

PROGETTAZIONE ESECUTIVA, COORDINAMENTO SICUREZZA E DIREZIONE LAVORI STRUTTURALE, ARCHITETTONICA ED IMPIANTISTICA, NONCHE' VERIFICHE A CALDO DELLE STRUTTURE RELATIVE ALL'INTERVENTO DI ADEGUAMENTO/MIGLIORAMENTO SISMICO DELLA SCUOLA SECONDARIA DI 1° GRADO  
CUP: F35E22000030001



COMMITTENTE:

COMUNE DI VERDELLO  
PROVINCIA DI BERGAMO

**FUTURA**



LA SCUOLA  
PER L'ITALIA DI DOMANI

Livello di Progetto:

Preliminare ☐  
Definitivo ☐  
Esecutivo ☒

Autore:

P&P

Codice:

04\_23\_GC

Scala:

-

Elaborato:

VERIFICA RESISTENZA AL FUOCO

Tavola:

VVF

Data:

04/08/23

Revisione:

**P & P**

**PROGETTAZIONE STRUTTURALE E COORDINAMENTO**  
**P&P Consulting Engineers Studio Associato**  
Via Pastrengo, 9 - 24068 - Seriate (BG)  
+39 035 3235700 - fax +39 035 3235750  
E-mail: info@pepconsultingengineers.it



**PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA**  
**Arch. Alberto Valtulini**  
Via G. Moroni - 24127 - Bergamo (BG)



## INDICE

|          |   |          |
|----------|---|----------|
| <b>1</b> | <b>PREMESSE E SCOPI .....</b>   | <b>3</b> |
| <b>2</b> | <b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>                                       | <b>4</b> |
| <b>3</b> | <b>MODALITA' DI CALCOLO DELLA RESISTENZA AL FUOCO DELLE STRUTTURE .....</b> | <b>5</b> |
| 3.1      | SEZIONI IN CALCESTRUZZO .....   | 5        |
| 3.2      | SEZIONI IN LEGNO .....  | 8        |
| <b>4</b> | <b>VERIFICA DELLA RESISTENZA AL FUOCO .....</b>                             | <b>8</b> |
| 4.1      | TEGOLO IN CALCESTRUZZO .....  | 8        |
| 4.2      | TRAVI IN LEGNO .....  | 12       |

## **1 PREMESSE E SCOPI**

La presente relazione riferisce in merito ai risultati delle verifiche di resistenza al fuoco condotte su elementi tipologici in legno e sui tegoli in calcestruzzo prefabbricato della palestra.

Le analisi sono state condotte partendo dai risultati delle indagini condotte presso la struttura e riportate nell'elaborato "IND – relazione indagini" del presente progetto. Tali indagini hanno permesso di conoscere con esattezza la geometria degli elementi oggetto di verifica al fuoco e, con riferimento ai tegoli in c.a.p., il copriferro.

Di seguito sono riportate le principali attività in merito all'analisi termica e alla verifica al fuoco degli elementi in esame:

- calcolo delle azioni interne sollecitanti le sezioni di interesse per i carichi di progetto relativi alla combinazione al fuoco (derivanti dalla relazione strutturale);
- per gli elementi in c.a.: analisi termica per verifica analitica della resistenza dell'elemento sottoposto a carico da fuoco mediante software Concrete ThermoCAD 5.17.
- per gli elementi in legno: analisi termica con approccio semi-analitico della resistenza dell'elemento sottoposto a carico da fuoco mediante software Concrete ThermoCAD 5.17.

Le verifiche al fuoco eseguite per gli elementi strutturali hanno consentito di valutare il parametro di stabilità (R) ossia l'attitudine degli elementi da costruzione a conservare la resistenza meccanica sotto l'azione del fuoco per un certo tempo di esposizione.

Scopo delle analisi di resistenza al fuoco sugli elementi strutturali è la verifica del raggiungimento della classe di resistenza al fuoco R60, ovvero la capacità dell'elemento indagato di resistere ad un carico di incendio standardizzato di progetto per almeno 60 minuti.

Nei capitoli successivi è riportata l'esito dello svolgimento delle attività sopra riportate.

## **2   NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Il calcolo della resistenza al fuoco è stato eseguito in accordo a quanto riportato nel DM16/2/2007 con riferimento al metodo di calcolo analitico riportato nell'Eurocodice 2 *“Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio”*. L'Eurocodice è stato applicato in accordo all'Appendice nazionale italiana.

Di seguito si elenca la normativa vigente di settore:

- Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco;
- Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio;
- Appendici nazionali italiane agli Eurocodici;
- D.M. 16/02/2007: Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione;
- D.M. 17/01/2018 *“Norme Tecniche per le Costruzioni”* coordinato con la Circolare del 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP.;
- UNI9502 *“Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso.*

### **3 MODALITA' DI CALCOLO DELLA RESISTENZA AL FUOCO DELLE STRUTTURE**

L'accertamento analitico è stato sviluppato utilizzando il software agli elementi finiti ThermoCAD Ver. 5.17, della Concrete S.r.l., dedicato all'analisi del comportamento al fuoco di sezioni composte da materiali qualsiasi.

Dal punto di vista dell'organizzazione, il programma si divide in tre parti:

- descrizione geometrica della sezione;
- analisi termica della sezione sottoposta a incendio, con condizioni al contorno assegnate, volta ad individuare l'andamento nel tempo della temperatura interna;
- valutazione dell'evoluzione temporale della resistenza, a seguito della modificazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali.

#### **3.1 SEZIONI IN CALCESTRUZZO**

L'input viene gestito da un ambiente grafico che consente la definizione di sagome qualsiasi attraverso l'assegnazione di elementi omogenei in forma quadrangolare o triangolare. Per sezioni di uso corrente è prevista una libreria di sagome predefinite. Facilitano il completamento dell'input una serie di funzioni per la generazione automatica della mesh, per la definizione delle situazioni al contorno e per l'inserimento di eventuali armature metalliche.

La funzione termica, che rappresenta generalmente l'incendio normalizzato, può essere personalizzata, ed i valori dei parametri termofisici dipendenti dalla temperatura sono definiti per punti e riportati in tabelle e grafici modificabili.

L'analisi transitoria del flusso di calore all'interno della sezione viene svolta da un solutore agli elementi finiti. E' prevista la gestione di materiali con proprietà termiche e meccaniche diverse e variabili con la temperatura. Le condizioni al contorno possono comprendere condizioni di vincolo termico, temperature imposte, superfici di scambio di calore per convezione ed irraggiamento. Il solutore calcola e memorizza l'andamento delle temperature all'interno della sezione a intervalli di tempo che vengono prestabiliti. Al termine dell'analisi, la distribuzione delle temperature può essere visualizzata alle varie scadenze temporali, con rappresentazione a bande di colori, ed analizzata nel dettaglio interrogando la sezione con lo strumento di sonda.

