATO LIMITE ULTIMO DI COLLASSO NELLA SEZIONE EFFICACE RIDOTTA PIU' SOLLECITATA.**

Una volta individuata la sezione efficace ridotta più sollecitata dell'elemento, si procede alla verifica della capacità portante.

Viene stabilito, a questo punto, che anche il valore di resistenza caratteristica (anch'esso definito al 5° percentile) debba essere determinato attraverso prove normalizzate e, per quanto riguarda il valore da utilizzare nei calcoli, esso sarà ricavato dividendo il predetto valore caratteristico per un coefficiente parziale di sicurezza posto pari a 1,40.

In assenza comunque di appositi valori di prova, viene proposta la seguente tabella che, nell'ambito delle specie legnose elencate al predetto p.to 8.2.2, contiene direttamente i valori di calcolo cui fare riferimento:

**Tab. A**

PROPRIETA'	LEGNO MASSICCIO	LEGNO LAMELLARE
Resistenza a flessione	16 N/mm <sup>2</sup>	Da 18 a 24 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione parallela	10 N/mm <sup>2</sup>	Da 15 a 19 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione perpend.	0,3 N/mm <sup>2</sup>	0,4 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione par.	15 N/mm <sup>2</sup>	da 15 a 21 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione perp.	5,5 N/mm <sup>2</sup>	5,5 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a taglio	1,5 N/mm <sup>2</sup>	1,5 N/mm <sup>2</sup>
Modulo di elasticità flessionale	8000 N/mm <sup>2</sup>	da 9000 a 10000 N/mm <sup>2</sup>
Modulo di elasticità tangenziale	500 N/mm <sup>2</sup>	500 N/mm <sup>2</sup>

Per quanto infine riguarda le azioni in base alle quali eseguire il calcolo della resistenza al fuoco (capacità portante), esse sono rappresentate dalla più gravosa delle combinazioni:

$$F_d = G_k + Q_{1k} + 0,7 Q_{2k,j}$$

dove:

$F_d$  = valore dell'azione di calcolo

$G_k$  = valore caratteristico delle azioni permanenti

$Q_{1k}$  = valore caratteristico delle azioni variabili di lunga durata

$Q_{2k,j}$  = valore caratteristico di una delle seguenti azioni variabili di breve durata, con  $j=1 \Rightarrow$  vento,  $J=2 \Rightarrow$  neve e  $j=3 \Rightarrow$  altre azioni rare.

**3. LA NORMA EUROPEA SPERIMENTALE ENV 1995-1-2 (EUROCODICE 5-PROGETTAZIONE DI STRUTTURE IN LEGNO-PARTE 1-2: LE REGOLE GENERALI DI PROGETTAZIONE STRUTTURALE CONTRO L'INCENDIO).**

La norma europea sull'argomento, che forma parte del cosiddetto "EUROCODICE 5 - Progettazione delle strutture in legno", si pone come principale obiettivo, al pari degli altri eurocodici finora elaborati dal CEN (sono 9 in totale), quello di potere costituire strumento alternativo ai vari regolamenti di progettazione esistenti nei paesi membri della UE per poi divenirne, in una seconda fase, addirittura sostitutivo.

E' utile osservare che si tratta di una norma a carattere sperimentale (è stata approvata dal CEN, come norma per applicazione provvisoria, il 22.6.93), ma già in questa sua prima versione, essa stabilisce almeno tre fatti importanti che certamente vale la pena riportare:

1) Ogni singolo Paese membro è responsabile sul proprio territorio della sicurezza, salute e di ogni altro argomento connesso ai requisiti essenziali di cui alla Direttiva Prodotti da Costruzione (CPD 89/106/CEE) e pertanto tutti i valori dei coefficienti di sicurezza adottati dalla norma hanno solo carattere indicativo<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> I valori indicativi dei coefficienti di sicurezza vengono dalla norma incasellati oppure racchiusi tra parentesi quadre. Si prevede che ogni Paese membro assegni valori definitivi a tali coefficienti.

E' evidente, in altri termini ed in linea con la nuova filosofia europea, che spetta al singolo Paese fissare, sul proprio territorio e a propria discrezione, i valori dei coefficienti ritenuti più idonei.

2) Ciascun paese membro dovrà pubblicare un apposito Documento di Applicazione Nazionale (NAD) il quale, oltre a fornire valori definitivi per i coefficienti di sicurezza, fornirà indicazioni e suggerimenti guida per la concreta applicazione della norma sperimentale.

In definitiva quest'ultima potrà essere usata solo congiuntamente al Documento Nazionale valido nel paese in cui l'opera di costruzione sarà collocata.

3) L'ambito di applicazione è quello delle strutture di edifici a cui occorre garantire, in caso di incendio e per ragioni di sicurezza:

a) l'impossibilità del collasso prematuro della struttura;

b) la limitazione della propagazione dell'incendio (fiamme, gas caldi, calore eccessivo) al di là dell'area designata e cioè il possesso, da parte della stessa struttura, di una idonea funzione compartimentante.

E' chiaro, relativamente a tale punto, il riferimento al requisito essenziale n. 2 "Safety in case of fire" riportato nell'allegato I alla Direttiva Prodotti da Costruzione di cui la norma riporta, ovviamente, solo quelle prescrizioni connesse alla protezione passiva delle strutture contro l'incendio.

Come fatto rilevante e di premessa, viene precisato infine che la norma dovrà essere utilizzata assieme alla ENV 1995-1-1 (parte 1-1 dell'Eurocodice 5: "Progettazione delle strutture di legno : Regole generali e regole per gli edifici") ed alla ENV 1991-2-2 (parte 2-2 dell'Eurocodice 1 : "Azioni sulle strutture - Azioni sulle strutture esposte all'incendio").

### **3.1. ALCUNE DEFINIZIONI INTRODOTTE DALLA NORMA EUROPEA - I PRINCIPI FONDAMENTALI.**

Si riportano di seguito alcune tra le più significative definizioni introdotte dalla norma ed i principi fondamentali su cui la medesima è stata costruita.

Tra le definizioni citiamo:

**a. Linea di carbonizzazione.**

Rappresenta la linea di confine tra lo strato carbonizzato e la sezione trasversale residua;

**b. Sezione trasversale efficace (effective cross section).**

E' la sezione trasversale ricavata dalla sezione trasversale residua rimuovendo parti della sezione trasversale in cui si assume resistenza e rigidità nulle;

**c. Materiale di protezione contro l'incendio.**

E' un materiale per il quale è stata dimostrata, attraverso prove di resistenza al fuoco, la capacità di rimanere in posizione e di assicurare un adeguato isolamento termico per il periodo di resistenza al fuoco considerato;

**d. Sezione trasversale residua (residual cross section).**

E' la sezione trasversale dell'elemento originario ridotta della profondità dello strato carbonizzato;

**e. Criterio della tenuta E.**

Esso rappresenta un criterio attraverso il quale viene accertata la capacità di una costruzione compartimentante di impedire il passaggio di fiamme e gas caldi;

**f. Criterio della capacità portante R.**

Con tale criterio viene accertata la capacità di una struttura o di un elemento da costruzione di contenere specificate azioni o carichi durante l'incendio;

**g. Criterio dell'Isolamento termico.**

Attraverso tale criterio viene accertata la capacità di un elemento compartimentante di impedire l'eccessiva trasmissione del calore;

**h. Resistenza al fuoco.**

E' la capacità di una struttura o parte di essa di soddisfare le funzioni richieste (funzione portante e/o di compartimentazione) per una specificata esposizione al fuoco e per un determinato periodo di tempo;

**i. Curve temperatura - tempo.**

La norma prevede la possibilità di utilizzo di due diverse tipologie di curve e cioè:

-**Curve nominali** ovvero curve convenzionali adottate per la classificazione o la verifica della resistenza al fuoco (ad es. la curva normalizzata tempo - temperatura ISO 834);

-**Curve parametriche** ovvero curve determinate sulla base di modelli d'incendio e sulla base di parametri fisici che definiscono le condizioni del compartimento (carico d'incendio, ventilazione).

