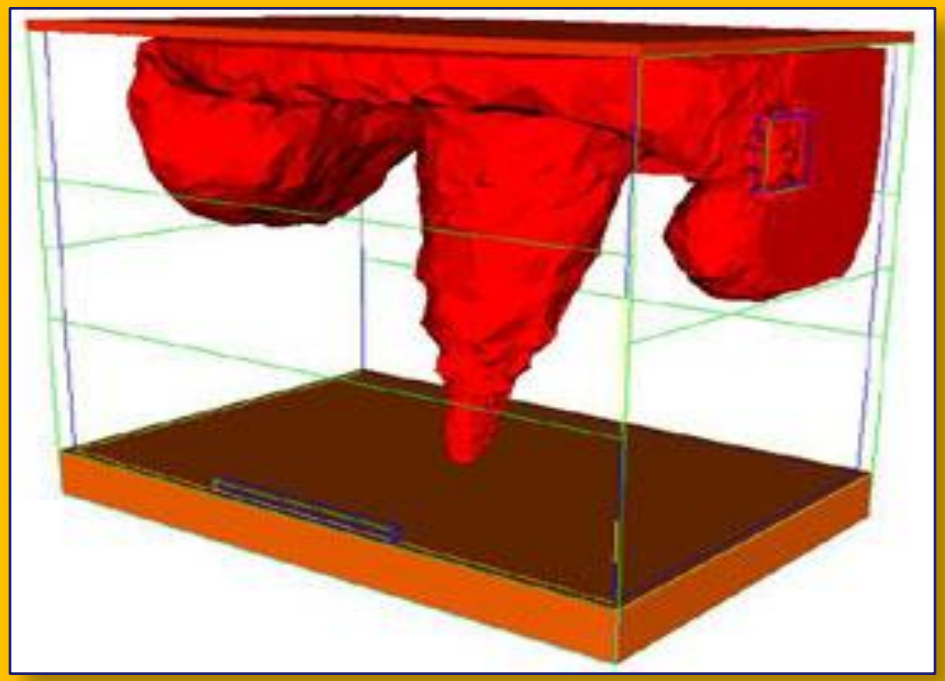
Ingegneria della Sicurezza Antincendio



(Fire Safety Engineering)

Francesco Fazzari

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.*

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 capire esattamente, ad esempio, quanto tempo hanno a disposizione le persone per fuggire e 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 engeneering 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)

- *Insediamenti 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***

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)

Analisi preliminare (I fase) *in cui sono formalizzati i passaggi che conducono ad individuare le condizioni più rappresentative del rischio al quale l'attività è esposta e quali sono i* ***livelli di prestazione*** *cui riferirsi in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire.*

I livelli di prestazione *sono criteri di tipo quantitativo e qualitativo rispetto ai quali si può svolgere un'analisi di sicurezza*

Gli scenari di incendio *descrivono qualitativamente l'evoluzione dell'incendio. Deve definire l'ambiente nel quale si sviluppa l'incendio e i sistemi che possono avere impatto sulla sua evoluzione*

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*

Individuazione dei 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*

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

Livello di prestazione	***Soglia***
Visibilità	*10 metri per il tempo di esodo*
Concentrazione di ossigeno	*15%*
Concentrazione di monossido di carbonio	*500 ppm.* *(allucinazioni dopo 60-90 minuti di esposizione)*
Concentrazione di CO_2	*0, 5 %*
Irraggiamento	*< 2 KW/mq per tempo di esposizione limitato*
Temperatura dell'aria	*50- 60 ° C per il tempo di esodo*
Altezza dei fumi dal pavimento	*1,8 - 2 metri*

Alcune precisazioni …

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

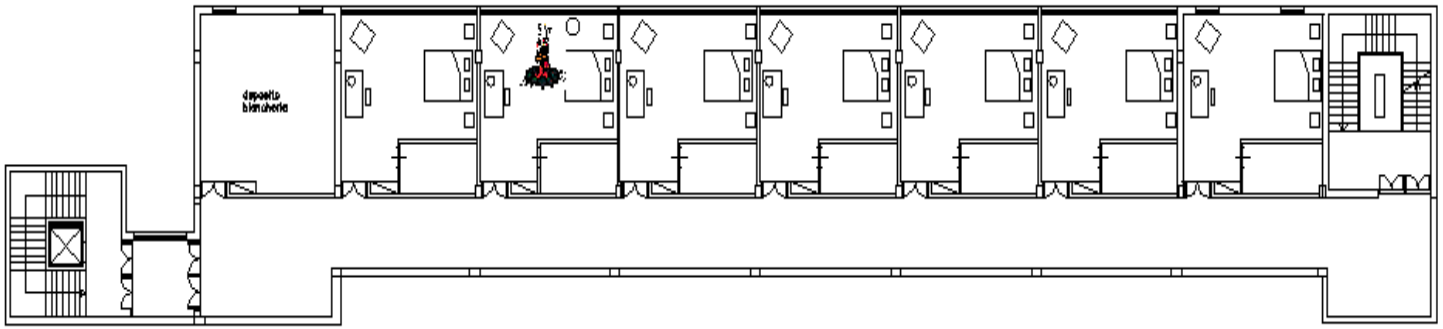
Il progetto può, ad esempio, prevedere l'analisi della diffusione dei fumi in relazione ai tempi di esodo ma garantire i requisiti di resistenza al fuoco con analisi di tipo prescrittivo *(con riferimento alla norma, se esistente o ai criteri generali di prevenzione incendi)*

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.

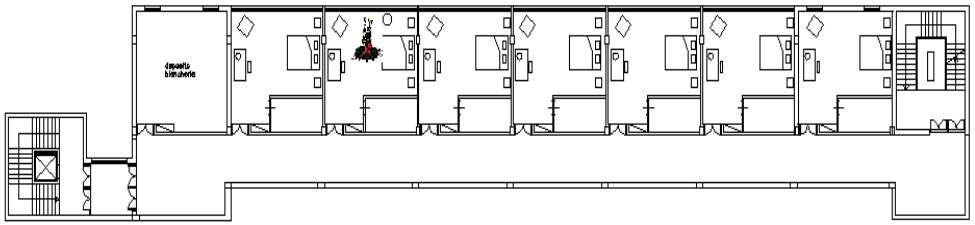


Analisi preliminare (I fase)

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.

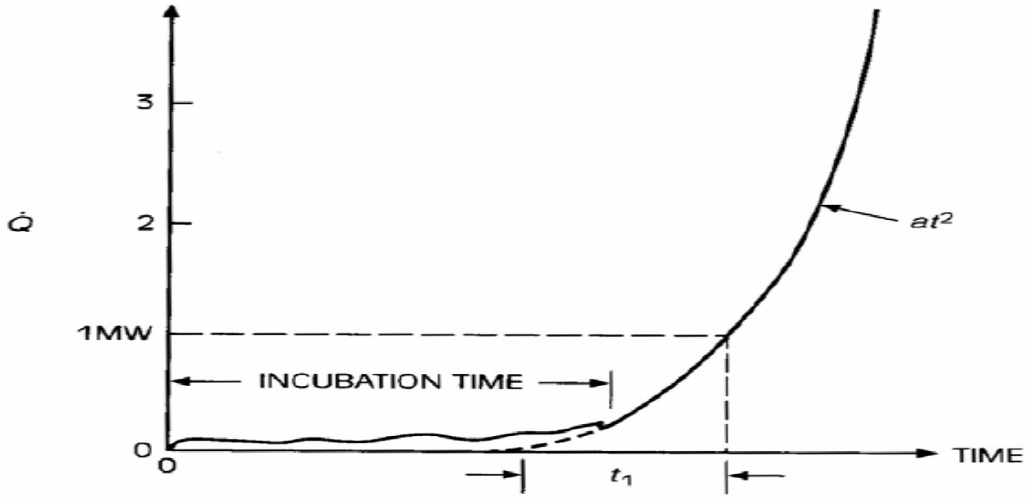
Tale assunzione è ammissibile soltanto se si eseguono valutazioni di post-flashover

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.*

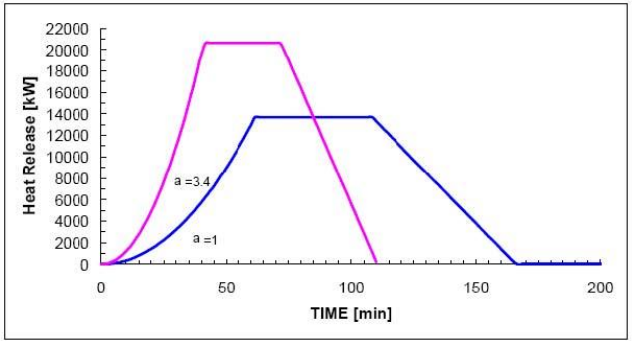
Per incendi che coinvolgono mobili, suppellettili o merci varie non è possibile descrivere il fenomeno con semplici formule. In ogni caso ogni oggetto coinvolto dalla combustione ha un suo caratteristico ***tempo di crescita*** *e quindi una sua* ***velocità di combustione.***

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* $\mathbf{Q = at^2}$

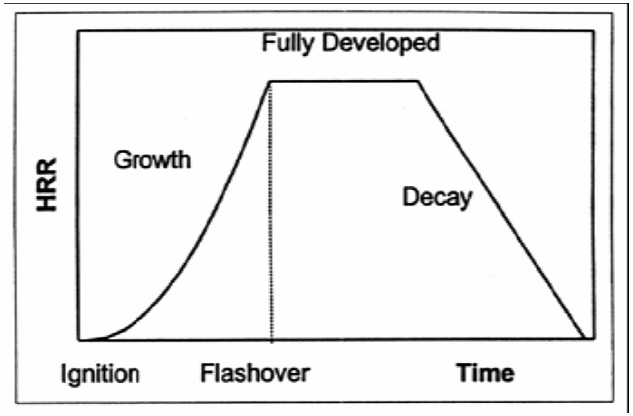
Dove ***a*** *è una costante associata all'oggetto.*



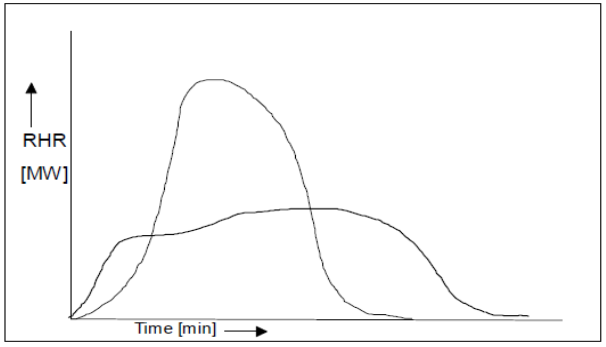
Curve HRR



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

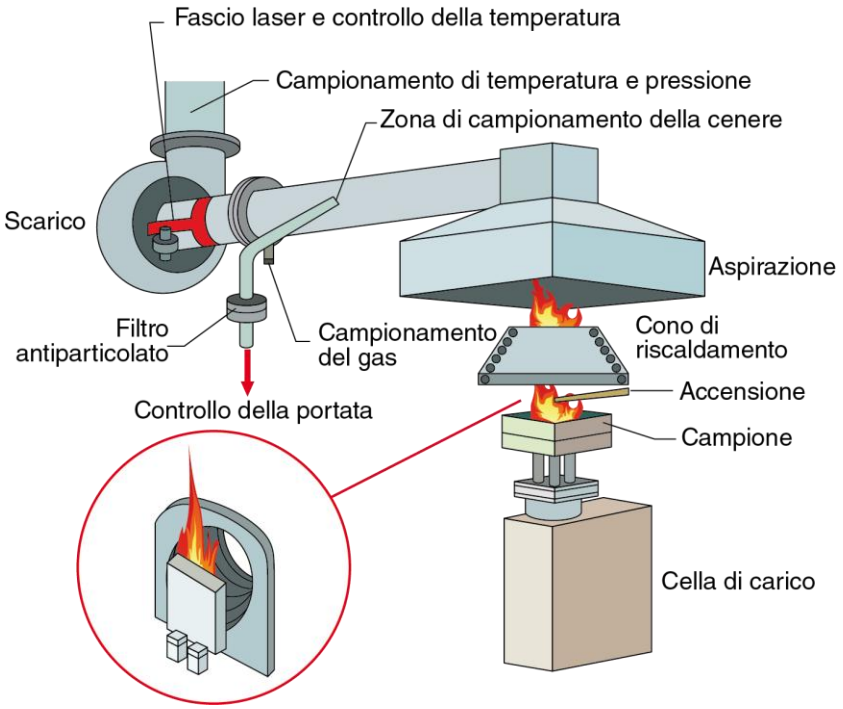


Curve con diverse caratteristiche che sviluppano complessivamente la stessa energia

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.

