

MANUALE  
D'USO

# VeReF



**Software per la  
verifica di resistenza al fuoco**

## **COPYRIGHT**

Tutto il materiale prodotto da Stacec (CD contenente i file dei software, chiave di protezione, altri supporti di consultazione, e altro) è protetto dalle leggi e dai trattati sul copyright, nonché dalle leggi e trattati sulle proprietà intellettuali.

E' vietata la cessione o la sublicenziazione del software a terzi.

E' altresì vietata la riproduzione del presente manuale in qualsiasi forma e con qualsiasi mezzo senza la preventiva autorizzazione scritta del produttore.

Informazioni e permessi sui prodotti o parti di essi possono essere richiesti a:



Stacec s.r.l.  
Software e servizi per l'ingegneria  
S.S. 106 – Km 87  
89034 – Bovalino (RC)

Tel. 0964/67211  
Fax. 0964/61708



STACEC s.r.l. – Software e servizi per l'ingegneria – S.S. 106 – Km 87 – 89034 Bovalino (RC)

**MANUALE D'USO**

***VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO***



## 1. Introduzione

**VeReF** è un software che implementa l’analisi agli elementi finiti volta alla verifica di sezioni in cemento armato ordinario e precompresso in condizioni di stress termico da incendio. La verifica è strutturata in due fasi: la prima si preoccupa di individuare la distribuzione della temperatura all’interno della sezione sotto condizioni al contorno assegnate (lato della sezione esposto ad una curva di incendio, lato a temperatura ambiente o adiabatico) mediante integrazione delle equazioni differenziali che governano la trasmissione del calore; la seconda fase, riguarda la verifica a pressoflessione deviata e taglio della sezione, per un tempo di esposizione al fuoco imposto dall’utente, tenendo conto del decadimento di resistenza dei materiali in funzione della temperatura calcolata nella prima fase.

**L’input** della sezione viene gestito mediante un editor di forme predefinite che l’utente può gestire mediante parametri dimensionali, in alternativa, per forme più complesse, la sagoma della sezione può essere creata dall’utente mediante un CAD interno al programma, oppure mediante importazione da file .DXF.

La definizione delle armature longitudinali e trasversali, le caratteristiche termiche e meccaniche dei materiali e le curve di incendio, vengono gestite mediante editors appositi.

**L’analisi termica dei flussi di calore** nella sezione viene condotta mediante l’ausilio del solutore agli elementi finiti **HTFEP** (*Heat Transfer Finite Element Program*) di Stacec. Quest’ultimo consente di condurre un’analisi transitoria non lineare del flusso di calore in condizioni di caratteristiche termiche dei materiali variabili con la temperatura per come previsto dagli attuali eurocodici. Al termine dell’analisi, la distribuzione delle temperature può essere visualizzata mediante un apposito ambiente di Post-Processing per differenti tempi di esposizione al fuoco richiesti dall’utente preventivamente alle analisi.

**La verifica di resistenza** della sezione in cemento armato per lo stato limite ultimo, in accordo agli Eurocodici e all’NTC08, viene condotta nel dominio delle resistenze controllando che risulti soddisfatta la diseguegianza tra sollecitazioni e resistenze per il tempo corrispondente alla classe di resistenza al fuoco. I valori di progetto delle resistenze in caso di incendio, vengono ottenuti mediante un’analisi meccanica della sezione, basata sul metodo agli elementi finiti, considerando uno stato sollecitazionale generico di pressoflessione deviata. Per quanto riguarda la verifica nei confronti dello stato limite ultimo per azioni taglienti questa può essere effettuata utilizzando il metodo semplificato dell’isoterma 500°C previsto dalla UNI EN 1992-1-2.

## 2. Guida all'uso

### 2.1 Interfaccia grafica

L'interfaccia grafica di VeReF è strutturata da un ambiente principale dal quale è possibile gestire le differenti fasi di lavoro. In particolare, con riferimento alla figura 1 si ha:

1. Toolbar contenente i pulsanti che gestiscono le funzioni di salvataggio ed undo/redo;
2. Ribbon contenente le funzioni principali del programma;
3. Pannello per la gestione delle funzioni grafiche di input e di visualizzazione dei risultati;
4. Tabella delle proprietà generali dell'oggetto da verificare;
5. Tabella delle proprietà di dettaglio dell'oggetto da verificare;
6. Toolbar contenente i pulsanti che gestiscono le funzioni di aggiornamento, impostazioni ed informazioni;
7. Visualizzatore messaggi.

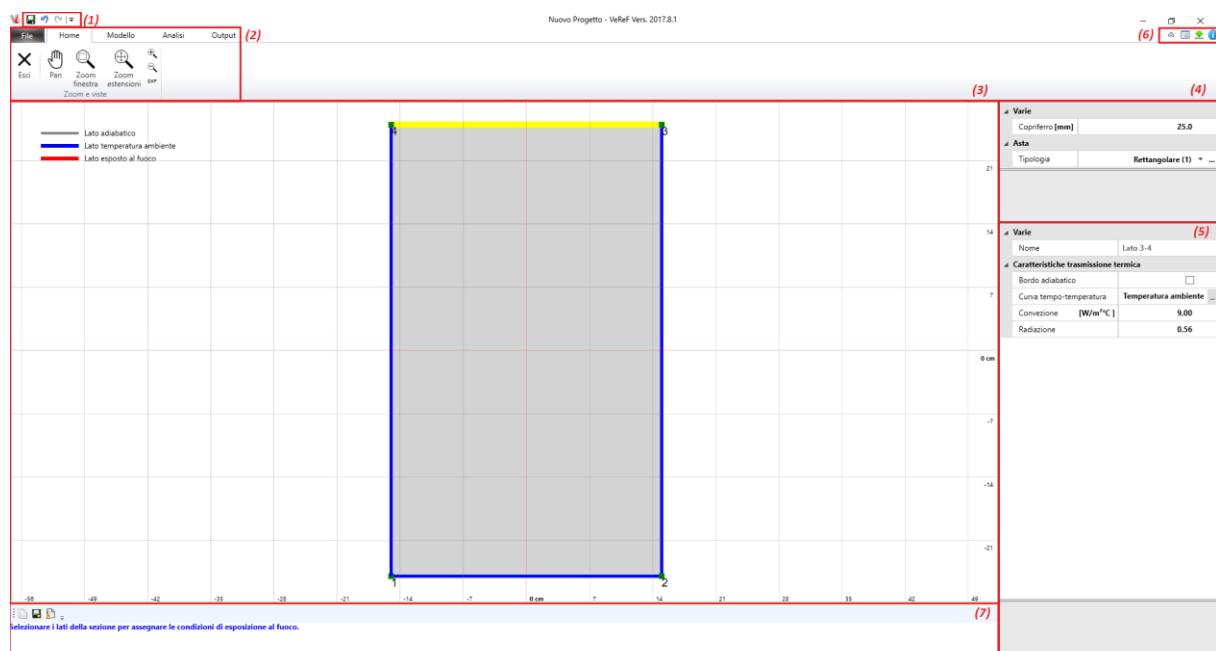


Figura 1 - Interfaccia principale di VeReF

### 2.2 Funzioni principali

Le funzioni principali del programma sono raggruppate come segue:

#### 2.2.1 File

Gruppo di comandi che riguardano la gestione del progetto corrente:

- Nuovo;
- Apri;
- Salva;
- Salva con nome;



-  Chiudi;
-  Esci.

e l'elenco dei progetti recenti

 T.vrf	Ultima modifica: 25/07/2017 16:44:47	Dimensioni: 1.7MB	
 T.vrf	Ultima modifica: 25/07/2017 12:30:18	Dimensioni: 1.7MB	
 NuovoProgetto.vrf	Ultima modifica: 20/07/2017 18:56:10	Dimensioni: 780.5KB	

Figura 2 - Elenco gestione progetti recenti.

## 2.2.2 Home



Figura 3 - Gruppo comandi "Home".

Gruppo di comandi per la gestione dell'ambiente grafico:

-  **Deselezione**: comando per la deselectazione degli oggetti selezionati;
-  **Pan**: sposta la vista parallelamente allo schermo;
-  **Zoom finestra**: esegue uno zoom aumentando o riducendo le dimensioni apparenti degli oggetti nella finestra corrente;
-  **Zoom estensioni**: esegue uno zoom che visualizza le estensioni del disegno;
-  **Zoom avanti**: esegue uno zoom aumentando le dimensioni apparenti del disegno;
-  **Zoom indietro**: esegue uno zoom riducendo le dimensioni apparenti del disegno;
-  **DXF**: esporta il disegno della finestra corrente in formato dxf.

## 2.2.3 Modello



Figura 4 - Gruppo comandi "Modello".

Gruppo di comandi che riguardano la gestione del modello strutturale:



-  **Dati generali:** consente di accedere all'editor dei dati generali del progetto in cui è possibile specificare le informazioni che riguardano le figure professionali che intervengono nella fasi di progettazione e direzione lavori (vedi § 2.3.1);
-  **Materiali:** consente di accedere all'editor dei materiali all'interno del quale è possibile specificare le caratteristiche dei materiali presenti che costituiscono la sezione oggetto di verifica (vedi § 2.3.2);
-  **Sezione:** consente di accedere all'editor delle sezioni all'interno del quale è possibile specificare la forma della sezione oggetto di verifica (vedi § 2.3.3);
-  **Armatura:** consente di accedere all'editor delle armature all'interno del quale è possibile specificare le caratteristiche nonché la posizione delle barre d'armatura all'interno della sezione (vedi § 2.3.4).

## 2.2.4 Analisi

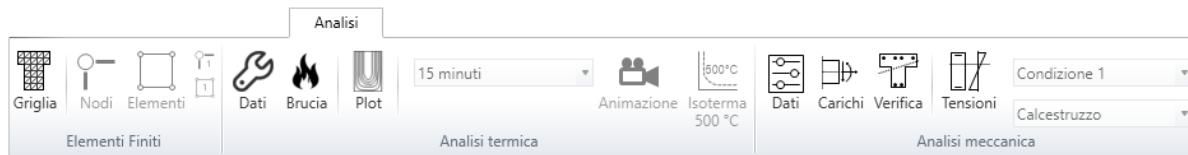


Figura 5 - Gruppo comandi "Analisi".

Si tratta di un gruppo di comandi inerenti le varie fasi di analisi della sezione. In particolare, la fase di dicretizzazione della sezione mediante una mesh di elementi finiti, la fase relativa all'analisi termica e la fase relativa all'analisi meccanica volta alla verifica di resistenza della sezione stessa.

I comandi relativi alla fase di discretizzazione sono:

-  **Griglia:** attiva/disattiva la visualizzazione del modello agli elementi finiti;
-  **Visualizza nodi:** attiva/disattiva la visualizzazione dei nodi nel modello agli elementi finiti;
-  **Visualizza elementi:** attiva/disattiva la visualizzazione degli elementi nel modello FEM;
-  **Visualizza numerazione nodi:** attiva/disattiva la numerazione dei nodi nel modello FEM;
-  **Visualizza numerazione elementi:** attiva/disattiva la numerazione degli elementi nel modello FEM;

I comandi relativi all'analisi termica:



-  **Dati:** consente di settare una serie di parametri che riguardano la procedura numerica per la soluzione dell'equazione di trasmissione del calore;
-  **Brucia:** avvia il solutore HTFEP ed esegue l'analisi termica;
-  **Plot:** attiva la visualizzazione delle mappe termiche nella sezione una volta eseguita l'analisi termica;
-  **Animazione:** avvia l'animazione del processo di riscaldamento della sezione;
-  **Isoterma 500°C:** attiva/disattiva la visualizzazione di una curva all'interno della sezione che raggruppa tutti i punti che si trovano alla temperatura di 500°C.

I comandi relativi all'analisi meccanica:

-  **Dati:** consente di settare una serie di parametri che riguardano la procedura numerica per il calcolo dei domini di rottura e delle sollecitazioni ultime;
-  **Carichi:** consente di accedere all'editor dei carichi agenti sulla sezione;
-  **Verifica:** avvia l'analisi meccanica della sezione;
-  **Tensioni:** attiva la visualizzazione dello stato tensionale della sezione per le varie condizioni di carico analizzate.

## 2.2.5 Output

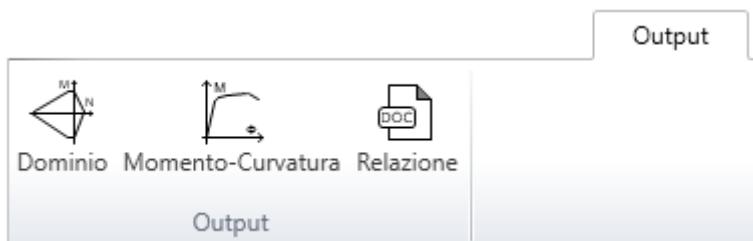


Figura 6 - Gruppo comandi "Output".

Si tratta di un gruppo di comandi attraverso i quali l'utente ha la possibilità di esportare i risultati ottenuti dal software. In particolare si ha:

-  **Dominio:** apre una finestra dedicata alla visualizzazione ed all'esportazione dei domini di rottura per pressoflessione deviata della sezione;
-  **Momento-Curvatura:** apre una finestra dedicata alla visualizzazione ed all'esportazione dei diagrammi momento-curvatura della sezione;

-  **Relazione:** apre una finestra dedicata alla gestione della relazione di calcolo.



## 2.3 Editors

In questo paragrafo vengono descritti gli editor relativi alla gestione delle differenti fasi di lavoro.

### 2.3.1 Editor dei dati generali

Questo editor è dedicato alla gestione delle informazioni che riguardano il progetto e le figure professionali ad esso correlate. I campi in esso richiesti, se compilati, verranno poi riportati all'interno della relazione di calcolo generata in automatico dal software.

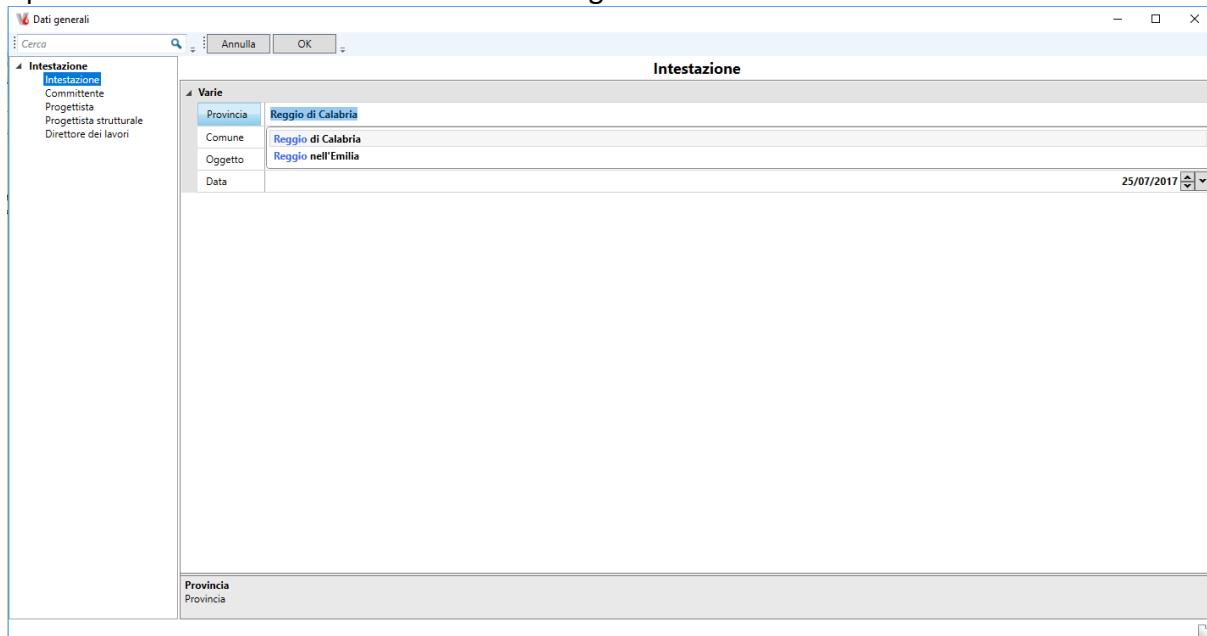


Figura 7 - Editor dei dati generali del progetto.

### 2.3.2 Editor dei materiali

Questo editor è dedicato alla gestione delle caratteristiche termiche e meccaniche dei materiali utilizzati per il modello di sezione.

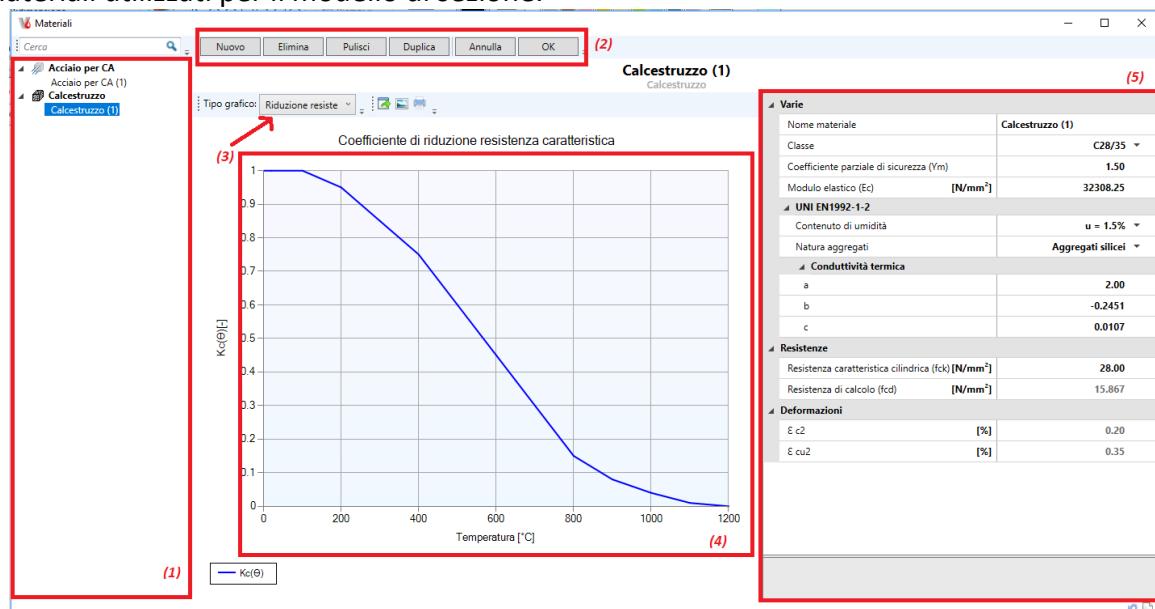


Figura 8 - Editor dei materiali.



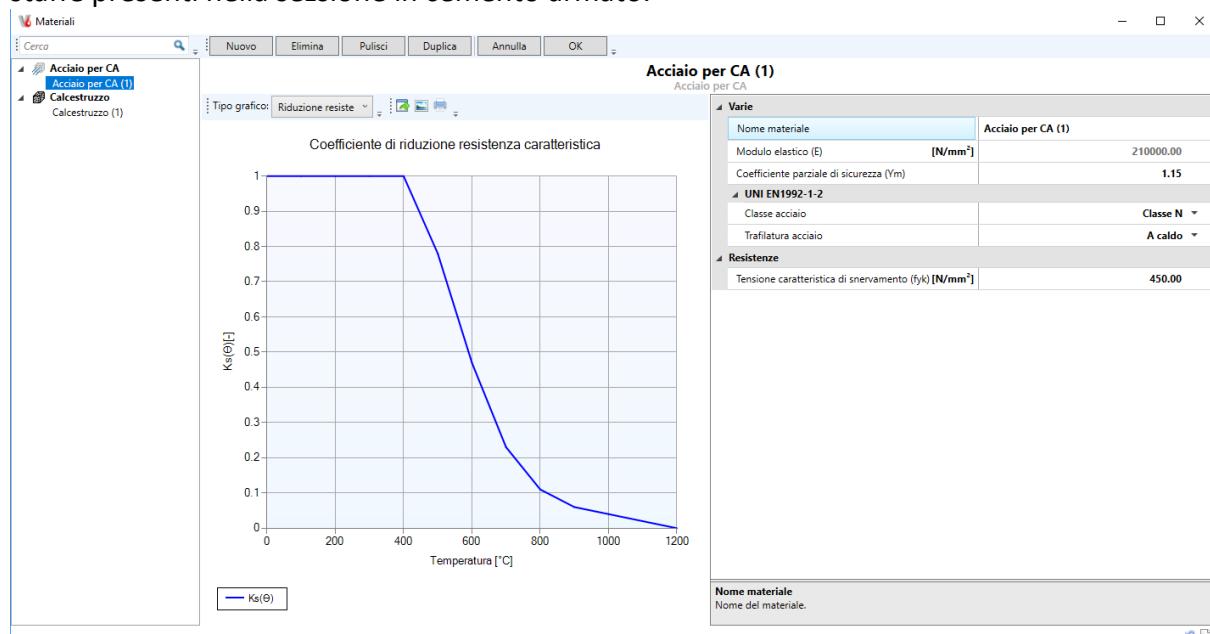
Gli elementi che lo compongono sono evidenziati in figura 8.

1. Elenco contenente tutti i materiali definiti all'interno del progetto (raggruppati per tipologia).
2. Pulsanti relativi alla gestione del n-esimo oggetto materiale nonché alla creazione/eliminazione dello stesso;
3. Selettori per la scelta della proprietà termica da visualizzare relativamente al materiale selezionato dall'elenco (1);
4. Tabella delle proprietà del materiale selezionato.

Le tipologie di materiale attualmente presenti all'interno dell'editor in oggetto sono di seguito riportate contestualmente al significato dei parametri ad essi correlati.

#### **Materiale acciaio per C.A.**

Si tratta di un materiale utilizzato per modellare sia le barre d'armatura longitudinale che le staffe presenti nella sezione in cemento armato.



**Figura 9 - Gestione del materiale "Acciaio per C.A."**

Con riferimento alla figura 9, per il materiale in oggetto, viene visualizzato un grafico che riporta un coefficiente in grado di esprimere il degrado della resistenza del materiale all'aumentare della temperatura dello stesso. Tale curva, in accordo alla UNI EN 1992-1-2, dipende dalle scelte fatte sulla classe d'acciaio e sul tipo di trafilatura. Nella tabella delle proprietà vengono visualizzati:

- **Nome del materiale:** nome che verrà riportato in relazione per identificare il materiale in oggetto una volta associato alle barre longitudinali o alle staffe presenti nella sezione;
- **Modulo elastico (E):** modulo di elasticità longitudinale del materiale espresso in N/mm<sup>2</sup> (si tratta di una proprietà non editabile dall'utente);
- **Coefficiente parziale di sicurezza (γ<sub>M</sub>):** coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza in caso di incendio;
- **Classe acciaio:** classe dell'acciaio relativa alla norma UNI EN 1992-1-2;

- **Trafilatura acciaio:** tipo di trafilatura dell'acciaio (caldo/freddo) relativa alla norma UNI EN 1992-1-2;
- **Tensione caratteristica di snervamento ( $f_{yk}$ ):** resistenza caratteristica allo snervamento del materiale.

### Materiale calcestruzzo

Si tratta di un materiale utilizzato per modellare il conglomerato cementizio che costituisce le sezioni in cemento armato. Dal selettori sulla scelta del grafico da visualizzare è possibile selezionare:

- **Conduttività:** esprime la conduttività termica in funzione della temperatura ed è legata ai parametri  $a$ ,  $b$ , e  $c$ ;
- **Calore specifico:** esprime il calore specifico in funzione della temperatura ed è legata alla scelta sul **contenuto di umidità**;
- **Densità:** esprime la densità del materiale in funzione della temperatura;
- **Riduzione di resistenza:** esprime un coefficiente in grado di descrivere il degrado della resistenza del materiale con l'aumentare della temperatura.

