

**PROGETTARE
EDIFICI IN LEGNO
CON SPECIFICHE
PERFORMANCE
AL FUOCO**

Ing. Albino Angeli



DATEE

INDICE

- Conoscenze base di un ingegnere
- Test di laboratorio con CLT/XALM esposto e non
- Prima esperienza oltreoceano su uno studentato e relativi test e considerazioni
- Prime esperienze oltreoceano su un Post and Beam di grandi dimensioni
- Soluzioni progettuali
- Conclusioni



| | |
|----------|---|
| R | la stabilità al fuoco esprime, per il generico elemento della costruzione portante o no, la capacità di conservare la propria resistenza meccanica in corrispondenza di un determinato incendio |
| E | la tenuta al fuoco si riferisce all'attitudine di un elemento divisorio (ad esempio tra differenti compartimenti) sottoposto all'azione di un determinato incendio su un lato a non lasciare passare né a produrre fiamme, vapori o gas caldi sul lato non esposto |
| I | l' isolamento termico esprime infine la capacità dell'elemento divisorio a mantenere entro livelli prefissati la trasmissione del calore sul lato non esposto all'incendio; usualmente tali livelli sono assunti in corrispondenza della temperatura massima verificata sul lato non esposto (≤ 180 °C) e di quella media sul medesimo lato (≤ 140 °C) |



COMPORTAMENTO DEL LEGNO IN FASE DI INCENDIO

Il fatto che il legno sia combustibile giustifica il timore diffuso nell'impiegarlo come materiale da costruzione?



Le sostanze volatili prodotte dalla combustione si muovono verso l'esterno raffreddando il carbone, inoltre c'è anche un fenomeno di riflessione.

Si raggiunge un equilibrio tra perdita di materia in superficie e arretramento del legno integro tale per cui si può considerare approssimativamente costante pari a 0,6 – 0,8 mm/minuto.

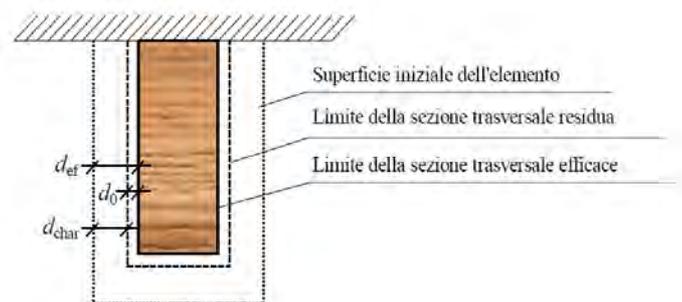
APPROCCIO NORMATIVO PER IL CALCOLO DELLA RESISTENZA AL FUOCO DEL LEGNO

Definizioni:

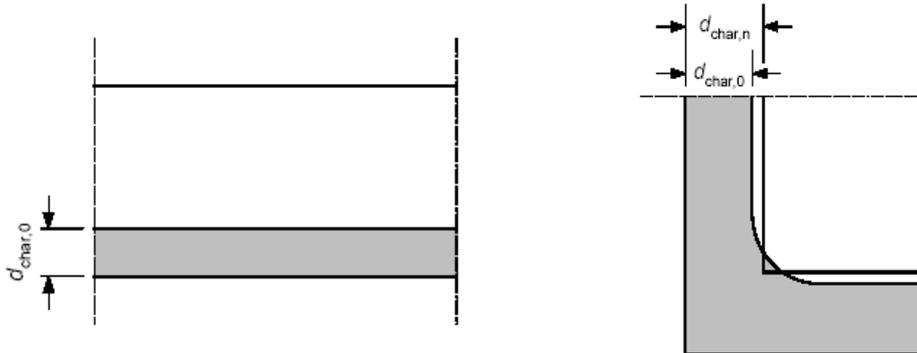
- ✓ **Linea di carbonizzazione:** confine tra strato carbonizzato e sezione trasversale residua
- ✓ **Sezione trasversale residua:** sezione trasversale originaria ridotta dello strato carbonizzato
- ✓ **Sezione trasversale efficace:** sezione trasversale originaria ridotta dello strato carbonizzato e di un successivo strato in cui si considerano resistenza e rigidezza nulli

Metodologie di calcolo:

- ✓ **Sezione efficace**
- ✓ Resistenza e rigidezza ridotte
- ✓ Metodi generali di calcolo



DETERMINAZIONE DELLA SEZIONE TRASVERSALE EFFICACE



Calcolo analitico: - d_{ef} profondità di carbonizzazione;

- $d_{char} = \beta_0 \cdot t$;

- β_0 velocità di carbonizzazione ideale, convenientemente superiore a quella effettiva, per includere gli effetti (negativi) di fessurazioni e arrotondamento degli spigoli della sezione;

- k_0 coefficiente dipendente dal tempo t , variabile linearmente tra 0 (in corrispondenza del tempo $t=0$) e 1 (in corrispondenza del tempo $t=20$ minuti), ed assunto costante e pari ad 1 per $t > 20$ minuti;

- $d_0 = 7$ mm.

$$D_{ef} = d_{char} + k_0 \cdot d_0$$

| NORMA | RIFERIMENTO |
|-----------------|-------------|
| UNI EN 1995-1-2 | Cap. 4.2.2 |

RESISTENZE E MODULI DI ELASTICITÀ DI PROGETTO

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

| NORMA | RIFERIMENTO |
|-----------------|-------------|
| UNI EN 1995-1-2 | Cap. 2.3 |

$f_{d,fi}$ è la resistenza di progetto in caso di incendio;

$S_{d,fi}$ è la proprietà di rigidezza di progetto (modulo di elasticità $E_{d,fi}$ o modulo di taglio $G_{d,fi}$) in caso di incendio;

f_{20} è il frattile 20% di una proprietà di resistenza a temperatura normale;

S_{20} è il frattile 20% di una proprietà di rigidezza (modulo di elasticità o modulo di taglio) a temperatura normale;

$k_{mod,fi}$ è il fattore di correzione per il fuoco;

$\gamma_{M,fi}$ è il fattore parziale di sicurezza per il legno in caso di incendio.

prospetto 2.1 Valori di k_{fi}

| | |
|---------------------------|----------|
| | k_{fi} |
| Legno massiccio | 1,25 |
| Legno lamellare incollato | 1,15 |

RESISTENZA AL FUOCO DEI COLLEGAMENTI

| NORMA | RIFERIMENTO |
|-----------------|-------------|
| CNR DT 206/2007 | 12.3 |

La giunzione è un punto delicato in quanto c'è la presenza di due materiali (legno e acciaio) diversi sia per quanto riguarda la conducibilità termica che il comportamento deformativo in seguito all'esposizione al fuoco. Le unioni "non protette" purché progettate correttamente per le combinazioni a temperatura ambiente ed a comportamento globalmente simmetrico sono considerate soddisfacenti alla classe di resistenza R15 – R20.

| Elementi di collegamento | $t_{d,fi}$ (min.) | Condizione imposta |
|---|-------------------|--------------------|
| Chiodi | 15 | $d \geq 2.8mm$ |
| Viti | 15 | $d \geq 3.5mm$ |
| Bulloni | 15 | $t_1 \geq 45mm$ |
| Perni | 20 | $t_1 \geq 45mm$ |
| Altri tipi di connettori (secondo EN 912) | 15 | $t_1 \geq 45mm$ |

E' possibile raggiungere resistenze più elevate proteggendo adeguatamente i mezzi di unione scontando comunque al tempo di progetto quello riportato nella precedente tabella. Per il calcolo fare riferimento alla UNI EN 1995-1-2.

