CONSIGLIO NAZIONALE DEGLI INGEGNERI

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI TORINO



TORINO
22-23 NOVEMBRE 2024

12ª GIORNATA NAZIONALE DELL'INGEGNERIA DELLA SICUREZZA

TECNOLOGIA E INNOVAZIONE: SCENARI FUTURI DELL'INGEGNERIA DELLA SICUREZZA

Evento organizzato con la collaborazione della:

FONDAZIONE CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

LA PREVENZIONE INCENDI NELLE ATTIVITA' SCOLASTICHE

Un caso studio con soluzioni alternative FSE per esodo e resistenza al fuoco

Marco Di Felice
Componente del CCTS per il CNI

Analisi e prospettive per le scuole italiane

- **Perché la maggior parte delle scuole italiane non sono a norma rispetto agli obblighi di prevenzione incendi?**
- **Le scuole sono comunque sicure?**
- **Che contributo può offrire il «Codice di prevenzione incendi»?**

Popolazione scolastica

Circa **40’300 scuole italiane pubbliche** sono occupate quotidianamente da:

- 7’073’000 studenti
- 944’000 insegnanti
- 204’500 amministrativi, tecnici, ausiliari (ATA)
- 6’800 dirigenti

Fonte: MIUR 2024

Proprietà e gestione delle scuole

PROPRIETA' DEGLI EDIFICI SCOLASTICI	%	numero
Comuni	77 %	31'031
Province	9 %	3'627
Altro	14 %	5'642
Totale:		**40'300**

Le Province gestiscono 5'180 edifici scolastici (12%), avendo in carico anche edifici di altra proprietà.

Fonte: MIUR 2024

Età del patrimonio scolastico italiano

ANNO DI REALIZZAZIONE EDIFICI SCOLASTICI	
Edifici realizzati prima del 1900	6,2 %
Edifici realizzati tra il 1900 ed il 1940	14,7 %
Edifici realizzati tra il 1941 ed il 1974	41,2 %
Edifici realizzati tra il 1975 ed il 1990	27,5 %
Edifici realizzati tra il 1991 ed il 2000	5,1 %
Edifici realizzati tra il 2001 ed il 2017	5,3 %

2/3 degli edifici scolastici

Fonte: MIUR 2024

Certificazioni e requisiti delle scuole

CERTIFICAZIONI	ANNO 2013	ANNO 2016	ANNO 2024
C.P.I. o SCIA-VVF	30,9%	37,4%	35,5%
Idoneità statica	42,1%	49,6%	45,5%
Agibilità	53,1%	58,2%	59,1%

Fonti: ISTAT 2024 - MIUR 2024 - XXII Rapporto sulla sicurezza delle scuole- Cittadinanza attiva (dati 2022)

Regole tecniche di prevenzione incendi

- **DM 26/08/1992** – «Norme di prevenzione incendi per l'edilizia scolastica»

- **DM 07/08/2017** – «**RTV attività scolastiche**», capitolo V.7 del DM 03/08/2015 «*Norme tecniche di prevenzione incendi*»

Perché molte scuole non sono a norma?

Il **DM 26/08/1992** contiene un pacchetto di **misure di sicurezza antincendio piuttosto impegnativo** in rapporto a:

- requisiti del *patrimonio edilizio scolastico italiano preesistente (ante 1992)*
- *effettivo livello di rischio incendio nelle scuole*

Ciò ha provocato uno stallo nella messa a norma perché, a fronte di numerosi progetti VVF approvati, molte scuole non sono riuscite ad eseguire gli interventi di adeguamento a causa degli elevati oneri.

L’opportunità offerta dalla RTV scuole del Codice

Per queste e altre ragioni, a oltre 30 anni dalla pubblicazione della prima regola tecnica, oltre la metà delle scuole italiane non ha ottemperato agli obblighi di prevenzione incendi.

La nuova RTV sulle attività scolastiche è invece tarata su di un ***livello di rischio accettabile più equilibrato e sostenibile***.

Ciò non significa che Codice faccia degli “sconti” sulla sicurezza ma definisce un ***sistema organizzato e coordinato di misure di prevenzione e protezione antincendio***.

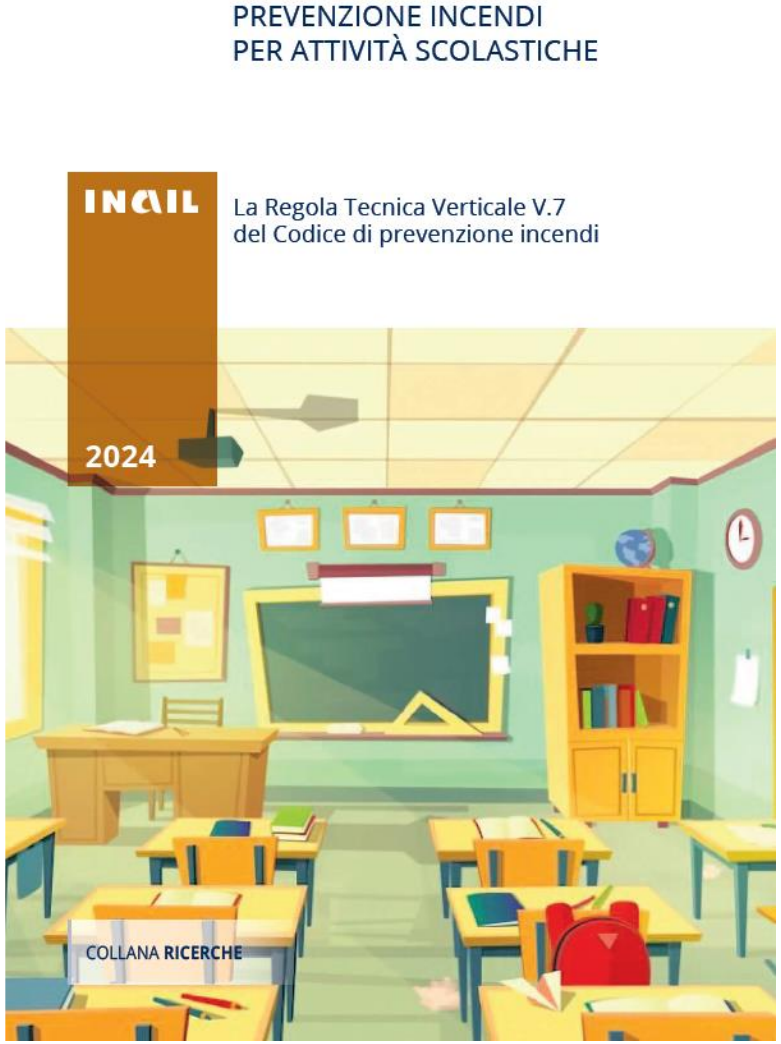
L’opportunità offerta dalla RTV scuole del Codice

E’ pertanto opportuno e spesso conveniente, provare a **riprogettare la prevenzione incendi delle scuole utilizzando la RTV del Codice**.

Ne **potrebbero derivare minori oneri di adeguamento antincendio,** per effetto di una diversa combinazione di misure di sicurezza.

L’esempio che presentiamo rappresenta uno di questi casi.

PREMESSA



ATTIVITÀ SOGGETTE (D.P.R. 1 agosto 2011, n. 151):

PRINCIPALE

- 67.4.C: "**Scuole** di ogni ordine, grado e tipo, collegi, accademie con oltre 300 persone presenti".

SECONDARIE

- 74.2.B: *"**Impianti per la produzione di calore** alimentati a combustibile solido, liquido o gassoso con potenzialità superiore a 350 kW (fino a 700 kW)";*
- 65.1.B: *"Locali di spettacolo e di trattenimento in genere, impianti e centri sportivi, **palestre**, sia a carattere pubblico che privato, con capienza superiore a 100 persone (e fino a 200 persone) ovvero di superficie lorda in pianta al chiuso superiore a 200 mq"*).

Anche se la capienza della palestra è inferiore a 100 persone, la superficie lorda in pianta al chiuso è superiore a 200 m^2.

CASO STUDIO

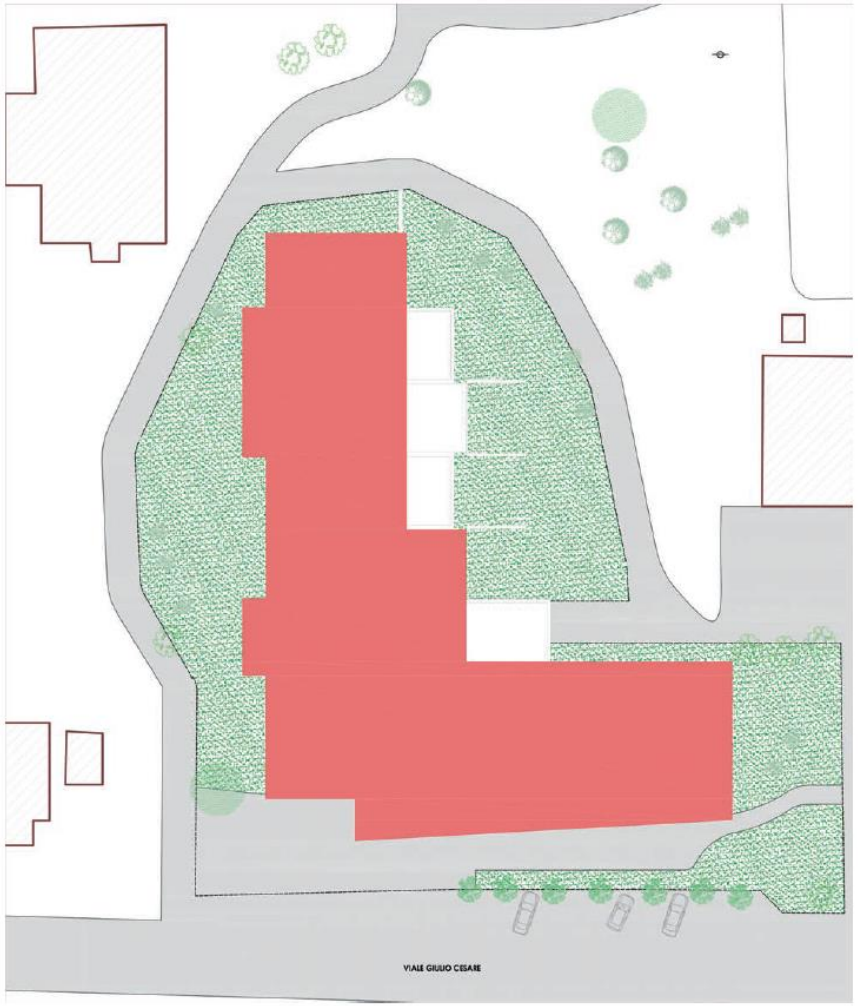
EDIFICIO ADIBITO AD ATTIVITA' SCOLASTICA

- Edificio di particolare pregio architettonico, sviluppato su **quattro livelli**:
  - piano interrato destinato a palestra
  - piano seminterrato destinato a mensa e spogliatoi
  - piano terra con aule didattiche e locali docenti
  - piano primo con aule e laboratori

- N. 14 aule didattiche e n. 3 aule speciali
- **Altezza antincendio < 12 m**

- **Scala principale interna, protetta**
- **Scala esterna** al servizio dei piani interrato e seminterrato
- Mensa con uscita diretta verso l'esterno
- Quasi tutte le aule hanno una seconda uscita, direttamente verso l'esterno

- **Superficie complessiva di circa 3400 m^2**.