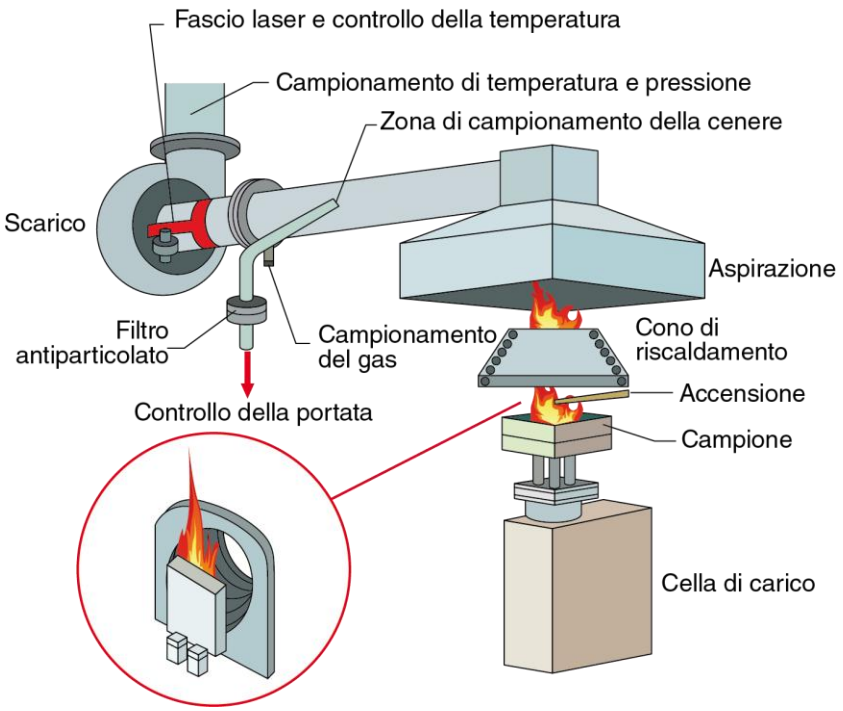


Cono calorimetrico

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 (pHRR) serve a determinare l'intensità del fuoco sviluppato.

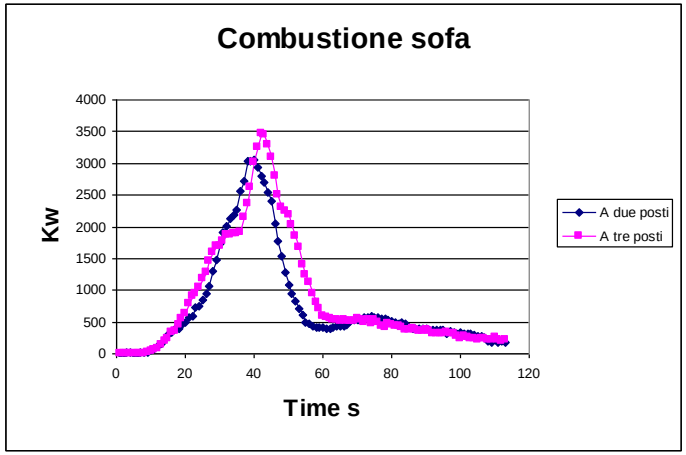


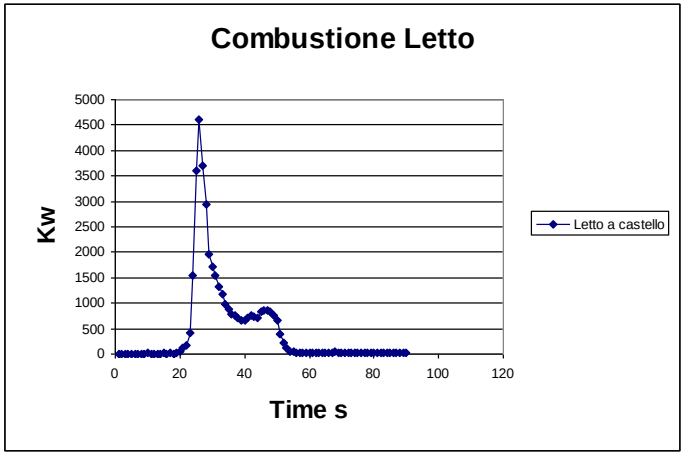
Il report di prova comprende:

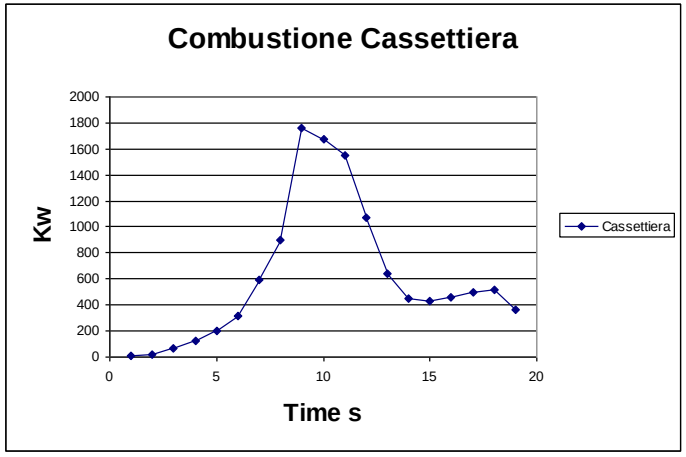
- identificazione del provino
- codice numero
- data test
- operatore
- composizione o generica identificazione
- spessore e massa del provino
- colore e dettagli della preparazione
- orientamento
- calore radiante e flusso del condotto
- numero dei campioni testati (min.3)
- tempo di sostentamento fiamma
- 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

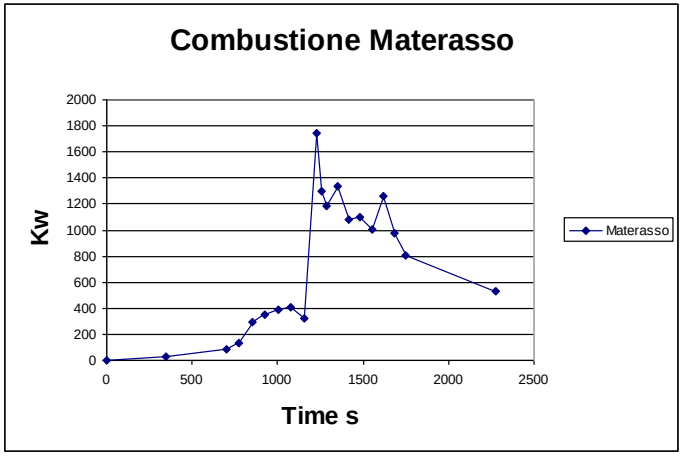
Curve reali di potenza termica rilasciata (HRR) nella combustione di oggetti *(determinate sperimentalmente)*

possibilità di comporre le curve per determinare HRR compartimento









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)

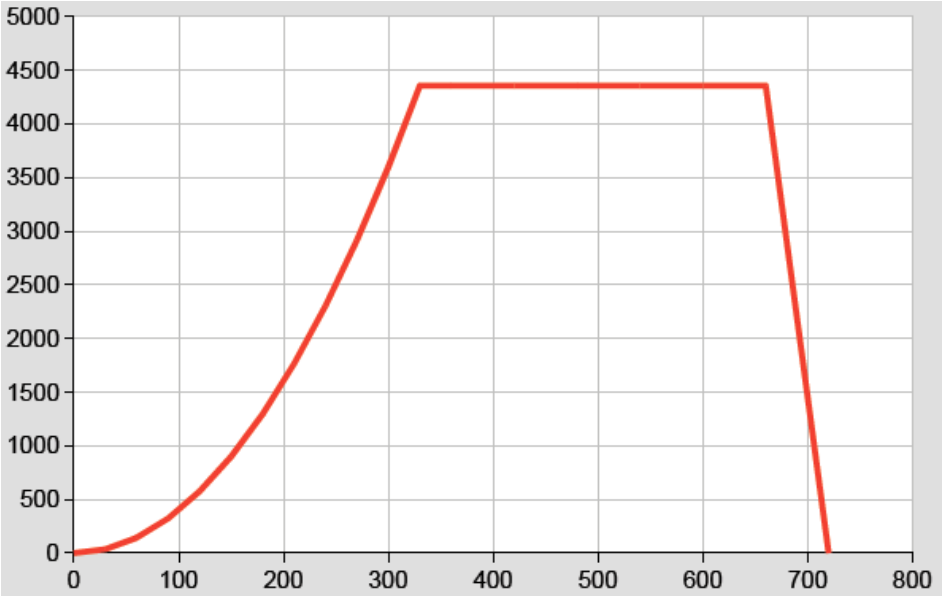
Controllata dalla ventilazione

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 non vincolato

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

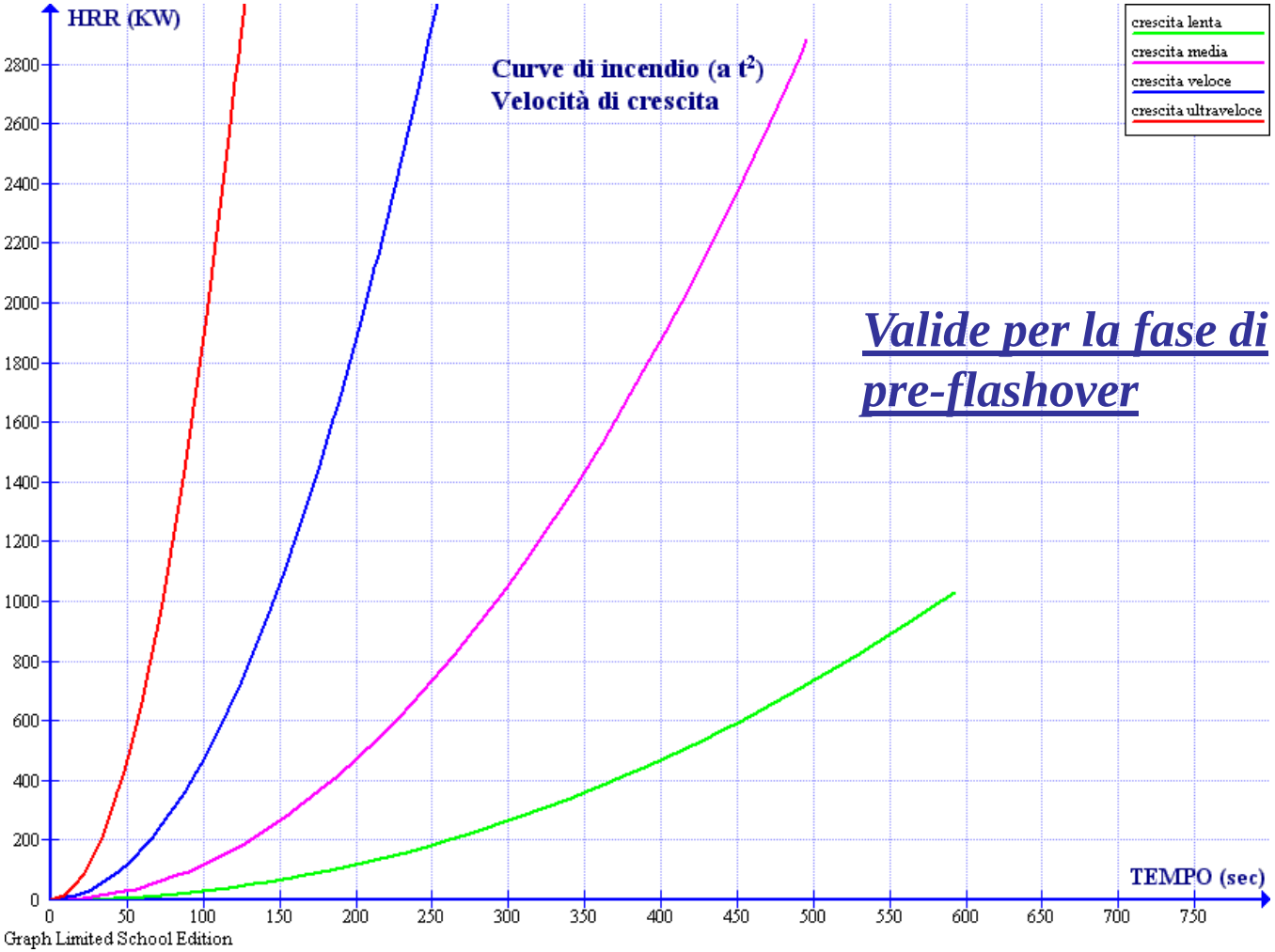
I valori assunti dal progettista per la costruzione della curva HRR corrispondente ad un determinato scenario devono essere adeguatamente giustificati. Un riferimento condiviso per definire il tipo di crescita dell'incendio è dato in tabella dall'Eurocodice EN 1991-1-2

Max rate of heat release RHR_f			
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*

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 sec) -* ***HRR = 0,00278 t^2*** *(materiali poco combustibili distribuiti in modo discontinuo o inseriti in contenitori non combustibili)*
- ***Crescita media*** *(t = 300 sec) -* ***HRR = 0,01111 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 sec) -* ***HRR = 0,04444 t^2*** *(materiali plastici impilati, prodotti tessili sintetici, apparecchiature elettroniche, combustibili non classificati per reazione al fuoco)*
- ***Crescita ultra veloce*** *(t = 75 sec) -* ***HRR = 0,17778 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
(condizioni al contorno)

- *Caratteristiche dell'edificio*
- *Geometria dei locali e caratteristiche termiche delle pareti e dei solai*
- *Condizioni di ventilazione naturale interna ed esterna*
- *Condizioni di ventilazione meccanica*
- *Stato di apertura/chiusura delle porte (nel tempo)*
- *Affollamento*
- *Categorie di occupanti*

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*

- ***Peggiore 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

In fase di progetto non si dispone delle informazioni che riguardano la gestione, quindi è necessario fare delle assunzioni che poi devono essere debitamente evidenziate nel seguito, fino a determinare delle condizioni di esercizio per il gestore (SGSA).