Determinazione degli spessori di legno a protezione di elementi di giunzione a gambo cilindrico

$$a_{fi} = \beta_n k_{flux} (t_{req} - t_{d,fi})$$

- ✓ β_n è la velocità di carbonizzazione già definita
- ✓ k_{flux} è un coefficiente che tiene conto di un aumento del flusso termico a causa della presenza dell' elemento metallico (si assume pari a 1,5)
- ✓ t_{req} è la richiesta di resistenza al fuoco in termini temporali
- ✓ $t_{d,fi}$ è la resistenza della giunzione nel caso non protetto
- ✓ (come riportato nella precedente tabella)

Determinazione degli spessori di legno a protezione di piastre metalliche esterne

$$a_{fi} = \beta_n k_{flux} (t_{req} - t_{d,fi})$$

$t_{d,fi}$ è la resistenza della piastra esterna nel caso non protetto (viene assunto pari a 5 minuti)

Determinazione degli spessori di legno a protezione di piastre metalliche interne

Con uno spessore ligneo di almeno 30 mm si riesce a garantire (lato piastra) una R 60

LA RESISTENZA AL FUOCO: ELEMENTI STRUTTURALI E CONNESSIONI

SCARPETTA ESTERNA

- Questo sistema di giunzione è il più semplice ed economico; si riesce a garantire al massimo una R15
- Per arrivare ad una resistenza pari a R30 l'elemento metallico deve essere protetto

STAFFA A SCOMPARSA

- Questo sistema è molto diffuso. Senza utilizzare tappi che coprono le teste dei bulloni si riesce a garantire anche una R30
- Con l'utilizzo di tappi in legno e progettando opportunamente lunghezza e diametro degli spinotti si arriva a R60 ed oltre



CONOSCENZE BASE SUL MATERIALE XLAM

Elemento fondamentale è la velocità di carbonizzazione specifica dell'elemento strutturale



| CAMPIONI/SEMPLES | PROFONDITA' DI CARBONIZZAZIONE / CHARRING DEPTH [mm] | | | FOTO / Picture |
|------------------|--|-----------------|--------------|----------------|
| | MIN/MIN [mm] | MEDIA/MEAN [mm] | MAX/MAX [mm] | |
| LFV-31/2011-1 | 65,7 | 46,7 | 53,1 | |
| LFV-31/2011-2 | 76,8 | 49,6 | 55,9 | |
| LFV-31/2011-3 | 73 | 43,6 | 51,1 | |
| LFV-31/2011-4 | 58,7 | 43,8 | 47,6 | |
| LFV-31/2011-5 | 64,8 | 41,7 | 49 | |
| LFV-31/2011-6 | 61,3 | 44,3 | 48,3 | |

| CAMPIONI/SEMPLES | VELOCITA' DI CARBONIZZAZIONE / CHARRING RATE [mm/min*] |
|------------------|--|
| LFV-31/2011-1 | 0,53 |
| LFV-31/2011-2 | 0,56 |
| LFV-31/2011-3 | 0,51 |
| LFV-31/2011-4 | 0,48 |
| LFV-31/2011-5 | 0,49 |
| LFV-31/2011-6 | 0,48 |

TEST DI LABORATORIO CON CLT/XALM ESPOSTO E NON

PARETE XLAM ESPOSTA 3 STRATI 100 mm CON CARICO VERTICALE 42 KN/m

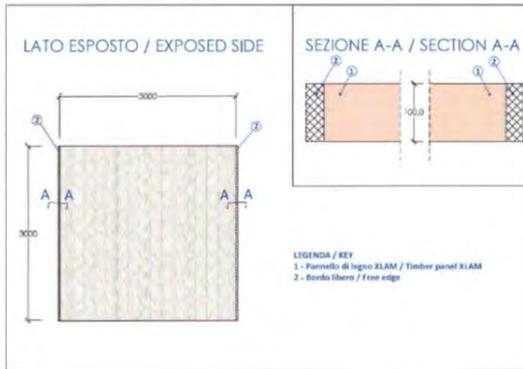


Foto 1: lato esposto al fuoco prima della prova
Foto 1: side exposed to fire before the test



Foto 2: lato non esposto al fuoco prima della prova
Foto 2: side not exposed to fire before the test



Foto 3: lato non esposto al fuoco dopo la prova
Foto 3: side not exposed to fire after the test



Foto 4: lato esposto al fuoco dopo la prova
Foto 4: side exposed to fire after the test

DURATA TEST 81 MINUTI

REI 60

PARETE XLAM 3 STRATI 100 mm + LASTRA IN ADERENZA CON CARICO VERTICALE 42 KN/m

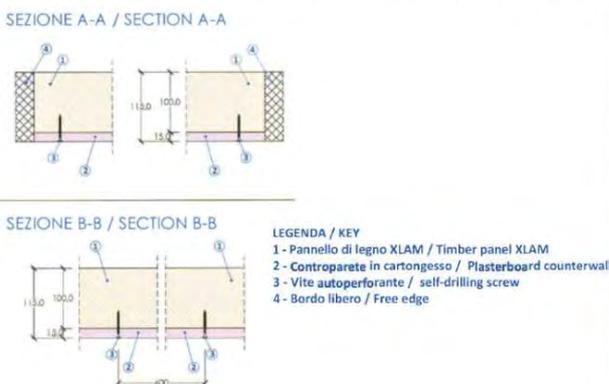


Foto 1: lato esposto al fuoco prima della prova
Foto 1: side exposed to fire before the test



Foto 2: lato non esposto al fuoco prima della prova
Foto 2: side not exposed to fire before the test



Foto 3: lato non esposto al fuoco dopo la prova
Foto 3: side not exposed to fire after the test



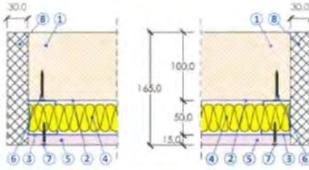
Foto 4: lato esposto al fuoco dopo la prova
Foto 4: side exposed to fire after the test

