

# Strategie di progettazione per la resistenza al fuoco di elementi strutturali in legno

---

**Rossano Albatici**, Professore associato presso l'Università di Trento;

**Alessia Gadotti**, Dottoranda ricercatrice presso l'Università di Trento;

**Roberto Modena**, Ingegnere responsabile ufficio tecnico di RUBNER Holzbau S.p.A. Bressanone

Il legno è un materiale combustibile: tale proprietà ha spesso contribuito a generare dubbi ed equivoci sulla possibilità di un suo utilizzo in edilizia (per elementi strutturali e non) a causa di una presunta inadeguatezza a garantire la resistenza al fuoco delle opere di cui è parte. Al contrario, gli edifici con struttura in legno garantiscono livelli prestazionali di sicurezza paragonabili agli edifici realizzati con altri materiali, purché siano adottate scelte progettuali idonee. Negli ultimi decenni, diversi gruppi di lavoro, sia a livello italiano sia europeo, hanno condotto numerose attività di ricerca sul comportamento al fuoco delle strutture in legno, volte a fornire dati e informazioni di base per un uso corretto di questo materiale. Le attuali conoscenze, sviluppate sulla base di test e di modellazioni con software dedicati, hanno contribuito a migliorare l'approccio alla progettazione al fuoco delle strutture lignee, anche in diretta correlazione con lo sviluppo di tecniche innovative. In generale, la prevenzione e la sicurezza in caso di incendio sono garantite da un insieme integrato di misure di protezione di tipo attivo e passivo. La protezione attiva definisce quell'insieme di misure adottate al fine di ottenere lo spegnimento dell'incendio nella sua fase iniziale. Esempi in tal senso sono i sistemi di rivelazione automatica e di allarme, gli evacuatori di fumo, gli idranti e gli impianti di estinzione o sprinkler. La protezione passiva invece costituisce quell'insieme di misure adottate al fine di ridurre al minimo i danni dell'edificio durante la fase di incendio generalizzato, e si basano sui principi di resistenza al fuoco, reazione al fuoco e compartimentazione dell'edificio. Partendo dalla conoscenza degli aspetti fondamentali del comportamento di un elemento strutturale in legno soggetto a incendio, se ne può comprendere l'effettiva capacità di resistenza al fuoco e quindi la vasta possibilità di impiego in sicurezza in un campo di applicazioni molto ampio.

## Comportamento al fuoco delle strutture in legno

La combustione del legno avviene dalla superficie verso l'interno della sezione esposta e la demolizione del materiale procede con velocità pressoché costante. Il processo di carbonizzazione<sup>1</sup> è molto lento, con velocità comprese in un intervallo di 0,55-1,0 mm/min a seconda della specie legnosa, della densità e del tipo di materiale o prodotto a base di legno, tanto da poter definire dei valori costanti normalizzati per conifere e latifoglie (**Tabella 1**).

---

<sup>1</sup> La carbonizzazione è quel processo per cui lo strato esterno dell'elemento ligneo raggiunge la temperatura di ignizione e comincia a bruciare. In questa reazione chimica, la combustione consuma tutto l'ossigeno e l'idrogeno, lasciando uno strato composto solo da carbonio.

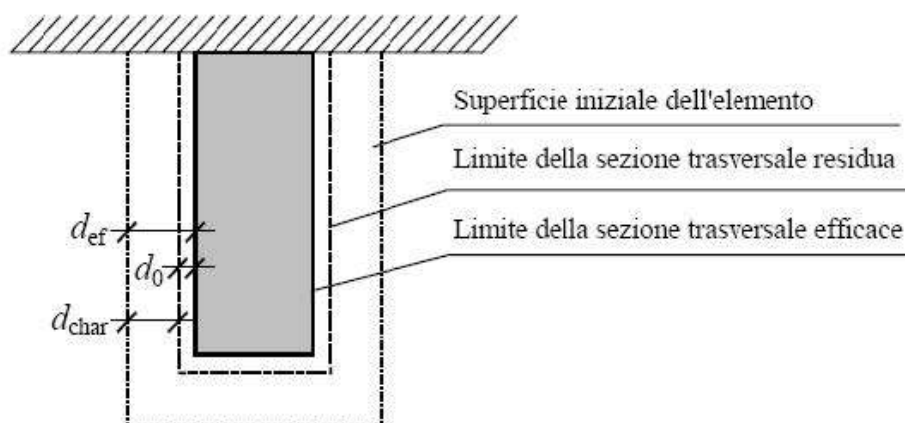
Il legno mantiene praticamente inalterate le sue caratteristiche meccaniche fino a temperature dell'ordine di 110-120 °C. Inoltre, è un pessimo conduttore di calore e lo strato di carbone che si forma sulla superficie esposta al fuoco “protegge” dall’attacco termico la massa sottostante. La perdita di efficienza di una struttura in legno avviene quindi non per decadimento delle proprietà meccaniche ma per riduzione della sezione utile fino a quando non riesce più ad assolvere il compito per il quale è stata dimensionata.

