



# SOFTWARE PER LA PREFABBRICAZIONE

## Travi Precomprese ad H variabile

### Verifica al fuoco

Rev 1 del 01/06/2023

## 1. INTRODUZIONE

Il programma di calcolo al fuoco esegue la verifica di una sezione qualsiasi per una trave precedentemente calcolata a freddo da cui acquisisce automaticamente tutte le caratteristiche geometriche, dei materiali e delle armature già inserite per il calcolo in esercizio.

La verifica viene effettuata con il "metodo generale", con le ipotesi di conservazione delle sezioni piane ed aderenza acciaio-clt. La verifica dello stato limite per la sollecitazione di taglio V si esplica nel controllo della

sicurezza lato acciaio (taglio portato dalle staffe) e lato cls (verifica della biella compressa); si osserva che in condizioni normali governa la verifica lato acciaio. Per le verifiche dello stato limite si è utilizzata la stessa mesh dell' analisi termica, con ogni elemento degradato in funzione della propria temperatura media.

L'analisi termica viene effettuata su elementi strutturali in c.a. e c.a.p. secondo la normativa UNI 9502 edizione maggio 2001. Per quanto non previsto dalla norma UNI il riferimento adottato è la norma tecnica CNR NTc 192.

La verifica della capacità portante degli elementi è condotta con particolare riferimento ai punti (della norma UNI):

(UNI 9502) 3.2 - curva temperatura/tempo nominale normalizzata

## CONVENZIONI SUI SIMBOLI

Rck	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a rottura del calcestruzzo
f <sub>yk</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Snervamento dell'acciaio
$\epsilon_{res}$	W/m <sup>2</sup> °C	Fattore di emissività risultante
B	W/m <sup>2</sup> °K <sup>4</sup>	Costante di Stefan-Boltzmann
Alfa c	W/m <sup>2</sup> °C	Coefficiente di scambio di calore per convezione
T <sub>g</sub>	°C	Temperatura dei gas in caso di incendio
T <sub>m</sub>	°C	Temperatura di superficie dell'elemento
T <sub>a</sub>	°C	Temperatura assoluta
T <sub>Ag</sub>	°C	Temperatura assoluta dei gas in caso di incendio
T <sub>Am</sub>	°C	Temperatura assoluta di superficie dell'elemento
n		esponente
A <sub>sw/s</sub>	cm <sup>2</sup> /m	Area di armatura d'anima
F <sub>yw,fyk</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Limite di snervamento dell'acciaio
T <sub>med</sub>	°C	Temperatura media del braccio della staffa
B <sub>w ini</sub>	m	Ascissa iniziale del tratto di trave entro cui viene fatta la verifica a taglio
B <sub>w fin</sub>	m	Ascissa finale del tratto di trave entro cui viene fatta la verifica a taglio
d	m	Altezza utile della sezione

V (fcd)                      kN                      Resistenza a schiacciamento del puntone compresso (DM 09-01-1996, p.to 4.2.2.3.1)

(UNI 9502) 5.2 - applicazione del procedimento analitico  
(UNI 9502) 6.1 - determinazione analitica  
(UNI 9502) 6.4 - determinazione alla presenza di rivestimenti protettivi  
per l' analisi termica della sezione e la definizione della mappa termica al tempo di esposizione richiesto; (UNI 9502) 7.1 - verifica del criterio di capacità portante  
(UNI 9502) 8 - azioni  
(UNI 9502) 9 - materiali  
(UNI 9502) 10 - coefficienti di sicurezza  
(CNR NTc 192) 5.3.3.2 verifiche per sollecitazioni che provocano tensioni normali  
(CNR NTc 192) 5.3.3.3 verifiche per sollecitazioni che provocano tensioni tangenziali per la verifica dello stato limite ultimo di collasso.

Per determinare la mappa termica si è effettuata una analisi del transitorio con elementi finiti bidimensionali utilizzando il codice *FIRES-T3: A Computer Program for the Fire Response of Structure-Thermal (ThreeDimensional Version)* di Iding, R.; Bresler, B.; Nizamuddin, Z. disponibile presso il *Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899*.

il calcolo dei parametri di resistenza ultimi viene effettuato con riferimento alla norma D.M. 09-01-1996 – *Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche*.

Vcd	kN	Contributo alla resistenza a taglio dato dal calcestruzzo (DM 09-01-1996, p.to 4.2.2.3.2)
Vwd	kN	Contributo alla resistenza a taglio dato dalla staffatura (DM 09-01-1996, p.to 4.2.2.3.2)
V lim	kN	Resistenza a taglio della sezione
N	kN	Sforzo normale di esercizio
M i-s	kN	Momento di esercizio che tende le fibre inferiori-superiori
M s-d	kN	Momento di esercizio che tende le fibre sinistre-destre
N lim	kN	Sforzo normale ultimo proporzionale
M i-s lim	kN	Momento ultimo proporzionale che tende le fibre inferiori-superiori
M s-d lim	kN	Momento ultimo proporzionale che tende le fibre sinistre-destre
Rd / Ed		Rapporto di proporzionalità tra la resistenza ultima a presso-flessione e l'azione di esercizio
fptk	N/mm <sup>2</sup>	Tensione caratteristica di rottura dell'acciaio precompresso
e fptk		Deformazione a rottura dell'acciaio precompresso impiegato e decomp. Deformazione presente nell'acciaio precompresso, corrispondente all'annullamento della tensione nella fibra di calcestruzzo alla stessa quota

Il software, opportunamente adattato per operare in ambiente grafico-interattivo, assicura risultati coerenti con le mappe termiche della norma UNI. L'analisi termica della sezione è effettuata indipendentemente dalla disposizione delle armature.

## 1.1. FUNZIONAMENTO DEL PROGRAMMA

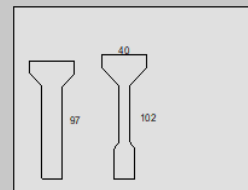
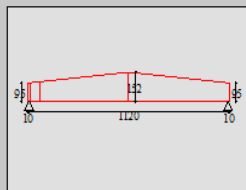
Il programma di verifica la fuoco è agganciato al programma di calcolo in esercizio della trave, qui di seguito sono riportate le maschere dei dati relativi alla trave dell'esempio che è una "doppia pendenza".

## GESTORE PROGETTI

### NUOVO PROGETTO

Nome Progetto	BENEDETTI verif. fuoco
Commissa	TEST GEOMETRIA
Tipo Trave	MOZZO 88
Data	16/10/2023
Ora	12:30:50

REGISTRA E CARICA PROGETTO



### ELENCO PROGETTI

Progetto	NomeCommissa	NomeTrave	Data
TEST GEOMETRIA	TEST GEOMETRIA	A1	04/05/2011
TEST GEOMETRIA1	TEST GEOMETRIA	A1	04/05/2011
TEST GEOMETRIA2	TEST GEOMETRIA	A1-trapezi	04/05/2011

Salva Progetto con nome...

Salva Commissa con nome...

Aggiorna Trave

Elimina Commissa

Elimina Progetto

Carica progetto



Stampa

Esporta progetti database su file...

Chiudi

PROGETTO: TEST GEOMETRIA - NOME TRAVE: A1 - COMMISSA: TEST GEOMETRIA

**Sezione:** A1 **Pend %:** 7.5 **PP kg/m:** 568 **Mezza Trave**

Lunghezza Trave	10	m	Luce di calcolo	9.8	m
Sbalzo Sinistro	0.1	m	Larghezza Ralla	0	m
Sollevamento	Sx 1	Dx 1	Trasporto	Sx 1	Dx 1
Larghezza min. sezione testata	20	cm	Larghezza min. sezione corrente	10	cm
Altezza Colmo	100	cm	Disassamento Colmo a Sinistra	0	m

☐ Carichi Concentrati ☐ Getto in Opera ☐ Smusso Verticale

**carichi ml**  
**carichi m²**

G1 Sovraccarichi Permanenti pienamente definiti **PESI** 0 kg/m

G2 Sovraccarichi Permanenti NON pienamente definiti 0 kg/m

Qk1 Sovraccarico accidentale **DOMINANTE** 0 kg/m **Categoria:** Neve (a quota <=1000m s.l.m.) **Coefficienti:**  $\psi_{11}$  0.2  $\psi_{12}$  21

Qk2 Sovraccarico accidentale 0 kg/m **Categoria:** Altro **Coefficienti:**  $\psi_{12}$  0.7  $\psi_{11}$  0.7  $\psi_{22}$  0.6

Qk2 Spinta Orizzontale vento 0 kg/m

**Coefficienti SLU**  $\gamma_{G1}$  1.3  $\gamma_{G2}$  1.5  $\gamma_{Qk1} - \gamma_{Qk2}$  1.5

Umidità relativa ambientale 60 **Rck** C45/55 **Rckj** C28/35 **Rck G** C20/25

Classe di esposizione X0 Interno edifici con poca umidità

**VERIFICHE A TAGLIO (6.2 EC2) SEZIONE NON PRECOMPRESSA**

**MODIFICA ANGOLI** Angolo Puntone  $\theta = 45^\circ.00$  Cotg  $\theta = 1.0$   $\theta$  Calcolato =  $0^\circ$

**Stampa** **Salva** **T.A.** **T.U. 2008 - EC2** **NTC 2018 - EC2** **SELLA SX NTC 2018** **SETTAGGI** **GEOMETRIA** **TITOLO LAVORO**

**TREFOLI** **FERRI** **SELLA SX DM 2008** **PROGETTO STAFFE**

**DISEGNO**

PP = 568 kg/m

125


**PROGETTA TREFOLI**

N. 2 trefoli da 1.39

125

67.5

# MATERIALI



Rck CLS TRAVE 28gg	C45/55	550	Kg/cm²	Rckj CLS TRAVE allo sbanco	C28/35	350	Kg/cm²
TESATURA TREFOLI	14000		Kg/cm²	Area Trefoli x calcolo I <sup>^</sup> sez prec	0.93		cm²
fptk TREFOLI	1860		N/mm²	fptk TRECCIE	1900		N/mm²
Rck CLS getto in OPERA 28gg	C20/25	250	Kg/cm²	Acciaio B450C fyk	B450C		N/mm²
Coeff. perdite Martinetto	1.5		%	Coeff. ritiro ( 25=0.00025 )	25		
Coeff. perdite FLUAGE	2		1.8 : 3				
Coeff. Kt calcolo fessure	0.4		0.4 - 0.6				
Coeff Sic CLS $\gamma_C$	1.5		1.4 - 1.5				
Classe cemento (R/N/S)	R						