PLANIMETRIA GENERALE DELL'INSEDIAMENTO

CASO STUDIO



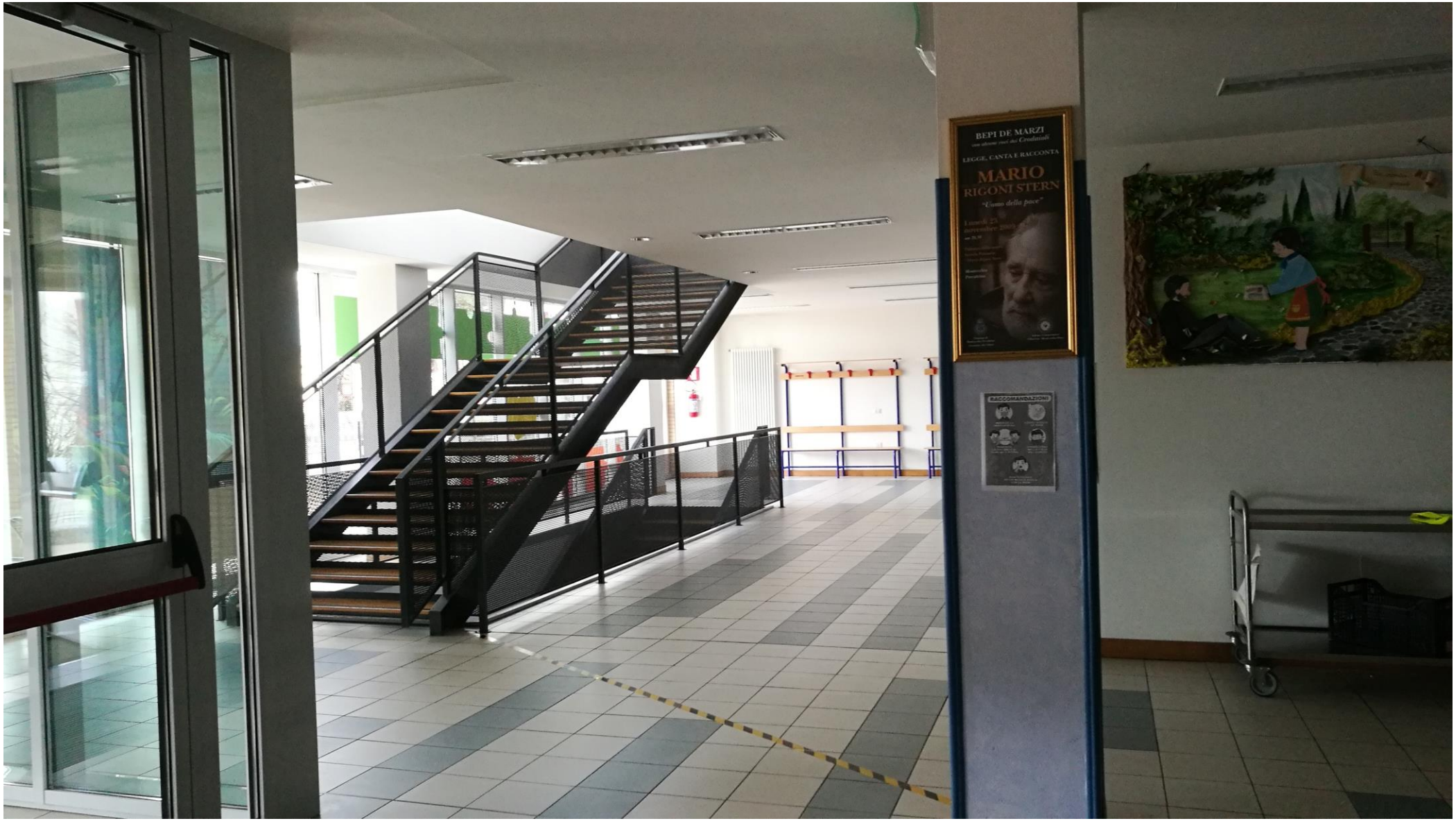
CASO STUDIO



CASO STUDIO



CASO STUDIO


BEPI DE MARZI
LEGGE, CANTA E RACCONTA
MARIO
RIGONI STERN
"Uomo della pace"
RACCOMANDAZIONI

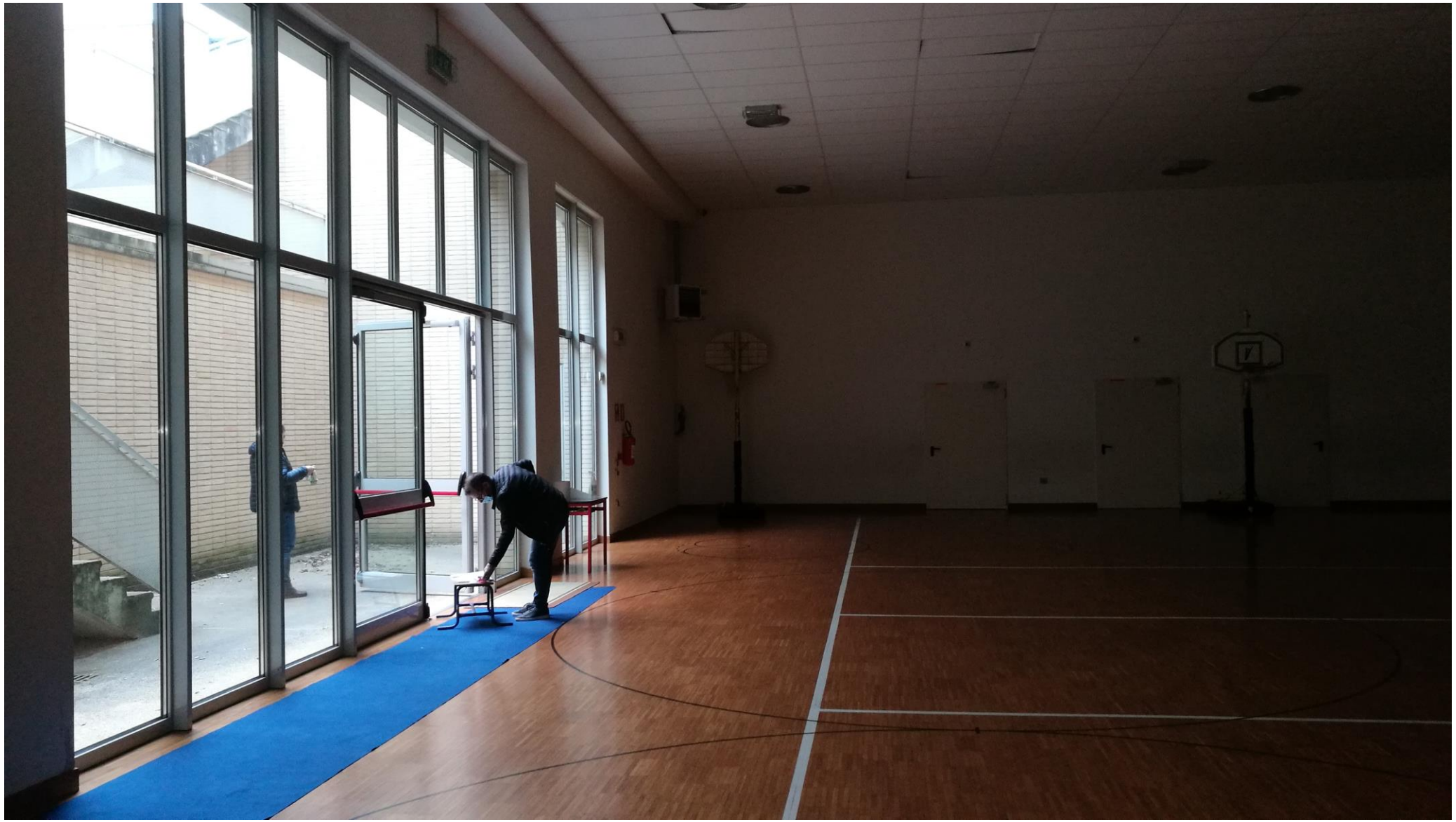
CASO STUDIO



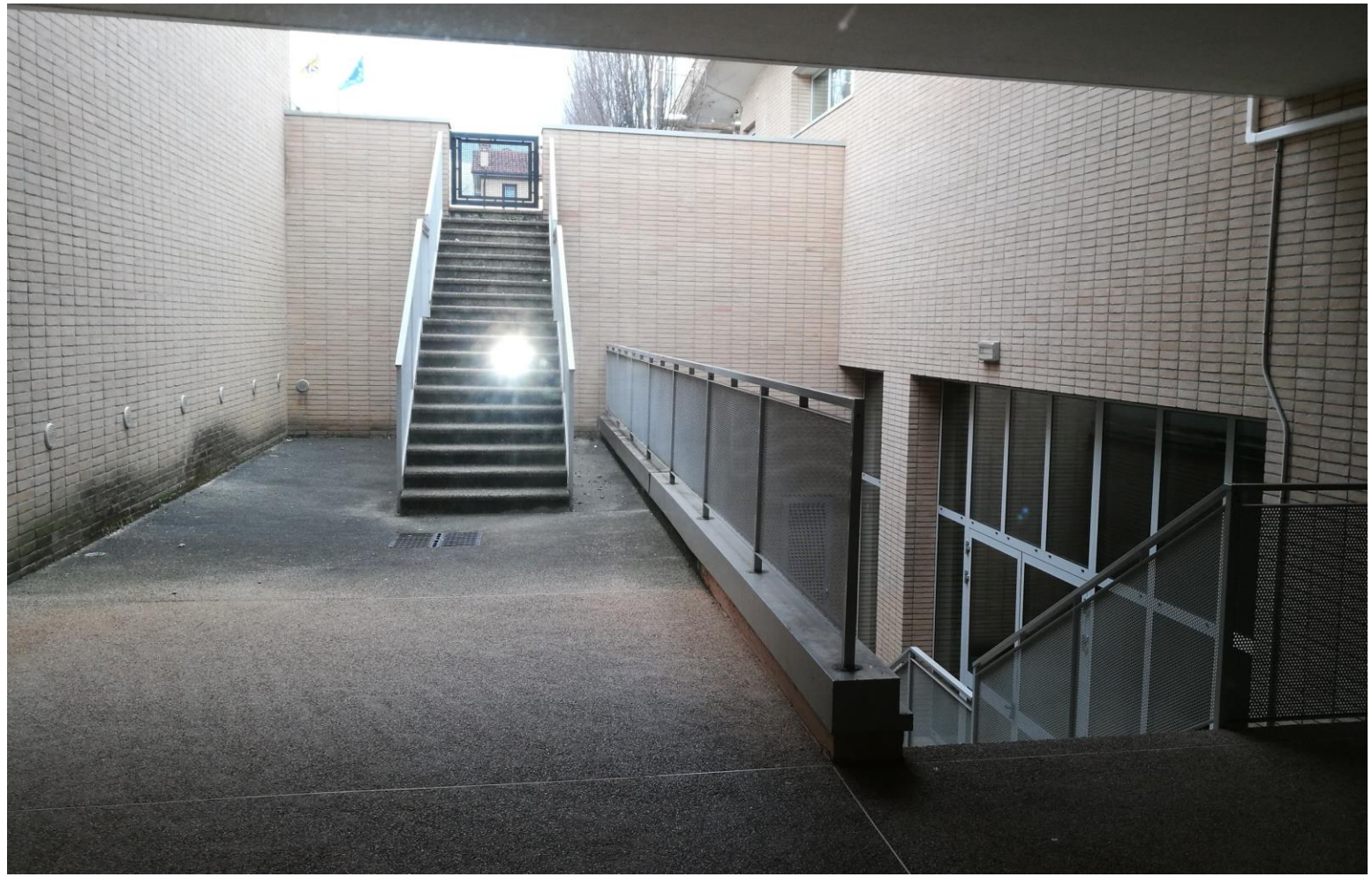
CASO STUDIO



CASO STUDIO

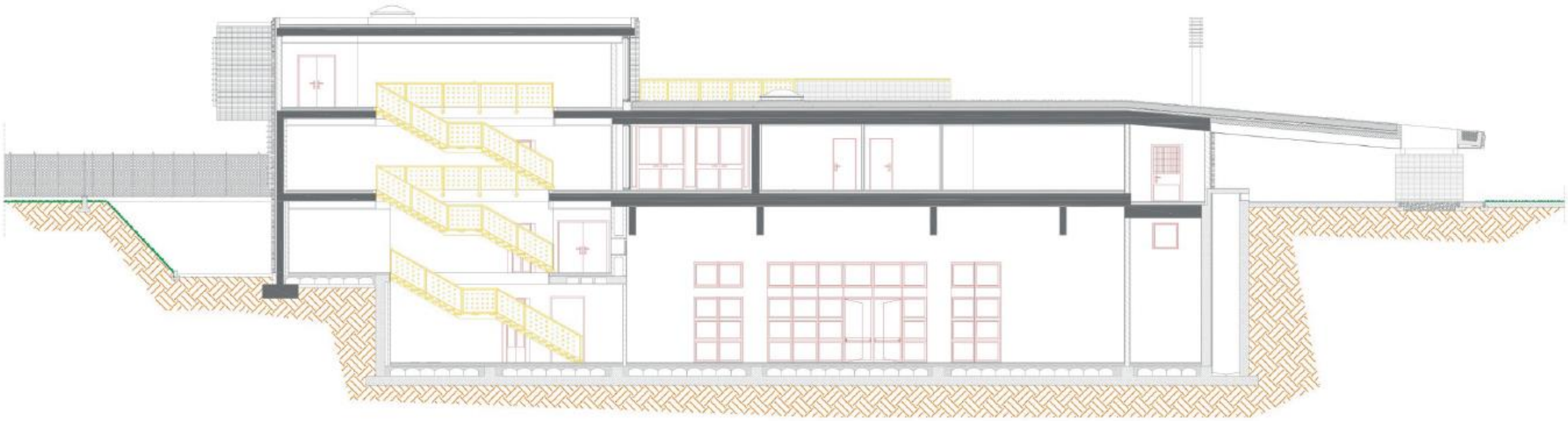






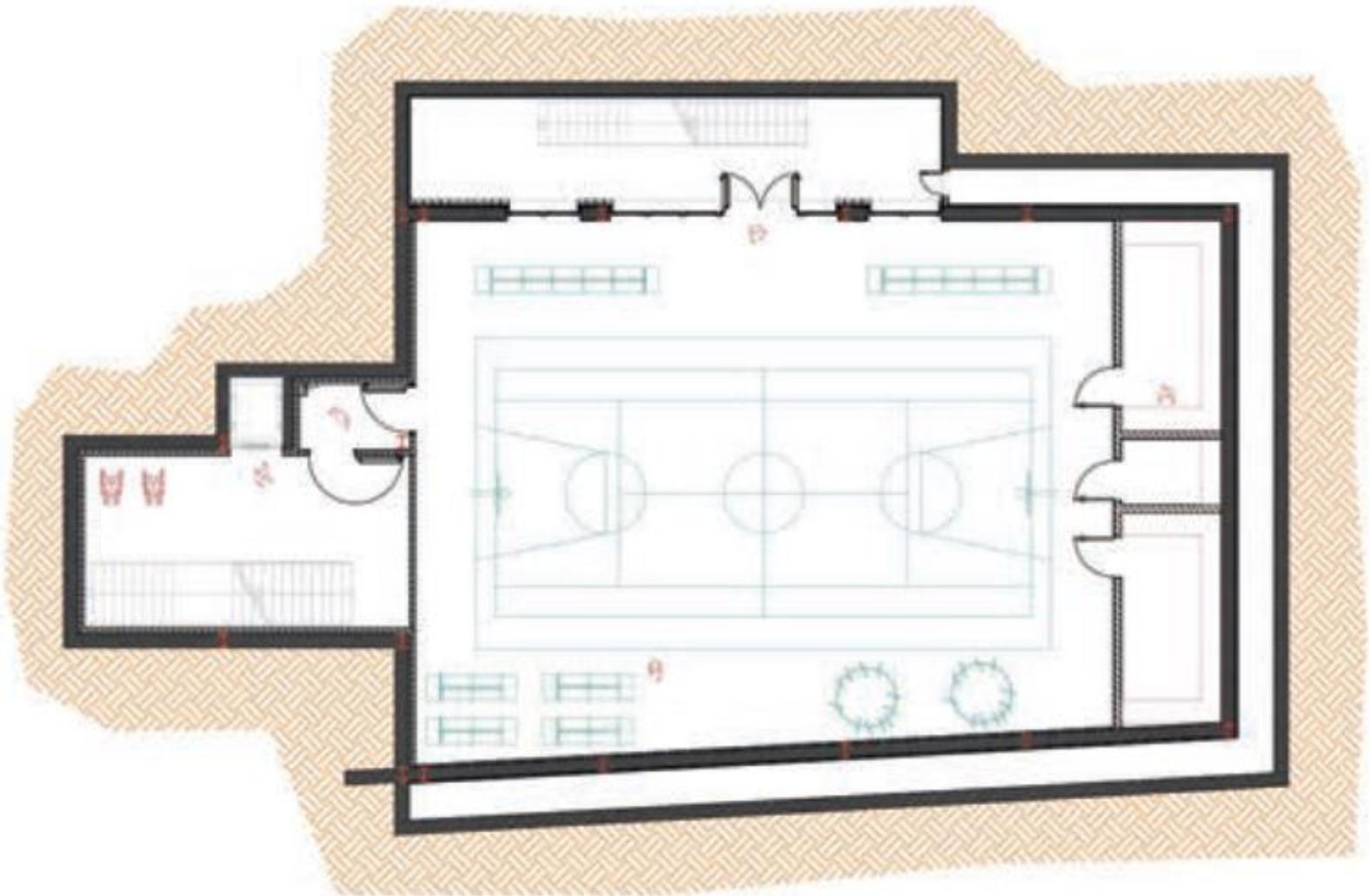
CASO STUDIO

EDIFICIO ADIBITO AD ATTIVITA' SCOLASTICA



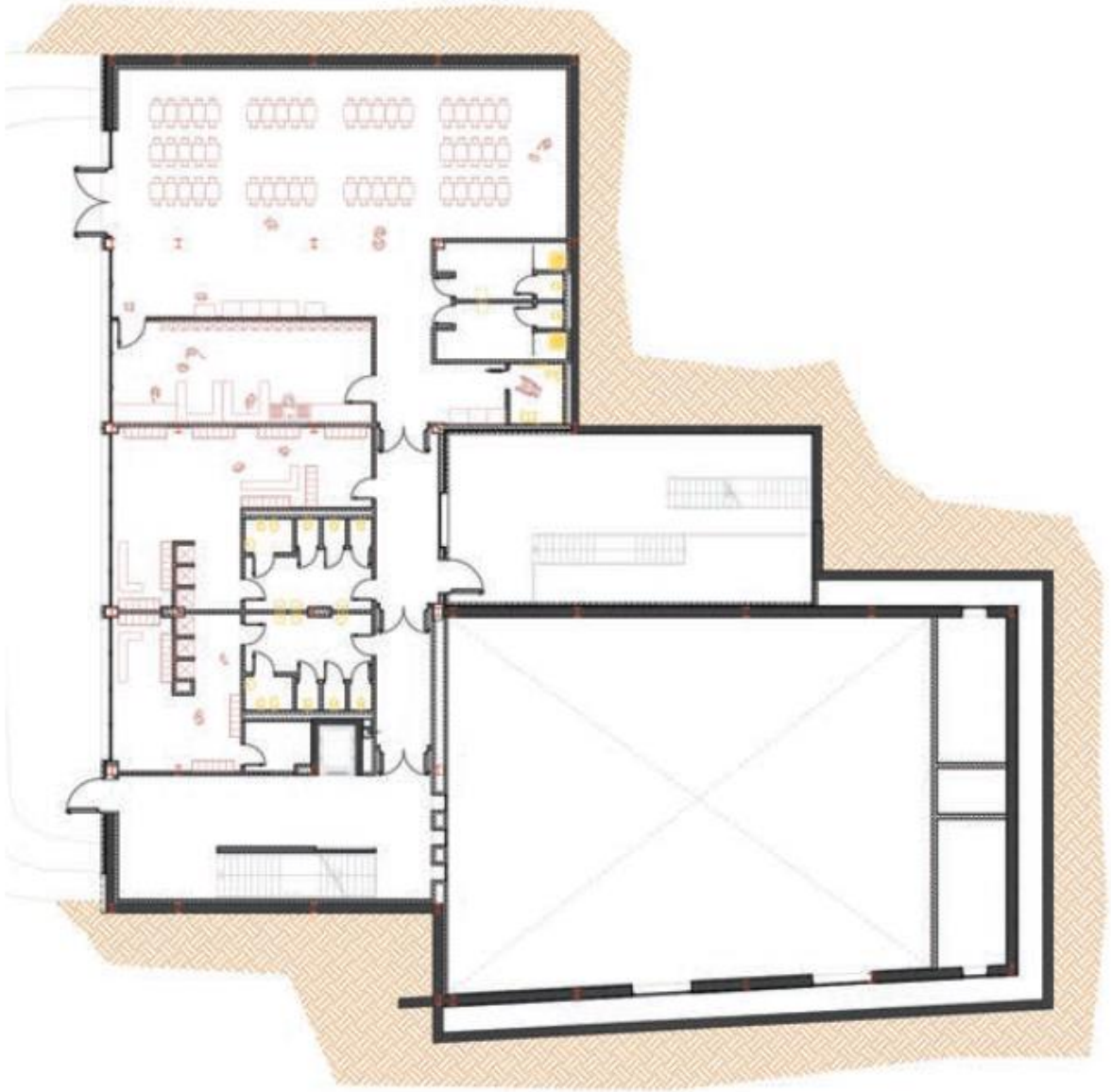
SEZIONE AA

CASO STUDIO



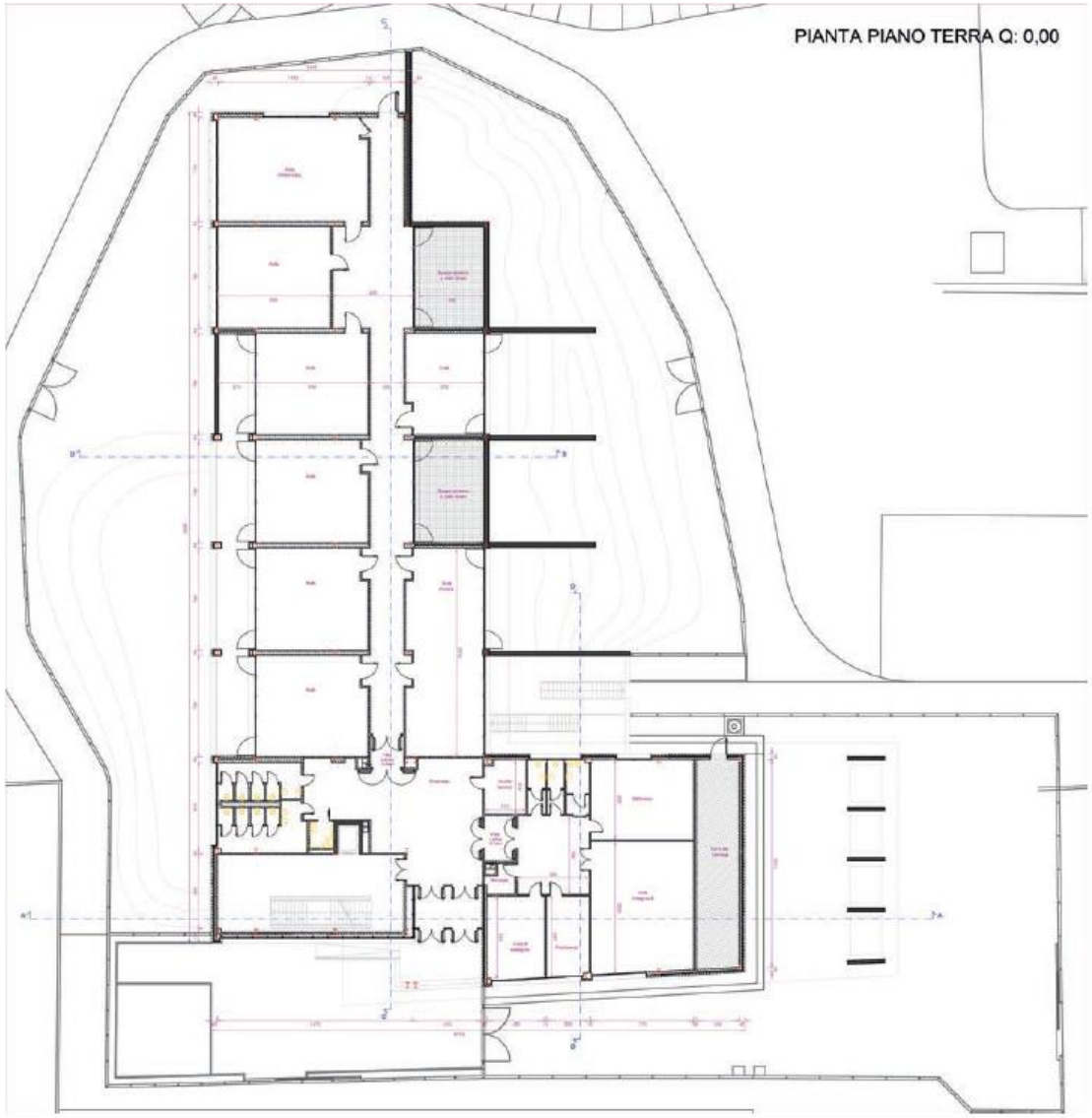
PIANO INTERRATO adibito a palestra

CASO STUDIO

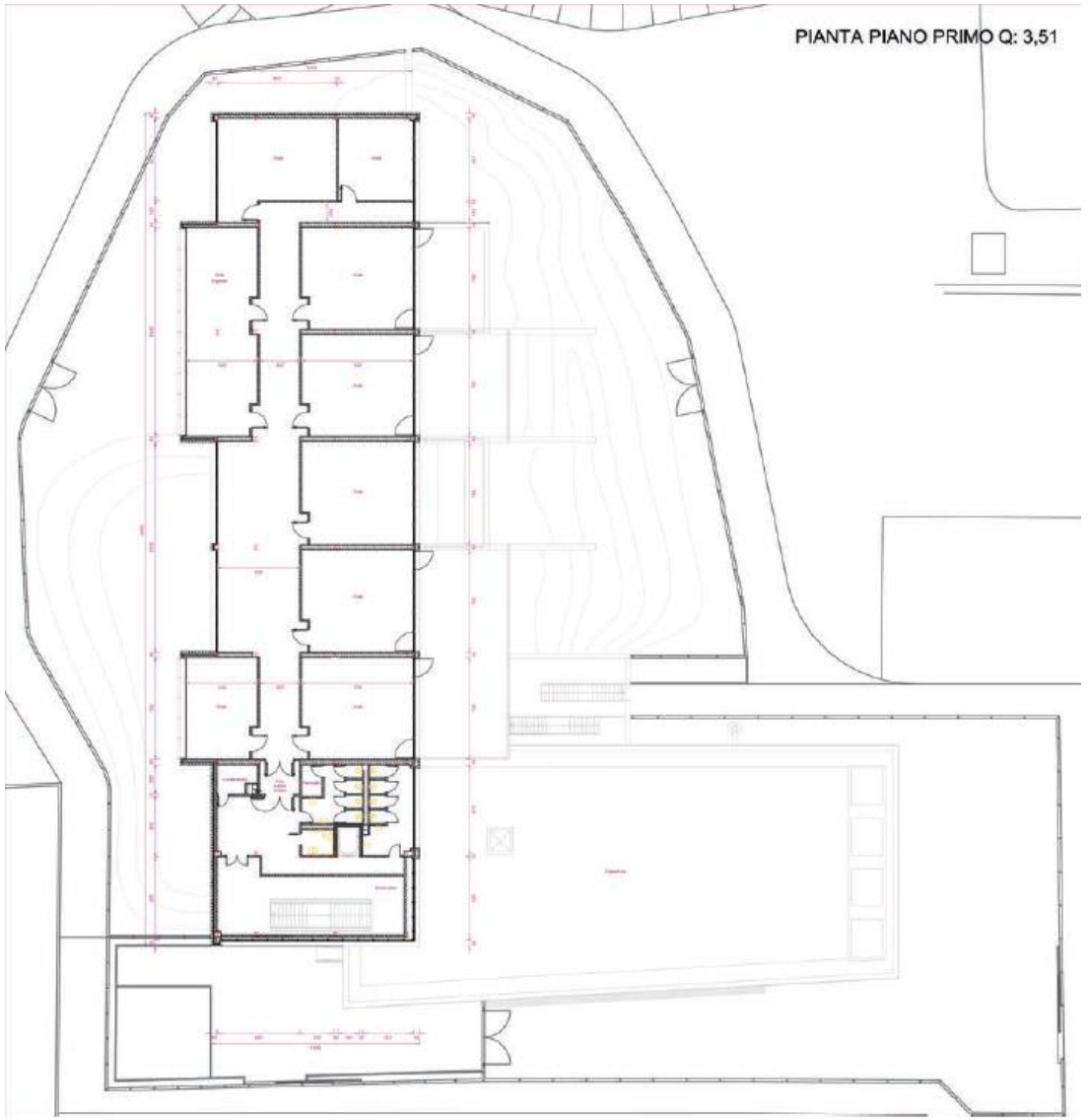


PIANO SEMINTERRATO: palestra, spogliatoi e mensa

CASO STUDIO



PIANO TERRA: aule e spazi corpo docente



PIANO PRIMO: aule e laboratori

EDIFICIO ADIBITO AD ATTIVITA' SCOLASTICA

L'edificio scolastico preesistente, progettato con riferimento al DM 26/08/1992, è stato oggetto di una **ristrutturazione che presentava alcune criticità di sicurezza antincendio di difficile soluzione, anche con il ricorso all'istanza di deroga**:

- **Resistenza al fuoco delle strutture della palestra (R/REI 60)**
- **Impianto di estinzione automatica nella palestra interrata**

Si è pertanto colta l'opportunità di una **rivisitazione progettuale con la RTV del Codice**.