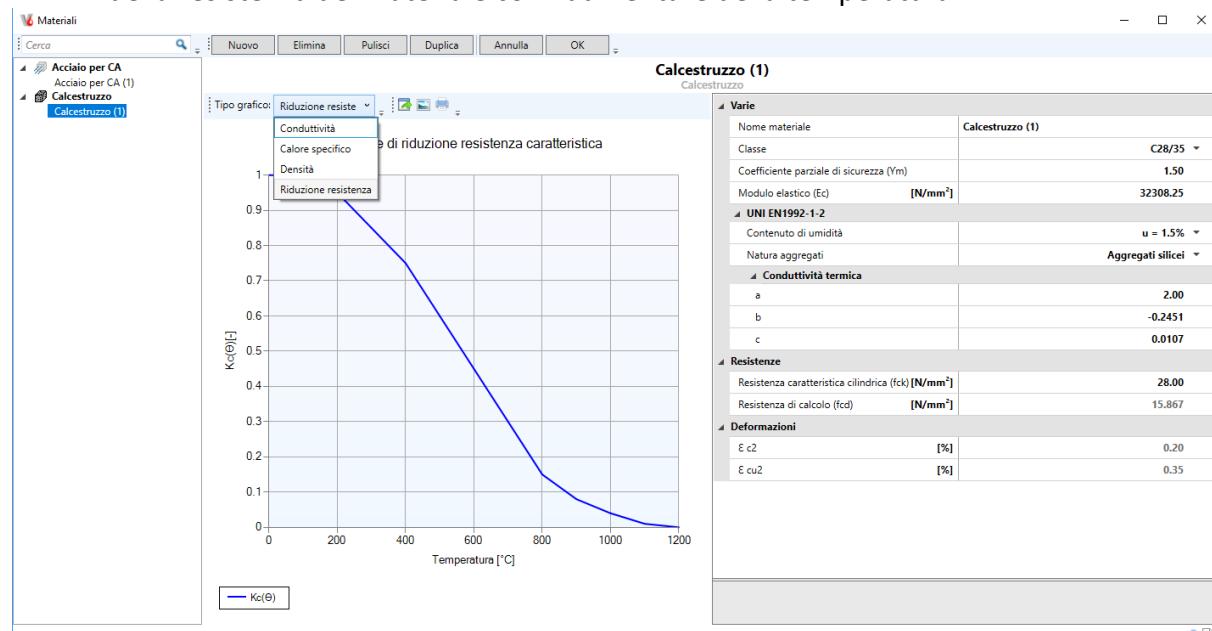


Figura 10 – Gestione del materiale “calcestruzzo”.

Nella tabella delle proprietà vengono visualizzati:

- **Nome del materiale:** nome che verrà riportato in relazione per identificare il materiale in oggetto una volta associato alle barre longitudinali o alle staffe presenti nella sezione;
- **Classe di calcestruzzo:** classe di resistenza del conglomerato;
- **Coefficiente parziale di sicurezza ( $\gamma_M$ ):** coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza in caso di incendio;
- **Modulo elastico (E):** modulo di elasticità longitudinale del materiale espresso in  $\text{N/mm}^2$ ;
- **Contenuto di umidità:** esprime la percentuale relativa al grado di umidità del materiale secondo UNI EN 1992-1-2;



- **Natura aggregati:** la scelta ricade tra aggregati di natura silicea oppure calcarea secondo UNI EN 1992-1-2;
- **Conduttività termica:** parametri della legge che esprime la conduttività termica in funzione della temperatura secondo UNI EN 1992-1-2;
- **Resistenza catteristica cilindrica ( $f_{ck}$ ):** resistenza cilindrica del conglomerato espressa in N/mm<sup>2</sup>;
- **Resistenza di progetto ( $f_{cd}$ ):** resistenza di progetto del conglomerato espressa in N/mm<sup>2</sup>;
- **$\epsilon_{c2}$ :** deformazione al raggiungimento della massima tensione di compressione;
- **$\epsilon_{cu}$ :** deformazione limite del conglomerato.

### 2.3.3 Editor delle sezioni

Questo editor è dedicato alla gestione della geometria della sezione. Gli elementi che lo compongono sono evidenziati in figura 11.

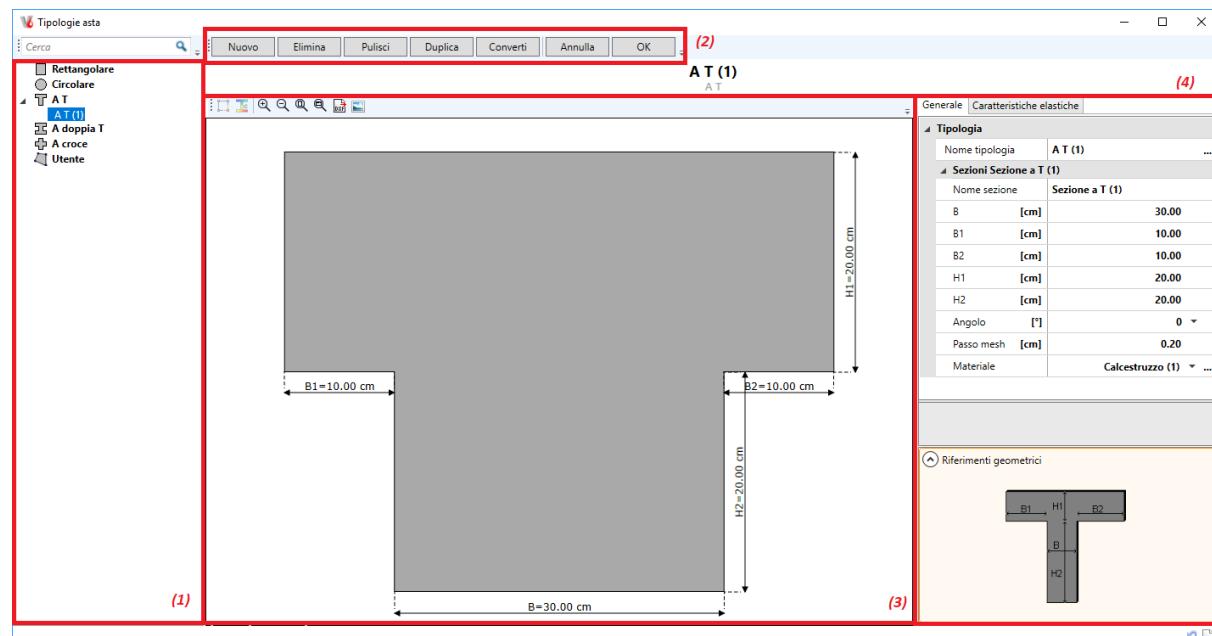


Figura 11 - Editor delle sezioni.

In particolare si ha:

1. Elenco contenente tutte le sezioni definite all'interno del progetto (raggruppate per tipologia);
2. Pulsanti relativi alla gestione del n-esimo oggetto sezione nonché alla creazione/eliminazione dello stesso;
3. Pannello grafico per la visualizzazione della geometria della sezione selezionata;
4. Tabella delle proprietà della sezione selezionata.

### 2.3.4 Editor delle sezioni

Questo editor è dedicato alla gestione delle armature all'interno della sezione. Gli elementi che lo compongono sono evidenziati in figura 12.

1. Gruppo di comandi relativi alla selezione/inserimento delle barre longitudinali nella sezione;



2. Gruppo di comandi relativi alla visualizzazione della sezione trasversale (zoom avanti, zoom indietro, zoom finestra ecc.);
3. Pannello dedicato alla visualizzazione della sezione trasversale;
4. Pannello dedicato alla visualizzazione delle armature trasversali presenti in un concio di trave;
5. Tabella contenente le proprietà delle armature longitudinali e trasversali;
6. Tabella contenente il passo delle staffe.

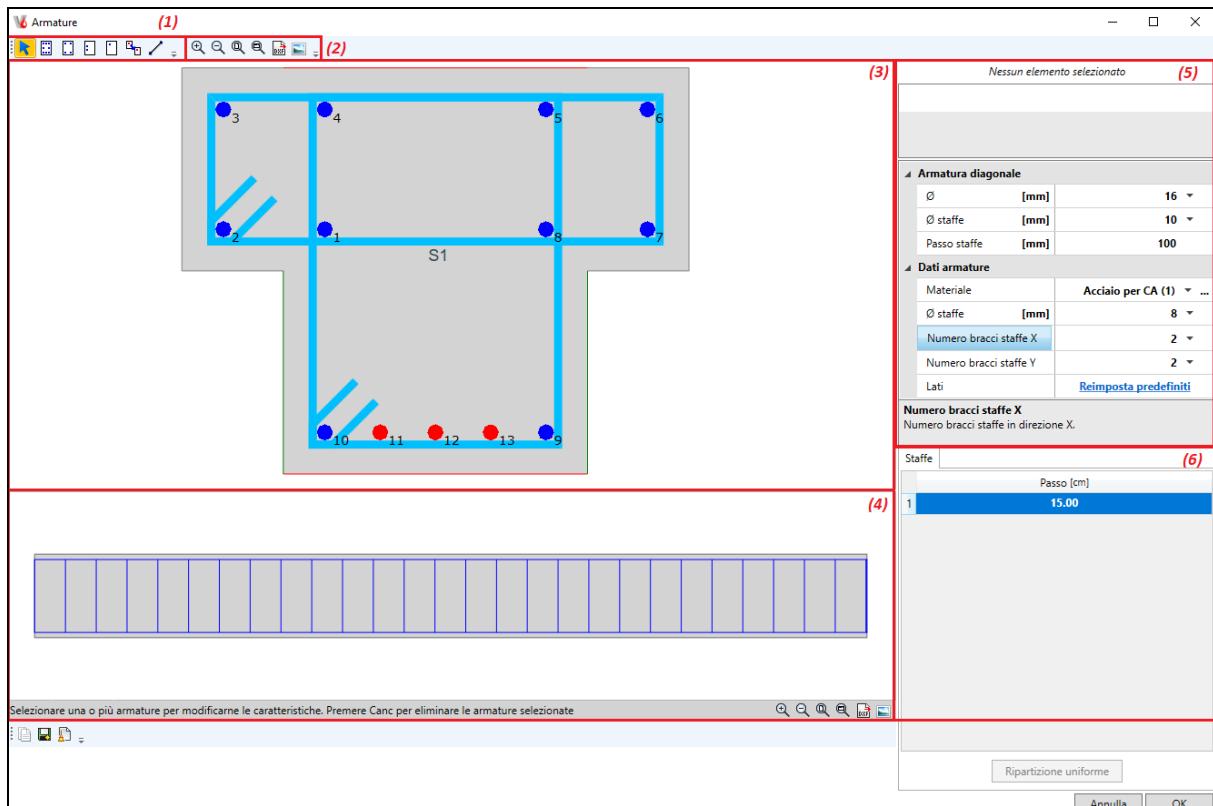


Figura 12 - Editor delle armature.

### 3. Analisi Termica

La verifica di resistenza al fuoco mediante approccio analitico si basa sulla conoscenza della distribuzione di temperature all'interno della struttura sotto particolari condizioni di esposizione al fuoco e per un tempo di esposizione prefissato. Tale distribuzione viene ottenuta mediante una soluzione numerica delle equazioni differenziali che governano il fenomeno della trasmissione del calore.

Nei paragrafi successivi viene illustrata una procedura operativa, per la soluzione del problema in esame, mediante l'uso del software VeReF.

#### 3.1 Dati analisi termica

Si tratta di specificare una serie di parametri inerenti la procedura di analisi termica mediante il metodo degli elementi finiti. In figura 13 viene riportato uno screenshot della finestra utente in cui è vengono visualizzati tali parametri.

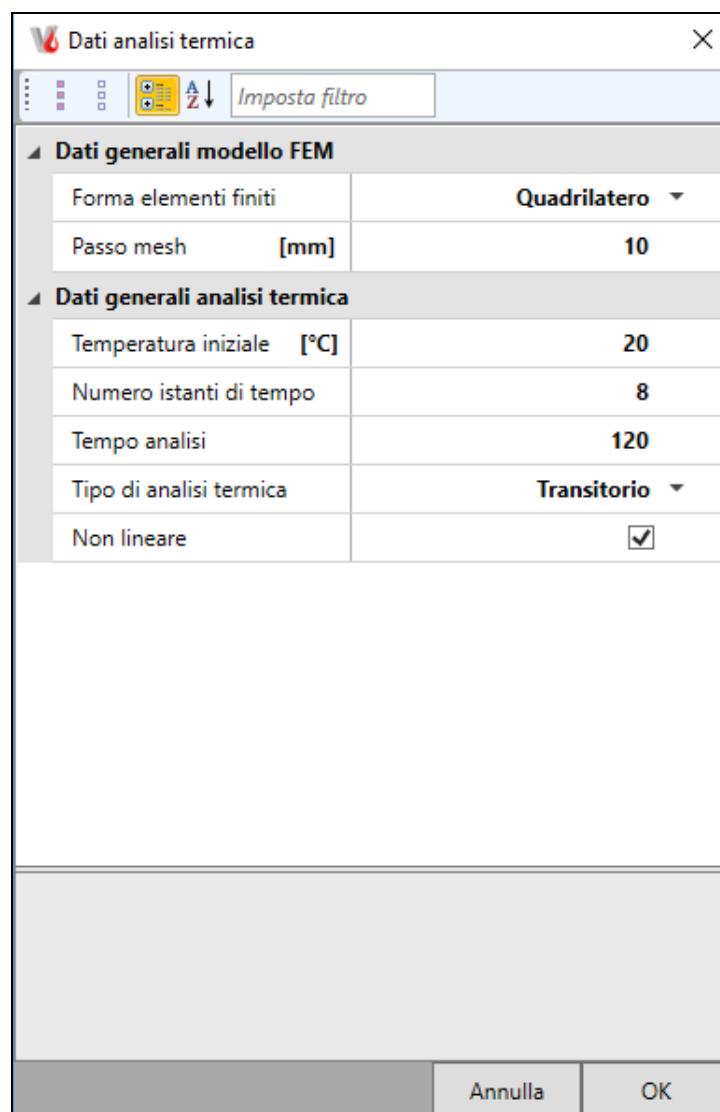


Figura 13 - Interfaccia utente "Dati analisi termica".

Di seguito si riporta il significato di ognuno di essi:



- **Forma elementi finiti:** specifica la forma degli elementi finiti utilizzati per la discretizzazione della sezione (triangolari o quadrangolari);
- **Passo mesh:** parametro geometrico espresso in millimetri che definisce la dimensione media degli elementi finiti utilizzati per la discretizzazione;
- **Temperatura iniziale:** esprime la temperatura della sezione in °C all'istante precedente il processo di riscaldamento della sezione;
- **Numero istanti di tempo:** specifica il numero di steps temporali con cui si vuole suddividere l'intera durata del processo di riscaldamento;
- **Tempo di analisi:** specifica la durata in minuti del processo di riscaldamento;
- **Tipo di analisi termica:** si riferisce al tipo di soluzione richiesta al solutore in relazione al caso stazionario o transitorio.

### 3.2 Discretizzazione della sezione

Scelta la forma degli elementi finiti ed il passo di discretizzazione, è possibile attivare la

visualizzazione della mesh attivando il comando  “Griglia” presente nel gruppo comandi “Analisi”. La numerazione di nodi ed elementi adottata dal generatore di mesh interno al programma può essere attivata mediante i comandi visti al § 2.2.4.

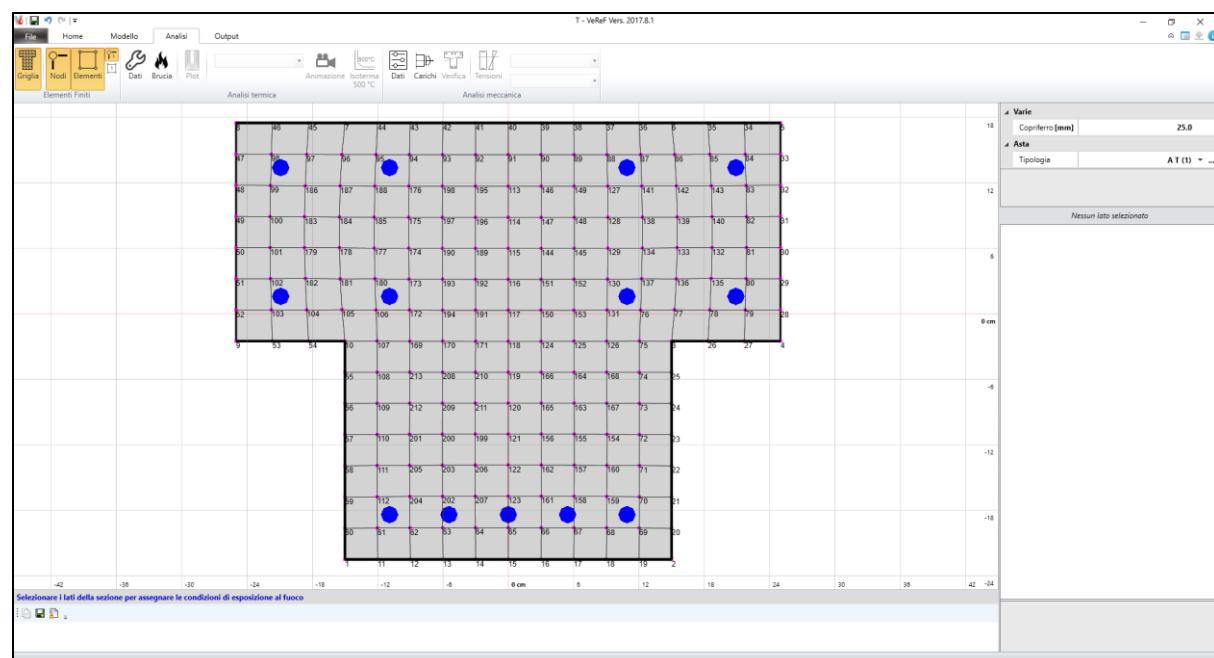


Figura 14 - Visualizzazione della mesh di elementi finiti.

### 3.3 Assegnazione delle condizioni al contorno

In questa fase viene richiesto all'utente di specificare il tipo di esposizione dei lati della sezione. La scelta ricade tra tre possibilità:

- **Lato adiabatico:** sul lato non vi è flusso di calore in entrata ed in uscita;
- **Lato a temperatura ambiente:** il lato si trova a temperatura ambiente (comunemente 20°C) per tutta la durata della simulazione ed il flusso di calore è da attribuire ai fenomeni di convezione ed irraggiamento;

- **Lato esposto al fuoco:** su lato viene applicata una temperatura crescente definita da una serie temporale denominata “curva di incendio”; il flusso di calore è da attribuire ai fenomeni di convezione ed irraggiamento.

Dal punto di vista operativo, l’assegnazione delle condizioni al contorno sui lati viene condotta mediante selezione degli stessi e successiva assegnazione delle proprietà dalla tabella 5 dell’interfaccia principale del programma.

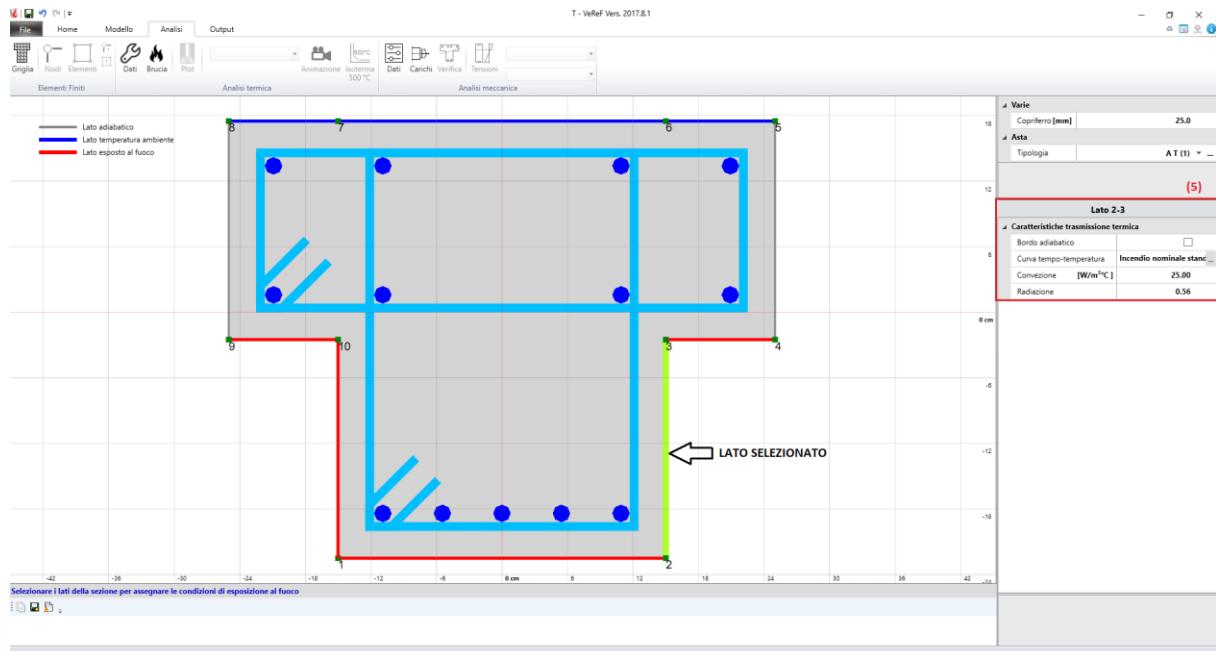


Figura 15 - Assegnazione esposizione dei lati della sezione.

Nel caso di lato adiabatico sarà necessario attivare il flag “Bordo adiabatico”, nel caso di lato esposto a temperatura ambiente o al fuoco bisognerà effettuare una scelta sul parametro “Curva tempo-temperatura”. Cliccando sull’apposito pulsante verrà visualizzata l’interfaccia utente riportata in figura 16. Se si tratta di lato a temperatura ambiente la scelta della curva sarà “Temperatura ambiente”, nel caso di lato esposto al fuoco sarà necessario scegliere una delle curve proposte dal software in accordo alla normativa nazionale. In particolare sarà possibile effettuare una scelta tra le seguenti curve:

#### Nominale standard (UNI 7678 e ISO 834)

Questa curva è quella prevista da UNI 9502, in quanto è quella riconosciuta a livello europeo; la curva è rappresentata dalla seguente espressione:

$$\vartheta_g(t) = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1.0)$$

dove:

- $\vartheta_g(t)$  : temperatura dei gas dell’ambiente [°C];
- $t$  : tempo [min].

Il coefficiente di scambio di calore per convezione  $h$  sul lato esposto è pari a:



$$h = 25 \frac{W}{m^2 \circ C}$$

### Idrocarburi (HYDROCARBON)

Questa curva, prevista dagli eurocodici, è rappresentata dalla seguente equazione:

$$\vartheta_g(t) = 20 + 1080 (1.0 - 0.325 e^{-0.167 t} - 0.675 e^{-2.5 t})$$

Il coefficiente di scambio di calore per convezione  $h$  sul lato esposto è pari a:

$$h = 50 \frac{W}{m^2 \circ C}$$

La curva può essere associata alle industrie petrolchimiche oppure a piattaforma marine, cioè a quei luoghi dove è possibile lo svilupparsi di un incendio derivato da pozza di liquido infiammabile (pool-fire). Questi fuochi sono rappresentati da rapidissimi incrementi della temperatura e dal raggiungimento di temperature massime superiori a quelle della curva standard.

