

	Pilastro in c.a. (sez. 50x50 cm)
	Trave perimetrale a "T" in c.a.p.
	Trave di copertura a "Y" in c.a.p.

Figura 8 – Modello implementato nel software di calcolo e relativa legenda

La struttura è stata modellata per mezzo di elementi tipo “*beam*” sia per le travi che per i pilastri. I pilastri sono stati modellati con il vincolo di incastro alla base.

Le travi perimetrali in c.a.p. sono state opportunamente svincolate dai pilastri, trattandosi di elementi in semplice appoggio. Le travi di copertura in c.a.p. sono state opportunamente svincolate dalle travi perimetrali per ricreare il vincolo di appoggio presente in opera.

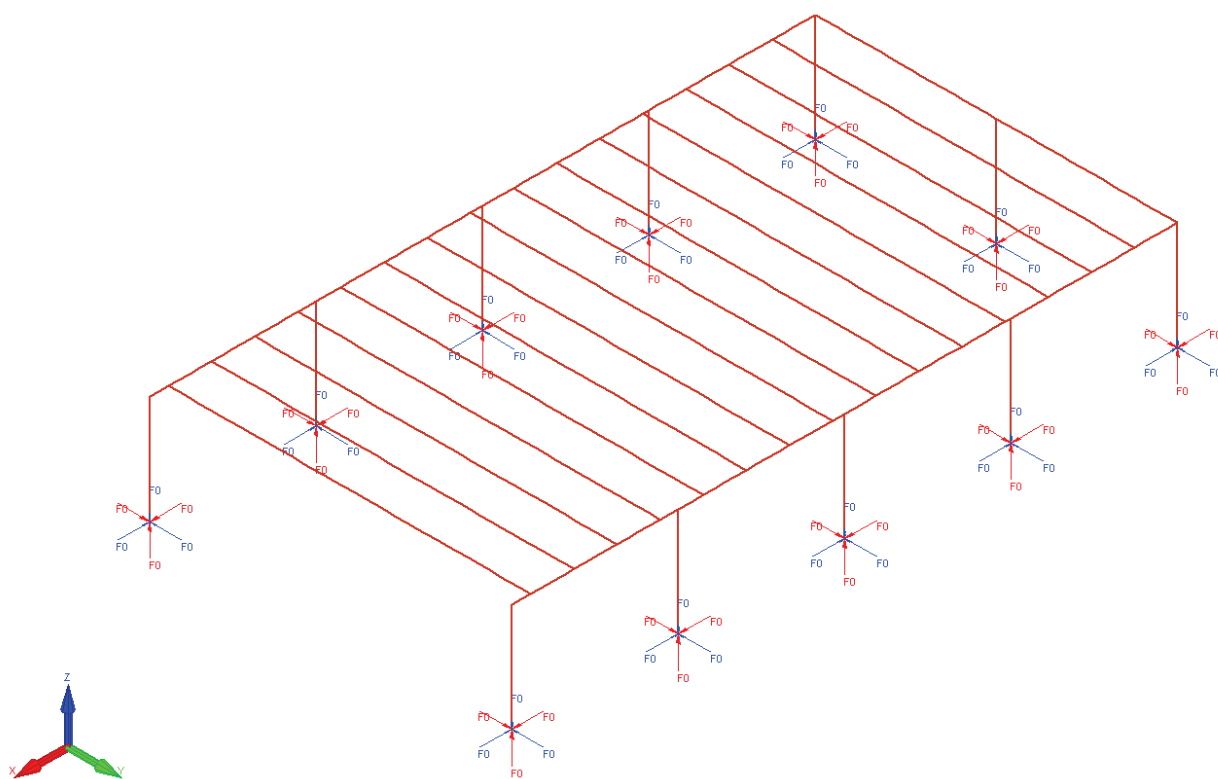


Figura 9 – Condizioni di vincolo

4.2 AZIONI SULLA STRUTTURA IN CONDIZIONE INCENDIO

4.2.1 AZIONI MECCANICHE

Il calcolo delle azioni di progetto $E_{fi,d}$, è stato effettuato in conformità alla norma EN 1990: 2002, tenendo quindi in conto della presenza delle azioni permanenti e delle azioni variabili che agiscono contemporaneamente all'incendio secondo la combinazione eccezionale:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

dove:

G_1 = azioni permanenti dovute al peso proprio di tutti gli elementi strutturali;

G_2 = azioni permanenti dovute al peso proprio di elementi non strutturali;

P = azioni permanenti dovute alla pretensione e precompressione;

A_d = azioni eccezionali;

Q_{ki} = azioni variabili di lunga e breve durata;

ψ_{2i} = coefficienti di combinazione delle azioni accidentali ricavabili da apposite tabelle

Action	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Imposed loads in buildings, category (see EN 1991-1-1)			
Category A : domestic, residential areas	0,7	0,5	0,3
Category B : office areas	0,7	0,5	0,3
Category C : congregation areas	0,7	0,7	0,6
Category D : shopping areas	0,7	0,7	0,6
Category E : storage areas	1,0	0,9	0,8
Category F : traffic area, vehicle weight $\leq 30\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
Category G : traffic area, $30\text{kN} < \text{vehicle weight} \leq 160\text{kN}$	0,7	0,5	0,3
Category H : roofs	0	0	0
Snow loads on buildings (see EN 1991-1-3)*			
Finland, Iceland, Norway, Sweden	0,70	0,50	0,20
Remainder of CEN Member States, for sites located at altitude $H > 1000\text{ m a.s.l.}$	0,70	0,50	0,20
Remainder of CEN Member States, for sites located at altitude $H \leq 1000\text{ m a.s.l.}$	0,50	0,20	0
Wind loads on buildings (see EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperature (non-fire) in buildings (see EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
NOTE The ψ values may be set by the National annex.			
* For countries not mentioned below, see relevant local conditions.			

Figura 10 - Coefficienti di combinazione - EN 1990:2002

Al caso in esame, visti i coefficienti moltiplicativi pari a 0 per le azioni accidentali di neve e vento, le strutture analizzate risultano soggette solamente al peso proprio ed al peso della copertura portata.

	Valore	Coefficiente moltiplicativo
Peso proprio elementi strutturali in c.a. (G_1)	2400 kg/mc	1,0
Carichi permanenti non strutturali (G_2)	235 kg/mq	1,0
Carico neve (Q)	120 kg/mq	0,0

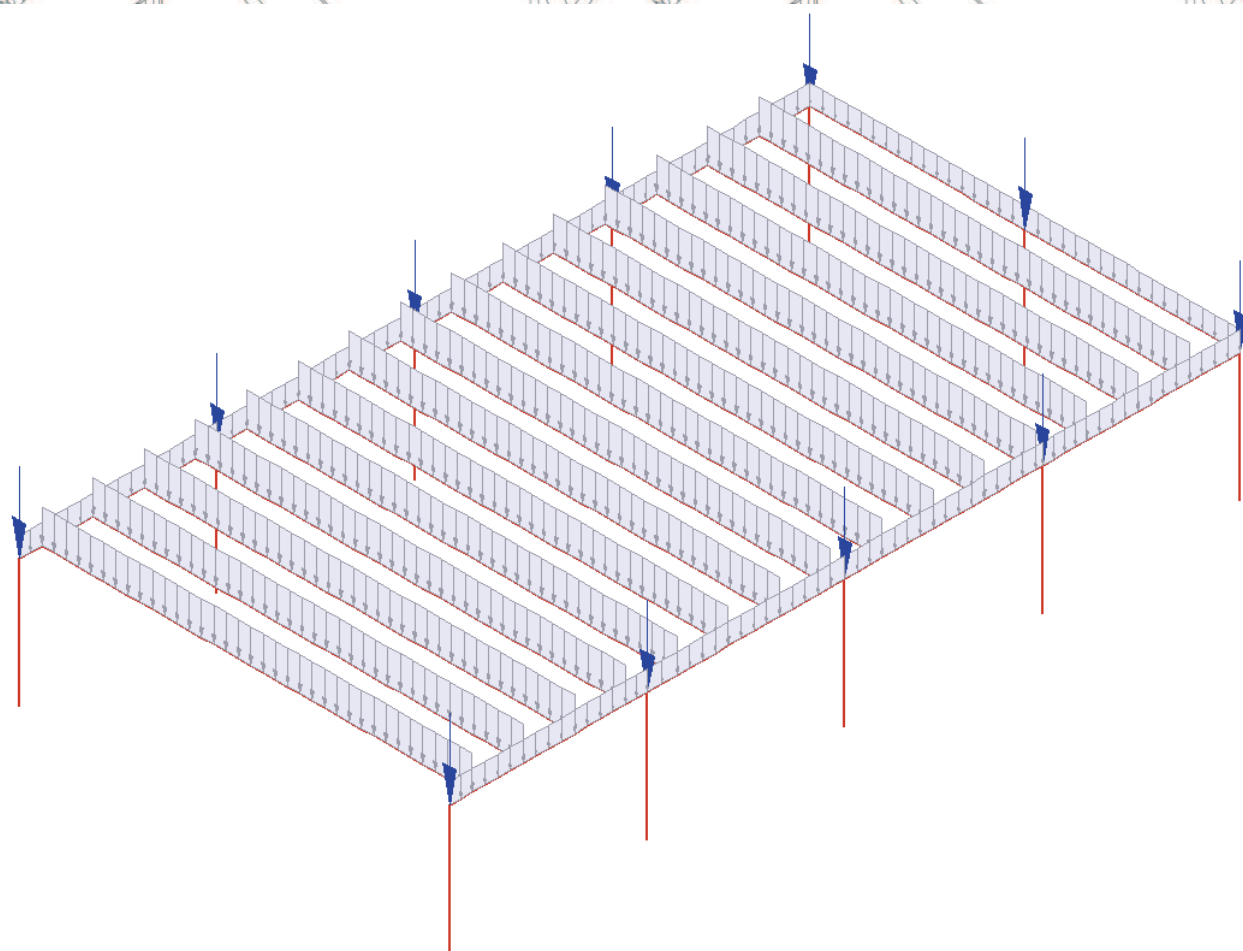


Figura 11 - Condizioni di carico

4.2.2 AZIONI TERMICHE

Per quanto riguarda l'azione termica agente sulle strutture del magazzino, si sono utilizzate le temperature registrate nello scenario di incendio S2, per le 3 posizioni dell'innesco termico considerato (con riferimento al documento *"Soluzione alternativa per la strategia antincendio S2 – Resistenza al Fuoco del DM 03.08.2015"*), di seguito riportate:

- **Scenario di incendio S2 – Innesco A**
- **Scenario di incendio S2 – Innesco B**
- **Scenario di incendio S2 – Innesco C**

Scenario S2 – Innesco A

Relativamente allo scenario d'incendio S2 - Innesco A, sono state prese in considerazione le azioni termiche registrate dalle termocoppie **THCP_sopra**, **TCHP_AreaB** e **P_7**, che risultano essere le più gravose, rispettivamente, per le travi dell'area di stoccaggio A, zona di innesco dell'incendio, per le travi dell'area di stoccaggio B e per i pilastri.

I dati forniti dalla termocoppia **THCP_sopra**, posta all'intradosso della trave a quota 6,3 m e a distanza 1,5 m dall'innesco, evidenziano una fase iniziale di veloce crescita delle temperature fino al valore di 150°C raggiunto dopo circa 400 secondi, alla quale segue una fase di crescita più moderata fino ad un valore massimo di 230°C e un valore medio di 170 °C, per giungere all'estinzione dell'incendio dopo circa 7300 sec.

