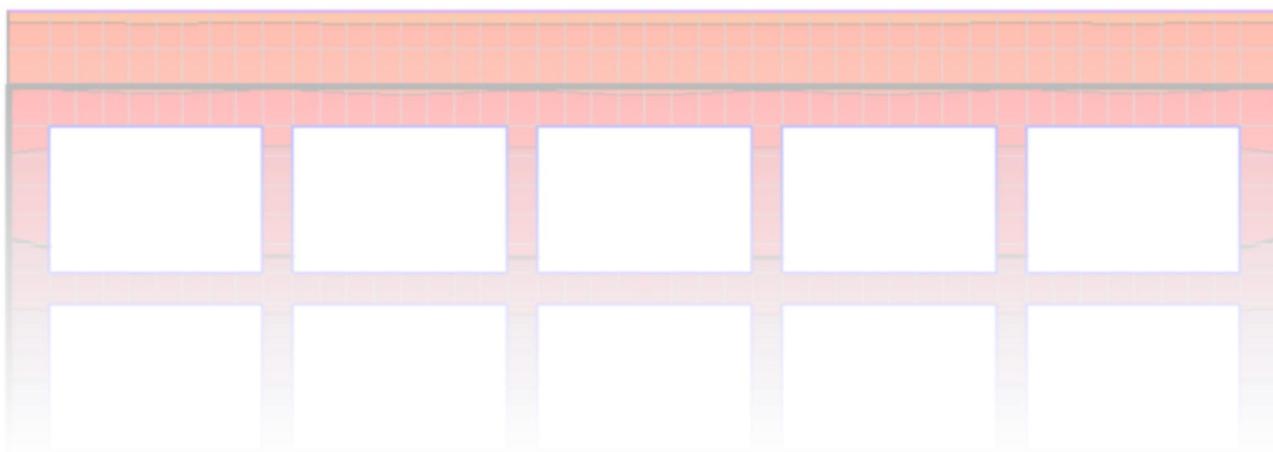
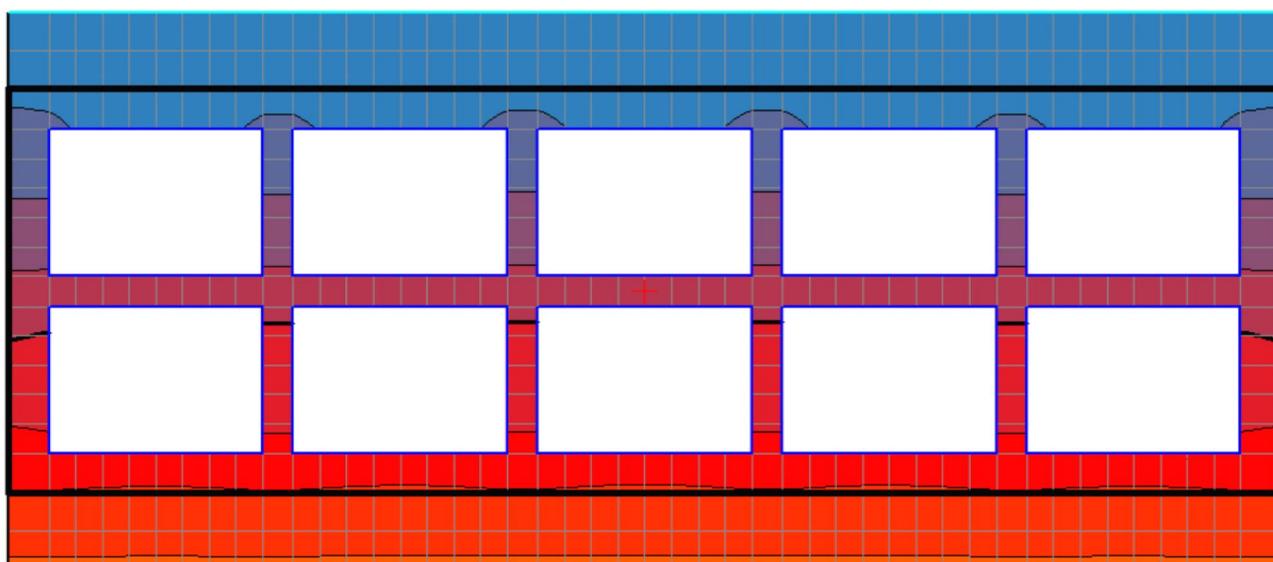


**PARETE IN LATERIZIO ESPOSTA AL FUOCO:
CONFRONTO DI RISULTATI
TRA PROVA IN FORNO E CALCOLO ANALITICO**



CDM DOLMEN e omnia IS srl

VIA DROVETTI 9/F - 10138 TORINO
P.IVA 06965140012 - C.F. 06965140012

SOMMARIO

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE	2
PROVA IN FORNO.....	3
CALCOLO CON IL SOFTWARE IS FUOCO.....	5
APPLICAZIONE FUOCO STANDARD.....	8
LETTURA DEI RISULTATI TERMICI CURVA FUOCO STANDARD	10
APPLICAZIONE CURVA CIRCOLARE 91	12
CONCLUSIONI	13

Oggetto della presente relazione è lo studio di una sezione di una parete in laterizio intonacata su entrambe le facce e protetta, sul lato esposto al fuoco, con una **vernice intumescente denominata "A90"**, prodotta dalla ditta Aithon Ricerche International srl di Ternate (VA).

Dal rapporto di prova, redatto dall'Istituto Giordano il 16 maggio del 2001, si hanno i dati della parete e i risultati della prova effettuata presso il forno sperimentale del Laboratorio di Resistenza al Fuoco dello stesso istituto.

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

Il campione di parete sottoposto a prova è largo 200 cm, alto 214 cm e spesso 11 cm, come nell'immagine riportata di seguito (si veda Figura 1).

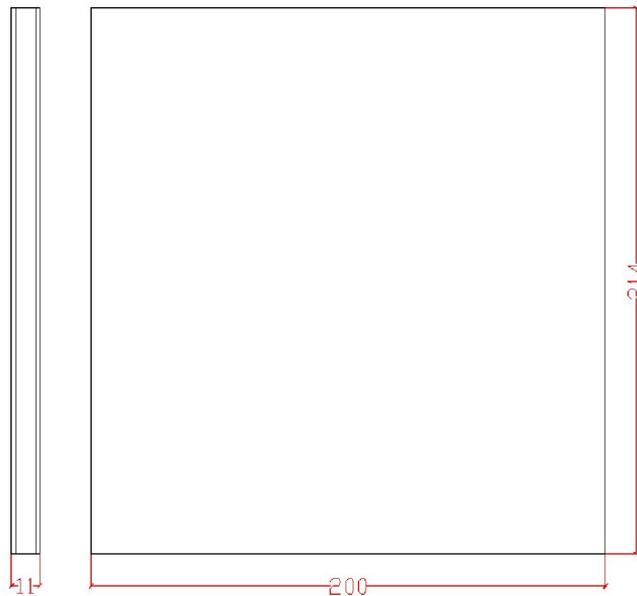


Figura 1 Dimensioni campione sottoposto a prova

La parete in laterizio, composta da 8 file di 8 blocchi ciascuno, è stata protetta nel seguente modo:

- Su ambo le facce è stata applicato un intonaco tradizionale a base cementizia, avente spessore 1.5 cm e densità 1300 kg/m^3 ;
- Sulla faccia esposta al fuoco è stato steso, sopra l'intonaco sopra descritto, previa applicazione di uno strato di primer epossidico "EV2" (quantità 200 g/m^2), uno strato di vernice intumescente all'acqua monocomponente di colore bianco denominata "A90", avente densità 1380 kg/m^3 e per un quantitativo di 1400 g/m^2 .

