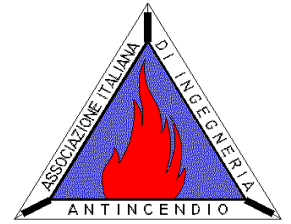




ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI MILANO



FIRE SAFETY ENGINEERING SCENARI D'INCENDIO: i parametri che li caratterizzano – influenza delle condizioni al contorno sui risultati che si conseguono.



HUGHES ASSOCIATES EUROPE, srl
FIRE SCIENCE & ENGINEERING

Ing. Luciano Nigro – Ing. Andrea Ferrari – Ing. Elisabetta Filippo

Hughes Associates Europe srl – *Jensen Hughes EU Alliance* - info@hae.it

IL PROCESSO DI PERFORMANCE BASED DESIGN

La guida SFPE al performance based design definisce il processo di **«progettazione prestazionale»** con i seguenti tre punti essenziali:



IL PROCESSO DI PERFORMANCE BASED DESIGN

La guida SFPE al performance based design definisce il processo di «**progettazione prestazionale**» con i seguenti tre punti essenziali:

- 1. Accordo sugli obiettivi di sicurezza antincendio e sulle finalità in generale dell'analisi progettuale.**



IL PROCESSO DI PERFORMANCE BASED DESIGN

La guida SFPE al performance based design definisce il processo di **«progettazione prestazionale»** con i seguenti tre punti essenziali:

1. Accordo sugli obiettivi di sicurezza antincendio e sulle finalità in generale dell'analisi progettuale.
2. **Analisi deterministica e/o probabilistica degli scenari di incendio.**



IL PROCESSO DI PERFORMANCE BASED DESIGN

La guida SFPE al performance based design definisce il processo di «**progettazione prestazionale**» con i seguenti tre punti essenziali:

1. Accordo sugli obiettivi di sicurezza antincendio e sulle finalità in generale dell'analisi progettuale.
2. Analisi deterministica e/o probabilistica degli scenari di incendio.
3. **Valutazione (assessment) quantitativa delle diverse alternative progettuali rispetto agli obiettivi di sicurezza antincendio fissati, condotta mediante l'utilizzo di strumenti ingegneristici condivisi e di metodologie di analisi prestazionale consolidate**

LA DEFINIZIONE DEGLI SCENARI 1/2

Gli scenari d'incendio rappresentano la descrizione dettagliata degli eventi che possono ragionevolmente verificarsi in relazione a tre aspetti fondamentali:

- A. Caratteristiche dell'incendio – innesco, sviluppo in termini di rilascio di energia e prodotti della combustione (HRR);
- B. Caratteristiche dell'ambiente in cui l'incendio si sviluppa;**
- C. Caratteristiche degli occupanti.

LA DEFINIZIONE DEGLI SCENARI 2/2

In particolare è di grande importanza la definizione dell'ambiente in cui l'incendio si sviluppa e delle condizioni al contorno che devono essere definite per l'incendio, poiché queste pongono poi i «vincoli di esercizio» per l'attività.

Queste includono principalmente:

- i. **Dimensioni/caratteristiche costruttive del «contenitore»**
- ii. **Ventilazioni naturali/meccaniche**
- iii. **Scambio termico**
- iv. **Sistemi di allarme**
- v. **Sistemi di protezione attiva e passiva in genere**
- vi. **Sistemi di lotta contro l'incendio e loro azione specifica**

LA PRESENTAZIONE ODIERNA

Nel seguito si tratteranno due aspetti importanti nella definizione dell'ambiente in cui l'incendio si sviluppa che condizionano in maniera più o meno evidente lo sviluppo dell'incendio e della curva HRR che lo rappresenta:

- ❑ **Le modalità con le quali si tiene in considerazione la presenza di impianti di allarme e soprattutto dei sistemi di controllo dell'incendio.**

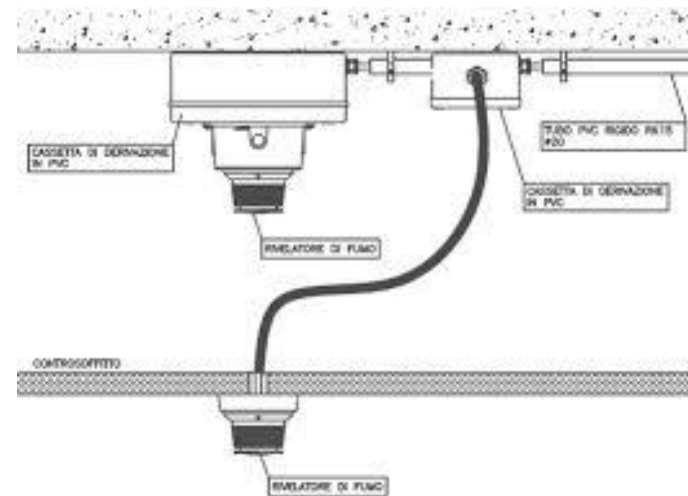
LA PRESENTAZIONE ODIERNA

Nel seguito si tratteranno due aspetti importanti nella definizione dell'ambiente in cui l'incendio si sviluppa che condizionano in maniera più o meno evidente lo sviluppo dell'incendio e della curva HRR che lo rappresenta:

- ❑ Le modalità con le quali si tiene in considerazione la presenza di impianti di allarme e soprattutto dei sistemi di controllo/spegnimento dell'incendio.
- ❑ **L'influenza che hanno, sul risultato in termini di HRR, le caratteristiche fisiche del fabbricato che comunque devono essere definite nel processo di «valutazione quantitativa» di cui si è detto.**

LA RIVELAZIONE D'INCENDIO.

- I sistemi di rivelazione possono essere attivati dalla temperatura, dalla fiamma o dal fumo.
- Per ciascuno di questi fenomeni, in generale, i modelli disponibili per la simulazione dell'incendio, forniscono degli algoritmi che consentono di valutarne l'intervento.
- Per i sistemi di rivelazione di fumo si utilizza il criterio della perdita di densità ottica



IL CONTROLLO DELL'INCENDIO.

- Fra le nuove possibilità offerte dall'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio vi è quella di poter tenere conto della presenza di un sistema di lotta contro l'incendio in una maniera più realistica rispetto all'approccio statistico che ci portiamo dietro dalla circ. 91
- Nell'approccio statistico siamo autorizzati ad uno "sconto" sul carico d'incendio che suona un po' come il pollo di Trilussa... chi protegge paga un po' anche per chi non fa nulla!



TENER CONTO DEL SISTEMA DI CONTROLLO.

- Nell'approccio ingegneristico abbiamo la possibilità di tener conto della presenza di un sistema di lotta contro l'incendio in modo rigoroso.
- Possiamo distinguere fra sistemi di estinzione veri e propri (sistemi ad esempio a gas) e sistemi di controllo dell'incendio.
- Non si tiene invece in conto la presenza delle protezioni manuali proprie della singola attività (estintori, idranti, ...) in quanto la loro "performance" è strettamente dipendente dal **fattore umano**



I SISTEMI DI SPEGNIMENTO DELL'INCENDIO.

- Nel caso sia presente un impianto di spegnimento dell'incendio, possiamo modellarne l'intervento in maniera pressoché rigorosa.
- Possiamo modellare l'intervento del sistema di rivelazione, sia diretto sia a “zone incrociate”.
- Possiamo addirittura modellare la riduzione della concentrazione di ossigeno che segue alla scarica di un gas inerte
- E comunque sappiamo che si giunge all'estinzione



IL CONTROLLO/SOPPRESSIONE DELL'INCENDIO.

- Nel caso di un impianto sprinkler o di un sistema water mist, l'approccio è più vario, non essendo la stessa la prestazione che il sistema può dare
- Sappiamo che alcuni sistemi sono di “soppressione”
- Mentre nella maggior parte dei casi quello che ci aspettiamo è un controllo dell'incendio finché dura l'acqua
- I sistemi water mist in generale hanno un effetto di raffreddamento maggiore.



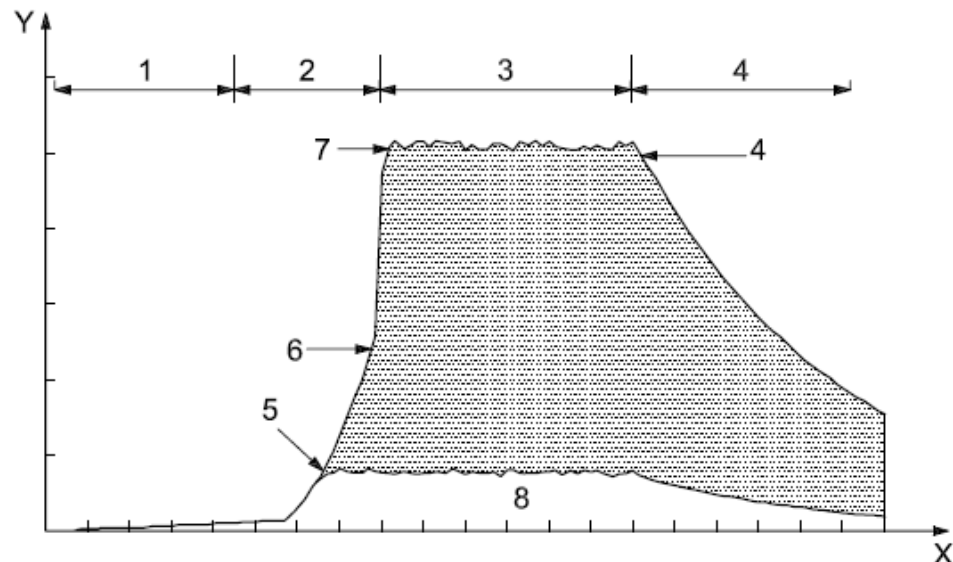
IL MODO IN CUI INFLUENZANO LA CURVA HRR.

- La scelta generale che è stata fatta a livello nazionale è stata quella di accettare che l'impianto, dal momento in cui interviene (che possiamo calcolare) opera in modo tale da controllare l'incendio mantenendo costante l'HRR raggiunta (se realizzato a regola d'arte).

Key

X time
Y heat output

- 1 incipient
- 2 growth
- 3 fully developed
- 4 decay
- 5 sprinkler activation
- 6 flashover
- 7 ventilation-controlled
- 8 sprinkler-controlled



LO SCENARIO D'INCENDIO NELLA RTO

- Ma nella RTO viene anche lasciato intendere un possibile effetto «soppressione» dell'incendio con la curva HRR che diminuisce più o meno bruscamente a seguito dell'intervento.

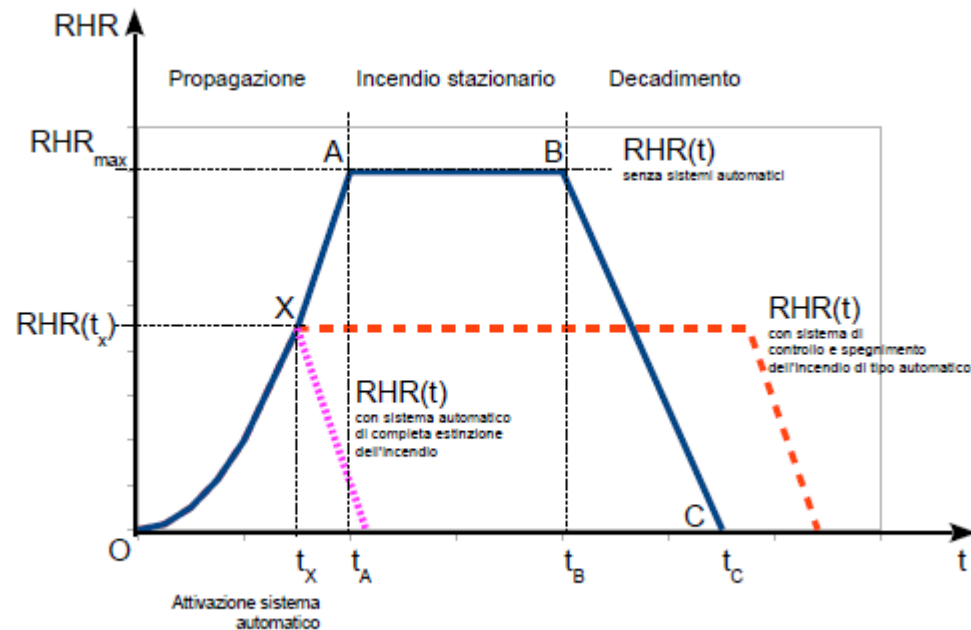


Illustrazione 26-1: Fasi dell'incendio

LA CONFORMITÀ NORMATIVA.

- Un punto è essenziale e non deve essere travisato: le «prestazioni» di cui è capace il sistema di controllo dell'incendio non possono essere ricavate con metodologie ingegneristiche (salvo rari casi di studio) ma devono derivare da quanto le norme tecniche attribuiscono a quella determinata tipologia di sistema.
- Il sistema poi deve essere realizzato a «regola d'arte» secondo quanto la normativa tecnica applicabile prevede per quel sistema.



LE PRESTAZIONI DEI SISTEMI – LA SPECIFICA TECNICA DEL DM 20.12.2012.

- Oltre che nel sommario tecnico, le prestazioni del sistema di controllo devono essere definite nella «Specifica Tecnica» introdotta dal DM 20.12.2012
- E' quello il contesto principale nel quale si definiscono le caratteristiche generali del sistema di controllo dell'incendio e se ne indicano le prestazioni attese.
- Le prestazioni del sistema, definite nella specifica e convalidate dalla conformità normativa, possono poi essere «esplicitate» nei loro effetti sullo scenario d'incendio.

IL FUNZIONAMENTO DEI SISTEMI.

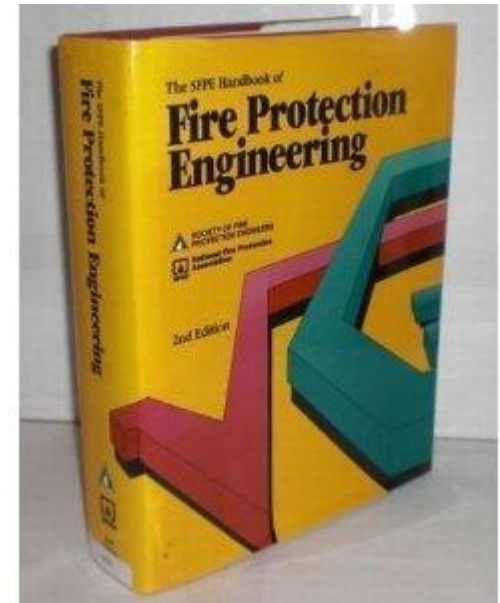
- **Tutto quanto è stato detto si riferisce chiaramente ad impianti di controllo o estinzione perfettamente funzionanti.**
- **Ovviamente questa condizione non può essere assunta come assoluta, in quanto la probabilità che il sistema sia fuori servizio al momento dell'incendio è significativa, dipendendo in maniera marcata dalla manutenzione**
- **Questo concetto ci riporta alla SGSA cui l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio è strettamente correlato.**

IL POSSIBILE FUORI SERVIZIO.

- **E' però certo che la condizione di intervento del sistema antincendio può essere tenuta in considerazione nello studio della sicurezza antincendio con l'approccio ingegneristico**
- **Ma la condizione di impianto antincendio fuori servizio al momento dell'incendio deve essere presa in considerazione, fra gli scenari possibili nell'albero degli eventi**
- **E deve essere studiata con tutte le sue conseguenze sugli occupanti e sulle modalità di esodo possibili**
- **Non dimenticando comunque la sicurezza delle squadre di soccorso che rimane fra gli obiettivi!**

LA BIBLIOGRAFIA

- Come detto, ogni singolo dato utilizzato in questa disciplina deve avere una fonte citata espressamente!





ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI MILANO

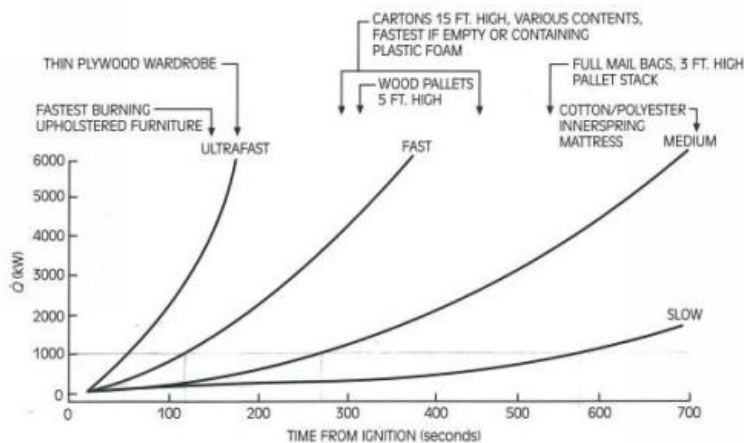
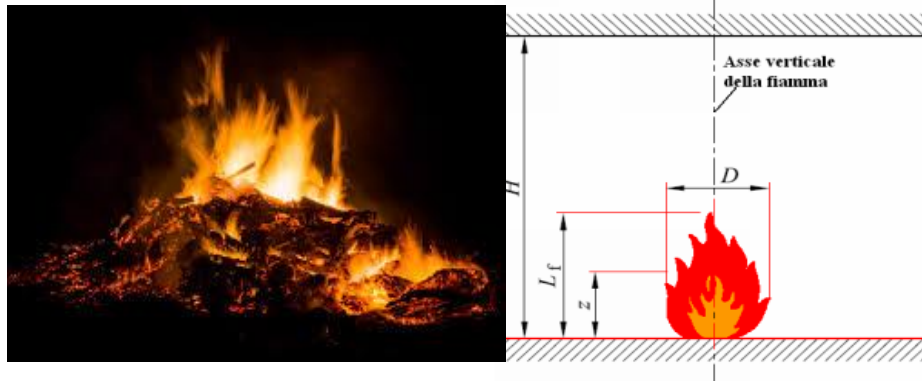


SECONDA PARTE

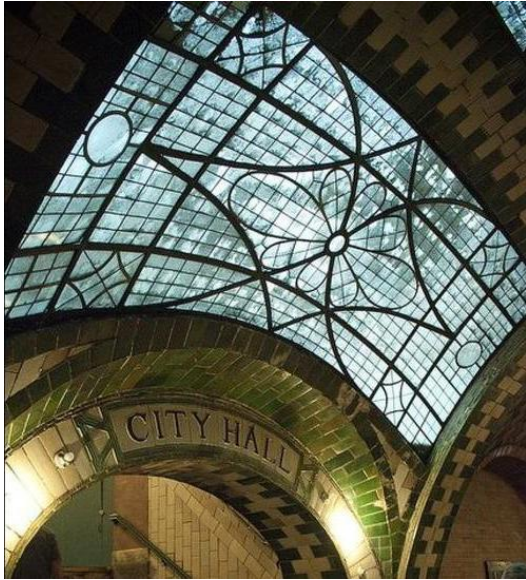
PERCHÉ CI SIAMO POSTI IL PROBLEMA DELLA CARATTERIZZAZIONE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO

All'interno di un modello è importante caratterizzare l'incendio definendo il materiale coinvolto nell'innescò attraverso la definizione di:

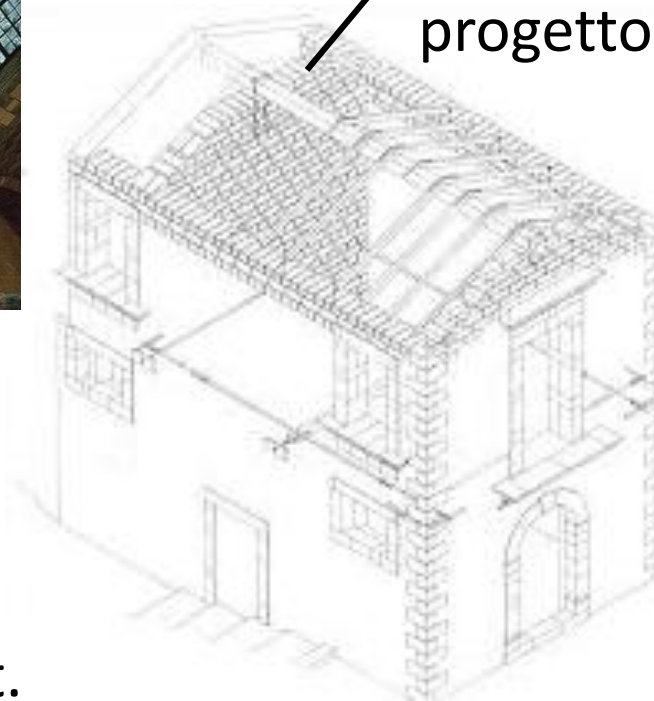
- composizione chimica del materiale,
- curva di potenza,
- campi di produzione di particolato e inquinanti,
- area coinvolta dall'incendio.



La caratterizzazione dei materiali per la modellazione delle condizioni al contorno richiede una conoscenza dettagliata del progetto.



I materiali di finitura di copertura e delle pareti non sempre sono definiti in fase preliminare di progetto

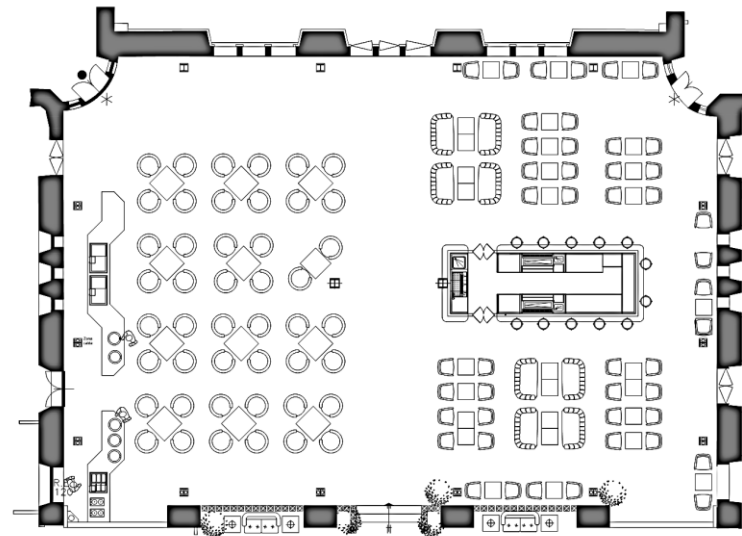
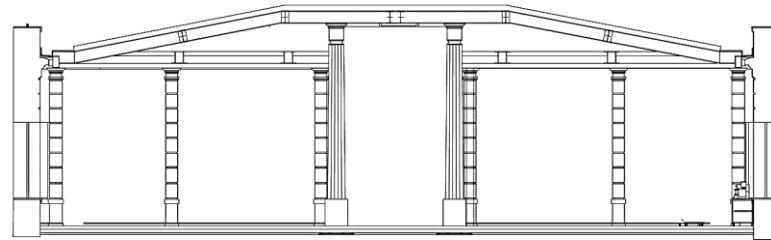


Per tale motivo è importante capire quanto influiscono sulla variazione dei parametri di output.

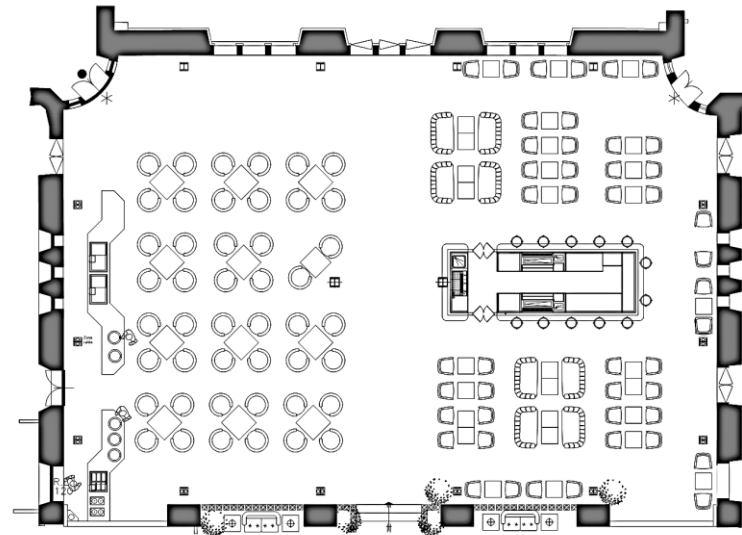
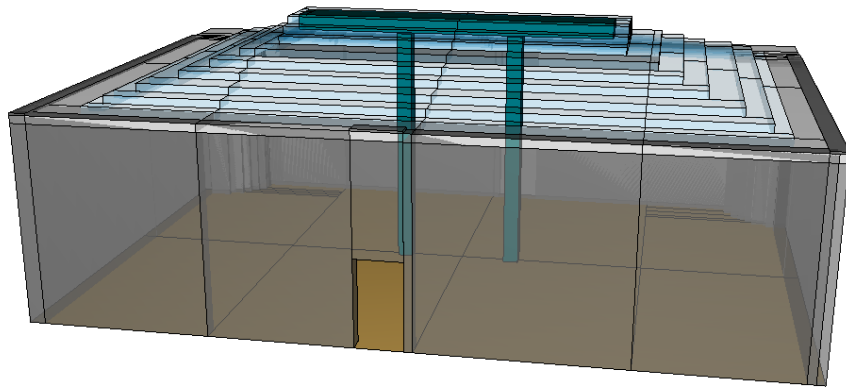
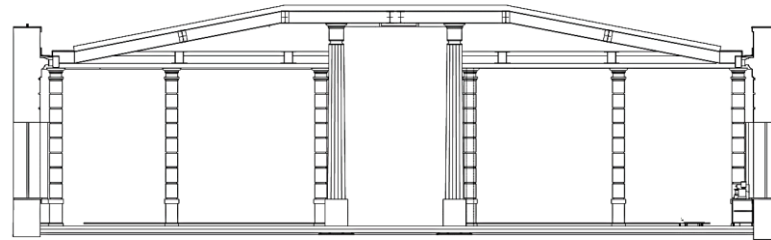
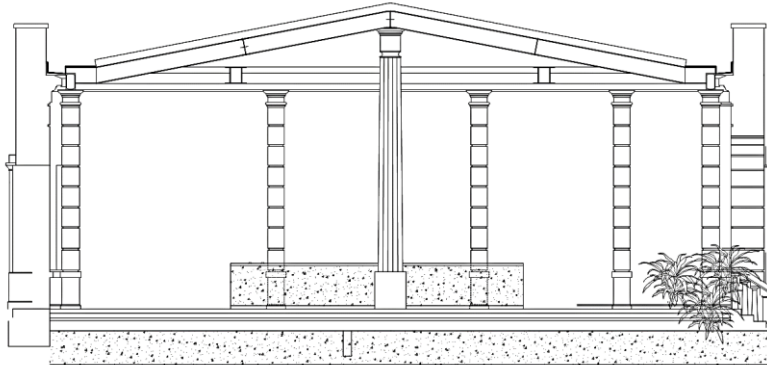
COME È STATO COSTRUITO IL MODELLO

Per costruire il modello si è partiti da una geometria reale, atrio di un hotel.

- Pianta rettangolare 13,2 x 18,8 m
- Soffitto prismatico; altezza al colmo della copertura 6,4 m
- Due porte lungo i lati lunghi 1,2 x 2,2 m



COME È STATO COSTRUITO IL MODELLO




PARAMETRI DI INPUT – CURVA HRR

Sono stati utilizzati diversi focolai, rappresentativi per un incendio all'interno di un ambiente come quello esaminato:

- 0,5 MW →
 - Laptop
 - Christmas tree
- 1,0 MW →
 - Divano
 - Metal office storage units clear aisle
- 2,0 MW →
 - 12 chairs in 2 stacks
 - Kiosk
- 9,0 MW →
 - Flashover

Morgan J. Hurley, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition, 2015

PARAMETRI DI INPUT – CURVA HRR

- 0,5 MW 
- Laptop
- Christmas tree

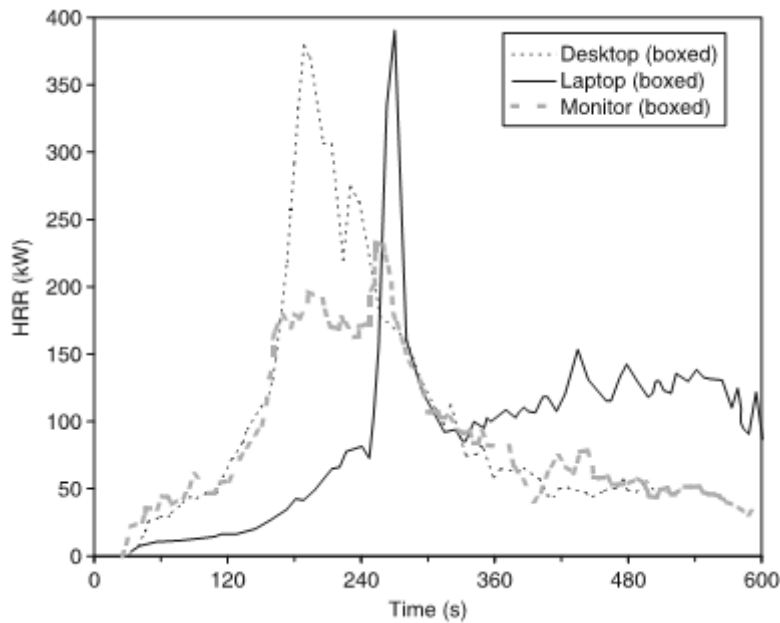


Fig. 26.53 HRR of single, packaged and boxed computers and monitors

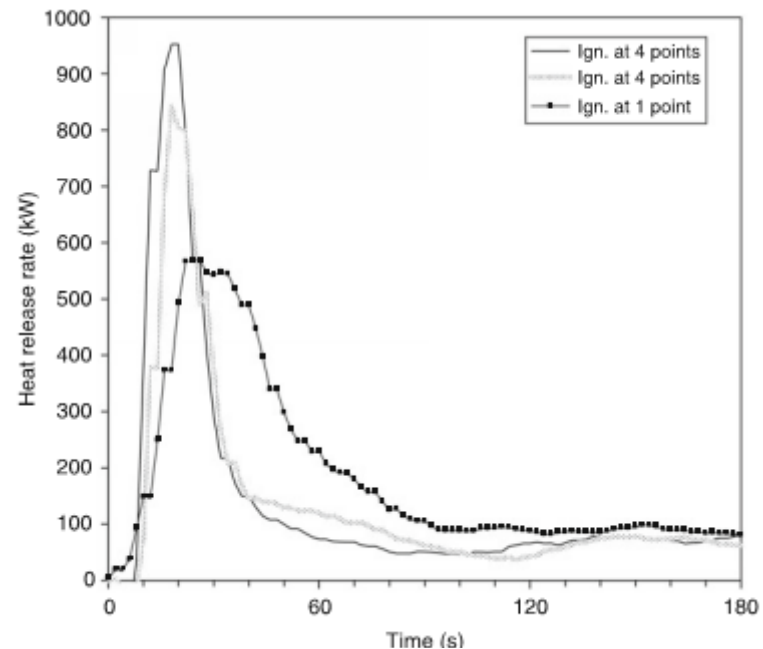



Fig. 26.80 Recorded HRR for PVC Christmas trees (actual HRR was greater, due to very fast rise time)

Morgan J. Hurley, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition, 2015