DURATA TEST 139 MINUTI

REI 120

PARETE XLAM 3 STRATI 100 mm CONTROPARETE CON CARICO VERTICALE 42 KN/m

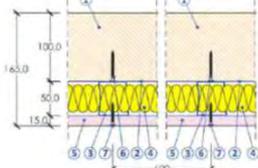
SEZIONE A-A / SECTION A-A



LEGENDA / KEY

- 1 - Pannello di legno XLAM / Timber panel XLAM
- 2 - Profilo guida in acciaio a U 35x50x35 sp.0.6 / Steel track profile U 35x50x35 th.0.6
- 3 - Profilo montante in acciaio a U 43x50x40 sp.0.6 / Steel stud profile U 43x50x40 th.0.6
- 4 - Lana di roccia sp. 40 mm, densità 40 Kg/mc / Rock wool th. 40 mm, density 40 Kg/mc
- 5 - Controparete in cartongesso / Plasterboard counterwall
- 6 - Vite autoperforante 45 mm / self-drilling screw 45 mm
- 7 - Vite autoperforante 35 mm / self-drilling screw 35 mm
- 8 - Bordo libero / Free edge

SEZIONE B-B / SECTION B-B



DURATA TEST 142 MINUTI

REI 120



Foto 1: lato esposto al fuoco prima della prova
Foto 1: side exposed to fire before the test



Foto 2: lato non esposto al fuoco prima della prova
Foto 2: side not exposed to fire before the test



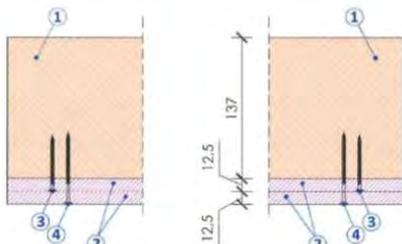
Foto 3: lato non esposto al fuoco dopo la prova
Foto 3: side not exposed to fire after the test



Foto 4: lato esposto al fuoco dopo la prova
Foto 4: side exposed to fire after the test

SOLAIO 5 STRATI 137 mm + DOPPIA LASTRA IN ADERENZA CON CARICO VERTICALE 5 KN/mq

SEZIONE A-A / SECTION A-A



LEGENDA / KEY

- 1 - Pannello di legno XLAM / Timber panel XLAM
- 2 - Controsoffitto in cartongesso / Plasterboard ceiling
- 3 - Vite autoperforante 55 mm / self-drilling screw 55 mm
- 4 - Vite autoperforante 70 mm / self-drilling screw 70 mm
- 5 - Bordo libero / Free edge

DURATA TEST 157 MINUTI

REI 120



Foto 1: lato esposto al fuoco prima della prova
Foto 1: side exposed to fire before the test

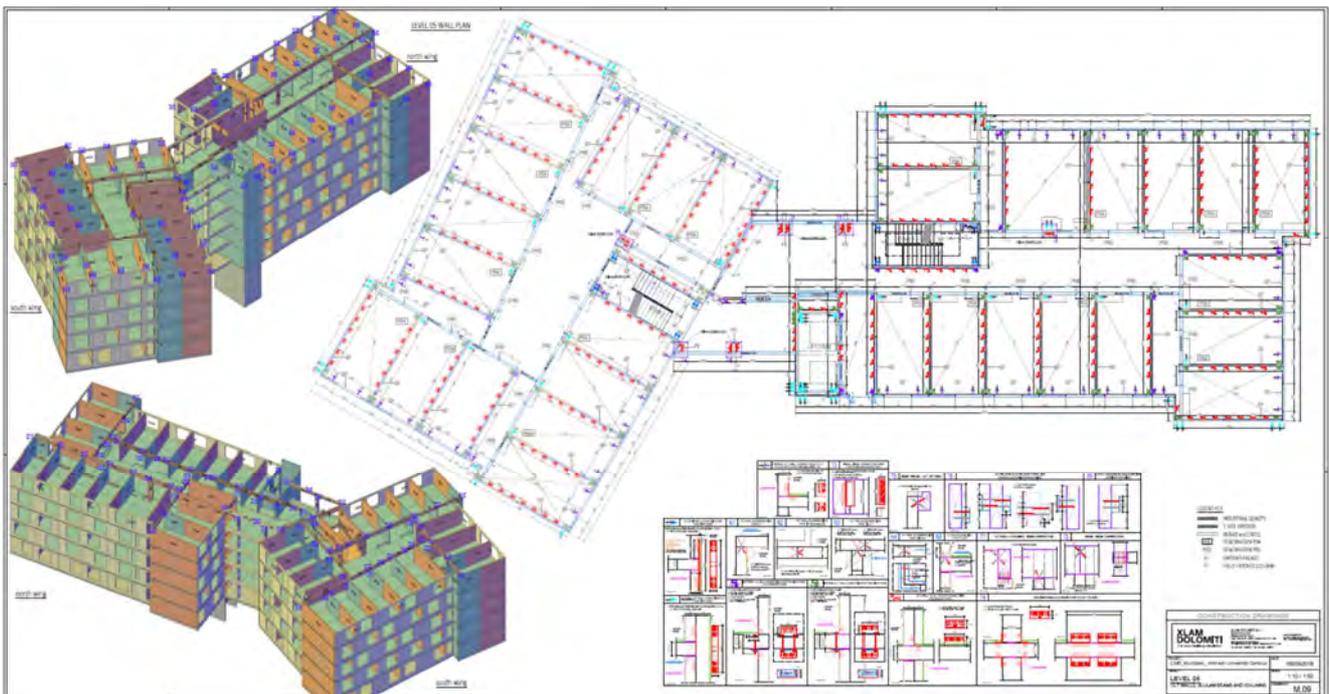


Foto 2: lato non esposto al fuoco prima della prova
Foto 2: side not exposed to fire before the test



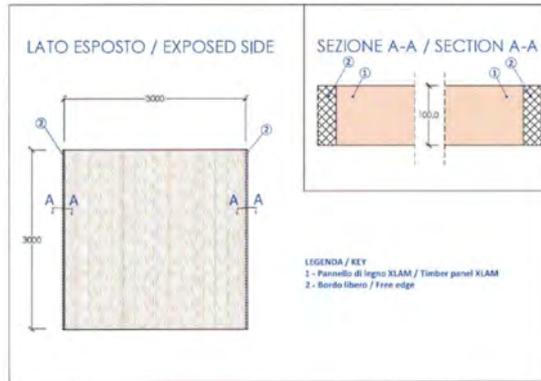
Foto 3: lato non esposto al fuoco dopo la prova
Foto 3: side not exposed to fire after the test

