

CFAST ed FDS: studio e confronto tra i **modelli** di calcolo applicati ad un caso reale

■ Silvio De Blasio

L'abstract

Con l'emanazione del D.M. 9/5/2007, che ha recepito importantissime indicazioni dalle norme ISO, dalle British Standard e dalle NFPA, è stata introdotta la possibilità di studio dell'evoluzione dell'incendio, attraverso l'"approccio ingegneristico".

Tale possibilità, è stata recentemente ribadita ed integrata, dal D.M. 3/8/2015, che ha introdotto la possibilità di analizzare, dal punto di vista antincendio, un'attività scegliendo due vie: la via prescrittiva, ovvero quella che opta per soluzioni "conformi o alternative", oppure la via dell'approccio ingegneristico cioè la possibilità di analizzare l'attività attraverso un processo di deroga.

Il presente lavoro ha lo scopo di evidenziare come due diversi modelli di calcolo possono essere confrontati rispetto ai risultati attesi.

Si è eseguita una doppia modellazione attraverso gli strumenti offerti dal NIST, ovvero CFAST e FDS, eseguendo l'analisi quantitativa del locale.

Si è determinato, così come indicato dalle norme ISO, il tempo richiesto per l'esodo, che è stato confrontato con i tempi, entro quali devono essere garantiti i livelli di prestazione. Si è calcolata preliminarmente la potenza dell'incendio, per poter verificare i risultati ottenuti con quelli elaborati dai software citati. Infine si sono confrontati i risultati ottenuti cercando di cogliere gli elementi peculiari dei due modelli di calcolo.

Il compartimento in esame, è caratterizzato da una quantità di materiale combustibile sostanzialmente concentrata nel locale manutenzione (arredi) e nel soffitto del corridoio costruito in pannello sandwich. Il valore del carico di incendio si desume dalla *Tabella 1*.

Calcolo del tempo richiesto per l'esodo

Il tempo di rivelazione incendi viene fornito dalla modellazione eseguita. Rispetto al luogo ove ha origine l'incendio, ove sono pre-

sentati rilevatori di fumo, il tempo di rivelazione è molto variabile.

Si passa dall'attivazione praticamente istantanea del rilevatore 1; per arrivare ai 70 s dell'ultimo rilevatore, il numero 4.

Anche in questo caso, con puro spirito conservativo, proviamo ad ipotizzare di utilizzare come tempo di t_{det} quello maggiore pari a 70s.

Il tempo di allarme generale t_a , vista la presenza di impianto di rivelazione incendi, verrà assunto pari a 0 secondi.

Il tempo di attività pre-movimento con il conforto sempre della norma ISO TR 16738 tabella E2, viene valutato in 4 secondi per l'allertamento di tutte le persone.

Il tempo di movimento viene così calcolato:

- Lunghezza massima del percorso d'esodo: 26.5 m
- Massimo affollamento ipotizzabile: 2 persone
- Uscite di emergenza: 1 di ampiezza 1.2 m.

Si assume una velocità di esodo di 1.2 m/s. (rif. ISO 16738), pertanto avremo un tempo pari a 22 secondi per percorrere il corridoio di circa 26.5m.

Dott. Ing. **Silvio De Blasio**, Laureato Magistrale in Ingegneria Industriale con tesi sul confronto prescrittivo e prestazionale dell'Ingegneria Antincendio, svolge l'attività professionale dal 1990 (prima da Perito Industriale e poi da Ingegnere). Nel 1993 consegue l'abilitazione di cui alla legge 818 e comincia la collaborazione come docente presso vari corsi di formazione in materia di Impianti, Sicurezza e Prevenzione Incendi e diagnosi Energetica.

Libero professionista fonda la De Blasio Associati Srl a Porcia (PN) che vanta la trattazione di oltre mille casi di Impiantistica e Prevenzione Incendi, per la quale crede fermamente nell'utilizzo degli strumenti offerti dall'"Approccio Ingegneristico".

Dal 2001 è membro della Commissione Comunale di Vigilanza del Comune di Pordenone.

E' tecnico di Termografia ad Infrarosso certificato RINA ed ITC che applica per le diagnosi in edilizia, past president di AITI - Associazione Italiana Termografia Infrarosso.