	$\beta_0$ [mm/min]	$\beta_n$ [mm/min]
a) Conifere e faggio		
Legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Legno massiccio con massa volumica caratteristica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
b) Latifoglie		
Legno massiccio o lamellare incollato con massa volumica caratteristica pari a $290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Legno massiccio o lamellare con massa volumica caratteristica $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
c) LVL con massa volumica caratteristica $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
d) Pannelli		
Rivestimenti in legno	0,9 <sup>a</sup>	-
Compensato	1,0 <sup>a</sup>	-
Pannelli a base di legno diversi dal compensato	0,9 <sup>a</sup>	-
<sup>a</sup> I valori si applicano a una massa volumica caratteristica di $450 \text{ kg/m}^3$ e a uno spessore del pannello di 20 mm. Per altri spessori e masse volumiche, vedere punto 3.4.2(9) della norma		

**Tabella 1** - Velocità di carbonizzazione di progetto  $\beta_0$  e  $\beta_n$  per legno, LVL, rivestimenti di legno e pannelli a base di legno, in conformità alla norma UNI EN 1995-1-2 [1].

Per quanto riguarda il problema della resistenza al fuoco degli elementi di legno e della struttura lignea, il metodo da normativa si basa sul calcolo di una sezione efficace ottenuta riducendo la sezione iniziale di una profondità di carbonizzazione “effettiva”. La sezione trasversale di un elemento strutturale ligneo, ipotizzato esposto al fuoco su tre lati, può essere schematizzata come riportato in **Figura 1**, nella quale si può distinguere:

- una zona carbonizzata di larghezza soggetta a temperature superiori a 300 °C, priva di qualsiasi resistenza residua ( $d_{char}$ );
- una zona di transizione, di larghezza  $d_0$  con temperature comprese fra 120 e 280 °C e proprietà meccaniche assai inferiori, seppur non nulle, rispetto a quelle iniziali. In questa zona, detta zona di pirolisi, l’aumento di temperatura causa la decomposizione del legno;
- una sezione efficace residua nella quale le temperature sono tali da poter ritenere che il materiale conservi inalterate le proprie caratteristiche di resistenza e di rigidezza.



**Figura 1** – Schematizzazione degli effetti dell'esposizione al fuoco sulla sezione trasversale di un elemento strutturale in legno.

La sezione residua si calcola riducendo la sezione iniziale su ogni lato esposto al fuoco della profondità effettiva di carbonizzazione secondo la seguente equazione:

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 \cdot d_0 = \beta_0 \cdot t_{fi,req} + k_0 \cdot d_0$$

con  $\beta_0$  velocità di carbonizzazione

$t_{fi,req}$  tempo di resistenza al fuoco richiesta (min)

$k_0$  coefficiente di protezione (pari a 1,0 per superfici non protette)

$d_0$  7 mm.

La resistenza degli elementi di legno dipende, quindi, dalla geometria residua sia per gli elementi inflessi (travi e solette) che per quelli prevalentemente compressi (pilastri e pareti). Nel caso degli elementi compressi la resistenza dipende però anche dalla snellezza della sezione ridotta, che può essere sostanzialmente maggiore della sezione originale. È stato verificato come la riduzione di resistenza in sezioni tozze (rapporto base/altezza elevato) esposte al fuoco sia meno accentuata rispetto a quelle snelle (rapporto base/altezza ridotto). Tale fenomeno richiede particolare attenzione quando siano da considerare stati limite ultimi conseguenti a instabilità dell'equilibrio: ad esempio, nel caso di una colonna esposta al fuoco su quattro lati, a una perdita di sezione resistente corrisponde un aumento della snellezza e un maggior rischio di instabilità.

