



POLITECNICO
MILANO 1863

Luogo, Milano
Data 03/11/2016

**DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA,
INGEGNERIA DELLE
COSTRUZIONI E
AMBIENTE COSTRUITO**

Indirizzo
Piazza L. da Vinci 32
20113 Milano

ANALISI TERMICA DI UNA TRAVE TRALICCIATA PREM

INTRODUZIONE

La presente relazione illustra l'analisi termica eseguita su un conio di trave tralicciata PREM, a struttura mista acciaio-calcestruzzo, con piatto ed anime del traliccio in acciaio strutturale e barre longitudinali in acciaio da c.a., distanziate dallo stesso (in zona "fredda"), soggetto al carico termico dovuto all'incendio ed in assenza di qualsivoglia materiale protettivo all'intradosso del piatto.

L'analisi è stata eseguita inizialmente su un modello agli elementi finiti della sezione mista acciaio-calcestruzzo, mostrato nella figura 1, e successivamente è stata eseguita, per confronto, su un modello agli elementi finiti tridimensionale (Fig.2).

La modellazione agli elementi finiti è stata realizzata con l'ausilio del software di calcolo STRAUS7, e in particolare, per il modello piano, dopo aver approntato la geometria della sezione in ambiente CAD, quest'ultima è stata importata in Straus7 e successivamente è stata generata una Mesh costituita da elementi finiti "2D Plane Strain" di forma triangolare.

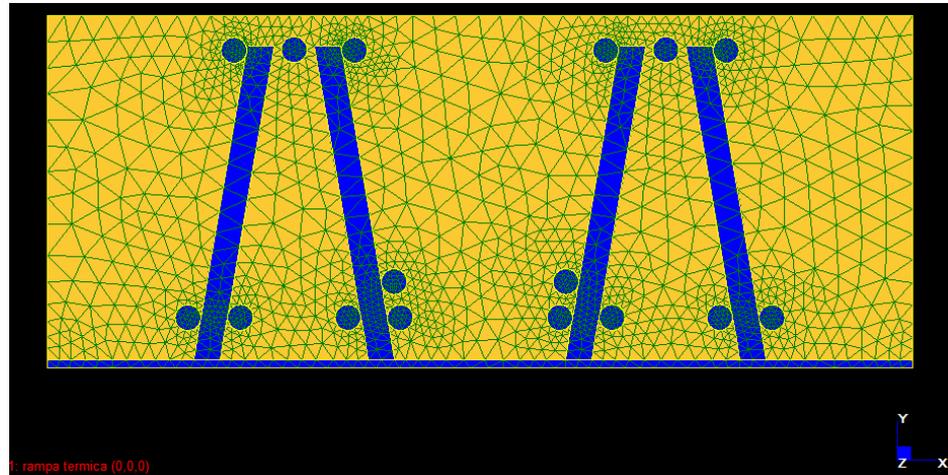


Fig.1 – modello piano

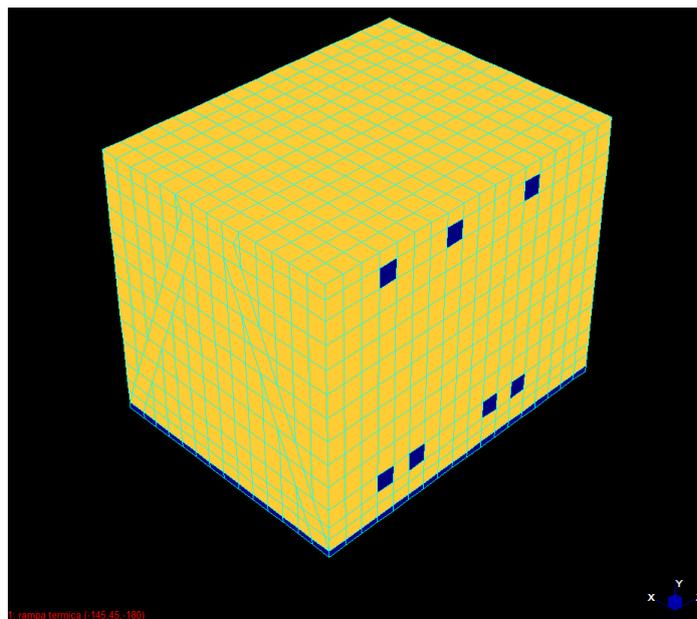


Fig.2 – modello tridimensionale

Il modello tridimensionale realizzato rappresenta un modulo tipo della trave PREM, costituito dalla piastra di base in acciaio sulla quale sono saldate le barre inclinate del traliccio e in corrispondenza delle quali sono saldate inferiormente e superiormente barre di armatura.

Il modello suddetto è composto da elementi finiti “brick” a 8 nodi e, data la complessità della geometria spaziale, al fine di ottenere una mesh coerente con la struttura reale e non eccessivamente onerosa per le elaborazioni numeriche, la struttura reale è stata semplificata con aste del



POLITECNICO
MILANO 1863

traliccio e le barre ad esse saldate di forma poligonale e non circolare, desumendo il lato della sezione, s , della singola barra in funzione del suo reale diametro ϕ , con la seguente formula:

$$s = \sqrt{\pi \cdot \frac{\phi^2}{4}}$$

Una ulteriore semplificazione geometrica adottata è stata quella di modellare il traliccio come se fosse verticale, non considerando così, la sua reale inclinazione.

In figura 3, è mostrata una vista tridimensionale del modello ad elementi finiti che ritrae le componenti metalliche della trave PREM, e in particolare la piastra di base in acciaio di spessore 10 mm, le aste del traliccio e le barre di armatura saldate al traliccio superiormente e inferiormente.

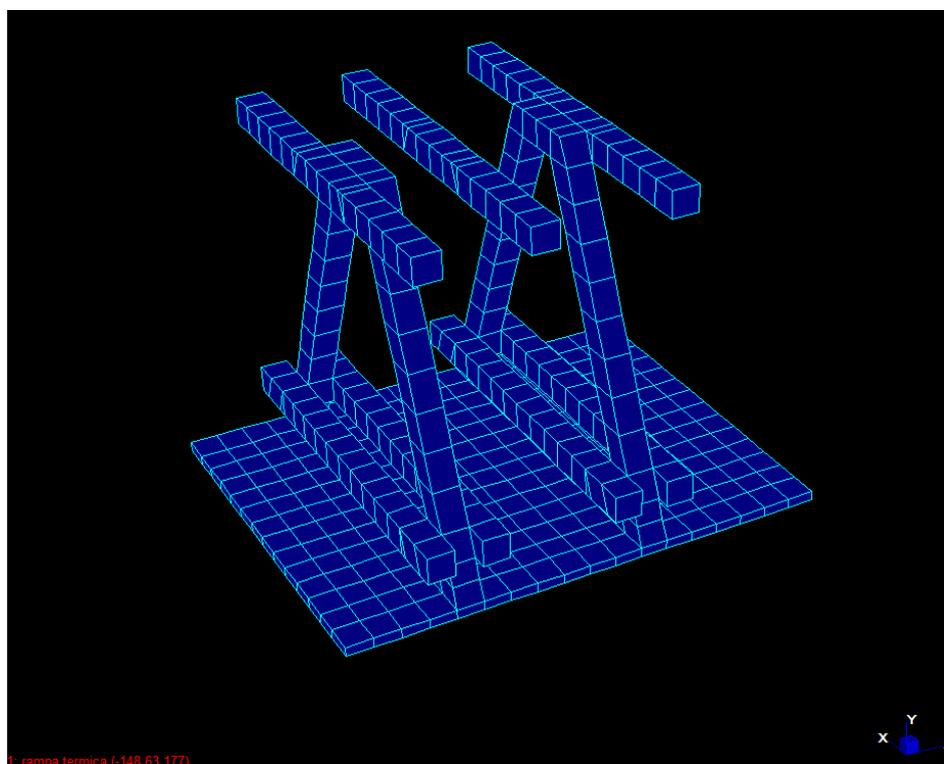


Fig.3 – componenti metalliche trave PREM



CARATTERISTICHE TERMICHE DEI MATERIALI

Nei grafici riportati nelle figure 4-5-6-7 si riportano i valori corrispondenti alle caratteristiche termiche dei materiali impiegati al variare della temperatura espressa in °C, indicate negli Eurocodici EC2 ed EC4.