Ricapitolando quindi:

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra} = 70+0+4+22 = 96 \text{ s.}$$

Tale dato dovrà essere confrontato con il dato di RSET, che verrà stabilito con la modellazione che segue e che, assumeremo quale

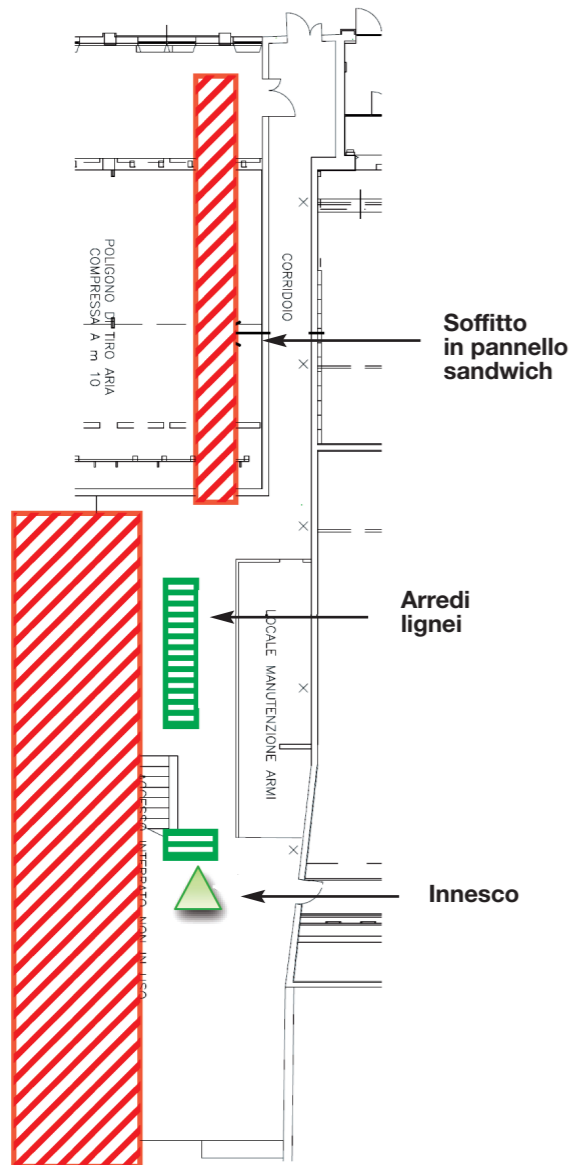


Figura 1 - Il corridoio con locale manutenzione

tempo ove le soglie di prestazione siano garantite.

Calcolo preliminare della curva RHR

È stato inserito un innesco, da 200kW per i primi 10 minuti. La configurazione del compartimento comprende una zona rettangolare più grande, la zona di manutenzione delle armi, con una apertura sommitale, ed un corridoio di accesso con una porta d'accesso. La presenza di aperture permanenti di ventilazione di dimensioni piuttosto elevate, consente di presupporre che l'incendio possa svilupparsi pienamente a causa della costante e sufficiente presenza di comburente. L'apertura sommitale ha dimensioni 5,84 m di larghezza per 0,8 m di altezza davanti alla linea di tiro: quest'area è attestata su uno spazio scoperto.

Inoltre si ritiene che la porta di accesso alle linee di tiro sia aperta nelle primissime fasi di incendio a causa dell'uscita delle persone che vi si trovano, essendo la lunghezza della via d'esodo per l'uscita breve (inferiori a 20 m). Di conseguenza si avrà la disponibilità di una ulteriore aperture di dimensioni 1,2 m larghezza per 2,1 m altezza, posizionata in maniera contrapposta all'apertura di cui sopra.

Il valore della potenza termica totale, rilasciata nell'ambiente, varia continuamente nel tempo durante l'evoluzione di un incendio, ed il suo valore istantaneo viene calcolato facendo il prodotto fra il valore del potere calorifico H del combustibile e quello della velocità istantanea di combustione in quel momento.

$$RHR(t) \cdot H$$

Con:

RHR = potenza termica rilasciata

m_c = velocità di combustione

H = potere calorifico

Verifichiamo la sicurezza delle persone

Carico di incendio

Materiale	Quantità (kg)	Potere calorifico (MJ/kg)	Carico di incendio per materiale (MJ)
Legno	3.871	16,93	65.536
Pannello sandwich	736	30	2.080
			TOT 87.616
		Superficie in esame	125 m ²
		Kg di legna equivalente	40,05

Tabella 1 - Carico di incendio

verificando la fase di crescita dell'incendio, precedente al flashover, individuando nello scenario previsto la probabile variazione nel tempo della potenza termica rilasciata, che indica la reale entità di combustibile coinvolto in questa fase dell'incendio.

$$RHR(t) = m_c(t) H = \alpha t^2$$

Impiegando la formula sopra ed i dati acquisiti, possiamo calcolare il coefficiente α per lo sviluppo di incendio di tipo veloce, che abbiamo selezionato per approssimare l'incendio che stiamo studiando:

$$\alpha = \frac{RHR}{t^2} = \frac{1000}{150^2} = 44,4 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/s}^3$$

Per lo scenario in esame si assume uno sviluppo di incendio della fase pre-flashover di tipo quadratico, anche in questo caso FAST, con $t_G=150s$, $\alpha = 44,4 \cdot 10^{-3}$ (come sopra calcolato)

