



In questa pagina e nella successive alcuni dei relatori del convegno "Comportamento al fuoco delle strutture lignee: ne parla il GQL", da sinistra a destra: Silvia Ientile, Franco Laner, Fabio Spera e Almerico Ribera che ha moderato l'incontro.

Dal 21 al 25 febbraio a Verona, in occasione di Progetto Fuoco, il **Gruppo Qualità Legno** ha organizzato alcuni incontri presso il suo stand, oltre a diversi seminari, in particolare, riportiamo i contenuti di: **"Comportamento al fuoco delle strutture lignee: ne parla il GQL"**. Progettare la sicurezza al fuoco è certamente uno degli assunti portanti, anche se il GQL si propone di individuare nuovi strumenti per denunciare la mancanza di conoscenza tecnica e la necessità di fare cultura a tutti i livelli. Le relazioni, che riportiamo secondo l'ordine in cui si sono tenute il 24 febbraio scorso, vedono protagonisti: **Fabio Spera, Gerolamo Stagno e Linda Secondini, Felice Ragazzo, Franco Laner e Alessio Piacenza, Antonio Pantuso e Silvia Ientile, e Fabrizio Duglio**. In questa sede viene approfondito il tema del comportamento al fuoco, da molteplici punti di vista con dimostrazioni laboratoriali che forniscono un contributo concreto al tema e portano a congetture che altri attori del settore dovrebbero valorizzare, investendo in questa ricerca condotta intorno a un tavolo di esperti. I contributi di ogni relatore, restituiscono nell'insieme un excursus interessante intorno al tema in cui è rintracciabile una premessa e una conclusione, distinguendo innanzitutto fra "resistenza al Fuoco" – capacità di un manufatto di svolgere la propria funzione dal momento in cui viene investito da un incendio – e "reazione al fuoco" – la capacità di un materiale di contribuire a un incendio e di propagarlo, ed evidenziando che le verifiche di resistenza al fuoco della struttura lignea potranno eseguirsi

con riferimento alla normativa UNI-EN 1995-1-2. Lo stato dell'arte della normativa, in tutte le sue declinazioni viene particolarmente trattato nella prima relazione, e approda a un'evoluzione nell'approccio alle problematiche della sicurezza antincendio sulle costruzioni garantendo una maggiore flessibilità al progettista di individuare le soluzioni migliori che consentano un adattamento alle diverse e complesse fattispecie sulle quali s'interviene, slegandolo da prescrizioni normative eccessivamente vincolanti. Nel secondo intervento vengono presi in esame tre casi reali per valutare la resistenza residua delle strutture lignee dopo l'incendio, compresa la quantità di acqua utilizzata per lo spegnimento che crea ulteriore danno agli elementi lignei se non viene riequilibrata l'igroscopicità degli stessi. Il Prof. Felice Ragazzo, invece, mette idealmente alla "prova del fuoco" le giunzioni a spigoli arrotondati concepiti secondo una visione a "solo-legno" e al fine di limitare gli effetti negativi del fuoco nei nodi strutturali visualizza e rappresenta, coadiuvato dalle simulazioni 3D, quattro modelli di giunzione.

Il Prof. Franco Laner cala il suo intervento nella realtà di un esperimento compiuto in prima persona, dal quale emerge come i collegamenti con elementi metallici rappresentino un punto di debolezza della struttura lignea quando esposta all'incendio. Il suo resoconto di una campagna sperimentale di resistenza al fuoco condotta su diverse tipologie di connessioni del legno strutturale dimostra la bontà, dal punto di vista della resistenza, delle connesio-



ni legno-legno, senza ricorso all'acciaio o all'alluminio. Le prove hanno fornito anche utili informazioni sulla velocità di propagazione della combustione, più lenta nelle latifoglie rispetto le conifere. Per il calcolo della resistenza al fuoco degli elementi di legno, la quinta relazione si riferisce al metodo della sezione efficace (come metodologia prevista dalla UNI-ENV 1995-2) secondo il quale non si tiene conto di una riduzione delle proprietà meccaniche ed elastiche, ma a vantaggio della

sicurezza si considera una maggiore riduzione della sezione per effetto dell'esposizione al fuoco. Infine, particolarmente apprezzato, per il contesto didattico nel quale nasce, il resoconto di un'esperienza formativa volta a far comprendere sul campo, in età scolare, gli elementi essenziali delle condizioni per cui il legno marcisce o brucia; che forse consentirà, domani, a uno di quei bambini di dire che certe cose sul legno le ha imparate da piccolo a scuola!

## Fire behavior of wooden structures: the GQL speaks about it

From 23 to 25 February in Verona, on the occasion of Progetto Fuoco, the **Wood Quality Group** organized two meetings, in addition to several seminars, in particular, we report the contents of: **"Fire behavior of wood structures": GQL**. Designing fire safety is certainly one of the main assumptions, even if the GQL aims to identify new tools to denounce the lack of technical knowledge and the need to make culture at all levels.

The reports, which we publish according to the order in which they were held on February 24, see as protagonists: **Fabio Spera, Gerolamo Stagno and Linda Secondini, Felice Ragazzo, Franco Laner and Alessio Piacenza, Antonio Pantuso and Silvia Ientile, and Fabrizio Duglio**.

Here, the subject of fire behavior is explored, from different points of view with laboratory demonstrations that give a concrete contribution to the topic and lead to conjectures that other players in the sector should value, investing in this research conducted around a table of experts. The contributions of each expert, together give an interesting excursus around the theme in which a premise and a conclusion can be traced, first and foremost distinguishing between "resistance to Fire" - ability of a product to perform



Siamo specializzati in lamellare di alta qualità, con un ampio magazzino e consegne rapidissime, con un impianto automatizzato per il taglio delle barre con un software di gestione che ottimizza gli ordini. Vogliamo aiutarvi ad essere rapidi ed efficienti. Vogliamo continuare a crescere con voi.



- Travi lamellari
- Travi K.V.H.
- Travi bilama
- Pannelli per armatura
- Travi H20
- Pannelli OSB
- Guaina traspirante

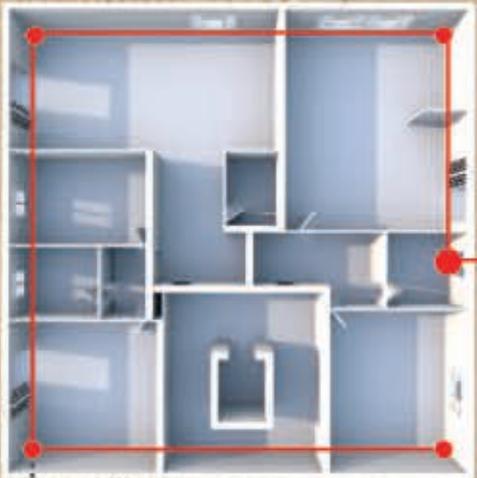


 **Lamellare Service**

48/B Via Sempione 21029 Vergiate (Va)  
Telefono 0331 947959 Fax 0331 949910  
[www.lamellareservice.com](http://www.lamellareservice.com)


**wood  
control**

## IL BENESSERE DELLA CASA IN LEGNO



SENSORE

CENTRALINA + WIFI



ELETTRODI



### SISTEMA DI MONITORAGGIO DELL'UMIDITÀ **MyMeter**

-  FINO A 16 SENSORI
-  ALLARME SONORO ECCESSO UMIDITÀ
-  STORICO DEI DATI RACCOLTI
-  ELETTRODI IN PROFONDITÀ NEL LEGNO
-  AUTODIAGNOSI DEL SISTEMA
-  INTERFACCIA WIFI

[www.woodcontrol.eu](http://www.woodcontrol.eu)



its function from the moment it is invested from a fire - and "reaction to fire - the ability of a material to contribute to a fire and propagate it and highlighting that the fire resistance checks of the wooden structure can be carried out with reference to the UNI-EN 1995-1-2 standard.

The state of the art of the legislation, in all its forms, is particularly discussed in the first report, and leads to an evolution in the approach to fire safety issues on buildings allowing greater flexibility to the designer to identify the best solutions that allow a adaptation to the various and complex cases on which it intervenes, disconnecting it from excessively binding regulatory provisions.

In the second intervention three real cases were examined to evaluate the residual strength of the wooden structures after the fire including the amount of water used for extinguishing, which creates further damage to the wood elements if it is successively rebalanced the hygroscopicity of the same. Felice Ragazzo, on the other hand, ideally puts the "rounded corners" junctions designed according to a "wood-only" vision and, in order to limit the negative effects of the fire in the structural knots, visualize and represent, assisted by the 3D simulations, four junction models.

Prof. Laner drops his intervention in the reality of a first-person experiment, from which emerges how the connections with metallic elements represent a weak point of the wooden structure when exposed to the fire. His account of an experimental fire resistance campaign conducted on different types of structural wood connections demonstrates the efficiency, from the point of view of resistance, of wood-wood connections, without employing steel or aluminum. The tests also provided useful information on the rate of propagation of combustion.

For the calculation of the fire resistance of wood elements, the fifth report refers to the effective section method (as methodology provided for by UNI-ENV 1995-2) according to which a reduction of mechanical and elastic properties is not taken into account, but for the sake of safety, a greater reduction of the section is considered due to the exposure to fire. Finally, the report on a training experience aimed at making students understand in school age the essential elements of the conditions under which wood rots or burns perhaps will allow one of those children tomorrow to say that certain things on the wood were learned by himself from school being a child.

# Reazione e resistenza. Stato dell'arte della normativa. Progettare con attenzione al fuoco

di Fabio Spera

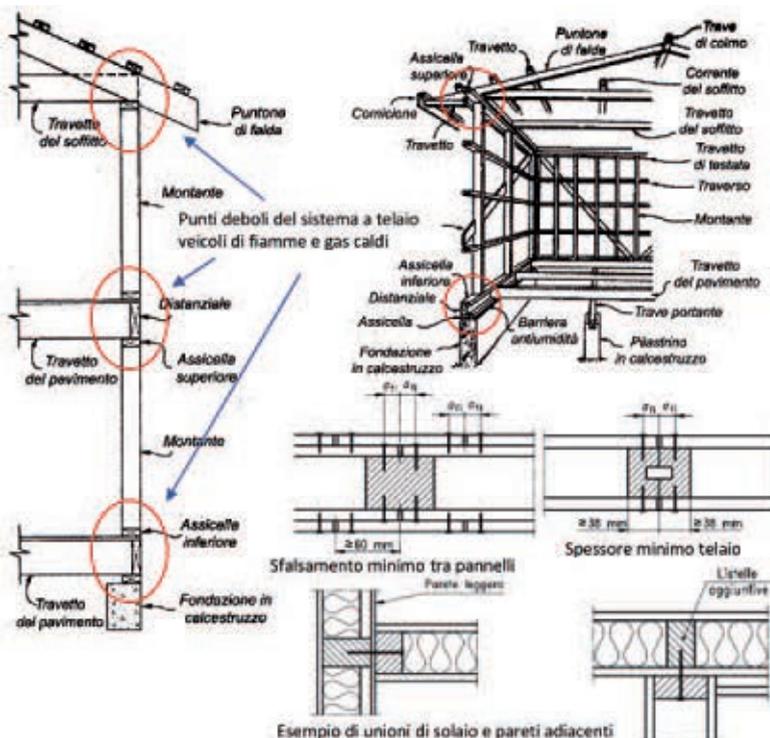
Fino a non molto tempo fa, la maggior parte dei progetti edilizi per gli aspetti antincendio e con particolare riferimento al calcolo della resistenza al fuoco delle costruzioni era basata su norme strettamente prescrittive che lasciavano ai progettisti poche o nessuna possibilità di adottare soluzioni alternative, diverse da quelle previste dalle norme stesse. Negli ultimi 10 anni il quadro normativo è cambiato per aderire al progresso tecnologico permettendo una certa flessibilità interpretativa.

Il primo segnale di cambiamento verso un approccio non più rigidamente prescrittivo e vincolante, ma di tipo prestazionale, che dunque lasciava al progettista la possibilità di individuare soluzioni diverse da quelle già previste dalla norma, pur rispettando la medesima finalità di tutela, è avvenuto nel campo della resistenza al fuoco con il **Decreto del Ministero dell'Interno 9 marzo 2007** che ha definitivamente abrogato il vecchio sistema del calcolo della resistenza al fuoco previsto dalla Circolare del medesimo Ministero del 14/9/1961 n.91. In tale decreto, si parla, per la prima volta, di livelli di prestazione che una costruzione deve garantire in funzione degli obiettivi di sicurezza.

Il secondo importante cambiamento normativo è avvenuto con l'entrata in vigore del **Codice di Prevenzione Incendi adottato con Decreto del Ministero dell'Interno 3 agosto 2015**. Il Codice contiene, infatti, regole meno prescrittive, più prestazionali e flessibili, che prevedono la possibilità di

scegliere tra diverse soluzioni, "conformi" o "alternative" per il raggiungimento del collegato livello di prestazione e favorire al contempo l'utilizzo dei metodi dell'ingegneria per la sicurezza più aderenti al progresso tecnologico e agli standard internazionali. La sua applicazione è per il momento facoltativa, riferita, in particolare, alle nuove attività alla data di entrata in vigore del Codice e soggette ai controlli di prevenzione incendi, di cui al DPR 151/2011, ivi comprese quelle definite come attività non normate (come depositi, officine, stabilimenti, ecc.) poiché non dotate per ora di specifiche regole tecniche attuative.

Il terzo cambiamento normativo, questa volta non in termini di tempo, è stato la pubblicazione del **Decreto del Ministero dell'Interno 31 luglio 2012 - G.U. n. 73 del 27 marzo 2013 - concernente le Appendici Nazionali degli Eurocodici - National Determined Parameters, NDP - le cui indicazioni tecniche sono le uniche applicabili in Italia**. La norma UNI 9504 per il calcolo di resistenza al fuoco



Alcune soluzioni proposte dall'Eurocodice 5 UNI ENV 1995-1-2 per i punti deboli del sistema a telaio - bordi di fissaggio e i giunti tra pannelli.

di elementi costruttivi di legno è da ritenersi dunque abrogata.

**Il nuovo Regolamento (UE) n.305/2011 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9 marzo 2011, che fissa le condizioni armonizzate per la commercializzazione di prodotti da costruzione**, nell'allegato I *Requisiti di base delle opere da costruzione* stabilisce sette requisiti essenziali che devono possedere le opere da costruzione, tra cui **al punto 2) vi è la Sicurezza in caso d'incendio**.

Il punto 2) stabilisce che: "Le opere di costruzione devono essere concepite e realizzate in modo che, in caso d'incendio:

- a) la capacità portante dell'edificio possa essere garantita per un periodo di tempo determinato;
- b) la generazione e la propagazione del fuoco e del fumo al loro interno siano limitate;
- c) la propagazione del fuoco a opere di costruzione vicine sia limitata;
- d) gli occupanti possano abbandonare le opere o essere soccorsi in altro modo;
- e) si tenga conto della sicurezza delle squadre di soccorso".

Analizzando i vari punti appare evidente che: le voci a), c) ed e) sono strettamente correlate con la capacità delle strutture portanti e separanti di resistere all'azione dell'incendio (resistenza al fuoco); la voce b) riguarda l'attitudine dei materiali a partecipare all'incendio alimentando la reazione di combustione (reazione al fuoco); la voce d) riguarda la progettazione delle vie di esodo (riassume tematiche di reazione al fuoco e resistenza al fuoco). Le voci a), c) ed e) erano già presenti nella Direttiva Prodotti da Costruzione 89/106 CEE e sono state il motore che ha indirizzato la comunità tecnico-scientifica verso l'individuazione di criteri e codici condivisi, con l'obiettivo di armonizzare il calcolo strutturale su tutto il territorio europeo (Eurocodici).