Acciaio

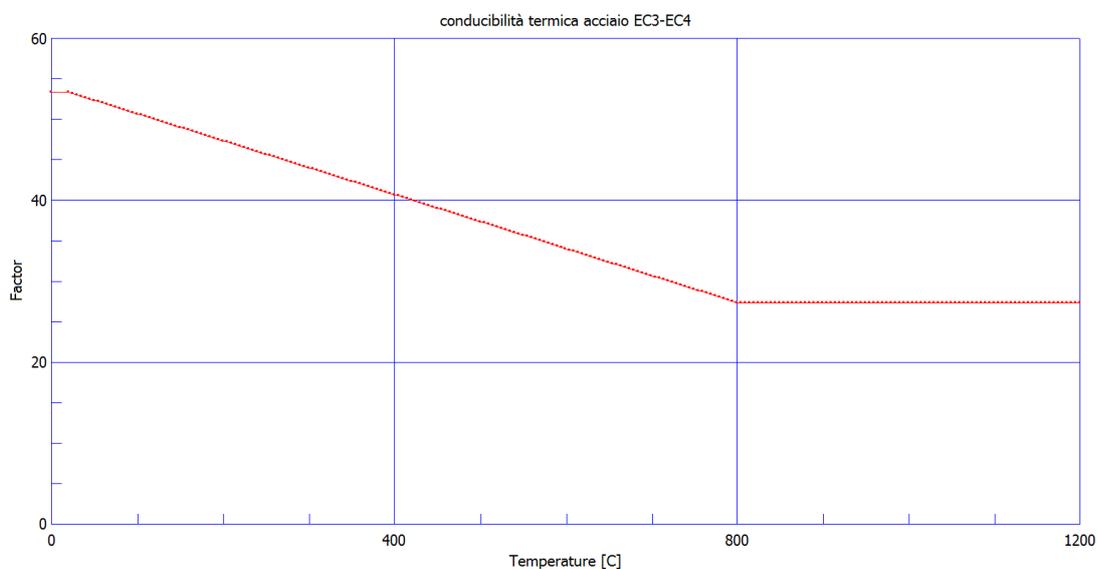


Fig. 4 – Conducibilità termica acciaio EC3-EC4

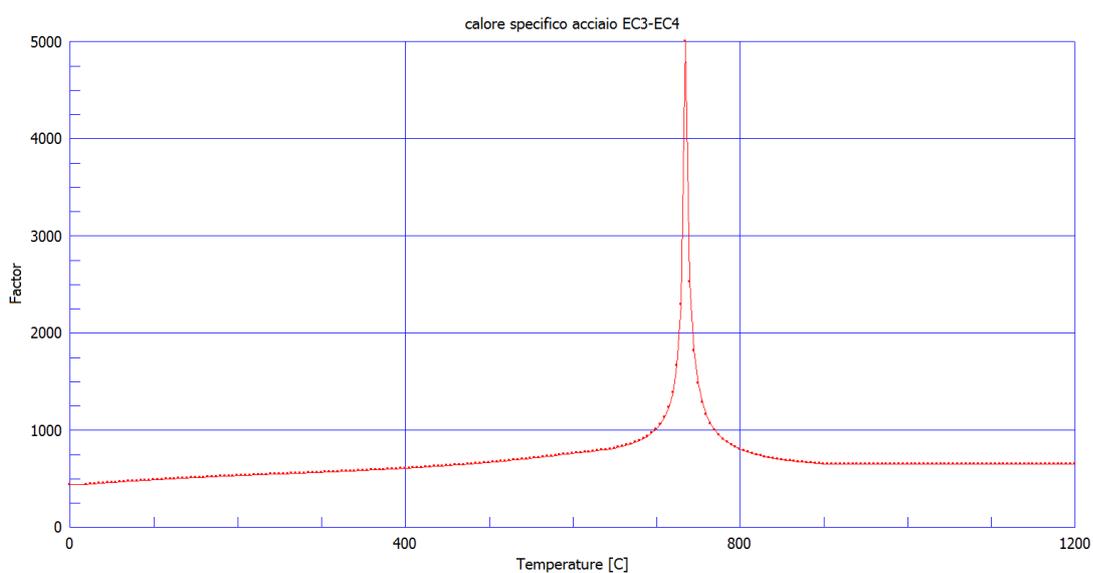


Fig. 5 – Calore specifico acciaio EC3-EC4



Calcestruzzo

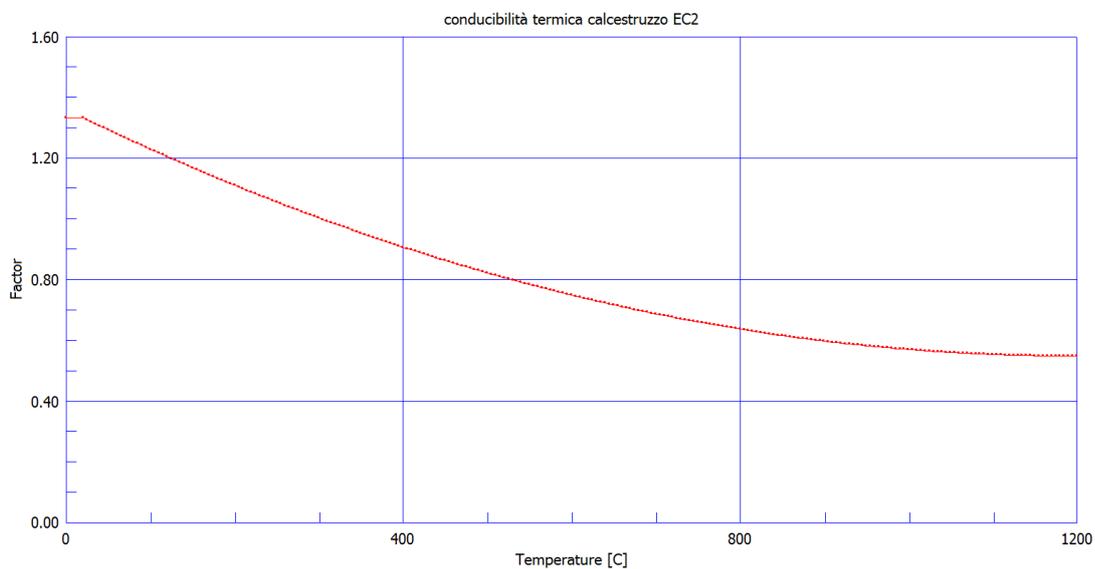


Fig. 6 – Conducibilità termica calcestruzzo EC2

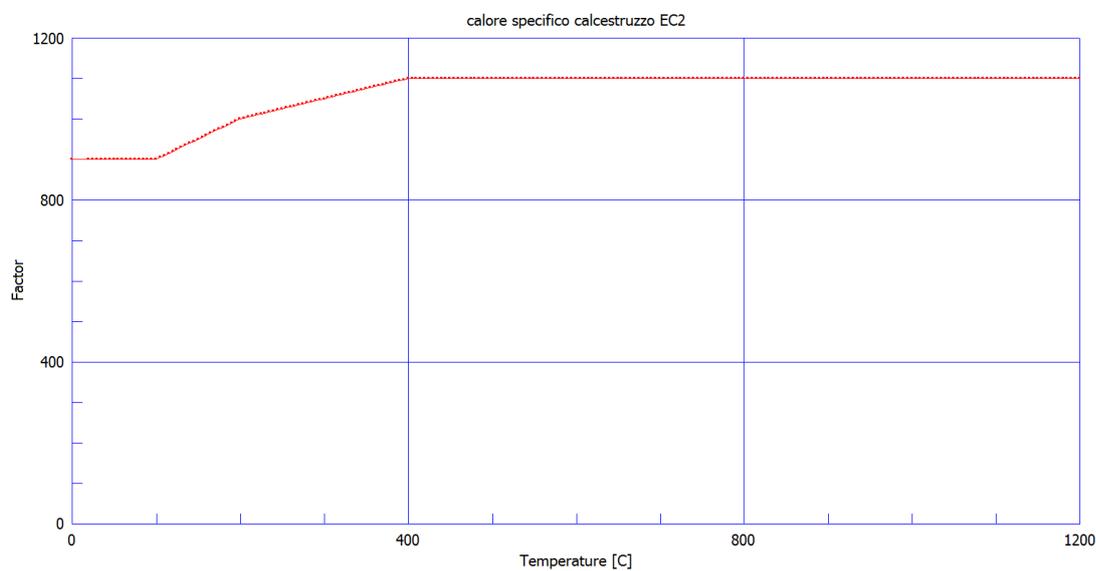


Fig. 7 – Calore specifico calcestruzzo EC2



CARICO TERMICO

Al fine di simulare il riscaldamento della trave causato da un incendio, ad entrambi i modelli è stato applicato il carico termico dovuto all'incendio assegnando ai nodi inferiori della piastra d'acciaio la legge di variazione della temperatura nel tempo, rappresentata in figura 8, suggerita dalla norma UNI 9503 – “Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di acciaio”, pressoché equivalente alla ISO834.

