Ordine degli Ingegneri della provincia di Modena

Fire Safety Engineering

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

25.10.2023

Ing. Daniele Andriotto
Fire Engineer
393 5283518
andriottodaniele@gmail.com

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

- **La Resistenza al fuoco** delle strutture: analisi dei carichi
- La Resistenza al fuoco delle strutture: degrado dei materiali
- La Resistenza al fuoco delle strutture: effetti delle elevate temperature
- **Esodo**: Metodo di calcolo analitico sul confronto ASET e RSET
- Esodo: concetto di Wayfinding e del ΔTcode introdotto dal Codice di Prevenzione Incendi
- **Controllo dei fumi e del calore**: smaltimento di emergenza
- Controllo dei fumi e del calore: sistema di controllo secondo UNI9494 o normative internazionali
- Definizione della Reazione chimica di combustione
- Definizione della Potenza Termica Rilasciata dall'incendio (RHR) tramite Codice di Prevenzione Incendi
- **Compartimentazione Antincendio**: teoria della piastra radiante

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

La Resistenza al fuoco delle strutture

Edizione in vigore al 19 novembre 2020
revisione 01

Testo coordinato dell'allegato I del DM 3 agosto 2015
Codice di prevenzione incendi

↓

Norme Tecniche delle Costruzioni D.M. 17.01.2018

↓

Eurocodice 1

Eurocodice 2

Eurocodice 3

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

La Resistenza al fuoco delle strutture

Norme Tecniche delle Costruzioni D.M. 17.01.2018

2.5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):
  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \ldots$ [2.5.1]
- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:
  $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \ldots$ [2.5.2]
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:
  $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \ldots$ [2.5.3]
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:
  $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \ldots$ [2.5.4]
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:
  $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \ldots$ [2.5.5]
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:
  $G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \ldots$ [2.5.6]

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki}$. [2.5.7]

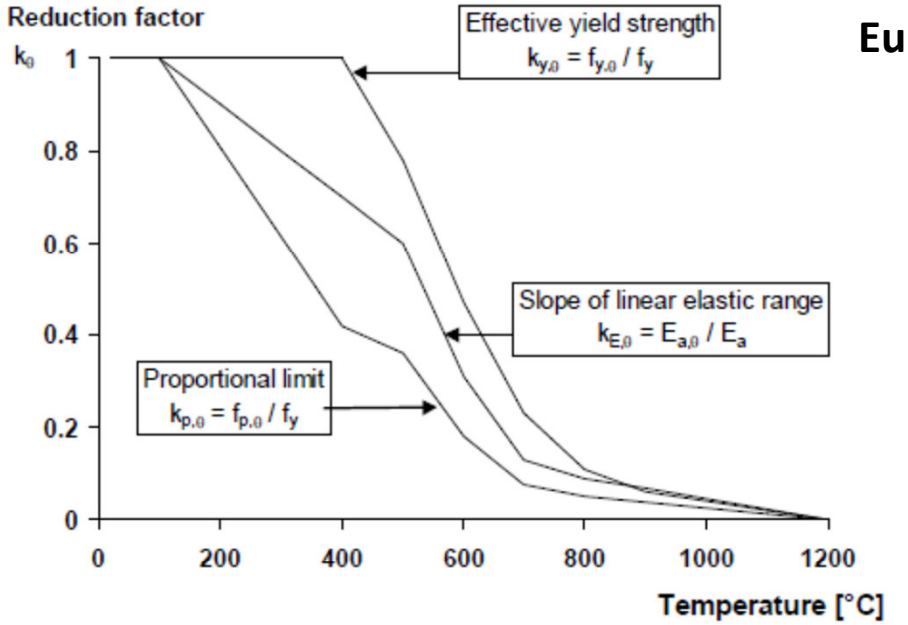
TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

Eurocodice 1

Eurocodice 2

Eurocodice 3

....



Reduction factors for the stress-strain relationship of carbon steel at elevated temperatures

e design resistance $N_{fi,\theta,Rd}$ of a tension member with a uniform temperature θ_a should be ed from:

$$_{\theta,Rd} = k_{y,\theta} N_{Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] \quad (4.3)$$

$\kappa_{y,\theta}$	is	the reduction factor for the yield strength of steel at temperature θ_a, reached at time t see section 3;
N_{Rd}	is	the design resistance of the cross-section $N_{pl,Rd}$ for normal temperature design, according to EN 1993-1-1.

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

La Resistenza al fuoco delle strutture

Come degradano le proprietà meccaniche dell'acciaio?

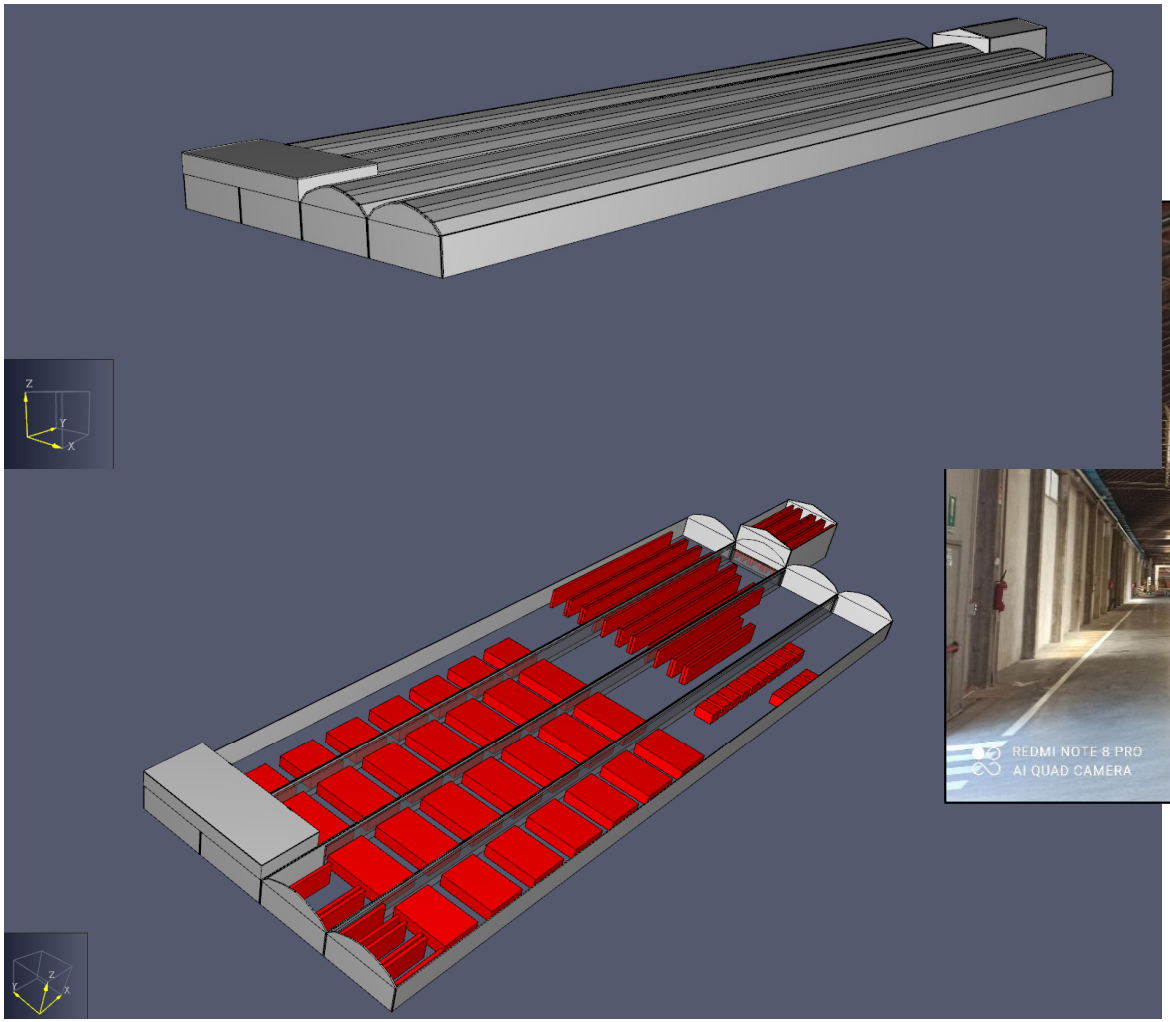
I riferimenti sono sempre ripresi dall'Eurocodice.

Ad esempio in questa tabella viene definito il degrado dell'acciaio da carpenteria.

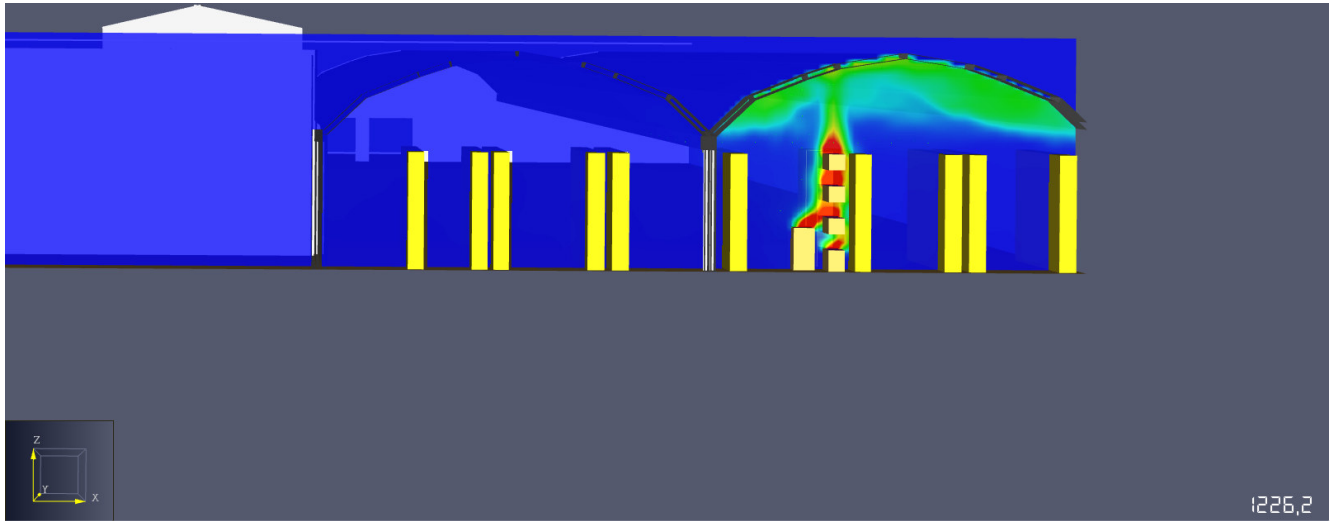
Steel Temperature θ_a	Reduction factors at temperature θ_a relative to the value of f_y or E_a at 20°C		
	Reduction factor (relative to f_y) for effective yield strength $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Reduction factor (relative to f_y) for proportional limit $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Reduction factor (relative to E_a) for the slope of the linear elastic range $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20°C	1,000	1,000	1,000
100°C	1,000	1,000	1,000
200°C	1,000	0,807	0,900
300°C	1,000	0,613	0,800
400°C	1,000	0,420	0,700
500°C	0,780	0,360	0,600
600°C	0,470	0,180	0,310
700°C	0,230	0,075	0,130
800°C	0,110	0,050	0,090
900°C	0,060	0,0375	0,0675
1000°C	0,040	0,0250	0,0450
1100°C	0,020	0,0125	0,0225
1200°C	0,000	0,0000	0,0000

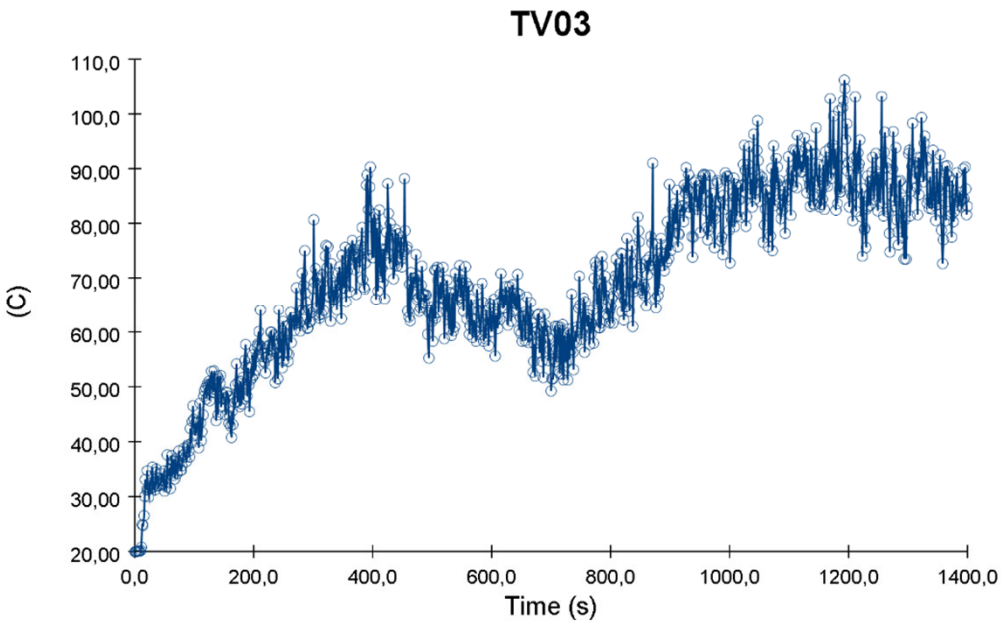
NOTE: For intermediate values of the steel temperature, linear interpolation may be used.