Per le costruzioni destinate ad attività soggette al controllo dei Vigili del Fuoco (v. allegato I del DPR 1/8/2011 n.151), è obbligatorio il rispetto delle Regole Tecniche di P.I. o l'applicazione del Codice Antincendio.

Per tutti gli altri casi, ivi comprese le abitazioni di legno alte non più di due piani, il livello di prestazione è scelto dal progettista, sulla scorta delle indicazioni fornite dal committente e tenendo conto del punto 3) dell'allegato al DM 9 marzo 2007 (Livelli I-V), in funzione dello specifico obiettivo che si intende perseguire attraverso la resistenza al fuoco e la capacità di compartimentazione. Per tali edifici lo strutturista dovrebbe eseguire verifiche di resistenza al fuoco a campione sulle strutture più sollecitate, se realizzate con elementi di legno massiccio, attraverso i metodi semplificati in base agli Eurocodici, utilizzando coefficienti specifici di sicurezza richiamati nel DM 14 gennaio 2008. Per le costruzioni con tecnologia strutturale X-Lam o Log House, la valutazione della resistenza al fuoco del pannello-parete di legno dovrebbe prendere in considerazione tutti e tre i possibili criteri e cioè la stabilità, la tenuta e l'isolamento termico. In particolare: il criterio di resistenza o stabilità può essere valutato nello stesso modo utilizzato per le travi e le

colonne; il criterio della tenuta, più difficile da soddisfare soprattutto nel caso di sistema Log House, può essere valutato mediante l'equazione riportata nell'appendice E dell'Eurocodice 5 (adottata per analogia al metodo di valutazione dei solai) che tiene conto dell'effetto dei giunti tra blocchi. Se i criteri di tenuta e stabilità sono soddisfatti, non vi saranno problemi con il criterio di isolamento, dato che lo spessore del legno residuo necessario a soddisfare i carichi applicati sarà superiore a quello richiesto per evitare un eccessivo aumento della temperatura. Altro metodo di valutazione sono le prove sperimentali, alla stregua di quella condotta nel 2007 presso il laboratorio di prove al fuoco del CNR-IVALSA a San Michele all'Adige su un pannello a strati incrociati da 85 mm.

Per le costruzioni intelaiate leggere, sia si tratti di elementi di legno, di acciaio, oppure di pannelli stratificati (sandwich), data la complessità dello scenario dell'incendio, occorre adottare programmi di calcolo termico agli elementi finiti (FEA). Il più delle volte ci si affida a valori tabellari di resistenza al fuoco, frutto di campagne di prove eseguite a livello sperimentale dai produttori su componenti edilizi in scala reale. Infatti, in tali casi, non è utile eseguire le stesse prove in scala ridotta, poiché i software dedicati non sono in grado di tener conto e dunque di valutare alcuni importanti fattori quali il ritiro o la deformazione strutturale. Per questo tipo di costruzioni, in cui la resistenza al fuoco è affidata ai materiali protettivi, il più diffuso è il cartongesso, ma anche pannelli di legno, di fibrocemento o silicato di calcio, sono della massima importanza l'impiego di prodotti di alta qualità e l'utilizzo di giunzioni a perfetta tenuta di porte, di asole per il passaggio di tubi, di cavi e condotte.

Il comportamento dell'edificio secondo le previsioni, senza alcuna propagazione del fuoco agli ambienti circostanti e senza perdita di capacità portante, ha permesso di costatare che sono di rilevanza fondamentale i seguenti aspetti: (a) la qualità della lavorazione, soprattutto nel fissaggio del cartongesso mediante chiodatura, (b) il corretto posizionamento delle barriere anti-fiamma a protezione della cavità e (c) la sigillatura al fuoco. Il punto (a) è essenziale per la resistenza meccanica al fuoco, mentre i punti (b) e (c) lo sono per la tenuta.

In conclusione, osserviamo un'evoluzione nelle modalità con cui il legislatore si è avvicinato alle problematiche della sicurezza antincendio sulle costruzioni, passando da una prescrizione normativa testuale e vincolante a una disposizione che prevede una maggiore flessibilità e affida al progettista la possibilità di individuare le soluzioni migliori che consentono un adattamento alle diverse e complesse fattispecie sulle quali s'interviene. Qualora si operi, ad esempio, su strutture preesistenti o risalenti ai secoli scorsi (tutti gli edifici dei centri storici, ad esempio) si affida al progettista una grande responsabilità che va valutata non solo in termini economici, ma anche per la preparazione tecnica specifica e certificata su queste tematiche che lo stesso deve possedere.

# Valutazione della resistenza residua delle strutture lignee dopo l'incendio

di Gerolamo Stagno  
e Linda Secondini

L'incendio, come è noto nell'immaginario collettivo, rappresenta sempre un momento catastrofico del ciclo di vita di una struttura, di qualsiasi materiale essa sia composta. Dopo il terremoto, è forse una delle esperienze più drammatiche cui può essere soggetta una costruzione; con la differenza che al fuoco, sia nei primi momenti in cui si genera che durante il processo di combustione, la mano dell'uomo può limitare l'estensione del danno. Diversamente, le conseguenze degli eventi sismici si possono arginare con appositi interventi ma, in caso di terremoto, occorre attendere che cessino le scosse e in seguito ricostruire o riparare ove possibile.

Come l'esperienza ci insegna, in caso di incendio il legno prende fuoco e alimenta la fiamma. Ma cosa accade effettivamente al materiale? Si verificano due fenomeni: il primo, detto pirolisi, avviene in assenza d'aria e produce un residuo carbonioso; il secondo, la combustione viva, si sviluppa in presenza di aria lasciando ceneri. L'elemento ligneo a contatto con una fonte di calore attraversa le seguenti fasi:

- Evaporazione dell'acqua interna;
- Serie di reazioni chimiche interne che spezzano le molecole organiche in molecole semplici in grado di liberarsi dalla superficie del materiale;
- Liberazione di idrogeno e di altri idrocarburi leggeri combustibili che si accendono per autocombustione o per effetto di una fiamma.

La superficie del legno si carbonizza mentre gli strati interni del legno conservano le loro caratteristiche fisiche e meccaniche sino a quando non sono anch'esse raggiunte dal fronte di carbonizzazione (Figura 1).

La velocità di penetrazione della carbonizzazione, tenendo conto anche della specie legnosa, è sostanzialmente costante e consente di stimare nel tempo la riduzione dimensionale dell'elemento considerato.

Di seguito verranno illustrati tre casi di incendio, di cui lo studio si è occupato, concentrandosi sulle relative diagnosi e interventi di recupero.

## I CASI IN ESAME

**1. Centro Storico di Genova.** Incendio a seguito di corto circuito elettrico nell'impianto luce, che ha interessato gli impalcati lignei, (Figure 2-3) in Abete rosso, di un edificio residenziale.

In questo caso, oltre alle difficoltà di rapido intervento, si aggiunge l'**accessibilità al sito**. Siamo al settimo piano di un edificato a schiera, in muratura, con orizzontamenti lignei di diversi piani, collocato in una stretta via pedonale meglio nota

come "vicolo", con scale di accesso molto strette che rendono difficoltosa l'attività dei soccorritori. Spento il rogo, resa inagibile la parte oggetto delle fiamme, si pone la **valutazione del danno** e naturalmente la sistemazione dei residenti sia direttamente coinvolti, che degli immobili confinanti (parametro da non sottovalutare nel calcolo dei danni complessivi e nell'accertamento delle cause con relativi costi di risarcimento).

Vengono poste opere di messa in sicurezza e si procede con la **Diagnosi**, propedeutica alle verifiche strutturali. Fondamentale per una corretta valutazione è il verbale di intervento dei Vigili del Fuoco ma, in questo caso come sovente accade, non riescono a stabilire i tempi di durata dell'incendio e i materiali causa di questo, informazioni che renderebbero più semplice definire la valutazione della **velocità di combustione** quindi di penetrazione nel materiale con successiva pirolisi e carbonizzazione.

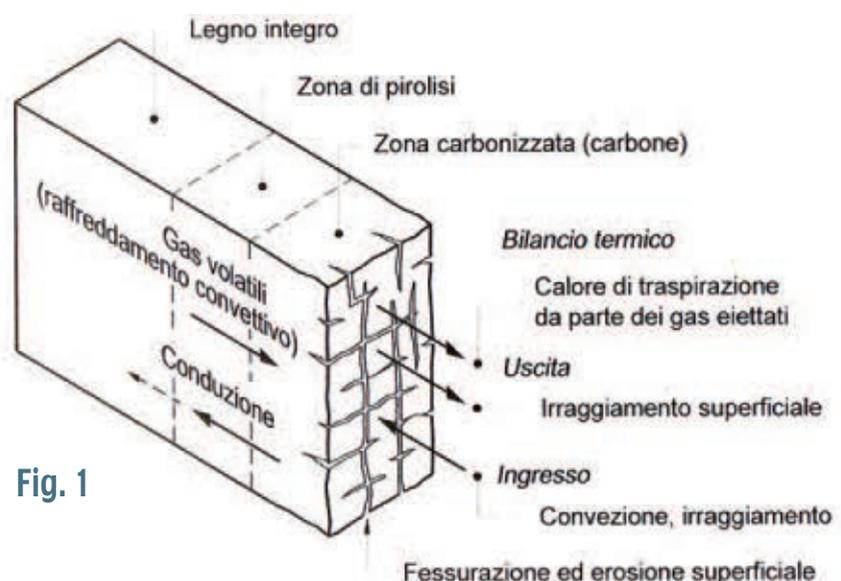


Fig. 1



Fig.1 . M. Piazza, R. Tomasi, R. Modena, Strutture in legno, Biblioteca tecnica Hoepli, 2005, Milano.



Fig. 3



Fig. 2

In alto a sinistra Fig.3 Solai incendiato del centro storico di Genova, a destra Fig.2 Cedimento del solaio in canniccio, centro storico di Genova. Nelle fotografie sotto, Fig.4. Solai incendiato, Cesena e Fig.5 Trave carbonizzata superficialmente, Cesena

Se gli effetti del danno da fuoco sono cessati, non è così per quelli da acqua ed è noto come il rapporto umidità e legno non debba superare determinate soglie ideali di percentuale (dal 12% al 20%). Durante la fase di spegnimento, infatti, le strutture stesse vengono letteralmente inondate da forti getti di acqua in pressione, con eventuali soluzioni e additivi, che generano repentine escursioni termiche. Si pone quindi anche il quesito della validità che possano avere certi risultati ottenuti da prove sul legno, se rilevati in tempi brevi dal termine dello spegnimento dell'incendio. In questo caso si è proceduto ponendo nei locali **sensori termo igrometrici** al fine di valutare le variazioni fisiche del microclima. Le misure eseguite, prima fra tutte la determinazione del tenore di umidità, sono state quindi interpretate come una sorta di monitoraggio giungendo in tempi abbastanza brevi a poter considerare stabilizzata la percentuale di umidità degli elementi lignei. È parametro da non sottovalutare anche il fatto che siamo in presenza di strutture storiche, nel caso in essere con circa duecento anni di vita, ove la **verifica del tempo** assume un valore e soprattutto è ormai completata la stagionatura del materiale, fatte salve le recenti ristrutturazioni. Per la diagnosi è stato applicato il procedimento convenzionale per la valutazione delle caratteristiche del legno comprensivo di Protocollo di Ispezione Tecnologica e di successive indagini sclerometriche tramite Pilodyn e Resistografiche sia su elementi interessati da

incendio sia su quelli non danneggiati. Si è proceduto anche alla **misura della deformazione** assunta dalle travi mediante metodi topografici, considerando complementari gli effetti della deformazione differita del legno e quelli da incendio.

È noto che nell'applicazione dei criteri di Classificazione a Vista vigenti, già le misure delle sezioni in varie parti del materiale impongono delle riduzioni se vengono riscontrate variazioni geometriche; questa situazione va posta su travi di legno antiche, talvolta sbazzate che hanno già di per se questo parametro. Occorre poi tenere conto del **periodo di vita** degli elementi che, nelle orditure storiche, possono presentare problemi di verifica delle deformabilità per le sezioni, generando il fastidioso effetto della vibrazione che è proprio la risposta della elasticità naturale del materiale legno.

La domanda ricorrente, che viene posta da chi deve eseguire le verifiche su questo tipo di strutture lignee incendiate (che non sempre è chi effettua la diagnosi), è principalmente una: **"quale sezione residua reagente si deve assumere al termine del percorso diagnostico?"**.

La risposta sta al diagnosta e alle verifiche in sito, rese più difficoltose dalle differenze residue presenti con cui occorre confrontarsi. Quindi in taluni casi si preferisce procedere alla soluzione della sostituzione anche parziale degli elementi o almeno al loro affiancamento, evitando ogni verifica analitica sulle resistenze residue.



Fig. 4



Fig. 5

Ma optare per la sostituzione di tutti gli elementi, acclarando questa scelta come criterio di maggiore sicurezza, pone in essere il problema del cantiere successivo, soprattutto se riferito alle movimentazioni degli elementi in spazi ristretti come in questo caso, alle difficoltà di trasporto e messa in opera di travi di dimensione non contenuta. In questo caso la scelta del **Monitoraggio** delle misure ha permesso tuttavia di verificare le sezioni interessate consentendo di procedere a un **consolidamento** degli elementi danneggiati mantenendoli in opera con posa di nuovi travetti adiacenti.

## 2. Centro Storico di Cesena: Solaio di Pino incendiato a causa di un corto circuito elettrico (Figura 4).

Le condizioni logistiche sono differenti dall'episodio genovese e l'intervento di spegnimento avviene in tempi estremamente rapidi interrompendo la "**combustione**".

L'impalcato, sottoposto a **verifica della freccia deformativa**, ha presentato valori compresi nelle tolleranze di norma delle verifiche ancor prima di porle in essere. Si tratta di dati rilevanti a conferma che il tempo di incendio è stato breve e le sezioni sono rimaste pressoché intatte, salvo un primo strato superficiale di carbonizzazione (Figura 5).

Si è proceduto con dei micro sondaggi locali, previa rimozione del limitato strato carbonizzato, e successivamente è stata applicata la fase strumentale. Gli elementi non presentavano degrado xilofago né micotico e potevano considerarsi nuovi, in fase di stagionatura, e **soggetti a deformabilità e ritiri fisici che si accentuano durante la fase di essiccazione**.

Le indagini, condotte a distanza dall'evento, hanno previsto prove sclerometriche e resistografiche, oltre alla misura di umidità per resistività elettrica (Figura 10). Dai dendrogrammi resistografici si è presentata una situazione di limitata stagionatura ma lineare sia per le travi incendiate sia per quelle sane.

Le verifiche successive condotte con le NTC generali del D.M. 14/09/2005 e le NI.CO.LE CNR/DT 206/2006 hanno permesso di mantenere in opera la struttura senza alcun intervento strutturale.



Fig. 10

## 3. Villa Storica settecentesca nel basso Piemonte nel Comune di Capriata d'Orba (AL). Incendio della copertura lignea (Figure 6-7).

Il rogo si è generato nel periodo invernale a causa dell'accensione della stufa la cui canna fumaria ha avuto un'improvvisa rottura a livello del camino. I soccorsi intervenuti tempestivamente trovano tuttavia una sgradita sorpresa: la grande vasca di acqua, predisposta come misura provvisoria d'intervento, non contiene sufficiente quantità a spegnere l'incendio che rapidamente avanza. La disponibilità di altre fonti idriche degli edifici confinanti evita il peggio e consente lo spegnimento prima della completa perdita della copertura.