L'analisi termica è stata condotta ipotizzando un tempo di esposizione al fuoco della struttura pari a 3 ore (10800 s) e, per questo motivo, sono stati definiti nella tabella dei parametri di input dell'analisi un numero di step pari all'arco temporale di esposizione al fuoco.

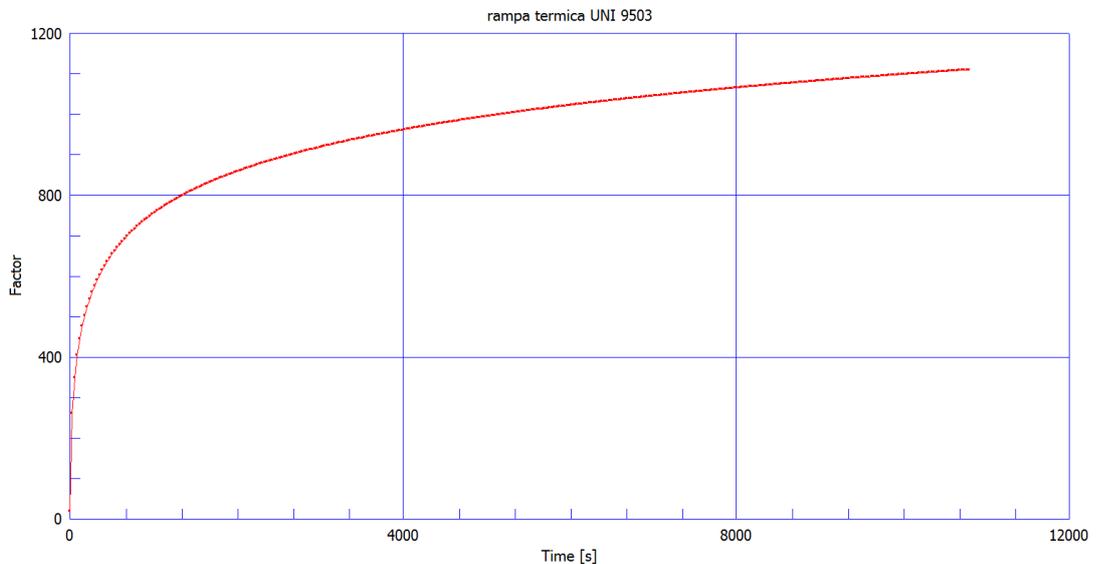


Fig. 8 - legge di variazione della temperatura nel tempo UNI 9503



RISULTATI ANALISI TERMICA: MODELLO 2D

Nel prosieguo si riportano i risultati delle analisi termiche sviluppate con il modello 2D.

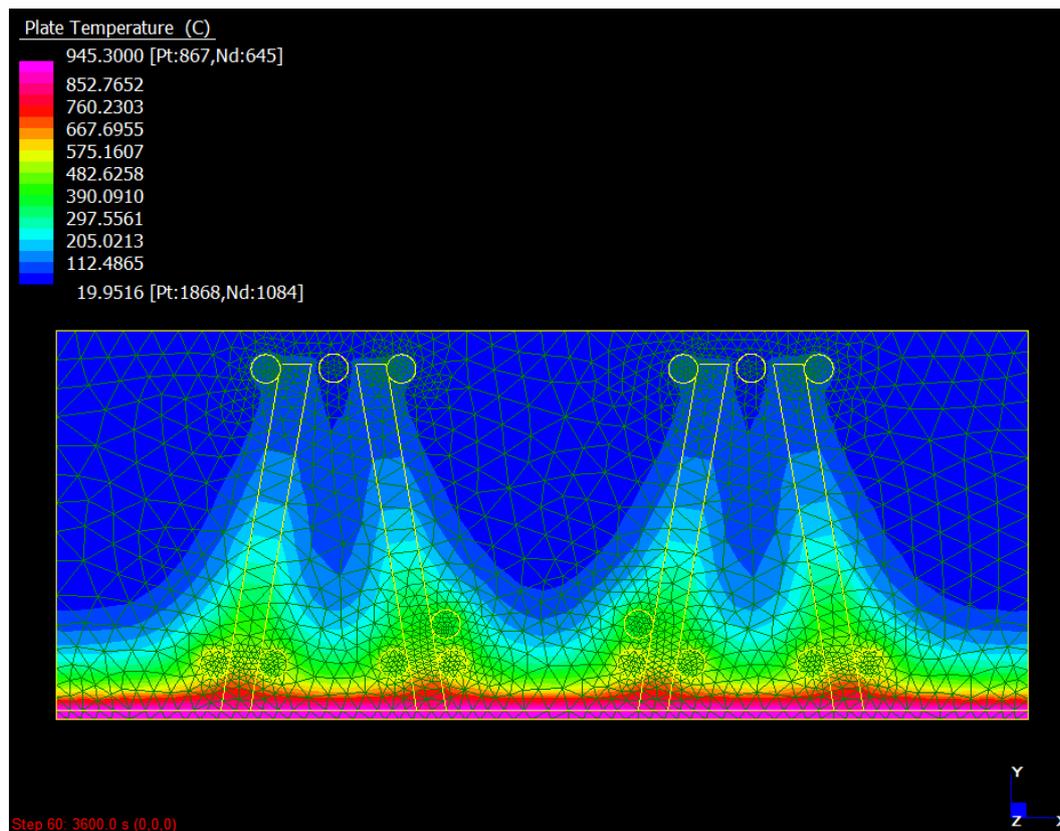


Fig. 9 - Analisi termica della sezione al tempo di esposizione al fuoco di 60 min.