PARAMETRI DI INPUT – CURVA HRR

- 1,0 MW  • Divano
- Metal office storage units clear aisle

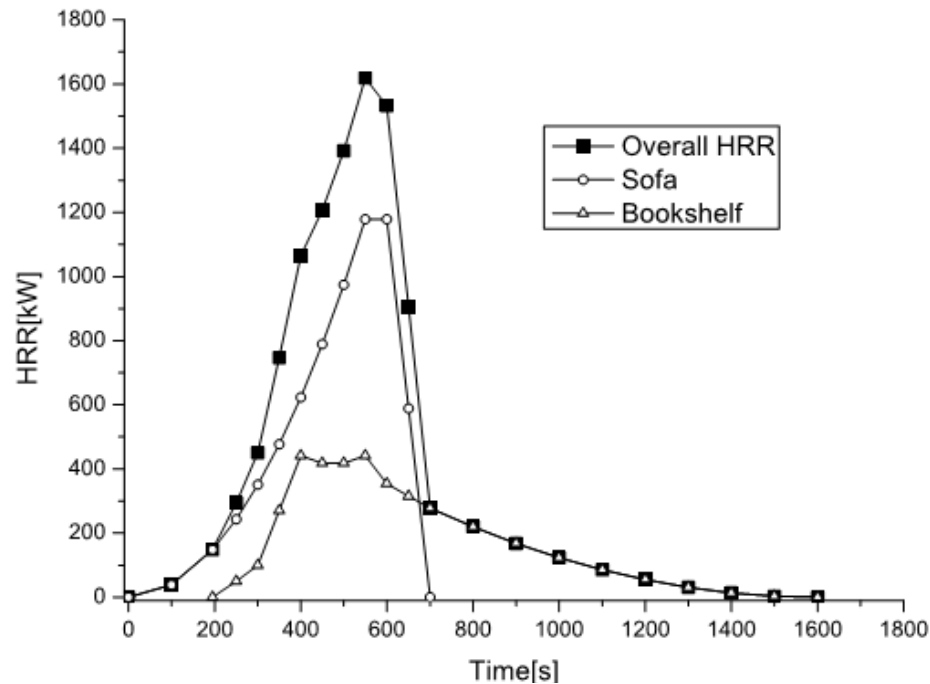


Figure 23. Exemplary HRR curve as fire model input

T. Stainhaus, W. Jahn, Laboratory Experiments and their applicability, – The Dalmarnock Fire tests: Experiments and Modelling – University of Edinburgh 2007

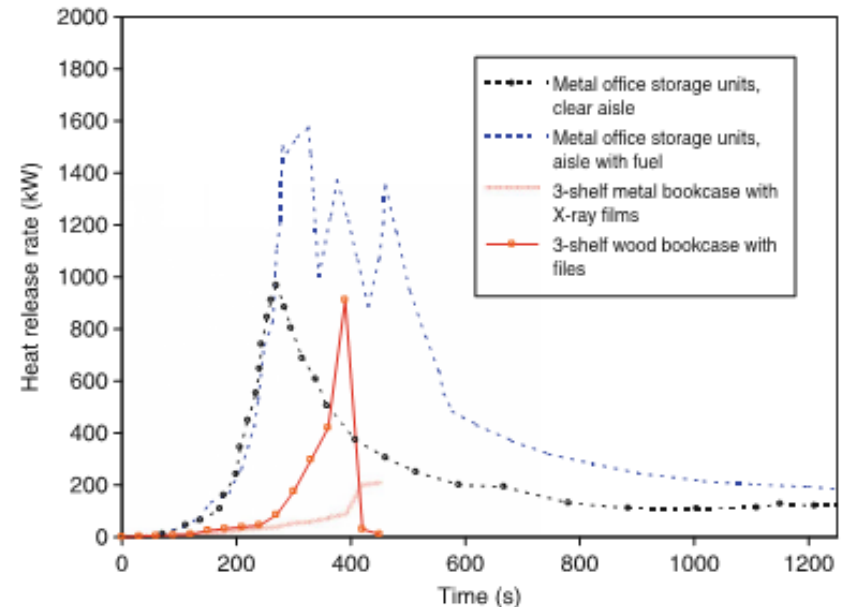



Fig. 26.17 HRR of storage units

Morgan J. Hurley, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition, 2015

PARAMETRI DI INPUT – CURVA HRR

- 2,0 MW 
- 12 chairs in 2 stacks
- Kiosk

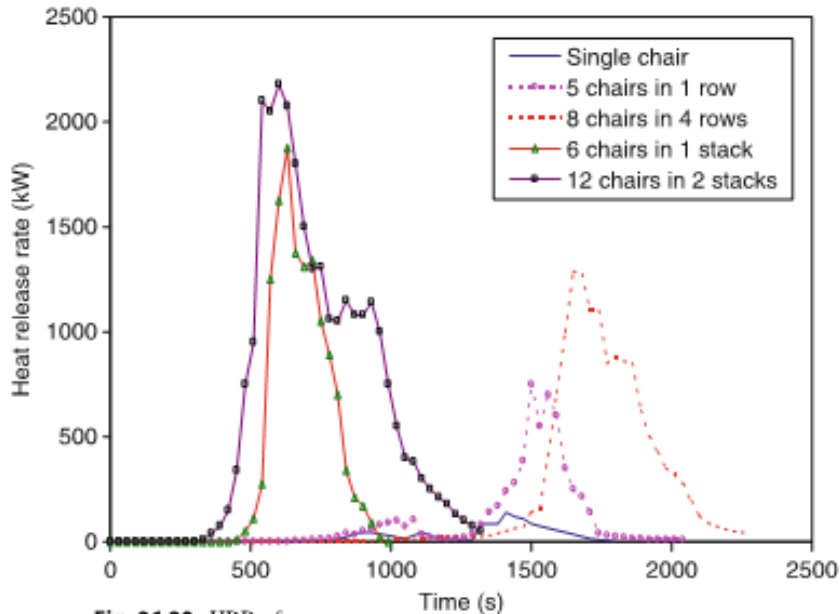


Fig. 26.20 HRR of stackable chairs, polypropylene with steel frame, no padding

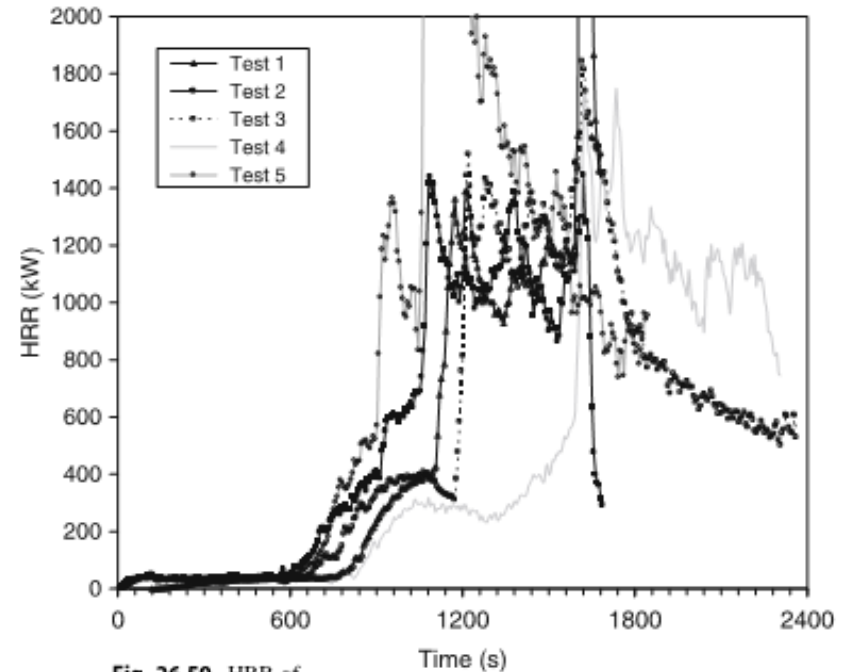


Fig. 26.59 HRR of display kiosks

Morgan J. Hurley, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition, 2015

PARAMETRI DI INPUT – CURVA HRR

- 9,0 MW • Flashover

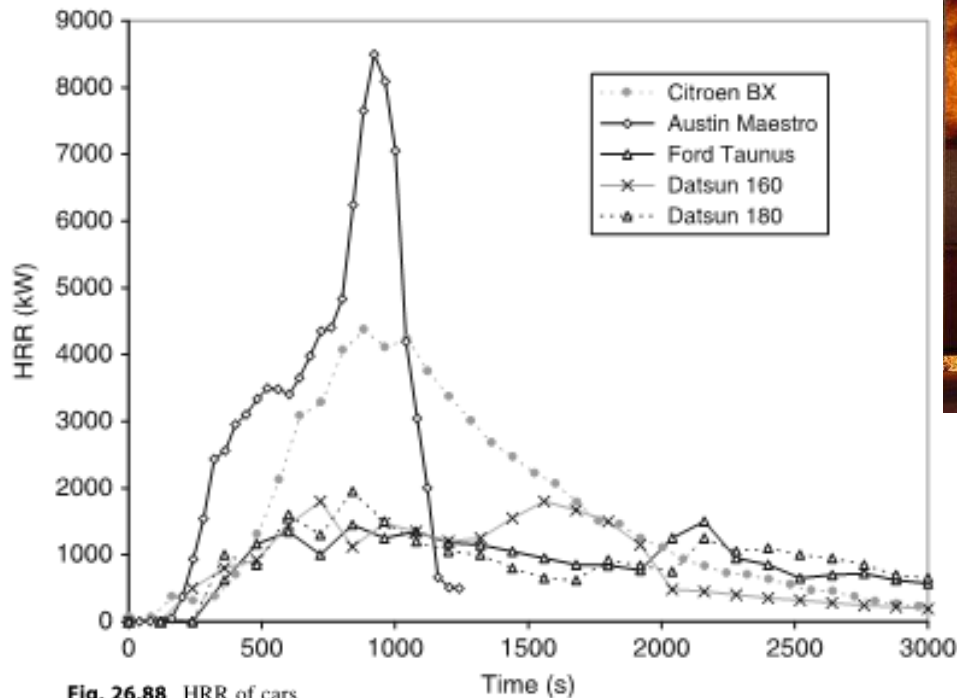


Fig. 26.88 HRR of cars tested at FRS and VTT

Morgan J. Hurley, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition, 2015



PARAMETRI DI INPUT – CURVA HRR

All'interno del modello si è considerato un incendio stazionario, in altre parole, la curva ha un andamento costante nel tempo senza tener conto delle fasi iniziali di sviluppo dell'innescio.

Curva HRR utilizzata nel modello

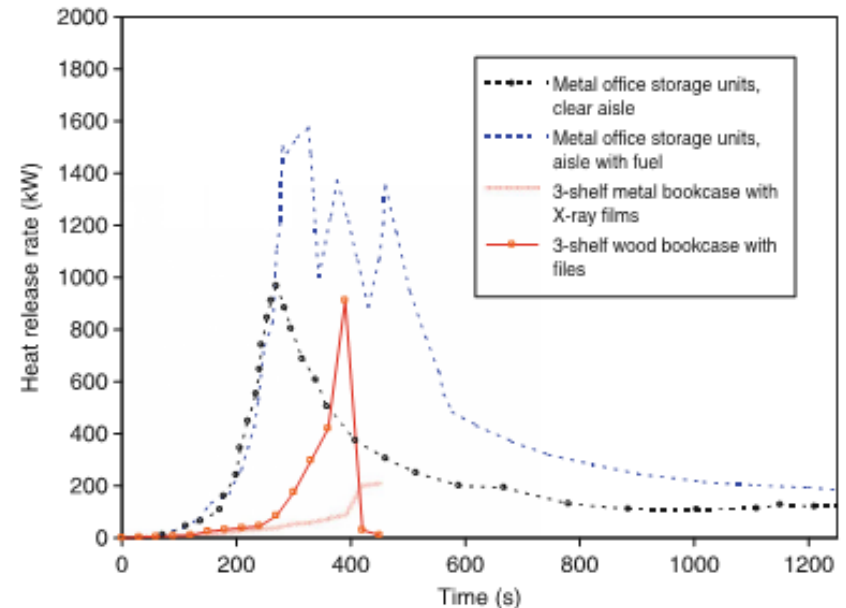
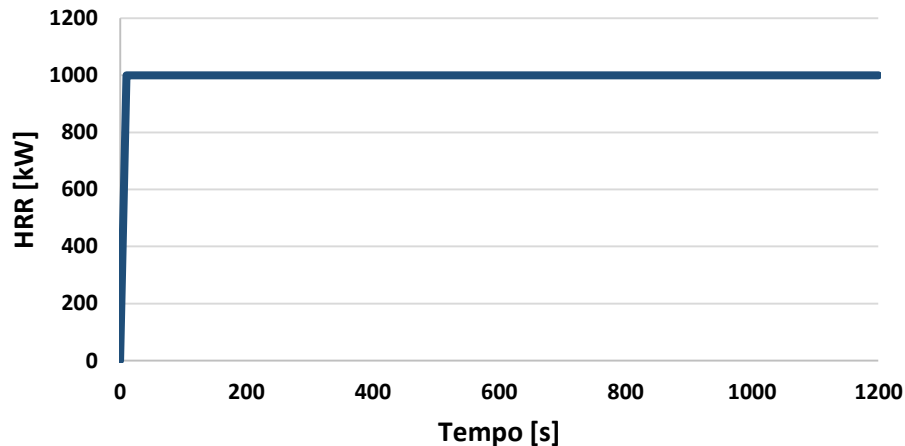


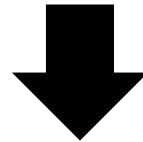
Fig. 26.17 HRR of storage units

Morgan J. Hurley, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition, 2015

PARAMETRI DI INPUT – CONDIZIONI AL CONTORNO

La definizione delle condizioni al contorno è stata effettuata attraverso la caratterizzazione dei materiali di cui è composta la copertura.

Il pavimento e le pareti perimetrali sono sempre costituiti da materiale adiabatico.



Lo scambio termico convettivo può avvenire solo attraverso la copertura.

PARAMETRI DI INPUT – CONDIZIONI AL CONTORNO

I materiali per la copertura sono:

- | | | | |
|------------|---|--|---|
| 2. Vetro | ➔ | <ul style="list-style-type: none">• densità• calore specifico• conduttività• spessore | <ul style="list-style-type: none">3100 kg/m³0,84 kJ/kg°K0,064 W/m°K4 cm |
| 3. Cemento | ➔ | <ul style="list-style-type: none">• densità• calore specifico• conduttività• spessore | <ul style="list-style-type: none">2000 kg/m³0,88 kJ/kg°K2 W/m°K14 cm |

PARAMETRI DI INPUT – CONDIZIONI AL CONTORNO

I casi di confronto vengono identificati nel:

1. Contenitore adiabatico:

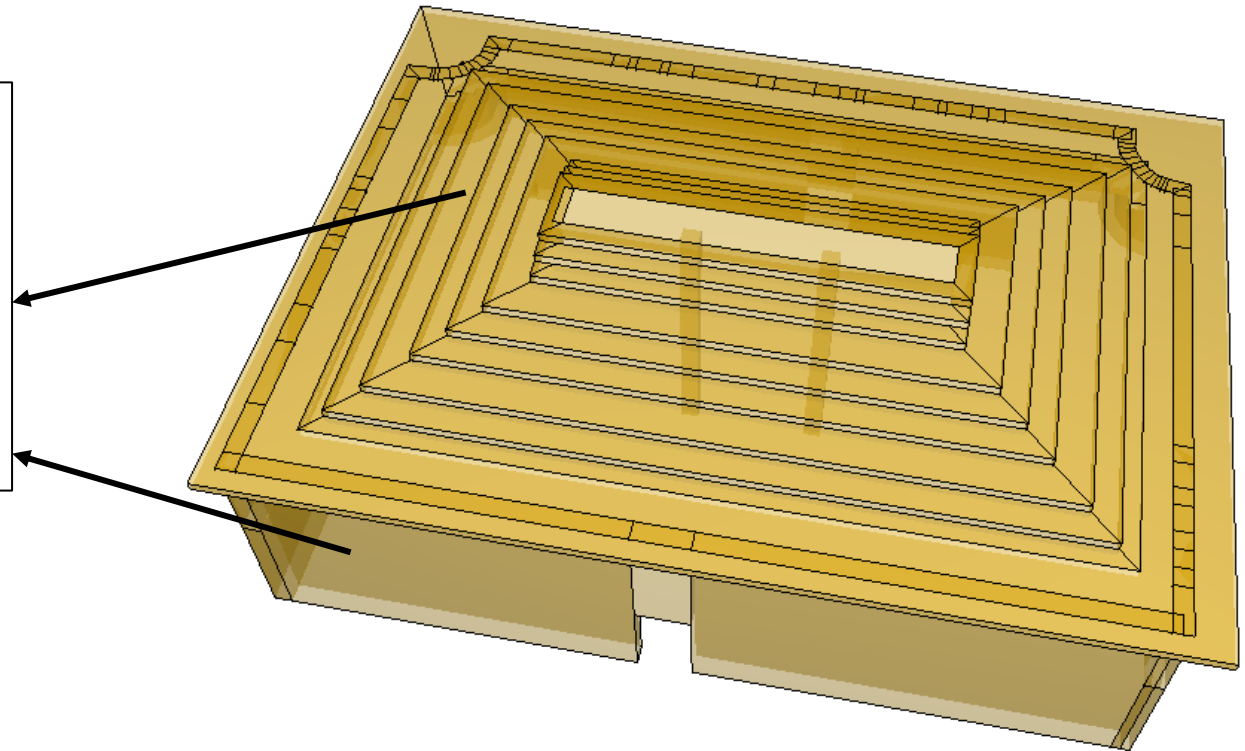
Condizione ideale, non esistente nella realtà, in cui le superfici che compongono le pareti e la copertura all'interno del modello non scambiano calore con l'ambiente esterno.