Per quanto riguarda i principi fondamentali viene stabilito in modo chiaro quali siano, con riferimento all'intero periodo previsto di esposizione al fuoco, i requisiti prestazionali che possono essere richiesti alla struttura o agli elementi costruttivi che la compongono e cioè:

- **la resistenza meccanica** (“le strutture devono essere progettate e costruite in modo tale da conservare la loro funzione portante per l’intero periodo previsto d’esposizione al fuoco”);

- **la compartimentazione dell’incendio** ovvero la necessità di evitare, per gli elementi interessati, sia rotture per perdita di tenuta dovuta a fessure (o aperture) capaci di causare la penetrazione di gas caldi o fiamme (integrità E), sia perdite d’isolamento termico dovuto al superamento delle temperature ammissibili in corrispondenza della superficie non esposta (isolamento termico I).

Per quanto, in particolare, riguarda tali temperature ammissibili, la norma stabilisce che l’aumento della temperatura media sul lato non esposto debba essere limitata a 140 K mentre l’aumento massimo di T in un qualsiasi punto del medesimo lato è fissato in 180 K.

In definitiva gli elementi da costruzione devono soddisfare i criteri R, E ed I come segue:

- solo compartimentante  $\Rightarrow$  **E ed I**
- solo portante  $\Rightarrow$  **R**
- portante e compartimentante  $\Rightarrow$  **R, E ed I**.

Da quanto sopra riportato risultano evidenti gli elementi di novità, sia per quanto riguarda le semplici definizioni introdotte (vedi ad es. l’introduzione della “**sezione trasversale efficace**” la quale rappresenta uno strumento, anche abbastanza semplice, per tenere conto, almeno fino ad una certa profondità al di sotto dello strato carbonizzato, dell’effettiva diminuzione dei parametri di resistenza e rigidezza del materiale investito dal fuoco - addirittura dalla definizione data si presuppone che esistano parti della sezione trasversale residua a resistenza e rigidezza nulle; oppure l’introduzione delle due diverse tipologie di curve - **curve parametriche e nominali** - che, come dopo si dirà, è possibile usare per il calcolo della resistenza al fuoco degli elementi in legno), sia per quanto concerne la netta e chiara distinzione dei requisiti o prestazioni attribuibili alla costruzione o a parte di essa.

E con riferimento a tale ultimo punto, in modo sicuramente più preciso e in aderenza a quanto precisato e stabilito dal Documento interpretativo n. 2 di cui alla CPD 89/106/CEE, viene distinta la funzione compartimentante (E ed I), la quale non ha bisogno del parametro R perché possa essere accertata, dalla funzione portante e compartimentante (R, E ed I).

### 3.2. VALORI DI PROGETTO DELLE PROPRIETA’ DEI MATERIALI.

La norma distingue valori di progetto relativi alla resistenza e al modulo di rigidezza del materiale e valori di progetto relativi ai parametri termofisici, stabilendo in linea generale che, per quanto riguarda i primi, si farà riferimento alle seguenti espressioni:

$$f_{fi, d} = k_{mod, fi} * k_{fi} \frac{f_k}{g_{M, fi}}$$

$$E_{fi, d} = k_{mod, fi} * k_{fi} \frac{E_{k,05}}{g_{M, fi}}$$

mentre, per quanto riguarda i valori dei parametri connessi all’analisi termica valgono le seguenti relazioni generali:

$$X_{fi, d} = \frac{X_k(q)}{M_{fi}}$$

se un incremento delle proprietà è favorevole ai fini della sicurezza

oppure

$$X_{fi, d} = X_k(q) g_{M, fi}$$

se un incremento della proprietà è sfavorevole ai fini della sicurezza

dove

$k_{fi} = [1,25]$  per legno massiccio

$k_{fi} = [1,15]$  per legno lamellare incollato e pannelli di legno

$\gamma_{M,fi} = [1.0]$

$f_k$  = resistenza caratteristica a temperatura normale

$k_{mod,fi}$  = coefficiente di riduzione che tiene conto dell’effetto della temperatura e dell’umidità sui parametri di resistenza e rigidezza (i valori del coefficiente vengono forniti dalla norma nelle parti relative)

$X_k(\theta)$  = valore caratteristico della proprietà termica del materiale alla temperatura  $\theta$  del legno.

### 3.3. I METODI DI CALCOLO

La norma appare estremamente dettagliata e prevede più metodi di calcolo di differente complessità.

In sintesi vengono previsti sia metodi semplificati, che conducono alla verifica e/o dimensionamento di strutture sicure ma non molto economiche, sia metodi complessi (per i quali la quantità di calcolo aumenta), capaci di dimensionare strutture via via più economiche nel rispetto, comunque, della sicurezza.

#### 3.3.1. I METODI SEMPLIFICATI.

Le ipotesi principali alla base di tali categorie di metodi sono i seguenti:

- **l'analisi è riferita a singoli elementi strutturali;**
- le condizioni iniziali di vincolo sono assunte valide durante l'intera esposizione al fuoco;
- trattandosi di analisi riferita a singoli elementi lignei, non si considerano gli effetti della dilatazione termica del materiale.

La norma, in tale ambito, precisa che l'effetto delle azioni (sollecitazioni interne) in condizioni d'incendio può anche essere ottenuto da un'analisi strutturale globale eseguita a temperatura ordinaria, facendo riferimento ad un'aliquota pari al 60% degli effetti ottenuti a tale temperatura.

Sotto l'ipotesi di esposizione all'incendio normalizzato, il calcolo della "Profondità di carbonizzazione", che costituisce la prima fase relativa a tali tipologie di metodi, viene effettuato attraverso l'espressione:

$$d_{char} = \beta_0 * t$$

dove  $\beta_0$  rappresenta la velocità di carbonizzazione, opportunamente tabellata in funzione del tipo e della densità del legno secondo lo schema seguente:

	$\beta_0$ (mm/min)
a) Conifere Legno massiccio con massa volumica caratteristica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ ed una dimensione minima di 35 mm; Legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ , Pannelli di legno con massa volumica caratteristica di $450 \text{ kg/m}^3$ ed una dimensione minima di 20 mm	0,8  0,7  0,9
b) Latifoglie - legno massiccio e legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica $\geq 450 \text{ kg/m}^3$ - quercia	0,5
c) Latifoglie, legno massiccio e legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,7

Per legno massiccio di conifere avente  $D_{min} = 35 \text{ mm}$  e massa volumica caratteristica  $< 290 \text{ kg/m}^3$ , la norma prevede che il parametro  $\beta_0$  vada moltiplicato per un coefficiente  $K_p$  ottenuto dalla:

$$K_p = \sqrt{290 / \rho_k}$$

mentre per i **pannelli** a base di legno la questione è più articolata ed è illustrata come segue:

-  $s = 20 \text{ mm}$  e  $\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow$  [(pannelli in compensato  $\Rightarrow \beta_0 = 1 \text{ mm/min}$ ), (pannelli a base di legno diversi dal compensato  $\Rightarrow \beta_0 = 0,9 \text{ mm/min}$ )]

- per altre densità e spessori si adotterà la formula  $\beta_{0,p,s} = \beta_{0,450,20} * K_p * K_1$  (con  $K_p = \sqrt{450 / \rho_k}$  e  $K_1 = \min(\sqrt{20 / s}, 1,0)$ ).

