

# Relazione di calcolo strutturale

## Sezioni degli elementi strutturali

### Solai in XLAM

#### Caratteristiche geometriche solaio

$h_b$ : Spessore pannello XLAM

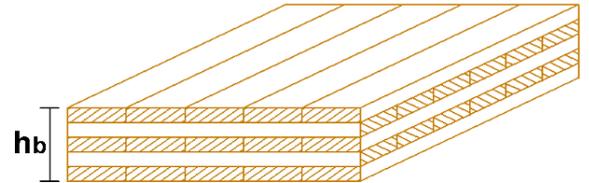


Figura: Grandezze geometriche relative al solaio in XLAM

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche relative ai solai in XLAM.

Nome sezione	Produttore	Nome pannello	Materiale	Numero Strati	Spessore $h_b$ [mm]	Strati	Orientazione strati esterni
XLAM 120 mm - 5 strati	TimberTech	TimberTech 120 5s	C 24	5	120	20 - 30 - 20 - 30 - 20	Paralleli alla direzione di calcolo

## Sezioni degli elementi in caso di incendio

### Metodo della sezione efficace

Ai fini della determinazione delle proprietà delle sezioni trasversali degli elementi strutturali in caso di incendio viene utilizzato il metodo della sezione trasversale ridotta riportato al punto 4.2.2 della norma UNI EN 1995-1-2. In accordo con tale metodo la sezione trasversale efficace di un elemento è calcolata riducendo la sezione trasversale iniziale per la profondità di carbonizzazione efficace  $d_{ef}$  (vedere figura sottostante):

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

dove:

$d_{char}$  è la profondità di carbonizzazione che, a seconda dei casi potrà essere convenzionale ( $d_{char,n}$ ) o unidimensionale ( $d_{char,0}$ )

$k_0 \cdot d_0$  è lo spessore della parte di sezione residua, vicino alla linea di carbonizzazione, in cui le proprietà meccaniche di resistenza e rigidezza del materiale si assumono nulle

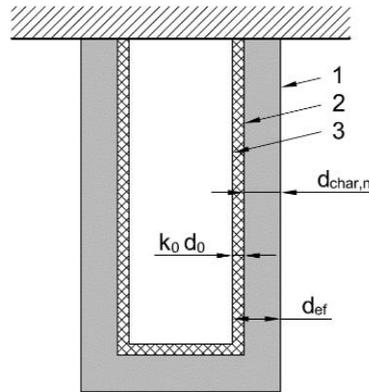


Figura: Definizione di sezione trasversale residua e sezione trasversale efficace. 1 – Superficie iniziale dell'elemento, 2 - Limite della sezione trasversale residua, 3 – Limite della sezione trasversale efficace.

## Profondità di carbonizzazione

### **Superfici non protette – XLAM**

Per elementi in XLAM realizzati con **colla resistente al fuoco** la velocità di carbonizzazione è considerata costante nel passaggio tra uno strato e l'altro. La profondità di carbonizzazione è pertanto valutata mediante la seguente formula:

$$d_{char,0} = \beta_{0,XLAM} \cdot t$$

dove:

$\beta_{0,XLAM}$  è la velocità di carbonizzazione unidimensionale dell'XLAM

$t$  è il tempo di esposizione al fuoco.

Per elementi in XLAM realizzati con **colla non resistente al fuoco** la velocità di carbonizzazione è considerata variare nel passaggio da uno strato a quello sottostante. Si verifica infatti un incremento della velocità di carbonizzazione a seguito della caduta dello strato carbonizzato, il quale non è più in grado di offrire protezione al materiale ligneo sottostante. Solamente quando il nuovo strato carbonizzato raggiunge uno spessore di 25 mm può offrire un'efficace protezione e la velocità di carbonizzazione diminuisce.

Per il **primo strato** la profondità di carbonizzazione è valutata come:

$$d_{char,0} = \beta_{0,XLAM} \cdot t$$

dove:

$\beta_{0,XLAM}$  è la velocità di carbonizzazione unidimensionale dell'XLAM

$t$  è il tempo di esposizione al fuoco.

Per il **secondo e gli strati successivi**, fino a che la profondità di carbonizzazione nel singolo strato raggiunge 25 mm, la velocità di carbonizzazione è pari a

$$\beta_{0, XLAM, k_3} = k_3 \cdot \beta_{0, XLAM}$$

in cui  $k_3$  è assunto pari a 2.

Per il **secondo e gli strati successivi**, dopo che la profondità di carbonizzazione nel singolo supera i 25 mm, la velocità di carbonizzazione è pari a  $\beta_{0, XLAM}$ .