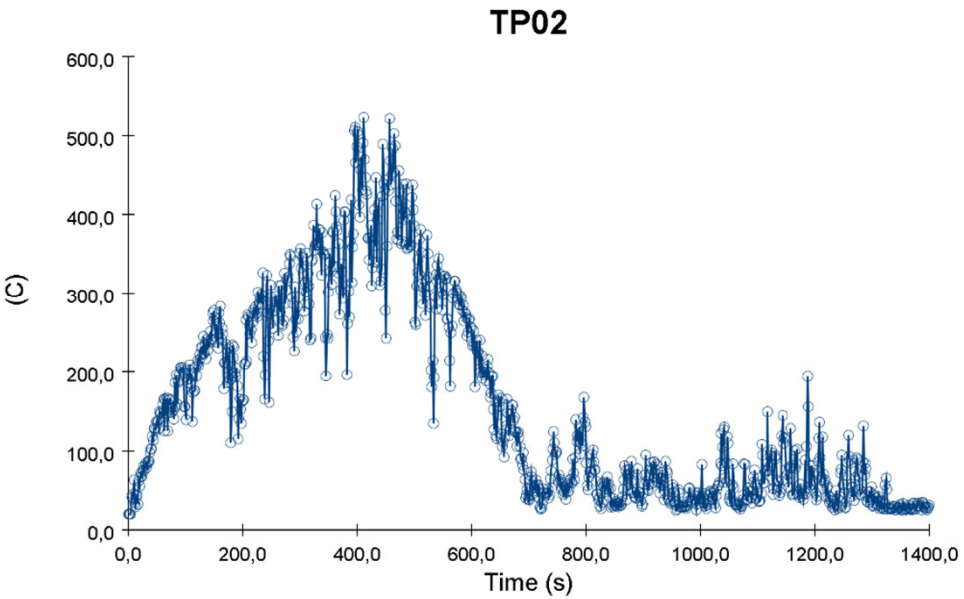
TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING



TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING





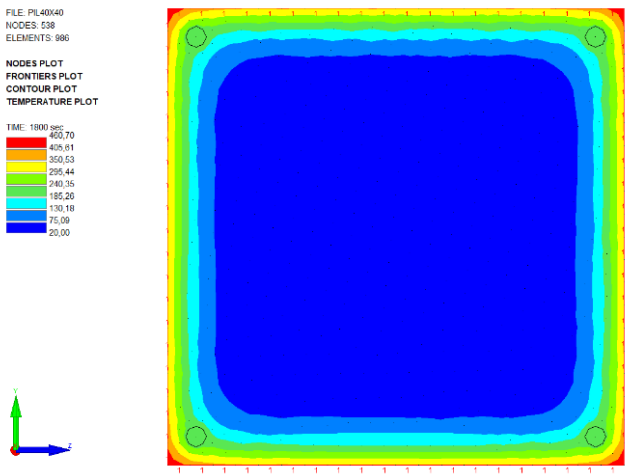


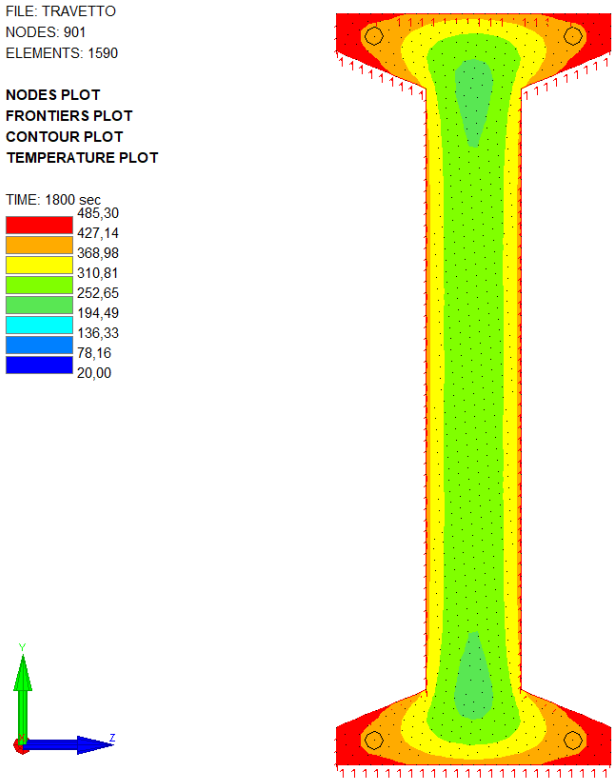
TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

ULTERIORE STEP: ANALISI TERMICA

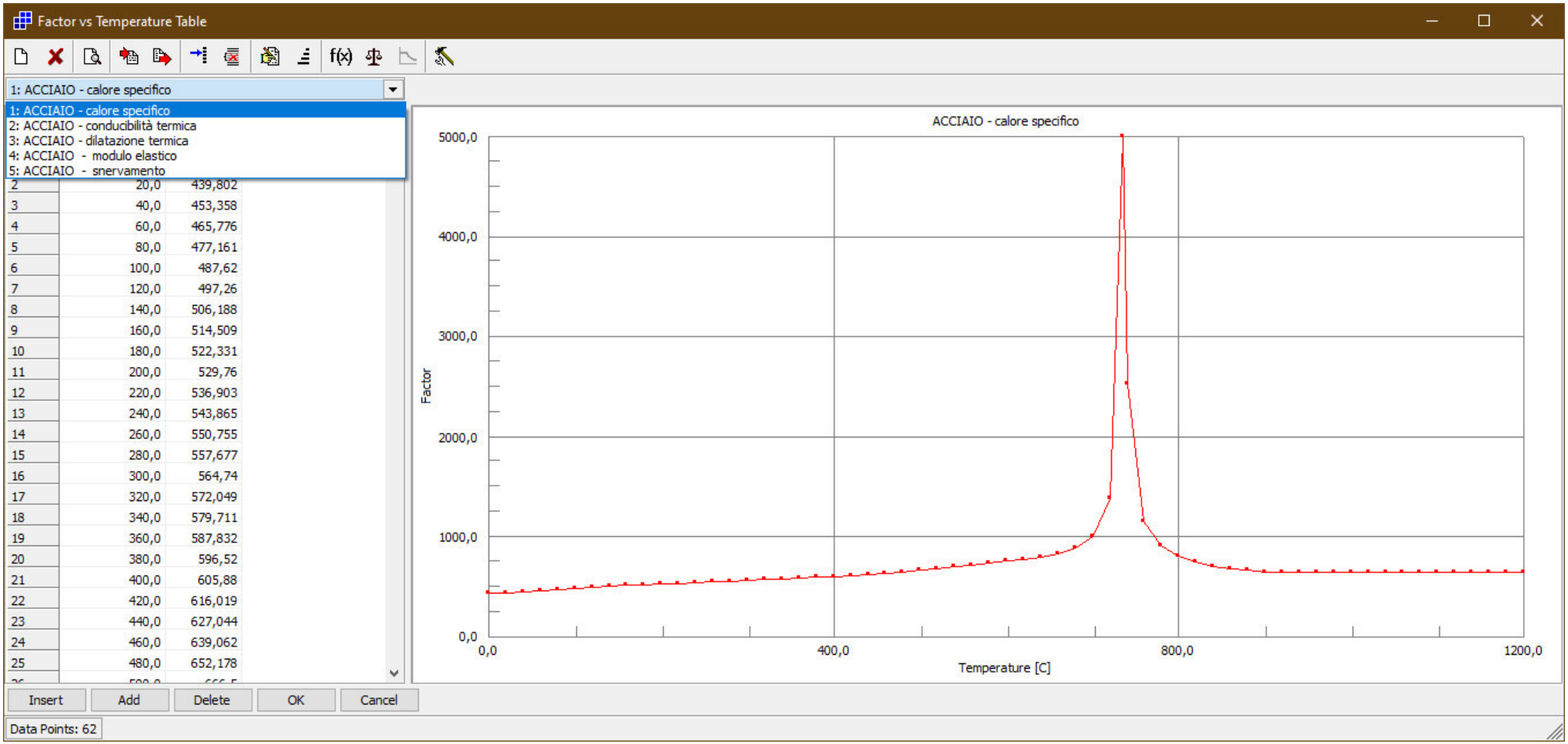
Attenzione alla NON Linearità delle caratteristiche termiche e meccaniche:

- Calore specifico;
- Conduttività termica;
- Densità;
- Dilatazione termica.