CLASSIFICAZIONI

In relazione al **numero di occupanti**:

OA: 100 < n ≤ 300
OB: 300 < n ≤ 500
OC: 500 < n ≤ 800
OD: 800 < n ≤ 1200
OE: n > 1200

Massimo numero di occupanti: **n = 436** (affollamento massimo dichiarato)

in relazione alla **quota dei piani h:**

HA: h ≤ 12 m
HB: 12 m < h ≤ 24 m
HC: 24 m < h ≤ 32 m
HD: 32 m < h ≤ 54 m
HE: h > 54 m

Dislivello tra il piano di riferimento e la quota del piano dell'attività più alto.
Nel caso in esame **h = 4 m**.

CLASSIFICAZIONI

Le **aree dell'attività** sono classificate come segue:

- **TA**: locali destinati ad attività didattica e spazi comuni;
- **TM**: depositi o archivi di superficie lorda > 25 m^2 e carico di incendio specifico qf > 600 MJ/m^2;
- **TO**: locali con affollamento > 100 persone;
- **TK**: locali con carico di incendio specifico qf > 1200 MJ/m^2;
- **TT**: locali in cui siano presenti quantità significative di apparecchiature elettriche ed elettroniche, locali tecnici rilevanti ai fini della sicurezza antincendio;
- **TZ**: altre aree.

Aule, laboratori, spazi comuni e palestra

non presenti nel caso in esame

Mensa

non presenti nel caso in esame

non presenti nel caso in esame

Centrale termina a gas metano

DETERMINAZIONE DEI PROFILI DI RISCHIO DELL'ATTIVITA'



R vita

Il valore di R_{vita} è determinato, per la destinazione d'uso individuata all'interno dell'attività, come combinazione dei fattori δ_{occ} e δ_{α} :

Caratteristiche prevalenti degli occupanti δ_{occ}		Esempi
A	Gli occupanti sono in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio	Ufficio non aperto al pubblico, scuola, autorimessa privata, attività produttive in genere, depositi, capannoni industriali

R_{vita} A2

δ_{α}	t_{α} [1]	Criteri
2	300 s media	Ambiti di attività ove siano presenti prevalentemente materiali o altri combustibili che contribuiscono in modo moderato all'incendio.



R beni

Profilo di rischio R_{beni} (tab. G.3-5) R_{beni} = 1 (per l'intera attività)

		Attività o ambito vincolato	
		No	Sì
Attività o ambito strategico	No	R_{beni} = 1	R_{beni} = 2
	Sì	R_{beni} = 3	R_{beni} = 4



R ambiente

Profilo di rischio $R_{ambiente}$ (par. G.3.4, punto 3 lett. b) $R_{ambiente}$ = non significativo (per l'intera attività).

STRATEGIA ANTINCENDIO

1. Devono essere **applicate tutte le misure antincendio della regola tecnica orizzontale** attribuendo i livelli di prestazione secondo i criteri in esse definiti, fermo restando quanto indicato al successivo comma 3.

2. Devono essere **applicate le prescrizioni del capitolo V.1 in merito alle aree a rischio specifico** e le prescrizioni delle altre regole tecniche verticali, ove pertinenti.

3. Nei paragrafi che seguono sono **riportate indicazioni complementari o sostitutive delle soluzioni conformi previste dai corrispondenti livelli di prestazione della RTO**.

Reazione al fuoco

Resistenza al fuoco

Compartimentazione

Esodo

Gestione della sicurezza antincendio

Controllo dell'incendio

Rivelazione ed allarme

Controllo dei fumi e del calore

Operatività antincendio

Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio

STRATEGIA ANTINCENDIO – REAZIONE AL FUOCO

R.T.V.



1. Nelle **vie d'esodo verticali**, **percorsi d'esodo** (es. corridoi, atri, sazi calmi, filtri, …) devono essere impiegati **materiali appartenenti almeno al gruppo GM2** di reazione al fuoco (capitolo S.1).

2. Negli ambienti del comma 1 è ammesso l'impiego di materiali appartenenti al gruppo GM3 di reazione al fuoco (capitolo S.1) con l'incremento di un livello di prestazione delle misure richieste per il controllo dell'incendio (capitolo S.6) e per la rivelazione ed allarme (capitolo S.7).

Vie di esodo GM2

Tabella S.1-3: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione ad **altri locali dell'attività**

R.T.O.



Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Locali non ricompresi negli altri criteri di attribuzione.
II	Locali di compartimenti con profilo di rischio R_{vita} in B2, B3, Cii1, Cii2, Cii3, Ciii1, Ciii2, Ciii3, E1, E2, E3.
III	Locali di compartimenti con profilo di rischio R_{vita} in D1, D2.
IV	Su specifica richiesta del committente, previsti da capitolati tecnici di progetto, richiesti dalla autorità competente per costruzioni destinate ad attività di particolare importanza.

Altri locali GM4

STRATEGIA ANTINCENDIO – RESISTENZA AL FUOCO

R.T.V.

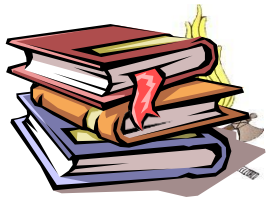


1. La classe di resistenza al fuoco (capitolo S.2) non può essere inferiore a quanto previsto in tabella V.7-1.

Compartimenti	Attività				
	HA	HB	HC	HD	HE
Fuori terra	30	60			90
Interrati	60				90

← ***Classi R/REI 30 e 60***

R.T.O.



Livelli di prestazione III (tab. S.2-1) : *Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la durata dell'incendio*.

→ Necessario, in ogni caso, calcolare il $q_{f,d}$ per un confronto con la classe minima richiesta dalla R.T.V. !!

STRATEGIA ANTINCENDIO – RESISTENZA AL FUOCO

Compartimenti	Attività				
	HA	HB	HC	HD	HE
Fuori terra	30	60			90
Interrati	60				90

Tutte le strutture portanti e separanti dell'edificio sono in possesso di classe di resistenza al fuoco non inferiore a:

- **30 minuti per i locali fuori terra**
- **60 minuti per le strutture seminterrate ed interrate**

Livello III in soluzione conforme

Con eccezione per la palestra interrata (a quota – 7,40 m) costruita con strutture in acciaio: analisi strutturale a caldo con curve naturali.

Livello III in soluzione alternativa

STRATEGIA ANTINCENDIO – COMPARTIMENTAZIONE

R.T.O.



Livello di prestazione II (tab. S.3-1)

Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	È contrastata per un periodo congruo con la durata dell'incendio: • la propagazione dell'incendio verso altre attività; • la propagazione dell'incendio all'interno della stessa attività.
III	È contrastata per un periodo congruo con la durata dell'incendio: • la propagazione dell'incendio verso altre attività; • la propagazione dell'incendio e dei fumi *freddi* all'interno della

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Non ammesso nelle attività soggette
II	Attività non ricomprese negli altri criteri di attribuzione
III	In relazione alle risultanze della valutazione del rischio nell'ambito e in ambiti limitrofi della stessa attività (es. attività con elevato affollamento, attività con geometria complessa o piani interrati, elevato carico di incendio specifico q_f, presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, presenza di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio, ...). Si può applicare in particolare ove sono presenti compartimenti con profilo di rischio R_{vita} compreso in D1, D2, Cii2, Cii3, Ciii2, Ciii3, per proteggere gli occupanti che dormono o che ricevono cure mediche.

STRATEGIA ANTINCENDIO – COMPARTIMENTAZIONE

R.T.V.



1. Le aree di tipo TA, TO devono essere ubicate a quota di piano ≥ -5 m.
2. Le aree dell'attività devono avere le caratteristiche di compartimentazione (capitolo S.3) previste in tabella V.7-2.

Palestra a quota -7,40 m !!

Area	Attività				
	HA	HB	HC	HD	HE
TA	Nessun requisito aggiuntivo				
TM, TO, TT	Di tipo protetto				
TK	Di tipo protetto [1]		Il resto dell'attività deve essere a prova di fumo proveniente dall'area TK		
TZ	Secondo risultanze della valutazione del rischio				
[1] Di tipo protetto se ubicate a quota ≥ -5 m; in caso l'area TK sia ubicata a quota < -5 m, il resto dell'attività deve essere a prova di fumo proveniente dall'area TK.					

Aule e palestra

TO: mensa compartimentata

TABELLA V.7-2: COMPARTIMENTAZIONE

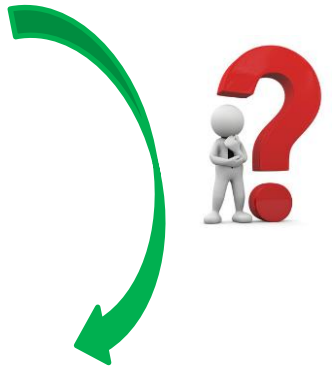
SOLUZIONE ALTERNATIVA

STRATEGIA ANTINCENDIO – COMPARTIMENTAZIONE

La RTV prescrive che le aree di tipo TA siano ubicate alla quota di piano ≥ -5 m.

Nel nostro caso, la palestra presenta una quota di imposta di – 7,40 m.

Tale condizione implica il ricorso ad una soluzione alternativa che assicuri comunque la salvaguardia degli occupanti.



Verificando il mantenimento delle condizioni di tenibilità per l'esodo degli occupanti della palestra, si dimostra che la penalizzazione derivante dalla quota di piano critica non compromette l'incolumità degli occupanti in fase di esodo.

SOLUZIONE ALTERNATIVA

STRATEGIA ANTINCENDIO – COMPARTIMENTAZIONE

Allo scopo si adotta una soluzione alternativa con FSE per verificare che, in tutti gli scenari critici ipotizzati, il tempo disponibile per l'esodo degli occupanti sia superiore al tempo richiesto agli occupanti stessi per uscire dal compartimento.



$t_{det} + t_a$	t_{pre}	t_{tra}	RSET	t_{marg}	RSET + t_{marg}
90 s	180 s	42,1 s	312,1 s	31,2 s	≃ 344 s

SOLUZIONE ALTERNATIVA

Con l'ausilio di una modellazione fluidodinamica (FDS del NIST), si verifica che per ciascun parametro di tenibilità (visibilità, temperatura, irraggiamento e specie tossiche) si rispettano le soglie della Tabella M.3-2 per tutto il tempo di esodo.

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100 m^2: 5 m	ISO 13571-2012
		Soccorritori: 5 m Soccorritori in locali di superficie lorda < 100 m^2: 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, *fractional effective dose* e FEC, *fractional effective concentration* per esposizione a gas tossici e gas Irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571-2012, limitando a 1,1% la porzione di occupanti incapacitati al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	--
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571-2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'Incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m^2	ISO 13571-2012, per esposizioni inferiori a 30 min
		Soccorritori: 3 kW/m^2	[1]

[1] Ai fini di questa tabella, per soccorritori si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori Indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per hazardous conditions.

TAB. M.3-2: ESEMPIO DI SOGLIE DI PRESTAZIONE IMPIEGABILI CON IL METODO DI CALCOLO AVANZATO

SOLUZIONE ALTERNATIVA

PARAMETRI DI MODELLAZIONE DI FDS

- **Mesh**: a celle cubiche da 20 cm
- **Aperture di smaltimento di tipo SEb** con sistema automatico di apertura asservita all'IRAI (apertura dopo 90 secondi).
- Generazione dei prodotti della combustione: si fa riferimento ai focolari predefiniti di cui alla Tabella M.2-2 del D.M. 03/08/2015 e s.m.i. adottando i seguenti parametri (per attività civile):
  - **resa in particolato** Y_{soot}: 0,07 kg/kg (*)
  - resa in monossido di carbonio Y_{co}: 0,10 kg/kg
  - modello di combustione del software FDS del NIST; mantenendo tutti i parametri di calcolo di FDS nella condizione di default, come impostato nella versione 6.7.

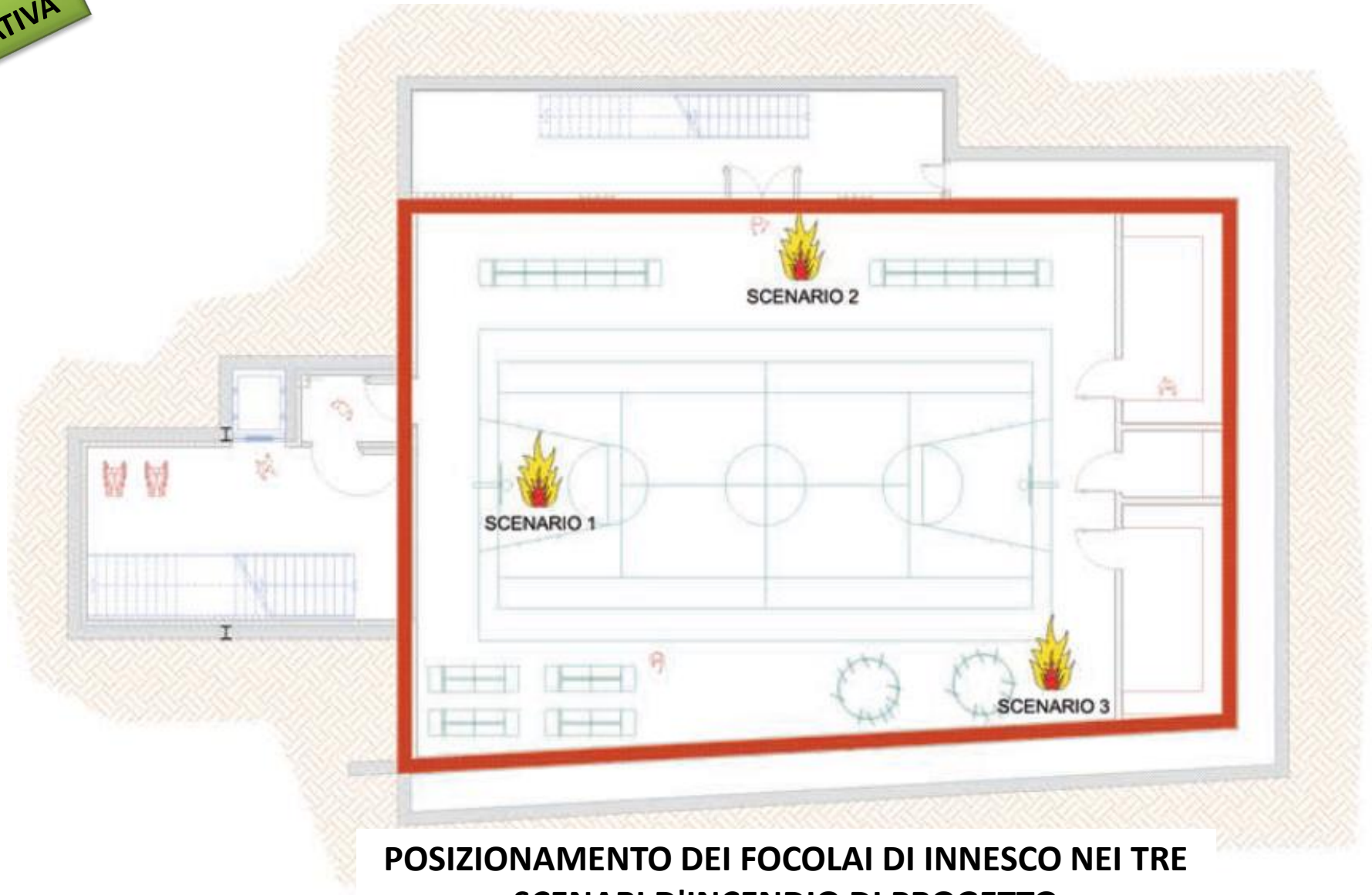
Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio t_α	150 s (*fast*)	75 s (*ultra-fast*)
RHR_{max} totale RHR_{max} per m^2 di superficie del focolare	5 MW 250-500 kW/m^2 [1]	50 MW 500 -1000 kW/m^2 [1]
Resa in particolato Y_{soot} (*)	Pre flashover: 0,07 kg/kg [2,3] Post flashover: 0,14 kg/kg [2,3]	Pre flashover: 0,18 kg/kg [4] Post flashover: 0,36 kg/kg [4]
Resa in monossido di carbonio Y_{CO}	Pre flashover: 0,10 kg/kg [5] Post flashover: 0,40 kg/kg [5]	
Calore di combustione effettivo ΔH_C	20 MJ/kg [3]	
Resa in biossido di carbonio Y_{CO2}	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua Y_{H2O}	0,82 kg/kg [3,6]	
Frazione di RHR in irraggiamento (*Radiative fraction*)	35% [3]	

[1] Da impiegare in alternativa all'RHR_{max} totale, considerando la massima superficie del focolare, pari al compartimento antincendio nel caso di carico di incendio uniformemente distribuito, ma che può essere un valore inferiore nel caso d'incendio localizzato.
[2] Robbins A P, Wade C A, Study Report no 185 *"Soot Yield Values for Modelling Purposes - Residential Occupancies"*, BRANZ, 2008
[3] *"C/VM2 Verification method: Framework for fire safety design"*, New Zealand Building Code
[4] *"SFPE handbook of fire protection engineering"*, NFPA, 4th ed., 2008. Tabella 3-4.16, pag. 3-142, da *polyurethane flexible foams*.
[5] Stec A A, Hull T R, *"Fire Toxicity"*, Woodhead Pub., 2010. § 2.4 con $\Phi = 1,25$ (*underventilated fire*)
[6] In alternativa alle rese Y_{CO2} e Y_{H2O}, si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico $CH_2O_{0,5}$.