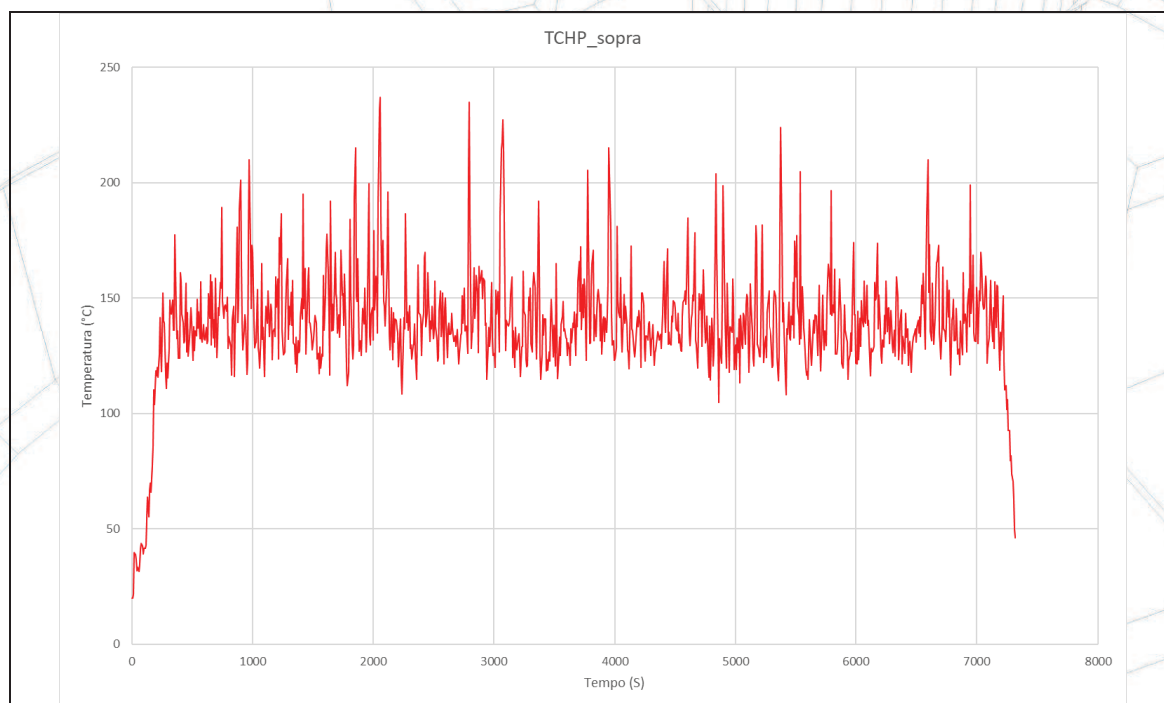
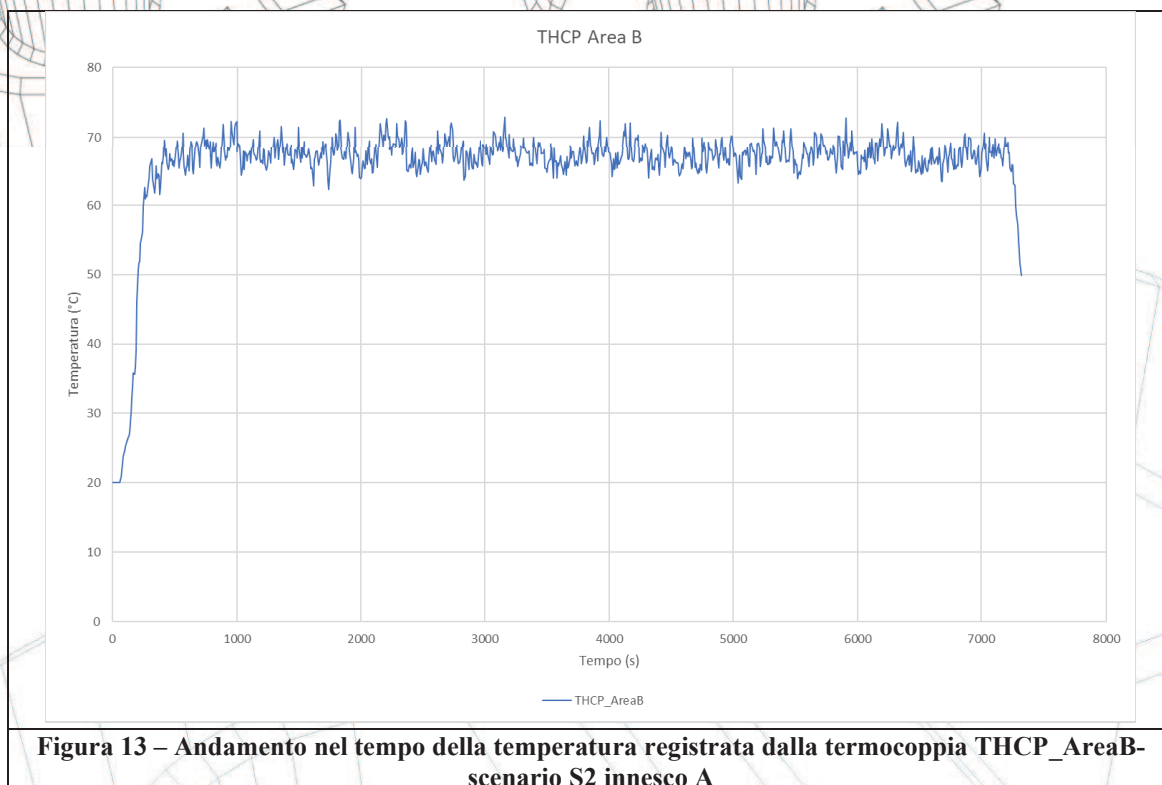
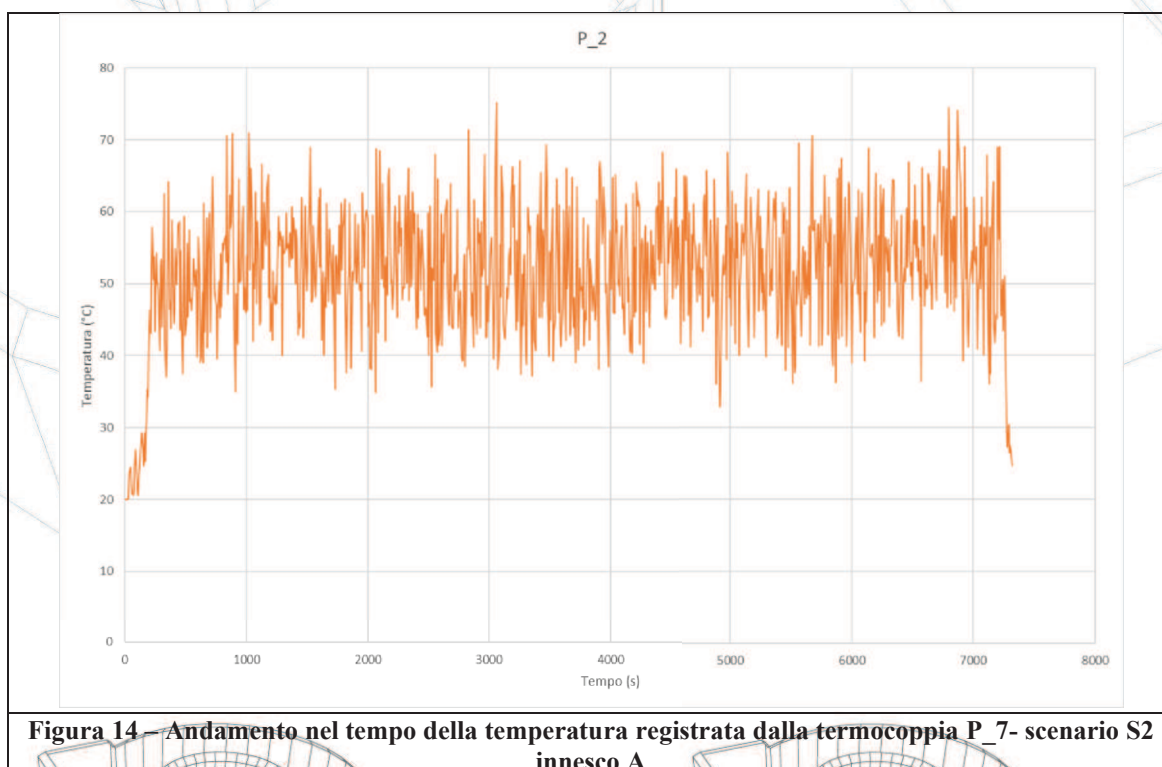


Figura 12 – Andamento nel tempo della temperatura registrata dalla termocoppia THCP_sopra- scenario S2 innesco A

I dati forniti dalla termocoppia **THCP_AreaB**, posta in corrispondenza dell'area di stoccaggio B all'intradosso delle travi, evidenziano una fase iniziale di crescita delle temperature fino al valore medio di circa 70°C, mantenuto costante per tutto il tempo indagato fino all'estinzione dell'incendio.



I dati forniti dalla termocoppia **P_2**, posta in corrispondenza di uno dei pilastri, evidenziano una fase di crescita delle temperature fino ad un valore di picco di circa 75°C e un valore medio di 57°C, mantenuto costante per tutta l'analisi fino all'estinzione dell'incendio.



Nell'immagine seguente si riportano in rosso gli elementi sottoposti all'azione termica registrata dalla termocoppia THCP_sopra, in giallo i pilastri sottoposti all'azione termica della termocoppia P_2, in verde gli elementi sottoposti all'azione termica registrata dalla termocoppia THCP_AreaB e in blu le strutture ubicate presso l'attività adiacente, divisa dal magazzino studiato mediante un'opportuna parete di compartimentazione, e quindi poste a temperatura ambiente:

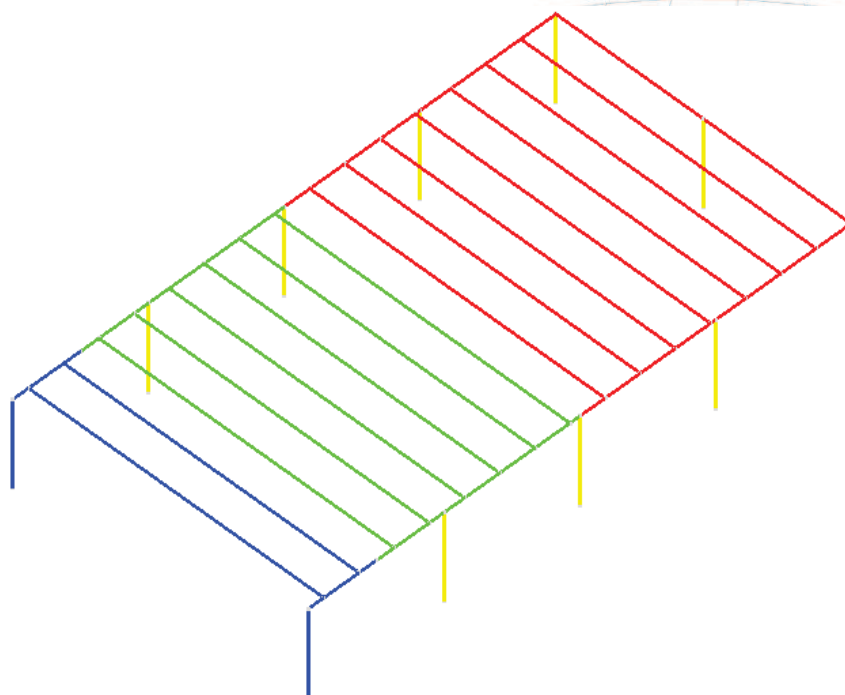
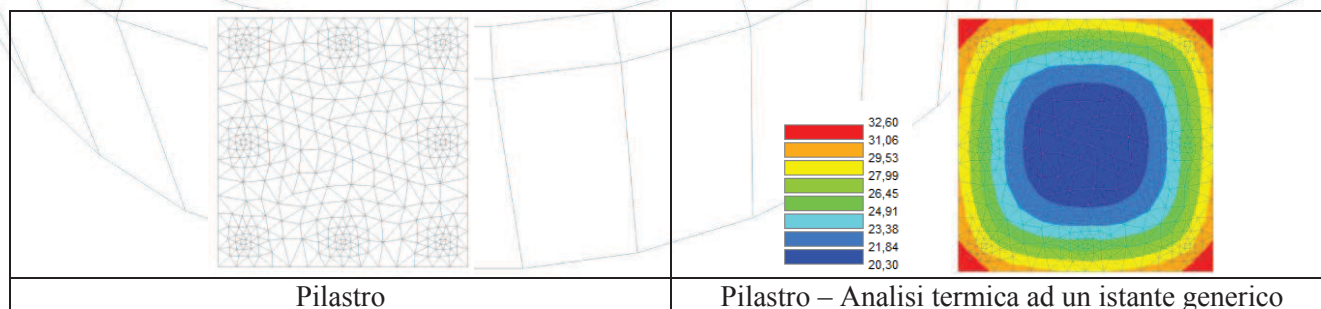


