

CASI LIMITE DI PREVENZIONE INCENDI



Resistenza al fuoco, normalizzata e reale, di strutture in legno

Incendio reale, carbonizzazione e autospegnimento richiedono un approccio prestazionale basato sugli scenari e sulla valutazione del rischio

DI LIVIO IZZO E PAOLO RECALCATI*

Il legno è un materiale che, per alcune sue caratteristiche importanti (per esempio ottimo rapporto tra caratteristiche di resistenza e densità) è sempre più utilizzato per realizzare strutture portanti. Ma è un materiale organico che brucia. La sua reazione al fuoco, tuttavia, non è uniforme e dipende fortemente dalla geometria e dalla densità dell'elemento. Se scoppia un incendio in un edificio con struttura portante in legno, e non si interviene per spegnerlo, il fuoco consumerà i materiali combustibili presenti nel compartimento (il carico d'incendio) e, perdurando l'incendio, intaccherà anche la struttura in legno. L'assunzione popolare è che, in assenza di estinzione, il legno strutturale bruci fino alla sua completa consumazione, portando inevitabilmente al crollo. Questa prospettiva, tuttavia, ignora il meccanismo di autospegnimento che può intervenire a determinate condizioni, soprattutto nelle strutture massive. Infatti, lo sviluppo dell'incendio nel legno porta a uno strato di carbonizzazione nella zona intaccata dalle fiamme che funge da isolante per le parti più interne della struttura.

IL RUOLO DELLA MASSIVITÀ E DELL'AUTOSPEGNIMENTO

La persistenza della combustione in un edificio con struttura portante in legno, dopo l'esaurimento del carico d'incendio, dipende cri-

ticamente dalla massa dell'elemento strutturale:

- **Strutture in legno leggero (es. Light Frame):** nelle strutture con elementi a sezione ridotta, lo sviluppo dello strato carbonizzato (*char*) può avvenire rapidamente. La sezione residua non protetta si consuma in tempi brevi a causa dell'elevata superficie esposta rispetto alla massa, e la combustione tende a persistere fino alla consumazione. L'autospegnimento è, in questi casi, un'ipotesi più difficile da sostenere.
- **Strutture in legno massivo (es. X-Lam, legno lamellare incollato):** nelle strutture con grandi sezioni (come quelle richieste per i pilastri degli edifici multipiano), il processo è diverso:
- **isolamento protettivo:** la combustione iniziale crea uno strato di carbone sulla superficie. Questo strato, come anticipato, agisce come un eccellente isolante termico, con una conducibilità notevolmente inferiore rispetto al legno non combusto sottostante;
- **cessazione della fiamma:** una volta che il carico d'incendio principale si è esaurito, il flusso di calore radiante ambientale diminuisce drasticamente. A questo punto, il calore prodotto dalla pirólisi del legno non è più sufficiente a superare la dissipazione termica, portando alla cessazione della fiamma (autospegnimento fiammeggiante);

- **soglia critica:** l'autospegnimento si verifica se il flusso di calore incidente sulla superficie scende al di sotto di una soglia critica necessaria per la propagazione continua della fiamma in quelle specifiche condizioni.

L'ASPETTO NORMATIVO

Ai tempi della circolare 91 dei VVFF, base per decenni di progettazione antincendio, il focus era sul "carico d'incendio", cioè sulla energia complessiva che l'incendio di tutto un compartimento poteva generare per effetto di tutti i materiali combustibili presenti: "Il carico di incendio è espresso dalla quantità equivalente di legno per m², che si ottiene dividendo per 4400 (potere calorifico superiore del legno), il numero di calorie per unità di superficie orizzontale del locale, o del piano considerato, che al massimo si possono sviluppare per effetto della combustione di tutti i materiali...". Per quanto sopra, una struttura doveva resistere fino alla consumazione di tutto il carico d'incendio, così come una trave deve sopportare tutto il carico gravitazionale e non solo una parte (quindi anche il peso proprio...). Secondo questo approccio è chiaro che la struttura in legno, che non è inerte, contribuisce al carico d'incendio. Per puri scopi di confronto e normalizzazione, questo "carico" si tramutava in kg di legna equivalente e così si arrivava a una R che esprimeva i minuti in cui una struttura doveva rimanere resistente fino alla consumazione del