Si prevede, inoltre, come principio generale, che la carbonizzazione per le superfici di elementi di legno ricoperti da rivestimento protettivo non sia da considerare nel caso in cui  $t_{p,r} \geq t_{fi,req}$  dove:

$t_{p,r}$  rappresenta il tempo di cedimento di una tavola protettiva o di altro materiale, tempo che dovrebbe essere determinato mediante prove;

$t_{fi,req}$  è il tempo di resistenza al fuoco richiesto con riferimento all'incendio normalizzato.

Per quanto concerne, in particolare, i rivestimenti protettivi in legno, la norma prevede addirittura la possibilità di calcolo del tempo di rottura.

L'espressione proposta è la seguente:

$$t_{p,r} = \frac{t_p}{b_0} - t_r \quad (\text{min})$$

dove

$t_r = 4 \text{ minuti}$

$t_p =$  spessore del rivestimento di legno o del pannello a base di legno

Per quanto infine riguarda l'aspetto puramente tecnologico o di "installazione" delle protezioni, la norma ritiene fondamentale che ogni rivestimento sia fissato individualmente alla struttura lignea:



Nell'ambito dei metodi cosiddetti "semplificati", la seconda fase e cioè quella relativa alla determinazione della capacità portante viene affrontata attraverso il cosiddetto "**metodo della sezione trasversale efficace**".

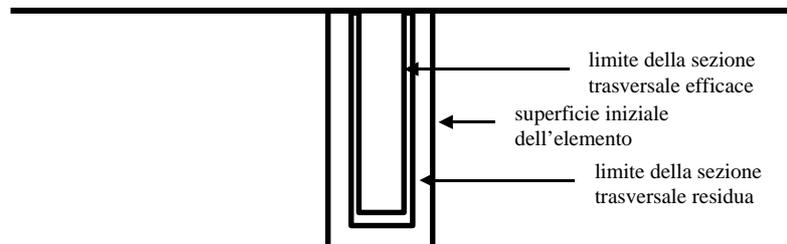
Questa sezione dell'elemento costruttivo viene determinata facendo riferimento alla sezione residua diminuita di un ulteriore spessore che al massimo può raggiungere i 7 mm (tale spessore aggiuntivo è riducibile in funzione del tempo richiesto di resistenza al fuoco ed a seconda che si tratti di elementi protetti o meno).

In altri termini la norma propone di calcolare lo spessore effettivo che occorre rimuovere dalla sezione originaria trasversale mediante l'espressione:

$$d_{\text{eff}} = d_{\text{char}} + K_0 * d_0$$

dove  $d_0 = 7 \text{ mm}$ ,  $d_{\text{char}} = \beta_0 * t$  e  $K_0$  è un coefficiente minore o uguale a 1, da determinare utilizzando la tabella seguente:

Superfici non protette	$t_{\text{fi,req}} < 20$	$K_0 = t_{\text{fi,req}} / 20$
	$t_{\text{fi,req}} \geq 20$	$K_0 = 1.0$
Superfici protette da pannelli a base di legno	$t_{\text{fi,req}} - t_{\text{pr}} < 20$	$K_0 = (t_{\text{fi,req}} - t_{\text{pr}}) / 20$
	$t_{\text{fi,req}} - t_{\text{pr}} \geq 20$	$K_0 = 1.0$
Superfici protette da pannelli a base di gesso	$t_{\text{fi,req}} - t_{\text{pr}} < 10$	$K_0 = (t_{\text{fi,req}} - t_{\text{pr}}) / 10$
	$t_{\text{fi,req}} - t_{\text{pr}} \geq 10$	$K_0 = 1.0$



Ai fini della verifica della capacità portante, infine, viene proposto un valore del coefficiente  $K_{\text{mod,fi}}$  da inserire nella formula per il calcolo della resistenza e del modulo di rigidezza di progetto, pari ad 1.

In definitiva si può affermare che, ai fini della determinazione della capacità portante, il metodo semplificato della **sezione trasversale efficace**, pur non facendo riferimento alla effettiva diminuzione delle proprietà meccaniche e di rigidezza del materiale al di sotto dello strato carbonizzato ( $K_{\text{mod,fi}}=1$ ), ne tiene implicitamente conto attraverso l'adozione di una sezione trasversale più piccola rispetto a quella derivante dal processo di carbonizzazione.

Nel quadro generale della norma ed anche nell'ambito di tali metodi, una parte sostanziosa che costituisce elemento importante ma nello stesso tempo innovativo rispetto alle usuali normative, è quella dedicata alla **CAPACITA' PORTANTE DELLE UNIONI**.

Per tali tipologie di strutture è evidente che l'aspetto "unioni" assuma grande rilevanza nella progettazione complessiva di un'opera in legno e per tale motivo la norma stabilisce, oltre che regole generali o di base per procedere al calcolo, apposite parti o appendici capaci di fornire al progettista dettagliati riferimenti tecnici sull'argomento.

Vediamo allora, in sintesi, di cosa si tratta, dato l'aspetto innovativo di tale problema che mai, almeno nella normativa italiana nel settore della resistenza al fuoco, è stato sinora preso in considerazione.

La norma prevede, in sostanza, la possibilità di usare unioni del tipo non protetto (prevedendo però l'inserimento di elementi laterali in legno o di piastre d'acciaio esterne) oppure unioni del tipo protetto (ad es. mediante tappi protettivi oppure tramite pannelli a base di legno):

### ➔ UNIONI NON PROTETTE CON ELEMENTI LATERALI IN LEGNO.

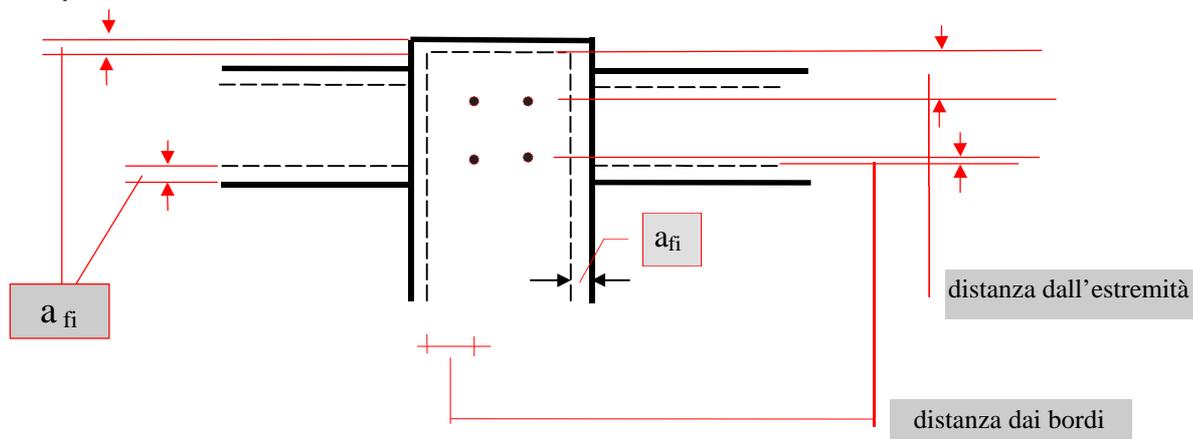
All'interno di tali tipologie di unioni la norma prevede **unioni legno-legno** oppure **unioni acciaio-legno** con piastre di acciaio centrali fissate con chiodi, viti, bulloni o spinotti non protetti.

In generale, qualora tali unioni soddisfino almeno le condizioni della ENV 1995-1-1 punto 6, viene considerata implicitamente soddisfatta una resistenza al fuoco (solo il parametro R evidentemente) pari a 15 minuti (R 15).

Per ottenere una R maggiore, lo spessore e la distanza dai bordi e dalle estremità devono essere aumentati di una certa quantità  $a_{fi}$  determinata mediante la relazione:

$$a_{fi} = \beta_0 (t_{fi,req} - 15)$$

dove  $t_{fi,req}$  rappresenta il tempo di resistenza al fuoco prescritto (in minuti).



