Ordine degli Ingegneri
della provincia di Modena

Fire Safety Engineering

Terzo Modulo: ESERCIZI DI F.S.E. SVILUPPATI SENZA L'UTILIZZO DI SOFTWARE

Mercoledì, 4.10.20213
16:30 – 18:30

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

ESERCIZI DI F.S.E. SVILUPPATI SENZA L'UTILIZZO DI SOFTWARE

ore 14.00 – 18.00

- Fare F.S.E. con calcoli a mano senza il ricorso a programmi di calcolo
- Metodo di calcolo manuale per la Resistenza al fuoco delle Strutture
- Metodo di calcolo manuale per l'Esodo"
- Metodo di calcolo manuale per il Controllo Fumi dei fumi e del calore
- Introduzione - Calcolo della Potenza Termica Rilasciata dall'incendio (RHR)
- Definizione Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio (lenta, media, fast, ultra-fast)
- Metodo di calcolo manuale per la compartimentazione verso altre attività.

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo.

M.1.9 DEL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI
Criteri di scelta e d'uso dei modelli e dei codici di calcolo

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.

Allo stato attuale i modelli più frequentemente utilizzati sono:

a. modelli analitici

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

a. modelli numerici tra cui:

i. **modelli di simulazione dell'incendio a zone per ambienti confinati**
Ad esempio, codici di calcolo CFAST, Ozone, …

ii. **modelli di simulazione dell'incendio di campo**
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**
Ad esempio, codici di calcolo Abaqus, Adina, Ansys, Diana, Safir, …

CAMPO DI APPLICAZIONE !!

Nel loro campo di applicazione, i modelli analitici garantiscono stime accurate di effetti specifici dell'incendio (es. il calcolo del tempo di *flashover* in un locale).

Per analisi più complesse che coinvolgano interazioni dipendenti dal tempo di più processi di tipo fisico e chimico presenti nello sviluppo di un incendio si ricorre generalmente ai modelli numerici.

PARAMETRI DI INPUT!!

Per i parametri di input del modello più rilevanti deve essere svolta **analisi di sensibilità** dei risultati alla variazione del parametro di input.

Ad esempio, i risultati dell'analisi non devono essere significativamente dipendenti dalle dimensioni della griglia di calcolo.

Ad esempio:

- Raddoppio gli occupanti e valuto la variazione di tempo di movimento.
- Dimezzo i carichi statici della combinazione eccezionale e valuto il tempo di collasso della struttura.

UTILIZZO DI PIU' METODI !!

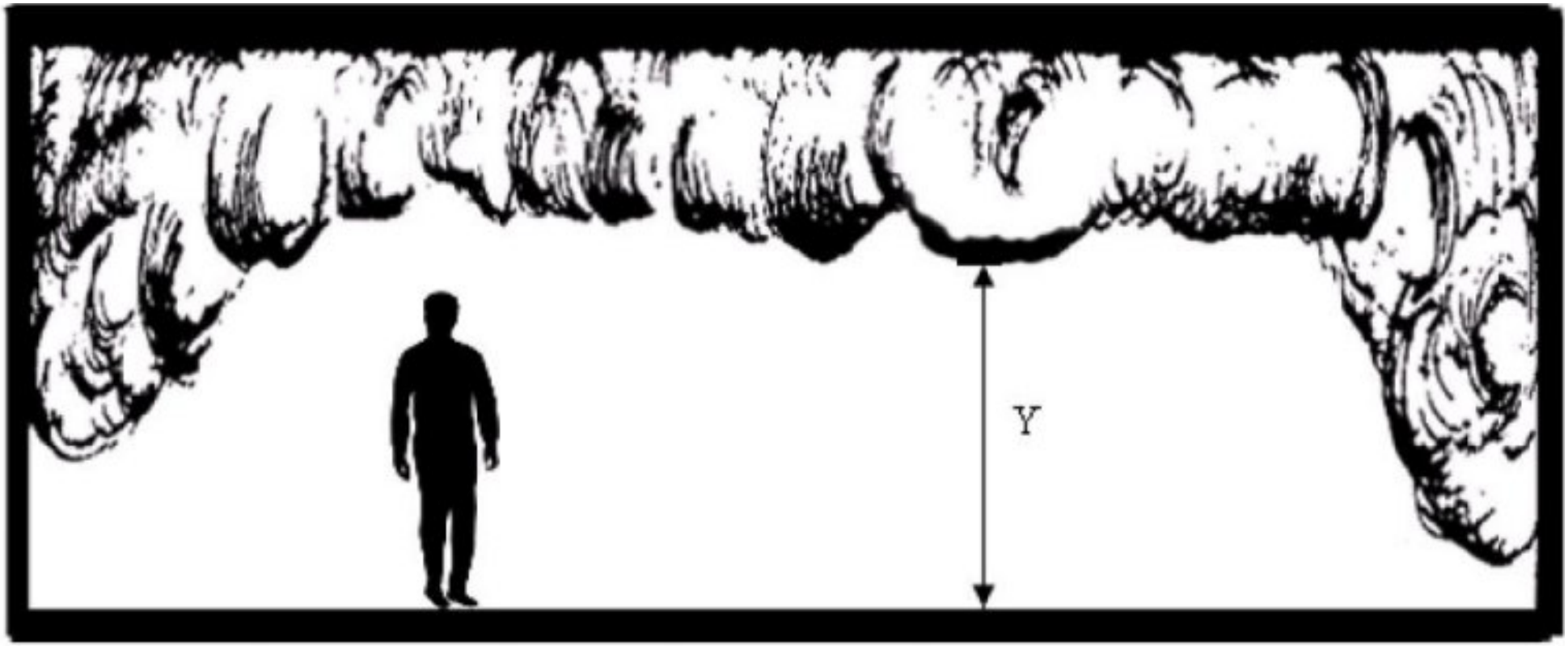
È ammesso l'utilizzo contemporaneo di più tipologie di modelli. Ad esempio:

a. si possono usare modelli specifici per la valutazione del tempo di attivazione di un impianto di rivelazione o di spegnimento e della rottura di un vetro in funzione della temperatura, per poi inserire i dati ricavati in una modellazione effettuata con modelli di campo;
b. b. si può utilizzare un modello a zone per valutare in una prima fase le condizioni di maggiore criticità del fenomeno, per poi approfondire la trattazione degli effetti con modelli di campo.

Il professionista deve valutare, ad esempio, che il prgorammadi calcolo C-FAST può esereutilizzato solo per incendi generalizzati e che, in caso contrario, il valore dello strato caldo dei fumi è sottostimato.

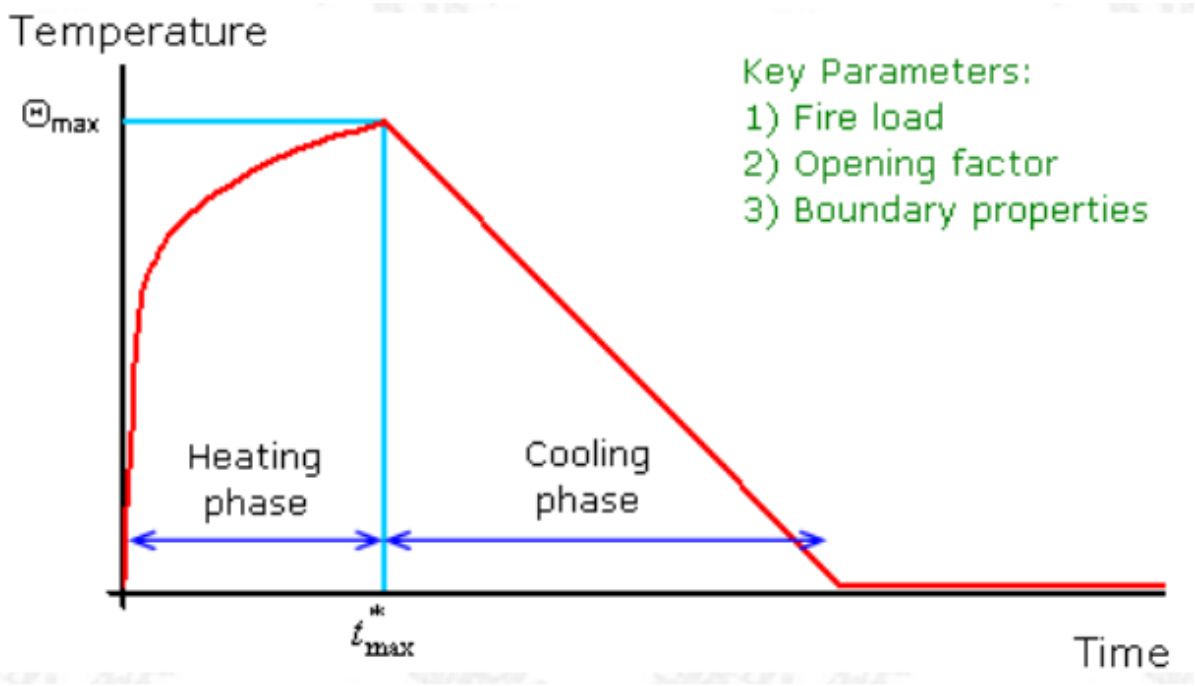
CFAST

è un modello di calcolo a zone, sviluppato dal National Institute of Standards and Technology (NIST). CFAST calcola la distribuzione e l'evoluzione del fumo e dei gas di combustione nelle due zone in cui suddivide l'ambiente.



CURVA PARAMETRICA

L'intensità (Θmax) e durata (tmax) del fuoco saranno i principali fattori che influenzano il comportamento di una struttura esposta al fuoco.
Limitazioni:
- superficie massima del compartimento 500m2;
- altezza massima di 4 m;
- tetto senza aperture;
- carichi di incendio di tipo prevalentemente cellulosico;
- pareti con inerzia termica tra 100 e 2200 J/m2s1/2K.



Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

ESODO: Stima secondo calcolo manuale su modello idraulico

Il lasso di tempo necessario a raggiungere un luogo sicuro è definito sia dalla velocità con cui viene percorso il tratto di via di esodo interessata da ciascun occupante, ma anche dal numero degli altri occupanti che utilizzano la stessa via di esodo e dai tempi di attesa che si creano in corrispondenza di restringimenti lungo la via di esodo come il passaggio attraverso una via di esodo.

Questi fattori possono variare in maniera sostanziale la durata del percorso per raggiungere un luogo sicuro.

Queste influenze, sia l'interazione con gli altri occupanti sia i rallentamenti dovuti a restringimenti lungo la via di esodo, possono essere calcolati tramite:

- software di calcolo;

In alternativa:

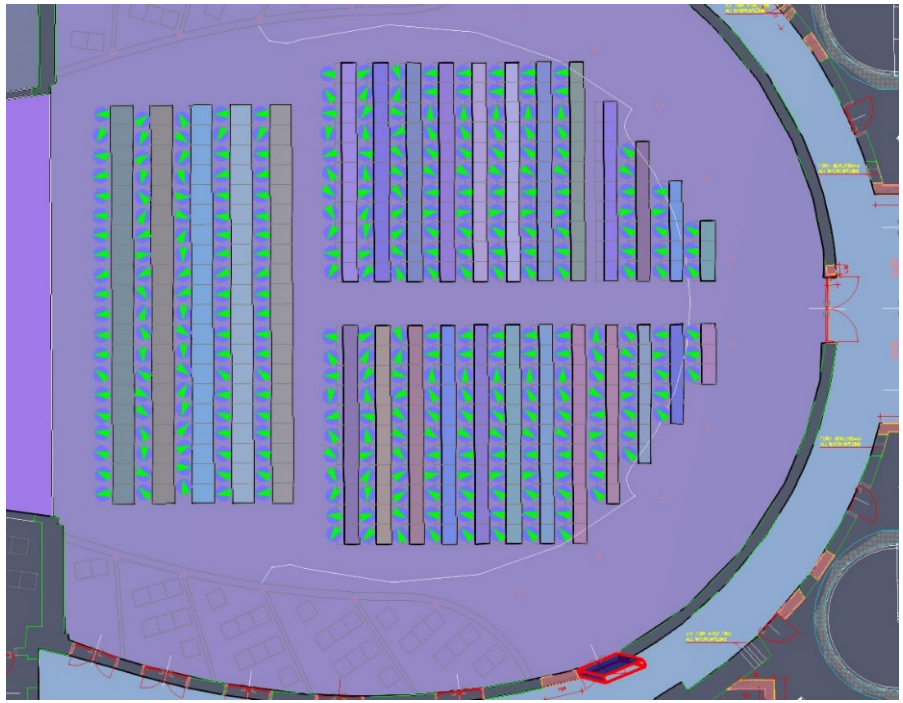
- tramite i seguenti passaggi di calcolo.

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

ESODO: Stima secondo calcolo manuale su modello idraulico

Si riporta il caso studio: TEATRO CON PLATEA CONTENENTE 320 pp.

20 Posti a sedere per fila, spazio tra le file 50 cm e passaggio tra file bidirezionale fuga



11 Posti a sedere per fila, spazio tra le file 45 cm e passaggio tra file bidirezionale fuga

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

ESODO: Stima secondo calcolo manuale su modello idraulico

Estratto Codice Prevenzione Incendi S.4.5.11:

S.4.5.11 Disposizione dei posti a sedere fissi e mobili

1. I posti a sedere (*sedili*) devono essere raggruppati in *settori* separati l'uno dall'altro mediante *passaggi tra i settori* longitudinali e trasversali. Tali passaggi tra i settori devono essere dimensionati come vie d'esodo oppure, se ogni settore contiene non più di 300 posti, avere larghezza ≥ 1200 mm.
2. I passaggi tra le file di sedili devono essere compresi nel computo della *lunghezza d'esodo* e di *corridoio cieco*, in quanto porzioni di via d'esodo.
3. La larghezza dei *passaggi tra le file di sedili* deve consentire il facile movimento in uscita degli occupanti. Tale larghezza è misurata orizzontalmente tra le massime sporgenze dei sedili. Se i sedili sono automaticamente ribaltabili la misura è effettuata con la seduta in posizione alzata.

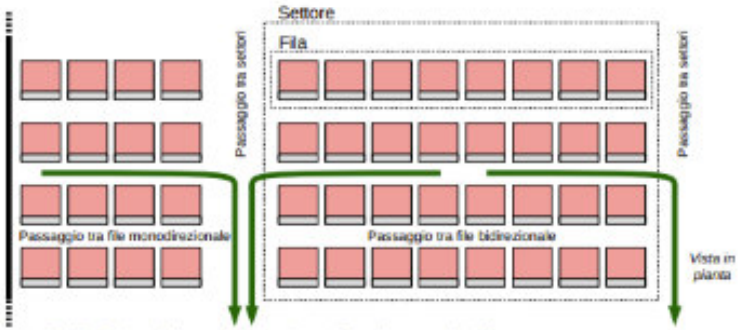


Illustrazione S.4-3: Disposizione dei posti a sedere in settori e file

Misure di massima per il calcolo dell'affollamento massimo struttura teatro:

- metri quadri sul quale si sviluppa l'intervento: 380mq.
- Densità: 1,2pp/mq
- persone in progetto: 320 pp

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

ESODO: Stima secondo calcolo manuale su modello idraulico

Il **MODELLO IDRAULICO** (in analogia al comportamento idraulico dei fluidi), è basato su:

- larghezza effettiva delle vie d'esodo, We;
- densità di affollamento, D;
- velocità di movimento v degli occupanti lungo il percorso;
- flusso specifico Fs;
- flusso calcolato Fc;
- tempo di passaggio tp.

Weff : porzione della larghezza di una via di uscita effettivamente utilizzata dall'occupante. L'ampiezza della via di esodo deve essere corretta, misurandola al netto dello spazio inutilizzato, si sceglie pertanto di approssimare la larghezza efficace Weff come segue:

$$W_{eff} \approx 70\% \cdot W$$

dove W e la larghezza geometrica della via d'esodo.

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

ESODO: Stima secondo calcolo manuale su modello idraulico

D: Massimo numero prevedibile di persone presenti per unità di superficie lungo le vie d'esodo [pers/m2]. Nel modello idraulico equivale alla densità del fluido.

v: velocità di movimento funzione della densità di affollamento D:

$$v = k * (1 - a * D)$$

Con a= 0.266 m2/pers e k :

Elemento della via di esodo		k (m/s)
Corridoi, spazio tra due file di panche, rampe, porte		1.4
Scale		
Alzata (cm)	*Pedata (cm)*	
19.0	25.4	1
17.8	27.9	1.08
16.5	30.5	1.16
16.5	33.0	1.23

- v=k*(1-a*D)=1,4*(1-0,266*1,2)=0,953 m/s

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

ESODO: Stima secondo calcolo manuale su modello idraulico

Per bassa densità di affollamento:

$$ttra = \frac{Les}{v}$$

In realtà, quando gli occupanti di edifici densamente affollati fuggono lungo le vie di esodo, si formano file nei restringimenti.

Per alta densità di affollamento, il tempo di movimento che l'i-esimo occupante impiega per percorrere la via di esodo dal compartimento di primo innesco fino al luogo sicuro temporaneo, è somma di due componenti:

$$ttra, l = ttra(pres), l + ttra(coda)$$

con:

t tra(pres),i	tempo per presentarsi all'uscita verso luogo sicuro (Les/vorizz)
t tra(coda),i	tempo di attesa in coda all'uscita verso luogo sicuro

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

Table 3-13.2 *Speed on a Horizontal Surface*

Subject Group (number)	Mean (m/s)	Standard Deviation (m/s)	Range (m/s)	Interquartile Range (m/s)
All disabled ($n = 107$)	1.00	0.42	0.10–1.77	0.71–1.28
With locomotion disability ($n = 101$)	0.80	0.37	0.10–1.68	0.57–1.02
no aid ($n = 52$)	0.95	0.32	0.24–1.68	0.70–1.02
crutches ($n = 6$)	0.94	0.30	0.63–1.35	0.67–1.24
walking stick ($n = 33$)	0.81	0.38	0.26–1.60	0.49–1.08
walking frame or rollator ($n = 10$)	0.57	0.29	0.10–1.02	0.34–0.83

Table 3-13.3 *Speed on Stairs*

Subject Group (number)	Mean (m/s)	Standard Deviation (m/s)	Range (m/s)	Interquartile Range (m/s)
Ascent				
With locomotion disability ($n = 30$)	0.38	0.14	0.13–0.62	0.26–0.52
no aid ($n = 19$)	0.43	0.13	0.14–0.62	0.35–0.55
crutches ($n = 1$)	0.22	—	0.13–0.31	0.26–0.45
walking stick ($n = 9$)	0.35	0.11	0.18–0.49	—
rollator ($n = 1$)	0.14	—	—	—
Without disability ($n = 8$)	0.70	0.24	0.55–0.82	0.55–0.78

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

ESODO: Stima secondo calcolo manuale su modello idraulico

Nel nostro caso, abbiamo:

- Larghezza totale uscite: 1800+1200+1200 = 4200mm
- Persone: 320pp

Quindi : larghezza unitaria : 4200/320 = 13,12 mm/pp → A FAVORE DI SICUREZZA: Δtcoda: 90sec.

In definitiva, in caso di elevato affollamento non solo cambia la velocità di spostamento (da 1,19 a 0,953 m/s) ma è necessario considerare anche il tempo fermi in coda:

R_{vita}	Larghezza unitaria	Δt_{coda}	R_{vita}	Larghezza unitaria	Δt_{coda}
A1	3,40	330 s	B1, C1, E1	3,60	310 s
A2	3,80	290 s	B2, C2, D1, E2	4,10	270 s
A3	4,60	240 s	B3, C3, D2, E3	6,20	180 s
A4	12,30	90 s	-	-	-

I valori delle larghezze unitarie sono espressi in mm/persona ed assicurano una durata dell'attesa in coda, per gli occupanti che impiegano la specifica via d'esodo, non superiore a Δt_{coda}.