Il campione è stata realizzata con blocchi legati con malta tradizionale a base cementizia, tali blocchi sono in laterizio, presentano n. 10 fori orizzontali passanti, disposti su due file, e hanno le seguenti caratteristiche:

- Altezza nominale: 25 cm;

- Larghezza nominale: 25 cm;
- Spessore nominale: 0.8 cm.

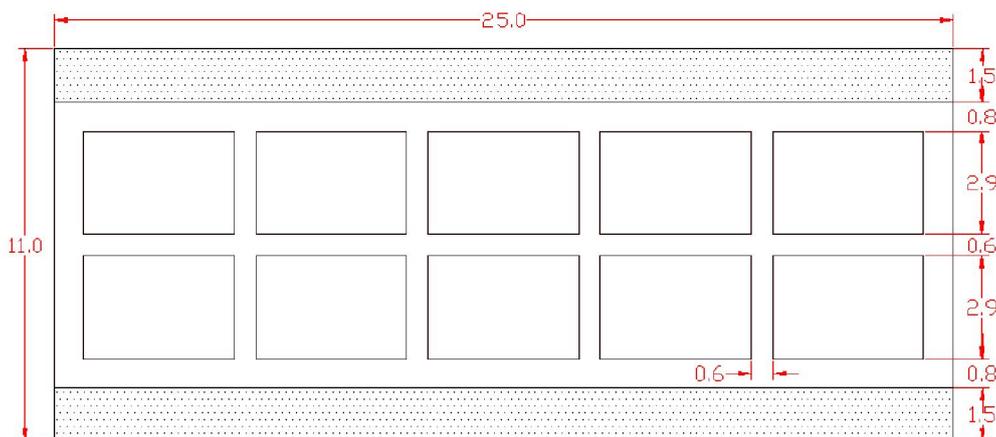


Figura 2 Immagine quotata della sezione del blocco

PROVA IN FORNO

La prova è stata seguita secondo le prescrizioni della Circolare n. 91 del Ministero dell'Interno, Direzione Generale dei Servizi Antincendi del 14/09/1961 "Norme di sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati a struttura in acciaio destinati ad uso civile".

Per l'esecuzione della prova sono state utilizzate le seguenti strumentazioni:

- Forno sperimentale con apertura su di un lato verticale (bocca del forno), provvisto di:
 - Bruciatori a doppia fiamma alimentati a gasolio;
 - N.2 camini posti separatamente, aventi valvole di variazione della sezione d'uscita comandate elettronicamente;
 - Rilevatori di pressione posti a 2/3 d'altezza della bocca del forno, collegati ad un sistema automatico di rilevazione.
- Un sistema di acquisizione dati costituito da:
 - Centraline poste sui lati verticali del forno per il rilevamento delle temperature all'interno del forno;
 - Sistema a lettura manuale della pressione posto su una parete del forno in prossimità della sua bocca;
 - Termocoppie a filo tipo "k" collegate ad una centralina mobile, a sua volta collegata ad un lettore che trasforma la differenza di potenziale delle termocoppie stesse in temperatura;
 - Calcolatore elettronico e software di gestione.

Il campione è stato installato sulla bocca del forno sperimentale in modo da realizzare una camera di combustione chiusa, dove esporre al fuoco la faccia protetta con vernice intumescente "A90" del campione stesso. Sulla superficie non esposta al fuoco sono state applicate n. 5 termocoppie; dopo il posizionamento di queste si sono accesi i bruciatori riscaldando il forno sperimentale secondo la curva temperatura/tempo prevista dalla Circolare n. 91 del Ministero dell'Interno, riportata di seguito (si veda Figura 3).

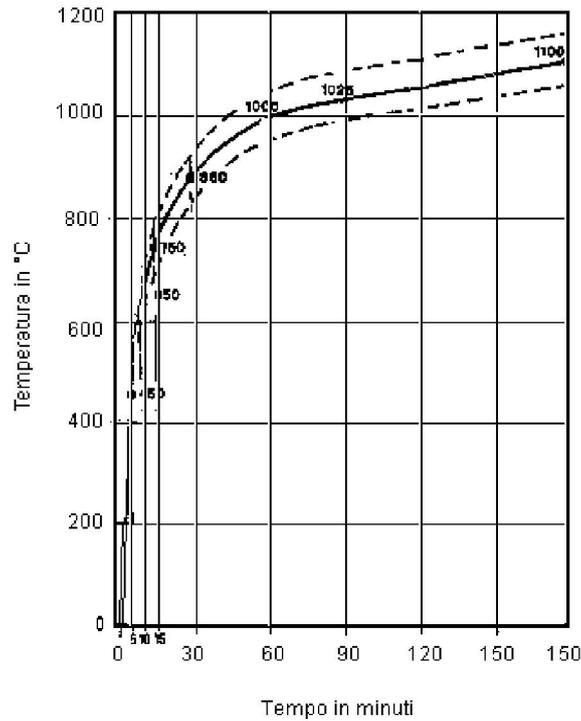


Figura 3 Curva temperatura - tempo Circolare 91

Dal grafico della Circolare 91 si può vedere che sono ammissibili differenze di temperatura di circa l'8% rispetto al valore medio della curva unitaria, il campo di tolleranza è segnato in linea tratteggiata ai due lati della curva media riportata in figura.

Di seguito (si veda Figura 4) si riporta il diagramma con le temperature registrate durante la prova in forno dalle termocoppie posizionate sulla faccia del campione non esposta al fuoco.