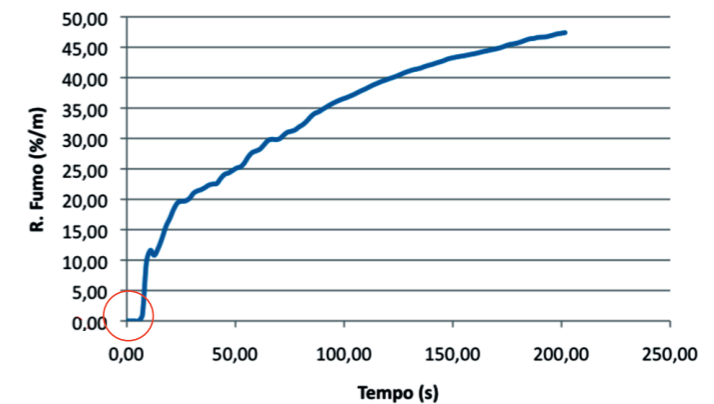


Figura 2 - Tempo di attivazione del rilevatore di fumo 1 (2 s)

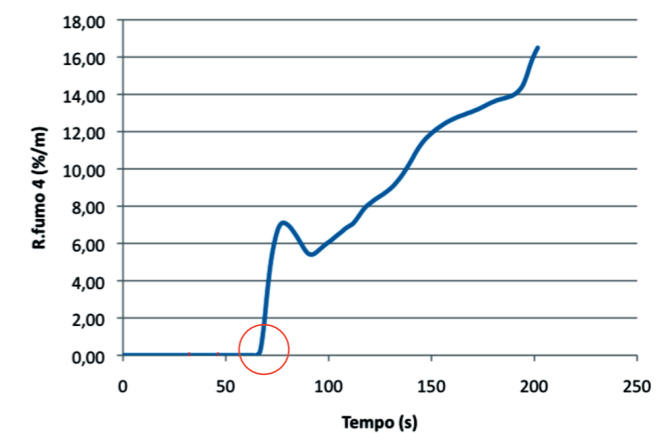


Figura 3 - Tempo di attivazione del rilevatore di fumo 4 (70 s)

Si calcola RHR_F di flashover con la formula di Thomas indicata nella norma NFPA 555.

$$RHR_F = 7,8 * A_T + 378 * A_{V\equiv} * h_{V\equiv}^{0.5}$$

$$RHR_F = 7,8 * 120,36 + 378 * 4,64 * 2,9^{0.5} = 3.926 \text{ kW}$$

Dove:

$$A_{V\equiv} (\text{m}^2) = W_{V\equiv} * h_{V\equiv}$$

rappresenta la superficie di una apertura di ventilazione a parete equivalente ai fini del calcolo;

$$A_{V\equiv} = 1.6 * 2.9 = 4.64 \text{ m}^2$$

$h_{V\equiv}$ (m) rappresenta la differenza in m tra l'altezza del punto più alto e quella del punto più basso fra tutte le aperture di ventilazione presenti nelle pareti; per il caso in oggetto vale 2,9 m poiché vi è una apertura a filo soffitto e la porta che si apre naturalmente a filo pavimento.

$W_{V\equiv}$ (m) è la larghezza della apertura equivalente che, viene calcolata imponendo che, il fattore di ventilazione del locale nel quale sia presente solamente tale apertura virtuale, sia pari alla somma dei fattori di ventilazione delle singole aperture realmente presenti aventi dimensioni generiche $W_{VENT\ i}$ e $h_{VENT\ i}$ impiegando la seguente espressione:

$$W_{V\equiv} = \frac{\sum_i W_{VENT\ i} * h_{VENT\ i}^{1.5}}{h_{V\equiv}^{1.5}} = \frac{5.84 * 0.8^{1.5} + 1.2 * 2.1^{1.5}}{2.9^{1.5}} = 1,6 \text{ m}$$

A_r (m²) differenza tra la superficie totale del locale e l'area $A_{V\equiv}$

$$A_r = 125 - 4.64 = 120,36 \text{ m}^2$$

Considerando sempre che l'incendio venga regolato dalla combustione avremo

$$RHR_{MAX\ VENT} = 0.10 * m * H * A_v * h_{eq}^{0.5} = 0,10 * 0,8 * 17,5 * 7,192 * 1,17^{0.5}$$

$$10.89 \text{ MW}$$

Con:

0,10: coefficiente di calcolo fornito dalla norma.

m: fattore che descrive la partecipazione alla combustione dei vari materiali presenti nel locale e che viene assunto pari a 0,8 poiché i materiali presenti nel compartimento sono prevalentemente di natura cellulosa; tale coefficiente è indicato sia dall'Eurocodice con la norma UNI EN 1991-1-2 p.to E3 che dal D.M. 09/03/2007.