Tabella S.4-27: Larghezze unitarie per vie d'esodo orizzontali

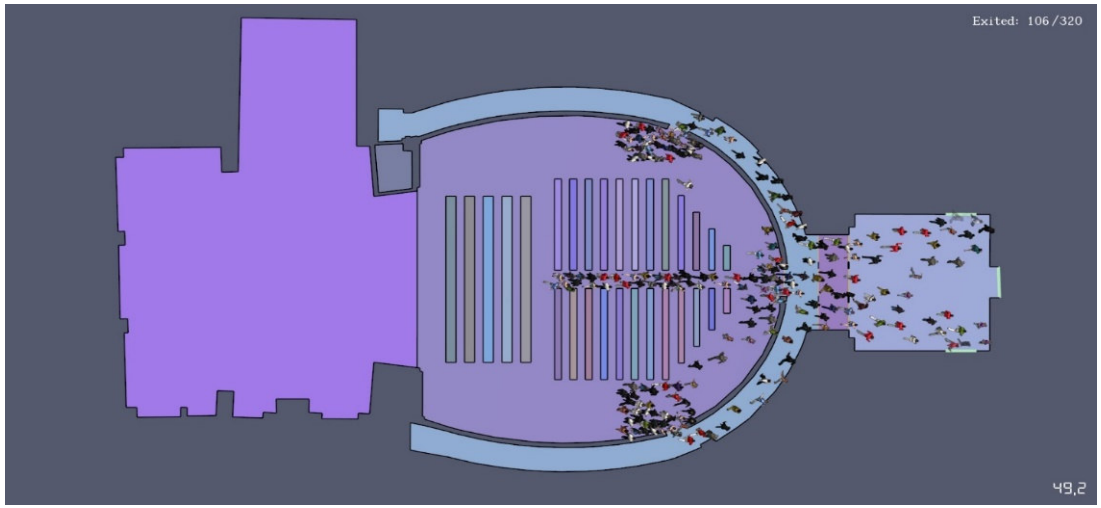
Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

ESODO: Stima secondo calcolo manuale su modello idraulico

In definitiva, in caso di elevato affollamento non solo cambia la velocità di spostamento (da 1,19 a 0,953 m/s) ma è necessario considerare anche il tempo fermi in coda:

$$ttra, l = ttra(pres), l + ttra(coda)$$

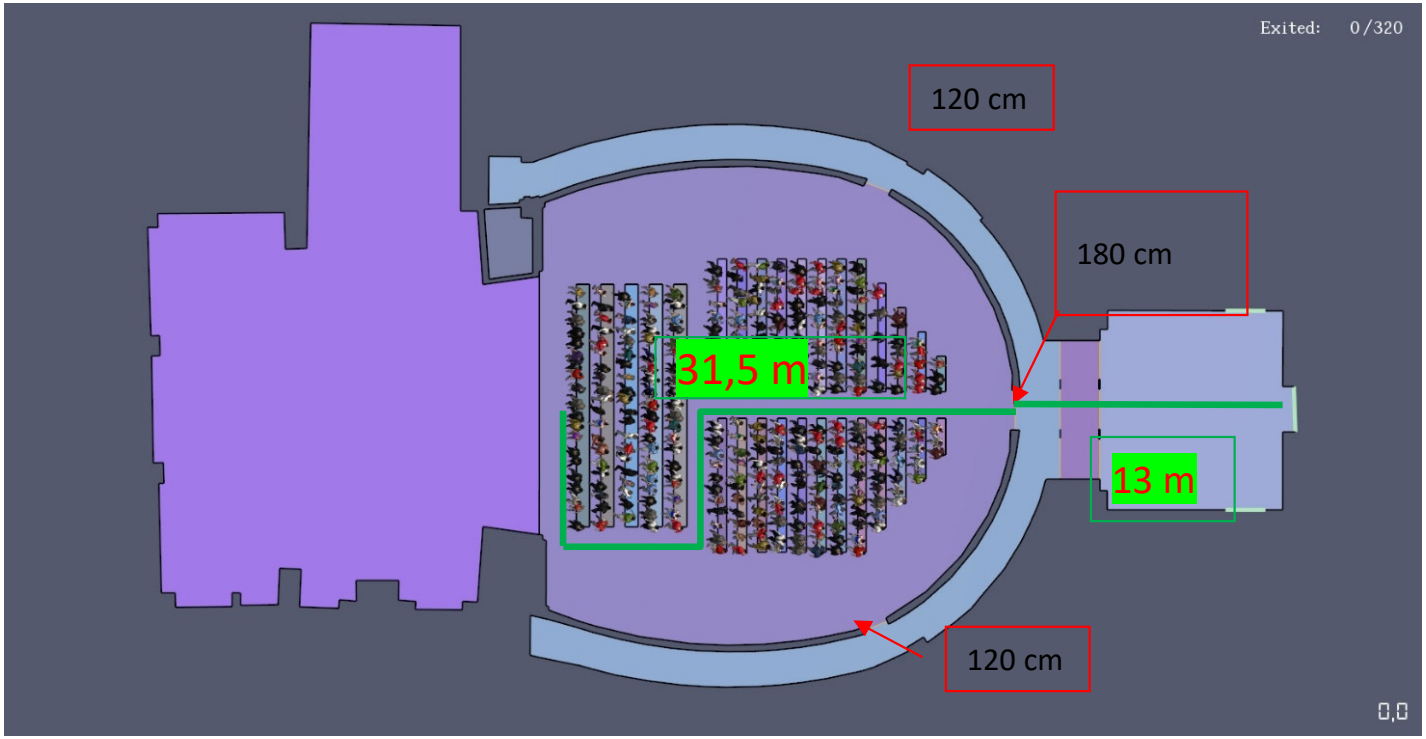
$$ttra, l = \frac{31{,}5}{0{,}95} + 90 = 33 + 90 = 123 \text{ sec}$$



Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

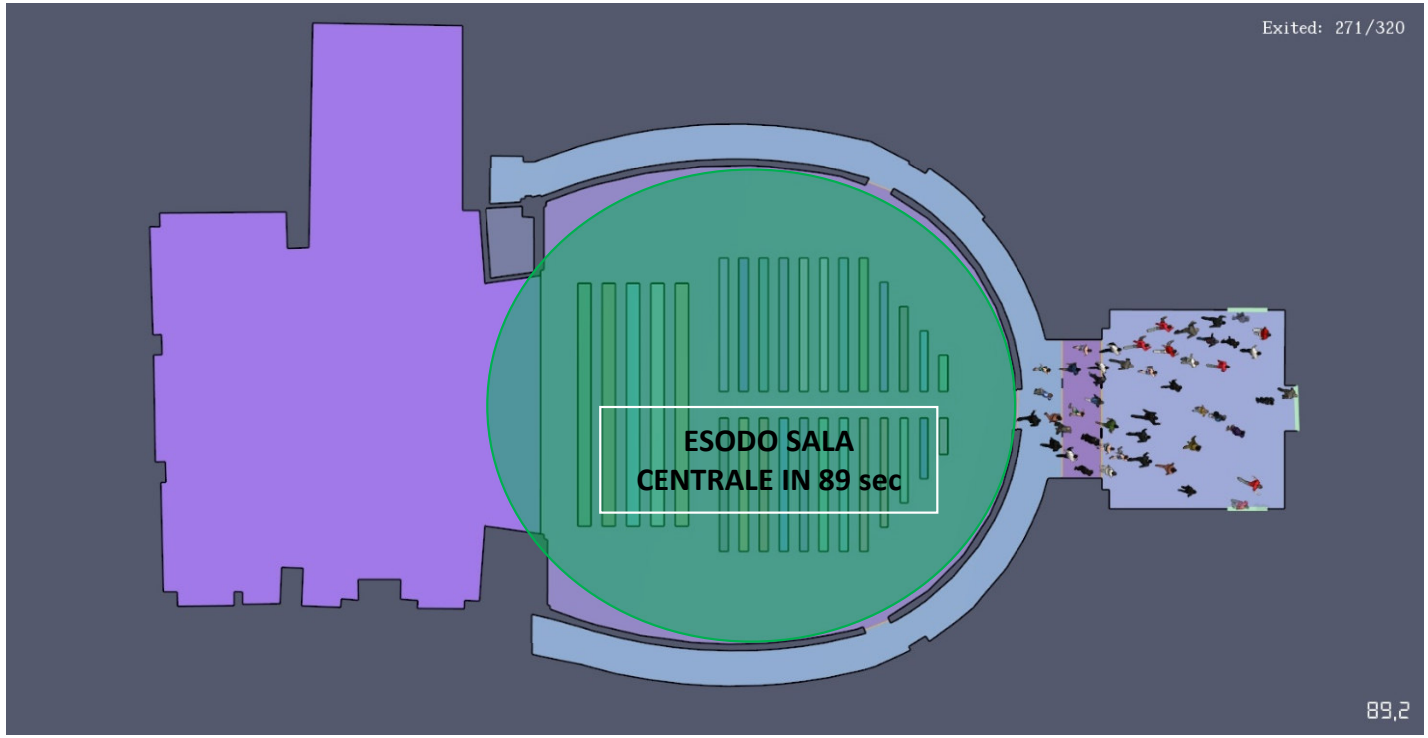
ESODO: Stima secondo calcolo manuale su modello idraulico

In definitiva:



Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

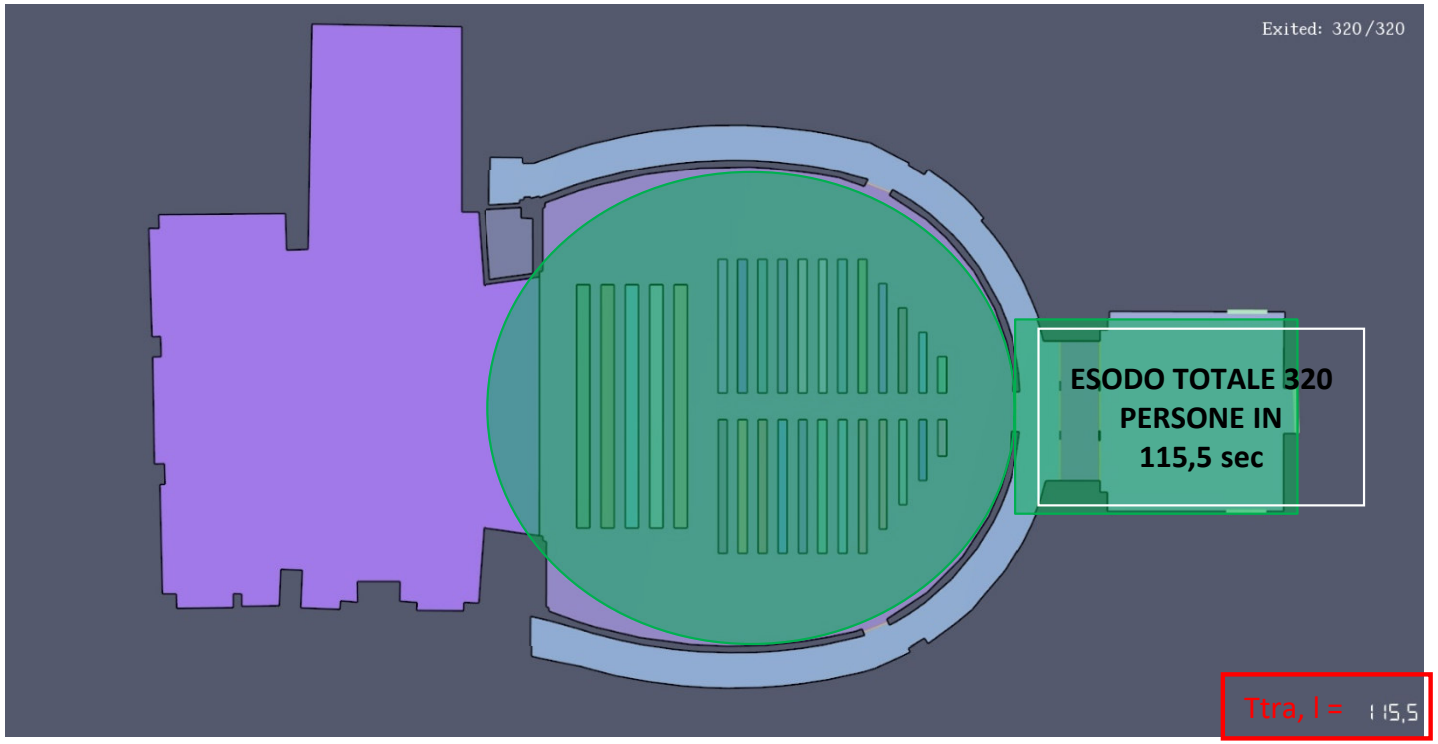
ESODO: Stima secondo calcolo manuale su modello idraulico



In definitiva: Il calcolo a mano fornisce come risultato il valore di 123sec, mentre quello del software 89secondi. Il risultato a mano è a favore di sicurezza

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

ESODO: Stima secondo calcolo manuale su modello idraulico



A completamento dell'analisi finale, aggiungo anche il tempo necessario per percorrere il tratto finale e raggiungere l'esterno dell'edificio

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

ESODO: Stima secondo calcolo manuale su modello idraulico

Il percorso per giungere all'uscita finale:

$\Delta T = 13/0{,}953 = 14$sec

Il tempo calcolato a mano è pari a: 137sec.

Il software di calcolo ha ottenuto come valore finale 115,5 secondi.

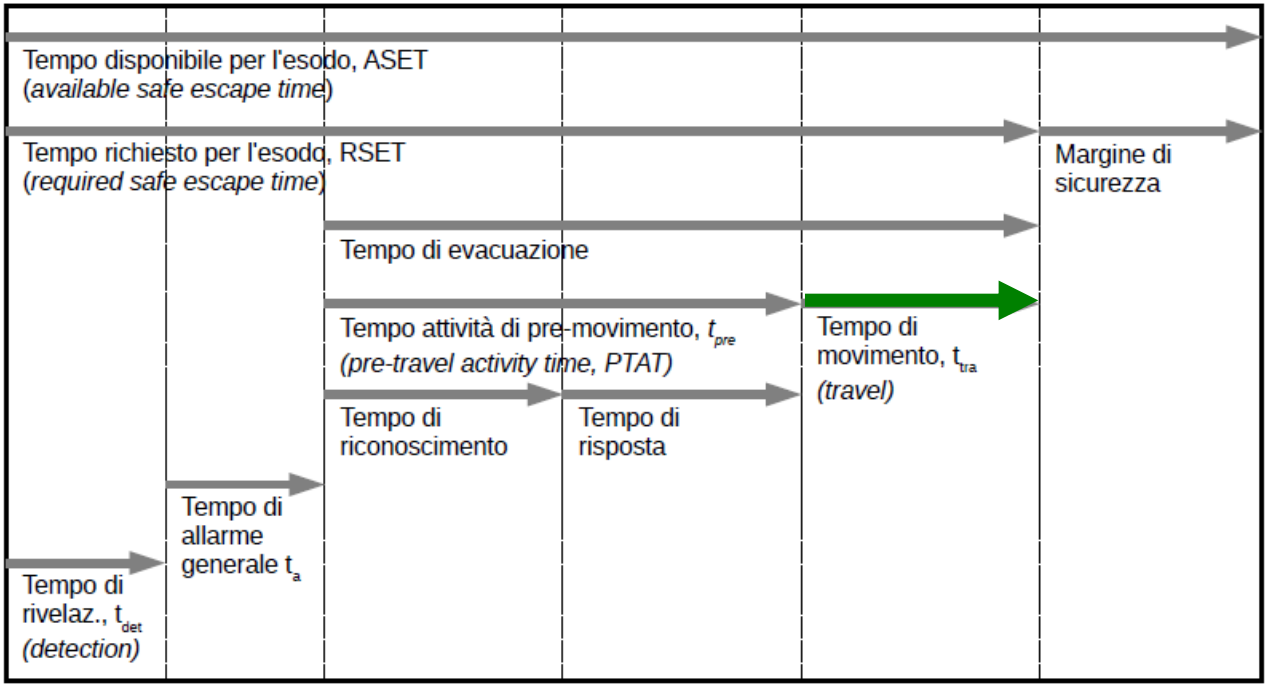
La differenza trai due calcoli è dell'ordine del +15% che è più che accettabile.

Inoltre risulta a favore di sicurezza

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

ESODO: Stima secondo calcolo manuale su modello idraulico

Si ricorda che il metodo di il calcolo appena eseguito è necessario alla definizione del tempo di travel, che come noto, è solo uno degli intervalli di tempo necessaria definire per il valore **RSET:**



Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

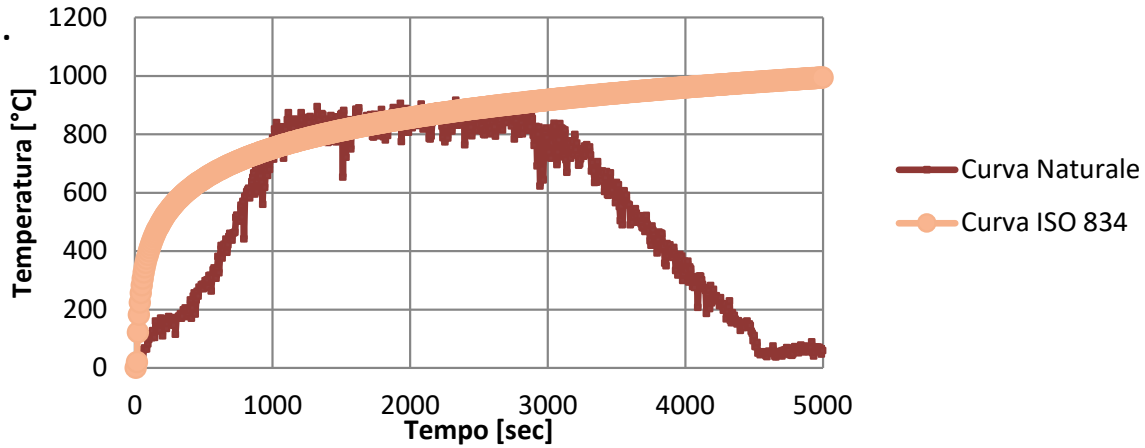
INCENDIO LOCALIZZATO: Rif. Annex C del EN 1991-1-2:2002.

La definizione dell'andamento della curva naturale d'incendio può essere svolto, in casi particolari, con il ricorso ad espressioni semplificate derivanti da formulazioni empiriche del fenomeno della combustione dei suoi effetti in termini di temperature.

Si ricorda che la **curva natura** d'incendio rappresenta l'andamento, in funzione del tempo, della temperatura media dei gas di combustione nell'intorno della superficie degli elementi costruttivi.

Essa è determinata in base a modelli d'incendio e a parametri fisici che definiscono le variabili di stato all'interno del compartimento antincendio.