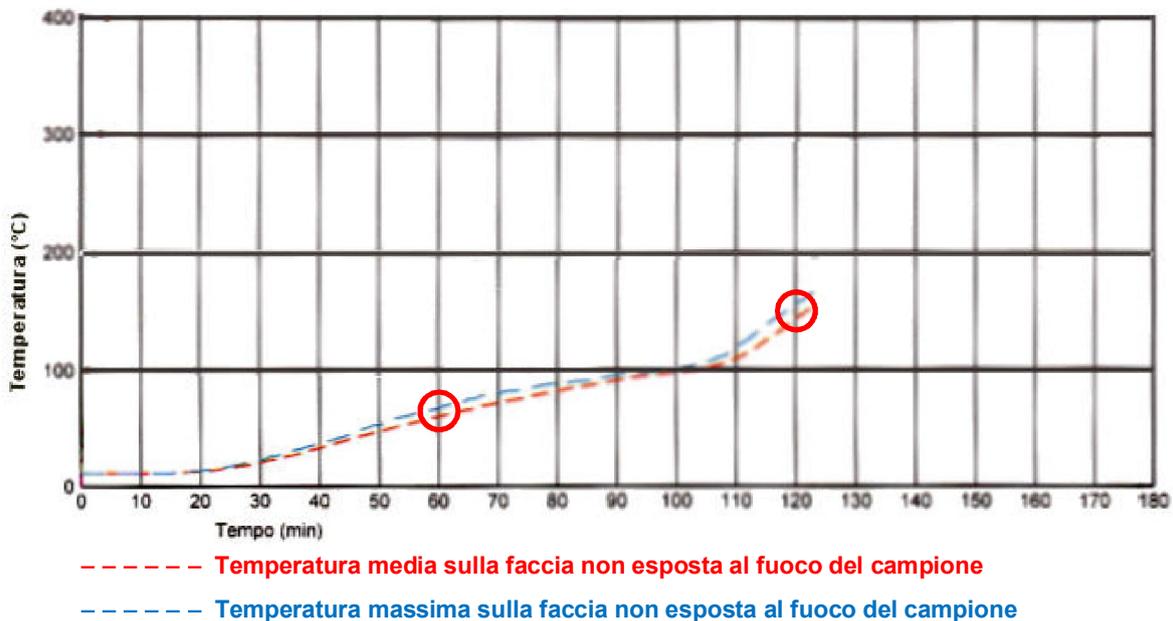


Figura 4 Temperatura misurata dalle termocoppie

Dall'andamento della temperatura nel grafico si ricavano i dati rilevanti per questa analisi, ossia quelli che servono per il confronto con le temperature che si ricaveranno con il software, in particolare:

- a 60 minuti di esposizione → temperatura media ~58° C temperatura massima ~63° C
- a 120 minuti di esposizione → temperatura media ~141° C temperatura massima ~153° C

CALCOLO CON IL SOFTWARE IS FUOCO

Di seguito viene descritto il calcolo termico della sezione in laterizio e intonaco esposta ad incendio su un lato per cui è stato utilizzato il software IS Fuoco, prodotto e distribuito da CDM DOLMEN srl di Torino.

Tale programma effettua l'analisi termica della sezione soggetta ad un carico di incendio utilizzando il metodo degli Elementi Finiti e integrando su tutto il dominio e nel tempo l'equazione di Fourier. La temperatura è funzione dello spazio e del tempo, della conducibilità termica λ_c , del calore specifico c_c e della massa volumica ρ_c , caratteristici di ogni materiale.

Tramite questa analisi, di tipo rigoroso, si ricava la modellazione dell'evoluzione della temperatura all'interno della struttura.

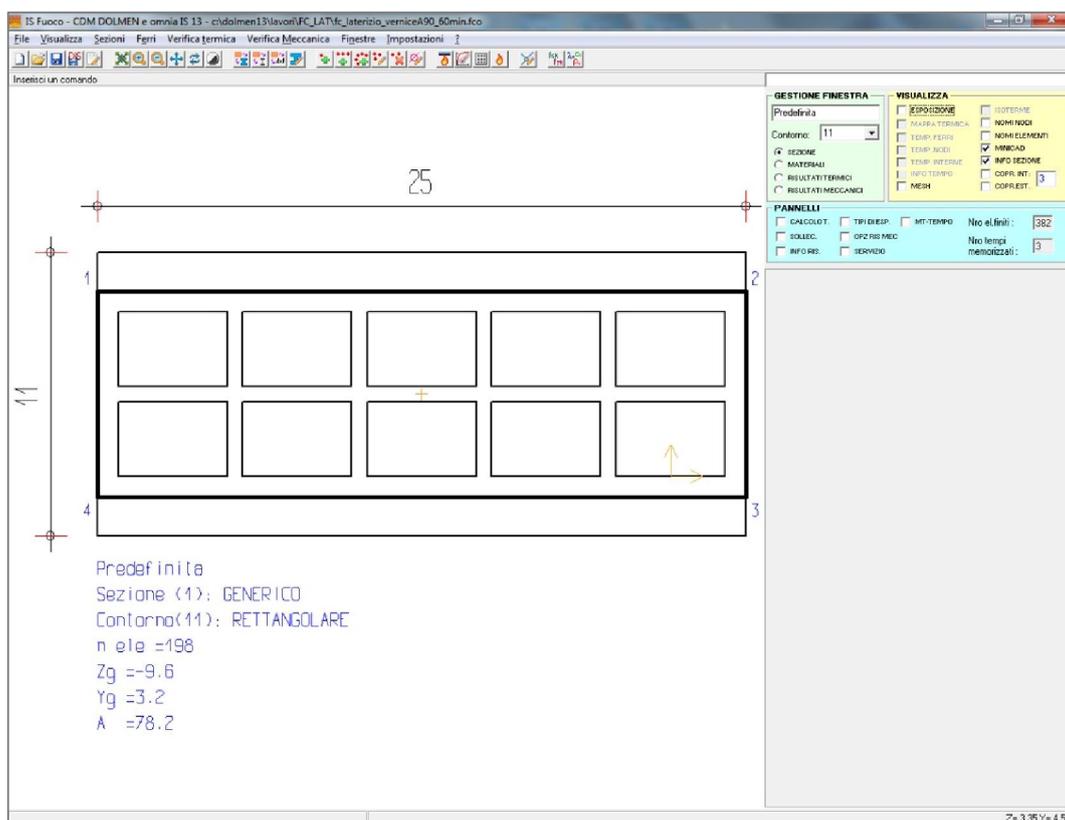


Figura 5 Inserimento della sezione nel software IS Fuoco

Di seguito viene riportato il disegno schematico del blocco in cui sono evidenziati i materiali che compongono i vari contorni che costituiscono la sezione (si veda Figura 6).

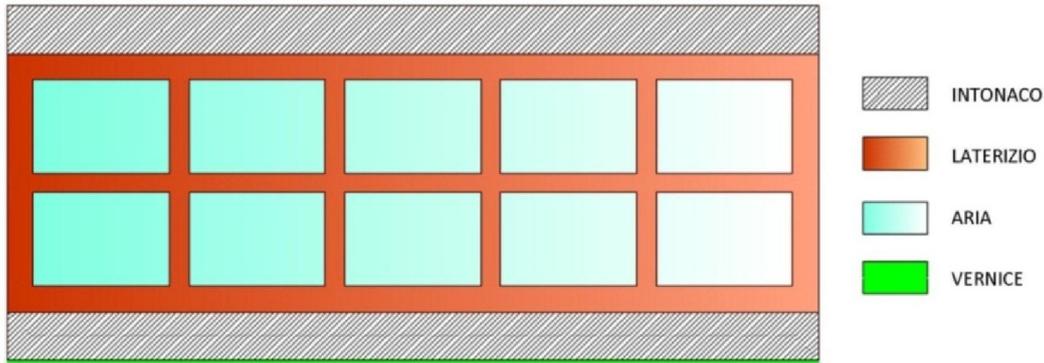


Figura 6 Materiali che compongono la sezione

Per i contorni in laterizio sono state applicate le curve di calore specifico, conduttività termica e densità volumica tratte dalla norma UNI EN 1996-1-2 08/2005 D.3 (si vedano immagini riportate di seguito Figure 7 e 8); si è considerata una densità volumica costante di 1200 kg/m^3 .