La verifica di resistenza delle sezioni in calcestruzzo armato e precompresso con il metodo allo stato limite ultimo viene effettuato individuando il dominio di resistenza (luogo dei punti rappresentativi delle terne di sollecitazione limite  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $N$ ) in presenza di una distribuzione di temperatura all'interno del corpo e calcolando il coefficiente di sicurezza per una o più assegnate sollecitazioni. Tale metodo di verifica prevede la suddivisione della sezione in mesh e l'attribuzione ad ogni elemento delle caratteristiche meccaniche, in dipendenza della propria temperatura media. Si possono definire più combinazioni di carico; il programma determina in modo automatico il

tempo in cui la sezione risulta verificata al fuoco, considerando ad ogni passo temporale la combinazione di carico più gravosa.

Nei calcoli è stata adottata la curva nominale di incendio ISO 834, la quale rappresenta una temperatura media dei gas di combustione di materiale prevalentemente di natura cellulosa, che cresce continuamente nel tempo in modo logaritmico secondo la seguente relazione:

$$T_g = 20 + 345 \times \log_{10}(8 \times t + 1)$$

dove  $t$  è il tempo espresso in minuti e  $T_g$  la temperatura in °C.

Tale curva di incendio standard fornisce valori della temperatura che nella maggior parte dei casi sono più elevati di quelli che effettivamente si riscontrano durante un incendio naturale, nella fase finale di decadimento, infatti, la temperatura decresce nel tempo a causa dell'esaurimento del combustibile (se non interviene prima un'azione di spegnimento da parte dei soccorritori).

I fattori che influenzano la distribuzione della temperatura sono i seguenti:

- le proprietà fisiche del conglomerato cementizio (conducibilità termica, calore specifico, massa volumica, contenuto d'acqua);
- la geometria dell'elemento con eventuali cavità o inserti e sua configurazione di esposizione nell'ambiente ed al fuoco;
- i rivestimenti generici e protettivi.

In seconda fase si è verificata la capacità portante dell'elemento strutturale allo stato limite ultimo con il metodo semiprobabilistico agli stati limite, considerando la combinazione di carico prescritta da norma per la verifica al fuoco e di seguito riportata:

$$G_1 + G_2 + A_d + \psi_{21} \times Q_{k1} + \dots \text{ (Combinazione eccezionale)}$$

dove:

$G_1$  : carichi permanenti strutturali

$G_2$  : carichi permanenti non strutturali

$A_d$  : carico eccezionale dovuto all'incendio (curva nominale d'incendio)

$Q_{k1}$  : carico accidentale (uffici non aperti al pubblico)

$\psi_{21}$  coeff. di combinazione

Per i diversi elementi strutturali sono stati considerati i carichi dovuti ai pesi propri strutturali, ai permanenti non strutturali e ai sovraccarichi corrispondenti alle destinazioni d'uso in oggetto.

Le azioni sollecitanti dei tegoli sono state calcolate con riferimento ad uno schema statico di appoggio-appoggio.

Nell'analisi condotta si sono considerate le seguenti proprietà meccaniche dei materiali costruttivi al variare della temperatura. I coefficienti vengono descritti tramite una curva caratteristica di valori adimensionali su temperatura tramite curva spezzata, come da normativa.

Di seguito si riportano i fattori di riduzione di resistenza  $F_i$  per il calcestruzzo:

| CALCESTRUZZO     |       |                  |       |                  |       |
|------------------|-------|------------------|-------|------------------|-------|
| Compressione     |       | Trazione         |       | Modulo elastico  |       |
| Temperatura (°C) | $F_i$ | Temperatura (°C) | $F_i$ | Temperatura (°C) | $F_i$ |
| 0                | 1.000 | 0                | 1.000 | 0                | 1.000 |
| 100              | 1.000 | 100              | 1.000 | 50               | 1.000 |
| 400              | 0.800 | 600              | 0.000 | 200              | 0.500 |
| 900              | 0.000 | 1500             | 0.000 | 400              | 0.150 |
| 1500             | 0.000 |                  |       | 600              | 0.050 |

Al variare della temperatura variano i fattori di riduzione di resistenza delle barre di armatura come riportato nella tabella seguente:

| ACCIAIO BARRE D'ARMATURA |          |                  |          |
|--------------------------|----------|------------------|----------|
| Trazione                 |          | Compressione     |          |
| Temperatura (°C)         | $K_{s1}$ | Temperatura (°C) | $K_{s1}$ |
| 20                       | 1.000    | 20               | 1.000    |
| 100                      | 1.000    | 100              | 1.000    |
| 200                      | 1.000    | 500              | 0.570    |
| 300                      | 1.000    | 700              | 0.100    |
| 400                      | 1.000    | 1200             | 0.000    |
| 500                      | 0.780    |                  |          |
| 600                      | 0.470    |                  |          |
| 700                      | 0.230    |                  |          |
| 800                      | 0.110    |                  |          |
| 900                      | 0.060    |                  |          |
| 1000                     | 0.040    |                  |          |
| 1100                     | 0.020    |                  |          |
| 1200                     | 0.000    |                  |          |

Come prescritto da normativa i coefficienti riduttivi delle proprietà meccaniche dei materiali calcestruzzo e acciaio sono pari all'unità  $\gamma_c = \gamma_s = 1.0$  ed è stato assunto il coeff.  $\alpha_{cc}=1.0$

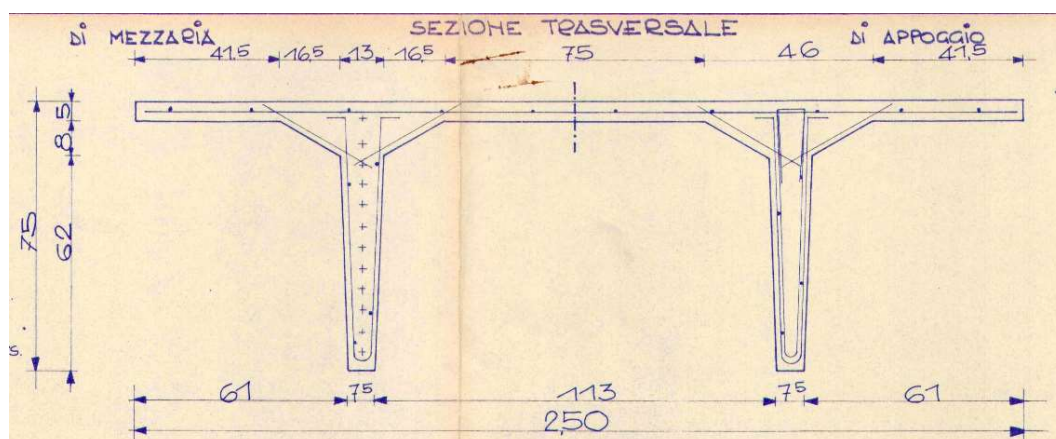
### 3.2 SEZIONI IN LEGNO

La verifica di resistenza al fuoco degli elementi in legno viene garantita attraverso l'adozione di sezioni opportune in seguito all'applicazione del metodo della sezione ridotta, in accordo a quanto contenuto nel paragrafo "4.2.2 Reduced cross-section method" dell'Eurocodice EN 1995-1-2:2004. Tale metodo consiste nell'effettuare le verifiche di resistenza in condizioni SLU-Eccezionali adottando moduli di resistenza  $W$  e momenti d'inerzia  $J$  relativi alla sezione ridotta ottenuta diminuendo quella iniziale di una profondità di carbonatazione effettiva che si ottiene in corrispondenza di un prefissato tempo  $t$ .