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)

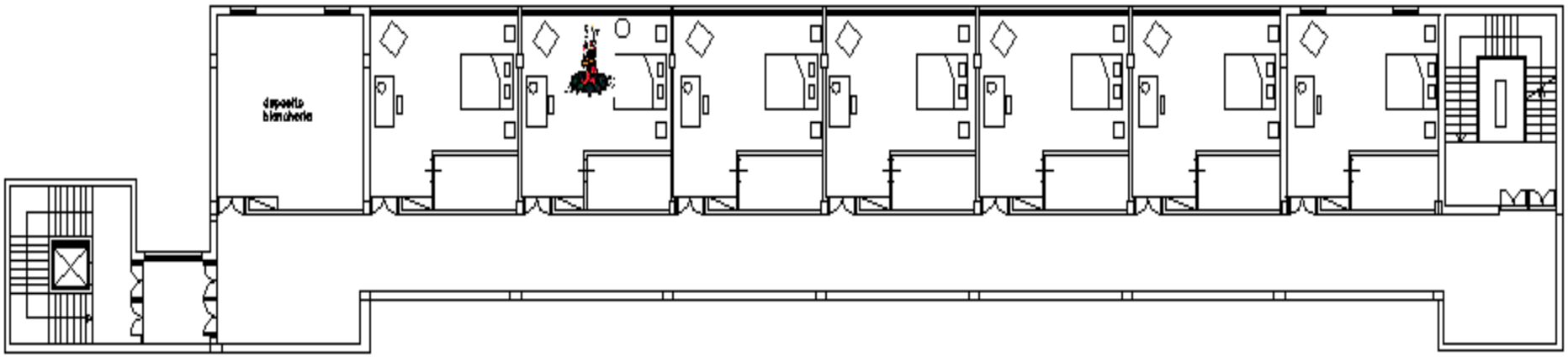
Curve di incendio (fonte di innesco, curva di crescita del combustibile, posizione iniziale e configurazione del combustibile, HRR, velocità di crescita, combustibili secondari, flashover ecc.)

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.*

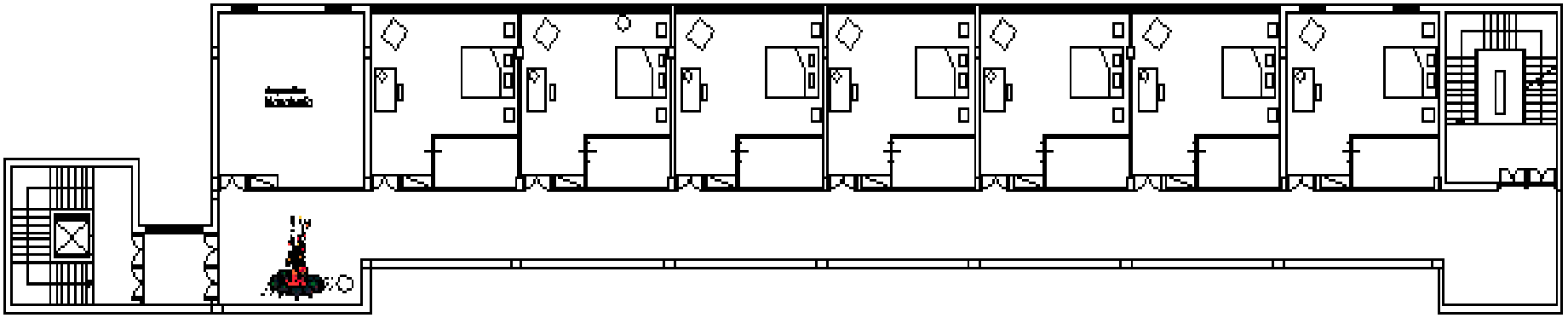
Scenario 1



Incendio durante una fase normale dell'attività

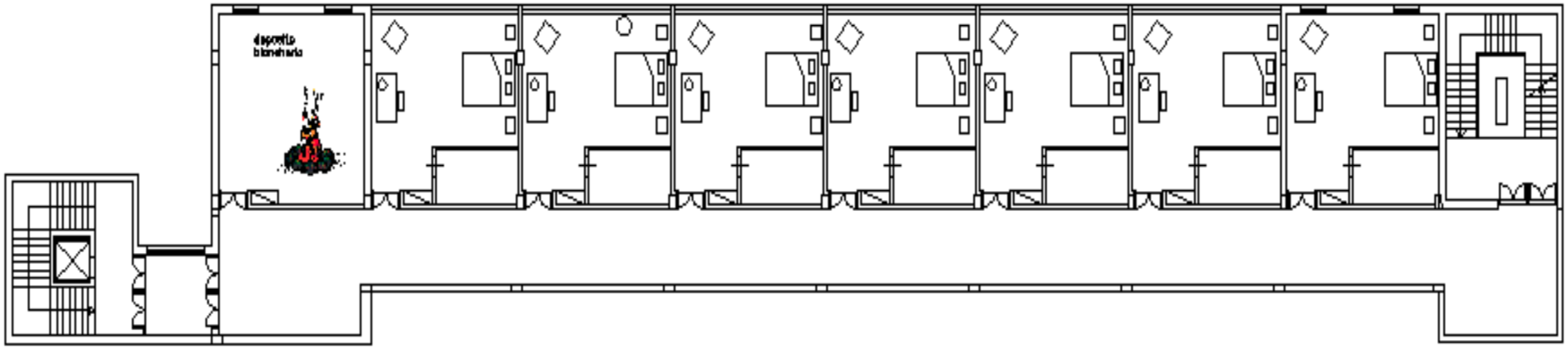
Questo scenario descrive un incendio che si sviluppa durante una fase normale dell'attività. Occorre prendere in considerazione:
il numero e la posizione delle persone presenti;
la dimensione dei locali, il tipo e la quantità di mobilio, dei rivestimenti e del materiale contenuto nell'ambiente;
le proprietà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

Scenario 2



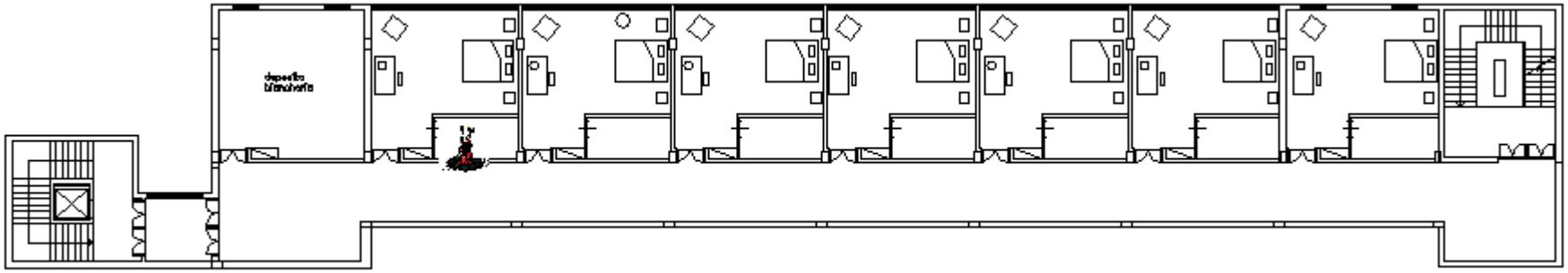
Incendio che si sviluppa con la combustione di un materiale con curva di crescita ultra veloce, ubicato nella via di esodo più importante. Le porte interne all'inizio dell'incendio sono aperte Nel caso in esame la pavimentazione è in moquette, le pareti rivestite e l'incendio inizia da un cestino pieno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

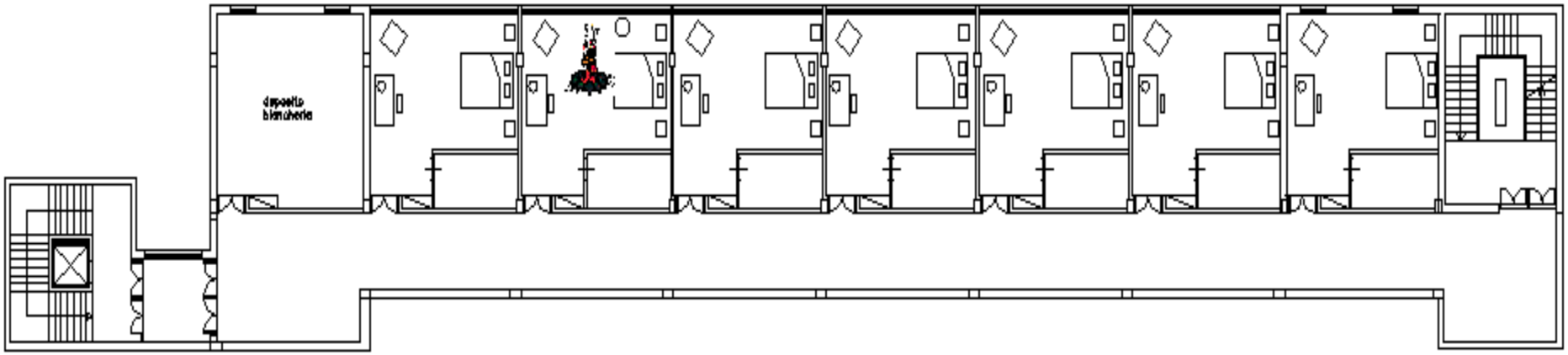
Scenario 5

- *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 delle fisica dell'incendio (conservazione della massa, dell'energia e della quantità di moto)

Si distinguono in

Modelli a zone

Modelli di campo

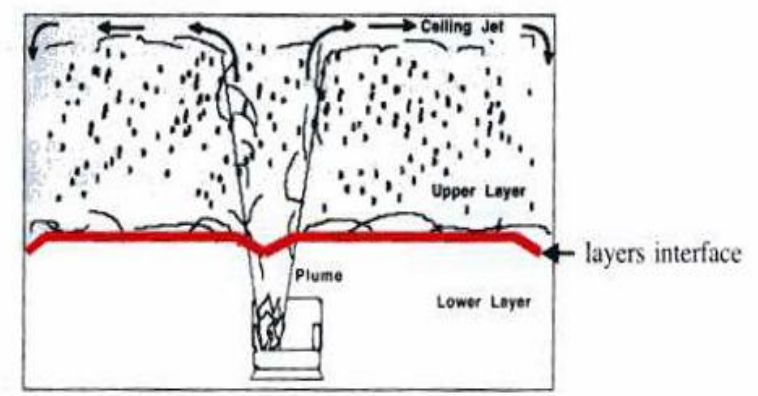
Modelli a zone

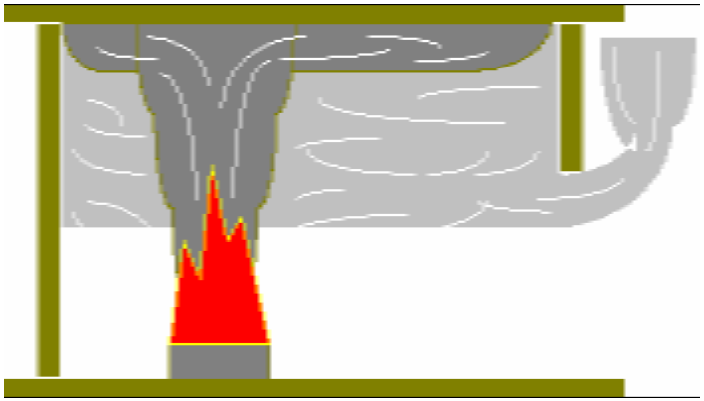
- *Un modello a zone calcola le condizioni che si determinano nell'ambiente dividendo ogni compartimento in due zone omogenee. Una è quella superiore, dei fumi e gas caldi dove sono presenti i prodotti della combustione. L'altra è la zona inferiore, libera da fumo e più fresca di quella superiore.*

- *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

- *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

- *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****, 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)*

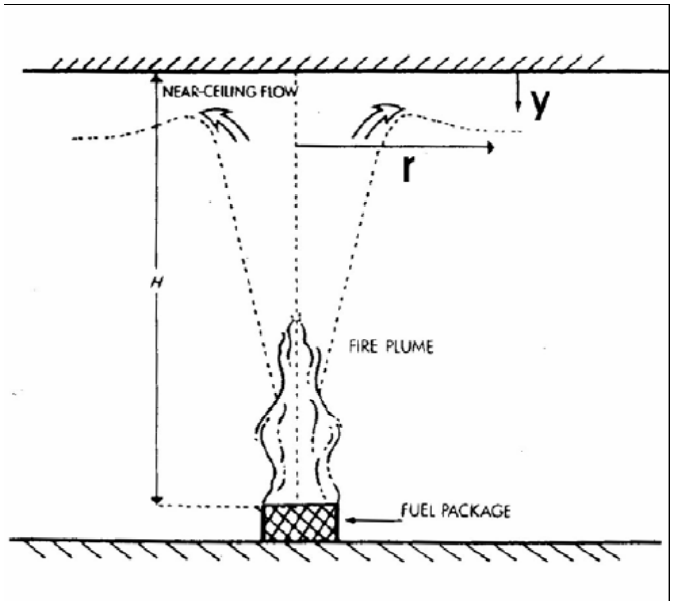
Il ceiling jet

Quando l'incendio è all'aperto non ci sono barriere fisiche che limitano il movimento verticale del pennacchio o restrizioni all'aria di richiamo che si introduce lungo la superficie assiale del plume.

