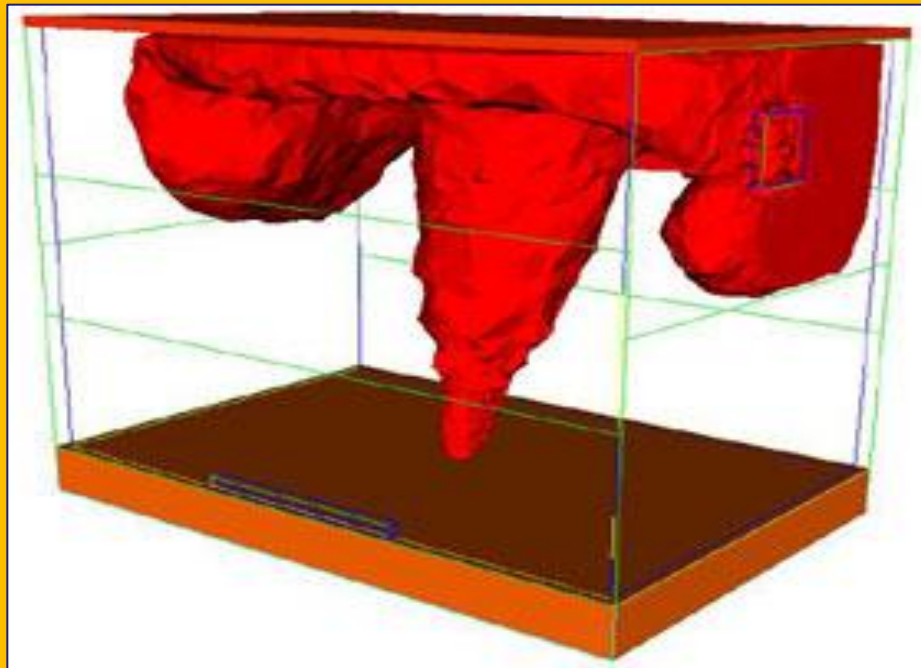


# *Ingegneria della Sicurezza Antincendio*



*(Fire Safety Engineering)*

# *Ingegneria della sicurezza antincendio*

## *(dal prescrittivo al prestazionale)*

- *Illustrazione del D.M. 9 maggio 2007 recante “direttive per l’attuazione dell’approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio”.*
- *Linee Guida FSE (Lett. Circ. M.I. DCPST/427 del 31/03/2008)*
- *La fire safety engineering (progettazione e valutazione con metodo prestazionale)*
- *D.M. 3 agosto 2015 capitoli M1, M2, M3 (metodi del Codice di Prevenzione Incendi)*
- *Modelli a zone e modelli di campo*
- *Software di calcolo*
- *Caso studio*

# *Cos'è la Fire Safety Engineering (FSE)*

## *(Ingegneria della sicurezza antincendio)*

- *Applicazione di principi ingegneristici, di regole e di giudizi esperti basati sulla valutazione scientifica del fenomeno della combustione, degli effetti dell'incendio e del comportamento umano finalizzati alla tutela della vita umana, alla protezione dei beni e dell'ambiente, alla quantificazione dei rischi di incendio e dei relativi effetti e alla valutazione analitica delle misure di prevenzione ottimali necessarie a limitare, entro i limiti previsti, le conseguenze dell'incendio.*

*Il D.M. 7 agosto 2012 che reca disposizioni relative alla modalità di presentazione delle istanze concernenti i procedimenti di prevenzione incendi, all'art.1 definisce:*

*d) approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio:*

*applicazione di principi ingegneristici, di regole e di giudizi esperti basati sulla valutazione scientifica del fenomeno della combustione, degli effetti dell'incendio e del comportamento umano, finalizzati alla tutela della vita umana, alla protezione dei beni e dell'ambiente, alla quantificazione dei rischi di incendio e dei relativi effetti ed alla valutazione analitica delle misure di protezione ottimali, necessarie a limitare, entro livelli prestabiliti, le conseguenze dell'incendio, ai sensi del decreto del Ministero dell'interno 9 maggio 2007;*

*e) SGSA: sistema di gestione della sicurezza antincendio di cui all'articolo 6 del decreto del Ministero dell'interno 9 maggio 2007;*

# *Cos'è la Fire Safety Engineering (FSE)*

## *(Ingegneria della sicurezza antincendio)*

- *Le tecniche di “fire engineering” consentono di affrontare e risolvere molti problemi di prevenzione incendi superando i tradizionali metodi prescrittivi previsti dalle regole tecniche. Poiché l'analisi è più “mirata” consentono di ottenere risultati più aderenti alla “realtà” e commisurare le misure di protezione antincendio alle “reali” necessità, con possibili risparmi anche sui costi degli interventi di prevenzione incendi.*

# *Cos'è la Fire Safety Engineering (FSE)*

## *(Ingegneria della sicurezza antincendio)*

- L'ingegneria della sicurezza antincendio, chiamata anche ingegneria antincendio, è una disciplina complessa, che affronta con metodi scientifici il problema della scelta delle misure di sicurezza più adeguate. Essa è stata definita per la prima volta in modo ufficiale con un documento dell'ISO (international standard organization) il TR 13387 (fire safety engineering).*

# *Cos'è la Fire Safety Engineering (FSE)*

## *(Ingegneria della sicurezza antincendio)*

- *L'aspetto scientifico di questa materia è legato essenzialmente al fatto che possono essere svolte simulazioni dell'incendio con metodi di calcolo, in modo da avere un'idea abbastanza precisa di cosa succede in un ambiente quando al suo interno scoppia un incendio.*

# ***Cos'è la Fire Safety Engineering (FSE)*** ***(Ingegneria della sicurezza antincendio)***

*I risultati delle simulazioni, infatti, permettono di calcolare esattamente, ad esempio,*

*quanto tempo hanno a disposizione le persone per fuggire, oppure*  
*quanto tempo possono resistere le strutture.*

*Nell'approccio tradizionale questo calcolo è sostituito da valutazioni convenzionali, che si adattano ad intere classi di edifici senza distinzione particolare del loro effettivo contenuto.*

## *Applicazioni possibili di Fire Safety Engineering (Ingegneria della sicurezza antincendio)*

- *Individuazione delle misure di compensazione nei progetti di deroga*, con analisi di tipo quantitativo, anche su singoli aspetti di prevenzione incendi (es.vie di esodo, resistenza al fuoco delle strutture)
- *Progettazione antincendio di strutture complesse* (grandi centri commerciali, strutture sportive, locali di pubblico spettacolo)
- *Investigazione antincendio* e consulenza tecnica a supporto dell'Autorità Giudiziaria.

# *Il vantaggio economico della Fire Engineering*

- *La metodologia prestazionale della fire engineering si basa sull'individuazione delle misure di protezione effettuata mediante scenari di incendio valutati ad hoc.*
- *A differenza delle norme prescrittive, che si basano principalmente su un approccio storico - empirico, la Fire Engineering si fonda su una prospettiva di tipo scientifico-predittivo.*
- *La novità dell'approccio ingegneristico alla sicurezza consiste nel fatto che, di ogni misura alternativa, può esserne quantificato l'effetto.*

## *Il vantaggio economico della Fire Engineering*

*Il vantaggio economico deriva dal fatto che, mentre con l'approccio tradizionale si potrebbe finire con l'accettare indifferentemente un gruppo di misure di sicurezza piuttosto che un altro, con le valutazioni ingegneristiche tale indifferenza svanisce, perché diviene noto e misurabile l'effetto sulla sicurezza complessiva dei singoli miglioramenti accettati.*

## *Fire Safety Engineering (alcuni riferimenti)*

- *ISO/TR 13387*
- *NFPA 101*
- *NFPA 914 (edifici storici)*
- *BS PD 7974-6 (esodo)*
- *NIST (National Institute of Standards and Technology)*
- *D.M. 9 maggio 2007*
- *Letteratura tecnica internazionale (Drysdale , Babrauskas)*
- *Letteratura tecnica nazionale*
- *Codice di Prevenzione incendi D.M. 3 agosto 2015 (metodi)*

# *D. M. 9 maggio 2007*

*(G.U. n. 117 del 22 maggio 2007)*

## *Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio*

- *8 articoli*
- *Stabiliscono le procedure per adottare l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio*
- *1 allegato tecnico*
- *Suddiviso in 5 punti che indicano il processo di valutazione e di progettazione*

# *Oggetto del Decreto (art.1)*

- *Vengono definiti gli aspetti procedurali ed i criteri da adottare per valutare il livello di rischio e progettare le conseguenti misure compensative utilizzando , come previsto dal D.M. 7 agosto 2012, l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio*

# *Campo di applicazione (art.2)*

- *Insedimenti di tipo complesso o a tecnologia avanzata*
- *Edifici di particolare rilevanza architettonica e/o costruttiva*
- *Edifici pregevoli per arte o storia*
- *Edifici ubicati in ambiti urbanistici di particolare specificità*

# *Campo di applicazione (art.2)*

## *Applicazione della metodologia*

- *Per individuare le misure da adottare nel caso di attività non regolate da specifiche disposizioni di prevenzione incendi*
- *Per individuare le misure di sicurezza equivalente nell'ambito dei procedimenti di deroga*

## *Alcune definizioni ...*

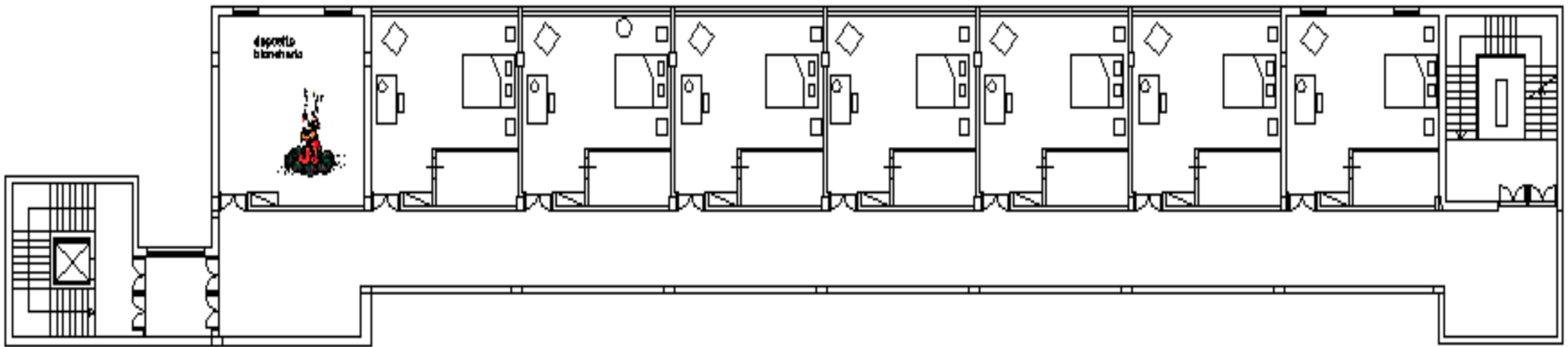
**scenario di incendio**: descrizione qualitativa dell'evoluzione di un incendio che individua gli eventi chiave che lo caratterizzano e che lo differenziano dagli altri incendi. Di solito può comprendere le seguenti fasi: innesco, crescita, incendio pienamente sviluppato, decadimento. Deve inoltre definire l'ambiente nel quale si sviluppa l'incendio ed i sistemi che possono avere impatto sulla sua evoluzione, come ad esempio eventuali impianti di protezione attiva;

**scenario di incendio di progetto**: specifico scenario di incendio per il quale viene svolta l'analisi utilizzando l'approccio ingegneristico.

**processo prestazionale**: processo finalizzato a raggiungere obiettivi e livelli di prestazione specifici;

**livelli di prestazione**: criteri di tipo quantitativo e qualitativo rispetto ai quali si può svolgere una valutazione di sicurezza;

# *Esempio di scenario di incendio*



*Incendio che ha inizio in un locale in cui normalmente non sono presenti persone ma che, per la sua posizione, può metterle in pericolo.*

## **Livelli di prestazione**

- *Il progettista deve indicare quali sono i parametri significativi presi a riferimento, ad esempio:*
- *Temperature massime dei gas*
- *Livelli di visibilità*
- *Livelli di esposizione termica per le persone e i materiali*
- *Livelli di concentrazione delle specie tossiche*

***N.B.** Per quantificare i livelli di prestazione (valori numerici rispetto ai quali verificare i risultati attesi del progetto) si può fare riferimento alle norme ISO/TR 13387 – BS 7974, EN 1991-1-2, DM.LL.PP 9/5/2001*

<u><b>Livello di prestazione</b></u>	<u><b>Soglia</b></u>
<b>Visibilità</b>	<b>10 metri per il tempo di esodo</b>
<b>Concentrazione di ossigeno</b>	<b>15%</b>
<b>Concentrazione di monossido di carbonio</b>	<b>500 ppm. (allucinazioni dopo 60-90 minuti di esposizione)</b>
<b>Concentrazione di CO<sub>2</sub></b>	<b>0,5 %</b>
<b>Irraggiamento</b>	<b>&lt; 2 KW/mq per tempo di esposizione limitato</b>
<b>Temperatura dell'aria</b>	<b>50- 60 ° C per il tempo di esodo</b>
<b>Altezza dei fumi dal pavimento</b>	<b>1,8 - 2 metri</b>

## *Domanda di parere di conformità sul progetto (art.3)*

- *Il Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco territorialmente competente valuta l'opportunità di acquisire il parere del Comitato Tecnico Regionale di Prevenzione Incendi*

*N.B. La durata del servizio di prevenzione incendi al fine di determinare l'importo del corrispettivo dovuto si ottiene moltiplicando il numero di ore stabilito per l'attività in esame per un fattore pari a 2 (in quanto vi è un maggiore impegno per la valutazione del progetto ed una maggiore complessità dello stesso)*

## ***Domanda di deroga (art.4)***

- *La documentazione tecnica prevista dall'art. 6 del DM 7 agosto 2012 deve essere integrata con:*
  - 1. Valutazione del rischio aggiuntivo** e indicazione delle misure tecniche compensative determinate utilizzando la metodologia dell'approccio ingegneristico*
  - 2. Documento contenente il programma per l'attuazione del **sistema di gestione della sicurezza antincendio (SGSA)***  
*Versamento del corrispettivo previsto per il parere di conformità maggiorato del 50%*

## *SCIA (art.5)*

- *La SCIA, come previsto dall'art.4 comma 2 del D.M. 7/8/2012, deve essere integrata da una dichiarazione, a firma del responsabile dell'attività, in merito all'attuazione del programma relativo al **sistema di gestione della sicurezza antincendio (SGSA)***

## *(SGSA) Sistema di gestione della sicurezza antincendio (art.6)*

- *Il **SGSA** è necessario per tenere sotto controllo i parametri che hanno determinato la scelta degli scenari di incendio in base ai quali sono state individuate le specifiche misure di protezione (nel caso della FSE questo è molto importante)*
- *Il **SGSA** deve essere verificato dal Comando VVF in occasione della visita di sopralluogo per il rilascio del certificato di prevenzione incendi e successivamente in occasione dei successivi sopralluoghi e comunque ogni 6 anni*

# ***Osservatorio per l'approccio ingegneristico (art.7)***

- *Presso il Dipartimento dei Vigili del Fuoco è istituito un Osservatorio per l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio per favorire la massima integrazione tra tutti i soggetti chiamati all'attuazione delle disposizioni inerenti la Fire Safety Engineering*

## ***L'Osservatorio ha compiti di:***

- *monitoraggio*
- *adottare misure per uniformare l'attuazione della metodologia*
- *fornire supporto agli organi territoriali del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.*

# *Osservatorio per l'approccio ingegneristico (art.7)*

- *I Comandi Provinciali dei Vigili del Fuoco comunicano all'Osservatorio i dati inerenti i progetti esaminati redatti secondo l'approccio ingegneristico*
- *L'Osservatorio, qualora lo ritenga utile per la propria attività può richiedere ai Comandi di produrre la documentazione tecnica inerente i singoli procedimenti*
- *Composizione e modalità di funzionamento dell'Osservatorio sono dettate con provvedimento del Capo del CNVVF*

## *Processo di valutazione e progettazione (allegato al DM 9 maggio 2007)*

- *E' caratterizzato da una prima fase in cui sono formalizzati i passaggi che conducono ad individuare le condizioni più rappresentative del rischio al quale è esposta l'attività e quali sono i livelli di prestazione cui riferirsi in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire (valori numerici rispetto ai quali verificare i risultati attesi del progetto)*
- *Livelli di prestazione : criteri di tipo quantitativo e qualitativo rispetto ai quali si può svolgere una valutazione di sicurezza (per esempio: la visibilità, la concentrazione di ossigeno, la concentrazione di monossido di carbonio, la temperatura, l'altezza dello strato dei fumi)*

## *Processo di valutazione e progettazione (allegato al DM 9 maggio 2007)*

- *Al termine della prima fase deve essere redatto un sommario tecnico (firmato dal progettista e dal titolare dell'attività) ove è sintetizzato il criterio seguito per individuare gli scenari di incendio e i livelli di prestazione.*
- *Definiti gli scenari di incendio, nella seconda fase si passa al calcolo e cioè all'analisi quantitativa degli effetti dell'incendio in relazione agli obiettivi assunti, confrontando i risultati con i livelli di prestazione e definendo il progetto da sottoporre ad approvazione*

*Elenco delle informazioni e della documentazione aggiuntiva  
(rispetto a quanto previsto dal DM 7/8/2012) da presentare in caso  
di progettazione svolta con l'approccio ingegneristico*

- 1. Scheda informativa generale*
- 2. Analisi preliminare (I fase)*
- 3. Analisi quantitativa (II fase)*
- 4. Scheda rilevamento dati*

# *Scheda informativa generale*

- *Indicazione del responsabile dell'attività*
- *Individuazione del responsabile della progettazione antincendio generale*
- *Individuazione del progettista che utilizza l'approccio ingegneristico e del progettista che ha redatto il SGSA qualora diversi dal progettista antincendio generale*
- ***Finalità per le quali è applicato l'approccio ingegneristico***
  - *per gli aspetti di prevenzione incendi:*
    - *analisi dei campi termici*
    - *diffusione fumi e verifica delle vie di esodo*
    - *valutazione dei tempi di esodo*
    - *valutazione dei requisiti di resistenza al fuoco*
    - *valutazione della resistenza al fuoco della costruzione o parte di essa*
  - *per altri aspetti particolari:*
    - *protezione di beni o infrastrutture*
    - *prosecuzione attività*

## *Alcune precisazioni ...*

*Deve essere chiaro quali aspetti della progettazione vengono affrontati tramite l'approccio ingegneristico e quali ne sono esclusi*

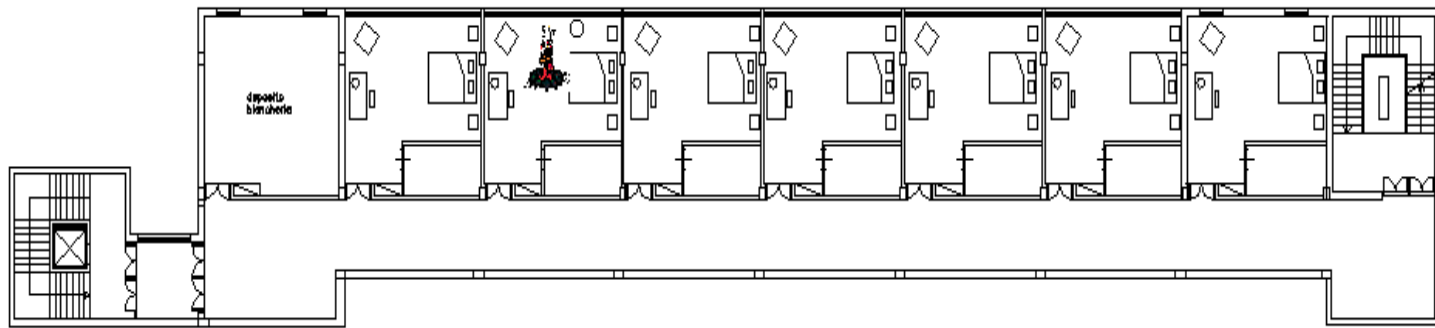
*Il progetto può, ad esempio, prevedere l'analisi della diffusione dei fumi in relazione ai tempi di esodo ma garantire i requisiti di resistenza al fuoco con analisi di tipo prescrittivo (con riferimento alla norma, se esistente o ai criteri generali di prevenzione incendi)*

*La scheda informativa deve essere firmata dal responsabile dell'attività e da tutti i soggetti coinvolti nella progettazione*

*N.B. Tutta la documentazione di progetto deve essere firmata dal responsabile dell'attività che ha prodotto l'istanza*

# *Identificazione degli scenari di incendio di progetto*

*Devono essere valutati gli incendi realisticamente ipotizzabili nelle condizioni di esercizio previste, scegliendo i più gravosi per lo sviluppo e la propagazione dell'incendio, la conseguente sollecitazione strutturale, la salvaguardia degli occupanti e la sicurezza delle squadre di soccorso.*

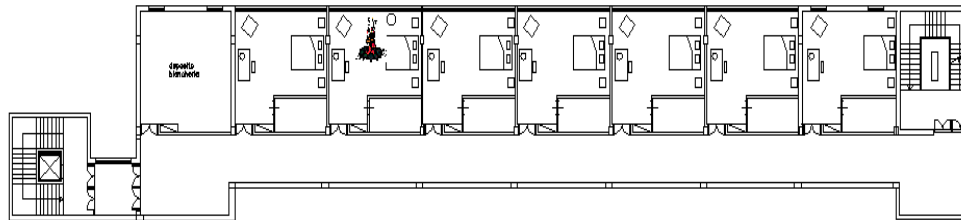


# *Analisi preliminare (I fase)*

## *Individuazione degli scenari di incendio di progetto*

*Risultano determinanti le seguenti condizioni:*

- *Stato, tipo e quantitativo del combustibile*
- *Configurazione e posizione del combustibile*
- *Tasso di crescita del fuoco e picco della potenza rilasciata (HRR max)*
- *Tasso di sviluppo dei prodotti della combustione*
- *Caratteristiche dell'edificio (geometria del locale, condizioni di ventilazione, stato di porte e finestre, eventuale rottura di vetri)*
- *Condizioni delle persone presenti.*



## *Analisi quantitativa (II fase)*

- **Scelta dei modelli**. *Il progettista deve individuare il modello di calcolo più appropriato al caso in esame (ad esempio: modelli a zone o modelli di campo)*
- **Risultati delle elaborazioni** *(l'applicazione del modello scelto deve fornire una serie di parametri numerici che servono a descrivere l'evoluzione dell'incendio da confrontare con i livelli di prestazione previsti).*
- **Individuazione del progetto finale**. *Al Comando Provinciale VVF deve essere presentato il progetto che è stato verificato con gli scenari di incendio prescelti e che soddisfa i livelli di prestazione individuati)*

# *Analisi quantitativa (II fase)*

## *Documentazione di progetto*

- *Modelli utilizzati*
- *Parametri e valori associati*
- *Origine e caratteristiche dei codici di calcolo*
- *Confronto tra risultati e livelli di prestazione*
- *Tabulati di calcolo e dati di input (se richiesti dal Comando Provinciale)*

## *Analisi quantitativa (II fase)*

### *Sistema di gestione della sicurezza antincendio (SGSA)*

- Organizzazione del personale;*
- Identificazione e valutazione dei pericoli derivanti dall'attività;*
- Controllo operativo;*
- Gestione delle modifiche;*
- Pianificazione di emergenza;*
- Sicurezza delle squadre di soccorso;*
- Controllo delle prestazioni;*
- Manutenzione dei sistemi di protezione;*
- Controllo e revisione.*

# *Curva di sviluppo dell'incendio o curva HRR*

- Istante per istante un incendio produce energia sotto forma di calore variabile in funzione del potere calorifico e della velocità di combustione.*
- Ad ogni istante dell'incendio corrisponde un valore di potenza termica rilasciata che, espressa in KW è pari a:*

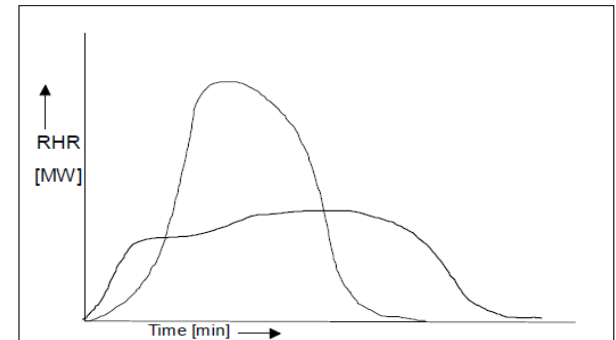
$$HRR(t) = H \times V(t)$$

*dove:*

***HRR = Heat Release Rate (KW)***

***H = Potere calorifico (KJ/Kg)***

***V = velocità di combustione (Kg/s)***

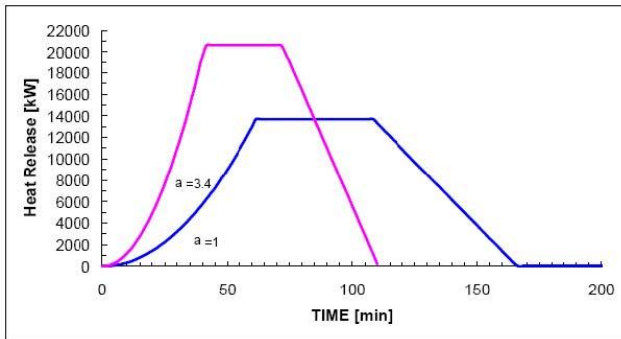


## ***HRR e Carico di incendio***

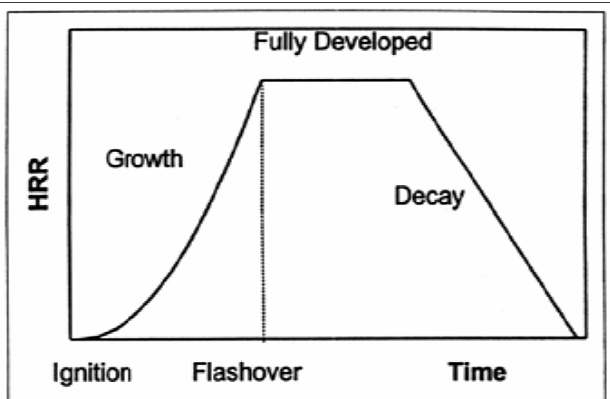
*Nelle valutazioni dei valori di temperatura che possono raggiungersi in un compartimento chiuso durante un incendio nella fase di pre-flashover, il valore di HRR come dato di input è più attendibile di quello del carico di incendio in quanto in tale fase solo una parte del combustibile partecipa alla combustione.*

*Infatti se si utilizza il carico di incendio, in tale fase, la stima dei valori di temperatura risulta molto conservativa perché si suppone che tutto il combustibile presente nell'ambiente partecipi al processo di combustione (**tale assunzione è valida soltanto per le valutazioni post-flashover**)*

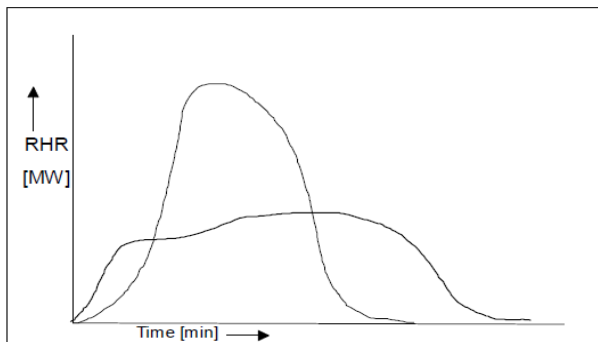
# Curve HRR



*L'area del diagramma rappresenta l'energia complessivamente emessa nel corso dell'incendio*



*HRR (KW) è il rateo di rilascio termico nel corso di un incendio ovvero la quantità di energia rilasciata nell'unità di tempo*



*Esempio di curve HRR con diverse caratteristiche che sviluppano complessivamente la stessa energia*

# Incendio in un compartimento

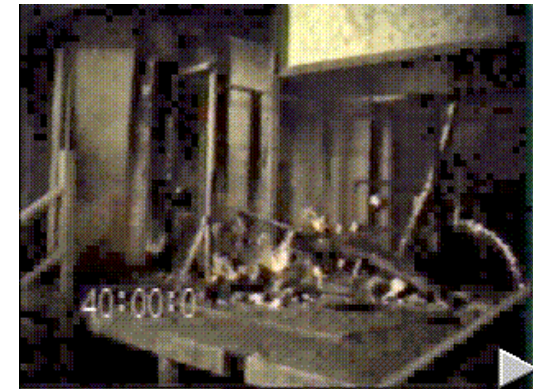
## POSTAZIONE DI LAVORO VDT



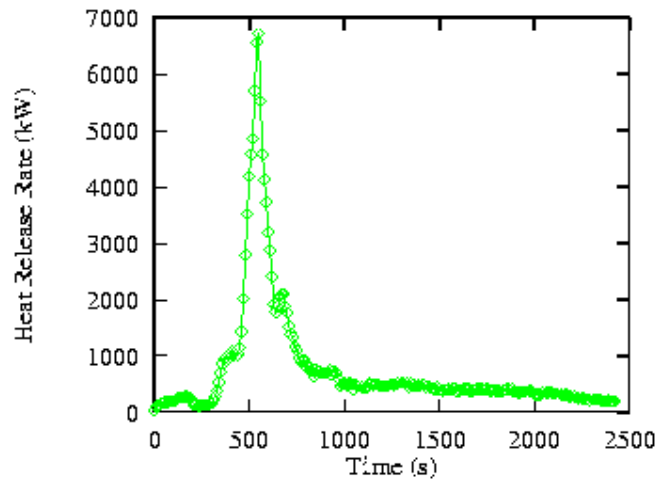
INIZIO



PICCO MAX



FINE



Valore max HRR: **6750kW**  
Energia totale rilasciata: **1745MJ**

# Incendio in un compartimento

## MATERASSO IGNIZIONE CENTRALE



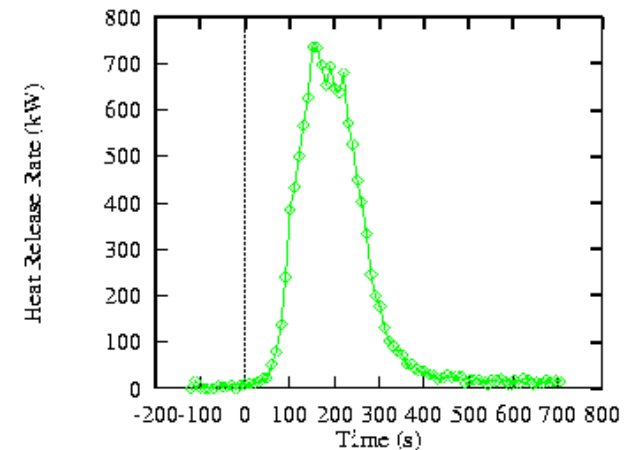
INIZIO



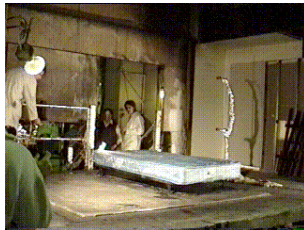
PICCO MAX



FINE



## MATERASSO IGNIZIONE D'ANGOLO



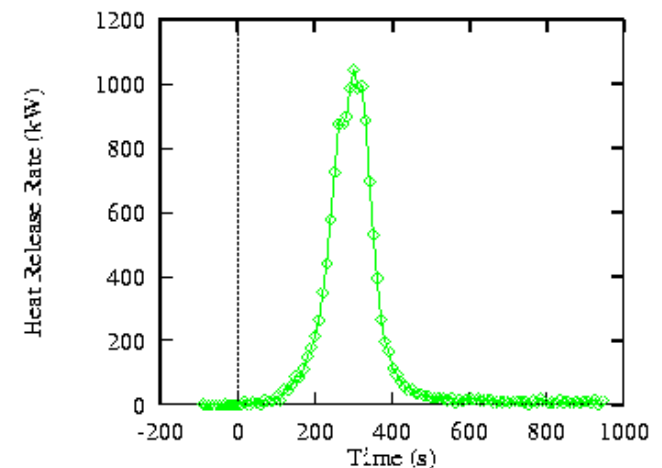
INIZIO



PICCO MAX



FINE



Valore max HRR: **1050kW**  
Energia totale rilasciata: **150MJ**

# Incendio in un compartimento

## DIVANO



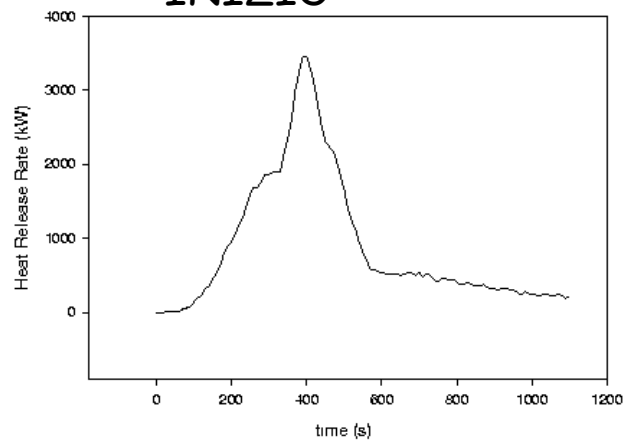
INIZIO



PICCO MAX



FINE



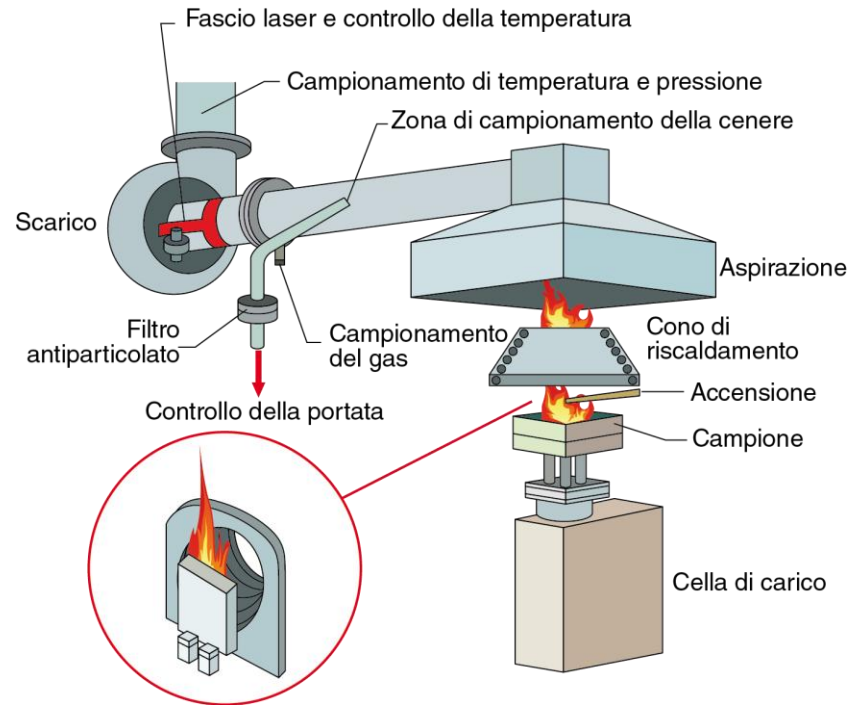
Valore max HRR: **3500kW**  
Energia totale rilasciata: **850MJ**

# Cono calorimetrico

Il calorimetro a cono permette la valutazione del tasso di rilascio di calore (HRR) di un materiale.