☒ Superficie tra trave e getto SCABRA      c = 0.40

☐ Superficie tra trave e getto LISCIA      c = 0.20

$\mu = 0.7$     EC2 6.2.5 (2)

$\mu = 0.6$     EC2 6.2.5 (2)

per calcolo Tensioni Ammissibili

Ec CLS Trave sbanco	311769	Kg/cm²
Ec CLS Trave a 28gg	422137	Kg/cm²
Ec CLS getto In Opera	284604	Kg/cm²

per calcolo NTC 2018 - EC2 - DM 2008

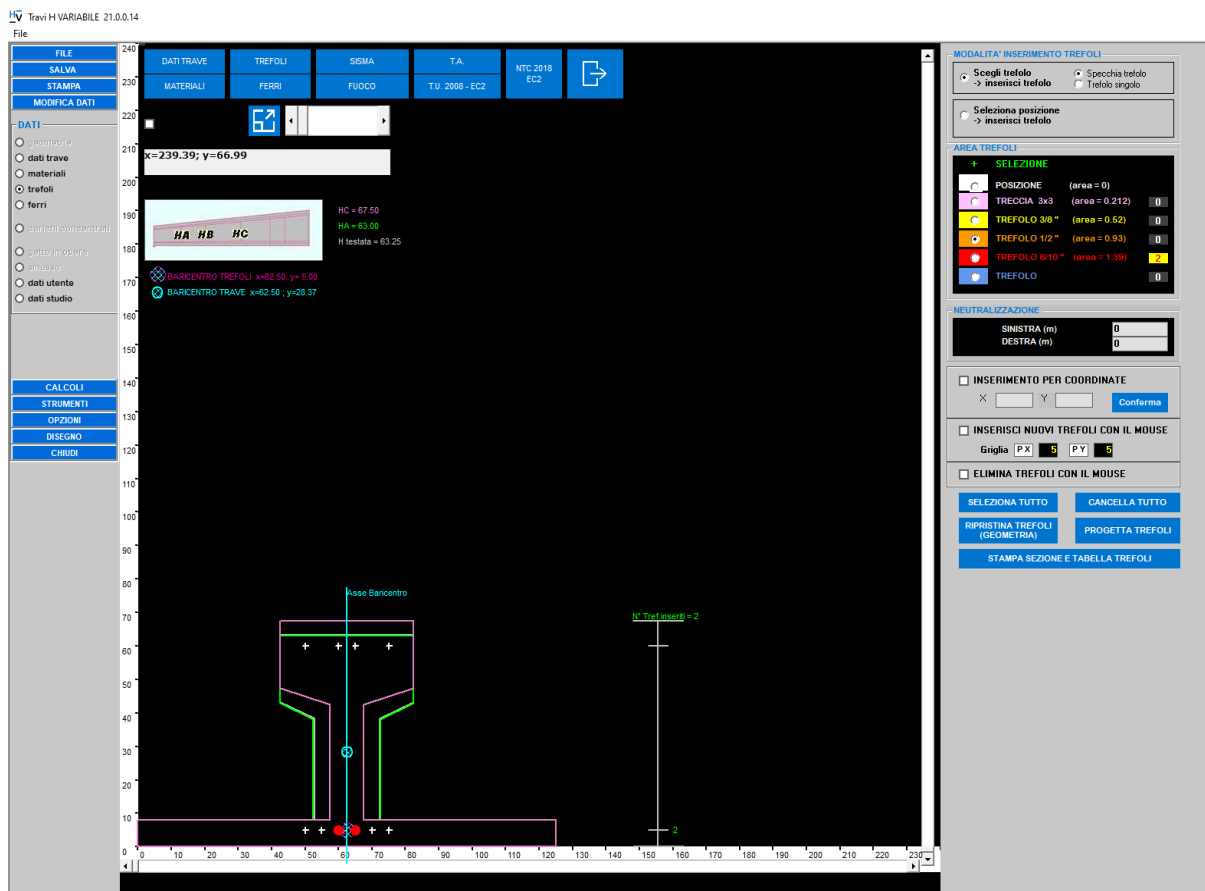
Ec CLS Trave sbanco	31.45	kN/mm²
Ec CLS Trave a 28gg		kN/mm²
Ec CLS getto In Opera	30.2	kN/mm²

**Stampa**

**Salva**

**Materiali default**

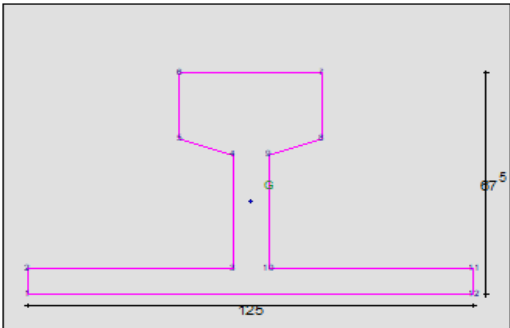
**Chiudi**



PROGETTO: TEST GEOMETRIA - NOME TRAVE: A1 - COMMESSA: TEST GEOMETRIA

### COORDINATE SEZIONE: A1

INIZIO			INTERMEDIA			FINE RASTREMATURA		
N	X (cm)	Y (cm)	N	X (cm)	Y (cm)	N	X (cm)	Y (cm)
1	0	0				1	0	0
2	0	8				2	0	8
3	52.5	8				3	57.5	8
4	52.5	38				4	57.5	42.5
5	42.5	43				5	42.5	47.5
6	42.5	63				6	42.5	67.5
7	82.5	63				7	82.5	67.5
8	82.5	43				8	82.5	47.5
9	72.5	38				9	67.5	42.5
10	72.5	8				10	67.5	8
11	125	8				11	125	8
12	125	0				12	125	0
13	0	0				13	0	0



### DATI GEOMETRICI

Area Sezione	2,270.00	cm²
Volume	0.23	m³/m
Peso	568	kg/m
X Baricentro (G)	62.50	cm
Y Baricentro (G)	28.37	cm

Dopo aver calcolato la trave in esercizio e verificato la stessa bisogna entrare nella maschera *Specifiche di progetto* e premere il pulsante **“Calcolo al fuoco”**.

## Travi H VARIABLE

### TEST GEOMETRIA

GEOMETRIE

NUOVO PROGETTO SU FILE

APRI PROGETTO DA FILE

SALVA PROGETTO SU FILE

---

PROGETTI SU DATABASE

DATI TRAVE		NTC 2018 - EC2	
MATERIALI	COORDINATE	TENSIONI AMM.	T.U. 2008 - EC2
TREFOLI	FERRI	VERIFICA SISMICA	
CARICHI	STAFFE	VERIFICA AL FUOCO	
GETTO		VERIFICA ESERCIZIO SEZIONE A PIACERE	
CARICHI NEVE-VENTO		DIAGRAMMI DI UTILIZZO	
SETTAGGI	UTILITY	DISEGNO	

FINE

Si passa alla maschera qui sotto rappresentata in cui bisogna immettere nel campo *Sezione da sinistra* la posizione riferita all'estremità sinistra della trave in corrispondenza alla quale c'è la sezione del cassero che si vuole verificare e in cui il programma calcola le sollecitazioni di momento e di taglio.

Nell'esempio viene verificata la sezione di mezzzeria che si trova a 10 m. Poi bisogna vedere se vanno bene i coefficienti riduttivi delle azioni per la combinazione di carico del fuoco, il programma propone un coefficiente pari ad 1 per i carichi permanenti ed un coefficiente pari a 0.5 per i carichi accidentali, al termine premere "Calcolo al fuoco".

**PROGETTO: TEST GEOMETRIA - NOME TRAVE: A1 - COMMESSA: TEST GEOMETRIA**

## CALCOLO AL FUOCO

### Selezione Sezioni

Sezione da sinistra

6.63

m

Sezione per il calcolo del momento

6.63

m

Sezione per il calcolo del taglio

0.1

m

Coefficiente rid. per carichi permanenti  
G1 + G2

1

Coefficiente rid. per carichi accidentali  
Qk1

ψ<sub>21</sub>

0

Coefficiente rid. per carichi accidentali  
Qk2

ψ<sub>22</sub>

0.6

**Combinazione Fuoco**  
G1 + G2 + P + Ad + ψ<sub>21</sub> \* Qk1 + ψ<sub>22</sub> \* Qk2    NTC 2.5.6

### IMPOSTAZIONI

REI

120

min

T staffa

0

°C

MESH

4

cm

☒ UNI 9502 maggio 2001  
☐ UNI EN 1992-1-2:2019 semplificato  
☐ UNI EN 1992-1-2:2019 avanzato

### AGGREGATO

☒ Calcareo    ☐ Siliceo

### ESPOSIZIONE AL FUOCO

☒ Tutti i lati a sinistra    ☐ Tutti i lati sopra  
☒ Tutti i lati a destra    ☒ Tutti i lati sotto

Stampa

CALCOLO AL FUOCO

N.B.: il programma di calcolo al fuoco permette di modificare alcune caratteristiche della trave come per esempio il numero, la posizione ed il tipo delle barre di armatura, la classe di resistenza della trave e dell'eventuale getto in opera. Tutte queste modifiche restano interne al programma di verifica al fuoco e se si desidera mantenerle vanno riportate nelle tabelle dei dati usate per il calcolo della trave in esercizio. La finestra principale dell'analisi al fuoco è la seguente :

**Analisi della resistenza al fuoco della sezione (versione 2013-02-10)**

### Proprietà sezione

Numero poligoni

1

Numero complessivo vertici

12

Dimensione lato mesh [cm]

4.0

Esposizione

Avanzate...

Materiali

Armature

### Proprietà modello termico

Numero nodi

0

Numero elementi

0

Numero elementi boundary

0

### Analisi del transitorio termico

Aggiorna

Analisi

Normativa

Verifiche

Visualizzazione stato sezione t=0 min.