Tabella M.2-2: Focolari predefiniti

(*) – A vantaggio di sicurezza è stato comunque adottato Y_{soot}: 0,18 kg/kg, che approssima meglio il valore dell'opacità dei fumi prodotti dalla combustione del poliuretano.

SOLUZIONE ALTERNATIVA



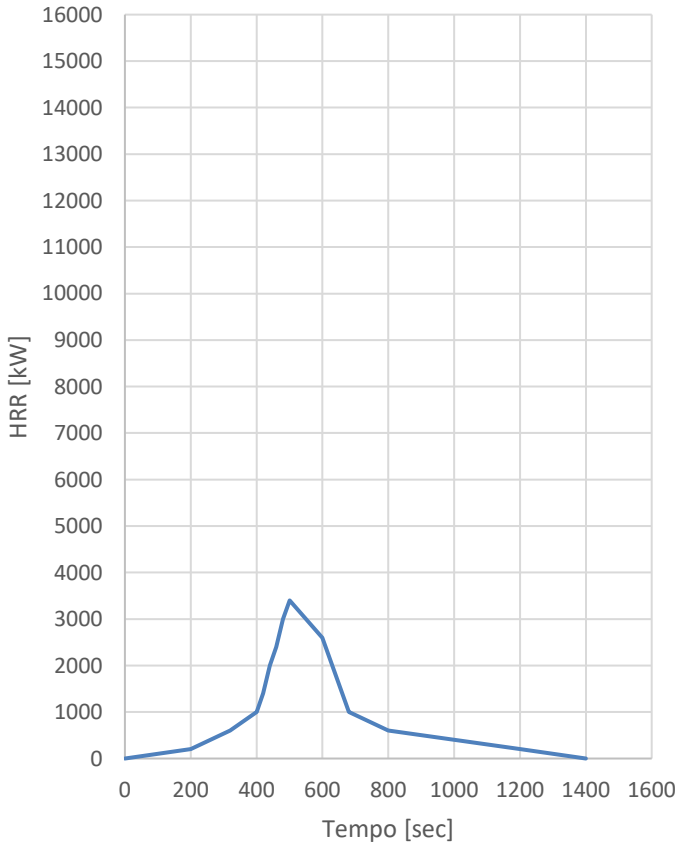
POSIZIONAMENTO DEI FOCOLAI DI INNESCO NEI TRE SCENARI D'INCENDIO DI PROGETTO

SOLUZIONE ALTERNATIVA

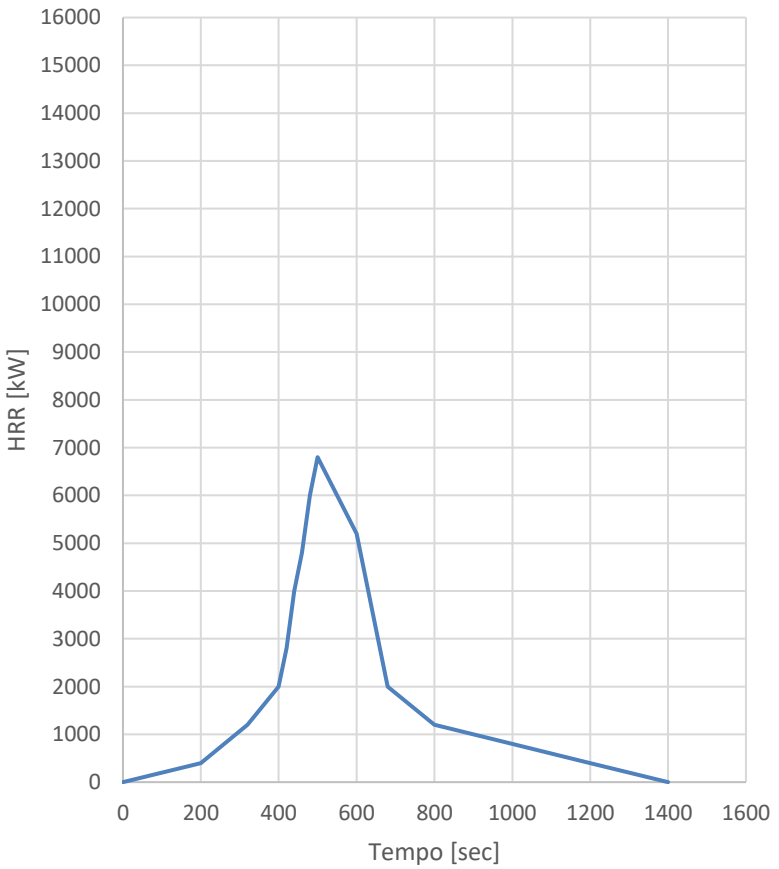
Si adottano focolai costituiti da n. 3 materassoni in poliuretano che si innescano in sequenza

(fonte: *SFPE Handbook of fire protection Engineering, 5°edition – fig. 26.64*)

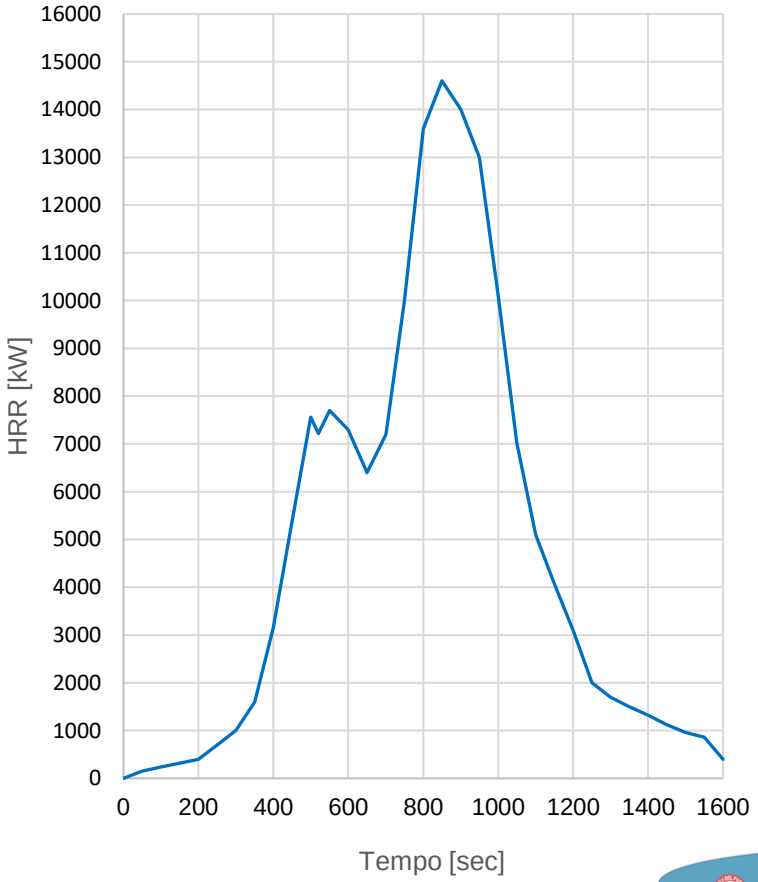
Curva HRR materasso king-size



Curva HRR materassone - equivalente a un doppio materasso king-size



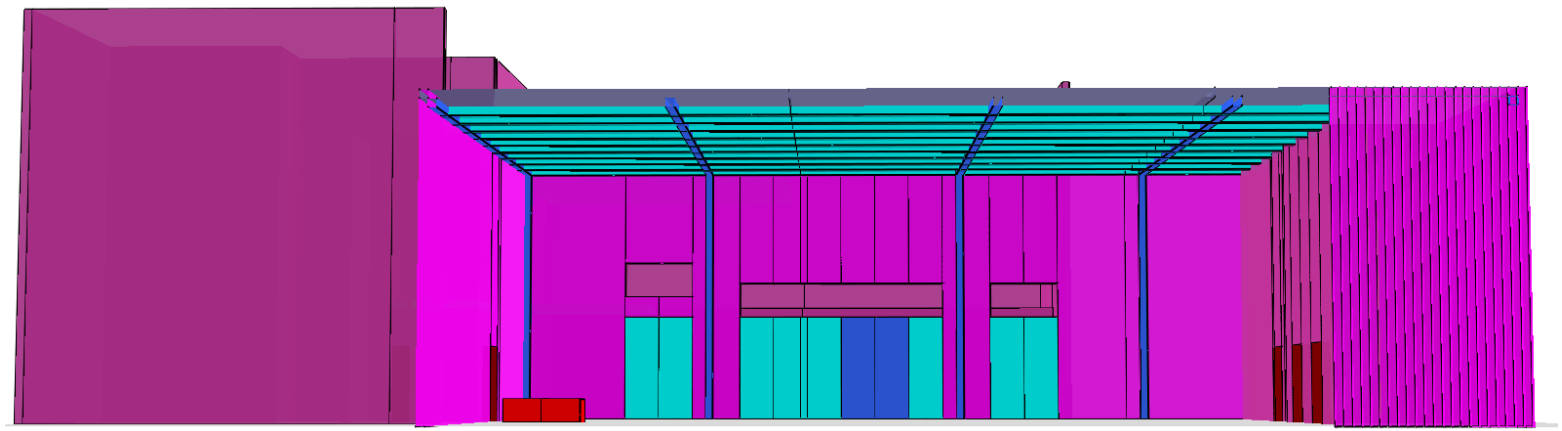
Curva HRR - inviluppo dei contributi dei tre materassoni