Il quadro del danno è tuttavia molto grave, alcune strutture portanti costituite da capriate sono andate perdute o irrimediabilmente danneggiate (Figura 10).

In queste situazioni configurabili come "danno improvviso" del ciclo di vita di una costruzione, esiste un problema di **costi di ripristino** e conseguenti problemi burocratici. La polizza assicurativa che copre realmente i costi dei danni come quello generatosi, ha evitato i lunghi tempi di attesa delle perizie e degli altri accertamenti, permettendo di ridurre costi e tempistiche. Occorre citare, anche quando si parla di valutazioni delle strutture incendiate, l'**aspetto patrimoniale** del valore delle stesse, quello dei costi e dei tempi necessari al ripristino. In questo arco di tempo in cui vengono definiti i ruoli, i soggetti coinvolti e non si può procedere alle valutazioni, le condizioni strutturali possono evolvere negativamente. Questi ritardi incidono sfavorevolmente sulla struttura stessa; con possibili **crolli post incendio** dovuti alla mancanza di intervento immediato di opere provvisorie.

Nella villa piemontese si è potuto agire speditevolmente con sopralluoghi e interventi preliminari di puntellazioni. L'analisi costruttiva della copertura ha permesso di identificare una duplice funzione delle capriate danneggiate. Queste ultime, oltre ad avere un ruolo strutturale nella copertura, forniscono anche un contributo al sistema resistente portante del piano sottostante (Figure 8-9); perciò la sostituzione degli elementi avrebbe aumentato i costi e creato condizioni di danno maggiore.

A causa della consistente quantità di acqua utilizzata per lo spegnimento, gli elementi lignei vengono riportati a una percentuale di umidità idonea mediante un **sistema di asciugatura** specializzato, opportunamente termo-igrometricamente monitorato, che consente di accelerare i tempi in maniera notevole. In questo caso l'acqua di spegnimento ha fatto più danni del fuoco, soprattutto agli apparati decorativi e alle finiture della Villa non soggette a incendio.

Da un'indagine sulla "storia della



Fig. 6



Fig. 7

Nelle fotografie sopra, in alto Fig.6 Copertura incendiata, Capriata d'Orba (AL) e in basso Fig.7 Capriata incendiata, Capriata d'Orba (AL).

Nelle fotografie sotto, il disegno rappresenta la Fig.8 Sezione dei solai appesi alla copertura, Capriata d'Orba (AL), in basso Fig.9 Tirante metallico del solaio, Capriata d'Orba (AL) e a sinistra Fig.10 Capriata incendiata, Capriata d'Orba (AL).

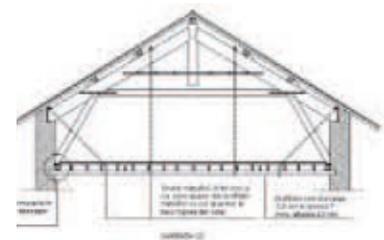


Fig. 8



Fig. 9

Villa" e in particolare della copertura, si è desunto che in anni recenti era stata oggetto di lavorazione con la posa di nuovi elementi secondari della copertura lignea. Su alcuni elementi erano state applicate anche vernici intumescenti, scelta imposta dalle Norme Antincendio per edifici a destinazione alberghiera.

Se per la copertura si è individuato e si è proceduto celermente, per i solai sottostanti, pur rendendosi necessario un consolidamento, si è dovuto attendere che le percentuali di umidità regredissero; inoltre la negata autorizzazione della Soprintendenza, dovuta alla richiesta di ulteriori verifiche, ha causato l'interruzione e la non realizzazione dei lavori necessari.

La diagnosi, condotta con tecniche non distruttive, ha consentito di procedere al consolidamento degli elementi maggiormente danneggiati tramite protesi e integrazioni, tenendo conto del ruolo portante delle capriate per il piano sottostante. Tuttavia, l'estensione del danno ha obbligato alla sostituzione integrale



Fig. 12



Fig. 13



Fig. 11

di molte parti della copertura. Si è provveduto a integrare gli elementi danneggiati mediante **protesi lignee**, collegate con piastre di ferro e al posizionamento di regge metalliche nei punti. Inoltre si è posto in essere anche un intervento di miglioramento sismico eseguito posizionando sull'estradosso del solaio delle staffe in ferro a "croce di Sant'Andrea". Laddove l'incendio aveva causato danni irreparabili, sono state previste nuove capriate Palladiane di Castagno e connessioni con piastre metalliche. In particolare, gli elementi nuovi delle capriate di Castagno sono stati divisi in parti e assemblati in opera, al fine di evitare la perdita delle parti restanti (Figure 11-12-13).

Di fatto questo episodio rappresenta anche l'esempio del degrado non visibile: quello dell'acqua post incendio che penetrando nei solai raggiunge le sottostanti volte dipinte in canniccio generando problemi da umidità. Queste forme di infiltrazione, se non oggetto di prevenzione, innescano un processo di marcescenza sia nel canniccio sia nei tiranti lignei con cui le volte finte sono appese ai solai giungendo prima o poi a possibili crolli parziali delle stesse. Siamo di fronte quindi al problema analogo a quello degli "sfondellamenti" dei solai in latero-cemento e proprio l'acqua di spegnimento è stata in questo caso uno degli elementi più dannosi.

## CONCLUSIONI

La breve rassegna dei casi pone in essere come, nella **Valutazione** delle Strutture oggetto d'incendio, siano determinanti la **diagnosi** e le **verifiche**.

Dopo i roghi, gli accertamenti devono essere eseguiti con metodologie non invasive e in tempi opportuni, pena la formazione di un quadro post-danno non corretto.

**Tra i fattori da non trascurare si evidenziano anche:**

- La definizione dei tempi di incendio, che può aiutare a dare risposta per lo stato del materiale post incendio;

- I materiali che hanno generato la combustione;
  - In fase diagnostica, sicuramente la definizione della sezione residua Resistente e della Categoria strutturale rappresentano i momenti più complessi;
  - La disponibilità di risorse e soprattutto di tempi adeguati;
  - La definizione della storia della costruzione e se possibile dei carichi nel tempo, quindi la conoscenza delle vicende costruttive;
  - La definizione dei tempi di ripristino e soprattutto le opere provvisoria;
  - Non ultima la scelta delle procedure Edilizie Urbanistiche da attuare se si recupera. Consolidando si evitano i tempi maggiori richiesti dagli iter finalizzati alla Nuova ricostruzione rispetto alla manutenzione straordinaria o al restauro conservativo.
- Occorre quindi una particolare attenzione se si vuole perseguire (come è intenzione sempre dello scrivente) l'obiettivo, pur in una circostanza così drammatica, di salvaguardare ciò che resta dal rogo riconferendogli un ruolo strutturale.

Le immagini degli interventi confermano che l'obiettivo di salvare i resti delle strutture incendiate integrate con le nuove necessarie parti è riuscito.

**Bibliografia,** *Monumental*, "Chantier / Actualités, Edition du Patrimoine, pp. 108-109, Semestrare 2 – Dicembre 2017;  
G. Stagno, R. Morra, C. Roberto, G. Toso, M. Ferrari "Strutture danneggiate da incendio. Il caso di un fabbricato industriale consolidamento o ricostruzione", Teramo, CONCRETE, 25.ottobre 2012;  
M. Piazza, R. Tomasi, R. Modena, *Strutture in legno*, Biblioteca tecnica Hoepli, 2005, Milano;  
E. L. Schaffer, C. M. Marx, D.A. Bender, F. E. Woeste, *Res. Pap. FLP 467*, USDA Forest Service, Forest Product Lab., Madison (1986);  
C.N.R. Istituto per la Tecnologia del legno – S. Michele all'Adige (TN).

Nella pagina di sinistra, in alto Fig.12 Integrazione con materiale nuovo, Capriata d'Orba (AL), a sinistra, sopra, Fig.13 Rinforzo del nodo monaco-puntone, Capriata d'Orba (AL) e in basso, Fig.11 Misura del contenuto di umidità tramite igrometro, Capriata d'Orba (AL).

## hsbcad, i suoi punti di forza:

- ▶ basato sulla tecnologia di AutoCAD®
- ▶ soluzione totalmente 3D, universale ed intelligente
- ▶ controllo degli errori grazie al comportamento dinamico degli elementi costruttivi
- ▶ creazione intuitiva che genera risultati affidabili
- ▶ aumento della produttività grazie alla parametrizzazione e gestione totale della progettazione
- ▶ possibilità di personalizzazioni

**AUTODESK** Authorised Developer Partner **Forum Holz | Bau**

hsbITALIA | Via San Giovanni Nepomuceno 5 | I-38121 Trento  
Tel. +39 0461 983044 | info@hsbcad.it | www.hsbcad.it

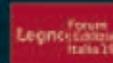
visitateci!



24. Internationales  
Holzbau-Forum (IHf 24)  
5-7 dicembre 2018  
Garmisch-Partenkirchen



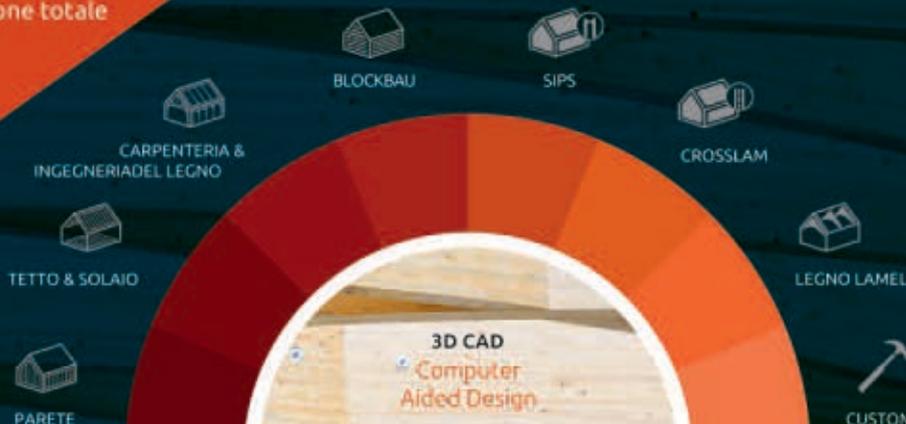
BAU 2019  
14-19 gennaio 2019  
München | DE



Forum Internazionale  
dell'Edilizia in Legno  
6 febbraio 2019  
Larise | IT



Legno & Edilizia  
7-10 febbraio 2019  
Verona | IT



**hsbcad**  
CAD/CAM per le costruzioni in legno



# Progettare tra legno e fuoco

di Felice Ragazzo



**In occasione di “Progetto Fuoco, 21/25 febbraio 2018”, dedicato al rapporto “legno-fuoco”, si sono svolte attività con la presenza di vari esponenti del Gruppo Qualità Legno. Il tema da me preso di mira ha riguardato come un progettista si sarebbe dovuto attrezzare idealmente al fine di limitare gli effetti negativi del fuoco nei nodi strutturali. Tutto ciò con un fare attualizzato dall’apporto digitale, sia nelle tecniche di modellazione 3D, sia negli aspetti di elementare visualizzazione. Inoltre, ho voluto mettere idealmente alla “prova del fuoco” le giunzioni a spigoli arrotondati concepiti secondo una visione a “solo-legno”. Infine, ho ritariato il presente contributo sulla base della discussione che si è sviluppata nelle giornate veronesi.**

I nodi strutturali di seguito trattati sono quattro, ciascuno dei quali riguardanti la congiunzione trave-travetto in un orizzontamento intelaiato. Circa la scelta tipologica, nonché aspetti di definizione formale, mi sono avvalso di utili suggerimenti offertimi dal professor Franco Laner. Appartengono totalmente alla mia responsabilità i criteri di arrotondamento degli spigoli. Di seguito, nodo per nodo, sarà fornita una breve descrizione.

**Come si evince dalle illustrazioni, sono focalizzati quattro momenti:**

- un primo momento in cui i pezzi risultano connessi;
- un secondo momento in cui i pezzi risultano invece disconnessi, ma giustapposti in modo tale da poterne percepire al meglio le fattezze interne (ricorrendo eventualmente a opportuni esplosi);
- un momento in cui è sublimata la presenza delle fiamme di un incendio in corso;
- un momento in cui, infine, si possono vedere gli effetti di bruciatura trascorsa mezz'ora di tempo (anche qui con eventuali esplosi).

**Nel concreto delle modellazioni si compenetrano pertanto due stadi:**

- quello relativo ai pezzi integri fino al momento d’inizio dell’evento distruttivo;
- quello relativo, invece, allo scoccare dei trenta minuti da che hanno preso a svilupparsi le fiamme.

Quale parametro per passare da una modellazione all’altra e, pertanto, simulare la consistenza del danno prodotto, è stato assunto il valore medio di 0.7 mm al minuto, così come si evince da consolidate statistiche in letteratura specialistica riferite al legno di Abete. In concreto, si è trattato di “consumare” all’incirca 21 mm, tenendo conto del fatto che in prossimità

degli spigoli il legno che va in fumo è generalmente maggiore e, inoltre, sotto l’azione delle fiamme i pezzi perdono il loro carattere poliedrico.

A questo punto si rendono necessarie alcune precisazioni al fine di rendere conto delle scelte rappresentative di questa ipotetica esperienza. Il nucleo della questione ruota intorno al rapporto tra forme e colori. Posto il problema di come si potrebbero modificare le forme dei pezzi quando bruciati, si evince come si debbano mettere a confronto, da un lato i caratteristici parallelepipedi dei pezzi (a parte scavi e protuberanze intersecanti), dall’altro le modellazioni delle parti simulativamente consunte. E come queste siano sviluppate tramite superfici a carattere bombato, le quali in realtà sono NURBS di grado superiore. Anche i colori adottati per le visualizzazioni giocano un ruolo importante o, quanto meno, non banale. Ciò al fine di dribblare il rischio, sì banalizzante, di rappresentare i pezzi di legno con futili quan-

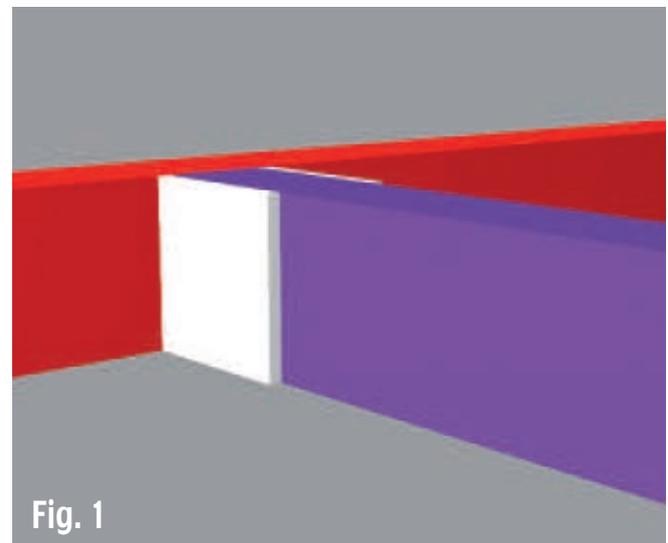


Fig. 1

to improbabili mappature legnose render. Si tratta di colori vivaci per i pezzi integri, mentre per le parti bruciate si tratta di una tonalità scura di grigio leggermente contaminato. Le travi principali, con funzione di montanti, sono colorate col "primario" rosso; le travi secondarie, con funzione di traversi, sono invece colorate col "complementare" viola (ovvero rosso misto a blu); i pezzi di sacrificio, infine, sono colorati col bianco.