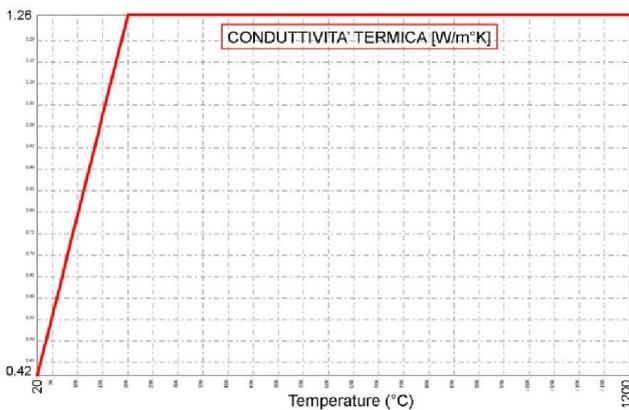


Figura 7 Conduttività termica laterizio secondo Eurocodice 5

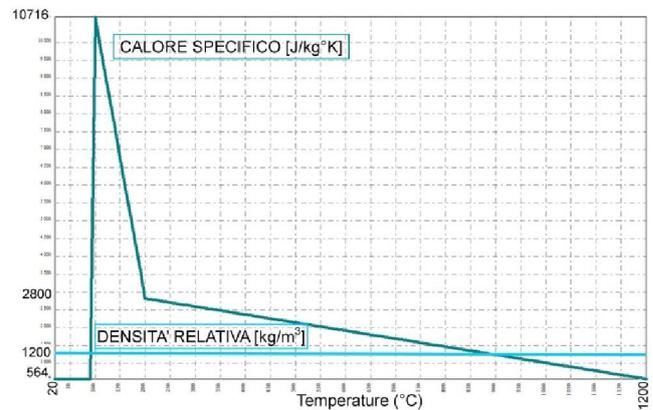


Figura 8 Calore specifico laterizio secondo Eurocodice 5

Le caratteristiche termiche dell'intonaco sono state ricavate da bibliografia e sono stati scelti valori medi costanti che non variano con la temperatura, in particolare si ha che la conducibilità termica vale $1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$, il calore specifico vale $840 \text{ J/kg}^{\circ}\text{K}$ e che la densità relativa vale 1300 kg/m^3 , valore riportato nel rapporto di prova dell'Istituto Giordano (si veda l'immagine di seguito Figura 9).

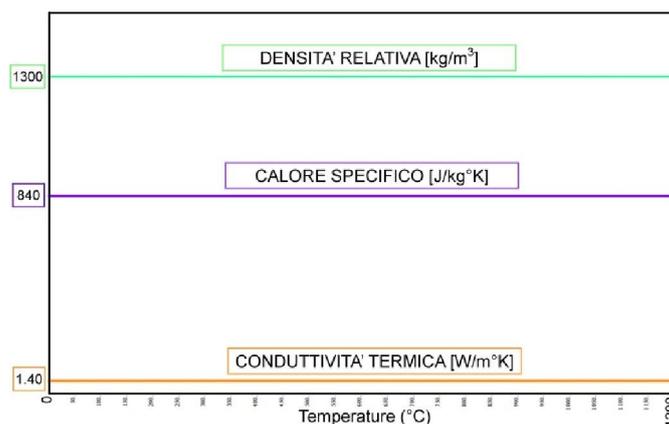


Figura 9 Conduttività termica, calore specifico e densità relativa intonaco

Per tenere conto della vernice intumescente A90 si usano i risultati della sperimentazione effettuata, in data 5 dicembre 2001, presso l'istituto Giordano, nella quale si certifica, in funzione del quantitativo di vernice utilizzata e del tempo di esposizione al fuoco, lo spessore equivalente in calcestruzzo (si veda di seguito la Tabella 1 e la Figura 10).

Pittura intumescente	Durata dell'esposizione al fuoco			
	60'	90'	120'	180'
A90				
g/mq				
500	0.8	0.5	0.4	0.3
1000	1.5	1	0.8	0.3
1500	3.4	2.6	1.8	1
2000	5	4.1	2.8	1.4

Tabella 1 Spessori equivalenti calcestruzzo

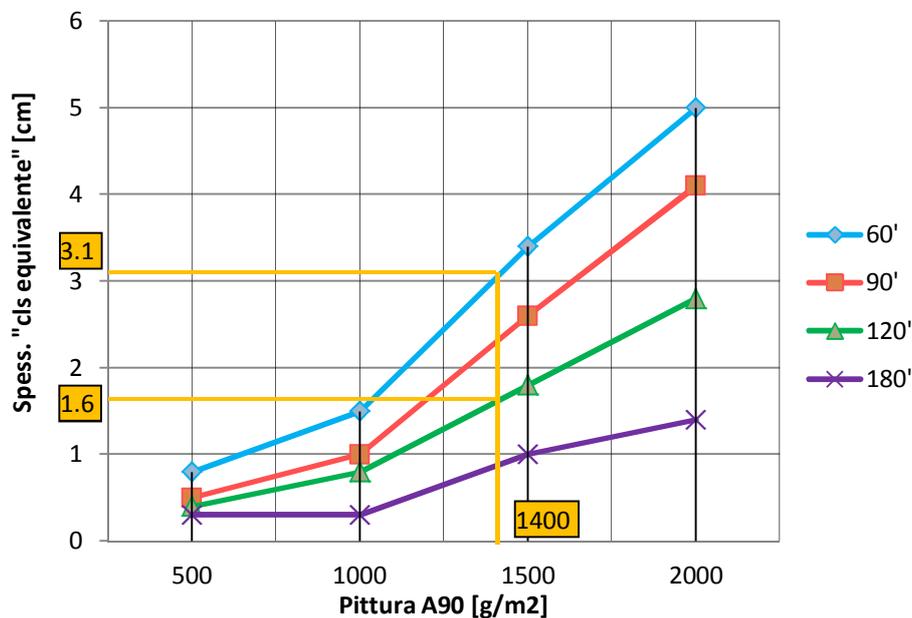


Figura 10 Spessori di "calcestruzzo equivalente" in funzione del tempo di esposizione

A fronte di un utilizzo di 1400 g/m² di pittura intumescente si ricava:

- per 60 minuti si ottiene uno spessore di "calcestruzzo equivalente" di 3.1 cm;
- per 120 minuti si ottiene uno spessore di "calcestruzzo equivalente" di 1.6 cm.