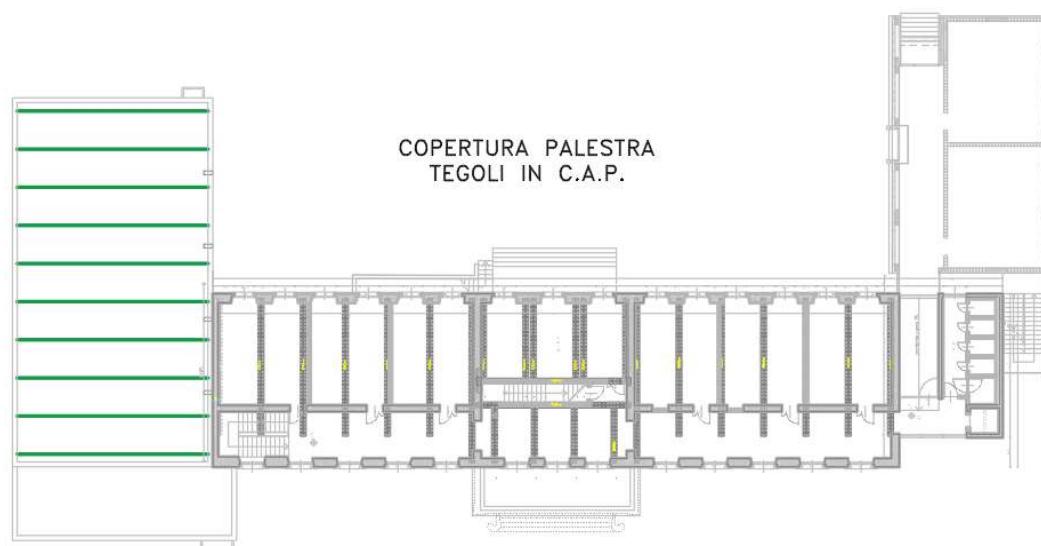
## 4 VERIFICA DELLA RESISTENZA AL FUOCO

### 4.1 TEGOLO IN CALCESTRUZZO

Il tegolo in esame è precompresso a doppia "T" di larghezza pari a 2,50 m, altezza totale pari a circa 75 cm e luce pari a circa 12,60 m. L'armatura del tegolo è stata dedotta da quanto riportato negli elaborati storici e verificata dalle indagini diagnostiche eseguite in sito.



Di seguito si riporta una pianta di inquadramento degli elementi oggetto di verifica.





## Azioni sollecitanti

L'azione massima flettente sollecitante la sezione di mezzeria risulta pari a:  $M = 248,5 \text{ KN}\cdot\text{m}$

## Caratteristiche meccaniche dei materiali

Sulla base dei risultati ottenuti dalle prove in campo e da quanto reperito dalla documentazione storica di seguito sono riportate le caratteristiche meccaniche del materiale calcestruzzo e acciaio utilizzate nell'analisi:

### Calcestruzzo

$R_{cm} = 35 \text{ MPa}$  (resistenza cubica del calcestruzzo)

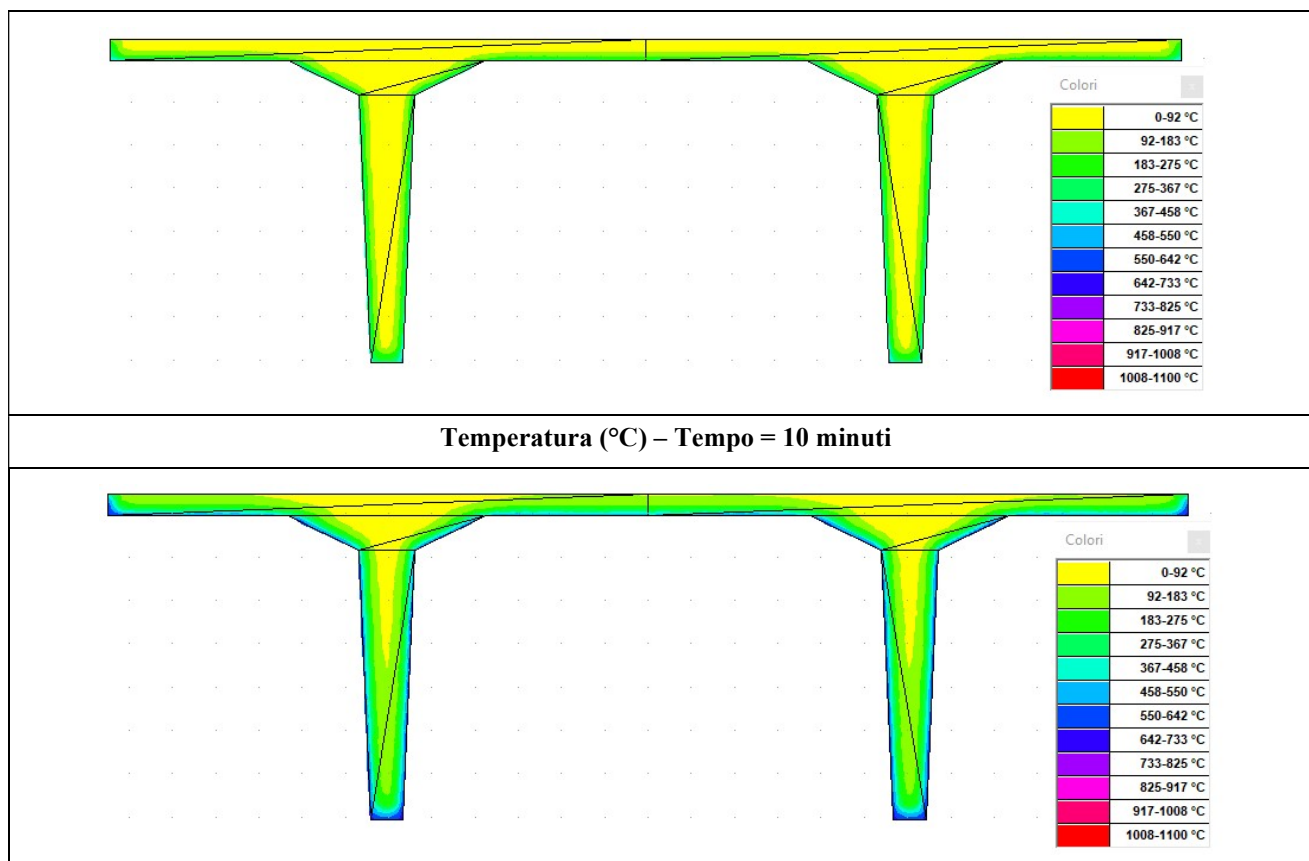
Acciaio treccie (costituite da n.3 fili intrecciati di diametro ciascuno 3 mm)