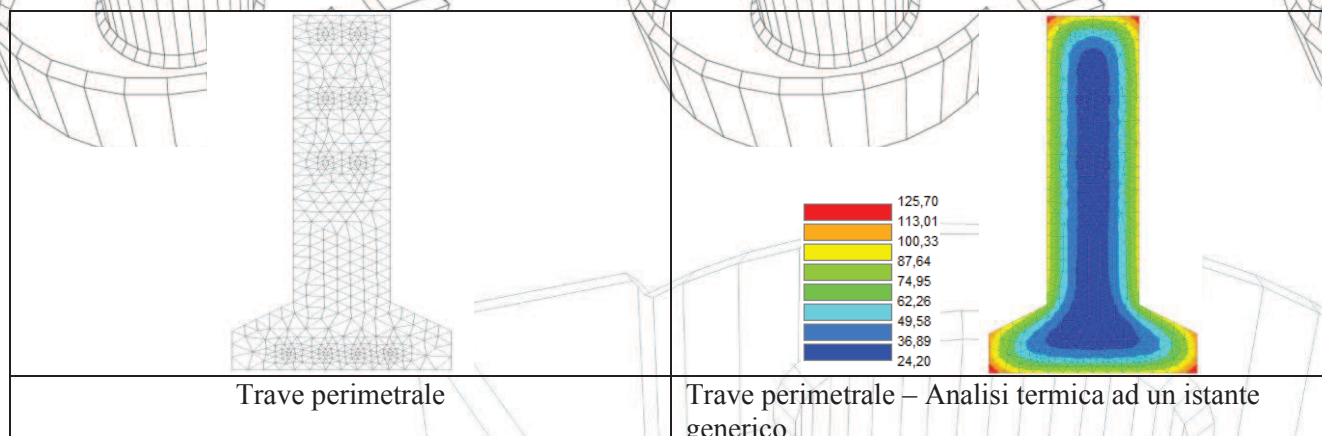
Figura 15 – Carico termico – Individuazione grafica degli elementi sottoposti alla curva naturale d'incendio relativa alle termocoppie THCP_sopra (in rosso), P_2 (in giallo), THCP_AreaB (in verde) e gli elementi a temperatura ambiente (in blu).

Si riportano nel seguito le sezioni inserite nel modello di calcolo con le relative analisi termiche (si riporta la mappatura ad un istante generico, giusto per evidenziare l'esposizione attribuita all'elemento).

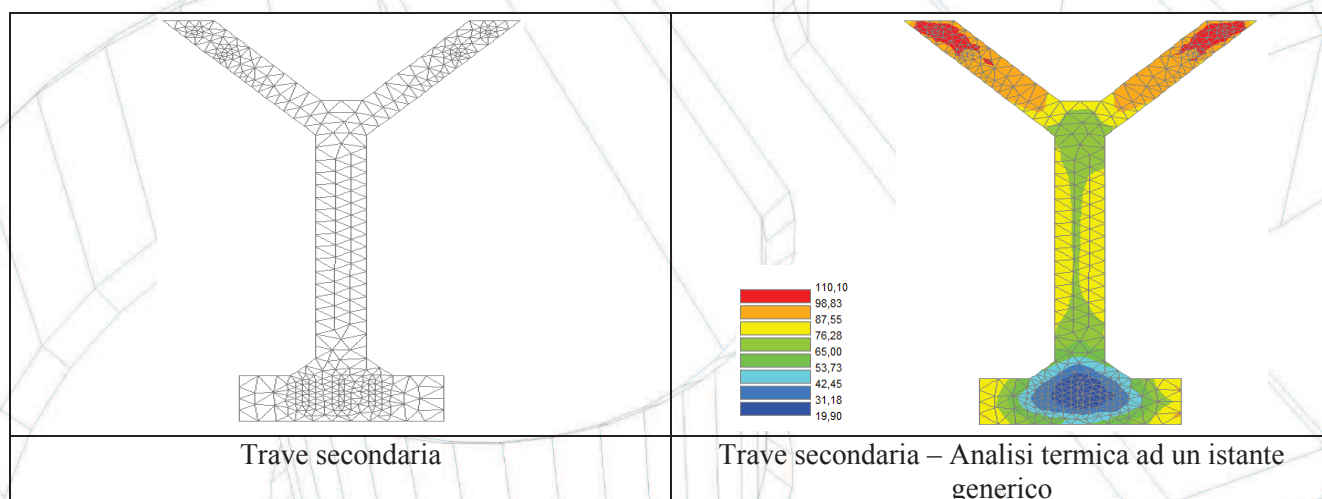
- **Pilastro:** pilastro in conglomerato cementizio armato, avente sezione quadrata di dimensioni 50x50 cm, non protetto ed esposto al fuoco su tutti i lati.



- **Trave perimetrale:** trave in conglomerato cementizio armato precompresso, avente sezione a T di altezza 115 cm, non protetta ed esposta al fuoco su tutti i lati.



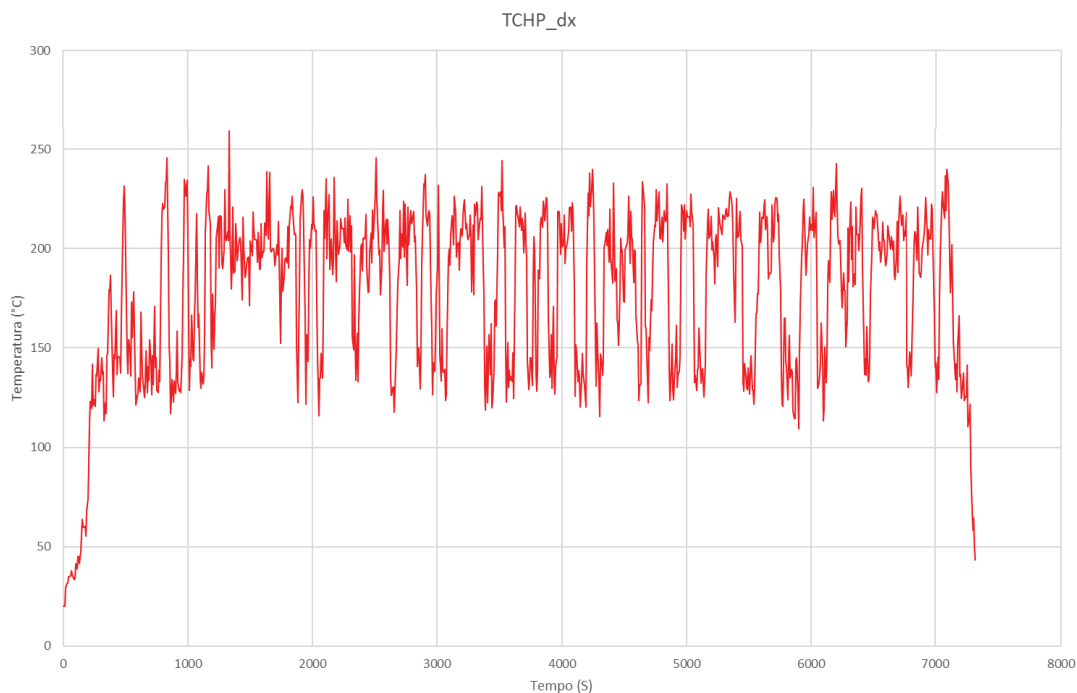
- **Trave secondaria:** trave in conglomerato cementizio armato precompresso, avente sezione a I di altezza 110 cm, non protetto ed esposto al fuoco su tutti i lati.



Scenario S2 – Innesco B

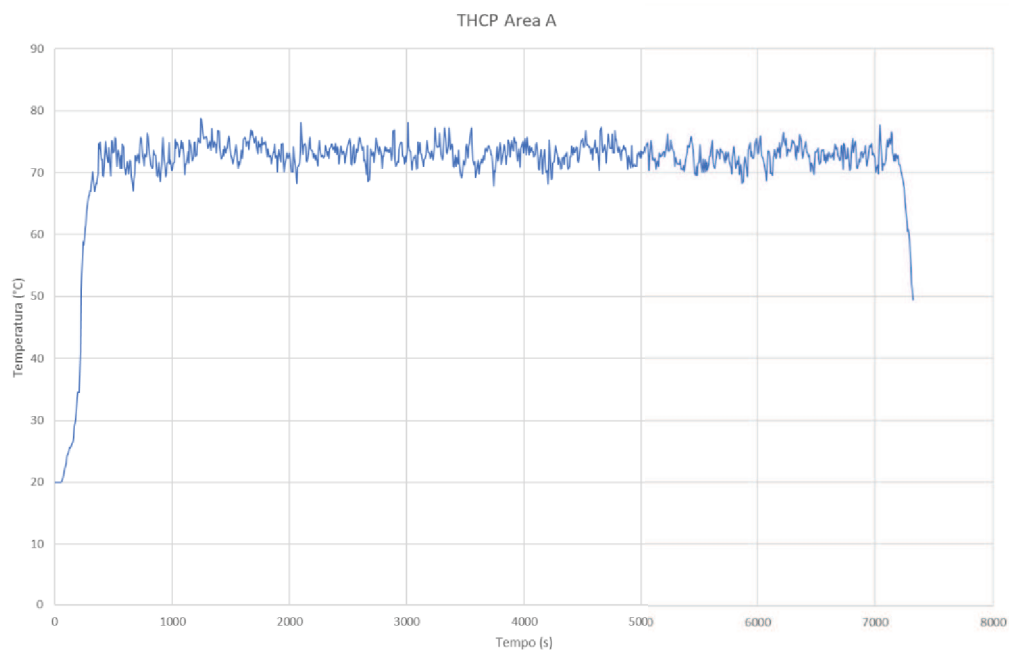
Relativamente allo scenario d'incendio S2 – Innesco B, sono state prese in considerazione le azioni termiche registrate dalle termocoppie **THCP_dx**, **TCHP_AreaA** e **P_2**, che risultano essere le più gravose, rispettivamente, per le travi dell'area di stoccaggio B, zona di innesco dell'incendio, per le travi dell'area di stoccaggio A e per i pilastri.