Tale schematizzazione della sezione resistente residua è stata ed è tuttora alla base delle normative di settore relative alle strutture in legno, ed è applicata sia ai criteri di progettazione e di verifica (UNI EN 1995-1-2 [1]) sia alla valutazione del contributo al carico d'incendio (Circolare Prot. P414/4122 sott. 55 del 28 marzo 2008 in applicazione del DM 09.03.2007 [2]). La procedura di valutazione del carico di incendio associato alle strutture portanti in legno, secondo la Circolare, si compone di tre fasi:

- determinazione della classe del compartimento prescindendo inizialmente dalla presenza degli elementi strutturali in legno;

- calcolo dello spessore di carbonizzazione degli elementi lignei corrispondente alla classe determinata adottando come valori di riferimento della velocità di carbonizzazione quelli contenuti nell'Eurocodice 5 parte 2;
- determinazione definitiva della classe di compartimento, tenendo anche conto del carico d'incendio specifico relativo alle parti di elementi lignei corrispondenti allo spessore di cui al punto precedente, che hanno partecipato alla combustione.

Nella definizione del carico di incendio in presenza di elementi portanti in legno, si deve quindi tener conto, oltre al materiale combustibile depositato all'interno del compartimento, anche degli elementi strutturali lignei ivi presenti, valutandone il contributo in funzione dello spessore del materiale esposto che effettivamente può carbonizzare durante l'evento.

## Resistenza e reazione al fuoco

Al fine di garantire la sicurezza in caso di incendio, vanno indagati gli aspetti legati alla reazione e alla resistenza al fuoco di ogni singolo componente costruttivo.

La reazione al fuoco è definita come il grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco al quale è esposto. È una proprietà del materiale che dipende dalla sua stessa natura ed, eventualmente, dal trattamento superficiale. I materiali sono classificati, in accordo con la norma UNI EN 13501-1 [3], nelle Euroclassi di reazione al fuoco A1, A2, B, C, D, E e F in maniera crescente all'aumentare della loro partecipazione alla combustione, più delle classi aggiuntive per la produzione di fumo (s1, s2, s3) e per il rilascio di particelle infiammabili (d0, d1, d2) (**Tabella 2**). Molti prodotti a base legno hanno caratteristiche di reazione al fuoco di tipo D-s2, d0, con una produzione di fumo non elevata e nessun gocciolamento o caduta di materiale ardente. Un incremento delle prestazioni è possibile ricorrendo a soluzioni costruttive che presentano appropriati rivestimenti, quali materiali isolanti, lastre di cartongesso, etc.

La resistenza al fuoco è definita dal DM 09/03/2007 [4] come la capacità portante in caso di incendio per un elemento strutturale, nonché la capacità di compartimentazione rispetto all'incendio per un elemento di separazione. Essa è una proprietà del manufatto e non dei materiali che lo compongono; dipende infatti dalla geometria, dai carichi agenti e dalle condizioni di esposizione. Alle strutture portanti generalmente è richiesto il solo requisito R di capacità portante e stabilità, mentre agli elementi di compartimentazione sono richiesti anche i requisiti di tenuta E, ossia la proprietà di un elemento a non lasciar passare vapori o gas caldi sul lato non esposto, e di isolamento I, ossia la capacità di ridurre la trasmissione di calore.

Il metodo di verifica per gli elementi di separazione è presentato nell'Appendice E della norma UNI EN 1995-1-2 e consiste nell'accertamento che il tempo impiegato perché si verifichino gli incrementi di temperatura sul lato non esposto sia uguale o maggiore alla resistenza al fuoco richiesta per la loro funzione di compartimentazione. L'isolamento del componente dipende dal comportamento al fuoco dei singoli strati che compongono la stratigrafia del pacchetto, così come dalla loro posizione relativa e dalla modalità di giunzione. Secondo la UNI EN 1995-1-2, ad esempio, un rivestimento della parete con un pannello di cartongesso standard da 15 mm di spessore, se posato con un'intercapedine vuota superiore ai 2 mm di spessore, fornisce una resistenza al fuoco di 19 minuti; se l'intercapedine è di 4 cm ed è riempita con lana di roccia, tale valore aumenta fino a 35 min, secondo calcoli effettuati con il metodo migliorato dalla guida

*“Fire safety in timber building. Technical guideline for Europe”* (già datata 2010 ma purtroppo ancor poco conosciuta in Italia) [5]. Pertanto, nell’ottica di operare una buona progettazione, occorre valutare il comportamento al fuoco non solo delle strutture portanti ma anche dei materiali di finitura.