4. Contenitore adiabatico con aperture:

All'interno del modello sono state inserite delle aperture in sommità (rappresentative ad esempio di aperture permanenti, finestrate occasionalmente aperte, sistema di evacuazione fumo e calore, etc.)

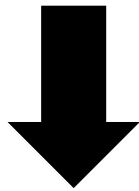
CASI DI RIFERIMENTO – 1. CONTENITORE ADIABATICO SENZA APERTURE

Superfici esterne
che non
scambiano calore
con l'ambiente
esterno



CASI DI RIFERIMENTO – 4. CONTENITORE ADIABATICO CON APERTURE

Aperture



2% della superficie in
pianta ($4,4 \text{ m}^2$)

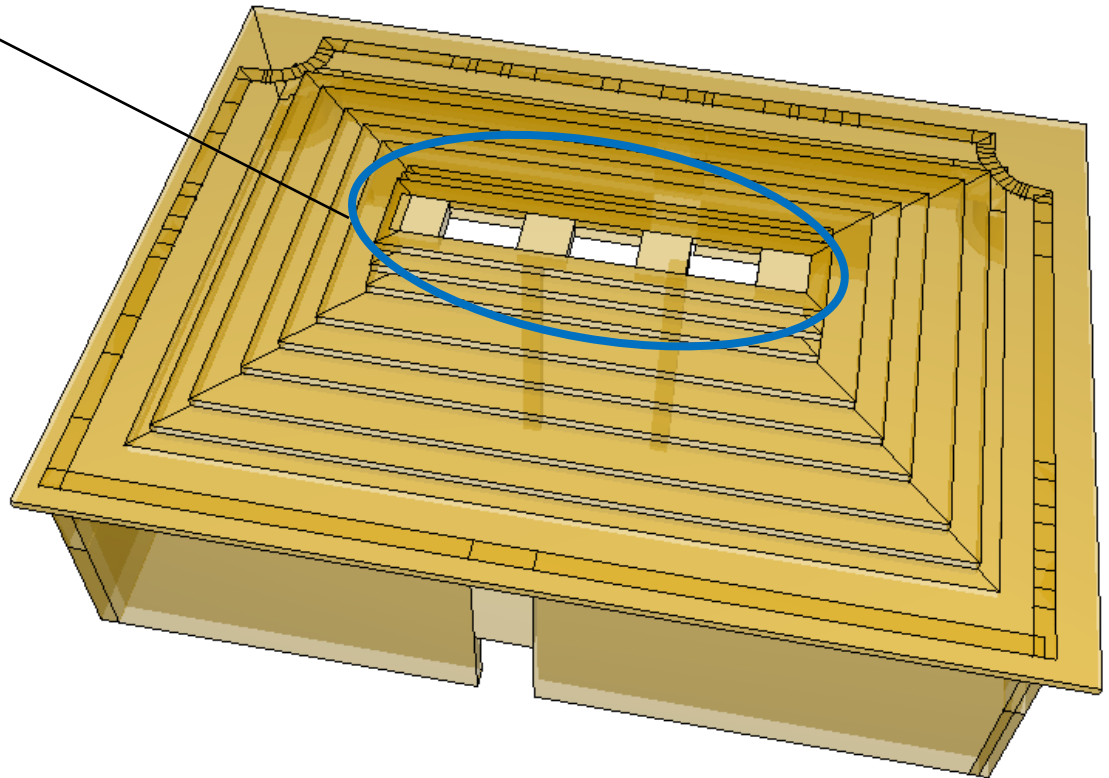


TABELLA SCENARI

Incendio	Condizioni al contorno	Scenari
0,5 MW	Adiabatico	A1
	Vetro	A2
	Cemento	A3
	Inerte ma con 2% aperture	A4
1,0 MW	Adiabatico	B1
	Vetro	B2
	Cemento	B3
	Inerte ma con 2% aperture	B4
2,0 MW	Adiabatico	C1
	Vetro	C2
	Cemento	C3
	Inerte ma con 2% aperture	C4
9,0 MW	Adiabatico	D1
	Vetro	D2
	Cemento	D3
	Inerte ma con 2% aperture	D4

GRANDEZZE INVESTIGATE

La principale grandezza monitorata è la temperatura perché tale parametro è quello che subisce le maggiori variazioni in funzione delle condizioni al contorno.

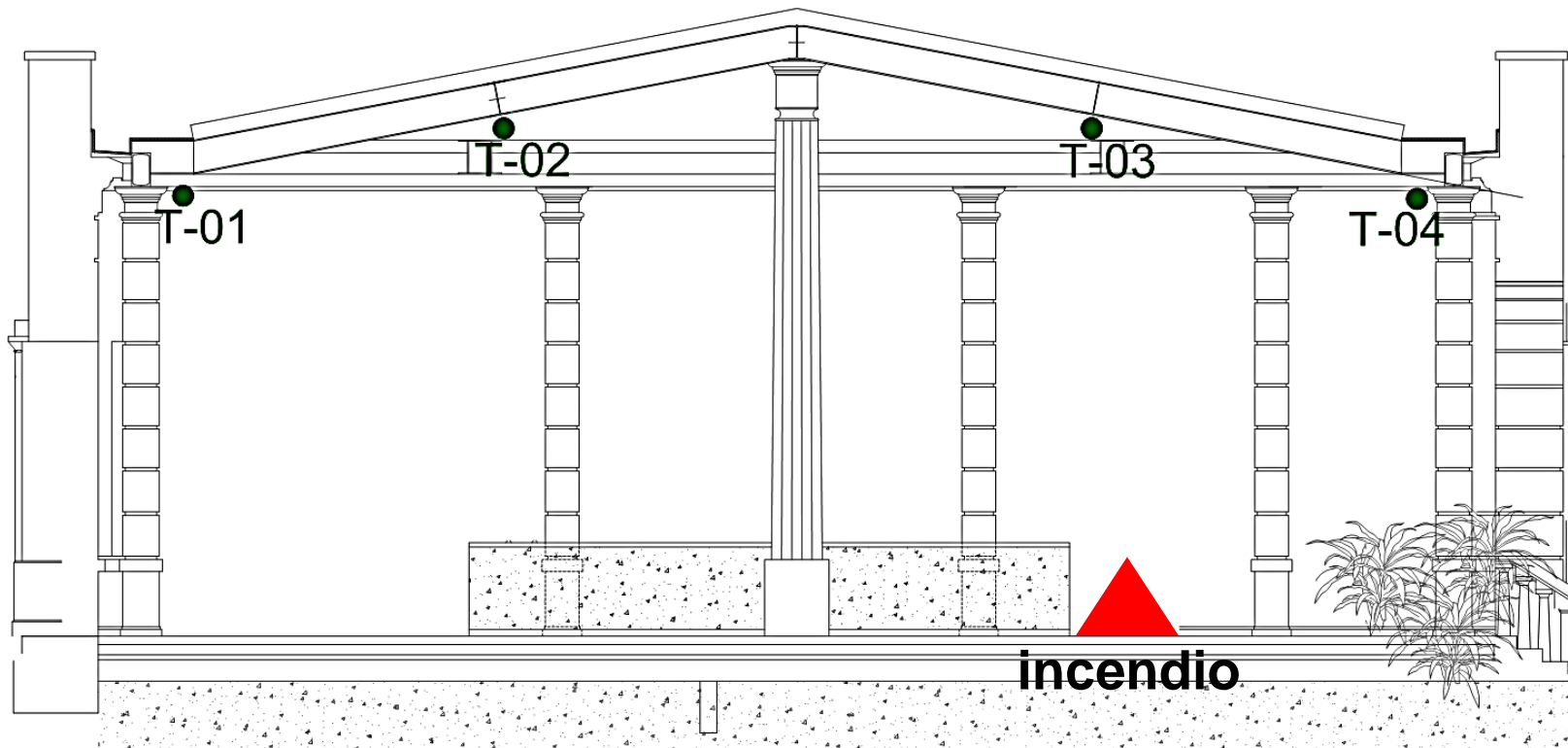
All'interno del modello è stato analizzato l'andamento temporale delle temperature dei gas in alcune posizioni rappresentative dello strato dei gas caldi.

La temperatura è stata monitorata anche attraverso delle "slice" ovvero superfici piane all'interno delle quali viene mappata la temperatura.

La visibilità non ha delle variazioni significative al variare dei materiali utilizzati per le condizioni al contorno della copertura.

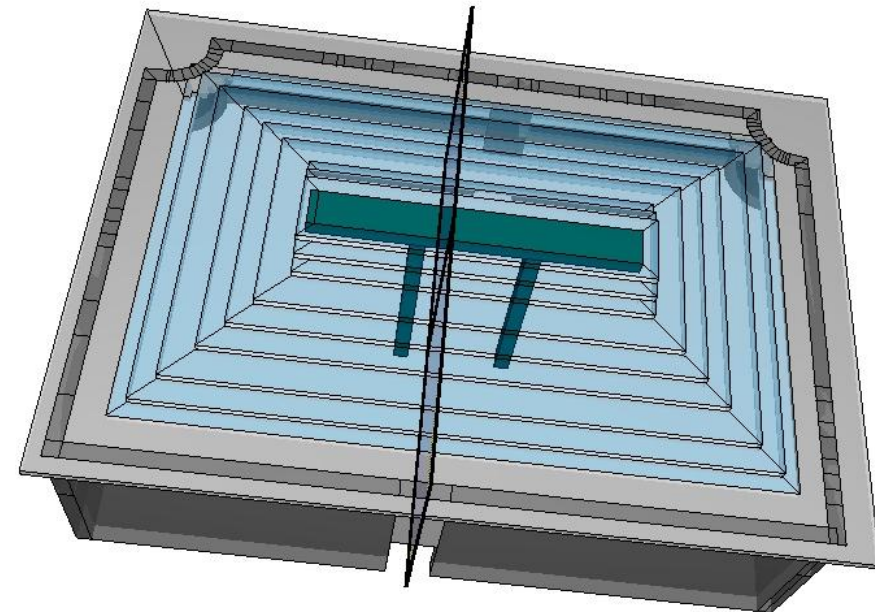
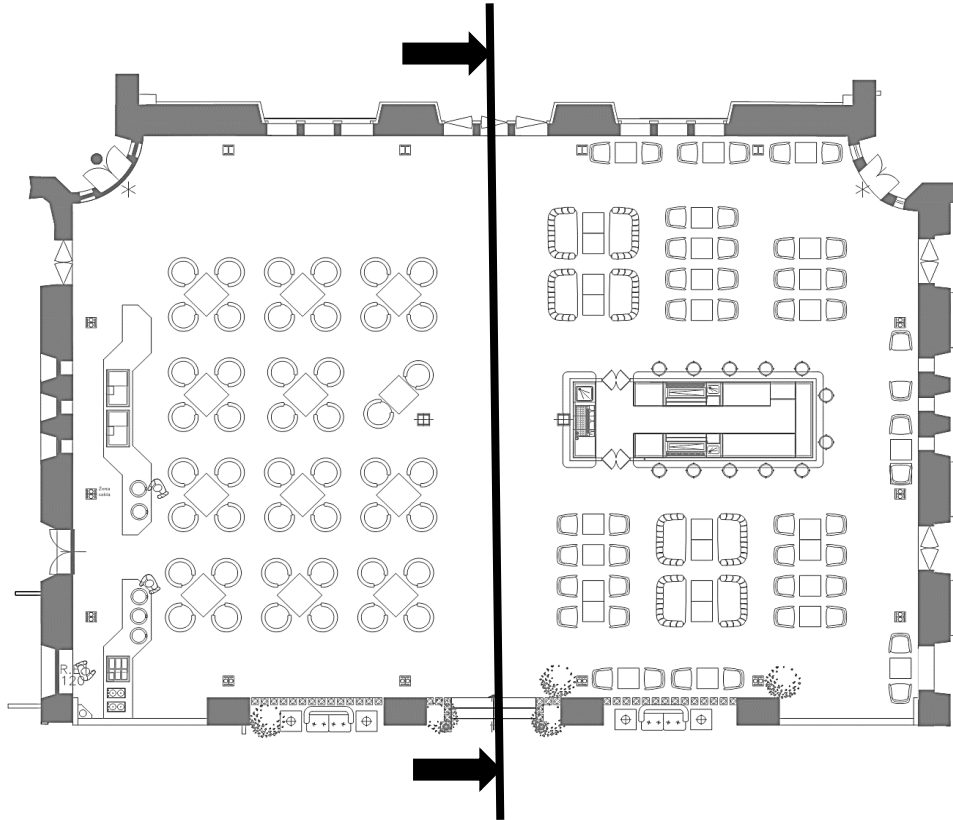
GRANDEZZE INVESTIGATE

Punti di misura della temperatura

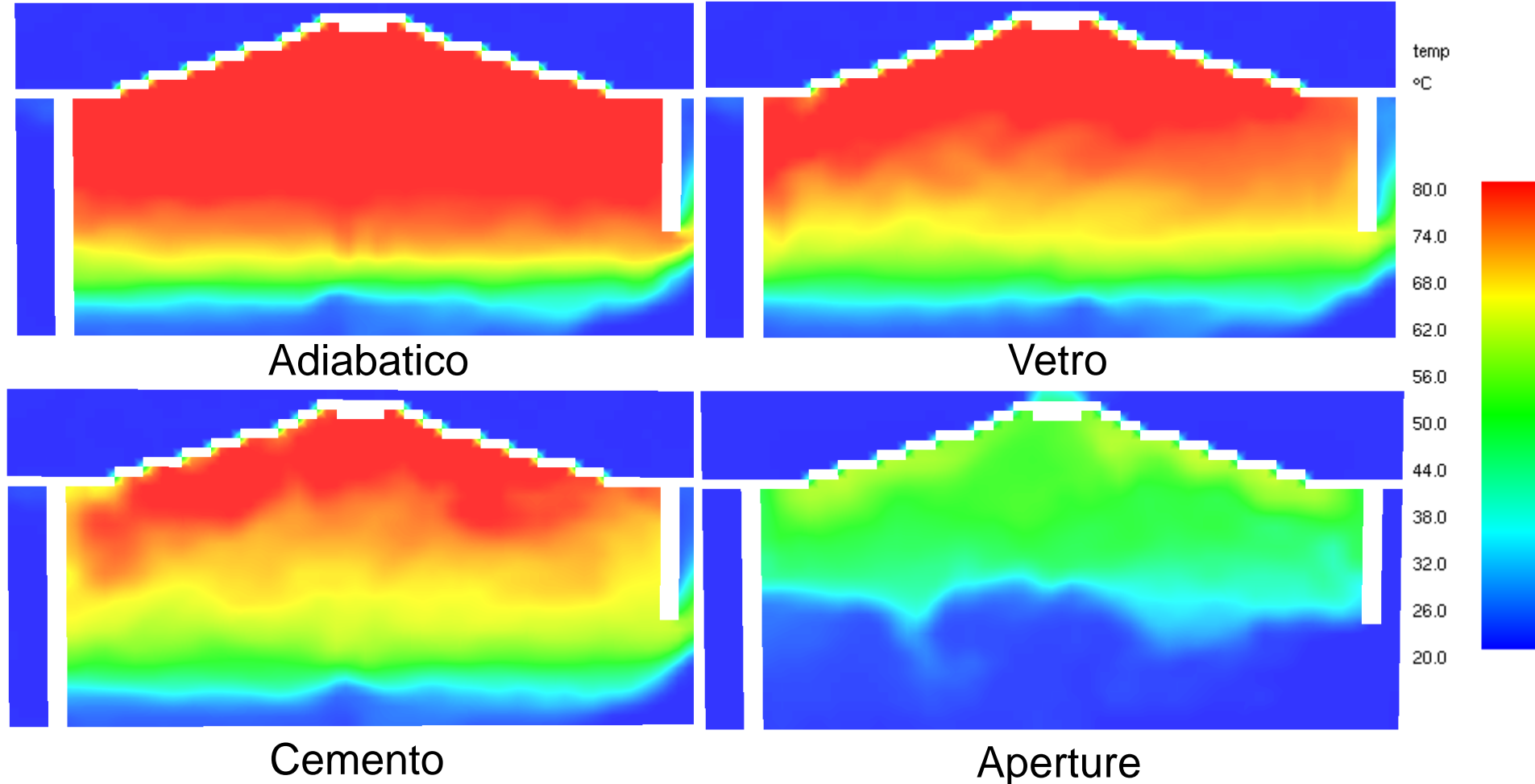


GRANDEZZE INVESTIGATE

Slice

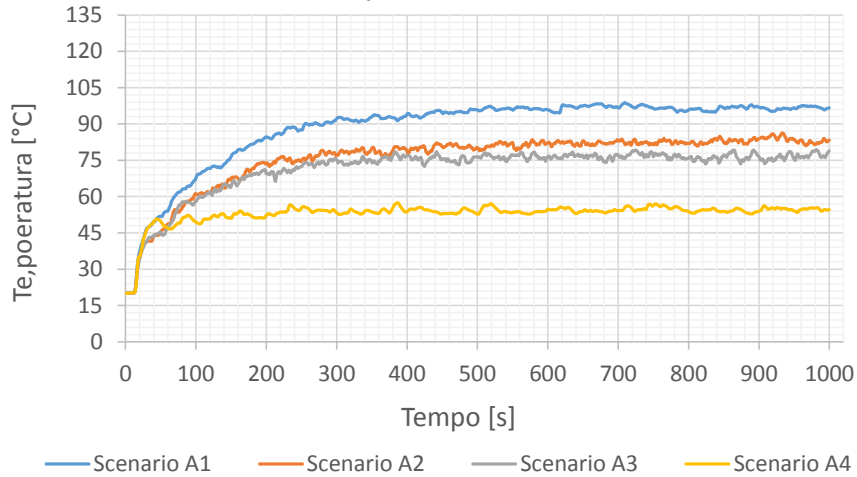


RISULTATI SCENARI A – INCENDIO 0,5 MW – AL VARIARE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO – TEMPO 500 SECONDI