I dati forniti dalla termocoppia **THCP_dx**, posta all'intradosso della trave a quota 6,3 m e a distanza 1,5 m dall'innesco, evidenziano una fase iniziale di veloce crescita delle temperature fino al valore di 150°C raggiunto dopo circa 400 secondi, alla quale segue una fase di crescita più moderata fino ad un valore di picco di 260°C e un valore medio di 180 °C, per giungere all'estinzione dell'incendio dopo circa 7400 sec.



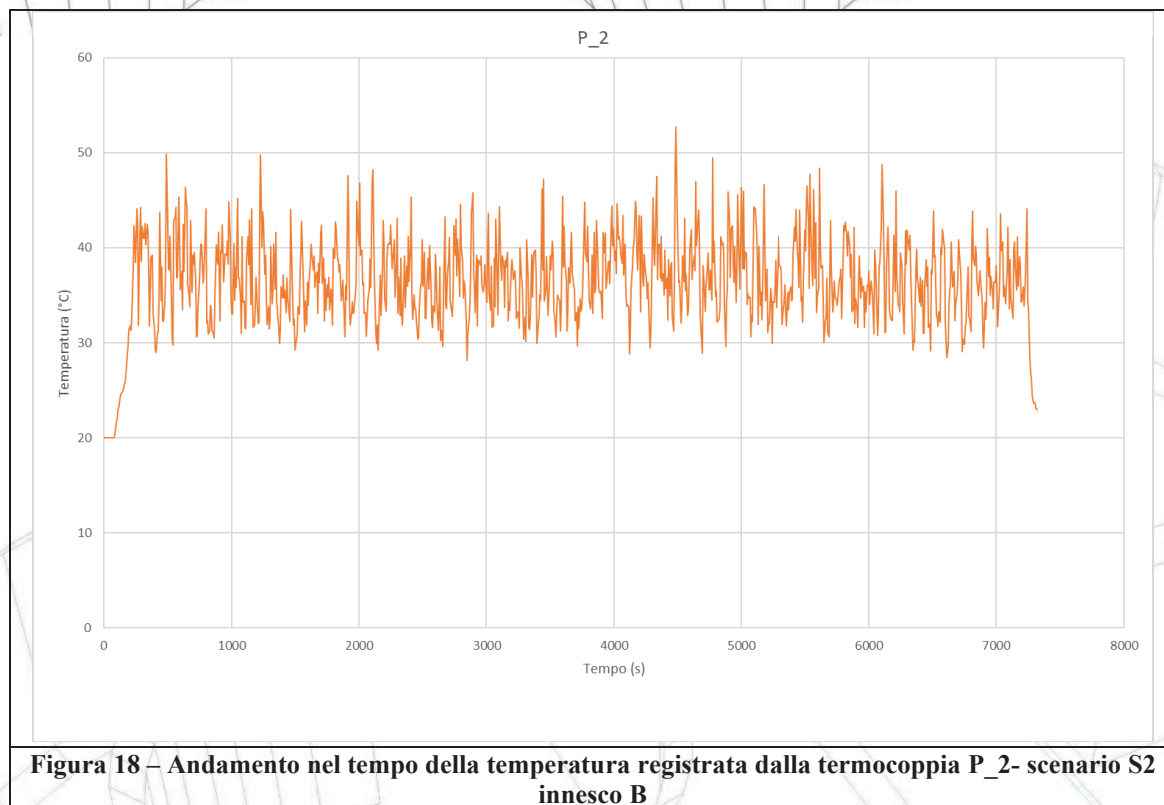
**Figura 16 – Andamento nel tempo della temperatura registrata dalla termocoppia THCP_dx-
scenario S2 innesco B**

I dati forniti dalla termocoppia **THCP_AreaA**, posta in corrispondenza dell'area di stoccaggio A all'intradosso delle travi, evidenziano una fase iniziale di crescita delle temperature fino al valore medio di circa 75°C, mantenuto costante per tutto il tempo di analisi, fino all'estinzione dell'incendio.



**Figura 17 – Andamento nel tempo della temperatura registrata dalla termocoppia THCP_AreaA-
scenario S2 innesco B**

I dati forniti dalla termocoppia **P_2**, posta in corrispondenza di uno dei pilastri, evidenziano una fase di crescita delle temperature fino al valore di picco di circa 52°C e un valore medio di 40 °C, mantenuto costante per tutta l'analisi fino all'estinzione dell'incendio.



Nell'immagine seguente si riportano in rosso gli elementi sottoposti all'azione termica registrata dalla termocoppia THCP_dx, in giallo i pilastri sottoposti all'azione termica della termocoppia P_2, in verde gli elementi sottoposti all'azione termica registrata dalla termocoppia THCP_AreaA e in blu le strutture ubicate presso l'attività adiacente, divisa dal magazzino studiato mediante un'opportuna parete di compartimentazione, e quindi poste a temperatura ambiente:

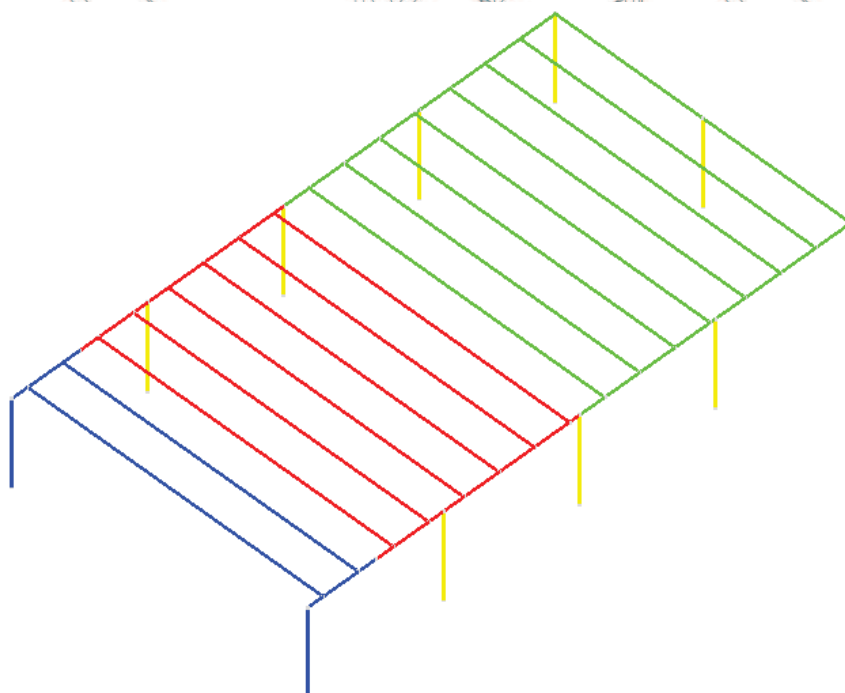
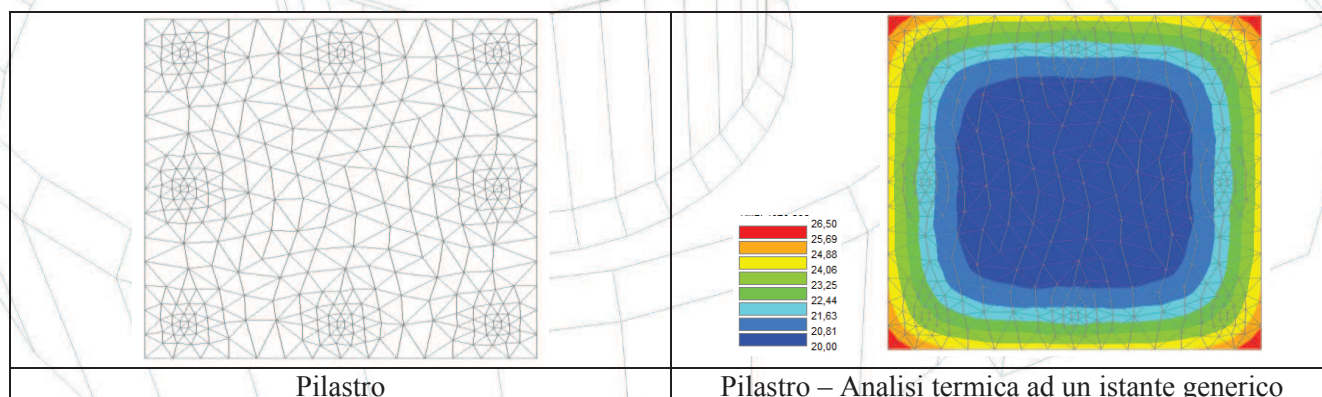


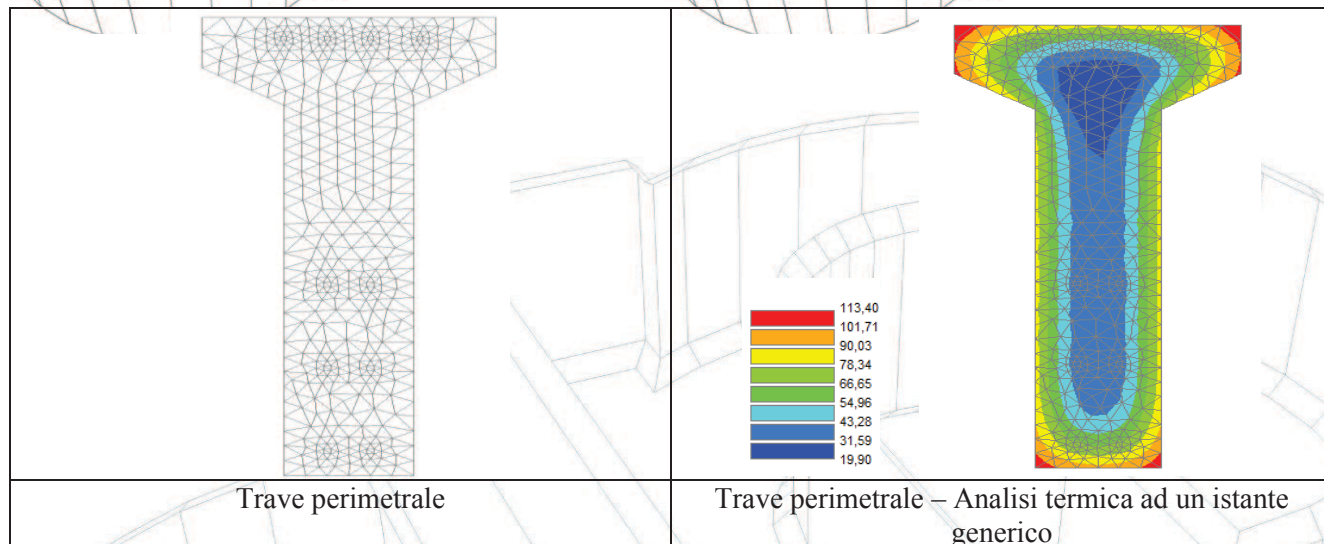
Figura 19 – Carico termico – Individuazione grafica degli elementi sottoposti alla curva naturale d'incendio relativa alle termocoppie THCP_dx (in rosso), P_2 (in giallo), THCP_AreaA (in verde) e gli elementi a temperatura ambiente (in blu).

Si riportano nel seguito le sezioni inserite nel modello di calcolo con le relative analisi termiche (si riporta la mappatura ad un istante generico, giusto per evidenziare l'esposizione attribuita all'elemento).