$f_u = 1800 \text{ MPa}$  (resistenza a rottura)

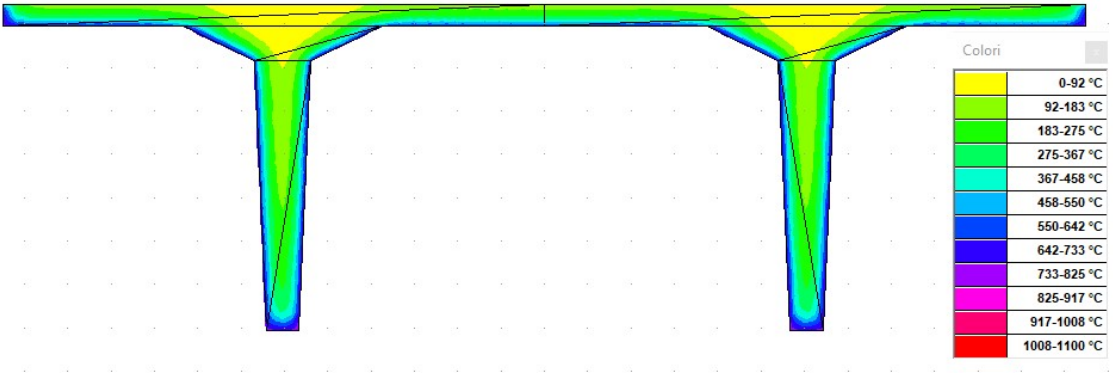
$f_y = 1580 \text{ MPa}$  (resistenza allo snervamento)

## Analisi termica

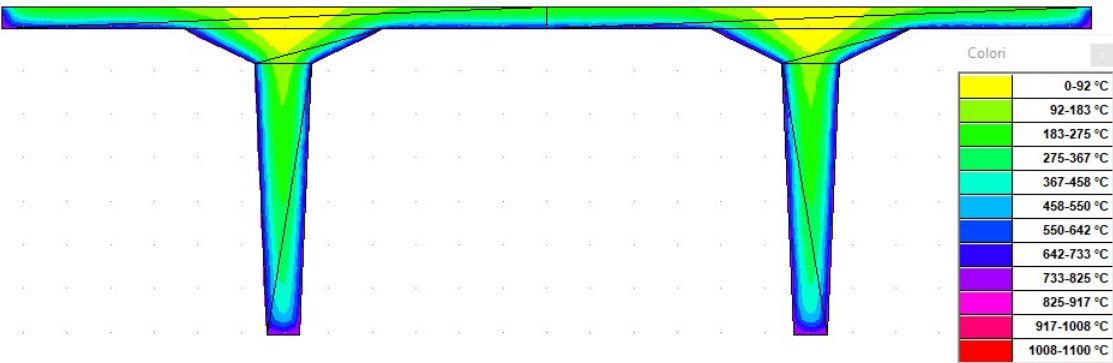
Di seguito è riportata l'analisi termica della sezione sottoposta a incendio volta ad individuare l'andamento nel tempo della temperatura interna. Il carico d'incendio è stato applicato sulla superficie inferiore.



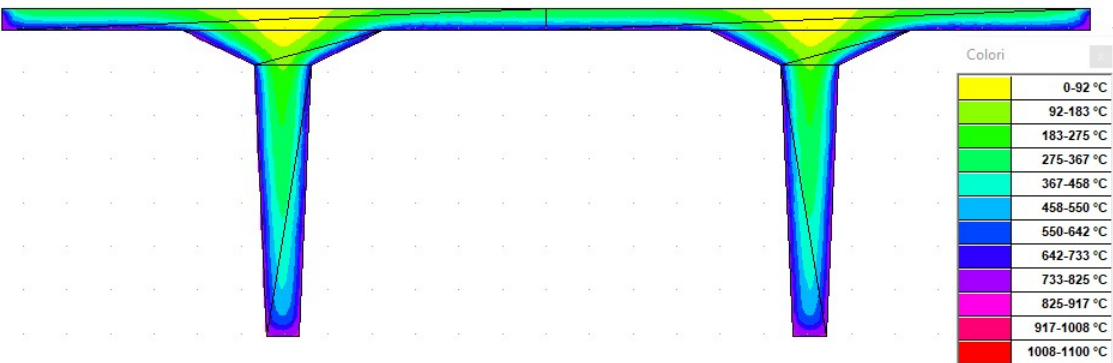
Temperatura (°C) – Tempo = 20 minuti



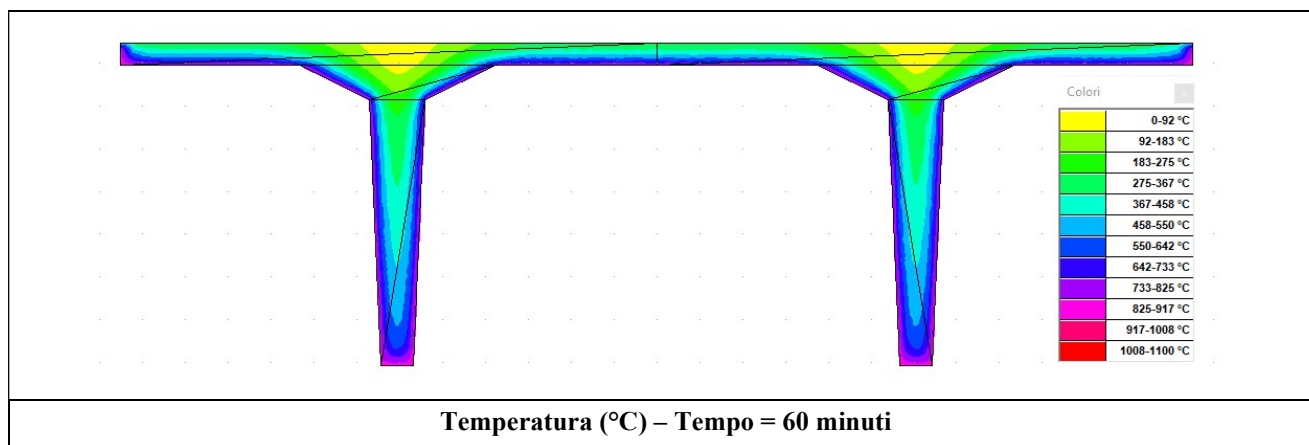
Temperatura (°C) – Tempo = 30 minuti



Temperatura (°C) – Tempo = 40 minuti



Temperatura (°C) – Tempo = 50 minuti



### Calcolo resistenza al fuoco (R)

Di seguito è riportato l'esito dei calcoli delle verifiche al fuoco condotte mediante metodo analitico per gli elementi esaminati.