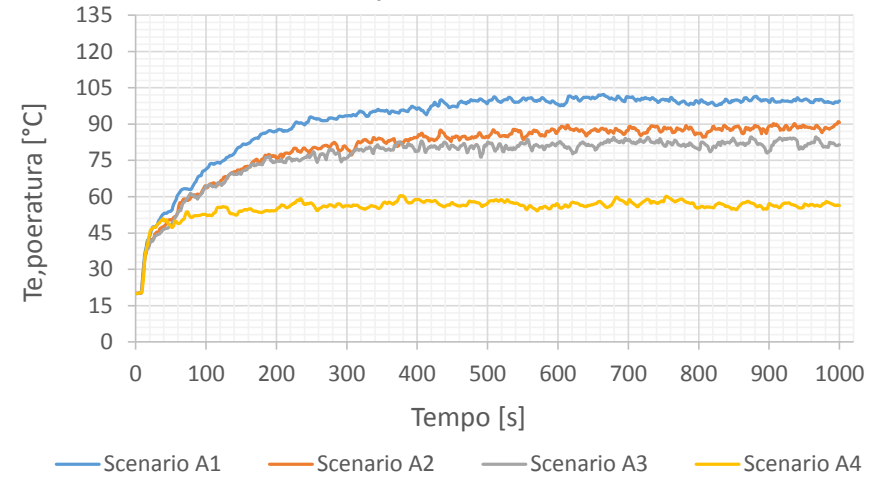


RISULTATI SCENARIO A – INCENDIO 0,5 MW – TEMPERATURE

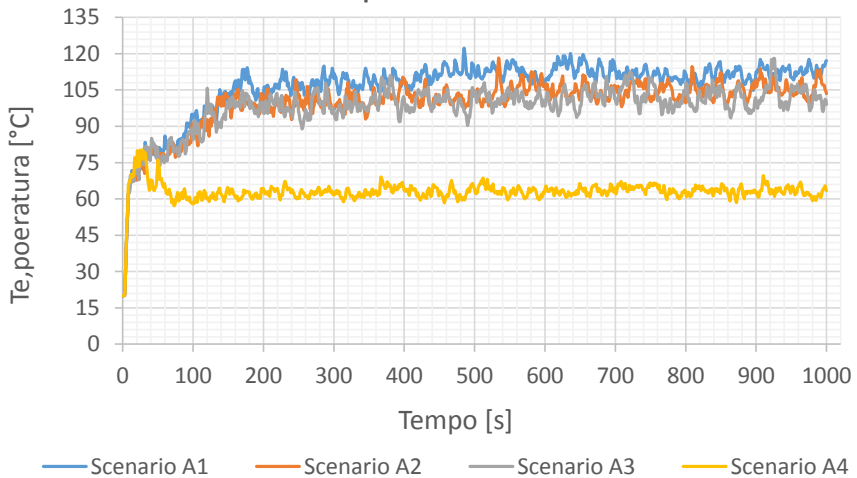
Temperatura T-01



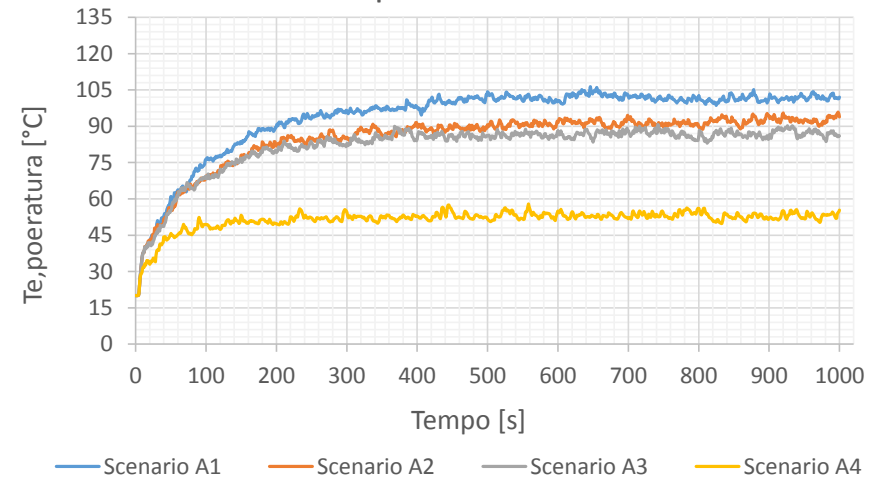
Temperatura T-02



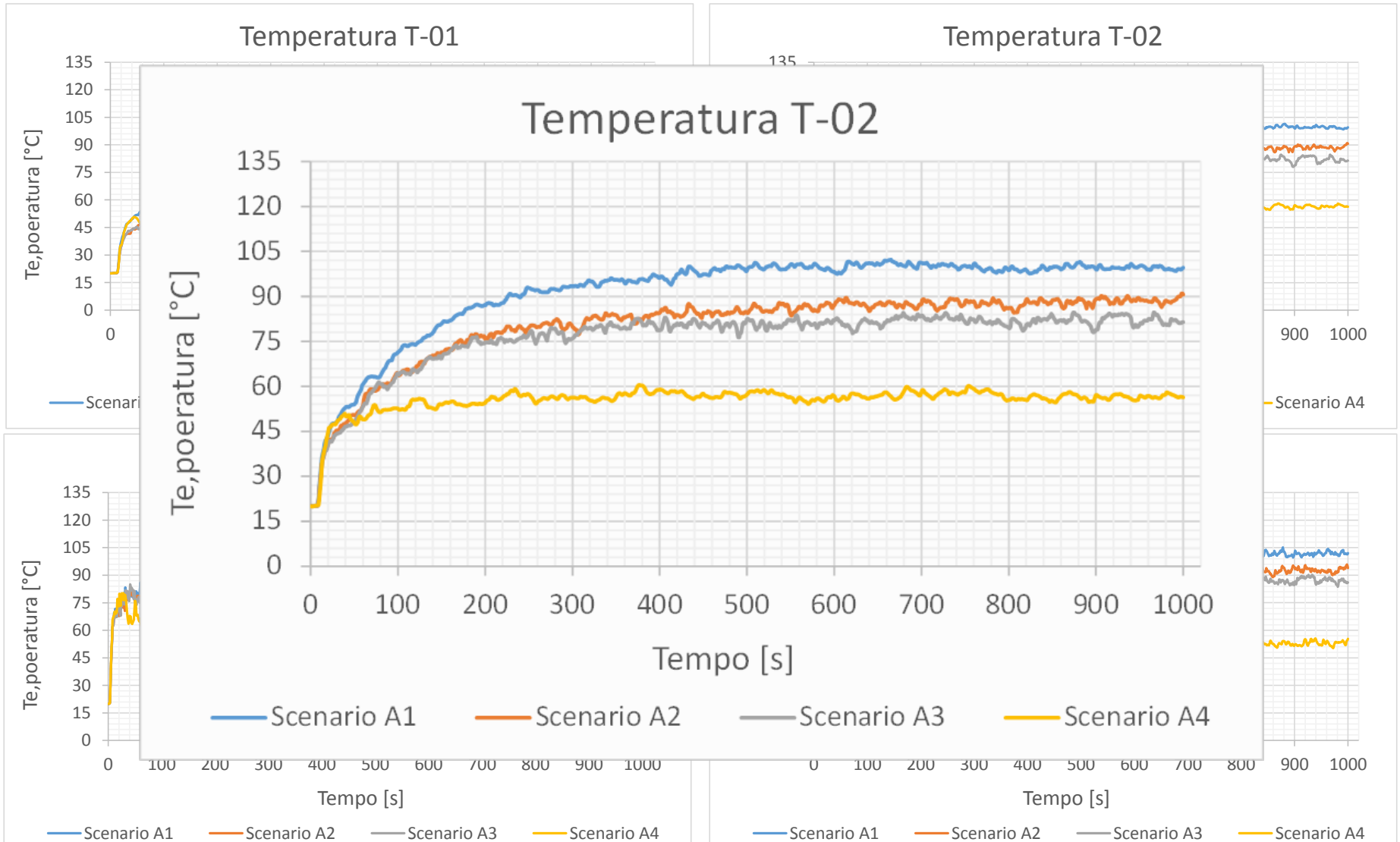
Temperatura T-03



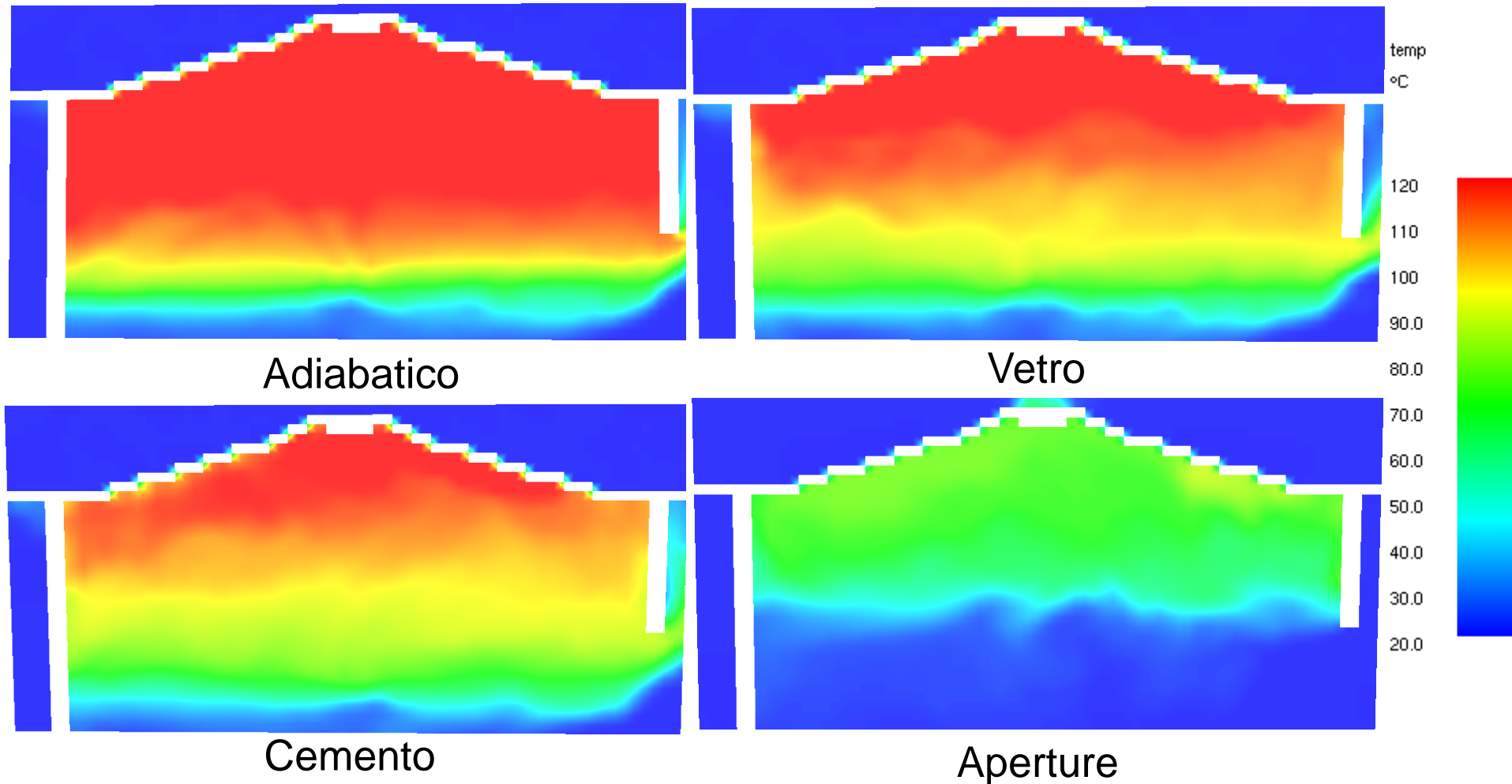
Temperatura T-04



RISULTATI SCENARIO A – INCENDIO 0,5 MW – TEMPERATURE

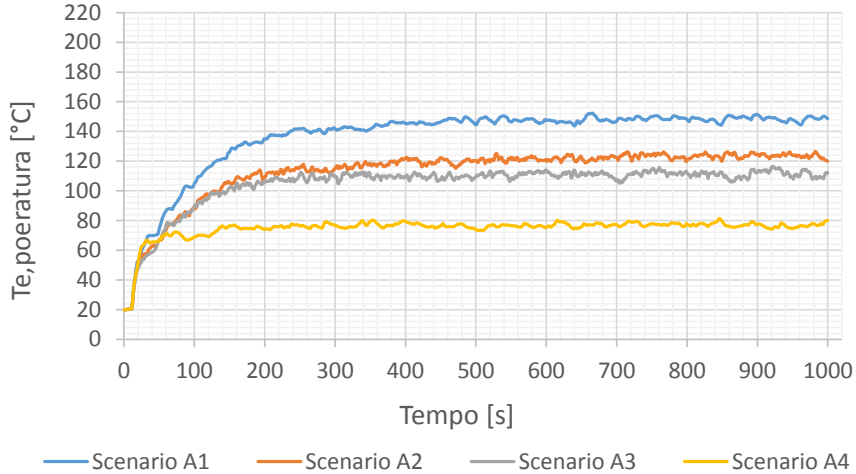


RISULTATI SCENARI B – INCENDIO 1,0 MW – AL VARIARE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO – TEMPO 500 SECONDI