La ISO 5660-1:2002 descrive il metodo per la valutazione dell'HRR per un campione in posizione orizzontale esposto a livelli controllati di irraggiamento termico, mediante una fonte di ignizione esterna.

**L'HRR viene determinato attraverso la misura del consumo di ossigeno. Il calore netto di combustione dei prodotti è, infatti, proporzionale alla quantità di ossigeno richiesta per la combustione.** In questo test viene, inoltre, determinato il tempo di ignizione.



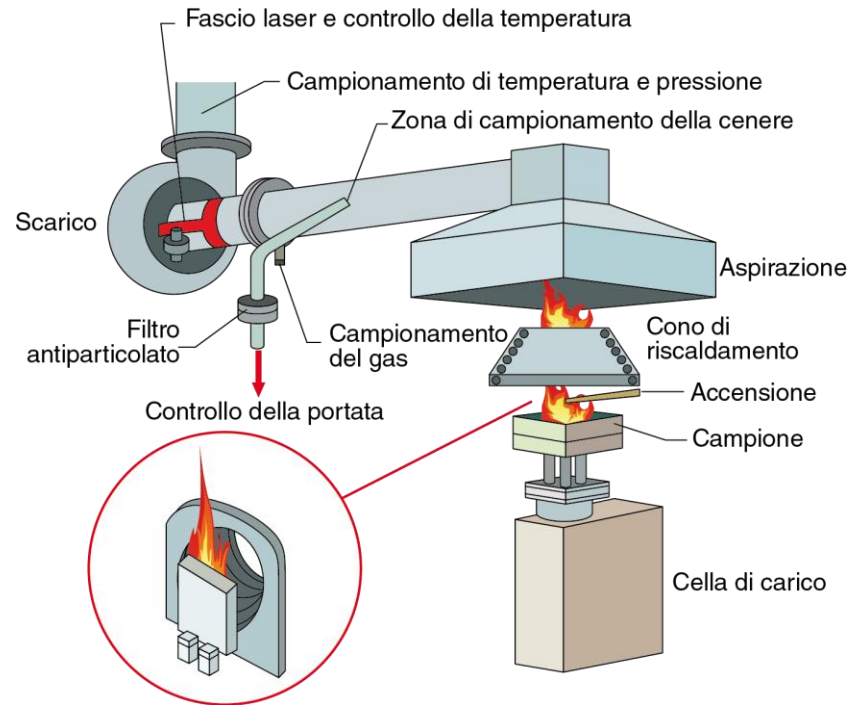
*Tratto da [www.noselab-ats.com](http://www.noselab-ats.com)*

# Cono calorimetrico

La ISO 5660-2:2002 specifica il metodo per valutare il tasso di produzione di fumo di campioni a superficie piana esposti a livelli controllati di irraggiamento in ambienti ben ventilati, con o senza una fonte di ignizione esterna.

## Tasso di rilascio del calore (HRR) in funzione del tempo.

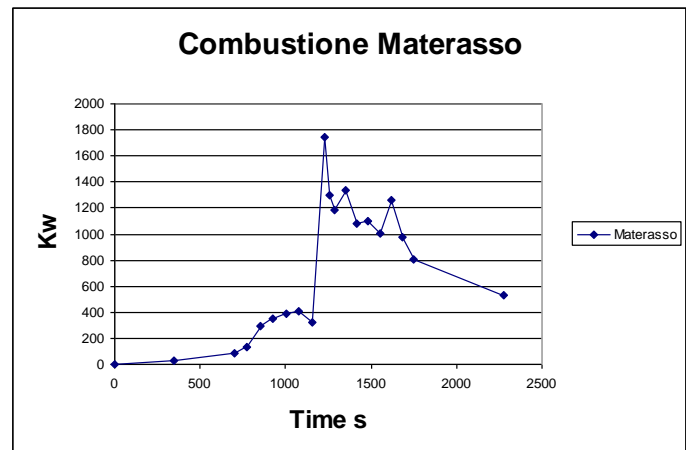
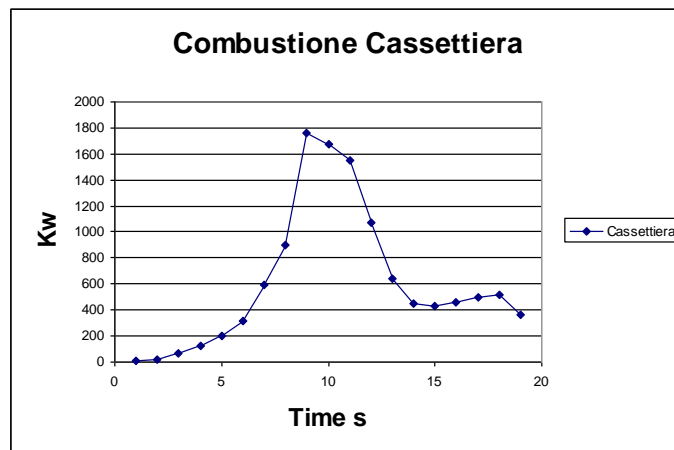
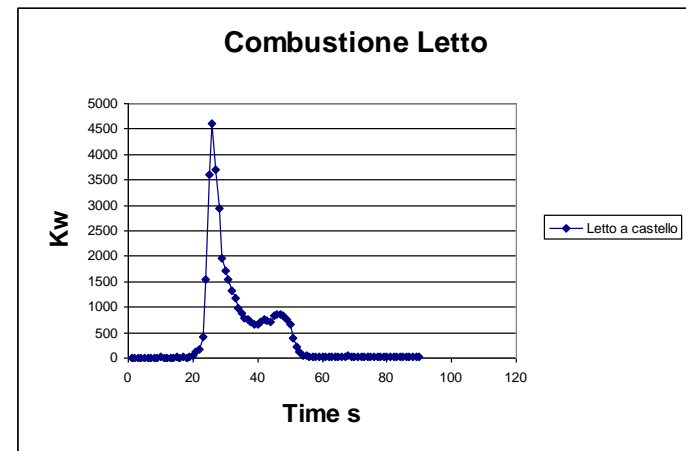
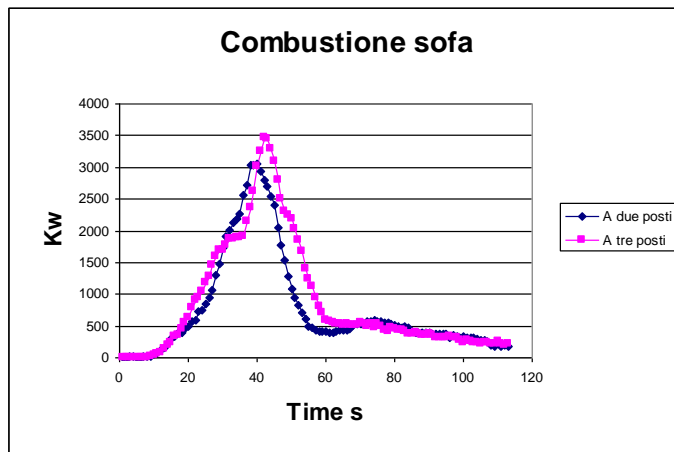
Il tasso di rilascio del calore (HRR) misurato attraverso il cono calorimetro è considerato il parametro più importante per valutare le proprietà al fuoco di un materiale. In particolare, il valore del picco della curva HRR ( $\dot{Q}_{max}$ ) serve a determinare l'intensità del fuoco sviluppato.



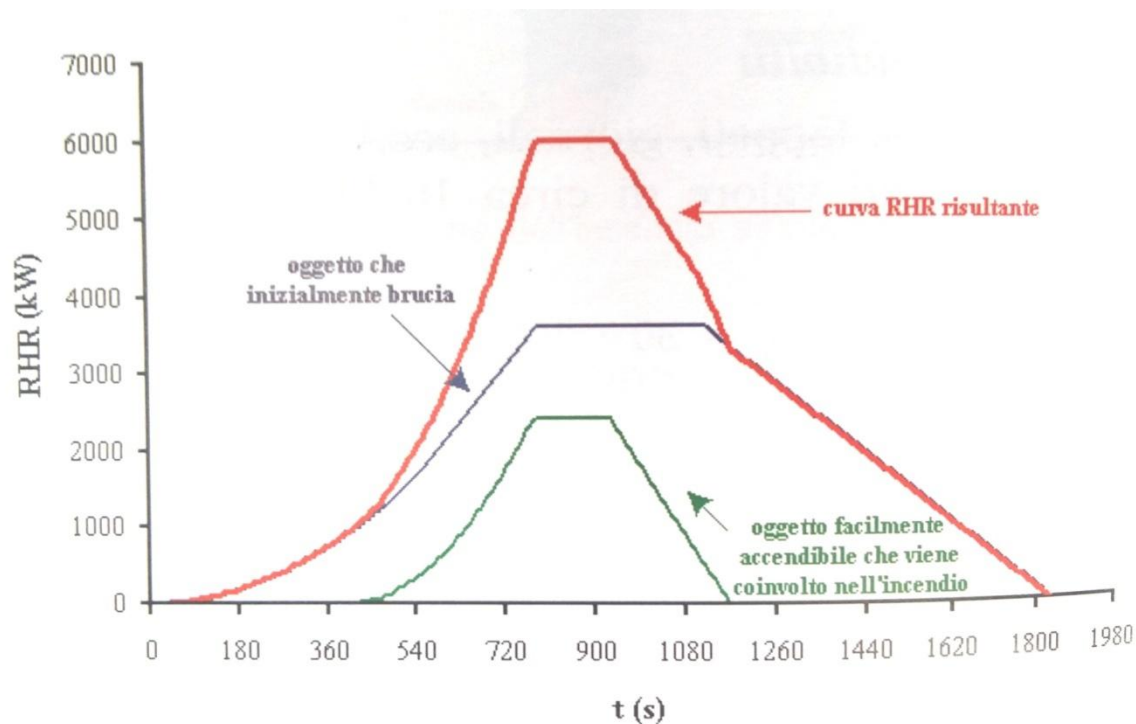
# Il report di prova comprende:

- ☐ identificazione del provino
- ☐ codice numero
- ☐ data test
- ☐ operatore
- ☐ composizione o generica identificazione
- ☐ spessore e massa del provino
- ☐ colore e dettagli della preparazione
- ☐ orientamento
- ☐ calore radiante e flusso del condotto
- ☐ numero dei campioni testati (min.3)
- ☐ tempo di sostentamento fiamma
- ☐ diagramma calore rilasciato per area
- ☐ picco e media del calore dopo 60/180/300 sec.
- ☐ Totale calore rilasciato in MJ/mq
- ☐ Media del calore rilasciato per l'intero test MJ/kg
- ☐ Relativo diagramma
- ☐ Massa rimanente dopo il test
- ☐ Perdita di massa Kg/mq
- ☐ Velocità di perdita di massa gr/mq-s
- ☐ Oscurazione del fumo Mq/kg

# *Curve reali di potenza termica rilasciata (HRR) nella combustione di oggetti (determinate sperimentalmente) tratto dal sito del NIST*



# Variazione nel tempo della curva RHR derivante dalla combustione di due oggetti Curva HRR risultante



*Immagine tratta dal libro “ Approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio”  
edito da Legislazione Tecnica - a cura di A. La Malfa*

# *Potenza termica minima che provoca ignizione di altri materiali (NFPA 555)*

**Materiali facilmente accendibili (tende, tappeti, giornali)**

$$RHR_{min} = 30 \times 10^{(D + 0,08)/0,89}$$

**Materiali normalmente resistenti all'ignizione (poltrone e mobili imbottiti)**

$$RHR_{min} = 30 \times (D + 0,05) / 0,019$$

**Materiali difficilmente accendibili (legno e plastiche termoindurenti)**

$$RHR_{min} = 30 \times (D + 0,02) / 0,0092$$

- *RHR min (KW): potenza termica minima che provoca l'ignizione*
- *D (m): distanza tra il materiale che brucia e quello che può essere innescato*

# Combustione

## Controllata dal combustibile

*La quantità del combustibile determina l'entità dell'incendio che si sviluppa. Nel luogo dell'incendio vi è sovrabbondanza di ossigeno (fase iniziale, luogo aperto, ambiente di grandi dimensioni)*

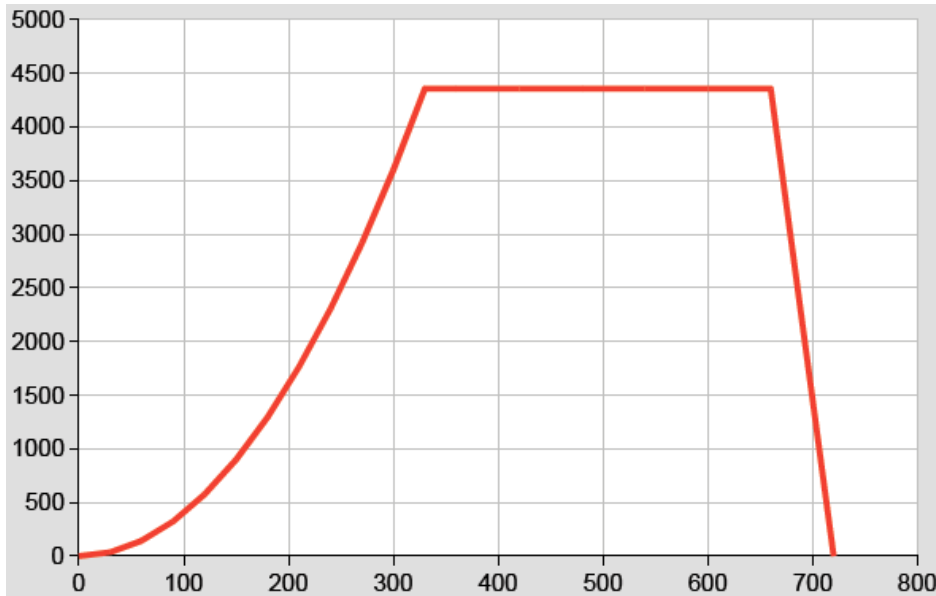
## Incendio non vincolato

## Controllata dalla ventilazione

*E' la quantità di ossigeno presente a regolare l'entità della combustione. Può esservi anche una grande quantità di combustibile, ma questo non può bruciare adeguatamente perché non vi è ossigeno sufficiente*

## Incendio vincolato

# Curve teoriche HRR



*Fase iniziale di crescita : 10% - 30%*

*Fase di pieno sviluppo 40% - 60%*

*Fase di decadimento 20% - 30%*

*Nella fase di decadimento il decremento della temperatura si può considerare pari a circa 10° C per ogni minuto di durata dell'incendio*

# Curve HRR

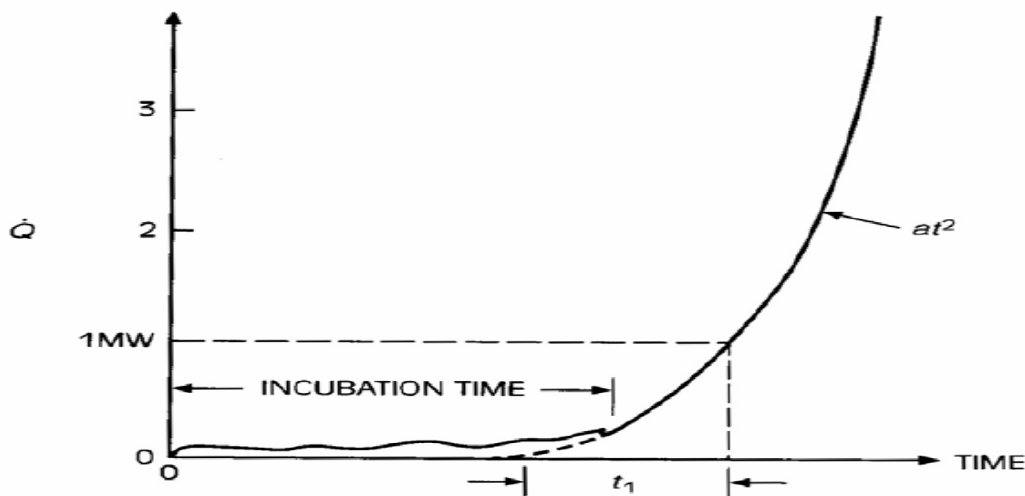
*I valori assunti dal progettista per la costruzione della curva HRR corrispondente ad un determinato scenario devono essere adeguatamente giustificati. Un riferimento condiviso per definire il tipo di crescita dell'incendio è dato in tabella dall'Eurocodice EN 1991-1-2*

<b><i>Max rate of heat release <math>RHR_f</math></i></b>			
<i>Occupancy</i>	<i>Fire growth rate</i>	<i>T(sec)</i>	<i><math>RHR_f</math> (KW/mq)</i>
<i>Dwelling</i>	<i>Medium</i>	<i>300</i>	<i>250</i>
<i>Hospital (room)</i>	<i>Medium</i>	<i>300</i>	<i>250</i>
<i>Hotel (room)</i>	<i>Medium</i>	<i>300</i>	<i>250</i>
<i>Library</i>	<i>Fast</i>	<i>150</i>	<i>500</i>
<i>Office</i>	<i>Medium</i>	<i>300</i>	<i>250</i>
<i>Classroom of a school</i>	<i>Medium</i>	<i>300</i>	<i>250</i>
<i>Shopping centre</i>	<i>Fast</i>	<i>150</i>	<i>500</i>
<i>Theatre (cinema)</i>	<i>Fast</i>	<i>150</i>	<i>500</i>
<i>Transport (public space)</i>	<i>Slow</i>	<i>600</i>	<i>250</i>

**La velocità di crescita dell'incendio** dipende dal processo di accensione, dalla propagazione delle fiamme che ne definiscono il perimetro e dal tasso di combustione.

Per incendi che coinvolgono mobili, suppellettili o merci varie non è possibile descrivere il fenomeno con semplici formule. In ogni caso ogni oggetto coinvolto dalla combustione ha un suo caratteristico **tempo di crescita** e quindi una sua **velocità di combustione**.

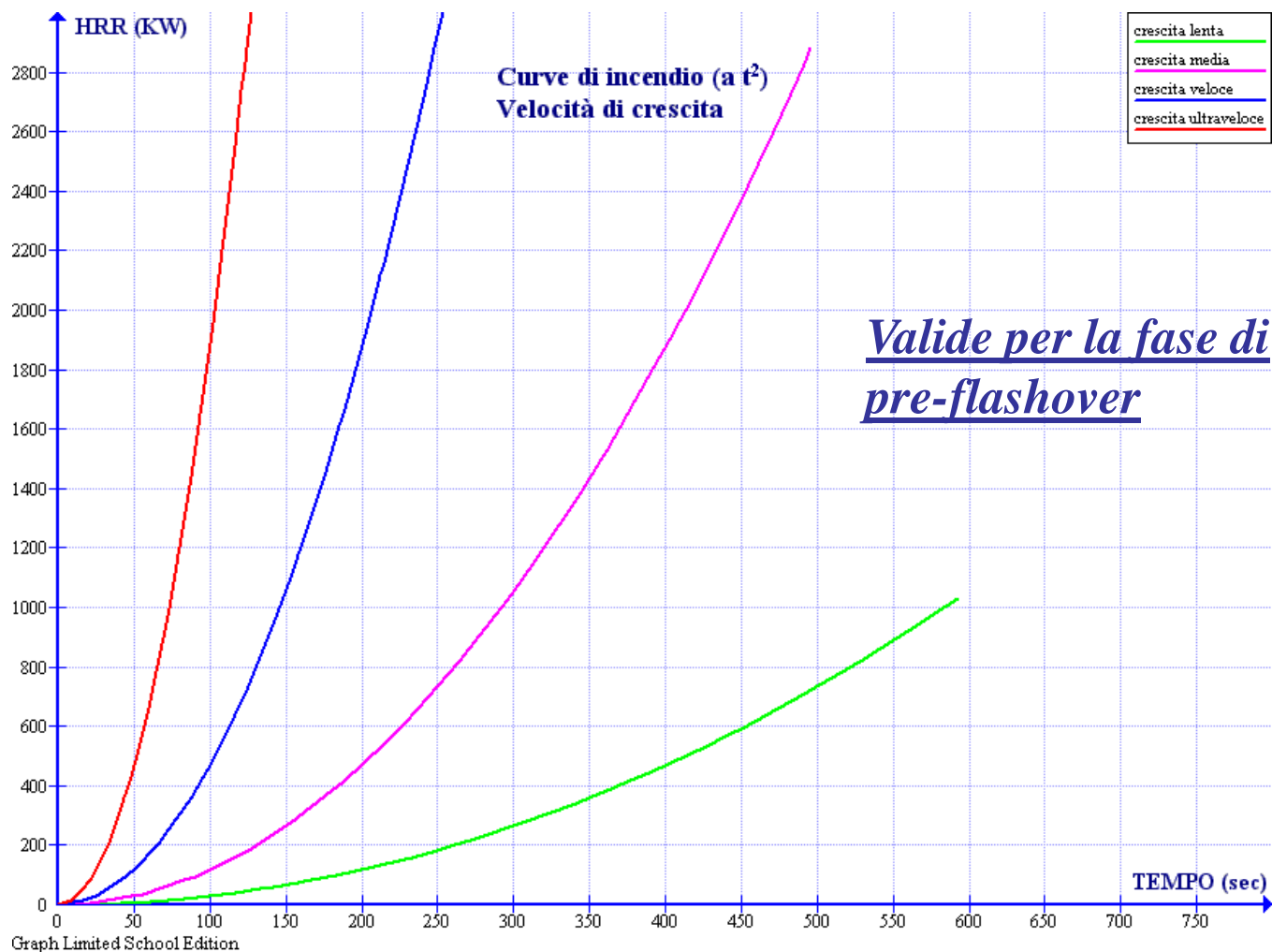
Per convenzione, si è fissato questo tempo come quello necessario per ottenere un picco del tasso di rilascio dell'energia termica pari ad **1MW**. Varie sperimentazioni, su varie scale, hanno permesso la compilazione di tabelle di materiali ed oggetti che riportano questo valore. Si è anche trovato che il tasso di rilascio termico segue approssimativamente una legge proporzionale al quadrato del tempo del tipo  $Q = at^2$ . Dove  $a$  è una costante associata all'oggetto.



# Curve teoriche dell'incendio

- Con riferimento al tempo per raggiungere un rateo di rilascio termico (potenza di fuoco) pari a 1055 KW (1000 BTU) si ha:
- Crescita lenta ( $t = 600 \text{ sec}$ ) -  $HRR = 0,00278 \text{ t}^2$  (materiali poco combustibili distribuiti in modo discontinuo o inseriti in contenitori non combustibili)
- Crescita media ( $t = 300 \text{ sec}$ ) -  $HRR = 0,01111 \text{ t}^2$  (scatole di cartone impilate, pallets in legno, libri ordinati su scaffali, mobili in legno, automobili, materiali classificati per reazione al fuoco)
- Crescita veloce ( $t = 150 \text{ sec}$ ) -  $HRR = 0,04444 \text{ t}^2$  (materiali plastici impilati, prodotti tessili sintetici, apparecchiature elettroniche, combustibili non classificati per reazione al fuoco)
- Crescita ultra veloce ( $t = 75 \text{ sec}$ ) -  $HRR = 0,17778 \text{ t}^2$  (liquidi infiammabili, materiali plastici cellulari o espansi, schiume combustibili, stoccaggio verticale aperto di materiali facilmente combustibili con altezza superiore a 4 m)

# Curve teoriche dell'incendio



# *Analisi preliminare (I fase)*

## *Scenari di incendio di progetto*

*Gli scenari di incendio rappresentano la schematizzazione degli eventi che possono ragionevolmente verificarsi in relazione alle caratteristiche del focolaio, dell'edificio e degli occupanti (vedi anche DM 10/3/1998)*

*Nella individuazione degli scenari di incendio di progetto devono essere valutati quelli realisticamente ipotizzabili nelle condizioni esercizio previste, scegliendo i più gravosi per lo sviluppo e la propagazione dell'incendio.*

# *Scenari di incendio*

*Lo scenario è quel gruppo di informazioni che definiscono la situazione nella quale si sviluppa un incendio; per sua natura, quindi, anche nelle situazioni più semplici il numero di scenari è molto elevato*

*Lo scenario identifica il gruppo di condizioni sotto cui si intende simulare l'incendio*

*Condizioni che definiscono lo sviluppo dell'incendio e la propagazione dei prodotti della combustione nell'edificio o in una sua parte.*

# *Scenari di incendio*

- *Scenario peggiore (worst case scenario): quello che comporta le conseguenze peggiori in relazione a quanto stabilito dall'interessato o dalla norma*
- *Peggior scenario credibile (worst credible scenario): quello che può essere ragionevolmente atteso e che comporta conseguenze non più gravi dello scenario peggiore.*

# *Scenari di incendio*

*Le simulazioni vanno eseguite con i peggiori scenari credibili che possono ragionevolmente verificarsi nel caso in esame o con riferimento a norme internazionali (NFPA)*

*E' necessario:*

- considerare tutti gli scenari possibili*
- definire gli scenari di incendio di progetto*
- quantificare gli scenari di incendio di progetto.*

# *Scenari di incendio*

- *Strumenti per l'identificazione degli scenari di incendio possibili*
  - *FMEA*
  - *Failure analysis*
  - *What if Analysis*
  - *Dati storici e liste di controllo*
  - *Dati statistici*

# *Scenari di incendio*

- *Identificazione degli scenari di progetto*

*Il passaggio dagli scenari possibili a quelli di progetto è un processo di riduzione del numero dei primi fino ad una quantità in grado di essere trattata nei calcoli.*

- *Il filtro più importante è quello del giudizio basato sull'esperienza e sulla conoscenza della materia da parte del professionista.*

# *Caratterizzazione dello scenario di incendio di progetto*

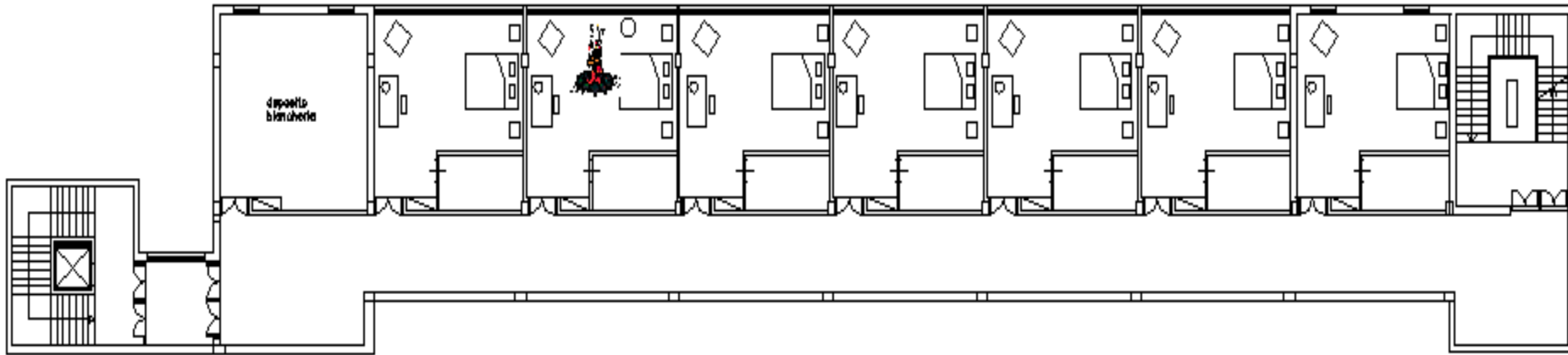
*Caratteristiche delle persone presenti  
(comportamento umano, caratteristiche della  
risposta, tempo di esodo)*

*Curve di incendio (fonte di innesco, curva di  
crescita del combustibile, posizione iniziale e  
configurazione del combustibile, HRR, velocità di  
crescita, combustibili secondari, flashover ecc.)*

## ***Gli scenari delle norme NFPA 101 e NFPA 914***

- *La norma NFPA 101 (life safety code), prevede la valutazione del progetto rispetto ad 8 scenari predeterminati. A loro volta, ciascuno di questi scenari potrà essere multiplo o non applicabile, a seconda delle caratteristiche dell'edificio.*
- *La norma NFPA 914 (code for fire protection of historic structures) aggiunge a tali scenari quattro ulteriori indicazioni per la valutazione della tutela dei beni. Nello spirito delle due norme sopra indicate ogni scenario deve essere estremo ma realistico.*

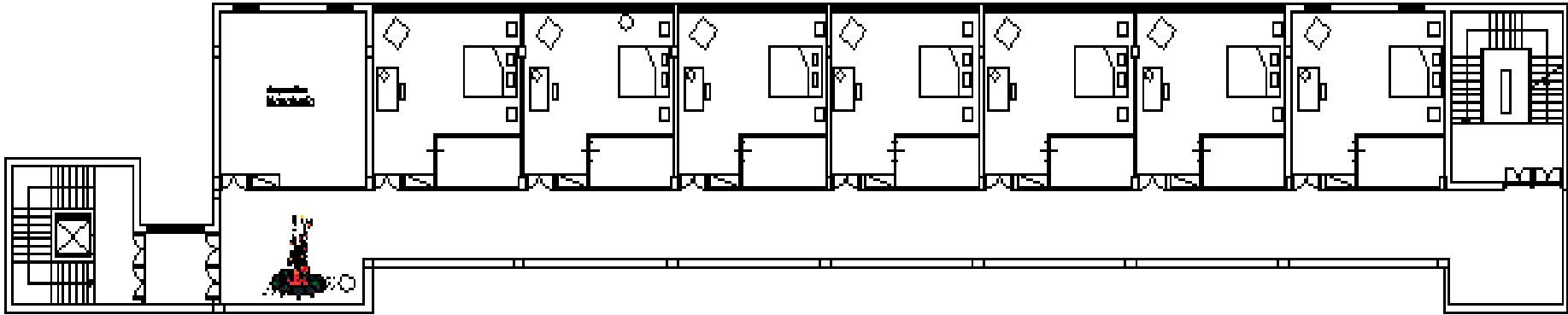
# Scenario 1



## *Incendio durante una fase normale dell'attività*

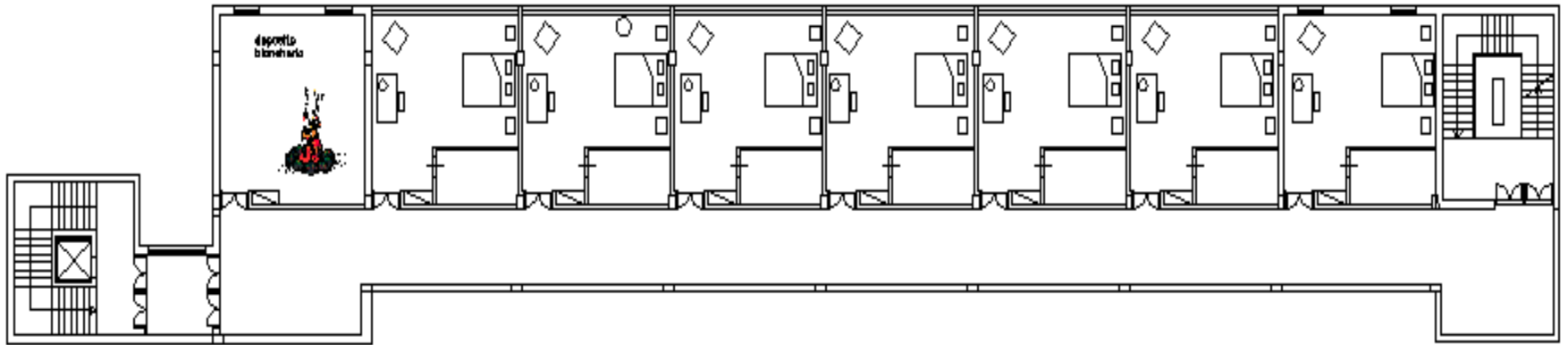
*Questo scenario descrive un incendio che si sviluppa durante una fase normale dell'attività. Occorre prendere in considerazione:  
il numero e la posizione delle persone presenti;  
la dimensione dei locali, il tipo e la quantità di mobili, dei rivestimenti e del materiale contenuto nell'ambiente;  
le proprietà del combustibile presente e le fonti di innesco;  
le condizioni di ventilazione.*

## Scenario 2



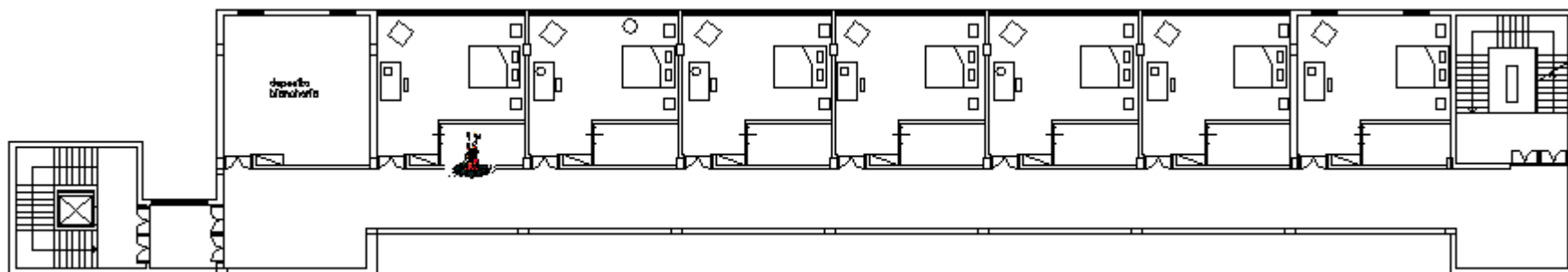
*Incendio che si sviluppa con la combustione di un materiale con curva di crescita ultra veloce, ubicato nella via di esodo più importante. Le porte interne all'inizio dell'incendio sono aperte. Nel caso in esame la pavimentazione è in moquette, le pareti rivestite e l'incendio inizia da un cestino pieno di carta.*

## Scenario 3



*Incendio che ha inizio in un locale in cui normalmente non sono presenti persone ma che, per la sua posizione, può metterle in pericolo.*

## *Scenario 4*

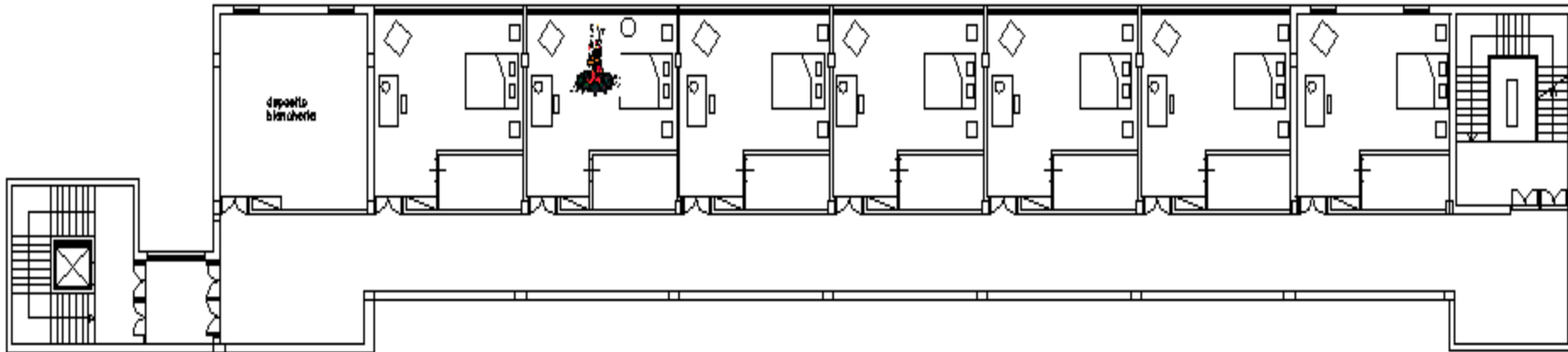


*Incendio che ha origine in una intercapedine o all'interno di un controsoffitto*