Le proprietà termiche del "calcestruzzo equivalente" sono quelle ricavate dall'Eurocodice 2, parte 2, e sono riportate nell'immagine seguente (si veda Figura 11).

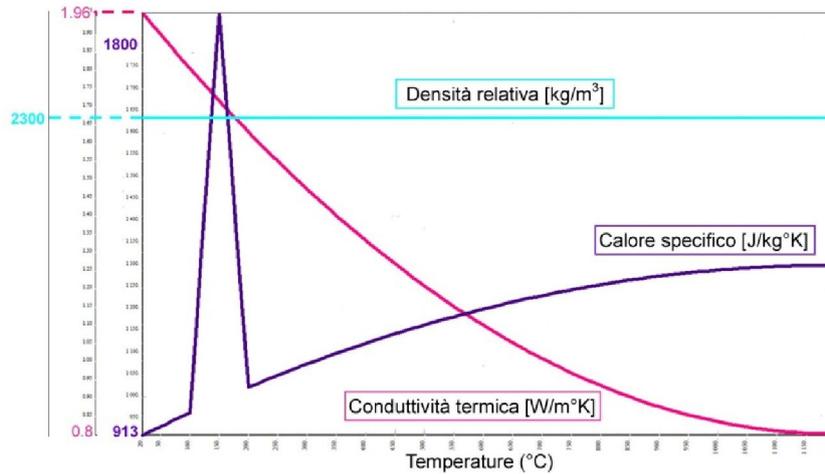


Figura 11 Conducibilità termica calcestruzzo

APPLICAZIONE FUOCO STANDARD

In IS Fuoco ci sono diversi tipi di esposizione disponibili, definiti dalla Normativa EC1 Parte 2-2, che contengono la definizione di tutte le proprietà che influenzano lo scambio termico e sono: Fuoco Standard, Fuoco da Esterni, Fuoco da Idrocarburi, Vuoti Interni ed Aria 20°. La curva temperatura/tempo più simile, tra quelle tratte da Norma, alla curva che era stata utilizzata durante la prova in forno (Circolare 91 del 14 settembre 1961) è quella chiamata “Fuoco standard” (si veda Figura 12).

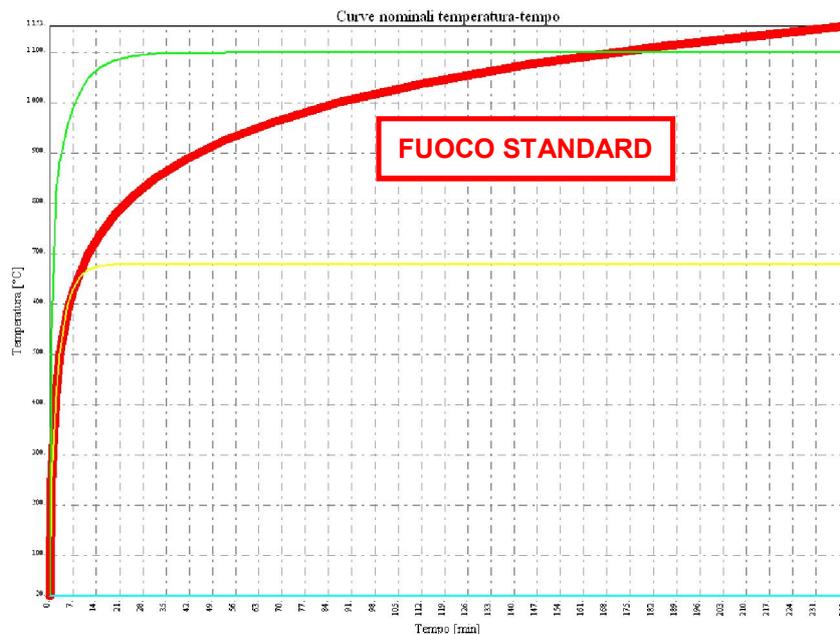


Figura 12 Curve temperatura tempo da Normativa

L'incendio standard, viene descritto dalla curva nominale ed è rappresentato con una temperatura media dei gas di combustione che cresce continuamente nel tempo in modo logaritmico secondo la relazione:

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

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

A differenza della curva della Circolare 91, espressa solo graficamente, la curva di Incendio Standard è funzione di una precisa espressione, quindi più precisa, ed è quella prevista anche dalle NTC 2008.

Per l'analisi bisogna distinguere i due casi a 60' e a 120'; si assegnano al lato esposto al fuoco l'esposizione "Fuoco Standard" e l'isolamento, avente le caratteristiche di conducibilità termica del calcestruzzo e lo spessore ricavato dal grafico precedente (Figura 10), ossia 3.1 cm per i 60 minuti di esposizione e 1.6 cm per i 120 minuti di esposizione.

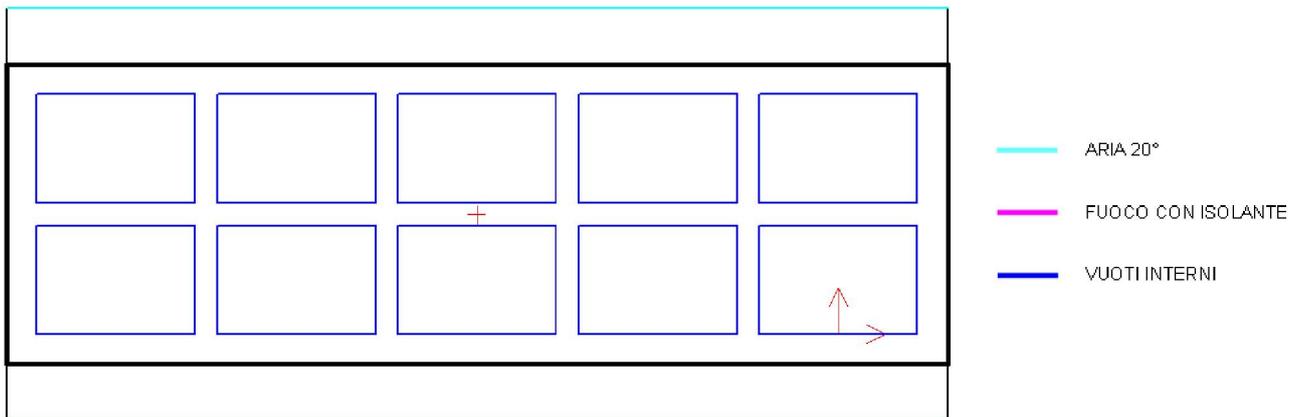


Figura 13 Sezione con esposizioni

Per procedere con il calcolo termico bisogna discretizzare la sezione della parete generando una mesh (elementi a 3 o 4 lati) che viene creata in automatico dal programma; l'utilizzatore deve scegliere il numero di elementi o il lato minimo di questi (si veda Figura 14).