Se invece l'incendio è confinato dentro un compartimento le condizioni di ventilazione assumono un ruolo significativo.

Se l'estensione verticale del pennacchio è limitata dal soffitto i gas caldi saranno deviati e formeranno una corrente orizzontale adiacente al soffitto stesso (ceiling jet).

In questa fase i gas caldi cederanno calore sia per irraggiamento verso il basso che per conduzione/convezione verso il soffitto con il risultato di raffreddarsi mano a mano che si allontanano dall'asse



1. ***Fase di sviluppo*****:** *in seguito all'accensione di materiale combustibile, l'incendio si sviluppa intorno a questo materiale e può coinvolgere altri oggetti combustibili vicini. La concentrazione di ossigeno e le temperature non sono molto differenti da quelli normali, anche se localmente possono essere elevate, e l'incendio si comporta come se la combustione avvenisse all'aria aperta.*

2. ***Fase di flashover*****:** *il flashover si verifica con un repentino incremento delle condizioni d'incendio, dovuto al suo confinamento. Può essere provocato da diverse situazioni, come la rapida accensione e propagazione di fiamme a causa dell'aumento del flusso termico, l'accumulo di gas caldi combustibili e la loro improvvisa accensione quando entrano in contatto con aria ricca di ossigeno.* ***La temperatura dello strato di gas caldi nella zona soffitto raggiunge i 600 ° C ed il flusso termico a pavimento è di 20 KW/mq.***

3. ***Incendio generalizzato*****:** *fase controllata solo dalla ventilazione.*

La crescita dell'incendio e la ventilazione

La ventilazione gioca un ruolo fondamentale nello sviluppo di un incendio e pertanto è necessario conoscere gli ordini di grandezza delle portate di aria che si possono riscontrare in un compartimento. Non bisogna pensare alla ventilazione soltanto in termini di porte aperte o di rotture dei vetri delle finestre: l'aria disponibile per una combustione affluisce da ogni zona di comunicazione tra il compartimento e l'ambiente esterno. Anche le fessure naturali degli infissi e delle strutture, in particolari edifici, possono costituire quantità notevoli di aria per la combustione.

Il flashover

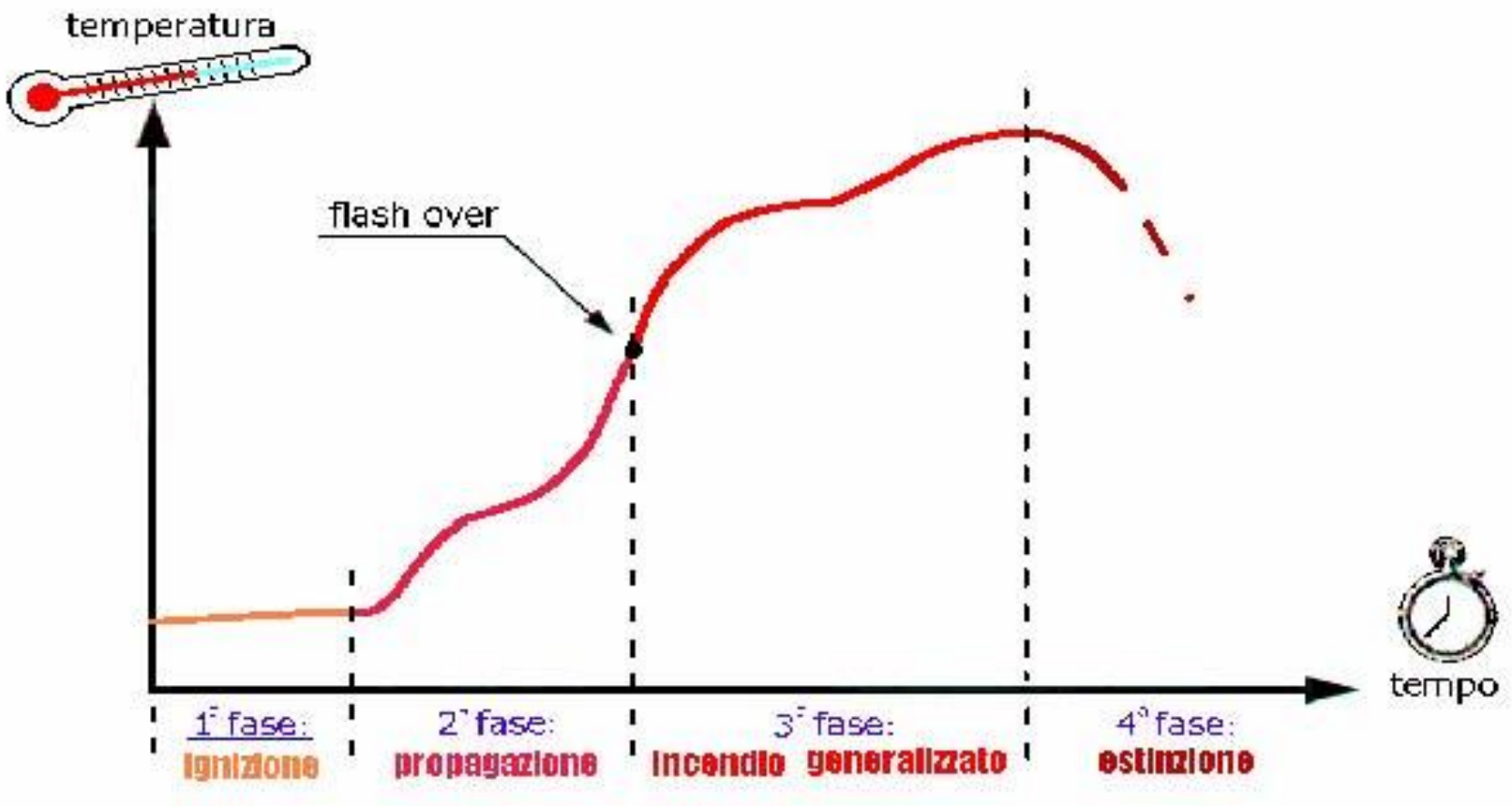
ll fenomeno del flashover, allo stato attuale degli studi, è considerato un fenomeno di instabilità del sistema incendio.
Si verifica quando il calore emesso dall'incendio non riesce più ad essere smaltito e inizia una fase da accumulazione.
Rappresenta la transizione da un regime ad un altro, transizione a cui si da il nome di flashover.

Per molti combustibili si può stimare che circa il 30% dell'energia termica liberata nelle fiamme è irraggiata verso l'ambiente circostante mentre il resto si disperde per convezione nel pennacchio. Questa energia è assorbita dagli altri combustibili presenti con innalzamento della temperatura superficiale. Se questa raggiunge la temperatura di accensione si ha un ulteriore contributo all'energia termica che si accumula all'interno.

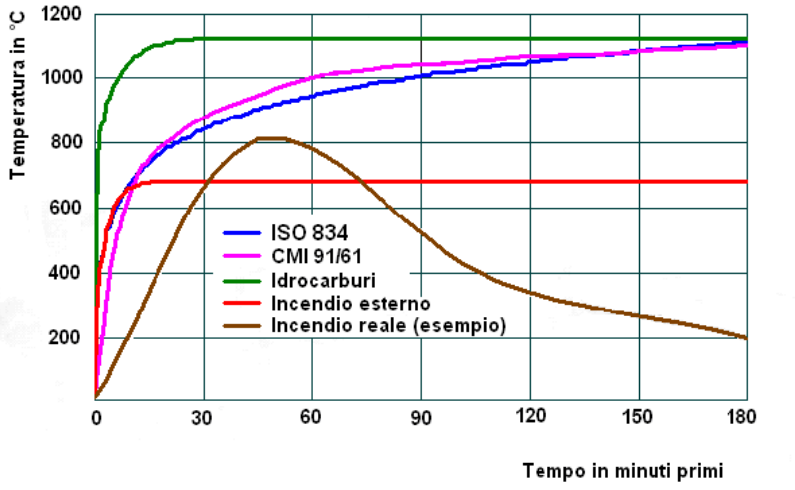
Il post flashover

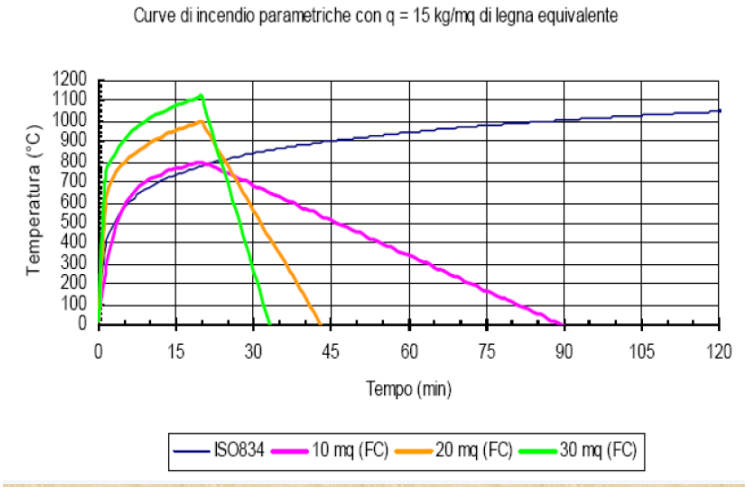
Immediatamente dopo il flashover le superfici esposte di tutti gli oggetti combustibili nel compartimento prenderanno fuoco ed il tasso di rilascio termico si incrementerà fino ad un massimo, producendo elevate temperature.
Queste si manterranno fino a quando il tasso di combustione comincia a decrescere per mancanza di combustibile. E'in questa fase di incendio generalizzato che gli elementi strutturali del compartimento sono fortemente sollecitati dal punto di vista termico/meccanico e possono collassare. La ventilazione e la natura, la distribuzione e la quantità del combustibile disponibile hanno una significativa importanza sulla severità dell'incendio.

Fasi dell'incendio



Curve di incendio





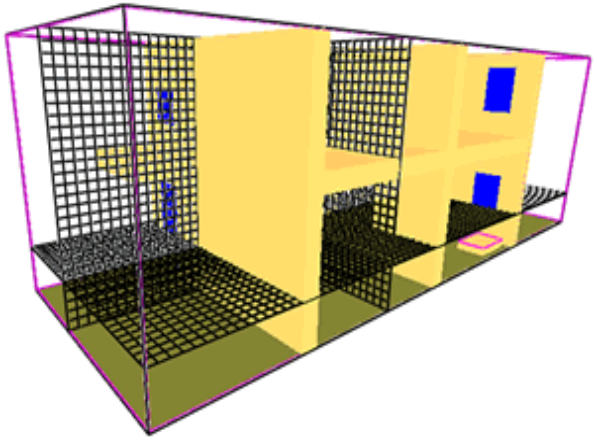
Le curve naturali considerano tutta la durata dell'incendio fino al ritorno nel compartimento della temperatura ambiente. Sono ottenute attraverso modelli di incendio numerici semplificati o avanzati FSE **(modelli a zone e modelli di campo)**

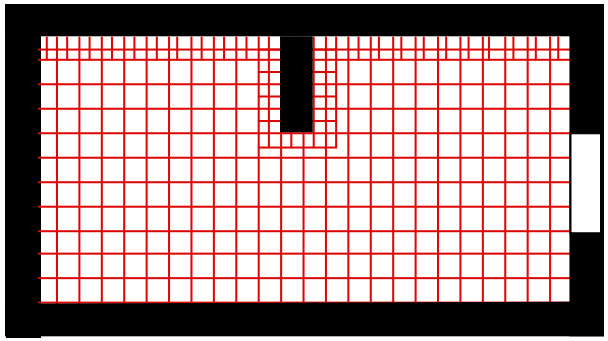
Le curve nominali sono curve convenzionali ben riproducibili in laboratorio . Trascurano la fase di innesco e di prima propagazione avendo inizio in corrispondenza del flash over. Manca la fase di raffreddamento

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.