☒ Filo di ferro  
☐ Solido  
☐ Mesh  
☐ Mesh solido  
☐ Temperature

Sonda

Racchiudi

Zoom +

Zoom -

Salva immagine

Esci

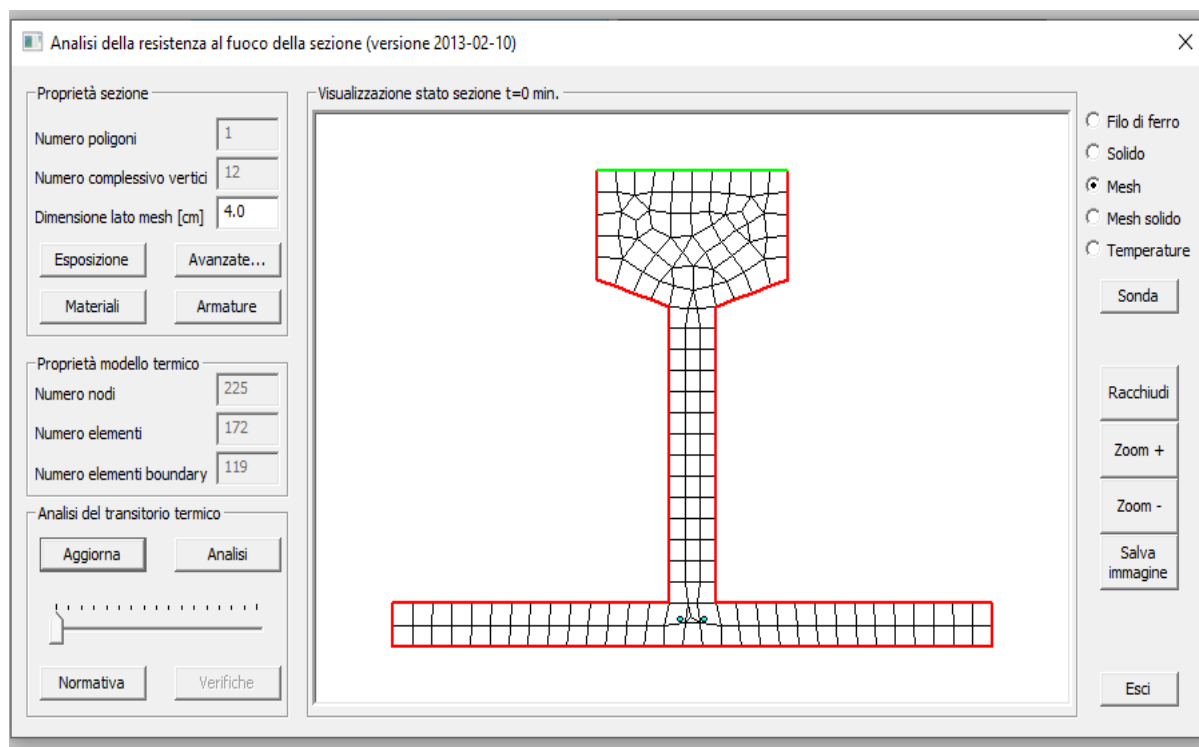


in cui è rappresentata la sezione, l'armatura predefinita dall'utente ed il baricentro geometrico della trave, nel caso in cui sia presente il getto in opera sono rappresentati anche i baricentri del getto in opera e della sezione complessiva.

Inizialmente è adottata la rappresentazione solida, per passare alla rappresentazione di figura premere sulla casella di controllo **"Filo di ferro"**, i lati della sezione sono numerati, l'armatura lenta ha colore blu, quella precompressa ha colore azzurro.

Per creare la mesh di elementi finiti occorre impostare la dimensione del lato nella casella apposita e premere il pulsante **"Aggiorna"**, al termine per vedere la mesh premere la casella di controllo **"Mesh"**.

Per contenere i tempi di esecuzione dell'analisi conviene impostare un lato mesh non troppo piccolo che sia compatibile con le dimensioni della sezione, per esempio nel caso della sezione di figura conviene mettere un lato dell'ordine di 4-5 cm.



E' stata fornita la possibilità di effettuare una visione più dettagliata delle varie zone della sezione per mezzo dei pulsanti di zoom posti a destra, **"Racchiudi"** per vedere tutta la sezione, **"Zoom +"** per ingrandire, **"Zoom -"** per rimpicciolire, se si sta utilizzando un mouse con la rotellina è sufficiente mettere il puntatore nella zona della trave che interessa e usare la rotellina per ingrandire o rimpicciolire.

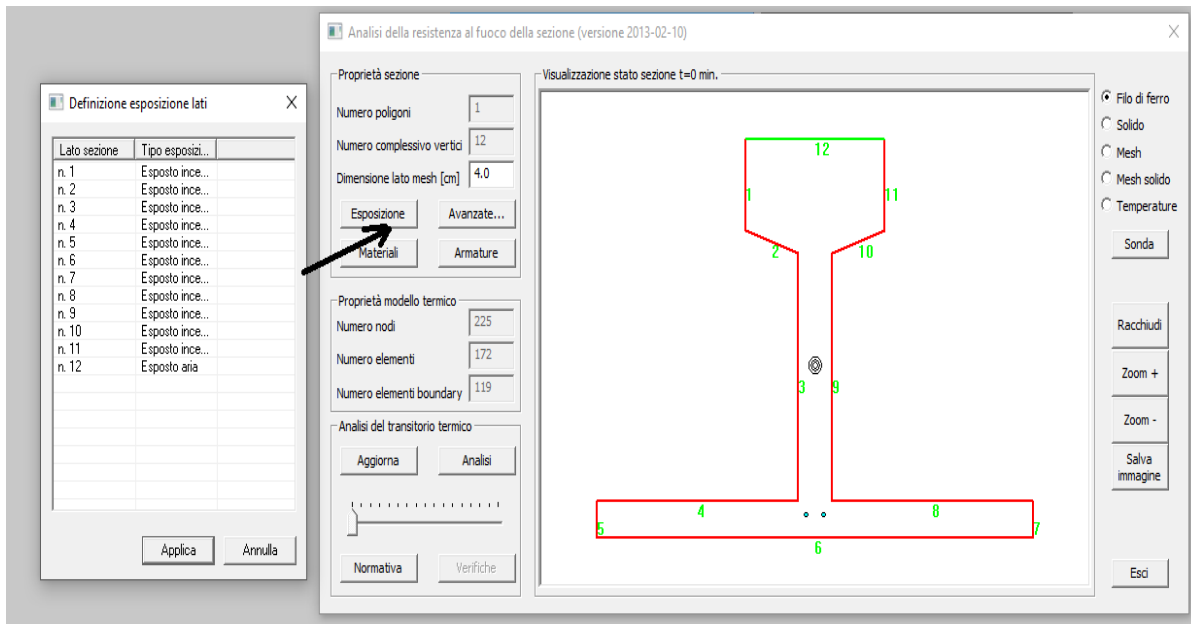
Con il pulsante **"Salva immagine"** è possibile salvare la maschera corrente su un file di formato immagine (.jpeg).

## Esposizione

Inizialmente tutti i lati sono esposti all'aria, per selezionare i lati esposti all'incendio bisogna premere il pulsante **"Esposizione"**, appare la finestra per la *Definizione esposizione lati*.

Nella tabella sono presenti le seguenti colonne:

*Lato sezione* Indica il lato della sezione con una numerazione progressiva (es. n.1, n.2, ecc.);



**Tipo esposizione** Permette la definizione del tipo di esposizione di ciascun lato scegliendo tra le cinque opzioni proposte (per chiarimenti sul tipo di esposizione vedi il paragrafo *Scambio di calore*): - Esposto aria

- Esposto incendio
- Cavità tipo 1: indica un lato esposto ad una cavità che si comporti secondo la tipologia n.1
- Cavità tipo 2 : indica un lato esposto ad una cavità che si comporti secondo la tipologia n.2 - Non esposto

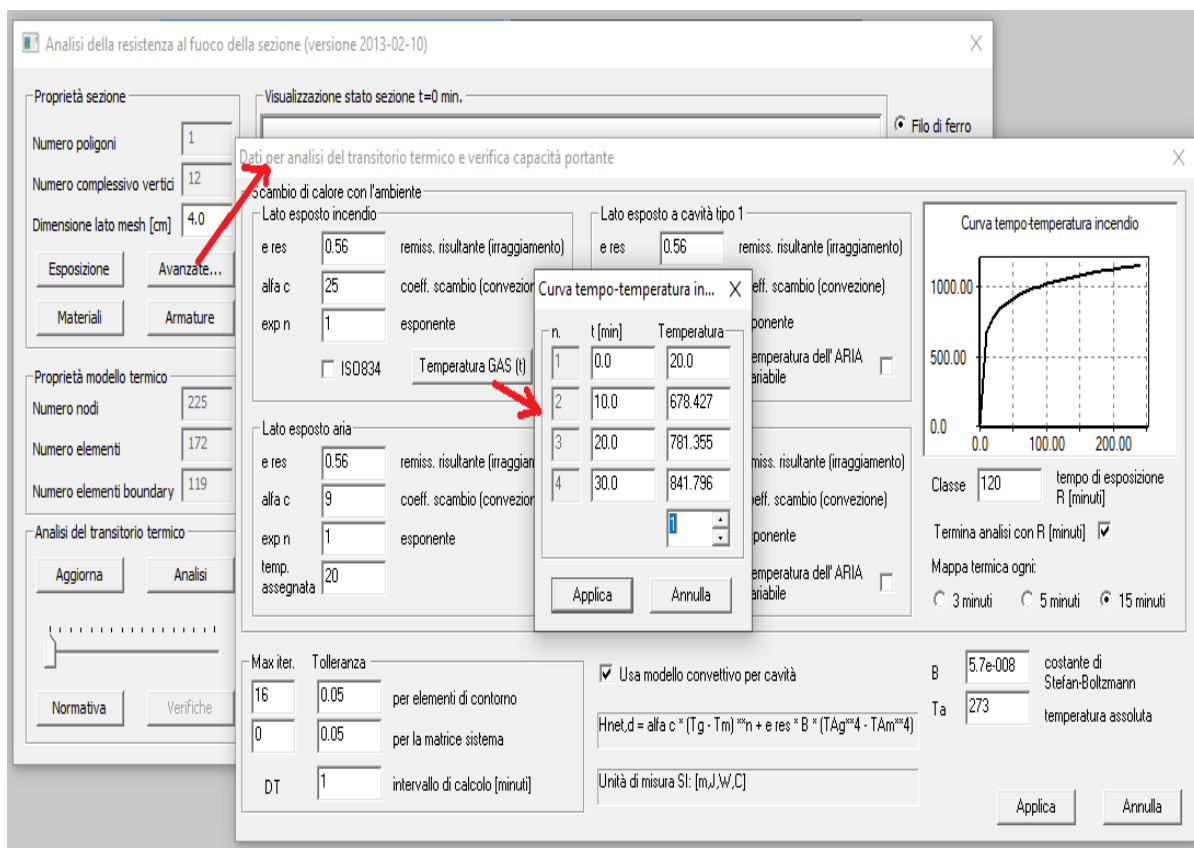
Dopo la scelta di ciascuna opzione per farla accettare bisogna fare clic su una casella qualsiasi della tabella, al termine premere il pulsante **“Applica”**.