La tabella seguente riporta l'esito delle verifiche condotte:

| Verifiche con riferimento alla sezione di mezzeria |                                |                              |                                |             |
|--|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------|
| Tempo  | Mx,sd (KN*m)<br>(sollecitante) | Mx,rd (KN*m)<br>(resistente) | $\alpha = M_{x,sd} / M_{x,rd}$ | Verifica    |
| 0'   | -248,5                         | 795,2                        | 3,20                           | >1 positiva |
| 5'   | -248,5                         | 795,2                        | 3,20                           | >1 positiva |
| 10'  | -248,5                         | 795,2                        | 3,20                           | >1 positiva |
| 15'  | -248,5                         | 782,8                        | 3,15                           | >1 positiva |
| 20'  | -248,5                         | 730,6                        | 2,94                           | >1 positiva |
| 25'  | -248,5                         | 646,1                        | 2,60                           | >1 positiva |
| 30'  | -248,5                         | 546,7                        | 2,20                           | >1 positiva |
| 35'  | -248,5                         | 454,8                        | 1,83                           | >1 positiva |
| 40'  | -248,5                         | 365,3                        | 1,47                           | >1 positiva |
| 45'  | -248,5                         | 290,7                        | 1,17                           | >1 positiva |
| 50'  | -248,5                         | 223,7                        | 0,90                           | <1 negativa |
| 55'  | -248,5                         | 171,5                        | 0,69                           | <1 negativa |
| 60'  | -248,5                         | 131,7                        | 0,53                           | <1 negativa |

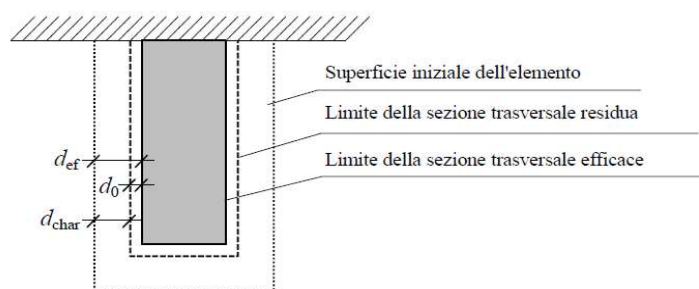
La capacità portante (R) del solaio può essere ricondotta alla classe R30.

## 4.2 TRAVI IN LEGNO

Come descritto nei paragrafi precedenti, la verifica di resistenza al fuoco per le travi in legno è stata condotta con metodo semi analitico “Reduced cross-section method”.

La profondità effettiva di carbonatazione, che determina la quota parte di sezione non più resistente, è calcolata come di seguito esposto:

- $d_{ef} = d_{char} + k_0 \times d_0$
- dove:
- $d_{ef}$  è la profondità efficace di sezione demolita;
- $d_{char} = \beta_n \times t$  è la profondità di sezione carbonizzata;
- $\beta_n$  è la velocità di carbonizzazione ideale, che per legno lamellare di conifere con densità non inferiore a 290 kg/m<sup>3</sup> è pari a 0,7 mm/min;
- $k_0$  è un coefficiente pari a 1 per  $t > 20$  minuti;
- $d_0 = 7\text{ mm}$



**Fig. 13-1 CNR-DT 206 R1/2018**

Nel caso in esame, dovendo rispettare il requisito R60, la profondità effettiva di carbonatazione che si ottiene per  $t$  pari a 60 minuti vale:

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 \times d_0 = 0,7 \times 60 + 1 \times 7 = 49 \text{ mm}$$

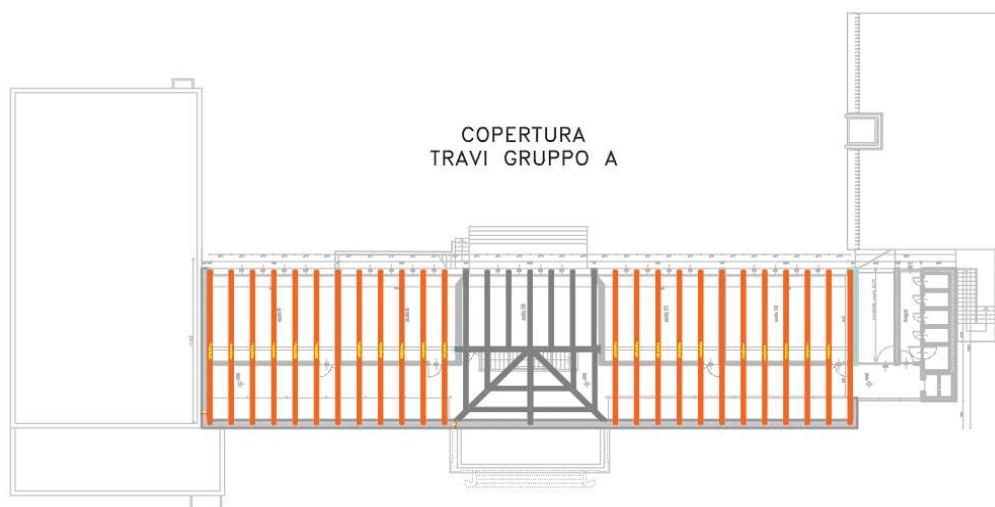
Considerando per tutti gli elementi della copertura un'esposizione su tre lati (sinistra, destra e inferiore) la sezione residua resistente viene ottenuta riducendo quella iniziale dei seguenti valori:

- riduzione base:  $2 \times d_{ef} = 98 \text{ mm}$
- riduzione altezza:  $d_{ef} = 49 \text{ mm}$

Di seguito si riportano le verifiche degli elementi costituenti la copertura dove per ogni tipologia di sezione viene verificato l'elemento maggiormente sollecitato.

### **TRAVI “GRUPPO A” (“TRAVI BOOMERANG”)**

Per la verifica della trave a boomerang in legno, in considerazione della variazione di sezione, sono state considerate più verifiche condotte in diversi punti della trave. Le travi presentano una lunghezza complessiva di 10,70 m. Di seguito si riporta una pianta di inquadramento degli elementi oggetto di verifica.