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 di a zone, molto più dettagliati.*

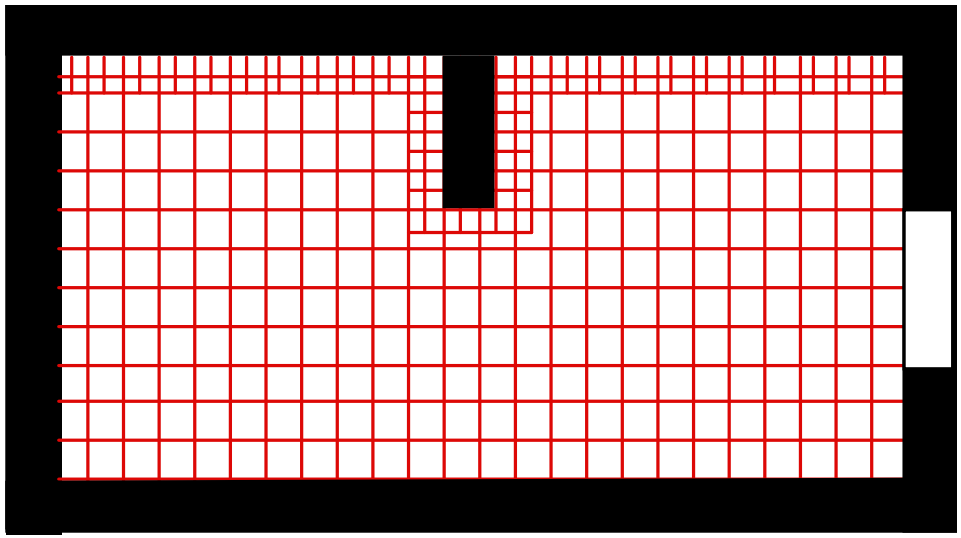




Modelli di campo

- *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 (cioé 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.*

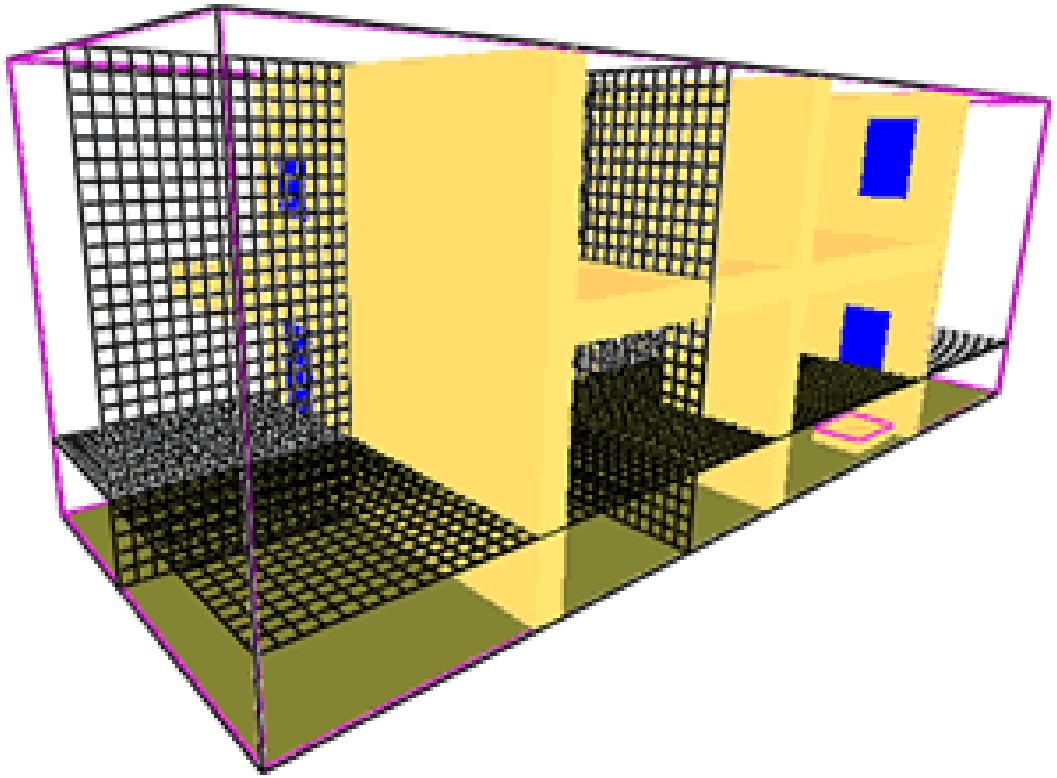
Modelli di campo



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

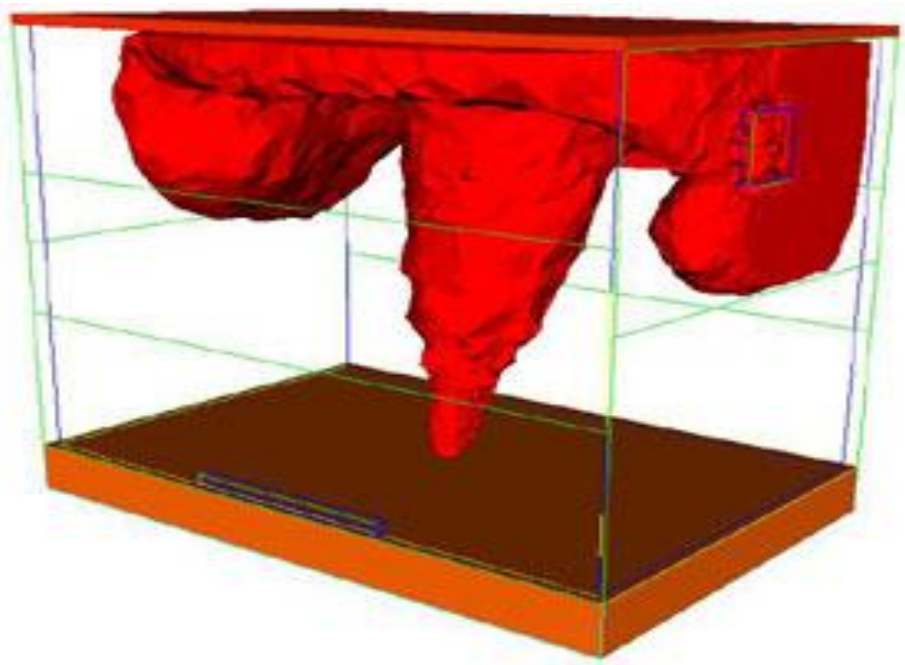


I modelli di campo, grazie alla suddivisione del "dominio" in celle tridimensionali, consentono di studiare geometrie diverse e piu' complesse di quelle assimilabili a parallelepipedi, previste dai modelli a zone.

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.*

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

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.

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 ≤ 50 ÷ 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 kW/m²** per **lesioni reversibili**.*

*Considerato che tale valore è riferito ad un ambito industriale, valori usualmente accettabili sono **≤ 2 kW/m²**, 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 ÷ 2 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 ≥ 10 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 < 100m^2: 5 m	ISO 13571-2012.
		Soccorritori: 5 m Soccorritori n locali di superficie lorda < 100m^2: 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, *fractional effective dose* e FEC, *fractional effective concentration* per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571-2012, limitando a 1,1% gli occupanti incapacitati al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	--
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571-2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m^2	ISO 13571-2012, per esposizioni maggiori di 30 minuti, senza modifica significativa dei tempi di esodo (2,5 kW/m^2).
		Soccorritori: 3 kW/m^2	[1]
[1] Ai fini di questa tabella, per *soccorritori* si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per *hazardous conditions*.			

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]
[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.3-3: 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**.

GESTIONE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO (GSA)

La metodologia prestazionale, basandosi sull'individuazione delle misure di protezione effettuata mediante scenari di incendio, richiede un **mantenimento nel tempo di tutti i parametri** posti alla base della scelta degli scenari.

Le misure di *GSA* devono essere limitate agli **aspetti trattati nella progettazione prestazionale**, con riguardo a:
soluzioni progettuali, *misure di prevenzione e protezione*, *mantenimento delle condizioni di esercizio* da cui **discendono i valori dei parametri di ingresso**.

Le misure di *GSA* sono sottoposte a **verifiche periodiche** da parte del responsabile dell'attività secondo intervalli definiti nel progetto.

STRUTTURA DEL SGSA

Nell'ambito del SGSA devono essere valutati ed esplicitati i provvedimenti presi relativamente ai seguenti punti:

- 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.

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).*

✓ Nel **campo di applicazione**, 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 cambia- menti 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.

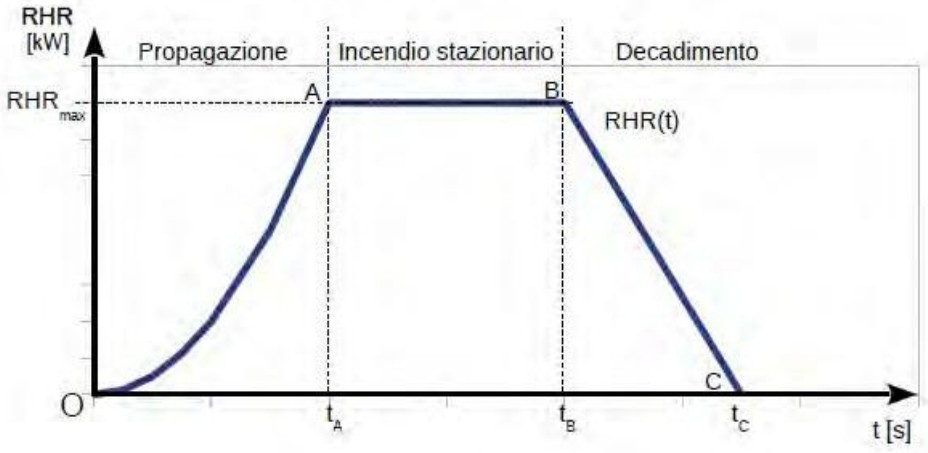
Durata degli scenari d'incendio di progetto

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 Realease Rate – HRR

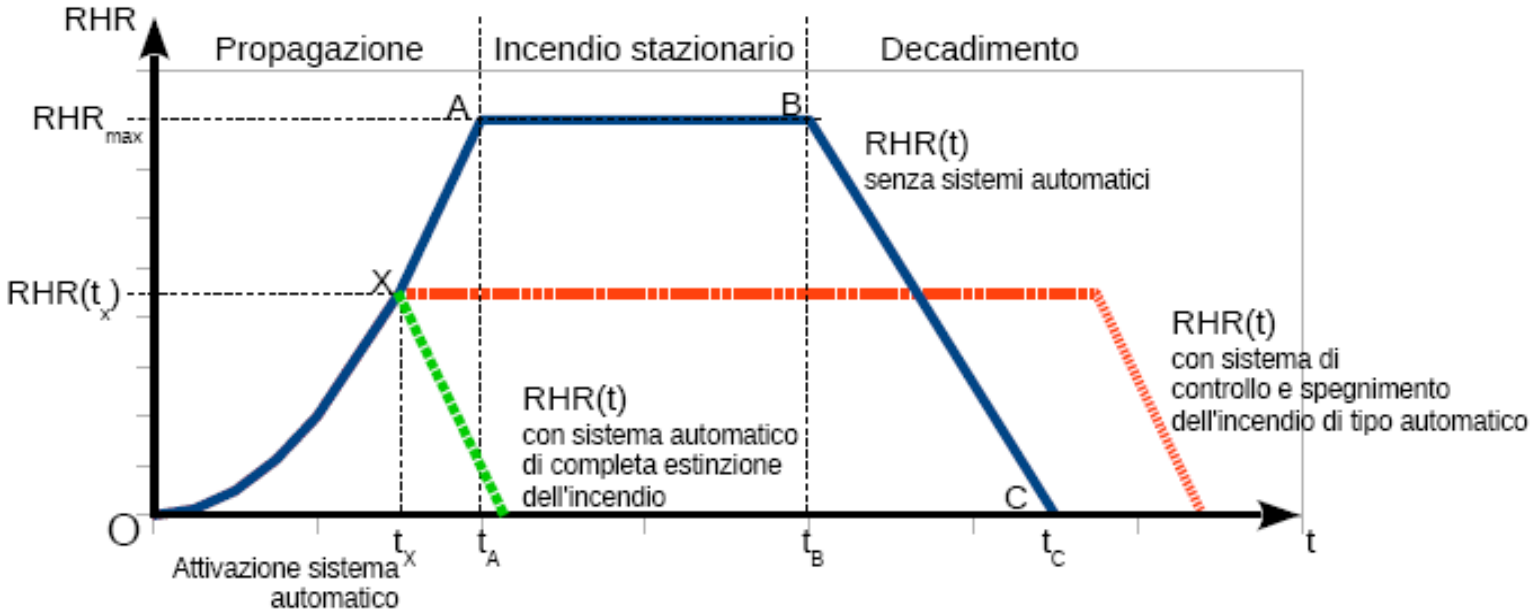
L'incendio può essere schematizzato come una sorgente di tipo volumetrico, ossia una sorta di **bruciatore che rilascia calore** (HRR) e quantità di **particolato** *(soot)* e di **gas**.