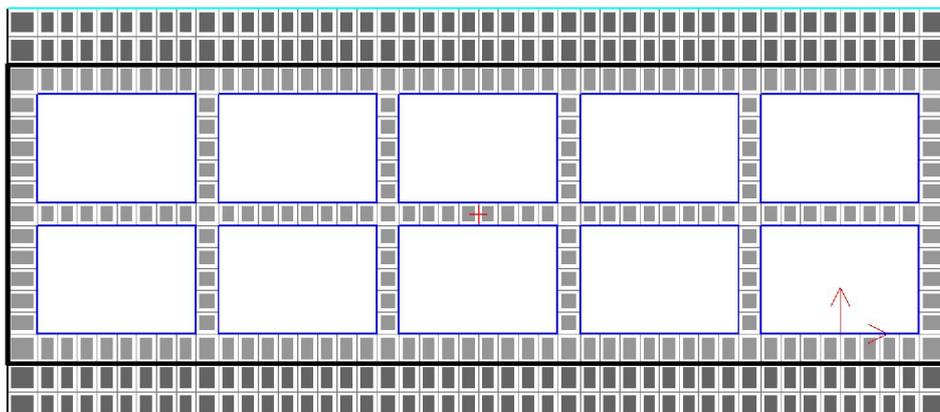


Figura 14 Sezione con mesh quadrangolare

LETTURA DEI RISULTATI TERMICI CURVA FUOCO STANDARD

Una volta introdotte le zone di esposizione e costruita la mesh è possibile generare le mappe termiche a intervalli di tempo stabiliti. Durante la generazione delle mappe termiche il programma consente di visualizzare a schermo la progressione delle temperature all'interno della sezione e la temperatura dei gas a contatto con i lati esposti.

Il calcolo è stato svolto in una prima fase fino a 60 minuti e, in una seconda fase, fino a 120 minuti di esposizione al fuoco, in modo da poter confrontare i risultati ottenuti in via analitica con quelli ricavati per via sperimentale.

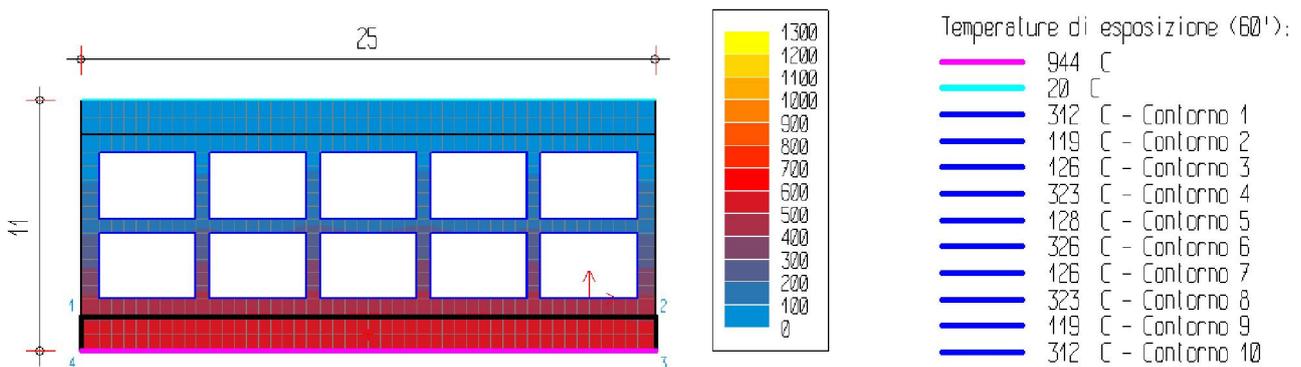


Figura 15 Mappatura termica e temperature contorni a 60 minuti di esposizione

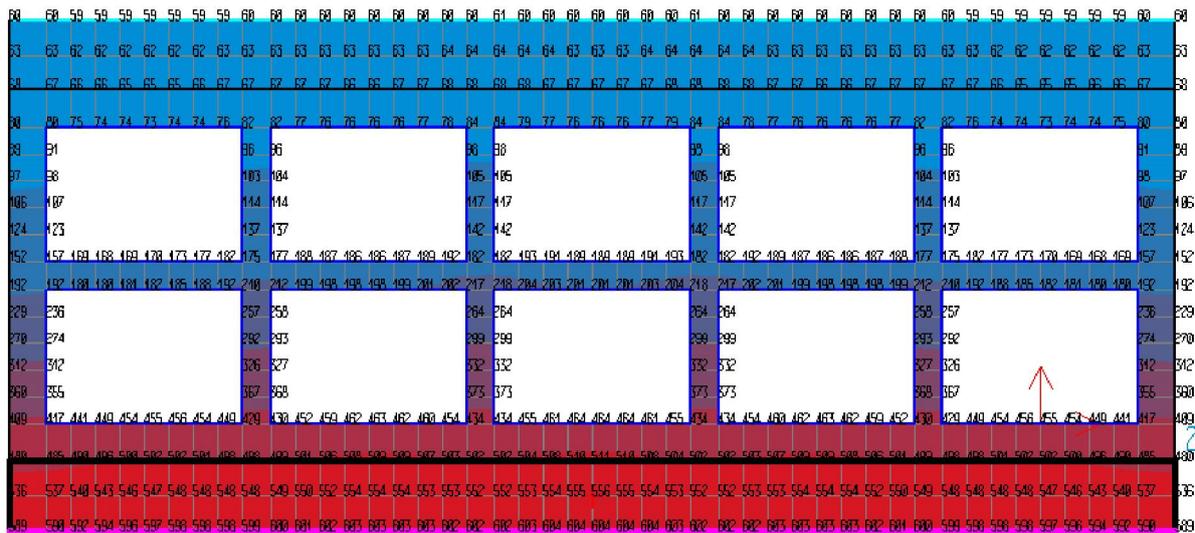


Figura 16 Temperature nei nodi a 60 minuti di esposizione

Le temperature sulla faccia non esposta (quella superiore) variano tra 59° C e 61° C, valori che rientrano nel range di variazione ricavato dalla prova eseguita in forno nel 2001, in cui le termocoppie avevano misurato, per 60 minuti di esposizione alla fiamma, una temperatura media pari a ~ 58° C e una temperatura massima pari a ~ 63°C.