Nella cornice *Visualizzazione stato sezione* sono riportati in verde i tratti esposti all’aria, in rosso i tratti esposti all’incendio, in ciano i lati esposti in cavità di tipo 1, in blu i lati esposti in cavità di tipo 2, in nero i lati non esposti (adiabatici), nell’esempio sono esposti i lati dall’ 1 al 12 escluso il 6.

## Scambio di calore

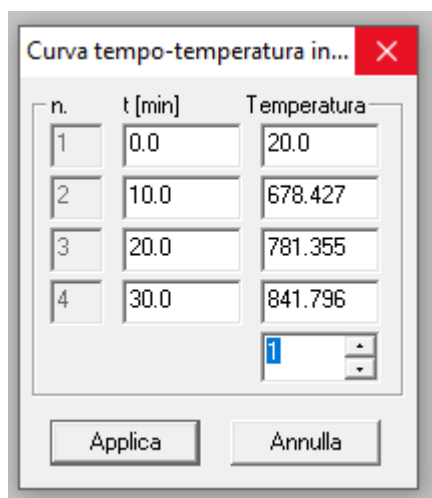
I parametri termici che governano lo scambio di calore sono visibili nella finestra che appare premendo il pulsante **“Avanzate...”**.

Il programma effettua la verifica utilizzando il modello di scambio convettivo per le superfici esposte e non esposte all’incendio, nella maschera sono già predisposti i valori della norma UNI. Nel caso non si spunti l’opzione ISO834 è possibile assegnare la curva tempo-temperatura manualmente.



I parametri riportati nella finestra sono quelli proposti nella norma UNI 9502, è adottata la curva temperatura/tempo normalizzata il cui andamento è raffigurato nel diagramma.

Nel caso che la sezione sia dotata di cavità è possibile definire due tipi di scambio convettivo cioè il tipo 1 ed il tipo 2 per i quali sono proposti dei valori di *alfa c* intermedi fra quelli dei lati esposto e non esposto. All'interno delle cavità si può impostare una temperatura dell'aria di tipo costante (nel caso che l'aria calda venga estratta), oppure una temperatura dell'aria di tipo variabile (nel caso che la cavità sia ermeticamente chiusa), in tal caso se si spunta l'opzione *Temperatura dell'ARIA variabile* è possibile assegnare la temperatura dell'aria manualmente.

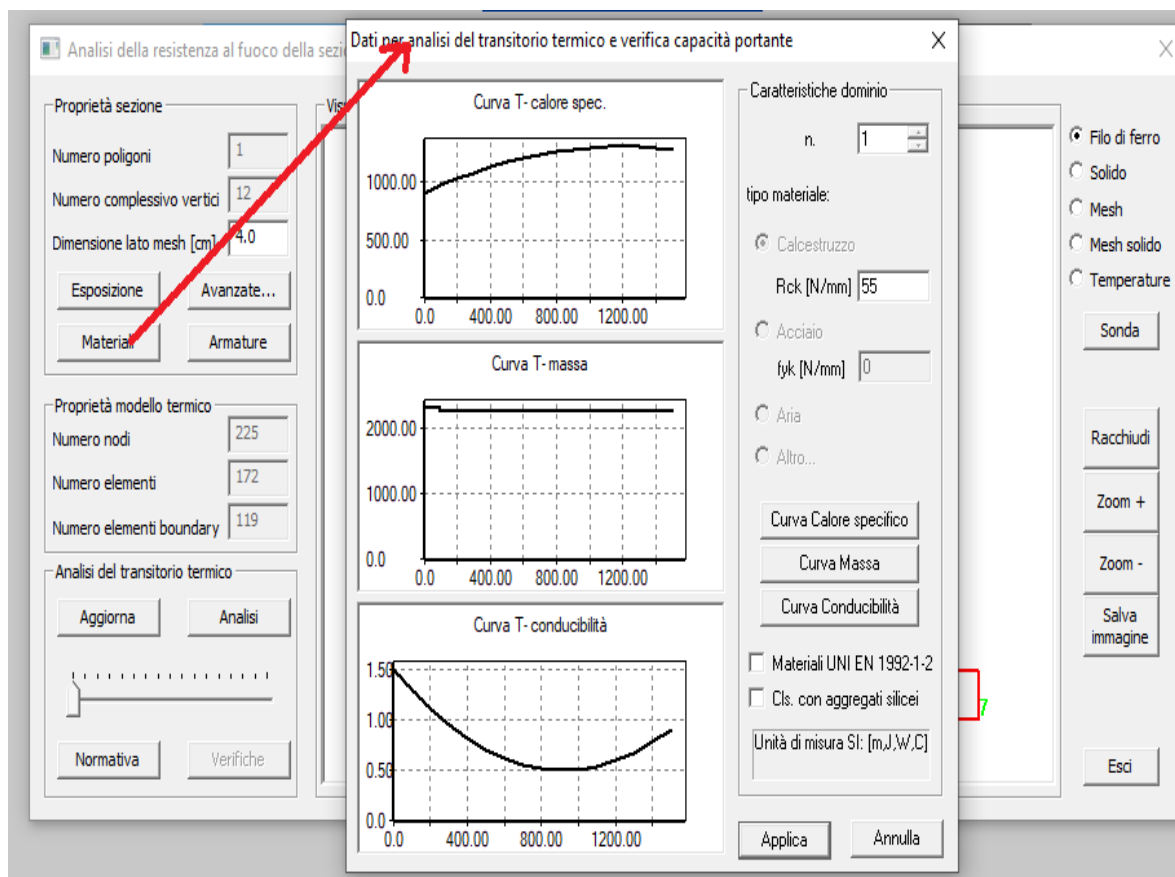


In alternativa disattivando l'opzione *usa modello convettivo per cavità* il programma realizza la modellazione di una mesh per tenere conto del modello conduttivo anziché convettivo.

L'esecuzione della mappa termica può essere effettuata ogni 3,5,15 minuti per 16 intervalli al massimo, bisogna assegnare il valore di R e scegliere l'intervallo di calcolo, al termine premere il pulsante "Applica".

## Materiali

La definizione delle caratteristiche termiche dei materiali è visibile nella finestra che appare premendo il pulsante "Materiali".



Le curve riportate nella finestra sono quelle definite nella norma UNI 9502.

La trave può essere composta di due valori di resistenza  $R_{ck}$  distinti, un valore per la trave ed uno per il getto in opera che nella maschera vengono chiamati domini, i due valori sono acquisiti direttamente dal programma di calcolo. Nella casella di riepilogo *Caratteristiche dominio* è possibile selezionare un dominio (il dominio 1 è la trave, il dominio 2 è il getto) e assegnargli il valore di  $R_{ck}$  per mezzo del campo *tipo materiale*, per assegnare il valore di  $R_{ck}$  al dominio bisogna scrivere il nuovo valore e premere Invio. E' anche possibile modificare le curve dei parametri del calcestruzzo agendo sui tre pulsanti in basso a destra, al termine premere il pulsante "Applica".

## Armature

La definizione delle armature è visibile nella tabella che appare premendo il pulsante "Armature", appare la finestra :

**Analisi della resistenza al fuoco d**

**Lista ferri armatura lenta e tesa**

Proprietà sezione

Numero poligoni: 1

Numero complessivo vertici: 12

Dimensione lato mesh [cm]: 4.0

Esposizione: Avanzate

Materiali: Armature

Proprietà modello termico

Numero nodi: 225

Numero elementi: 172

Numero elementi boundary: 119

Analisi del transitorio termico

Aggiorna: Analisi

Normativa: Verifiche

ID	pos. X [cm]	pos. Y [cm]	area [cm <sup>2</sup> ]	Es [N/m...]	fyk [N/m...]	tipo	preteso	fptk [N/m...]	e fptk	e decomp.	beta [fy/l...]
n. 1	60	5	1.39	195000	1674	Classe B ...	Si	1860	0.0500	0.0050	0.90
n. 2	65	5	1.39	195000	1674	Classe B ...	Si	1860	0.0500	0.0050	0.90

Aggiungi Rimuovi

Rimuovi tutto

Dati materiale per UNI EN 1992-1-2:2005

Armatura lenta: fyk, tipo

Armatura pretesa: tipo, fptk, e decomp, beta (per Classe A)

Dati materiale per UNI 9502 (edizione maggio/2001)

Armatura lenta: fyk

Armatura pretesa: fyk, fptk, e fptk, e decomp

Applica Annulla

Nella tabella sono presenti le seguenti colonne:

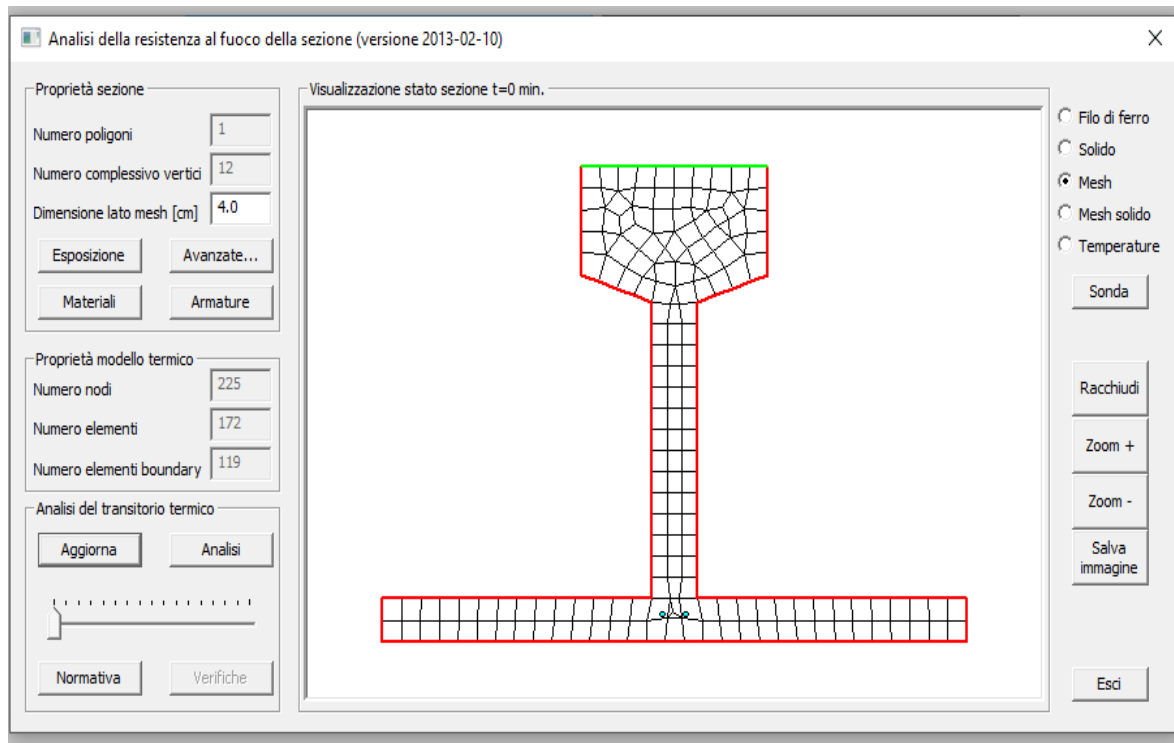
- **ID**: Numero d'ordine dell'armatura (es. n.1, n.2, ecc..);
- **pos X (cm), pos Y (cm), area (cm<sup>2</sup>)**: Sono la posizione e l'area dell'armatura, il sistema di riferimento è quello con cui è stata creata la geometria del cassero;
- **fyk (N/mm<sup>2</sup>)**: Tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio impiegato, il programma pone fyk uguale a 440 N/mm<sup>2</sup> per l'armatura lenta, e pone  $fyk = 0.90 \cdot fptk$  per l'armatura precompressa;
- **precom.**: La colonna è formata da caselle di spunta che consentono di stabilire se la barra è precompressa oppure no;
- **fptk (N/mm<sup>2</sup>)**: Tensione caratteristica di rottura dell'acciaio precompresso impiegato, dipendente dal tipo di acciaio;
- **e fptk**: Deformazione a rottura dell'acciaio precompresso impiegato, dipendente dal tipo di acciaio;
- **e decomp.**: Deformazione presente nell'acciaio precompresso, corrispondente all'annullamento della tensione nella fibra di calcestruzzo alla stessa quota;

Naturalmente i parametri relativi alla precompressione sono presi in considerazione dal programma solo se la casella di spunta della colonna **precom.** è settata sul **Si**.

Per rimuovere un'armatura fare clic nella casella corrispondente della colonna **ID**, poi premere il pulsante **"Rimuovi"**, per aggiungere un'armatura premere il pulsante **"Aggiungi"** ed assegnarle i valori che le competono nelle varie colonne della **Lista**, nell'esempio sono state aggiunte due barre lente di area 2.54 cm<sup>2</sup>.

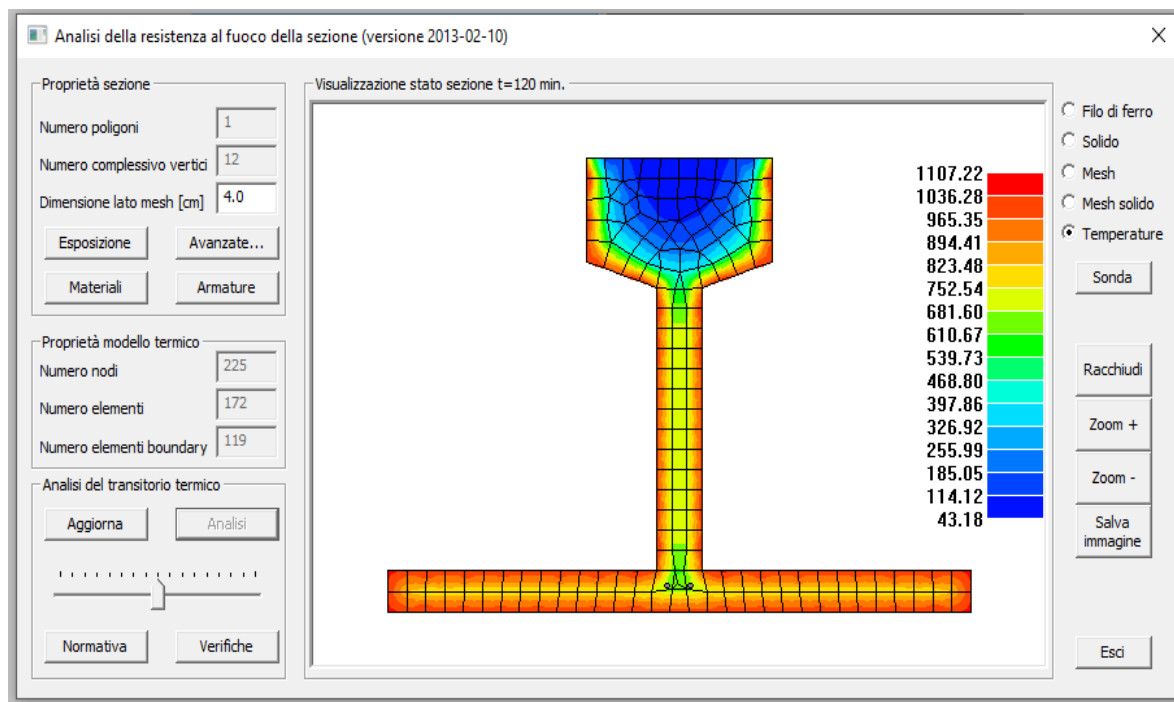
Dopo avere effettuato tutte le integrazioni bisogna fare clic su una casella qualsiasi della tabella, al termine premere il pulsante **"Applica"**.

**N.B. :** dopo avere creato la mesh degli elementi finiti ed avere effettuato tutti i settaggi sui materiali, i lati esposti, le armature, etc.. è necessario premere il pulsante **"Aggiorna"** a questo punto la trave appare come nella figura seguente.

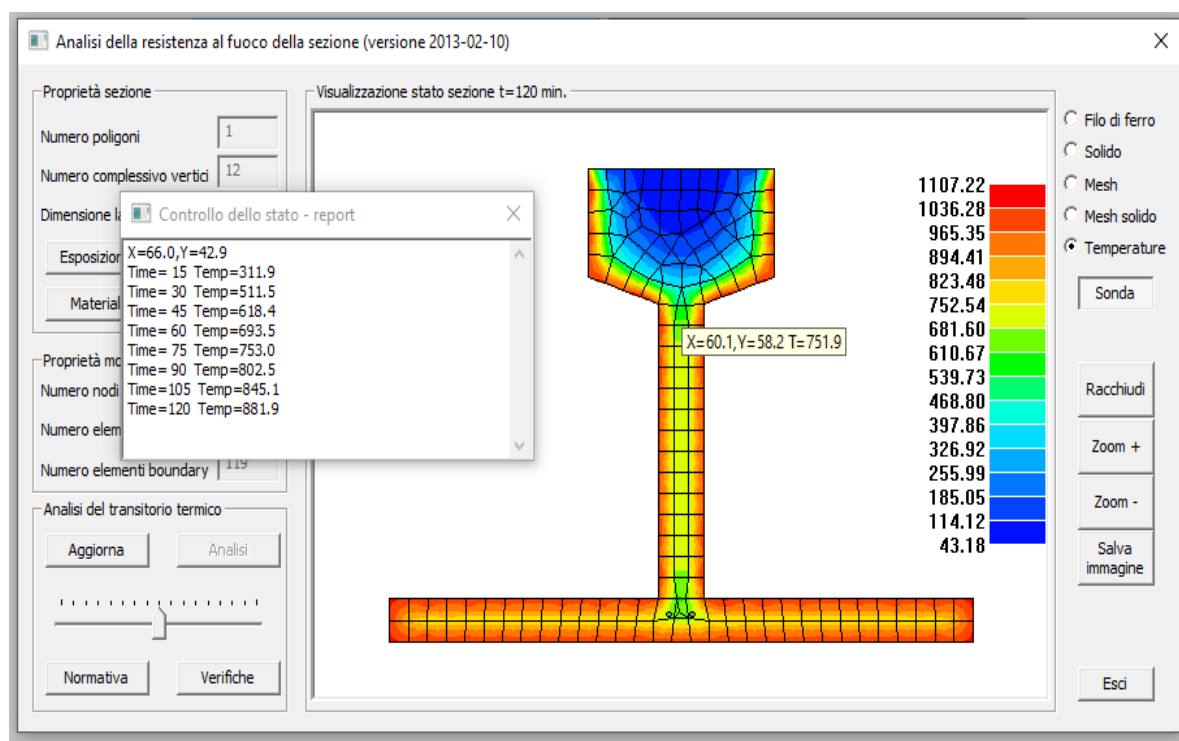


Solo successivamente è possibile effettuare l'analisi termica premendo il pulsante **"Analisi"**, a questo punto il programma effettua al passo assegnato nella finestra "Dati per l'analisi del transitorio" il calcolo di tutte le distribuzioni di temperatura da 0 fino "R" minuti.

Per vedere la mappa delle temperature nel tempo bisogna selezionare l'opzione *Temperature* poi si fa scorrere il cursore presente in basso a sinistra, nella finestra è rappresentata la mappa per 120 minuti.