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

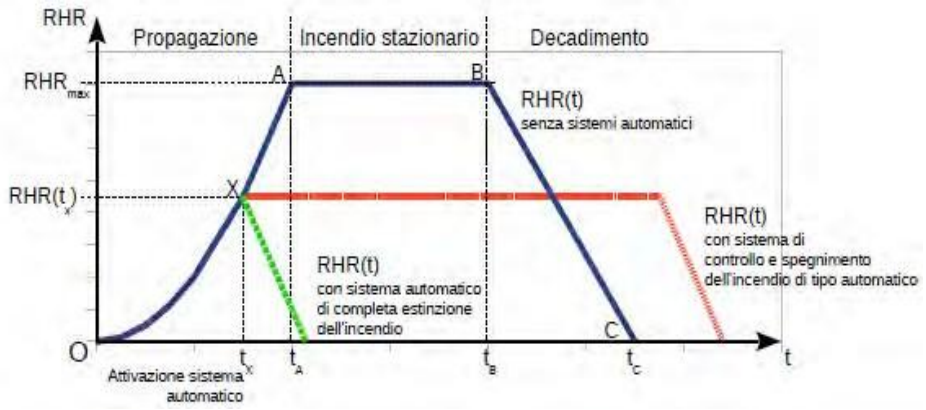


Questa metodologia può essere utilizzata per:

- 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



$$\mathbf{RHR(t) = 1000 * (t/t_\alpha)^2} \qquad \textit{per } t < t_A$$

RHR(t) :	*potenza termica rilasciata dall'incendio*	*[kW]*
t :	*tempo*	*[s]*
t_α *:*	*tempo affinché RHR raggiunga 1000 kW (come da tabella seguente)*	*[s]*

δ_α : Caratteristiche prevalenti di crescita dell'incendio

δ_α	Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio t_α [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, mobilio 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

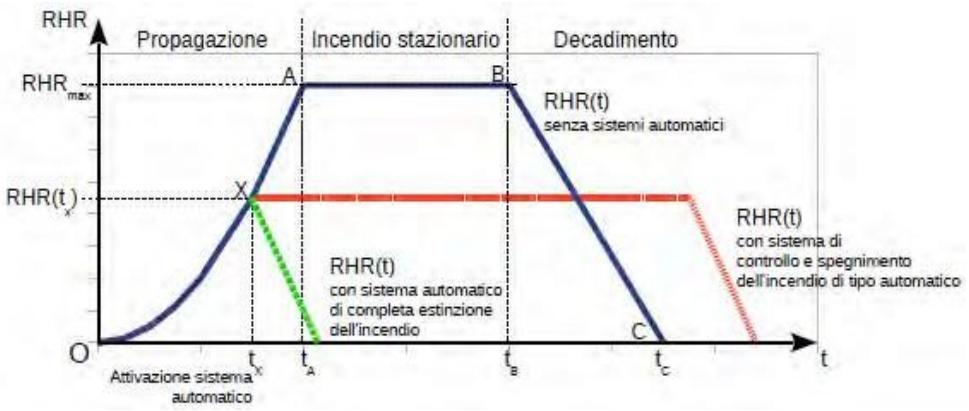
$$\mathbf{RHR(t) = 1000 * (t/t_\alpha)^2} \qquad per\ t < t_A$$

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

t_α = *600 s (S - Slow)*	RHR(t) = 0,00278 t^2
t_α = *300 s (M - Medium)*	RHR(t) = 0,01111 t^2
t_α = *150 s (F - Fast)*	RHR(t) = 0,04444 t^2
t_α = *75 s (UF - Ultra Fast)*	RHR(t) = 0,17778 t^2

Effetto dei sistemi automatici di controllo dell'incendio

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.

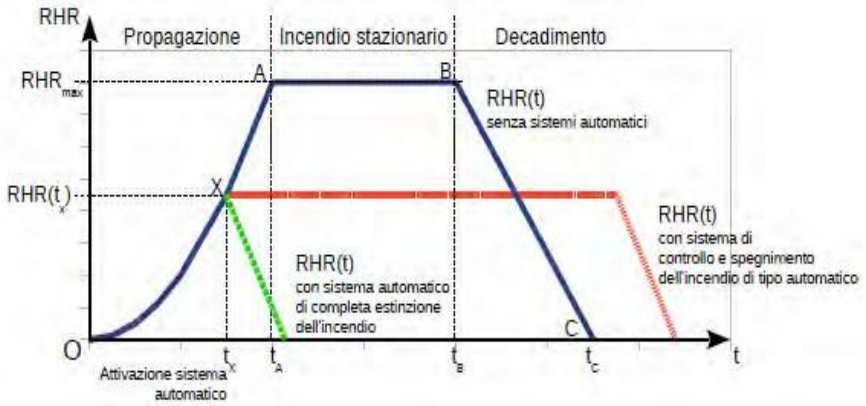


RHR può essere assunto **costante** e pari a RHR(tx) **raggiunto all'istante t_X** di entrata in funzione dell'impianto.

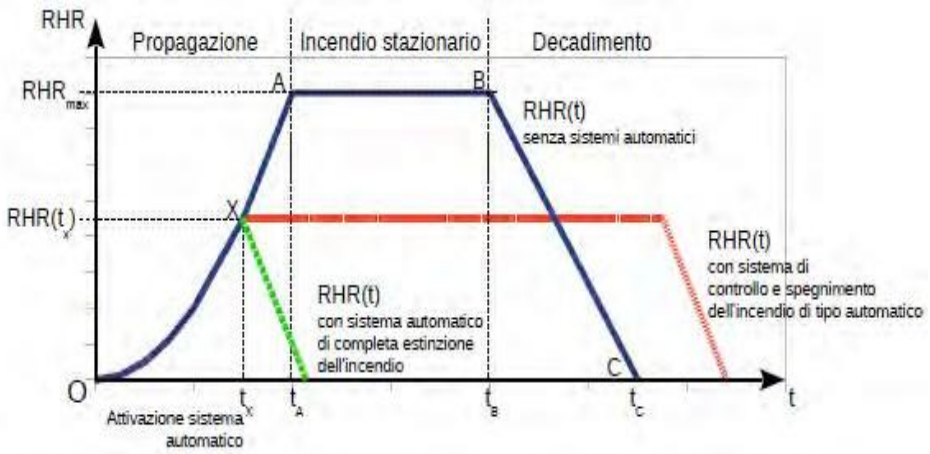
Tale valore permane per un intervallo di tempo pari alla durata di alimentazione prevista, entro cui si presume che l'incendio controllato venga estinto con l'intervento manuale.

Effetto dei sistemi automatici di controllo dell'incendio

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.



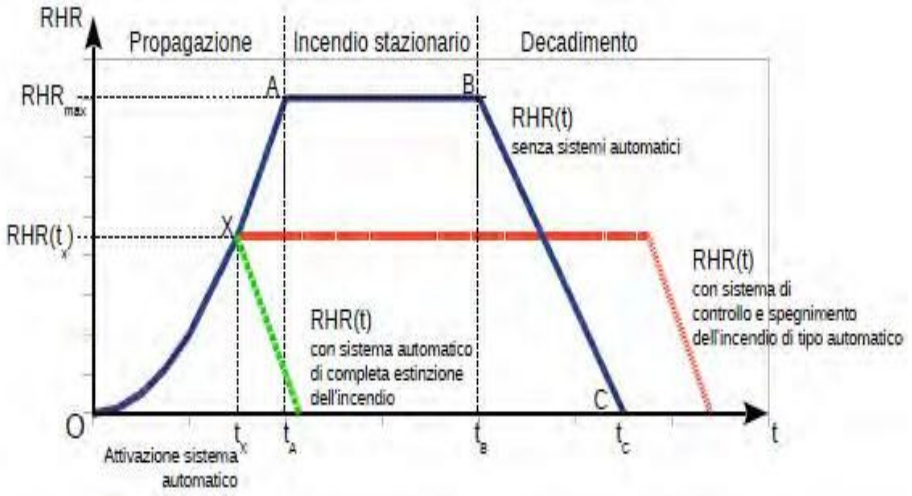
Effetto dell'intervento manuale di controllo dell'incendio



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

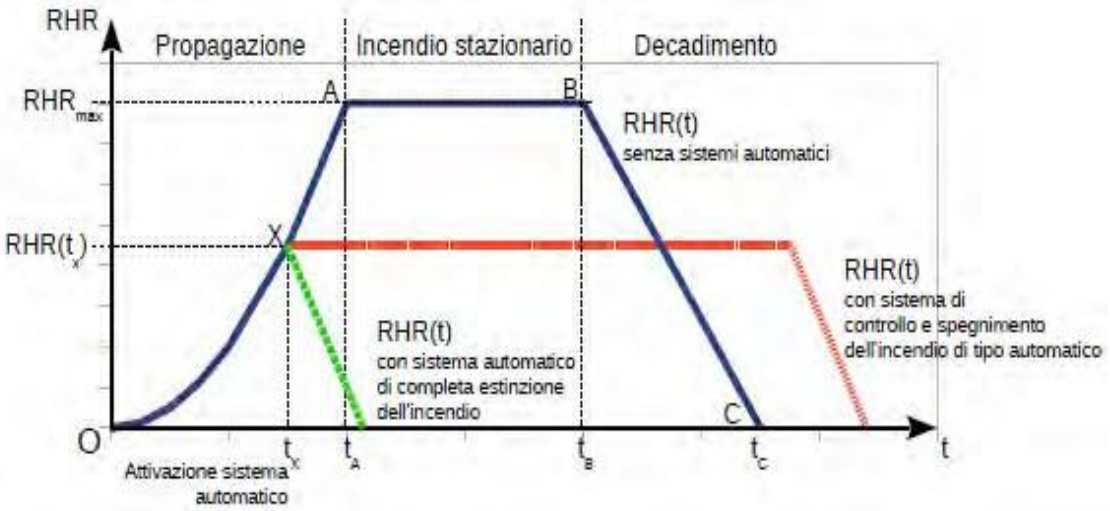
Si ipotizza **che anche dopo il flashover la curva cresca proporzionalmente a t^2** fino al tempo t_A che corrisponde alla massima potenza RHR_{max} rilasciata nel compartimento



Il Codice fornisce indicazioni per determinare 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

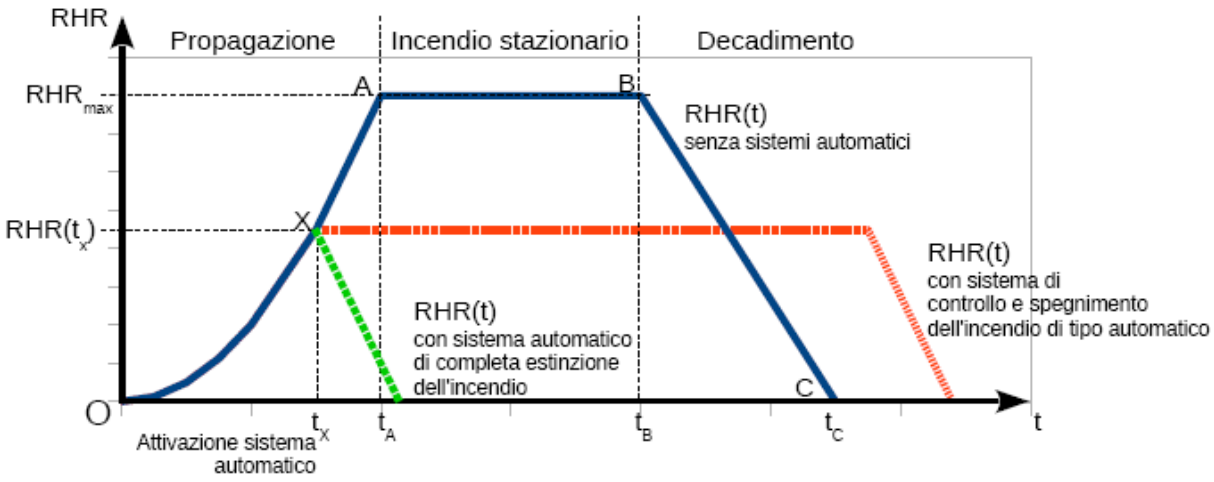


Nella maggioranza dei casi l'energia termica potenzialmente contenuta nel compartimento antincendio è sufficiente a produrre la condizione di *flashover* e si ipotizza che, anche dopo il flashover, la curva cresca con andamento ancora proporzionale a t^2 fino al tempo t_A che corrisponde alla massima potenza RHR_{max} rilasciata dall'incendio nello specifico compartimento antincendio.

$$RHR(t) = RHR_{max} \quad \text{per} \quad t_A \leqslant t < t_B$$

Se nell'attività non sono previsti impianti di controllo o estinzione automatica dell'incendio, si suppone che dal tempo t_A fino a t_B la potenza termica prodotta dall'incendio si stabilizzi al valore massimo RHR_{max}:

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^2]