### Incendio esterno

Questa curva, prevista dagli eurocodici, è rappresentata dalla seguente equazione:

$$\vartheta_c(t) = 20 + 660 (1.0 - 0.687 e^{-0.320 t} - 0.313 e^{-3.80 t})$$

Il coefficiente di scambio di calore per convezione  $h$  sul lato esposto è pari a:

$$h = 25 \frac{W}{m^2 \circ C}$$

La curva è applicabile ai casi di incendio esterno al compartimento in esame (ad esempio, muri esterni di un edificio sottoposto a incendio, muri sottoposti a incendio proveniente da una finestra, ecc.). Questo tipo di incendio rappresenta condizioni meno severe a quelle espresse dalle altre curve.

### Riscaldamento lento

La curva è rappresentata dalla seguente equazione:

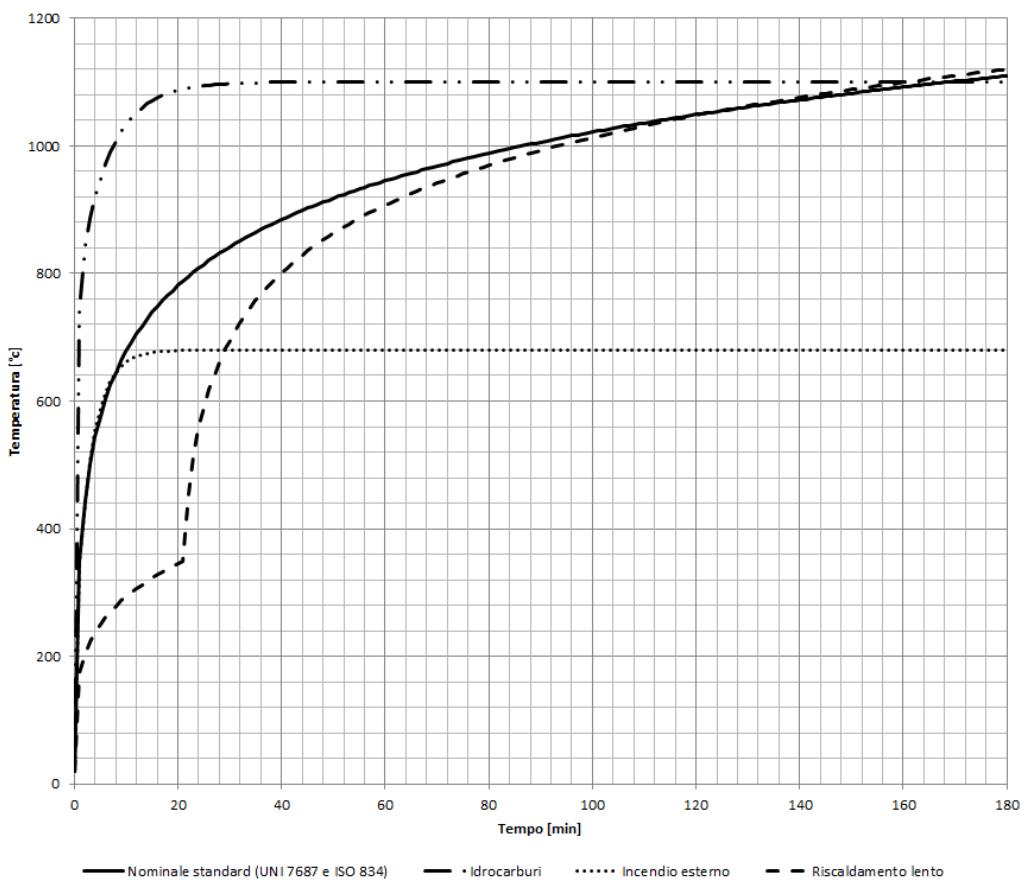
$$\vartheta_c(t) = \begin{cases} 20 + 154 t^{0.25} & \text{se } t \leq 21 \text{ min} \\ 20 + 345 \log_{10}[8 - (t - 20) + 1] & \text{se } t > 21 \text{ min} \end{cases}$$

Il coefficiente di scambio di calore per convezione  $h$  sul lato esposto è pari a:

$$h = 25 \frac{W}{m^2 \circ C}$$

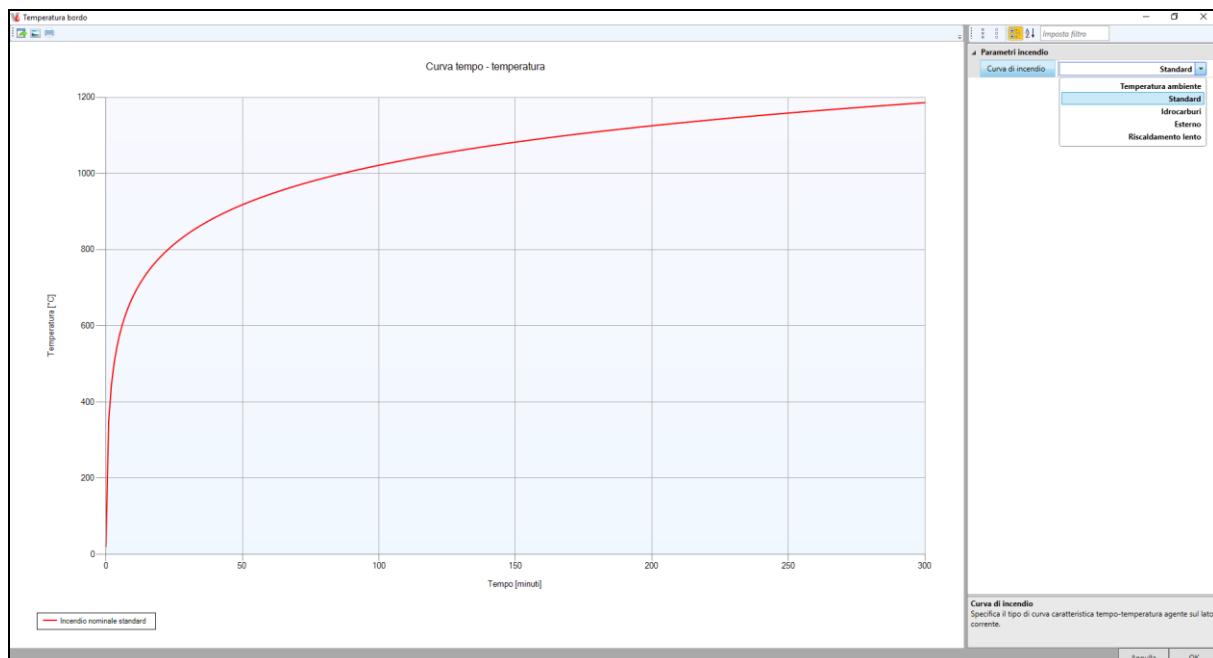
La curva rappresenta un incendio che si sviluppa in modo latente e poi prosegue analogamente all'incendio standard.





**Figura 16 - Curve di incendio disponibili.**

Infine nella tabella delle proprietà del lato sarà necessario specificare il coefficiente di scambio di calore per convezione ed il coefficiente di radiazione.

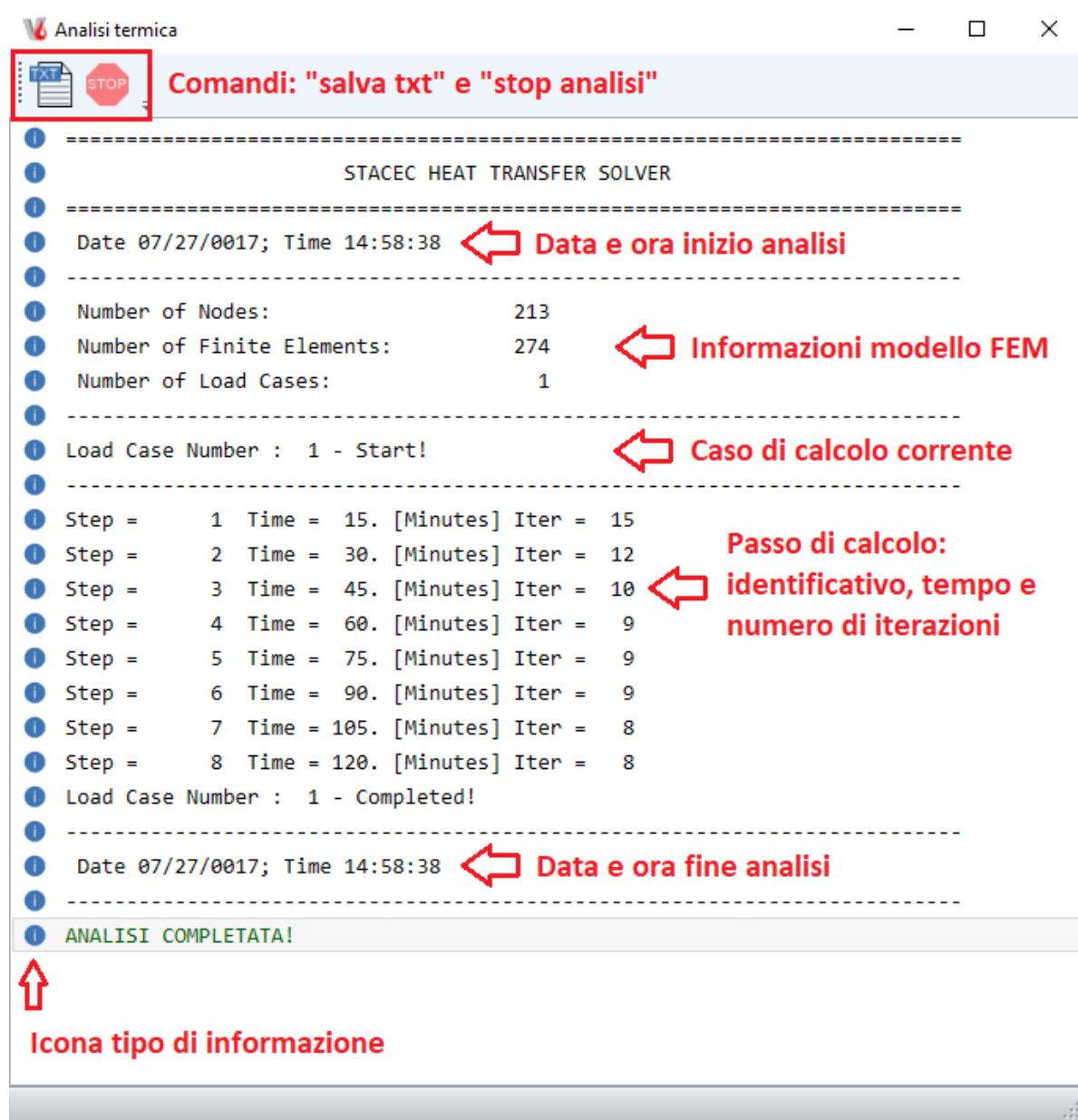


**Figura 17 - Scelta della curva tempo-temperatura.**



### 3.4 Run analisi termica

Completata la fase di input relativa all'analisi termica è possibile avviare il solutore interno **HTFEP** (*Heat Transfer Finite Element Program*) di Stacec dal comando "Brucia" . In figura 18 viene riportata l'interfaccia con la quale il solutore comunica con l'utente durante l'analisi.



```

Analisi termica
Comandi: "salva txt" e "stop analisi"

=====
STACEC HEAT TRANSFER SOLVER
=====

Date 07/27/0017; Time 14:58:38 Data e ora inizio analisi

=====
Number of Nodes: 213
Number of Finite Elements: 274 Informazioni modello FEM
Number of Load Cases: 1

=====
Load Case Number : 1 - Start! Caso di calcolo corrente

=====
Step = 1 Time = 15. [Minutes] Iter = 15
Step = 2 Time = 30. [Minutes] Iter = 12
Step = 3 Time = 45. [Minutes] Iter = 10 Passo di calcolo: identificativo, tempo e numero di iterazioni
Step = 4 Time = 60. [Minutes] Iter = 9
Step = 5 Time = 75. [Minutes] Iter = 9
Step = 6 Time = 90. [Minutes] Iter = 9
Step = 7 Time = 105. [Minutes] Iter = 8
Step = 8 Time = 120. [Minutes] Iter = 8

Load Case Number : 1 - Completed!

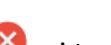
=====
Date 07/27/0017; Time 14:58:38 Data e ora fine analisi

=====
ANALISI COMPLETATA!
Icona tipo di informazione

```

Figura 18 - Interfaccia avanzamento analisi termica.

Le informazioni restituite dal solutore sono etichettate mediante le seguenti icone:

- **Informazione**  : si tratta di un messaggio informativo;
- **Attenzione**  : si tratta di un messaggio di allerta relativamente alla procedura in corso;
- **Errore**  : si tratta di un messaggio di errore.



### 3.5 Plot risultati analisi termica

Completata l'analisi, è possibile attivare la visualizzazione delle mappe termiche



dall'interfaccia principale del software utilizzando il comando “Plot”

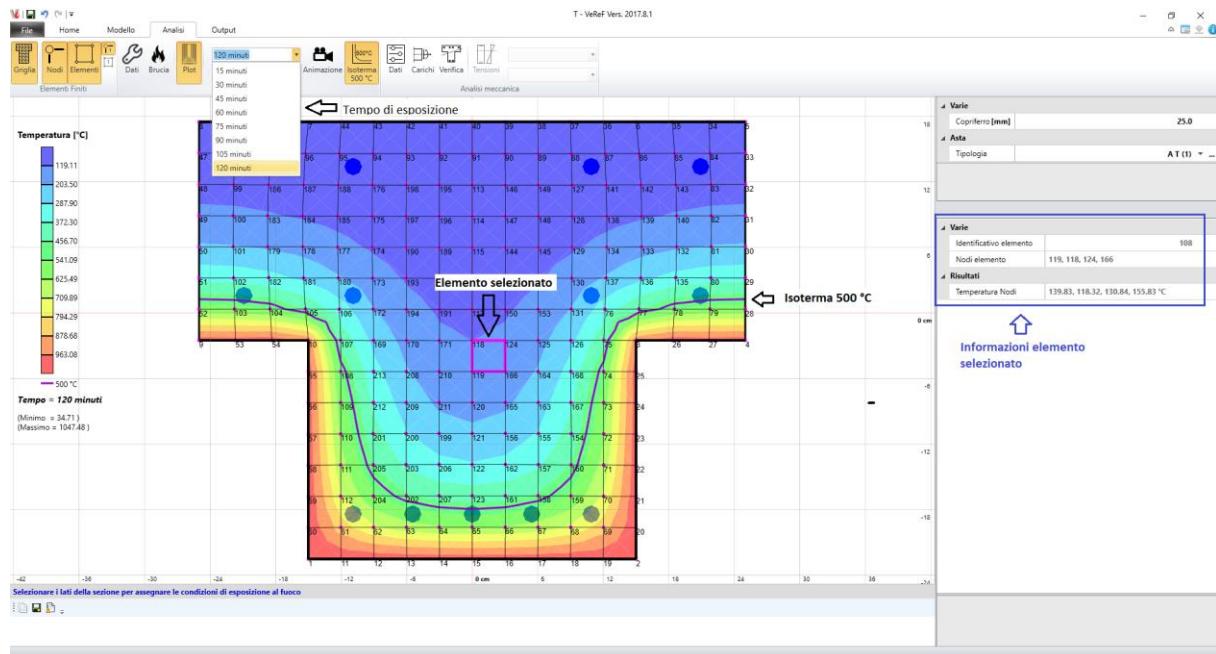


Figura 19 - Plot mappe termiche.

All'interno dell'ambiente grafico, selezionato il tempo di esposizione desiderato, viene rappresentata la sezione con all'interno una “colormap” i cui colori sono associati ad un range di temperatura. Per l'elemento selezionato vengono visualizzate le informazioni topologiche (connettività con i nodi) e le temperature nodali. Di particolare importanza risulta anche la curva in color magenta la quale rappresenta l'isoterma a 500 °C (valore di temperatura critica per le barre d'armatura). Qualora l'utente volesse visualizzare a video l'evolversi del campo delle temperature nel corso del tempo, può avviare l'animazione del processo di riscaldamento mediante in comando “Animazione”



Icon representing a video camera, indicating the animation feature.



## 4. Analisi meccanica della sezione e verifiche di sicurezza

La verifica di sicurezza delle strutture soggette ad incendio, in accordo agli Eurocodici e all'NTC08, viene condotta nel dominio delle resistenze controllando che risulti soddisfatta la diseguegianza tra sollecitazioni e resistenze per il tempo corrispondente alla classe di resistenza al fuoco, nel caso di curva nominale, oppure per l'intera durata dell'incendio (compresa la fase di raffreddamento), nel caso in cui si faccia riferimento ad una curva naturale di incendio.

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}$$

dove:

- $R_{fi,d,t}$  : valore di progetto della resistenza in caso di incendio;
- $E_{fi,d,t}$  : valore degli effetti delle azioni in caso di incendio.

I valori di progetto delle resistenze in caso di incendio, vengono ottenuti mediante un'analisi meccanica della sezione, basata sul metodo agli elementi finiti, considerando uno stato sollecitazionale generico di presso-flessione deviata.

L'effetto delle azioni, in accordo agli eurocodici, viene determinato mediante un'analisi strutturale globale eseguita a temperatura ambiente attraverso la relazione:

$$E_{fi,d,t} = \eta_{fi} E_d$$

dove:

- $\eta_{fi}$  : fattore di riduzione per il livello di carico di progetto in situazioni di incendio;
- $E_d$  : valore di progetto delle sollecitazioni corrispondenti all'analisi a temperatura ambiente per la combinazione fondamentale delle azioni.

Il fattore di riduzione del carico viene determinato come segue:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}}$$

dove:

- $Q_{k,1}$  : è il carico variabile principale;
- $G_k$  : è il valore caratteristico di un'azione permanente;
- $\gamma_G$  : è il fattore parziale per un'azione permanente;
- $\gamma_{Q,1}$  : è il fattore parziale per l'azione variabile 1;
- $\psi_{fi}$  : è il fattore di combinazione per valori frequenti o quasi-permanenti.



#### 4.1 Dati analisi meccanica

Si tratta di specificare una serie di parametri inerenti la procedura di analisi meccanica della sezione condotta mediante il metodo degli elementi finiti. In figura 20 viene riportato uno screenshot della finestra utente in cui è vengono visualizzati tali parametri.

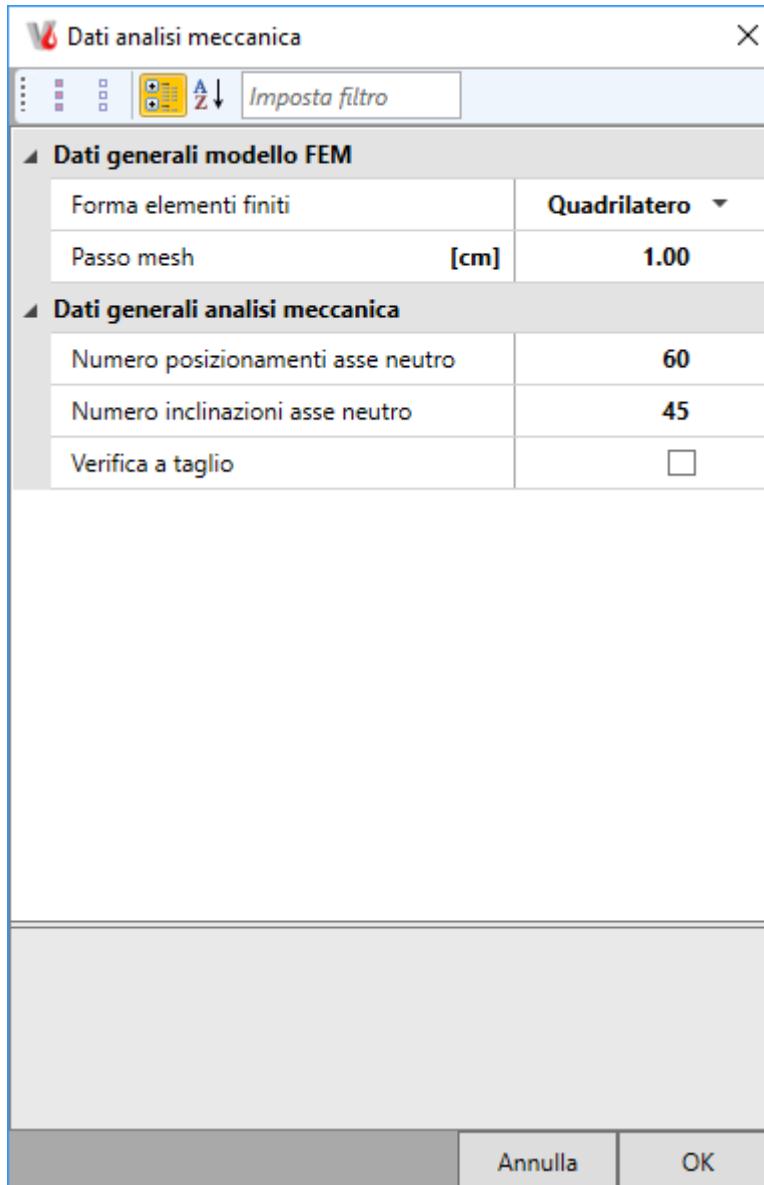


Figura 20 - Dati analisi meccanica della sezione.

Di seguito si riporta il significato di ognuno di essi:

- **Forma elementi finiti:** specifica la forma degli elementi finiti utilizzati per la discretizzazione della sezione (triangolari o quadrangolari);
- **Passo mesh:** parametro geometrico espresso in millimetri che definisce la dimensione media degli elementi finiti utilizzati per la discretizzazione;
- **Numero posizionamenti asse neutro:** numero di posizioni in cui far variare l'asse neutro durante la costruzione dei domini di rottura;
- **Numero inclinazioni asse neutro:** numero di angolazioni rispetto in cui far variare l'asse neutro durante la costruzione dei domini di rottura;



- **Verifica a taglio:** specifica se eseguire la verifica a taglio della sezione mediante il metodo semplificato dell'isoterma 500 °C.

## 4.2 Carichi sezione

Le caratteristiche della sollecitazione vengono applicate alla sezione da verificare accedendo all'ambiente illustrato in figura 21 mediante il comando “Carichi”. Qui è possibile aggiungere una lista di condizioni di carico mediante il comando “Aggiungi riga”.

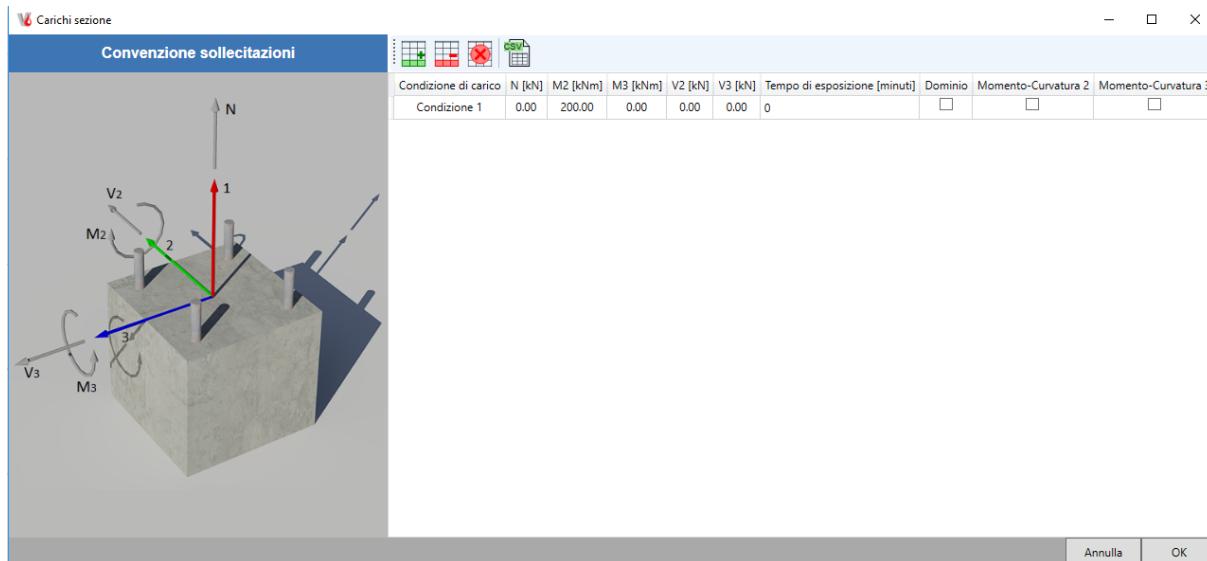


Figura 21 -Finestra assegnazione condizioni di carico.