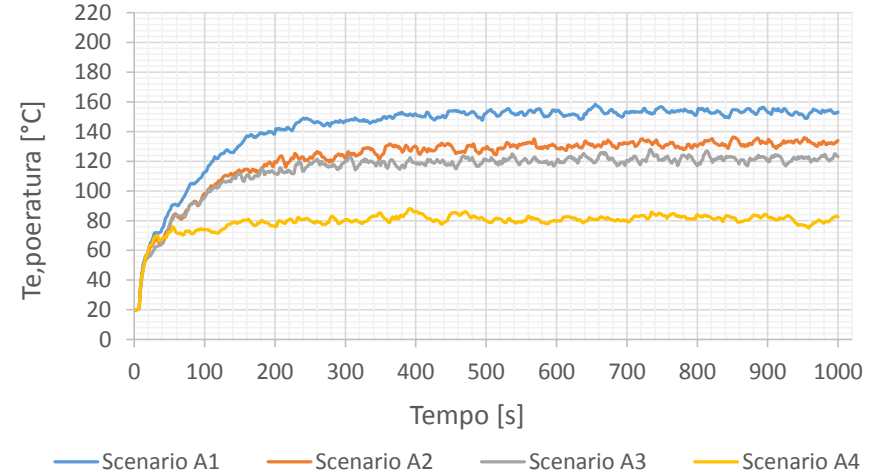


RISULTATI SCENARIO B – INCENDIO 1,0 MW – TEMPERATURE

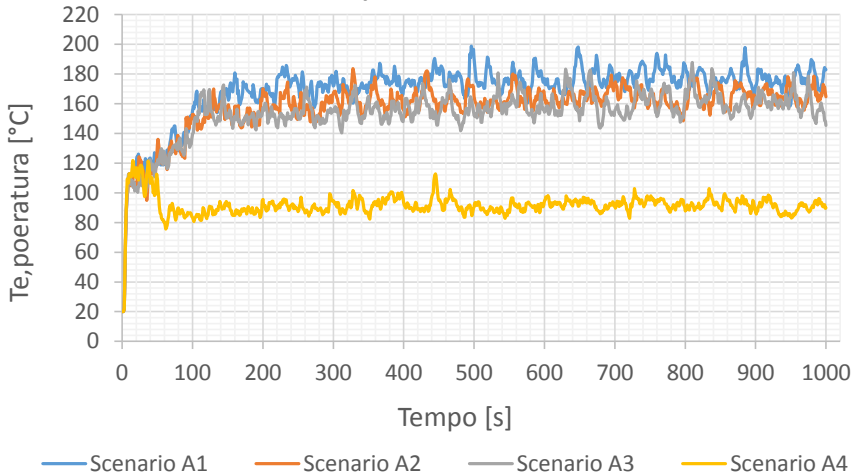
Temperatura T-01



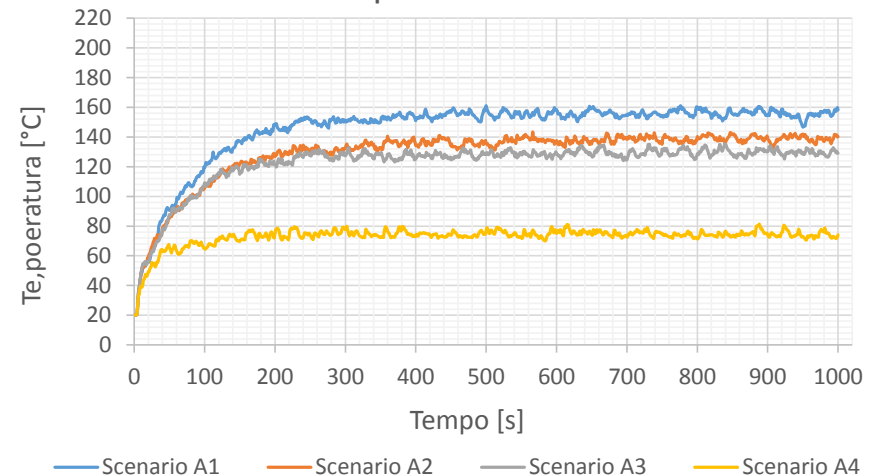
Temperatura T-02



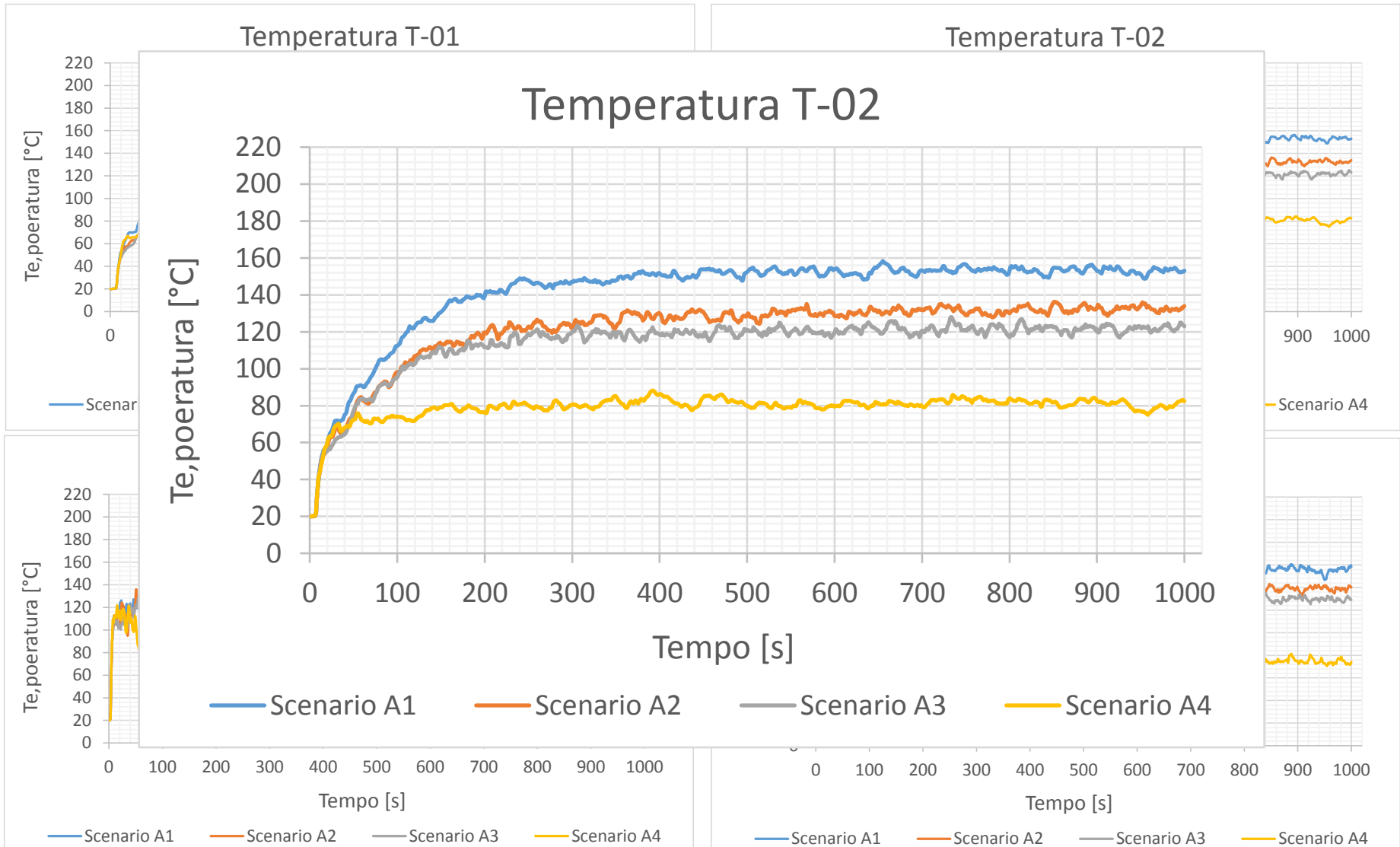
Temperatura T-03



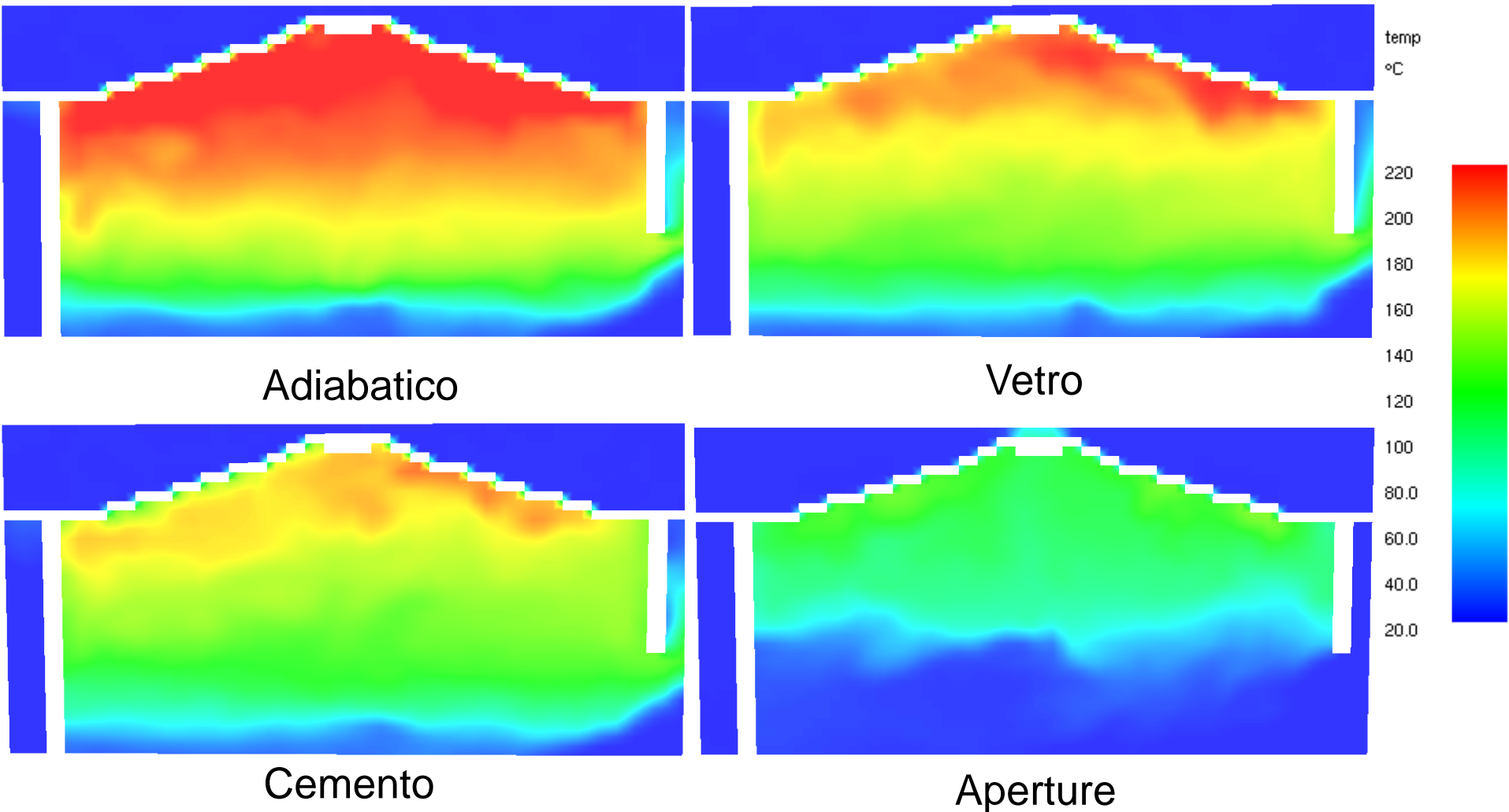
Temperatura T-04



RISULTATI SCENARIO B – INCENDIO 1,0 MW – TEMPERATURE

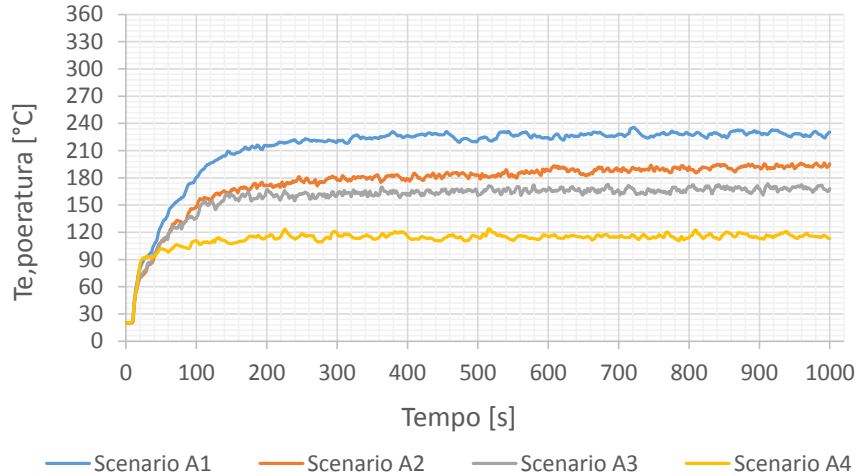


RISULTATI SCENARI C – INCENDIO 2,0 MW – AL VARIARE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO – TEMPO 500 SECONDI