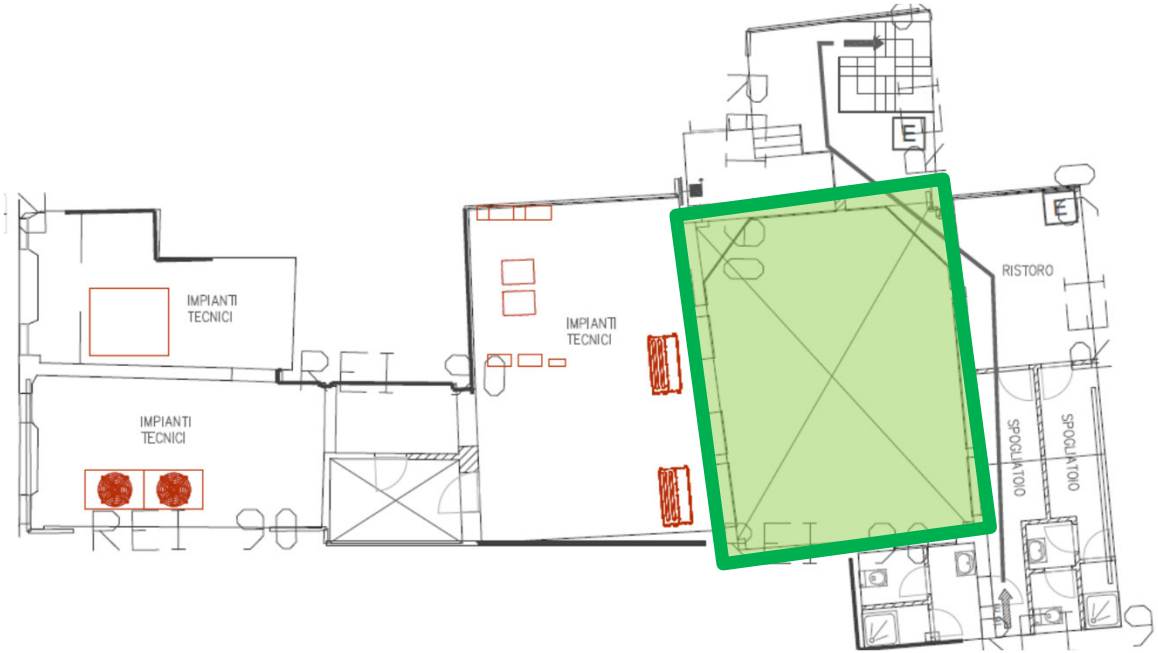
Essa è scelta in alternativa a quella nominale, che nel caso di incendio al chiuso con materiale cellulosico è definito dalla curva nominale standard, la ISO 834.



Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

INCENDIO LOCALIZZATO: Rif. Annex C del EN 1991-1-2:2002.

Oggetto della presente relazione è la valutazione del comportamento alle elevate temperature generate da un incendio presso l'attività di centro commerciale in via Mazzini a, relativamente alla vetrata di copertura di una zona ad un unico volume di altezza pari a 8m.



Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

INCENDIO LOCALIZZATO: Rif. Annex C del EN 1991-1-2:2002.

La finalità della presente relazione è quella di definire:

1) Il comportamento della struttura portante metallica della copertura della zona oggetto di studio.

La definizione dell'incendio è imposta sulla base della letteratura, anche italiana (D.M. 03.08.2015), circa la conoscenza oramai ben consolidate sulla potenza rilasciata dall'incendio (Heat Rate Release).

I dati di input sono ripresi direttamente dalla pratica di prevenzione incendi consegnata per la richiesta dei relativi permessi allo svolgimento dell'attività.

$\rightarrow\ HRR_{PICCO,F} = 250\ {}^{KW}/_{m^2}$ (D.M. 03.08.2015)

$\rightarrow\ SUPERFICE = 4 * 4\ m = 16m^2$

$\rightarrow\ HRR_{PICCO,} = 4000KW$

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

INCENDIO LOCALIZZATO: Rif. Annex C del EN 1991-1-2:2002.

La L'azione termica di un incendio localizzato può essere valutata utilizzando l'espressione data dall'Eurocodice 1991 parte 1-2 – Annesso C, che contiene le espressioni necessarie a definire:

- La lunghezza della fiamma è Lf di un incendio localizzato (vedi Figura C.1 dell'Annesso C dell'Eurocodice 1991 parte 1-2) dato da:

$$L_f = -1{,}02D + 0{,}0148Q^{2/5}$$

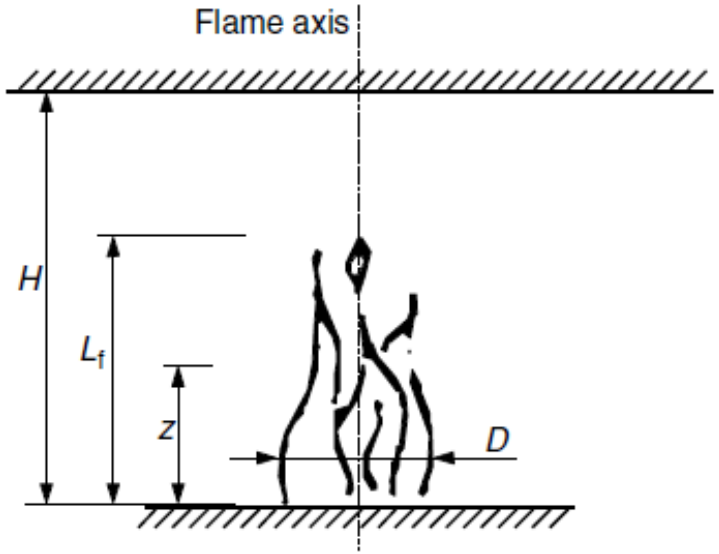


Figure C.1

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

INCENDIO LOCALIZZATO: Rif. Annex C del EN 1991-1-2:2002.

Quando la fiamma non colpisce il soffitto di un vano (L.f <H; vedi Figura C.1) o in caso di incendio all'aperto, la temperatura Θ (z) nel pennacchio lungo l'asse verticale simmetrico della fiamma è data da:

$$\theta_{(z)} = 20 + 0{,}25 Q_c^{\frac{2}{3}} (z - z_0)^{-5/3} < 900$$

dove $z_0 = -1{,}02\, D + 0{,}00524\, Q^{2/5}$

- D è il diametro del fuoco [m]
- Q è il tasso di rilascio di calore [W]

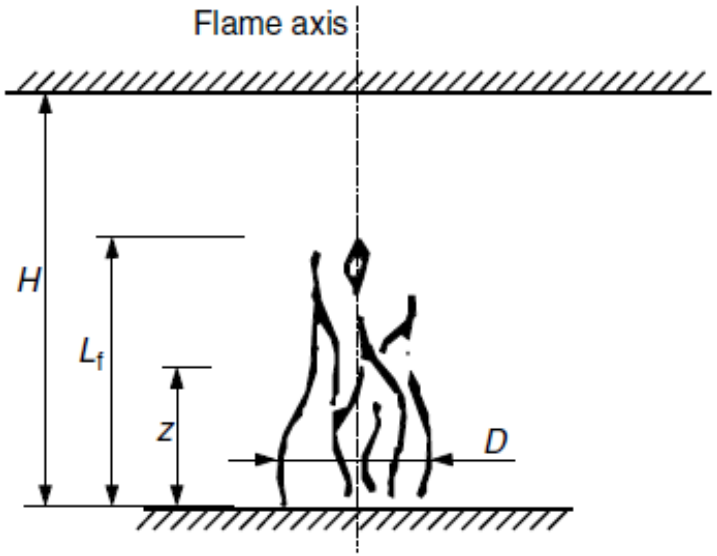


Figure C.1

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

INCENDIO LOCALIZZATO: Rif. Annex C del EN 1991-1-2:2002.

M.2.7 Focolare predefinito

1. Qualora si intenda omettere le valutazioni in merito alla descrizione quantitativa del focolare di cui al paragrafo M.2.4, possono essere impiegati i *focolari predefiniti* descritti quantitativamente secondo il metodo indicato nel paragrafo M.2.6, impiegando i valori dei parametri di cui alla tabella M.2-2.
2. È escluso l'impiego dei focolari predefiniti nei casi in cui si valuti che i focolari attesi risultino più gravosi di quelli previsti in tabella M.2-2.

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]

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

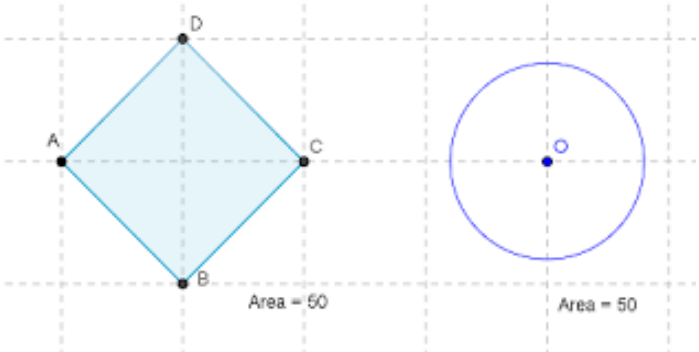
INCENDIO LOCALIZZATO: Rif. Annex C del EN 1991-1-2:2002.

Quando Qc è la parte convettiva del tasso di rilascio di calore [W], con Qc = 0,8 .

- z è l'altezza [m] lungo l'asse della fiamma
- H è la distanza [m] tra la sorgente del fuoco e il soffitto

Lo sviluppo del calcolo deve prima passare per la definizione del diametro equivalente dell'incendio:

$$D = \sqrt{4 * b * h/\pi} = 2{,}25m$$



Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

INCENDIO LOCALIZZATO: Rif. Annex C del EN 1991-1-2:2002.

$$L_f = -1{,}02 * 2{,}25 + 0{,}0148 * 4000000^{2/5}$$

$$L_f = 4{,}18 metri$$

$$\theta_{(z)} = 20 + 0{,}25(4000000)^{\frac{2}{3}} (z - (-2{,}31))^{-5/3} < 900$$

Δz	T	T_{FDS}
[m]	[°C]	
1	758	
1,5	604	640
2	495	
3	356	
4	272	
5	217	
6	179	120

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

INCENDIO LOCALIZZATO: Rif. Annex C del EN 1991-1-2:2002.

Tenuto conto della distanza tra la superfice superiore del bruciatore (banco frigo) e la quota della copertura è pari a 6metri.
In corrispondenza di questa distanza la temperatura è pari a 179°C quindi non tale da mettere in crisi gli elementi di copertura.