Lo stesso fuoco è idealizzato con un acceso e innaturale fuxia, imprigionato in schematiche e geometriche superfici. Tutto ciò risponde alla necessità di smaterializzare idealmente, ma anche visivamente, un costruito che soltanto quando ci saranno pezzi veri e veramente bruciati potrà dirsi reale. Ciò accadrà presto e allora il discorso potrà essere ripreso, non più su di un terreno assiomatico-deduttivo, ovvero volto a ricavare un dato particolare a partire da una teoria o da una generalizzazione, ma più utilmente su di un terreno induttivo, ovvero volto a fornire una visione universalizzata a partire da concrete e puntuali misurazioni. D'altro canto si parla di gangli strutturali lignei e l'approccio epistemologico è coerentemente, ma anche volutamente, "strutturalista". C'è un altro aspetto che merita di essere messo in chiaro, ovvero le dimensioni nelle forme interne delle giunzioni, qui modificate per via degli arrotondamenti degli spigoli, rispetto a quelle tradizionali di tipo poliedrico. In questo caso l'approccio ha carattere intuitivo, nel senso che approssima all'incirca le dimensioni, così come si possono dedurre da noti repertori rintracciabili in trattazioni storiche, come per esempio quella tardo-ottocentesca di Bartolomeo Saldini, oppure in quella attuale del Manuale del Recupero del Comune di Roma a cura di Paolo Marconi. La scelta di ciò è praticamente obbligata e per almeno due ragioni: per un verso la disciplina di calcolo statico sulla base dei cosiddetti "Elementi finiti" per quanto riguarda l'anisotropo legno, necessita ancora di essenziali perfezionamenti; per altro verso, una strategia di ricerca fondata su sistematiche elettro-fresature e, pertanto, rotture di campioni – giunzione per giunzione – legno per legno – al fine di pervenire ad attendibili statistiche non vede al momento alcun mecenate che se ne faccia carico. L'unico aspetto preso in considerazione in modo non intuitivo consiste nel dimensionamento secondo Norme Din per quanto riguarda i diametri e gli interassi degli spinotti nel Modello

di giunzione 01. In tutti i modi, anche per quanto riguarda questo particolare caso, dati certi sul dimensionamento se ne potranno avere soltanto dopo aver effettuato accurate prove di rottura. Fatte queste considerazioni di metodo, vediamo rapidamente Modello per Modello.

### Modello di giunzione 01 - "a gobba di cammello"

Questo modello sembrerebbe non avere precedenti nei repertori storicizzati. Con l'elemento intermedio a foggia di mensola, sono postulati due obiettivi:

- l'alloggiamento della testata della "trave-traverso" mediante scorrimento dall'alto verso il basso, e non in senso orizzontale;
- l'asportazione di materiale la più esigua possibile, oltre che il più possibilmente distribuita nell'area di contatto, per quanto riguarda la "trave-montante". Ciò grazie ai fori di alloggiamento degli spinotti della mensola, rifuggendo l'idea della comune mortasa che invece sarebbe fortemente invasiva.

Al fine di adeguare gli spinotti agli sforzi di taglio da essi subiti in prossimità delle superfici di contatto tra trave e mensola, vale l'ampio raccordo a quarto di cerchio tra le loro superfici cilindriche e il comune rasamento.

Sempre negli spinotti, le testate semisferiche contribuiscono poi ad aumentare le aree di contatto tra superfici positive e negative. Oltre a tutto ciò, con la superficie simile a una gobba di cammello, ma soprattutto con la lieve strozzatura, comunque ben visibile sia in prospetto, sia in pianta, localizzata nella zona mediana della mensola, si viene a creare un "sottosquadra", il quale, producendo attrito, impedisce alla testata di sganciarsi con movimento solamente orizzontale. Infine, i due "guanciali" giustapposti simmetricamente in prossimità dell'attaccatura (unico caso tra i quattro) postulano un ulteriore obiettivo:

- creare una coppia di "pezzi di sacrificio" volti a posticipare nel tempo la carbonizzazione delle parti interne. Per quanto riguarda le spine di attacco dei guanciali al resto del sistema, merita osservare che il loro compito è qui, per ora, volutamente circoscritto a questa sola limitata funzione. Come si può evincere dall'ipotesi simulativa, i due guanciali risultano pesantemente consunti, ma la gran parte delle superfici interne risulta invece intatta. È soprattutto la mensola, la parte che subisce i danni minori (Figure 1-4).

I disegni in queste pagine si riferiscono al Modello di giunzione 01 - "a gobba di cammello".

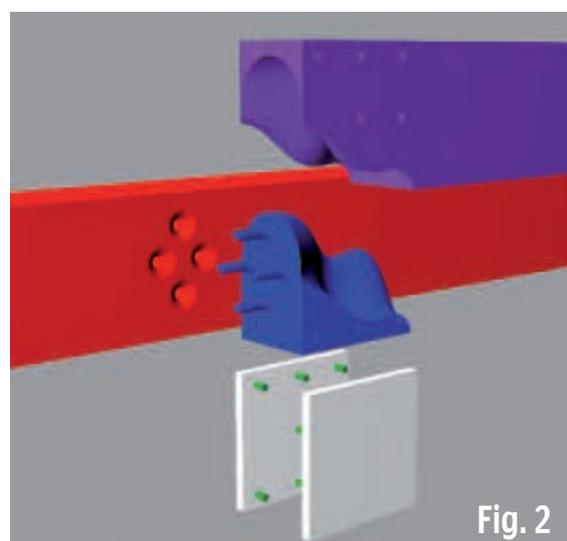


Fig. 2

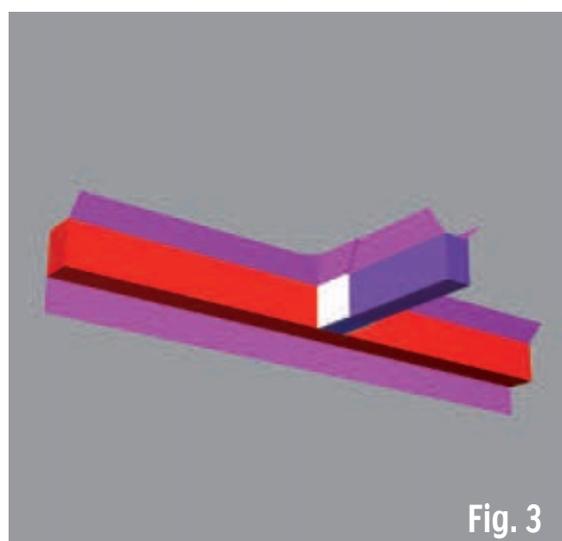


Fig. 3

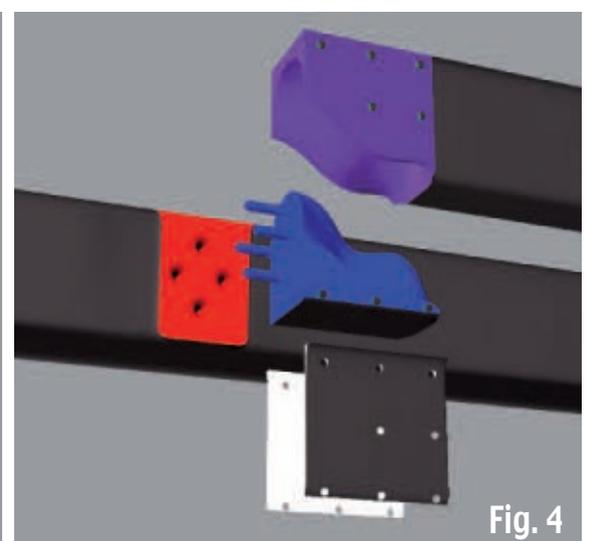


Fig. 4

I disegni in questa pagina si riferiscono al Modello di giunzione 02 - "a coda di rondine", mentre quelli della pagina a destra al Modello di giunzione 03 - "a cuneo".

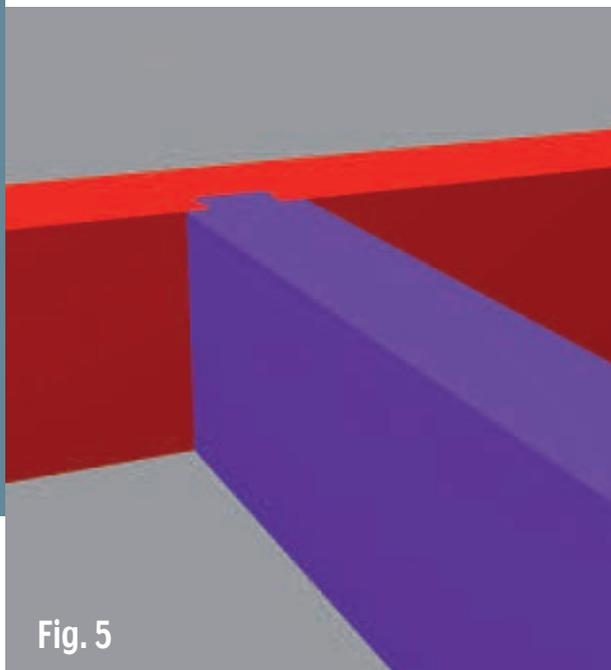


Fig. 5

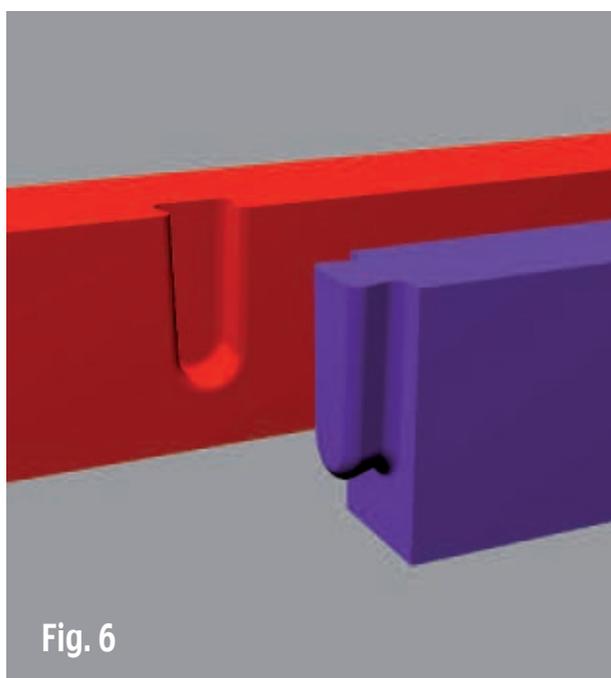


Fig. 6

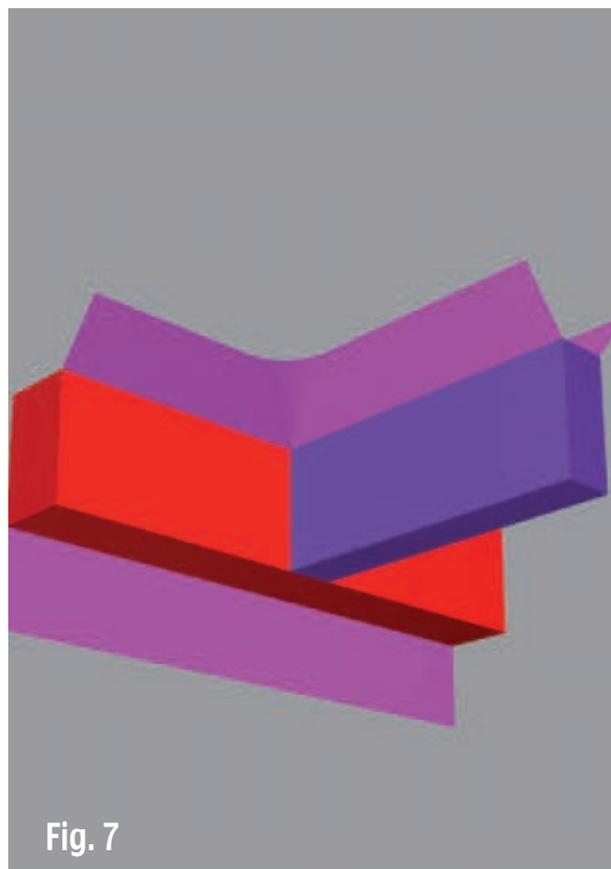


Fig. 7

### Modello di giunzione 02 - a "coda di rondine"

A prescindere dall'arrotondamento degli spigoli, questo modello detto "a coda di rondine" gode invece di un'ampia casistica, non tanto negli storici Trattati, quanto invece nelle recenti metodiche tramite CNC. Lo scopo della particolare forma strozzata in prossimità del rasamento consiste nel prevedere qui per l'alloggiamento il solo scorrimento in senso verticale, vincolando i pezzi in senso orizzontale. In un caso recente sussiste addirittura uno specifico brevetto. Il criterio-guida principalmente seguito tra dimensionamento e modellazione è stato quello di prefigurare un'ampia zona di rispetto nella parte inferiore, prestando attenzione al fatto che ciò avvenisse anche in senso bilaterale. Ciò al fine di non correre il rischio che la carbonizzazione vada a invadere le geometrie dell'incastro (Figure 5-8).

### Modello di giunzione 03 - "a cuneo"

Grazie alla sua forma trapezoidale (con la base corta orientata verso il basso), il "travetto-traverso" assume le caratteristiche di un cuneo. Pertanto l'incastro può essere detto "a cuneo". Forse in allusione all'azione di una chiave cuneiforme che si serra con pressione progressiva, questo tipo di incastro è detto anche *ciavariol* in area veneta. Lo stesso concetto di cuneo, magari applicato in magisteri di diversa natura, è stato documentato anche per quanto riguarda l'area romana. Rispetto ai due Modelli precedenti, l'altezza del "travetto-traverso" è postulata minore di quella della "trave-montante". Permane anche in questo caso il solo grado di libertà di movimento in senso verticale. In basso, i raccordi cilindrici sono a loro volta tangenti a rispettive superfici toroidali a matrice ellittica (determinata dall'intersezione di un piano sghembo rispetto all'asse di un cilindro). Questo artificio mira a conseguire l'obiettivo di garantire che gli spigoli della parte concava coincidano perfettamente con quelli della parte convessa. Ciò onde evitare che si vengano a determinare vacui o sfasature che potrebbero essere perniciosi in termini di vortici qualora i pezzi fossero attaccati dal fuoco.

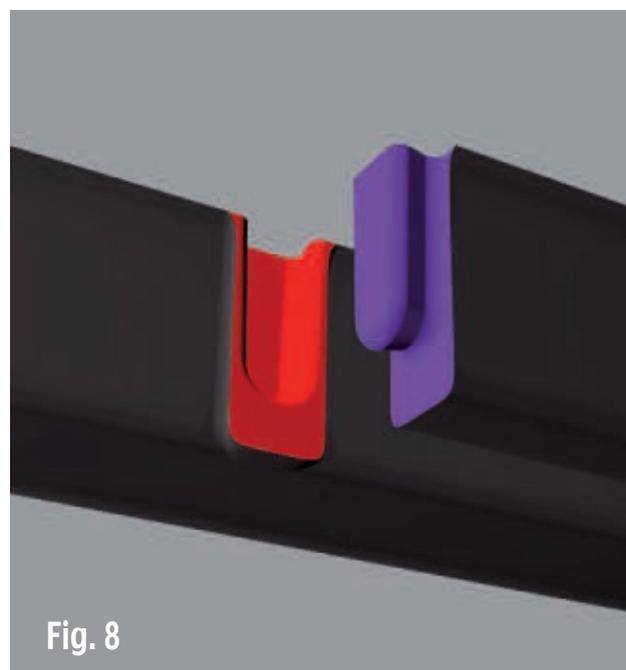


Fig. 8

Al tempo stesso, ciò costituisce una garanzia onde scongiurare il formarsi di micro-condense, beninteso a prescindere da eventuali incendi (Figure 9-12).