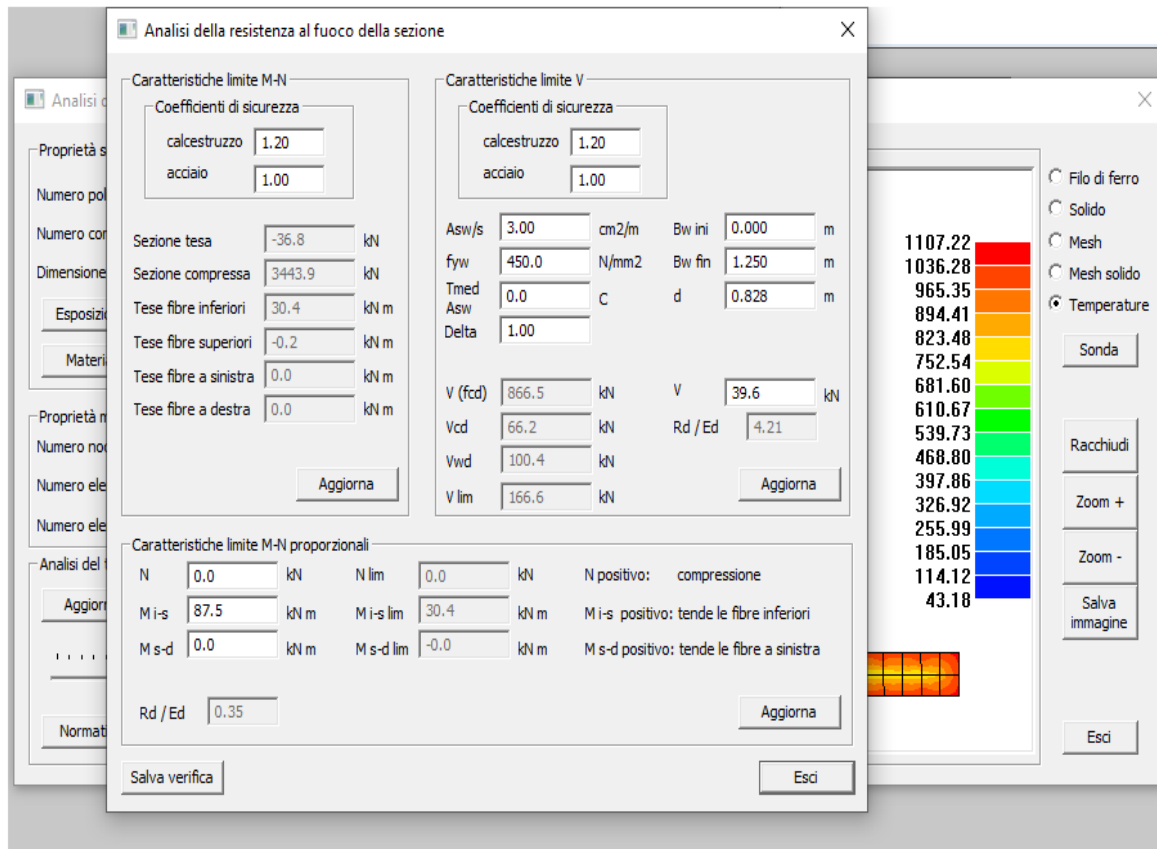


Per mezzo del pulsante **"Sonda"** è possibile vedere il valore puntuale delle temperature all'interno della sezione, si clicca sul punto desiderato ed appare una finestra in cui sono riportati i valori della temperatura ai vari intervalli rilevati in corrispondenza al trefolo in basso a sinistra.



In caso di modifiche alle armature e all'Rck, le verifiche possono essere eseguite senza aggiornare l'analisi termica. A questo punto è possibile effettuare la verifica della sezione per una data temperatura posizionando il cursore sulla durata di incendio desiderata (nell'esempio 120 min.), poi premendo il pulsante "Verifiche" appare la finestra seguente.

## Verifica



Nella verifica al fuoco il coefficiente di sicurezza del calcestruzzo è pari ad 1.2, il coefficiente di sicurezza dell'acciaio è pari ad 1.0.

La finestra è suddivisa in tre cornici, nella cornice *Caratteristiche limite M-N* sono riportate le caratteristiche limite della sezione considerata interamente tesa, interamente compressa, o sollecitata da momenti flettenti che tendano le fibre di ciascuno dei quattro lati, è possibile modificare i valori dei coefficienti di sicurezza del calcestruzzo e dell'acciaio e vedere il risultato premendo il tasto "Aggiorna" relativo alla cornice.

Nella cornice *Caratteristiche limite V* sono riportate le sollecitazioni ultime a taglio della sezione, è possibile modificare i valori dei coefficienti di sicurezza del calcestruzzo e dell'acciaio e vedere il risultato premendo il tasto "Aggiorna" relativo alla cornice.

E' possibile effettuare la verifica della staffatura secondo il (D.M. 09/06/1996, p.to. 4.2.2), per fare questo bisogna assegnare il valore dei parametri : -  $A_{sw}/s$  ( $cm^2/m$ ): Area di staffatura;

- $f_{yw}$  ( $N/mm^2$ ): Limite di snervamento dell'acciaio ( $f_{yk}$ ), viene acquisito automaticamente dal calcolo;
- $T_{med}$  ( $^{\circ}C$ ): Temperatura media del braccio della staffa;
- $\Delta$ : Coefficiente che tiene conto della eventuale presenza di sforzo normale (DM 09-01-1996, p.to. 4.2.2.3.2);
- $B_{w\ ini}$  ( $m$ ): Ascissa iniziale del tratto di trave entro cui viene fatta la verifica a taglio;
- $B_{w\ fin}$  ( $m$ ): Ascissa finale del tratto di trave entro cui viene fatta la verifica a taglio;
- $d$  ( $m$ ): Altezza utile della sezione;

La parte di larghezza di sezione considerata efficace ai fini della verifica al taglio  $B_w$  viene ricavata come differenza  $B_w = B_{w\ fin} - B_{w\ ini}$ .

Al termine premendo il tasto "Aggiorna" relativo alla cornice si hanno i risultati della verifica a taglio :

- $V(fcd)$  ( $kN$ ): Resistenza a schiacciamento del puntone compresso (DM 09-01-1996, p.to. 4.2.2.3.1);
- $V_{cd}$  ( $kN$ ): Contributo alla resistenza a taglio dato dal calcestruzzo (DM 09-01-1996, p.to. 4.2.2.3.2);
- $V_{wd}$  ( $kN$ ): Contributo alla resistenza a taglio dato dalla staffatura (DM 09-01-1996, p.to. 4.2.2.3.2);
- $V_{lim}$  ( $kN$ ): Resistenza a taglio complessiva della sezione;
- $V$  ( $kN$ ): Valore di taglio di esercizio, viene acquisito automaticamente dal calcolo;
- $Rd/Ed$ : Rapporto di proporzionalità tra la resistenza e la sollecitazione esterna.

La resistenza a taglio  $V_{lim}$  è pari alla somma  $V_{cd} + V_{wd}$ , in cui non può essere presa in conto una quota di  $V_{cd}$  superiore a  $V_{wd}$ .

Nell'esempio dato che in mezzeria il taglio è nullo, la verifica a taglio non ha significato.



Nella cornice *Caratteristiche limite M-N proporzionali* è possibile assegnare i valori delle sollecitazioni di esercizio N, M i-s M s-d e calcolare il coefficiente di sicurezza rispetto al dominio di rottura, che è espresso mediante il rapporto di proporzionalità  $Rd/Ed$  tra la resistenza e la sollecitazione esterna, il risultato si ottiene premendo il tasto "Aggiorna" relativo alla cornice.

Il valore del momento di esercizio M i-s viene acquisito automaticamente dal calcolo, al termine è possibile ottenere una stampa di verifica premendo il pulsante "Salva verifica" con il quale si ottiene un file in formato Word come nell'esempio seguente.

Se si vuole modificare le sollecitazioni di calcolo si può farlo editando i nuovi valori nelle caselle corrispondenti, e poi premendo il tasto "Aggiorna".

Per uscire premere il tasto "Esci".

STAMPA CREATA DAL PROGRAMMA

## 2.

## 3. VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO

La verifica della resistenza al fuoco degli elementi in c.a. è condotta seguendo la norma UNI 9502 edizione maggio 2001. Per quanto non previsto dalla norma UNI il riferimento adottato è la norma tecnica CNR NTc 192.

La verifica della capacità portante degli elementi è condotta con particolare riferimento ai punti (della norma UNI) :

UNI 9502) 3.2 - curva temperatura/tempo nominale normalizzata

UNI 9502) 5.2 - applicazione del procedimento analitico

UNI 9502) 6.1 - determinazione analitica

UNI 9502) 6.4 - determinazione in presenza di rivestimenti protettivi

per l' analisi termica della sezione e la definizione della mappa termica al tempo di esposizione richiesto;

UNI 9502) 7.1- verifica del criterio di capacità portante

UNI 9502) 8 - azioni

UNI 9502) 9 - materiali

UNI 9502) 10 - coefficienti di sicurezza

CNR NTc 192) 5.3.3.2 verifiche per sollecitazioni che provocano tensioni normali CNR

NTc 192) 5.3.3.3 verifiche per sollecitazioni che provocano tensioni tangenziali per la verifica dello stato limite ultimo di collasso.

Per determinare la mappa termica si è effettuata una analisi del transitorio con elementi finiti bidimensionali utilizzando il codice "FIRES-T3: A Computer Program for the Fire Response of Structure-Thermal (ThreeDimensional Version)" di Iding, R.; Bresler, B.; Nizamuddin, Z. disponibile presso il "Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899". Il software, opportunamente adattato per operare in ambiente grafico-interattivo assicura risultati coerenti con le mappe termiche della norma UNI. Poiché l'analisi termica della sezione è effettuata indipendentemente dalla disposizione delle armature può essere adottata per tutte le verifiche allo stato limite ultimo.

La verifica dello stato limite per sollecitazioni N,M2,M3 è condotta utilizzando il "metodo generale", con le ipotesi di conservazione delle sezioni piane ed aderenza acciaio-cla. La verifica dello stato limite per la sollecitazione di taglio V si esplica nel controllo della sicurezza lato acciaio (taglio portato dall'armatura trasversale) e lato cla (verifica della biella compressa); si osserva che in condizioni normali governa la verifica lato acciaio

Per le verifiche dello stato limite si è utilizzata la stessa mesh dell'analisi termica, con ogni elemento degradato in funzione della propria temperatura media.

### VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO DELLA SEZIONE A T=120 minuti

Stato	Verifica N/M	Azione N	Azione Mxx	Azione Myy	Azione Nu	Azione Muxx	Azione Myy	Defor. C	Defor. S	x/d
		kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	%	%	
Verificata	1.60	0.0	1735.50	0.0	0.0	2777.40	0.0	-0.15	1.00	0.13

Stato	Verifica V	Azione V	Azione Vu	Area St.	f <sub>yw</sub>	Temp.	Ks(T)	Azione Vsdu	Azione Vcd	Azione Vwd
		kN	kN	cm <sup>2</sup> /m	N/mm <sup>2</sup>	C		kN	kN	kN
Verificata	63.76	0.0	0.0	0.0	440.00	0.0	1.00	1539.52	104.27	0.0

Figura	Materiale	Nota	Da X	Da Y	A X	A Y	Esposizione	alfa c	exp n	e res
			cm	cm	cm	cm		W/m <sup>2</sup> C		
1	Clas	Rck=55 [N/mm <sup>2</sup> ]	37.50	0.0	37.50	25.00	Esposto incendio	25.00	1.00	0.56
Figura	Materiale	Nota	Da X	Da Y	A X	A Y	Esposizione	alfa c	exp n	e res
			37.50	25.00	30.00	38.50	Esposto incendio	25.00	1.00	0.56
			30.00	38.50	30.00	158.00	Esposto incendio	25.00	1.00	0.56
			30.00	158.00	50.00	170.00	Esposto incendio	25.00	1.00	0.56
			50.00	170.00	50.00	182.00	Esposto incendio	25.00	1.00	0.56
			50.00	182.00	0.0	182.00	Esposto aria	9.00	1.00	0.56
			0.0	182.00	0.0	170.00	Esposto incendio	25.00	1.00	0.56
			0.0	170.00	20.00	158.00	Esposto incendio	25.00	1.00	0.56
			20.00	158.00	20.00	38.50	Esposto incendio	25.00	1.00	0.56
			20.00	38.50	12.50	25.00	Esposto incendio	25.00	1.00	0.56
			12.50	25.00	12.50	0.0	Esposto incendio	25.00	1.00	0.56
			12.50	0.0	37.50	0.0	Esposto incendio	25.00	1.00	0.56

Ferro	pos. X	pos. Y	Temp.	Ks(T)	area	f <sub>yk</sub>	Tipo	f <sub>ptk</sub>	e f <sub>ptk</sub>	e decomp.
	cm	cm	C		cm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>		
1	19.00	7.00	430.14	0.44	1.39	1710.00	Preteso	1900.00	0.05	5.00e-03
2	23.00	7.00	356.35	0.59	1.39	1710.00	Preteso	1900.00	0.05	5.00e-03
3	27.00	7.00	348.98	0.60	1.39	1710.00	Preteso	1900.00	0.05	5.00e-03
4	31.00	7.00	433.16	0.43	1.39	1710.00	Preteso	1900.00	0.05	5.00e-03
5	19.00	12.00	341.10	0.62	1.39	1710.00	Preteso	1900.00	0.05	5.00e-03
6	23.00	12.00	247.59	0.80	1.39	1710.00	Preteso	1900.00	0.05	5.00e-03
7	27.00	12.00	253.21	0.79	1.39	1710.00	Preteso	1900.00	0.05	5.00e-03
8	31.00	12.00	334.48	0.63	1.39	1710.00	Preteso	1900.00	0.05	5.00e-03
9	23.00	17.00	229.96	0.83	1.39	1710.00	Preteso	1900.00	0.05	5.00e-03
10	27.00	17.00	229.98	0.83	1.39	1710.00	Preteso	1900.00	0.05	5.00e-03
11	25.00	32.00	386.48	0.53	1.39	1710.00	Preteso	1900.00	0.05	5.00e-03

12	10.00	178.00	159.94	0.94	2.54	440.00	Lento	0.0	0.0	0.0
13	40.00	178.00	159.83	0.94	2.54	440.00	Lento	0.0	0.0	0.0

## VERIFICA APPOGGIO

Viene brevemente riportato nel seguito la verifica sull'appoggio, che si ottiene digitando la sezione a 0.1 m dall'estremità sinistra della trave nella maschera *Calcolo al fuoco*.

PROGETTO: TEST GEOMETRIA - NOME TRAVE: A1 - COMMESSA: TEST GEOMETRIA

## CALCOLO AL FUOCO

### Selezione Sezioni

Sezione da sinistra: 0.1 m

Sezione per il calcolo del momento: 0.1 m

Sezione per il calcolo del taglio: 0.1 m

Coefficiente rid. per carichi permanenti  $G1 + G2$ : 1

Coefficiente rid. per carichi accidentali  $Qk1$ :  $\psi_{21}$  0

Coefficiente rid. per carichi accidentali  $Qk2$ :  $\psi_{22}$  0.6

**Combinazione Fuoco**  
 $G1 + G2 + P + Ad + \psi_{21} * Qk1 + \psi_{22} * Qk2$  NTC 2.5.6

### IMPOSTAZIONI

REI: 120 min T staffa: 0 °C

MESH: 4 cm

☒ UNI 9502 maggio 2001

☐ UNI EN 1992-1-2:2019 semplificato

☐ UNI EN 1992-1-2:2019 avanzato

### AGGREGATO

☒ Calcareo ☐ Siliceo

### ESPOSIZIONE AL FUOCO

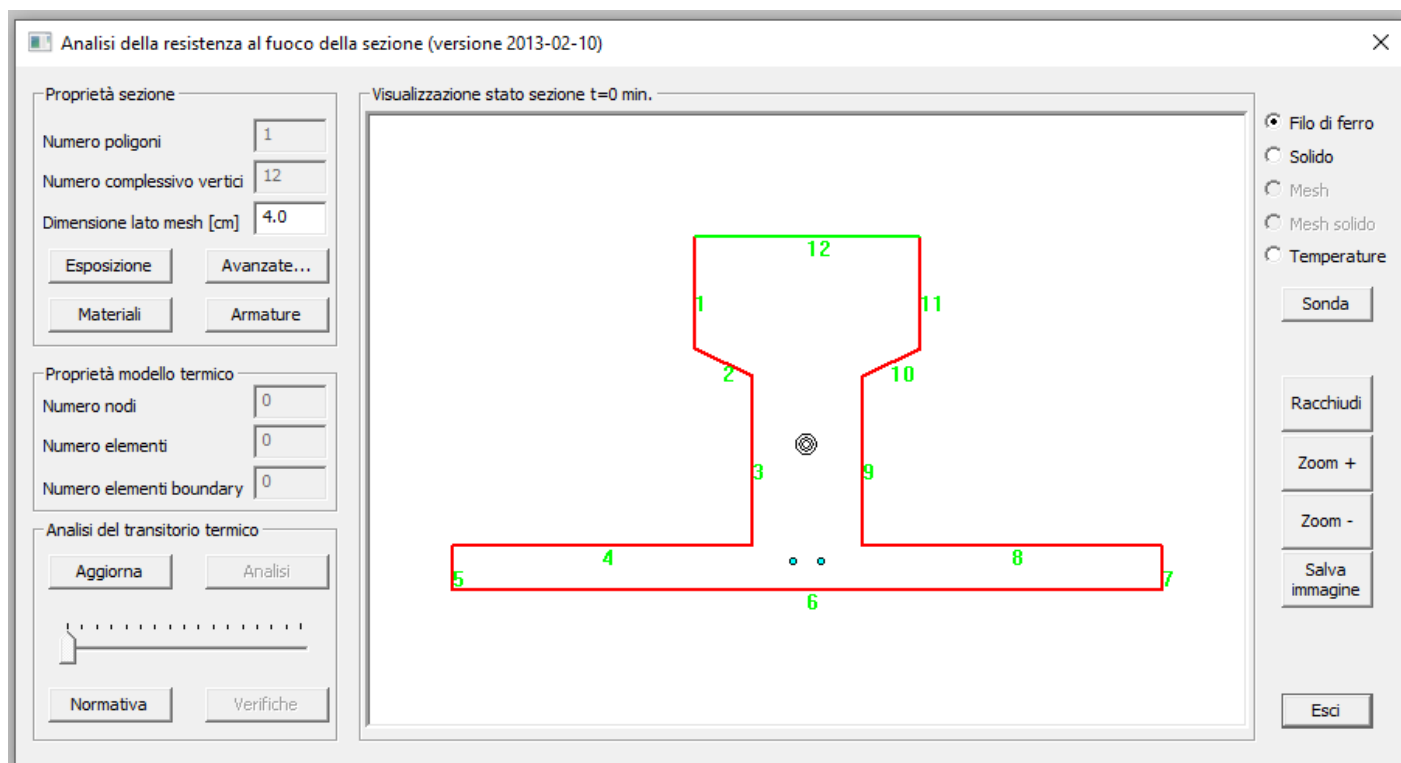
☒ Tutti i lati a sinistra ☐ Tutti i lati sopra