# Scenario 5

- *Questo scenario descrive un incendio di un materiale con curva di crescita lenta rallentato dai sistemi di soppressione, in adiacenza ad una zona con affollamento.*
- ***Parte A:** questo scenario particolare deve riguardare la simulazione dell'incendio che parte da un innesco relativamente piccolo ma che causa un incendio rilevante.*
- ***Parte B:** questo scenario particolare deve riguardare la simulazione dell'incendio che parte da un innesco relativamente piccolo ma che causa un incendio rilevante che può mettere tutta l'area di maggiore interesse per i beni presenti a rischio a causa del ritardo nell'attivazione della soppressione.*

## Scenario 6



*Incendio intenso, dovuto al maggior carico di incendio possibile nelle normali operazioni svolte nell'edificio. Si riferisce ad una crescita rapida in presenza di persone.*

## *Scenario 7*

- *Questo scenario rappresenta l'esposizione ad un incendio esterno. Si riferisce ad una combustione che inizia in una zona distante dall'area interessata alla valutazione e che si propaga nell'area oppure ne blocca le vie di esodo o rende al suo interno non sostenibili le condizioni*

## *Scenario 8*

*Questo scenario descrive un incendio che ha origine nei combustibili ordinari oppure in un'area o stanza con sistemi di protezione (attivi o passivi) messi uno alla volta fuori uso. Questo scenario valuta l'evoluzione dell'incendio in relazione ai singoli sistemi di protezione o prodotti, considerati singolarmente non affidabili o non disponibili*

# *Modelli deterministici di simulazione degli incendi*

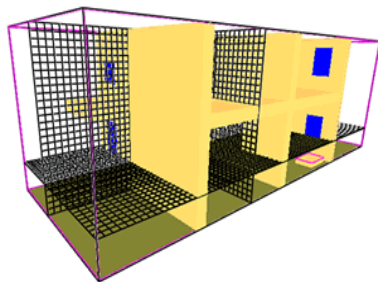
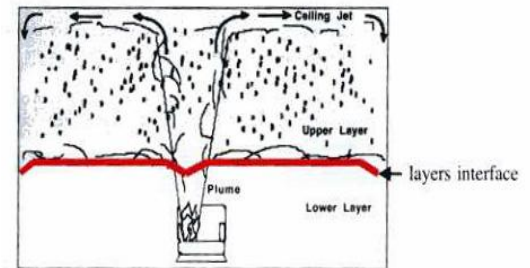
*Sono basati sui principi della chimica e della fisica dell'incendio (conservazione della massa, dell'energia e della quantità di moto)*

*Si distinguono in*

***Modelli a zone***

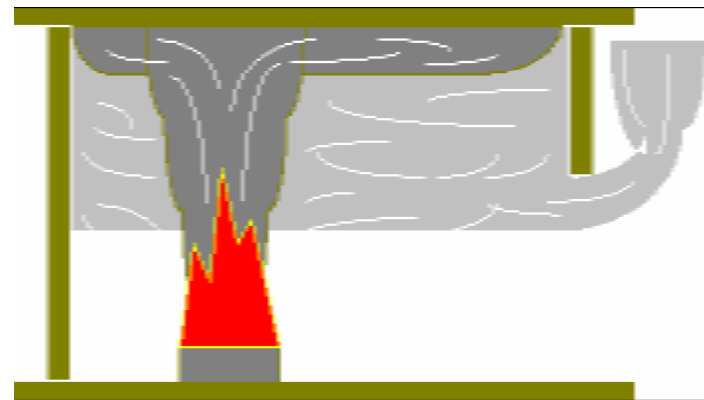
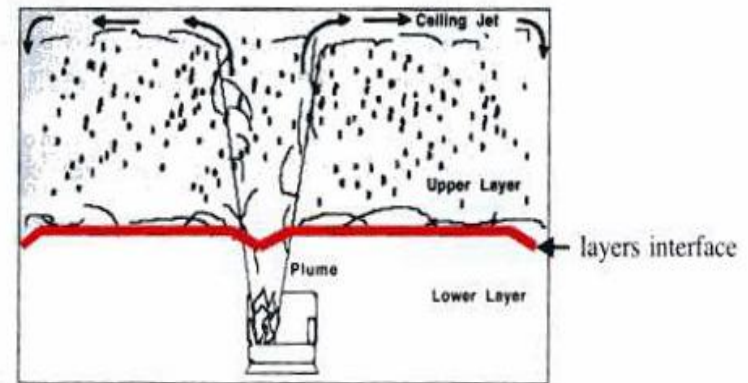
*e*

***Modelli di campo***



# Modelli a zone

- Ogni compartimento è diviso in due volumi: strato superiore e strato inferiore
- Le caratteristiche termodinamiche e le concentrazioni dei fumi e delle specie chimiche vengono considerate uniformi per ciascuna delle due zone
- Una terza zona può essere rappresentata dal “plume”
- Per la schematizzazione di camini, ascensori, ecc... possono essere utilizzati modelli ad una sola zona.



# *Modelli a zone*

- *Un modello a zone calcola le condizioni che si determinano nell'ambiente dividendo ogni compartimento in due zone omogenee. Una è quella superiore, dei fumi e gas caldi dove sono presenti i prodotti della combustione. L'altra è la zona inferiore, libera da fumo e più fresca di quella superiore.*
- *Il rapporto di altezza tra le due zone cambia con lo sviluppo dell'incendio.*

## *I modelli a zona stimano in funzione del tempo:*

- *le temperature (medie) dello strato inferiore e superiore;*
- *la posizione dell'interfaccia tra le zone;*
- *la concentrazione di ossigeno;*
- *la concentrazione di ossido di carbonio;*
- *la visibilità;*
- *il flusso in entrata ed in uscita da aperture verso l'esterno o verso altri locali.*

# *Modelli a zone*

- *I modelli a zone si applicano, in genere, ad ambienti con geometria semplice, anche se collegati tra di loro e con aperture.*
- *Generalmente, in questi modelli i dati di input sono molto meno numerosi rispetto a quelli richiesti per i modelli di campo.*
- *Sono necessari dati sulla geometria del compartimento e sulla tipologia delle aperture (interne ed esterne)*
- *La conoscenza delle proprietà termiche delle pareti di confine del compartimento é necessaria per stimare la dispersione del calore attraverso muri, soffitto, solai ecc. .*
- *Inoltre, deve essere fornita, tra i dati di input, anche le caratteristiche del focolaio iniziale (HRR), degli oggetti presenti nell'ambiente e degli eventuali “target”*
- *Tra i modelli a zone si citano: **CFAST**, **O-ZONE**, **FIRST**, **ASET-B**, **COMPF2**.*

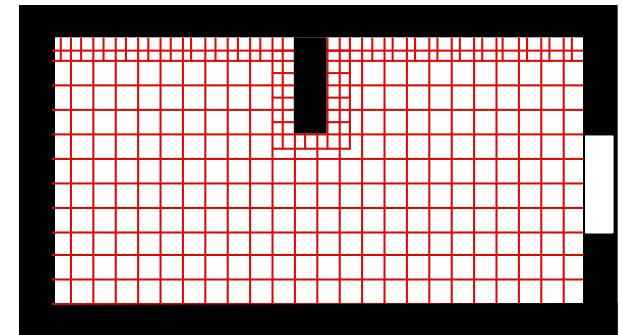
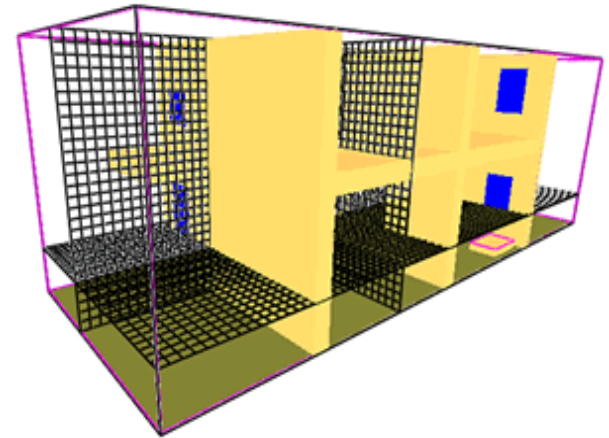
# *Fire history*

- *Nei modelli a zone la “storia” dell’incendio è definita dall’andamento della curva del tasso di rilascio termico (HRR) costruita dall’analista*
- *Nei modelli di campo è lo stesso modello che costruisce la “storia dell’incendio” determinando l’andamento della curva di rilascio termico (HRR)*

# *Modelli di campo (field models)*

## *CFD (Computational fluid dynamics)*

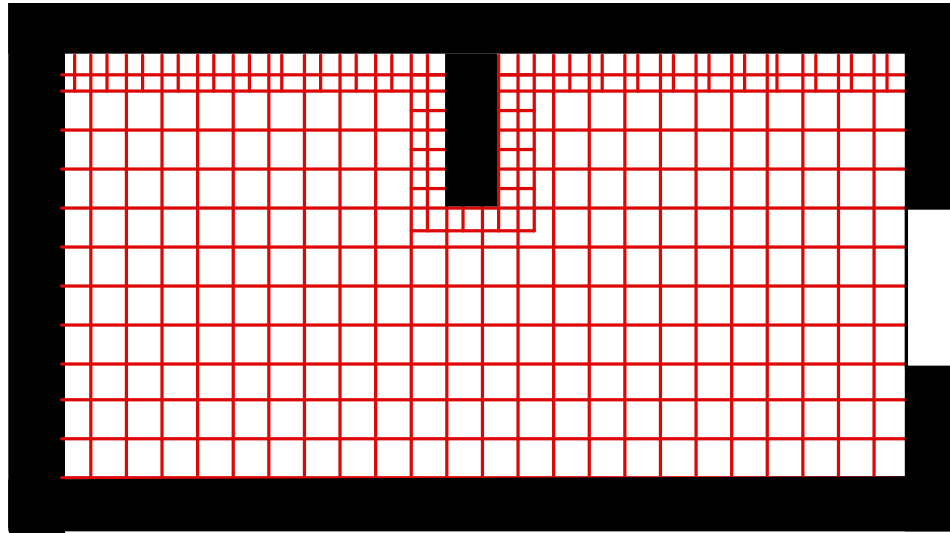
- I modelli di campo forniscono la stima dell'evoluzione dell'incendio in uno spazio per via numerica, risolvendo le equazioni di conservazione della massa, dell'energia, della diffusione delle specie ecc. che derivano da un incendio.*
- Questo approccio è sviluppato attraverso i metodi degli elementi finiti.*
- I modelli di campo, quindi, dividono uno spazio in un numero elevato di elementi e risolvono le equazioni di conservazione all'interno di ciascuno di essi.*
- Maggiore il numero di elementi, più dettagliata sarà la soluzione.*
- I risultati sono tridimensionali e, se comparati con i modelli a zone, sono molto più dettagliati.*



# *Modelli di campo*

- *I modelli di campo generano stime dettagliate degli effetti dell'ambiente del compartimento interessato dall'incendio, ma richiedono molto tempo di calcolo.*
- *I modelli di campo si sono rivelati utili in caso di investigazione dell'incendio o nella ricerca, e sono necessari quando gli altri modelli forniscono soluzioni eccessivamente conservative.*
- *Così come per i modelli a zone, i modelli di campo richiedono la descrizione del compartimento e delle aperture, ma permettono di simulare anche spazi non compartimentati, come i plume (cioè il pennacchio di fiamme e gas caldi che si eleva dalla regione di combustione) ed i camini.*
- *Tra i modelli di campo si ricordano: JASMINE, PHOENICS, FDS, CFX SMARTFIRE.*

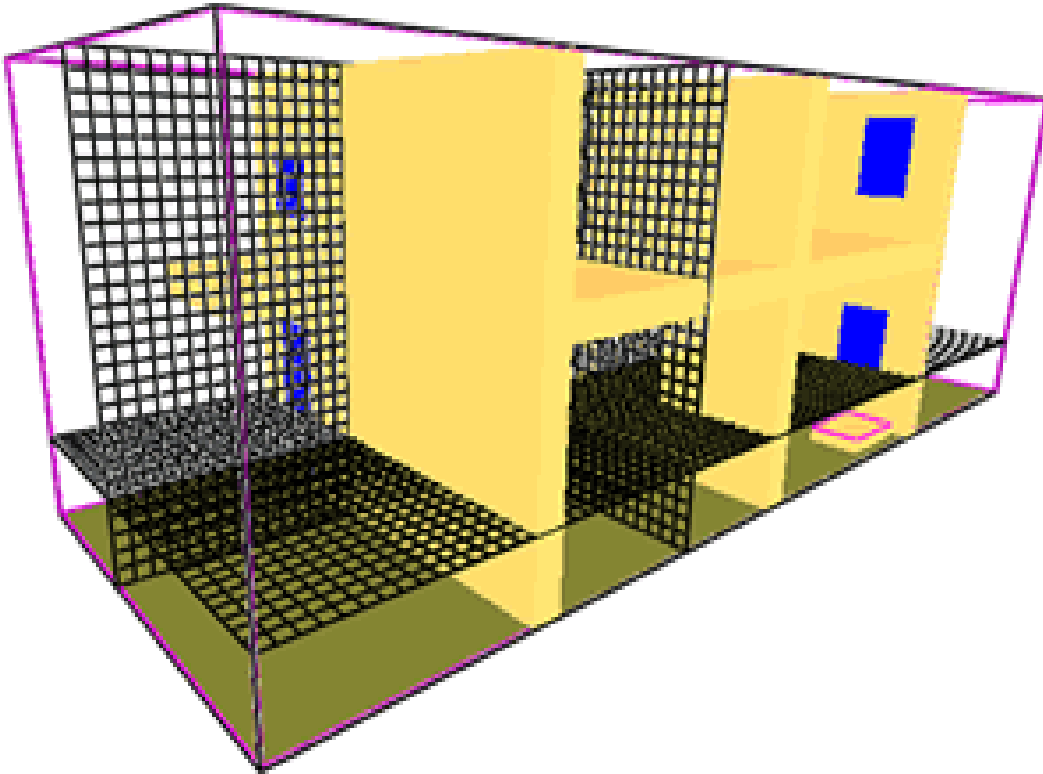
# *Modelli di campo*



*Una delle principali caratteristiche dei modelli di campo è quella di rappresentare l'ambiente in cui si manifesta la combustione nel modo più adeguato alle necessità dell'utente. Pertanto, a differenza dei modelli a zone, attraverso la definizione delle celle tridimensionali possono essere studiate geometrie diverse da quelle assimilabili al parallelepipedo. Inoltre, può essere considerata la presenza di elementi architettonici particolari*

# Modelli di campo

## Griglia tridimensionale

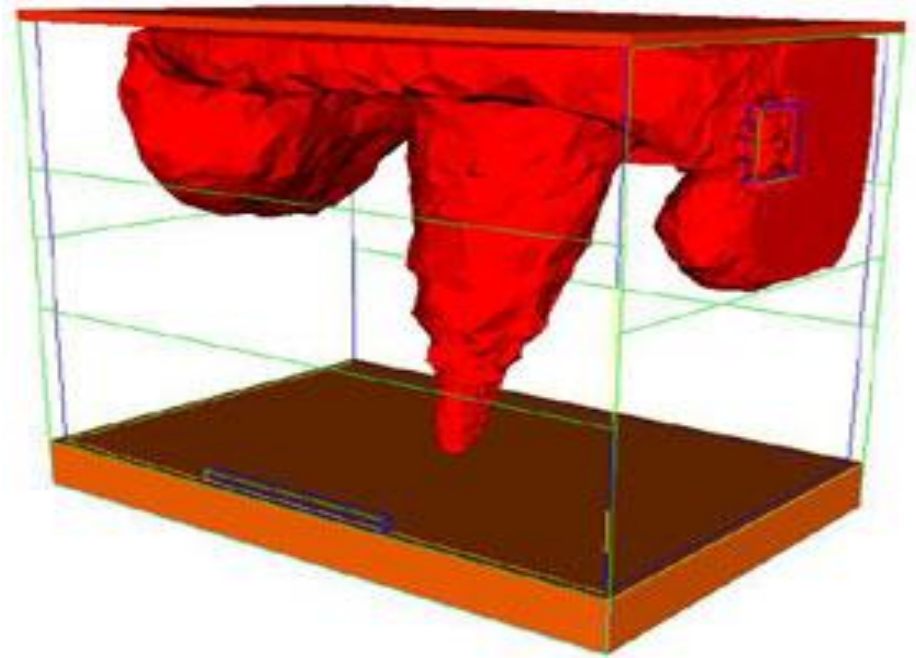


*I modelli di campo, grazie alla suddivisione del “dominio” in celle tridimensionali, consentono di studiare geometrie diverse e piu’ complesse di quelle assimilabili a parallelepipedi, previste dai modelli a zone.*

*Affinché il metodo conduca a risultati accurati è necessario però che le “celle” abbiano dimensioni ridotte (35 - 50 cm) e siano molto numerose (alcune centinaia di migliaia)*

# Modelli di campo

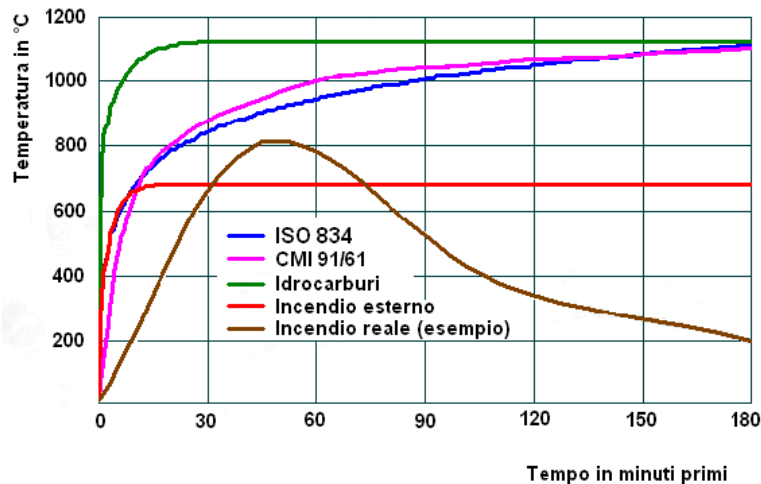
*I modelli di campo sono in grado di fornire, come dati in uscita, i valori di tutte le variabili, calcolate in ciascuna “cella” del “dominio”, utili alla comprensione del fenomeno ed all’analisi degli effetti dell’incendio ( concentrazioni delle diverse specie chimiche, distribuzione delle temperature, pressioni, velocità dei gas e dei fumi, visibilità)*



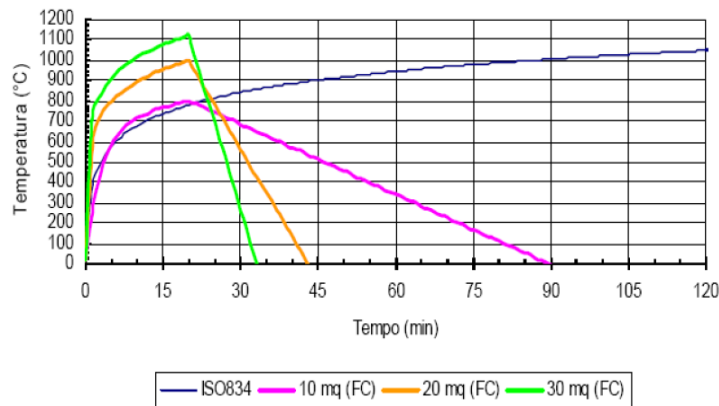
# *I modelli post flashover*

- *I modelli post flashover calcolano la curva tempo-temperatura di un ambiente risolvendo le equazioni di energia, massa e specie.*
- *Anche se non sono utili per la stima della sicurezza delle persone (quando si verifica il flash over le condizioni sono da parecchio tempo insostenibili). questi modelli sono utili per stimare l'esposizione termica delle strutture con un determinato carico di incendio e permettono di valutare la possibilità di crollo della stessa.*
- *I dati di input per questi modelli possono essere numerosi. Oltre alle caratteristiche del compartimento e della ventilazione, sono necessarie le caratteristiche del combustibile, l'efficienza nella combustione e la quantità di combustibile disponibile.*

# Curve di incendio



Curve di incendio parametriche con  $q = 15 \text{ kg/mq}$  di legna equivalente



**Le curve naturali** considerano tutta la durata dell'incendio fino al ritorno nel compartimento della temperatura ambiente. Sono quelle ottenute attraverso modelli di incendio numerici semplificati o avanzati FSE (modelli a zone e modelli di campo)

**Le curve nominali** sono curve convenzionali ben riproducibili in laboratorio. Trascurano la fase di innesco e di prima propagazione avendo inizio in corrispondenza del flash over. Manca la fase di raffreddamento

**Le curve parametriche** sono curve naturali che descrivono la variazione nel tempo dei gas caldi di combustione in funzione del carico di incendio, della geometria e delle aperture di ventilazione e delle caratteristiche delle pareti dell'ambiente. Sono applicabili soltanto alla fase di post flash over.

# Nuovo codice di prevenzione incendi (DM 3 agosto 2015) Metodi

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

*M.2 Scenari di incendio per la progettazione  
prestazionale*

*M.3 Salvaguardia della vita con la progettazione  
prestazionale*

---

# **M1) METODOLOGIA PER L'INGEGNERIA DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO (nuovo codice)**

## **FASI DELLA METODOLOGIA**

### **I FASE: Analisi preliminare**

Definisce l'individuazione delle condizioni più rappresentative di rischio dell'attività e i livelli di prestazione cui riferirsi in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire.

### **II FASE: Analisi quantitativa**

Calcolo degli effetti dell'incendio in relazione agli obiettivi assunti, confrontando i risultati ottenuti con i livelli di prestazione individuati e definendo il progetto da sottoporre a approvazione.

# ***FASI DELLA METODOLOGIA***

---

## **I FASE (analisi preliminare)**



## **II FASE analisi quantitativa**



---

# I Fase di Analisi preliminare

Individuare le condizioni più rappresentative del rischio e i livelli di prestazione in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire.

Al termine è redatto un **SOMMARIO TECNICO**, firmato dal **progettista** e dal **responsabile dell'attività**, ove è sintetizzato il processo seguito per individuare livelli di prestazione e scenari di incendio.

- **Definizione del progetto**
- **Identificazione degli obiettivi di sicurezza**
- **Definizione delle soglie di prestazione**
- **Individuazione degli scenari di incendio di progetto (Cap. M2)**

---

## *Esempi di obiettivi*

- *Evitare decessi nell'ambiente di origine dell'incendio.*
- *Evitare il flash over in un dato locale.*
- *Evitare danni al di fuori dell'edificio.*
- *Minimizzare le conseguenze per le persone all'interno dell'edificio.*
- *Minimizzare la probabilità di propagazione oltre il compartimento.*
- *Evitare conseguenze a persone che si trovano al di fuori dell'edificio.*
- *Rendere minimo il danno a determinati impianti o macchinari.*
- *Evitare l'interruzione delle attività commerciali o industriali.*
- *Limitare l'esposizione al fumo dei beni.*

---

### 3. DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DI PRESTAZIONE

Consiste nella traduzione degli **obiettivi antincendio in soglie di prestazione** (*gli obiettivi diventano valori numerici*) di tipo quantitativo e qualitativo rispetto alle quali si svolge la valutazione di sicurezza antincendio.

Il progettista indica i **parametri significativi** (*valori numerici*) per garantire il soddisfacimento degli obiettivi (*nella seconda fase*).

I **parametri** sono **valori di soglia** o **campi di valori** (*Temperature dei gas, concentrazioni di gas, fumo, livelli di visibilità, irraggiamento, livelli di concentrazione delle specie tossiche, ecc.*).

In tal modo si rendono quantitativi gli **effetti termici** su strutture, la **propagazione** dell'incendio, i **danni a occupanti, beni e ambiente**.

---

## LIVELLI DI TEMPERATURA

Il livello massimo ammissibile può variare in funzione degli obiettivi antincendio. (esodo degli occupanti, permanenza del personale addetto per il tempo necessario alla messa in sicurezza degli impianti, intervento dei soccorritori).

### Esempio:

*Per gli occupanti può essere ritenuta ammissibile una esposizione ad una temperatura  $\leq 50 \div 60$  °C per il tempo di esodo;*

*I valori possono variare e devono sempre essere giustificati.*

---

## LIVELLI DI VISIBILITÀ

La visibilità ammessa lungo le vie di esodo deve essere **definita per un certo periodo temporale e relativamente** alla quota cui è posizionata la **segnaletica** che indica il percorso d'esodo.

La tipologia dei **segnali** (riflettenti, luminosi) e la loro posizione **può influenzare** i valori ammissibili.

### Esempio:

*Per gli **occupanti** si può ritenere ammissibile una **visibilità di 10 m** per il tempo di esodo.*

*Può essere giustificata per i **soccorritori** l'assunzione di livelli di visibilità ridotti ma garantiti per il tempo necessario all'intervento.*

---

# LIVELLI DI IRRAGGIAMENTO

Il livello di irraggiamento deve intendersi risultante dal contributo della sorgente di incendio, dei prodotti della combustione (fumi, gas) e delle strutture (pareti, solai).

## Esempio:

*Per gli effetti sulle persone possono essere presi a riferimento i valori di soglia previsti dal DM LL.PP. 9/5/2001, che riporta il limite massimo di  $3 \text{ kW/m}^2$  per lesioni reversibili.*

*Considerato che tale valore è riferito ad un ambito industriale, valori usualmente accettabili sono  $\leq 2 \text{ kW/m}^2$ , per un limitato tempo di esposizione.*

---

# LIVELLI DI CONCENTRAZIONE DELLE SPECIE TOSSICHE

È consigliato **escludere tale parametro**, in quanto gli algoritmi disponibili non consentono di prevederne la distribuzione con sufficiente attendibilità.

## Esempi:

*Prescrivere che una persona non possa essere esposta, neanche per brevissimo tempo, a fumi e gas di combustione, imponendo  $H > 1,8 \div 2 \text{ m}$  libera da fumi e gas, nelle vie di esodo durante l'evacuazione.*

*Imporre valori minimi di visibilità nelle vie di esodo per un determinato tempo, senza presenza di materiali tali da dar luogo a fuochi covanti o cianuri, clorurati, fluorurati, ecc.*

*Generalmente con visibilità  $\geq 10 \text{ m}$  si può trascurare la valutazione delle specie tossiche presenti.*

## Soglie di prestazione per la salvaguardia della vita

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 in locali di superficie lorda < 100m²: 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> e FEC, <i>fractional effective concentration</i> 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% gli occupanti incapaci 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 maggiori di 30 minuti, senza modifica significativa dei tempi di esodo (2,5 kW/m²).
		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

## Soglie di prestazione per la salvaguardia della vita

Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata	Occupanti: 2 m	Ridotto da ISO TR 16738-2009, section 11.2
	Soccorritori: 1,5 m	[1]
Temperatura media dello strato di fumi caldi	Occupanti: 200°C	ISO TR 16738-2009, section 11.2
	Soccorritori: 250°C	[1]
<p>[1] Ai fini di questa tabella, per <i>soccorritori</i> 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 <i>hazardous conditions</i>.</p>		

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

---

## II Fase Analisi quantitativa

Si compone di alcune sotto-fasi necessarie per effettuare le verifiche di sicurezza degli scenari individuati nella fase preliminare:

- **Elaborazione delle soluzioni progettuali.**
- **Valutazione delle soluzioni progettuali.**
- **Selezione delle soluzioni progettuali idonee.**

---

## SCELTA E DEI MODELLI E DEI CODICI DI CALCOLO

Il professionista antincendio deve possedere **particolare competenza** e conoscenza dei fondamenti teorici e della dinamica dell'incendio. Può **optare tra i modelli di calcolo disponibili**.

Nella relazione tecnica deve essere specificato:

- Tipologia del codice di calcolo adottato, autori, versione, modalità per accedere alla documentazione d'uso e tecnica;
- Criterio di scelta del modello di calcolo impiegato.

Deve essere indicato che il codice di calcolo è:

- **Impiegato nel suo campo di applicazione;**
- **Validato** per applicazioni analoghe.

---

## Modelli più frequentemente utilizzati sono:

- Modelli analitici
- Modelli numerici:
  - *di simulazione incendio a zone per ambienti confinati (CFAST, Ozone).*
  - *di simulazione incendio di campo (CFX, FDS, Fluent).*
  - *di simulazione dell'esodo (FDS+EVAC).*
  - *di analisi termostrutturale (Abaqus, Adina, Ansys, Diana, Safir, Strauss).*
- ✓ I modelli analitici garantiscono stime accurate di effetti dell'incendio (*es. calcolo tempo di flashover*).
- ✓ Per analisi più complesse con interazioni dipendenti dal tempo di più processi di tipo fisico e chimico si ricorre ai modelli numerici.

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

*Ad es., i risultati non devono essere significativamente dipendenti dalle dimensioni della griglia di calcolo; se piccole variazioni dei dati di input portano a forti cambiamenti nell'output, è necessario riconsiderare con grande attenzione.*

- ✓ Ammesso l'uso contemporaneo di più tipologie di modelli.
  - **Modelli specifici** per la valutazione del tempo di attivazione di un impianto e della rottura di un vetro, per poi inserire i dati ricavati in una modellazione con **modelli di campo**;
  - **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**.

---

## M2) SCENARI DI INCENDIO PER LA PROGETTAZIONE PRESTAZIONALE

- **Identificazione** di tutti gli scenari possibili  
*(il numero può essere molto elevato)*
- **Selezione** degli scenari di incendio di Progetto  
*(un sottogruppo dei primi)*
- **Quantificazione** degli scenari di incendio di progetto selezionati.

---

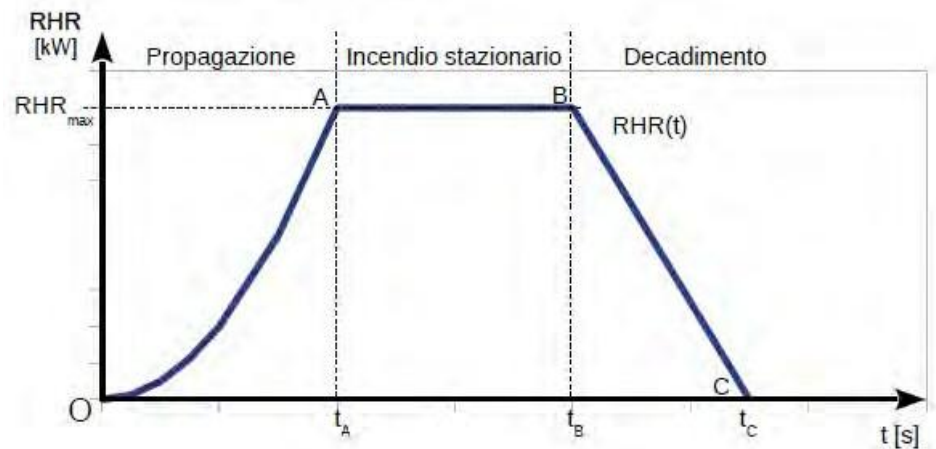
## Durata degli scenari d'incendio di progetto

Deve essere descritta tutta la sequenza di evoluzione dell'incendio, a partire dall'evento iniziatore per un intervallo di tempo che dipende dagli obiettivi di sicurezza da raggiungere come riportato in tabella:

Obiettivo di sicurezza antincendio	Durata minima degli scenari di incendio di progetto
Salvaguardia della vita	Dall'evento iniziatore fino al momento in cui tutti gli occupanti dell'attività raggiungono o permangono in un luogo sicuro. Se il luogo sicuro è prossimo o interno all'opera da costruzione, devono essere valutate eventuali interazioni tra il mantenimento della capacità portante dell'opera da costruzione ed il luogo sicuro.
Mantenimento della capacità portante in caso d'incendio	Dall'evento iniziatore fino all'arresto dell'analisi strutturale, in fase di raffreddamento, al momento in cui gli effetti dell'incendio sono ritenuti non significativi in termini di variazione temporale delle caratteristiche della sollecitazione e degli spostamenti

# Heat Release Rate – HRR

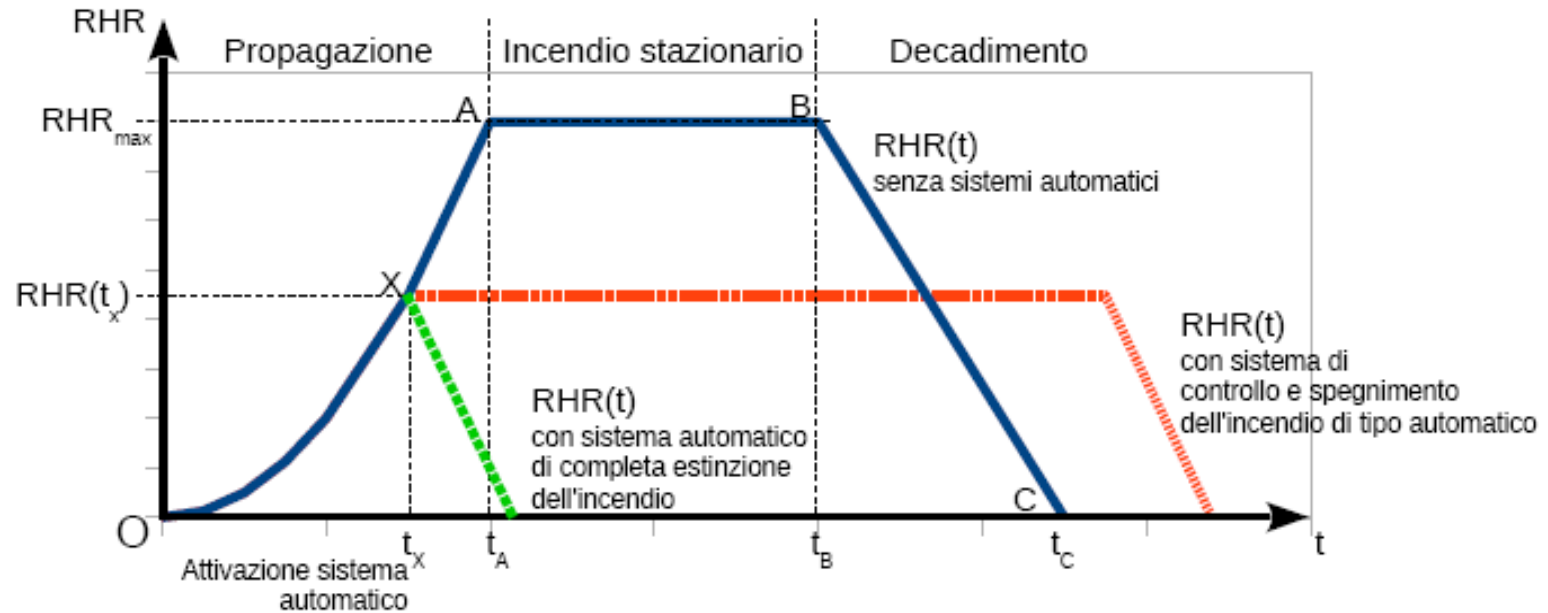
L'incendio può essere schematizzato come una sorgente di tipo volumetrico, ossia una sorta di **bruciatore che rilascia calore (HRR)** e quantità di **particolato (soot)** e di **gas**.