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.

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

STRUTTURE: Effetto delle elevate temperature su struttura ad arco e tirante.

Nel caso dell'adozione della curva naturale, l'analisi strutturale deve essere sviluppata tenendo conto della deformazione termica indotta dall'incendio e delle tensioni che possono derivare in presenza di vincoli alla libera espansione termica.

Al capitolo S,8,2,1, il Codice di Prevenzione Incendi, ricorda che:

Le deformazioni ed espansioni imposte o impedite dovute ai cambiamenti di temperatura *per effetto dell'esposizione al fuoco producono sollecitazioni indirette, forze e momenti nei singoli elementi strutturali, che devono essere tenuti in considerazione, ad eccezione dei seguenti casi:*

a.è riconoscibile a priori che esse sono trascurabili o favorevoli;

b.i requisiti di sicurezza all'incendio sono valutati in riferimento ad una curva nominale d'incendio di cui al paragrafo S.2.7.

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

STRUTTURE: Effetto delle elevate temperature su struttura ad arco e tirante.

La struttura risulta formata da copertura a volta a botte di luce pari a 24,50metri. La spinta generata verso l'esterno viene contrastata dalla presenza di un tirante metallico di diametro 30mm disposto in corrispondenza di ciascun travetto ad arco.

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

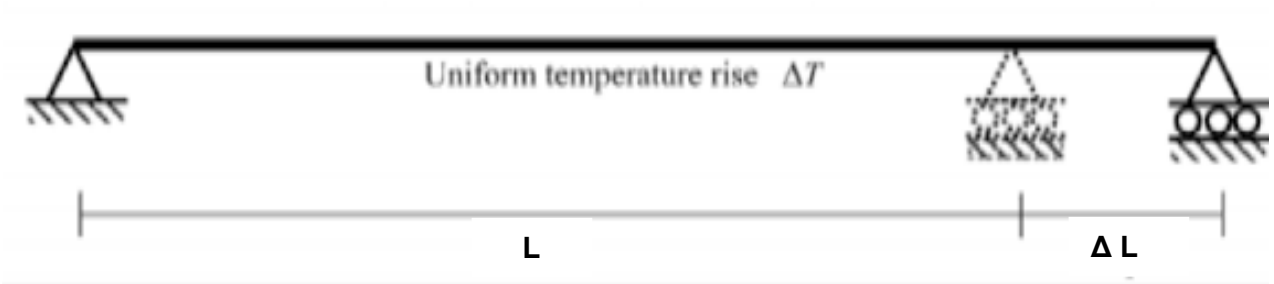
STRUTTURE: Effetto delle elevate temperature su struttura ad arco e tirante.

Considerando una temperatura di 131 °C (ΔT = 111°C), avendo l'acciaio un coefficiente di dilatazione termica lineare pari a 10*10-6 °C-1, la dilatazione lineare totale corrispondente è:

$$\Delta L = L * \alpha T * \Delta T = 24{,}5 \times 10\text{-}6 * 111 = 0{,}02719 \text{ m}$$

pari a circa 27,19 mm.

Tenuto conto della geometria dell'opera, tale dilatazione si esplica come spostamento di uno degli appoggi dell'arco su uno dei due appoggi.



Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

STRUTTURE: Effetto delle elevate temperature su struttura ad arco e tirante.

La verifica è condotta in ottemperanza alla Circolare n.9962 del 24 luglio 2020 che richiede al progettista una verifica strutturale che tanga conto delle dilatazioni termiche e delle eventuali sollecitazioni indotte da vincoli alla libera traslazione e rotazione termica in caso di adozione di curva naturale d'incendio.

Tenuto conto che la temperatura massima dell'incendio è pari a 131°C, allora il degrado meccanico dell'acciaio è definito come segue, secondo le indicazioni della Tabella 3.1 dell'Euro-codice 1993 parte 1-2:

T = 131 °C → ky,Θ = 1.

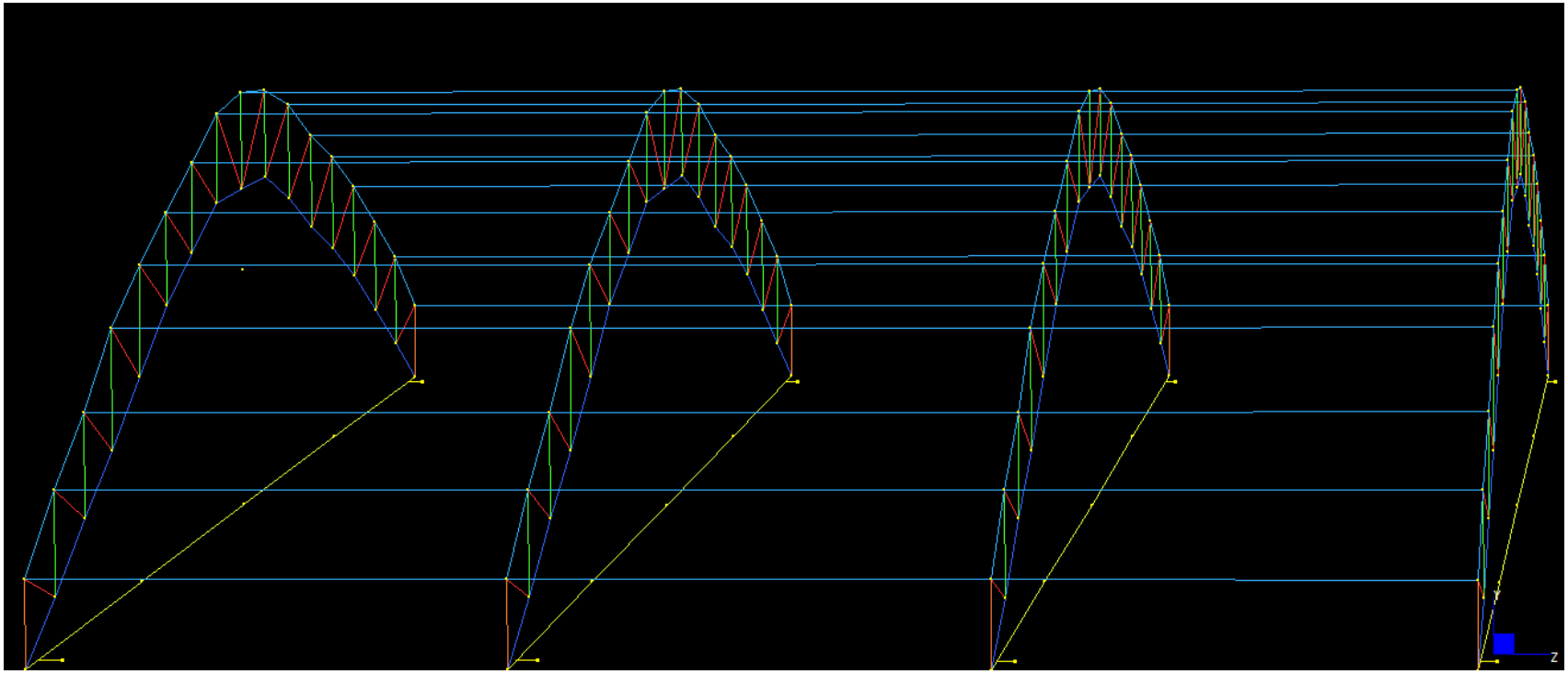
Il degrado dell'acciaio è nullo.

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

Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

STRUTTURE: Effetto delle elevate temperature su struttura ad arco e tirante.

Tenuto conto del software di calcolo:



Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

STRUTTURE: Effetto delle elevate temperature su struttura ad arco e tirante.

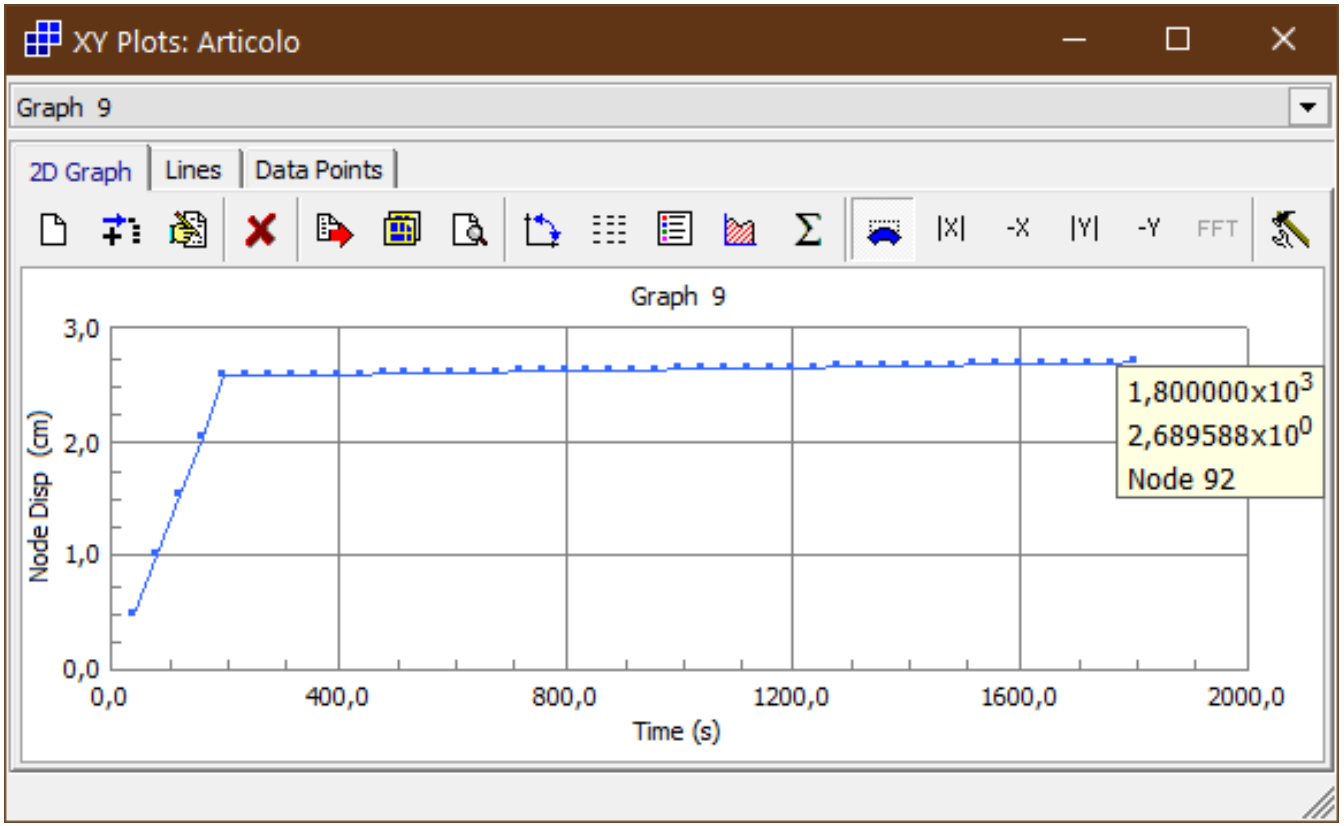
Il calcolo a mano ha fornito il valore di:

SPOSTAMENTO = 2,719cm

Il calcolo con il software ha restituito il valore di:

SPOSTAMENTO = 2,699cm.