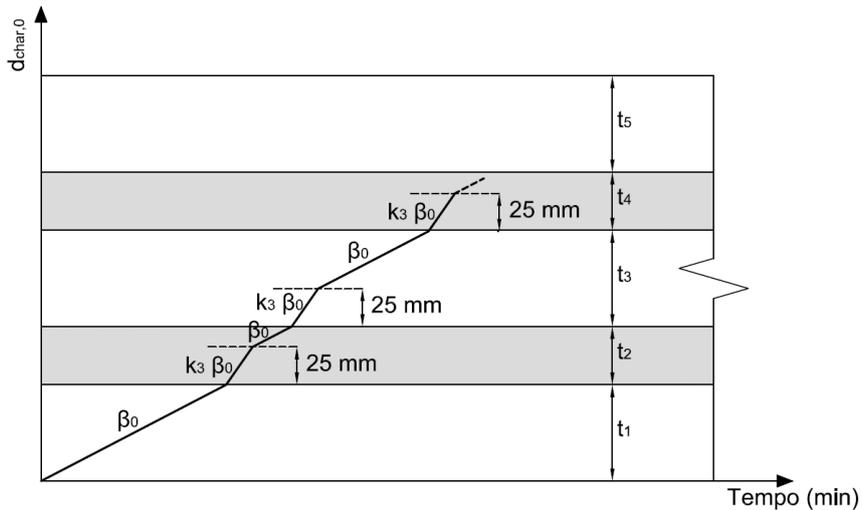


Figura: Diagramma che illustra la variazione della velocità di carbonizzazione nel passaggio da uno strato all'altro di un elemento XLAM con colla non resistente al fuoco

### Valori di $k_0$ e $d_0$

Il valore della profondità  $d_0$  dello strato per cui si assume resistenza e rigidità uguale a zero è assunto pari a 7 mm.

Per le superfici non protette  $k_0$  è assunto come riportato nella tabella e nella figura sottostanti.

Tempo	$k_0$
$t < 20$ min	$t/20$
$t \geq 20$ min	1,0

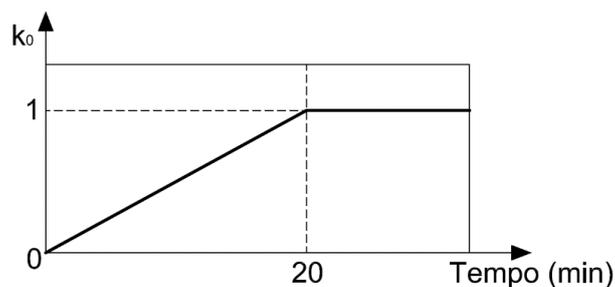


Figura: Variazione di  $k_0$  per elementi non protetti. X rappresenta il tempo (minuti)

## Sezioni efficaci degli elementi

### Solai in X-Lam

Nelle seguenti tabelle si riporta il calcolo per la determinazione delle dimensioni della sezione efficace dei solai in XLAM soggetti ad incendio.

Nome solaio	Nome dati fuoco	Colla resistente al fuoco	Classe R [min]	$\beta_0$	$d_{char,0}$ [mm]
Solaio 2	R60 - Un lato esposto - Colla resistente	Si	60	0,65	39

Nome solaio	Nome sezione	$d_{char,0}$ [mm]	$d_{eff}$ [mm]	$b_{eff}$ [mm]	$h_{eff}$ [mm]	Stratigrafia fuoco
Solaio 2	XLAM 120 mm - 5 strati	39	46	1000	74	20 - 30 - 20 - 4

## Verifiche elementi in caso di incendio

### Valori di progetto delle resistenze del materiale

In accordo con il punto 2.3 della norma UNI EN 1995-1-2, per la verifica di resistenza in caso di incendio, i valori di progetto delle resistenze del materiale devono essere determinate mediante la seguente formula

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

dove:

$f_{20}$  è il frattile 20% di una proprietà di resistenza a temperature normale

$k_{mod,fi}$  è il fattore di conversione per il fuoco, il quale, per il metodo della sezione trasversale ridotta qui utilizzato, è assunto pari ad 1

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

Il frattile 20% di una resistenza o di una proprietà di rigidità viene calcolato come:

$$f_{20} = k_{fi} \cdot f_k$$

$$S_{20} = k_{fi} \cdot S_{05}$$

dove  $k_{fi}$  è fornito nella tabella sottostante che riprende il prospetto 2.1 della norma UNI EN 1995-1-2.