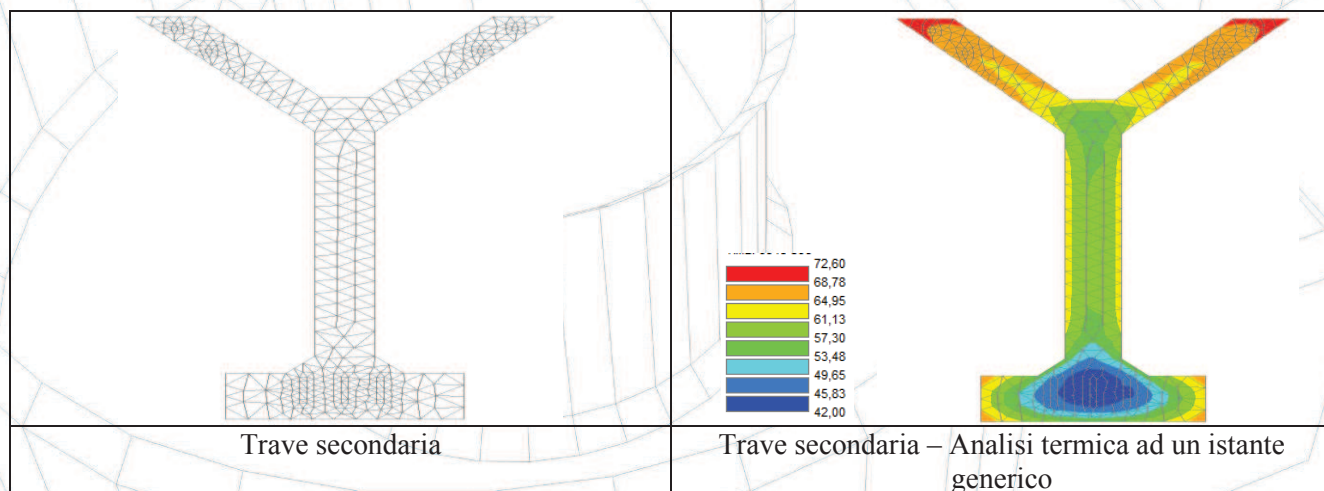
- **Pilastro:** pilastro in conglomerato cementizio armato, avente sezione quadrata di dimensioni 50x50 cm, non protetto ed esposto al fuoco su tutti i lati.



- **Trave perimetrale:** trave in conglomerato cementizio armato precompresso, avente sezione a T di altezza 115 cm, non protetta ed esposta al fuoco su tutti i lati.



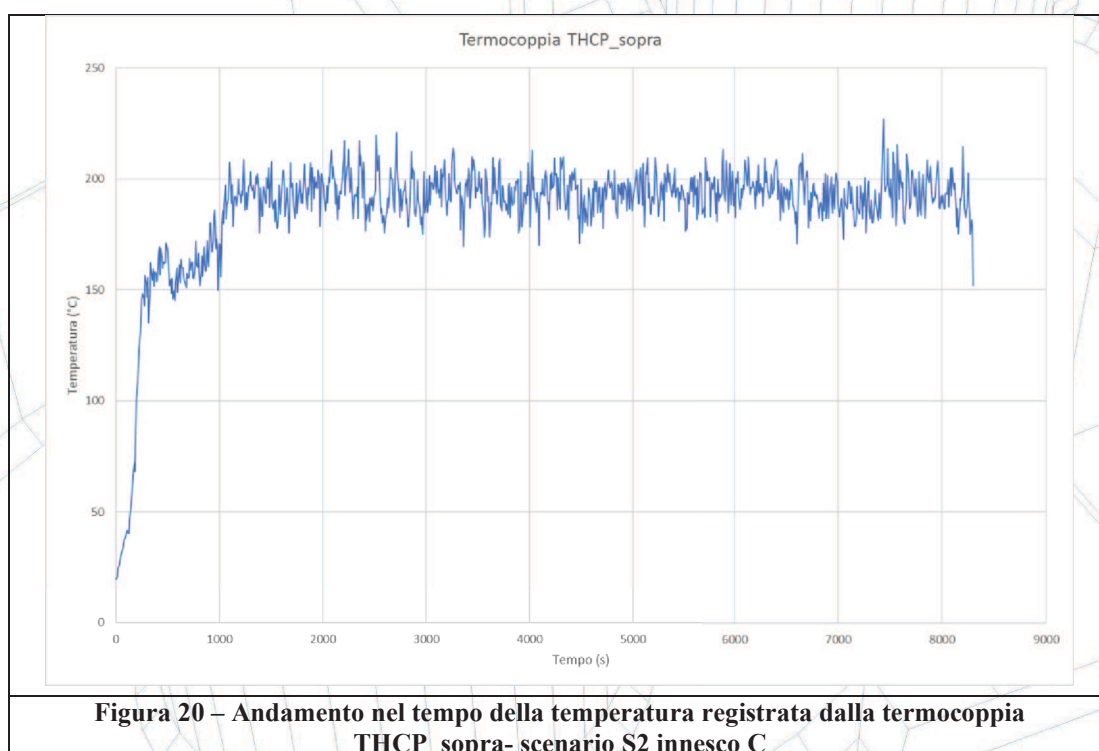
- **Trave secondaria:** trave in conglomerato cementizio armato precompresso, avente sezione a Y di altezza 110 cm, non protetta ed esposta al fuoco su tutti i lati.



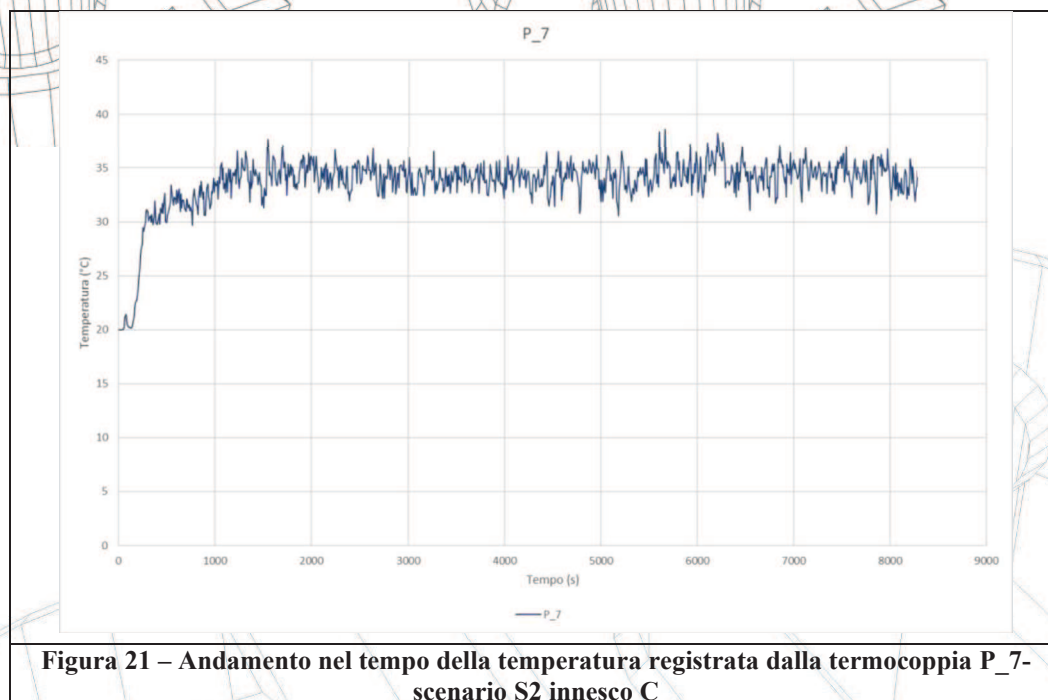
Scenario S2 – Innesco C

Relativamente allo scenario d'incendio S2 - Innesco C, sono state prese in considerazione le azioni termiche registrate dalla termocoppia **THCP_sopra** e dalla termocoppia **P_7**, che risultano essere le più gravose rispettivamente per le travi e per i pilastri.

I dati forniti dalla termocoppia **THCP_sopra**, posta all'intradosso della trave a quota 6,3 m e a distanza 1,5 m dall'innesco, evidenziano una fase iniziale di veloce crescita delle temperature fino al valore di 170°C raggiunto dopo circa 500 secondi, alla quale segue una fase di crescita più moderata fino ad un valore medio di circa 200°C, mantenuto costante per tutto il tempo indagato, fino all'estinzione dell'incendio.

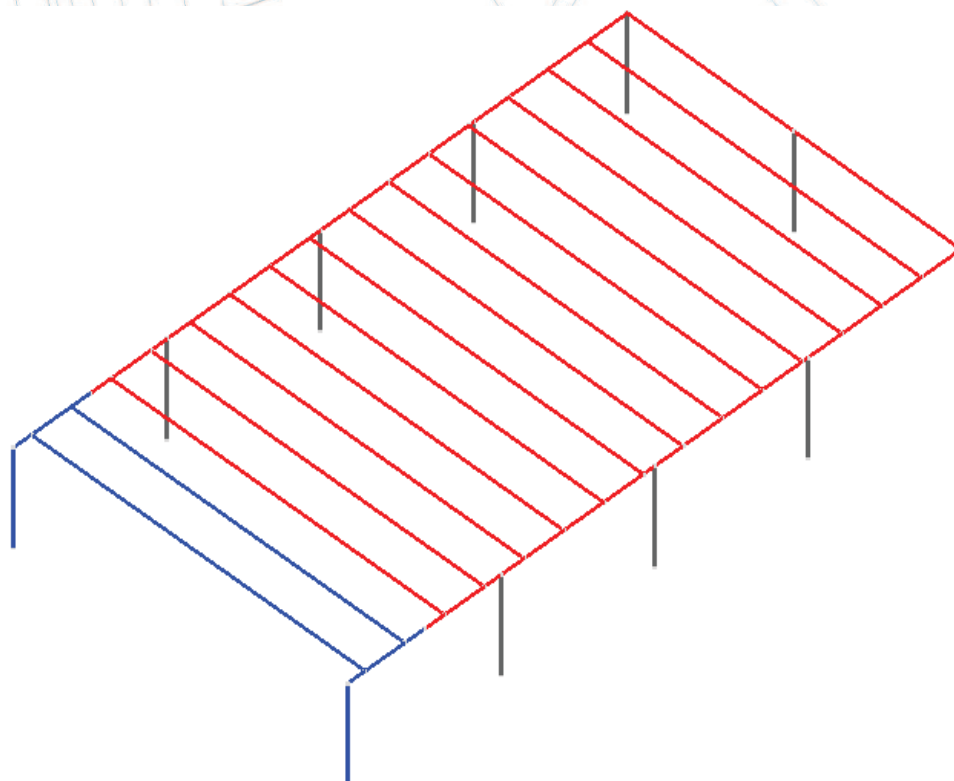


I dati forniti dalla termocoppia **P_7**, posta in corrispondenza di uno dei pilastri, evidenziano una fase di crescita delle temperature fino al valore medio di circa 35°C, mantenuto costante per tutto il tempo indagato, fino all'estinzione dell'incendio.