H: è il potere calorifico netto del legno che è posto pari a 17,5 MJ/kg (per questo valore valgono le considerazioni fatte per la linea di tiro 25 m).

h_{eq} : altezza equivalente che è la media ponderata delle altezze proprie h_i delle aperture di ventilazione presenti: è espressa in m e si calcola con la formula:

$$h_{eq} = \frac{\sum_i (A_{Vi} * h_i)}{A_v} = \frac{4.627 * 0.8 + 2.25 * 2.1}{7.192} = 1,17 \text{ m}$$

$A_v = \sum_i A_{Vi}$ la superficie complessiva, espressa in m², delle singole aperture di ventilazione di superficie che sono presenti nelle pareti.

$$A_v = 5,84 * 0,8 + 1,2 * 2,1 = 7,192 \text{ m}^2$$

Con questo dato è possibile ricavare il tempo t_A corrispondente al punto di sviluppo della curva ove si ha RHR_{MAX} . Usando il dato calcolato sopra $\alpha = 44,4 * 10^{-3} \text{ kJ/s}^3$:

$$t_A = \sqrt{\frac{RHR_{MAX\ VENT}}{\alpha}} = 497 \text{ s}$$

L'energia termica che il combustibile ha rilasciato in ambiente al tempo t_A , vale:

$$E_{term\ rilasciata} = \int_0^{t_A} \alpha_{veloce} * t_{AA}^2 dt = 1/3 * \alpha_{veloce} * t^3 = 1/3 * 44,4 * 10^{-3} * 497^3 = 1.800 \text{ MJ}$$

La quantità di combustibile che viene consumata durante lo sviluppo dell'incendio fino al tempo t_A è

$$Q_A = \frac{E_{term\ rilasciata}}{H} \approx 103 \text{ kg}$$

La velocità massima di combustione, sarà

$$m_{c\ max} = 0,092 * A_v * h_{eq}^{0.5} = 0,72 \text{ kg/s}$$

dove:

$m_{c\ max}$ è la velocità massima di combustione in kg/s

0,092 è la costante di Kawagoe

A_v è l'area delle superfici ventilanti (calcolata come sopra) in m² pari a 7,192 m²

h_{eq} è l'altezza equivalente (calcolata come sopra) espressa in m pari a 1,17m.

Si consideri convenzionalmente, come da Eurocodice 1 parte 1-2, che all'inizio della fase di decadimento si sia consumato il 70% del materiale combustibile presente nel compartimento.

Considerando il potere calorifico medio H di 17,5MJ/kg, rispetto al carico d'incendio totale di progetto di 87.616 MJ, si ha una quantità equivalente di legno pari a 5.007 kg (combustibile presente nel compartimento e coinvolto nell'incendio). Il 70% del complessivo equivale a 3.505 kg. Pertanto la quantità di combustibile consumata dall'incendio pienamente sviluppato, considerando sia la parte di ignizione fino al flashover che la parte indicata dall'Eurocodice 1 (70%) è pari a 3.608 kg, che bruceranno alla velocità di 0,72 kg/s come calcolata sopra. Pertanto la durata dell'incendio pienamente sviluppato corrisponderà a 5.011 s.

Modellazione con FDS

La prima modellazione che affrontiamo è quella fatta col Fire Dynamic Simulator per il quale, ab-

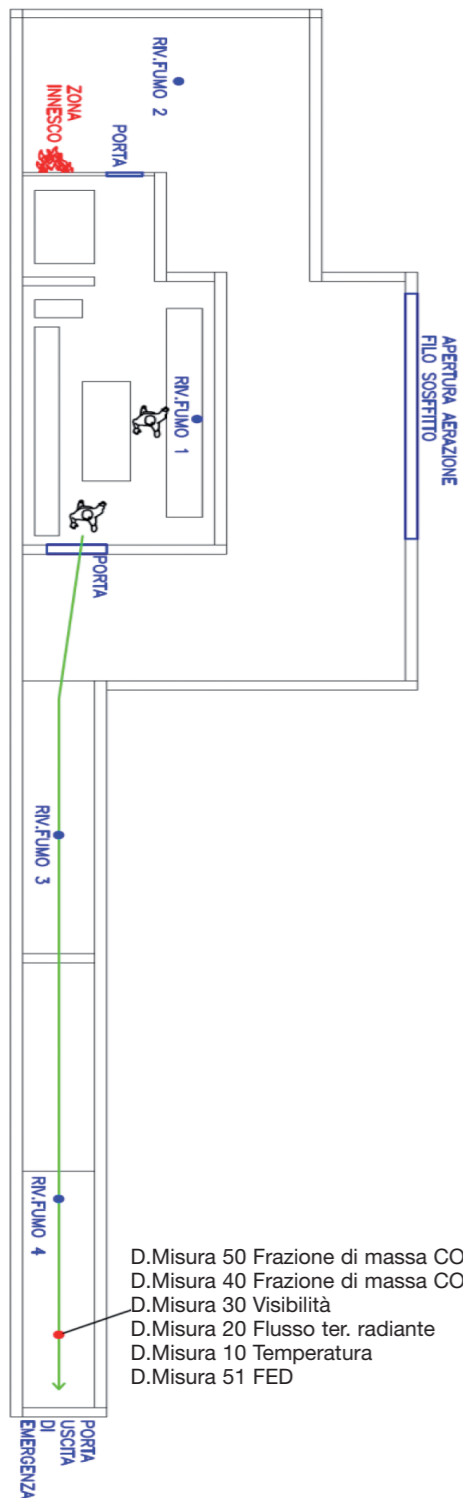


Figura 4 - Posizionamento sonde

D.Misura 50 Frazione di massa CO₂
 D.Misura 40 Frazione di massa CO
 D.Misura 30 Visibilità
 D.Misura 20 Flusso ter. radiante
 D.Misura 10 Temperatura
 D.Misura 51 FED