Per ognuna di tali condizioni vengono richieste:

- Sforzo normale (**N**) espresso in kN e positivo se di trazione;
- Momento flettente in direzione 2 (**M<sub>2</sub>**);
- Momento flettente in direzione 3 (**M<sub>3</sub>**);
- Taglio in direzione 2 (**V<sub>2</sub>**);
- Taglio in direzione 3 (**V<sub>3</sub>**);
- Tempo di esposizione al fuoco;
- Flag per attivare/disattivare il calcolo dei domini di rottura;
- Flag per attivare/disattivare il calcolo del diagramma momento curvatura in direzione 2 a sforzo normale assegnato;
- Flag per attivare/disattivare il calcolo del diagramma momento curvatura in direzione 3 a sforzo normale assegnato.

La convenzione completa delle sollecitazioni è illustrata nella finestra stessa e corrisponde a quella comunemente adottata dalla scienza delle costruzioni. La lista relativa ai tempi di esposizione al fuoco disponibili dipende dai dati digitati in precedenza dall'utente nella fase relativa all'analisi termica.

Qualora si volesse importare una lista di condizioni di carico prodotta da un applicativo esterno è possibile utilizzare il comando “importa da file .CSV”. Si tratta di un formato di file denominato *Comma-Separated Values* il quale può essere gestito da software tipo Excel di Microsoft.



### 4.3 Run analisi meccanica e verifiche SLU

Completata la fase di input relativa all'analisi meccanica è possibile procedere alla verifica della sezione mediante il comando "Verifica".

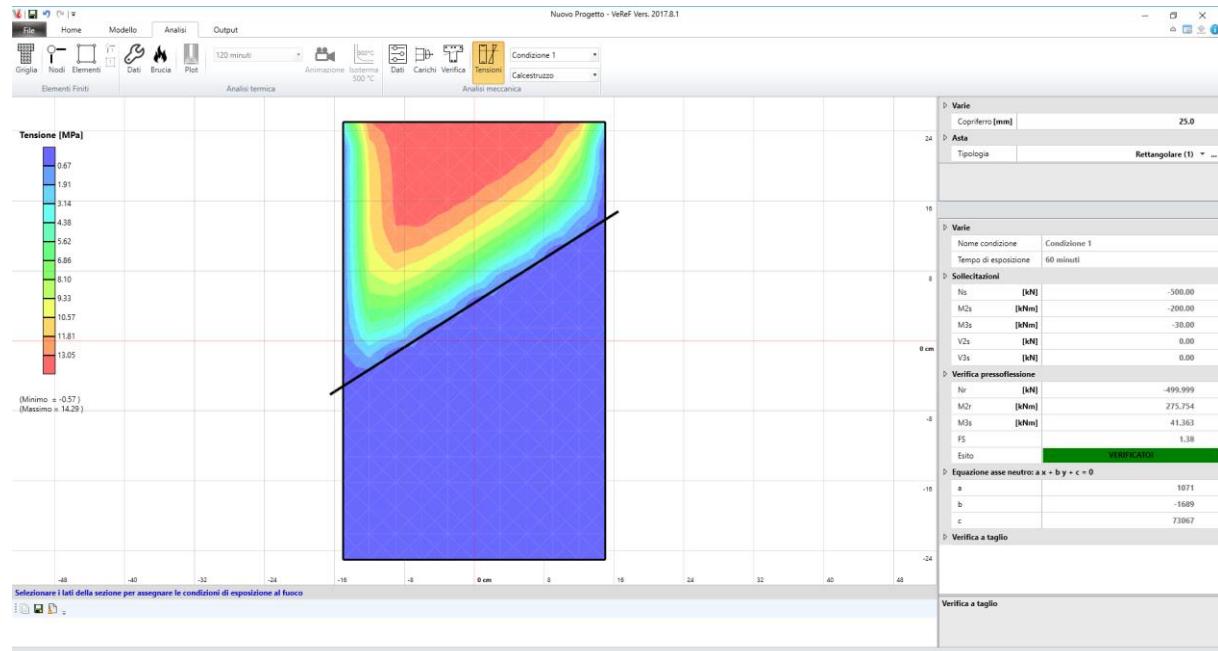


Figura 22 - Risultati verifica sezione.

In figura 22 viene rappresentata la sezione verificata nonché lo stato tensionale del calcestruzzo nella condizione limite dettata dalle caratteristiche della sollecitazione della condizione di carico corrente.

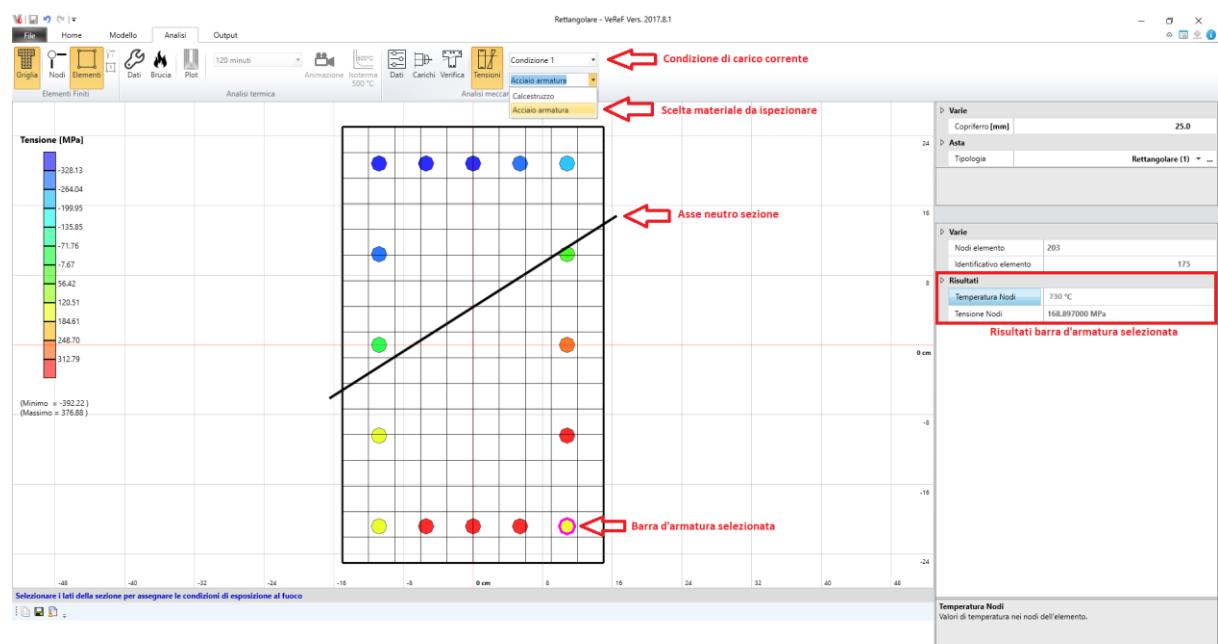


Figura 23 - Stato tensionale barre d'armatura.



La retta rappresentata in colore nero indica l'asse neutro. Le sollecitazioni agenti, le resistenze ultime ed i coefficienti di sicurezza vengono rappresentati nella tabella delle proprietà di destra.

Per visualizzare lo stato tensionale nelle barre d'armatura è necessario selezionare il materiale “acciaio” dal comboBox rappresentato in figura 23. Selezionando le barre d'armatura è possibile visualizzare, dalla tabella delle proprietà, la tensione normale agente e la temperatura di progetto che è stata adottata in funzione del tempo di esposizione scelto per la verifica. I risultati appena visti vengono visualizzati per la condizione di carico selezionata dal comboBox delle condizioni di carico (figura 23).

#### 4.4 Dominio di rottura

Il dominio di rottura di una sezione in cemento armato al tempo  $t$  di esposizione al fuoco rappresenta una regione nello spazio delle azioni interne di sezione  $N_{int}, M_{y,int}, M_{z,int}$ , tale che, data una terna di sollecitazioni esterne applicata alla sezione, se il punto individuato da tale terna ricade all'interno del dominio la sezione si trova in una condizione sicura nei confronti dello stato limite ultimo per presso-flessione deviata.

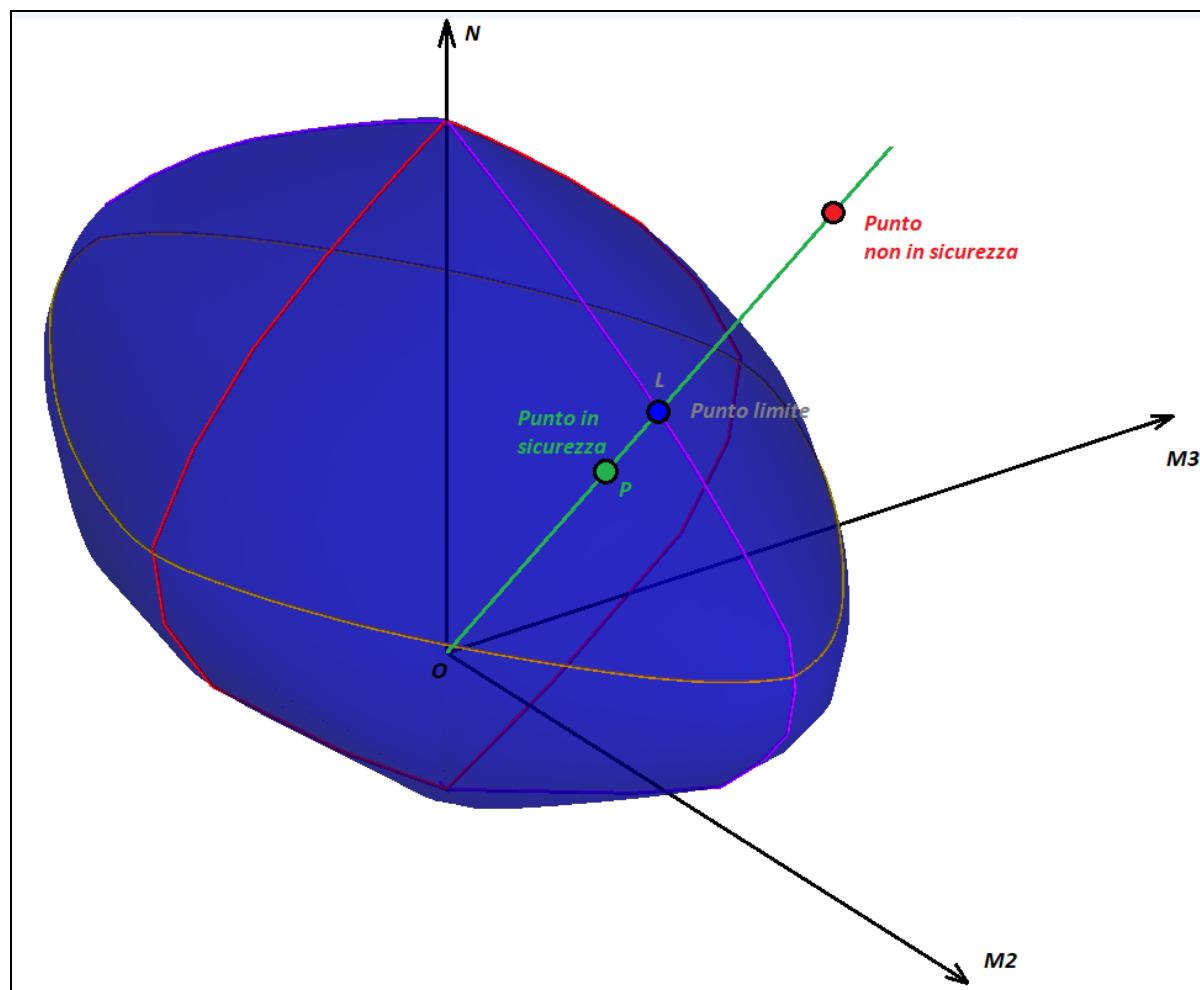


Figura 24 - Dominio di rottura.

È possibile definire un indice in grado di quantificare il grado di sicurezza del punto  $P$  (vedi figura). A tal proposito si definisce il coefficiente di sicurezza :

$$SF = \frac{\|OL\|}{\|OP\|}$$

se il punto P ricade all'interno del dominio allora tale coefficiente risulta maggiore dell'unità. La costruzione del dominio di rottura viene effettuata attraverso i seguenti passi:

- La sezione viene discretizzata mediante una mesh di elementi finiti per come visto al paragrafo precedente e per i quali si conosce la distribuzione delle temperature valutata attraverso l'analisi termica;
- Per ogni nodo della mesh va individuato un valore ultimo di deformazione longitudinale il funzione dei limiti imposti dai materiali degli elementi connessi al nodo stesso;
- Si impone una posizione dell'asse neutro della sezione attraverso due parametri: una quota verticale  $z_n$  ed un'inclinazione  $\alpha_n$ ;
- Ad asse neutro assegnato si individua la configurazione del diagramma limite di deformazione nel rispetto dei valori ultimi di deformazione longitudinale letti sui nodi della mesh (vedi figura); tali valori possono essere relativi al calcestruzzo oppure all'acciaio;
- Si applica la procedure FEM già vista per ottenere gli sporzi interni della sezione e quindi il punto nel dominio per la posizione corrente dell'asse neutro;

I passi appena visti vengono ripetuti per differenti posizioni ed inclinazioni dell'asse neutro fino ad individuare la superficie del dominio. In particolare la posizione  $z_n$  dell'asse neutro viene variata da  $-\infty$  a  $+\infty$  e l'inclinazione  $\alpha_n$  da 0 a  $360^\circ$ .

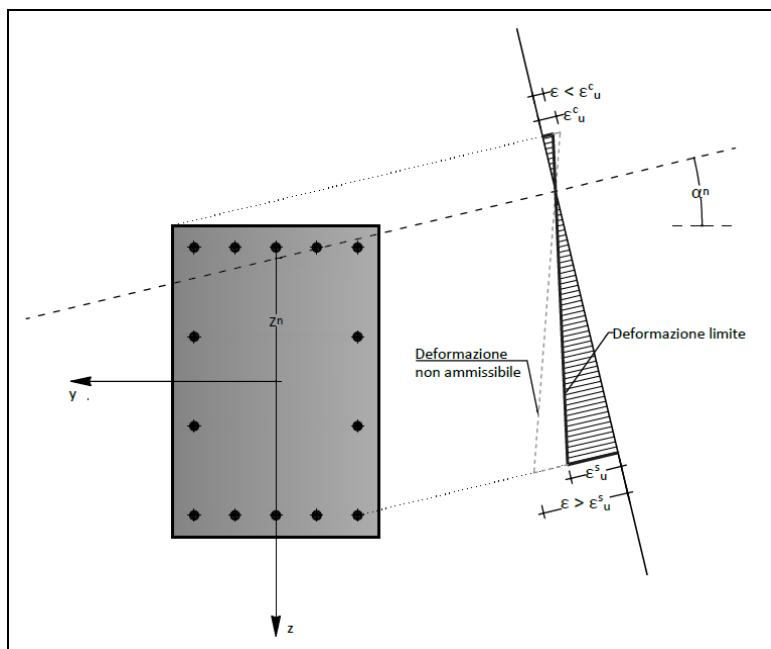


Figura 25 - Deformazione limite di sezione (a).

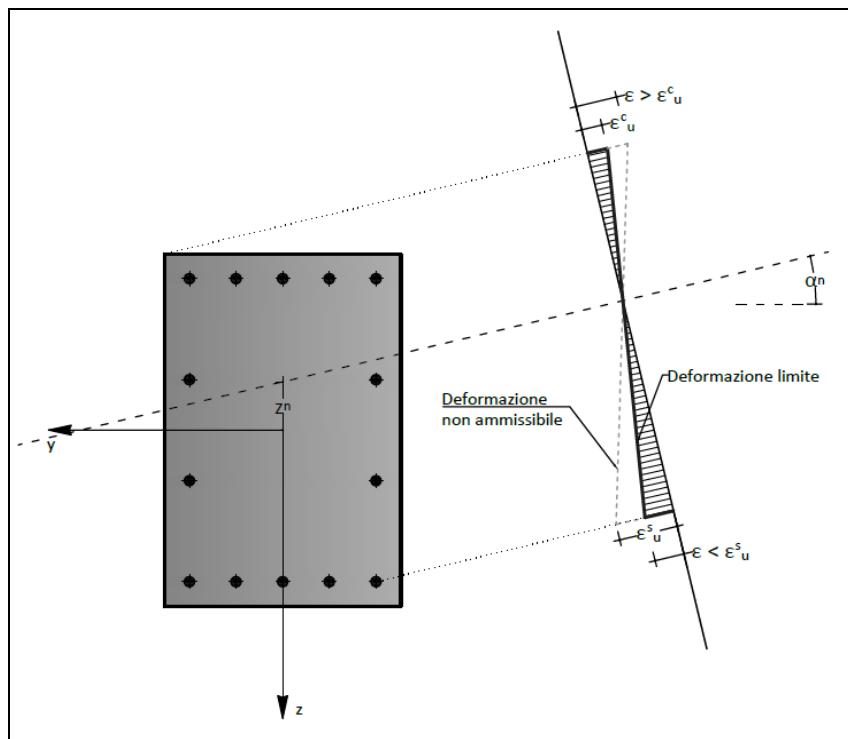


Figura 26 - Deformazione limite di sezione (b).

Di seguito viene riportato il dominio di rottura di una sezione rettangolare in c.a. nel piano dei due momenti flettenti per un assegnato valore di sforzo normale ed esposta al fuoco da tutti e 4 i lati. Le differenti curve si riferiscono a diversi tempi di esposizione al fuoco.

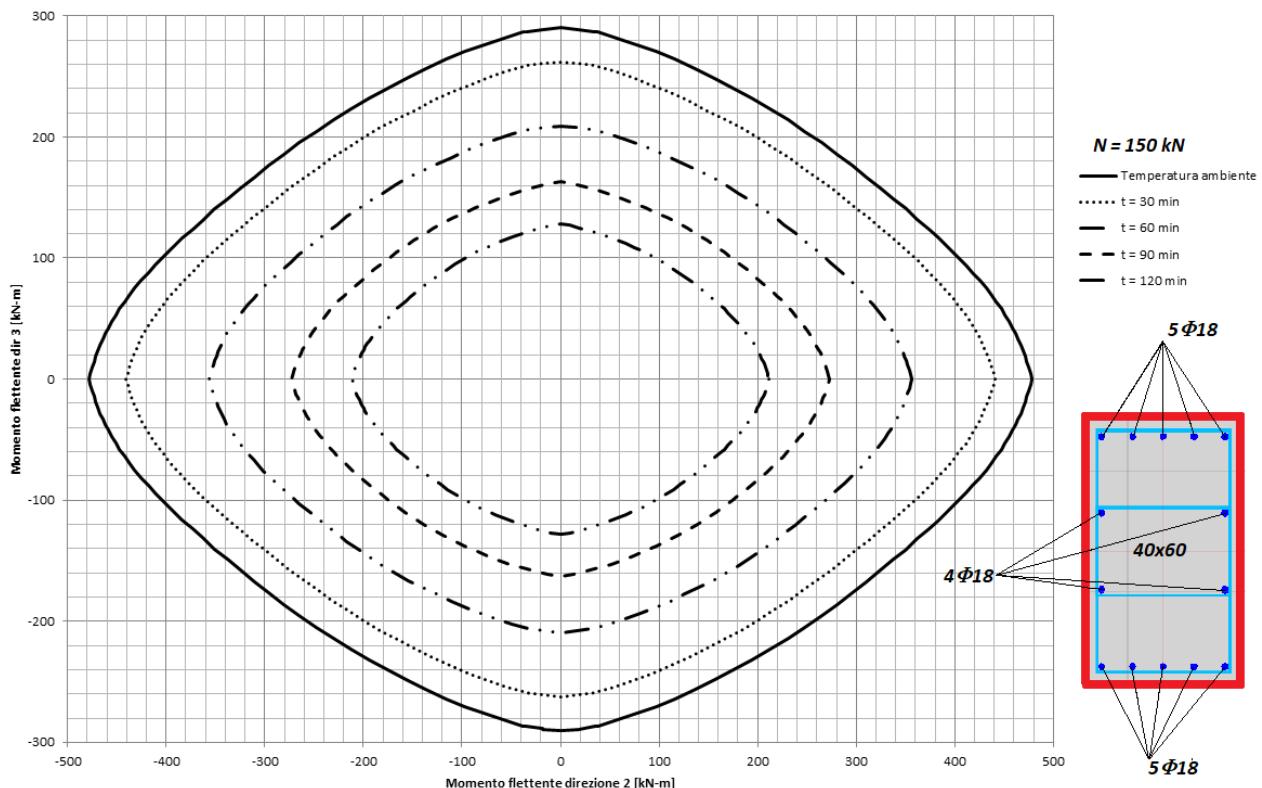


Figura 27 - Dominio di rottura nel piano delle azioni flettenti per diversi tempi di esposizione al fuoco.

Se richiesto, dall'ambiente relativo alle condizioni di carico, il software costruisce il domio di rottura della sezione. La visualizzazione di quest'ultimo può essere attivata una volta

conclusa l'analisi meccanica mediante il comando “Dominio” .

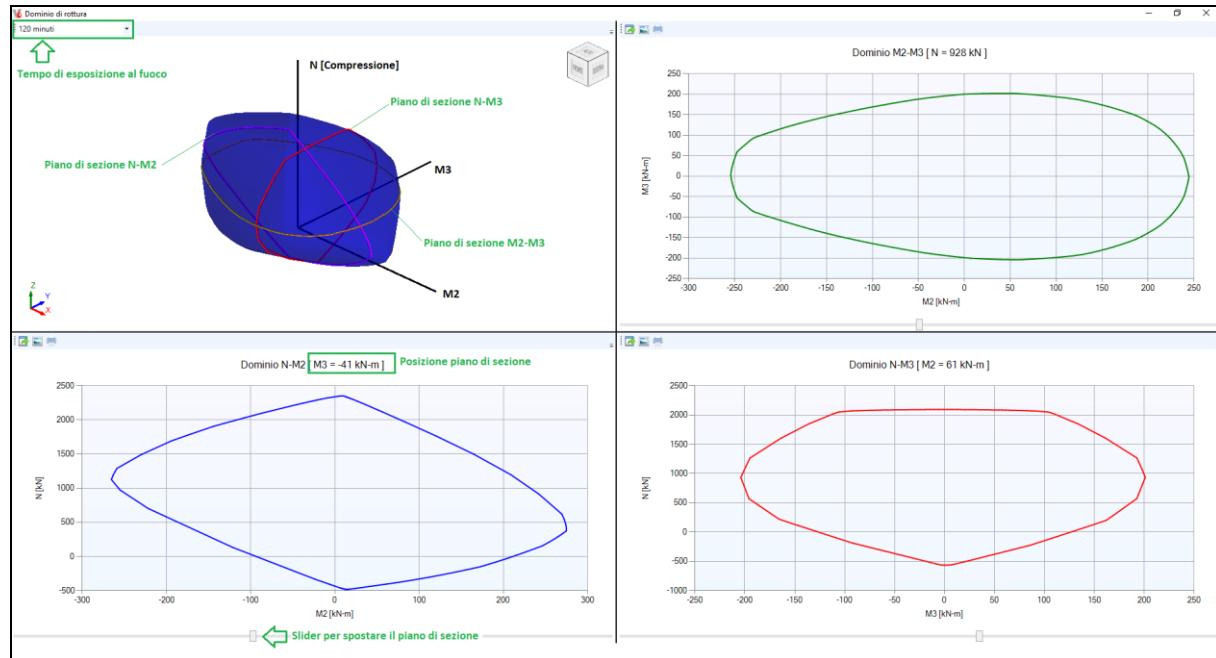


Figura 28 - Interfaccia utente dominio di rottura.