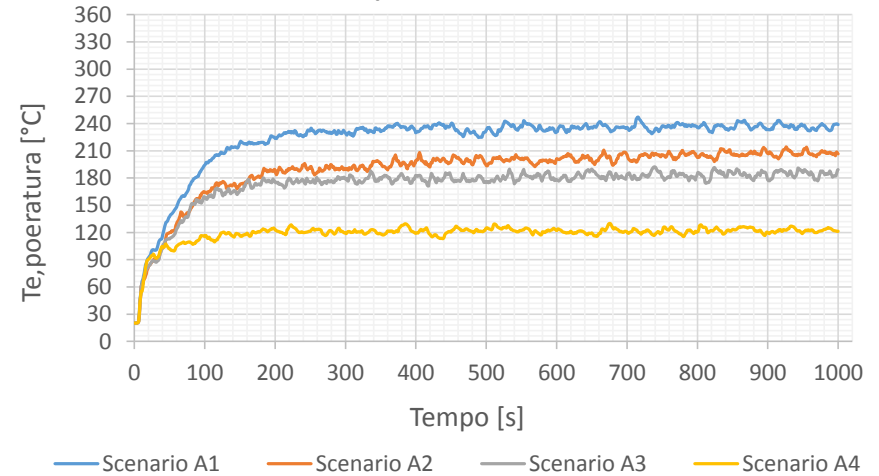


RISULTATI SCENARIO C – INCENDIO 2,0 MW – TEMPERATURE

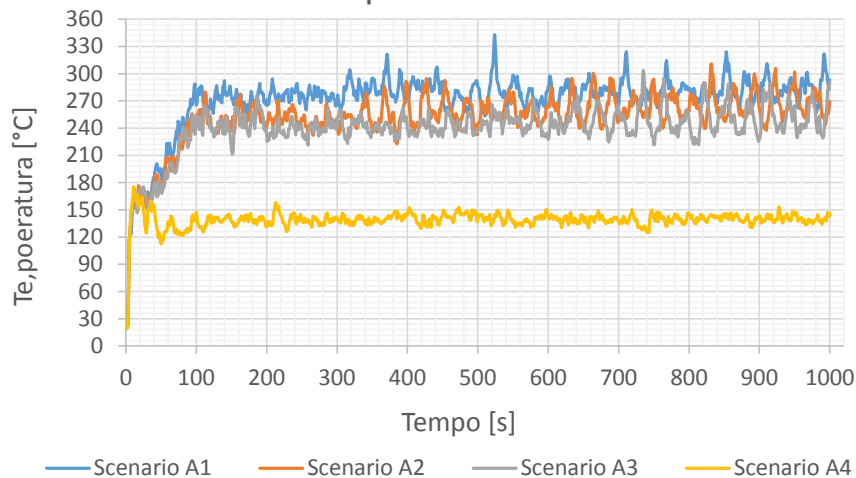
Temperatura T-01



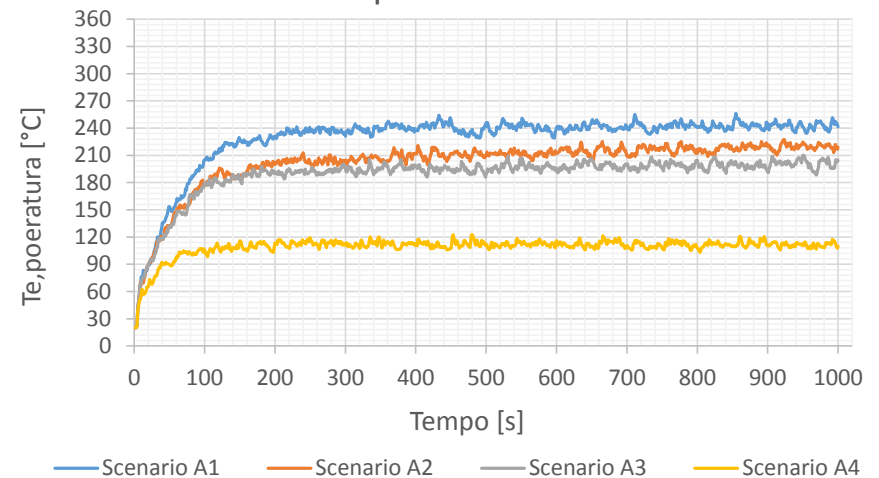
Temperatura T-02



Temperatura T-03



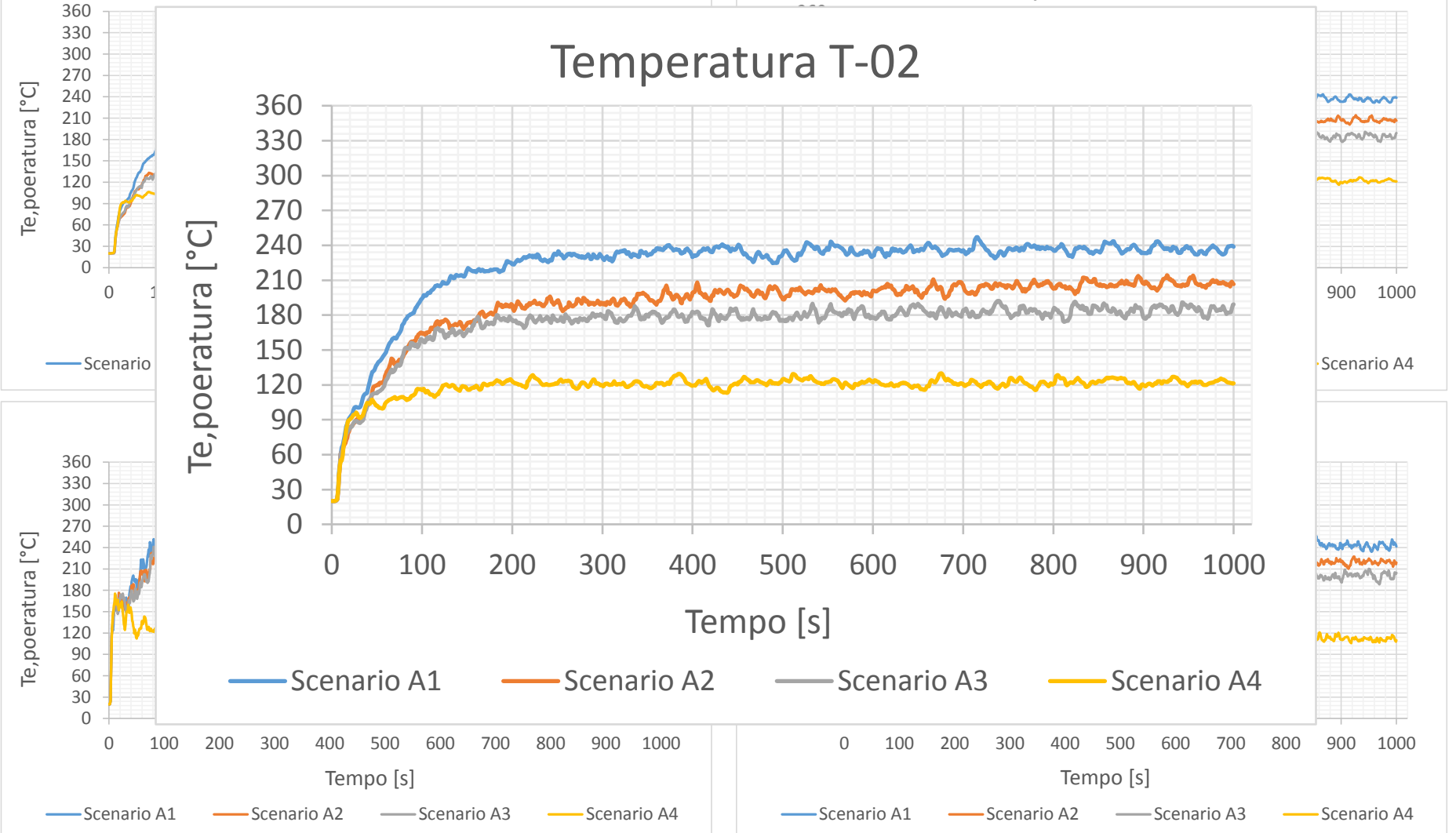
Temperatura T-04



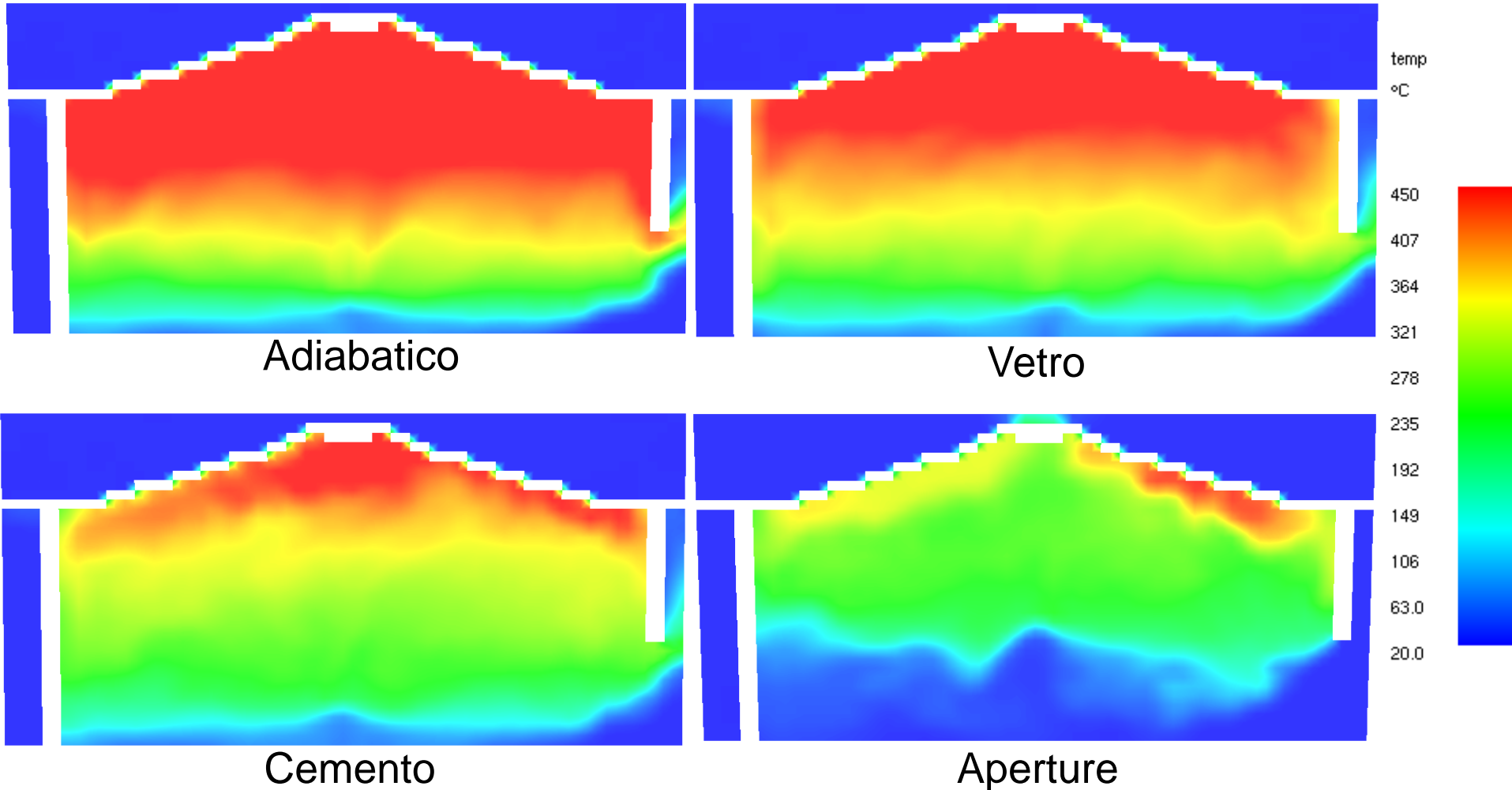
RISULTATI SCENARIO C – INCENDIO 2,0 MW – TEMPERATURE

Temperatura T-01

Temperatura T-02

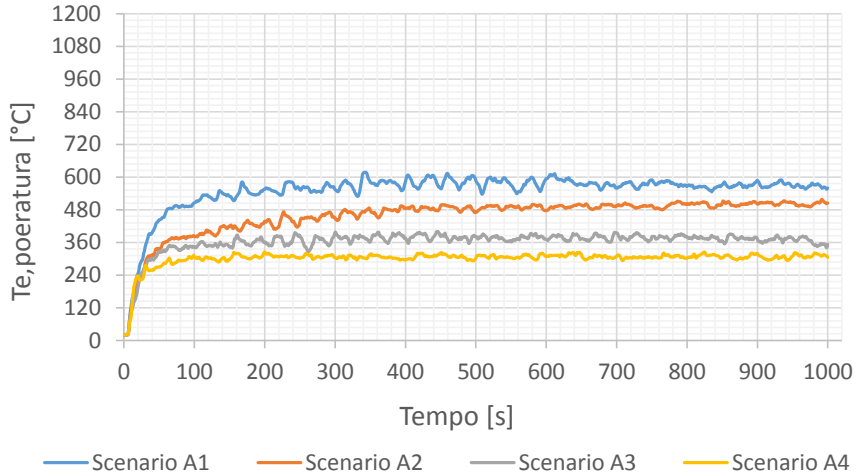


RISULTATI SCENARI D – INCENDIO 9,0 MW – AL VARIARE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO – TEMPO 500 SECONDI