I valori assunti dal progettista per la costruzione della curva HRR per un dato scenario devono essere opportunamente giustificati.

L' HRR rappresenta la “carta di identità” dell'incendio ed è il parametro di input principale per i software di simulazione degli incendi.

# Stima della curva RHR



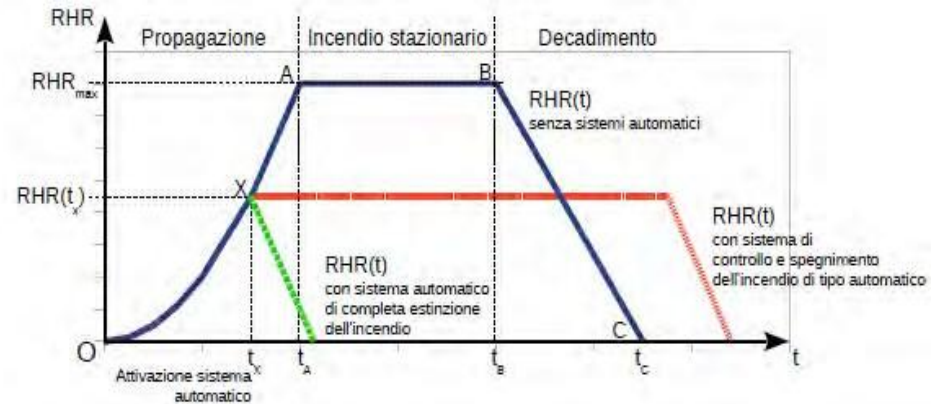
Questa metodologia può essere utilizzata per:

- Costruire le *curve naturali* con un modello d'incendio numerico avanzato per la valutazione della capacità portante in condizioni d'incendio delle opere da costruzione
- Valutare la *portata di fumo* emessa durante l'incendio per la progettazione dei sistemi di evacuazione di fumo e calore

# Fase di propagazione dell'incendio

Durante la fase di propagazione, la potenza termica rilasciata dall'incendio al variare del tempo  $RHR(t)$  può essere rappresentata dalla seguente funzione

$$RHR(t) = 1000 * (t/t_{\alpha})^2 \quad \text{per } t < t_A$$



$RHR(t)$  :     *potenza termica rilasciata dall'incendio*     [kW]  
 $t$  :     *tempo*     [s]  
 $t_{\alpha}$  :     *tempo affinché RHR raggiunga 1000 kW (come da tabella seguente)*     [s]

---

## $\delta_\alpha$ : Caratteristiche prevalenti di crescita dell'incendio

$\delta_\alpha$	Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio $t_\alpha$ [s]	Esempi
1	600 Lenta	Materiali poco combustibili distribuiti in modo discontinuo o inseriti in contenitori non combustibili
2	300 Media	Scatole di cartone impilate, pallets di legno, libri ordinati su scaffale, mobili in legno, automobili, materiali classificati per reazione al fuoco
3	150 Rapida	Materiali plastici impilati, prodotti tessili sintetici, apparecchiature elettroniche, materiali combustibili non classificati per reazione al fuoco
4	75 Ultra-rapida	Liquidi infiammabili, materiali plastici cellulari o espansi, schiume combustibili

---

## Fase di propagazione dell'incendio

$$\text{RHR}(t) = 1000 * (t/t_{\alpha})^2 \quad \text{per } t < t_A$$

*Crescita parabolica (quadratica)  $\text{RHR}(t) = \beta t^2$  con  $\beta = 1000/(t_{\alpha})^2$*

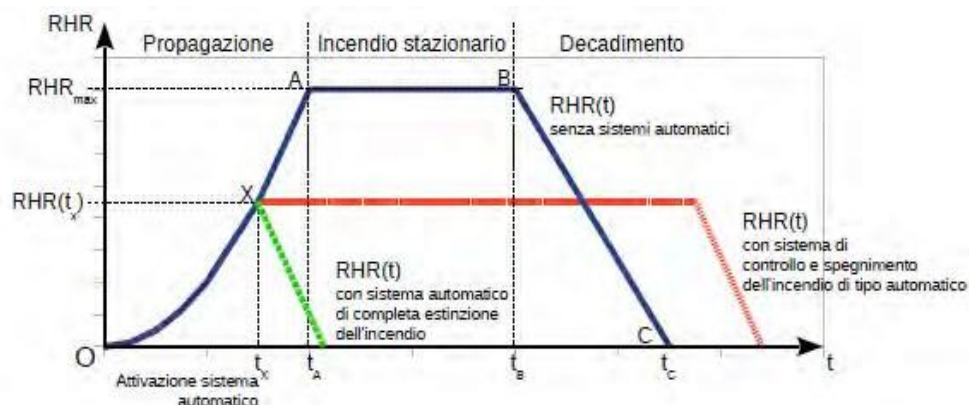
$t_{\alpha} = 600 \text{ s (S - Slow)}$	<input type="checkbox"/>	$\text{RHR}(t) = 0,00278 \ t^2$
$t_{\alpha} = 300 \text{ s (M - Medium)}$	<input type="checkbox"/>	$\text{RHR}(t) = 0,01111 \ t^2$
$t_{\alpha} = 150 \text{ s (F - Fast)}$	<input type="checkbox"/>	$\text{RHR}(t) = 0,04444 \ t^2$
$t_{\alpha} = 75 \text{ s (UF - Ultra Fast)}$	<input type="checkbox"/>	$\text{RHR}(t) = 0,17778 \ t^2$

# Effetto dei sistemi automatici di controllo dell'incendio ai fini della costruzione della curva RHR

Con sistemi di controllo dell'incendio di tipo automatico (es. sprinkler),  $RHR(t)$  non raggiunge il valore di  $RHR_{max}$ , che poteva raggiungere in base a combustibile e ambiente.

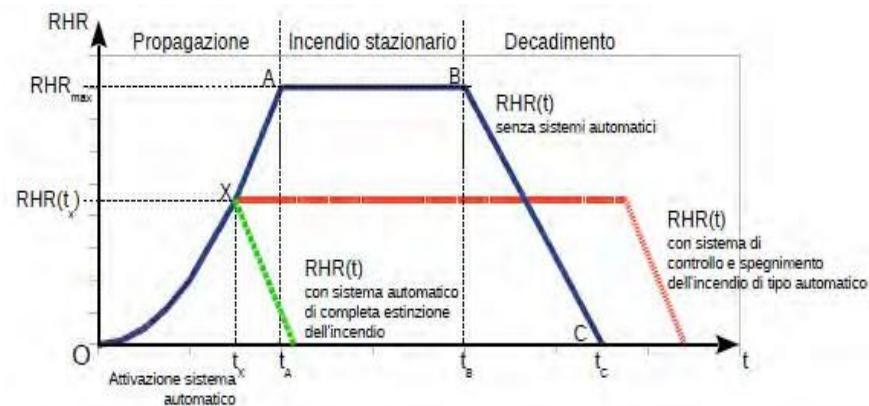
$RHR$  può essere assunto **costante** e pari a  $RHR(t_x)$  **raggiunto all'istante  $t_x$**  di entrata in funzione dell'impianto.

Tale valore permane per un intervallo di tempo pari alla durata di alimentazione prevista, entro cui si presume che l'incendio controllato venga estinto con l'intervento manuale.



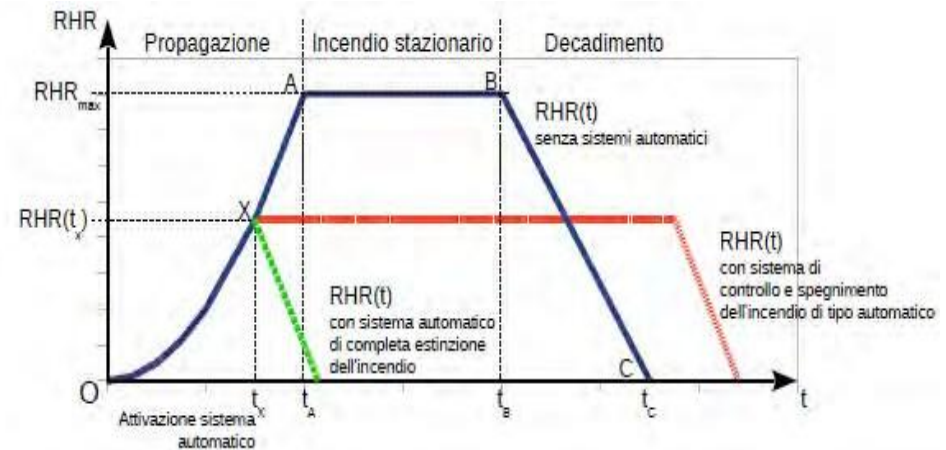
# Effetto dei sistemi automatici di controllo dell'incendio ai fini della costruzione della curva RHR

Se nell'attività sono previsti **sistemi automatici di estinzione completa** dell'incendio (es. water mist,...), il loro effetto deve essere **valutato caso per caso** in relazione alla loro efficacia ed all'affidabilità di funzionamento.



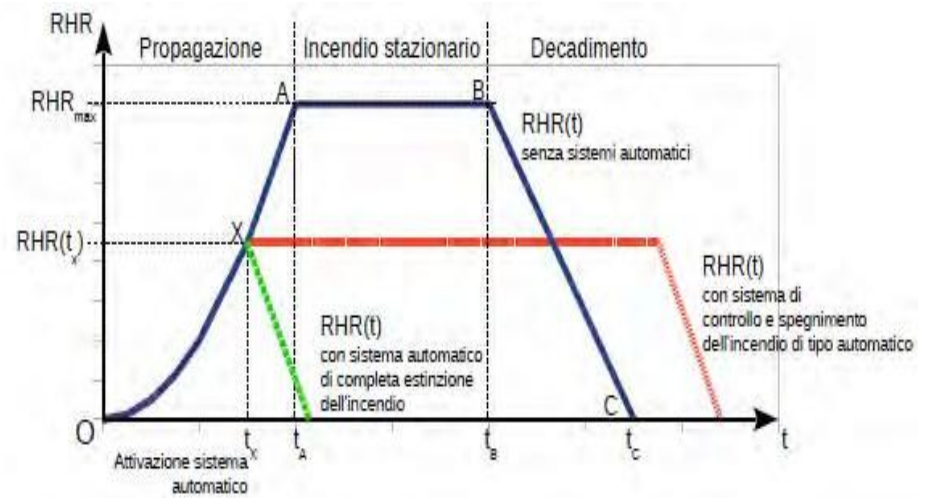
# Effetto dell'intervento manuale di controllo dell'incendio

A differenza dell'attivazione dei sistemi automatici, l'intervento manuale effettuato dalle squadre antincendio non può essere considerato in fase progettuale ai fini della modifica dell'andamento della curva.



## Fase dell'incendio stazionario

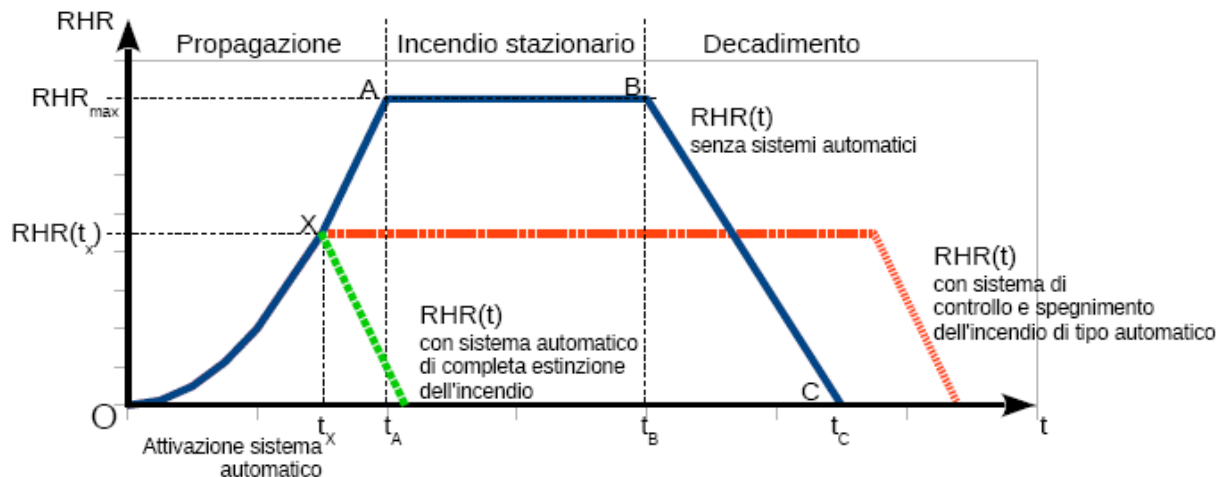
Si ipotizza che anche dopo il flashover la curva cresca proporzionalmente a  $t^2$  fino al tempo  $t_A$  che corrisponde alla massima potenza  $RHR_{max}$  rilasciata nel compartimento



Il Codice fornisce indicazioni per determinare  $\mathbf{RHR}_{\max}$  nei casi d'incendio:

- **Controllato dal combustibile** (all'aperto o in edifici con elevata superficie di ventilazione).
- **Limitato dal valore della superficie di ventilazione** (in edifici con superficie di ventilazione ordinaria).

# Fase dell'incendio stazionario



$$RHR_{max} = RHR_f A_f$$

## Incendio controllato dal combustibile

dove:

$RHR_f$  valore della potenza termica massima rilasciata per unità di superficie lorda. Per alcune attività, tale valore può essere desunto dai prospetti dell'appendice E.4 dell'Eurocodice 1, UNI EN 1991-1-2. [kW/m<sup>2</sup>]

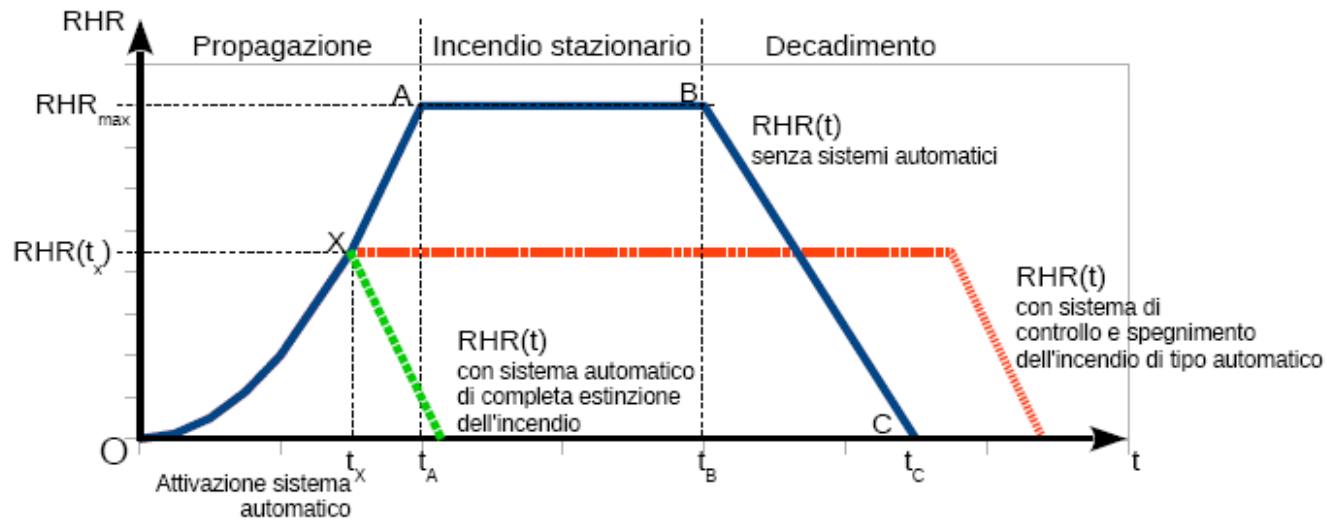
$A_f$  superficie lorda del compartimento in caso di distribuzione uniforme del carico d'incendio, oppure superficie lorda effettivamente occupata dal combustibile [m<sup>2</sup>]

# Curve HRR

*I valori assunti dal progettista per la costruzione della curva HRR corrispondente ad un determinato scenario devono essere adeguatamente giustificati. Un riferimento condiviso per definire il tipo di crescita dell'incendio è dato dall'Eurocodice EN 1991-1-2*

<b>Max rate of heat release <math>RHR_f</math></b>			
Occupancy	Fire growth rate	T(sec)	$RHR_f$ (KW/mq)
Dwelling	Medium	300	250
Hospital (room)	Medium	300	250
Hotel (room)	Medium	300	250
Library	Fast	150	500
Office	Medium	300	250
Classroom of a school	Medium	300	250
Shopping centre	Fast	150	500
Theatre (cinema)	Fast	150	500
Transport (public space)	Slow	600	250

# Fase dell'incendio stazionario



$$RHR_{\max} = 0,10 m H_u A_v \sqrt{h_{eq}}$$

## Incendio controllato dalla ventilazione

$$h_{eq} = \frac{\sum_i A_{v,i} h_i}{\sum_i A_{v,i}}$$

con:

$h_{eq}$  altezza equivalente delle aperture verticali [m]

$A_{v,i}$  area dell'apertura verticale i-esima [m<sup>2</sup>]

$h_i$  altezza dell'apertura verticale i-esima [m]

con:

$m$  fattore di partecipazione alla combustione di cui al capitolo S.2 del presente documento.

$H_u$  potere calorifico inferiore del legno pari a 17500 kJ/kg.

$A_v$  area totale delle aperture verticali su tutte le pareti del compartimento [m<sup>2</sup>]

---

## Fase dell'incendio stazionario

*Noto il valore di  $RHR_{max}$  si calcola il tempo  $t_A$  di inizio della fase di incendio stazionario:*

$$RHR(t) = 1000 * (t/t_{\alpha})^2$$

$$t_A = \sqrt{RHR_{max} \frac{t_{\alpha}^2}{1000}}$$

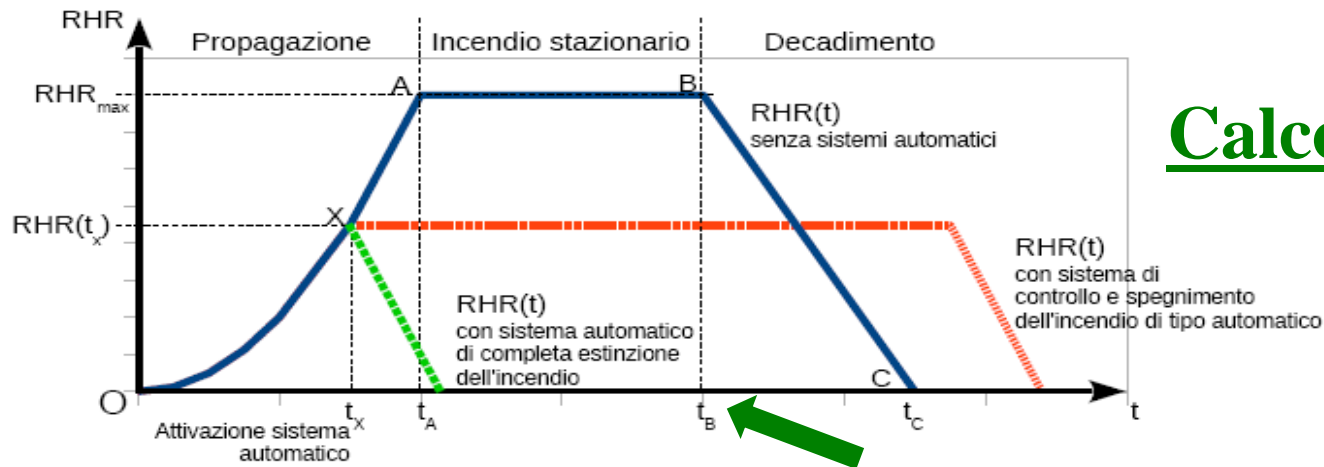
*Tale fase termina al tempo  $t_B$ , di inizio della fase di decadimento, in cui il 70% dell'energia termica inizialmente disponibile  $q_f \times A_f$  è stata rilasciata nel compartimento.*

*$q_f$  : valore nominale del carico d'incendio specifico*

$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i}{A}$$

*$A_f$  : superficie lorda del compartimento*

*Il Codice fornisce indicazioni per determinare  $t_B$ .*



## Calcolo di $t_B$

U-

per la fase di propagazione e raggiunge la potenza massima  $RHR_{max}$ , cioè:

$$70\% q_f A_f \geq \frac{1}{3} \frac{1000}{t_a^2} t_A^3 \quad M.2-7$$

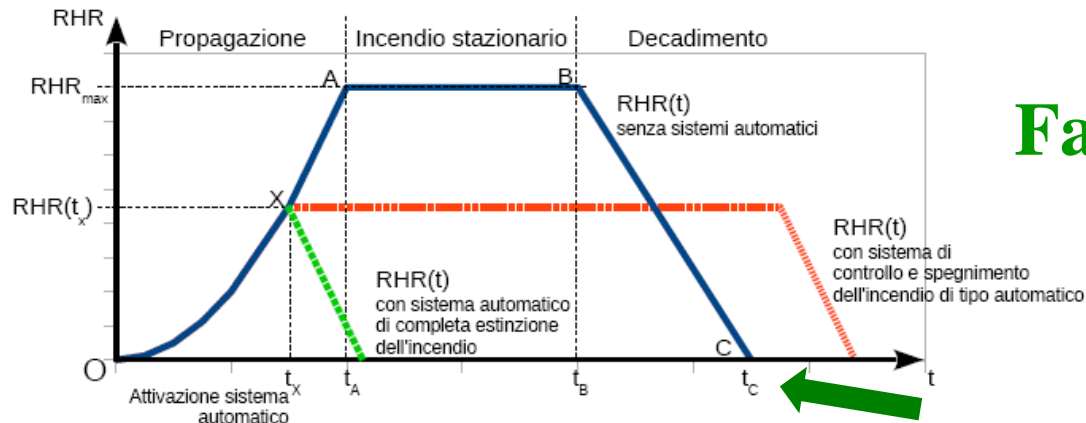
allora il tempo  $t_B$  di fine della fase di incendio stazionario si calcola con la seguente espressione:

$$t_B = t_A + \frac{70\% q_f A_f - \frac{1}{3} \frac{1000}{t_a^2} t_A^3}{RHR_{max}} \quad M.2-8$$

dove:

$t_B$  tempo di fine della fase di incendio stazionario [s]  
 $q_f$  carico di incendio specifico [kJ/m<sup>2</sup>]

Se l'energia termica inizialmente disponibile non è *sufficiente* affinché l'incendio superi la fase di propagazione, la curva RHR raggiunge il valore massimo per qualche secondo poi passa direttamente alla fase di decadimento.

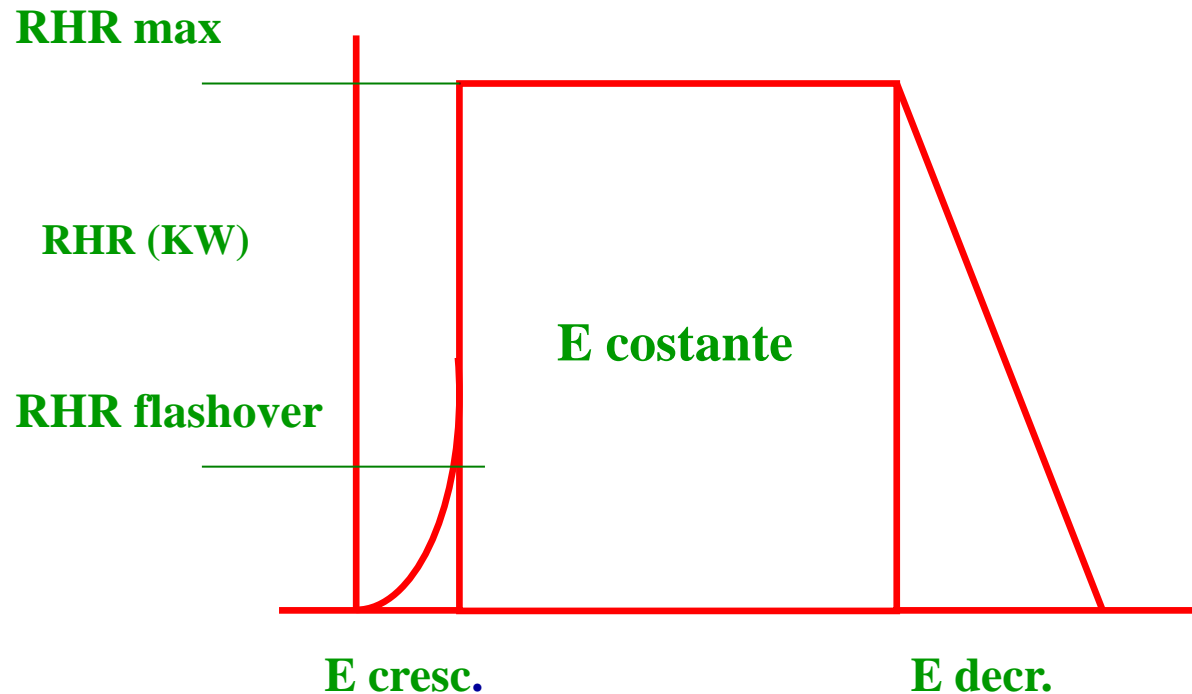


## Fase di decadimento

*Il tempo  $t_C$ , trascorso il quale la potenza termica rilasciata dall'incendio si annulla, viene calcolato considerando che nella fase di decadimento è consumato il restante 30% dell'energia termica inizialmente disponibile.*

$$t_C = t_B + \frac{2 \cdot 30\% q_f A_f}{RHR_{max}} \quad RHR(t) = RHR_{max} \frac{t_C - t}{t_C - t_B} \quad \text{per } t_B \leq t \leq t_C$$

# Costruzione approssimata della curva HRR tenendo conto anche del flash over



# *Determinazione del valore HRR (Flashover)*

## *Algoritmo di Thomas*

$$Q = 7,8A_{room} + 378(A_{vent}\sqrt{H_{vent}})$$

*A<sub>room</sub>*

Area totale di tutte le superfici che delimitano l'ambiente al netto delle aperture presenti

*A<sub>vent</sub>√H<sub>vent</sub>*

Fattore di ventilazione

*A<sub>vent</sub> H<sub>vent</sub>*

Rispettivamente area ed altezza dell'apertura di ventilazione esistente o nel caso di più aperture di un'apertura equivalente di pari fattore di ventilazione

$$(A_{vent}\sqrt{H_{vent}})_{equiv} = \sum_1^n i(A\sqrt{H})i$$

## ***Esempio di determinazione del valore HRR di flashover (Thomas)***

Ambiente rettangolare di m 5 x 10 ed altezza 3 m dotato di n. 2 porte di m 1 x 2 e di n. 2 finestre di m 2 x 1,5 completamente aperte

$$Q = 7,8A_{room} + 378(A_{vent}\sqrt{H_{vent}}) \quad A_{room} = 183mq$$

$$(A_{vent}\sqrt{H_{vent}})_{equiv} = \sum_1^n i(A\sqrt{H})i$$

$$(A_{vent}\sqrt{H_{vent}})_{equiv.} = 2 \times 2\sqrt{2} + 2 \times 3\sqrt{1,5} = 9,9$$

$$Q = 7,8 \times 183 + 378 \times 9,9 = 5.169,6KW = 5,17MW$$

*Valore massimo di RHR in relazione alla ventilazione esistente (Kawagoe)*

$$Q_{vl} = \chi * \Delta H * 1 / 2 A_o \sqrt{H_o}$$

$Q_{vl}$       *HRR max sostenibile*

$\chi$       *Efficienza della combustione*

$\Delta H$       *Calore prodotto per Kg di aria (circa 3000 KJ/Kg)*

$A_o$       *Area dell'apertura di ventilazione*

$H_o$       *Altezza dell'apertura di ventilazione*

*Esempio di determinazione del valore massimo di RHR in relazione alla ventilazione esistente (Kawagoe)*

$$Q_{vl} = \chi * \Delta H * 1 / 2 A_o \sqrt{H_o}$$

Utilizzando i dati dell'esempio precedente si ha:

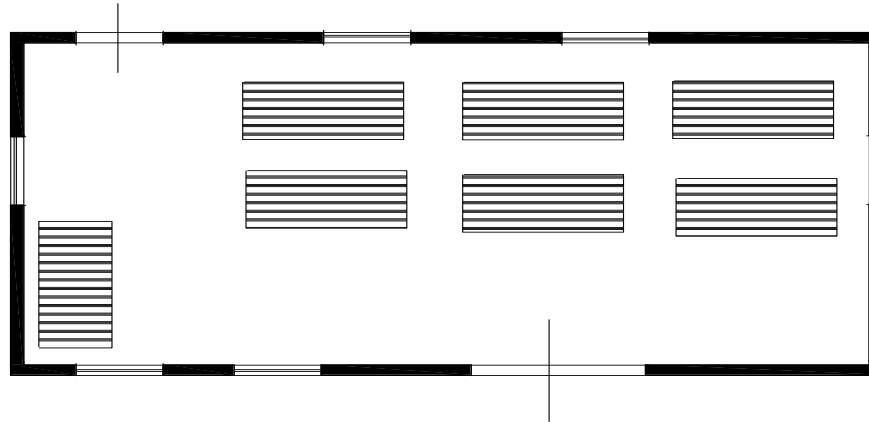
$$(A_{vent} \sqrt{H_{vent}})_{equiv.} = 2 \times 2 \sqrt{2} + 2 \times 3 \sqrt{1,5} = 9,9$$

$$\Delta H = 3000 KJ / Kg$$

$$\chi = 1 \quad \text{Efficienza della combustione pari al 100\%}$$

$$Q_{vl} = 1 \times 3000 \times 1 / 2 \times 9,9 = 14.850 KW = 14,85 MW$$

## *Esempio di determinazione della curva HRR relativa ad un deposito di materiale e calcolo della durata dell'incendio*



### *Deposito di legname*

*Superficie 200 mq (dimensioni m 10 x 20)*

*Carico di incendio 150 Kg/mq*

*n. 1 porta 2 x 3 (h) m*

*n. 1 porta 4 x 3 (h) m*

*n. 6 finestre 2 x 1,5 (h) m*

**Energia totale  $E_{tot} = 150 \times 200 \times 18 \text{ (MJ/Kg)} = 540.000 \text{ MJ}$**

**RHR di flashover (Thomas)**

$$Q_f = 7,8A_{room} + 378(A_{vent}\sqrt{H_{vent}}) = 25,3\text{MW}$$

**RHR massimo (Kawagoe)**

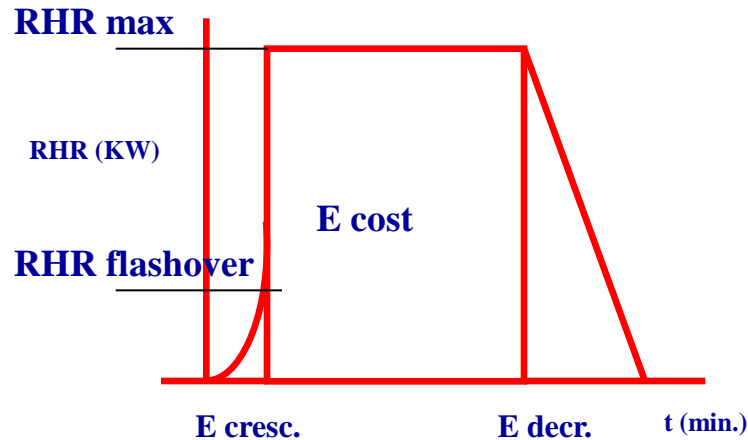
$$Q_{vl} = \chi * \Delta H * 1/2(A_{vent}\sqrt{H_{vent}})_{equiv.} = 79,8\text{MW}$$

*Dove:*

$$(A_{vent}\sqrt{H_{vent}})_{equiv.} = 6x\sqrt{3} + 12\sqrt{3} + 6x3\sqrt{1,5} = 53,2$$

$$A_{room} = 2x10x5 + 2x20x5 + 2x10x20 - (2x3 + 4x3 + 6x2x1,5) = 664\text{mq}$$

## Curva RHR schematica del deposito



$$E_{tot} = 540.000 \text{ MJ}$$

$$E_{cres.} + E_{cost} = 70\% E_{tot} = 378.000 \text{ MJ}$$

*Per definire la curva occorre determinare le durate delle varie fasi dell'incendio*

*Ipotizzando una curva di incendio veloce nella fase di pre-flashover*

$$Q = \alpha * t^2 \quad \alpha = 0,0469$$

RHR di flashover (Thomas)

$$25.288 \text{ KW}$$

*Durata della fase iniziale dell'incendio fino al flashover*

$$t_{cresc.} = \sqrt{Q / \alpha} = \sqrt{25.288 / 0,0469} = 734 \text{ sec} = 12,2 \text{ min}$$

$$E_{flashover} = 1/3 \quad \alpha t^3 = 6.182.143 \text{ KW sec (KJ)} = 6.182 \text{ MJ} < E_{tot}$$

### *Calcolo della durata della fase con RHR costante*

$$E_{cost} = 0,70 \times E_{tot} - E_{flashover} = 0,70 \times 540.000 - 6182 = 371.818 \text{ MJ}$$

$$t_{cost} = E_{cost} / RHR_{max} = 371.818 / 79,8 = 5336 \text{ sec} = 77,6 \text{ min}$$

### *Durata della fase finale (tratto decrescente della curva)*

$$E_{decr.} = 0,30 \times E_{tot} = 0,30 \times 540.000 \text{ MJ} = 162.000 \text{ MJ}$$

$$t_{decr.} = (2 \times E_{decr.}) / RHR_{max} = 2 \times 162.000 / 79,8 = 2706 \text{ sec} = 67,7 \text{ min}$$

$$*Durata totale* = *t_{cresc.} + t_{cost.} + t_{decr.} = 157 \text{ min circa}*$$

## Focolare predefinito

*In alternativa, possono essere impiegati i focolari predefiniti impiegando i valori dei parametri in tabella. E' escluso il loro utilizzo quando i focolari attesi sono più gravosi*

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio $t_c$	150 s ( <i>fast</i> )	75 s ( <i>ultra-fast</i> )
RHR <sub>max</sub> totale RHR <sub>max</sub> per m <sup>2</sup> di superficie del focolare	5 MW 250-500 kW/m <sup>2</sup> [1]	50 MW 500 -1000 kW/m <sup>2</sup> [1]
Resa in particolato Y <sub>soot</sub>	Pre flashover: 0,07 kg/kg [2,3] Post flashover: 0,14 kg/kg [2,3]	Pre flashover: 0,18 kg/kg [4] Post flashover: 0,36 kg/kg [4]
Resa in monossido di carbonio Y <sub>CO</sub>	Pre flashover: 0,10 kg/kg [5] Post flashover: 0,40 kg/kg [5]	
Calore di combustione effettivo ΔH <sub>c</sub>	20 MJ/kg [3]	
Resa in biossido di carbonio Y <sub>CO2</sub>	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua Y <sub>H2O</sub>	0,82 kg/kg [3,6]	
Frazione di RHR(t) in irraggiamento (Radiative fraction)	35% [3]	

[1] Da impiegare in alternativa all'RHR<sub>max</sub> totale, considerando la massima superficie del focolare, pari al compartimento antincendio nel caso di carico di incendio uniformemente distribuito, ma che può essere un valore inferiore nel caso d'incendio localizzato.