biamo determinato in via preliminare, qual è la regione (cella) di calcolo più appropriata. Assumendo la potenza Q calcolata pari a 11.000 KW con una densità dell'aria pari a $\rho_{\infty}=1,2 \text{ kg/m}^3$ e calore specifico $c_{\infty}=1,0 \text{ kJ/kgK}$, posto $T=298 \text{ K}$ (circa 25°C ambiente), avremo:

$$D^* = \left(\frac{11000}{1,2 * 1 * 298 * \sqrt{9,8}} \right)^{\frac{2}{5}}$$

Con diametro caratteristico del fuoco D^* pari a 2.49 m. Possiamo quindi impostare una cella di calcolo compresa tra $0,10 D$ e $0,4 D$. Abbiamo scelto, per poter confrontare i risultati, di utilizzare una griglia di 0,4 m ampiamente entro i parametri sopra calcolati. A seguito dei calcoli eseguito dal software di modellazione, i risultati ottenuti sono quelli di seguito indicati, che ovviamente vanno confrontati con i livelli di prestazione e verificati al tempo di RSET pari ad 96 s.

RHR

L'andamento della curva evidenzia il picco di flashover attorno a 250 s. Anche in questo caso l'andamento di crescita è maggiore rispetto alla crescita quadratica ipotizzata dalle varie curve di riferimento. Interessante notare però, come, dopo la crescita molto veloce, la curva si attesti su un valore medio di RHR pari a 2.5 MW, il che è notevolmente più basso di quanto calcolato in via preliminare.

Visibilità

La visibilità è stata verificata come da figura che segue nella posizione prospiciente l'uscita, si evidenzia che fino al tempo di circa 250 s la visibilità rimane sempre ampiamente oltre i 10 m, verificando le attese delle soglie di prestazione. Tale situazione è plausibile in quanto, fino al punto in prossimità del flashover, i prodotti della combustione vengono smaltiti dalle aperture di ventilazione, le quali diventano insufficienti nel momento in

cui tutto il materiale presente nel compartimento brucia (al tempo appunto di 200 s).

Gas Tossici

La linea dei FED (Fractional Effective Dose) si mantiene sempre al di sotto del valore di prestazione pari a 0.1 al tempo di RSET. Difatti, è possibile vedere che il valore aumenta a circa 250 s.

Temperatura massima di esposizione

Come per la curva della visibilità, anche quella della temperatura massima di esposizione è verificata, il suo valore al tempo di RSET è di poco meno di 22°C, ampiamente al di sotto della soglia di prestazione fissata in 60°C.

Irraggiamento termico massimo

L'analisi della curva evidenzia il rispetto del livello di prestazione pari a 2.5 kW/m² fino a circa 250s, verificandolo abbondantemente per il tempo di RSET.

Le immagini che seguono (Fig. 10, 11 e 12), ottenute con l'applicativo SmokeView, ci fanno intuire qualitativamente l'andamento dei fumi all'interno dell'ambiente.

Modellazione con CFAST

Il nostro RSET varrà:

$$t_{\text{det}} + t_a + t_{\text{pre}} + t_{\text{tra}} = 75+0+4+22 = 101 \text{ s.}$$

In questo scenario, essendo in presenza del solo rilevatore di fumo, il tempo t_{det} è de-