#### 4.5 Relazioni momento-curvatura

Il diagramma momento-curvatura reale della sezione trasversale di un generico elemento soggetto ad un assegnato sforzo normale esterno  $N_{est}$  al tempo  $t$  di esposizione al fuoco può essere ottenuto in maniera semplice mediante una procedura incrementale-iterativa, che si articola nei seguenti passi:

- La sezione viene discretizzata mediante una mesh di elementi finiti per come visto al paragrafo precedente e per i quali si conosce la distribuzione delle temperature valutata attraverso l'analisi termica;
- Per un'assegnata curvatura flessionale  $\chi_{yj}$  o  $\chi_{zj}$ , dove  $j$  indica il passo incrementale, si assume un valore di tentativo per la deformazione media baricentrica  $\eta_j^{(i)}$  e si ottiene la risposta meccanica della sezione  $Q_j^{(i)}$  mediante l'angoritmo illustrato precedentemente;
- Il primo termine del vettore  $Q_j^{(i)}$  rappresenta lo sforzo normale interno all'iterazione  $i$ -esima; questo viene confrontato con lo sforzo normale applicato variando ad ogni iterazione la deformazione media baricentrica  $\eta_j^{(i)}$  fino al soddisfacimento della relazione:  $|N_{int}^{(i)} - N_{est}| < toll \rightarrow \eta_j^{(i)}$ ;
- Si ricavano i momenti flettenti  $M_{yj}$  o  $M_{zj}$  dal vettore delle forze interne  $Q_j$  calcolato all'ultima iterazione.

I passi precedenti vengono ripetuti per un numero sufficiente di curvature flessionali  $\chi_j$ , determinando l'intero diagramma momento-curvatura per l'assegnato sforzo normale  $N_{est}$ . Il valore massimo di tale diagramma può essere assunto come il momento resistente allo s.l.u  $M_{u,t}$  della sezione retta per l'assegnato sforzo normale  $N_{est}$  e il prefissato tempo  $t$  di esposizione all'incendio.

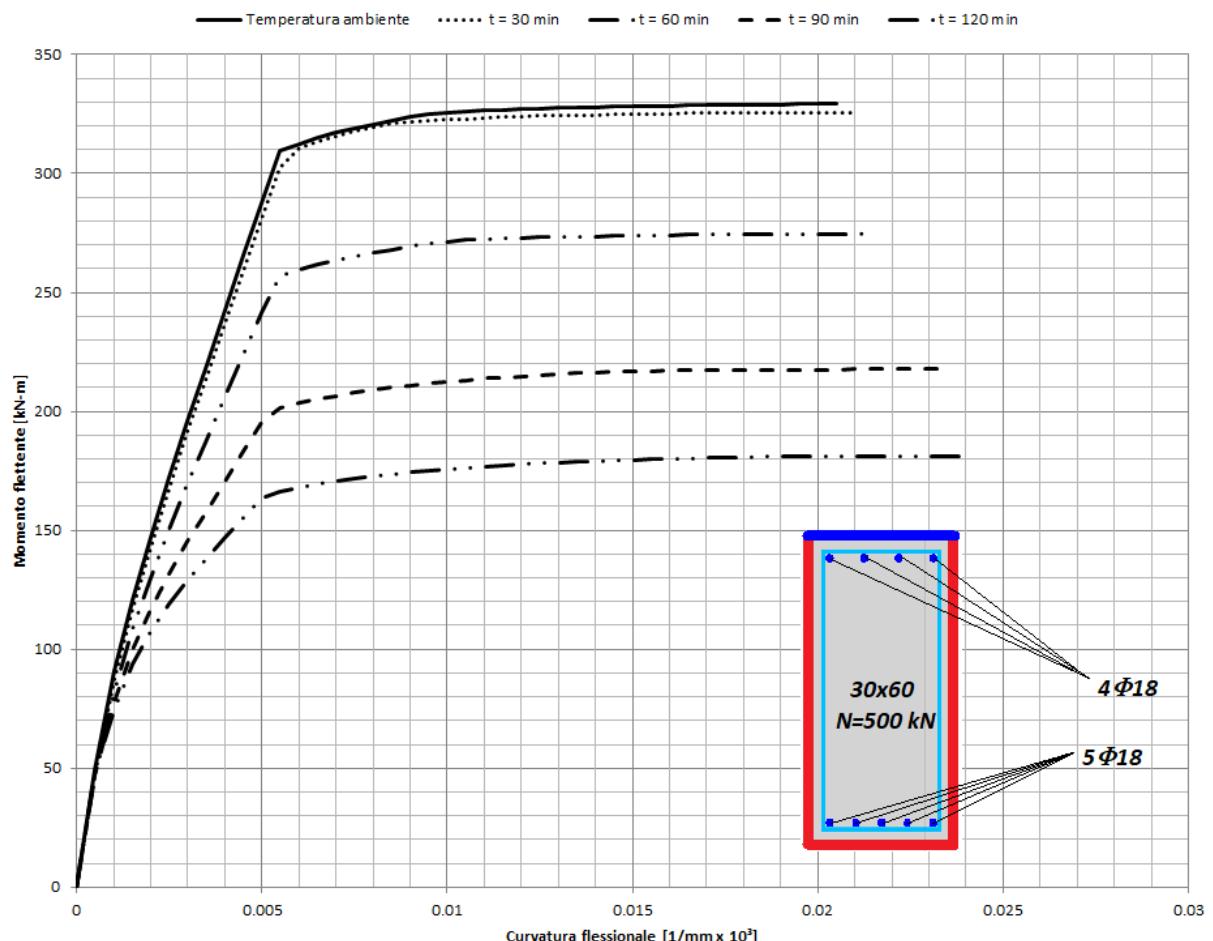


Figura 29 - Relazioni momento curvatura per diversi tempi di esposizione al fuoco.

Se richiesto, dall'ambiente relativo alle condizioni di carico, il software costruisce le relazioni momento-curvatura della sezione nelle due direzioni principali. La visualizzazione può essere attivata una volta conclusa l'analisi meccanica mediante il comando "Momento-

Curvatura"

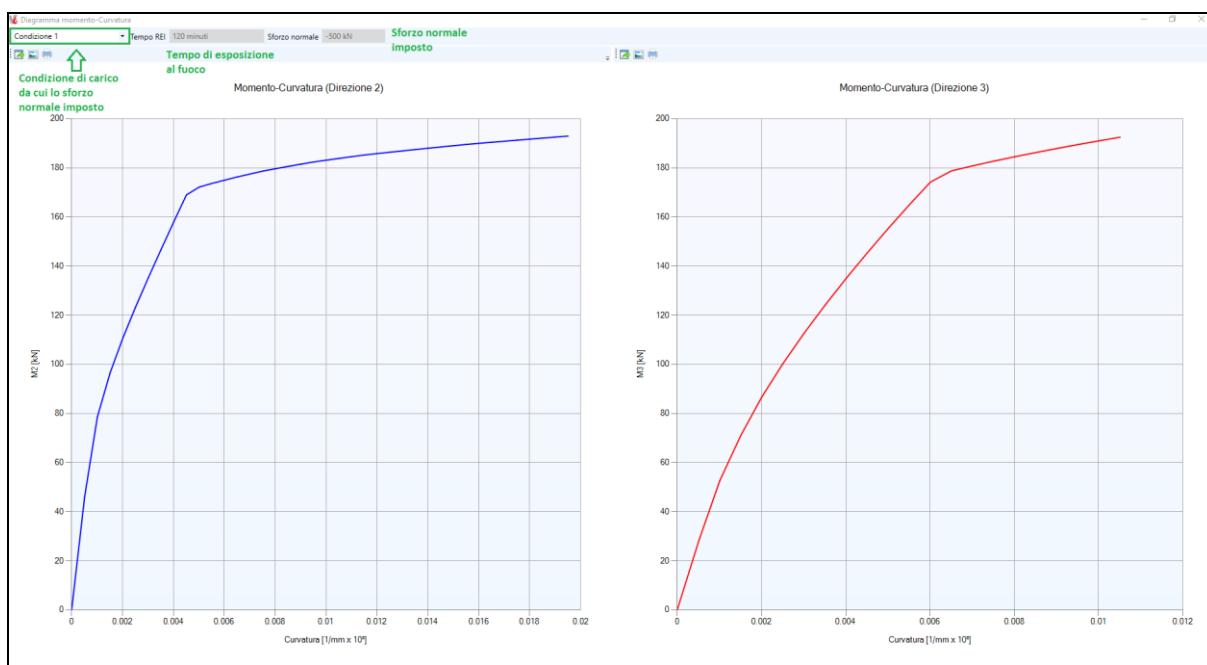


Figura 30 - Interfaccia utente visualizzazione relazioni momento-curvatura.

## 5. Relazione di calcolo

Si tratta di un report contenente alcune note teoriche in merito alle analisi condotte per la sezione in esame nonché i dati specifici di materiali, carichi, lati esposti al fuoco ed i risultati delle verifiche condotte sulla stessa.

### 5.1 Gestione relazione

Dal gruppo comandi “Output” mediante il comando “Relazione”  è possibile accedere all’ambiente di figura 31.

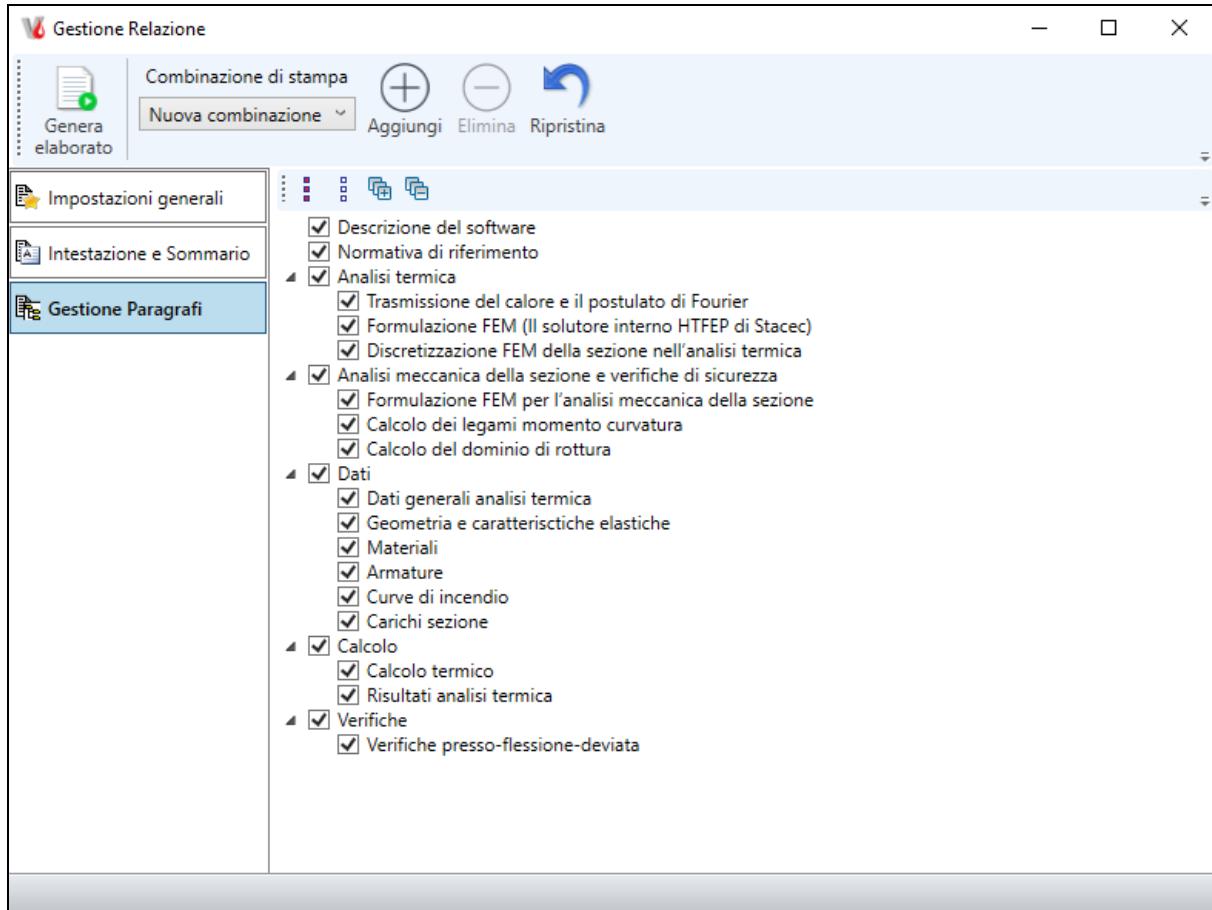


Figura 31 - Interfaccia utente per la gestione della relazione.

Da tale ambiente è possibile selezionare/deselezionare i capitoli ed i rispettivi paragrafi che si vogliono includere/escludere nel documento. Una volta completata questa operazione, mediante il comando “Genera elaborato”, è possibile creare e visualizzare il documento.



## 6. Esempi

Nei prossimi paragrafi vengono riportati degli esempi con l'obiettivo di agevolare chi legge all'apprendimento del software.

### 6.1 Esempio 1 (Mappatura termica Appendice A UNI EN 1992-1-2)

Il seguente esempio, tratto dall'appendice A dell' UNI EN 1992-1-2, consiste nella determinazione delle mappature termiche di una trave in calcestruzzo avente forma rettangolare; le caratteristiche dell'elemento analizzato vengono di seguito riportate.

- Dimensioni della sezione 30x60 cm;
- Curva d'incendio di tipo Nominale Standard;
- Calore specifico del calcestruzzo indicato nel punto 3.3.2 dell'UNI EN 1992-1-2 con contenuto di umidità dell'1.5%.
- Conduttività termica assunta pari al limite inferiore riportato al punto 3.3.3 dell'UNI EN 1992-1-2;
- Emissività delle superfici di calcestruzzo esposte al fuoco pari a 0.7;
- Fattore di convezione delle superfici esposte al fuoco pari a  $25 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$ .

La figura 32 mostra come le mappature termiche per sezioni simmetriche esposte al fuoco in modo simmetrico possano essere determinate tenendo conto della simmetria. A tal proposito viene analizzata solo la porzione di sezione indicata in colore grigio imponendo un comportamento adiabatico sugli assi di simmetria.

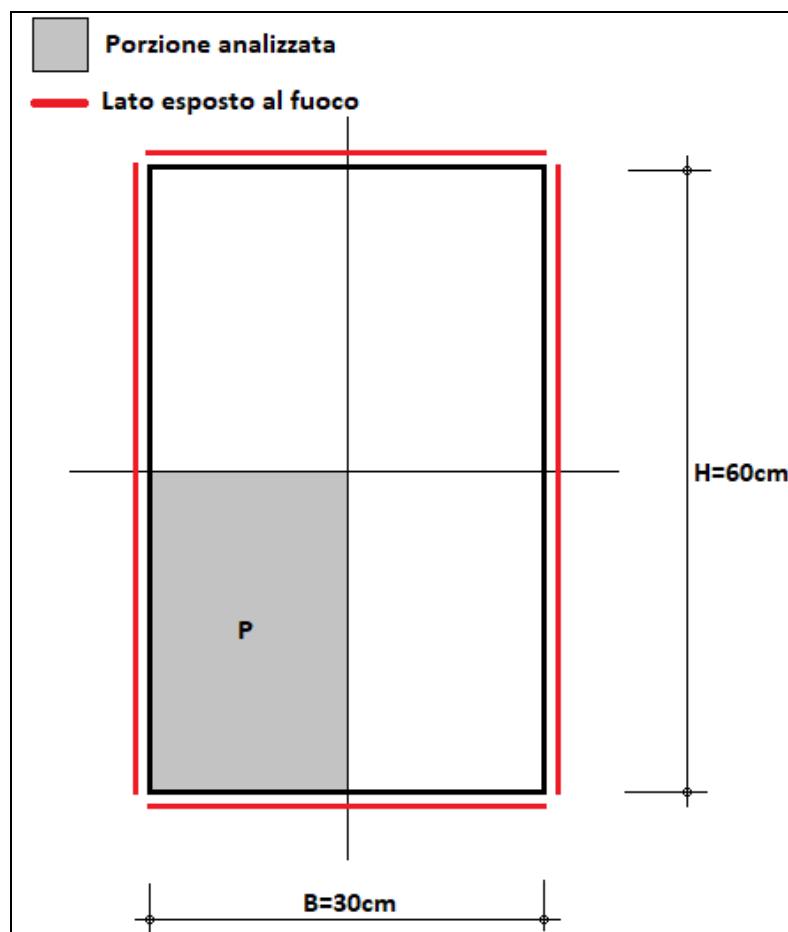


Figura 32 - Sezione in calcestruzzo esempio 1.

### 6.1.1 Inserimento dei dati in VeReF

Una volta avviato il software, dal menù “File”, cliccare su nuovo progetto ; verrà visualizzato l’editor delle sezioni (figura 33); selezionare la tipologia **rettangolare** e cliccare sul pulsante “Nuovo”.

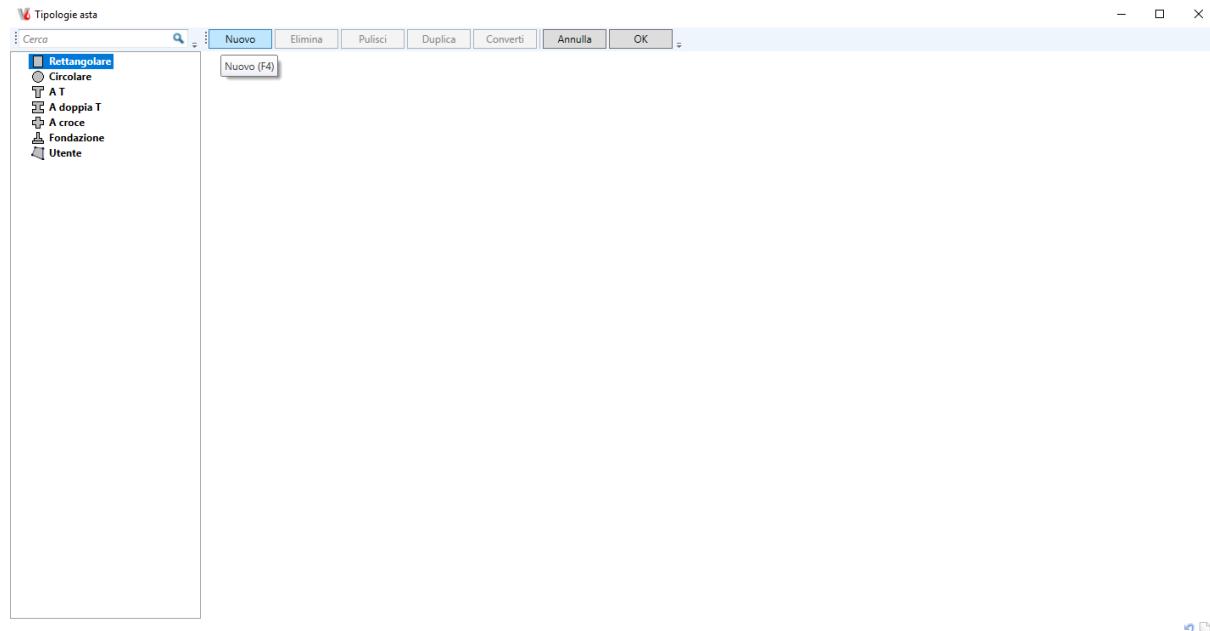


Figura 33 - Editor delle sezioni.

Dovendo studiare la parte simmetrica bassa della sezione 30x60 (figura 32), digitare le dimensioni  $B = 15$  cm e  $H = 30$  cm e cliccare sul pulsante “OK” per confermare la scelta.

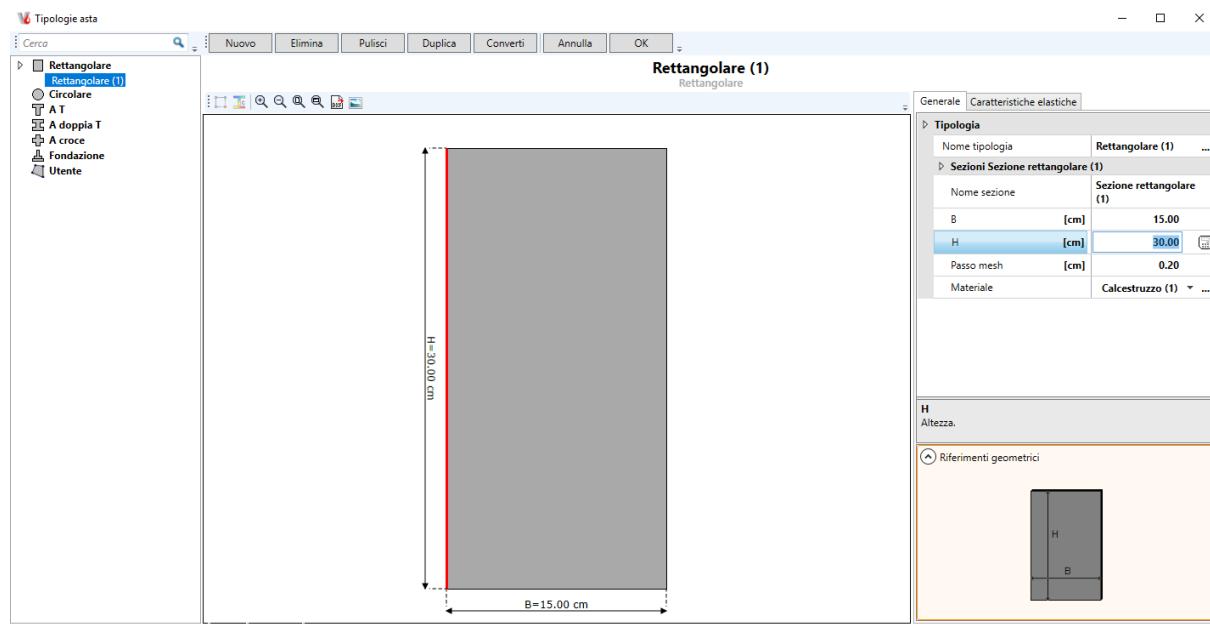


Figura 34 - Inserimento porzione simmetrica sezione 30x60 cm.

Dall’ambiente principale di VeReF, selezionare i lati 2-3 e 3-4 con il click del cursore del mouse, spuntare “bordo adiabatico” dalla tabella delle proprietà (figura 35) e deselezionare



il tutto mediante la funzione “Esci” (disponibile dal menù “Home” o mediante il menù attivabile con il click del tasto destro del mouse).



Figura 35 - Assegnazione bordi adiabatici.

Allo stesso modo, selezionare i lati rimanenti, assegnare “Incendio nominale standard” dalla tabella delle proprietà alla voce “Curva tempo-temperatura”, modificare il coefficiente di radiazione portandolo a 0.7 e diselezionare il tutto mediante il comando “Esci”.