POLITECNICO
MILANO 1863

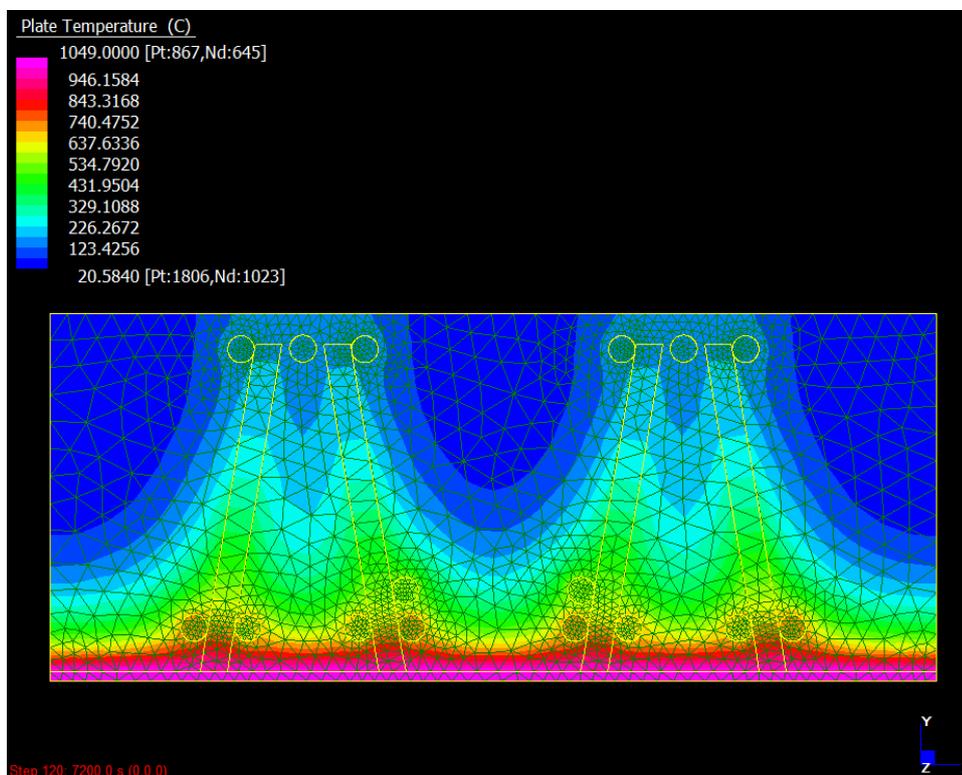


Fig. 10 - Analisi termica della sezione al tempo di esposizione al fuoco di 120 min.

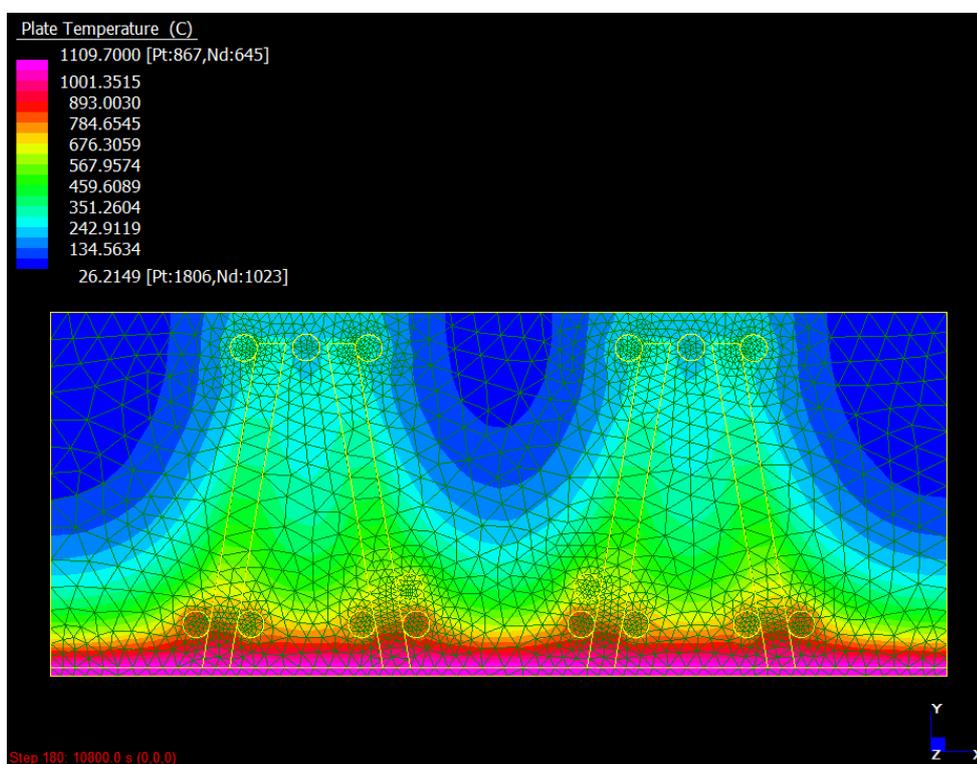


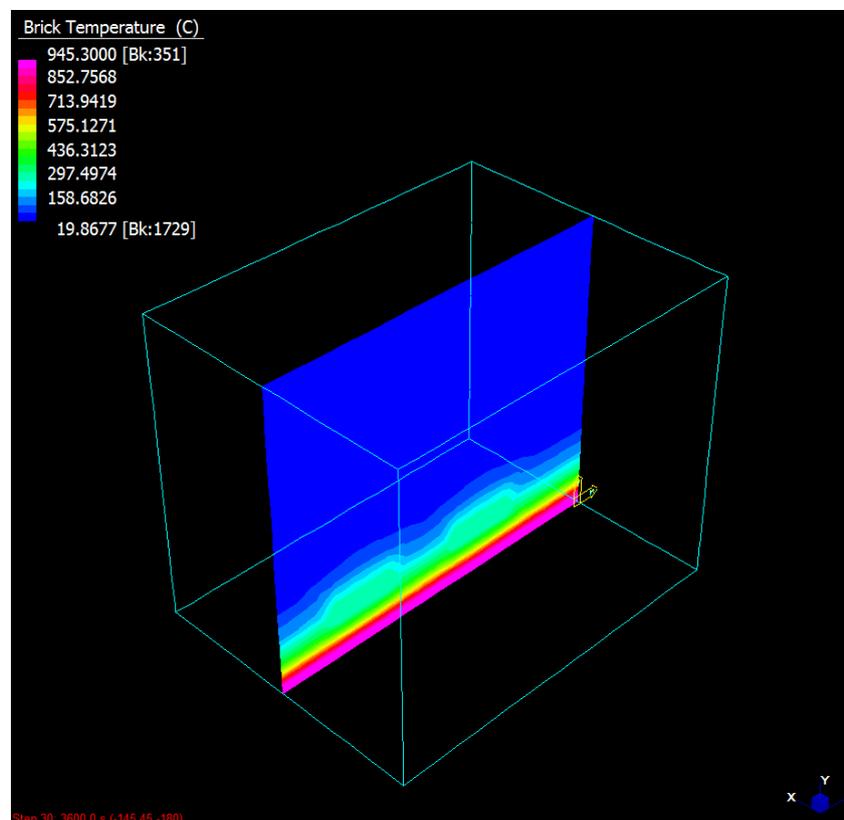
Fig. 11 - Analisi termica della sezione al tempo di esposizione al fuoco di 180 min.