[2] Robbins A P, Wade C A, Study Report No.185 "Soot Yield Values for Modelling Purposes – Residential Occupancies", BRANZ, 2008

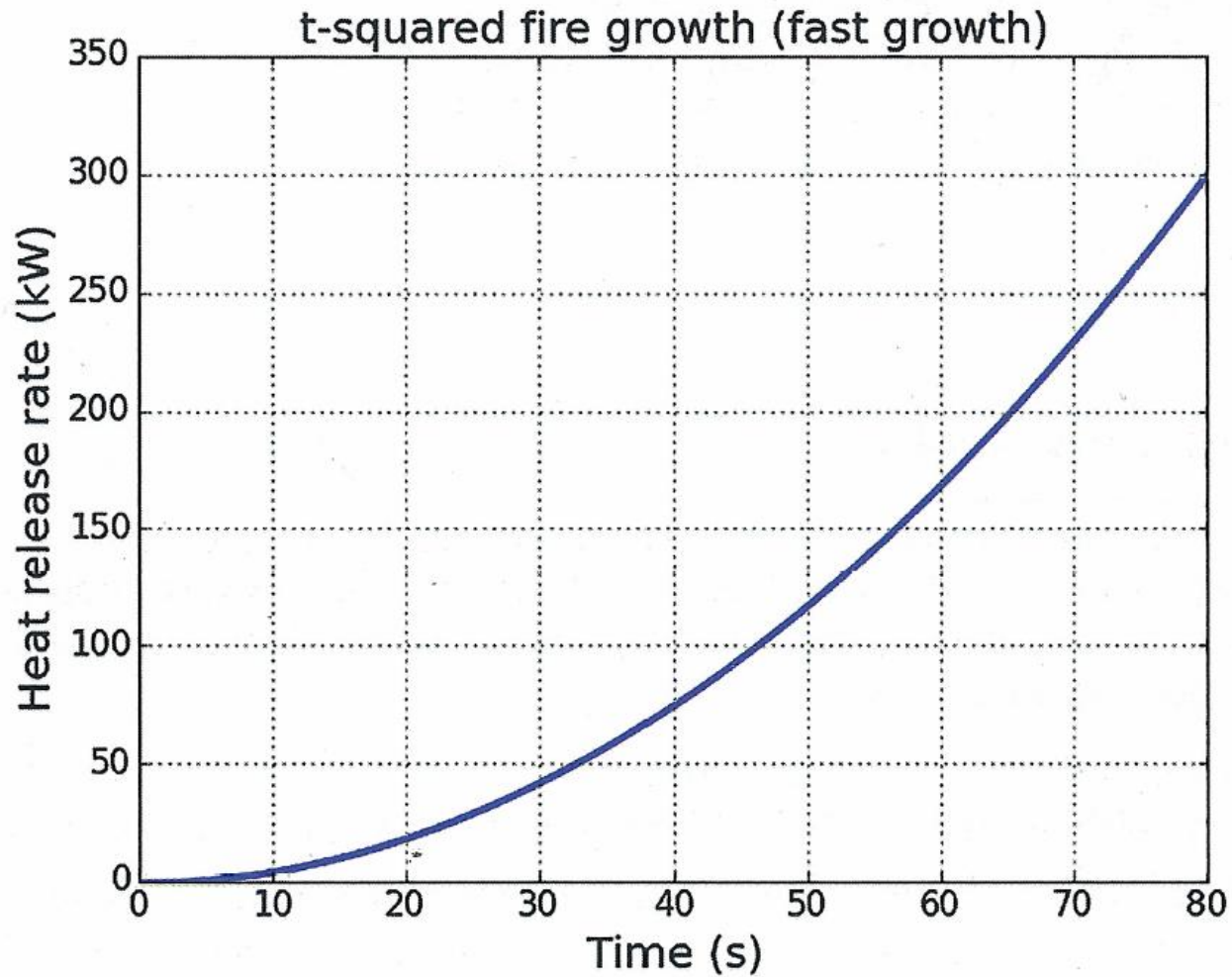
[3] "C/VM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code

[4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4<sup>th</sup> ed., 2008. Tabella 3-4.16, pag. 3-142, da *polyurethane flexible foams*.

[5] Stec A A, Hull T R, "Fire Toxicity", Woodhead Pub., 2010. § 2.4 con Φ = 1,25 (*underventilated fire*)

[6] In alternativa alle rese Y<sub>CO2</sub> e Y<sub>H2O</sub>, si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico CH<sub>2</sub>O<sub>0,5</sub>.

## Focolare predefinito



---

## M3) SALVAGUARDIA DELLA VITA CON LA PROGETTAZIONE PRESTAZIONALE

**Criterio ideale:** la progettazione ideale di un sistema d'esodo dovrebbe assicurare agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro senza neanche accorgersi degli effetti dell'incendio.

**Non sempre è applicabile.**

**Criterio di  $ASET > RSET$ :** il tempo in cui permangono condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti deve essere superiore al tempo necessario perché essi possano raggiungere un luogo sicuro. La differenza tra ASET ed RSET rappresenta il **marginale di sicurezza.**

<b><u>ASET</u></b> tempo disponibile per l'esodo	
<b><u>RSET</u></b> tempo richiesto per l'esodo	

## Criterio di $ASET > RSET$

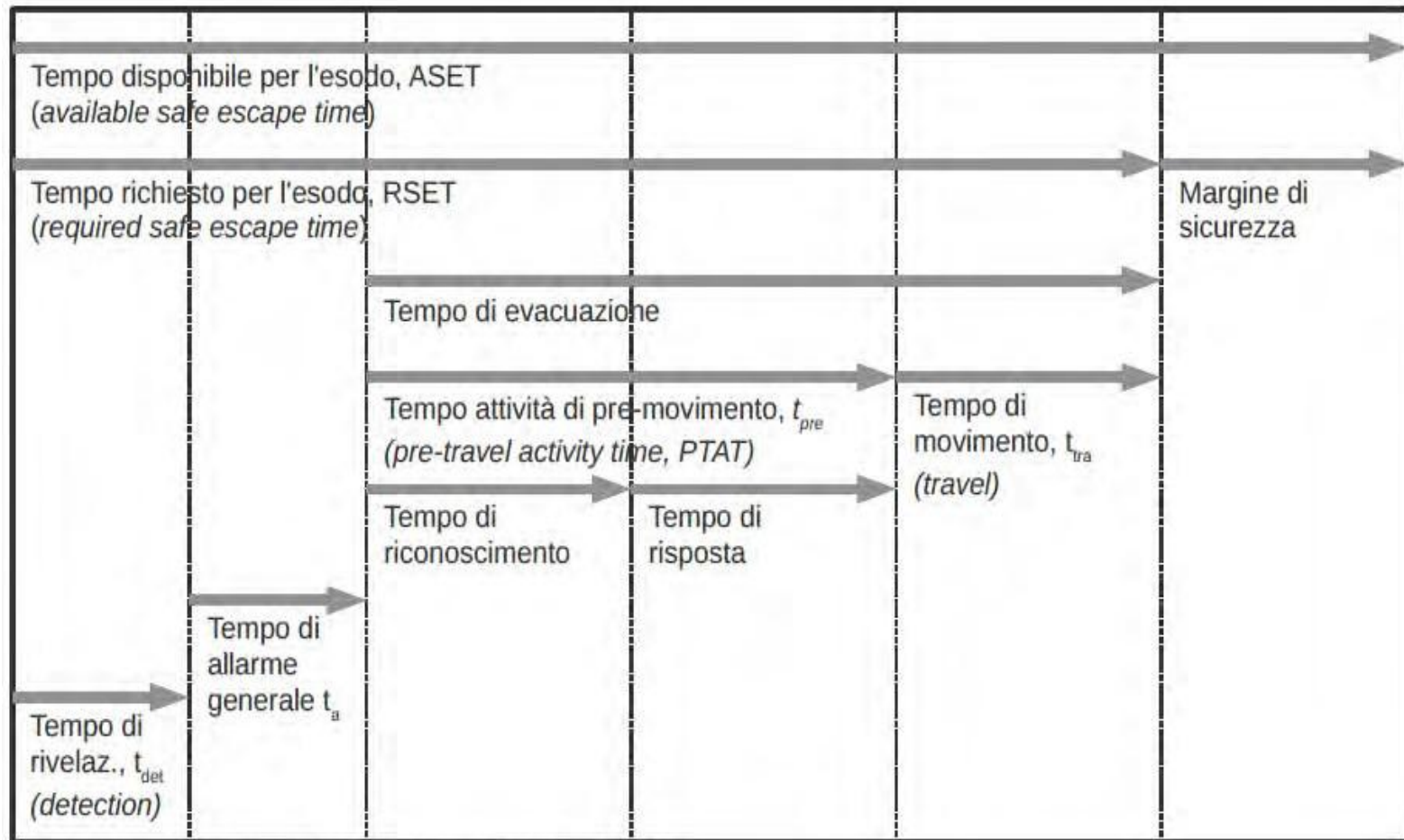


Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET ed RSET

### **M3) SALVAGUARDIA DELLA VITA CON LA PROGETTAZIONE PRESTAZIONALE**

Si considera efficace il sistema di esodo se  $ASET > RSET$  ovvero se il tempo in cui permangono condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti è superiore al tempo richiesto affinché gli stessi raggiungano un luogo sicuro.

La differenza tra ASET ed RSET rappresenta il margine di sicurezza della progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita

$$\mathbf{T_{\text{marg.}} = ASET - RSET \text{ (sec)}}$$

A meno di specifiche valutazioni si assume  $\mathbf{T_{\text{marg.}} > 100\% \text{ di RSET}}$

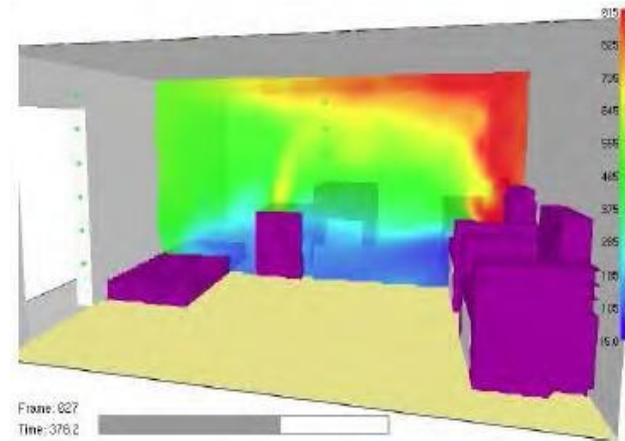
In caso di specifiche valutazioni dei dati di input nella progettazione prestazionale delle vie di esodo è consentito assumere  $\mathbf{T_{\text{marg.}} > 10\% \text{ di RSET}}$

**In ogni caso  $T_{\text{marg.}}$  non dovrà mai essere inferiore a 30 sec.**

## CALCOLO DI ASET (*Available safe escape time*)

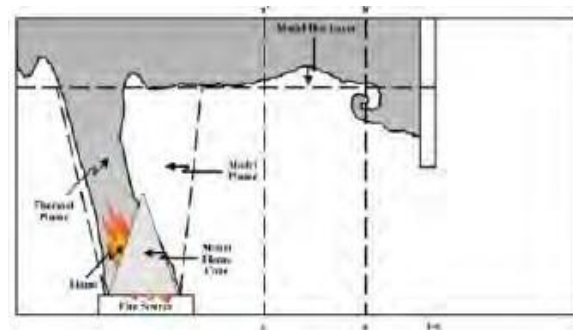
### Metodo avanzato

- modello dei gas tossici,
- modello dei gas irritanti,
- modello del calore,
- modello della visibilità



### Metodo semplificato

- altezza fumi > 2,00 m
- temperatura fumi < 200 °C



# Metodi di calcolo ASET

## CALCOLO ASET

metodo di calcolo  
**avanzato**

ISO 13571

**Modello gas tossici**

**Modello gas irritanti**

**Modello del calore**

**Modello della visibilità**

**ASET globale è definito come il più piccolo tra  
gli ASET calcolati secondo i quattro modelli**

metodo di calcolo  
**semplificato**

ISO/TR 16738

**Esposizione zero**

# MODELLO GAS TOSSICI

**Exposure dose** = è definita come *la misura della dose di un gas tossico disponibile per inalazione*, cioè presente nell'aria inspirata, calcolata per integrazione della curva concentrazione-tempo della sostanza;

**FED (Fractional effective dose)** = Exposure dose / Dose incapacitante del gas tossico;

**Quando il FED =1, il soggetto medio è sicuramente incapacitato**

Nota: Per esempio, la dose incapacitante di CO, monossido di carbonio, prevista nella ISO 13571:2007 è pari a 35000 ppm · min. Ciò significa ipotizzare che il soggetto medio esposto ad una concentrazione di 3500 ppm per 10 minuti risulti incapacitato. In tal caso la sua FED è pari a 1 ed il suo ASET per il CO è pari a 10 minuti.

# MODELLO GAS TOSSICI

La norma ISO 13571 “Life-threatening components of fire —Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data”, propone per il calcolo del Fractional effective dose la seguente equazione:

$$X_{\text{FED}} = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\varphi_{\text{CO}}}{35\,000} \Delta t + \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\exp(\varphi_{\text{HCN}}/43)}{220} \Delta t$$

dove

$\varphi_{\text{CO}}$  è la concentrazione media del monossido di carbonio nell'intervallo di tempo  $\Delta t$ ;

$\varphi_{\text{HCN}}$  è la concentrazione media dell'acido cianidrico nell'intervallo di tempo  $\Delta t$ ;

$\Delta t$  è l'intervallo di tempo di esposizione ai gas tossici asfissianti.

La norma dichiara espressamente che l'incertezza legata all'uso di tale equazione è del  $\pm 35\%$ .

# MODELLO GAS IRRITANTI

## **Ipotesi semplificative**

- L'irritazione è diretta ed istantanea, accade al primo contatto, non c'è accumulo. Esiste additività diretta tra gli effetti degli irritanti.

## **FEC (Fractional effective concentration)**

Se negli scenari di incendio di progetto non vi sono materiali combustibili quali miscele pericolose, cavi elettrici, ecc... la verifica con il modello gas irritanti può essere omessa

## Soglia di prestazione per FED e FEC

I valori di FED e FEC pari ad 1 sono associati ad effetti incapacitanti dell'esodo calibrati su occupanti di media sensibilità agli effetti dei prodotti dell'incendio.

Per tenere conto delle categorie più deboli o più sensibili della popolazione, che risulterebbero incapacitate ben prima del raggiungimento di FED o FEC uguale a 1, si considera ragionevole impiegare il valore 0,1 come soglia di prestazione per FED lasciando però al professionista antincendio l'onere di selezionare e giustificare il valore più adatto alla tipologia di popolazione coinvolta.

# MODELLO DEL CALORE

## Ipotesi semplificativa

Meccanismi di danno: ipertermia, ustione pelle, ustione vie aeree.

Esclusa ustione vie aeree.

Soglia di sostenibilità per calore radiante: 2,5 kW/m<sup>2</sup>

Temperatura ambiente sugli occupanti < 60 °C

Tali valori corrispondono ad ASET > 30 minuti per qualsiasi condizione di abbigliamento

$$X_{\text{FED}} = \sum_{t_1}^{t_2} (1/t_{\text{Irad}} + 1/t_{\text{Iconv}}) \Delta t \quad \text{Relazioni [ISO 13571]}$$

I valori di  $t_{\text{Irad}}$  e  $t_{\text{Iconv}}$  sono i tempi di incapacitazione per calore radiante e calore convettivo calcolati con altre relazioni in funzione della condizione di abbigliamento dei soggetti, reperibili nella norma ISO 13571.

# MODELLO DEL CALORE

$$t_{\text{rad}} = 6,9q^{-1,56}$$

Il limite di sostenibilità per la pelle per esposizioni a calore radiante è di circa 2,5 kW/m². Al di sotto di tale soglia l'esposizione a calore radiante può essere tollerata per 30 minuti o più, senza influire in modo significativo sul tempo necessario per l'esodo. Per esposizioni al calore radiante superiore a circa 2,5 kW/m² il tempo,  $t_{\text{rad}}$ , espresso in minuti, che provoca le ustioni di secondo grado diminuisce rapidamente secondo la seguente equazione:

$$t_{\text{rad}} = 4,2q^{-1,9}$$

Si riporta che per esposizioni a calore radiante maggiori di 2,5 kW/m² il tempo di raggiungimento della soglia di dolore è calcolabile mediante la seguente equazione:

$$t_{\text{lconv}} = (4,1 \times 10^8) T^{-3,61}$$

per persone normalmente vestite

$$t_{\text{lconv}} = (4,1 \times 10^8) T^{-3,61}$$

per persone nude o con vestiti leggeri

ove T è la temperatura in gradi Celsius.

## MODELLO DI VISIBILITA'

Il modello dell'oscuramento della visibilità da fumo é basato sul concetto del minimo contrasto percettibile, cioè la minima differenza di luminosità visibile tra un oggetto e lo sfondo.

$$C = \sigma \rho_{\text{smoke}} L \quad \text{M.3-2}$$

dove:

L visibilità [m]

C costante adimensionale pari a 3 per cartellonistica di esodo riflettente non illuminata o 8 per cartellonistica retroilluminata

$\sigma$  coefficiente massico di estinzione della luce pari a  $10 \text{ m}^2/\text{g}$  [ $\text{m}^2/\text{g}$ ]

$\rho_{\text{smoke}}$  massa volumica dei fumi (*smoke aerosol mass concentration*) [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]

# Metodo di calcolo semplificato per ASET

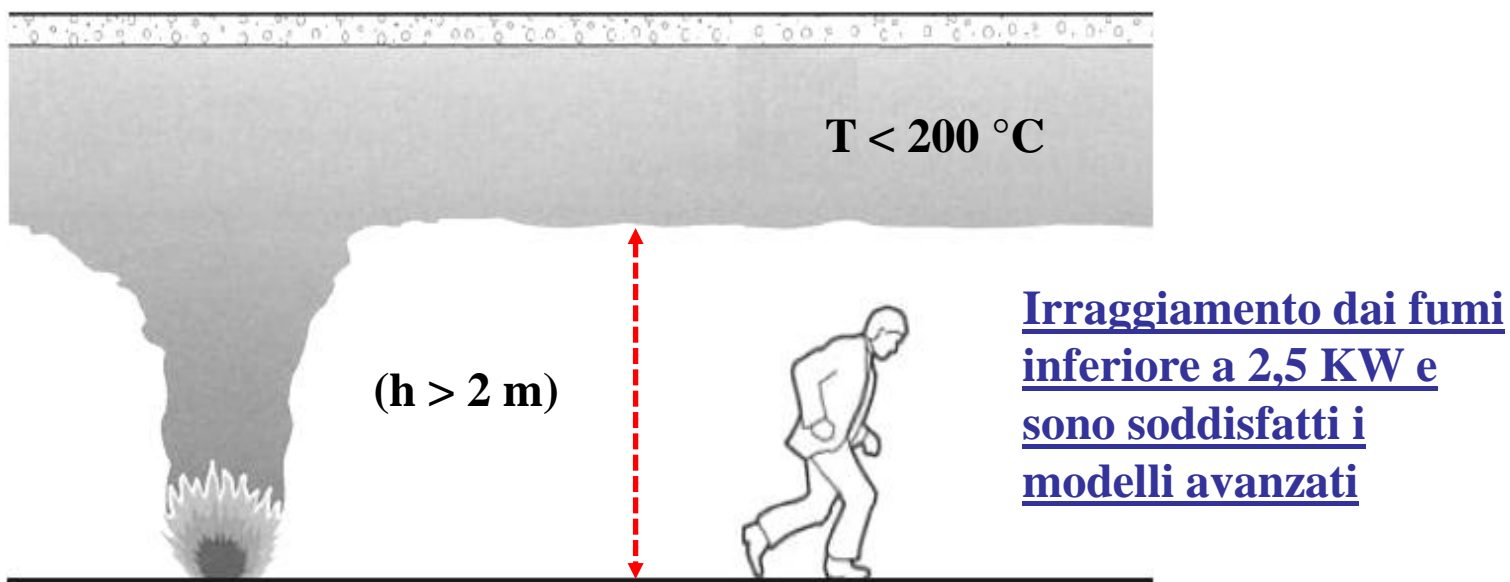
La **ISO/TR 16738** prevede la possibilità di utilizzare l'ipotesi semplificativa della **esposizione zero (zero exposure)**.

Il professionista antincendio impiega le seguenti **soglie di prestazione molto conservative**:

- altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2 m, al di sotto del quale permane lo strato d'aria non inquinata dai fumi di combustione
- temperatura media dello strato di fumi caldi non superiore a 200°C.

N.B. Questi valori di soglia consentono agli occupanti la fuga in aria non inquinata dai prodotti di combustione ed un valore di irraggiamento cui sono esposti inferiore a 2,5 KW/mq

## Campo di applicabilità del metodo semplificato



Il metodo di calcolo semplificato è applicabile, solo se la potenza del focolare rapportata alla geometria dell'ambiente é sufficiente a garantire la formazione dello strato di fumi caldi superiore; il professionista antincendio è tenuto a verificare che tale condizione si verifichi.

---

## CALCOLO DI RSET (*Required safe escape time*)

È calcolato tra l'innesco dell'incendio ed il momento in cui gli occupanti dell'edificio raggiungono un luogo sicuro.

**RSET è determinato da varie componenti:**

- $t_{det}$  : tempo di rivelazione (*detection*)
- $t_a$  : tempo di allarme generale
- $t_{pre}$  : tempo di pre-movimento (*pre-travel activity time*)
- $t_{tra}$  : tempo di movimento (*travel*)

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

I parametri variano notevolmente se gli occupanti sono svegli e hanno familiarità con l'edificio, o dormono e non conoscono la struttura.

# CALCOLO DI RSET (*Required safe escape time*)

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

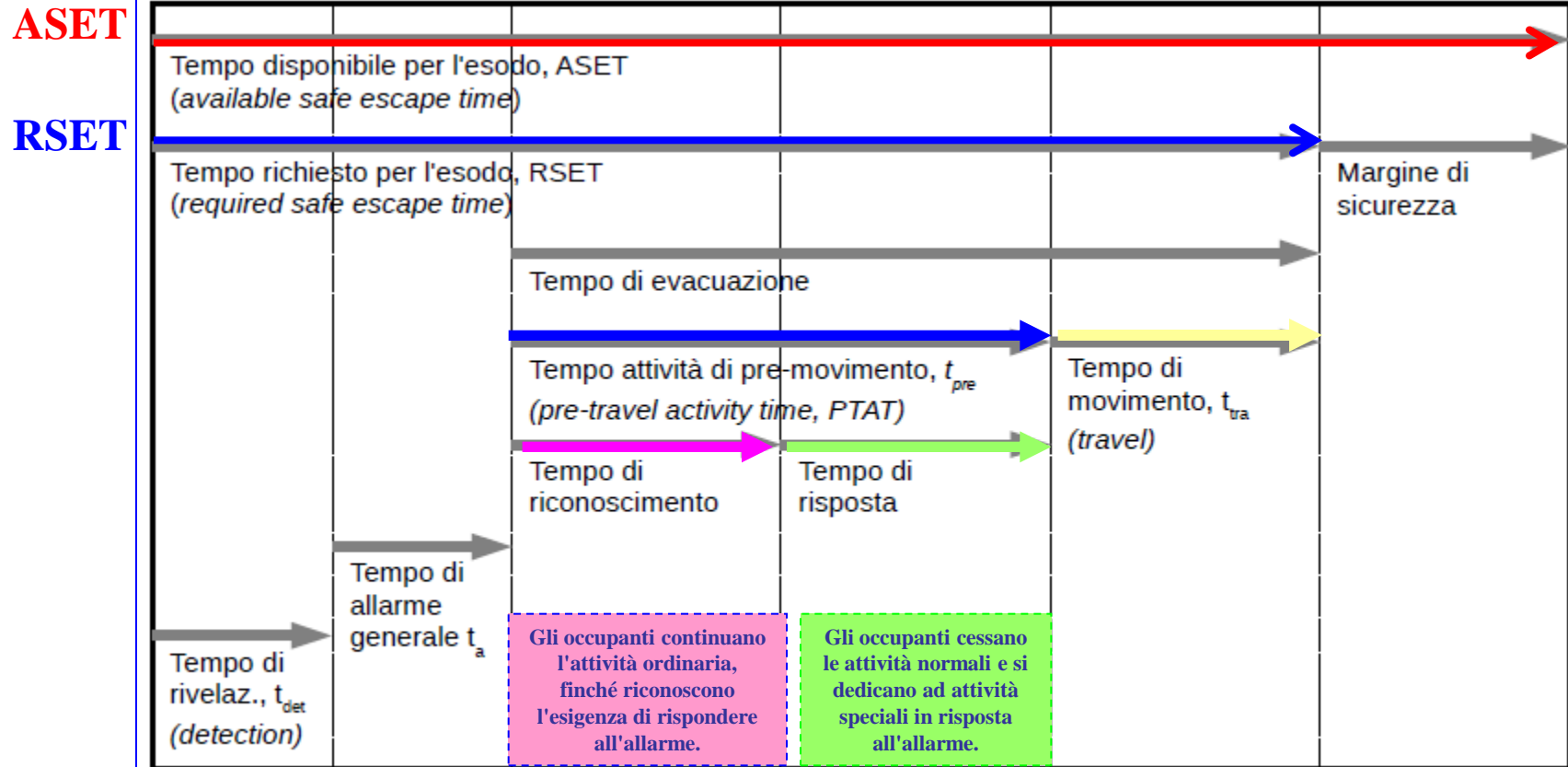


Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET ed RSET da ISO/TR 13387-8

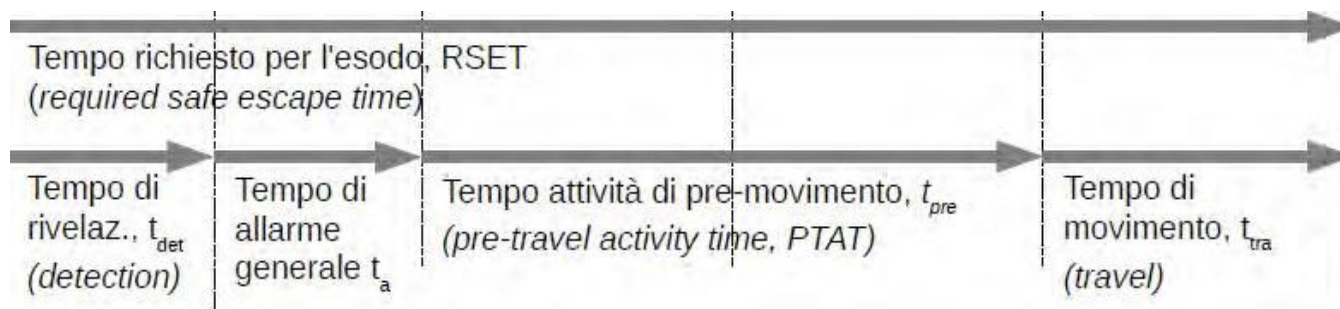
---

## Tempo di rivelazione ( $t_{det}$ )

Tempo necessario al sistema di rivelazione automatico per accorgersi dell'incendio.

Dipende dal tipo di sistema di rivelazione e dallo scenario d'incendio.

È calcolato analiticamente o con apposita modellazione numerica degli scenari d'incendio e del sistema di rivelazione.

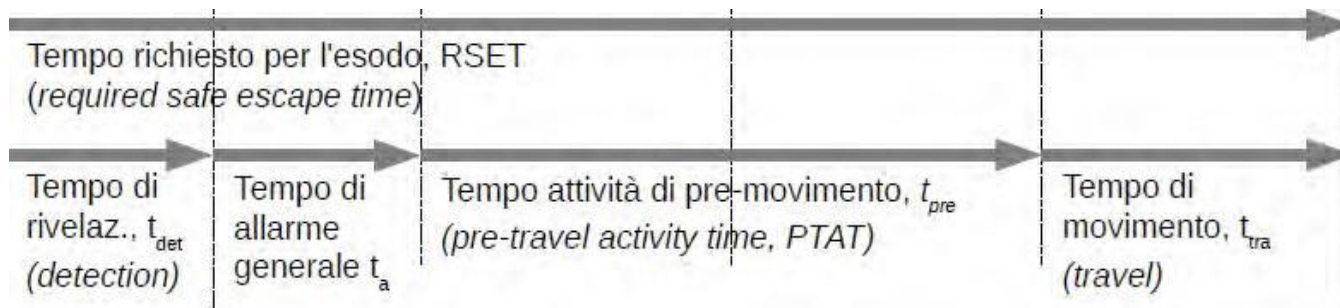


---

## Tempo di allarme generale ( $t_a$ )

Tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti.

**È pari a zero**, quando la rivelazione attiva direttamente l'allarme.  
**È pari al ritardo**, valutato dal professionista antincendio, se la rivelazione allerta una centrale di gestione dell'emergenza che verifica l'evento ed attiva poi l'allarme manuale.

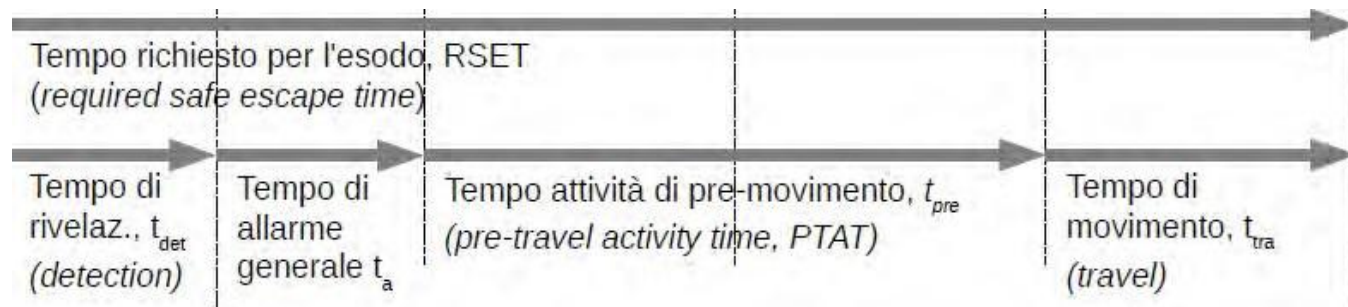


---

## Tempo di attività pre-movimento ( $t_{pre}$ )

È composto dal tempo di riconoscimento e dal tempo di risposta.

- Durante il tempo di riconoscimento gli occupanti continuano le attività che stavano svolgendo, finché riconoscono l'esigenza di rispondere all'allarme.
- Nel tempo di risposta gli occupanti cessano le loro attività normali e si dedicano ad attività legate all'emergenza.



# Tempo di attività pre-movimento ( $t_{pre}$ )

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
<b>Esempio 1:</b> albergo di media complessità <ul style="list-style-type: none"> <li>• occupanti: <i>Ciii, sleeping and unfamiliar</i>;</li> <li>• sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti;</li> <li>• complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout semplice</i>;</li> <li>• gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>.</li> </ul>	20'	40'
<b>Esempio 2:</b> grande attività produttiva <ul style="list-style-type: none"> <li>• occupanti: <i>A, awake and familiar</i>;</li> <li>• sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti;</li> <li>• complessità geometrica edificio: edificio multipiano e layout complesso;</li> <li>• gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>.</li> </ul>	1' 30"	3' 30"
<b>Esempio 3:</b> residenza sanitaria assistenziale <ul style="list-style-type: none"> <li>• occupanti: <i>D, sleeping and unfamiliar</i>;</li> <li>• sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti;</li> <li>• complessità geometrica edificio: edificio multipiano e layout semplice;</li> <li>• gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>;</li> <li>• presenza di addetti in quantità sufficiente a gestire l'evacuazione dei diversamente abili.</li> </ul>	5'	10'

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

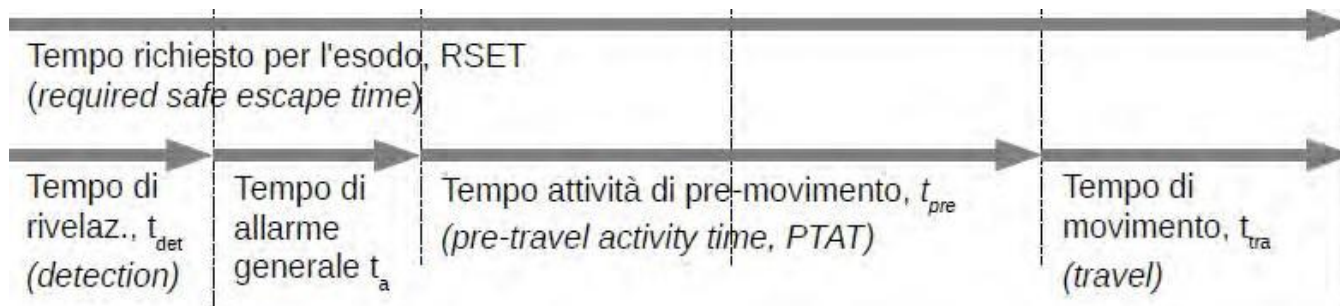
---

## Tempo di movimento ( $t_{tra}$ )

Tempo **impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro** dal termine delle attività di pre-movimento (calcolo attraverso modelli idraulici e altri modelli che tengono conto del comportamento umano)

Dipende da:

- distanza degli occupanti o gruppi di essi dalle vie d'esodo;
- velocità d'esodo, che dipendono dalla tipologia degli occupanti e dalle loro interazioni con l'ambiente e gli effetti dell'incendio;
- Vie d'esodo (geometria, dimensioni, dislivelli, ostacoli).