PRIMA ESPERIENZA OLTREOCEANO SU UNO STUDENTATO E RELATIVI TEST E CONSIDERAZIONI



TEST SPECIFICI SU PARETE 137 mm ESPOSTA CON AS

PARETE XLAM ESPOSTA 5 STRATI 137 mm CON CARICO VERTICALE 94,6 KN/m

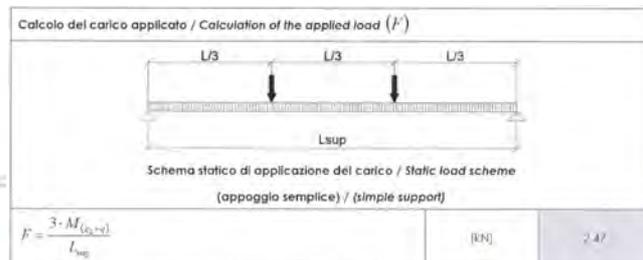
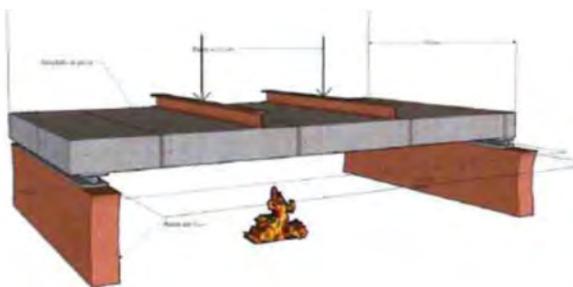


DURATA TEST 109 MINUTI

REI 90

TEST SPECIFICI SU SOLAIO 137 mm ESPOSTO CON AS

SOLAIO ESPOSTO 5 STRATI 137 mm CON MOMENTO MASSIMO DI PROGETTO



DURATA TEST 122 MINUTI

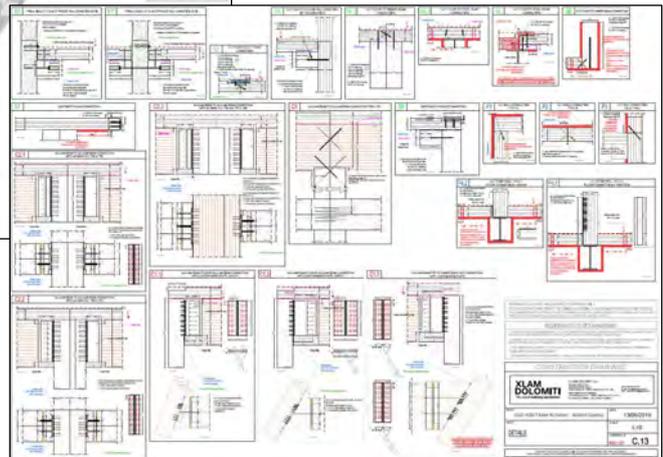
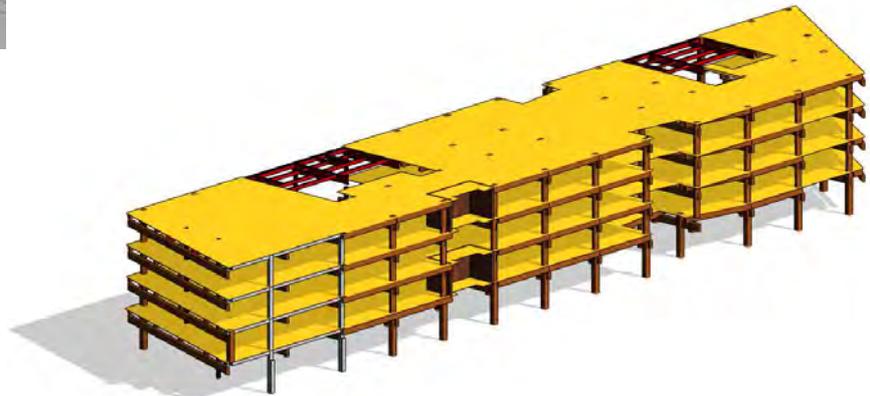
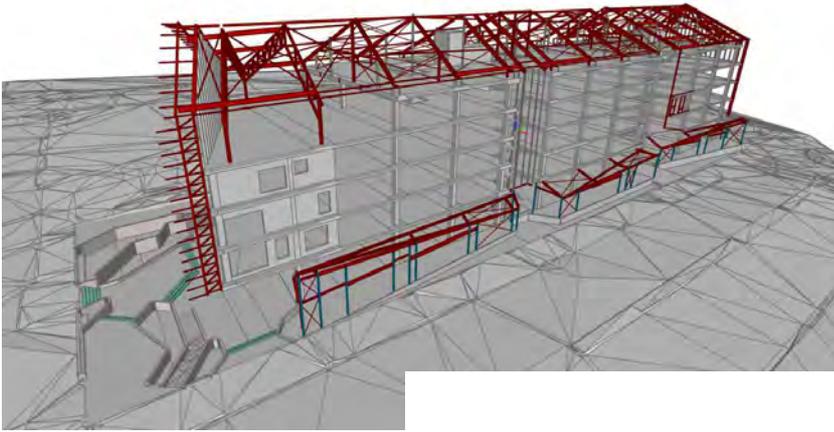
REI 120

TEST SU COMPONENTISTICA PER IL «PASSAGGIO IMPIANTI»



PRIME ESPERIENZE OLTREOCEANO SU UN POST AND BEAM DI GRANDI DIMESNIONI



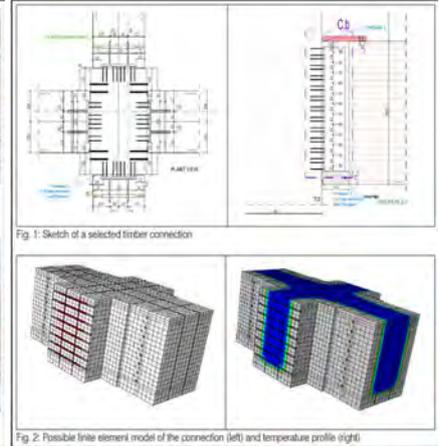
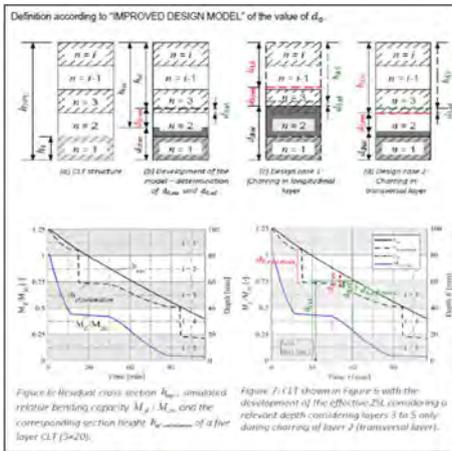


PROGETTAZIONE AL FUOCO

Approccio analitico

Test al fuoco

Modellazione ad elementi finiti



APPROCCIO ANALITICO

Capitolo 1 - EFFECTIVE CROSS-SECTION OF AN UNPROTECTED CLT FLOOR.....3

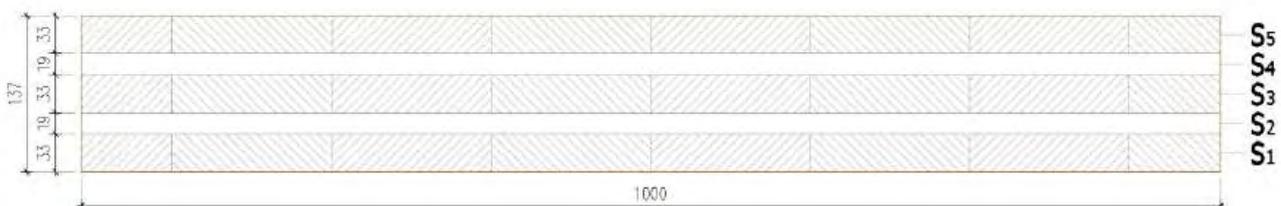
1.1 ANALYTICAL EVALUATION ACCORDING TO EN 1995-1-2.....3