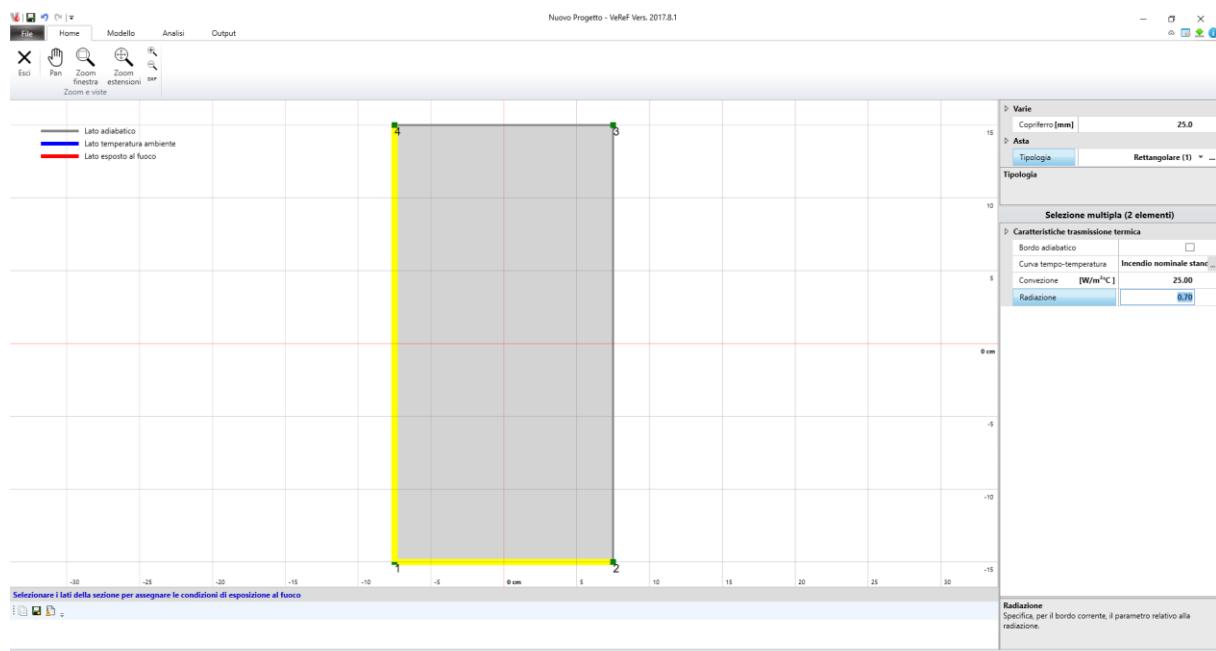


Figura 36 - Assegnazione lati esposti al fuoco.



Dal menù “Modello”, mediante il comando “Materiali”, è possibile accedere all’omonimo editor; selezionare il materiale calcestruzzo(1), modificare il contenuto di umidità da 0% a 1.5% e per visualizzare la dipendenza rispetto alla temperatura nel grafico selezionare “Calore specifico” (figura 37).

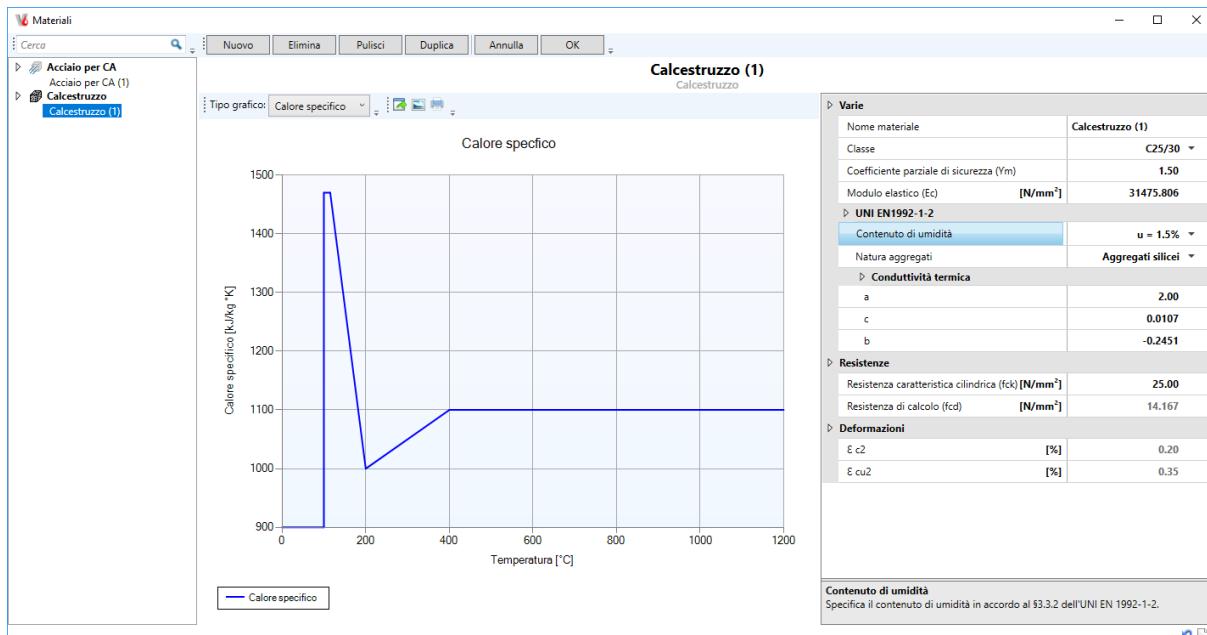


Figura 37 - Editor dei materiali (visualizzazione calore specifico).

Modificare i coefficienti che definiscono la dipendenza funzionale della conduttività termica rispetto alla temperatura in  $a = 1.36$ ,  $b = -0.136$ ;  $c = 0.0057$  e per visualizzare il grafico selezionare “conduttività” (figura 38).

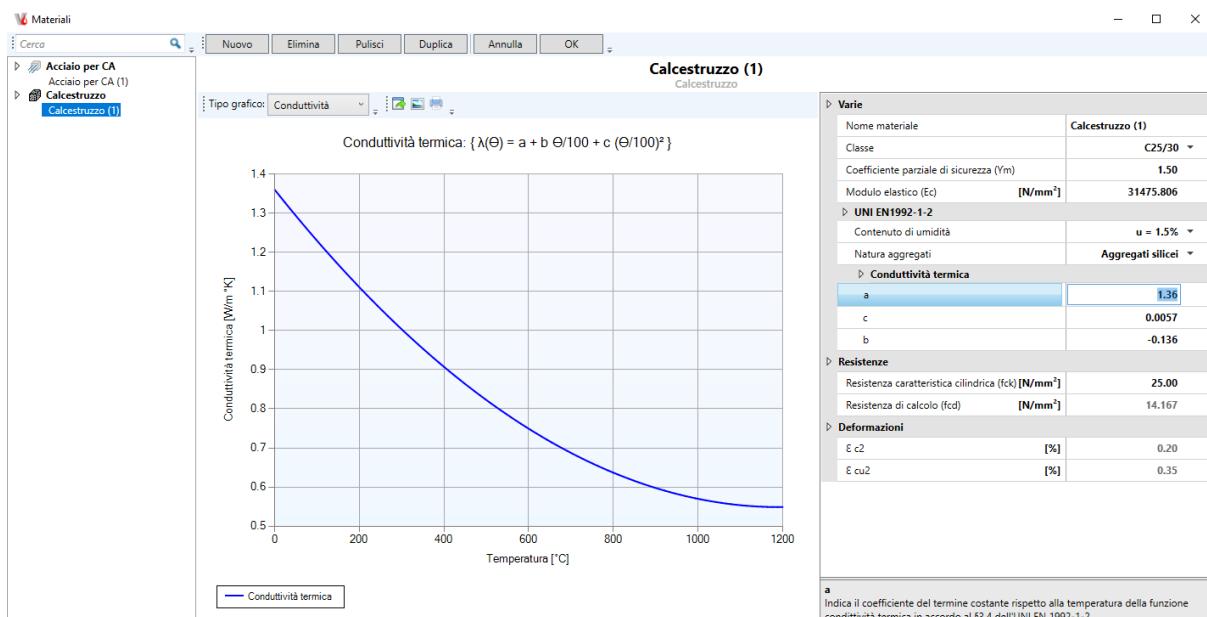


Figura 38 - Editor dei materiali (visualizzazione conduttività termica).



Dal menù “Analisi”, mediante il comando “Dati” presente nel sottogruppo “Analisi termica”, è possibile accedere all’editor dei dati generali dell’analisi termica; modificare il “Passo mesh” portandolo ad 1 cm e cliccare sul pulsante “OK” per confermare.

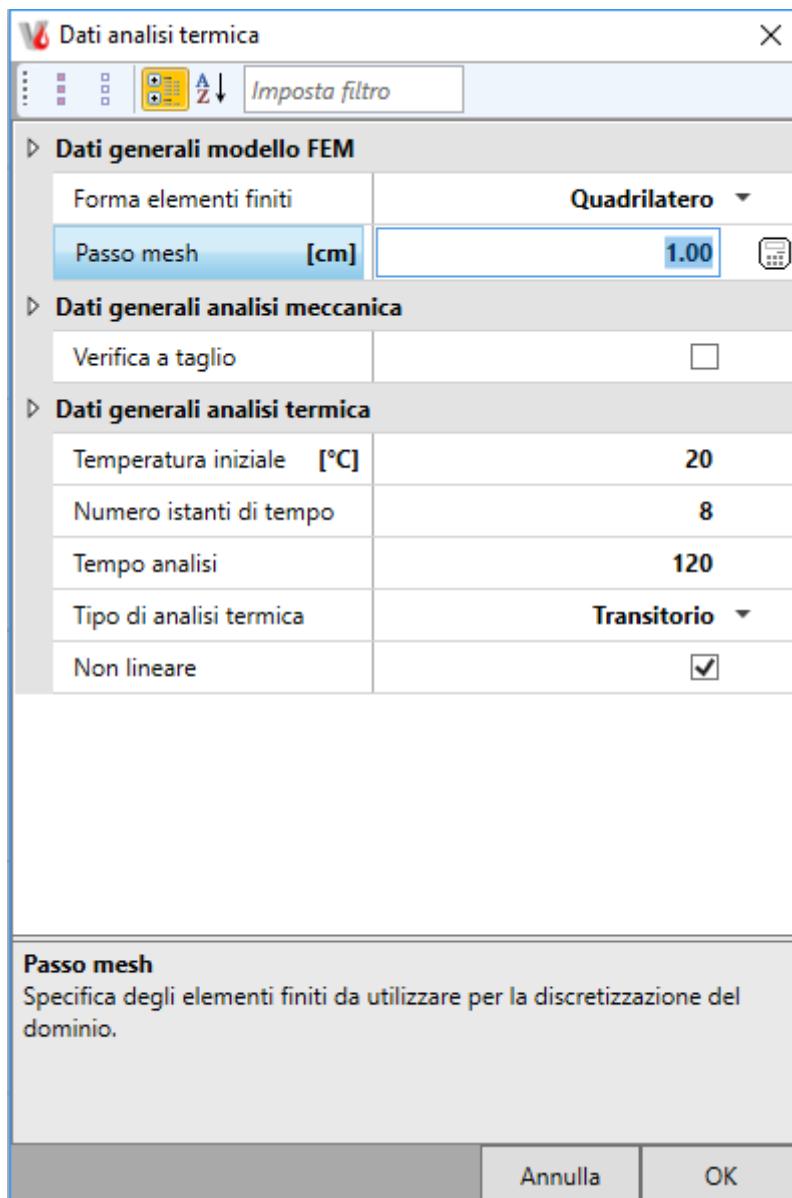
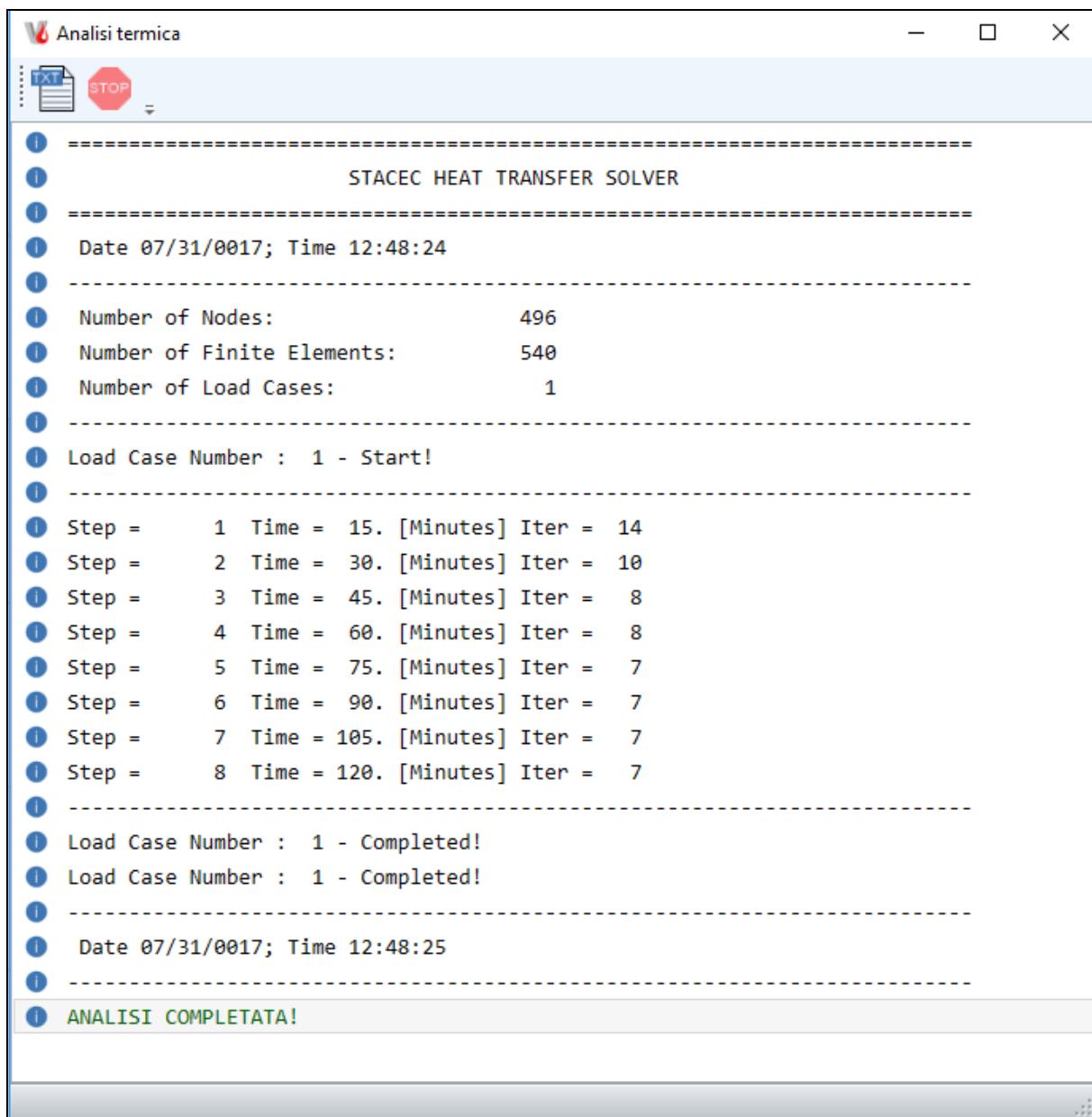


Figura 39 - Menù dati analisi termica.

### 6.1.2 Analisi termica della sezione

Mediante il comando “Brucia” presente dal Menù “Analisi termica” avviare il solutore; conclusa l’analisi nella finestra dei messaggi, se tutto è andato a buon fine, apparirà la scritta “ANALISI COMPLETATA!”; chiudere la finestra per ritornare all’interfaccia principale del software.



```

Analisi termica
EXT STOP

=====
STACEC HEAT TRANSFER SOLVER
=====

Date 07/31/0017; Time 12:48:24
-----
Number of Nodes: 496
Number of Finite Elements: 540
Number of Load Cases: 1
-----
Load Case Number : 1 - Start!
-----
Step = 1 Time = 15. [Minutes] Iter = 14
Step = 2 Time = 30. [Minutes] Iter = 10
Step = 3 Time = 45. [Minutes] Iter = 8
Step = 4 Time = 60. [Minutes] Iter = 8
Step = 5 Time = 75. [Minutes] Iter = 7
Step = 6 Time = 90. [Minutes] Iter = 7
Step = 7 Time = 105. [Minutes] Iter = 7
Step = 8 Time = 120. [Minutes] Iter = 7
-----
Load Case Number : 1 - Completed!
Load Case Number : 1 - Completed!
-----
Date 07/31/0017; Time 12:48:25
-----
ANALISI COMPLETATA!

```

Figura 40 - Interfaccia utente solutore analisi termica.

### 6.1.3 Risultati

Dal menù “Analisi” mediante il comando “Plot” è possibile visualizzare le mappature termiche. Attivare la visualizzazione dell’isoterma 500 °C mediante l’omonimo comando contenuto all’interno del menù “Analisi” ed attivare la visualizzazione della griglia mediante il comando “Griglia” presente nel sottogruppo “Elementi Finiti”.

Al fine di visualizzare i risultati relativi ad un tempo di esposizione al fuoco di 60 minuti selezionare tale valore all’interno dell’apposito comboBox presente nel sottogruppo “Analisi termica”. Infine, settare il valore minimo, il valore massimo e il numero di isoterme della colormap rispettivamente a 100 °C, 1000 °C e 9 isoterme in maniera da ottenere un’isoterma ogni 100 °C.

Le mappe termiche così ottenute (figura 41) sono facilmente confrontabili con quanto riportato nella figura A.7.a dell’UNI EN 1992-1-2 (figura 42).



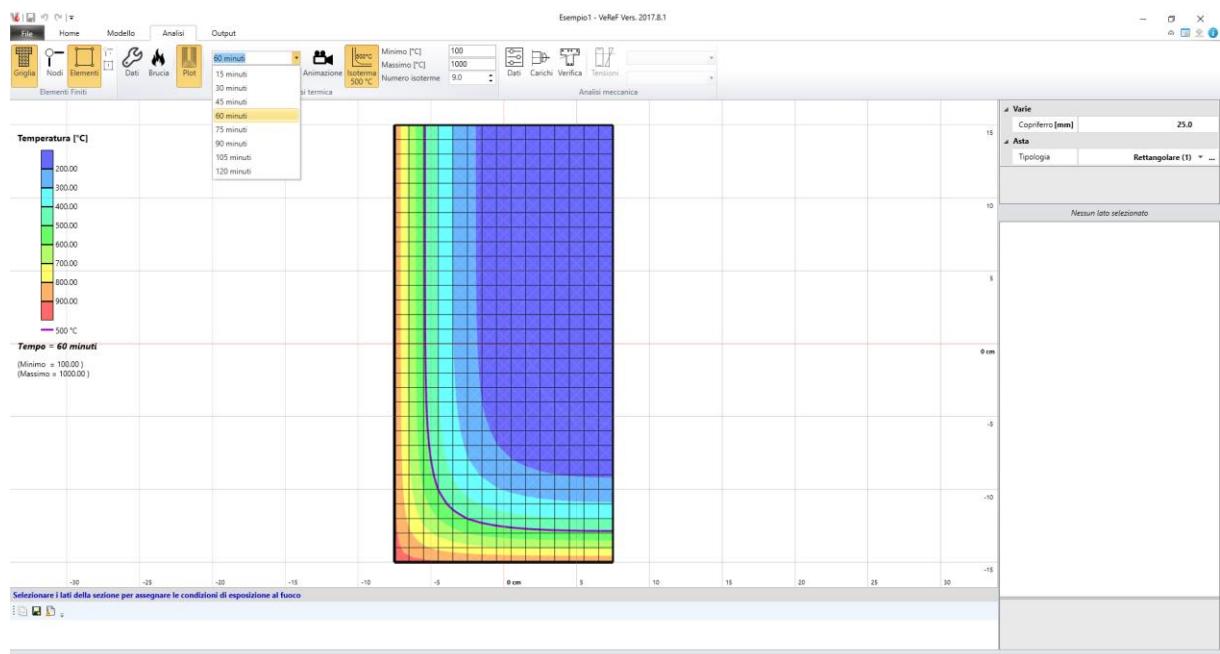
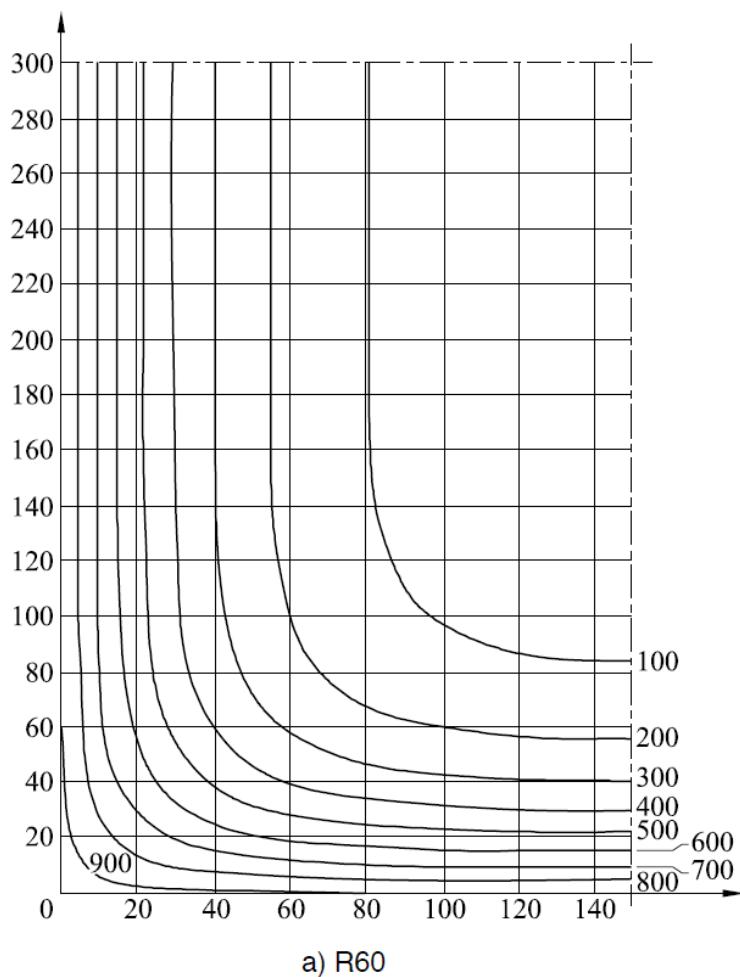


Figura 41 - Risultati analisi termica (t = 60 min).



a) R60

Figura 42 - Mappatura termica di una sezione rettangolare 30x60 per un tempo di esposizione al fuoco di 60 minuti (Appendice A UNI EN 1992-1-2).



## 6.2 Esempio 2 (Verifica di resistenza di una sezione in C.A. per $t = 120$ min)

Il seguente esempio consiste nella verifica di una trave in cemento armato, continua su tre appoggi (figura 43) avente sezione di 40x80 cm, prima e dopo l'esposizione ad un incendio nominale standard per 2 ore. La soletta, avente spessore di 15 cm, è collaborante con le travi, per cui la sezione resistente di ogni trave è a T.

Le caratteristiche della struttura vengono di seguito riportate:

- Forma della della sezione a T (vedi figura 44);
- Curva d'incendio di tipo Nominale Standard ( $t = 120$  min);
- Calore specifico del calcestruzzo indicato nel punto 3.3.2 dell'UNI EN 1992-1-2 con contenuto di umidità dell'1.5%.
- Conduttività termica assunta pari al limite inferiore riportato al punto 3.3.3 dell'UNI EN 1992-1-2;
- Emissività delle superfici di calcestruzzo esposte al fuoco pari a 0.70;
- Fattore di convezione delle superfici esposte al fuoco pari a  $25 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$ ;
- Resistenza caratteristica del calcestruzzo  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ ;
- Resistenza caratteristica a snervamento dell'acciaio  $f_{yk} = 300 \text{ Mpa}$ ;
- Peso specifico del calcestruzzo  $\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$ ;
- Luce della trave  $L = 13 \text{ m}$ ;
- Larghezza della zona di pertinenza (carico gravante su ogni trave)  $b_t = 2 \text{ m}$ ;
- Larghezza della soletta collaborante  $b_e = 2 \text{ m}$ ;
- Carico variabile  $Q = 3.0 \text{ kN/m}^2$ ;
- Destinazione d'uso: *magazzino*.