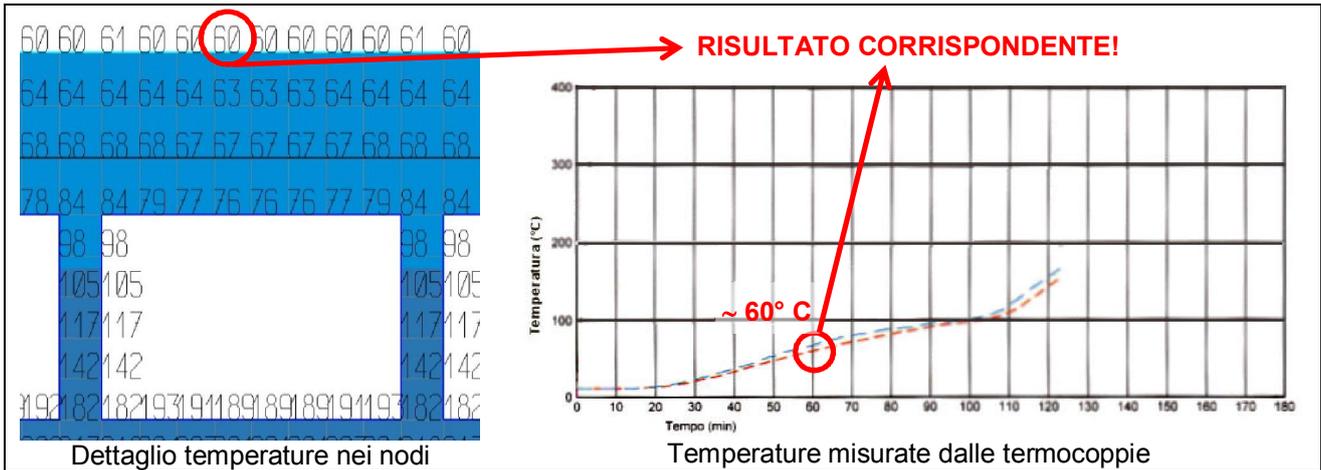


Figura 17 Confronto tra le temperature ottenute a 60 minuti

Si passa ora a valutare quanto si ricava in IS Fuoco dopo 120 minuti di esposizione al fuoco.

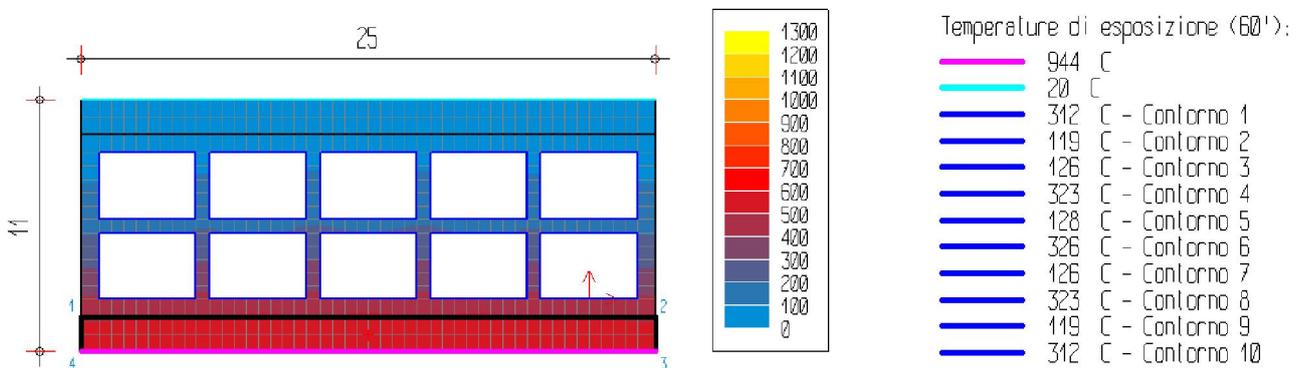


Figura 18 Mappatura termica e temperature contorni a 120 minuti di esposizione

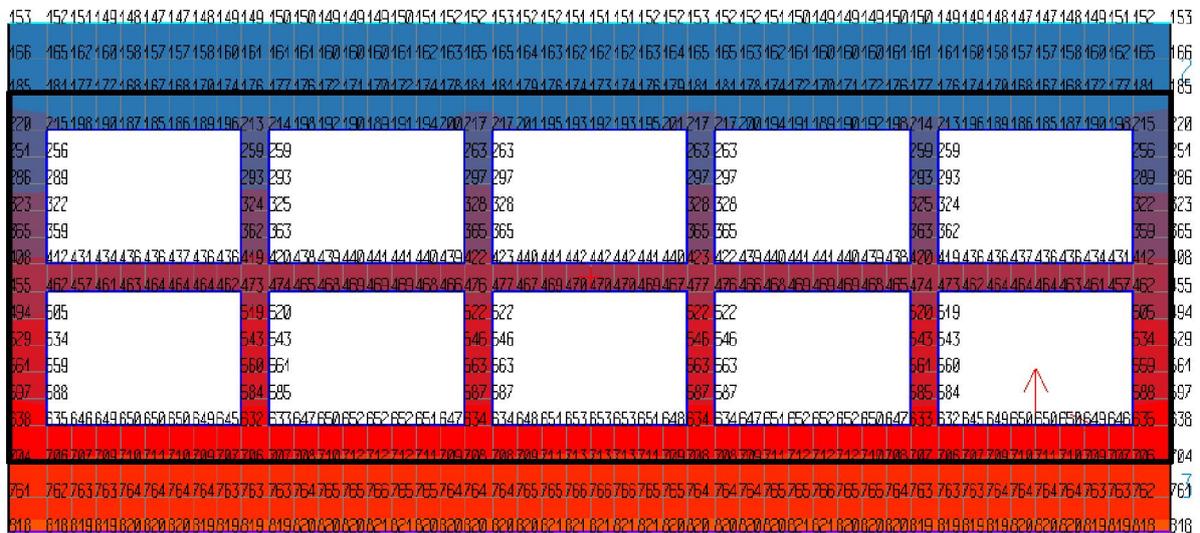


Figura 19 Temperatura nei nodi a 120 minuti di esposizione

Le temperature sulla faccia non esposta (quella superiore) variano tra 147° C e 153° C, valori che rientrano nel range di variazione ricavato dalla prova eseguita in forno nel 2001, in cui le termocoppie avevano misurato, per 120 minuti di esposizione alla fiamma, una temperatura media pari a ~ 141° C e una temperatura massima pari a ~ 153°C.