RISULTATI ANALISI TERMICA: MODELLO 3D

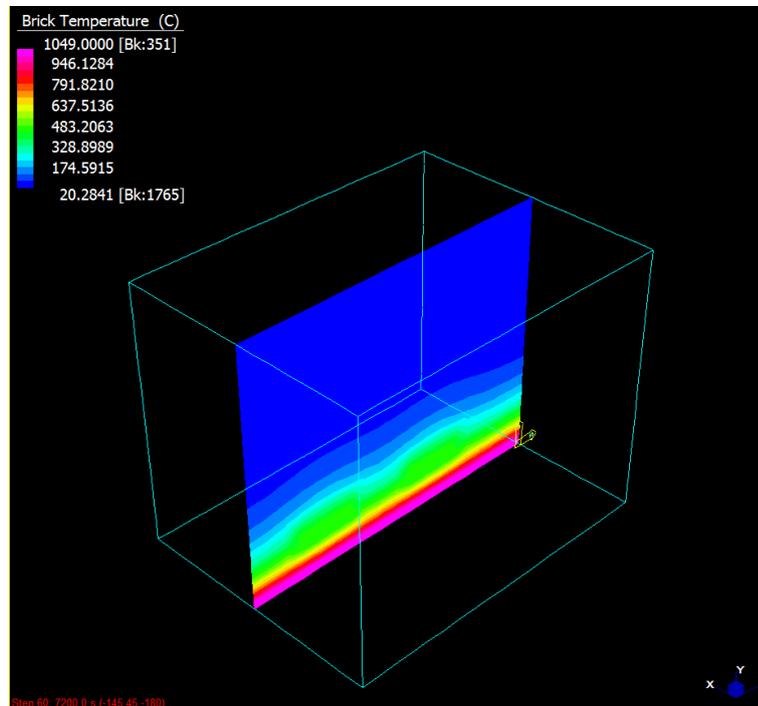
Analisi termica al tempo di esposizione al fuoco di 60 min.

Nella figura sottostante è rappresentata la mappatura termica sulla sezione di mezzeria del concio di trave, in direzione longitudinale (parallela al traliccio), corrispondente a un tempo di esposizione al fuoco di 60 min.



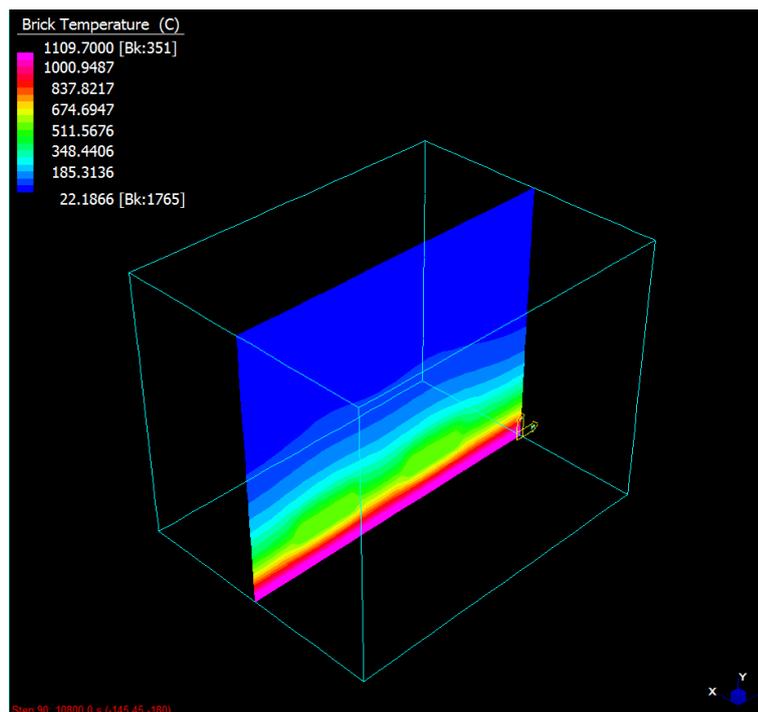
Analisi termica al tempo di esposizione al fuoco di 120 min.

Nella figura sottostante è rappresentata la mappatura termica sulla sezione di mezzeria del concio di trave, in direzione longitudinale, corrispondente a un tempo di esposizione al fuoco di 120 min.



Analisi termica al tempo di esposizione al fuoco di 180 min.

Nella figura sottostante è rappresentata la mappatura termica sulla sezione di mezzeria del concio di trave, in direzione longitudinale, corrispondente a un tempo di esposizione al fuoco di 180 min.