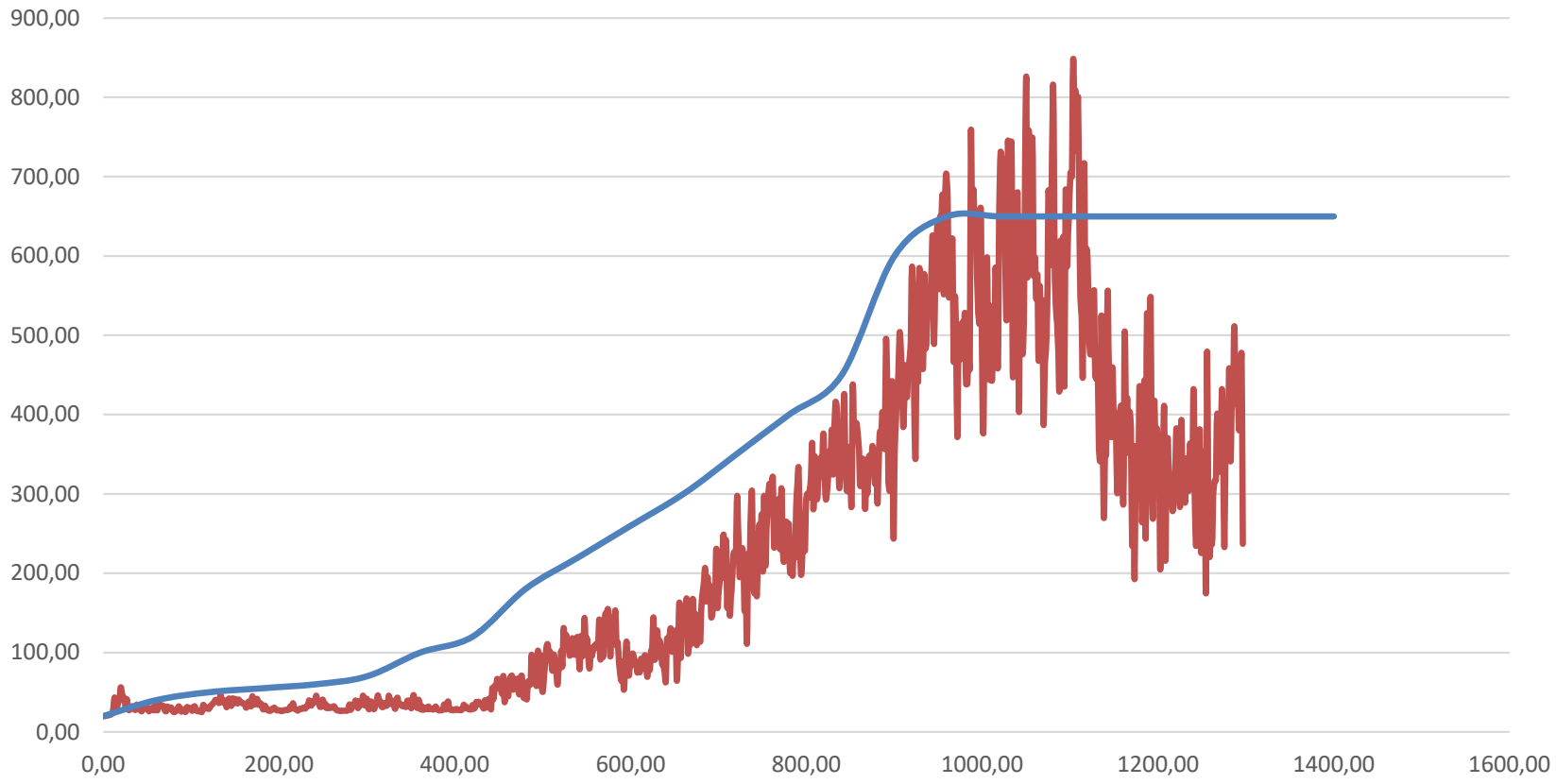


TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING



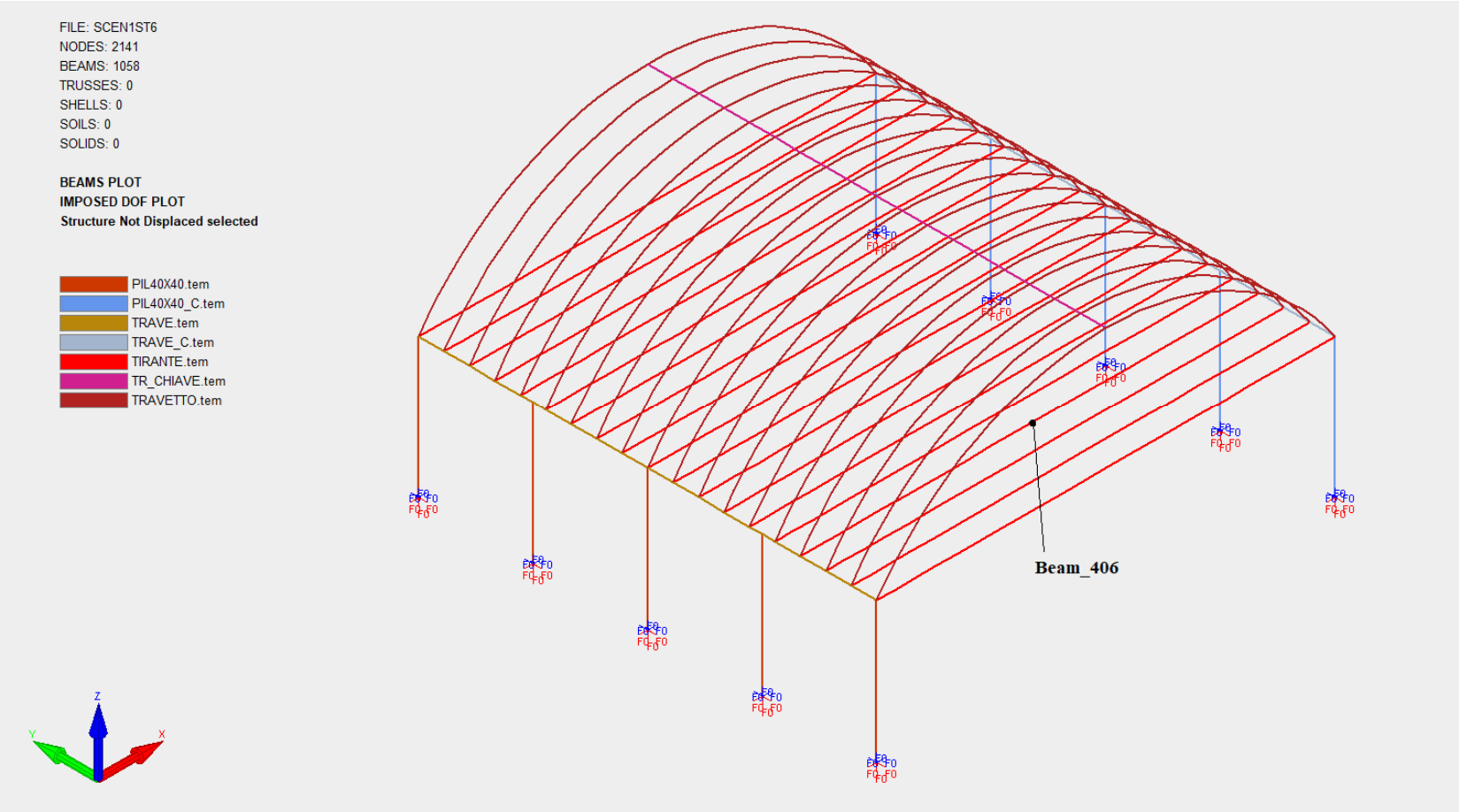
2	20,0	439,802
3	40,0	453,358
4	60,0	465,776
5	80,0	477,161
6	100,0	487,62
7	120,0	497,26
8	140,0	506,188
9	160,0	514,509
10	180,0	522,331
11	200,0	529,76
12	220,0	536,903
13	240,0	543,865
14	260,0	550,755
15	280,0	557,677
16	300,0	564,74
17	320,0	572,049
18	340,0	579,711
19	360,0	587,832
20	380,0	596,52
21	400,0	605,88
22	420,0	616,019
23	440,0	627,044
24	460,0	639,062
25	480,0	652,178

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING



TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

ULTERIORE STEP: ANALISI TERMO STRUTTURALE



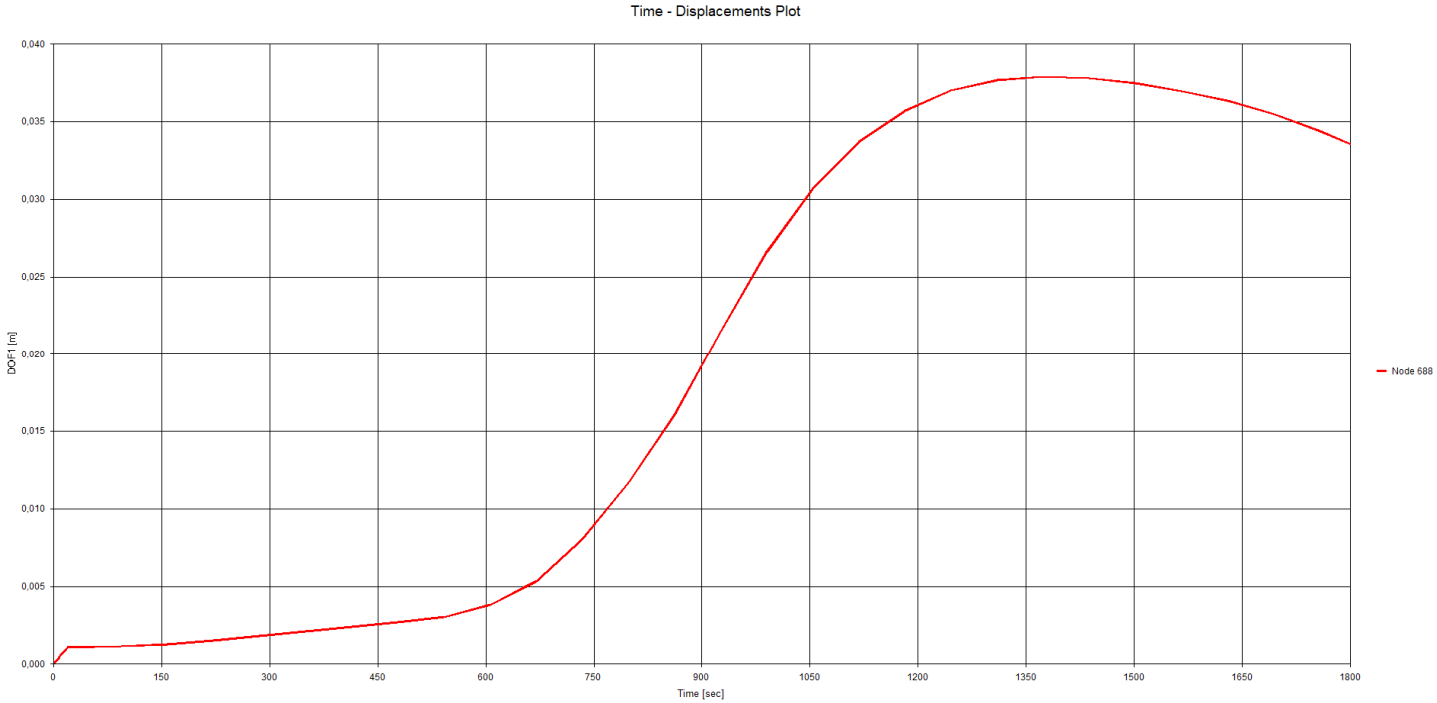
TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

ULTERIORE STEP: ANALISI TERMO STRUTTURALE

Attenzione alla NON Linearità delle caratteristiche geometriche:

- I singoli elementi dilatano, ma i vincoli interni ed esterni impediscono totalmente o parzialmente tale dilatazione.

Nascono tensioni interne.



TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

Per determinare dei fenomeni fondamentali, che si possono osservare su di una struttura durante l'incendio, si sono fissati dei principi molto importanti per comprendere le complesse interazioni fra i vari meccanismi strutturali che avvengono. Tali fondamenti sono utili per analizzare ed interpretare i risultati che si possono ottenere per mezzo dei metodi di analisi più sofisticati e sviluppati.

La principale relazione, che determina il comportamento delle strutture che subiscono effetti termici, è:

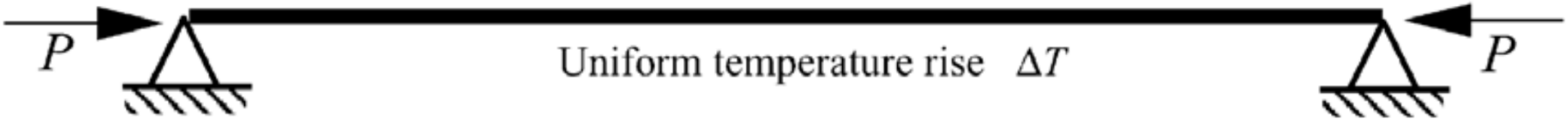
$$\varepsilon total = \varepsilon thermal + \varepsilon mechanical$$

Per quanto riguarda i vincoli traslazionali, essi portano all'insorgere di alcune deformazioni meccaniche uguali ed opposte rispetto a quelle termiche: si creano degli importanti stati tensionali di compressione.

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

Ora si prenda in considera una trave vincolata in maniera rigida alla traslazione e che subisce un aumento uniforme delle temperature ΔT.

$$P = EA\varepsilon_m = -EA\varepsilon_T = -EA\alpha\Delta T$$



Nel caso in esame la trave non può ovviamente allungarsi, dunque si avrà una deformazione totale εT pari a zero, evidenziando una mancanza di spostamenti. Si sviluppa, comunque, una reazione di vincolo P, che origina sulla trave una deformazione uguale e contraria alla deformazione di tipo termico, dunque di compressione, come evidenziato da:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_T + \varepsilon_m = 0 \Rightarrow \varepsilon_T = -\varepsilon_m$$

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

E' presente, quindi, un regime uniforme di tensioni di tipo assiale all'interno della trave, pari a:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_m \Rightarrow P = A \cdot \sigma = A \cdot E \cdot \varepsilon_m = -A \cdot E \cdot \varepsilon_T = -A \cdot E \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Presumendo un aumento indefinito della temperatura, è possibile che si verifichino due risposte strutturali conseguentemente alla snellezza della trave:

- Con una trave abbastanza tozza, la tensione superficiale eguaglia la tensione di snervamento del materiale e, se il materiale presenta un legame costitutivo tensione deformazione del tipo elasto-plastico, la trave snerva senza altri aumenti della tensione, ma sarà capace di immagazzinare maggiori incrementi delle deformazioni plastiche. L'aumento della temperatura che porta allo snervamento ΔT* si definisce come segue, una volta che si è posto σ = fy

$$\Delta T^* = \frac{f_y}{E \cdot \alpha}$$

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

In cui:
- E indica il modulo di elasticità appartenente al materiale;
- fy si riferisce alla tensione di snervamento del materiale;
- α è il coefficiente di dilatazione termica.

Una trave snella, d'altro canto, diventa subito instabile ancor prima del
raggiungimento della tensione di snervamento. Il carico critico di Eulero per una
colonna o una tre è pari a:

$$P_{cr}(T) = \frac{\pi^2 \cdot E(T) \cdot I}{l^2}$$

Eguagliando l'espressione della reazione
vincolare si ha:

$$E \cdot A \cdot \alpha \cdot \Delta T_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E(T) \cdot I}{l^2}$$

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

La quale porta ad un valore critico dell'aumento della temperatura, in relazione all'instabilità, equivalente a:

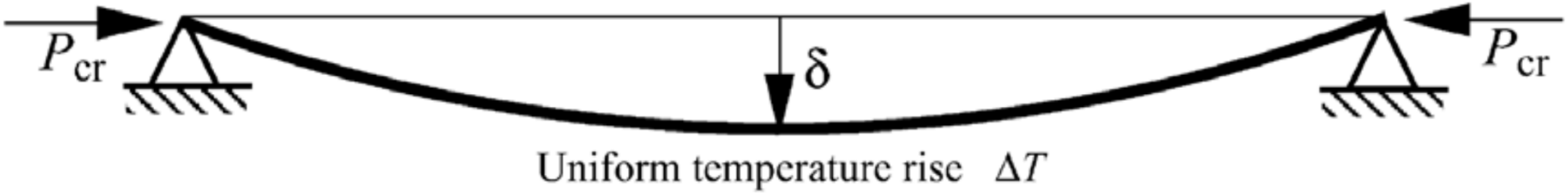
$$\Delta T_{cr} = \frac{\pi^2}{\alpha} \cdot \left(\frac{\rho}{l}\right)^2 = \frac{\pi^2}{\alpha \lambda^2}$$

Dove:
- l lunghezza libera d'inflessione, che dipende dalle condizioni di vincolo;
- λ è il rapporto di snellezza;
- ρ raggio di inerzia.