# I MODELLI PER IL CALCOLO DEL TEMPO DI MOVIMENTO

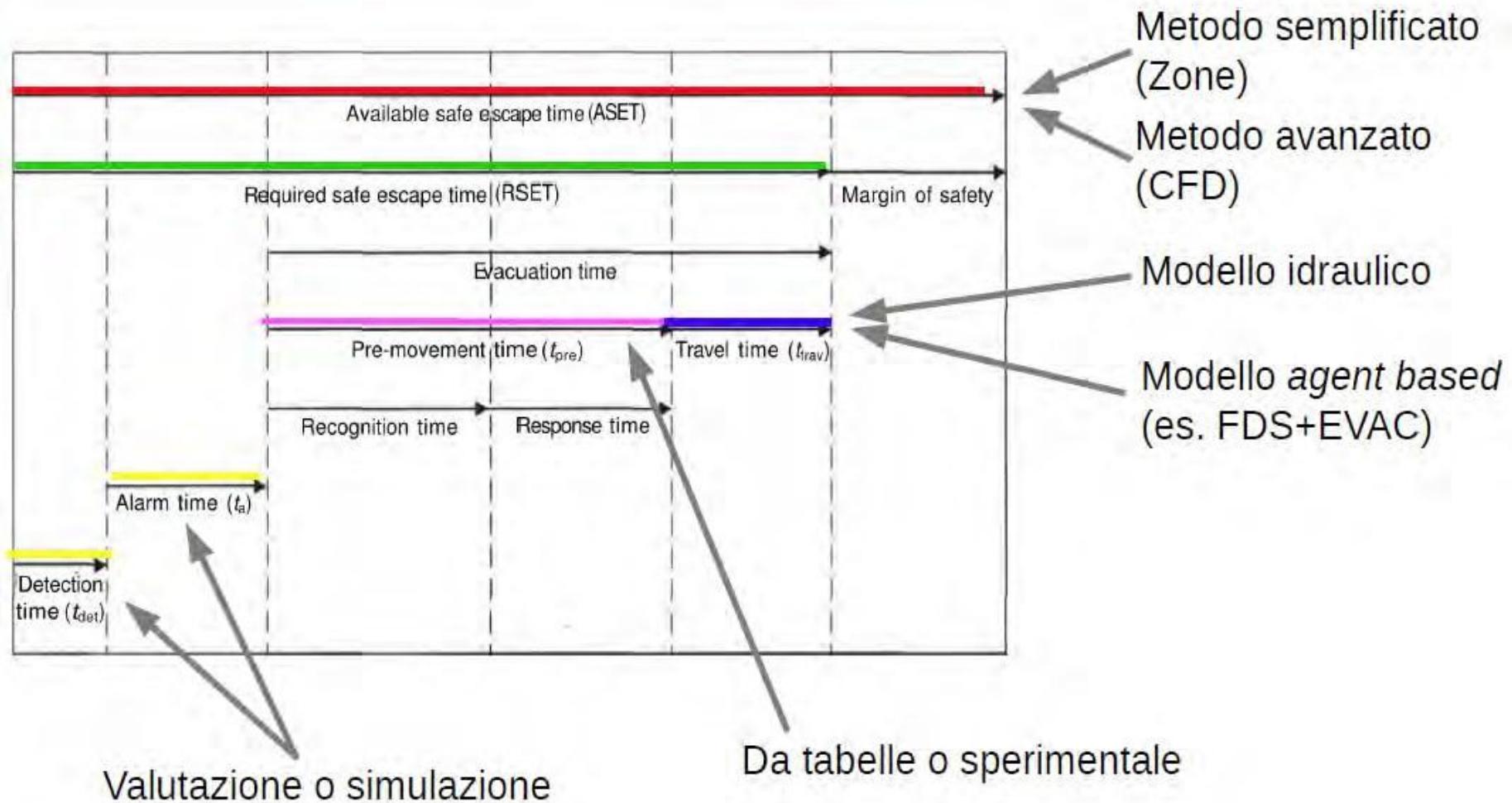
Attualmente si impiegano comunemente due famiglie di modelli per il calcolo del tempo di movimento:

## MODELLI IDRAULICI E MODELLI “AGENT BASED”.

I modelli idraulici predicono con ragionevole precisione alcuni aspetti del movimento degli occupanti, ma non includono fattori importanti del comportamento umano, come la familiarità con l'edificio, le interazioni persona-persona e l'effetto del fumo sul movimento.

**Altri tipi di modelli** sono oggetto di intensa ricerca scientifica e di sperimentazione; attualmente esistono ancora solo validazioni parziali dei risultati. Pertanto i risultati devono essere valutati con cautela.

# Riepilogo



## Margine di sicurezza

3. La differenza tra ASET ed RSET rappresenta il *margin* di sicurezza della progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita:

$$t_{\text{marg}} = \text{ASET} - \text{RSET} \quad [\text{s}]$$

Nel confronto tra diverse soluzioni progettuali, il professionista antincendio rende massimo<sup>1</sup> il margine di sicurezza  $t_{\text{marg}}$  in relazione alle ipotesi assunte, al fine di considerare l'incertezza nel calcolo dei tempi di ASET ed RSET.

A meno di specifiche valutazioni si assume  $t_{\text{marg}} \geq 100\% \cdot \text{RSET}$ . In caso di specifiche valutazioni sull'affidabilità dei dati di input impiegati nella progettazione prestazionale, è consentito assumere  $t_{\text{marg}} \geq 10\% \cdot \text{RSET}$ .

In ogni caso, il valore di  $t_{\text{marg}}$  non dovrà mai essere inferiore a 30 secondi.

# *Scelta dei modelli di calcolo*

## *Modelli più frequentemente utilizzati*

- *Analitici semplificati*
- *Simulazione incendio a zone per ambienti confinati (CFast, Ozone)*
- *Simulazione di incendio di campo (FDS, CFX, Fluent)*
- *Simulazione dell'esodo (modelli idraulici e agent based)*
- *Simulazione del comportamento strutturale in caso di incendio (Ansys, Adina, Abaco, Diana, Safir)*

*N.B. Utilizzando un qualsiasi modello automatico è necessario che il progettista valuti la sensibilità degli output al variare degli input (analisi di sensitività)*

# *Modelli di calcolo*

## *Parametri interni al modello (esempio modelli di campo):*

- *Dimensione della griglia di calcolo*
- *Passo temporale di calcolo (time step)*

## *Parametri esterni:*

- *Geometria (dimensioni dell'ambiente, aperture di ventilazione, comunicazioni tra ambienti, ecc...)*
- *Scenario (rilascio termico, velocità di perdita di massa, ecc...)*
- *Termofisica (proprietà delle pareti e soffitto dell'ambiente, calore specifico, umidità, ecc...)*

*Validazione (confronto con dati sperimentali, limitazioni del modello utilizzato, utilizzo di più modelli)*

# *Origine e caratteristiche dei codici di calcolo*

- *Denominazione*
- *Autore o distributore*
- *Versione*
- *Inquadramento teorico della metodologia di calcolo*
- *Affidabilità dei codici*
- *Limitazioni ed ipotesi di base*
- *Documentazione tecnica e manuale utente*
- *Validazioni sperimentali*

# *Informazioni che deve fornire il progettista*

- *Tipo di incendio modellato e funzioni svolte dal modello*
- *Basi teoriche e leggi fisiche*
- *Ipotesi più importanti e limiti di applicabilità*
- *Programmi ausiliari e files dati*
- *Fonte, contenuto e uso delle librerie dei dati*
- *Valutazioni sulla capacità di previsione del modello*
- *Riferimenti a validazioni sperimentali e controlli già svolti*
- *Dati di “input” e valori di “default”*
- *Files dati di esempio e relativi risultati*
- *Informazioni sulla “convergenza” del programma verso le soluzioni corrette*
- *Indicazione del grado di conformità del modello al documento ISO 13387*

## *Parametri dei modelli e valori associati*

- 1. Per metodi analitici*
- 2. Per modelli a zone*
- 3. Per modelli di campo*
- 4. Per modelli di analisi strutturale (resistenza al fuoco)*
- 5. Per modelli di simulazione dell'esodo*

# *Modelli analitici (parametri)*

- *tempo reale di simulazione*
- *velocità di crescita dell'incendio*
- *potenza di picco dell'incendio*
- *fattore di ventilazione e dinamica*
- *potenza necessaria per il flash over e tempo di flash over*
- *potenza massima in funzione della ventilazione*
- *distribuzione nel tempo della temperatura ambiente*
- *massa d'aria richiamata nel pennacchio*
- *temperatura del pennacchio e degli oggetti vicini al focolare*
- *spessore dello strato superiore caldo dei fumi in funzione del tempo*
- *densità ottica dei fumi*
- *concentrazione di monossido di carbonio*

# *Modelli a zone (parametri)*

- *Volume di controllo e condizioni al contorno*
- *Dati relativi ai materiali e caratteristiche termofisiche*
- *Ventilazione, velocità di eventuale estrazione d'aria*
- *Curva della potenza termica rilasciata (HRR) in funzione del tempo*
- *Vincoli alla combustione per disponibilità di ossigeno*
- *Sottomodello del “plume”*
- *Produzione di particolato e specie tossiche*
- *Modello di irraggiamento*
- *Presenza di eventuali impianti sprinkler*
- *Tempo reale di simulazione*
- *Temperature medie nello strato superiore ed inferiore*
- *Posizione dell'interfaccia tra le zone / Flussi in entrata ed in uscita*
- *Concentrazione di ossigeno, ossido di carbonio e visibilità*

# *Modelli di campo (parametri)*

- *Dominio di calcolo e condizioni al contorno*
- *Presenza di vento e dinamica della ventilazione*
- *Velocità dell'eventuale aria di immissione /estrazione*
- *Curva della potenza termica rilasciata (HRR) in funzione del tempo*
- *Produzione di particolato e specie tossiche*
- *Analisi di sensitività e dimensioni ottimali della “mesh”*
- *Caratteristiche di eventuali sprinkler e loro effetti*
- *Tempo reale di simulazione*
- *Time step e sua congruenza con le dimensioni delle celle*
- *Indicazioni sulla convergenza delle elaborazioni*
- *Analisi dei risultati: piani di temperatura, di velocità, di concentrazione di monossido di carbonio, di visibilità, valutati secondo gli assi cartesiani*

# *Modelli di analisi strutturale (parametri)*

- *Individuazione degli elementi strutturali e sottostrutture indipendenti*
- *Determinazione sperimentale o analitica del riscaldamento degli elementi strutturali, descritto da una curva tempo, temperatura*
- *Analisi non lineare del comportamento meccanico della struttura mediante codici di calcolo che ne simulino lo stato tensionale e deformativo al variare della temperatura e in presenza dei carichi di progetto*
- *Verifica ulteriore degli elementi strutturali nei confronti della curva di incendio nominale standard per una durata di esposizione pari alla classe minima di resistenza al fuoco (allegato al DM 9 marzo 2007)*
- *L'analisi strutturale deve essere condotta valutando gli effetti delle dilatazioni termiche contrastate e delle deformazioni determinate dall'esposizione all'incendio*

# *Modelli di simulazione dell'esodo (parametri)*

- *Caratterizzazione della popolazione di individui presenti (velocità, diverse abilità)*
- *Lunghezze e larghezze delle vie di esodo, percorsi, scale*
- *Tempi di evacuazione ( rilevazione, allarme, movimento e percorrenza)*
- *Tempo di rilevazione e segnalazione di allarme incendio*
- *Tempo di inizio di evacuazione*
- *Tempo per raggiungere un luogo sicuro*
- *Impianto di rivelazione automatica di incendio (condizioni fisiche delle persone dove è inviata la segnalazione, tipo di rivelatori utilizzati e loro posizionamento, distanza e ubicazione dei dispositivi ottico-acustici di allarme incendio, criterio di riconoscimento di una situazione di allarme, condizioni di manutenzione dell'impianto)*

*N:B. Utili indicazioni sui ritardi nell'esodo sono fornite dalla norma BS PD 7974-6*

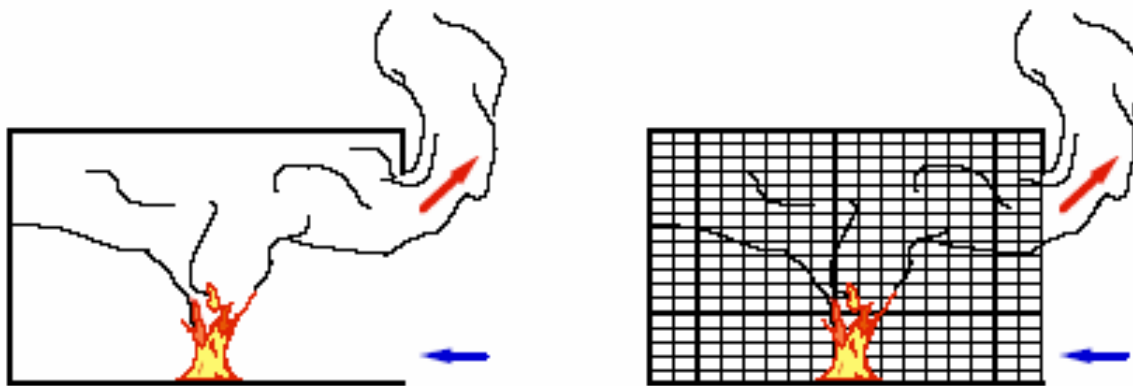
# *Confronto fra risultati e livelli di prestazione*

*Devono essere illustrati tutti gli elementi che consentono di verificare il rispetto di tutti i livelli di prestazione indicati nell'analisi preliminare, al fine di evidenziare l'adeguatezza delle misure che si intendono adottare*

- Confronto dei parametri valutati con i livelli di prestazione previsti*
- Risultati delle elaborazioni e valori che assumono i parametri suddetti*
- L'esito delle elaborazioni deve essere sintetizzato in disegni, schemi grafici, immagini, che presentino in modo chiaro i parametri di interesse*
- Su richiesta del Comando VVF devono essere resi disponibili i tabulati di calcolo e i dati di input*

---

## Zone to Field Models

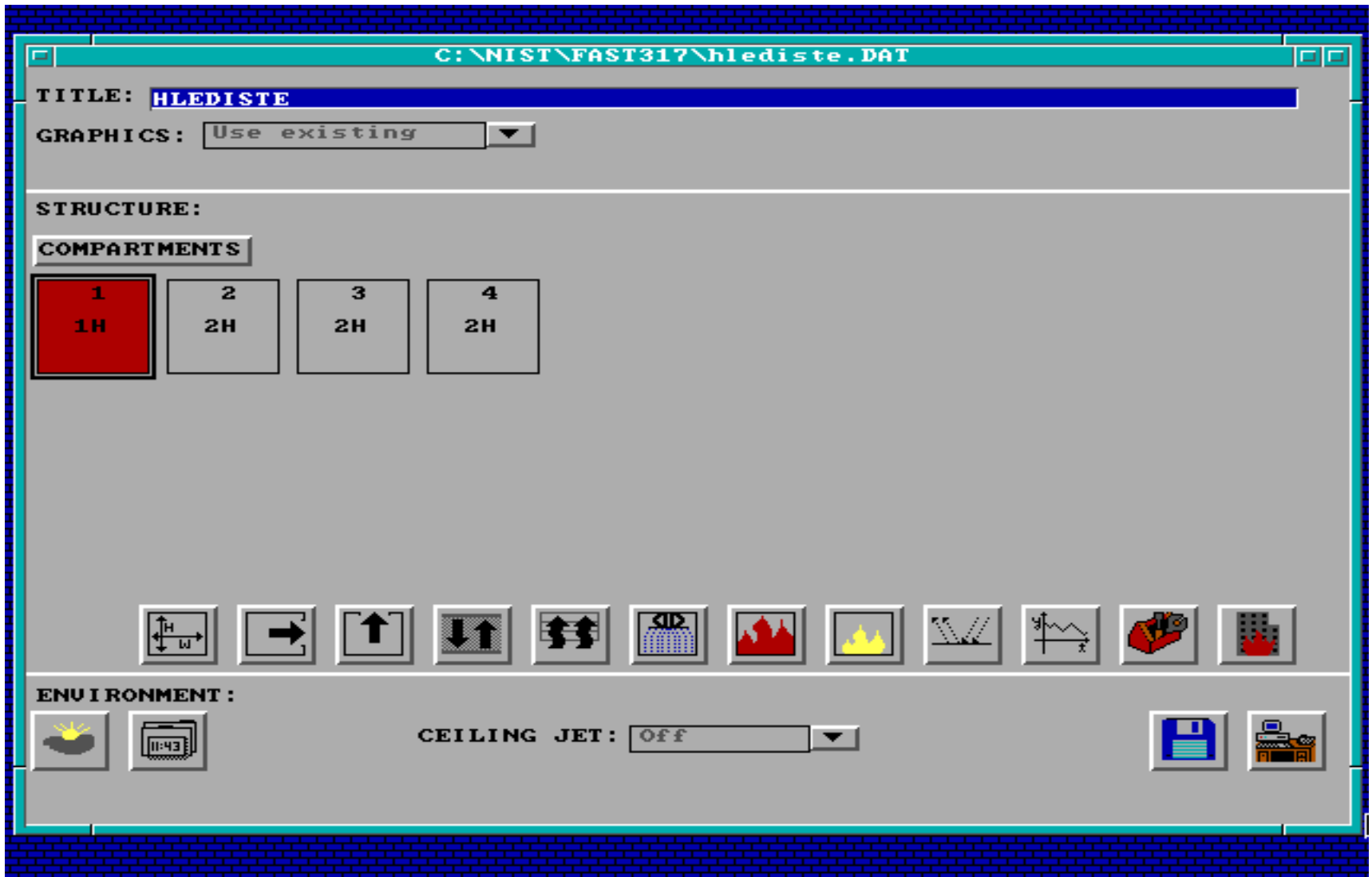


# Codici di calcolo

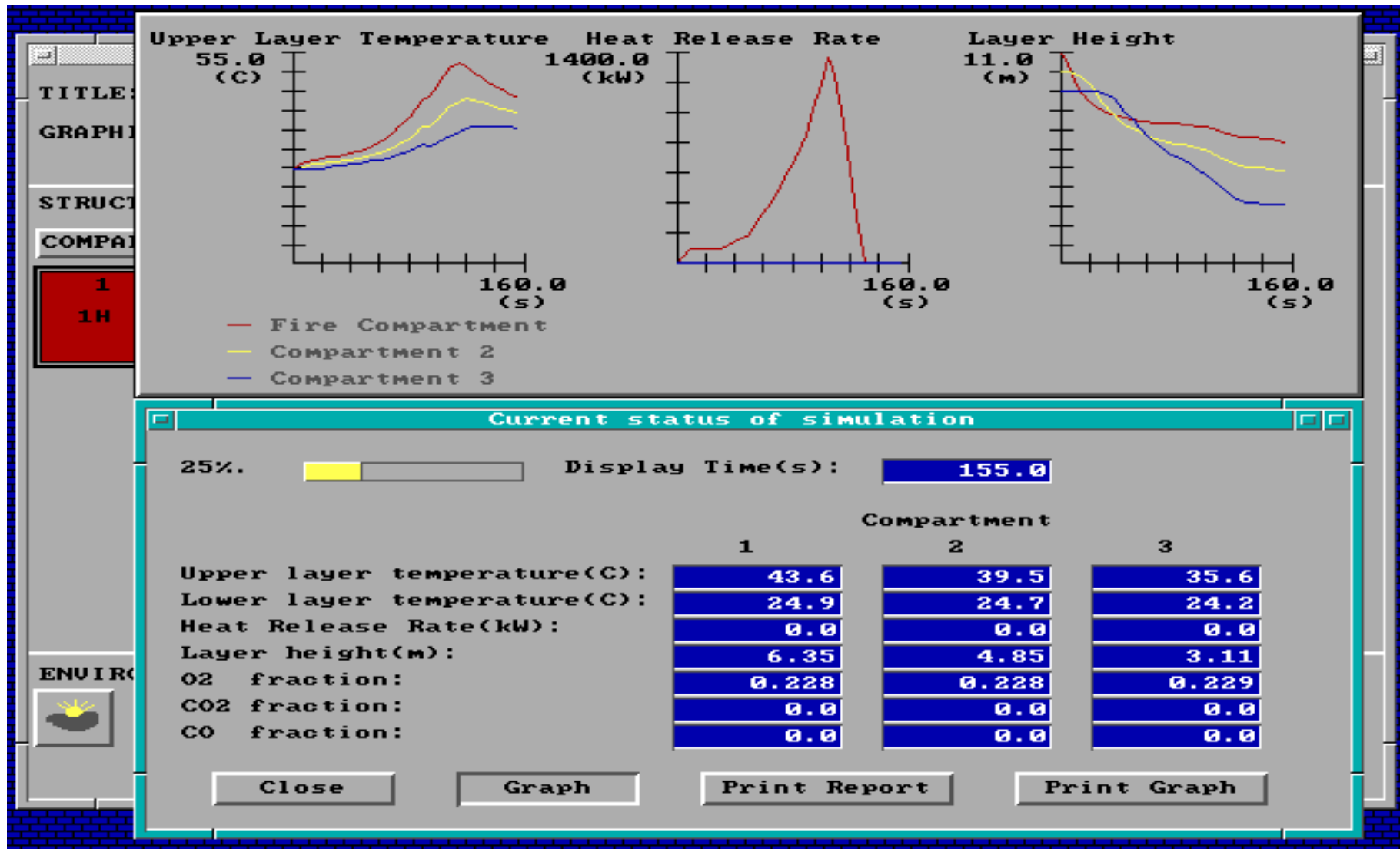
*I codici maggiormente utilizzati sono stati sviluppati presso il NIST (National Institute of Standards and Technology) Building and Fire Research Laboratory*

- **CFAST** (*Consolidated Fire and Smoke Transport Model*) è un modello a zone sviluppato per valutare gli effetti dell'incendio in termini di evoluzione delle temperature, della propagazione del fumo e dei gas di combustione.
- **FDS** (*Fire Dynamics Simulator*) determina la distribuzione del fumo e il movimento dell'aria causati dall'incendio, dal vento, e dal sistema di ventilazione. I risultati del calcolo sono visualizzati dal codice smokeview  
E' un codice di calcolo fluidodinamico ad elementi finiti (celle)  
Vengono integrate le equazioni della fluido-dinamica di Navier-Stokes, Analizza con lunghi tempi computazionali il complesso meccanismo dell'incendio e della propagazione dei fumi

# *CFAST (modello a zone)*



# CFAST (modello a zone)



# CFAST (modello a zone)

## Simulation Environment

The screenshot shows the 'Newfile' window of the CFAST software. The interface includes a menu bar (File, Run!, Tools, View, Help) and a tabbed navigation system with the following tabs: Simulation Environment (selected), Compartment Geometry, Horizontal Flow Vents, Vertical Flow Vents, Mechanical Flow Vents, Fires, Detection / Suppression, Targets, and Surface Connections.

**Simulation Environment Tab:**

- Title:** CFAST Simulation
- Simulation Times:**
  - Simulation Time: 900 s
  - Text Output Interval: 50 s
  - Binary Output Interval: 0 s
  - Spreadsheet Output Interval: 10 s
  - Smokeyview Output Interval: 10 s
- Thermal Properties File:** thermal
- Ambient Conditions:**
  - Interior:**
    - Temperature: 20 °C
    - Elevation: 0 m
    - Pressure: 101300 Pa
    - Relative Humidity: 50 %
  - Exterior:**
    - Temperature: 20 °C
    - Elevation: 0 m
    - Pressure: 101300 Pa
    - Wind Speed: 0 m/s
    - Power Law: 0.16
    - Scale Height: 10 m

**Errors:** No Errors

**Status Bar:** No Errors

# Compartment Geometry

Newfile •

File Run! Tools View Help

Simulation Environment | **Compartment Geometry** | Horizontal Flow Vents | Vertical Flow Vents | Mechanical Flow Vents | Fires | Detection / Suppression | Targets | Surface Connections

Compartment	Num	Width	Depth	Height	X Position	Y Position	Z Position	Ceiling	Walls	Floor	F	H	V	M	D	T
Compartment 1	1	3.6	2.4	2.4	0	0	0	gypsum	gypsum	off	0	0	0	0	0	0

Add Duplicate Move Up Move Down Remove

Compartment 1

Compartment Name:

**Geometry**

Width:  Position, X:   
Depth:  Y:   
Height:  Z:

**Flow Characteristics**

**Materials**

Ceiling:   
Walls:   
Floor:

**Variable Cross-Sectional Area**

Height	Area

No Errors

# Fires

CEdit (Users Guide Example Case)

File View Help

Simulation Thermal Properties Compartments Wall Vents Ceiling/Floor Vents Mechanical Ventilation Fires Targets Detection / Suppression Surface Connections Output

Num	Compartment	Fire	Ignition by	Set Point	X Position	Y Position	Z Position	Peak Q
1	Comp 1	bunsen	Time	0	2.5	2.5	0	200
2	Comp 2	Wood_Wall	Time	0	2.5	5	0	1000

Lower Oxygen Limit: 10 %  
Gaseous Ignition Temperature: 120 °C

Add New Add t² Duplicate From File Remove

Fire 1 (of 2)

Name: bunsen Compartment: Comp 1

C: 1 Heat of Combustion: 50000 kJ/kg  
H: 4 Soot Yield:   
O: 0 CO Yield:   
N: 0 TS Yield:   
Cl: 0 Radiative Fraction: 0.33

Position, X: 2.5 m Ignition Criterion: Time  
Position Y: 2.5 m Set Point: 0 s  
Position Z: 0 m Ignition Target:

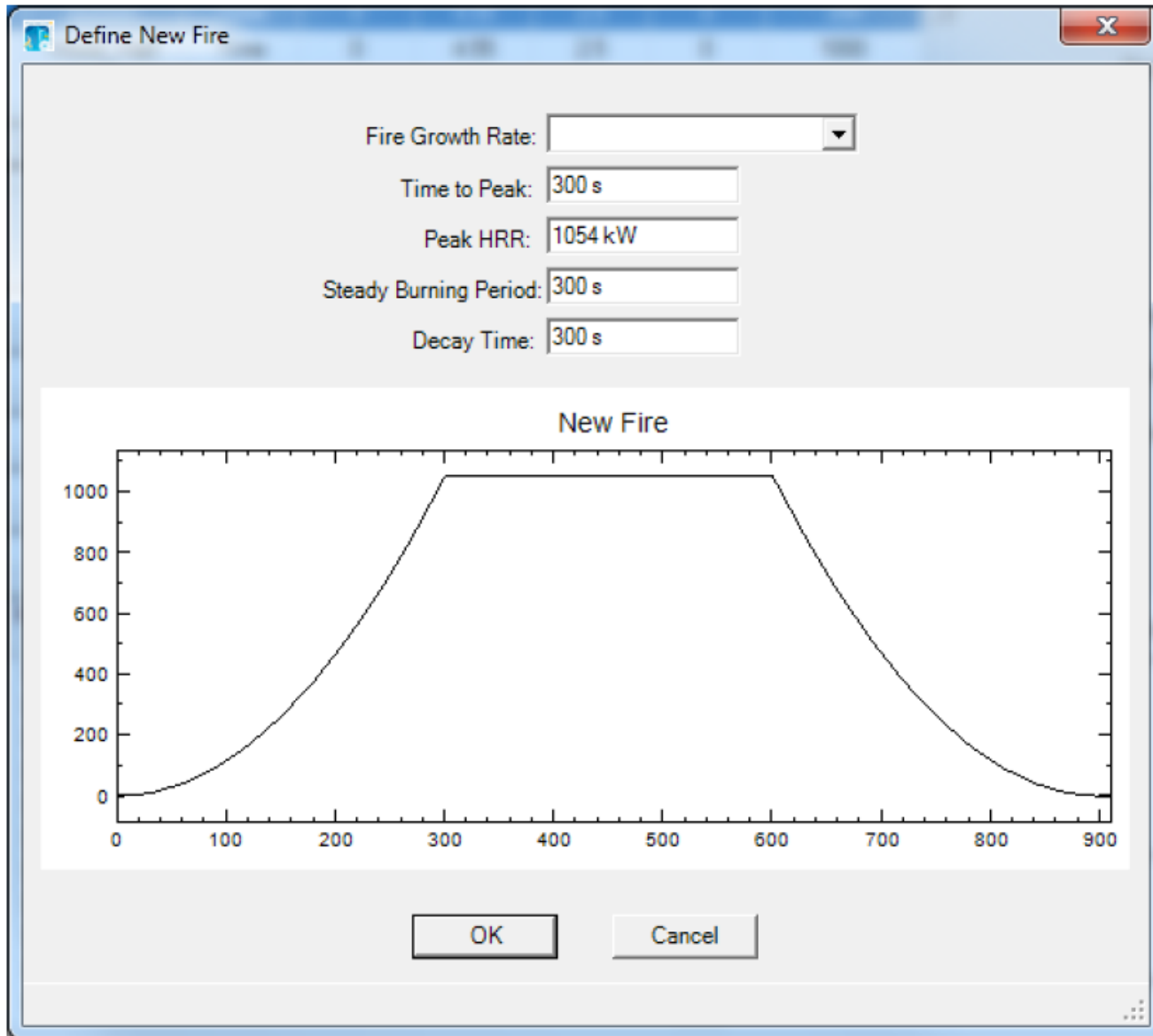
Time (s)	HRR (kW)	Height (m)	Area (m²)	CO Yield	Soot Yield	TS Yield
0	0.0	0.00	0.100	0.0010	0.000	0
60	100.0	0.00	0.100	0.0010	0.000	0
120	150.0	0.00	0.100	0.0010	0.000	0
180	200.0	0.00	0.100	0.0010	0.000	0
240	150.0	0.00	0.100	0.0010	0.000	0
300	125.0	0.00	0.100	0.0010	0.000	0
360	100.0	0.00	0.100	0.0010	0.000	0
420	90.0	0.00	0.100	0.0010	0.000	0
480	80.0	0.00	0.100	0.0010	0.000	0
540	75.0	0.00	0.100	0.0010	0.000	0
1800	75.0	0.00	0.100	0.0010	0.000	0

bunsen: HRR (kW)

Open Save Geometry Run View

No Errors

# *Define fire*



# Fire objects

**Fire Objects**

Num	Object Name	Length	Width	Thickness	Peak Qdot	Peak CO/CO <sub>2</sub>	Peak C/CO <sub>2</sub>	Peak HCN	Peak HCl	HoC	Material
1	3 panel workstation	1	1	1	6710	0.003053435	0.01181102	0	0	18900	WOODSHCM
2	bunkbed	1	1	1	4620	0.018667	0.129333	0	0	18900	URETHANE
3	bunsen	0.01	0.01	0.01	350	0.07	0	0	0	50000	METHANE
4	curtains	1	1	1	240	0.003289474	0	0	0	29600	ACOUTILE
5	kiosk	1	1	1	1750	0.01181102	0.003053435	0	0	50000	WOODSHCM
6	mainfire	0.1	0.1	0.1	100	0.01	0.01	0	0	50000	METHANE
7	mattress and boxspring	1	1	1	660	0.018667	0.129333	0	0	18900	URETHANE

New Duplicate Remove

Fire Object Name:

Details

Material:

Length:  Heat of Combustion:

Width:  Heat of Gasification:

Thickness:  Volatilization Temperature:

Molar Mass:  Ignition Temperature:

Total Mass:  Radiative Fraction:

bunsen

Time (s)	Mdot (kg/s)	Qdot (kW)	Height (m)	Area (m <sup>2</sup> )	CO/CO <sub>2</sub>	C/CO <sub>2</sub>	H/C	O/C	HCN (kg/s)	HCl (kg/s)	Ct
0	0	0	0	0	0.05	0	0.16	0	0	0	1
60	0.00829876	200	0	0	0.06	0	0.16	0	0	0	1
120	0.0145228	350	0	0	0.07	0	0.16	0	0	0	1
180	0.0141079	340	0	0	0.06	0	0.16	0	0	0	1
240	0.00829876	200	0	0	0.05	0	0.16	0	0	0	1

OK Cancel

# Detection

Newfile \*

File Run! Tools View Help

Simulation Environment | Compartment Geometry | Horizontal Flow Vents | Vertical Flow Vents | Mechanical Flow Vents | Fires | Detection / Suppression | Targets | Surface Connections

Num	Compartment	Type	X Position	Y Position	Z Position	Activation	RTI	Spray Density
1	Compartment 1	Sprinkler	1.8	1.2	2.376	74	100	7E-05

Add Duplicate Move Up Move Down Remove

Detector 1 (of 1)

Type: Sprinkler Compartment: Compartment 1 Activation Temperature: 74 °C

Position

Width (X): 1.8 m

Depth (Y): 1.2 m

Height (Z): 2.376 m

RTI: 100 (m s)<sup>0.5</sup>

Spray Density: 7E-05 m/s

No Errors

# Target

Newfile •

File Run! Tools View Help

Simulation Environment | Compartment Geometry | Horizontal Flow Vents | Vertical Flow Vents | Mechanical Flow Vents | Fires | Detection / Suppression | Targets | Surface Connections

Num	Compartment	X Position	Y Position	Z Position	X Normal	Y Normal	Z Normal	Material	Method	Type
1	Compartment 1	1.8	1.2	0	0	0	1	CONCRETE	Implicit	Thick

Add Duplicate Move Up Move Down Remove

Target 1 (of 1) Geometry

Compartment: Compartment 1

Position

Width (X): 1.8 m

Depth (Y): 1.2 m

Height (Z): 0 m

Normal Vector

Width (X): 0

Depth (Y): 0

Height (Z): 1

Material: Concrete, Normal Weight (6 in)

Advanced

Method: Implicit

Type: Thermally Thick

No Errors

# Surface connections

Newfile \*

File Run! Tools View Help

Simulation Environment | Compartment Geometry | Horizontal Flow Vents | Vertical Flow Vents | Mechanical Flow Vents | Fires | Detection / Suppression | Targets | Surface Connections

Num	Type	First / Top	Second / Bottom	Fraction
1	Vertical	Compartment 1	Compartment 2	1
2	Horizontal	Compartment 1	Compartment 2	1

Add Duplicate Remove

Heat Transfer Connection 1

Connection Type:  
☒ Vertical (Through Floors or Ceilings)  
☐ Horizontal (Through Walls)

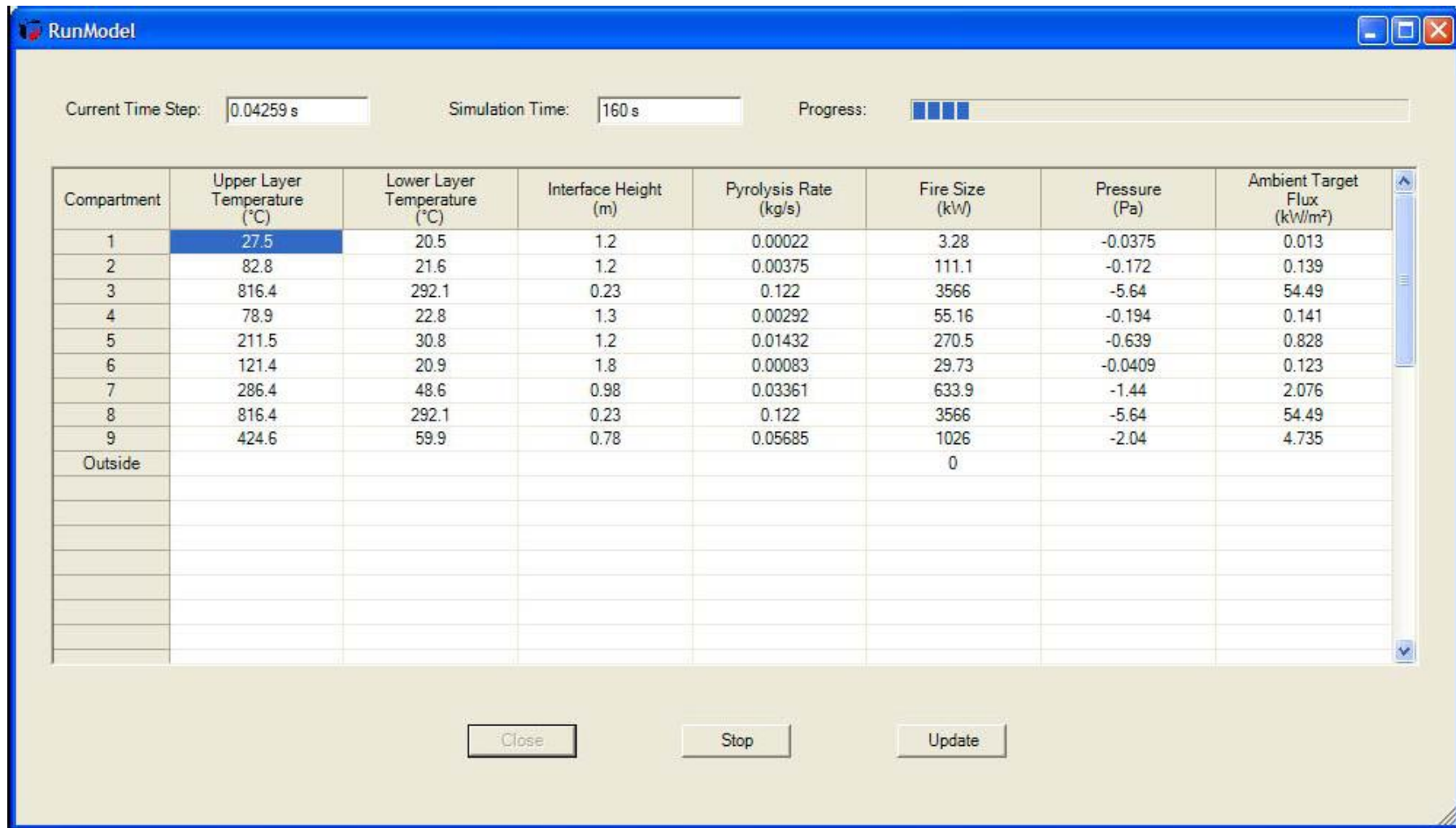
First or Top Compartment:

Second or Bottom Compartment:

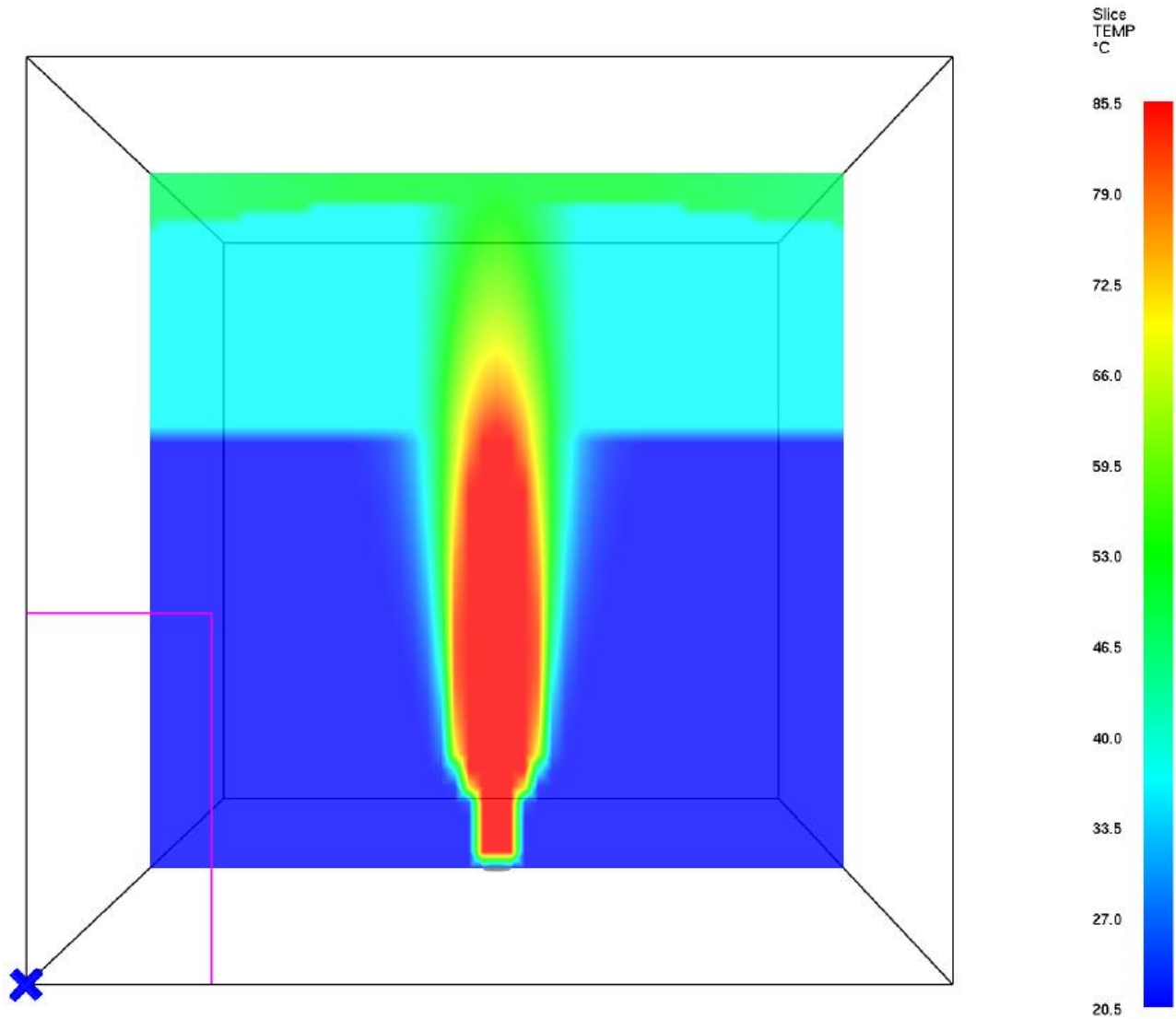
Fraction of Vertical Surface:

No Errors

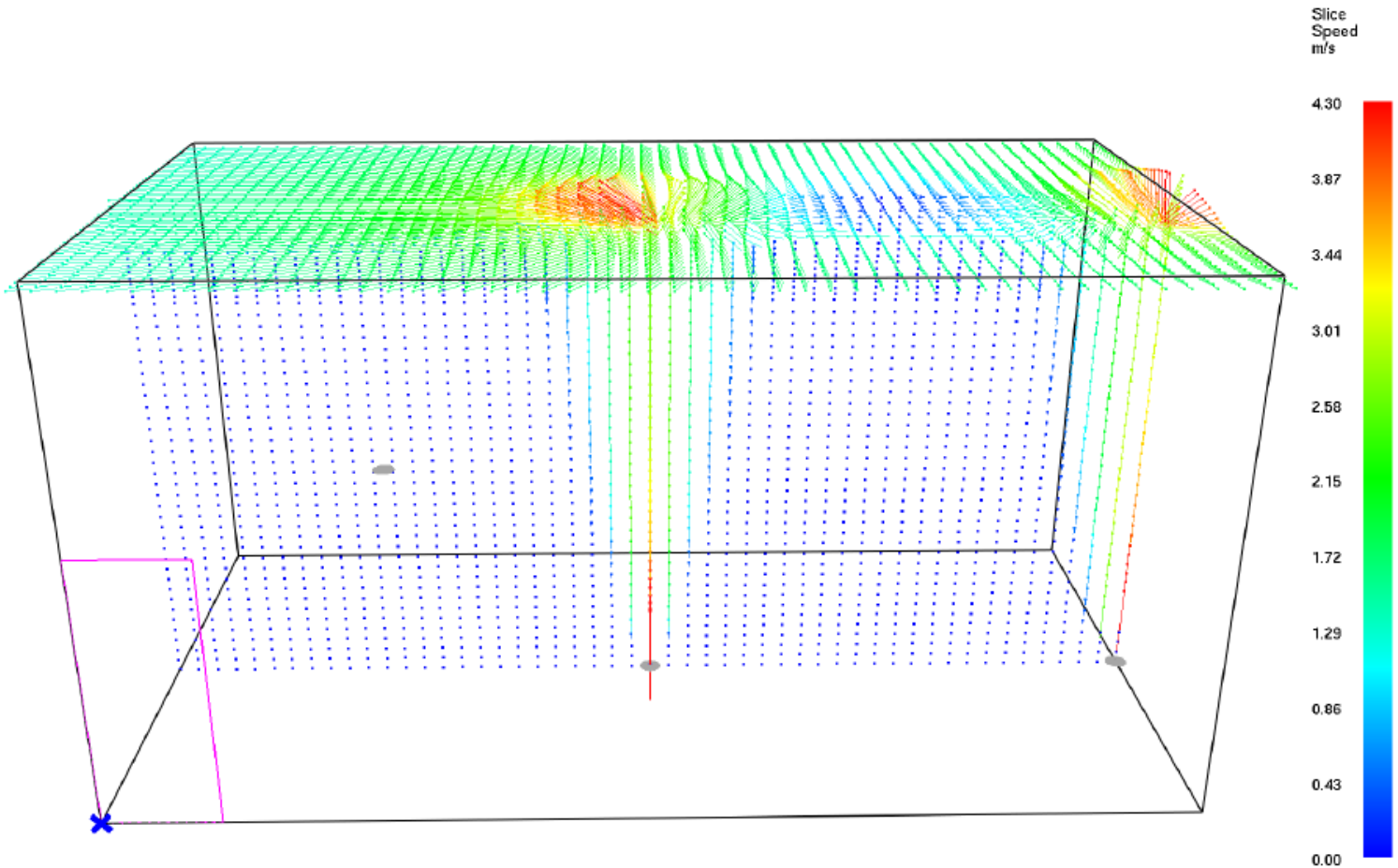
## Elaborazione



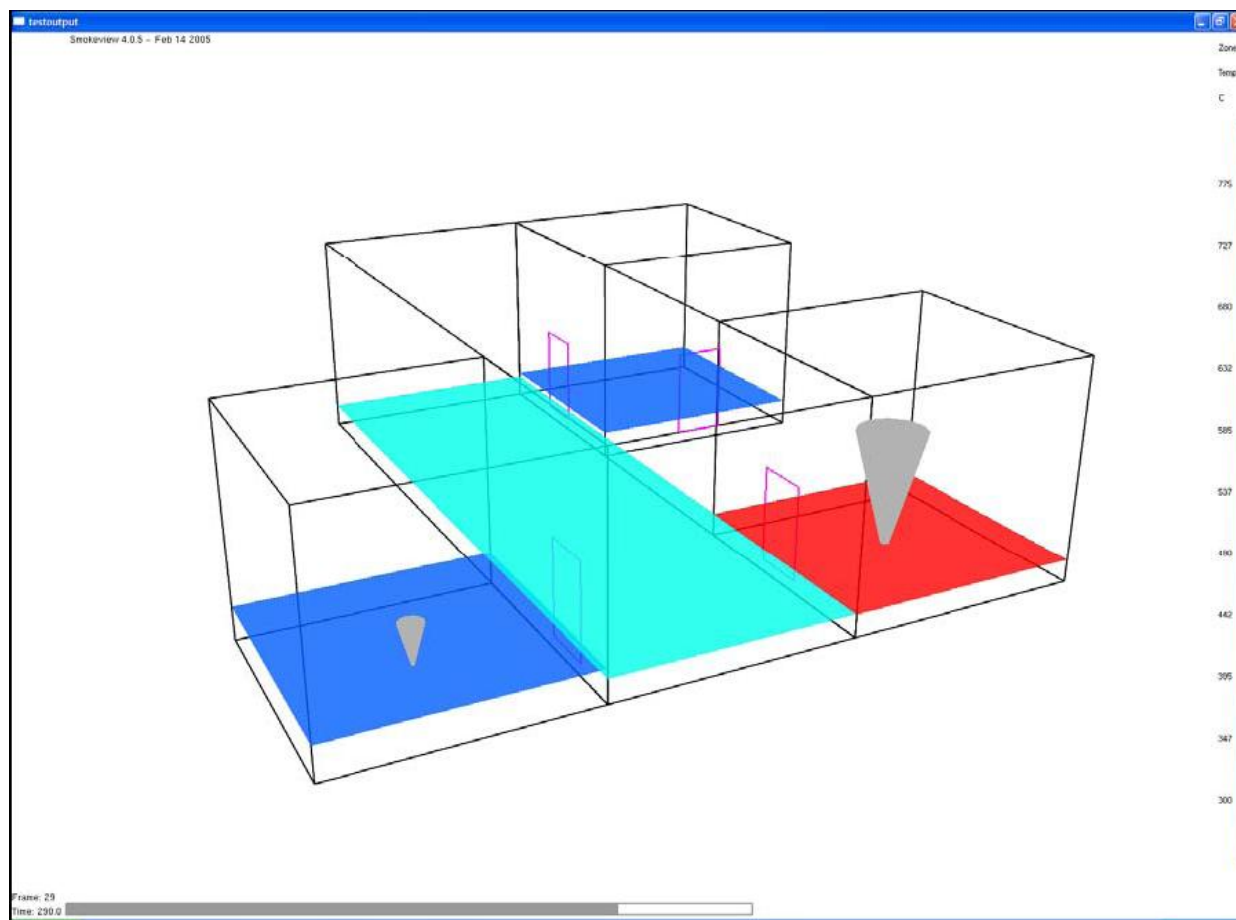
# *Visualizzazione temperature dei fumi con un fuoco*



# *Visualizzazione velocità dei fumi con due fuochi*



# *Visualizzazione dei risultati in forma grafica*



## *Alcuni dei valori forniti dal simulatore (per ogni ambiente e per ogni istante)*

- *Temperature degli strati*
- *Altezza dell'interfaccia*
- *Volume dello strato dei fumi*
- *Pressione relativa*
- *Flusso di calore che colpisce le superfici*
- *Massa dei volumi prodotti*
- *Tasso di pirolisi del fuoco principale e dei fuochi secondari*
- *Altezza delle fiamme*
- *Entità della combustione nei due strati*
- *Calore trasmesso per irraggiamento e per convezione*

## *Alcuni dei valori forniti dal simulatore (per ogni ambiente e per ogni istante)*

- *Temperatura raggiunta da elementi “target”*
- *Flussi attraverso le aperture verticali*
- *Flussi attraverso le superfici orizzontali*
- *Flussi dei sistemi di ventilazione meccanici*
- *Attivazione di sensori e sprinkler*
- *Concentrazione di gas ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $HCN$ ,  $HCL$ )*
- *Dose di esposizione al fumo*
- *Flusso di calore che colpisce l'individuo*
- *Temperatura a cui l'individuo è esposto*

# *Limiti dei modelli a zone*

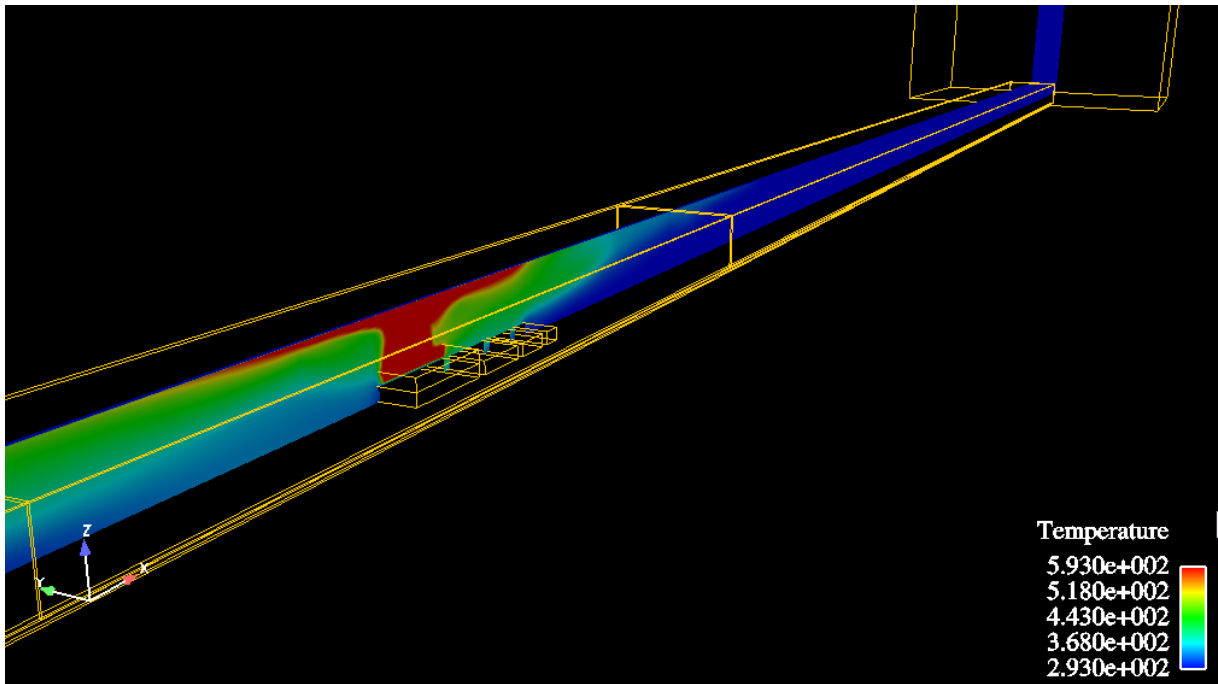
## **Scenario and Software Limits**

CFAST is intended for use with a wide variety of fire scenarios. A number of limits to the inputs in the software implementation of the model are noted below.

Maximum simulation time in seconds	86 400
Maximum number of compartments	30
Maximum number of fires which can be included in a single test case (including the main fire)	31
Maximum number of fire definitions which can be included in a single fire database file	30
Maximum number of data points for a single main or secondary object fire	21
Maximum number of material thermal property definitions which can be included in a single thermal database file	125
Maximum number of slabs in a single surface material in the thermal database file	3
Total number of ducts in all mechanical ventilation systems which can be included in a single test case	60
Maximum total number of connections between compartments and mechanical ventilation systems which can be included in a single test case	62
Maximum number of independent mechanical ventilation systems which can be included in a single test case	15
Maximum number of targets which can be included in a single test case. In addition, the CFAST model includes a target on the floor of each compartment in the simulation and one for each object fire in simulation.	90
Maximum number of data points in a history or spreadsheet file	900

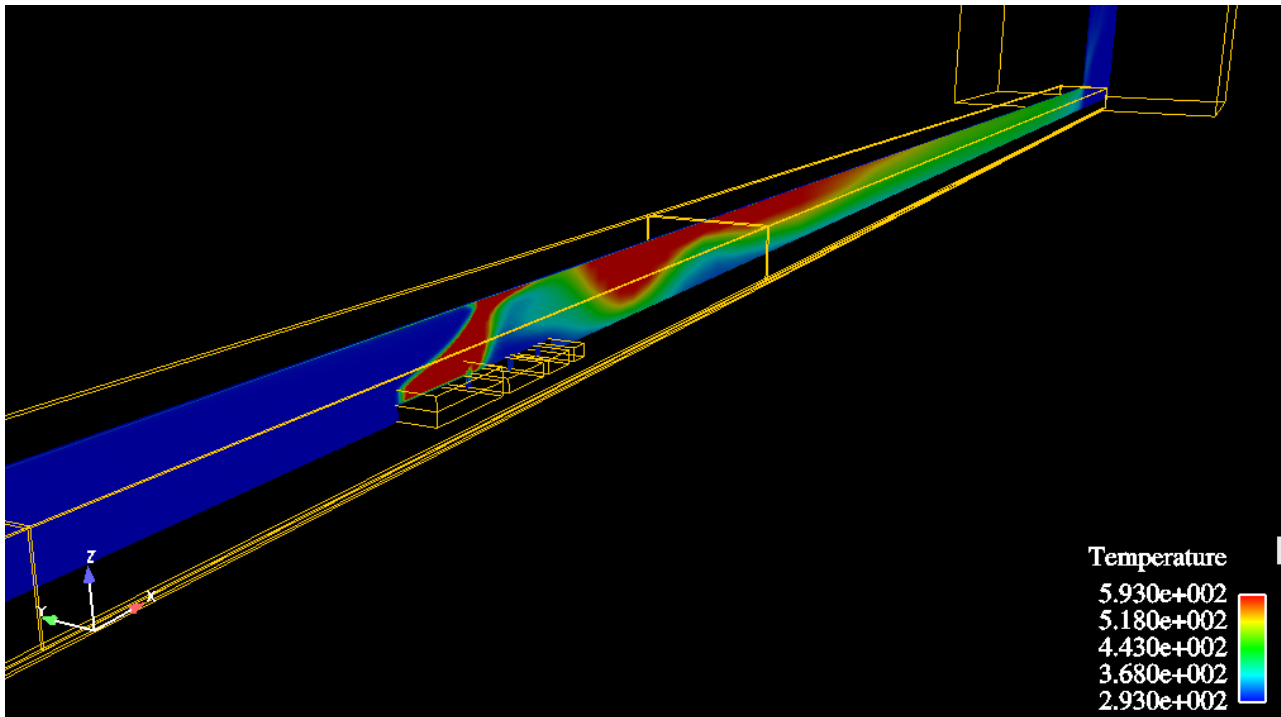
# *Limiti dei modelli a zone*

*l'importanza delle reali condizioni fluidodinamiche*



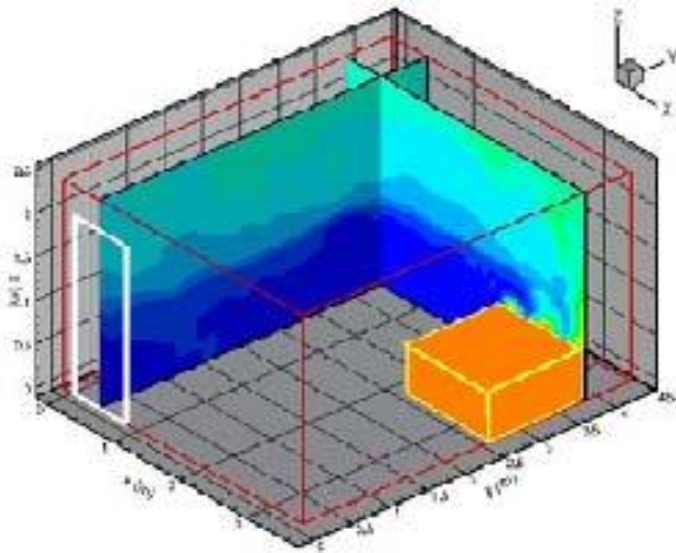
*La “plume” in una prima fase dell’incendio rimane sostanzialmente verticale. In questo caso non è credibile ipotizzare due zone con caratteristiche termiche e chimiche costanti.*

*la “Plume” dell’incendio si può inclinare per effetto della geometria della galleria, variando completamente la distribuzione di temperature e la diffusione dei fumi. Questi effetti non possono essere simulati con modelli a zone ma solo con l’applicazione di modelli di campo (CFD).*



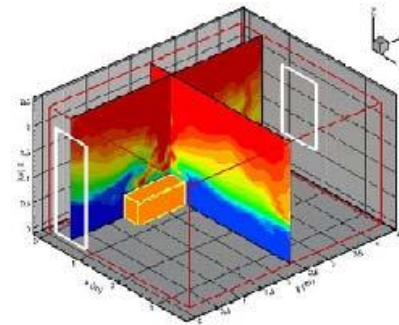
*Nel tempo la situazione cambia completamente*

# *Modelli di campo*

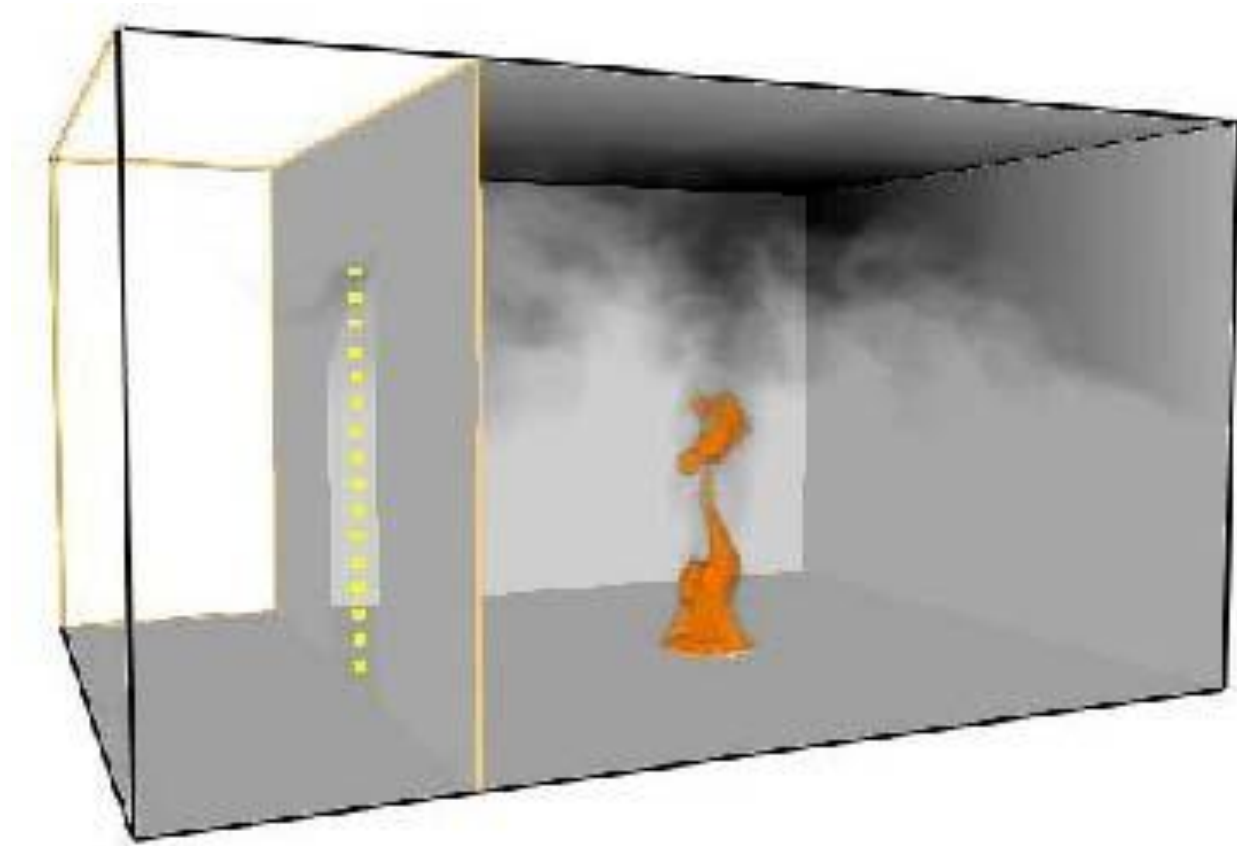


*Devono essere inseriti i dati  
suddividendo l'ambiente in celle  
elementari*

*E' possibile determinare i valori  
dei parametri di riferimento in  
ogni punto dell'ambiente*