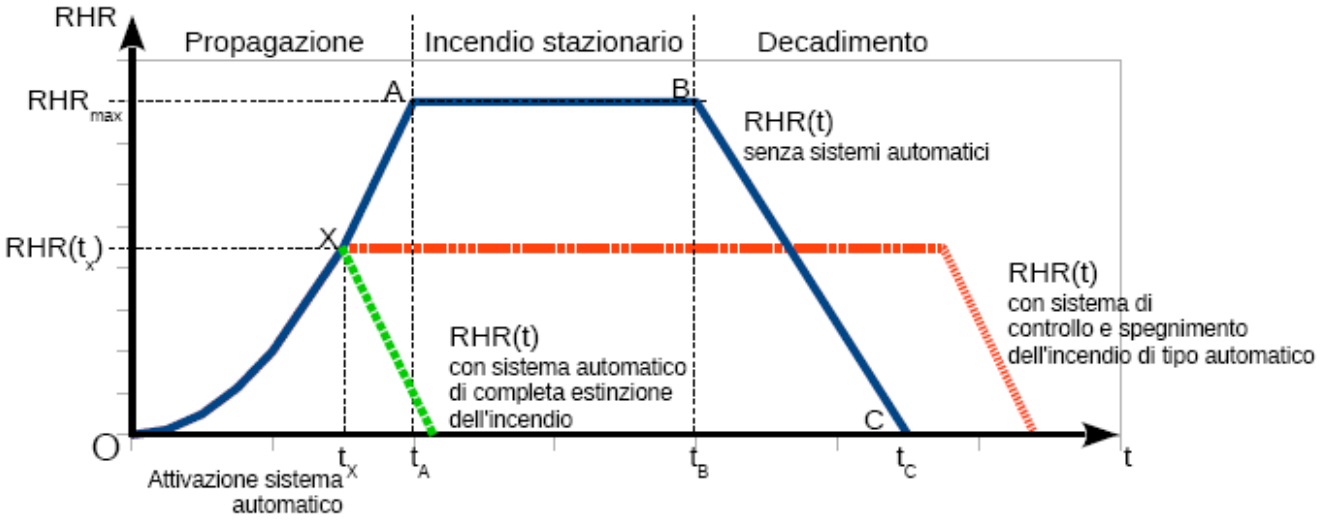
A_f superficie lorda del compartimento in caso di distribuzione uniforme del carico d'incendio, oppure superficie lorda effettivamente occupata dal combustibile [m^2]

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

Max rate of heat release RHR $_f$			
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	[m²]
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	[m²]

Fase dell'incendio stazionario

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

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

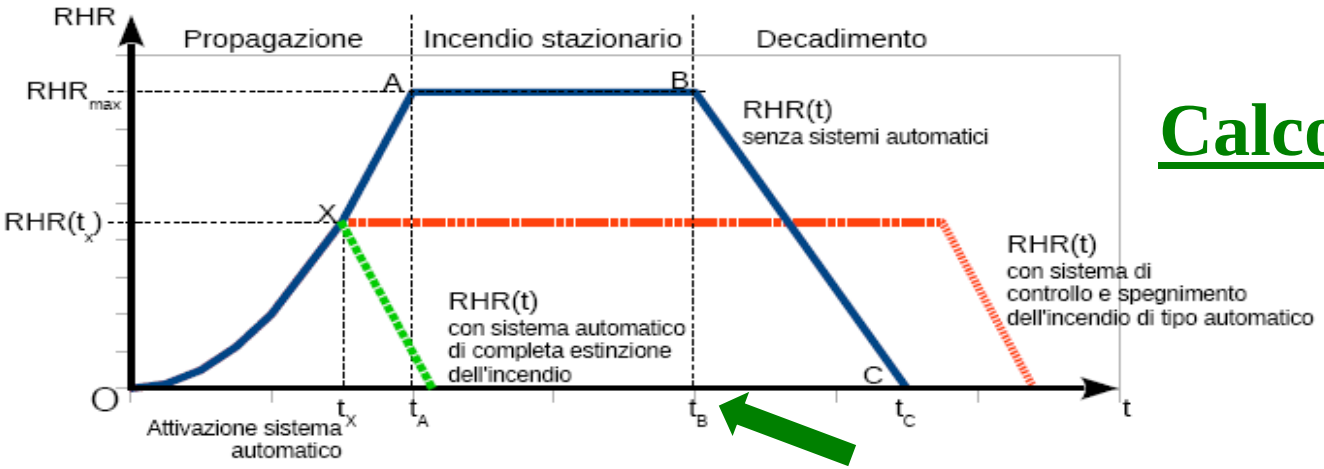
Tale fase termina al tempo t_B*, di inizio della fase di decadimento, in cui il 70% dell'energia termica inizialmente disponibile* $q_f \cdot A_f$ *è stata rilasciata nel compartimento.*

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-

peri la fase di propagazione e raggiunga la potenza massima RHR_{max}, cioè:

$$70\%\ q_f\ A_f \geqslant \frac{1}{3}\frac{1000}{t_\alpha^2}\ t_A^3 \qquad \text{M.2-7}$$

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

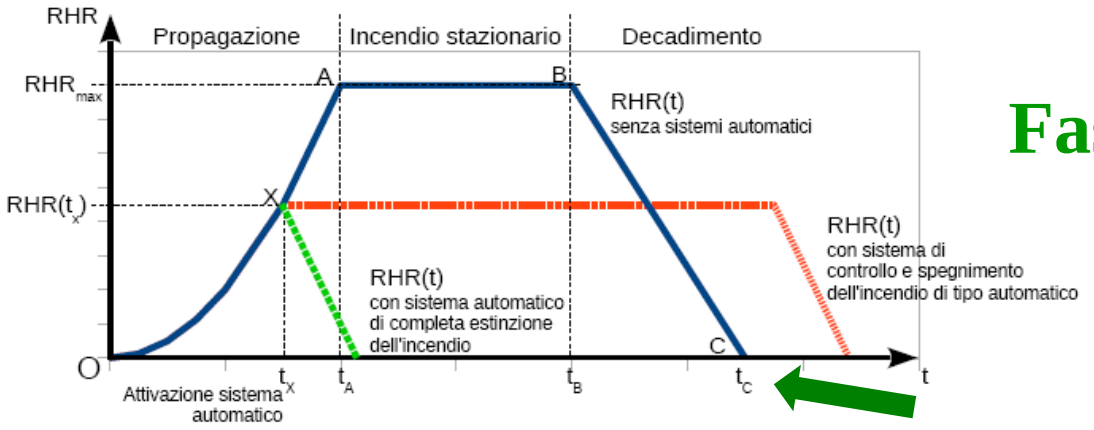
$$t_B = t_A + \frac{70\%\ q_f\ A_f - \frac{1}{3}\frac{1000}{t_\alpha^2}\ t_A^3}{RHR_{max}} \qquad \text{M.2-8}$$

dove:

t_B tempo di fine della fase di incendio stazionario [s]

q_f carico di incendio specifico [kJ/m^2]

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.

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

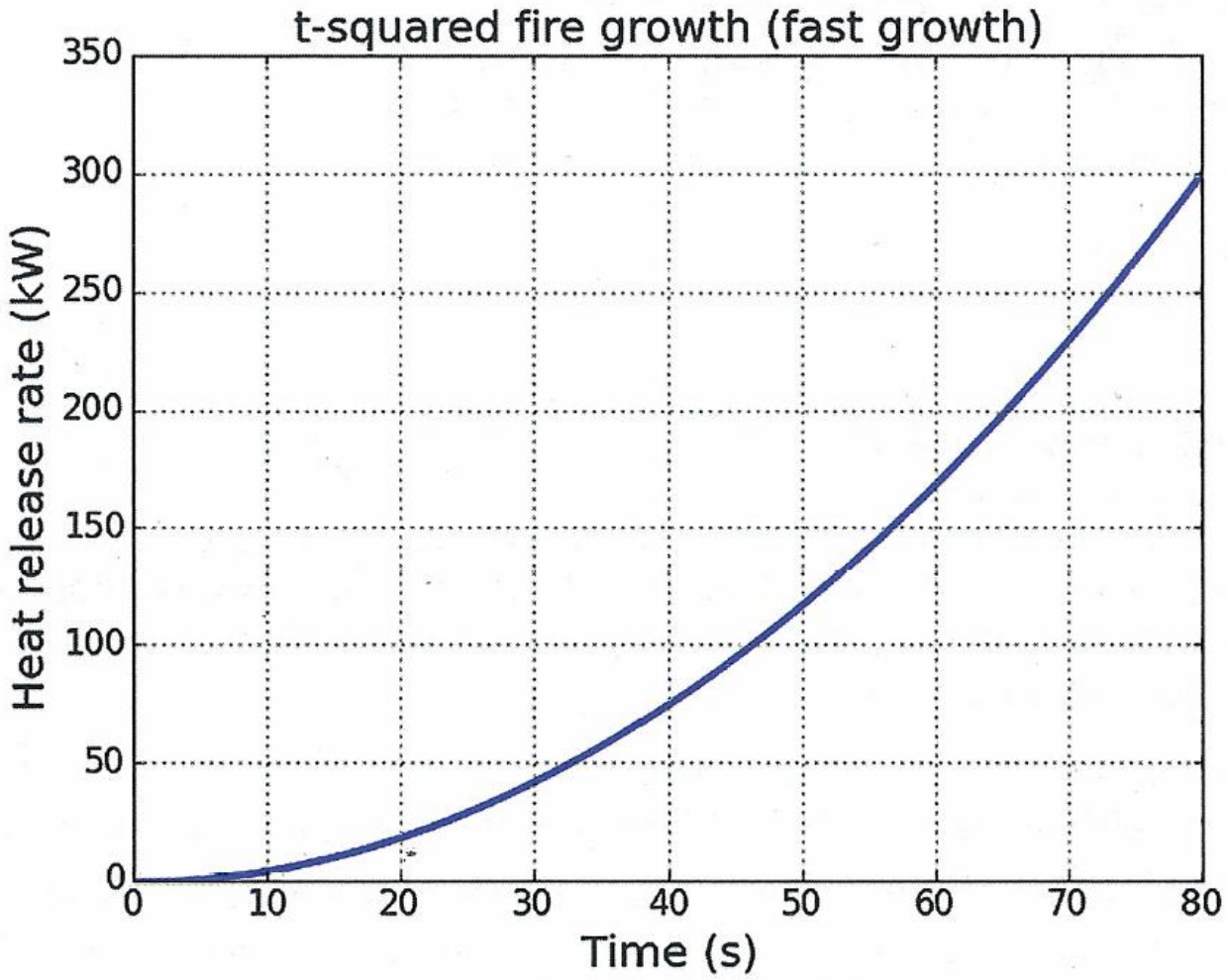
Focolare predefinito

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

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

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 **margine di sicurezza**.

Criterio di ASET > RSET

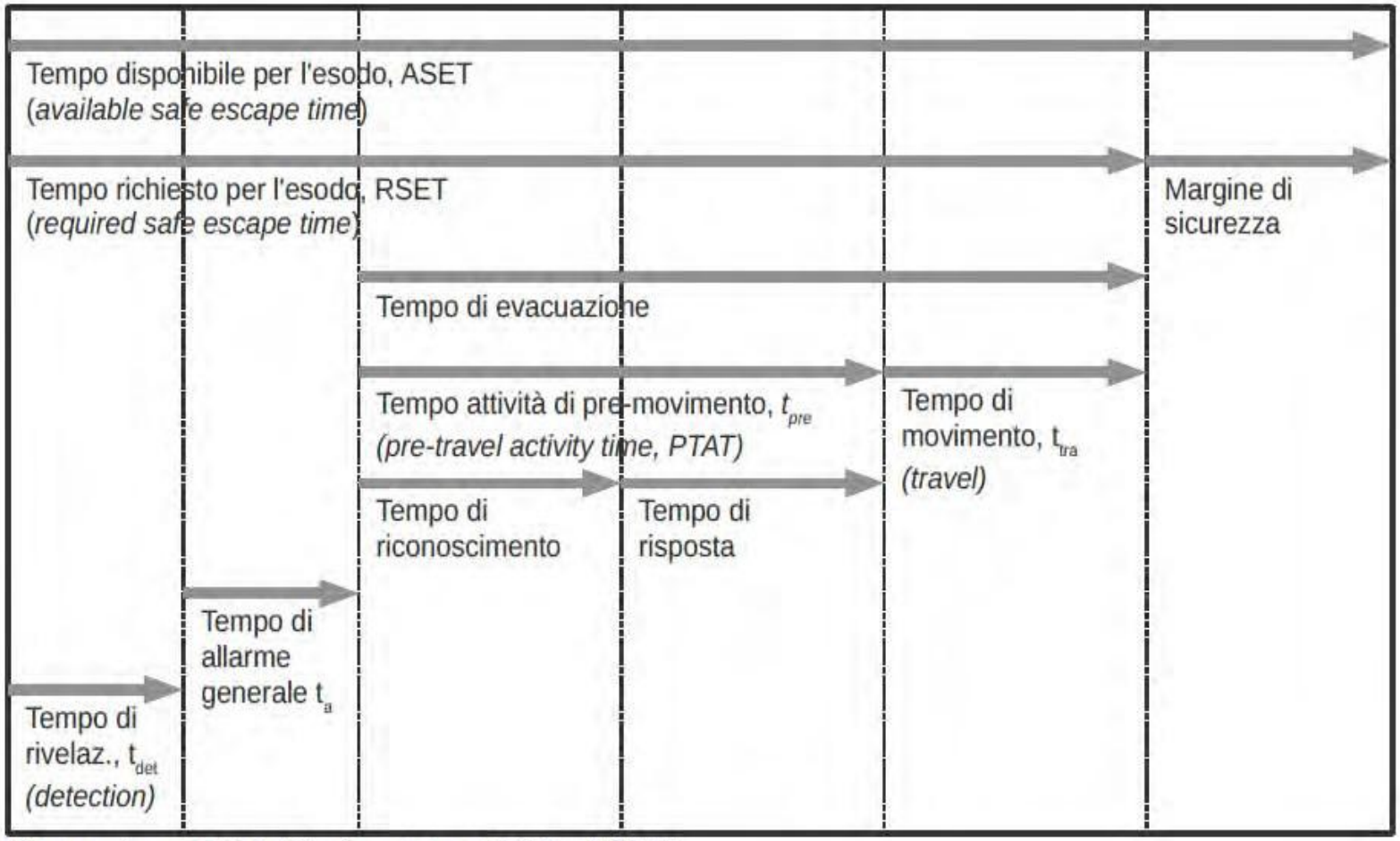


Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET ed RSET

M3) SALVAGUARDIA DELLA VITA CON LA PROGETTAZIONE PRESTAZIONALE

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

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

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

A meno di specifiche valutazioni si assume **T marg. > 100% di RSET**

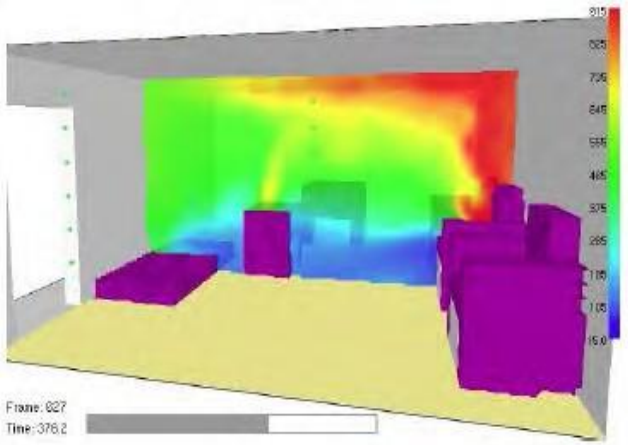
In caso di specifiche valutazioni dei dati di input nella progettazione prestazionale delle vie di esodo è consentito assumere **T marg. > 10% di RSET**

In ogni caso T marg. non dovrà mai essere inferiore a 30 sec.