La differenza è molto limitata quindi il calcolo a mano può essere utilizzato.



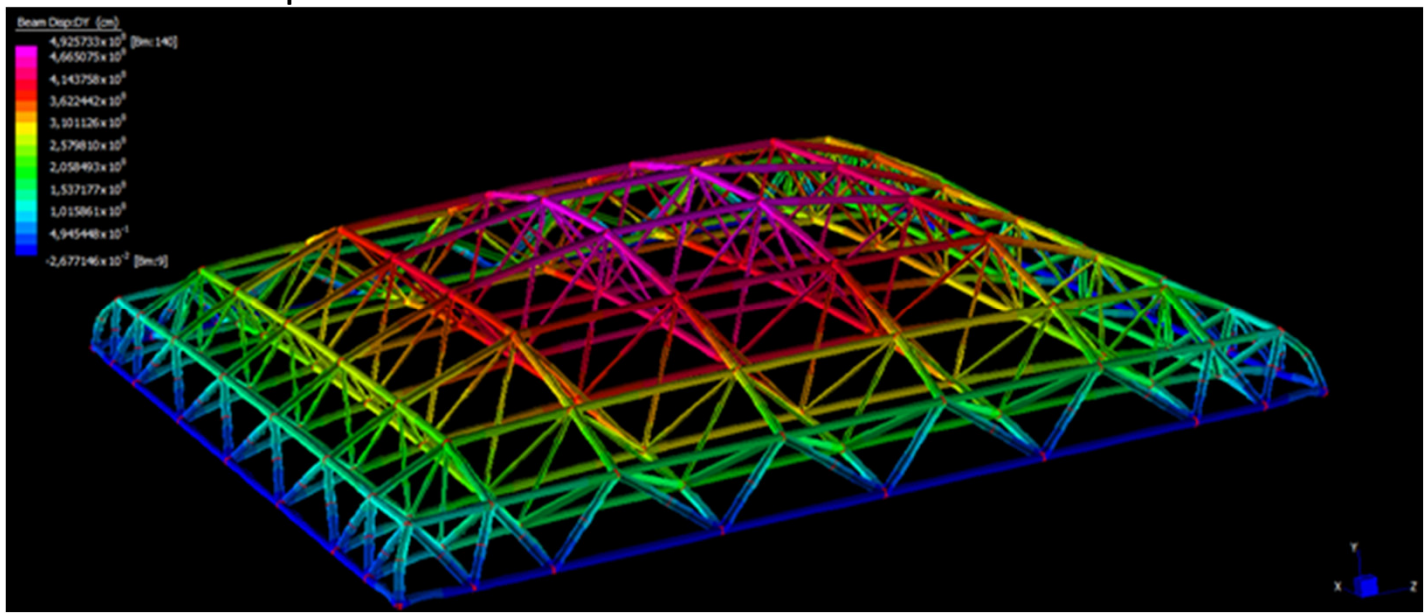
Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

STRUTTURE: Effetto delle elevate temperature su struttura ad arco e tirante.

Si precisa che l'applicazione delle formule semplificate nel caso della resistenza al fuoco delle strutture deve essere utilizzata previ corretta interpretazione del cimento termico.

Infatti, il caso precedente presenta sia temperature molto ridotte dell'ordine dei 100°C sia strutture isostatiche la cui dilatazione termica non comporta variazioni sensibili dello stato sollecitante delle altre opere strutturali.

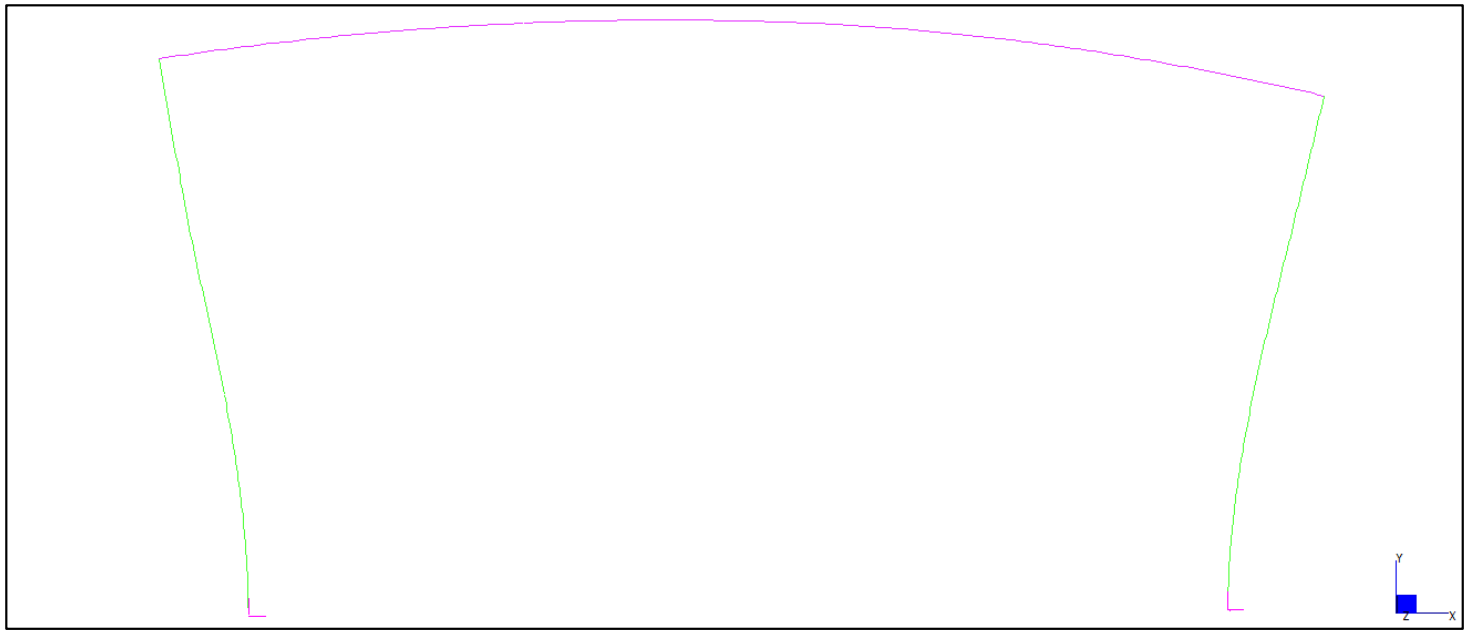
Molto differente è il caso nel quale le strutture sono iperstatiche o le temperature generate dall'incendio hanno valori superiori.



Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

STRUTTURE: Effetto delle elevate temperature su struttura ad arco e tirante.

In sostanza, nel caso di strutture iperstatiche le tensioni derivanti espansioni termiche impedite dal sistema di vincoli esterni o interni può condurre a variazioni sensibili dello stato sollecitante. Si consideri il telaio metallico con trave incastrata agli estremi sulla testa del pilastro.

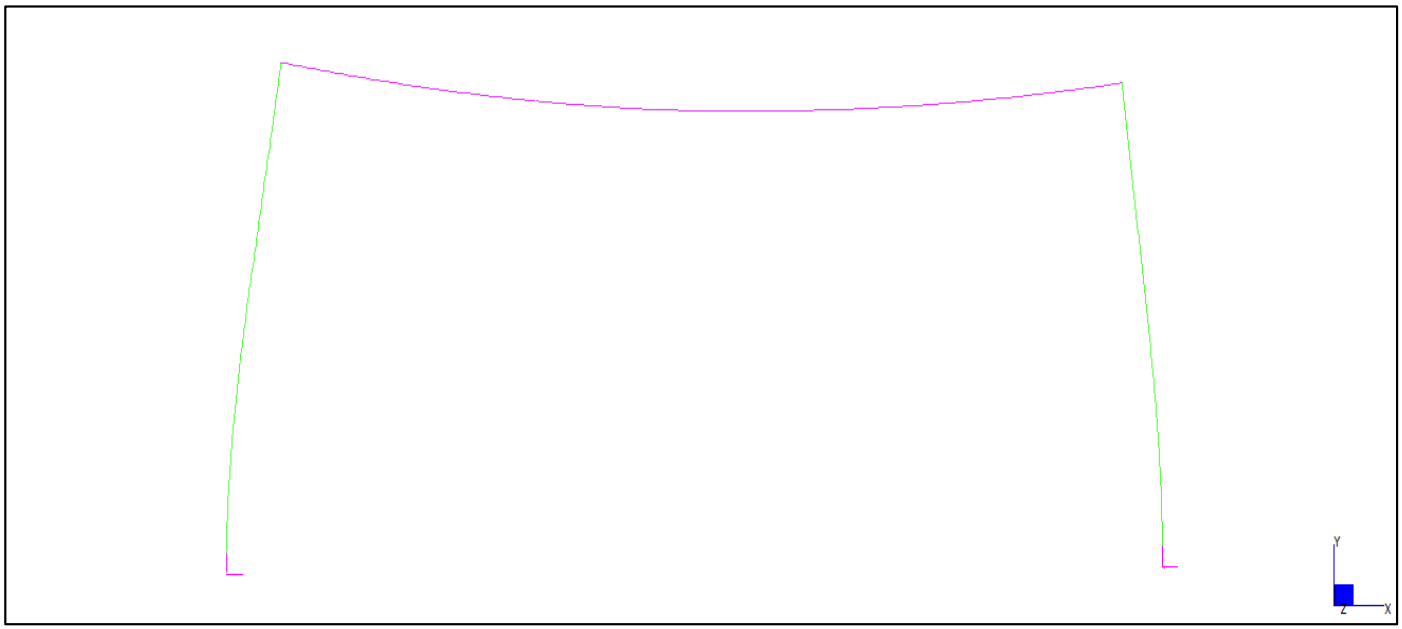


Esercizi pratici di analisi fluidodinamica, dell'esodo e delle strutture con il solo utilizzo di calcolatrice o foglio Excel e confronto con risultati ottenuti da software di calcolo

STRUTTURE: Effetto delle elevate temperature su struttura ad arco e tirante.