### Modello di giunzione 04 - "a tasca"

Il Modello "a tasca" qui trattato, non sarebbe tanto dissimile da quello precedente "a cuneo", se non fosse per il fatto che le facce oblique mutano in ortogonali. Permane, peraltro, la differente altezza tra "trave-montante" e "travetto-traverso". Anche il grado di libertà di movimento, per quanto riguarda l'innesto dei pezzi, risulta sostanzialmente circoscritto a quello dall'alto verso il basso. Però, data la presenza delle smussature, a differenza del caso precedente, non è possibile fare in modo che gli spigoli combacianti tra parte concava e parte convessa, collimino con lo stesso grado di precisione. L'anomalia si verifica nella zona inferiore del sistema. Ciò in quanto, per semplificare, diventa proibitivo risolvere alcune tangenze tra superfici. Ecco perché, nella parte concava, sarebbe giocoforza accettare il taglio netto delle due superfici raccordanti a quarto di cilindro. Ciò in corrispondenza della limitrofa faccia verticale della "trave-montante". Mentre nella parte convessa è

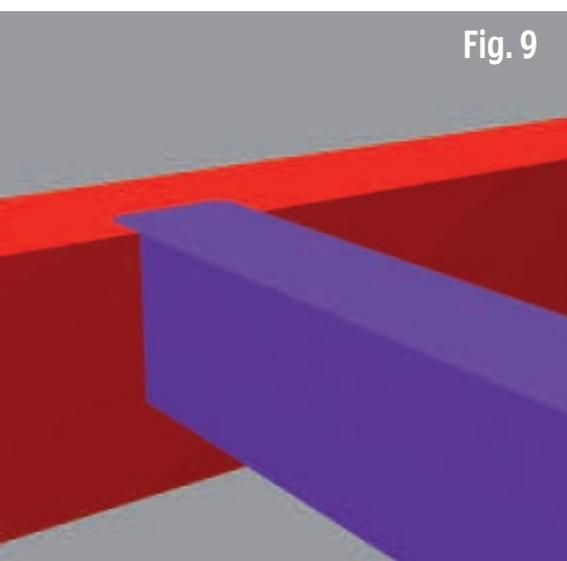


Fig. 9

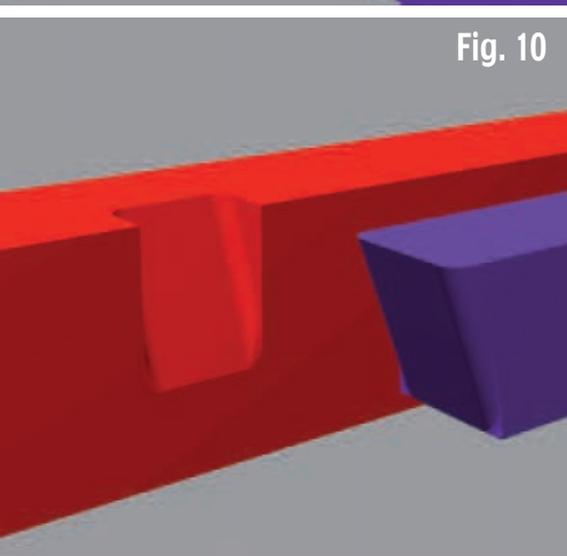


Fig. 10

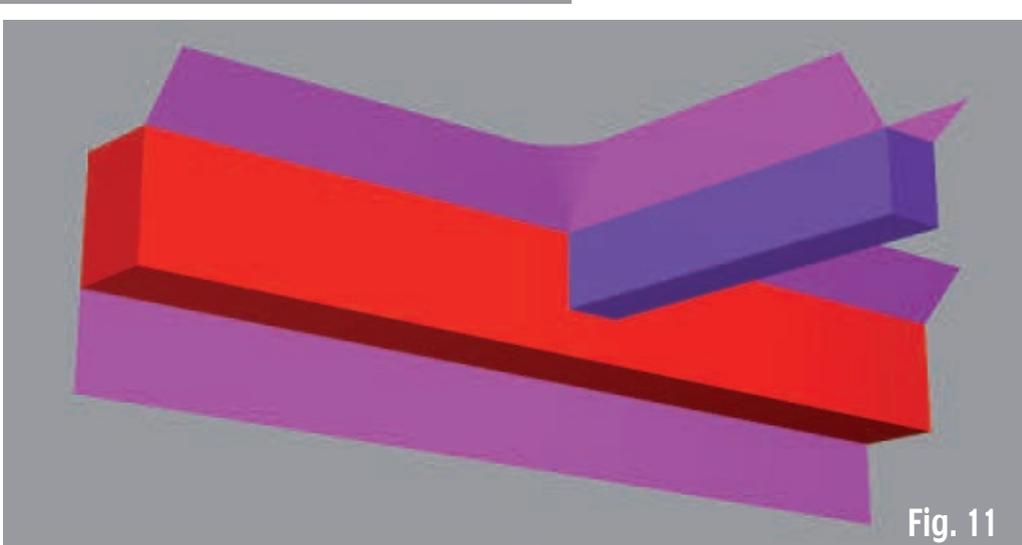


Fig. 11

giocoforza spostare all'esterno le due piccole superfici raccordanti tra rispettivi cilindri a quarto di cerchio e spigoli. Certamente questo aspetto comporta di per sé rischi per quanto riguarda i vortici in caso di incendio e, al tempo stesso, per quanto riguarda l'insorgere di micro-condense. Tutto sarebbe in ogni caso più semplice se la superficie d'appoggio in basso della cavità fosse piana. Ma, accogliendo il raffinato suggerimento di rendere tale superficie leggermente arcuata, al fine di accompagnare la rotazione della testata del "travetto-traverso" qualora un carico faccia flettere questo, la fessura sottostante diventa sistemica. Tanto più che, onde evitare che il "travetto-traverso" finisca per ruotare rozzamente sullo spigolo orizzontale della cavità, sarebbe preferibile che questo fosse leggermente smussato. Inoltre, in caso di rotazione, si produrrebbero divaricazioni anche nella parte superiore. Tutti aspetti che sui tre modelli precedenti ho voluto sorvolare, ma che certamente non potrò far a meno di trattare in occasione di sperimentazioni con pezzi reali. Ma, dato tutto ciò, verrebbe allora da domandarsi: perché smussare e arrotondare se, stando a questo caso, per lo più se

KLH

MADE FOR BUILDING  
BUILT FOR LIVING



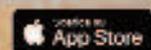
PROVATE IL NUOVO SOFTWARE



online sul sito

[www.klhdesigner.at](http://www.klhdesigner.at)

oppure come App su:



KLH 2015



KLH MASSIVHOLZ GMBH

6642 Trautentbach-Katsch | Gewerbestraße 4

Tel | +43 (0)3588 8835 0

office@klh.at | [www.klh.at](http://www.klh.at) | [www.klh.it](http://www.klh.it)



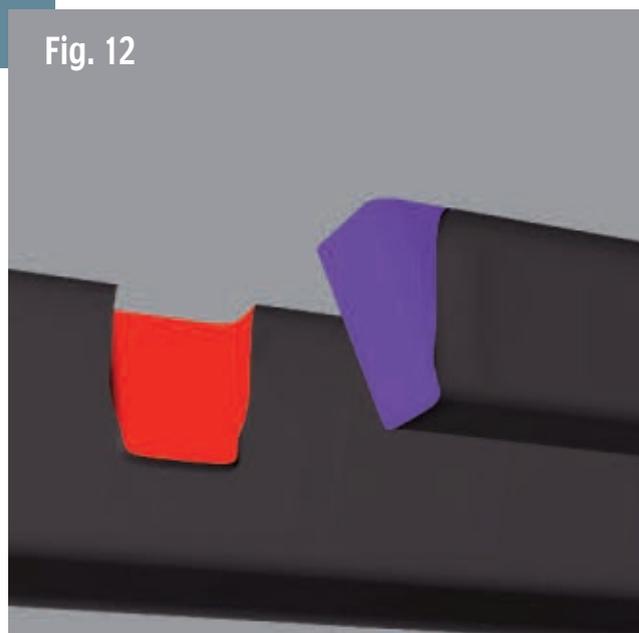


Fig. 12

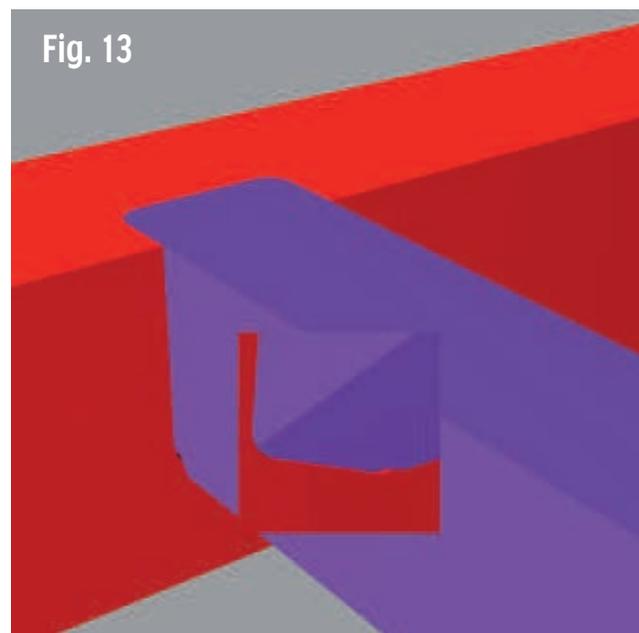


Fig. 13

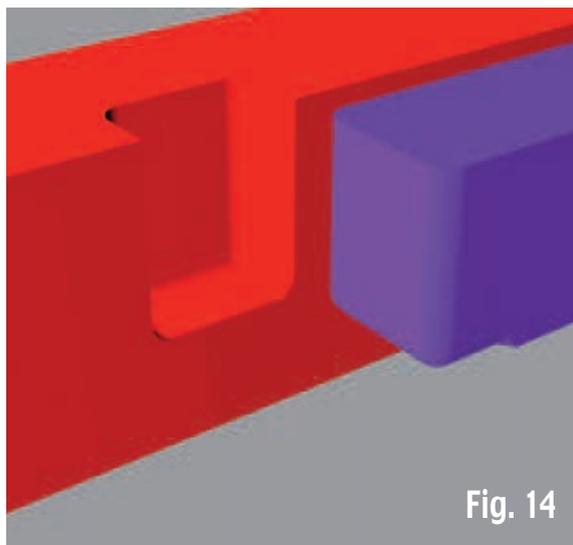


Fig. 14

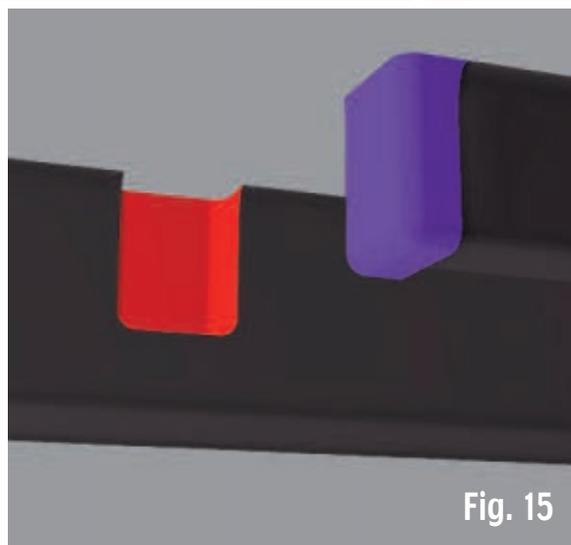


Fig. 15

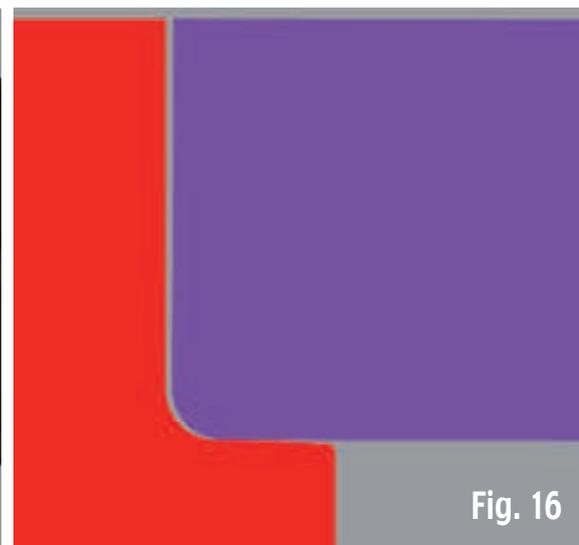


Fig. 16

ne potrebbe fare a meno? Lasciando da parte, peraltro, la raffinata rotazione? Intanto, a parte la rotazione, il problema non sussisterebbe affatto qualora anche gli spigoli inferiori del "travetto-traverso" fossero per tutta la loro lunghezza arrotondati. Se però si azzerasse tutto, e si tornasse ai soli spigoli vivi, permarrrebbe tuttavia un altro problema, ovvero quello di scavare a fresa un vertice concavo a tre superfici piane. Con sistemi e frese standard ciò sarebbe possibile soltanto in parte, dovendo per forza intervenire con successive operazioni manuali tramite scalpello o altro. A ben vedere, però, anche in questo caso una soluzione ci sarebbe se la fresa avesse forma conica... Guarda caso è quanto ho trattato con l'articolo: "Scavi a spigoli vivi tramite CNC" su *Struttura Legno* 020 Marzo 2018. Da tutte que-

ste considerazioni, in conclusione emerge con forza il fatto che, nonostante tutta la tecnologia, peraltro supportata da elevata scienza di cui oggi disponiamo, per tentare di raggiungere la perfezione in un tipo di giunzione di per sé semplice, ma parametrizzata con alcuni qualificanti attributi, diventa inevitabile imbattersi in irrisolvibili contraddizioni. Di sicuro, tuttavia, per quanto mi riguarda, la questione rimane ben aperta (Figure 11, 13, 14, 15, 16).

È bello finire con un dilemma, con un nuovo problema insorgente proprio dopo averne risolto altri in precedenza. Vuol dire che non si esaurisce mai la possibilità di fare meglio. Però è anche un po' angoscioso imboccare un nuovo sentiero oscuro e misterioso. D'altro canto, arrivati fin qui, ci si può accontentare dello *statu quo*?

# Legno e fuoco: conferme e qualche sorpresa

di Franco Laner e Alessio Piacenza

**Breve resoconto di una campagna sperimentale di resistenza al fuoco condotta su diverse tipologie di connessioni del legno strutturale. Le prove, seppur di numero limitato e con mezzi non canonici, hanno dimostrato che il progetto di difesa al fuoco delle strutture lignee deve porre molta attenzione a questo particolare costruttivo. In particolare, sono poco resistenti le giunzioni metalliche a vista, mentre la loro resistenza aumenta notevolmente se sono protette dal legno (protesi a scomparsa). Molto meglio, dal punto di vista della resistenza, le connessioni legno-legno, senza ricorso all'acciaio o all'alluminio. Le prove hanno fornito altresì utili informazioni sulla velocità di propagazione della combustione.**

Prima di entrare nel merito di questa campagna di prove, che ho condotto assieme ad Alessio Piacenza, con cui condivido l'interesse per le costruzioni di legno, specie della loro storia e delle problematiche di cantiere di cui è profondo conoscitore, voglio solo dire che ho provato una sottile attrazione per la forza, la bellezza e il fascino della fiamma. Nel "Cantico delle Creature" anche San Francesco ringrazia Dio per l'Acqua, il Fuoco, il Vento (aria) e la Terra. Come non condividere il Cantico, in particolare l'inno a "Frate Focu, per lo quale ennallumini la nocte: ed ello è bello et iocundo et robustoso et forte?"