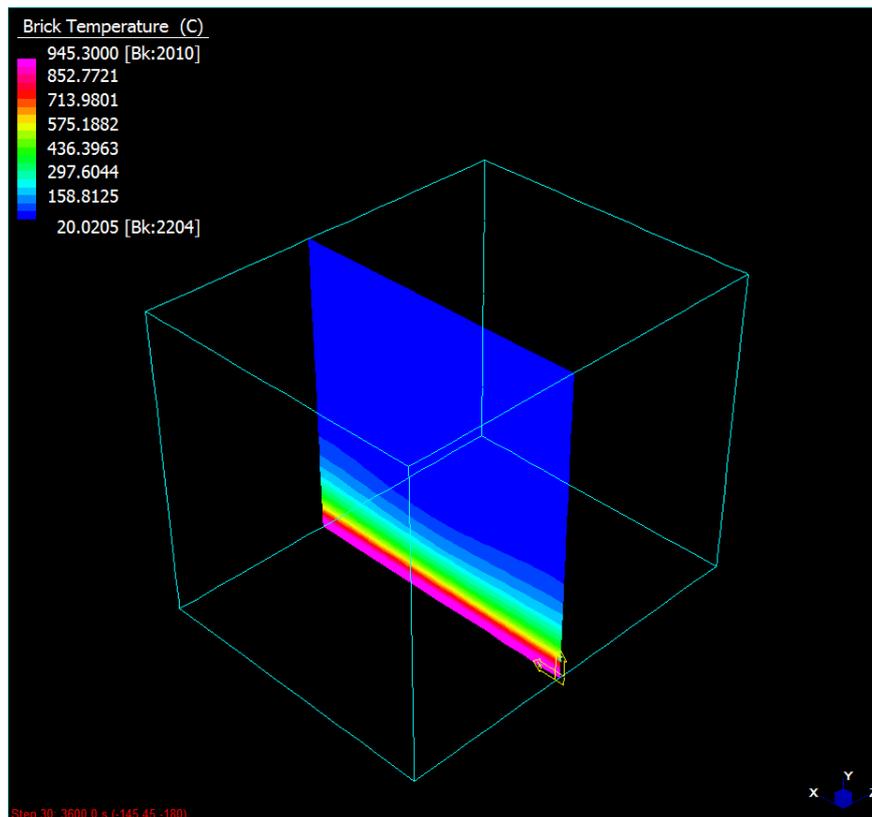




POLITECNICO
MILANO 1863

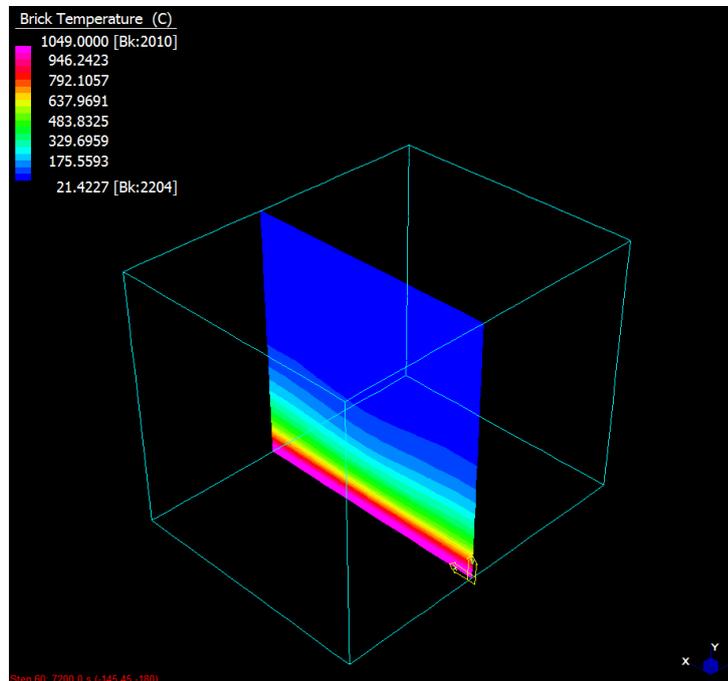
Analisi termica al tempo di esposizione al fuoco di 60 min. (sezione trasversale).

Nella figura sottostante è rappresentata la mappatura termica sulla sezione di mezzeria del concio di trave, in direzione trasversale, corrispondente a un tempo di esposizione al fuoco di 60 min.



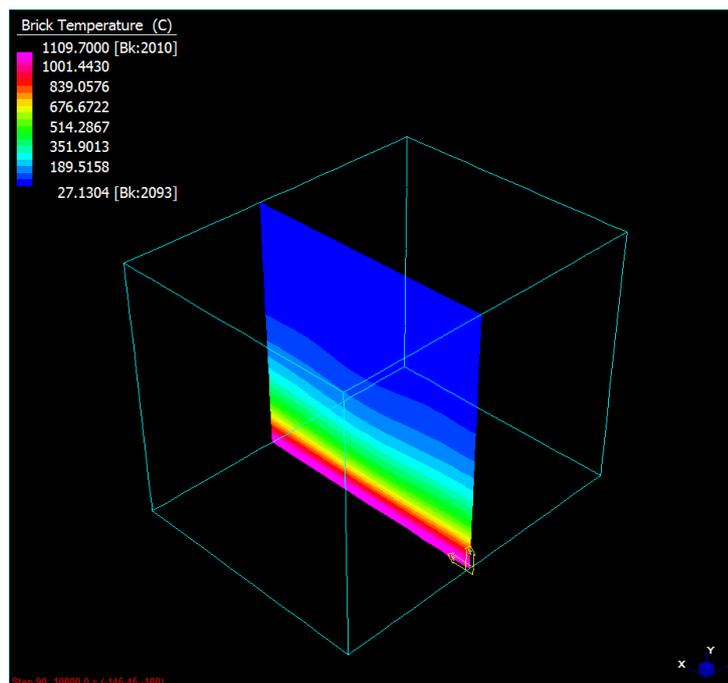
Analisi termica al tempo di esposizione al fuoco di 120 min. (sezione trasversale).

Nella figura sottostante è rappresentata la mappatura termica sulla sezione di mezzeria del concio di trave, in direzione trasversale, corrispondente a un tempo di esposizione al fuoco di 120 min.



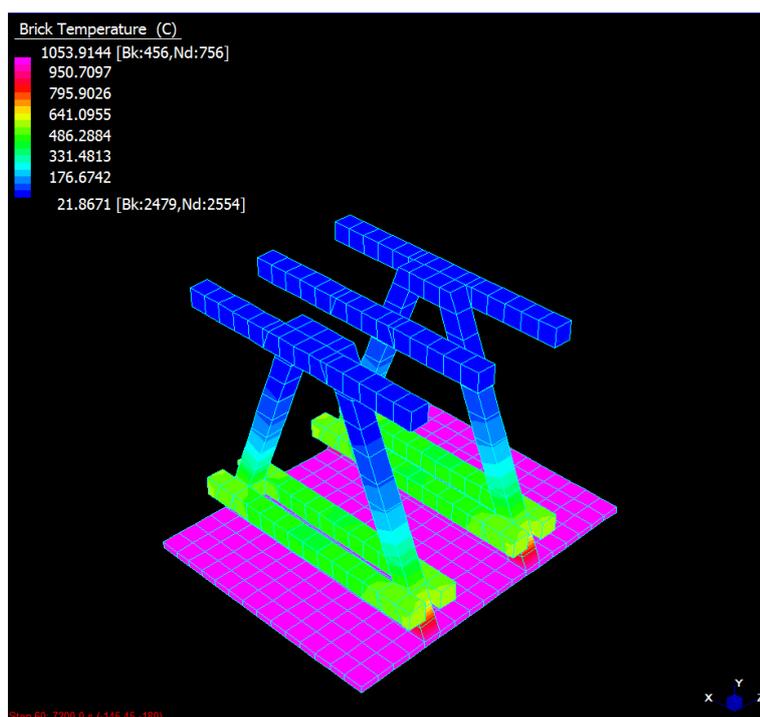
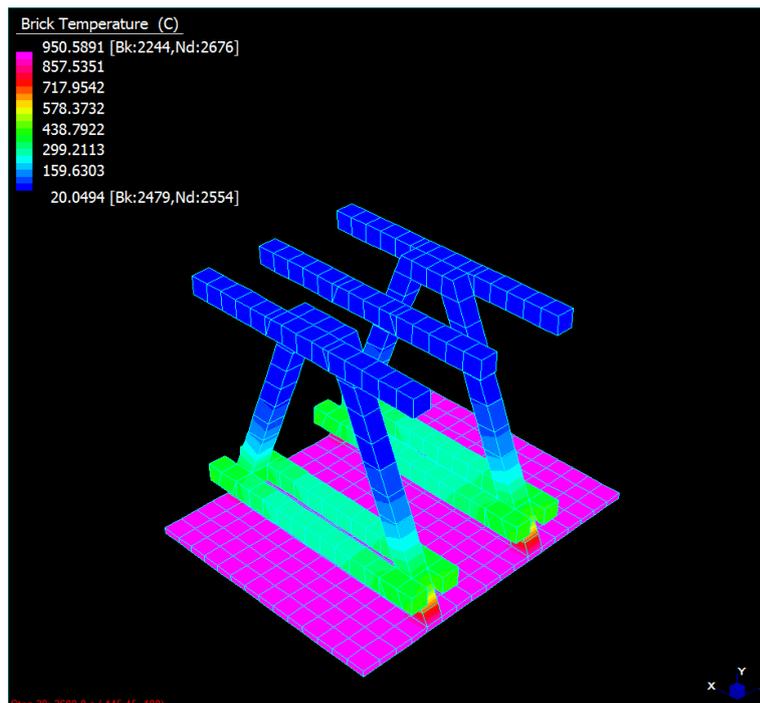
Analisi termica al tempo di esposizione al fuoco di 180 min. (sezione trasversale).