Oltre ai criteri di verifica degli elementi strutturali lignei, va affrontato il tema della resistenza al fuoco dei collegamenti, in particolare per quelli realizzati con mezzi di unione in acciaio. Essi vanno considerati infatti come parte fondamentale della struttura, ancor più in caso di incendio, poiché l’elemento metallico e/o la parte metallica in esso presente costituiscono una possibile via di trasmissione del calore all’interno della sezione lignea e possono presentare delle deformazioni a caldo, incompatibili con la statica del resto della struttura. In generale, saranno quindi da preferirsi collegamenti protetti, realizzati attraverso l’uso di elementi metallici inseriti a scomparsa all’interno dell’elemento o attraverso l’applicazione di sistemi di protezione (pannelli, tappi di legno incollati o chiodi di fissaggio), in modo tale da risultare opportunamente protetti dall’esposizione diretta al fuoco per il tempo necessario a garantirne la resistenza richiesta.

Materiale	Standard prodotto	di	Densità minima [kg/m <sup>2</sup> ]	Spessore minimo [mm]	Classe reazione	di	Classe resistenza (pavimento)	di
Legno strutturale	EN 14081		350	22	<b>D-s2, d0</b>	-		
Legno lamellare	EN 14080		380	40	<b>D-s2, d0</b>	-		
Pannelli di particelle	EN 312		600	9	<b>D-s2, d0</b>		<b>D<sub>FL</sub>-s1</b>	
Pannelli di fibre, duri	EN 622-2		900	6	<b>D-s2, d0</b>		<b>D<sub>FL</sub>-s1</b>	
Pannelli di fibre, medi	EN 622-3		600	9	<b>D-s2, d0</b>		<b>D<sub>FL</sub>-s1</b>	
			400	9	<b>E</b>		<b>E<sub>FL</sub></b>	
Pannelli MDF	EN 622-5		600	9	<b>D-s2, d0</b>		<b>D<sub>FL</sub>-s1</b>	
Pannelli di fibre e cemento	EN 634-2		1000	10	<b>B-s1,d0</b>		<b>B<sub>FL</sub>-s1</b>	
Pannelli OSB	EN 300		600	9	<b>D-s2, d0</b>		<b>D<sub>FL</sub>-s1</b>	
Plywood	EN 636		400	9	<b>D-s2, d0</b>		<b>D<sub>FL</sub>-s1</b>	
Pannelli in legno massiccio	EN 13353		400	12	<b>D-s2, d0</b>		<b>D<sub>FL</sub>-s1</b>	

**Tabella 2** – Classi di reazione al fuoco dei materiali strutturali e dei pannelli a base legno.

## Approcci di progetto per la sicurezza antincendio

Si possono distinguere due approcci fondamentali, emersi nei confronti della tematica della sicurezza antincendio negli edifici in legno:

- la protezione da strato sacrificale di carbonizzazione;
- la protezione da isolamento e rivestimento degli elementi.

Il primo approccio si avvale del principio della sezione efficace residua come base per la progettazione: il legno viene lasciato esposto, prevedendo uno strato sacrificale che agisce come strato protettivo al fuoco. Utilizzando valori di carbonizzazione derivati da prove di incendio, lo spessore di questo strato sacrificale può essere dimensionato in modo da garantire la resistenza al fuoco appropriata per proteggere la struttura da collasso. Assumendo ad esempio una velocità di carbonizzazione pari a 0,70 mm/min per il legno lamellare, uno spessore aggiuntivo di circa 40 mm è equivalente ad una resistenza al fuoco di 60 min. La protezione garantita dallo strato di carbonizzazione può essere associata ad altri sistemi protettivi usati sui materiali non-combustibili, come ad esempio gli spray protettivi e le vernici ignifughe, ma rispetto a questi risulta più affidabile in quanto inerente al materiale stesso. Le protezioni applicate, infatti, possono subire le conseguenze di una non adeguata adesione e quindi di un loro spostamento. Richiedono inoltre una manutenzione costante.

L'approccio alternativo, e più conservativo, consiste nel proteggere gli elementi strutturali con un numero sufficiente di strati di materiale non combustibile (solitamente lastre di cartongesso o pannelli cementizi prefabbricati) e di materiale isolante all'interno delle intercapedini di contropareti o facciate ventilate. Ciò comporta che gli elementi lignei strutturali non siano sottoposti a carbonizzazione e quindi non contribuiscano al carico d'incendio, a differenza di ciò che avviene nell'approccio precedente.