E' altresì opportuno, secondo la norma europea sperimentale, che lo spessore degli elementi laterali soddisfi le seguenti relazioni:

$$t_l \geq t_{fi,req} / (1,25 - \eta_n) \quad (\text{mm})$$

$$t_l \geq 1,6 t_{fi,req}$$

$$t_l \geq t_{l,min} + a_{fi} \quad \text{dove } \eta_n = E_d / R_{d,n}$$

$t_l$  = spessore degli elementi laterali;

$t_{l,min}$  = spessore minimo dell'elemento laterale prescritto per il dimensionamento a temperatura ordinaria;

$E_d$  = effetto delle azioni di progetto sul mezzo di unione a Temperatura ordinaria;

$R_{d,n}$  = capacità portante di progetto per il mezzo di unione a Temperatura ordinaria.

La norma, alla quale si rimanda, stabilisce poi, i casi in cui non è necessario prescrivere alcuna distanza supplementare (dai bordi e dalle estremità) nonché le **condizioni** per cui, in relazione a valori tabellati e non superabili del rapporto tra il valore di progetto del carico e della capacità portante a temperatura ordinaria, è possibile soddisfare la resistenza al fuoco R30 (v. prospetti 4.2 e 4.3 della norma - unioni legno-legno e unioni acciaio-legno).

Qualora, infine, si voglia raggiungere una resistenza al fuoco compresa tra R 30 e R 60, il rapporto fra carico e capacità portante nella progettazione a temperatura ordinaria non dovrà superare il valore di  $\eta$  dato dalla seguente espressione:

$$\eta = \eta_{30} (30 / t_{fi,req})^2$$

dove il valore di  $\eta_{30}$  è direttamente ricavabile dai prospetti 4.2 oppure 4.3 allegati alla norma.

### ➔ UNIONI NON PROTETTE CON PIASTRE ESTERNE DI ACCIAIO.

Per tali tipologie di unioni la norma prevede il raggiungimento di una resistenza al fuoco massima di R 30, a condizione che:

- tali piastre siano esposte al fuoco solo su un lato;
- le stesse piastre abbiano uno spessore minimo di 6 mm;
- il rapporto tra carico e capacità portante nella progettazione a temperatura ordinaria non superi il valore

$\eta_{30} = 0,45$ .

## ➔ UNIONI PROTETTE.

La norma intende per unioni protette quelle dotate di mezzi di unione ricoperti con tappi protettivi, oppure con legno, oppure ancora mediante pannelli a base di legno aventi spessore minimo pari a  $a_{fi}$  (vedi formula precedente).

Nel caso di piastre d'acciaio usate come elementi centrali o laterali, esse possono essere considerate protette solo se completamente rivestite con legname avente spessore minimo pari a  $a_{fi}$  (anche i bordi delle piastre è opportuno che siano protetti allo stesso modo). Per le regole supplementari su tale punto si può inoltre fare riferimento all'apposita appendice alla norma (appendice B).

Viene stabilito che le unioni protette che osservano le condizioni della ENV 1995-1-1, p.to 6, sono in grado di soddisfare addirittura la caratteristica R 60.

### 3.3.2 I METODI PIU' COMPLESSI

Nell'ambito di tali tipologie di metodi, la norma prevede in linea generale che il sistema strutturale da considerare sia quello riferito a "**parti di struttura**" o "**sottostrutture**".

Le condizioni di appoggio e vincolo vengono considerate indipendenti dal tempo di esposizione al fuoco e viene altresì consentito che l'interazione tra elementi o montaggi nelle diverse parti della struttura sia tenuta in conto in modo approssimato.

Per quanto riguarda gli effetti sulla struttura nelle condizioni d'incendio è inoltre possibile considerare un'aliquota pari al 60% degli effetti calcolati a temperatura normale; occorre infine, secondo la norma, prendere in considerazione gli effetti delle dilatazioni termiche di elementi di materiale diversi dal legno.

Per il calcolo della profondità di carbonizzazione e, successivamente, della capacità portante degli elementi, la norma prevede la possibilità di fare riferimento a due diverse tipologie d'esposizione al fuoco: l'esposizione degli elementi all'incendio normalizzato e l'esposizione degli elementi all'incendio cosiddetto di tipo parametrico.

Mentre nel primo caso si tratta, come sappiamo, di un'esposizione rappresentata da una curva convenzionale e quindi già confezionata, nel secondo caso la curva di esposizione temperatura - tempo è ottenuta in funzione di precisi parametri fisici caratteristici del compartimento (più precisamente il "fattore di ventilazione" e "il carico di incendio").

Nel caso si adotti un'esposizione di tipo normalizzato, il metodo proposto per la determinazione della velocità di carbonizzazione presuppone, questa volta, la riduzione della resistenza e della rigidità.

Facendo, infatti, riferimento alla **sezione trasversale residua**, si tiene conto della diminuzione della resistenza e del modulo di rigidità assumendo un valore del coefficiente  $K_{mod,fi}$ , da inserire nelle formule generali corrispondenti alle caratteristiche di progetto, minore dell'unità.

In definitiva, si calcola la profondità dello strato carbonizzato attraverso la:

$$d_{char} = \beta_0 t$$

e si adotta un coefficiente  $K_{mod,fi}$  (da inserire nelle formule relative alla resistenza ed al modulo di rigidità di progetto) tale che:

$$K_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{200} \frac{p}{A_r} \Rightarrow \text{per la resistenza a Flessione}$$

$$K_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{125} \frac{p}{A_r} \Rightarrow \text{per la resistenza a Compressione}$$

$$K_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{330} \frac{p}{A_r} \Rightarrow \text{per la resistenza a Trazione e per il modulo E}$$

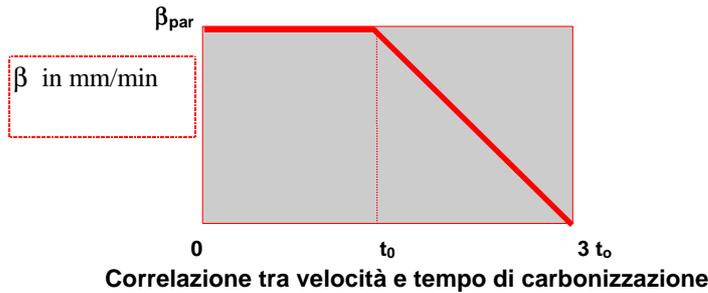
dove

$p$  = perimetro della sezione trasversale residua esposta al fuoco (in metri);

$A_r$  = area sezione trasversale residua (in  $m^2$ )

Qualora si utilizzi l'esposizione all'incendio parametrico, la norma propone di ricavare la velocità iniziale di carbonizzazione del legno come funzione del "**Coefficiente di apertura o fattore di ventilazione**" del compartimento antincendio e del parametro  $\beta_0$  prima visto.

Per il legno di conifere si ritiene che tale velocità di carbonizzazione si mantenga costante fino ad un tempo  $t_0$  funzione, a sua volta, della densità di carico d'incendio caratteristica del compartimento (densità di progetto) e del fattore di ventilazione, e si annulli per un tempo pari a  $3 t_0$ .