### SEZIONE DI MEZZERIA

Sezione utile: 14x107 cm

Azioni sollecitanti:  $M = 39,7 \text{ KN}\cdot\text{m}$

Calcolo resistenza al fuoco (R)

| Verifiche con riferimento alla sezione di mezzeria |                         |  |  |   |              |
|--|-------------------------|--|--|---|--------------|
| Tempo  | Sezione resistente [cm] | $M_{x,sd} \text{ (KN}\cdot\text{m)}$<br>(sollecitante) | $M_{x,rd} \text{ (KN}\cdot\text{m)}$<br>(resistente) | Sfruttamento =<br>$M_{x,rd} / M_{x,sd}$ | Verifica     |
| 0'   | 14 x 107                | -39,7  | 735,1  | 0,054                                   | < 1 positiva |
| 15'  | 10,5x105,3              | -39,7  | 536,4  | 0,074                                   | < 1 positiva |
| 30'  | 8,4x104,2               | -39,7  | 385,4  | 0,103                                   | < 1 positiva |
| 45'  | 6,3x103,1               | -39,7  | 261,1  | 0,152                                   | < 1 positiva |
| 60'  | 4,2x102,1               | -39,7  | 141,7  | 0,280                                   | < 1 positiva |

### SEZIONE A L/4

Sezione utile: 14x49 cm

Azioni sollecitanti:  $M = 34,3 \text{ KN}\cdot\text{m}$

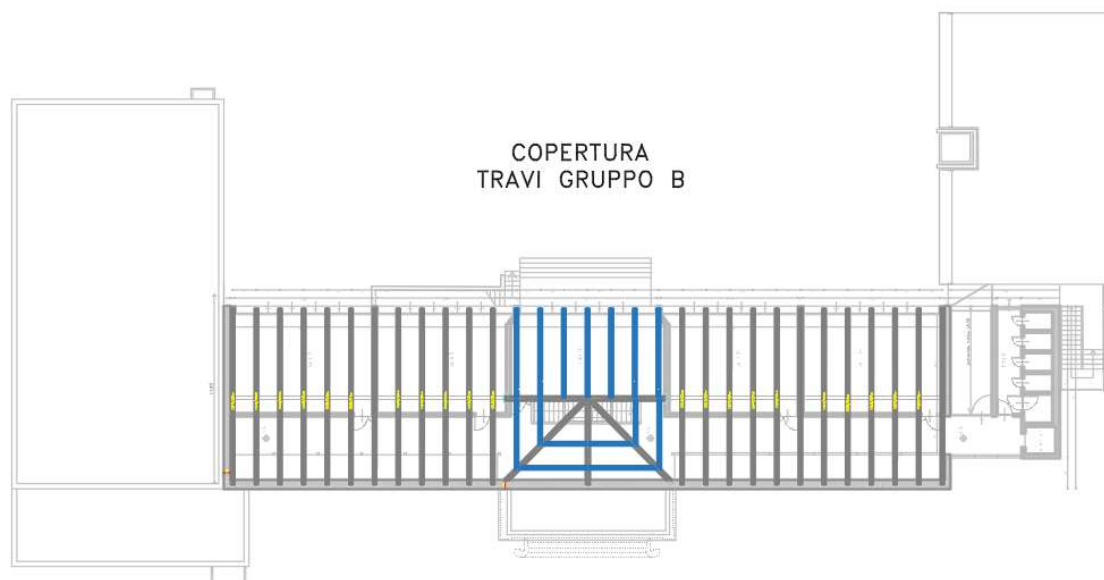
Calcolo resistenza al fuoco (R)

| Verifiche con riferimento alla sezione di mezzeria |                         |  |  |   |              |
|--|-------------------------|--|--|---|--------------|
| Tempo  | Sezione resistente [cm] | $M_{x,sd} \text{ (KN}\cdot\text{m)}$<br>(sollecitante) | $M_{x,rd} \text{ (KN}\cdot\text{m)}$<br>(resistente) | Sfruttamento =<br>$M_{x,rd} / M_{x,sd}$ | Verifica     |
| 0'   | 14 x 49                 | -34,3  | 168,1  | 0,204                                   | < 1 positiva |
| 15'  | 10,5x47,3               | -34,3  | 117,9  | 0,291                                   | < 1 positiva |
| 30'  | 8,4x46,2                | -34,3  | 82,3   | 0,417                                   | < 1 positiva |
| 45'  | 6,3x45,2                | -34,3  | 53,9   | 0,636                                   | < 1 positiva |
| 60'  | 4,2x44,1                | -34,3  | 28,4   | 1,208                                   | > 1 negativa |

La trave “Boomerang” di copertura presenta una classe di resistenza al fuoco pari a R30.

## TRAVI “GRUPPO B”

Le travi in esame sono a sezione rettangolare di dimensioni 15x30, con luce pari a circa 5,2 m. Di seguito si riporta una pianta di inquadramento degli elementi oggetto di verifica.