$$\Delta T^* = \frac{f_y}{E \cdot \alpha}$$

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

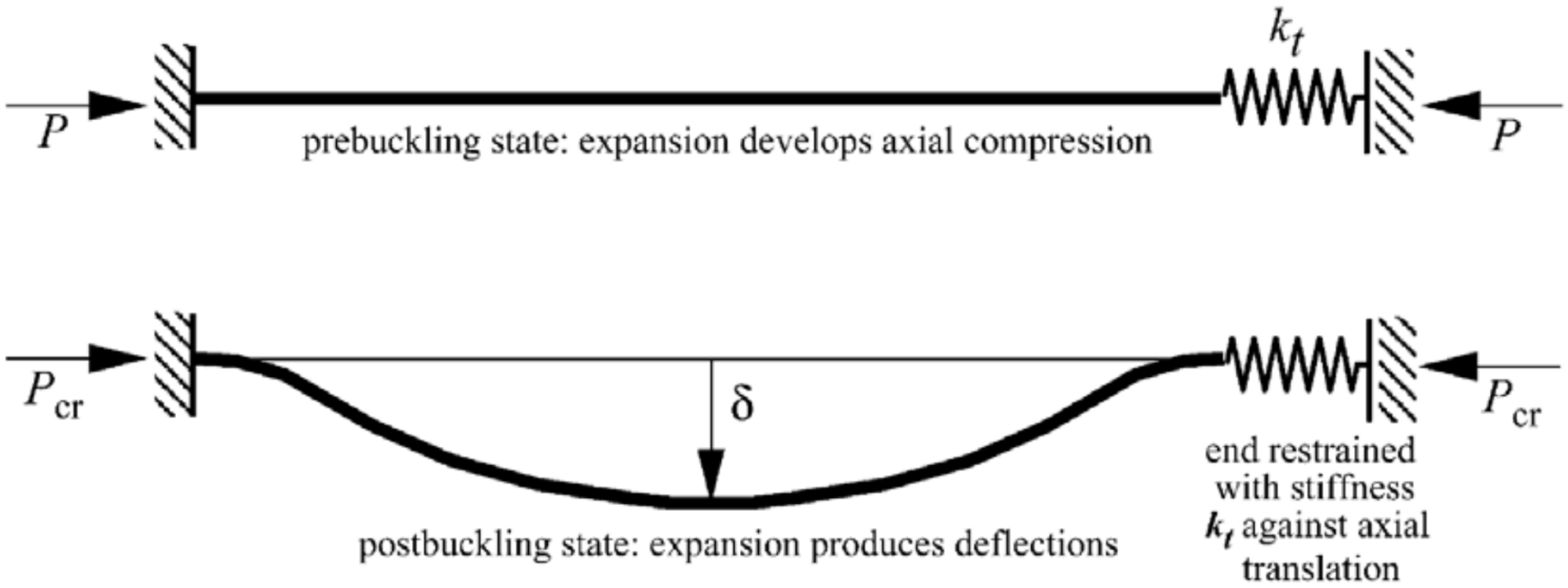
Se si dovesse verificare un continuo aumento della temperatura, la reazione vincolare nel suo complesso rimarrà costante, se si considera un materiale elastico senza alcun tipo di decadimento termico, invece, le deformazioni termiche indurranno un incremento dell'inflessione della trave δ.



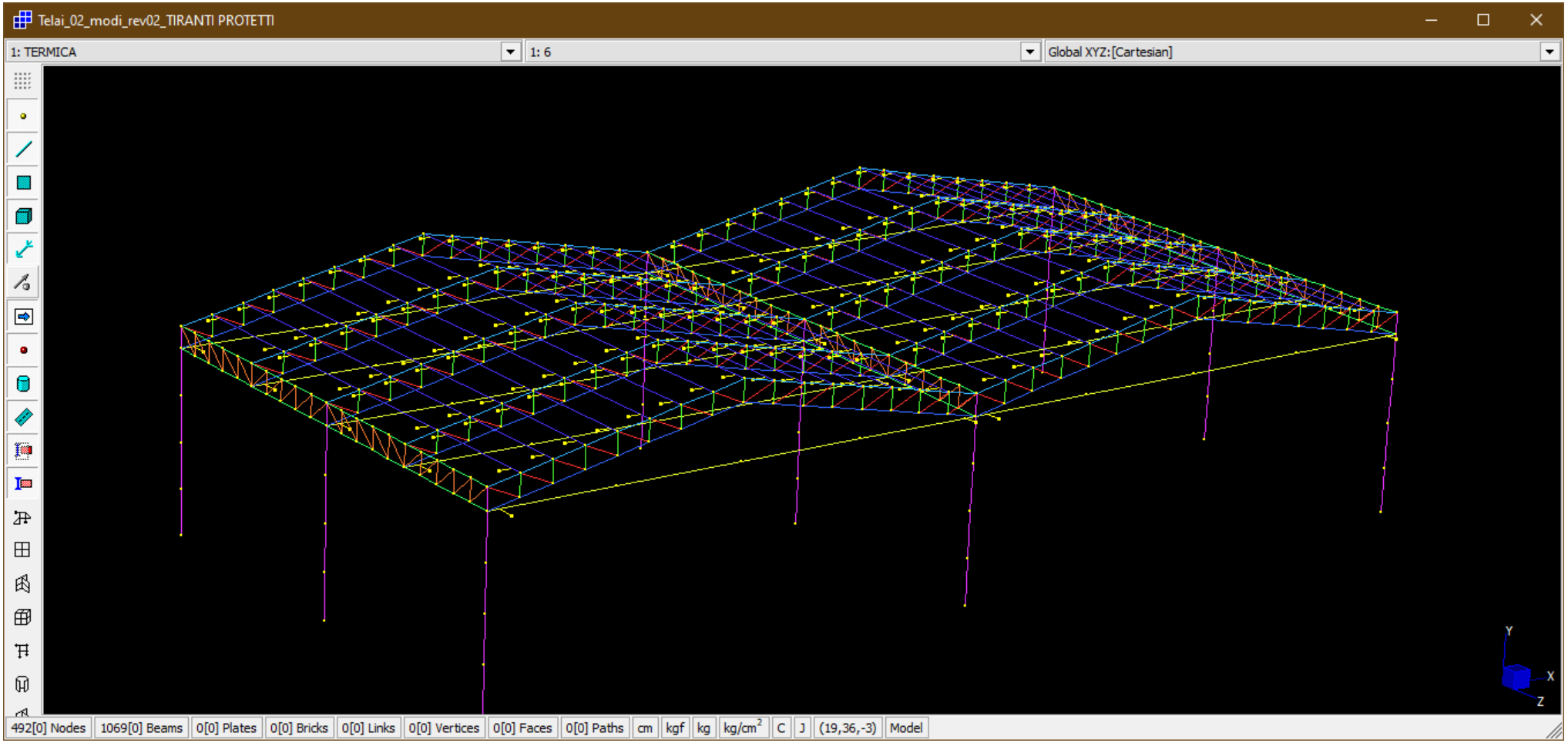
I due eventi sopra descritti rappresentano le principali tipologie di risposta delle travi soggette alla dilatazione termica e vincolate assialmente. Ognuna delle due può avere luogo in base alla snellezza della trave o alla combinazione fra instabilità e snervamento.

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

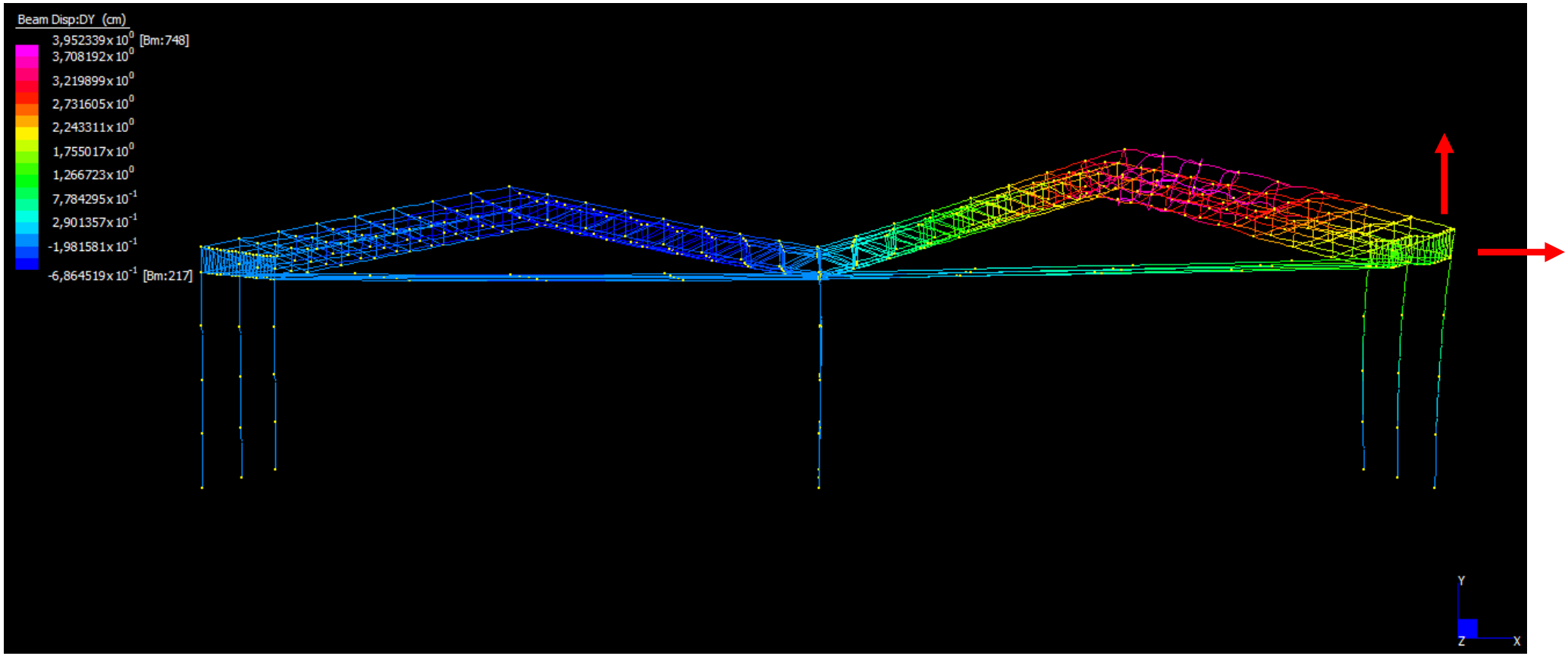
Le travi, ovviamente, non sono libere di allungarsi, come avviene nel caso della trave isostatica, così come non sono del tutto vincolate, come dimostra il precedente caso, il quale mostra un limite superiore impossibile da registrare: un caso più reale, infatti, avrebbe una considerazione finita dei vincoli di rigidezza



TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING



TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING



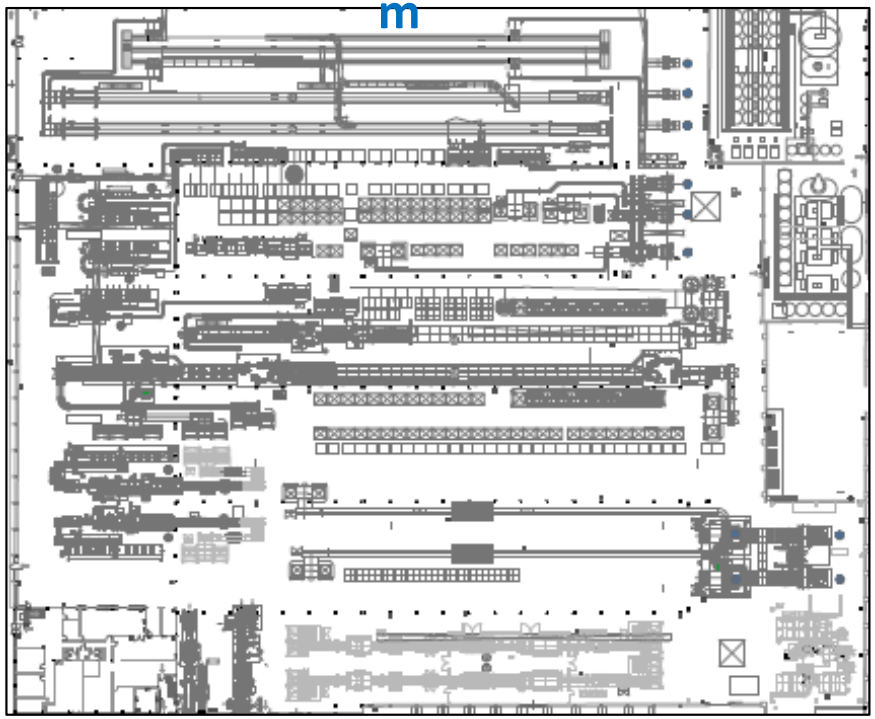
Fabbricato con lavorazione e materiale combustibile

L'Analisi del rischio sviluppata ha permesso di identificare i seguenti termini:

- R vita: A3
- R beni: 1
- R ambiente: non significativo

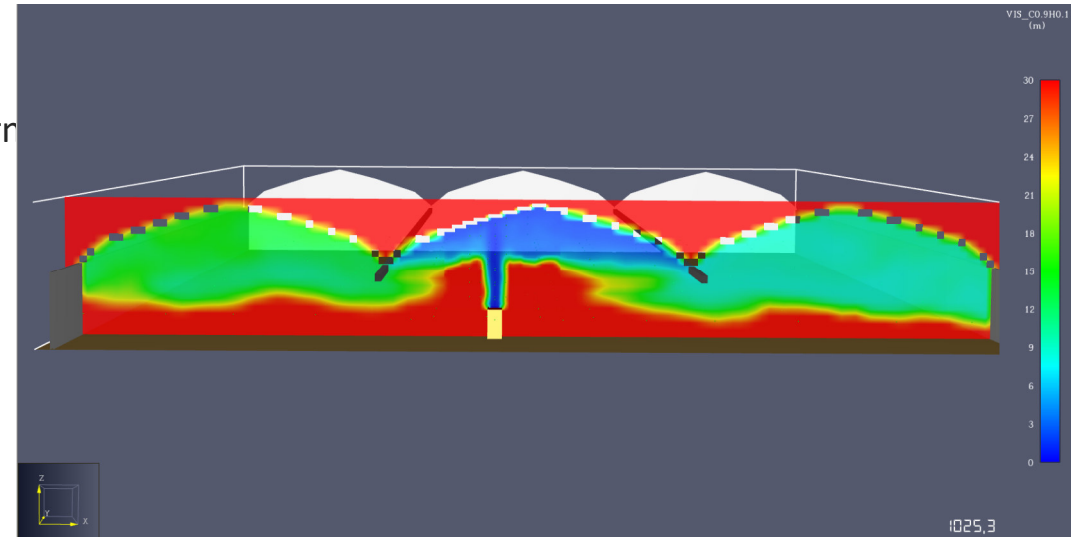
200 m

200 m



Fabbricato con lavorazione e materiale combustibile

1° STEP: Quale tempo hanno a disposizione gli **occupanti ed i soccorritori** intern per esodare o prestare il loro soccorso?