Le ragioni dell'esistenza di questi due approcci sono da ricercare in questioni di tipo architettonico, dettate dalla volontà di lasciar il materiale a vista. Uno dei punti a favore dell'utilizzo del legno in edilizia è infatti la sensazione visiva che il materiale stesso trasmette, sensazione negata però da precauzioni antincendio di tipo tradizionale. D'altra parte, progetti basati sull'isolamento e sul rivestimento degli elementi presentano minori costi e una maggiore accettazione da parte delle autorità.

Nel lungo termine, dato anche il crescente interesse verso la realizzazione di edifici "green", l'approccio basato sull'esposizione degli elementi lignei a vista acquisirà sempre maggiore importanza e verrà riconosciuto come idoneo per la progettazione di sistemi costruttivi sicuri e sostenibili. Tuttavia, a breve termine si continueranno probabilmente a utilizzare lastre in gesso o sistemi equivalenti per la protezione di elementi strutturali, fino a quando nuove tecnologie permetteranno di indagare e quantificare in maniera più decisa le performance e quindi consentiranno di sviluppare strategie progettuali con le quali sfruttare l'espressività del materiale, pur garantendo la sicurezza in caso di incendio.

## Alcuni test eseguiti

Uno studio condotto a Berna e Zurigo, Svizzera, è giunto alla conclusione che non vi sono differenze in termini di danni alla struttura provocati da un incendio per un edificio in legno se paragonato a costruzioni con materiali incombustibili. I test condotti nell'agosto del 2000

dall'Istituto di Ingegneria Strutturale dell'ETH di Zurigo hanno riguardato un reale edificio a destinazione hotel. Il carico d'incendio è stato riprodotto con pallets in legno posti all'interno dell'edificio modulare e un materasso in schiuma PU. Sono stati utilizzati da uno a tre strati di lastre di gessofibra come protezione passiva e l'impianto sprinkler è stato disattivato. Per queste configurazioni il carico d'incendio è stato stimato pari a  $366 \text{ MJ/m}^2$ . Un test in particolare è risultato in un completo *burn-out* al piano inferiore, senza danni significativi alla struttura portante né propagazione delle fiamme ai piani superiori. Tali test hanno quindi confermato che è possibile limitare la propagazione dell'incendio ad un compartimento solo con misure passive [6].

Nel marzo 2007 IVALSA, Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree del Consiglio Nazionale delle Ricerche, con il sostegno della Provincia Autonoma di Trento, ha effettuato una prova con la simulazione di un incendio su un edificio residenziale di tre piani, all'interno del Progetto SOFIE, presso il Building Research Institute di Tsukuba, in Giappone (**Figura 2**). L'edificio era realizzato in legno con sistema X-LAM rivestito da lastre in gessofibra tradizionali. L'edificio ha conservato le sue proprietà meccaniche e la struttura portante non ha subito alterazioni. All'interno della stanza la temperatura ha raggiunto  $1.200 \text{ }^\circ\text{C}$  mentre nelle stanze attigue non ha mai superato i  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  [7]. Le fiamme infatti sono fuoriuscite dalle finestre, hanno lambito le pareti esterne, ma non si sono minimamente propagate nelle camere accanto e negli altri piani. La simulazione d'incendio ha dimostrato che questa tipologia edilizia può resistere a un incendio della durata di un'ora conservando le sue proprietà meccaniche e lasciando inalterata la propria struttura portante, senza causare serio pericolo per gli occupanti, con prestazioni del tutto paragonabili a quelle di edifici in muratura o cemento armato.



**Figura 2** – La prova con la simulazione di un incendio su una casa Sofie (fonte: Progetto SOFIE – CNR Ivalsa [www.progettotosofie.it](http://www.progettotosofie.it)).

## Progetti esemplari

Per concludere, si riportano a titolo di esempio due recenti realizzazioni di edifici multipiano a struttura portante in legno, illustrando le strategie di progettazione applicate per la resistenza al fuoco. Il primo progetto è un complesso abitativo di 9 piani, lo STADTHAUS di Murray Grove a Londra, progettato dall'architetto Waugh Thistleton e realizzato in pannelli multistrato in legno [8]. Il secondo è l'E3 di Berlino: un edificio residenziale di 7 piani (23 m) con struttura a telaio e controventature in legno lamellare e solai composti legno-calcestruzzo.