1.2 ANALYTICAL EVALUATION ACCORDING TO FIRE SAFETY IN TIMBER BUILDINGS.....7

1.3 ANALYTICAL EVALUATION ACCORDING TO THE DESIGN MODEL "TWELVE AND TWO" proposed in "An Improved Design Model for Fire Exposed Cross Laminated Timber Floors" 12

1.4 CHARRING RATE FROM FIRE TEST.....17

1.5 CONCLUSIONS.....18



1.1 ANALYTICAL EVALUATION ACCORDING TO EN 1995-1-2

Table 3.1 – Design charring rates β_0 and β_n of timber, LVL, wood panelling and wood-based panels

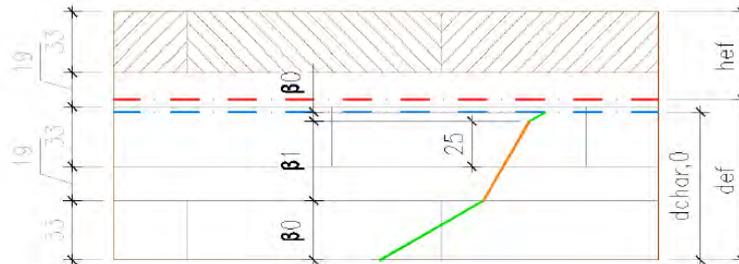
| | β_0 mm/min | β_n mm/min |
|---|--|---------------------|
| a) Softwood and beech Glued laminated timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ Solid timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ | 0,65 0,65 | 0,7 0,8 |
| b) Hardwood Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of 290 kg/m^3 Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $\geq 450 \text{ kg/m}^3$ | 0,65 0,50 | 0,7 0,55 |
| c) LVL with a characteristic density of $\geq 480 \text{ kg/m}^3$ | 0,65 | 0,7 |
| d) Panels Wood panelling Plywood Wood-based panels other than plywood | 0,9 ^a 1,0 ^a 0,9 ^a | – – – |

^a The values apply to a characteristic density of 450 kg/m^3 and a panel thickness of 20 mm; see 3.4.2(3) for other thicknesses and densities.

The charring rate is:

$\rho_k > 350 \text{ kg/m}^3$ characteristic density;

$\beta_0 = 0,65$ charring rate;



The notional charring depth is:

$$d_{ef} = d_{char,0} + k_0 \cdot d_0$$

$d_{char,0}$ design value of the charring depth for one-dimensional charring

k_0 coefficient for taking the duration of the fire into account, in according to 4.2.2 (2).

| | k_0 |
|---------------------|--------|
| $t < 20$ minutes | $t/20$ |
| $t \geq 20$ minutes | 1,0 |

d_0 7 mm, it is the depth of a layer with assumed zero strength and stiffness.

$$d_{char,0} = \beta_0 * \left(t_{req} - \frac{t_1}{\beta_0} - \frac{t_2}{\beta_1} - \frac{25}{\beta_1} \right) + t_1 + t_2 + 25 = 80.5 \sim 81 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = d_{char,0} + k_0 \cdot d_0 = 81 + 1 \cdot 7 = 88 \text{ mm}$$

$$h_{ef} = h - d_{ef} = 137 - 88 = 49 \text{ mm}$$

$$h_{d,90min} = 33 \text{ mm}$$

In accordance to "FIRE SAFETY IN TIMBER BUILDINGS, Technical guideline for Europe".

This clause deals with cross-laminated timber panels (solid timber panels) consisting of an odd number of layers, each with a minimum thickness of 15 mm, which are bonded together. In the fire situation the joints between two adjacent CLT panels are assumed to be capable of transferring shear forces but not bending moments. Therefore they are assumed to be supported on two opposite edges, e.g. one-span floors and axially loaded walls, or supported on several supports acting as a continuous floor, see Figure 6.14.



Figure 6.14. Example of cross-laminated deck or wall plate.

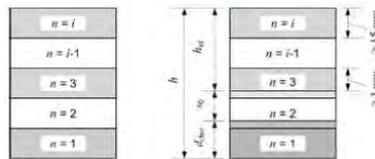
The direction of the grain of outer layers and every second layer (layers No. 1, 3, 5, etc.) is orientated in the (main) load-bearing direction, while layers 2, 4, etc. are orientated in the transverse direction, see Figure 6.15a. In the design model presented here, the layers in the transverse direction are not regarded as load-bearing in the longitudinal direction; they contribute to load resistance by taking shear forces between the layers in the longitudinal direction.

In unprotected CLT a depth beyond the char line of 35 to 40 mm is affected by elevated temperature (see 6.5.1). If a fire protection is attached this depth of temperature impact is normally greater. The positive effect of an attached protection is the delay and reduction of charring, however the reduction of strength may be increased. The total effect of protection is however always positive.

Research including simulations and test on CLT in fire ([6.28] [6.33]) showed that the zero strength layer d_0 for CLT is not a constant value as given in EN 1995-1-2 [6.1] as 7 mm for large members: for some build ups the zero strength layer d_0 is larger for others lower than 7 mm. In [6.33] a simplified model for a large number of build ups of CLT is presented combining simplicity and reasonable accuracy. As said above (see 6.5.1) for the time being no simplified model exists to cover all types of structural members.

The simplified model for CLT in fire follows the same procedure for the reduced cross section method as given above in 6.5.1. Since the reduction of the residual cross section may also comprise a part of a non load bearing cross layer, in the following the depth of reduction is given as a compensating layer s_0 .

In the following clauses, design expressions for fire exposure on one side are given, see Figure 6.15b.