Nei giorni in cui stavamo eseguendo le prove era in programmazione l'ultimo film di Woody Allen, "La ruota delle meraviglie", dove il figlio undicenne della protagonista, piromane, riesce a dar fuoco anche al cestino della psicoanalista che vorrebbe curarlo da questa patologia, che ha origine nel profondo della psiche umana e questa circostanza mi ha un po' distolto dal sottile invaghimento del fuoco (immagine n° 2).

Bando alle ciance, cerco di venire al sodo. Legno e fuoco sono sostantivi antitetici, dire legno è dire fuoco e viceversa. È una figura retorica assai comune e quindi non possiamo sottrarci dall'evento sotteso.

Fortunatamente però, mentre il legno ha un altissimo grado di partecipazione al fuoco, resiste al fuoco. La resistenza al fuoco, come definito anche dal recente DM 17 gennaio 2018, "Norme tecniche per le Costruzioni", è la capacità di una costruzione, di una parte di essa o di un elemento costitutivo di mantenere per un tempo prefissato, la sua capacità portante. Perciò l'unità di misura è quella del tempo, il minuto.

La nostra normativa consente di verificare la resistenza al fuoco. Il grado di partecipazione alla fiamma (reazione) del legno, come già accen-



1A



1B

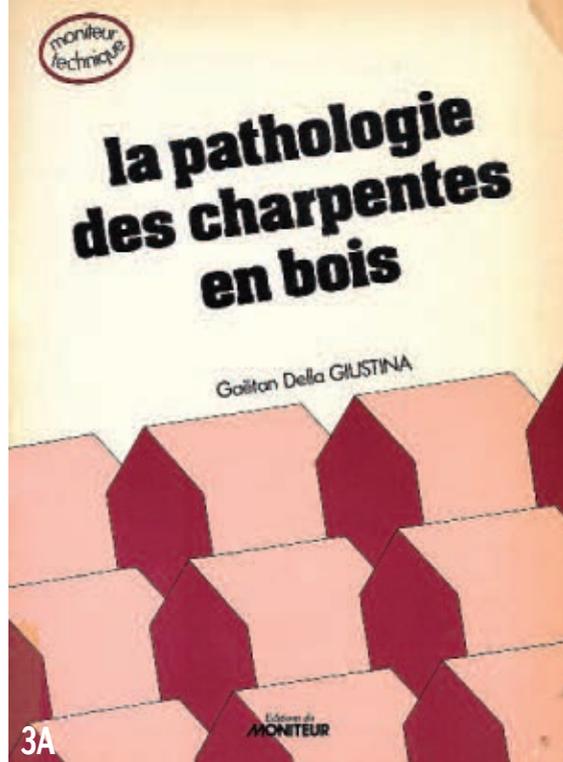


2

1A. San Floriano patrono dei Vigili del Fuoco, dipinto su una caserma dei pompieri (studafò) in Val Badia.

1B. Ex voto. Più che ringraziare la Madonna per i pericoli scampati, è tempo di impegnarsi nella prevenzione e difesa dal fuoco.

2. Dal film di W. Allen, "La ruota delle meraviglie".

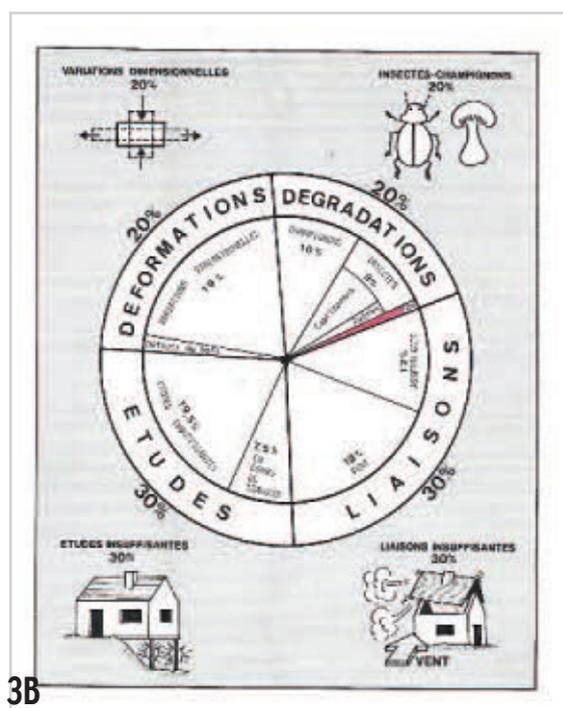


3A

**3A. 3B.** Frontespizio del libro di Gaetano Della Giustina (ed. Le Moniteur, Parigi, 1985) e sintesi percentuale delle cause di fuori-servizio delle costruzioni di legno. Si evince che il fuoco partecipa con una percentuale minima agli insuccessi. Sarebbe molto interessante un aggiornamento di tale casistica anche nel nostro Paese, dove gli incendi sono in aumento in correlazione con il rinnovato impiego del legno.

**4.** Esempio di compartimentazione attiva. In questo dipinto di Giuseppe Ghedina (Cortina, 1870) si cristallizza il modo di circoscrivere un incendio, bagnando le lenzuola stese sulle costruzioni limitrofe, in modo di evitare l'effetto domino.

**5.** Effetto domino di un incendio per mancanza di "robustezza" del sistema insediativo.



3B

nato, è massima e pertanto non servono nemmeno prove per stabilire la classe di reazione (vedere ad esempio Gazzetta uff. dell'U.E. L329/1, per X-Lam).

Forse l'indagine di G. Della Giustina (immagine n° 3a- 3b) eseguita negli anni '80 per meglio conoscere le cause di fuori servizio delle costruzioni di legno e per dare elementi di quantificazione del premio assicurativo andrebbe rifatta, perlomeno nel nostro Paese, dove l'aumento degli incendi delle case sta aumentando in correlazione con l'impiego del legno e la mancanza di attenzioni preventive e di difesa.

Spesso, per inevitabili disattenzioni, ma anche per vera e propria ignoranza, mancanza di cultura tecnica e progettuale, fra i casi mostrati di fuori servizio per incendio, è assente il concetto di compartimentazione, che consiste nel tentativo di limitare i danni degli effetti disastrosi di propagazione dell'incendio, cercando di confinare gli edifici e gli spazi. Si tratta, in altre parole, di evitare gli effetti a domino (immagine n° 4), che le nostre NTC (Norme tecniche per le Costruzioni) racchiudono nell'importante capitolo sulla "Robustezza" (immagine n° 5).

Prima però di passare al cuore di questa comu-

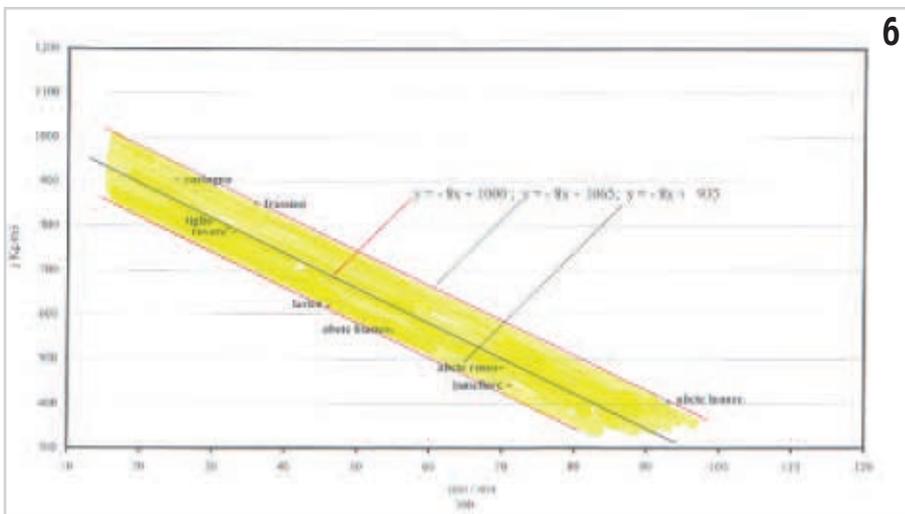


5

nicazione – comportamento al fuoco delle connessioni legno-legno – vogliamo richiamare brevemente i risultati di una ricerca sperimentale, eseguita con mezzi artigianali, per verificare la velocità di avanzamento della combustione in alcune specie legnose, oggetto di tesi di laurea (Laureando Armando Furlanis, Relatore Franco Laner, luav, 2004), anch'essa scaturita dalla curiosità di conoscere, per meglio progettare la prevenzione al fuoco. Queste prove, come quelle di cui rendicontiamo più avanti sulle connessioni, hanno il "difetto" che la fiamma è concentrata, con temperature decrescenti dal centro verso la periferia. Sono comunque prove significative perché le condizioni di prova sono sempre le stesse e il confronto è pertanto attendibile. I risultati ottenuti, riassunti nella retta di regressione (immagine n° 6) mostrano ciò che tutti conoscono, ovvero che la velocità di combustione è in correlazione con il peso della specie legnosa e la sua umidità. Sono dunque penalizzate le più leggere resinose, mentre la combustione è rallentata nelle latifoglie. Purtroppo, quest'ovvia correlazione non è tenuta presente (par. 3.6.1.2 dalle menzionate nuove NTC) nelle disposizioni emanate dal Ministero dell'Interno ai sensi del D.P.R del 29 luglio 1982, n. 577 e successive integrazioni, come l'importante norma UNI-En 1995-1-2 che consente di verificare la sicurezza al fuoco del legno. La velocità di progressione del legno è in pratica



4



uniformata a 0,7mm/m', che è quella che generalmente si riscontra nell'Abete rosso.

L'indagine condotta sul comportamento delle connessioni legno-legno amplia il campo della sicurezza al fuoco spostando l'attenzione non più alla resistenza dell'elemento strutturale, di cui ormai esiste ampia letteratura, bensì alla loro connessione. Il mercato oggi offre una vasta tipologia di soluzioni che hanno come principale obiettivo la sicurezza statica. La scelta si indirizza di solito verso la praticità realizzativa e il prezzo della connessione. In pochi casi virtuosi viene tenuta in conto la soddisfazione formale del particolare costruttivo.

Generalmente però la scelta del tipo di connessione si decide in base a un computo economico, ovvero prezzo e praticità esecutiva.

Se si introduce il parametro di resistenza al fuoco nella scelta del tipo di connessione, le risposte sono ancora diverse. L'immagine (fotografia n° 7) mostra una soluzione per aumentare la resistenza al fuoco ottenuta mediante il rivestimento ignifugo delle scarpette metalliche, che alla luce delle prove svolte appaiono risibili e anche bruttine!

Perciò abbiamo deciso, facendo anche noi i conti con alcuni parametri, economici in primis, per assoluto nostro autofinanziamento, di puntare su 6 tipologie di connessione, allestendo un "campo sperimentale" con tutte le precauzioni alla sicurezza di uomini e cose. Dal mio schizzo, Alessio è passato alla realizzazione (immagine n° 8) con importanti modifiche per la sicurezza e la fattibilità con minimo sforzo e poca fatica – esempio carico e scarico travetto secondario con 400 kg che simulano un normale esercizio dei solai di legno – con quella che è in edilizia l'organizzazione del cantiere, capitolo sempre più negletto, irrazionale e trascurato. (E qui il momento per ringraziare **Artuso Legnami** che ci



ha fornito e trasportato le travi e travetti a Marmirolo (Mn) e la **Soltech** che ci ha fornito la ferramenta).

Le prove si sono svolte al freddo e al gelo – per fortuna c'era il fuoco! – registrando i parametri che ci sono sembrati interessanti, come la temperatura dei nodi di interfaccia aggrediti dal fuoco con un termometro a infrarossi laser. Ovviamente il dato interessante è la resistenza, tempo di sopportazione del carico dall'inizio dell'incendio al collasso (minuti e secondi). Alcune immagini danno l'idea della sperimentazione (fotografie n° 9-12). Interessanti i filmati che collegano il momento del collasso, qui ovviamente non presentabili.

Nella tabella (immagine n° 13) sono riassunti i dati registrati nelle 6 prove.

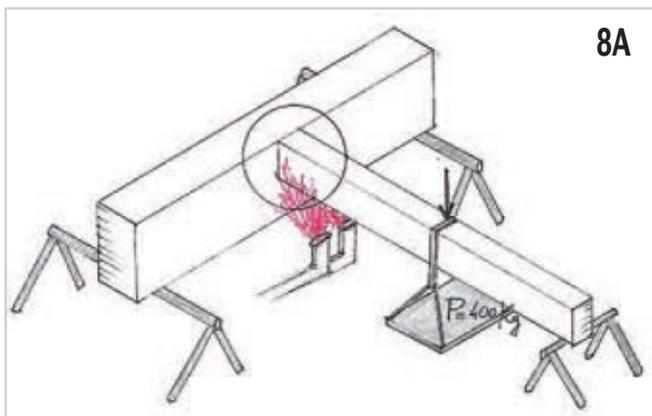
## CONCLUSIONI

Molti comportamenti al fuoco delle strutture lignee sono stati confermati, in primis la velocità di avanzamento della fiamma. L'intensità della fiamma e quindi la temperatura sono elementi decisivi per la velocità di combustione. C'è da dire che difficilmente in realtà ci saranno strutture lignee sottoposte per lungo tempo a temperature intorno ai 700°-800°. Queste temperature si possono magari oltrepassare, ma non per lungo tempo. Quindi la sperimentazione è stata severa,

6. Tabella relativa alla velocità di combustione. L'indagine eseguita su 8 specie legnose ha portato a identificare una buona retta di regressione peso specifico/resistenza. L'altro parametro che influenza la resistenza del legno è la sua umidità. L'acqua contenuta nelle cellule deve essere progressivamente espulsa. Il processo pertanto è in correlazione con la quantità d'acqua presente e rallentato in proporzione. Questa ricerca ha ovviamente valorizzato alcune specie legnose in caso di vulnerabilità all'incendio (Tesi A. Furlanis, rel. F. Laner, luav, 2004).

7. Protezione al fuoco di scarpette metalliche. Il progettista ha capito che la vulnerabilità al fuoco era dovuta all'acciaio a vista, ma la soluzione, specie sul piano formale, non è soddisfacente.

8A. 8B. Schema e realizzazione del banco di prova allestito da Alessio Piacenza, con grande attenzione alla sicurezza di persone e cose e alla praticità delle prove. La trave secondaria sopporta un carico concentrato di 400 kg simulando un usuale carico di esercizio.





9

9. Tavolo di registrazione dati, orologio, termolaser. In primo piano la scarpetta metallica del provino n. 1 deformata.

10A, 10B, 10C. Prova su provino 4. Fase di bruciatura, sede dell'appoggio e sezione residua. L'analisi della resistenza della sezione residua, combinando trazione per flessione (la rottura è avvenuta a 12 cm dall'appoggio, sforzo di taglio e torsione), porta alla conclusione che la sezione residua del legno dopo 54' conserva intatte tutte le caratteristiche meccaniche del legno.

anche se naif. D'altra parte, tali prove sotto carico abbisognano di laboratori altamente sofisticati e costosi, che noi non possediamo. Prove come quelle che mostriamo e che simulano situazioni reali, sotto carico, non sono effettuabili nel nostro Paese, nemmeno alla Capannelle. E nemmeno c'è letteratura, se non teorica.