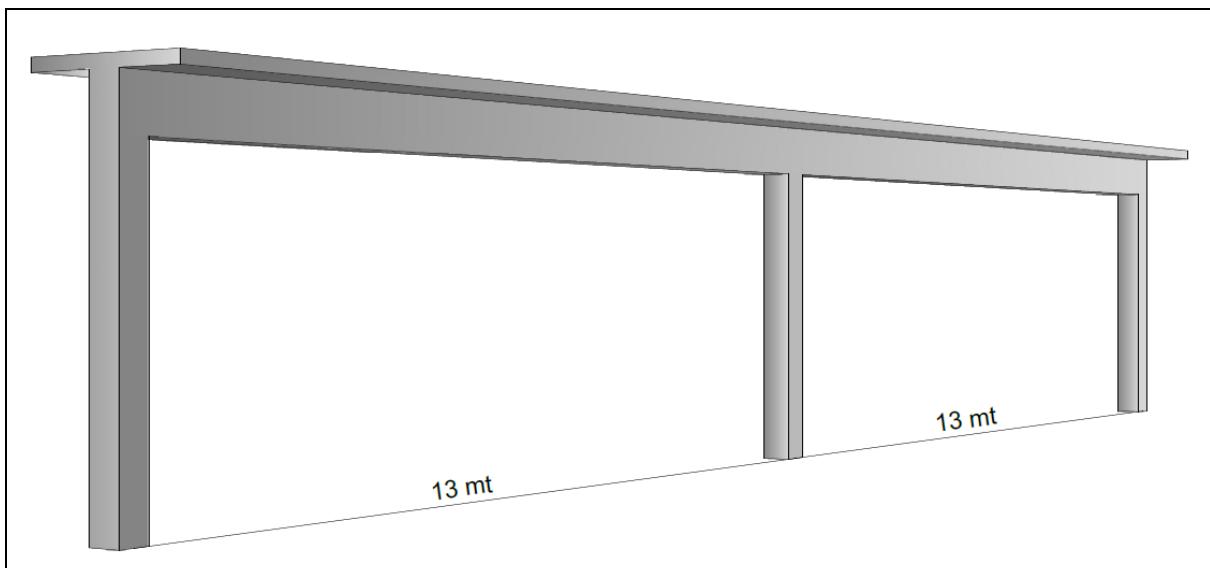


Figura 43 - Trave continua su tre appoggi esposta ad incendio nominale standard per un tempo di 120 min.

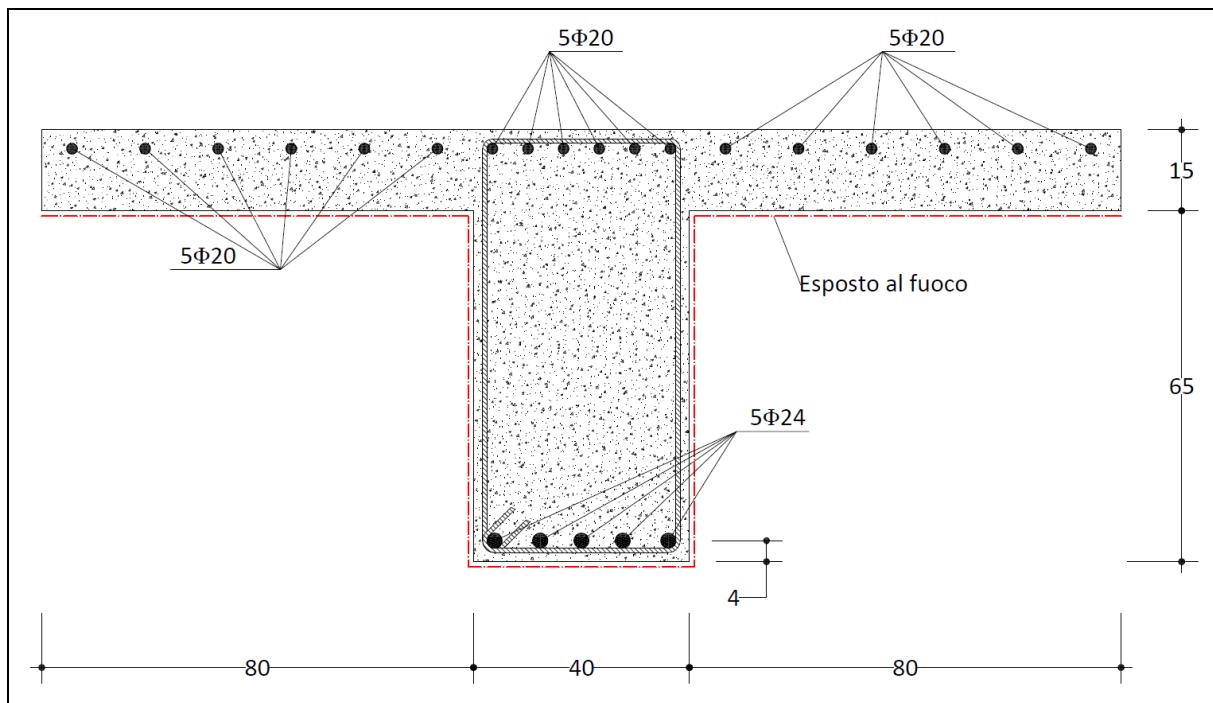


Figura 44 - Sezione trave continua esposta ad incendio nominale standard per un tempo di 120 min.

### 6.2.1 Analisi dei carichi

I carichi agenti sull'strutturale analizzato sono:

- Carico permanente (peso proprio):  $G = (0.15 \times 4.0 + 0.65 \times 0.4) \times 24 = 20.6 \text{ kN/m}$ ;
- Carico variabile:  $Q = 3.0 \times 4.0 = 12.0 \text{ kN/m}$ .

Nel caso di incendio, i carichi aventi la maggiore probabilità di essere applicati sono molto inferiori a quelli da assumere nella progettazione in condizioni ambientali ordinarie, e pertanto anche le combinazioni di carico sono diverse. A tal proposito, l'Eurocodice fornisce la seguente relazione per ottenere il livello di carico di progetto in caso di incendio:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d$$

dove  $\eta_{fi}$  è un fattore di riduzione per il livello di carico di progetto in situazioni di incendio. Si raccomanda che il fattore di riduzione sia preso pari a:

$$\eta_{fi} = (G_k + \psi_{1,1} Q_{k,1}) / (\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1})$$

Nel caso specifico, trattandosi di un magazzino, risulta:

- $\psi_{1,1} = 0.9$
- $\gamma_G = 1.35$
- $\gamma_Q = 1.50$

pertanto:

$$\eta_{fi} = (20.6 + 0.9 \times 12.0) / (1.35 \times 20.6 + 1.50 \times 12.0) = 0.6854$$

Il carico totale uniformemente distribuito a temperatura ambiente risulta:

$$w_c = 1.35 \times 20.6 + 1.50 \times 12.0 = 45.81 \text{ kN/m}$$

in caso di esposizione al fuoco:

$$w_f = 0.6854 \times 45.81 = 31.40 \text{ kN/m}$$

Nella tabella seguente vengono riportati i valori del momento flettente agente nella sezione di mezzeria della campata ed all'appoggio con e senza incendio. Tali valori sono ottenuti mediante le seguenti relazioni:

$$M^+ = 9 w L^2 / 128; M^- = w L^2 / 8$$

Tempo di esposizione [min]	Momento in mezzeria [kN-m]	Momento all'appoggio [kN-m]
0	544	968
120	373	663

Tabella 1 - Azioni flettenti sollecitanti in mezzeria ed all'appoggio della trave con e senza incendio.

## 6.2.2 Inserimento dei dati in VeReF

Una volta avviato il software creare un nuovo progetto e definire una sezione a T con le caratteristiche indicate in figura 44. Di seguito si riporta quanto visualizzato nell'editor delle sezioni:

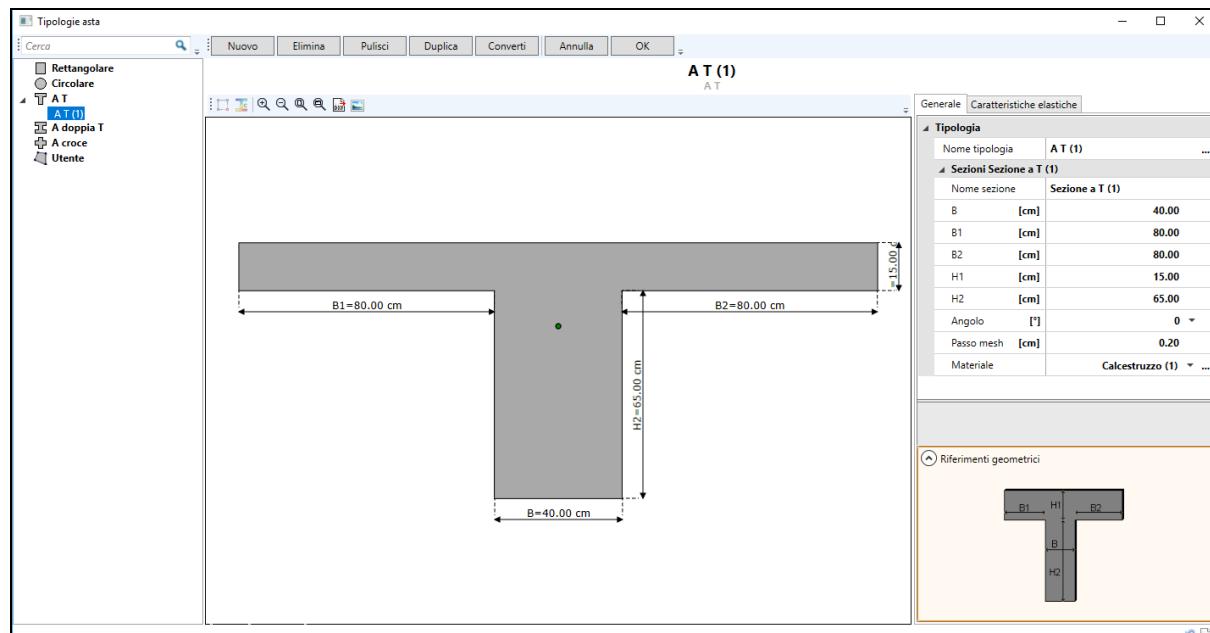


Figura 45 - Editor delle sezioni (sezione a T).

Inserire le armature mediante l'ambiente dedicato ed una volta completato l'inserimento modificare il passo del coprifero al valore di 2.5 cm dalla tabella delle proprietà presente nell'interfaccia principale del software.



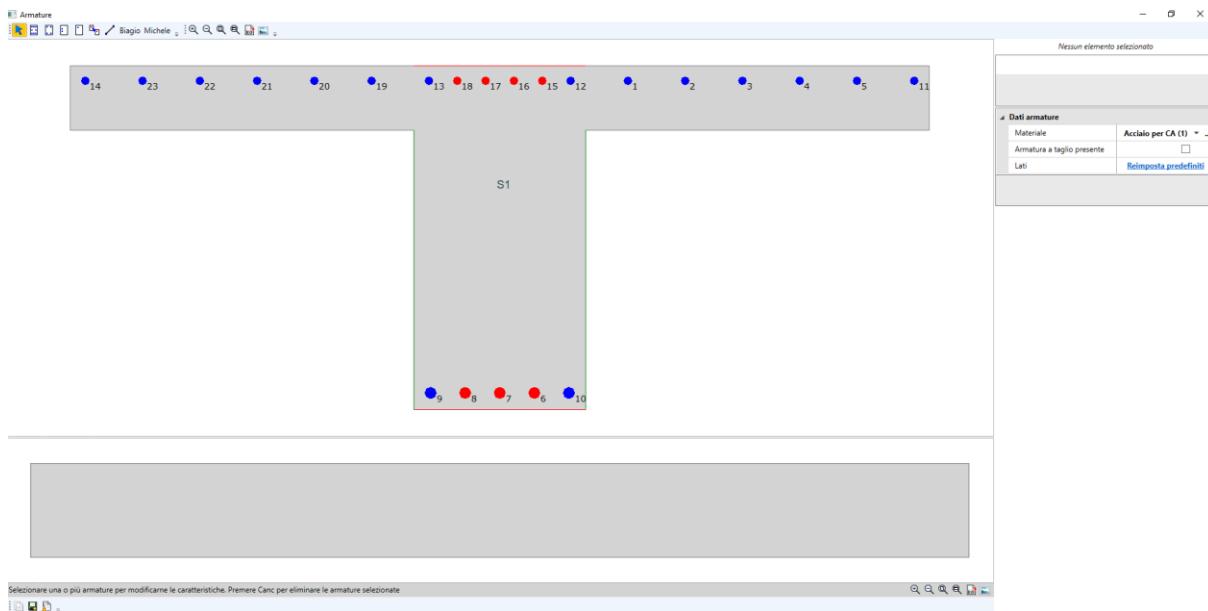


Figura 46 - Assegnazione armature a flessione.

Dall'ambiente principale di VeReF, selezionare i lati 9-8 e 4-5 con il click del cursore del mouse, spuntare “bordo adiabatico” dalla tabella delle proprietà (figura 35) e deselezionare il tutto mediante la funzione “Esci” (disponibile dal menù “Home” o mediante il menù attivabile con il click del tasto destro del mouse).

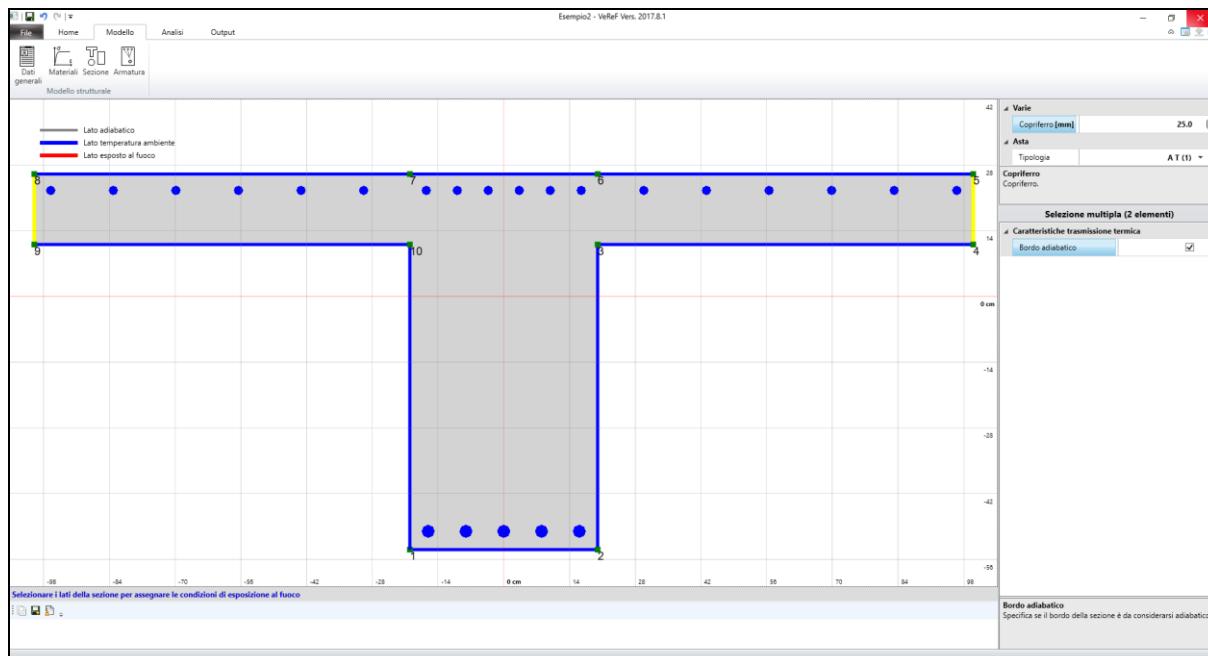


Figura 47 - Assegnazione bordi adiabatici (sezione a T).

Allo stesso modo, selezionare i lati 9-10, 1-2 e 3-4 ed assegnare “Incendio nominale standard” dalla tabella delle proprietà alla voce “Curva tempo-temperatura”, modificare il coefficiente di radiazione portandolo a 0.7 e deselezionare il tutto mediante il comando “Esci”.



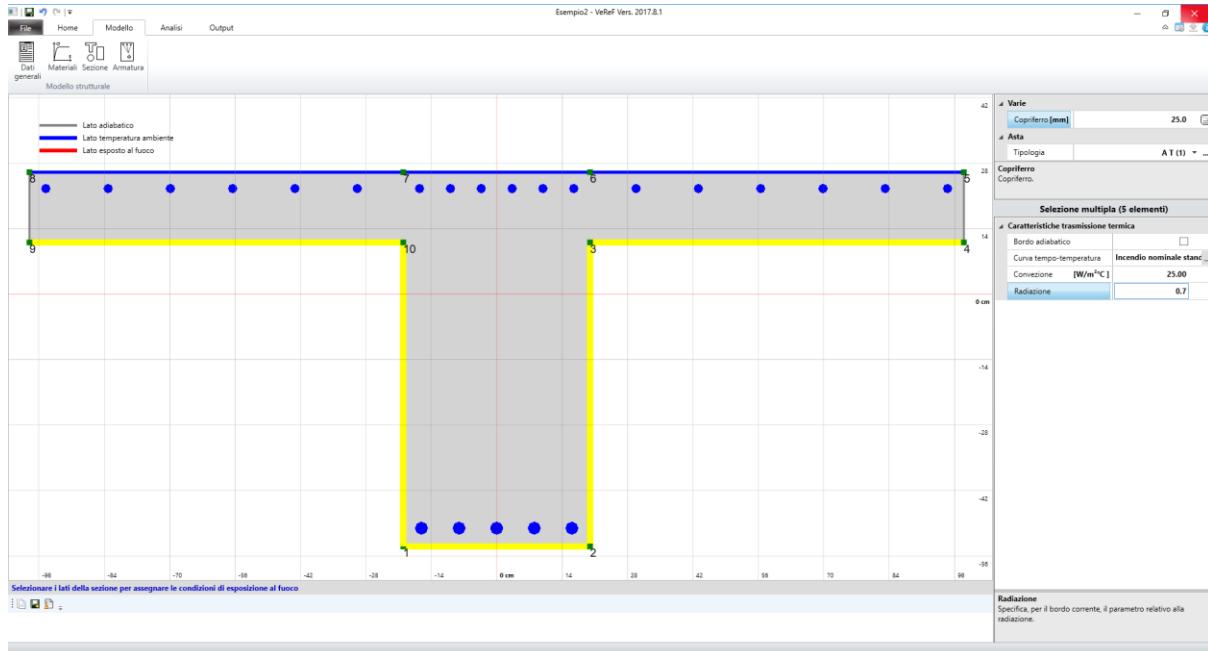


Figura 48 - Assegnazione lati esposti al fuoco (sezione a T).

Dal menù “Modello”, mediante il comando “Materiali”, è possibile accedere all’omonimo editor; selezionare il materiale calcestruzzo(1), modificare la classe del cls portandola a C30/37, modificare il coefficiente parziale di sicurezza portandolo ad 1.0, modificare il contenuto di umidità da 0% a 1.5% e per visualizzare la dipendenza rispetto alla temperatura nel grafico selezionare “Calore specifico” (figura 37).

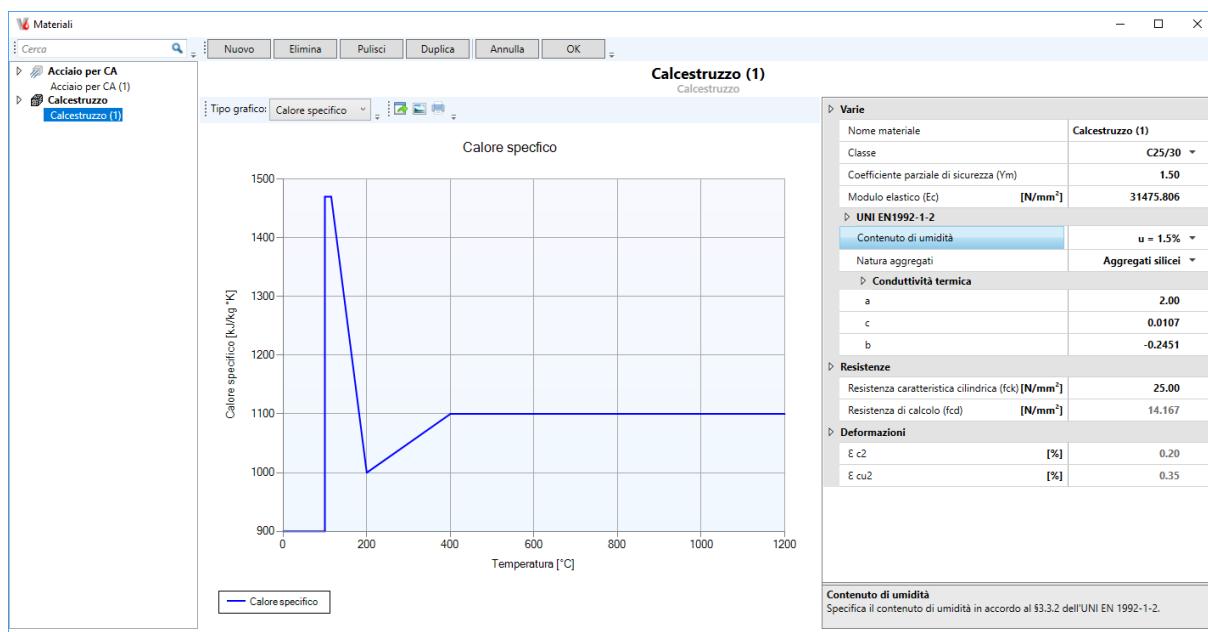


Figura 49 - Editor dei materiali (visualizzazione calore specifico).

Modificare i coefficienti che definiscono la dipendenza funzionale della conduttività termica rispetto alla temperatura in  $a = 1.36$ ,  $b = -0.136$ ;  $c = 0.0057$  e per visualizzare il grafico selezionare “conduttività” (figura 38).



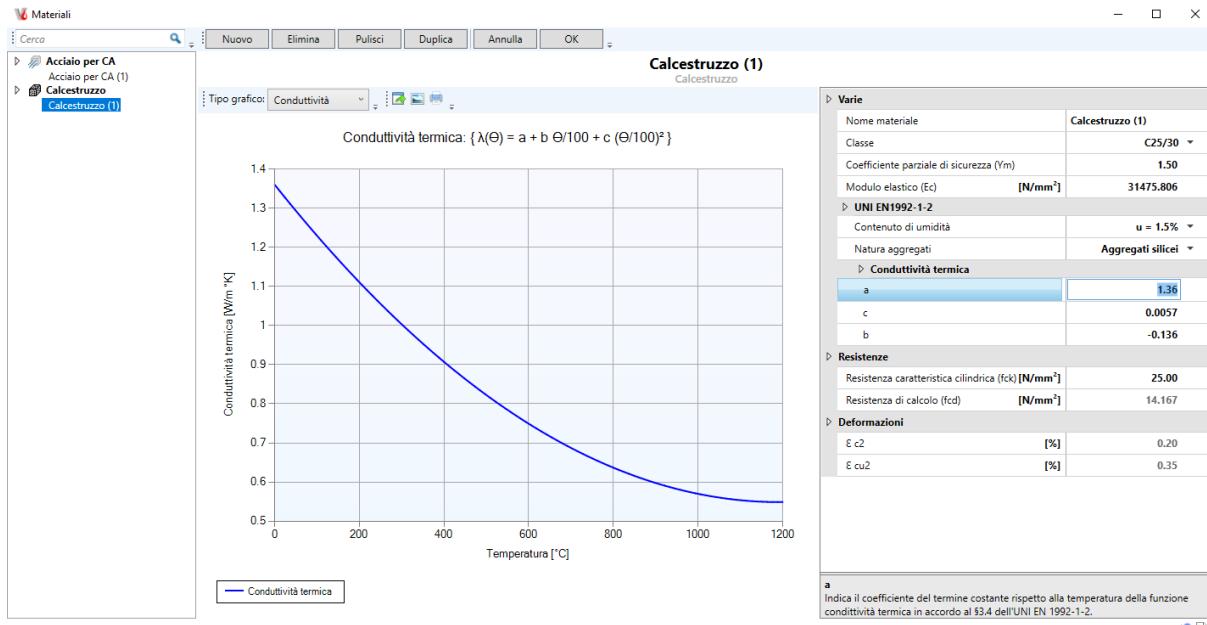


Figura 50 - Editor dei materiali (visualizzazione conduttività termica).