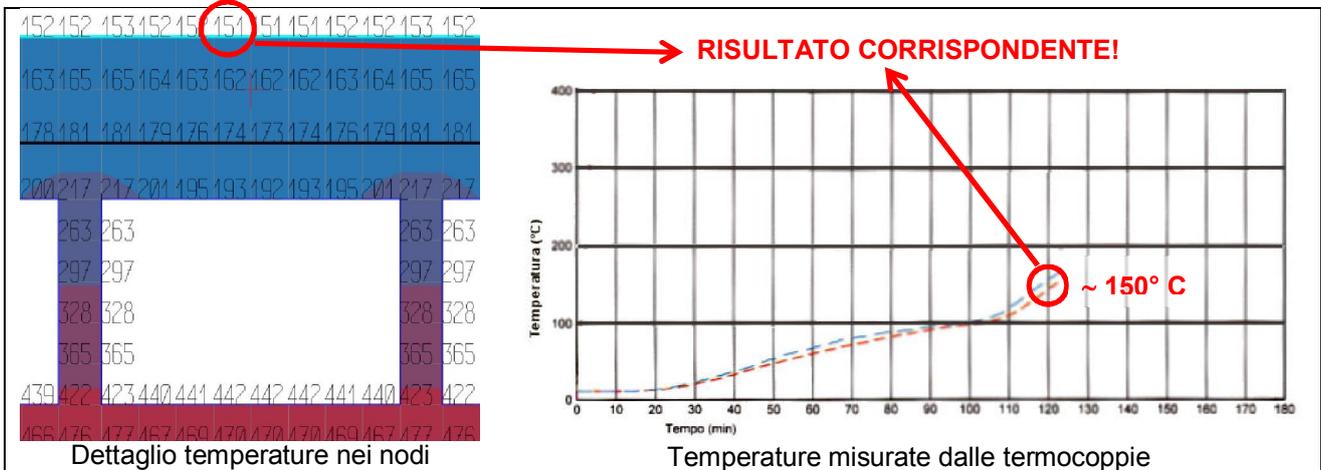
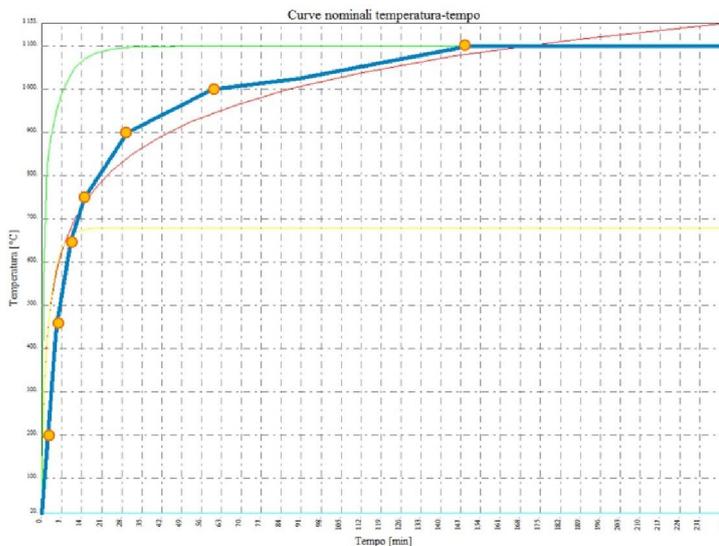


Figura 20 Confronto tra le temperature ottenute a 120 minuti

APPLICAZIONE CURVA CIRCOLARE 91

Si procede ora inserendo in IS Fuoco la curva riportata nella Circolare 91 del 14 settembre 1961 (si veda di seguito Figura 25).

Poiché non è presente una formula che rappresenta la curva temperatura/tempo si prendono i punti significativi sul grafico e li si riporta all'interno di IS Fuoco (si veda di seguito Figura 21).



	Tempo	Temper.
1	0	20
2	2	200
3	5	450
4	10	650
5	15	750
6	30	900
7	60	1000
8	90	1025
9	150	1100

Coordinate sul grafico

Figura 21 Curva temperatura – tempo Circolare 91

I risultati ottenuti con il nuovo calcolo sono del tutto paragonabili a quelli ottenuti con il calcolo precedente, come si può vedere dalle seguenti immagini (Figura 22 e Figura 23).

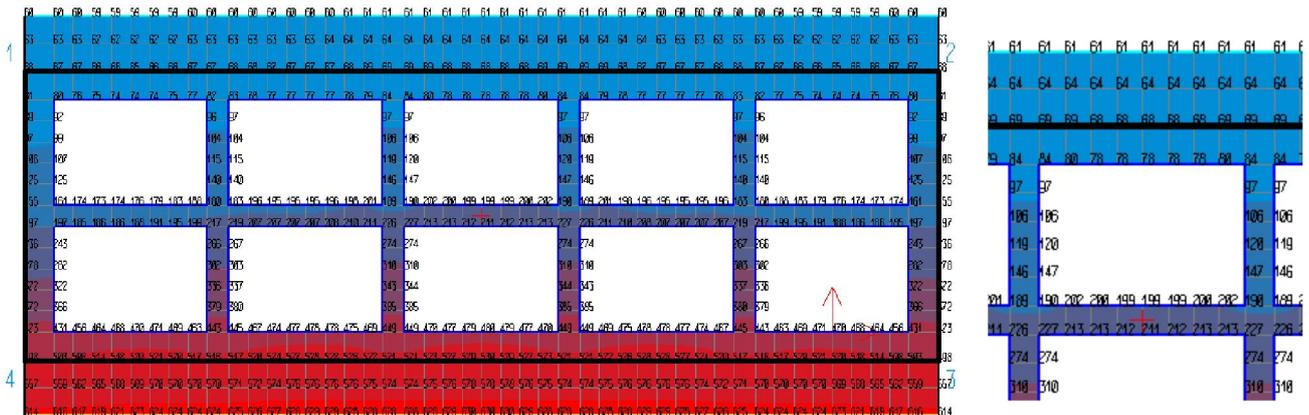


Figura 22 Temperature nei nodi a 60 minuti di esposizione

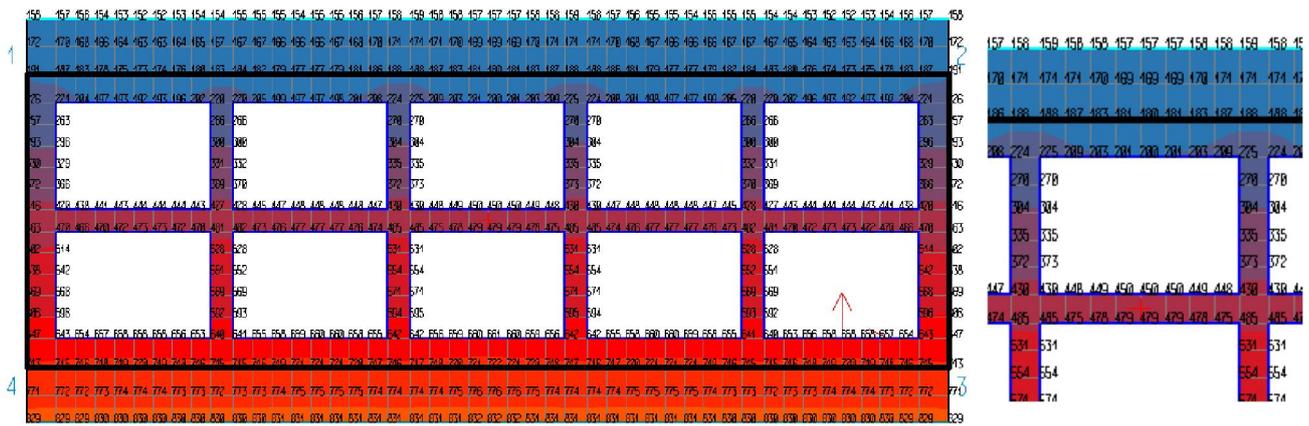


Figura 23 Temperature nei nodi a 120 minuti di esposizione

CONCLUSIONI

In base al confronto dei risultati ottenuti dalla prova in forno e dal calcolo rigoroso svolto con IS Fuoco si ha una buona corrispondenza delle temperature, ciò dimostra l'efficacia e la precisione del software.

Il metodo di calcolo rigoroso consente, a differenza di quelli semplificati, di analizzare casi molto particolari come questo e di poter monitorare l'evoluzione della temperatura in ogni punto della sezione sottoposta a incendio.