**Figura 21 – Andamento nel tempo della temperatura registrata dalla termocoppia P_7-
scenario S2 innesco C**

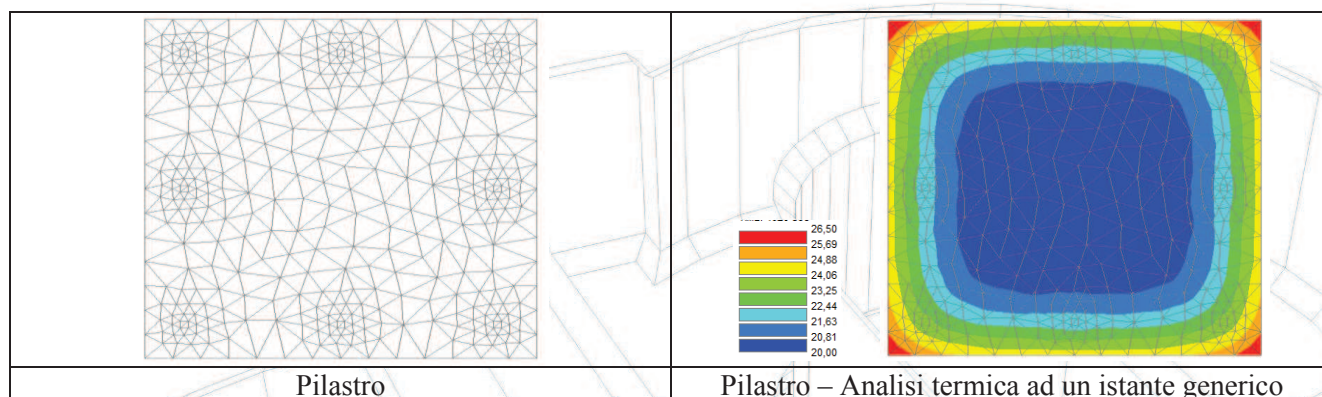
Nell'immagine seguente si riportano in rosso gli elementi sottoposti all'azione termica registrata dalla termocoppia THCP_sopra, in grigio i pilastri sottoposti all'azione termica della termocoppia P_7, e in blu le strutture ubicate presso l'attività adiacente, divisa dal magazzino studiato mediante un'opportuna parete di compartimentazione, e quindi poste a temperatura ambiente:



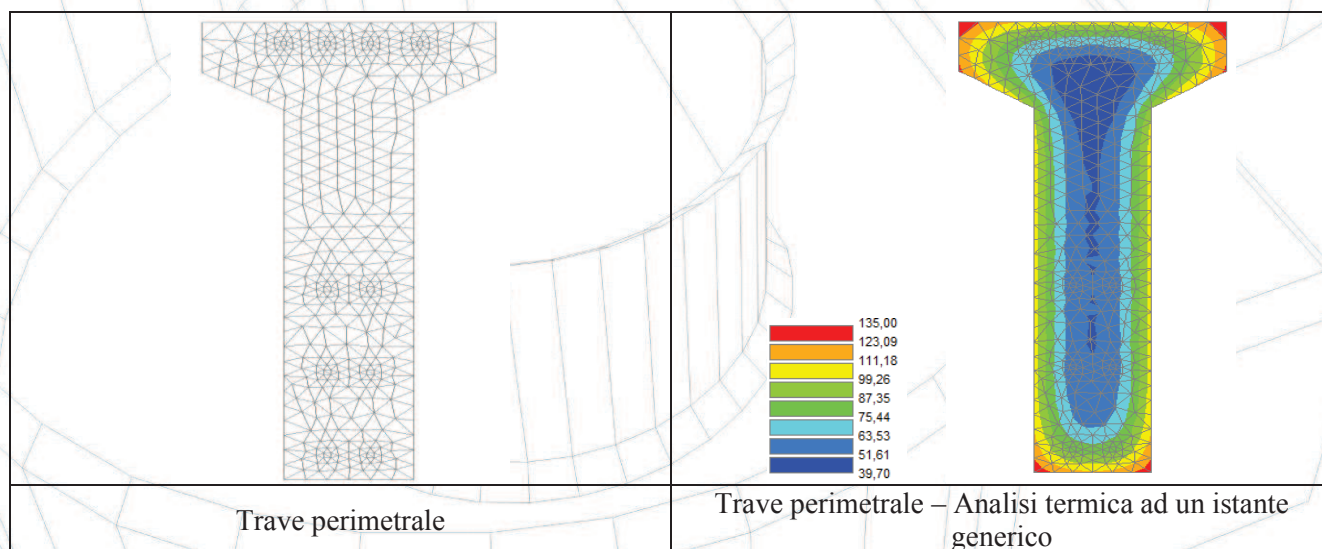
**Figura 22 – Carico termico – Individuazione grafica degli elementi sottoposti alla curva naturale d'incendio relativa
alle termocoppie THCP_sopra (in rosso), P_7 (in grigio) e gli elementi a temperatura ambiente (in blu).**

Si riportano nel seguito le sezioni inserite nel modello di calcolo con le relative analisi termiche (si riporta la mappatura ad un istante generico, giusto per evidenziare l'esposizione attribuita all'elemento).

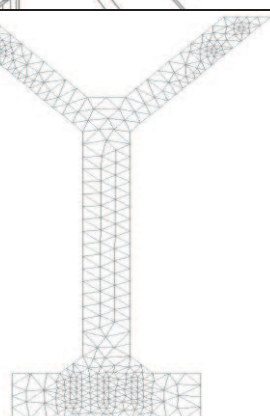
- **Pilastro:** pilastro in conglomerato cementizio armato, avente sezione quadrata di dimensioni 50x50 cm, non protetto ed esposto al fuoco su tutti i lati.



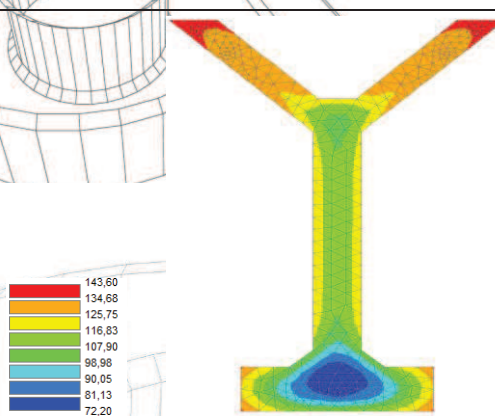
- **Trave perimetrale:** trave in conglomerato cementizio armato precompresso, avente sezione a “T” di altezza 115 cm, non protetta ed esposta al fuoco su tutti i lati.



- **Trave secondaria:** trave in conglomerato cementizio armato precompresso, avente sezione a “Y” di altezza 110 cm, non protetta ed esposta al fuoco su tutti i lati.



Trave secondaria



Trave secondaria – Analisi termica ad un istante generico

4.3 VERIFICHE STRUTTURALI

L'analisi prevederà la seguente verifica strutturale:

Verifica dello stato tenso-deformativo

Si verifica che le tensioni e le deformazioni massime raggiunte dai materiali durante l'evoluzione dell'incendio siano inferiori ai valori limite di riferimento.

I valori limite di riferimento sono quelli forniti dai legami costitutivi, variabili al variare della temperatura, forniti nella norma UNI EN 1992-1-2, già riportati ai paragrafi 3.2.2.

Se tale verifica risulta soddisfatta significa che il collasso strutturale è scongiurato.

4.3.1 RISULTATI

Per i modelli analizzati, il software ha effettuato il calcolo senza interrompersi sino al termine delle curve di incendio implementate. Ciò significa che in nessun istante le tensioni e le deformazioni raggiunte dal materiale superano i limiti imposti dai relativi diagrammi costitutivi tensione-deformazione.

Si può quindi affermare che il collasso della struttura è scongiurato e che la struttura mantiene le proprie caratteristiche meccaniche di stabilità all'azione del fuoco per un periodo di tempo pari a tutta la durata dell'incendio.

Si riportano nel seguito i diagrammi delle sollecitazioni principali all'istante iniziale e finale per tutti i modelli analizzati:

Scenario S2 - Innesco A

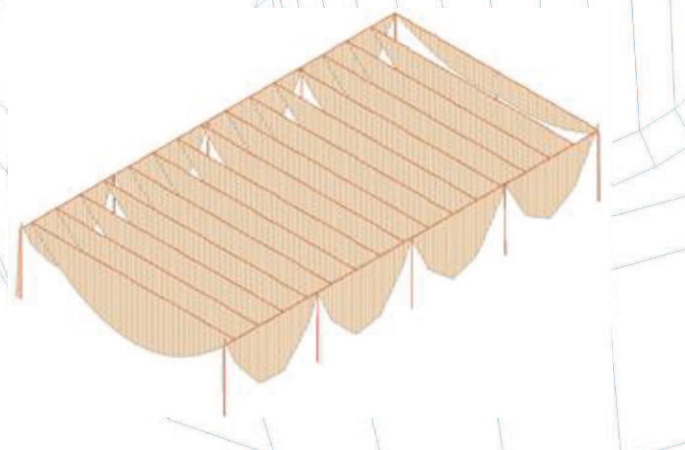


Figura 23 – Grafico del momento flettente M_y all'istante $t=0$

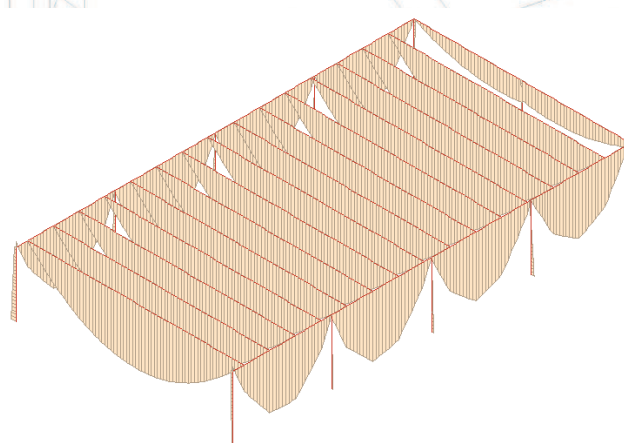
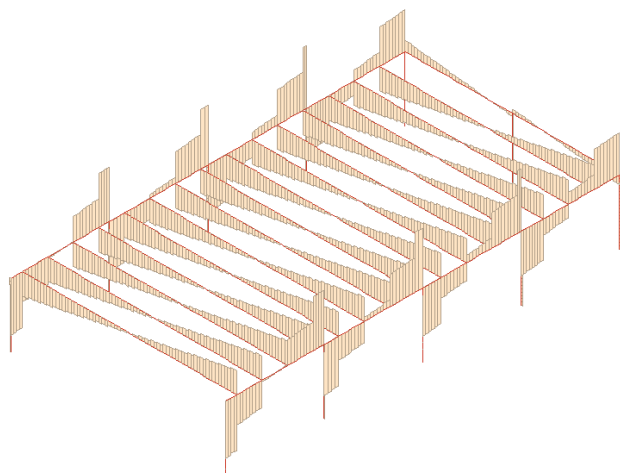
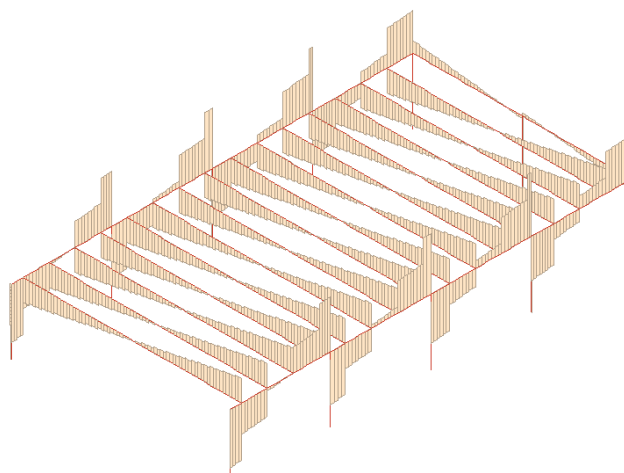