Questo valore rappresenta il termine **ASET**.

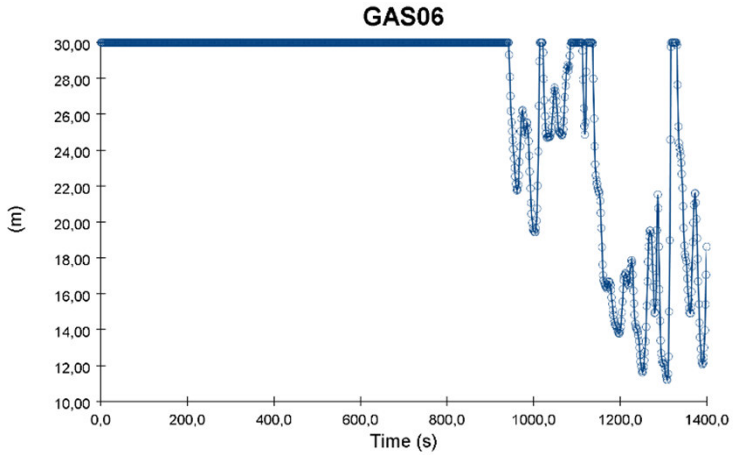
L'ASET è il valore nel quale gli effetti dell'incendio si mantengono sotto determinate **soglie di prestazione**

Fabbricato con lavorazione e materiale combustibile

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 < 100m²: 5 m	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 5 m Soccorritori n locali di superficie lorda < 100m²: 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/m²	ISO 13571:2012, per esposizioni inferiori a 30 minuti
		Soccorritori: 3 kW/m²	[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.

Tabella M.3-2: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo avanzato



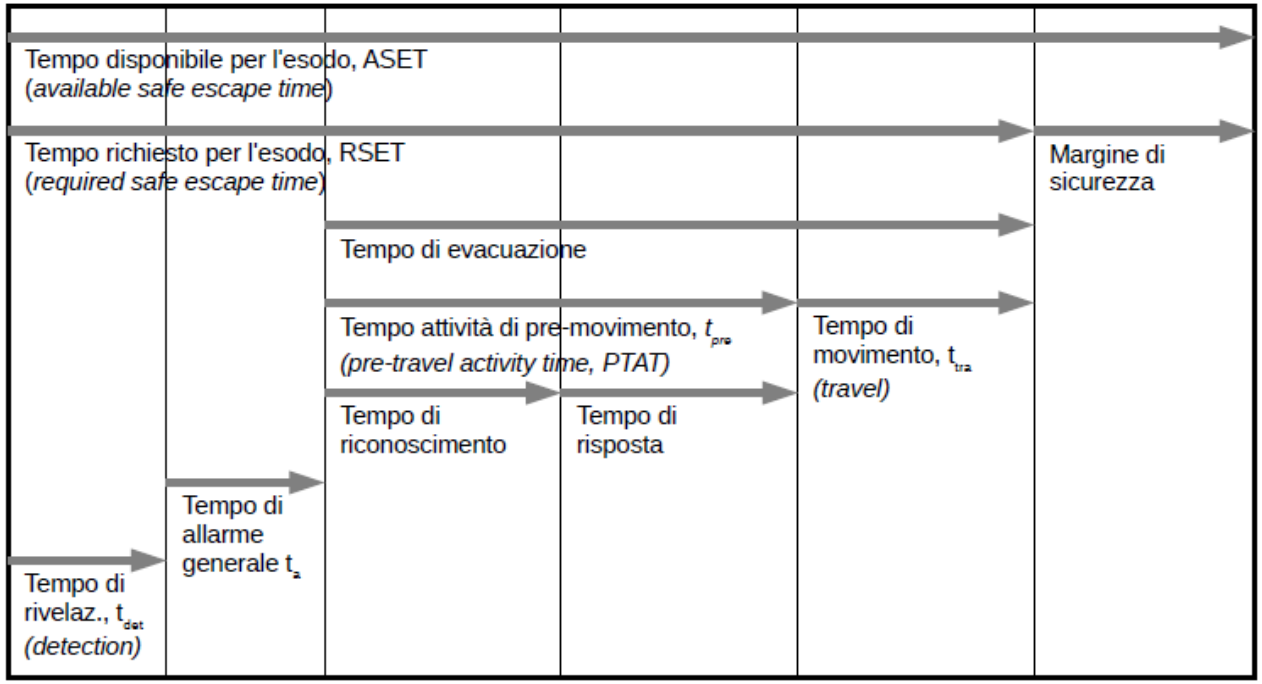
TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

ESODO

Il termine RSET è determinato da varie componenti, ovvero:

- il tempo di rivelazione (detection) t_{det};
- il tempo di allarme generale t_a;
- il tempo di pre-movimento (pre-travel activity time, PTAT) t_{pre};
- il tempo di movimento (travel) t_{tra}:

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra}$$



TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

TEMPO DI RIVELAZIONE

Il t_{det} è il tempo necessario al sistema di rilevazione automatico per accorgersi dell'incendio.

Viene calcolato con apposita modellizzazione numerica degli scenari d'incendio e del sistema di rivelazione. Tenuto conto che il sistema di rilevazione è estesa all'intera attività ed è di tipo manuale, ma gli operatori ricevuto adeguata formazione ed informazione antincendio si assume il seguente valore a favore di sicurezza:

$$\boldsymbol{t_{det} = 180\ s}$$

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

TEMPO DI ALLARME GENERALE

Il tempo t_a è quello che intercorre tra la rilevazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti, dell'allarme generale. Nell'edificio è previsto che la rilevazione attivi automaticamente l'allarme generale.

Quindi il tempo di allarme generale sarà dunque:

$$\boldsymbol{t_a = 0\ min}$$

ATTENZIONE:
Tutti questi valori devono essere presi in riferimento alle reali caratteristiche del sistema di allarme.
La UNI 9795 richiede al progettista di stabilire se la segnalazione dell'allarme debba essere garantita solo con la riproduzione sonora o anche quella luminosa.

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

Livello A1

Rivelazione automatica estesa a tutto l'edificio in grado di attivare un immediato allarme generale in ogni parte dell'edifico

$\Delta t_a = 0$

Se viene utilizzato un sistema di segnalazione verbale il tempo del messaggio dovrà essere aggiunto al tempo di allarme

Livello A2

Il sistema di rivelazione è collegato con un pre-allarme indirizzato in un luogo presidiato, che può quindi attivare l'allarme generale

Δt_a ha un certo ritardo (2 - 5 min)

Se viene utilizzato un sistema di segnalazione verbale il tempo del messaggio dovrà essere aggiunto al tempo di allarme

Livello A3

Sistema di rivelazione ed allarme solo nelle vicinanze del luogo in cui si è verificato l'incendio, con attivazione manuale dell'allarme

Δt_a risulta difficilmente stimabile

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

TEMPO DI ATTIVITÀ PRE-MOVIMENTO

Il tempo t_{pre} è il tempo necessario agli occupanti per svolgere una serie di attività che precedono il movimento vero e proprio verso il luogo sicuro. La letteratura indica che questa fase occupa spesso la maggior parte del tempo totale dell'esodo.

Il comportamento degli occupanti, in questa fase è rappresentabile in funzione dei seguenti tre parametri fondamentali:

- Qualità del sistema di allarme: (da A1 ad A3)
- Complessità dell'edificio: (da B1 a B3)
- Qualità della gestione dell'emergenza in caso di incendio: (da M1 a M3)

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

Parametri di descrizione dell'attività tratto da ISO/TR 16738	Tempi di attività di pre-movimento ISO/TR 16738	
	$\Delta t_{pre\ (1st)}$ primi occupanti in fuga	$\Delta t_{pre\ (99th)}$ ultimi occupanti in fuga
Esempio 1: albergo di media complessità • occupanti: *Ciii, sleeping and unfamiliar;* • sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; • complessità geometrica edificio: *edificio multipiano e layout semplice;* • gestione della sicurezza: *ordinaria.*	20'	40'
Esempio 2: grande attività produttiva • occupanti: *A, awake and familiar;* • sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; • complessità geometrica edificio: *edificio multipiano e layout complesso;* • gestione della sicurezza: *ordinaria.*	1' 30"	3' 30"
Esempio 3: residenza sanitaria assistenziale • occupanti: *D, sleeping and unfamiliar;* • sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; • complessità geometrica edificio: *edificio multipiano e layout semplice;* • gestione della sicurezza: *ordinaria;* • presenza di addetti in quantità sufficiente a gestire l'evacuazione dei diversamente abili.	5'	10'

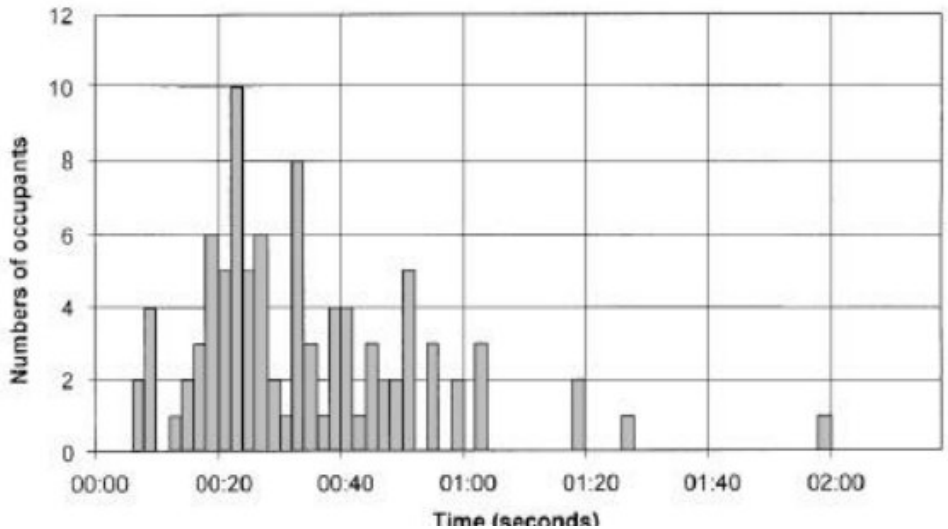
Tabella M.3-1: Esempi di valutazione del tempo di pre-movimento, tratto da ISO/TR 16738

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

PERGAMON
Safety Science 38 (2001) 157–182
www.elsevier.com/locate/ssci

Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations

D.A. Purser *, M. Bensilum
Fire Safety Engineering Centre, Building Research Establishment, Garston, Watford WD25 9XX, UK

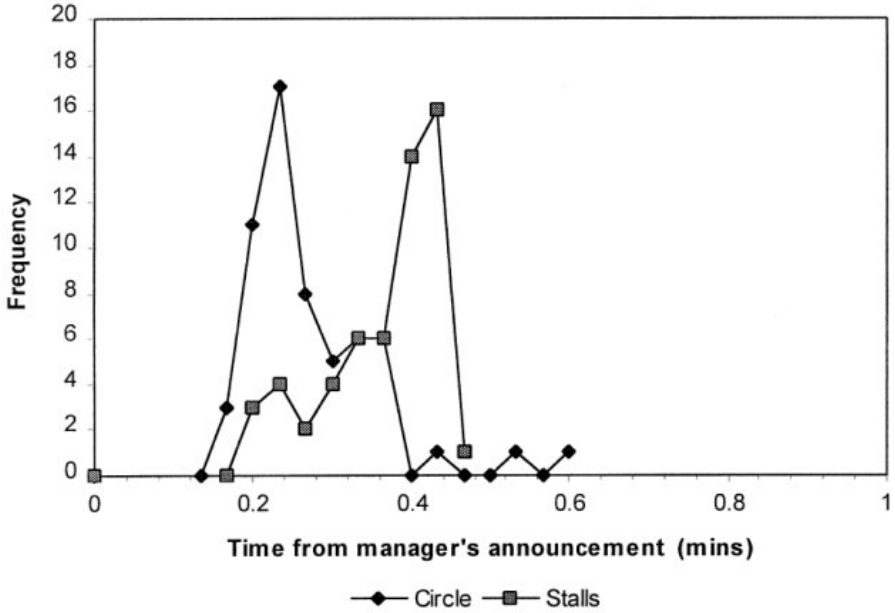


PERGAMON
Safety Science 38 (2001) 157–182
SAFETY SCIENCE
www.elsevier.com/locate/ssci

Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations

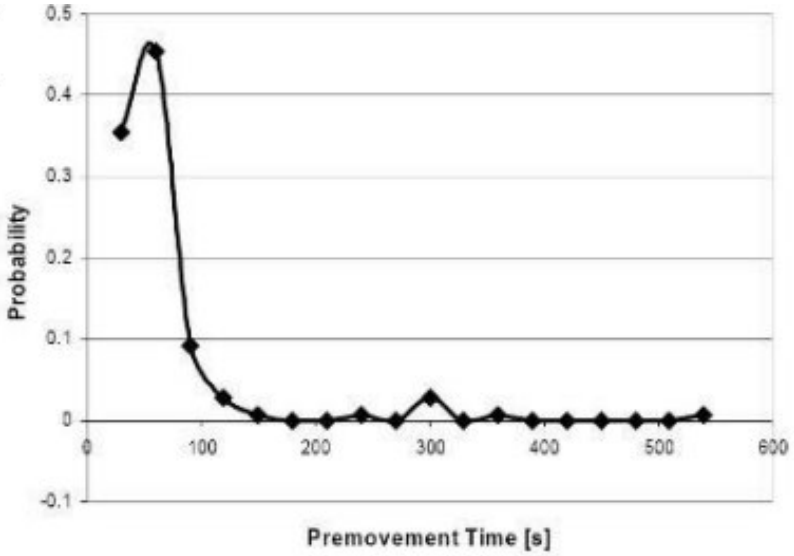
D.A. Purser *, M. Bensilum
Fire Safety Engineering Centre, Building Research Establishment, Garston, Watford WD25 9XX, UK

PRE-MOV

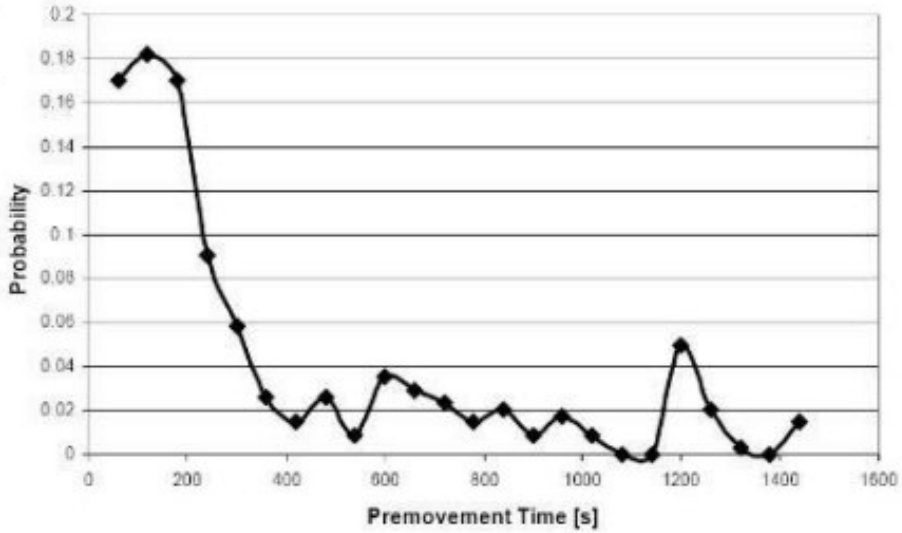


TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

Uffici



Edificio residenziale

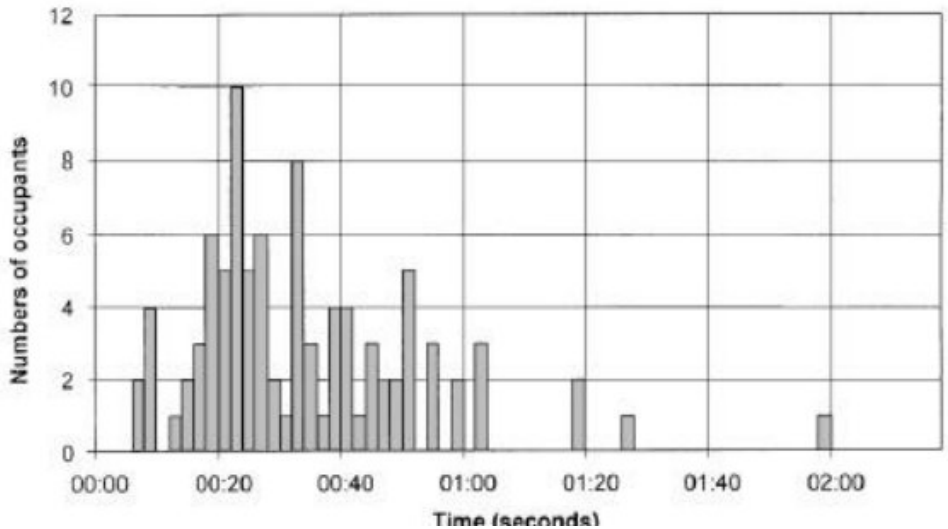


TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

PERGAMON
Safety Science 38 (2001) 157–182
www.elsevier.com/locate/ssci

Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations

D.A. Purser *, M. Bensilum
Fire Safety Engineering Centre, Building Research Establishment, Garston, Watford WD25 9XX, UK

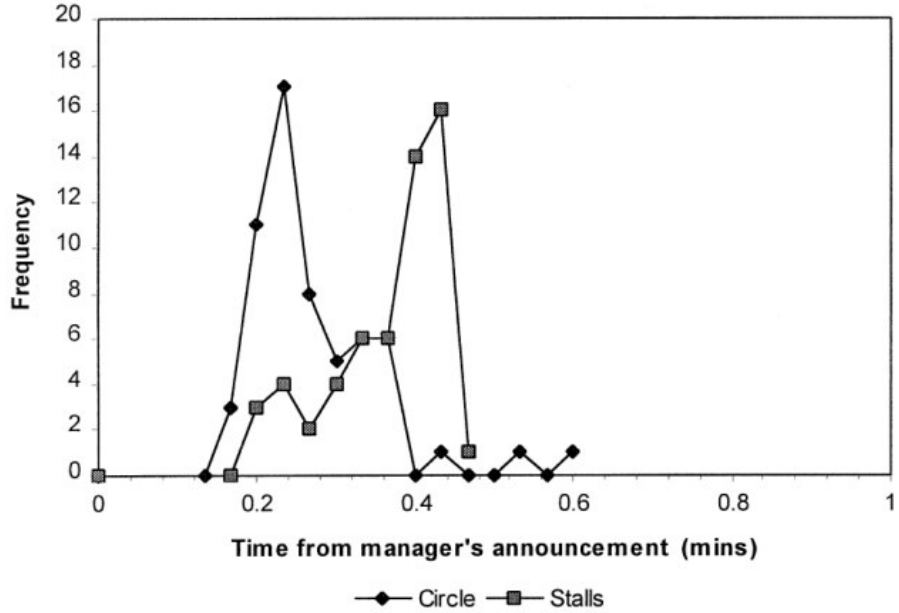


PERGAMON
Safety Science 38 (2001) 157–182
SAFETY SCIENCE
www.elsevier.com/locate/ssci

Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations

D.A. Purser *, M. Bensilum
Fire Safety Engineering Centre, Building Research Establishment, Garston, Watford WD25 9XX, UK

PRE-MOV



TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

S.4.5.8 Segnaletica d'esodo ed orientamento

1. Il sistema d'esodo (es. vie d'esodo, i luoghi sicuri, gli spazi calmi, ...) deve essere facilmente riconosciuto ed impiegato dagli occupanti grazie ad apposita *segnaletica di sicurezza*. Ciò può essere conseguito anche con ulteriori *indicatori ambientali* quali:
   a. accesso visivo e tattile alle informazioni;
   b. grado di differenziazione architettonica;
   c. uso di segnaletica per la corretta identificazione direzionale, tipo UNI EN ISO 7010 o equivalente;
   d. ordinata configurazione geometrica dell'edificio, anche in relazione ad allestimenti mobili o temporanei.
2. La segnaletica d'esodo deve essere adeguata alla complessità dell'attività e consentire l'orientamento degli occupanti (*wayfinding*). A tal fine:
   a. devono essere installate in ogni piano dell'attività apposite planimetrie semplificate, correttamente orientate, in cui sia indicata la posizione del lettore (es. *"Voi siete qui"*) ed il *layout* del sistema d'esodo (es. vie d'esodo, spazi calmi, luoghi sicuri, ...). A tal proposito possono essere applicate le indicazioni contenute nella norma ISO 23601 *"Safety identification - Escape and evacuation plan sign"*.
   b. possono essere applicate le indicazioni supplementari contenute nella norma ISO 16069 *"Graphical symbols - Safety signs - Safety way guidance systems (SWGS)"*.

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

ORIENTAMENTO

Processo tramite il quale una persona all'interno di uno spazio è in grado di dire dove si trova.

WAYFINDING

Capacità di comprendere come è possibile, da un dato punto, raggiungere una data destinazione.

"Il wayfinding può essere definito come "l'atto di trovare la propria strada per un luogo", e il wayfinding design come "l'arte di aiutare le persone a trovare la propria strada"."

(Pilozzi, 2004)

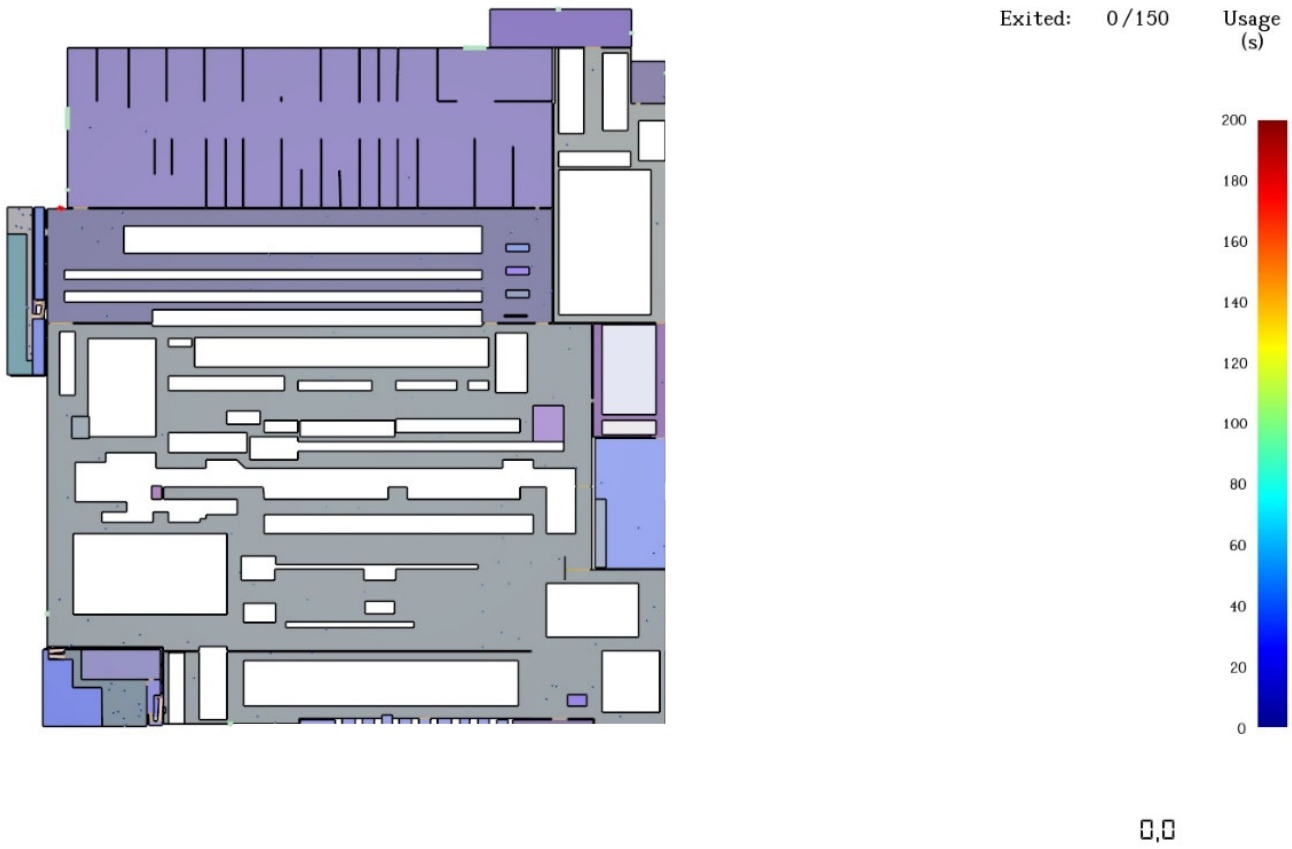
TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

TEMPO DI MOVIMENTO

Il tempo t_{tra} è il tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro dal termine delle attività di pre-movimento appena descritte.
Si impiega per il calcolo del tempo di movimento il risultato della modellazione dell'esodo tramite software di calcolo basato sulla base del "*modello idraulico*", mentre per quanto riguarda le caratteristiche degli occupanti consideriamo le seguenti:

	Velocità (m/s)	Larghezza (m)	Altezza (m)	Percentuale (%)
Adulti	1.19	0,46	1,83	100

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING



VIDEO RIPRODUZIONE

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

In definitiva, si definisce come tempo RSET:

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra}$$

$$RSET = 180 + 0\ sec + 180\ sec + 105{,}5\ \text{sec} = 465{,}5\ \text{sec} \simeq 8\ min$$

Siccome la capacità portante deve essere comunque tale da garantire un margine di sicurezza $t_{marg} \geq 100\% \cdot RSET$ e comunque ≥ 15 minuti (paragrafo M.3.2.2).

$$\mathbf{100\%RSET = 931\ sec \simeq 15{,}5\ min}$$

La verifica risulta soddisfatta se e solo se il valore ASET, ottenuto dai grafici dei risultati della modellazione fluidodinamica, è superiore al 100%RSET.