Selezionare il materiale Acciaio per CA (1) e modificare il coefficiente parziale di sicurezza portandolo ad 1.0 ed il fattore di incrudimento b portandolo a 0.0.

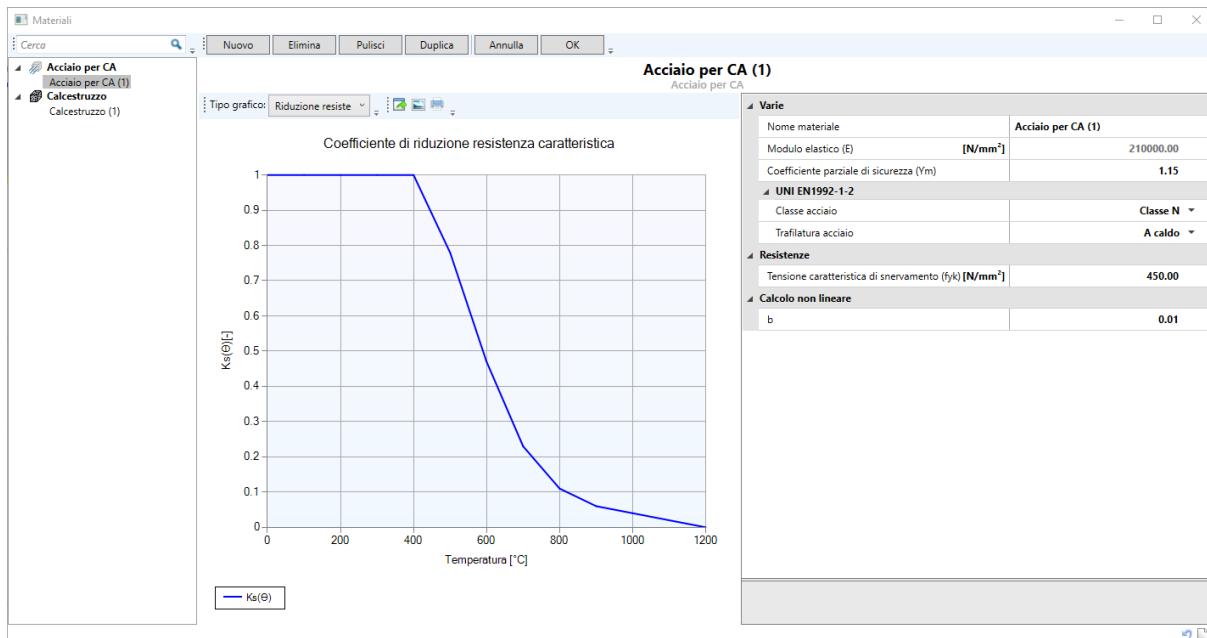


Figura 51 - Caratteristiche acciaio armature.

Dal menù “Analisi”, mediante il comando “Carichi” presente nel sottogruppo “Analisi meccanica” accedere alla lista delle condizioni di carico in modo da inserire i valori riportati in tabella 1. Aggiungere 4 condizioni nominandole come segue: *Mezzeria t=0, Appoggio t=0, Mezzeria t=120 ed Appoggio t=120*. Assegnare i valori del momento flettente riportati in tabella 1 nella colonna di  $M_2$  con segno positivo per quelli relativi alla mezzeria e con segno

negativo per quelli relativi all'appoggio. Infine, per le ultime due condizioni di carico modificare il tempo di esposizione portandolo a 120 min.

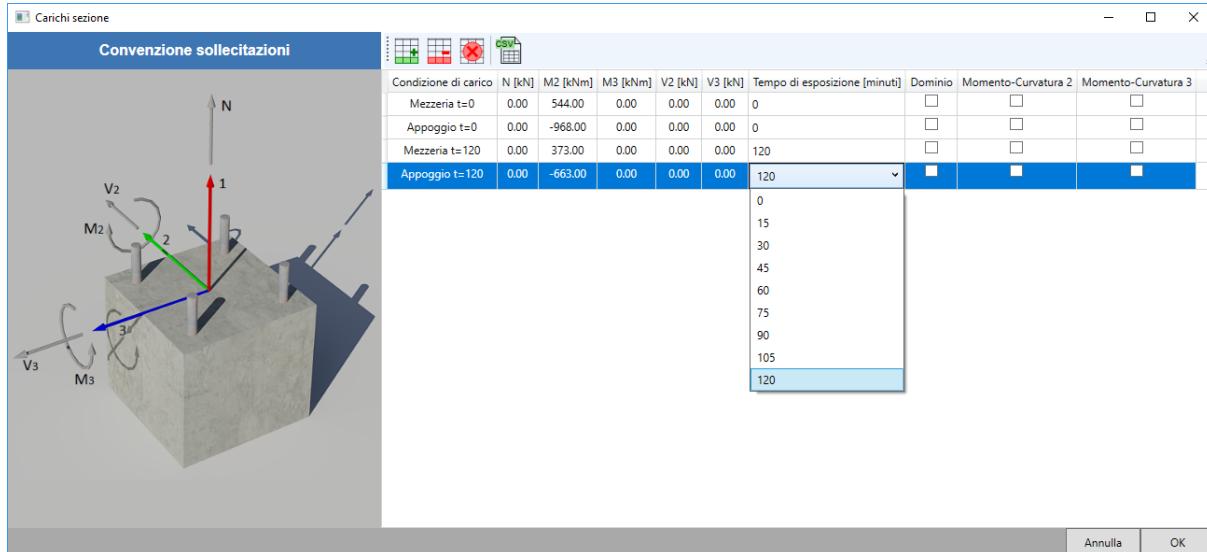


Figura 52 - Condizioni di carico sezione a T.

### 6.2.3 Analisi termica della sezione

Mediante il comando “Brucia” presente dal Menù “Analisi termica” avviare il solutore; conclusa l’analisi nella finestra dei messaggi, se tutto è andato a buon fine, apparirà la scritta “ANALISI COMPLETATA!”; chiudere la finestra per ritornare all’interfaccia principale del software.

### 6.2.4 Analisi meccanica della sezione

Mediante il comando “Verifica” presente dal Menù “Analisi meccanica” avviare il solutore; conclusa l’analisi nella finestra dei messaggi, se tutto è andato a buon fine, apparirà la scritta “ANALISI COMPLETATA!”; chiudere la finestra per ritornare all’interfaccia principale del software.

### 6.2.5 Risultati analisi termica

Dal menù “Analisi” mediante il comando “Plot” è possibile visualizzare le mappature termiche. Attivare la visualizzazione dell’isoterma 500 °C mediante l’omonimo comando contenuto all’interno del menù “Analisi” ed attivare la visualizzazione della griglia mediante il comando “Griglia” presente nel sottogruppo “Elementi Finiti”.

Al fine di visualizzare i risultati relativi ad un tempo di esposizione al fuoco di 120 minuti selezionare tale valore all’interno dell’apposito comboBox presente nel sottogruppo “Analisi termica”. Infine, settare il valore minimo, il valore massimo e il numero di isoterme della colormap rispettivamente a 100 °C, 1200 °C e 11 isoterme in maniera da ottenere un’isoterma ogni 100 °C.

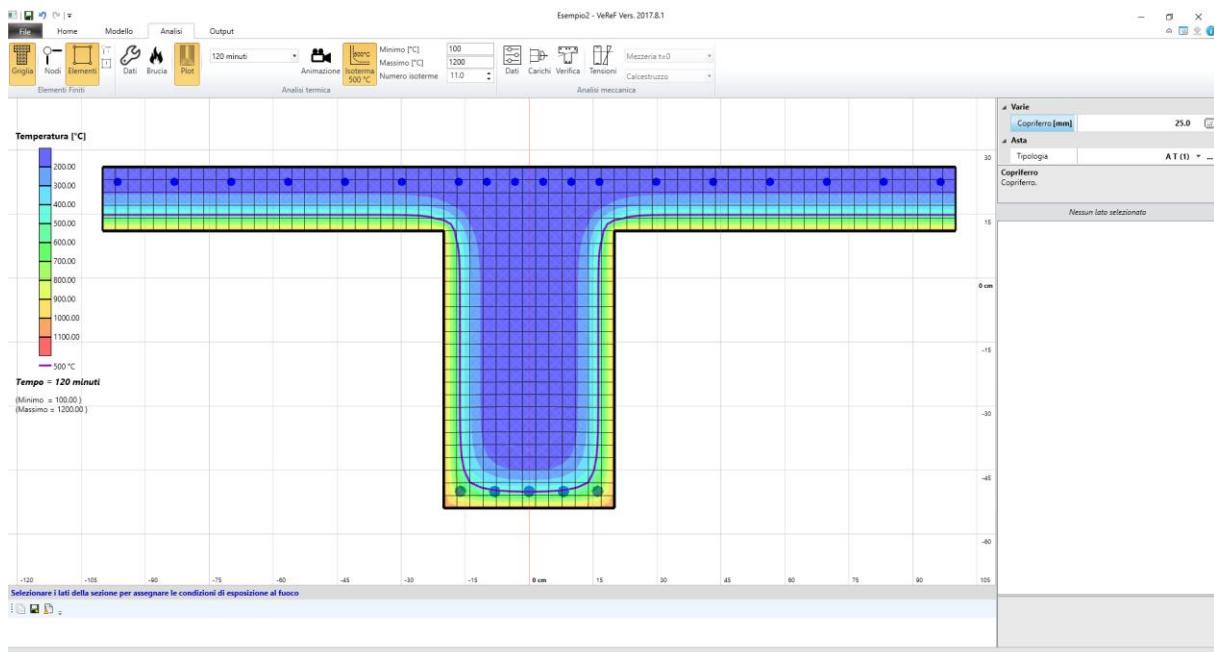


Figura 53 - Mappatura termica sezione a T per un tempo di esposizione al fuoco di 2 ore.

### 6.2.6 Risultati analisi meccanica

Dal menù “Analisi” mediante il comando “Tensioni” è possibile visualizzare lo stato tensionale dei materiali che costituiscono la sezione per ogni condizione di carico analizzata. Dal comboBox delle condizioni di carico (vedi figura 54) è possibile avere immediatamente una panoramica delle condizioni la cui verifica ha dato esito positivo o viceversa, osservando il colore (verde o rosso) con cui queste vengono riportate nella lista.

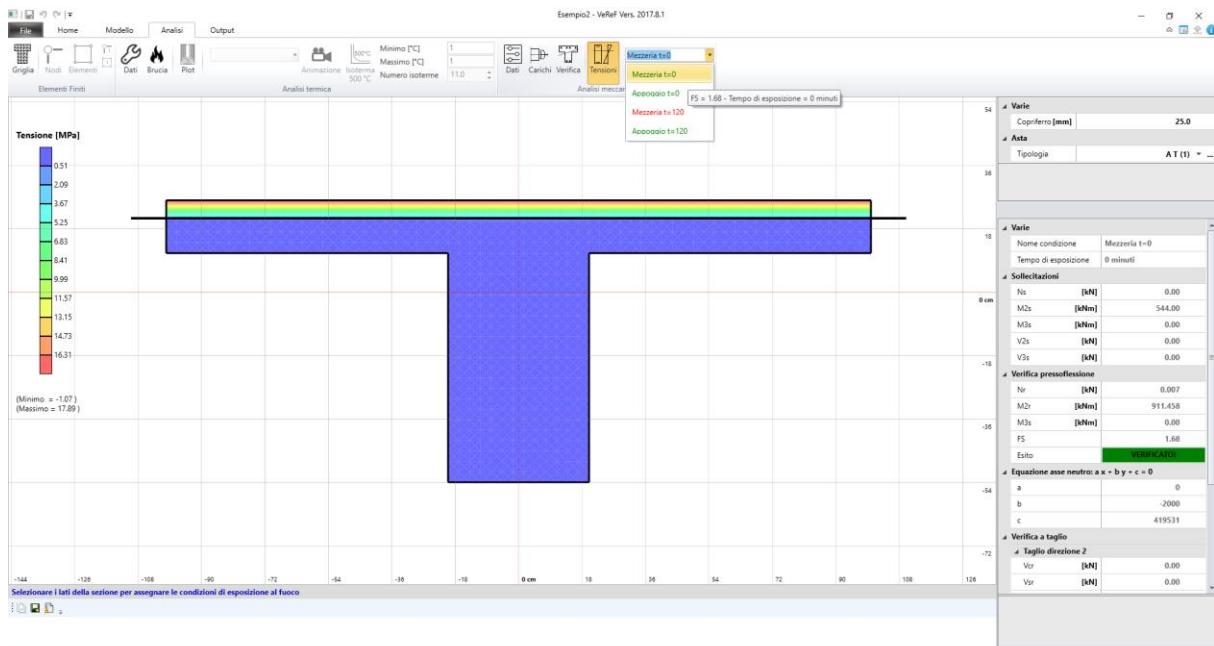


Figura 54 - Stato tensionale del calcestruzzo per la condizione di carico "Mezzeria t = 0".



Nella tabella delle proprietà è possibile visualizzare i risultati della verifica condotta per la singola condizione in modo più dettagliato. Vengono riportate le azioni sollecitanti e resistenti, i coefficienti di sicurezza nonché l'esito della verifica.

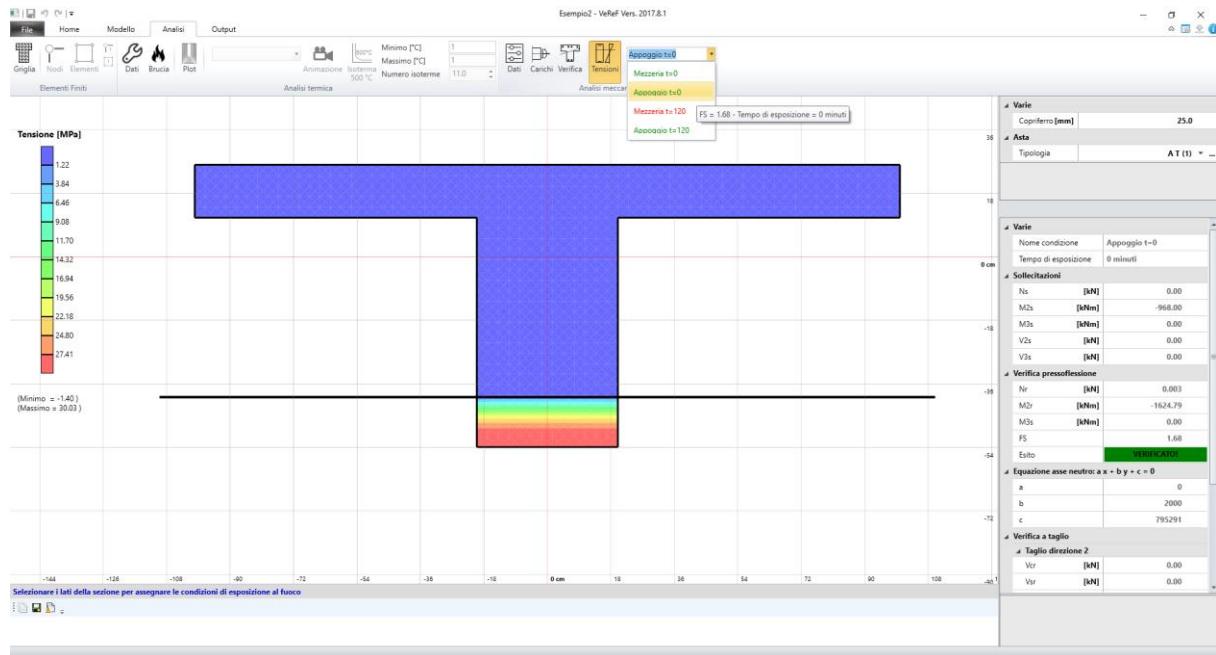


Figura 55 - Stato tensionale del calcestruzzo per condizione di carico "Appoggio t=0".

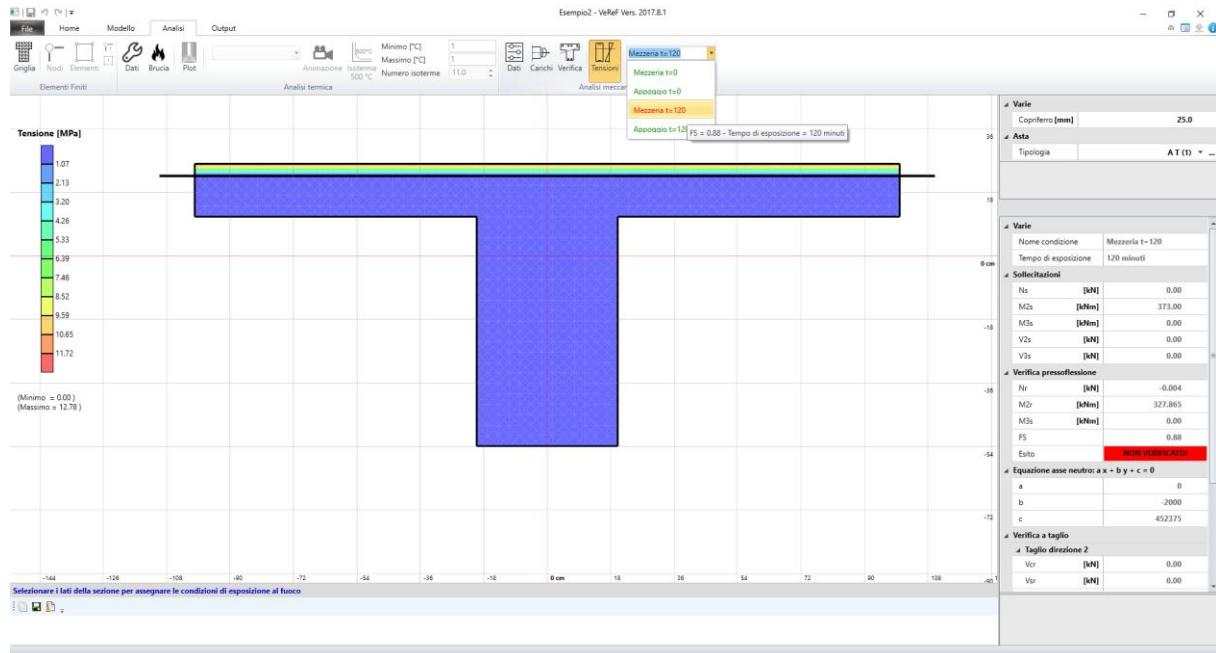


Figura 56 - Stato tensionale del calcestruzzo per condizione di carico "Mezzeria t=120".



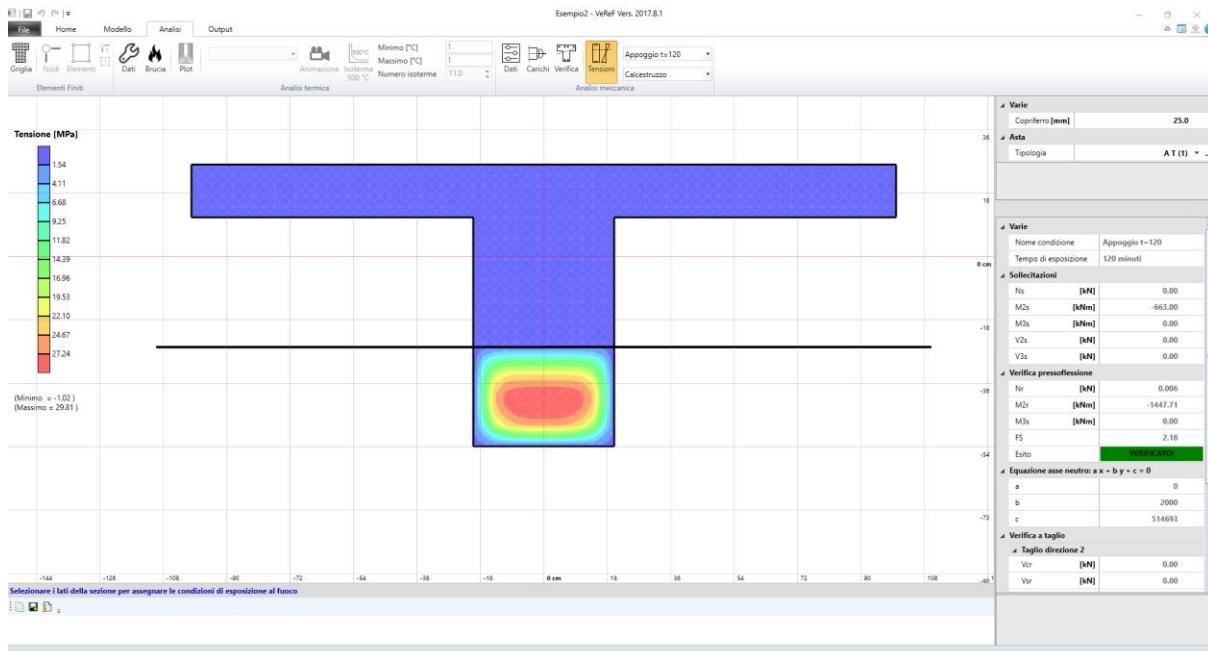


Figura 57 - Stato tensionale del calcestruzzo per condizione di carico "Appoggio t=120".

Nella tabella seguente vengono riassunti i risultati delle verifiche a flessione effettuate:

Condizione di carico	Tempo esposizione [min]	$N_s$ [kN]	$M_{2,S}$ [kN-m]	$M_{3,S}$ [kN-m]	$N_R$ [kN]	$M_{2,R}$ [kN-m]	$M_{3,R}$ [kN-m]	FS	ESITO
Mezzeria t=0	0	0	-544	0	0.00657649	911.458	-	1.68	OK
Appoggio t=0	0	0	968	0	0.00313487	-1624.79	-	1.68	OK
Mezzeria t=120	120	0	-373	0	-0.00377607	327.865	-	0.88	KO
Appoggio t=120	120	0	663	0	0.00586136	-1447.71	-	2.18	OK

Tabella 2 - Risultati verifiche a flessione.



## Sommario

1. Introduzione.....	4
2. Guida all'uso.....	5
2.1 Interfaccia grafica .....	5
2.2 Funzioni principali.....	5
2.3 Editors.....	10
3. Analisi Termica .....	15
3.1 Dati analisi termica .....	15
3.2 Discretizzazione della sezione .....	16
3.3 Assegnazione delle condizioni al contorno .....	16
3.4 Run analisi termica .....	20
3.5 Plot risultati analisi termica .....	21
4. Analisi meccanica della sezione e verifiche di sicurezza.....	22
4.1 Dati analisi meccanica .....	23
4.2 Carichi sezione .....	24
4.3 Run analisi meccanica e verifiche SLU .....	25
4.4 Dominio di rottura .....	26
4.5 Relazioni momento-curvatura.....	29
5. Relazione di calcolo.....	32
5.1 Gestione relazione .....	32
6. Esempi.....	33
6.1 Esempio 1 (Mappatura termica Appendice A UNI EN 1992-1-2) .....	33
6.2 Esempio 2 (Verifica di resistenza di una sezione in C.A. per $t = 120$ min).....	40