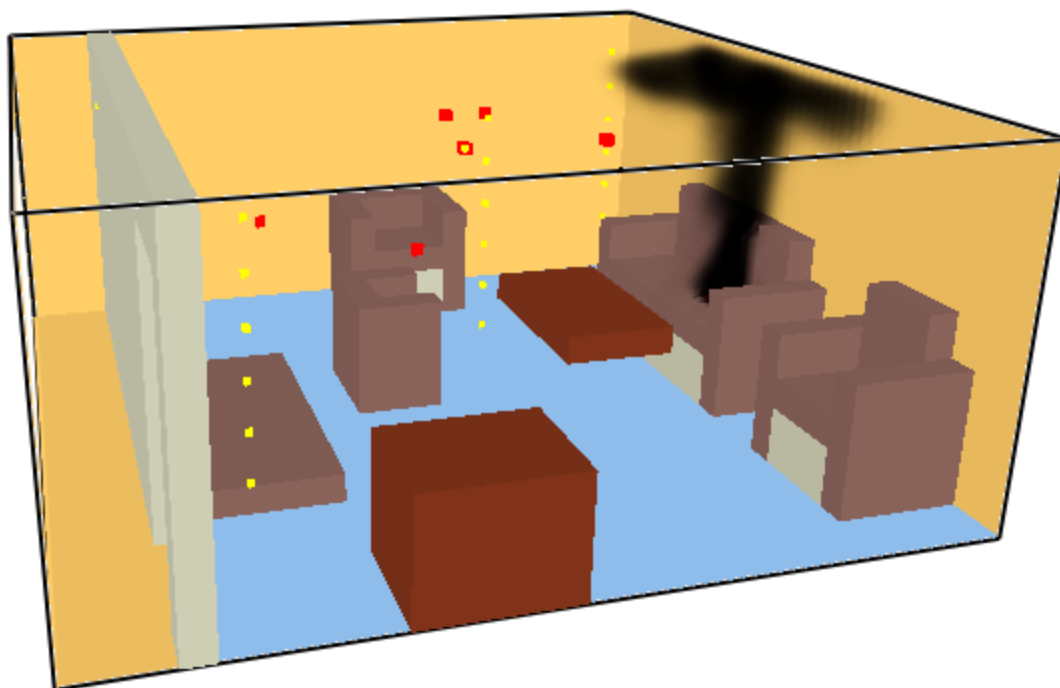


# *Simulazione con FDS e Smokeview*



Smokeview 4.0.6 - Sep 15 2005

## *Simulazione con FDS e Smokeview*



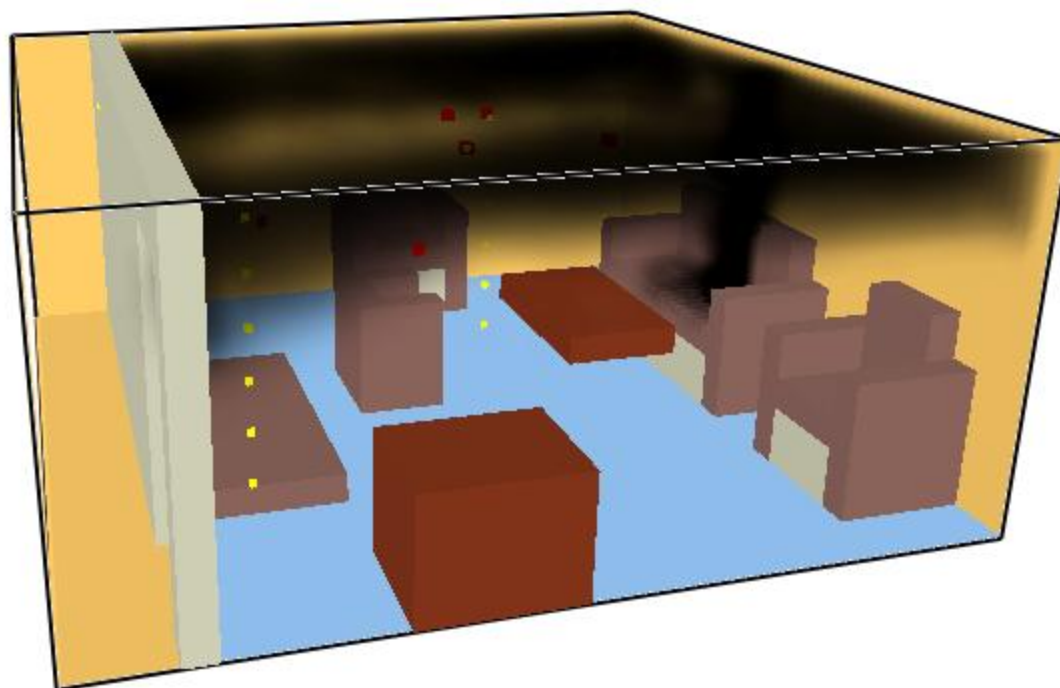
Frame: 10  
Time: 2.5





Smokeview 4.0.6 - Sep 15 2005

## *Simulazione con FDS e Smokeview*



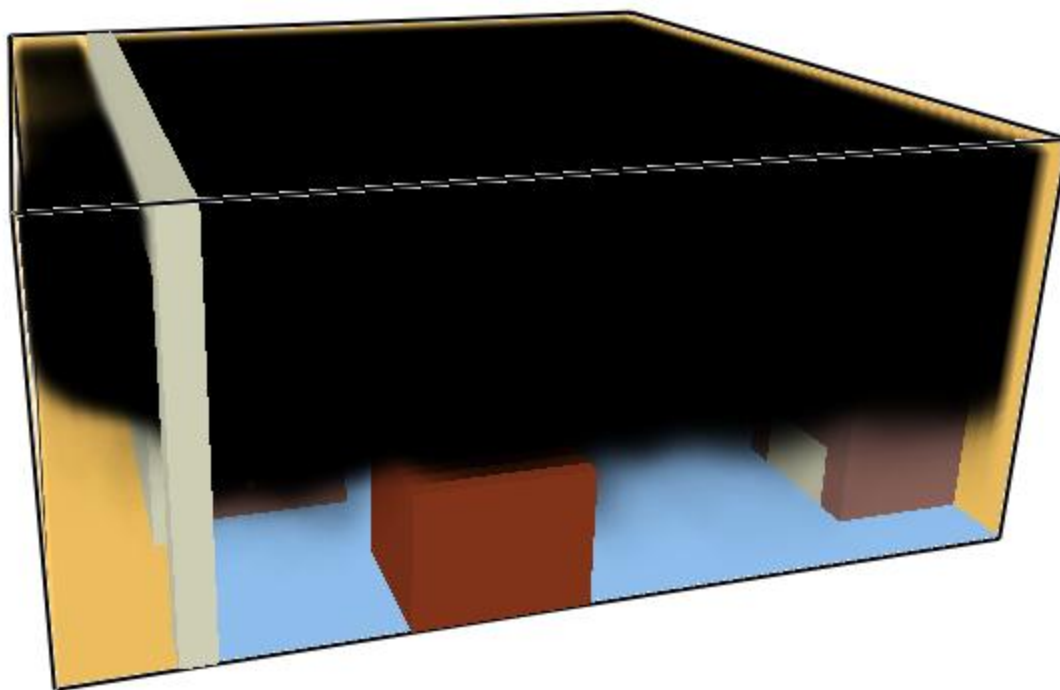
Frame: 41

Time: 10.3



Smokeview 4.0.6 - Sep 15 2005

# *Simulazione con FDS e Smokeview*

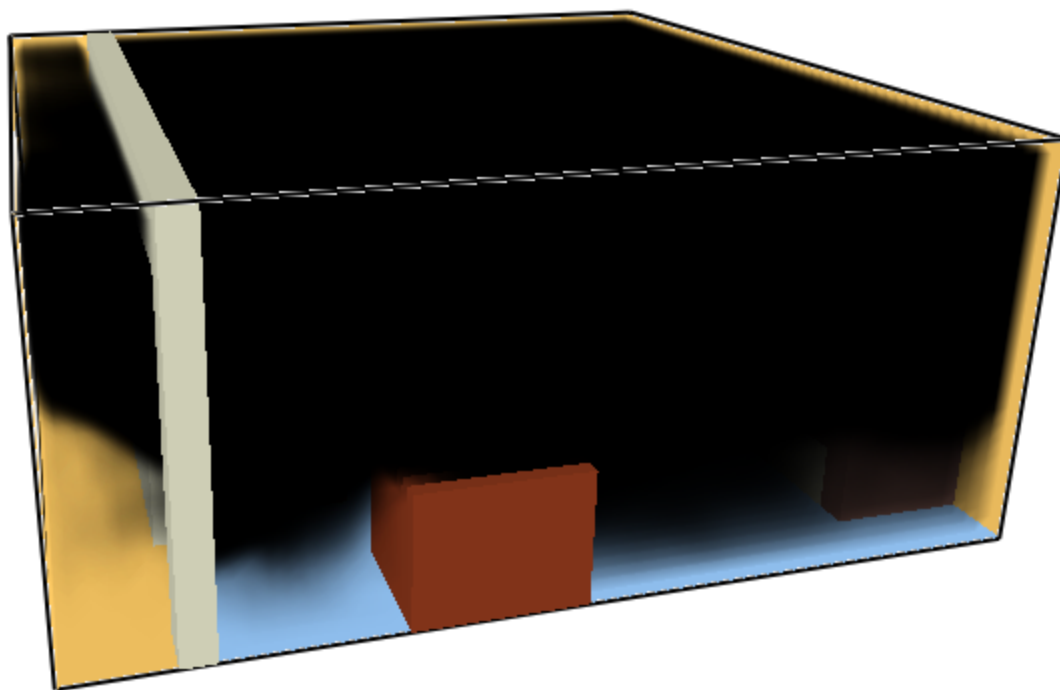


Frame: 406  
Time: 101.5



Smokeview 4.0.6 - Sep 15 2005

## *Simulazione con FDS e Smokeview*



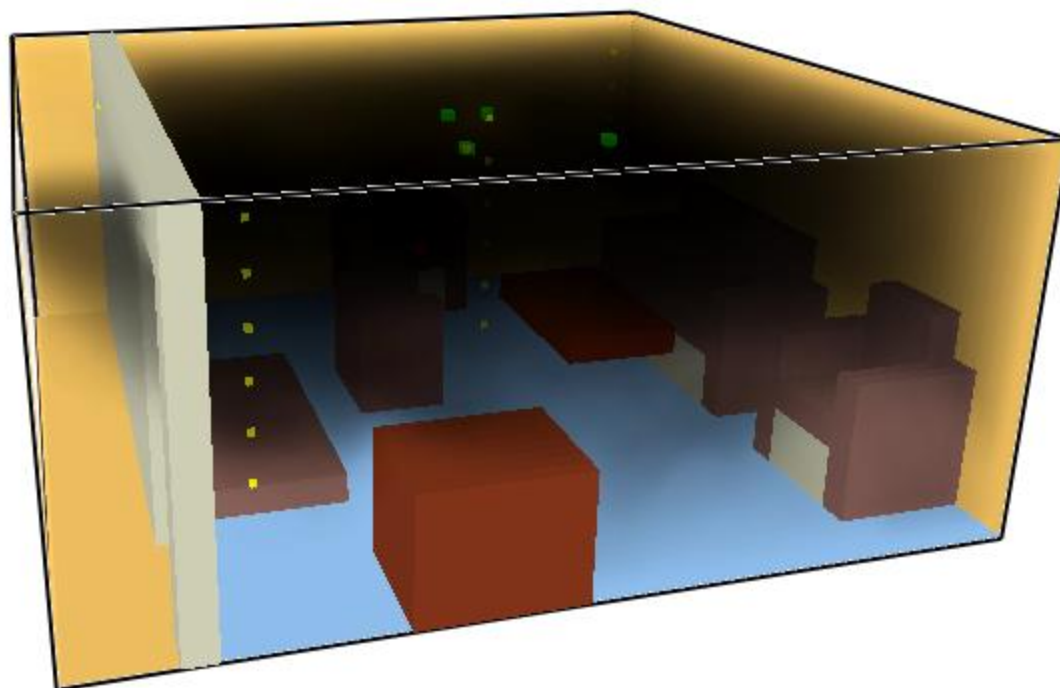
Frame: 1119

Time: 279.6



Smokeview 4.0.6 - Sep 15 2005

## *Simulazione con FDS e Smokeview*



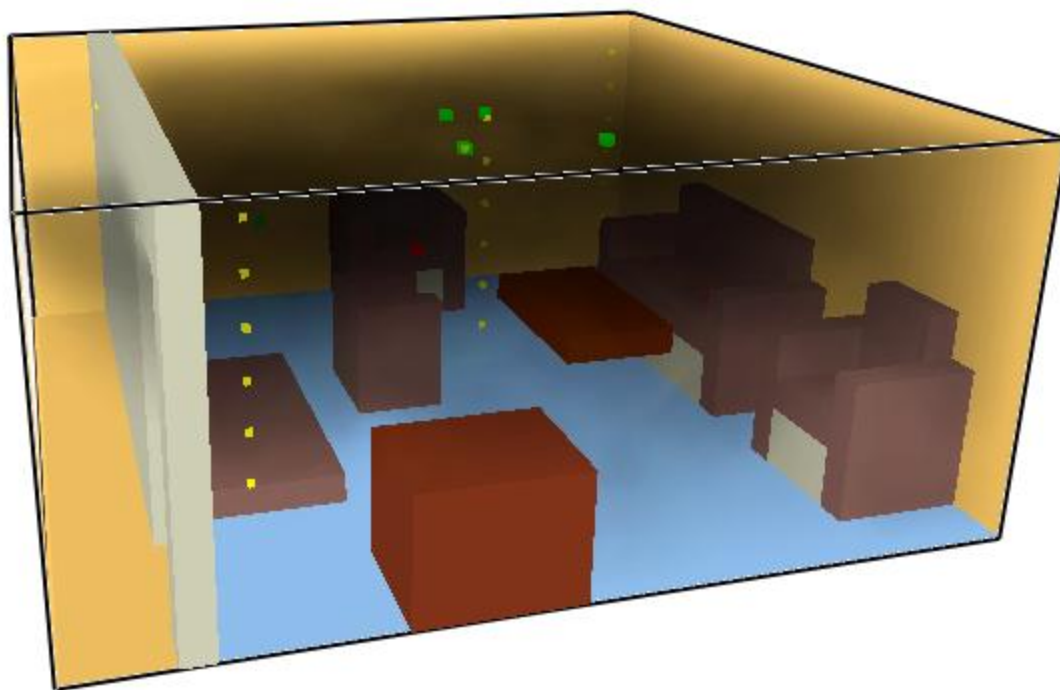
Frame: 2587

Time: 646.8



Smokeview 4.0.6 - Sep 15 2005

## *Simulazione con FDS e Smokeview*



Frame: 3010

Time: 752.5



# Conclusioni

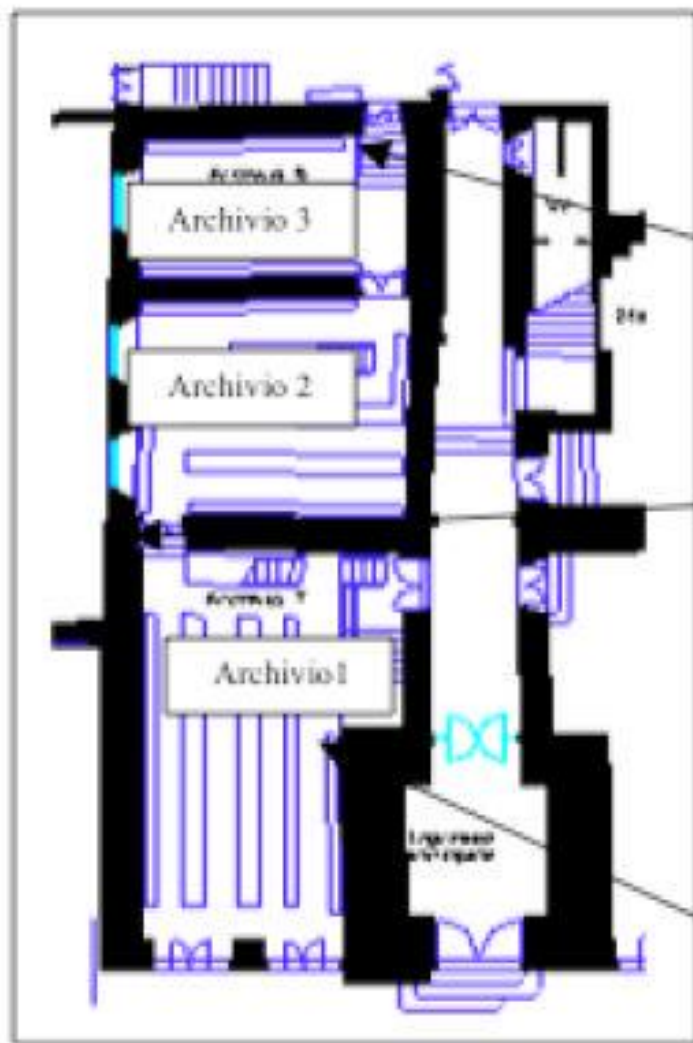
- *L'ingegneria della sicurezza antincendio consente di valutare, entro i limiti dei modelli, le caratteristiche e gli effetti di un incendio.*
- *E' possibile dimostrare, nel caso di deroghe, se le misure compensative previste sono effettivamente efficaci.*
- *E' molto importante la scelta del modello in relazione alle caratteristiche dell'attività che si esamina.*
- *La FSE consente di eseguire valutazioni per quanto riguarda l'esodo delle persone e di stabilire i tempi di possibile permanenza in sicurezza all'interno dell'attività.*
- *La FSE consente di valutare la curva naturale dell'incendio in un'attività con un carico d'incendio determinato, in modo da calcolare la resistenza al fuoco delle strutture con metodo analitico.*

## *Deroga: Archivio in edificio storico*

### *Esempio di applicazione FSE*



*Esempio tratto da “L’ingegneria della sicurezza antincendio e il processo prestazionale” EPC a cura di Stefano Marsella e Luca Nassi*



## ***Biblioteca in edificio storico (motivi della deroga)***

***Motivo della richiesta di deroga: non è possibile realizzare la ventilazione naturale dei locali con superficie pari ad 1/30 della superficie in pianta o con n. 2 ricambi ambiente/ora con mezzi meccanici, come richiesto dalla normativa vigente.  
(DPR 30/6/1995 n. 418 art. 5 comma 4)***

***Vincoli: l'archivio, contenente documenti storici di grande pregio, è ubicato all'interno di un edificio pregevole per arte e storia soggetto a vincolo della Soprintendenza e le vetrate degli archivi risalgono al '500***

## ***Fasi del progetto***

- *Individuazione degli obiettivi da raggiungere*
- *Identificazione dei rischi e applicazione della normativa vigente*
- *Identificazione dei vincoli normativi e architettonici*
- *Studio delle problematiche, in termini prestazionali, con l'ausilio di programmi di simulazione*
- *Verifica della congruenza delle misure di sicurezza antincendio*

***Obiettivi:** verificare che le conseguenze in caso di incendio, per la presenza del fumo e del calore, in presenza delle misure di sicurezza alternative selezionate, non siano peggiori di quelle in presenza delle aperture di ventilazione previste dalla norma.*

***Tutela della vita umana e del patrimonio artistico***

# *Scenari di incendio*

*1° scenario : situazione attuale*

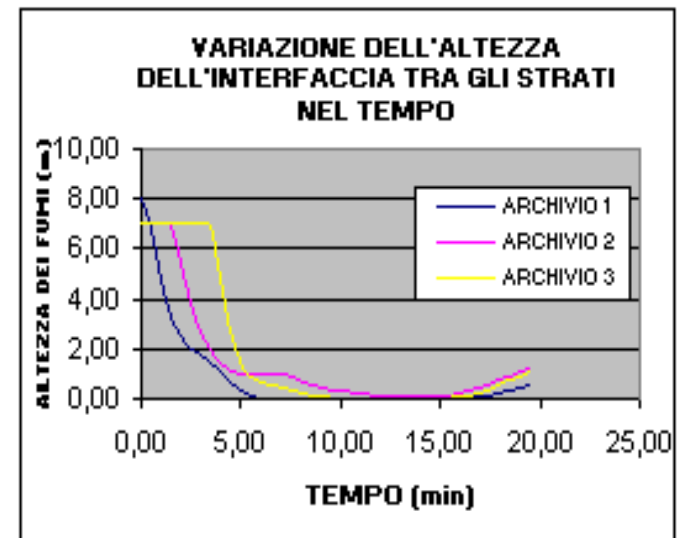
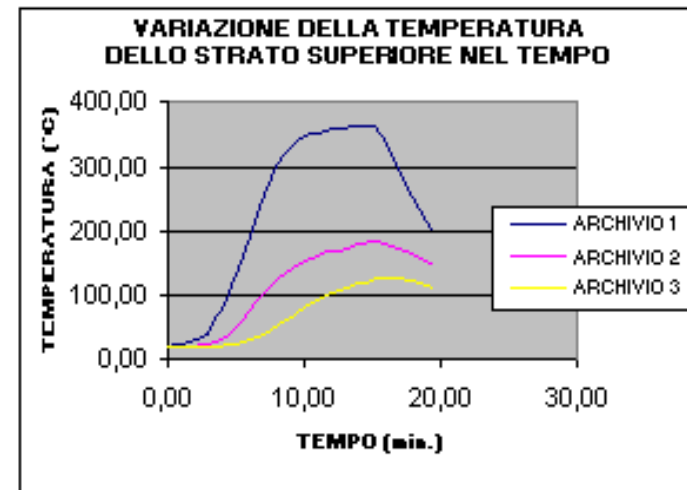
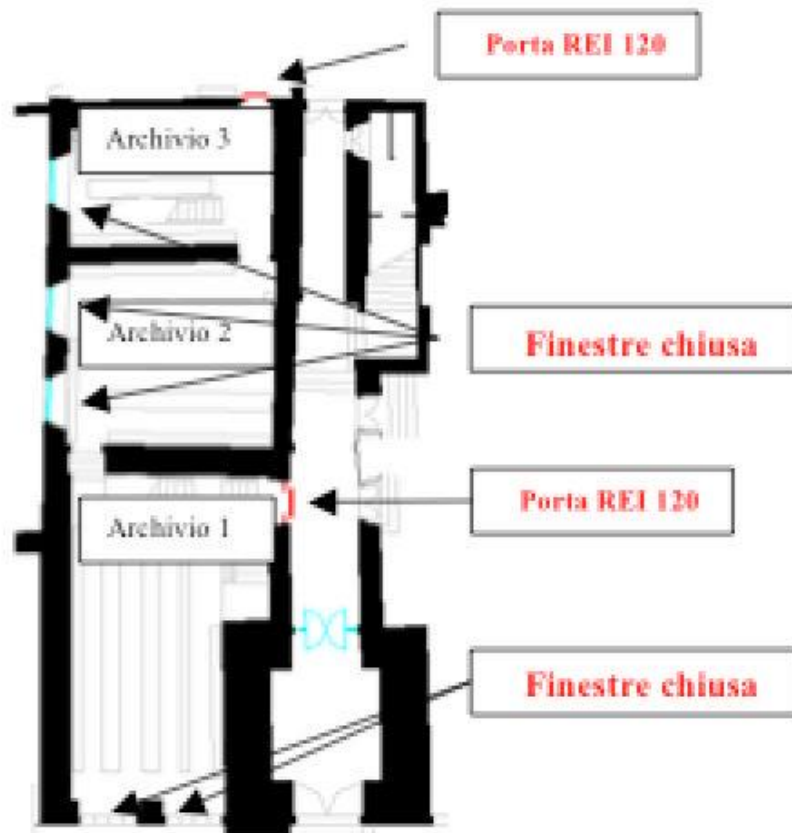
*2° scenario: situazione di conformità alla normativa*

*3° scenario: situazione con le misure equivalenti*

*L'individuazione degli scenari viene eseguita secondo il criterio del giudizio esperto. L'esame delle possibili fonti di innesco ha portato ad individuare mozziconi di sigarette o malfunzionamento degli impianti elettrici, con l'incendio di una fotocopiatrice o di un personal computer.*

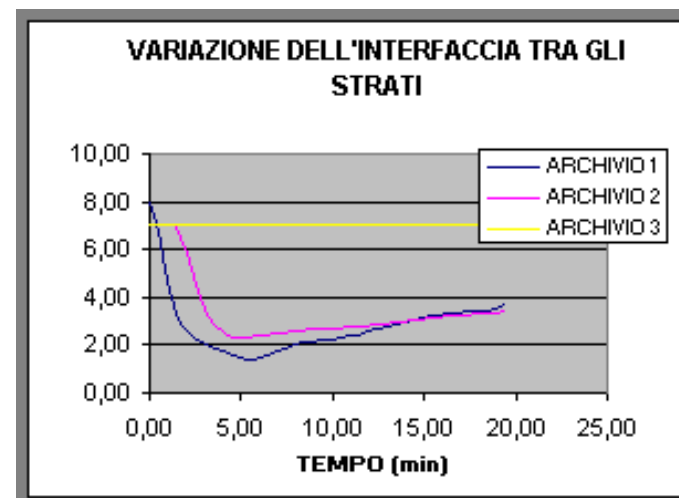
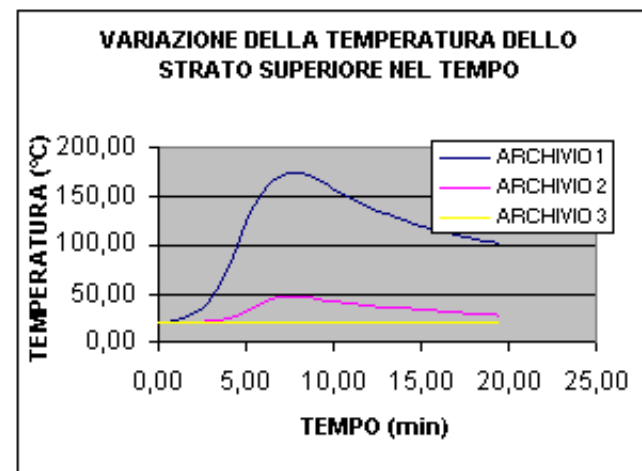
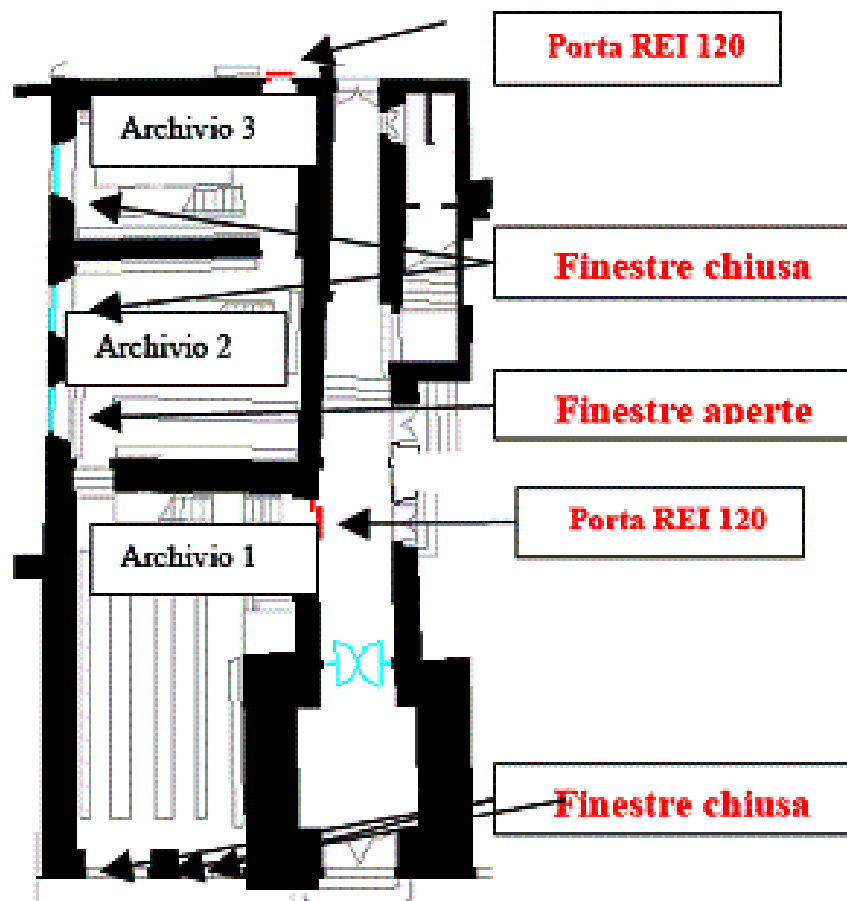
# *1° scenario (situazione attuale)*

*nessuna aerazione e nessun impianto di spegnimento*



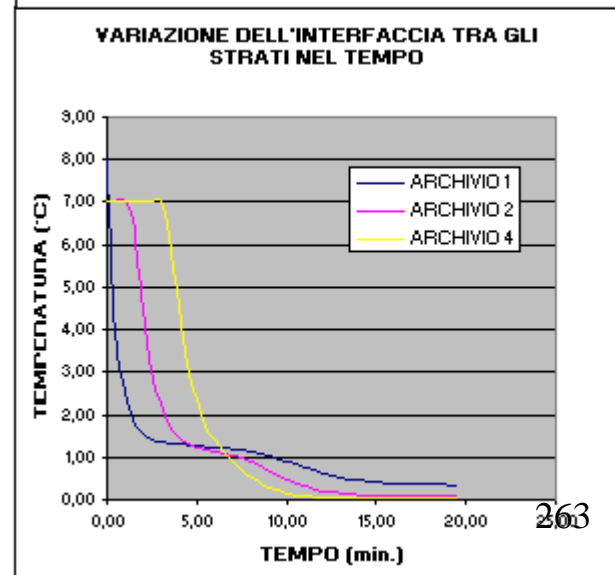
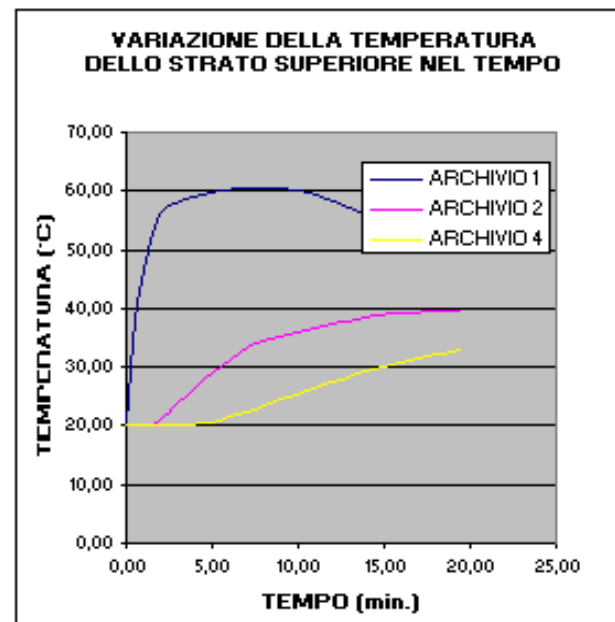
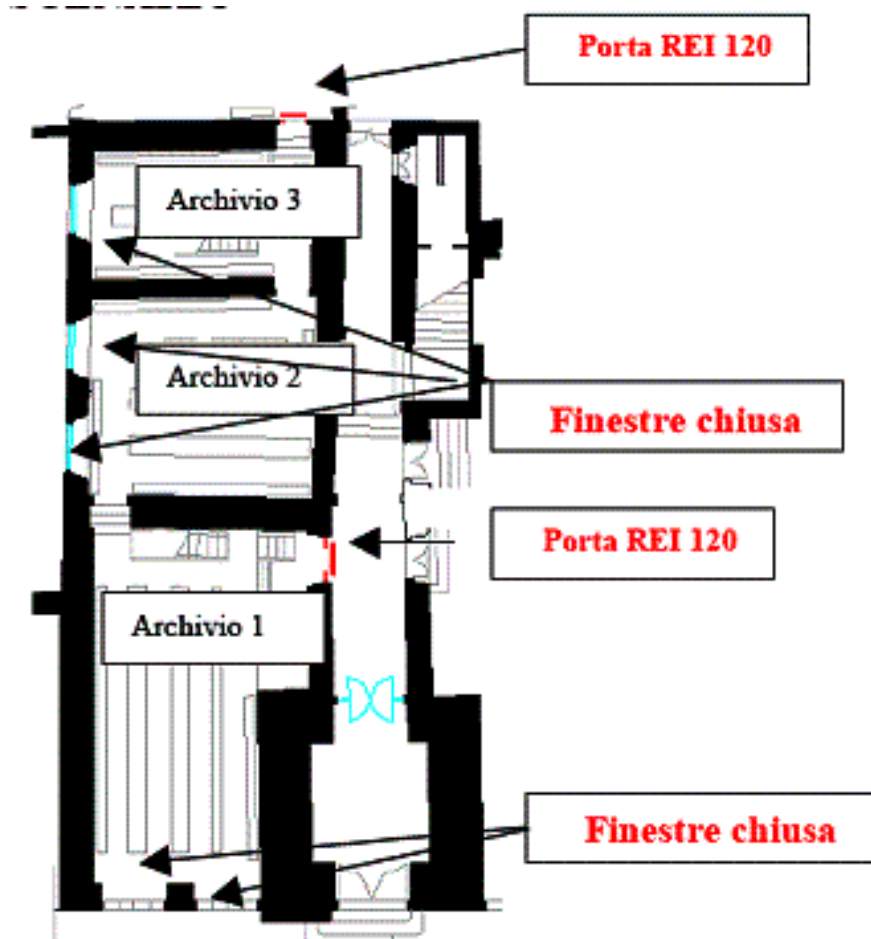
## 2° scenario (situazione di conformità alla normativa)

Aperture 1/30 S e impianto sprinkler sui 3 compartimenti



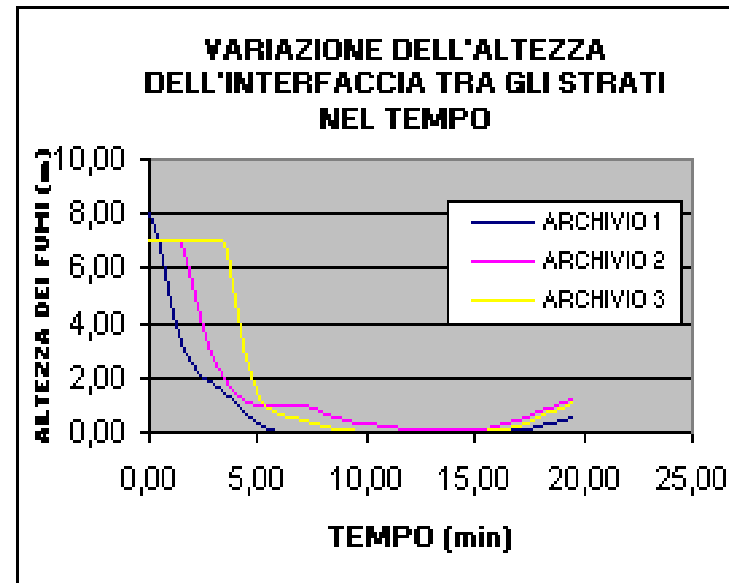
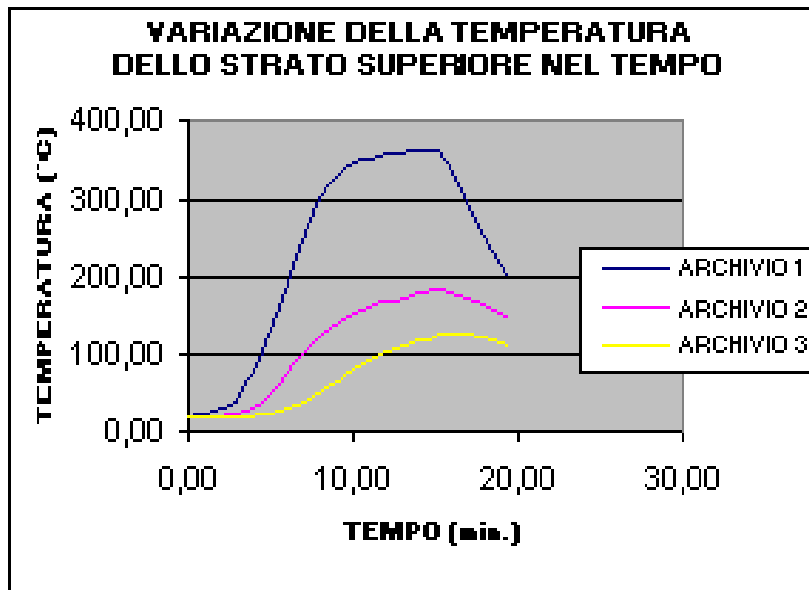
### 3° scenario (misure compensative)

*Nessuna apertura - impianto di spegnimento ad aerosol asservito a rivelatori*



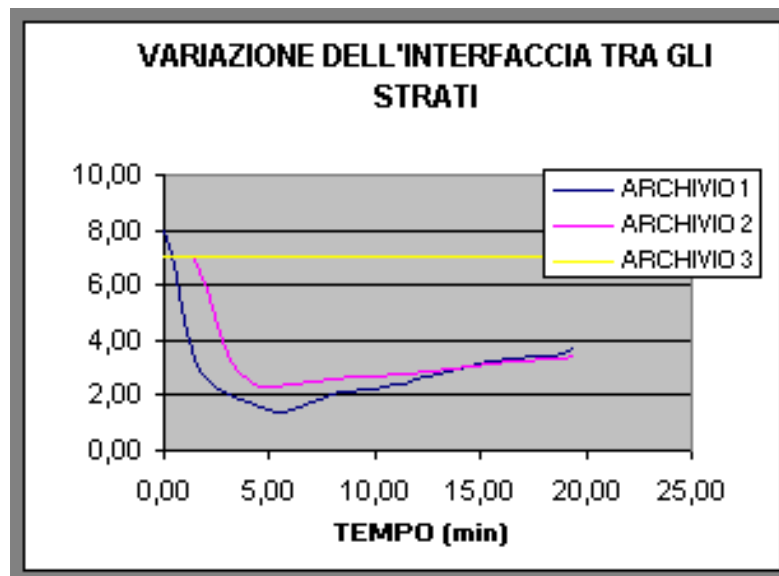
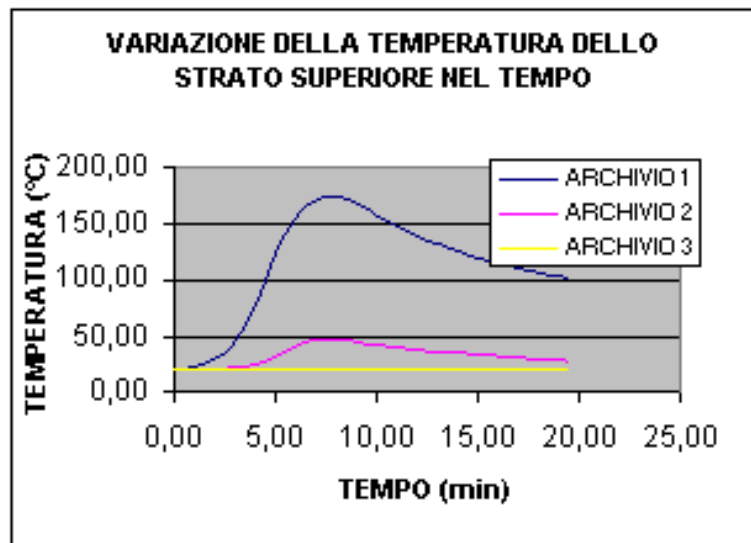
# Conclusioni

- **Va escluso il primo scenario** in quanto oltre ad essere difforme alla normativa, presenta la situazione peggiore in quanto la temperatura ambiente arriva a valori molto elevati, la curva HRR tocca punte molto elevate e nel tempo di 5 minuti lo strato dei fumi raggiunge il pavimento impedendo l'esodo e rendendo difficile l'intervento.



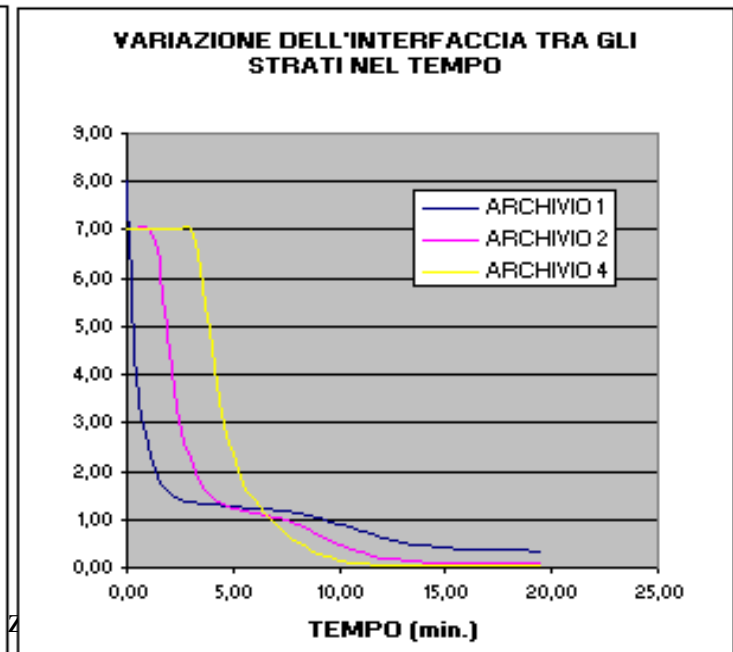
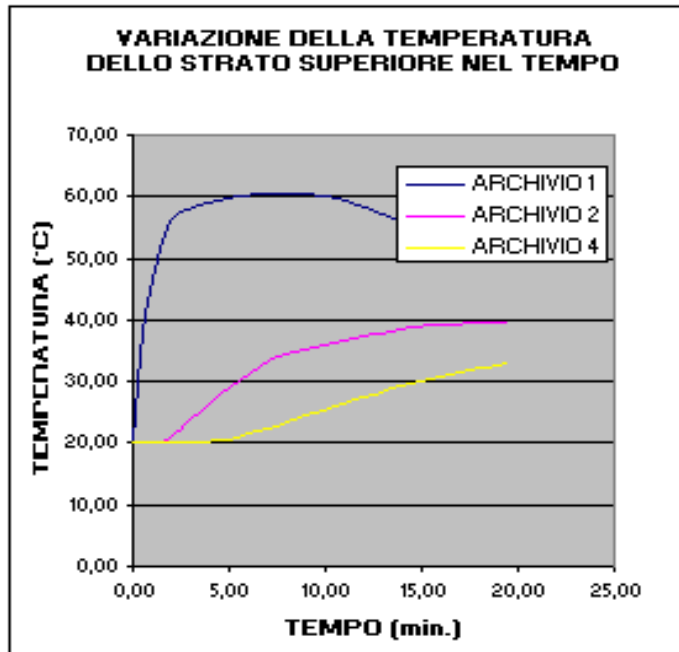
# Conclusioni

• Il secondo scenario è conforme alla normativa in quanto si hanno aperture di aerazione e impianto sprinkler. Non ci sono problemi per le vie di esodo in quanto lo strato dei fumi non ostacola la visibilità e le temperature si mantengono relativamente basse. Andranno però distrutti i documenti a causa dell'acqua di spegnimento.



# Conclusioni

- Il terzo scenario, con la presenza del sistema di spegnimento a gas consente la salvaguardia sia delle persone che dei beni immagazzinati negli archivi. Infatti la temperatura raggiunge un valore di picco di 60° C contro i 180 ° C che si raggiungevano nel secondo scenario e in entrambi i casi la percentuale di ossigeno (sempre > 20%) e la percentuale di monossido di carbonio si mantiene sempre molto bassa.



**Grazie per l'attenzione**