carico: "Il numero indicativo di ogni classe esprime il carico di incendio virtuale in kg/m² di legna standard. Detto numero indicativo esprime anche in minuti primi la durata minima di resistenza al fuoco da richiedere alla struttura o all'elemento costruttivo in esame". È chiaro che una simile impostazione era un po' grossolana: infatti non teneva assolutamente conto che l'incendio, secondo le attuali NTC 2018 § 2.5.1.3., al pari delle esplosioni, degli urti e degli impatti, è considerata una azione eccezionale per un edificio per cui non è assolutamente necessario dimensionare le strutture affinché siano in grado di rimanere operative anche durante tutto l'evento eccezionale, come se si trattasse di un normale esercizio. Inoltre, le condizioni reali dello sviluppo dell'incendio sono le più varie in funzione di mille fattori come la presenza di ventilazione, l'umidità, le superfici esposte etc. Quindi, con le nuove normative strutturali, per gli eventi eccezionali, come d'altronde per il sisma, si considera per le strutture non più un solo stato limite ultimo ma bensì un set di possibili SLU che, nel caso dell'incendio, sono graduati in funzione dei rischi "vita, beni e ambiente". In funzione di questi rischi, poi, si determina il valore, più severo tra i tre, della azione "Ad" da considerare nella combinazione di azioni della formula 2.5.6 del § 2.5.3. delle NTC 2018 e cioè la sollecitazione complessiva cui devono resistere le strutture in condizioni di sicurezza.

L'azione Ad si esprime quindi con un incendio (convenzionale o di progetto) e con un tempo che, a loro volta, sono in relazione col carico di incendio presente. Passato o terminato l'incendio (come anche, per esempio, un terremoto) può essere probabile, e per alcune tipologie edilizie quasi sicuro, che l'edificio debba essere demolito oppure che sia crollato da solo. Per quanto riguarda l'evento incendio, se trattasi di incendio importante, le tipologie edilizie strutturali per cui questo fatto è quasi certo sono appunto quelle realizzate in legno, quelle realizzate in acciaio e quelle realizzate con elementi snelli in cemento armato precompresso. Era inevitabile, quindi, una normalizzazione di questo concetto e, quindi, si è normalizzato il carico, prendendo il così detto "Incendio Standard" e si è normalizzata la domanda e la risposta: la domanda, cioè di quanti minuti di incendio standard si vuole disporre in sicurezza, si stabilisce con metodi di valutazione del rischio e la risposta si stabilisce con prove normalizzate (fisiche o analitiche). Questa metodologia, che stabilisce per quanto tempo un compartimento di un edificio (o l'intero edificio se è un unico compartimento) debba resistere, prende in considerazione molti aspetti di un edificio tra cui, ovviamente, il carico di incendio ma anche il numero dei piani interrati, di quelli fuori terra, le dimensioni del compartimento, le uscite di sicurezza, i

Condizioni che contrastano l'autospegnimento

È fondamentale sottolineare che l'autospegnimento non è un fenomeno garantito. La combustione può persistere in presenza di:

- **Elevato flusso di calore residuo:** l'ambiente circostante o le strutture adiacenti continuano a irradiare calore sulla superficie del legno, mantenendo la pirólisi attiva.
- **Distacco dello strato di carbone (Char Fall-Off):** se lo strato protettivo di carbone si distacca, espone il legno vergine sottostante, che riprende rapidamente la pirólisi e la combustione attiva.
- **Combustione lenta (Smoldering):** nelle giunzioni o in aree a limitata dissipazione di calore, può innescarsi e persistere una combustione lenta senza fiamma, che consuma lentamente l'elemento strutturale e rappresenta un rischio di riaccensione.