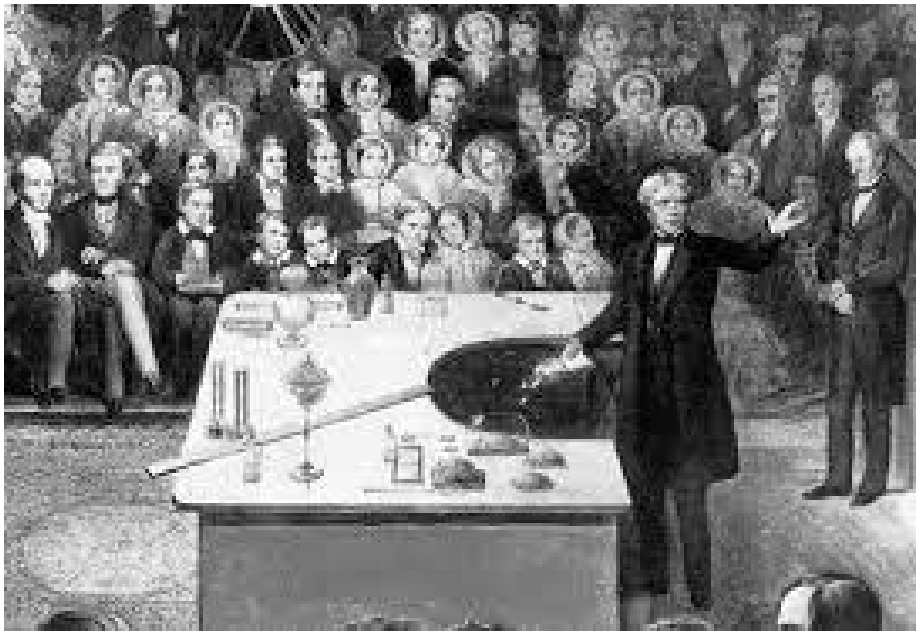
1°STEP: La trave dilatando

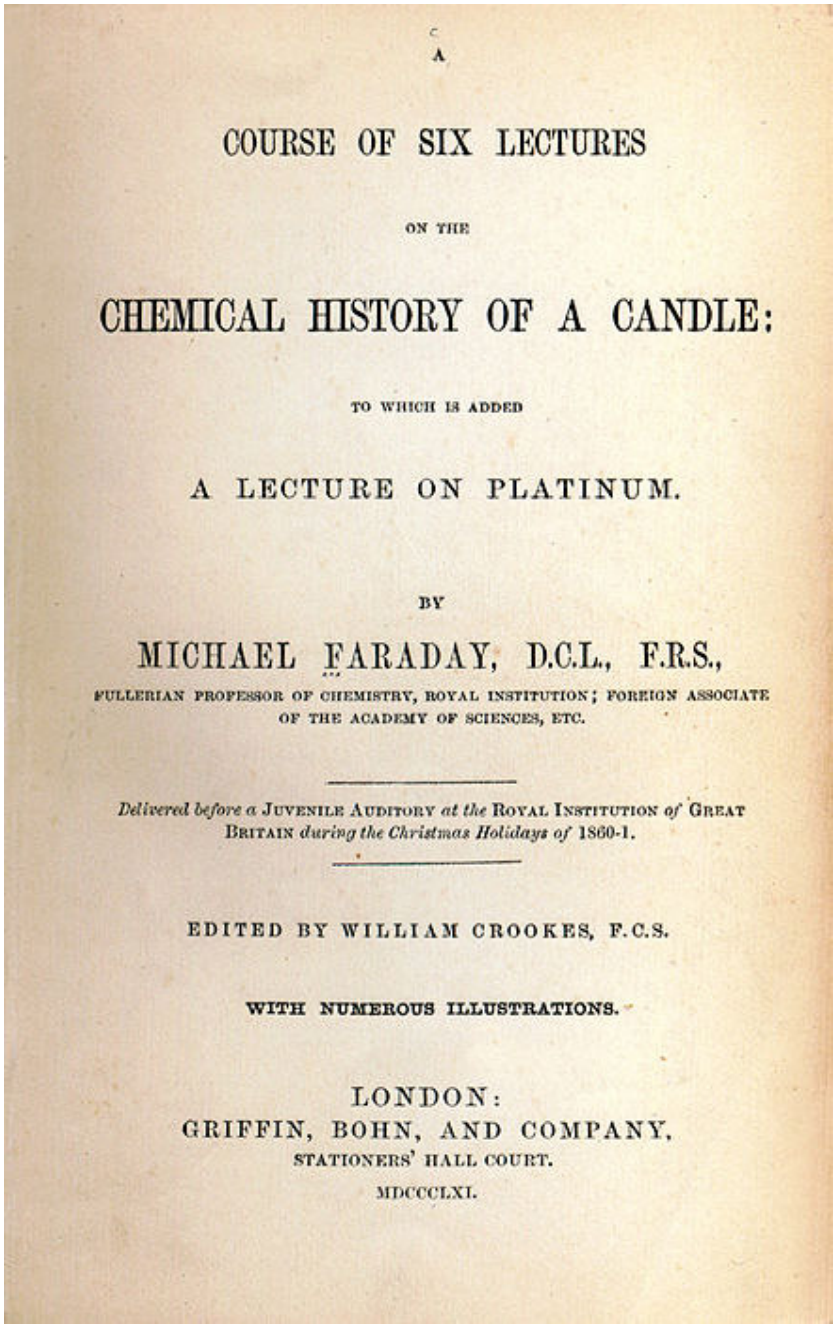
2°STEP: i pilastri risentono della spinta verso l'esterno e vengono interessati da un aumento del momento flettente e del taglio alla base.



Micheal Faraday (1791-1867): «La storia chimica di una candela», 1826

«Grande è l'interesse della questione e tanto importanti sono i suoi rapporti con i vari rami della filosofia naturale. Non c'è legge infatti che governi le varie parti dell'Universo che non si manifesti in questo fenomeno. E non c'è mezzo migliore, né più efficace, per entrare nel dominio delle scienze naturali che studiare il fenomeno fisico di una candela che arde»





A

COURSE OF SIX LECTURES

ON THE

CHEMICAL HISTORY OF A CANDLE:

TO WHICH IS ADDED

A LECTURE ON PLATINUM.

BY

MICHAEL FARADAY, D.C.L., F.R.S.,

FULLERIAN PROFESSOR OF CHEMISTRY, ROYAL INSTITUTION; FOREIGN ASSOCIATE OF THE ACADEMY OF SCIENCES, ETC.

Delivered before a JUVENILE AUDITORY *at the* ROYAL INSTITUTION *of* GREAT BRITAIN *during the Christmas Holidays of* 1860-1.

EDITED BY WILLIAM CROOKES, F.C.S.

WITH NUMEROUS ILLUSTRATIONS.

LONDON:
GRIFFIN, BOHN, AND COMPANY,
STATIONERS' HALL COURT.
MDCCCLXI.

Fenomeni coinvolti:

- Reazioni chimiche (combustione, etc ...)
- Trasporto di Materia (diffusivo, convettivo)
- Trasporto di quantità di moto (effetto forze di galleggiamento)
- Trasporto di calore (conduzione, convezione irraggiamento) Fenomeni non stazionari, spesso turbolenti e tridimensionali.

La modellazione dell'incendio rappresenta quindi una sfida.

E' la sfida della Fire Safety Engineering (FSE), che si basa sull'applicazione dei principi della fisica alla modellazione dell'incendio e dei suoi effetti.

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

Bibliografia

- Rivista Antincendio, articolo “Resistenza al fuoco: l’impatto della Circolare DCPREV 9962 sulla progettazione secondo il Codice di Prevenzione Incendi “ Marco Antonelli, Daniele Andriotto, Diego Cecchinato.
- Rivista Antincendio, articolo “La valutazione della resistenza al fuoco con la curva dell'incendio naturale. Il ruolo dei sistemi di protezione“ di Daniele Andriotto, Giovanni Cosma, Luciano Nigro.
- Rivista Antincendio, articolo “ Eurocodice 3: la resistenza al fuoco delle strutture in acciaio e l'influenza del fattore di sezione Am/V» di Daniele Andriotto, Ermanno Andriotto
- SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Fifth Edition.
- “Progetto delle strutture resistenti al fuoco” di Buchanan Andrew H.; Gambarova Pietro; Felicetti Roberto. - Hoepli, Milano.
- UAE Fire Safety Code.
- BS 9999.
- Fruin, J. J. - Pedestrian Planning and Design (1987).