La velocità iniziale di carbonizzazione, per l'esposizione parametrica, sarà generalmente data dall'espressione:

$$b_{par} = 1,5 b_0 \frac{5F - 0,04}{4F + 0,08} \quad (1)$$

dove

$$F = \frac{A\sqrt{h}}{At} \quad [m^{1/2}]$$

$$h = \frac{\sum A_i h_i}{A} \quad A_i, h_i = \text{area e altezza apertura verticale iesima}$$

A = area totale delle aperture verticali (finestre...) in m<sup>2</sup>

At = area totale pavimenti, pareti e soffitti che delimitano il compartimento in m<sup>2</sup>

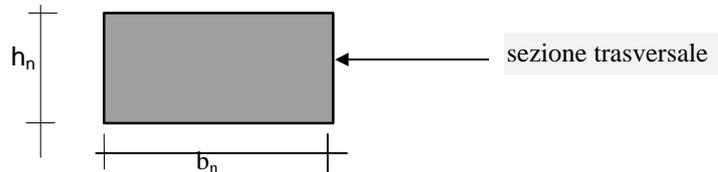
h = media ponderata delle altezze di tutte le aperture verticali in m

La profondità massima di carbonizzazione durante l'esposizione al fuoco (e dopo il successivo periodo di raffreddamento) è data da:

$$d_{char} = 2 \beta_{par} * t_0 \quad (2)$$

$$\text{con } t_0 = 0,006 q_{t,d} / F \quad (3)$$

dove  $q_{t,d}$  rappresenta la densità di carico di incendio di progetto riferita all'area totale dei pavimenti, delle pareti e dei soffitti che delimitano il compartimento (MJ/m<sup>2</sup>). La norma, comunque precisa che la (1), la (2) e la (3) sono utilizzabili solo per valori di F compresi tra 0,02 e 0,30 m<sup>1/2</sup> e solo nel caso in cui  $t_0 \leq 40$  min,  $d_{char} \leq b_n/4$  e  $d_{char} \leq h_n/4$



Per quanto riguarda poi la determinazione della capacità portante, limitatamente agli elementi inflessi in legno di conifere e facendo riferimento ad una sezione residua ottenuta attraverso la:

$$d_{char} = 2 \beta_{par} * t_0,$$

si prevede di adottare un coefficiente di riduzione (della resistenza e del modulo E)  $K_{mod,fi}$  del tipo

$$K_{mod,fi} = 1,0 - 3,2 d_{char} / b$$

dove b è la larghezza dell'elemento.

Tale seconda categoria di metodi (più complessi) prevede inoltre ulteriori **REGOLE APPLICATIVE** che riguardano la capacità portante delle **unioni** (vedi appendice B alla norma). In particolare vengono dettate, in aggiunta a quelle precedentemente trattate, dettagliate ed utili regole che riguardano le unioni con chiodi non protetti, con bulloni non protetti, con spinotti non protetti, con connettori e con piastre di acciaio (Nei due schemi A e B tali regole sono in sintesi riportate).

### 3.3.3. I METODI GENERALI

I metodi generali prevedono un approccio ingegneristico che fa riferimento al cosiddetto **“Sistema Strutturale Globale”**. L'analisi strutturale globale deve tenere conto:

- delle modalità di cedimento della struttura nel caso di esposizioni al fuoco;
- della variazione delle proprietà del materiale con la temperatura;
- degli effetti della dilatazione termica e delle deformazioni indotte dall'azione del fuoco.

In generale deve essere verificato che:

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d}$$

dove  $E_{fi,d}$  rappresenta il valore di progetto corrispondente all'effetto nella situazione di incendio, compresi gli effetti dovuti alla dilatazione termica e  $R_{fi,d}$  sta ad indicare il valore di progetto della resistenza del materiale nella stessa situazione.

Utilizzando questo metodo la norma indica che per il calcolo della capacità portante dovranno essere preventivamente stabiliti:

1) la profondità di carbonizzazione conforme a quanto riportato nell'appendice A (METODO DELLA RESISTENZA E DELLA RIGIDEZZA RIDOTTE PER L'ESPOSIZIONE ALL'INCENDIO NORMALIZZATO) oppure ricavata attraverso modelli generali di carbonizzazione;

2) il profilo di temperatura ed il gradiente d'umidità all'interno della sezione residua;

3) le proprietà meccaniche e di rigidezza del materiale in funzione della temperatura e della umidità.

Tenuto conto della difficoltà della scelta e/o caratterizzazione dei parametri significativi del legno ai fini della trasmissione del calore e quindi ai fini della determinazione della capacità portante, la norma offre qui una mano al progettista (vedi appendice E alla norma) indicando:

- valori di riferimento relativi alla conducibilità (validi per la temperatura a 20°C);
- relazioni di interdipendenza tra massa volumica, umidità e conducibilità termica;
- relazioni caratterizzanti l'influenza della temperatura sul coefficiente di conducibilità termica;
- relazioni riguardanti il calore specifico del legno (funzione dell'umidità e della temperatura) e, addirittura, valori indicativi del calore specifico del carbone.

#### 4. LE REGOLE PARTICOLARI.

La norma è estremamente dettagliata e puntuale anche nello stabilire regole particolari di progettazione (evidentemente valide per ogni tipologia di metodo che s'intende adottare) come, ad esempio:

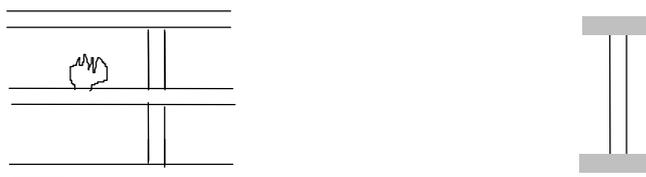
a) la possibilità di trascurare la compressione perpendicolare alla fibratura del materiale;

b) per le travi provviste d'intaglio, la necessità di verificare che la sezione residua, in corrispondenza dell'intaglio, sia non minore del 60% di quella relativa alla sezione trasversale richiesta per la progettazione a temperatura ordinaria;

c) per le travi che possiedono controventature che cedono durante l'esposizione al fuoco, la necessità di considerare il fenomeno dell'imbozzamento laterale come se l'elemento fosse privo della stessa controventatura (ciò vale anche per i pilastri);

d) per pilastri inseriti in compartimenti antincendio e costituenti parte di telai indeformabili, la possibilità di considerare condizioni di vincolo più favorevoli rispetto a quelle stabilite nella progettazione a temperatura normale.

In particolare, secondo la norma, un pilastro può essere considerato incastrato alle estremità a condizione che la resistenza al fuoco delle parti strutturali che contengono il compartimento non sia minore della resistenza al fuoco del pilastro.



e) per le controventature, la possibilità di assumere che le medesime non cedano durante la loro esposizione al fuoco se la loro sezione residua è almeno pari al 60% della sezione trasversale dimensionata a temperatura ordinaria;

f) per le pareti e i solai, infine, la necessità di considerare l'esposizione al fuoco su un lato per volta quando l'elemento ha funzione compartimentante, su due lati nel caso di elementi non compartimentanti.

#### 5. L'APPENDICE C DELLA NORMA - PARETI E SOLAI.

E' tra le più significative e innovative appendici contenute nella norma perché in essa sono contenute regole che permettono di caratterizzare la "parete" o "il solaio", non solo per quanto riguarda il parametro R di resistenza al fuoco (stabilità), ma anche per quanto concerne la funzione **compartimentante (parametri E ed I)**.

Per quest'ultimo caso, tuttavia, l'appendice stabilisce che le stesse regole vanno applicate fino ad una resistenza al fuoco di 60 minuti di fuoco normalizzato; esse, inoltre, devono intendersi come regole conservative nel senso che un dimensionamento basato su prove al forno potrà fornire risultati più economici.

L'appendice si può, in sintesi, ritenere suddivisa in tre parti principali:

- una prima parte che detta le principali disposizioni costruttive da osservare;
- una seconda parte che offre interessanti metodologie di calcolo dei tempi di cedimento delle varie tipologie di pannelli e strati isolanti che in genere interessano la costruzione dei solai o delle pareti in legno (i pannelli possono fungere da rivestimento di protezione contro l'incendio oppure essere parte della costruzione portante, oppure, ancora, essere utilizzati come tramezzature);
- una terza parte che fissa, tenendo conto dei tempi di cedimento prima determinati, i metodi attraverso i quali è possibile verificare, oltre che la funzione capacità portante, anche la funzione compartimentante (EI).