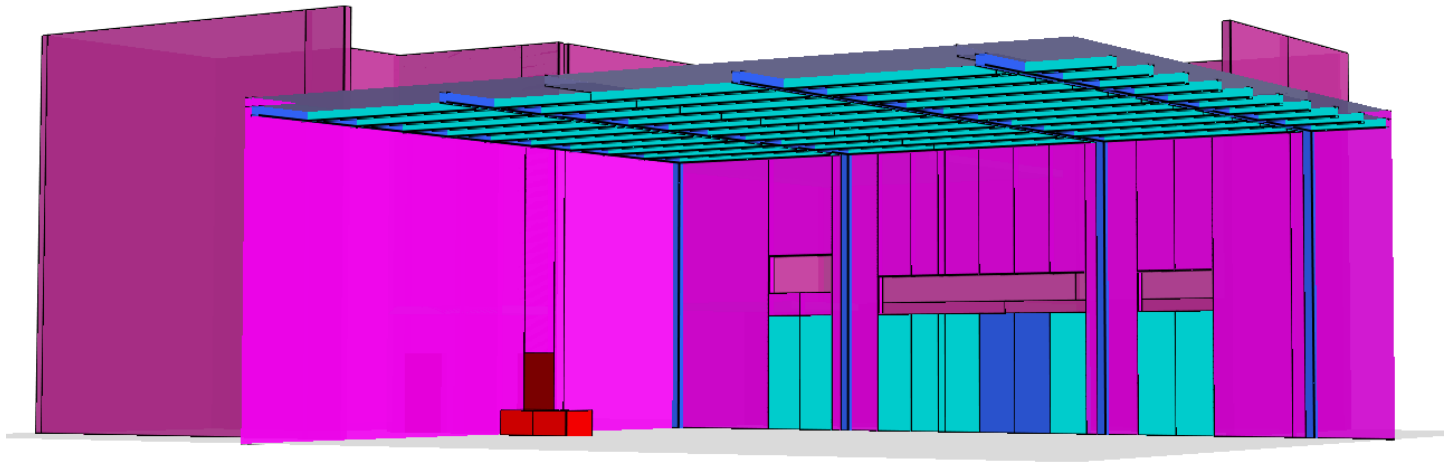


Curve di input

SOLUZIONE ALTERNATIVA

Scenario 1 – Propagazione fumi a 0 secondi

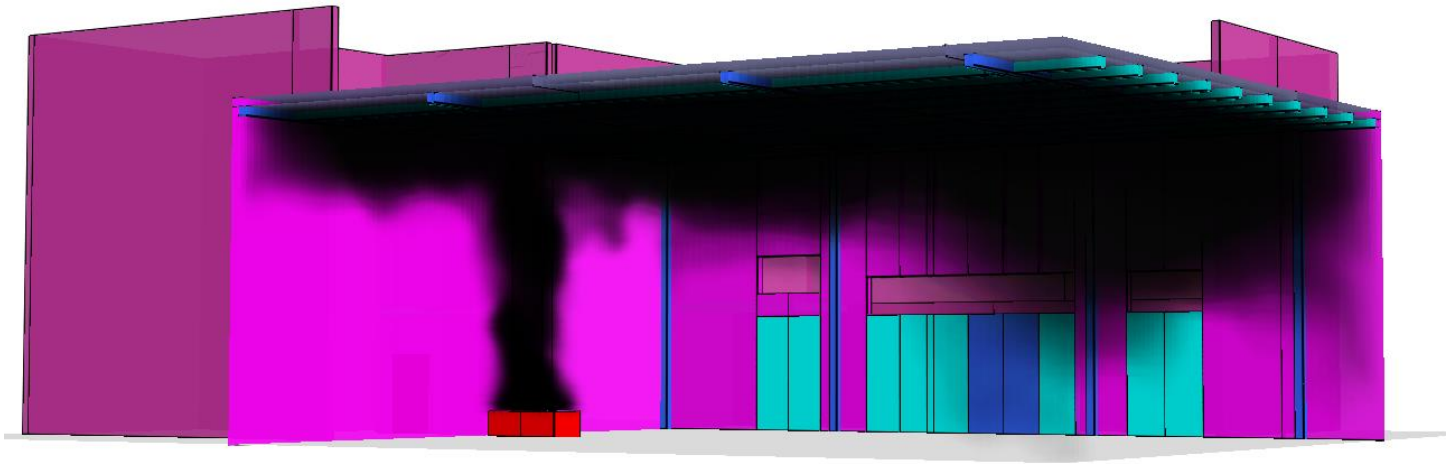


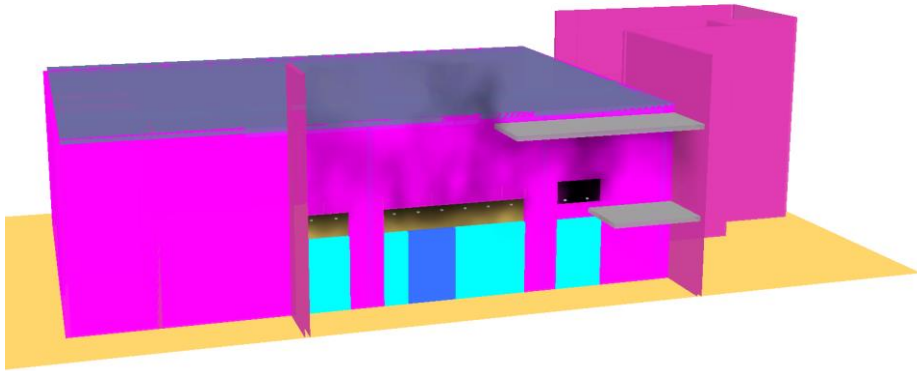


SOLUZIONE ALTERNATIVA

Scenario 1 – Propagazione fumi a 240 secondi



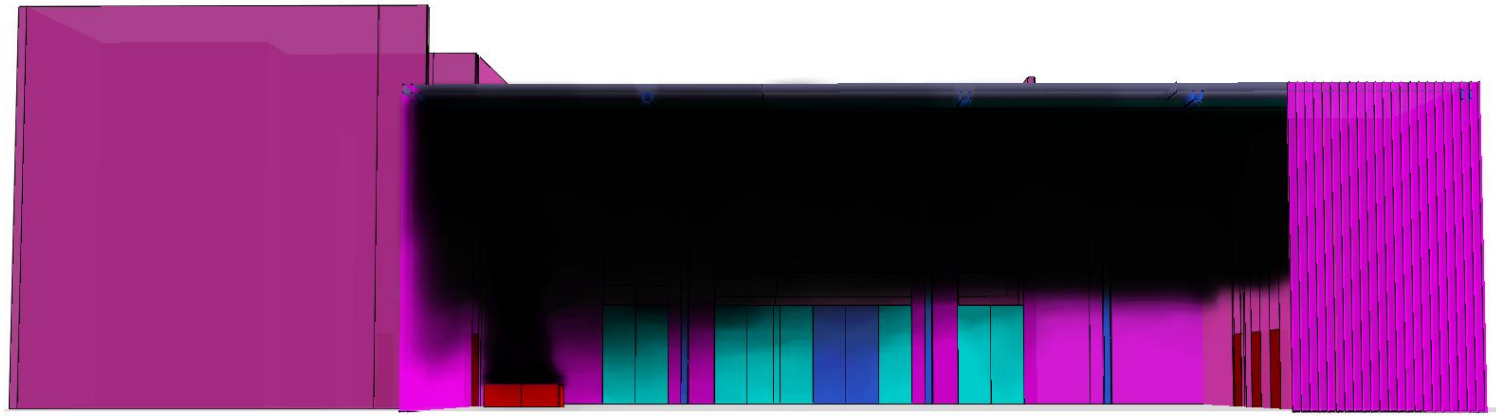


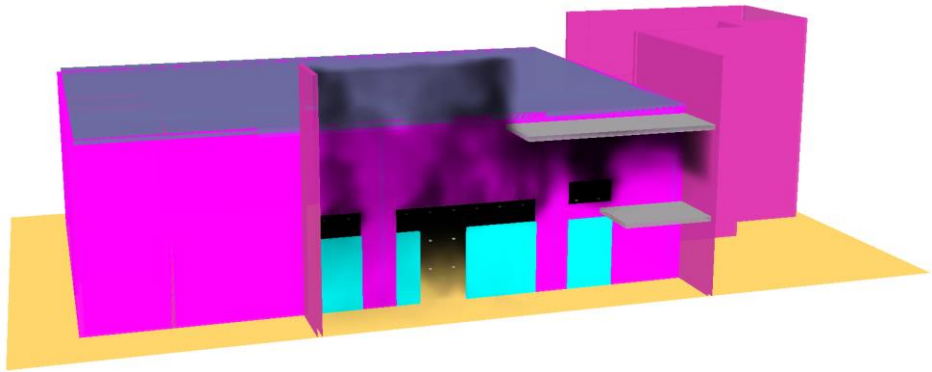


Vista dall'esterno

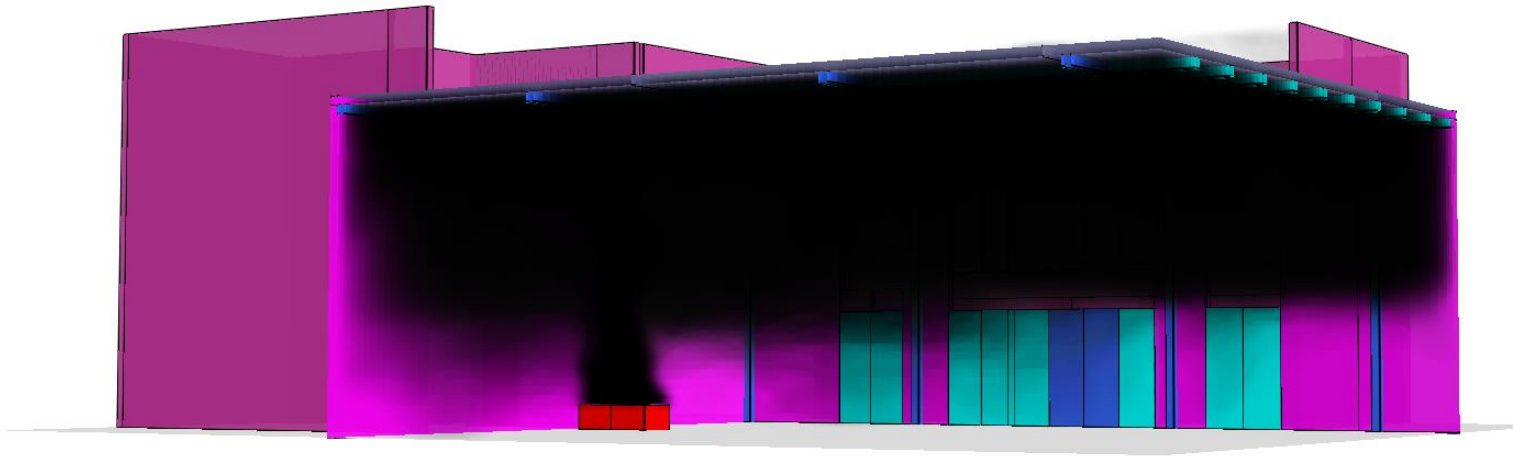
SOLUZIONE ALTERNATIVA

Scenario 1 – Propagazione fumi a 360 secondi



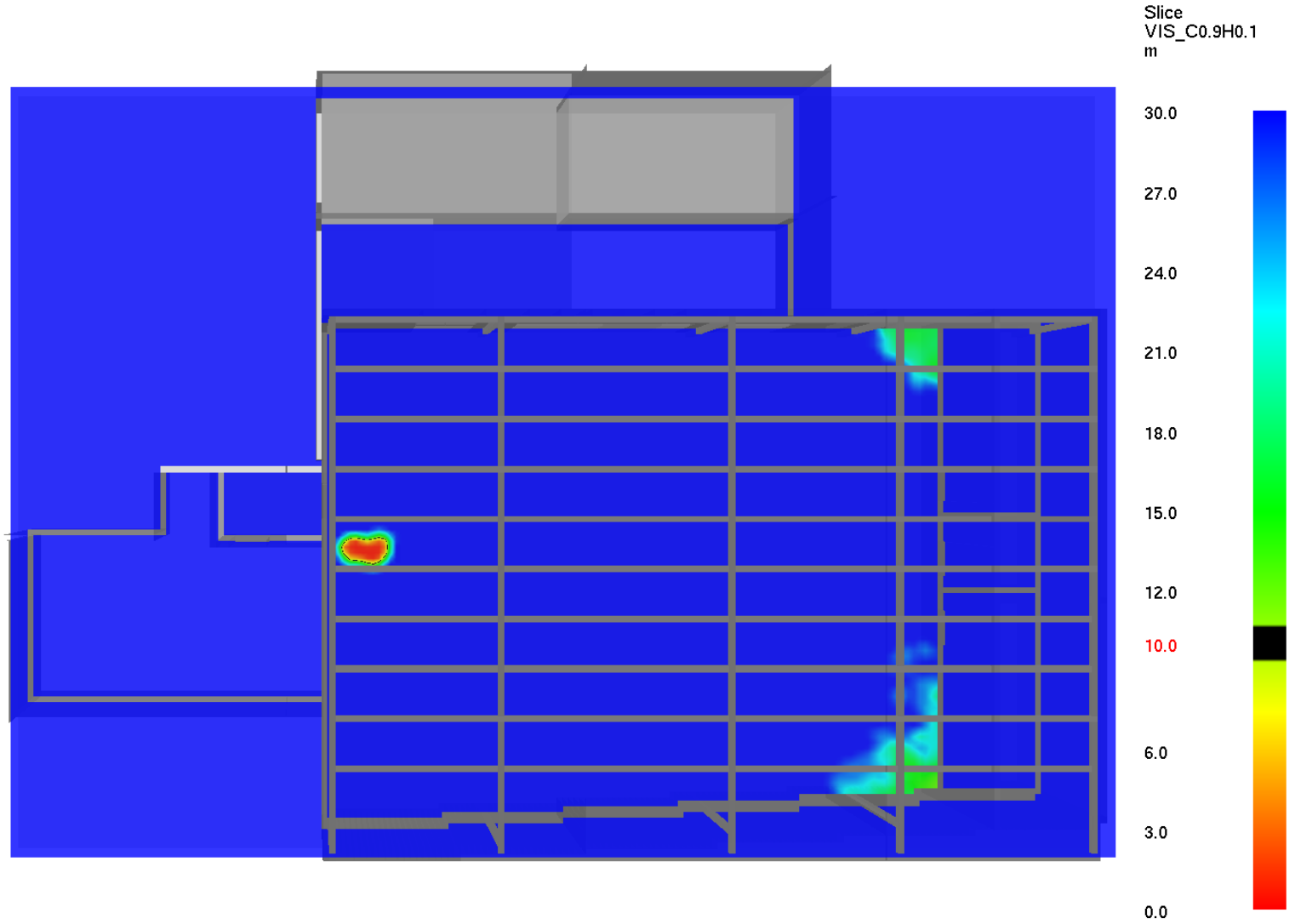


Vista dall'esterno



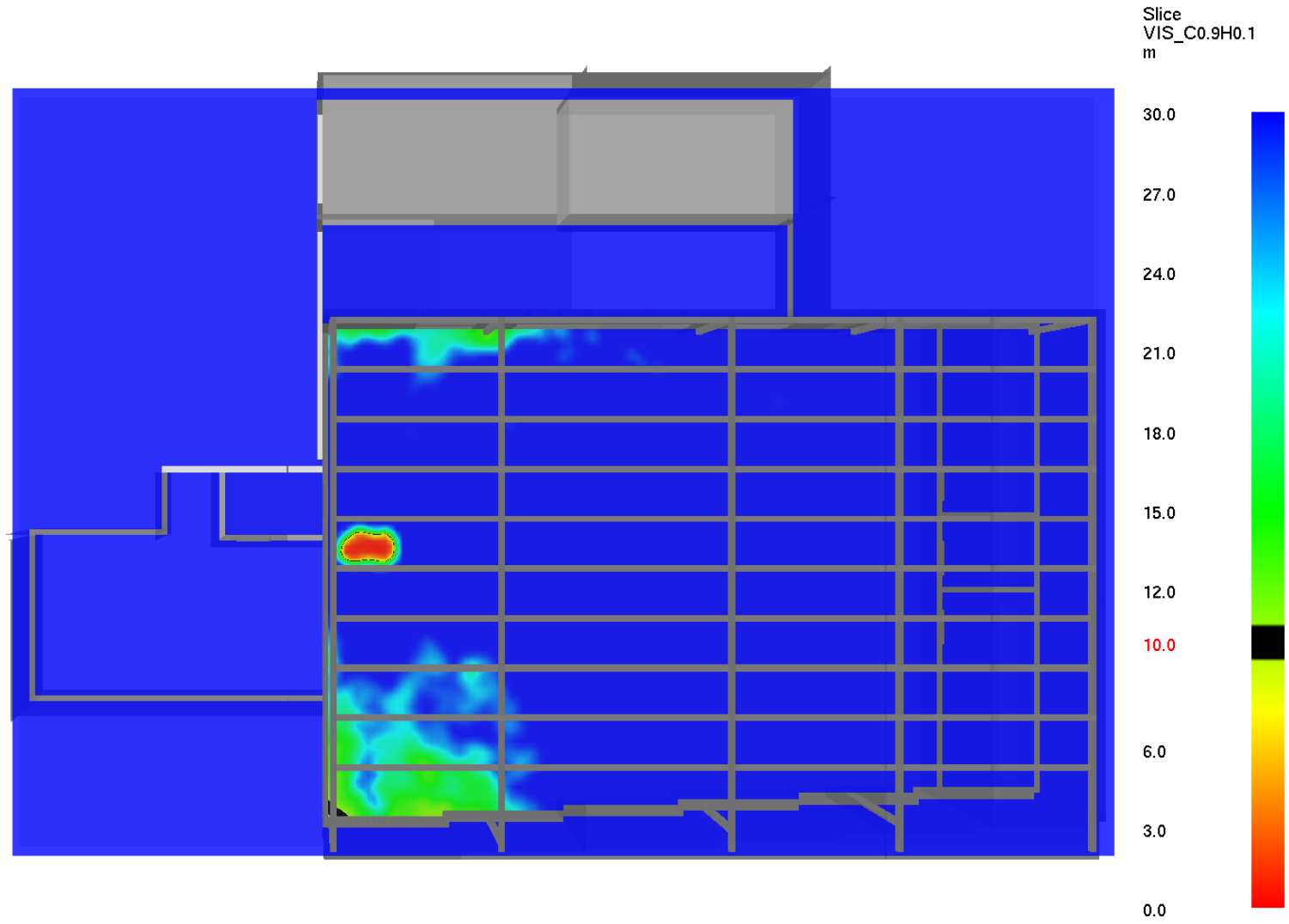
SOLUZIONE ALTERNATIVA

Scenario 1 – Visibilità a 240 secondi di simulazione



SOLUZIONE ALTERNATIVA

Scenario 1 – Visibilità a 360 secondi di simulazione



SOLUZIONE ALTERNATIVA

STRATEGIA ANTINCENDIO – COMPARTIMENTAZIONE

CONCLUSIONE DELLA SOLUZIONE ALTERNATIVA PER LA COMPARTIMENTAZIONE

Le analisi FSE sull'esodo hanno consentito di verificare che, per un tempo superiore a RSET+10%, tutti i parametri di tenibilità restano al di sotto dei valori limite, per tutti gli scenari d'incendio di progetto.

La scelta degli scenari e delle curve di potenza termica determinano un limite di validità del modello: l'ambiente non potrà essere utilizzato con destinazioni diverse dalla palestra.

La modellazione corretta e consapevole, unita alla gestione conforme alla destinazione prevista, sono la garanzia del mantenimento della sicurezza antincendio per la palestra.

STRATEGIA ANTINCENDIO – ESODO

R.T.V.



RTV V.7 non fornisce alcuna ulteriore specifica prescrizione.

R.T.O.



Livelli di prestazione e relativi criteri di attribuzione attribuibili agli *ambiti* dell'attività

(tab. S.4-1) = livello I

Livello di prestazione	Descrizione
I	Gli occupanti raggiungono un *luogo sicuro* prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti negli ambiti dell'attività attraversati durante l'esodo.
II	Gli occupanti sono protetti dagli effetti dell'incendio nel luogo in cui si trovano.

Livello di prestazione I (vedi tab. S.4-2):

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Tutte le attività
II	Ambiti per i quali non sia possibile assicurare il livello di prestazione I (es. a causa di dimensione, ubicazione, abilita degli occupanti, tipologia dell'attività, caratteristiche geometriche particolari, vincoli architettonici, ⋯)

STRATEGIA ANTINCENDIO – ESODO

R.T.O.



S.4.8.2 - Corridoi ciechi

2.b per limitare la probabilità che gli occupanti siano bloccati dall'incendio, la lunghezza del corridoio cieco non deve superare i valori massimi Lcc della ***tabella S.4-18****.*

R_{vita}	Max affollamento	Max lunghezza L_{cc}	R_{vita}	Max affollamento	Max lunghezza L_{cc}
A1		≤ 45 m	B1, E1	≤ 50 occupanti	≤ 25 m
A2	≤ 100 occupanti	≤ 30 m	B2, E2		≤ 20 m
A3		≤ 15 m	B3, E3		≤ 15 m
A4	≤ 50 occupanti	≤ 10 m	Cii1, Ciii1		≤ 20 m
D1		≤ 20 m	Cii2, Ciii2		≤ 15 m
D2		≤ 15 m	Cii3, Ciii3		≤ 10 m

I valori delle massime lunghezze di corridoio cieco di riferimento L_{cc} possono essere incrementati in relazione a requisiti antincendio aggiuntivi, secondo la metodologia del paragrafo S.4.10.

Lunghezza massima:
Corridoio cieco
Lunghezza esodo
In funzione del R_{vita}

Gli unici corridoi ciechi si riscontrano all'interno delle aule, delle stanze dei docenti (fino all'uscita dei corridoi) e degli spazi di pertinenza degli spogliatoi e della palestra, presentando comunque dimensioni congruenti con la tab. S.4-18

S.4.8.3 -Lunghezze d'esodo

1. Al fine di limitare il tempo necessario agli occupanti per abbandonare il compartimento di primo innesco dell'incendio, almeno una delle lunghezze d'esodo determinate da qualsiasi punto dell'attività non deve superare i valori massimi L_{es} della tabella S.4-25 in funzione del profilo di rischio R_{vita} di riferimento, come mostrato nella tabella ***S.4-26****.*

R_{vita}	Max lunghezza L_{es}
A1	≤ 70 m
A2	≤ 60 m
A3	≤ 45 m
A4	≤ 30 m
D1	≤ 30 m
D2	≤ 20 m

R_{vita}	Max lunghezza L_{es}
B1, E1	≤ 60 m
B2, E2	≤ 50 m
B3, E3	≤ 40 m
Cii1, Ciii1	≤ 40 m
Cii2, Ciii2	≤ 30 m
Cii3, Ciii3	≤ 20 m

STRATEGIA ANTINCENDIO – ESODO

R.T.O.



Numero minimo di uscite indipendenti

Al fine di limitare la probabilità che si sviluppi sovraffollamento localizzato alle uscite, da ciascun locale dell'attività deve essere previsto almeno il numero di uscite indipendenti previsto nella seguente tab. S.4-15 in funzione del profilo di rischio Rvita di riferimento e dell'affollamento dell'ambito servito.

R_{vita}	Affollamento dell'ambito servito	Numero minimo uscite indipendenti
Qualsiasi	> 500 occupanti	3
B1 [1], B2 [1], B3 [1]	> 200 occupanti	
Altri casi		**2**
Se ammesso corridoio cieco secondo le prescrizioni del paragrafo S.4.8.2.		1
[1] Ambiti con densità d'affollamento > 0,4 p/m^2		

n. 2 uscite indipendenti

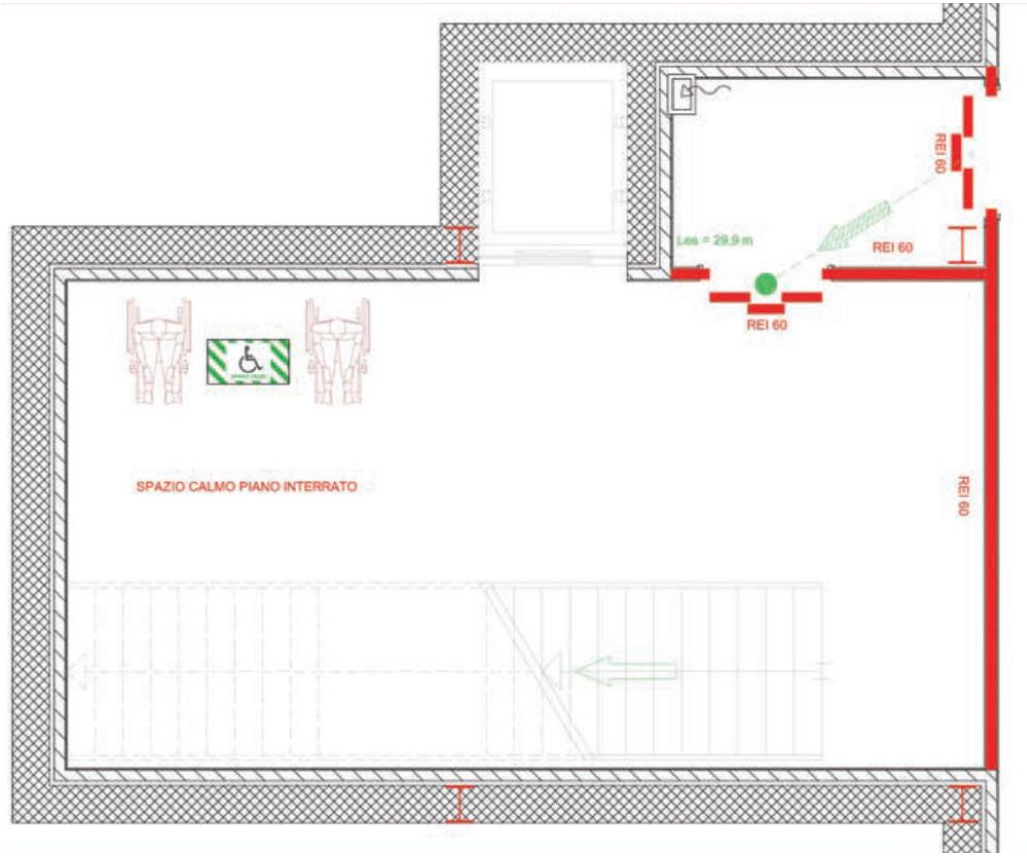
R.T.O.



STRATEGIA ANTINCENDIO – ESODO

Risultano altresì ottemperate tutte le seguenti verifiche:

- Lunghezze massime d'esodo (< 60 m) – **SOLUZIONE CONFORME**
- Lunghezze massime corridoi ciechi – **SOLUZIONE CONFORME**
- Verifica di ridondanza delle vie d'esodo – **SOLUZIONE CONFORME**
- Capacità di deflusso in funzione degli affollamenti massimi di ciascun locale (larghezze minime) – **SOLUZIONE CONFORME**
- Inclusione: realizzazione spazi calmi (scala interna protetta) – **SOLUZIONE CONFORME**



SPAZI CALMI

STRATEGIA ANTINCENDIO – GSA

R.T.V.



1. **Nelle aree TA e TO deve essere affissa segnaletica indicante il massimo affollamento consentito (Cap. S.4).**
2. Nella attività in cui è richiesto il livello di prestazione I di rivelazione ed allarme (Cap. S.7), deve essere prevista una procedura gestionale di sorveglianza periodica, durante l'orario di svolgimento dell'attività, delle aree TM e TK, se presenti.

R.T.O.



Livelli di prestazione III (tab. S.5-1)

Livello di prestazione	Descrizione
I	Gestione della sicurezza antincendio per il mantenimento delle condizioni di esercizio e di risposta all'emergenza.
II	Gestione della sicurezza antincendio per il mantenimento delle condizioni di esercizio e di risposta all'emergenza con struttura di supporto.
III	Gestione della sicurezza antincendio per il mantenimento delle condizioni di esercizio e di risposta all'emergenza con struttura di supporto dedicata.

La GSA dovrà implementare quanto previsto in M.1.8 per il mantenimento degli scenari di progetto durante tutto l'esercizio dell'attività (SGSA)

STRATEGIA ANTINCENDIO – CONTROLLO DELL'INCENDIO

R.T.V.



1. Le aree dell'attività devono essere dotate di misure di controllo dell'incendio (capitolo S.6) secondo i livelli di prestazione previsti in tabella V.7-3.
2. Ai fini della eventuale applicazione della norma UNI 10779, devono essere adottati i parametri riportati in tabella V.7-4.
3. Per la progettazione dell'eventuale impianto automatico di controllo o estinzione dell'incendio di tipo sprinkler secondo norma UNI EN 12845 devono essere adottati i parametri riportati in tabella V.7-5.

Area	Attività				
	HA	HB	HC	HD	HE
TA, TM, TO, TT	II	III			
TK	III [1]		IV		
TZ	Secondo le risultanze della valutazione del rischio				
[1] Livello di prestazione IV, qualora ubicati a quota < -5 m					

TABELLA V.7-3: LIVELLI DI PRESTAZIONE PER IL CONTROLLO DELL'INCENDIO

Attività	Livello di pericolosità	Protezione esterna	Alimentazione idrica [1]
OA, OB, OC	1	Non richiesta	Singola [3]
OD, OE	2 [2]	Si [1]	Singola superiore
[1] Non richiesta per HA. [2] Per le eventuali aree TK presenti nella attività classificate HA, è richiesto almeno il livello di pericolosità 1. [3] È ammessa alimentazione idrica di tipo promiscuo.			