presidi di sicurezza attivi e passivi da predisporre, i percorsi per l'evacuazione etc. Quindi il parametro del carico di incendio è solo uno di quelli che dimensionano il valore della resistenza al fuoco e **sicuramente** oggi non è più vero che deve essere tale da garantire che il manufatto resista fino al termine dell'incendio. Determinato quindi il valore in tempo di resistenza al fuoco occorre che il materiale che compone la struttura sia in grado di sopportare i carichi fino a quei minuti, con la combinazione di azioni della formula 2.5.6 del § 2.5.3. delle NTC 2018.

In pratica, prendendo p.e. un pilastro in legno, la domanda diventa: se mettiamo questo pilastro (realmente o analiticamente) in un forno dove la temperatura sale secondo una curva tempo/temperatura standard, resiste (p.e.) 180 minuti se soggetto alla combinazione di azioni di progetto? Se la risposta è sì, abbiamo finito, se la risposta è no, si aumenta la dimensione del pilastro fino a quando ce la fa (questo vale concettualmente per tutti i materiali strutturali). E non c'è pericolo che si entri in un loop perché nel carico d'incendio, secondo il C.P.I. S.2.9.2, entra solo la parte esterna carbonizzata (di massima 5 cm/ora) e non la parte interna vergine che deve garantire la resistenza richiesta. Abbiamo così evitato il crollo della palazzina? Probabilmente no, se non spegniamo l'incendio entro i 180 minuti. Dobbiamo quindi pensare che le norme sono sbagliate? No, è solo sbagliata la domanda. Se ci chiediamo se quel pilastro è R 180 la risposta è sì. Se ci chiediamo se il pilastro in legno (come abbiamo visto anche per altri materiali)

resista fino all'estinzione naturale dell'incendio, la risposta non è scontata, ma questo non ci interessa in quanto abbiamo ragionato in termini di rischi accettabili. La grande differenza tra legno e altri materiali è che il legno partecipa al fuoco. Tuttavia, la sua partecipazione in strutture massive può essere limitata dall'autospegnimento. La chiave sta nel comprendere che la combustione potrebbe non protrarsi indefinitamente. Nonostante ciò, è però chiaro che si debbano fare valutazioni ingegneristiche dettagliate, specie per l'utilizzo di strutture in legno in edifici multipiano.

E come possiamo raccomandare il fenomeno fisico alle norme? Semplice: con il *Fire Safety Engineering* (FSE), previsto dalle norme stesse se decidiamo, liberamente, di non utilizzare le soluzioni conformi, utilizzando, per esempio un incendio reale e non uno normalizzato. Se modelliamo un incendio reale, includendo le strutture in legno nel modello, riusciremo a sapere (in assenza di interventi automatici o manuali di spegnimento dell'incendio) dopo quanti minuti la palazzina potrebbe crollare e potremo fare le nostre valutazioni in merito alle misure di evacuazione da adottare rimanendo nei livelli di rischio previsti dalla normativa.

EDIFICI MULTIPIANO IN LEGNO

Il legno, quindi, non è un materiale incombustibile, come il calcestruzzo o l'acciaio, e non si può quindi trattare con il medesimo approccio. Si stanno sempre più diffondendo tipologie e metodologie costruttive per edifici multipiano con strutture in legno. Per

la salvaguardia della vita umana (SLV) in caso di incendi, il professionista antincendio non dovrebbe mai limitarsi ad applicare meramente le norme.