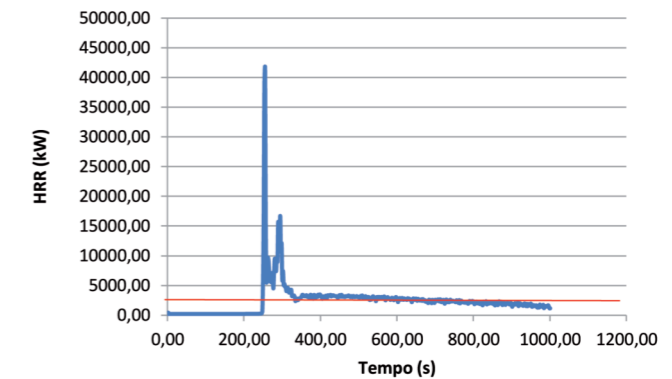


Figura 5 - Andamento della curva RHR

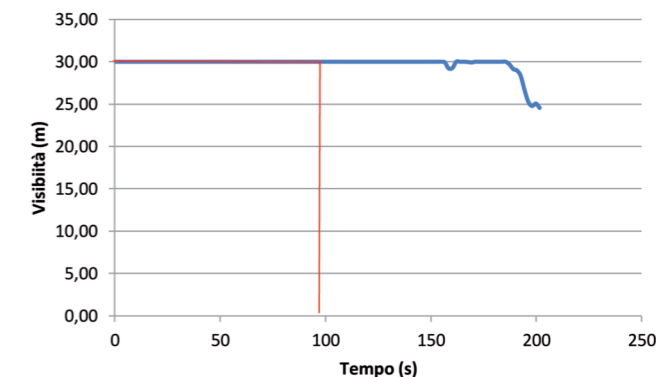


Figura 6 - Curva visibilità in prossimità della porta d'esodo

sunto dal tempo di attivazione del suddetto rilevatore come da Figura 13.

La stima dell' RHR rimarrà la stessa, per cui ricordiamo il dato saliente pari a:

$$RHR_{MAXVENT} = 0,10 * m * H * A_v * h_{eq}^{0.5} \\ = 0,10 * 0,8 * 17,5 * 7,192 * 1,17^{0.5} = 10.89 \text{ MW}$$

In Figura 14 la pianta del locale con l'indicazione della posizione delle sonde.

RHR

Come nello scenario precedente, l'RHR è

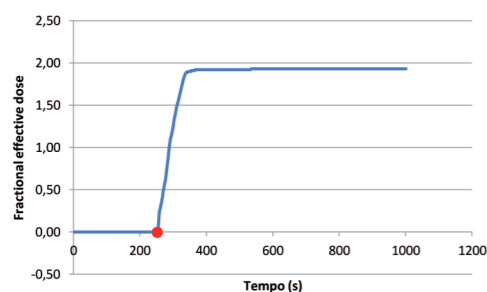


Figura 7 - Curva FED in prossimità dell'uscita

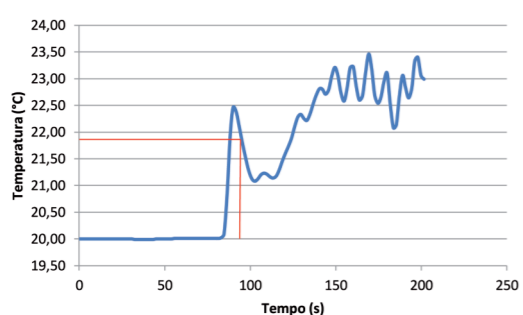


Figura 8 - Curva temperatura in prossimità dell'uscita

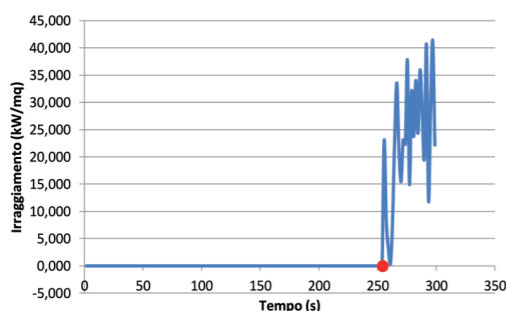


Figura 9 - Curva irraggiamento termico in prossimità dell'uscita

Figura 10 - Andamento dei fumi al tempo t_0

una dato di input, che abbiamo inserito pari a 11.000 kW.

Visibilità

L'andamento della visibilità è tale, che al tempo di RSET è sempre garantita superiore a 10 m.

Gas tossici

Si può verificare indirettamente il dato (di FED) con il metodo semplificato. L'altezza libera da fumi per una quota pari a 2 m, è garantita, come da figura per un tempo di gran lunga superiore al RSET calcolato. Mentre la temperatura dei fumi dello strato caldo, al tempo RSET è pari a circa 31°C, ben al di sotto della soglia di prestazione fissata in 200°C

Temperatura massima di esposizione

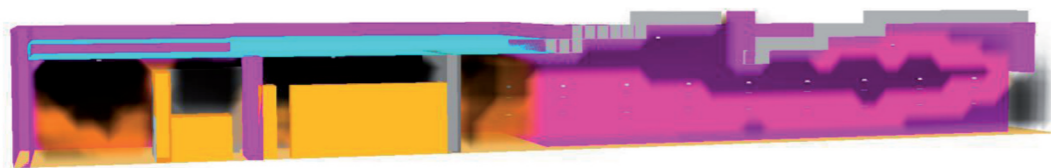
Dalla lettura della *Figura 18*, si nota che la temperatura di esposizione al tempo RSET è costante pari a 20°C.

Irraggiamento termico massimo

L'analisi della curva di *Figura 19* ci indica immediatamente il rispetto del livello di prestazione pari a 2,5 kW/m² al tempo di RSET di circa 100s. Tale livello di irraggiamento, infatti, si raggiunge dopo circa 440 s.