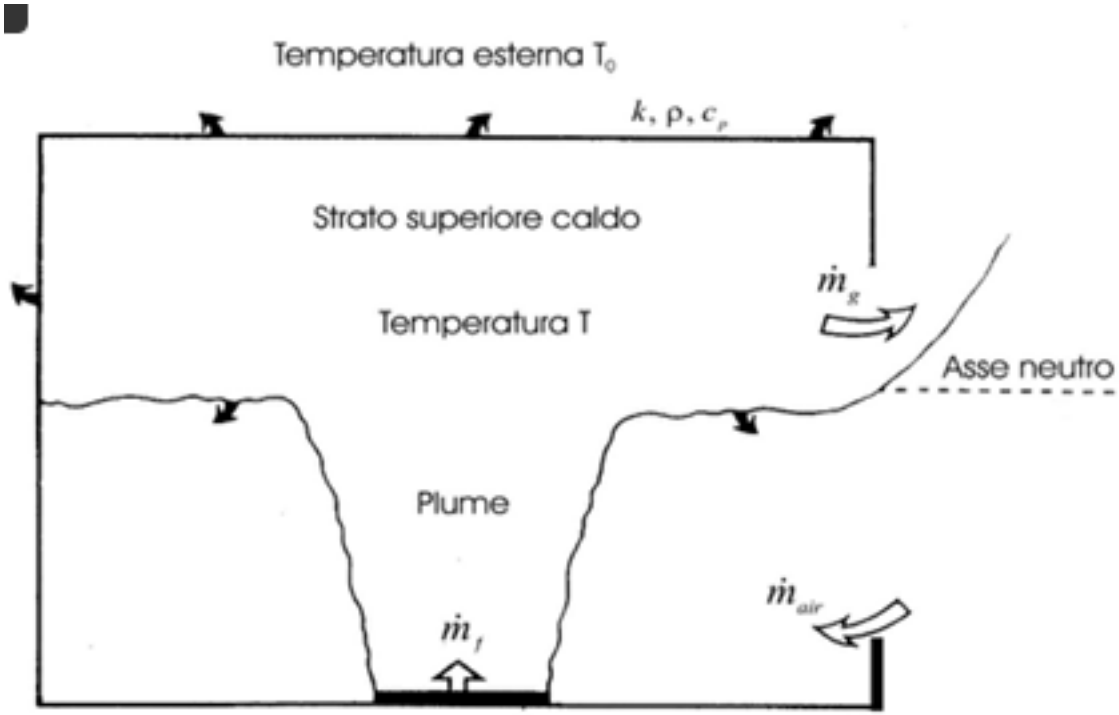
ASET > 100%RSET
1250 sec > 931 sec

La verifica può dirsi soddisfatta.

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

CONTROLLO FUMI E CALORE

Per comprendere il regime dei flussi gassosi all'interno di un compartimento dove si è sviluppato un incendio è necessario modellizzare il medesimo riducendolo ad un volume di controllo dove poi effettuare i bilanci di massa e di quantità di moto



TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

In queste ipotesi, le equazioni di Eulero possono essere integrate lungo una linea di flusso, conducendo all'equazione di Bernoulli, nella forma:[2]

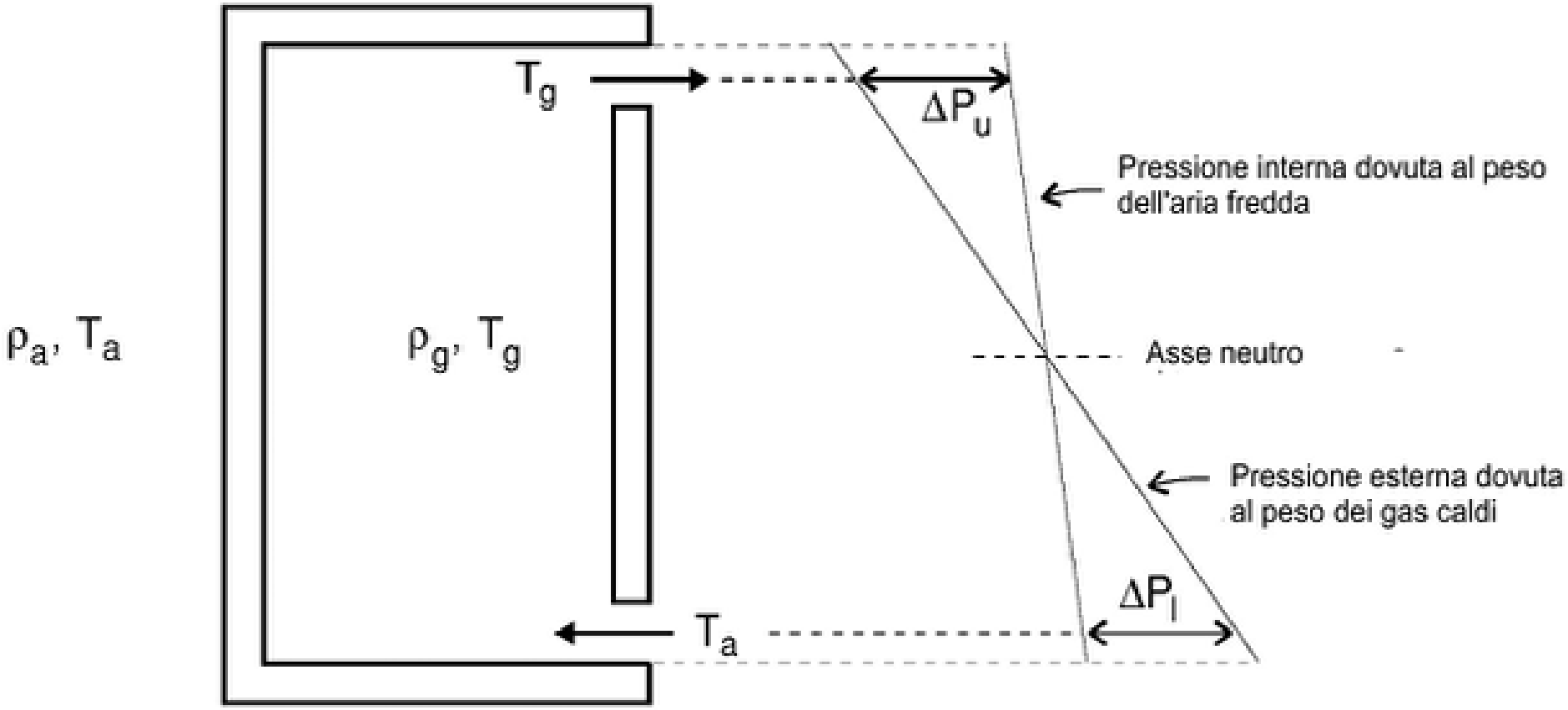
$$p + \rho \frac{u^2}{2} + \rho g h = \text{costante}$$

in cui:

- ρ è la densità del fluido.
- u rappresenta la velocità di deriva lungo la linea di flusso,
- g è il campo medio, nelle applicazioni più frequenti diventa l'accelerazione di gravità,
- h è la quota potenziale media della sezione,
- p rappresenta la pressione di tipo statico lungo la linea di flusso.

La costante che si trova ha le dimensioni di una pressione e per questo motivo viene anche chiamata pressione generalizzata[2]. L'equazione di Bernoulli evidenzia anche che se tra due punti qualsiasi del tubo c'è una differenza di pressione, allora ci sarà una conseguente variazione della velocità in quegli stessi punti: se la pressione diminuisce la velocità aumenta e, viceversa, se la pressione aumenta la velocità deve diminuire. Questo fenomeno è chiamato effetto Venturi.[3]

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING



TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

Si possiamo fare le seguenti ipotesi:

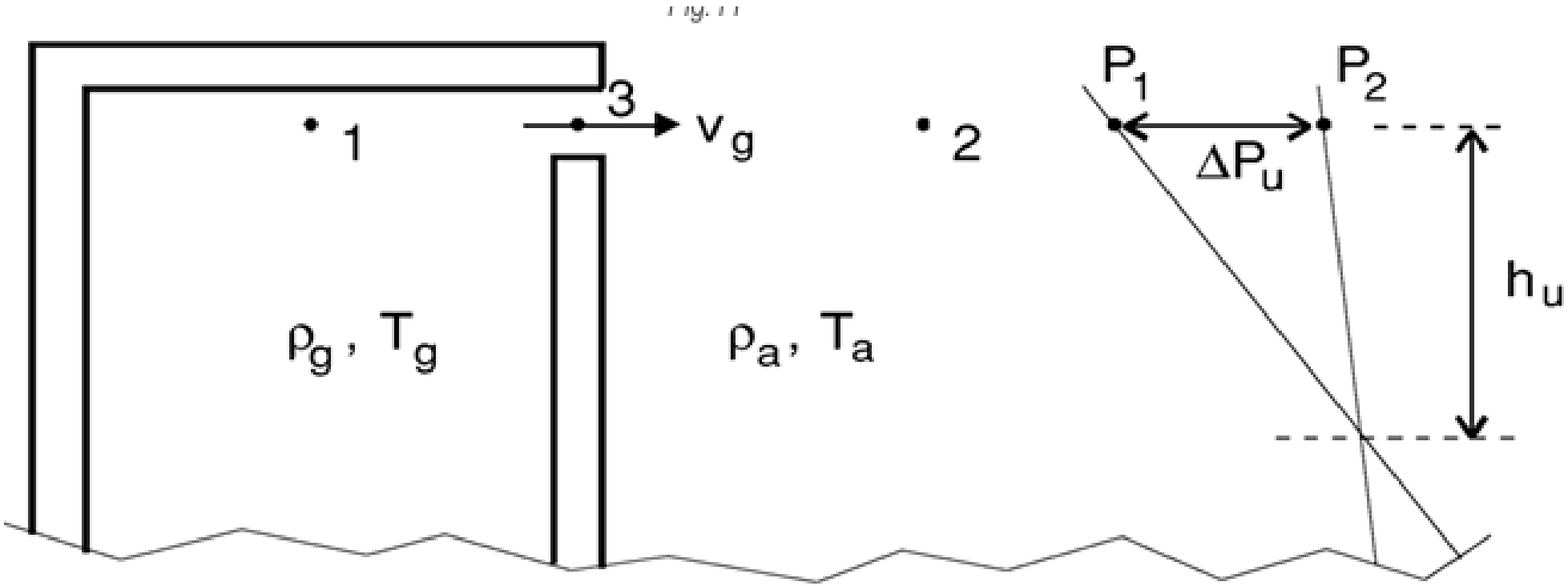
- si applica l'equazione di Bernoulli;
- l'apertura si comporta come un collegamento con l'esterno;
- il flusso parte da fermo;
- la densità è costante lungo una linea di flusso;
- le pressioni sono di tipo statico
- non ci sono perdite dovute ad attrito nel sistema.

Si ricorda che la conservazione dell'energia (quantità di moto) può essere espressa mediante l'equazione di Bernoulli

$$P_1 + \frac{1}{2} v_1^2 \rho_1 + h_1 \rho_1 g = P_2 + \frac{1}{2} v_2^2 \rho_2 + h_2 \rho_2 g$$

L'uso di tale equazione ovviamente implica che i fluidi in gioco sono considerati incomprimibili, assunzione ragionevole nell'ambito dell'incendio.

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING



Ponendo uguale a zero le velocità nei punti (1) e (2) il termine relativo alla pressione idrostatica tra questi due punti può essere scritto come

$$\Delta P_u = P_1 - P_2 = h_2 \rho_2 g - h_1 \rho_1 g$$

rappresenta il gradiente della pressione idrostatica attraverso l'apertura.