L'APPROCCIO BASATO SULLO SCENARIO

La cruciale distinzione tra le assunzioni del passato e la moderna ingegneria antincendio risiede nell'analisi dello specifico scenario di rischio:

- **strutture massive:** il progettista deve considerare il potenziale di autospegnimento come un elemento fondamentale della prestazione post-incendio. Deve, tuttavia, verificare analiticamente che le condizioni di progetto (spessori, giunzioni, assenza di *char fall-off*) assicurino che il flusso di calore radiante residuo sia insufficiente a sostenere la combustione attiva.
- **Strutture leggere:** data la maggiore vulnerabilità alla consumazione, il progettista dovrà compensare con misure attive e passive più stringenti, garantendo che la durata del fuoco (o l'intervento di spegnimento) sia sempre inferiore al tempo di collasso strutturale.

LA RESPONSABILITÀ DEL PROFESSIONISTA

Come d'altronde per qualunque altra progettazione, il professionista antincendio non deve perdere di vista il fenomeno fisico per valutare quale approccio (conforme o FSE) è indicato nel suo caso. Per queste ragioni, la verifica di resistenza al fuoco dovrebbe essere svolta non solo con competenze di prevenzione incendi ma anche con competenze strutturali, magari con una collaborazione fra due Professionisti. Inoltre, per queste tipologie di edifici e in certi ambiti di pericolosità dell'azione incendio, occorre studiare anche sistemi di protezione dall'incendio automatici. È indispensabile che, in particolare per le strutture in legno per edifici residenziali multipiano, il Professionista antincendio:

- **analizzi lo specifico scenario di rischio:** sulla base della tipologia strutturale (massiva o leggera) e del contesto (ventilazione, carico mobile), non si limiti ad assumere la consumazione totale ma valuti la probabilità di autospegnimento;
- **individui il livello di prestazione (minimo) appropriato,** fra il II e il III in funzione dei criteri della Tabella S.2.2, da porre a base del

progetto;

- **informi in maniera esaustiva il cliente dei rischi residui:** formalizzi nel progetto e nel mandato i rischi residui connessi all'approccio di progettazione utilizzato, specificando in quali condizioni si ipotizza l'autospegnimento e quando invece il collasso è certo in assenza di estinzione, accompagnandolo nella valutazione di una eventuale scelta di un livello di prestazione maggiore (IV o V);
- **chiarisca le scelte assicurative:** analogamente deve essere mantenuta con il consulente assicuratore per non rischiare di rimanere "scoperto" in polizza.

CONCLUSIONI

La resistenza al fuoco del legno non è solo un dato numerico (R 60, R 120), ma una complessa interazione di fenomeni fisici che il progettista deve padroneggiare per garantire la sicurezza post-incendio e la salvaguardia della vita umana, in modo particolare per edifici multipiano con struttura portante in legno.

*PROFESSIONISTI ANTINCENDIO E MEMBRI DELLA COMM. SICUREZZA E DELLA COMM. STRUTTURE DELL'ORDINE INGEGNERI DI BERGAMO.



STEM

Insieme

CONSIGLIO NAZIONALE DEGLI INGEGNERI

GIORNATA INTERNAZIONALE DELLE DONNE E DELLE RAGAZZE NELLA SCIENZA

11 FEBBRAIO 2026

Bibliografia e normativa

Riferimenti normativi europei (Eurocodici)

- **UNI EN 1995-1-2:2005 (Eurocodice 5 - Parte 1-2):** progettazione delle strutture di legno - Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio.

- **UNI EN 1991-1-2:2004 (Eurocodice 1 - Parte 1-2):** azioni sulle strutture - Azioni in caso di incendio.

Riferimenti normativi nazionali

- **Decreto Ministeriale 3 agosto 2015 (Codice di Prevenzione Incendi):** approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139.

Ricerche e pubblicazioni tecniche

- **Frangi, A. e Fontana, M. (2005):** "Fire behaviour of timber structures: a review on the charring rate of glulam members".

- **Gellert, L. e Sieder, M. (2018):** "Self-extinction of cross-laminated timber (CLT) walls exposed to fire. (O studi analoghi sulle prestazioni dei pannelli X-Lam)".