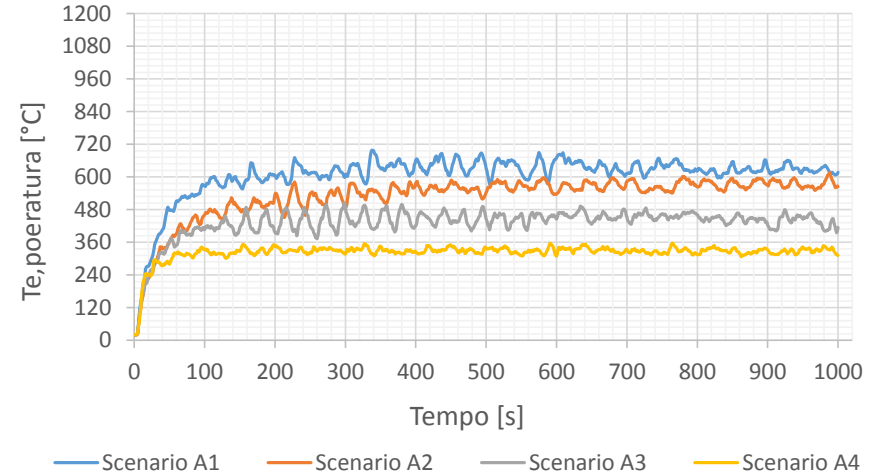


RISULTATI SCENARIO A – INCENDIO 9,0 MW – TEMPERATURE

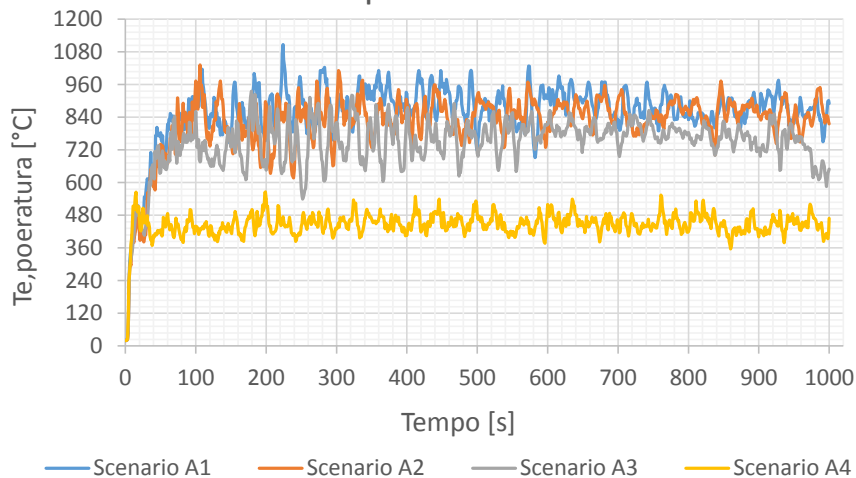
Temperatura T-01



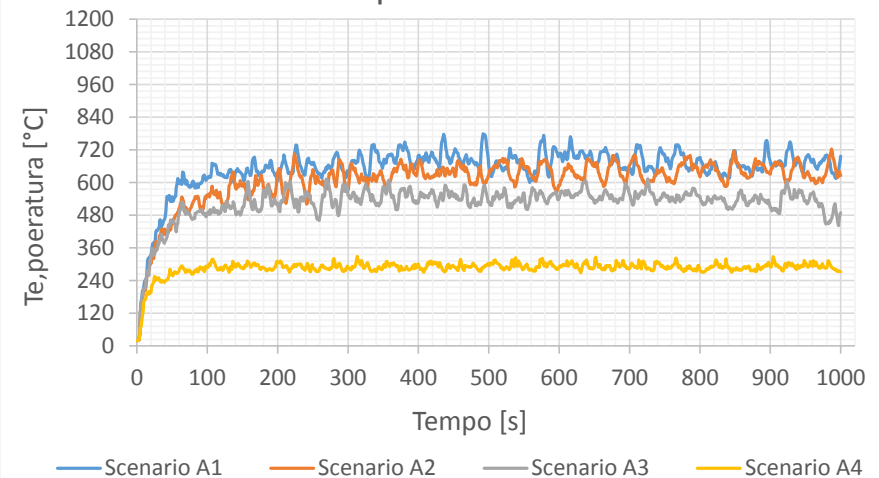
Temperatura T-02



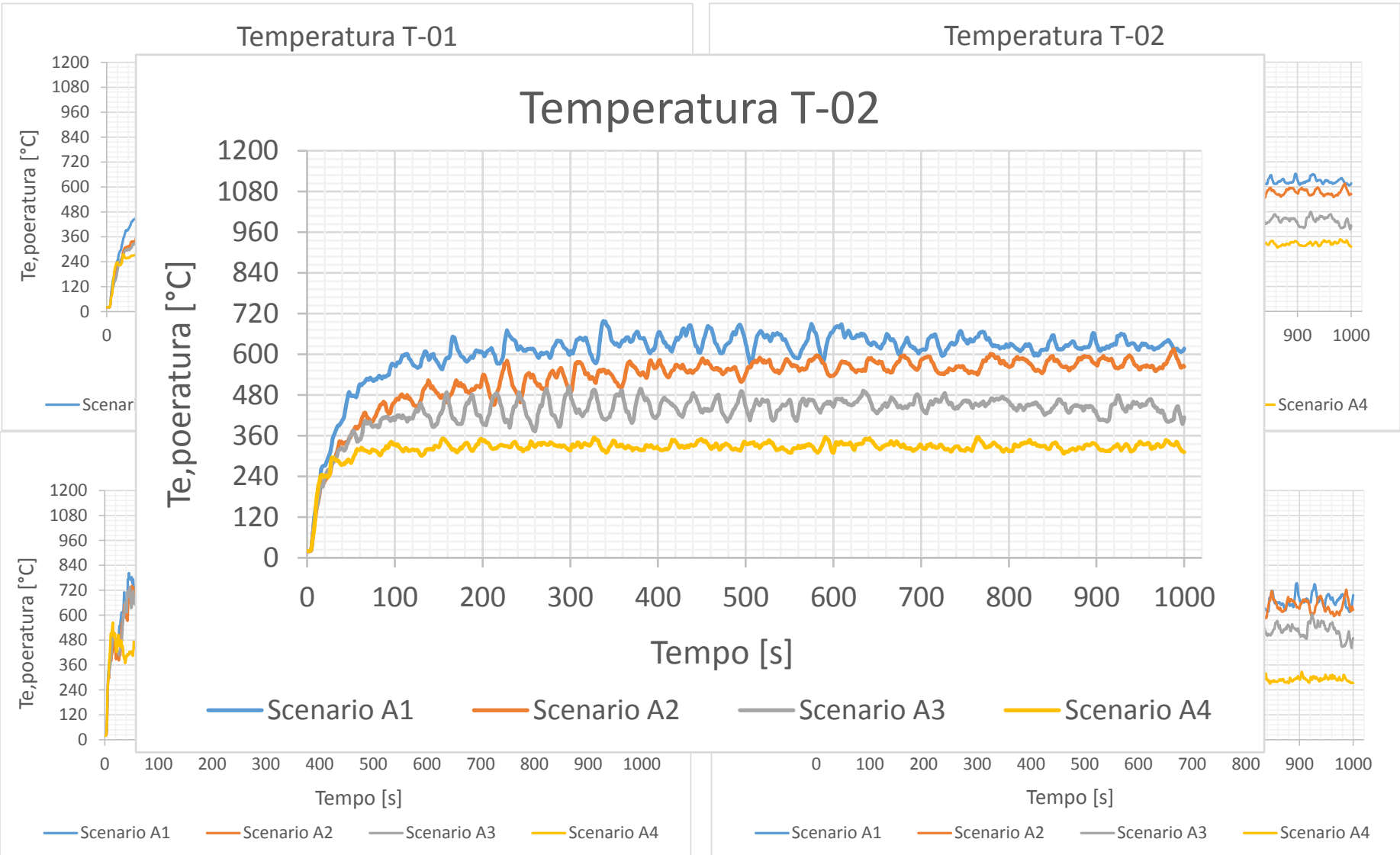
Temperatura T-03



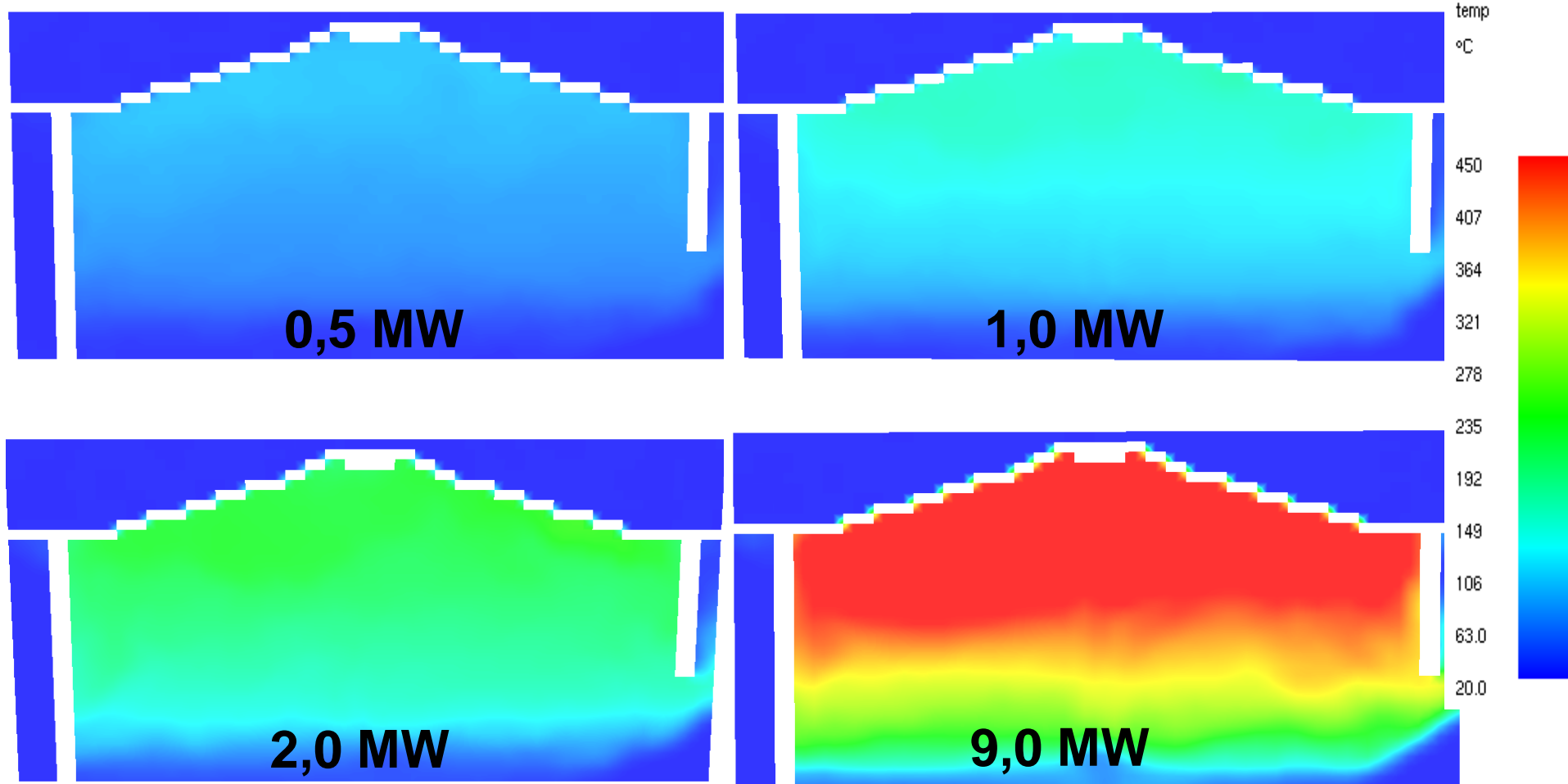
Temperatura T-04



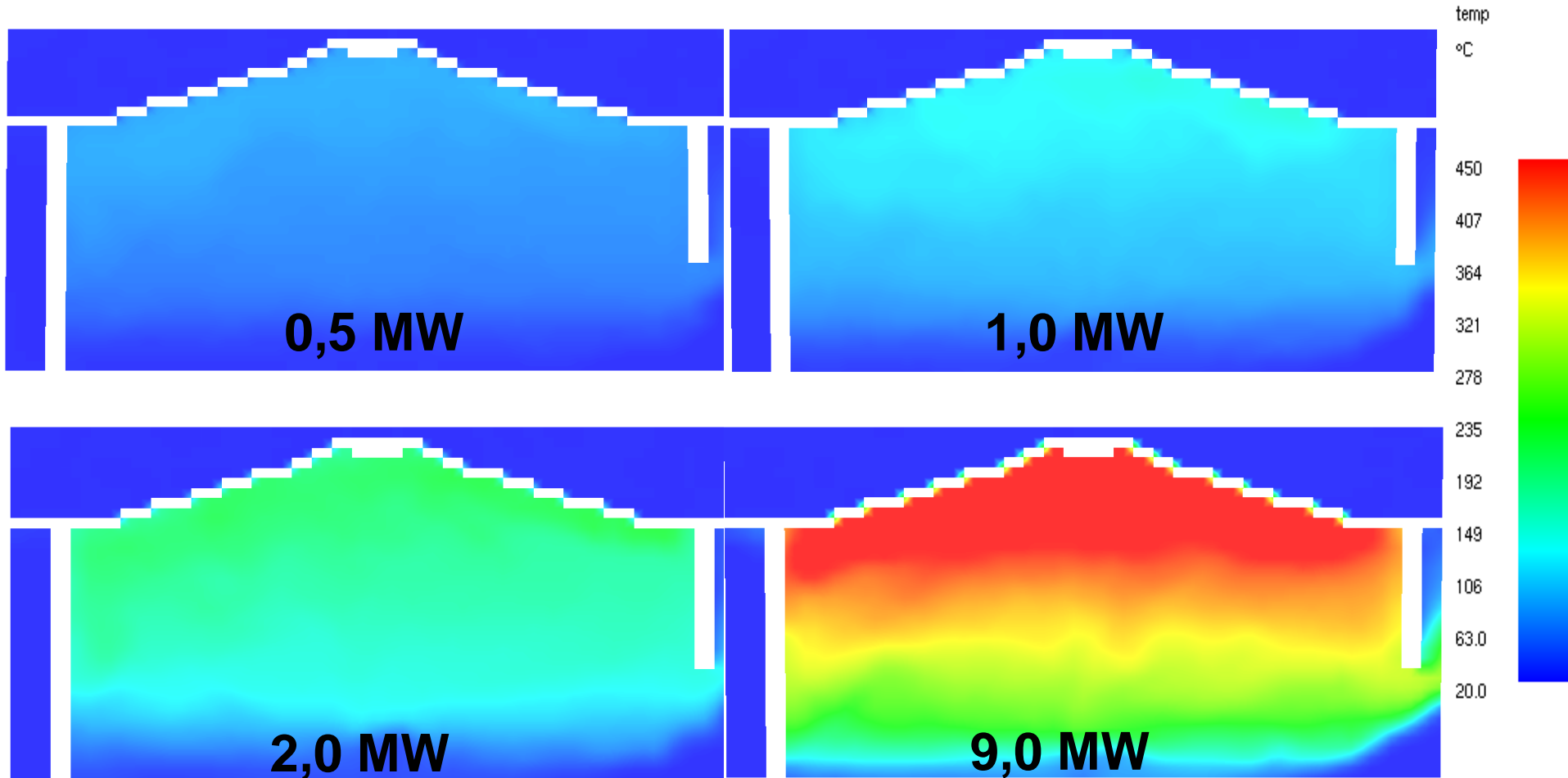
RISULTATI SCENARIO A – INCENDIO 9,0 MW – TEMPERATURE



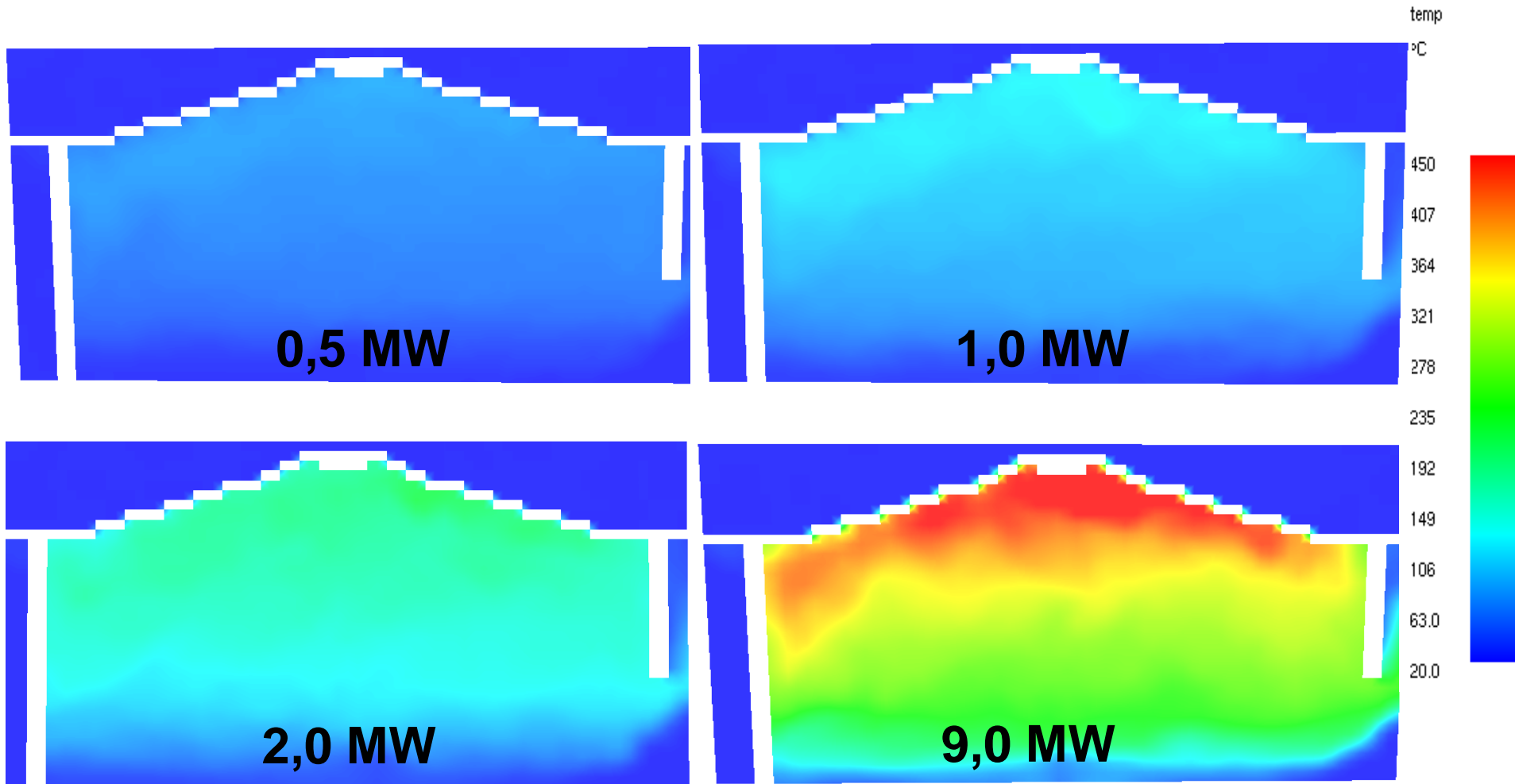
RISULTATI – COPERTURA CON MATERIALE ADIABATICO AL VARIARE DELL'INCENDIO – TEMPO 500 SECONDI



RISULTATI – COPERTURA IN VETRO AL VARIARE DELL'INCENDIO – TEMPO 500 SECONDI



RISULTATI – COPERTURA IN CEMENTO AL VARIARE DELL'INCENDIO – TEMPO 500 SECONDI



RISULTATI – COPERTURA CON MATERIALE ADIABATICO E 2% APERTURE AL VARIARE DELL'INCENDIO – TEMPO 500 SECONDI

temp
°C

450
407
364
321
278
235
192
149
106
63.0
20.0



0,5 MW

1,0 MW

2,0 MW

9,0 MW

CONCLUSIONI

- La temperatura varia in maniera significativa a seconda delle condizioni al contorno che vengono inserite all'interno del modello.
- La variazione di temperatura dovuta alle differenti condizioni al contorno è più significativa quando la potenza dell'incendio è maggiore.
- La condizione adiabatica (semplificativa) è piuttosto conservativa rispetto alla temperatura

CONCLUSIONI

- È importante definire le condizioni al contorno, in particolare i materiali di cui sono costituiti coperture o pareti esterne, per non trascurare lo scambio termico con l'ambiente esterno.
- La caratterizzazione dettagliata del materiale è poco influente in quanto le temperature medie registrate nel caso in cui il soffitto è in vetro e nel caso in cui il soffitto è in cemento non si discostano.

CONCLUSIONI

- È di grande importanza sapere se sono presenti delle aperture di ventilazione all'interno del dominio o se durante l'emergenza possono accadere degli eventi che portano ad avere una maggiore comunicazione del dominio interno con l'ambiente esterno.
- L'esempio tipico è la caratterizzazione dell'istante di rottura degli elementi vetrati.

BIBLIOGRAFIA

- *Morgan J. Hurley*, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition, 2015;
- Antonio La Malfa, Prevenzione incendi Approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio 5a Edizione, Settembre 2007;
- *T. Stainhaus, W. Jahn*, Laboratory Experiments and their applicability,– *The Dalmarnock Fire tests: Experiments and Modelling* – University of Edinburgh 2007;
- *McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J.*, NIST Special Publication 1019-5, Fire Dynamics Simulator (Version 6) User’s Guide, NIST, Nov. 2013;
- *McGrattan K., Hostikka S., Floyd J.*, NIST Special Publication 1018-5, Fire Dynamics Simulator (Version 6) Technical Reference Guide, Volume 1: Mathematical Model, NIST, Nov. 2015;
- EUROCODICE 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-2: Azioni in generale – Azioni sulle strutture esposte al fuoco, 2004 – correzione marzo 2013



GRAZIE PER L'ATTENZIONE



DOMANDE