Materiale	$k_{fi}$
Legno massiccio	1.25
Legno lamellare incollato	1.15
Pannelli a base legno	1.15
LVL	1.10

## Combinazioni dei carichi per le verifiche in caso di incendio

Si considera la combinazione eccezionale

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

## Verifiche dei solai in XLAM in caso di incendio

### Verifiche di resistenza a flessione

La verifica al fuoco è svolta utilizzando il metodo della sezione ridotta con riferimento al § 4.2.2 della norma UNI EN 1995-1-2. Deve essere soddisfatta la seguente espressione:

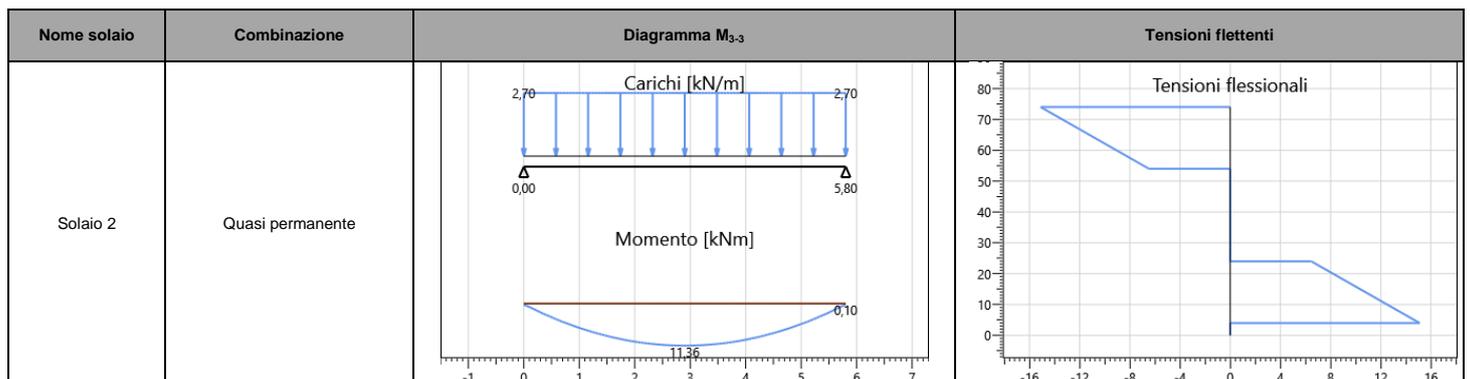
$$\frac{\sigma_{m,d,fi}}{f_{m,d,fi}} \leq 1$$

in cui:

$\sigma_{m,d,fi}$  è la tensione di progetto a flessione in caso di incendio

$f_{m,d,fi}$  è la resistenza di progetto a flessione del materiale in caso di incendio

Per la fascia di ogni solaio in XLAM che presenta la verifica a flessione in caso di incendio più gravosa si riportano gli schemi statici di calcolo e l'involuppo delle distribuzioni del momento flettente sollecitante. Vengono inoltre riportati i diagrammi delle tensioni normali, dovute alla flessione, valutati nelle sezioni di verifica.



Le verifiche a flessione sono riassunte in seguito. I valori derivanti dai calcoli, relativi ad ogni verifica, vengono riportati in forma di percentuale. I dati di output per singolo elemento strutturale soddisfano le verifiche qualora il loro valore sia inferiore o uguale al 100%, in caso contrario la verifica non è soddisfatta.

Nome solaio	Sezione	$J_{eff}$ [mm <sup>4</sup> ]	$M_{3-3}$ [kNm]	$k_{mod,fi}$	$\gamma_{M,fi}$	$k_{fi}$	$f_{m,d,fi}$ [MPa]	$\sigma_{m,d,fi}$ [MPa]	Verifica
Solaio 2	XLAM 120 mm - 5 strati	26333333	11,36	1	1	1,15	27,60	15,10	55%

## Verifiche di resistenza a taglio

### Verifiche di resistenza a taglio negli strati paralleli alla direzione di calcolo

Le verifiche a taglio sono condotte con riferimento al § 6.1.7 della norma UNI EN 1995-1-1. Deve essere soddisfatta la seguente espressione:

$$\frac{\tau_{v,d,fi}}{f_{v,d,fi}} \leq 1$$

in cui:

$\tau_{v,d,fi}$  è la tensione di progetto a taglio in caso di incendio

$f_{v,d,fi}$  è la resistenza di progetto a taglio in caso di incendio

Il valore dello sforzo di taglio di progetto massimo negli strati longitudinali viene valutato con la seguente formula:

$$\tau_{v,d,fi} = \frac{V_{d,fi} \cdot S_{max,eff}}{J_{eff} \cdot b}$$

in cui

$V_{d,fi}$  è il taglio sollecitante nella sezione di verifica in condizioni di incendio