La resistenza al fuoco di protesi metalliche, come ad esempio acciaio e alluminio a vista, è infima e decisamente da evitare. Questo è comunque risaputo, meno che la resistenza è equivalente a un Pater, Ave e Gloria (unità di misura con cui si descriveva, nel passato, la durata di un terremoto)! Forse si potrebbero cercare leghe di altra natura, che comunque saranno costose e non sempre belle se a vista. Il risultato più confortante è sicuramente la constatazione che qualora la connessione metallica, di acciaio o alluminio, sia protetta dal legno, la resistenza aumenta in relazione allo spessore di protezione.

Infatti, anche se pare paradossale, la migliore connessione è proprio quella dove il legno si unisce al legno senza alcuna protesi, perché essa resiste mettendo in atto la sua capacità di opporsi all'avanzamento della combustione.

In sintesi, proprio grazie al legno, la resistenza di una connessione, si può verificare grazie alla conoscenza della velocità di propagazione, partendo dal presupposto che le connessioni



metalliche non hanno resistenza al fuoco e che l'avanzamento della combustione indicata dalla norma è abbastanza attendibile per l'Abete, specie comunemente usata. Molto più lenta è invece la velocità nelle latifoglie.

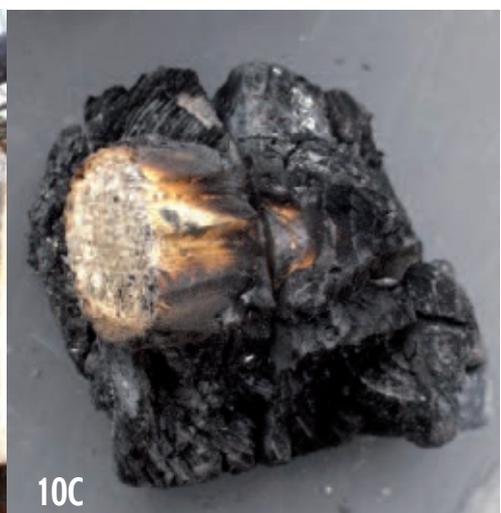
L'altro dato evidente delle prove è che la protezione dell'acciaio, esempio chiodi o perni, è totale, fino a un paio di mm di spessore del legno di avvolgimento. La temperatura del legno, subito dopo la linea di combustione, è



10A



10B



10C



11

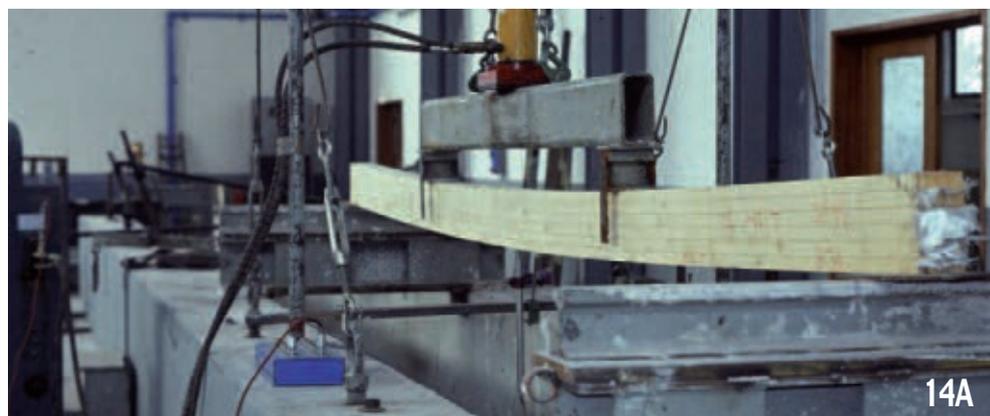


12

PROVA	TIPO	t° u	t° fuoco	RESISTENZA	OSSERVAZIONI
1	LEGGIO 	+2° 95%	72°	30'20"	16 "mordito" a rottura, era possibile in tipo
2	ACCIAIO 	+3° 90%	74°	6'40"	Chiodi Anker
3	ALLUMINIO 	4° 88%	78°	18'20"	2 Spirnotti $\phi 12$ (nessun anno di cedimento)
4	LEGGIO 	6° 85%	75°	54'	Velocità combustione $V = 1,3 \text{ mm/ann' sotto}$ $V = 0,77 \text{ mm/ann' fianco}$ Rottura per Taglio, flessione e TORSIONE
5	SHERPA 	3° 80%	78°	31'40"	Fusione dei due elementi hanno tenuto i chiodi protetti dal legno e inglobati nella fusione
6	ACCIAIO 	5° 80%	76°	32'20"	2 Spirnotti $\phi 12$ (in tegri)

Prove dell'8 e 13 febbraio 2018

13



14A

intorno ai 30-40° (misura empirica sulla piccola sezione residua) della connessione legno-legno. Abbiamo già avvertito della consapevolezza che il numero dei campioni è basso e le condizioni di sperimentazione sono approssimative e pertanto lungi da noi la pretesa di conclusioni perentorie. C'è comunque una buona significatività, qualche conferma del già noto, ma anche qualche sorpresa e soprattutto le prospettive di ricerca, ad esempio connessioni con cavicchi di legno, oppure la ripresa dell'impiego del legno lamellare fibrorinforzato, che in precedenti sperimentazioni aveva messo in luce modestissima velocità, grazie alle fibre che trattenevano la brace, impedendo alla fiamma di avanzare (fotografie n° 14a - 14b).

Infine, godiamoci la sottile attrazione del fuoco, ovviamente mai tale sulle nostre costruzioni di legno. Il fuoco associato ai riti, come i fuochi del Natale, rinascita dell'anno e anche di nostro Signore; quando il sole solstizia, nei giorni a cavallo del 21 dicembre, dobbiamo, col fuoco, aiutarlo a riprendere il suo ciclo, o se si vuole, auspicaire la perenne rinascita della luce, anche quella della conoscenza, che mi pare ce ne sia bisogno, perché i suoi granai sono quasi vuoti (immagine n° 15).



14B

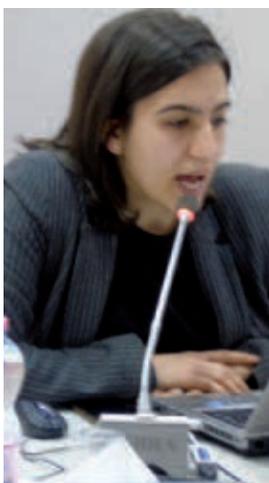


15

- 11. Collasso del provino 2 solo dopo 6'.
- 12. Le prove metalliche dopo il collasso.
- 13. Tabella riassuntiva dei risultati delle prove sulle diverse tipologie di connessione.
- 14A 14B. Legno lamellare fibrorinforzato. Prove meccaniche e al fuoco che hanno mostrato la lenta progressione della fiamma.
- 15. Frate Focu: bello, iocundo, robusto e forte.

# Diagnosi e valutazione meccanica residua di elementi di trave soggetti a incendio: analisi di un caso reale

di Silvia Ientile  
e Antonio Pantuso



**Per il calcolo della resistenza al fuoco degli elementi di legno, il metodo della sezione efficace è una delle metodologie previste dalla normativa di riferimento UNI-EN 1995-2; secondo il quale non si tiene conto di una riduzione delle proprietà meccaniche ed elastiche, ma a vantaggio della sicurezza si considera una maggiore riduzione della sezione per effetto dell'esposizione al fuoco.**

È stato quindi analizzato un caso reale, un fabbricato realizzato in pannelli di legno X-Lam con orizzontamenti e copertura a doppia falda, entrambi in legno lamellare (GL24H). L'edificio è stato interessato da incendio raggiungendo temperature tra 600 °C e 800 °C con fiamme dirette negli ambienti relativi al solaio del primo impalcato (Figura 1). Sono state calcolate le sezioni residue di tre travi in legno a seguito di rilievo e misurazioni in-situ attraverso trivella di Pressler determinando la profondità dello strato pirolitico (Figura 2).

Il calcolo della resistenza a fuoco tenendo conto delle sezioni residue è conforme ai parametri di progetto in funzione del coefficiente di carbonizzazione previsto per la tipologia di legno. Le stesse travi sono state sottoposte successivamente a prove di flessione eseguite presso il laboratorio LABSCO dell'Università IUAV di Venezia in riferimento alla norma **UNI EN 408:2004** (Figura 3). I risultati delle prove hanno restituito un valore medio di resistenza a flessione di circa 278 daN/cm<sup>2</sup>, superiore rispetto a quella prevista per il legno lamellare secondo la **UNI EN 1194**, e un modulo elastico marcatamente

inferiore, 61656 daN/cm<sup>2</sup> rispetto al valore di riferimento previsto (116000 daN/cm<sup>2</sup>).

Dai risultati ottenuti emerge una discordanza tra le proprietà meccaniche valutate sperimentalmente e quelle ricavate dalle tabelle per i profili caratteristici, osservata anche in termini di peso specifico. Poiché il metodo della sezione efficace non prevede una riduzione delle proprietà meccaniche a seguito dell'esposizione al fuoco, si ritiene che i parametri di riferimento dei profili caratteristici non tengano conto della eterogeneità delle caratteristiche meccaniche del materiale legno.



Fig. 1



Fig. 2

Fig 1. Dettaglio primo impalcato.

Fig 2. Dettaglio del rilievo delle sezioni residue su travi bruciate.

Fig 3. Set-up della prova a flessione presso laboratorio LabSco (IUAV).

Fig 4. Grafico carico-deformazione della prova a flessione su trave pre e post esposizione ad alte temperature.

	Em,g_medio [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma$ _medio [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Prove Sperimentali	61656	278	430
UNI-EN 1194	116000	240	380

È necessaria l'estensione dell'indagine su elementi esposti ad alte temperature per valutare l'effettiva ipotesi del metodo della sezione efficace. Una prima valutazione è stata fatta sulla base di prove a flessione su un travetto di legno in condizioni pre (Trave 1a) e post (Trave 1b) esposizione ad alte temperature. Il grafico carico-freccia (Figura 4), ricavato dalle misurazioni sperimentali, dimostra come vi sia una riduzione del modulo elastico in contrapposizione con l'ipotesi prevista per il calcolo della resistenza al fuoco.



Fig. 3

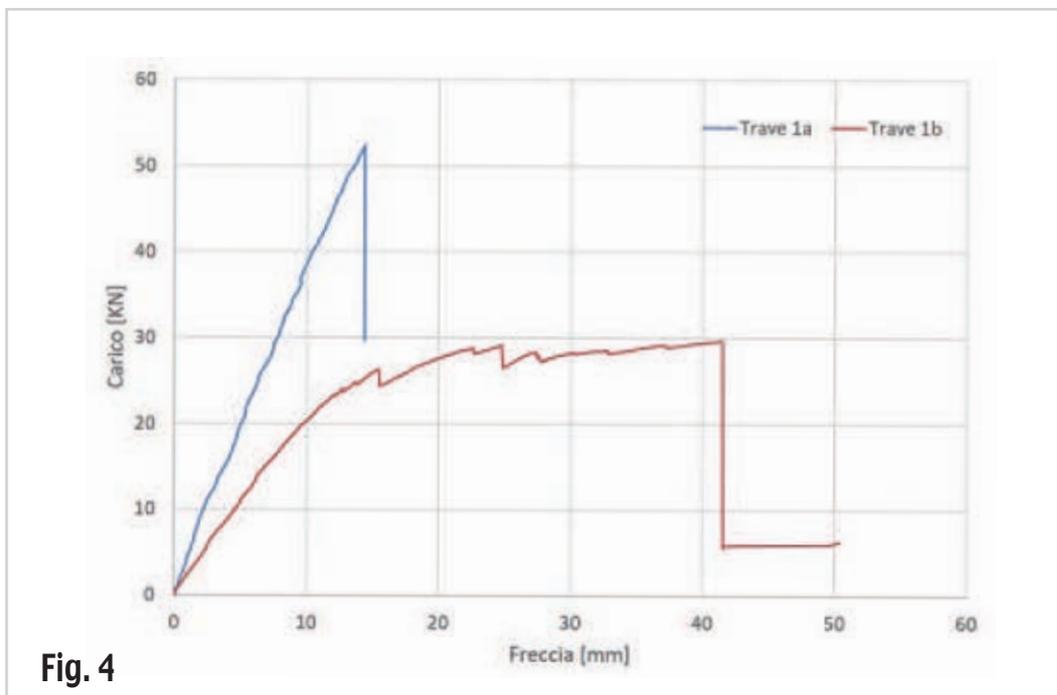
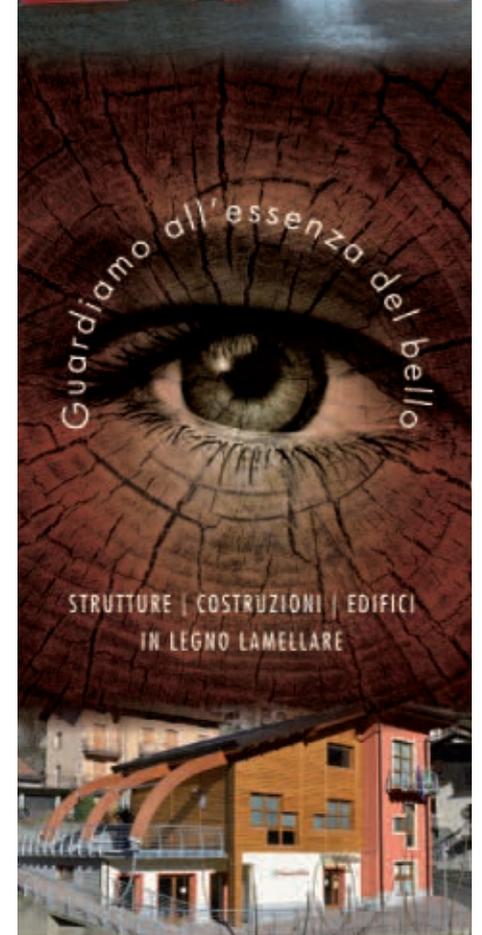


Fig. 4



# Legno e fuoco nella Scuola dell'Obbligo

di Fabrizio Duglio



In queste pagine alcune immagini del Laboratorio Didattico Tecnologia: Fig. 1 - Misurazione con un calibro di tipo digitale delle dimensioni di un cubetto di Tiglio (T3), Fig. 2 - Pesatura con bilancia di precisione di un cubetto di Castagno (C4), Fig. 3 - Campionatura di cubetti appartenenti alle tre specie legnose adottate dopo aver subito il processo di bruciatura. Paradossalmente sono risultati meno consumati i cubetti di Abete, rispetto a quelli di Tiglio, ma, soprattutto, rispetto a quelli di Castagno e ciò contrariamente ai dati statistici in letteratura specialistica. Per risalire a tale anomalia sarebbe stato necessario misurare l'umidità dei campioni.

In vista del Convegno su legno e fuoco tenuto a Verona il 24 febbraio 2018, durante un Laboratorio Didattico di Tecnologia, Classe 1C - Plesso di Predosa - Istituto Comprensivo IC Pochettino, Scuola Secondaria di Primo Grado di Castellazzo Bormida (Alessandria), è stata condotta un'esperienza formativa volta a far comprendere sul campo, in età scolare, gli elementi essenziali delle condizioni per cui il legno marcesce o brucia. I pur semplificati criteri operativi, non hanno comunque disatteso l'essenzialità scientifica essendo stati improntati, in linea di principio, a un rigoroso metodo sperimentale.

È noto come i processi cognitivi si sviluppino con maggior efficacia in età giovanile. Un concetto acquisito in età scolare è altamente più probabile che entri a far parte in modo permanente del bagaglio cognitivo, rispetto a quanto può succedere in un'età avanzata. Soprattutto se tale concetto viene acquisito con attività laboratoriali in cui l'allievo è protagonista del suo apprendimento. Fatta questa premessa pedagogica, veniamo al punto della questione.