Tre risultati diversi considerando 3 diverse ipotesi di calcolo

The exposed underside of the CLT panel on a single span is tensed. In order to stay on the safe side, it is considered the biggest value between $s_{0,t}$ e $s_{0,c}$.

$$d_{ef} = d_{char,0} + k_0 \cdot s_0 = 58.5 + 1 \cdot 17.85 = 76.35 \text{ mm} \sim 77 \text{ mm}$$

$$h_{ef} = h - d_{ef} = 137 - 77 = 60 \text{ mm}$$

$$h_{d,90min} = 60 \text{ mm}$$

If the d_{char} is calculated considering the failure of the glue:
Applying the method to the examined case:

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot \left(t_{req} - \frac{t_1}{\beta_0} - \frac{t_2}{\beta_1} - \frac{25}{\beta_1} \right) + t_1 + t_2 + 25 = 80.5 \text{ mm}$$

$$s_{0,t} = \frac{h}{100} + 10 = 11.37 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = d_{char,0} + k_0 \cdot s_0 = 80.5 + 1 \cdot 11.37 = 91.87 \text{ mm} \sim 92 \text{ mm}$$

$$h_{ef} = h - d_{ef} = 137 - 92 = 45 \text{ mm}$$

$$h_{d,90min} = 33 \text{ mm}$$

If the d_{char} is calculated considering the failure of the glue and constant charring rate after the failure of the first layer:

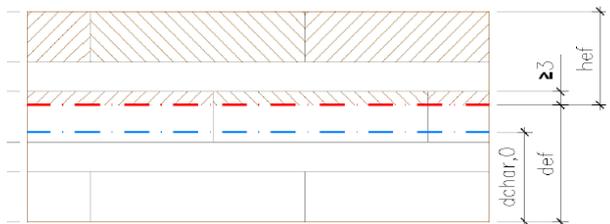
$$d_{char,0} = \beta_1 \cdot \left(t_{req} - \frac{t_1}{\beta_0} \right) + t_1 = 84 \text{ mm}$$

$$s_{0,t} = \frac{h}{100} + 10 = 11.37 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = d_{char,0} + k_0 \cdot s_0 = 84 + 1 \cdot 11.37 = 95.37 \text{ mm} \sim 96 \text{ mm}$$

$$h_{ef} = h - d_{ef} = 137 - 96 = 41 \text{ mm}$$

$$h_{d,90min} = 33 \text{ mm}$$



1.3 ANALYTICAL EVALUATION ACCORDING TO THE DESIGN MODEL "TWELVE AND TWO" proposed in "An Improved Design Model for Fire Ex-posed Cross Laminated Timber Floors"

In the document "Structural Fire Design-Statement on the Design of Cross-Laminated Timber (CLT)" it is possible to confirm that the EN 1995-1-2 is on the conservative side.

A. The charring behaviour of CLT: Charring rates of CLT are in agreement with the actual model in Eurocode 5. As for any timber member exposed to standard fire, the charring rates for CLT vary between zero millimetre per minute (encapsulated) and about 1.3 millimetre per minute (after failure of a protective layer or fall-off of charring layers until a protective char layer has been formed again). There are numerous of studies available, e.g. [10-14]. In general, CLT is considered as either a solid timber product or as a layered timber assembly if a fall-off of charring layers can be expected during a fire. This is when the adhesive is not able providing glue line integrity during the fire exposure. In this case (fire induced debonding), the so-called stepped model [15] combines a basic charring rate with a doubled value to consider exposure of fresh, virgin wood if fall-off of charring layers would occur. Figure 1 shows the agreement of the model and furnace tests (45°-line corresponds to a perfect fit). Recent compartment experiment results fit the model although the fire exposure is different [16]. Investigations by the same authors show charring of 0.4 to 0.7 millimetre per minute for non-standard heating [17].

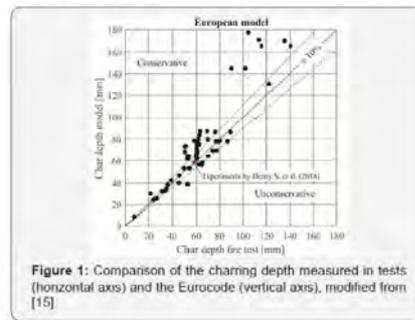


Figure 1: Comparison of the charring depth measured in tests (horizontal axis) and the Eurocode (vertical axis), modified from [15]

Definition according to "IMPROVED DESIGN MODEL" of the value of d_0 .

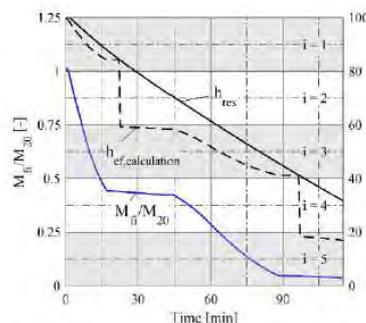
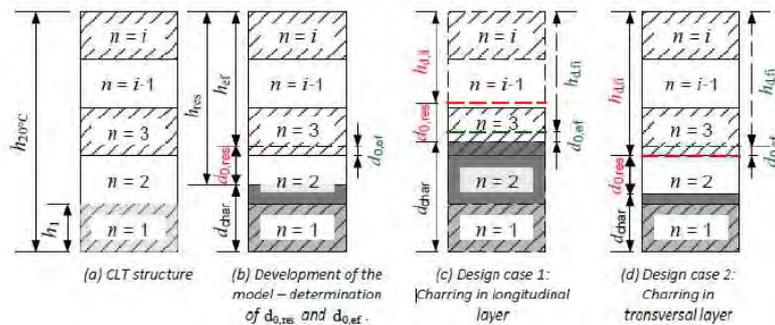


Figure 6: Residual cross-section h_{res} , simulated relative bending capacity M_n / M_{30} and the corresponding section height $h_{ef, calculation}$ of a five layer CLT (5x20).

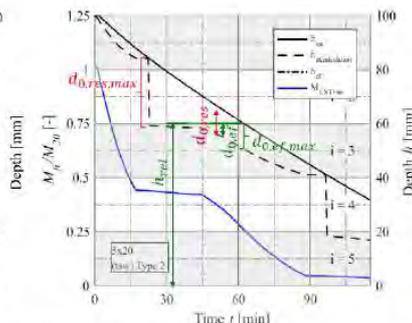


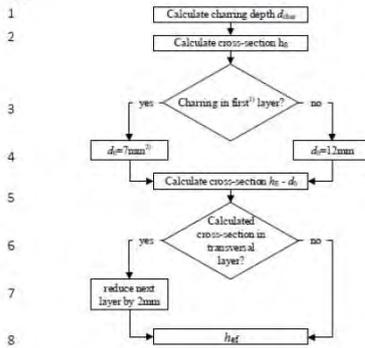
Figure 7: CLT shown in Figure 6 with the development of the effective ZSL considering a relevant depth considering layers 3 to 5 only during charring of layer 2 (transversal layer).

Tre risultati diversi considerando 3 diverse ipotesi di calcolo

6.2 The simplified design model "twelve AND two"

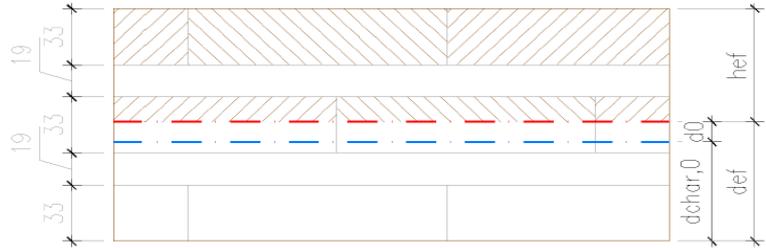
The aim of the simplified rule is to increase the application range exceeding the preferred layups.