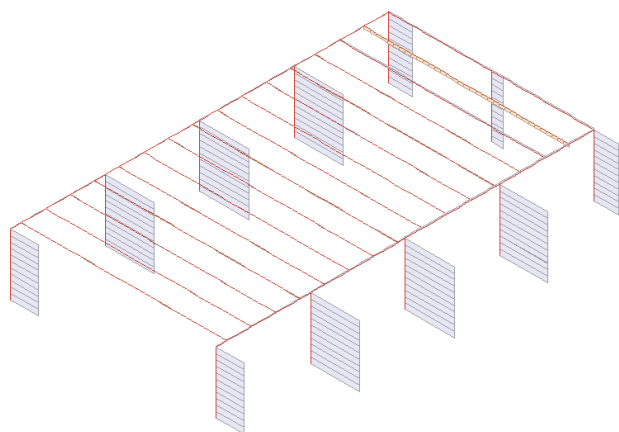
Figura 24 – Grafico del momento flettente M_y all'istante finale



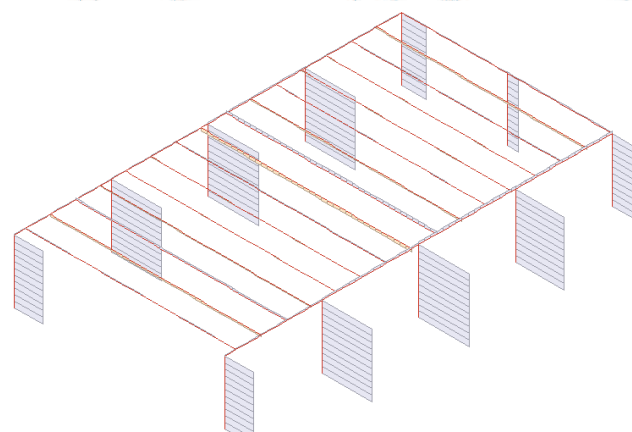
**Figura 25 – Grafico del taglio Tz
all'istante $t=0$**



**Figura 26 – Grafico del taglio Tz
all'istante finale**



**Figura 27 – Grafico dello sforzo normale N
all'istante $t=0$**



**Figura 28 – Grafico dello sforzo normale N
all'istante finale**

Si riporta di seguito la deformata della struttura al termine dell'analisi:

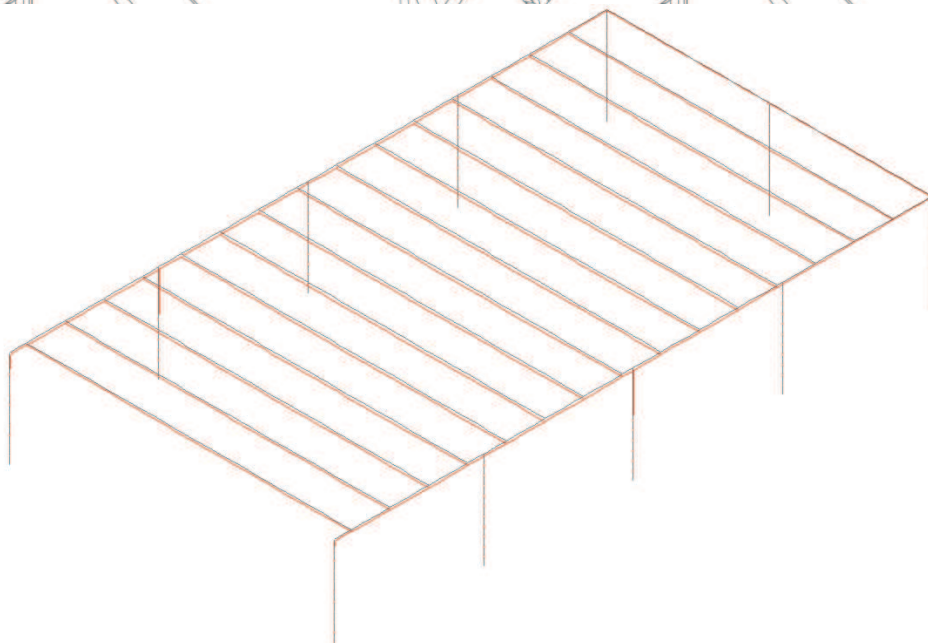


Figura 29 – Deformata all'istante finale (in nero la configurazione indeformata)

Come si può notare dalla *figura 29*, gli spostamenti massimi misurati rispetto alla configurazione indeformata sono contenuti nell'ordine di qualche centimetro; tale condizione evidenzia che la struttura sottoposta all'azione termica registrata dalle termocoppie non subisce deformazioni significative.

Scenario S2 - Innesco B

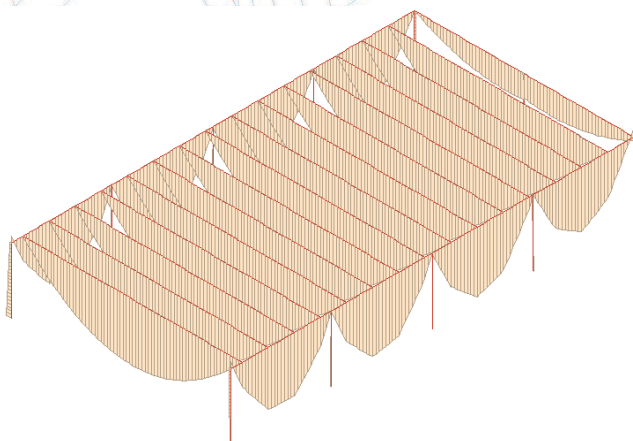


Figura 30 – Grafico del momento flettente M_y all'istante $t=0$

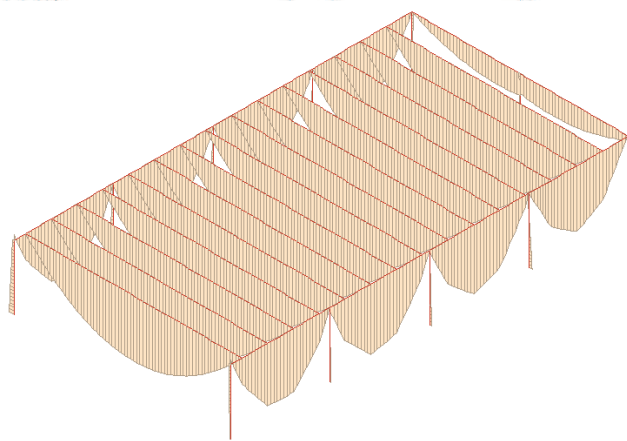
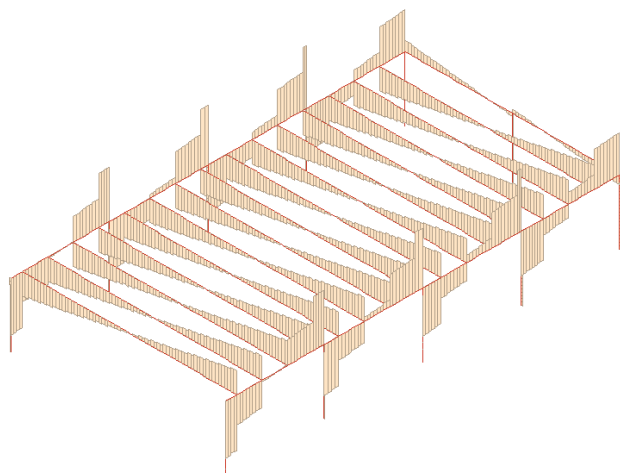
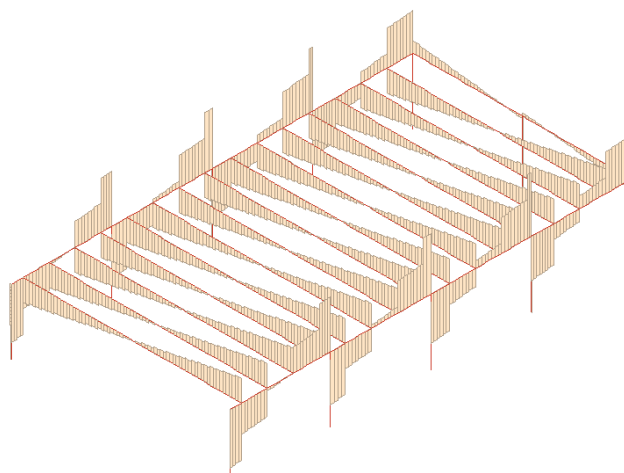


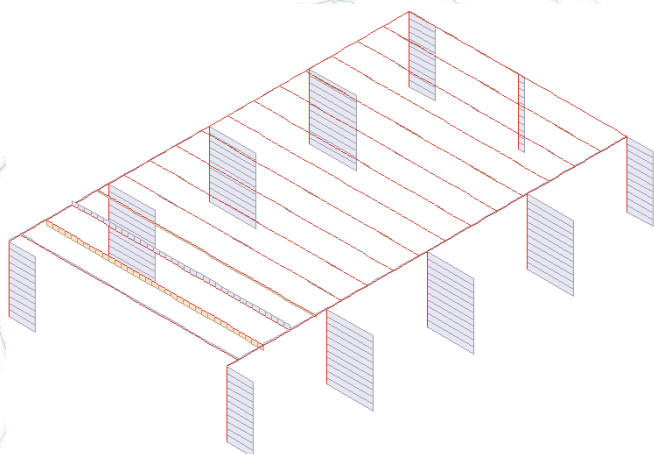
Figura 31 – Grafico del momento flettente M_y all'istante finale



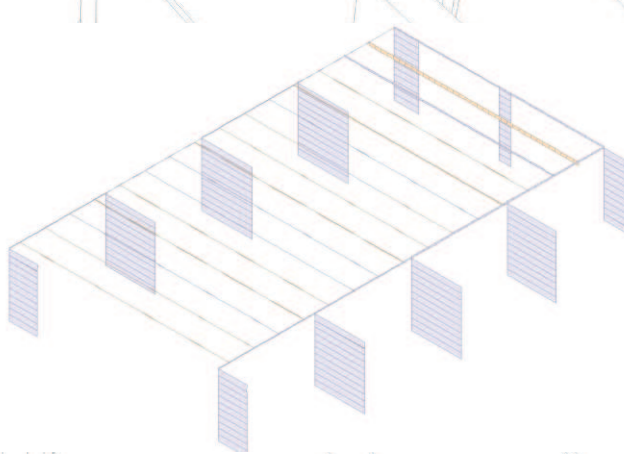
**Figura 32 – Grafico del taglio Tz
all'istante $t=0$**



**Figura 33 – Grafico del taglio Tz
all'istante finale**



**Figura 34 – Grafici dello sforzo normale N
all'istante $t=0$**



**Figura 35 – Grafico dello sforzo normale N
all'istante finale**

Si riporta di seguito la deformata della struttura al termine dell'analisi:

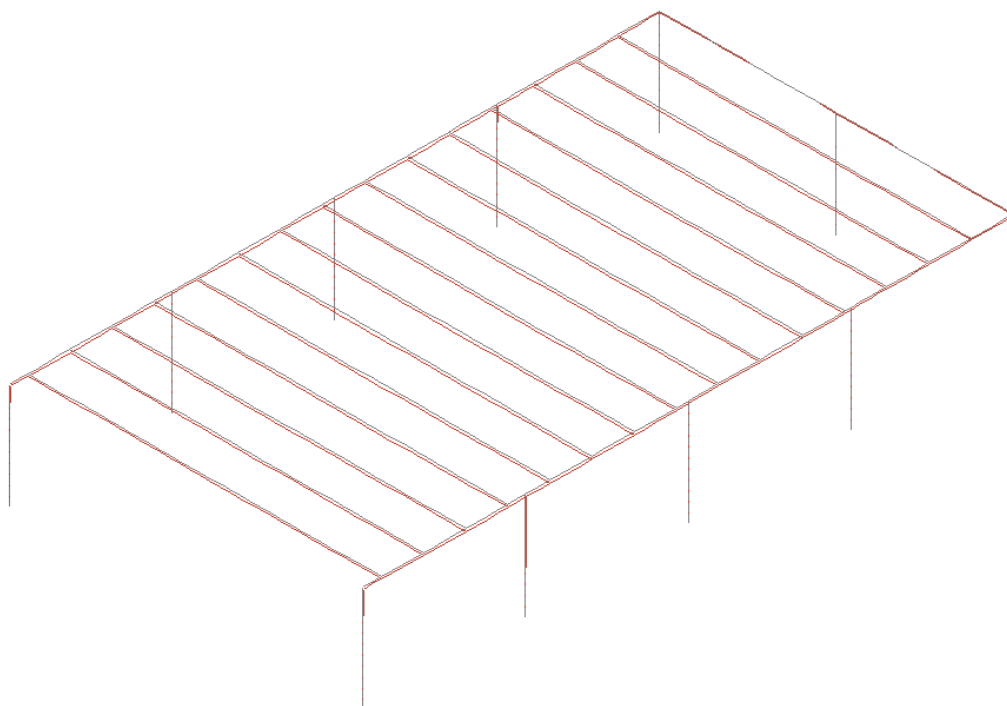


Figura 36 – Deformata all’istante finale (in nero la configurazione indeformata)

Come si può notare dalla *figura 36*, gli spostamenti massimi misurati rispetto alla configurazione indeformata sono contenuti nell’ordine di qualche centimetro; tale condizione evidenzia che la struttura sottoposta all’azione termica registrata dalle termocoppie non subisce deformazioni significative.