TABELLA V.7-4: PARAMETRI PROGETTUALI PER LA RETE IDRANTI SECONDO UNI 10779 E CARATTERISTICHE MINIME ALIMENTAZIONE IDRICA UNI EN 12845

STRATEGIA ANTINCENDIO – CONTROLLO DELL'INCENDIO

R.T.O.



Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	Estinzione di un principio di incendio
III	Controllo o estinzione manuale dell'incendio
IV	Inibizione, controllo o estinzione dell'incendio con sistemi automatici estesi a porzioni di attività
V	Inibizione, controllo o estinzione dell'incendio con sistemi automatici estesi a tutta l'attività

Quota palestra < -5 m



SOLUZIONE CONFORME

- devono essere installati estintori d'incendio a protezione dell'intera attività, secondo le indicazioni del par. S.6.6 e, eventualmente, S.6.7;
- deve essere installata una rete idranti a protezione dell'intera attività o di singoli compartimenti in relazione alle risultanze della valutazione del rischio, secondo le indicazioni del par. S.6.8 e della tab. V.7-4.



STRATEGIA ANTINCENDIO – RIVELAZIONE ED ALLARME

R.T.V.









1. L'attività deve essere dotata di misure di rivelazione ed allarme (capitolo S.7) secondo i livelli di prestazione di cui alla tabella V.7-6.

Attività	Attività				
	HA	HB	HC	HD	HE
OA	I [2]	II [1]	III		IV
OB	II [1]		III	IV	
OC	III		IV		
OD	III		IV		
OE	IV				

[1] Se presenti, le aree TM, TK e TT devono essere sorvegliate da rivelazione automatica d'incendio (funzione A, capitolo S.7)
[2] Il livello di prestazione I può essere garantito anche dallo stesso impianto a campanelli usato normalmente per l'attività scolastica, purché sia convenuto e codificato un particolare suono nella pianificazione di emergenza (capitolo S.5).

TABELLA V.7-6: LIVELLI DI PRESTAZIONE PER RIVELAZIONE ED ALLARME

STRATEGIA ANTINCENDIO – RIVELAZIONE ED ALLARME

R.T.O.



Tuttavia, in considerazione dell'applicazione delle soluzioni alternative per S.2. ed S.3 al compartimento Palestra, nell'ottica di **minimizzare il tempo RSET** ed **aumentare l'affidabilità delle soluzioni progettuali proposte**, si applica, per la misura in questione, il livello di prestazione III in **SOLUZIONE CONFORME**

Livello di prestazione	Descrizione
I	Rivelazione e diffusione dell'allarme di incendio mediante sorveglianza degli ambiti da parte degli occupanti dell'attività.
II	Rivelazione dell'allarme di incendio mediante sorveglianza degli ambiti da parte degli occupanti dell'attività e conseguente diffusione dell'allarme.
III	Rivelazione automatica dell'incendio e diffusione dell'allarme mediante sorveglianza di ambiti dell'attività.
IV	Rivelazione automatica dell'incendio e diffusione dell'allarme mediante sorveglianza dell'intera attività.

STRATEGIA ANTINCENDIO – CONTROLLO DI FUMI E CALORE

R.T.V.



RTV V.7 non fornisce alcuna ulteriore specifica prescrizione.

R.T.O.



Livelli di prestazione II (tab. S.8-1)

Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	Deve essere possibile smaltire fumi e calore dell'incendio dai compartimenti al fine di facilitare le operazioni delle squadre di soccorso.
III	Deve essere mantenuto nel compartimento uno strato libero dai fumi che permetta: • la salvaguardia degli occupanti e delle squadre di soccorso, • la protezione dei beni, se richiesta. Fumi e calore generati nel compartimento non devono propagarsi ai compartimenti limitrofi.

STRATEGIA ANTINCENDIO – CONTROLLO DI FUMI E CALORE

R.T.O.



DIMENSIONAMENTO

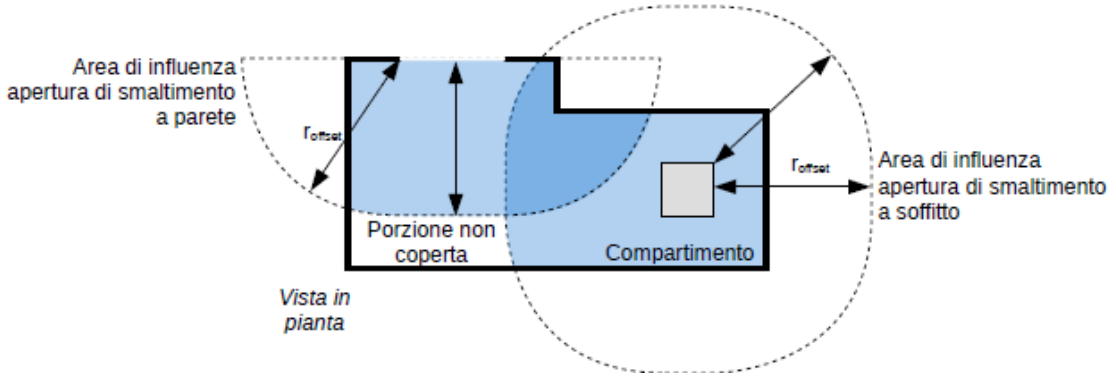
La superficie utile minima complessiva SE delle aperture di smaltimento di piano è calcolata come indicato in tabella S.8-5 in funzione del carico di incendio specifico qf (capitolo S.2) e della superficie lorda di ciascun piano

Tipo di dimensionamento	Carico di incendio specifico q_f	SE [1] [2]	Requisiti aggiuntivi
SE1	$q_f \leq 600$ MJ/m^2	A / 40	-
SE2	$600 < q_f \leq 1200$ MJ/m^2	A · q_f / 40000 + A / 100	-
SE3	$q_f > 1200$ MJ/m^2	A / 25	10% di SE di tipo SEa o SEb o SEc

[1] Con SE superficie utile delle aperture di smaltimento in m^2
[2] Con A superficie lorda di ciascun piano del compartimento in m^2

VERIFICA DELL'UNIFORME DISTRIBUZIONE IN PIANTA DELLE APERTURE DI SMALTIMENTO

Imponendo che il compartimento sia completamente coperto in pianta dalle aree di influenza delle aperture di smaltimento ad esso pertinenti, verificando il *raggio di influenza* r_{offset} pari a 20 m.



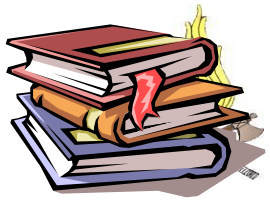
STRATEGIA ANTINCENDIO – OPERATIVITA' ANTINCENDIO

R.T.V.



RTV V.7 non fornisce alcuna ulteriore specifica prescrizione.

R.T.O.



Livelli di prestazione III (tab. S.9-1)

Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	Accessibilità per mezzi di soccorso antincendio
III	Accessibilità per mezzi di soccorso antincendio. Pronta disponibilità di agenti estinguenti. Possibilità di controllare o arrestare gli impianti tecnologici e di servizio dell'attività, compresi gli impianti di sicurezza.
IV	Accessibilità per mezzi di soccorso antincendio. Pronta disponibilità di agenti estinguenti. Possibilità di controllare o arrestare gli impianti tecnologici e di servizio dell'attività, compresi gli impianti di sicurezza. Accessibilità protetta per i Vigili del fuoco a tutti i piani dell'attività. Possibilità di comunicazione affidabile per soccorritori.

STRATEGIA ANTINCENDIO – SICUREZZA IMPIANTI

R.T.V.



1. I gas refrigeranti negli impianti di climatizzazione e condizionamento (capitolo S.10) inseriti in aree TA o TO devono essere classificati A1 o A2L secondo ISO 817.

*La classificazione dei fluidi secondo la **norma ISO 817** «Refrigerants - designations and safety classification» è costituita da due caratteri alfanumerici:*

- *una lettera maiuscola (A, B) indica la tossicità (A: minore, B: maggiore, in base all'esposizione professionale ammissibile);*
- *un numero (1, 2L, 2, 3) indica l'infiammabilità (da 1: "non infiammabilità" in maniera crescente fino a 3: "infiammabilità maggiore"). Il carattere L indica una bassa velocità di combustione.*

R.T.O.



Si ritengono conformi gli **impianti tecnologici e di servizio progettati, installati, verificati, esercitati e manutenuti a regola d'arte, in conformità alla regolamentazione vigente, secondo le norme applicabili.**
Tali impianti devono garantire gli obiettivi di sicurezza antincendio riportati al par. S.10.5 ed essere altresì conformi alle prescrizioni tecniche riportate al par. S.10.6 per la specifica tipologia dell'impianto.

SOLUZIONE ALTERNATIVA: RESISTENZA AL FUOCO

STRATEGIA ANTINCENDIO – RESISTENZA AL FUOCO

Compartimenti	Attività				
	HA	HB	HC	HD	HE
Fuori terra	30	60			90
Interrati	60				90

Tutte le strutture portanti e separanti dell'edificio sono in possesso di classe di resistenza al fuoco non inferiore a:

- **30 minuti per i locali fuori terra**
- **60 minuti per le strutture seminterrate ed interrate**

Livello III in soluzione conforme

Ma la palestra interrata (a quota – 7,40 m) è costruita con strutture in acciaio: si ricorre ad una soluzione alternativa con FSE per la verifica del comportamento al fuoco con analisi strutturale a caldo con curve naturali.

Livello III in soluzione alternativa

SOLUZIONE ALTERNATIVA – ANALISI PRESTAZIONALE

SOLUZIONE ALTERNATIVA: RESISTENZA AL FUOCO

Criteri di scelta e d'uso dei modelli e dei codici di calcolo

METODI

Capitolo M.1 Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio

Premessa

Fasi della metodologia

Prima fase: analisi preliminare
- Definizione del progetto
- Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio
- Definizione delle soglie di prestazione
- Individuazione degli scenari di incendio di progetto

Seconda fase: analisi quantitativa
- Elaborazione delle soluzioni progettuali
- Valutazione delle soluzioni progettuali
- Selezione delle soluzioni progettuali idonee

Documentazione di progetto

Sommario tecnico

Relazione tecnica

Requisiti aggiuntivi per la gestione della sicurezza antincendio

Criteri di scelta e d'uso dei modelli e dei codici di calcolo

Riferimenti

Criteri di scelta e d'uso dei modelli e dei codici di calcolo

1. Il professionista antincendio può optare tra i modelli di calcolo che le conoscenze tecniche di settore mettono a disposizione, sulla base di valutazioni inerenti la complessità del progetto.
2. Il professionista antincendio che adotta modelli di calcolo sofisticati, deve possedere una particolare competenza nel loro utilizzo, nonché un'approfondita conoscenza sia dei fondamenti teorici che ne sono alla base che della dinamica dell'incendio.
3. Allo stato attuale i modelli più frequentemente utilizzati sono:
   a. modelli analitici,

Nota Ad esempio, le correlazioni per i modelli di incendio localizzati o *fire plumes* di Zukoski, Heskestad, McCaffrey, Thomas, Hasemi e Nishiata, Alpert, …

   b. modelli numerici tra cui:
      i. modelli di simulazione dell'incendio a zone per ambienti confinati,

Nota Ad esempio, codici di calcolo CFAST, Ozone, …

      ii. modelli di simulazione dell'incendio di campo,

Nota Ad esempio, codici di calcolo CFX, FDS, Fluent, …

      iii. modelli di simulazione dell'esodo,

Nota Ad esempio, codice di calcolo FDS+EVAC, …

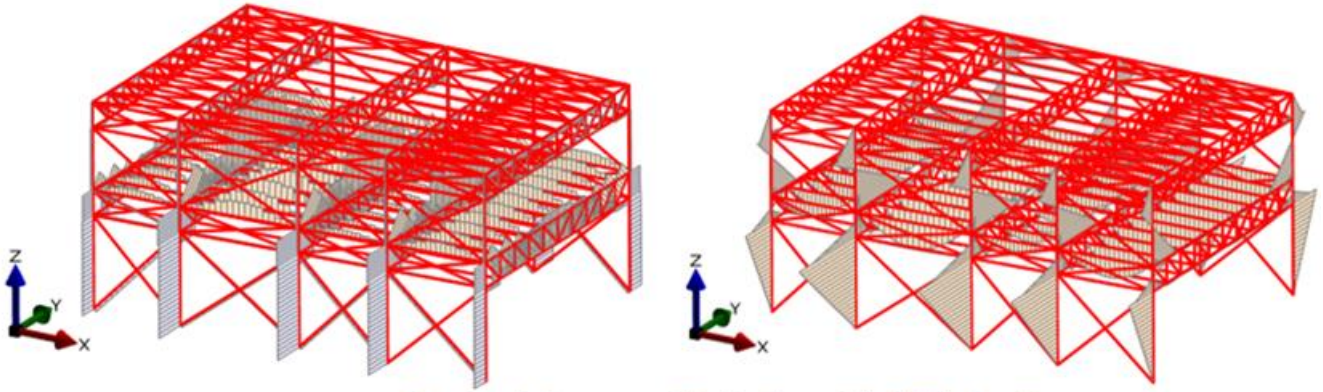
      iv. modelli di analisi termostrutturale.

Nota Ad esempio, codici di calcolo Abaqus, Adina, Ansys, Diana, Safir, …

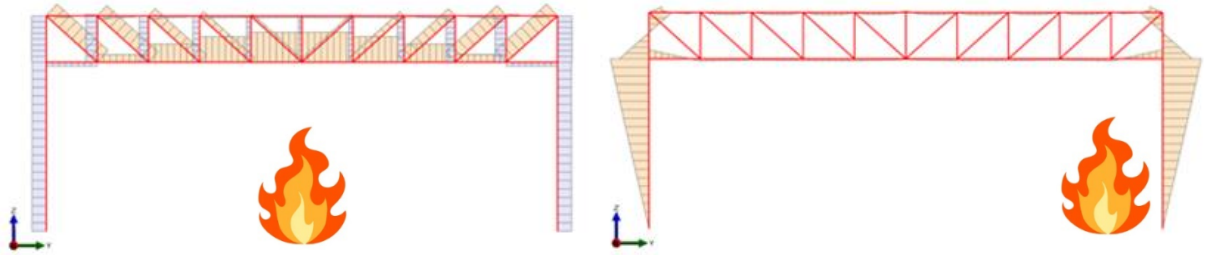
SOLUZIONE ALTERNATIVA – ANALISI PRESTAZIONALE

SOLUZIONE ALTERNATIVA: RESISTENZA AL FUOCO

Individuazione degli scenari di incendio di progetto

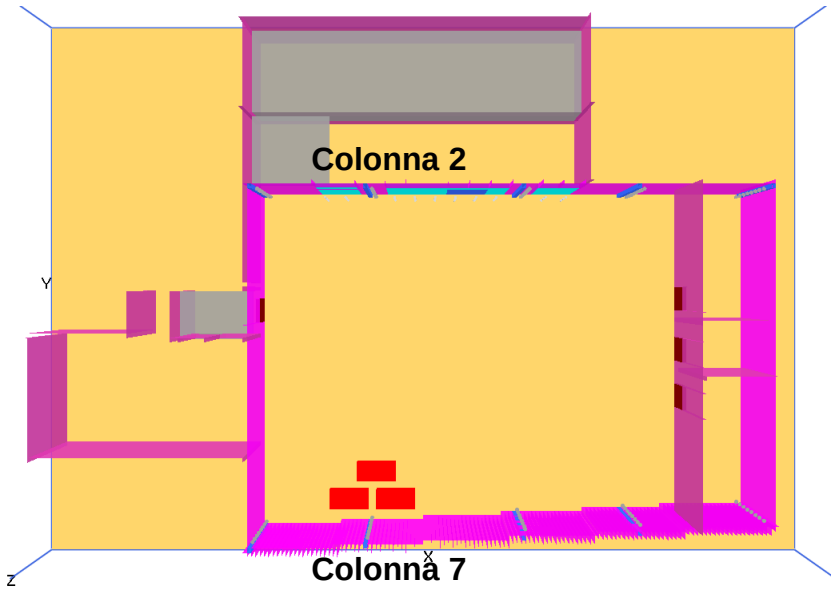


Sforzi assiali e momenti flettenti, modello FEM a freddo



Sforzi assiali e momenti flettenti, telaio 2 a freddo

Scenario R1





Scenario R2

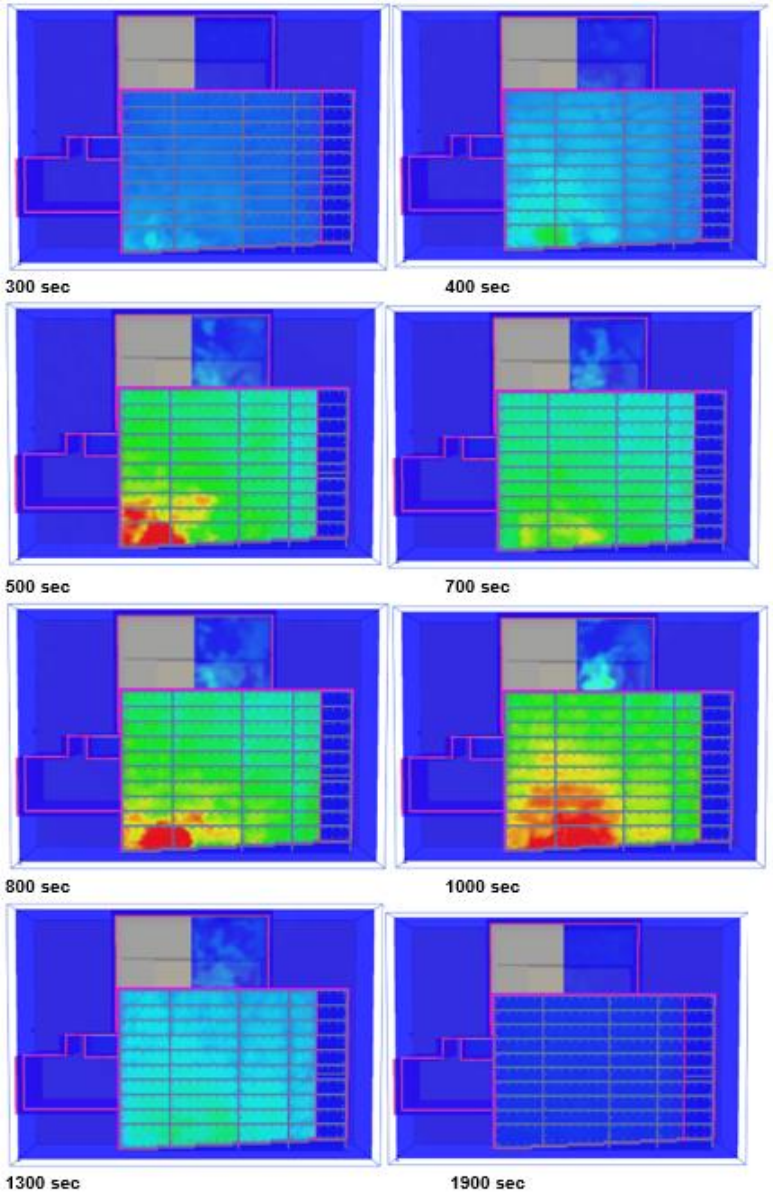
La localizzazione dell'innesco in corrispondenza della colonna 7 è più critica della colonna 2 perché l'incendio che si sviluppa a ridosso della parete priva di aperture genera un campo di temperature di circa 200 °C in più rispetto all'innesco in prossimità della parete opposta finestrata.