Step\



1) Cover laminations with the same grain direction as the consecutive layer can be considered both as first layer
2) 7 mm only for initially unprotected CLT; in other cases 12 mm shall be applied.

Figure 16. Determination "twelve and two" simplified design for CLT. The Eight-step procedure $h_{ef} = s_5 - 2mm = 33 - 2 = 31mm$ determine the effective cross-section.



If the d_{char} is calculated considering the failure of the glue. Applying the method to the examined case:

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot \left(t_{req} - \frac{t_1}{\beta_0} - \frac{t_2}{\beta_1} - \frac{2.5}{\beta_1} \right) + t_1 + t_2 + 2.5 = 80.5 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h_{20^\circ} - d_{char,0} = 137 - 80.5 = 56.5 \text{ mm}$$

$$d_0 = 12 \text{ mm}$$

$$h_{fi} - d_0 = 56.5 - 12 = 44.5 \text{ mm}$$

TRANSVERSE LAYER

$$h_{d,90min} = 31 \text{ mm}$$

If the d_{char} is calculated considering the failure of the glue and constant c the first layer:

$$d_{char,0} = \beta_1 \cdot \left(t_{req} - \frac{t_1}{\beta_0} \right) + t_1 = 84 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h_{20^\circ} - d_{char,0} = 137 - 84 = 53 \text{ mm}$$

$$d_0 = 12 \text{ mm}$$

$$h_{fi} - d_0 = 53 - 12 = 41 \text{ mm}$$

TRANSVERSE LAYER

$$h_{ef} = s_5 - 2mm = 33 - 2 = 31mm$$

$$h_{d,90min} = 31 \text{ mm}$$

Applying the method to the examined case:

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot t_{req} = 0.65 \cdot 90 = 58.5 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h_{20^\circ} - d_{char,0} = 137 - 58.5 = 78.5 \text{ mm}$$

$$d_0 = 12 \text{ mm}$$

$$h_{ef} = h_{fi} - d_0 = 78.5 - 12 = 66.5 \text{ mm}$$

$$h_{d,90min} = 33 \text{ mm}$$

1.5 CONCLUSIONS

METHOD EN 1995-1-2

$$h_{ef} = 49 \text{ mm}$$

$$h_{d,90min} = 33 \text{ mm}$$

METHOD "FIRE SAFETY IN TIMBER BUILDINGS"

$$h_{ef} = 60 \text{ mm} \quad (\text{The adhesive used for bonding between laminations is fully effective in fire})$$

$$h_{d,90min} = 60 \text{ mm}$$

$$h_{ef} = 45 \text{ mm} \quad (\text{with premature fall-off of the char layer})$$

$$h_{d,90min} = 33 \text{ mm}$$

METHOD "TWELVE AND TWO"

$$h_{ef} = 66.5 \text{ mm} \quad (\text{The adhesive used for bonding between laminations is fully effective in fire})$$

$$h_{d,90min} = 66.5 \text{ mm}$$

$$h_{ef} = 31 \text{ mm} \quad (\text{with premature fall-off of the char layer})$$

$$h_{d,90min} = 31 \text{ mm}$$

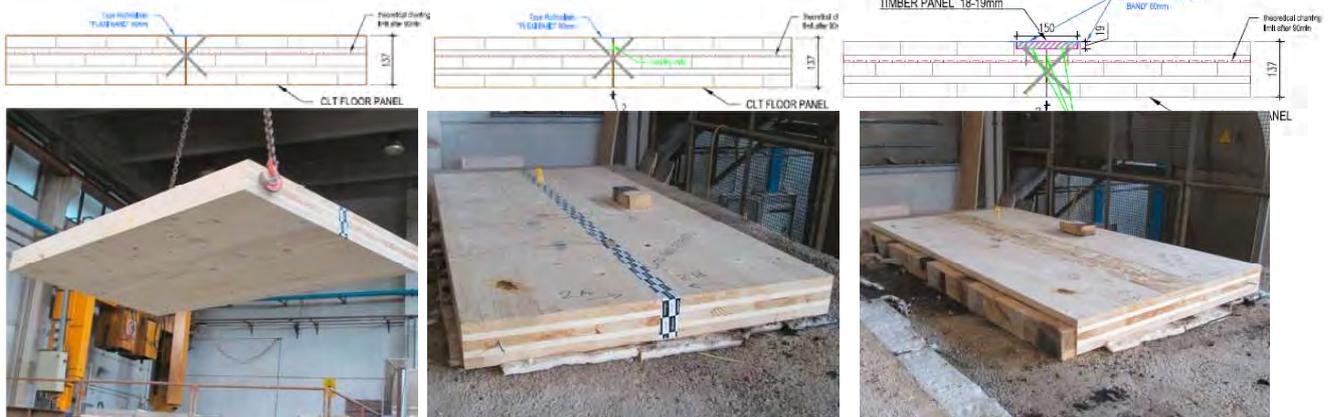
The effective residual section of the CLT panel in the calculation method used by XLAM DOLOMITI is not the lowest but, as for the most unfavorable cases, it is considered that only the upper lamella (33 mm) is effective in contributing to resistance and stiffness. Also checking the worst case scenario with $h_{d,90min} = 31 \text{ mm}$ (Method "twelve and two" with premature fall-off of the char layer) the panel is verified.

TEST PRELIMINARI SU GIUNTI SU DIMENSIONI CONTENUTE PER EI

1

2

4

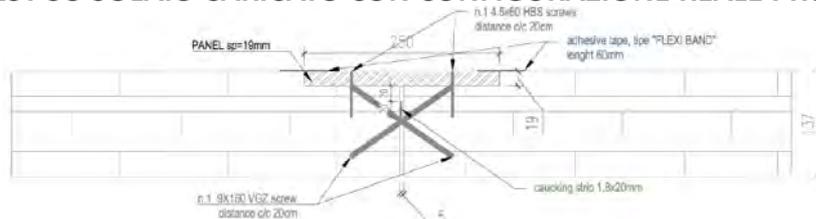


DURATA TEST 93 – 102 MINUTI

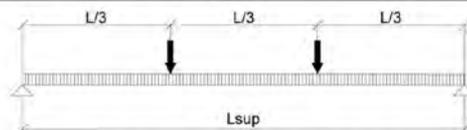
EI 90



TEST SU SOLAIO CARICATO CON CONFIGURAZIONE REALE PROGETTO



Calcolo del carico applicato / Calculation of the applied load (F)



$$F = \frac{3 \cdot M_{(e_2+q)}}{L_{sup}}$$

[kN]

15.20

4.2 Classificazione / Classification

L'elemento XLAM Floor 137 with linear joint è classificato secondo la seguente combinazione di parametri di prestazione e classi. Non sono consentite altre classificazioni.