Scenario S2 - Innesco C

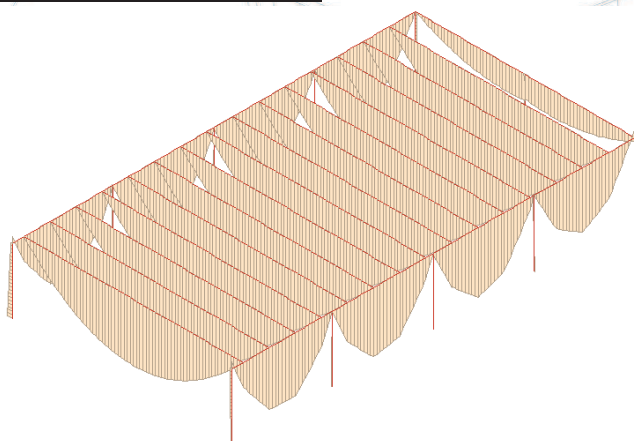


Figura 37 – Grafico del momento flettente M_y all’istante $t=0$

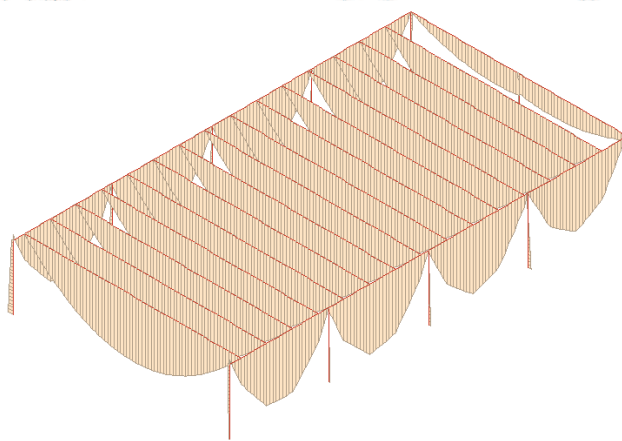


Figura 38 – Grafico del momento flettente M_y all’istante finale

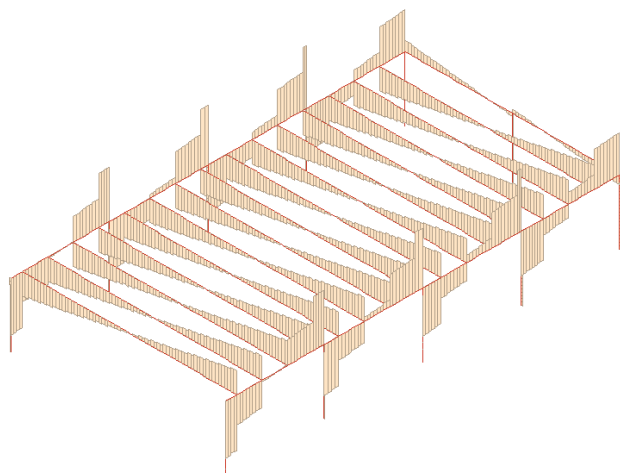


Figura 39 – Grafico del taglio T_z all'istante $t=0$

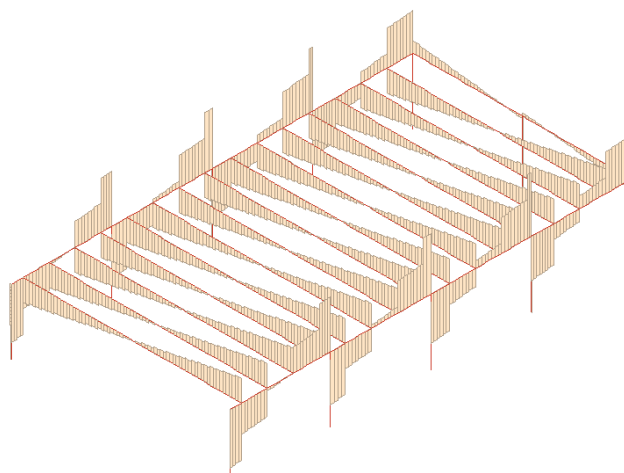


Figura 40 – Grafico del taglio T_z all'istante finale

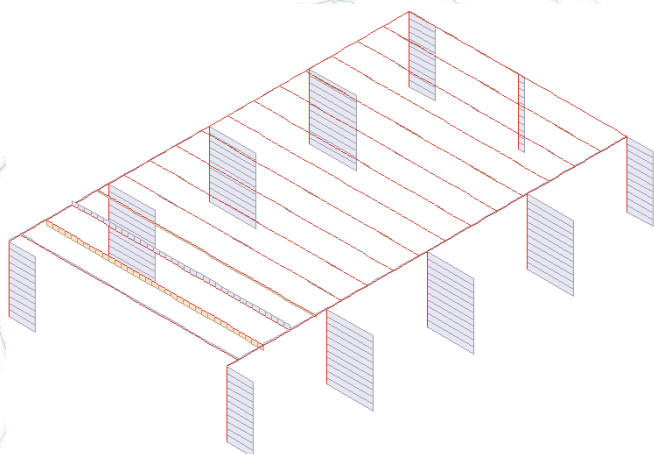


Figura 41 – Grafici dello sforzo normale N all'istante $t=0$

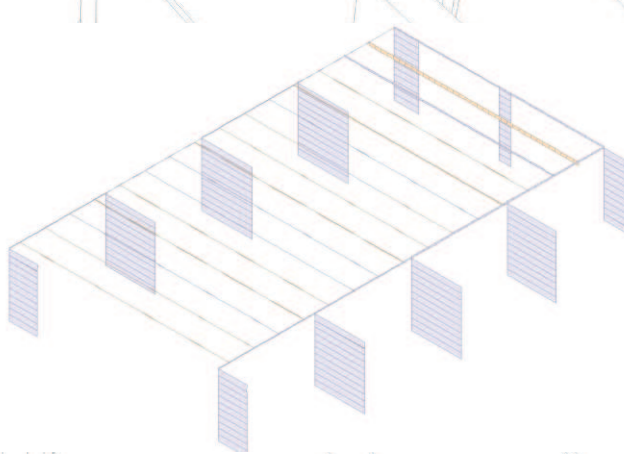


Figura 42 – Grafico dello sforzo normale N all'istante finale

Si riporta di seguito la deformata della struttura al termine dell'analisi:

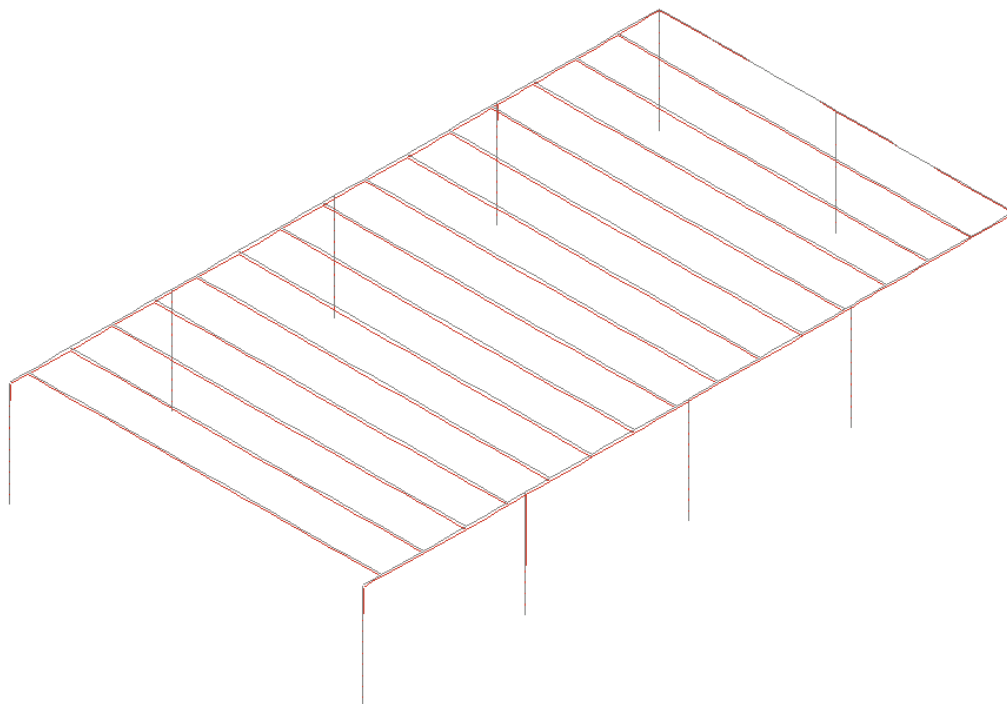


Figura 43 – Deformata all’istante finale (in nero la configurazione indeformata)

Come si può notare dalla *figura 43*, gli spostamenti massimi misurati rispetto alla configurazione indeformata sono contenuti nell’ordine di qualche centimetro; tale condizione evidenzia che la struttura sottoposta all’azione termica registrata dalle termocoppie non subisce deformazioni significative.

4.4 CONSIDERAZIONI FINALI

Dalle analisi effettuate è emerso che l’azione termica agente sulle strutture portanti realizzanti il magazzino adibito allo stoccaggio di materiali plastici in forma granulare, di proprietà della ditta Serioplast S.p.A. sito in Via Galileo Galilei n.10 Mirano (VE), è tale da non causare crolli o eccessive deformazioni.

Per i modelli analizzati, soggetti alle curve naturali di incendio implementate, il software ha effettuato il calcolo senza interrompersi per tutta la durata dell’incendio. Ciò significa che in nessun istante le tensioni e le deformazioni raggiunte dal materiale superano i limiti imposti dai diagrammi costitutivi tensione-deformazione dei materiali.

L’equilibrio tra i carichi esterni e le sollecitazioni/deformazioni interne risulta pertanto, ad ogni istante di calcolo, soddisfatto.

Bologna 20/09/2019

IL TECNICO
Dott. Ing. Filomena Guerra