Nella figura sottostante è rappresentata la mappatura termica sulla sezione di mezzeria del concio di trave, in direzione trasversale, corrispondente a un tempo di esposizione al fuoco di 180 min.



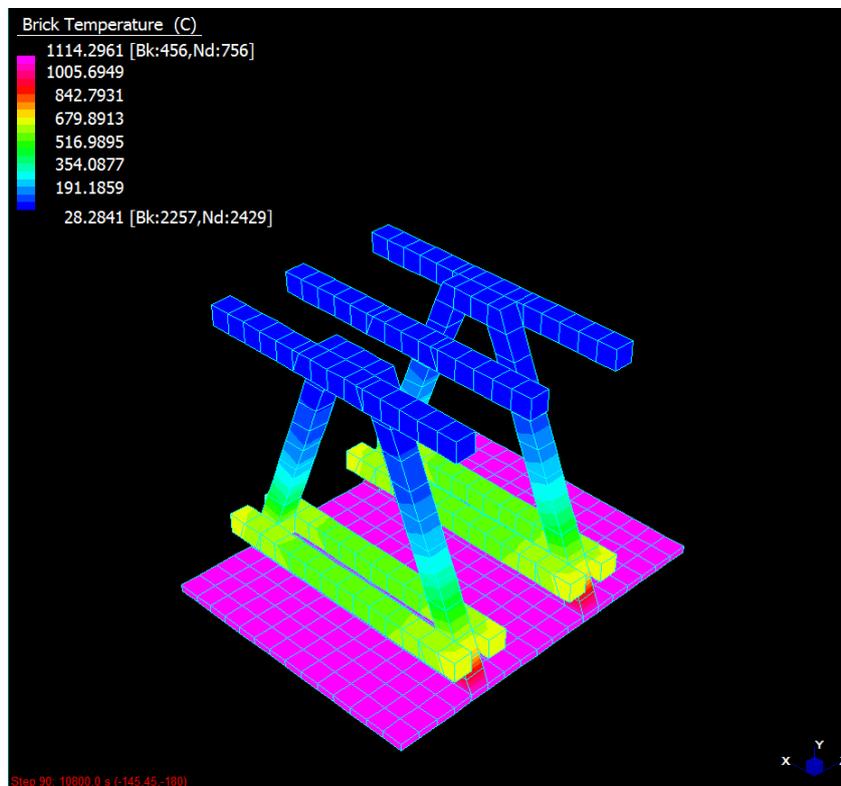


Nelle successive tre immagini sono visualizzate le temperature che interessano solo le parti metalliche costituenti la trave PREM, sempre con riferimento ai tempi di esposizione al fuoco di 60, 120 e 180 min. rispettivamente.





POLITECNICO
MILANO 1863





POLITECNICO
MILANO 1863

CONFRONTO DEI RISULTATI DELLE ANALISI TERMICHE

Al fine di confrontare i risultati ottenuti dalla modellazione piana e da quella 3D, nella figura 12 sono evidenziati due nodi del modello 2D, denominati A e B, per i quali sono stati tracciati i grafici relativi all'andamento della temperatura nel tempo. In particolare, il nodo A è stato scelto in corrispondenza dell'attacco tra la piastra di acciaio e l'asta del traliccio, mentre il nodo B è collocato all'incirca nella mezzeria dell'asta del traliccio come mostrato nella figura sottostante. All'interno del modello 3D, nelle stesse posizioni, sono stati individuati i nodi di riferimento per il tracciamento delle curve temperatura-tempo.

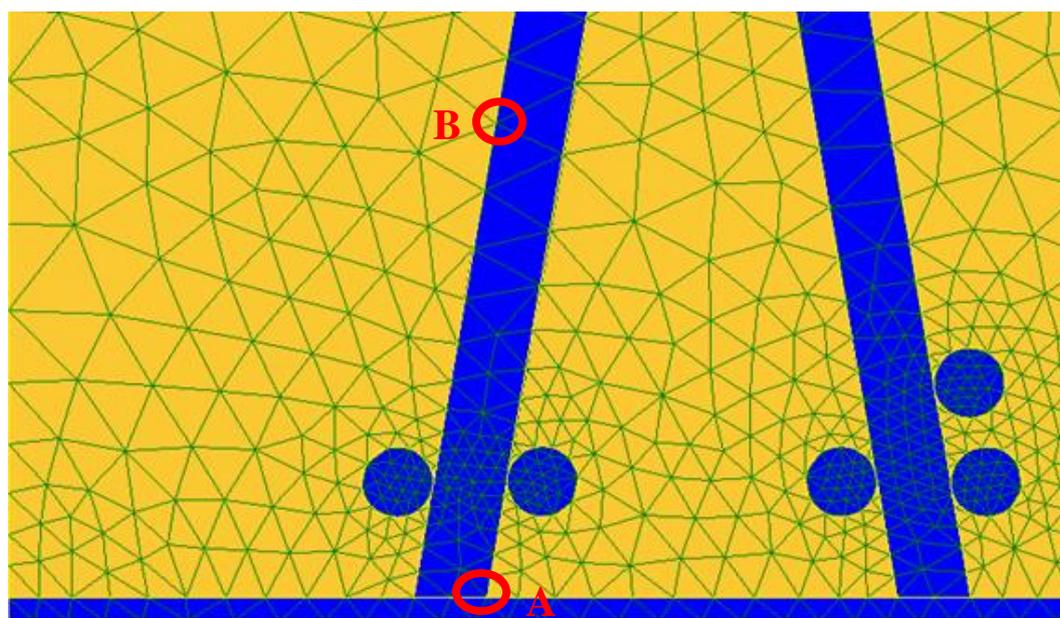


Fig. 12 – identificazione nodi A e B

Nelle figure 13 e 14 sono riportati, per confronto, relativamente ai nodi A e B descritti in precedenza, i grafici relativi ai profili di variazione della temperatura nel tempo, nel caso del modello 2D, del modello 3D e nell'ipotesi che le aste del traliccio siano anch'esse in calcestruzzo (modello 2D*).