SOLUZIONE ALTERNATIVA – ANALISI PRESTAZIONALE – FASE 1

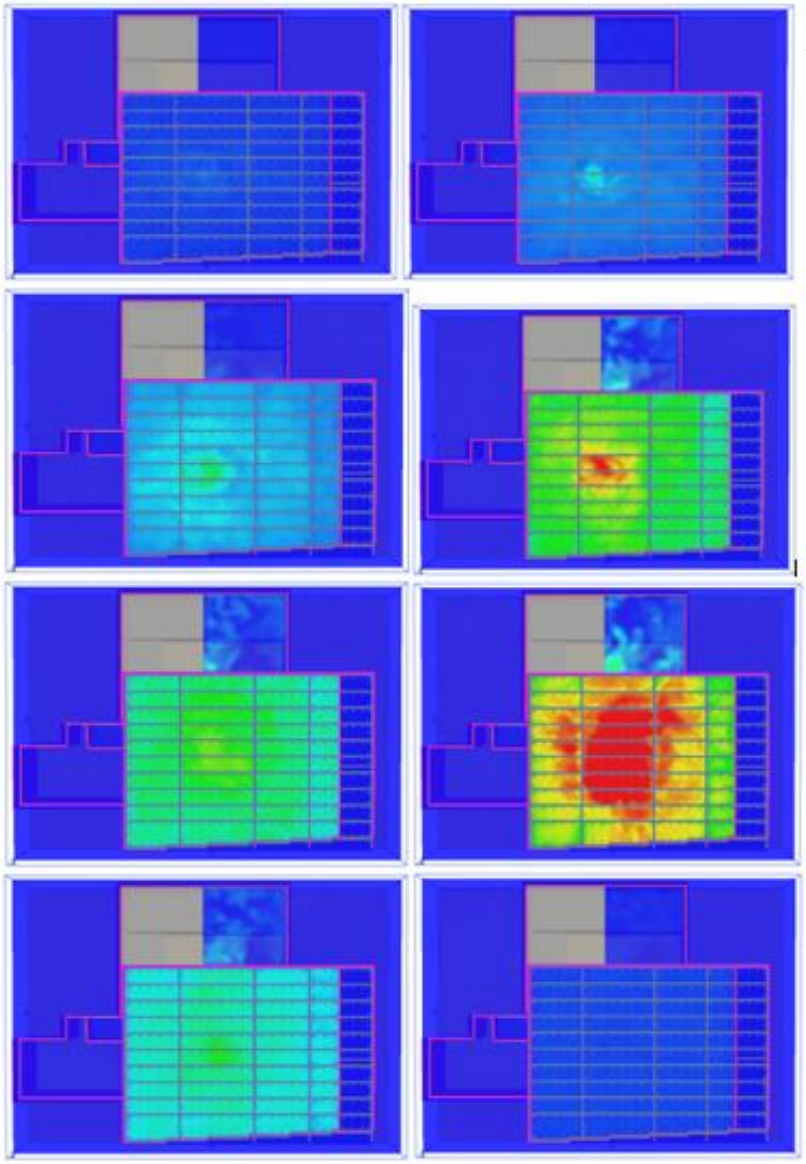
SOLUZIONE ALTERNATIVA: RESISTENZA AL FUOCO

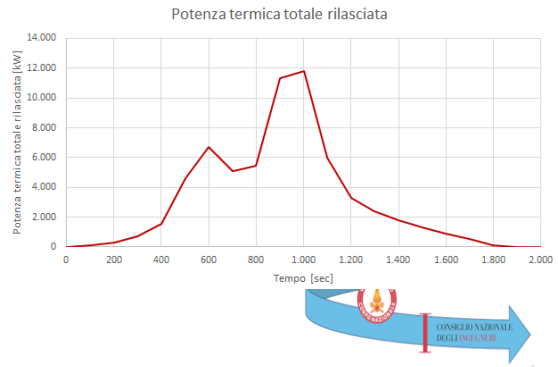
Risultati analisi fluidodinamiche

SCENARIO R1



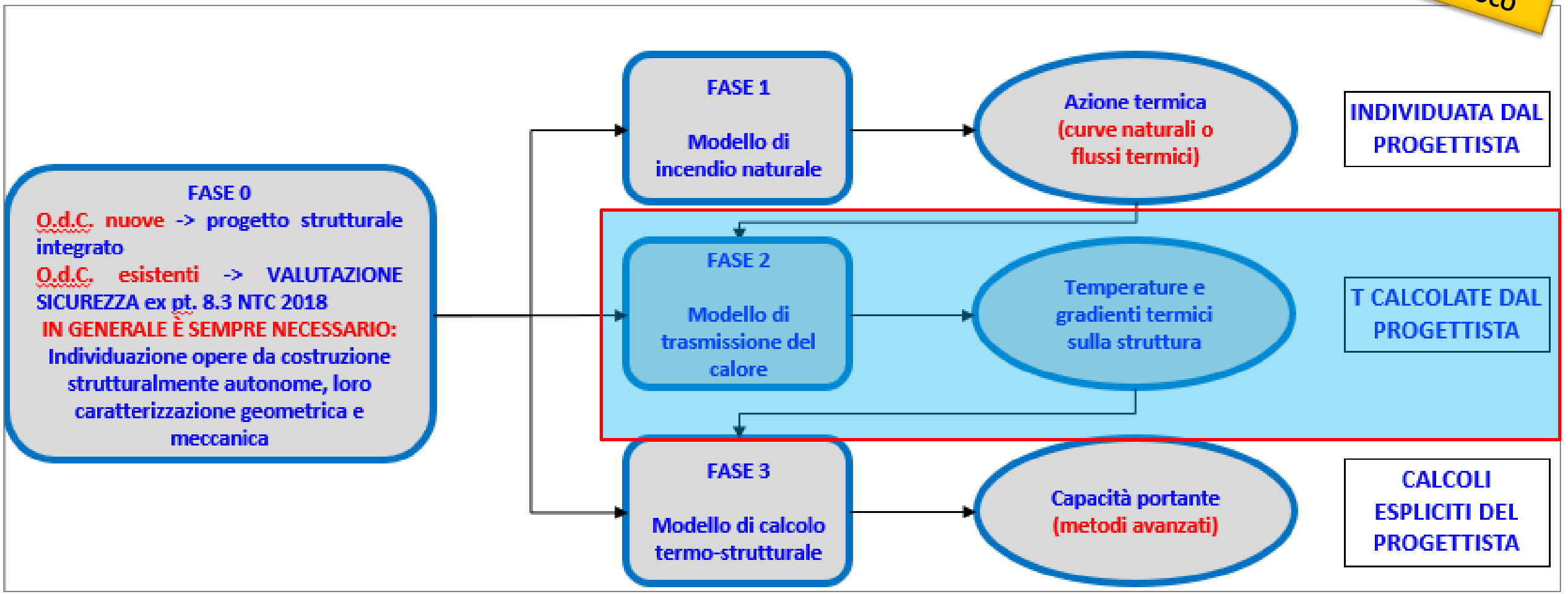
SCENARIO R2





SOLUZIONE ALTERNATIVA – ANALISI PRESTAZIONALE

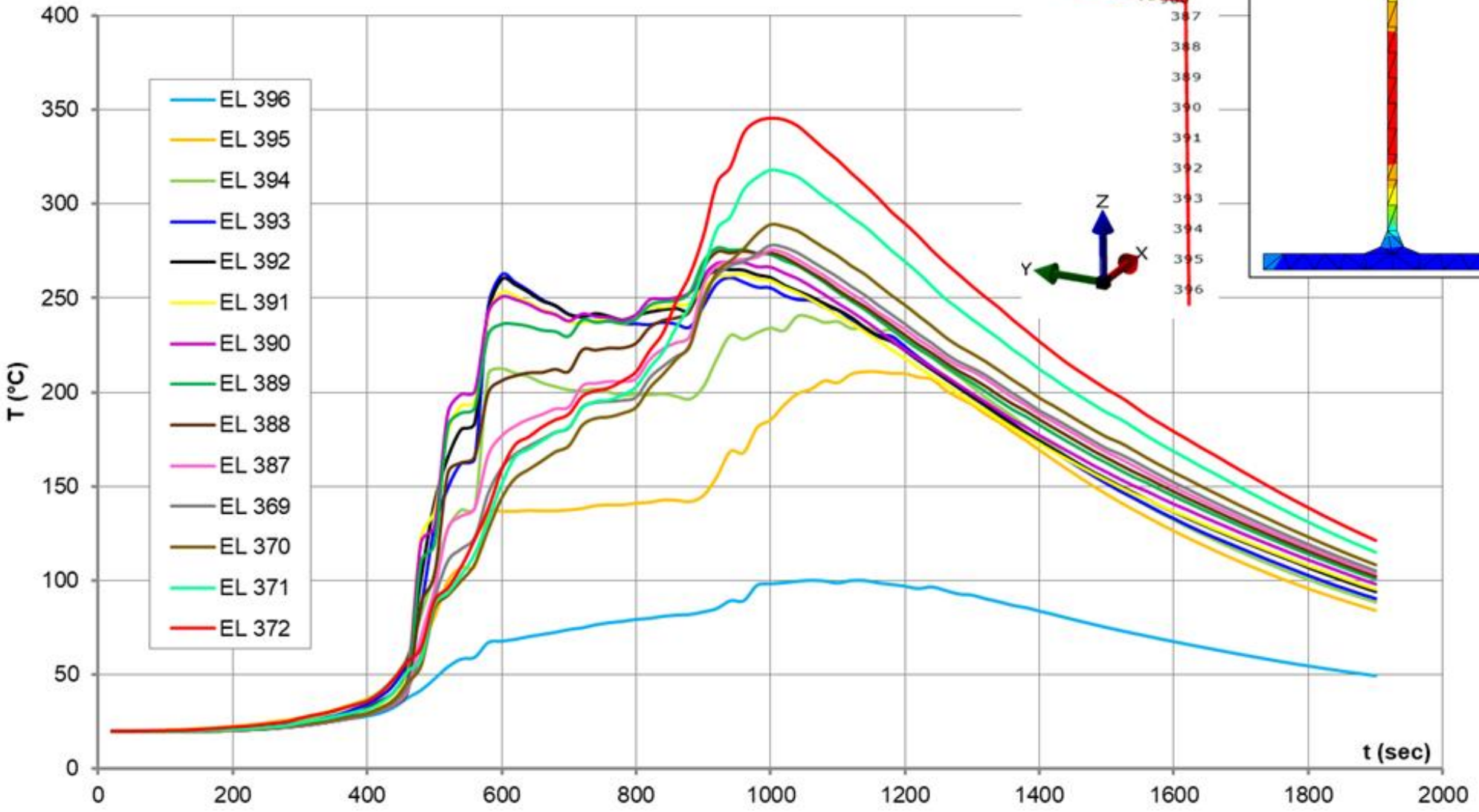
SOLUZIONE ALTERNATIVA: RESISTENZA AL FUOCO



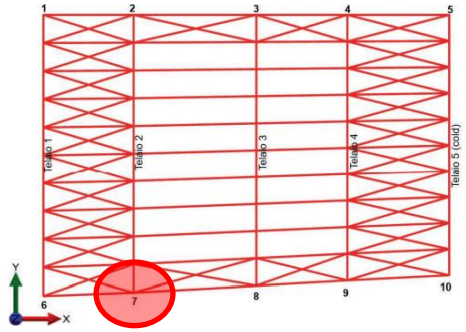
SOLUZIONE ALTERNATIVA – ANALISI PRESTAZIONALE – FASE 2

SOLUZIONE ALTERNATIVA: RESISTENZA AL FUOCO

Risultati analisi termiche – Scenario R1



Andamento delle temperature sulla sezione della colonna HEB400

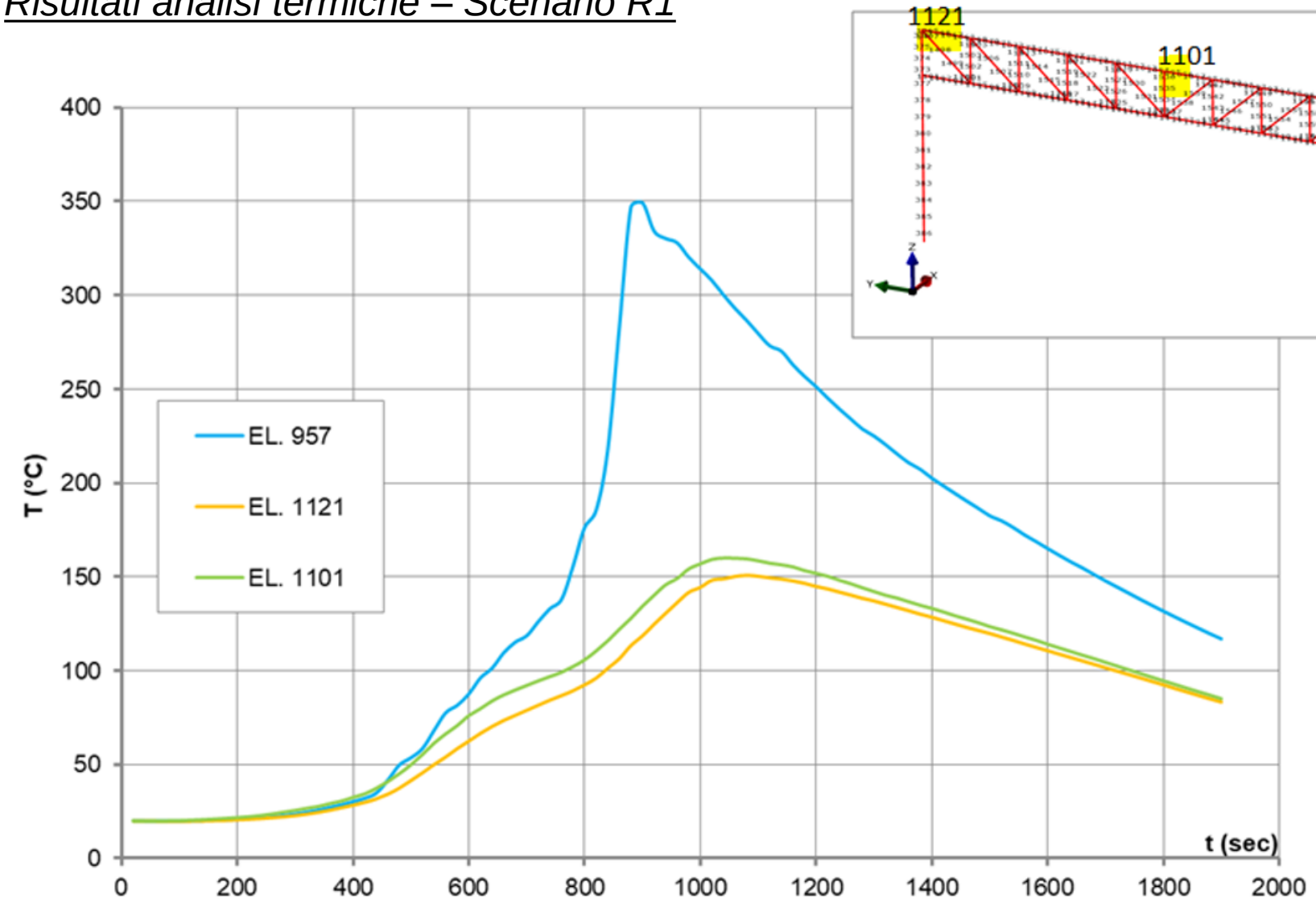


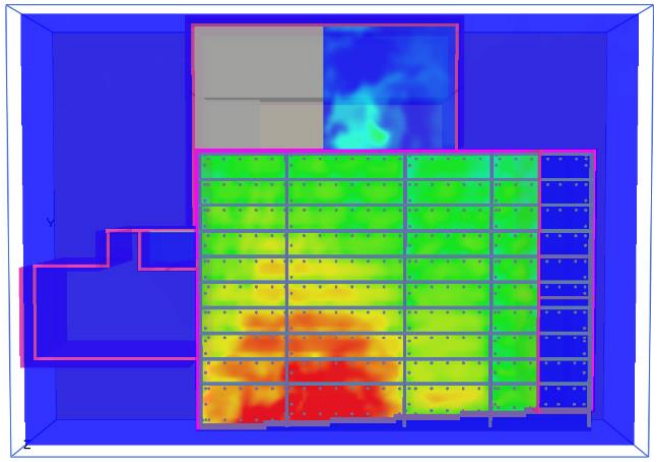
Temperatura di elemento: colonna n°7 (HEB400)

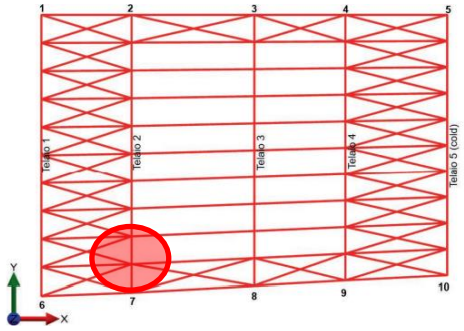
SOLUZIONE ALTERNATIVA – ANALISI PRESTAZIONALE – FASE 2

SOLUZIONE ALTERNATIVA: RESISTENZA AL FUOCO

Risultati analisi termiche – Scenario R1





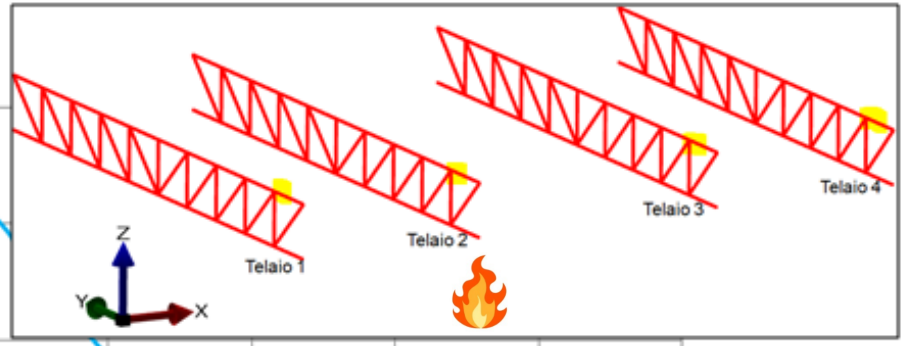


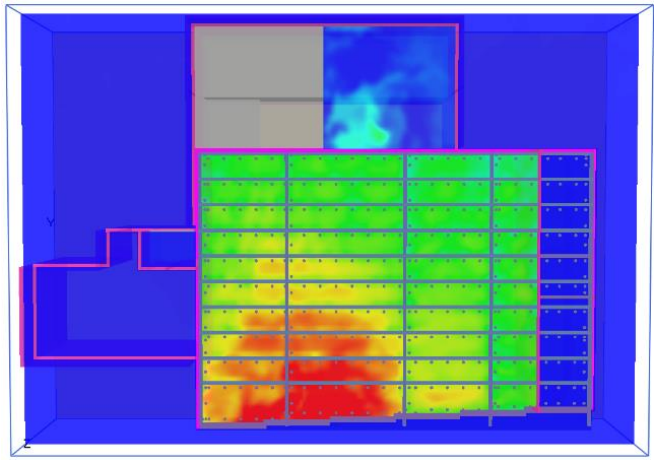
Temperatura di elemento correnti superiori (2UPN200)