#### A. ➔ DISPOSIZIONI COSTRUTTIVE.

Si riportano di seguito alcune tra le più importanti regole costruttive stabilite dalla predetta appendice:

1) gli elementi del telaio di legno che non siano ricoperti da rivestimenti protettivi, devono avere dimensioni minime di 38 mm per tutto il tempo d'esposizione;

2) per quanto riguarda le pareti, i singoli pannelli devono avere uno spessore minimo  $t_{p,min}$  (mm) correlato alla luce  $L_p$  del pannello (interasse tra i montanti o i listelli della parete) secondo la relazione:

$$t_{p,min} = L_p / 62,5 \quad (L_p \text{ in mm})$$

con  $t_{p,min} \geq 8$  mm e  $\rho_k \geq 350$  kg/m<sup>3</sup> (costruzioni in legno a strato singolo)

3) per quanto riguarda le unioni tra i PANNELLI, la norma stabilisce, tra l'altro, che:

- l'interasse delle unioni realizzate con chiodi è opportuno che non superi 150 mm e la profondità minima di penetrazione deve essere pari a 8 volte il diametro del chiodo nel caso di pannelli portanti e 6 volte nel caso di pannelli non portanti;

- quando il fissaggio avviene attraverso viti, è opportuno che l'interasse massimo tra i mezzi d'unione sia pari a 250 mm;

- il gioco massimo esistente tra i bordi dei pannelli è opportuno che non superi 1 mm;

- per il legno e i pannelli a base di legno, le distanze dei mezzi di unione dai bordi è opportuno che corrispondano all'espressione di  $a_{fi}$  precedentemente illustrata;

- per gli strati multipli è consigliabile che le unioni tra i pannelli siano sfalsate di almeno 60 mm;

- ciascun pannello è opportuno che venga fissato individualmente.

4) Relativamente alle unioni tra solai e pareti la norma precisa, tra le altre cose, che il collegamento deve essere eseguito in maniera tale che eventuali soluzioni di continuità alle interfacce non debbano costituire vie di penetrazione del fuoco nella intercapedine tra pannelli e telaio ed inoltre, lo stesso eventuale cedimento dei pannelli non debba costituire via di penetrazione per il fuoco nella intercapedine di una costruzione adiacente (pericolo della propagazione).

Ad ogni modo, nel caso in cui si verificano soluzioni di continuità alle interfacce di costruzioni compartimentanti (dovute, ad esempio, a diverse deformazioni o dilatazioni) è ritenuta opportuna la sigillatura delle stesse interfacce con materiale incombustibile.

E' qui evidente lo stretto legame che la norma stabilisce tra la resistenza al fuoco degli elementi veri e propri della costruzione e la reazione al fuoco dei materiali ausiliari o di "riempimento", capaci di evitare la propagazione di un eventuale incendio ad altri compartimenti adiacenti.

#### B. ➔ TEMPI DI ROTTURA O DI CEDIMENTO DEI PANNELLI E DEI RIVESTIMENTI ISOLANTI.

La norma distingue i pannelli di legno o a base di legno dai pannelli o strati di materiale isolante.

##### a) Pannelli di legno o a base di legno.

Per il tempo di cedimento si propone la seguente relazione

$$t_{pr} = s_p / \beta_0 - t_r$$

dove  $t_r$  è un tempo prefissato e pari a 4 minuti ed  $s_p$  rappresenta lo spessore del pannello di legno (per i pannelli portanti il tempo  $t_{pr}$  è limitato dal tempo di resistenza al fuoco calcolato in base al metodo della sezione efficace).

Scendendo nel dettaglio vengono poi stabiliti, nel caso di solai esposti all'incendio dal basso, i criteri di calcolo dei tempi di cedimento in prossimità dei punti di unione tra i pannelli.

La formula generale è la seguente:

$$t_{pr} = \xi s_p / \beta_0$$

dove  $\xi$  rappresenta un coefficiente minore di 1, che tiene conto della maggiore carbonizzazione presumibilmente presente in corrispondenza delle unioni: esso pertanto varia a seconda delle tipologie di unioni.

### b) Pannelli non combustibili e strati isolanti.

Per la trattazione di tale argomento, viene innanzitutto precisato che il tempo di cedimento di rivestimenti e pannelli non combustibili rappresenta il tempo necessario per ottenere un aumento di temperatura superiore a 500 K sulla faccia non esposta.

Partendo da tale dato, l'appendice in parola offre poi al progettista la possibilità di usare alcune relazioni semplici finalizzate al calcolo del tempo di rottura sia per pannelli di cartongesso che per pannelli in materiale isolante di tipo generico.

Ad esempio, per pannelli in cartongesso a coesione migliorata alle alte temperature, conformi al PrEN 520, vengono stabiliti, in funzione dello spessore  $s_p$  dello stesso pannello, i seguenti tempi di cedimento (in minuti):

$$t_{pr} = 1,9 \xi s_p \quad \Rightarrow \quad \text{per spessore del pannello} \leq 15 \text{ mm}$$

$$t_{pr} = \xi (2,5 s_p - 9) \quad \Rightarrow \quad \text{per spessore del pannello} > 15 \text{ mm}$$

Per quanto riguarda il coefficiente  $\xi$  la norma prevede di utilizzare, nel caso di solai esposti all'incendio dal basso e ove le unioni tra i pannelli non siano fissate al telaio ligneo principale, un valore pari a 0,8 (lo stesso valore è consigliato per unioni a strato multiplo ma soltanto per le unioni esterne esposte al fuoco).

Negli altri casi è opportuno, invece, assumere direttamente un valore di  $\xi$  pari all'unità.

Nell'ipotesi in cui vengano usati materiali isolanti non combustibili che rimangono coerenti fino a 1000 °C, aventi massa volumica maggiore di 30 kg/m<sup>3</sup> e spessore maggiore di 20 mm, viene proposta la seguente espressione per il tempo di cedimento (in minuti):

$$t_{pr} = 0,07 (t_{ins} - 20) \sqrt{\rho_{ins}}$$

dove  $\rho_{ins}$  e  $t_{ins}$  rappresentano rispettivamente la massa volumica e lo spessore (in mm) del generico materiale isolante.

Gli strati isolanti o i rivestimenti, infine, è opportuno che siano fissati al telaio ligneo in modo tale da prevenire cedimenti prematuri.

### C. ➔ FUNZIONE CAPACITÀ PORTANTE E FUNZIONE COMPARTIMENTANTE.

Una volta definite le disposizioni costruttive ed i tempi di cedimento dei pannelli, la norma stabilisce l'opportunità, per la verifica della capacità portante, di utilizzare uno dei metodi di calcolo precedentemente visti (metodo della sezione efficace, metodo della resistenza e rigidezza ridotte, metodi generali), aggiungendo però che:

- i pannelli portanti non necessitano di analisi, se il loro spessore residuo è maggiore o uguale al 60% della sezione prescritta per la progettazione a temperatura ordinaria;

- nel caso in cui i pannelli siano usati per irrigidire o controventare il telaio ligneo portante, essi devono avere uno spessore residuo maggiore o uguale al 60% di quello prescritto a temperatura normale; in caso contrario il telaio deve essere sottoposto ad analisi come telaio non controventato.

Per quanto riguarda invece la caratterizzazione della funzione compartimentante dei pannelli, il metodo proposto prevede due fasi importanti. In altre parole:

1) La verifica preliminare, nel caso in cui il telaio ligneo è esposto all'incendio, che le aree delle sezioni trasversali residue degli elementi dello stesso telaio siano almeno pari al 60% delle sezioni prescritte a temperatura normale;

2) la verifica successiva che i pannelli stessi rimangano fissati al telaio ligneo dal lato non esposto.