**Sezione utile: 15x30 cm**

**Azioni sollecitanti:  $M = 8,5 \text{ KN}\cdot\text{m}$**

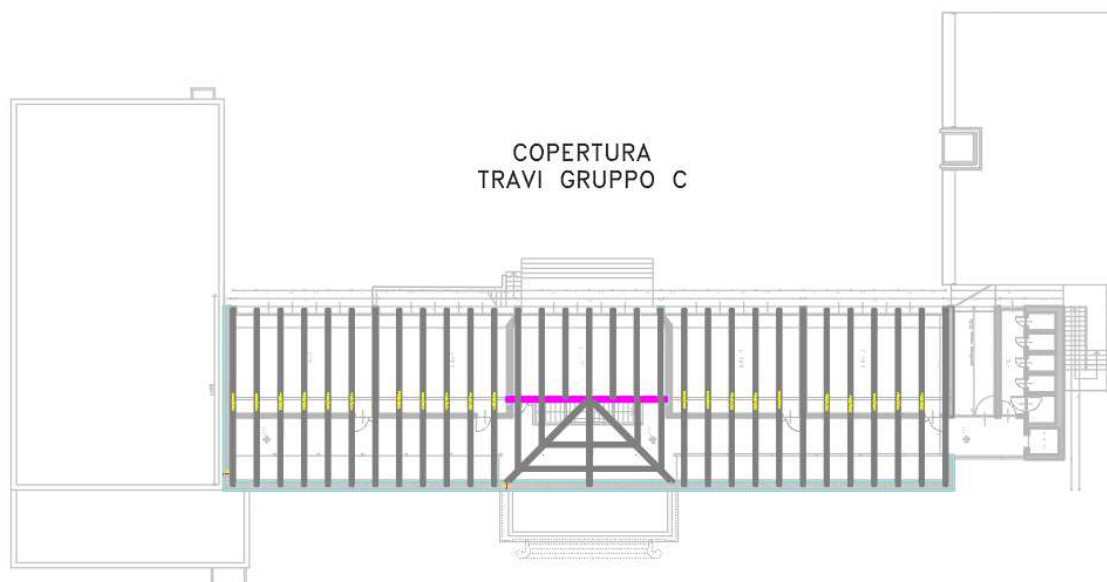
**Calcolo resistenza al fuoco (R)**

| Verifiche con riferimento alla sezione di mezzeria |                         |  |  |   |              |
|--|-------------------------|--|--|---|--------------|
| Tempo  | Sezione resistente [cm] | $M_{x,sd} \text{ (KN}\cdot\text{m)}$<br>(sollecitante) | $M_{x,rd} \text{ (KN}\cdot\text{m)}$<br>(resistente) | Sfruttamento =<br>$M_{x,rd} / M_{x,sd}$ | Verifica     |
| 0'   | 15X30                   | -8,5   | 62,0   | 0,137                                   | < 1 positiva |
| 15'  | 11,5x28,3               | -8,5   | 42,3   | 0,201                                   | < 1 positiva |
| 30'  | 9,4x27,2                | -8,5   | 29,2   | 0,291                                   | < 1 positiva |
| 45'  | 7,3x26,2                | -8,5   | 19,4   | 0,439                                   | < 1 positiva |
| 60'  | 5,2x25,1                | -8,5   | 11,0   | 0,772                                   | < 1 positiva |

Le travi del “gruppo B” presentano una classe di resistenza al fuoco pari a R60.

## TRAVI “GRUPPO C”

Le travi in esame sono a sezione rettangolare di dimensioni 20x80, con luce pari a circa 10,0 m. Di seguito si riporta una pianta di inquadramento degli elementi oggetto di verifica.



Sezione utile: 20x80 cm

Azioni sollecitanti:  $M = 67 \text{ KN}\cdot\text{m}$

Calcolo resistenza al fuoco (R)

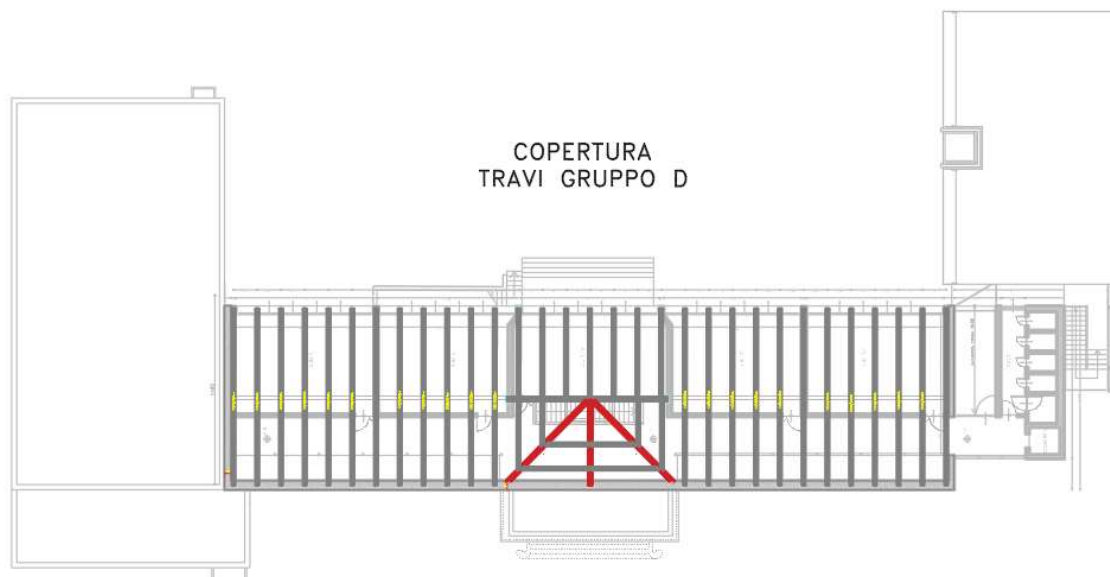
| Verifiche con riferimento alla sezione di mezzeria |                         |  |  |   |              |
|--|-------------------------|--|--|---|--------------|
| Tempo  | Sezione resistente [cm] | $M_{x,sd} \text{ (KN}\cdot\text{m)}$<br>(sollecitante) | $M_{x,rd} \text{ (KN}\cdot\text{m)}$<br>(resistente) | Sfruttamento =<br>$M_{x,rd} / M_{x,sd}$ | Verifica     |
| 0'   | 20x80                   | -67,0  | 638,1  | 0,105                                   | < 1 positiva |
| 15'  | 16,5x78,3               | -67,0  | 507,6  | 0,132                                   | < 1 positiva |
| 30'  | 14,4x77,2               | -67,0  | 408,5  | 0,164                                   | < 1 positiva |
| 45'  | 12,3x76,2               | -67,0  | 326,8  | 0,205                                   | < 1 positiva |
| 60'  | 10,2x75,1               | -67,0  | 250,0  | 0,268                                   | < 1 positiva |

Le travi del “gruppo C” presentano una classe di resistenza al fuoco pari a R60.



## TRAVI “GRUPPO D”

Le travi in esame sono a sezione rettangolare di dimensioni 20x40, con luce pari a circa 7,4 m. Di seguito si riporta una pianta di inquadramento degli elementi oggetto di verifica.