☒ Tutti i lati a destra ☒ Tutti i lati sotto

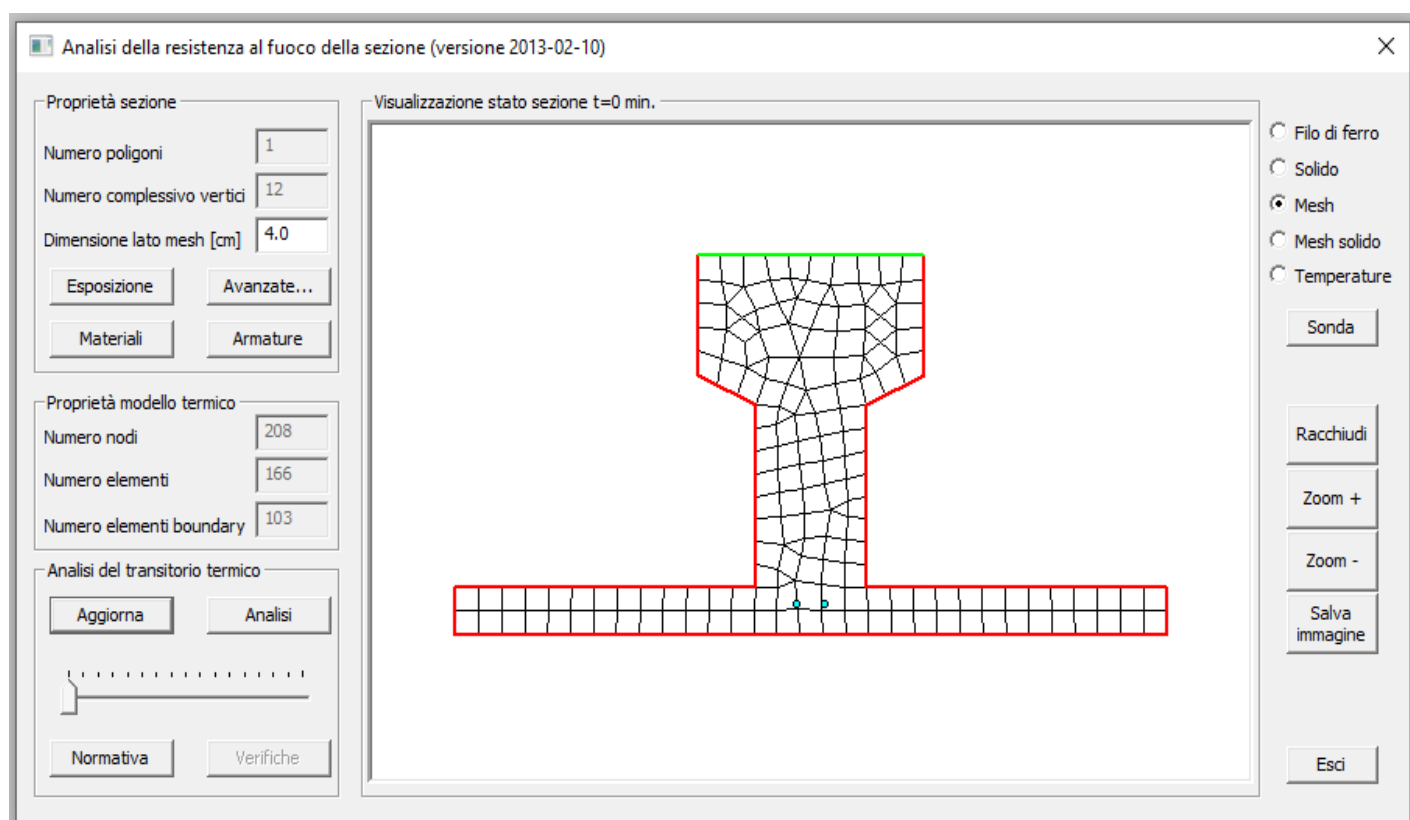
Stampa

CALCOLO AL FUOCO

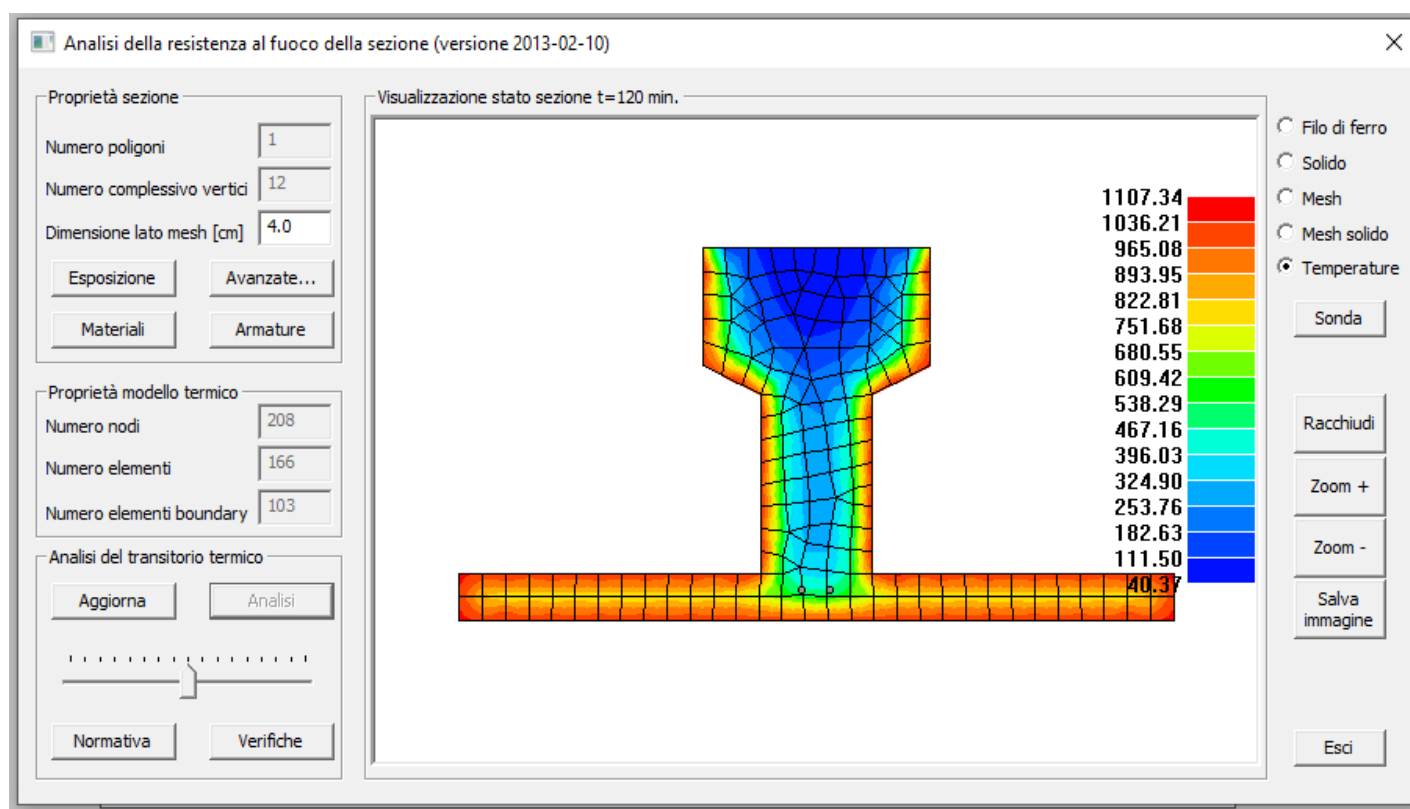
Si ottiene la sezione di figura :



Si selezionano i lati esposti al fuoco e la dimensione della mesh e si ottiene la finestra seguente:



Analisi termica :



Verifica :

### Analisi della resistenza al fuoco della sezione

#### Caratteristiche limite M-N

##### Coefficienti di sicurezza

calcestruzzo

1.20

acciaio

1.00

Sezione tesa

-154.7

kN

Sezione compressa

4660.6

kN

Tese fibre inferiori

90.1

kN m

Tese fibre superiori

-1.0

kN m

Tese fibre a sinistra

41.9

kN m

Tese fibre a destra

-41.8

kN m

Aggiorna

#### Caratteristiche limite V

##### Coefficienti di sicurezza

calcestruzzo

1.20

acciaio

1.00

Asw/s

0.00

cm2/m

fyw

450.0

N/mm2

Tmed

0.0

C

Delta

1.00

Bw ini

0.000

m

Bw fin

1.250

m

d

0.583

m

V (fcd)

1280.8

kN

V

39.6

kN

Vcd

101.4

kN

Rd / Ed

0.00

Vwd

0.0

kN

V lim

0.0

kN

Aggiorna

#### Caratteristiche limite M-N proporzionali

N

0.0

kN

N lim

0.0

kN

N positivo:

compressione

M i-s

0.0

kN m

M i-s lim

0.0

kN m

M i-s positivo:

tende le fibre inferiori

M s-d

0.0

kN m

M s-d lim

0.0

kN m

M s-d positivo:

tende le fibre a sinistra

Rd / Ed

0.00

Aggiorna

Salva verifica

Esci

La verifica flessionale sull'appoggio non ha significato, per la verifica a taglio è stata posta una staffatura di 10 cm2/m con una temperatura media su un braccio di 400 °C, la larghezza considerata per il taglio è pari a  $B_w = 0.375 - 0.125 = 0.25$  m in corrispondenza all'anima della trave,  $V_{lim} = 141.4 + 210.7 = 352.1$  kN.

N.B.: Il programma effettua la verifica a taglio facendo una sommatoria estesa a tutti gli elementi della mesh compresi nell'intervallo  $B_w \text{ fin} - B_w \text{ ini}$  che vengono ridotti in funzione del degrado termico, pertanto bisogna assegnare l'intervallo in modo tale da non mettere in conto le parti della sezione che non collaborano alla formazione del meccanismo resistente a taglio, nell'esempio sono state poste le ascisse iniziali e finali in modo da verificare solo l'anima larga 25 cm.

A questo punto si può fare la stampa di verifica relativa alla sezione di appoggio.

## GETTO IN OPERA

Per il programma la trave ed il getto in opera sono due elementi distinti che vengono accostati fra loro, pertanto bisogna stare attenti alla dimensione della mesh che deve essere assegnata in modo che sia in continuità fra la trave ed il getto.

Per assegnare la mesh si può adottare il criterio seguente. Siano A il lato superiore della trave e B la larghezza del getto a contatto con la trave, nel caso in cui  $A > B$  la continuità si può ottenere ponendo una dimensione del lato della mesh pari a  $M = (A-B)/(2*n)$  dove  $n = 1,2,3 \dots$ , per esempio siano  $A = 50$  cm e  $B = 25$  cm, è consigliabile un valore  $n = 4$  per cui si ricava  $M = 3.125$  cm.

Nel caso in cui  $B > A$  la continuità si può ottenere ponendo una dimensione del lato della mesh pari a  $M = (B-A)/(2*n)$  dove  $n = 1,2,3 \dots$ , per esempio siano  $A = 50$  cm e  $B = 90$  cm, è consigliabile un valore  $n = 5$  per cui si ricava  $M = 4$  cm.