Per quanto riguarda quest'ultimo requisito occorre, in particolare, assicurarsi che:

⇒ l'aumento di temperatura sul lato non esposto non sia maggiore di 140 K e ciò è soddisfatto, secondo la norma, solo quando:

$$(i) \quad \sum t_{pr,i} \geq t_{fi,req} + [15] \quad (\text{min})$$

dove  $t_{pr,i}$  rappresenta il tempo di cedimento del generico strato  $i$  e  $\sum t_{pr,i}$  è la somma dei tempi di cedimento di tutti gli strati;

⇒ l'aumento massimo della temperatura in un qualsiasi punto non superi 180 K e non si manifesti alcuna possibilità di penetrazione di fiamma attraverso le unioni tra i pannelli; ciò si realizza quando:

$$(ii) \quad \sum t_{pr,i} \geq t_{fi,req} + [5] \quad (\text{min})$$

dove, in questo caso, il termine  $\sum t_{pr,i}$  rappresenta la somma dei tempi di cedimento di tutti gli strati ad eccezione di quello esterno in corrispondenza del lato non esposto;

⇒ ogni strato rimosso per consentire l'installazione di eventuali impianti di servizio è opportuno che sia sostituito da uno spessore equivalente, in modo tale che:

$$(iii) \quad \sum t_{pr,i} \geq t_{fi,req} + [5] \quad (\text{min})$$

Nel caso in cui la funzione compartimentante debba essere verificata per solai esposti anche all'incendio dall'alto, è sufficiente verificare il primo dei tre criteri di cui al sopraindicato punto 2 (si considerano tutti gli

strati), ma la medesima verifica va eseguita introducendo, nel secondo termine del secondo membro della espressione (i), un tempo pari a 5 minuti (all'interno delle parentesi quadre).

In tale ultima circostanza, come specifica la norma, i tempi di cedimento possono essere aumentati del 20%

## 6. CONCLUSIONI.

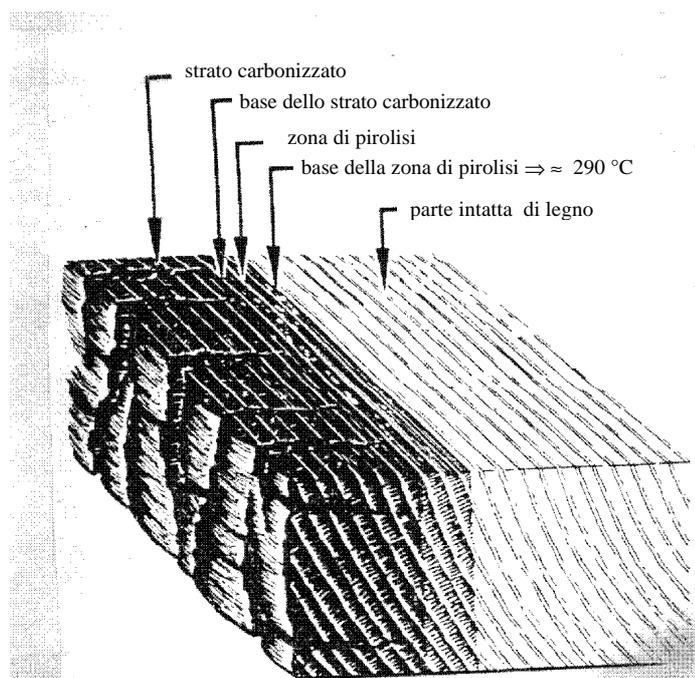
La norma europea sperimentale, pur se ancora un pò macchinosa (vi sono una grande quantità di rimandi e/o riferimenti a paragrafi e ad appendici), è senz'altro molto più dettagliata e puntuale rispetto a quella italiana.

Merita rilievo, in particolare, lo sforzo in essa presente per quanto riguarda la trattazione di argomenti complessi e finora mai affrontati come quello, ad es., della capacità portante delle unioni in presenza di incendio.

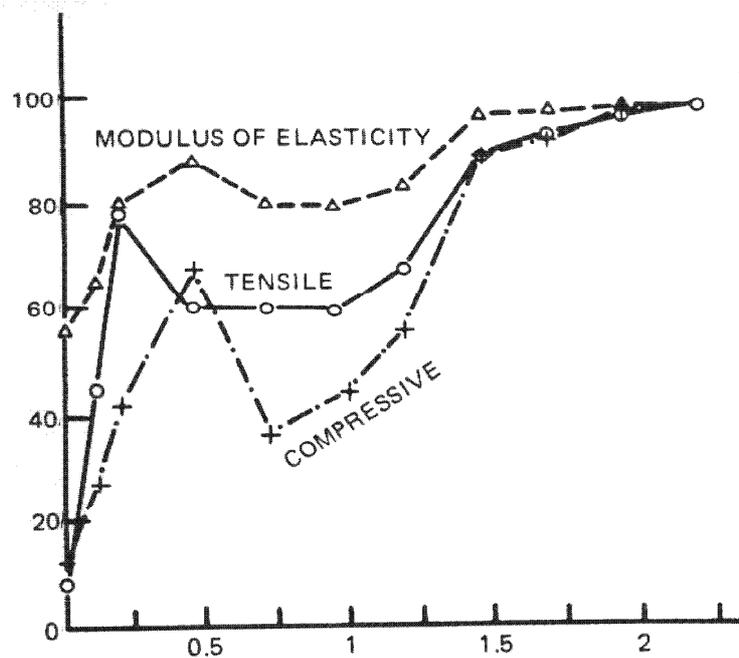
Ma il fatto certamente più importante da porre in evidenza è che, dal punto di vista tecnico, si tratta di una norma **completa**, in cui il progettista delle opere, oltre al parametro R potrà avere la possibilità di eseguire verifiche anche per quanto riguarda la caratterizzazione della funzione compartimentante (EI, vedi appendice C alla norma - Pareti e Solai).

L'autonomia offerta al progettista per quanto concerne la scelta della tipologia di metodo da adottare per il calcolo e/o la verifica della resistenza al fuoco delle strutture in legno, infine, rappresenta indubbiamente, in un ottica moderna, un grande passo in avanti nella progettazione delle opere da costruzione in presenza di incendio.