Confronto risultati

Il confronto dei risultati è quello riportato nella *Tabella 2*. La scelta di questo locale pare-

Figura 11 - Andamento dei fumi al tempo t_{RSET} Figura 12 - Andamento dei fumi al tempo $t_{flash-over}$

va ideale per attendersi dati molto diversi tra loro. Cominciamo il confronto sul tempo di RSET, calcolato sul tempo di attivazione del rilevatore di fumo più conservativo (quello posto più distante dall'innescio). Abbiamo ottenuto 96 e 101 secondi, rispettivamente

per la modellazione con FDS e con CFAST. Il dato appare particolarmente significativo in quanto, i tempi di attivazione dei rilevatori (in questo ambiente erano previsti solo rilevatori di fumo) sono praticamente uguali, ovvero 70 s per FDS e 75 s per CFAST.

Livello/Soglia di prestazione	Modellazione FDS	Modellazione CFAST
Visibilità > 10m a 1.8 m dal calpestio al tempo RSET	30	16
FED	<0.1	/
Temperatura fumi caldi a 2 m dal calpestio al tempo RSET	/	31°C
Altezza minima di 2 m dei fumi caldi verificata per RSET	/	200 s
Temperatura di esposizione non superiore a 60°C a RSET	22°C	20°C
Irraggiamento termico non superiore a 2.5 kW/m ²	<2,5 kW/m ² a RSET	<2,5 kW/m ² a RSET
RSET calcolato	96s	101s
Tempo attivazione rilevatore fumo	70s	75s

Tabella 2 - Confronto dei risultati

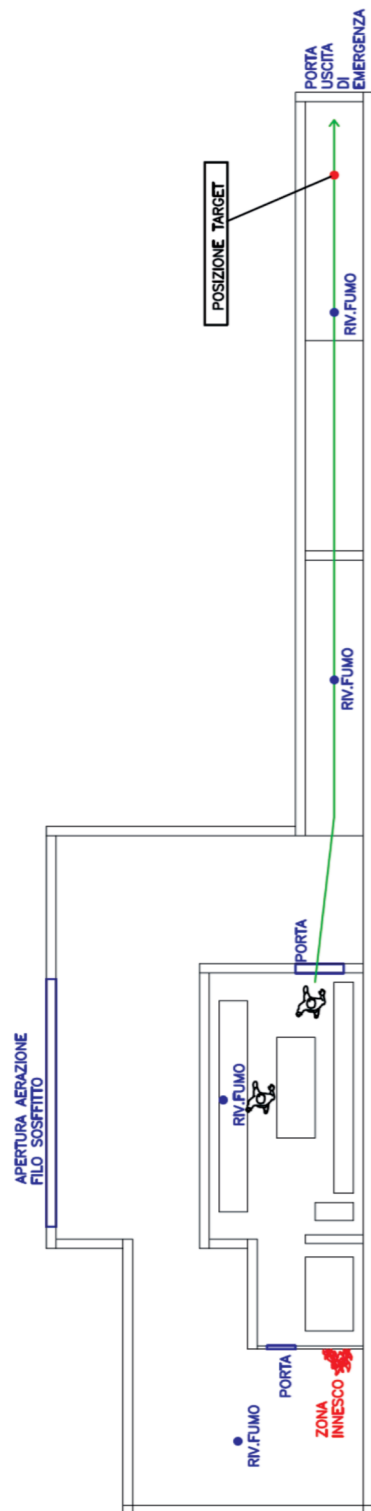


Figura 14 - Posizionamento sonde "target"

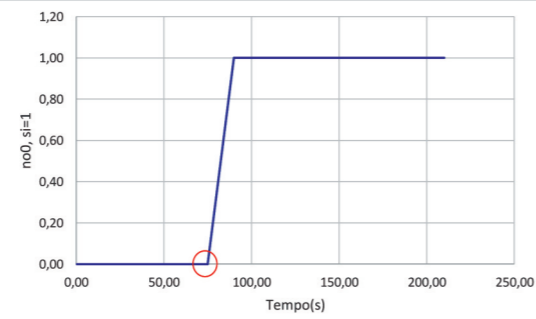


Figura 13 - Tempo di attivazione del rilevatore di fumo 4 (75s)

Nonostante quindi l'irregolarità del locale in termini di sviluppo, in questo caso i due software hanno elaborato praticamente lo stesso risultato.

Volendo confrontare la visibilità, appare evidente, in questo caso, che i risultati sono molto diversi. Infatti FDS indica in 30 m la visibilità al tempo di RSET, mentre CFAST la indica in 16 m (praticamente la metà). Entrambi i risultati verificano il livello di prestazione scelto pari a 10 m, ma giungendo a risultati molto dissimili.

La spiegazione a mio avviso, in questo caso, è proprio nel modello di calcolo.