**Sezione utile: 20x40 cm**

**Azioni sollecitanti:  $M = 11 \text{ KN}\cdot\text{m}$**

**Calcolo resistenza al fuoco (R)**

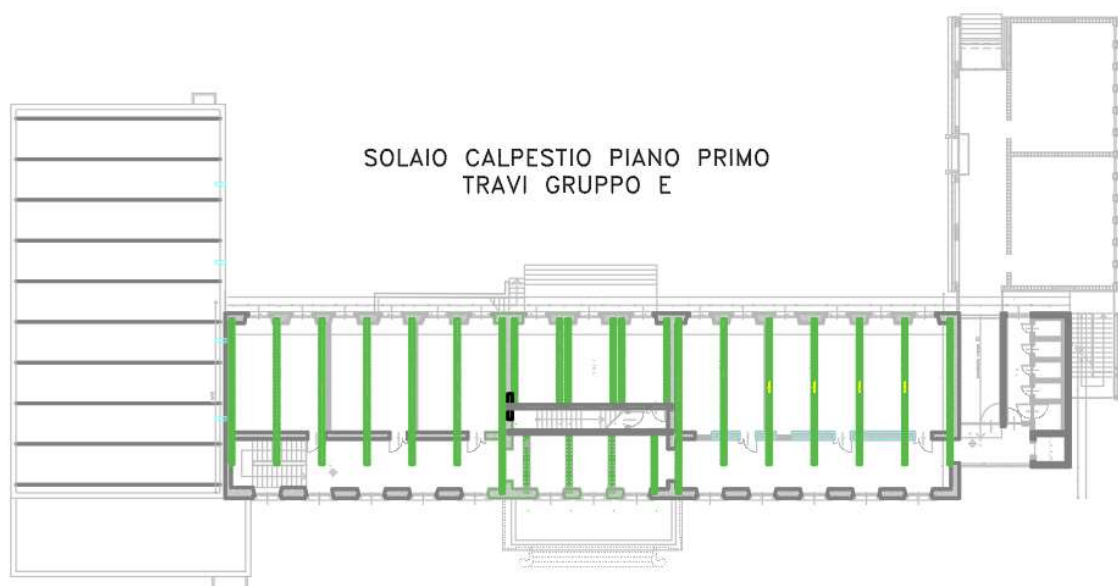
| Verifiche con riferimento alla sezione di mezzeria |                         |                                     |                                   |   |              |
|--|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---|--------------|
| Tempo  | Sezione resistente [cm] | $M_{x,sd}$ (KN*m)<br>(sollecitante) | $M_{x,rd}$ (KN*m)<br>(resistente) | Sfruttamento =<br>$M_{x,rd} / M_{x,sd}$ | Verifica     |
| 0'   | 20x40                   | -11,0                               | 132,5                             | 0,083                                   | < 1 positiva |
| 15'  | 16,5x38,3               | -11,0                               | 100,9                             | 0,109                                   | < 1 positiva |
| 30'  | 14,4x37,2               | -11,0                               | 78,6                              | 0,14                                    | < 1 positiva |
| 45'  | 12,3x36,2               | -11,0                               | 60,4                              | 0,182                                   | < 1 positiva |
| 60'  | 10,2x35,1               | -11,0                               | 44,7                              | 0,246                                   | < 1 positiva |

Le travi del “gruppo D” presentano una classe di resistenza al fuoco pari a R60.



## TRAVI “GRUPPO E”

Le travi in esame sono a sezione rettangolare di dimensioni 22x48, con luce pari a circa 9,0 m. Di seguito si riporta una pianta di inquadramento degli elementi oggetto di verifica.



**Sezione utile: 22x48 cm**

**Azioni sollecitanti:  $M = 87,9 \text{ KN}\cdot\text{m}$**

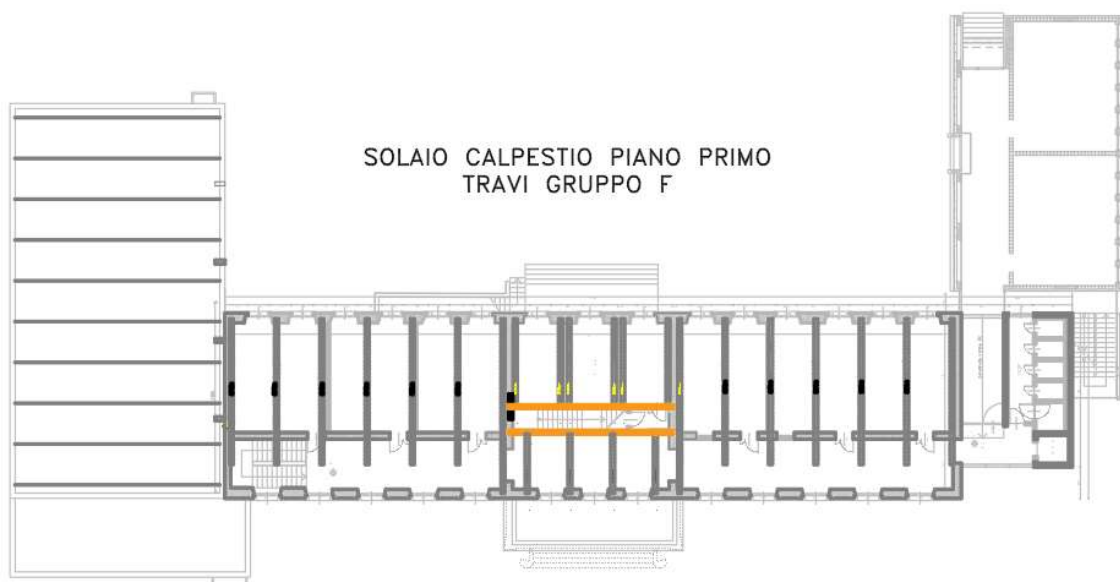
**Calcolo resistenza al fuoco (R)**

| Verifiche con riferimento alla sezione di mezzeria |                         |  |  |   |              |
|--|-------------------------|--|--|---|--------------|
| Tempo  | Sezione resistente [cm] | $M_{x,sd} \text{ (KN}\cdot\text{m)}$<br>(sollecitante) | $M_{x,rd} \text{ (KN}\cdot\text{m)}$<br>(resistente) | Sfruttamento =<br>$M_{x,rd} / M_{x,sd}$ | Verifica     |
| 0'   | 22x48                   | -87,9  | 211,3  | 0,416                                   | < 1 positiva |
| 15'  | 18,5x46,3               | -87,9  | 172,4  | 0,51                                    | < 1 positiva |
| 30'  | 16,4x45,2               | -87,9  | 132,8  | 0,662                                   | < 1 positiva |
| 45'  | 14,3x44,2               | -87,9  | 106,7  | 0,824                                   | < 1 positiva |
| 60'  | 12,2x43,1               | -87,9  | 82,8   | 1,062                                   | > 1 negativa |

Le travi del “gruppo E” presentano una classe di resistenza al fuoco pari a R30.

## TRAVI “GRUPPO F”

Le travi in esame sono a sezione rettangolare di dimensioni 22x70, con luce pari a circa 10,0 m. Di seguito si riporta una pianta di inquadramento degli elementi oggetto di verifica.



**Sezione utile: 22x70 cm**

**Azioni sollecitanti:  $M = 105,4 \text{ KN}\cdot\text{m}$**

**Calcolo resistenza al fuoco (R)**

| Verifiche con riferimento alla sezione di mezzeria |                         |  |  |   |              |
|--|-------------------------|--|--|---|--------------|
| Tempo  | Sezione resistente [cm] | $M_{x,sd} \text{ (KN}\cdot\text{m)}$<br>(sollecitante) | $M_{x,rd} \text{ (KN}\cdot\text{m)}$<br>(resistente) | Sfruttamento =<br>$M_{x,rd} / M_{x,sd}$ | Verifica     |
| 0'   | 22x48                   | -105,4   | 374,0  | 0,235                                   | < 1 positiva |
| 15'  | 18,5x46,3               | -105,4   | 300,0  | 0,293                                   | < 1 positiva |
| 30'  | 16,4x45,2               | -105,4   | 245,5  | 0,358                                   | < 1 positiva |
| 45'  | 14,3x44,2               | -105,4   | 201,1  | 0,437                                   | < 1 positiva |
| 60'  | 12,2x43,1               | -105,4   | 159,0  | 0,553                                   | < 1 positiva |

Le travi del “gruppo F” presentano una classe di resistenza al fuoco pari a R60.