$S_{max,eff}$  è il momento statico della sezione ridotta efficace associato alla massima tensione tagliante

$J_{eff}$  è il momento di inerzia della sezione trasversale ridotta efficace del pannello XLAM

$b$  è la base della sezione trasversale del pannello XLAM (si assume  $k_{cr} = 1$ )

### Verifiche di resistenza a taglio trasversale (rolling shear)

Le verifiche a taglio trasversale sono condotte con riferimento al § 6.1.7 della norma UNI EN 1995-1-1. Deve essere soddisfatta la seguente espressione:

$$\frac{\tau_{R,d,fi}}{f_{v,R,d,fi}} \leq 1$$

in cui:

$\tau_{R,d,fi}$  è la tensione di progetto a taglio trasversale in condizioni di incendio

$f_{v,R,d,fi}$  è la resistenza di progetto a taglio trasversale in condizioni di incendio

Il valore dello sforzo di taglio di progetto massimo negli strati trasversali viene valutato con la seguente formula:

$$\tau_{R,d,fi} = \frac{V_{d,fi} \cdot S_{R,max,eff}}{J_{eff} \cdot b}$$

in cui

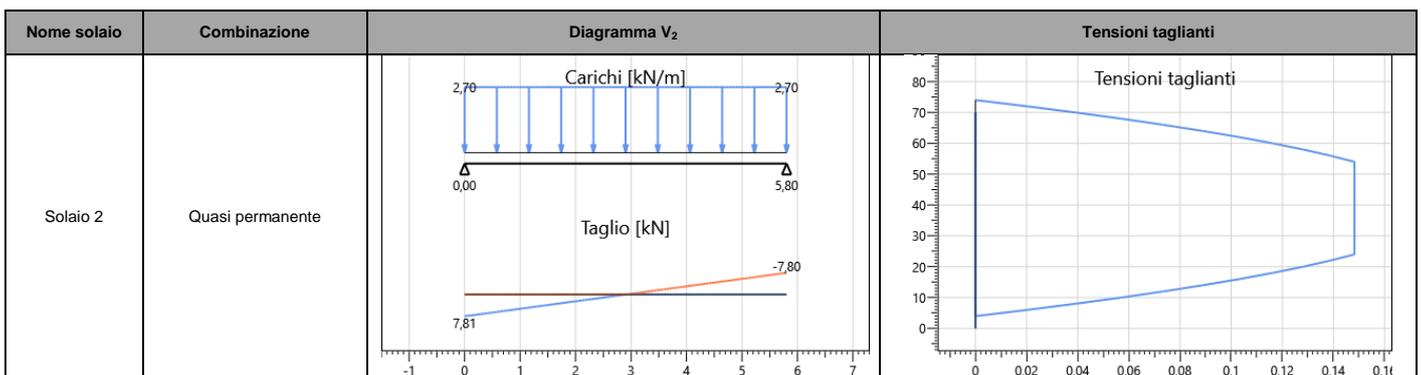
$V_{d,fi}$  è il taglio sollecitante nella sezione di verifica

$S_{R,max,fi}$  è il momento statico della sezione ridotta efficace associato alla massima tensione tagliante

$J_{eff}$  è il momento di inerzia della sezione trasversale ridotta efficace del pannello XLAM

$b$  è la base della sezione trasversale del pannello XLAM (si assume  $k_{cr} = 1$ )

Per la fascia di ogni solaio in XLAM che presenta la verifica a taglio più gravosa si riportano gli schemi statici di calcolo e il diagramma del taglio sollecitante. Vengono inoltre riportati i diagrammi delle tensioni taglianti, valutati nelle sezioni di verifica.



Le verifiche a taglio sono riassunte in seguito. I valori derivanti dai calcoli, relativi ad ogni verifica, vengono riportati in forma di percentuale. I dati di output per singolo elemento strutturale soddisfano le verifiche qualora il loro valore sia inferiore o uguale al 100%, in caso contrario la verifica non è soddisfatta.

Nome solaio	Sezione	$J_{eff}$ [mm <sup>4</sup> ]	$V_2$ [kN]	$k_{mod,fi}$	$\gamma_{M,fi}$	$k_{fi}$	$f_{v,d,fi}$ [MPa]	$\tau_{v,d,fi}$ [MPa]	Verifica	$f_{R,d,fi}$ [MPa]	$\tau_{R,d,fi}$ [MPa]	Verifica
Solaio 2	XLAM 120 mm - 5 strati	26333333	7,81	1	1	1,15	4,60	0,15	3%	1,15	0,15	13%