*Lamberto MAZZIOTTI*



**Zone di degradazione in una sezione di legno**

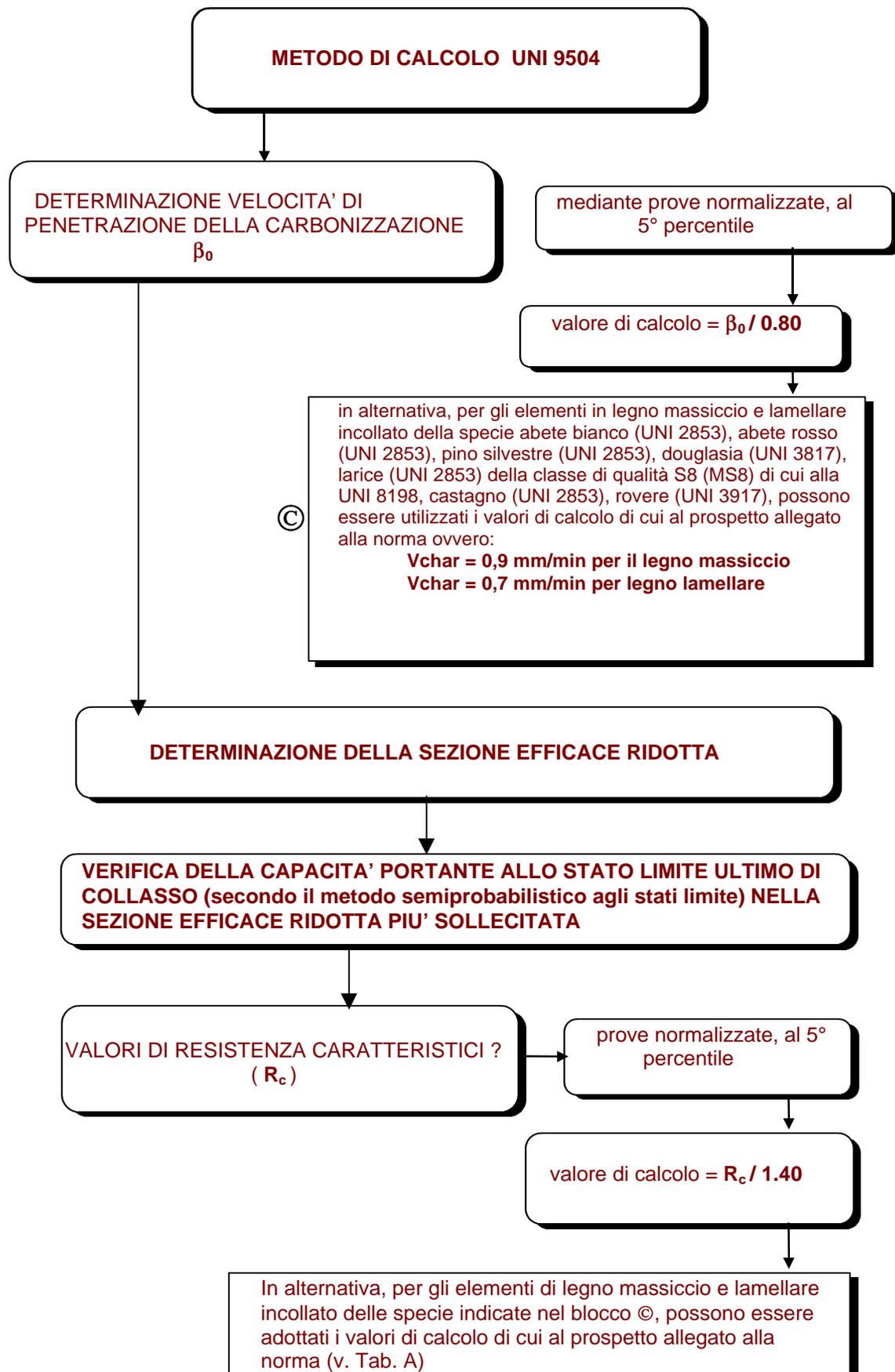


**E. L. SCHAFFER, C. M. MARX, D.A. BENDER, F. E. WOESTE, *Res. Pap. FLP 467, USDA Forest Service, Forest Product Lab., Madison (1986).***

Modulo di elasticità, resistenza a trazione e resistenza a compressione in funzione della distanza (in pollici) al di sotto dello strato carbonizzato.

I risultati dell'indagine si riferiscono a durate di esposizione al fuoco maggiori di 20 minuti. I valori sono espressi in percentuale rispetto a quelli misurati a 25°C e sono riferiti ad una umidità iniziale del legno pari al 12%.

FIG 1



## SCHEMA A

### 1) UNIONI CON CHIODI NON PROTETTI - UNIONI LEGNO-LEGNO

Per raggiungere la resistenza al fuoco R 30, posto che sia  $l_{min} = 8d$ , dove  $l_{min}$  rappresenta la lunghezza minima del chiodo (mm) e  $d$  il suo diametro, occorrerà verificare che sia:

$$h_{30} \leq \frac{[20] d}{t_1 \left(1 + \left[\frac{110}{l}\right]^4\right)} \quad \eta_{30} \leq 1$$

dove  $\eta_{30}$  rappresenta il rapporto tra carico e capacità portante a temperatura normale e  $t_1$  lo spessore degli elementi laterali in mm.

Per i chiodi che possiedono gambo elicoidale non vi è bisogno del rispetto della relazione precedente, ma occorre necessariamente che sia  $l_{min} \geq 8d$ .

### 2) UNIONI CON BULLONI NON PROTETTI - UNIONI LEGNO-LEGNO E LEGNO-ACCIAIO.

Anche in questo caso è possibile raggiungere una resistenza al fuoco R 30, ma occorre che sia:

$$h_{30} \leq [0,6] \left(1 - \frac{0,4}{\sqrt{n}}\right) \frac{t_1}{t_{1min}} \sqrt{\frac{d}{10}}$$

e' in ogni caso necessario che sia  $\eta_{30} \leq [0,6]$ .

Nella espressione precedente  $d$  è il diametro dei bulloni,  $n$  è il numero di bulloni nella intera unione,  $t_1$  è lo spessore dell'elemento laterale (mm),  $t_{1min}$  rappresenta lo spessore dell'elemento laterale prescritto per la progettazione a temperatura normale (mm).

### 3) UNIONI CON SPINOTTI NON PROTETTI - UNIONI LEGNO-LEGNO ED ACCIAIO-LEGNO.

Le regole relative valgono quando la lunghezza di spinotti del tipo non sporgente è maggiore di 120 mm o quando la lunghezza di spinotti del tipo sporgente è maggiore di 200 mm.

La resistenza al fuoco R 30 può essere raggiunta se:

$$h_{30} \leq \frac{c d}{m \left(1 + \left[\frac{110}{l'}\right]^4\right)}$$

e' in ogni caso da assicurare il fatto che  $\eta_{30} \leq 1$

Nella espressione precedente e' da intendere che:

$m = \sqrt{t_1 t_2}$  in generale e  $\mu = t_1$  nel caso si utilizzino piastre di acciaio quali elementi centrali.

Inoltre  $c = [12]$  per piastre di acciaio centrali,  $c = 6$  per elementi centrali lignei,  $l' = l$  nel caso di spinotti non sporgenti,  $l' = 0,6 l$  nel caso di spinotti sporgenti ( $t_1 =$  spessore elementi laterali in mm,  $t_2 =$  spessore elementi centrali in mm,  $l =$  lunghezza totale dello spinotto)

### 4) CONNETTORI.

Quando i connettori risultano assicurati con chiodi ad aderenza migliorata del tipo non protetto, ma aventi  $l > 8 d$ , viene garantita una R 30 anche per  $\eta_{30} = 1$ .

Quando i connettori risultano assicurati con bulloni non protetti, per R 30 occorre che sia:

$$h_{30} \leq \frac{[0,25] t_1}{t_{1, min}}$$

dove  $t_1$  rappresenta lo spessore degli elementi laterali e  $t_{1min}$  è lo spessore minimo degli elementi laterali prescritto nella progettazione a temperatura ordinaria.

In ogni caso occorre che sia  $\eta_{30} \leq [0,60]$ .

## SCHEMA B

### 5) UNIONI CON PIASTRE DI ACCIAIO.

La norma prevede l'uso di piastre di acciaio, quali elementi centrali, aventi spessore minimo di 2 mm.

Viene poi distinto il caso in cui tali piastre non sporgano oltre la superficie di legname dal caso in cui la larghezza della piastra è minore di quella dell'elemento ligneo che unisce.

Nel caso in cui la larghezza della piastra non sporga oltre quella dell'elemento ligneo (dimensioni uguali), le larghezze delle piastre devono rispettare le condizioni riportate nel seguente prospetto:

		$b_s$
<b>Bordi non protetti in generale</b>	<b>R30</b>	$\geq 200 \text{ mm}$
	<b>R60</b>	$\geq 250 \text{ mm}$
<b>Bordi non protetti su 1 o 2 lati</b>	<b>R30</b>	$\geq 120 \text{ mm}$
	<b>R60</b>	$\geq 280 \text{ mm}$

Quando la larghezza della piastra, avente spessore non maggiore di 3 mm, è minore di quella dell'elemento ligneo, la norma considera la piastra come protetta "mediante rientranze", associando a tale protezione anche una conseguente resistenza al fuoco. Vengono altresì contemplati i casi di protezione mediante linguette incollate e protezione con pannelli a base di legno.