This element XLAM Floor 137 with linear joint is classified according to the following combinations of performance parameters and classes. No other classifications are permitted.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R | E | I | 1 | 2 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| R | E | 1 | 2 | 0 |
|---|---|---|---|---|



MODELLAZIONE FEM SULLE GIUNZIONI A SCOMPARSA TRAVI-PILASTRO

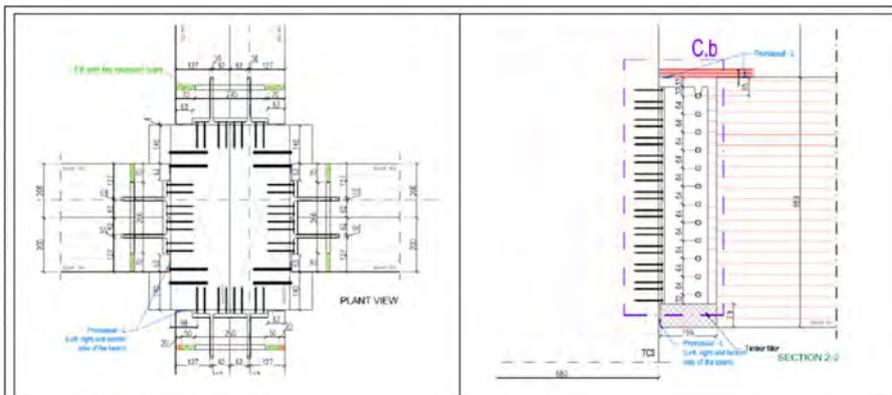


Fig. 1: Sketch of a selected timber connection

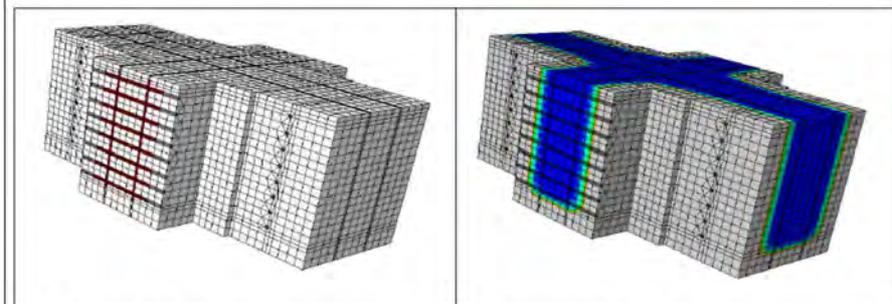


Fig. 2: Possible finite element model of the connection (left) and temperature profile (right)

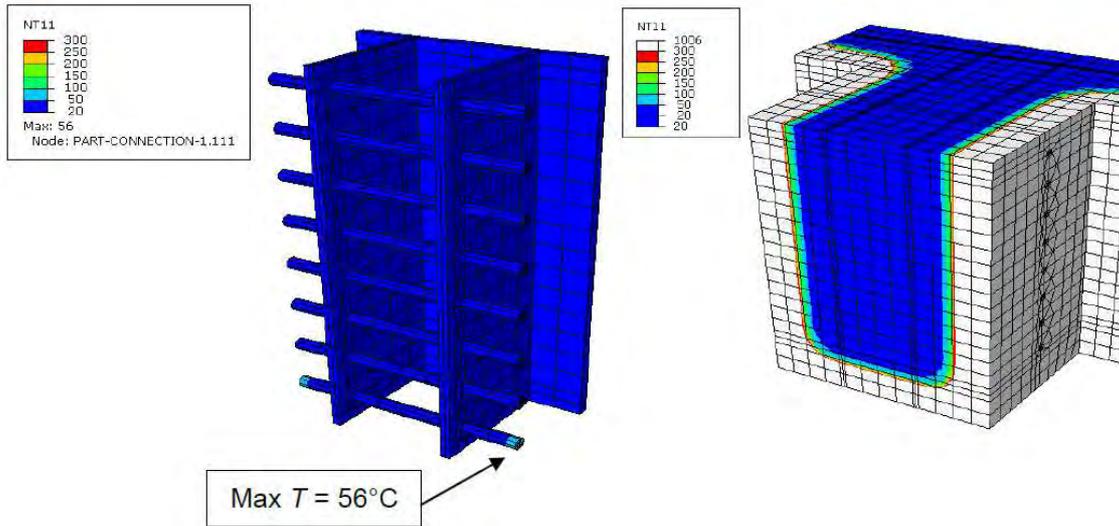


Figure 13: Temperature after 90 minutes of standard fire exposure.

ALCUNE SOLUZIONI PROGETTUTALI TIPICAMENTE ADOTTATE SU EDIFICI XLAM

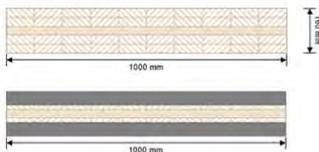
CALCOLO DEL CARICO D'INCENDIO



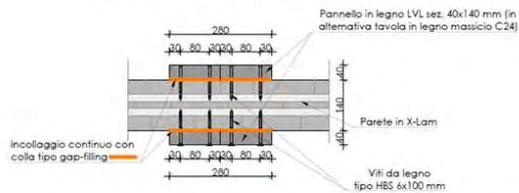
DEFINIZIONE RESISTENZA AL FUOCO

- STRUTTURA IN LEGNO R60 senza considerare la protezione offerta da placcaggi e contropareti

- PARETI INTERNE AI COMPARTIMENTI:



AGGRESSIONE AL FUOCO DA ENTRAMBI I LATI



- PARETI PERIMETRALI:

- ELEMENTI LINEARI TRAVI:

- ELEMENTI LINEARI COLONNE:

AGGRESSIONE AL FUOCO DA SOLO UN LATO

AGGRESSIONE AL FUOCO DA 3 LATI

AGGRESSIONE AL FUOCO DA 4 LATI



CONCLUSIONI

- Si deve fare uno sforzo importante per divulgare il significato di sicurezza al fuoco di edifici in legno
- Va portata molta cultura e conoscenza di queste tecnologie verso le autorità che ad oggi si occupano di sicurezza al fuoco per evolverne le normative e facilitare le autorizzazioni
- Il lamellare, essendo normato da qualche anno, presenta metodi di calcolo al fuoco ormai comprovati e condivisi
- Per quanto concerne l'XLAM si necessita di metodologie di calcolo chiare e condivise che tengano in considerazione delle diverse variabili produttive (speci, collante, tipologia di pressa etc...)
- Essendo la tendenza di queste tecnologie in altezza sarebbe importante avere delle linee guida strategiche per la protezione al fuoco (condivise a livello mondiale)

THANK YOU FOR YOUR KIND ATTENTION

ING. ALBINO ANGELI
albino.angeli@xlamdolomiti.it

XLAM DOLOMITI

Via della Stazione, 100
38059 Villa Agnedo (TN)

T +39 0461 1866390
F +39 0461 1866394
info@xlamdolomiti.it
www.xlamdolomiti.it