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

Il passo successivo del modello è correlare tale gradiente con la velocità del fluido attraverso l'apertura in modo da poterne calcolare le portate di massa. In questo caso prendiamo come riferimento il punto (1) ed il punto (3) e riscriviamo l'equazione di Bernoulli:

$$P_1 + \frac{1}{2} v_1^2 \rho_1 + h_1 \rho_1 g = P_3 + \frac{1}{2} v_3^2 \rho_3 + h_3 \rho_3 g$$

Possiamo fare le seguenti osservazioni:

- la velocità del gas nel punto (1) è pari a zero, per precedente ipotesi;
- la densità del gas nel compartimento è uguale a quella nel punto (3) così che ρ1= ρ3= ρg
- l'altezza dei punti (1) e (3) dal piano neutro è la stessa così che h1=h3=hu e scrivere in modo semplificato che

$$P_1 - P_3 = \frac{1}{2} v_3^2 \rho_3$$

$$\Delta P_u = h_u \left(\rho_a - \rho_g \right) g = \frac{1}{2} v_g^2 \rho_g$$

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

Da tale relazione si ricava facilmente la velocità dei gas attraverso l'apertura

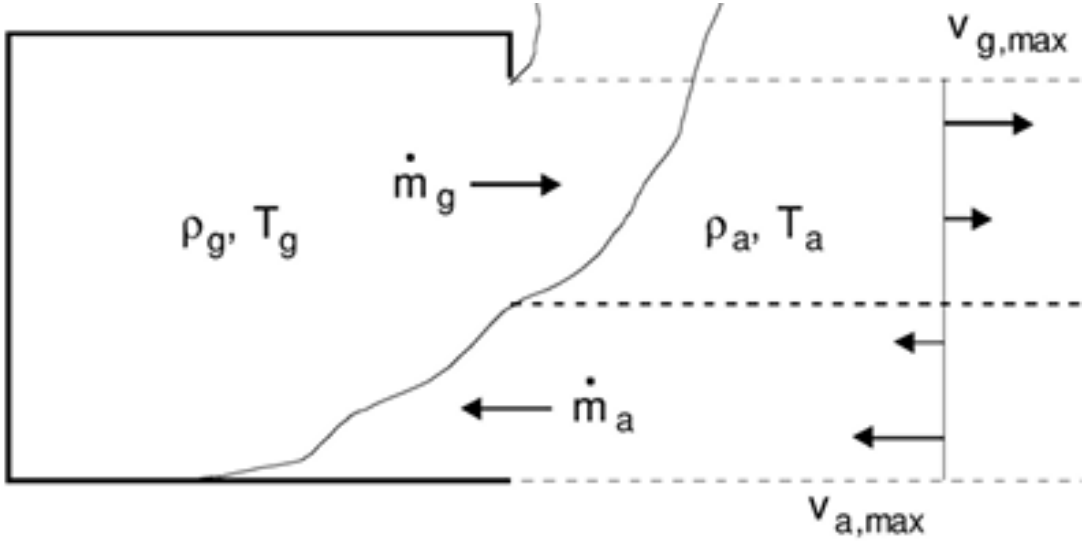
$$v_g = \sqrt{\frac{2h_u\left(\rho_a - \rho_g\right)g}{\rho_g}}$$

In maniera analoga si procede per derivare l'espressione relativa ad una apertura posta inferiormente. Ovviamente occorre considerare che il nostro riferimento è il piano neutro e pertanto l'altezza da l centro dell'apertura inferiore a tale piano ha valore negativo pari a hl.

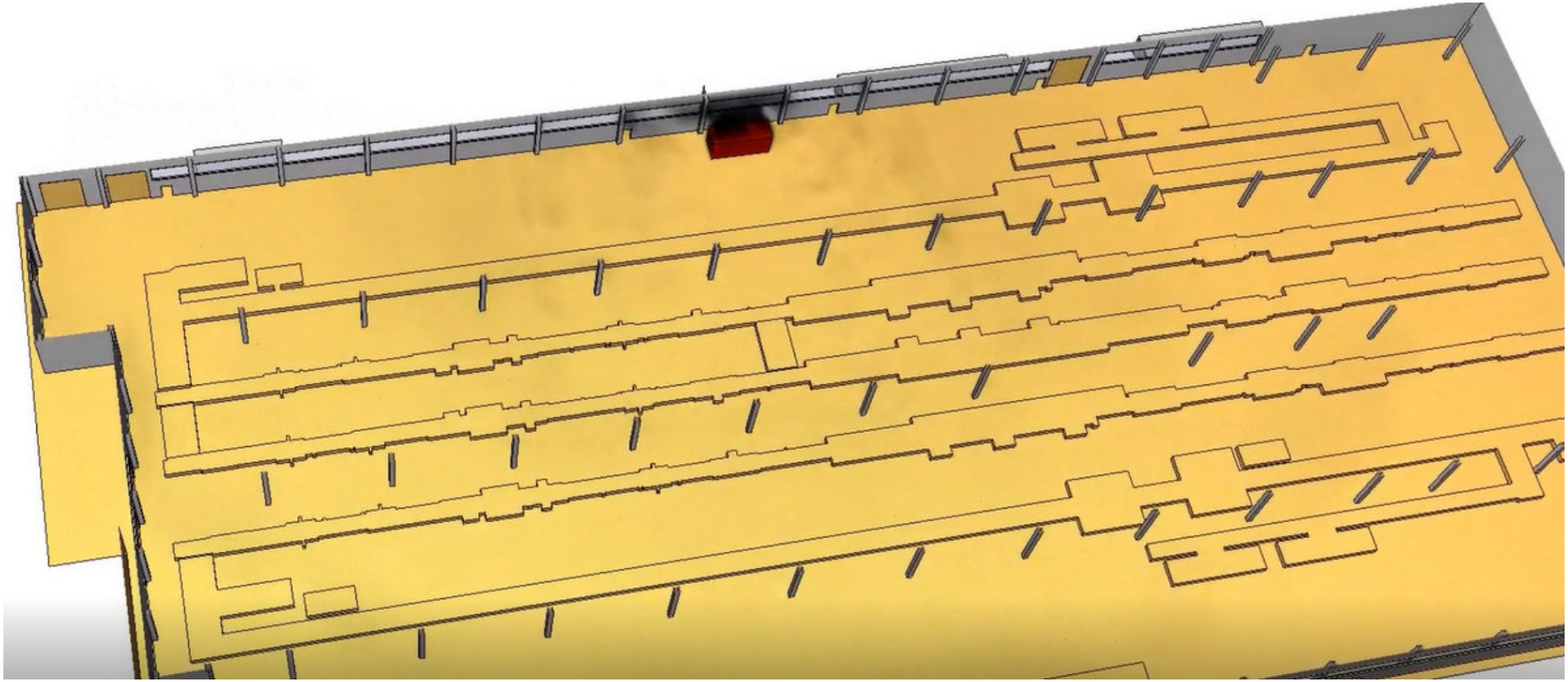
Questo conduce ad un gradiente negativo della pressione idrostatica che indica che l'aria fresca di richiamo è aspirata al contrario dei gas caldi che sono spinti al di fuori del compartimento.

TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING

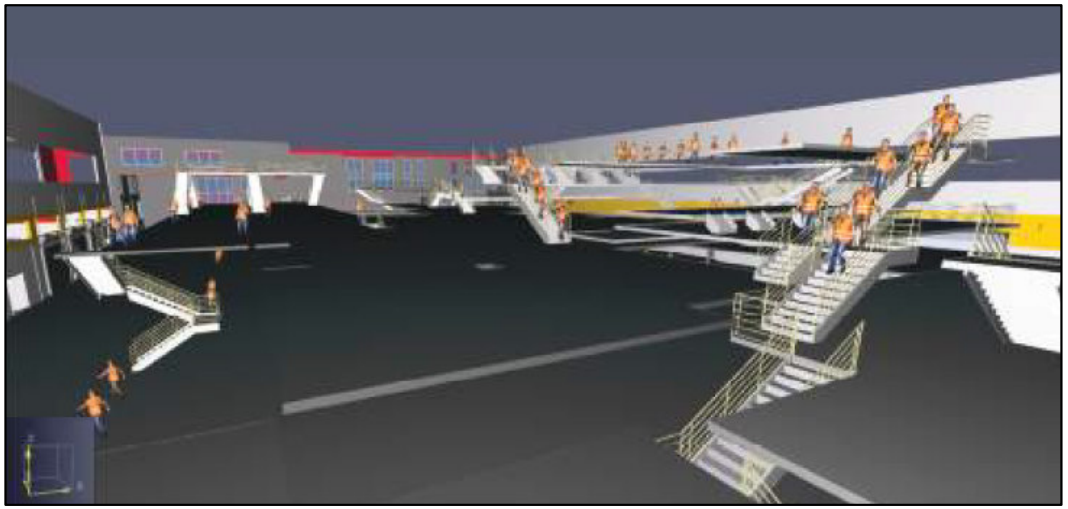
Le relazione viste nella sezione precedente sono di ordine generale e si applicano bene quando l'incendio non ha ancora raggiunto il flashover e quindi è possibile parlare di modello a due zone: una zona inferiore in cui arriva l'aria fresca di richiamo d una zona superiore dove si stratificano i fumi e gas caldi. Quando invece il compartimento entra nella fase di incendio generalizzato la portata di effluenti gassosi aumenta moltissimo ed "occupa" la maggior parte dell'area di ventilazione disponibile. Pertanto la portata d'aria in entrata si stabilizza su un minimo ed il compartimento si satura di fumo fino quasi a terra. Si realizza così un ambiente in cui aria e fumo sono perfettamente miscelati e dove non esiste più l'interfaccia tra fumo ed aria di richiamo.

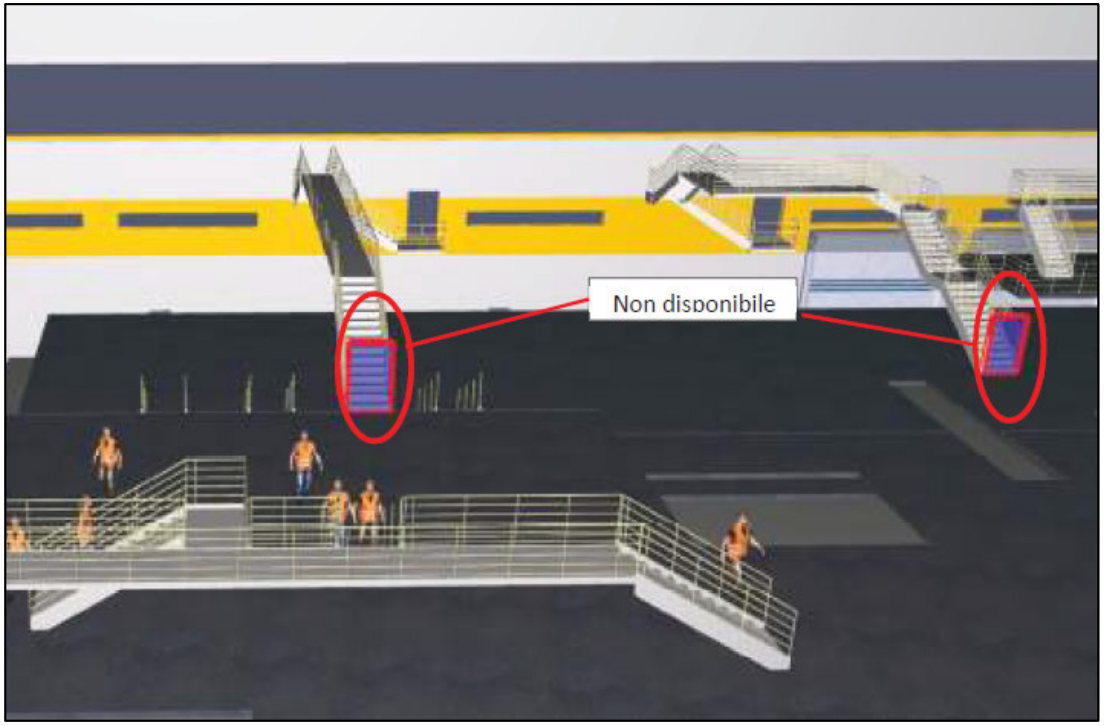


TEORIA DELLA FIRE SAFETY ENGINEERING



DHL




Non disponibile

La verifica del sistema di controllo dei fumi e del calore viene condotto nel rispetto dei soliti obiettivi di salvaguardia degli occupanti e dei soccorritori.

Il risultato finale è stato:

- **Inserimento di EFC in quantità pari al 20% di quelli richiesti dalla UNI 9494 con metodo analitico semplificato;**
- **Eliminazione dei serbatoi a soffitto.**

L'impatto economico della soluzione adottata è stato vantaggioso per la committenza in quanto:

- Riduzione dei costi di adeguamento del sistema di controllo fumo e calore pari all'85%;
- L'installazione di un numero limitato ha richiesto una chiusura dell'attività per un tempo limitato;

La committenza ha comunque raggiunto il CPI ed il Livello di Prestazione III richiesto dal normatore.

CONTACT

Ing. Daniele Andriotto
Fire Safety Engineer
C. 393 5283518
andriottodaniele@gmail.com

Articoli **INGENIO**
https://www.ingenio-web.it/autori/andriotto-daniele

Articoli **RIVISTA ANTINCENDIO**
https://www.insic.it/prevenzione-incendi