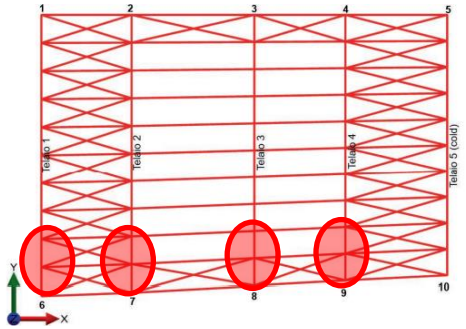
SOLUZIONE ALTERNATIVA – ANALISI PRESTAZIONALE – FASE 2

SOLUZIONE ALTERNATIVA: RESISTENZA AL FUOCO

Risultati analisi termiche – Scenario R1

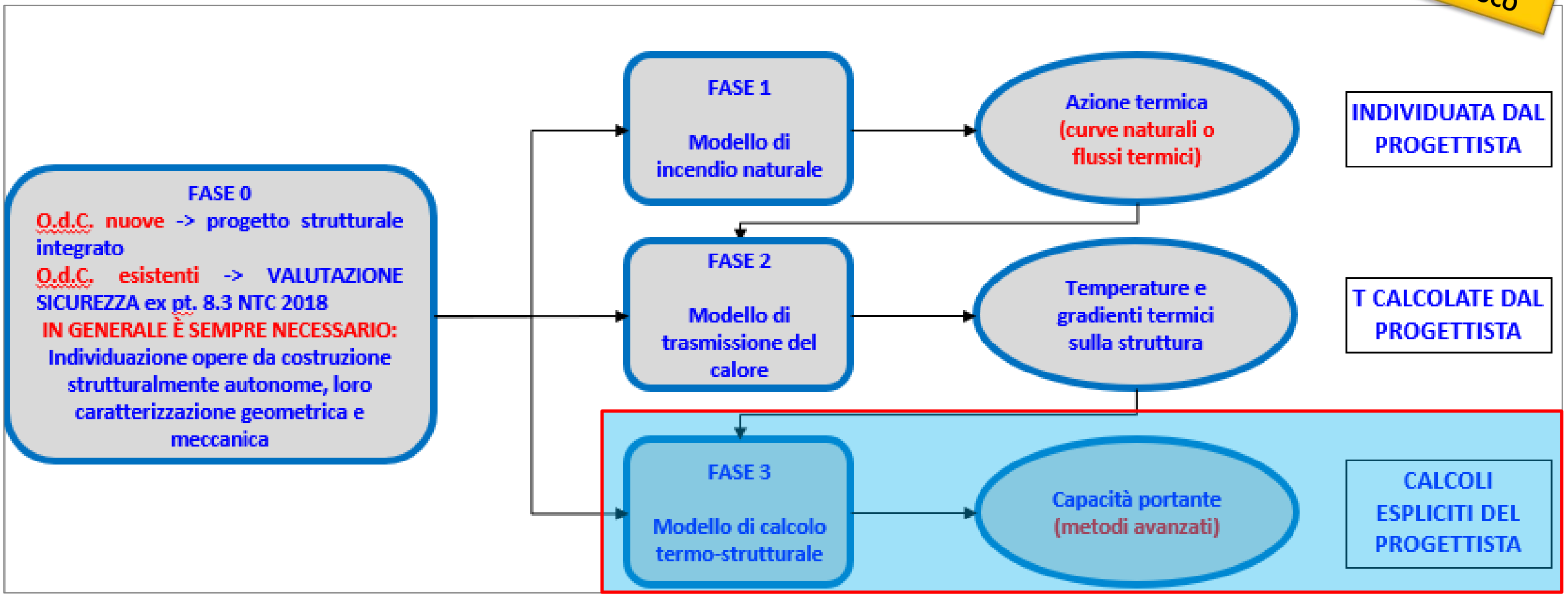






SOLUZIONE ALTERNATIVA – ANALISI PRESTAZIONALE

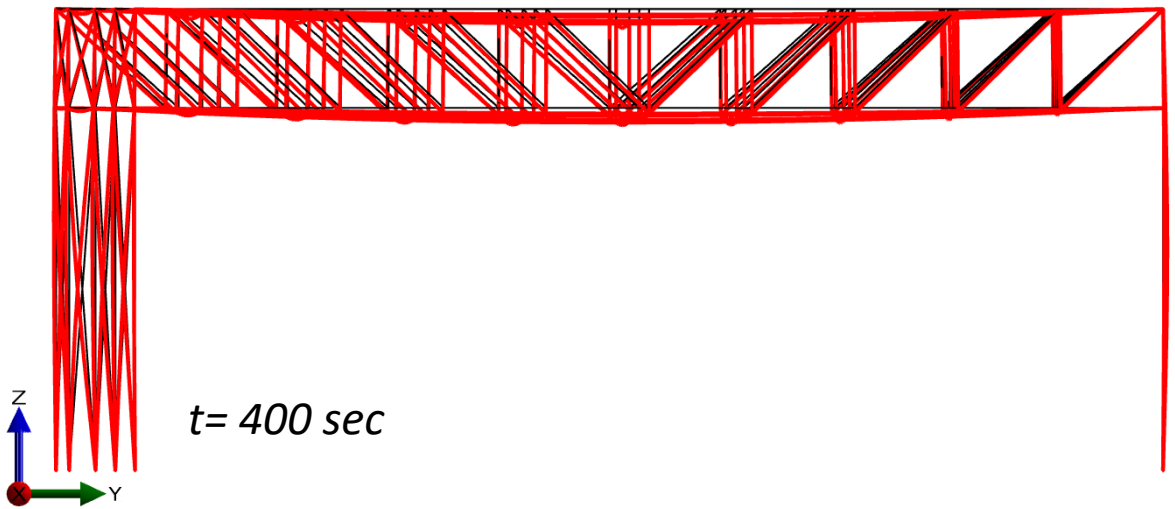
SOLUZIONE ALTERNATIVA: RESISTENZA AL FUOCO



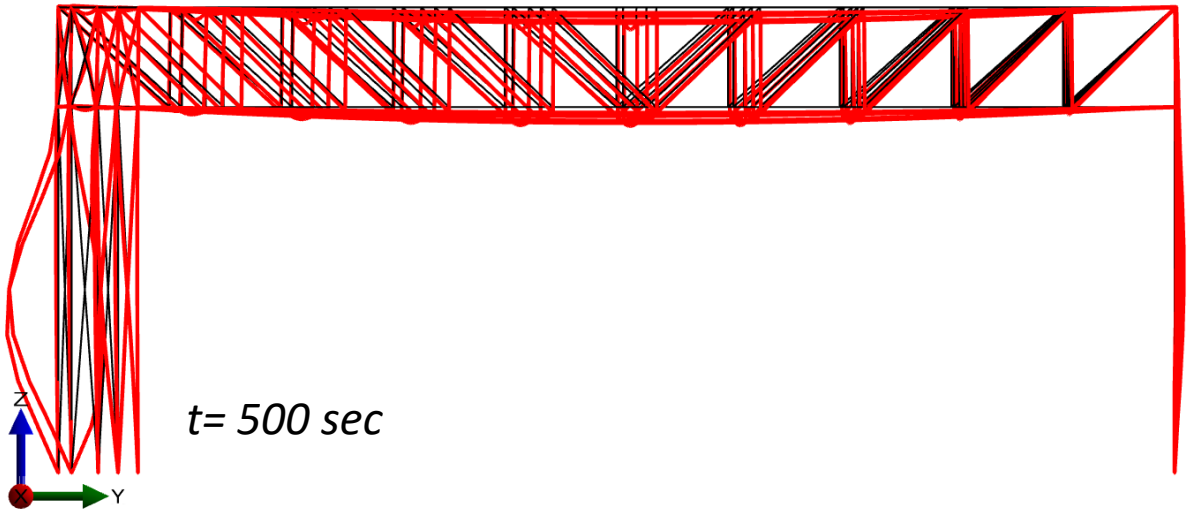
SOLUZIONE ALTERNATIVA – ANALISI PRESTAZIONALE – FASE 3

SOLUZIONE ALTERNATIVA: RESISTENZA AL FUOCO

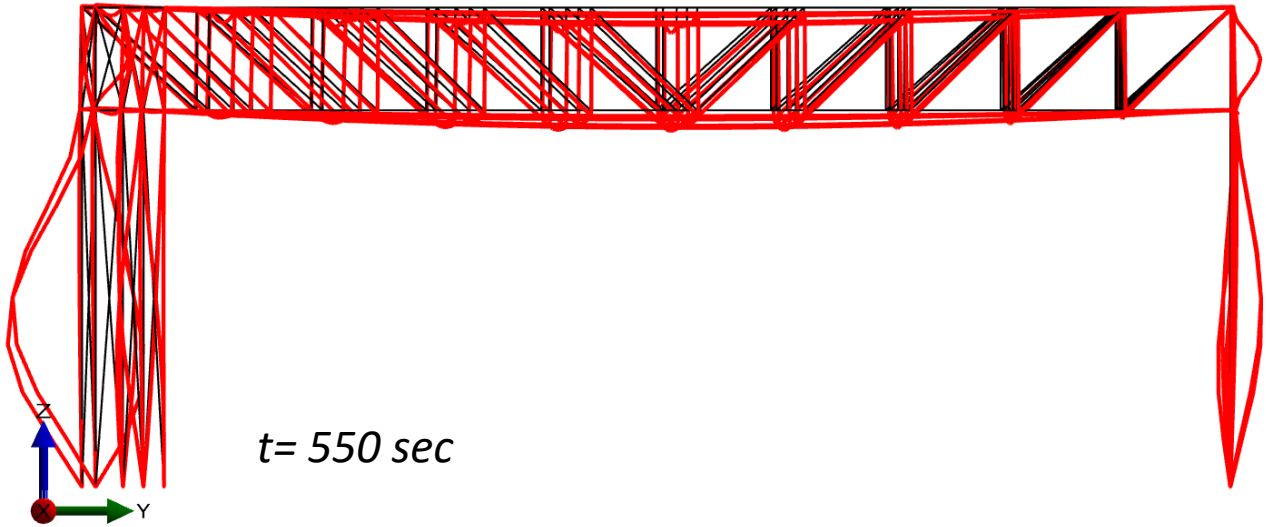
Risultati analisi termo-strutturali – Scenario R1



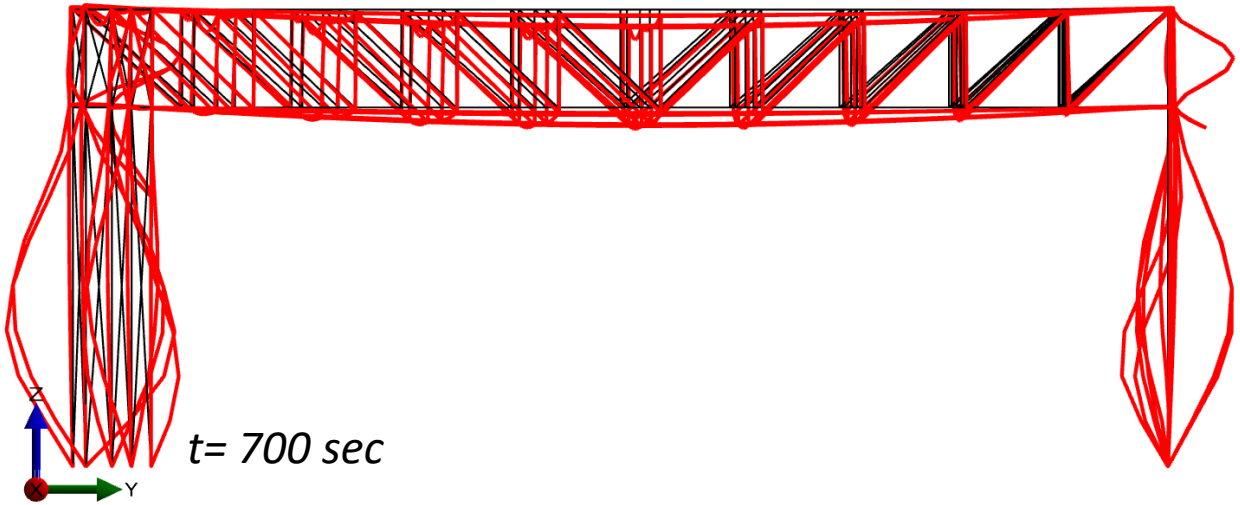
t= 400 sec



t= 500 sec



t= 550 sec

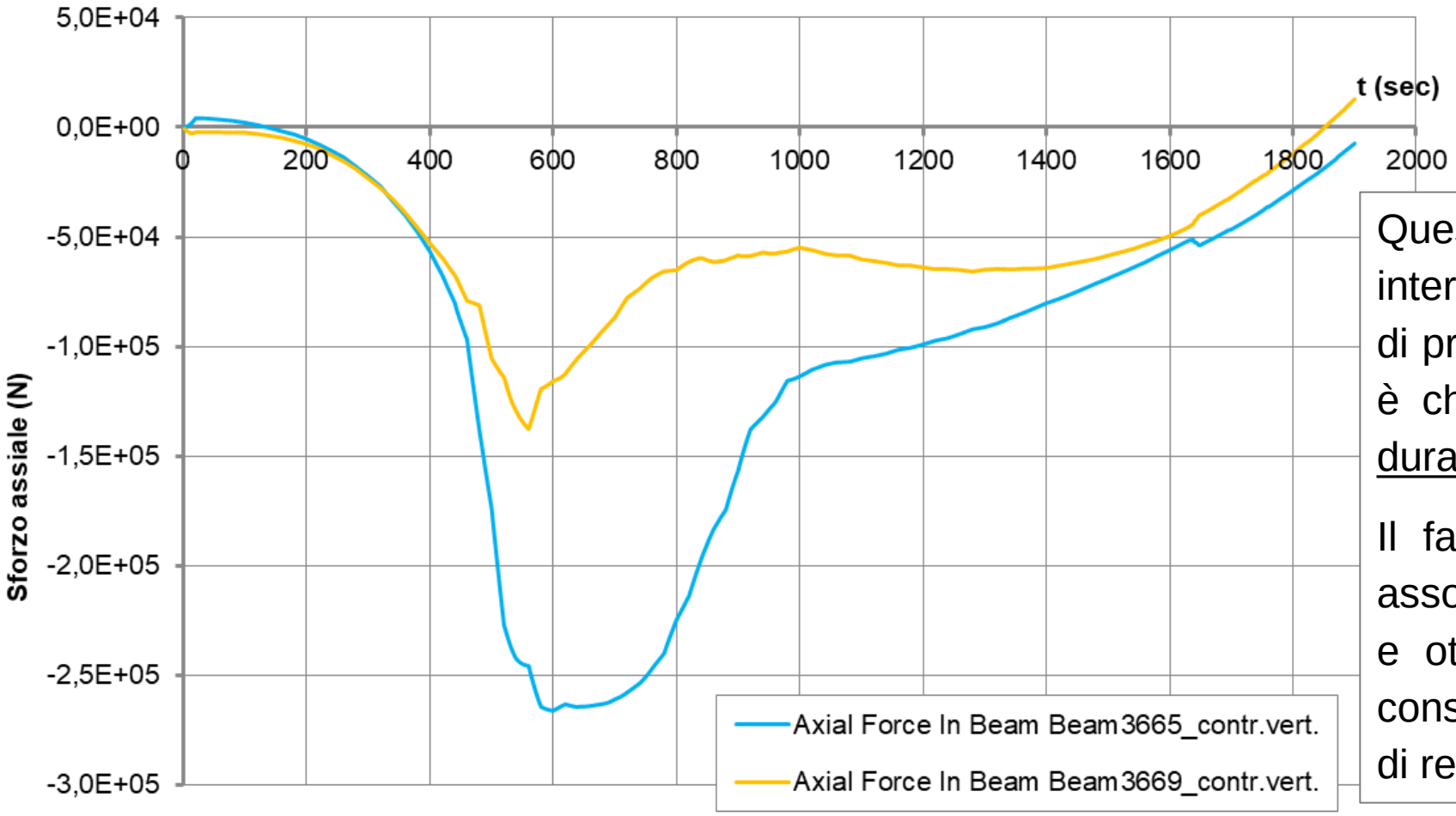


t= 700 sec

SOLUZIONE ALTERNATIVA – ANALISI PRESTAZIONALE – FASE 3

SOLUZIONE ALTERNATIVA: RESISTENZA AL FUOCO

Risultati analisi termo-strutturali – Scenario R1: ***controventi verticali***



Questo è un aspetto particolarmente interessante perché la richiesta del livello di prestazione III con soluzione alternativa è che la <u>struttura non crolli per tutta la durata dell'incendio.</u>

Il fatto che la struttura sia in grado di assorbire il *failure* dei controventi verticali e ottenere percorsi alternativi di carico, consente di soddisfare a pieno il requisito di resistenza richiesto.

SOLUZIONE ALTERNATIVA – ANALISI PRESTAZIONALE

SOLUZIONE ALTERNATIVA: RESISTENZA AL FUOCO

Conclusioni

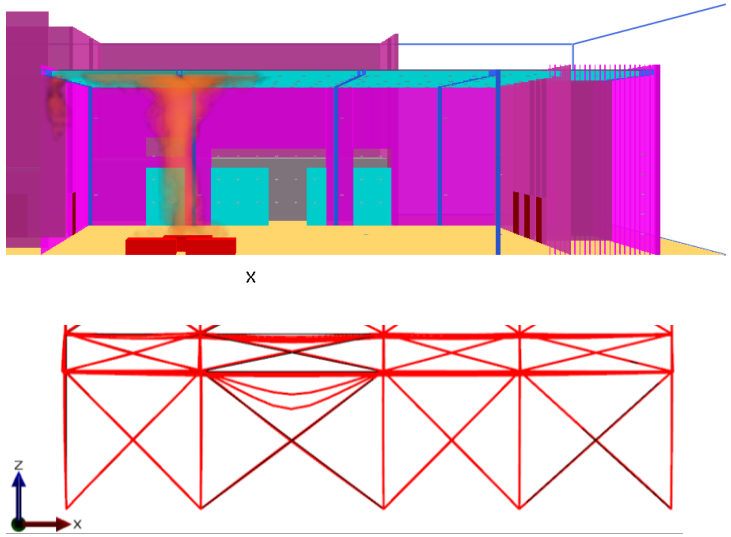
Lo studio è stato svolto considerando gli scenari più critici in termini di valutazione di capacità portante della struttura, il che si traduce nel posizionare l'innesco in prossimità degli elementi strutturali più sollecitati sia termicamente che staticamente.
Le analisi dinamiche non lineari hanno dimostrato l'assenza di crollo della struttura per tutta la durata dell'incendio di progetto.
Si ricorda che, in soluzione alternativa, **si valuta la capacità portante della struttura nella sua globalità** e **non la sola verifica di ogni singolo elemento strutturale** che compone la struttura, come basterebbe in soluzione conforme.

Soluzione conforme (metodi analitici semplificati Eurocodice 3)

	SEZIONI	T crit	t crit	CLASSE
		(°C)	(min)	R
COLONNE	HEB400	548	21,63	15
CORRENTI SUP.	2UPN200	1055,8	127,8	120
CORRENTI INF.	2UPN200	838,7	36,73	30
DIAGONALI	2UPN140	553,7	13,67	Nessuna prestazione
MONTANTI	2UPN140	787,6	30,27	30
CONTR. VERT.	2UPN100	461	10,05	Nessuna prestazione

Non verificata!

Soluzione alternativa



VERIFICATA!


INAIL
VIGILI DEL FUOCO
CORPO NAZIONALE
CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI

Buon lavoro …


INAIL