Progetto:	E3, Berlino	Edificio a Murray Grove, Londra
		
<b>Progetto per la sicurezza antincendio</b>	Protezione delle pareti con lastre di gessofibra e isolanti minerali.	Protezione delle pareti con lastre di gessofibra e isolanti minerali e sovradimensionamento degli elementi lignei strutturali.
<b>Compartimentazione</b>	Ogni piano ha 2 compartimenti: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 unità abitativa</li> <li>- zona di circolazione verticale</li> </ul>	Ogni piano ha 5 compartimenti: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 unità abitative</li> <li>- zona di circolazione verticale</li> </ul>
<b>Resistenza al fuoco</b>	Dimensionamento degli elementi strutturali per una resistenza di 30 min	Dimensionamento dei pannelli strutturali certificati per una resistenza di 30 min (pannelli a 3 strati)
<b>Realizzazione delle vie di evacuazione</b>	Scale antincendio esterne all'edificio, realizzate in acciaio. Due vie di fuga (ridondanti) a distanza < 13m.	Classe di resistenza: R 120 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Doppia lastra di gessofibra 2x12.5 mm (60 min)</li> <li>- Lana minerale 60 mm</li> <li>- Pannello X-LAM 128 mm (30 min)</li> <li>- Lana minerale 40 mm</li> </ul>

		- Pannello X-LAM 117 mm (30 min)
<b>Pareti interne</b>	Classe di resistenza: R 90 - Doppia lastra di gessofibra 2x18 mm (60 min)	Fra le diverse unità abitative (90 min): - Doppia lastra di gessofibra 2x12.5 mm (60 min) - Pannello X-LAM 128 mm (30 min)
<b>Pareti esterne</b>	Classe di resistenza: R 60 - Intonaco minerale 8 mm - Lana minerale - Lastra in gessofibra 18 mm (30 mm)	Non combustibile (classe A): - Pannelli cementizi prefabbricati - Lana minerale
<b>Sistemi attivi</b>	Sensori di allarme, di rilevazione del fumo	N/A

Esempi come questi sono sempre più numerosi, sia in Europa, in Paesi quali la Svizzera, l'Austria, la Norvegia, la Francia, sia anche all'esterno dell'area europea (*Forté Living* in Australia, *Tall Wood* in Canada per esempio) ove si sono moltiplicati negli ultimi anni i progetti di edifici multipiano con soluzioni strutturali in legno [9]. Anche in Italia esistono delle realizzazioni di questo tipo: tra gli edifici più significativi si possono ricordare il complesso residenziale di Via Cenni a Milano, il rifacimento di Palazzo Giustinelli a Trieste e il resort Marina Verde a Caorle (**Figura 3**).



**Figura 3** – Esempi di edifici multipiano in Italia. A sinistra Palazzo Giustinelli a Trieste, a destra il resort Marina Verde a Caorle (VE). Entrambi gli edifici adottano una soluzione strutturale a travi e pilastri in legno lamellare con pareti esterne ed interne a telaio in legno (fonte: RUBNER Holzbau S.p.A.).

## Riferimenti

- [1] UNI EN 1995-1-2:2005. *Progettazione delle strutture di legno – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio.*
- [2] Lettera Circolare del Ministero Dell'Interno. *Prot. N. P414/4122 Sott. 55 del 28 Marzo 2008 in applicazione del D.M. del 9 Marzo 2007.*
- [3] UNI EN 13501-1:2009. *Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione - Parte 1: Classificazione in base ai risultati delle prove di reazione al fuoco.*
- [4] Decreto Ministeriale del 9 Marzo 2007. *Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei vigili del fuoco.*
- [5] B. Östman, E. Mikkola, R. Stein e A. Frangi, *Fire Safety in Timber Buildings: Technical Guideline for Europe*, Stoccolma: Birgit Östman, SP Trätek, 2010.
- [6] A. Frangi, M. Fontana e M. Knobloch, «Fire Design Concepts for Tall Timber Buildings,» *Structural Engineering International*, vol. 18, n. 2, 2008.
- [7] CNR-IVALSA, «SOFIE project - fire test March 2007,» 2015. [Online]. Available: <http://www.ivalsa.cnr.it/en/photo-video/video/progetto-sofie-test-al-fuoco-2007.html>. [Consultato il giorno 22 04 2016].
- [8] M. Wells, «Stadthaus, London: raising the bar for timber buildings,» *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, vol. 164, n. CE3, p. 122–128, 2011.
- [9] BSLC, «Summary Report: Survey of International Tall Wood Buildings,» Binational Softwood Lumber Council, Surrey, Canada, 2014.