Infatti, se per l'attivazione del rilevatore di fumo, posto a 3 metri di altezza, le due modellazioni sono praticamente identiche, man mano che il livello dal suolo diminuisce, aumenta la differenza della risoluzione di cal-

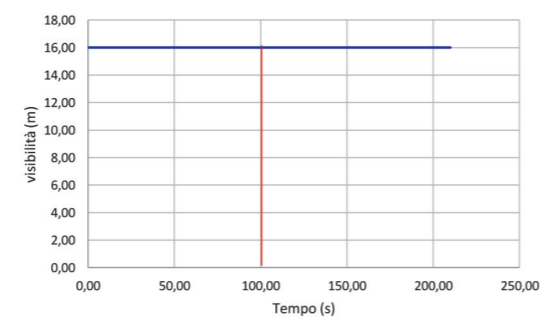


Figura 15 - Curva visibilità in prossimità del target

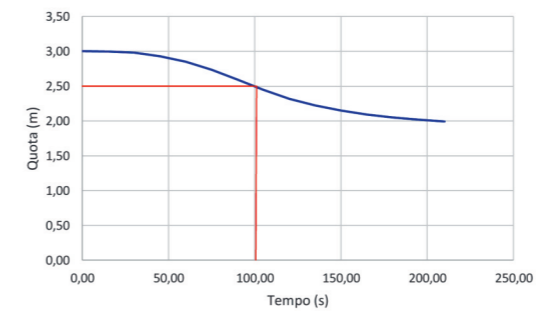


Figura 16 - Altezza libera da fumi al tempo di RSET pari a 101s

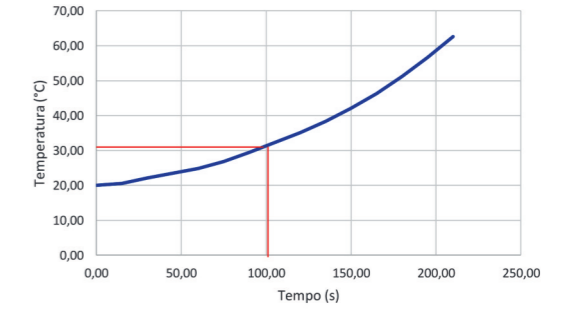


Figura 17 - Temperatura dello strato di gas caldi al tempo ESET

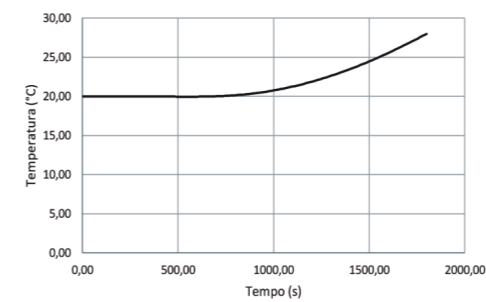


Figura 18 - Curva temperatura in prossimità del target posto a 1.8 m

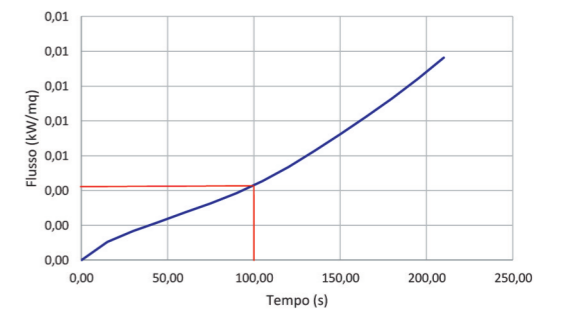


Figura 19 - Curva irraggiamento termico in prossimità del target

colo sulle aree che, per CFAST è rappresentata solo da quella superiore ed inferiore (modello bi-zona), mentre per FDS ricordiamo, è data da celle da 50 cm che hanno interazione le une con le altre.

Si ritiene molto più attendibile la previsione di FDS.

Le FED con FDS sono ampiamente verificate, così come con CFAST, attraverso sistema semplificato che offre come risultato, la temperatura dello strato dei fumi a 2 m di altezza pari a 31°C (ampiamente sotto il valore di soglia di 200°C), mentre lo strato libero dei fumi all'altezza di 2 m è verificato per un tempo di 200 s, quindi abbondantemente oltre il tempo di RSET.

Per quanto riguarda le temperature di

esposizione (che ricordiamo dovevano essere inferiori a 60°C), entrambi i modelli hanno dato esito positivo ed i due dati risultano molto simili (22°C per l'FDS e 20°C per CFAST) misurati sul nostro "target". Il dato riferito all'irraggiamento termico, è sempre verificato al tempo di RSET (<2.5 kW/m²) per entrambe le simulazioni.

Questa simulazione ha evidenziato come, nonostante la geometria stretta e lunga del locale ed un incendio con velocità fast, i risultati ottenuti con le due simulazioni siano talvolta molto simili.

Il che significa che non basta una irregolarità del locale per avere risultati dissimili, ma la stessa deve essere spinta sia dal punto di vista spaziale (locali molto più estesi) che dal punto di vista geometrico.