## LACUNE SULLA CONOSCENZA DEL LEGNO

Poiché da molteplici parti si lamenta una scarsa o, se si vuole, superficiale conoscenza a livello diffuso del materiale-legno, soprattutto per quanto riguarda la facile degradabilità per cause termo-igrometriche avverse, nonché la rapida infiammabilità, a fronte di proprietà che

ne fanno invece uno straordinario materiale per le costruzioni, sono pertanto poste in evidenza in questo contesto le sue vulnerabilità. In tal senso, l'esperienza didattica qui descritta mira a far scoprire agli allievi le proprietà più significative del legno, in un quadro di conoscenze più complessivo. **Vale la pena di rimarcare che una conoscenza parziale delle proprietà del legno influenzi il giudizio complessivo del rapporto legno-costruzioni, sia nel senso dei pericoli che possono derivare in caso di incendi, alluvioni, semplici infiltrazioni o terremoti, sia nel senso dei vantaggi che invece detto materiale grandemente offre.** Tutto ciò a fronte di una sbilanciata vulgata sulle virtù del legno; in quanto, dette virtù certamente sussistono e sono di grandissima portata, ma da sole e in mancanza del contrappunto delle sue criticità, finiscono per fornire un quadro distorto della situazione.



Fig. 1



Fig. 2

## L'ESPERIENZA IN CLASSE

In concreto è successo che gli allievi della classe 1 C siano stati suddivisi in sei gruppi di lavoro e a ciascuno di essi sia stato affidato un compito di valutazione circa le trasformazioni subite da alcuni cubetti di legno sottoposti a talune alterazioni di condizione rispetto al normale. Tali alterazioni di condizione hanno riguardato da un lato l'immersione in acqua, dall'altro il rapporto col fuoco. Per quanto riguarda l'umidità, le trasformazioni hanno riguardato la variazione di peso e di dimensione. Per quanto riguarda il rapporto col fuoco, le trasformazioni hanno riguardato la velocità di combustione rispetto a tre tipi di legno: l'Abete, il Castagno, il Tiglio.

A ogni gruppo è stato assegnato un numero di identificazione, da 1 a 6. Così come a ogni legno è stato attribuito un simbolo partendo dalla prima lettera del nome comune: A per Abete; C per Castagno; T per Tiglio. Non è stata codificata simbolicamente la distinzione tra acqua e fuoco, ma in modo indiretto una differenziazione c'è stata per via delle due diverse dimensioni dei cubetti destinati, da un lato a essere imbibiti, dall'altro, destinati a essere bruciati. Nel primo caso i cubetti hanno misurato 30 x 30 x 30 millimetri. Nel secondo caso i cubetti hanno misurato 40 x 40 x 40 millimetri. Un'apposita scheda è stata approntata per registrare e comparare ogni tipo di misurazione.



Fig. 3

Se la valutazione dell'aumento di peso da imbibizione per ogni intervallo di tempo (dieci minuti) tramite una bilancia di precisione poteva essere cosa immediata, così altrettanto non era detto che fosse per la misurazione delle variazioni dimensionali, peraltro in riferimento alle tre sezioni caratteristiche del legno dei cubetti.

## con hsbshare...

- ▶ potete condividere via IPCE nel cloud tutte le informazioni contenute nel Vs. progetto 3D
- ▶ integrato con tutte le informazioni riguardanti il Vs. progetto, anche le carte d'opera
- ▶ accedete semplicemente tramite il Vs. browser, senza alcun software aggiuntivo ed ovunque Voi date
- ▶ collaborate online con il cantiere e con tutti i partecipanti al progetto
- ▶ ottenete veramente accesso in tempo reale a tutta la documentazione progettuale

**AUTODESK** Autodesk **Forum Holz | Bau**

hsbITALIA | Via San Giovanni Nepomuceno 5 | I-38121 Trento  
Tel. +39 0461 583044 | info@hsbicad.it | www.hsbicad.it

**hsbshare**  
Cloud based communication



visitateci!



SAIE  
17-20 ottobre 2018  
Bologna | IT



Fig. 5



Fig. 6

In queste pagine alcune immagini del Laboratorio Didattico Tecnologia: Fig 4- Raffronto diretto tra un campione bruciato di Abete e uno di Castagno, Fig 5- Pesatura con bilancia di precisione di un campione di Abete dopo aver subito il processo di bruciatura e Fig 6- Misurazioni di un campione bruciato con un calibro di tipo analogico.

Oltre alle fotografie sono raffigurate le prime quattro schede di rilevazione.

I risultati delle prove sono stati infatti riportati in un'apposita scheda, una per ogni prova effettuata, approntata per registrare e comparare ogni tipo di misurazione, completata da una sintesi con le conclusioni a cui i bambini sono arrivati (nell'ultima pagina).

Laboratorio Didattico:TECNOLOGIA classe 1C

### Analisi delle variazioni dimensionali

Tipo di prova: Immersione in acqua (50% dell'altezza A)  
Specie legnosa:  Castagno  Abete Rosso  Tiglio  
Codice:  C\_2  A\_  T\_

Unità di misura  mm  cm  
Larghezza L = 40  
Altezza A = 40  
Profondità P = 40  
Peso in gr 30

Tipo di immersione:  Fibra orizzontale  Fibra verticale

1. dopo 8 minuti	L =	A =	P =	Peso = <u>31,13</u>
2. dopo 16 minuti	L =	A =	P =	Peso = <u>31,37</u>
3. dopo 24 minuti	L =	A =	P =	Peso = <u>31,58</u>
4. dopo 32 minuti	L =	A =	P =	Peso = <u>31,85</u>
5. dopo 2 giorni	L = <u>40,03</u>	A = <u>40,08</u>	P = <u>40,13</u>	Peso = <u>41,52</u>

Aluni: 1. \_\_\_\_\_ 2. \_\_\_\_\_  
3. \_\_\_\_\_ 4. \_\_\_\_\_

**Scheda 1**

Laboratorio Didattico:TECNOLOGIA classe 1C

### Analisi delle variazioni dimensionali

Tipo di prova: Immersione in acqua (50% dell'altezza A)  
Specie legnosa:  Castagno  Abete Rosso  Tiglio  
Codice:  C\_3  A\_  T\_

Unità di misura  mm  cm  
Larghezza L = 40  
Altezza A = 40  
Profondità P = 40  
Peso in gr 30,02

Tipo di immersione:  Fibra orizzontale  Fibra verticale

1. dopo 8 minuti	L =	A =	P =	Peso = <u>31,05</u>
2. dopo 16 minuti	L =	A =	P =	Peso = <u>31,32</u>
3. dopo 24 minuti	L =	A =	P =	Peso = <u>31,50</u>
4. dopo 32 minuti	L =	A =	P =	Peso = <u>31,73</u>
5. dopo 2 giorni	L = <u>41,43</u>	A = <u>40,29</u>	P = <u>40,95</u>	Peso = <u>50,64</u>

Aluni: 1. \_\_\_\_\_ 2. \_\_\_\_\_  
3. \_\_\_\_\_ 4. \_\_\_\_\_

**Scheda 2**

Laboratorio Didattico:TECNOLOGIA classe 1C

### Analisi Visiva

Tipo di prova: fuoco  
Specie legnosa:  Castagno  Abete Rosso  Tiglio  
Codice:  C\_  A\_3  T\_

Unità di misura  mm  cm  
Larghezza L = 45 mm  
Altezza A = 45 mm  
Profondità P = 45 mm  
Peso iniziale 51,57 gr  
Peso finale 29,62 gr

Dopo 45 minuti il provino è:  completamente bruciato  
 parzialmente bruciato (1/4)  
 parzialmente bruciato (1/2)  
 parzialmente bruciato (3/4)  
 non è bruciato

Aluni: 1. \_\_\_\_\_ 2. \_\_\_\_\_  
3. \_\_\_\_\_ 4. \_\_\_\_\_

**Scheda 3**

Laboratorio Didattico:TECNOLOGIA classe 1C

### Analisi Visiva

Tipo di prova: fuoco  
Specie legnosa:  Castagno  Abete Rosso  Tiglio  
Codice:  C\_3  A\_  T\_

Unità di misura  mm  cm  
Larghezza L = 45 mm  
Altezza A = 45 mm  
Profondità P = 45 mm  
Peso iniziale 46,97 gr  
Peso finale 32,04 gr

Dopo 45 minuti il provino è:  completamente bruciato  
 parzialmente bruciato (1/4)  
 parzialmente bruciato (1/2)  
 parzialmente bruciato (3/4)  
 non è bruciato

Aluni: 1. \_\_\_\_\_ 2. \_\_\_\_\_  
3. \_\_\_\_\_ 4. \_\_\_\_\_

**Scheda 4**



La **prova di imbibizione** si è svolta nel seguente modo: tre gruppi hanno immerso i cubetti con fibratura orizzontale; tre gruppi, invece, hanno immerso i cubetti con fibratura verticale. La profondità di immersione è stata di venti millimetri, ovvero metà dell'altezza.

Leggendo le schede si possono vedere i risultati rilevati. Per quanto riguarda la **prova di bruciatura**, l'esperienza ha riguardato la valutazione degli effetti a bruciatura terminata, relativamente a campionature di cubetti distinti da quelli destinati al processo di imbibizione. L'effettuazione della bruciatura vera e propria è avvenuta in ambiente extrascolastico onde scongiurare ogni possibile rischio di danno. Il metodo è stato quello di porre su di un fornello da camping i cubetti a fibratura verticale.

I tempi di bruciatura sono stati i seguenti: Gruppo 1, 5 minuti; Gruppo 2, 10 minuti; Gruppo 3, 15 minuti; Gruppo 4, 20 minuti; Gruppo 5, 25 minuti; Gruppo 6, 30 minuti.



Fig. 4

# VERLAM

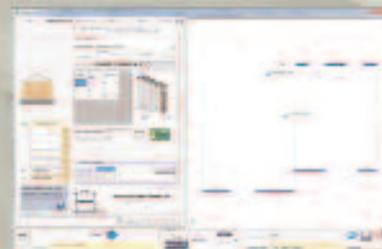
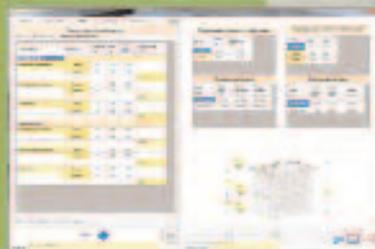
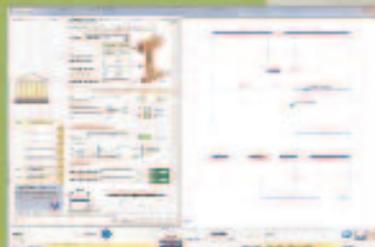
Software per il calcolo del legno



Wall

intero edificio

COMPUTO FERRAMENTA  
ESPORTAZIONE DWG  
IMPORTAZIONE DXF  
FINO A 3 PIANI  
STRUTTURA XLAM  
STRUTTURA TELAIO



Joint

connessioni

COLLEGAMENTI GENERICI  
SCARPE INTERNE  
GIUNTI GENERICI  
GIUNTI A CORONA  
ANCORAGGI STANDARD



Structure

singoli elementi

NTC 2008  
LEGNO MASSICCIO  
LEGNO LAMELLARE  
VERIFICA A FUOCO

 [www.verlam.com](http://www.verlam.com)

 [info@verlam.com](mailto:info@verlam.com)

hsbitalia  
via alla busa 2 • 38122 Trento  
tel +39 0461 983044  
fax +39 0461 231383



Fig. 7

### CONCLUSIONE

L'esperienza si è conclusa con la comparazione e la discussione dei risultati ottenuti, opportunamente registrati su apposite schede e sintetiche relazioni. In particolare gli allievi della Classe 1 C di Predosa hanno appreso che: se il legno assorbe acqua, aumenta di peso e si ingrossa (mentre avviene il contrario quando si asciuga) e, se si brucia, ciò avviene a velocità costante. Soprattutto, per quanto riguarda questo secondo aspetto, hanno

cominciato a fare i conti con il dilemma tra paura del fuoco (sacrosanta) e sicurezza (non facile da immaginare) grazie a quella parte di legno che, seppure prossimo a essere incendiato, non è stato ancora intaccato. Un domani, gli allievi saranno in grado di fare scelte consapevoli e non sul "sentito dire", proprio in virtù dell'esperienza di Laboratorio Didattico Tecnologia, in cui la conoscenza di alcune essenziali proprietà del legno è stata costruita e non semplicemente raccontata. Se un domani qualcuno della Classe diventerà ingegnere o architetto o metterà su una fabbrica per case di legno, potrà dire che certe cose sul legno le ha imparate da piccolo a scuola.

Laboratorio Didattico. TECNOLOGIA  
classe 1C

**Analisi Visiva**

Tipo di prova: fuoco

Specie legnosa:  Castagno  Abete Rosso  Tiglio

Codice:  C  A6  T

Unità di misura:  mm  cm

Larghezza L = 48

Altezza A = 48

Profondità P = 48

Peso iniziale 51,45 gr

Peso finale 43,55 gr

Dopo 30 minuti il provino è:  completamente bruciato  
 parzialmente bruciato (¼)  
 parzialmente bruciato (½)  
 parzialmente bruciato (¾)  
 non è bruciato

Alviti

1. \_\_\_\_\_ 2. \_\_\_\_\_

3. **Scheda 5** 4. \_\_\_\_\_

Laboratorio Didattico. TECNOLOGIA  
classe 1C

**Analisi Visiva**

Tipo di prova: fuoco

Specie legnosa:  Castagno  Abete Rosso  Tiglio

Codice:  C6  A  T

Unità di misura:  mm  cm

Larghezza L = 68

Altezza A = 68

Profondità P = 68

Peso iniziale 78,05 gr

Peso finale 3,67 gr

Dopo 30 minuti il provino è:  completamente bruciato  
 parzialmente bruciato (¼)  
 parzialmente bruciato (½)  
 parzialmente bruciato (¾)  
 non è bruciato

Alviti

1. \_\_\_\_\_ 2. \_\_\_\_\_

3. **Scheda 6** 4. \_\_\_\_\_

1) Il legno brucia con le fiamme rosse non il calore anche molto intenso.  
2) Quando il legno comincia a bruciare fa molta fiamma. Dopo un minuto le fiamme si riducono e brucia più piano perché si nutrono di carbonio.  
3) Il legno di castagno è pesante e duro. Il legno di abete è leggero e si inquina facilmente. Il legno di tiglio è leggero e ha un buon profumo.  
4) Quando si brucia il legno di castagno diventa di marrone più scuro, quello di abete diventa giallo.  
5) Il legno di abete brucia molto più lentamente di quello di tiglio e castagno.  
6) Quando bruciano i cubetti di castagno e di tiglio si consumano in uguale maniera e sono avvolti dal carbone.  
7) Quando brucia il legno di abete le fiamme dopo un po' sparano e si consumano solo sotto.

Fig. 8

1) Il castagno e il tiglio se brucia le fiamme si alimentano da sé.  
2) Il legno di abete non quando brucia le fiamme non riescono a alimentarsi e sembra spegnersi.  
3) La capacità di assorbire acqua si chiama igroscopicità.  
4) La capacità di bruciare poco e lentamente si chiama resistenza al fuoco.

Fig. 9

In questa pagina ancora un'immagine del Laboratorio Didattico Tecnologia: Fig 7- Osservazione degli effetti della bruciatura in un cubetto per mezzo di una lente di ingrandimento. Oltre alle fotografie sono raffigurate le ultime due schede di rilevazione e la breve descrizione dell'esperienza su un foglio fronte-retro.