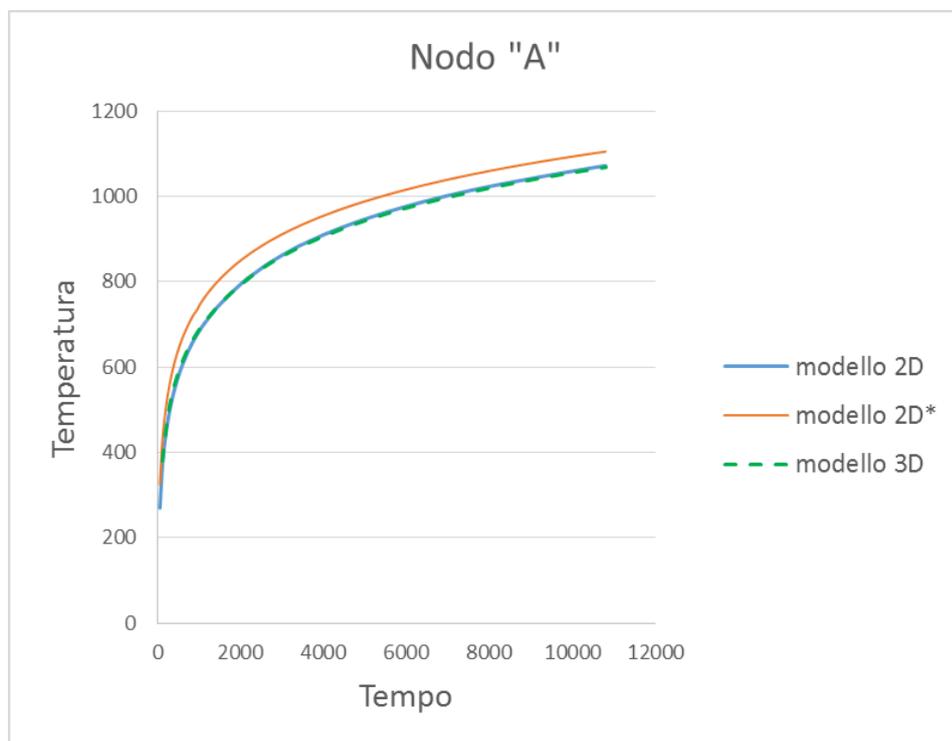


Fig. 13 – curve temperatura-tempo nodo A

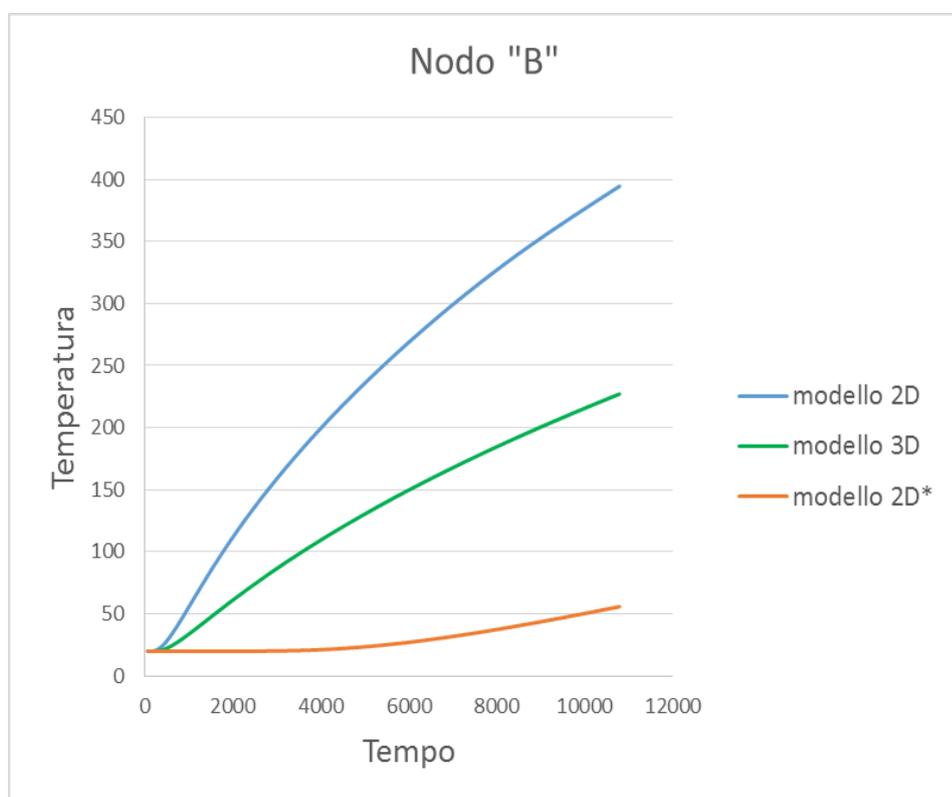


Fig. 14 – curve temperatura-tempo nodo B



CONSIDERAZIONI FINALI

Dall'osservazione del grafico di figura 12 si nota una quasi perfetta corrispondenza tra le curve tracciate relativamente al nodo A, del modello 2D e di quello 3D, che dimostra come entrambi i modelli forniscono quasi gli stessi risultati, in termini di temperatura, relativamente al nodo di attacco tra piastra e traliccio.

Guardando invece al grafico di figura 13, si può osservare una divergenza dei risultati ottenuti dai due modelli, sempre in termini di temperature, riscontrate sui materiali della struttura, in corrispondenza del nodo "B" scelto, ubicato all'incirca nella mezzeria dell'asta del traliccio. In particolare, il modello 2D fornisce, per tale nodo, dei valori di temperatura più alti, a parità di tempo di esposizione al fuoco, rispetto a quelli ottenuti dal modello 3D. Il confronto tra i valori di temperatura è riportato nella tabella sottostante.

Tempo di esposizione	Temperatura Modello 2D [°C]	Temperatura Modello 3D[°C]
60 minuti	184	101
120 minuti	305	171
180 minuti	394	227

In sintesi si può affermare che una analisi 2D (con traliccio di collegamento esteso indefinitamente) ed una analisi 3D sono sovrapponibili per quanto riguarda l'andamento della temperatura sia del piatto che dell'anima del traliccio nella zona di ancoraggio con il piatto. Viceversa, per le armature lontane dal piatto sia trasversali che longitudinali, l'analisi 2D è molto più cautelativa, e quindi penalizzante, di una analisi 3D.



POLITECNICO
MILANO 1863

POSSIBILI INDICAZIONI PROGETTUALI

Entrambe le valutazioni numeriche evidenziano un andamento delle temperature del piatto e delle anime del traliccio nelle zone prossime al piatto, tali da risultare penalizzanti per la resistenza a flessione e a taglio della trave già dopo pochi minuti di esposizione (dopo 10 minuti la temperatura del piatto è di circa 600 °C). Pertanto, la mancanza di qualsiasi rivestimento protettivo, all'intradosso del piatto, esclude qualunque resistenza utile, sia del piatto inferiore che delle anime del traliccio ad esso collegate strutturalmente tramite saldatura. La tipologia di trave oggetto della presente valutazione, quindi, risulta inadeguata a resistere ad un incendio standard.

Viceversa questa ricerca rende evidente che le armature posizionate ed ancorate a conveniente distanza dal piatto, in zona "fredda", possono mantenere a lungo una temperatura compatibile con una congrua resistenza meccanica.

Pertanto, in assenza di qualsiasi rivestimento protettivo all'incendio, si possono intravedere, quindi, due possibili strade per rendere questa tipologia di trave resistente all'incendio:

- 1) predisporre barre longitudinali (come nella trave oggetto della ricerca) e staffe, in acciaio da c.a., in zona "fredda" e senza continuità termica con il traliccio (in acciaio liscio) a presidiare interamente la resistenza a flessione e a taglio sotto carico d'incendio (come una vera e propria trave in c.a. cui la trave PREM trasferisce tutta la resistenza, mano a mano che la temperatura del piatto e del traliccio sale);
- 2) predisporre barre longitudinali, in acciaio da carpenteria metallica, in zona "fredda" e con continuità termica con il traliccio (in acciaio liscio), cioè saldate strutturalmente ad esso, a presidiare interamente la resistenza a flessione e a taglio sotto carico d'incendio, ancora come trave mista ma con le anime del traliccio ancorate in zona fredda. In questa



POLITECNICO
MILANO 1863

seconda soluzione, tuttavia, il nuovo traliccio "ridotto" non funzionerebbe più con uno schema a tiranti e puntoni, data l'eccentricità che si origina ai nodi inferiori, ma con aste presso e tensoinflesse con conseguente maggiore impegno dei materiali.

Resta comunque responsabilità del Progettista, nel singolo caso concreto, individuare la strada migliore da seguire fra le possibili tre alternative e cioè una delle due sopra accennate o una protezione ignifuga all'intradosso che permetta anche al piatto ed al traliccio di resistere sotto carico d'incendio.

Milano 03/11/2016

Maurizio Acito