CALCOLO DI ASET *(Avalaible safe escape time)*

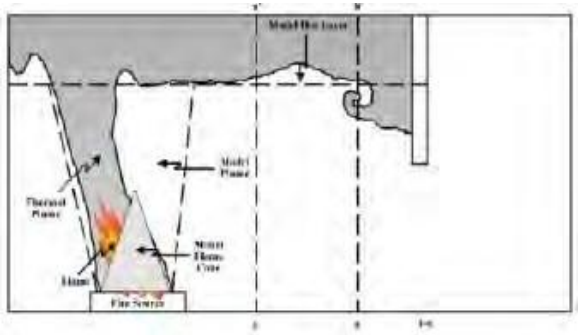
Metodo avanzato

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

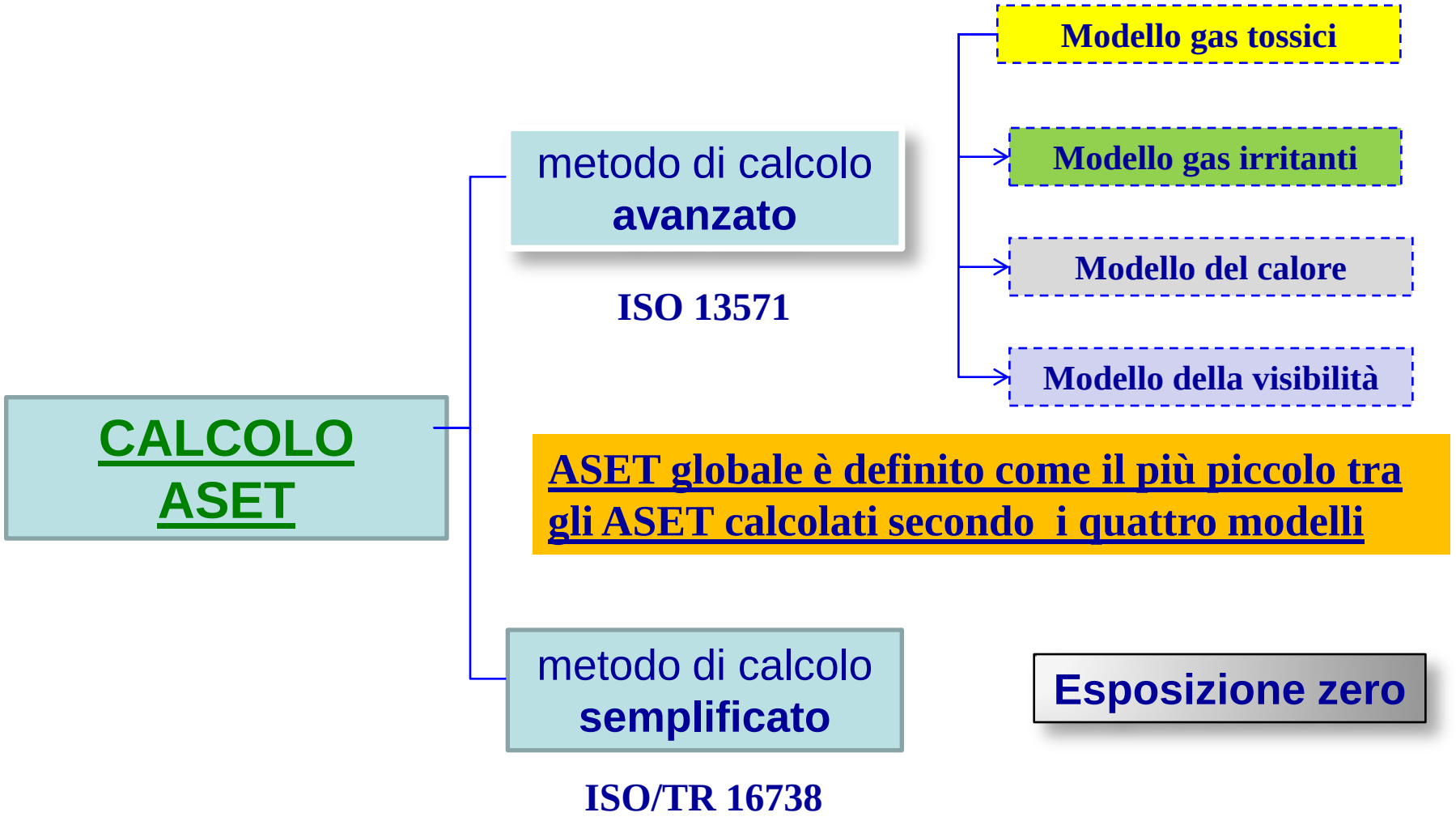


Metodo semplificato

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



Metodi di calcolo ASET



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:

$$X_{FED} = \sum_{t1}^{t2} \frac{\varphi_{CO}}{35\,000} \Delta t + \sum_{t1}^{t2} \frac{\exp(\varphi_{HCN}/43)}{220} \Delta t$$

dove

φ_{CO} è la concentrazione media del monossido di carbonio nell’intervallo di tempo Δt;

φ_{HCN} è la concentrazione media dell’acido cianidrico nell’intervallo di tempo Δt;

Δt 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 ±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^2
Temperatura ambiente sugli occupanti < 60 °C

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

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

I valori di t_{Irad} e t_{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

L'esposizione al calore può causare un danno alla salute dell'occupante per ipertermia, ustioni cutanee ed ustioni del tratto respiratorio.

Le ustioni delle vie respiratorie, per inalazione di aria contenente vapore acqueo in concentrazioni inferiori al 10% in volume, si verificano solo dopo le ustioni alla pelle, e pertanto la soglia di sostenibilità per ustioni cutanee è normalmente inferiore rispetto a quella per ustioni al tratto respiratorio. Tuttavia, ustioni al tratto respiratorio possono verificarsi nel caso di inalazione di aria satura di vapore acqueo a temperatura > 60 °C.

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_{Irad}, espresso in minuti, che provoca le ustioni di secondo grado diminuisce rapidamente secondo la seguente equazione:

$$t_{Irad} = 6{,}9q^{-1{,}56}$$

ove q è il flusso termico radiante espresso in kW/m².

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:

$$t_{Irad} = 4{,}2q^{-1{,}9}$$

La norma dichiara espressamente che l'incertezza legata all'uso delle succitate equazioni è del ±25%.

Il calcolo del tempo di incapacitazione per esposizione al calore convettivo dell'aria con concentrazione di vapore acqueo inferiore al 10% in volume, può essere effettuata utilizzando le seguenti equazioni:

$$t_{Iconv} = (4{,}1\times 10^{8})T^{-3{,}61}$$ per persone normalmente vestite

$$t_{Iconv} = (4{,}1\times 10^{8})T^{-3{,}61}$$ per persone nude o con vestiti leggeri

ove T è la temperatura in gradi Celsius.

La norma dichiara espressamente che l'incertezza legata all'uso delle succitate equazioni è del ±25%.

MODELLO DEL CALORE

$$t_{Irad} = 6{,}9q^{-1{,}56}$$

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_{Irad}, espresso in minuti, che provoca le ustioni di secondo grado diminuisce rapidamente secondo la seguente equazione:

$$t_{Irad} = 4{,}2q^{-1{,}9}$$

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:

$$t_{Iconv} = (4{,}1 \times 10^{8})T^{-3{,}61}$$ per persone normalmente vestite

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

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

dove:

L	visibilità	[m]
C	costante adimensionale pari a 3 per cartellonistica di esodo riflettente non illuminata o 8 per cartellonistica retroilluminata	
σ	coefficiente massico di estinzione della luce pari a 10 m^2/g	[m^2/g]
ρ_{smoke}	massa volumica dei fumi (*smoke aerosol mass concentration*)	[g/m^3]

MODELLO DI VISIBILITA'

La visibilità in presenza di fumo esprime la massima distanza alla quale un oggetto è visibile e dipende dalla densità del particolato, dalla distribuzione delle dimensioni delle particelle, dalle proprietà ottiche del fumo e dalla intensità della luce stessa secondo la legge di Bouguer di seguito riportata:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-KL}$$

ove

I_0 è l'intensità luminosa di un fascio di raggi di luce paralleli misurata in un ambiente privo di fumo con un rivelatore avente la stessa sensibilità spettrale dell'occhio umano;

I è l'intensità luminosa di un fascio di luce parallelo che ha attraversato una certa lunghezza di un ambiente con presenza di fumi;

L è la lunghezza del fascio attraverso un ambiente con presenza di fumi (lunghezza del percorso ottico), espressa in metri.

K è il coefficiente di estinzione luminosa (m^{-1}).

Il coefficiente K è valutato come prodotto tra la densità di particolato dei fumi ed un coefficiente di estinzione specifico σ (m^2/g) che è caratteristico della sostanza che sta bruciando.

$$K = \sigma \cdot \rho_{smoke}$$

La visibilità è calcolata con la relazione S = C/K, dove C è una costante caratteristica dell'elemento luminoso che deve rendersi visibile attraverso i fumi (C = 8 per un segnale che emettono luce e C = 3 per segnali che riflettono luce).

Metodo di calcolo semplificato per ASET

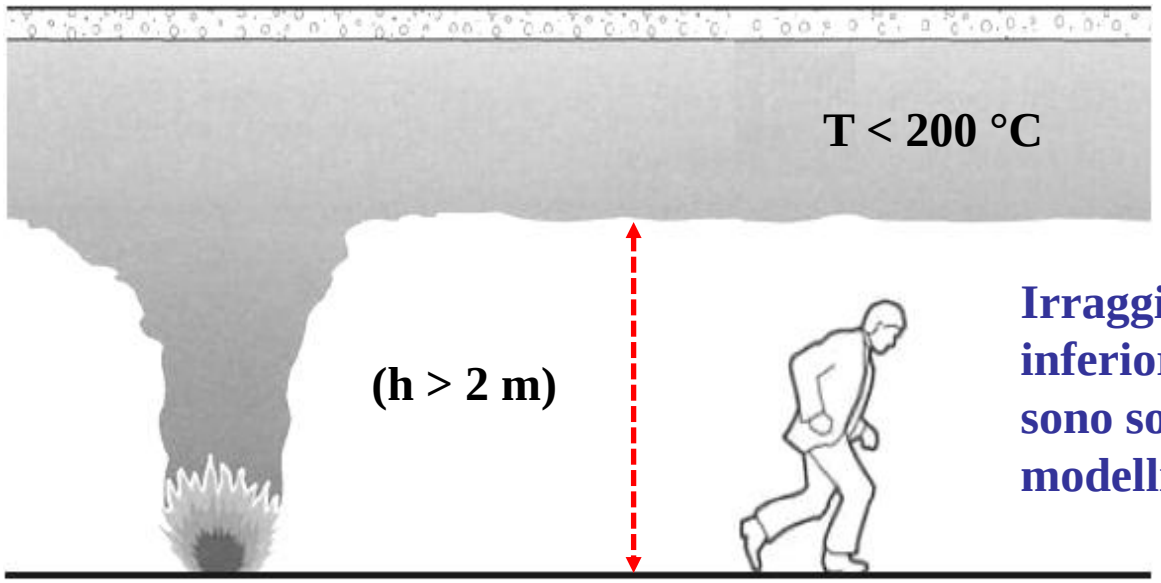
La **ISO/TR 16738** prevede la possibilità di utilizzare l'ipotesi semplificativa della **esposizione zero** (**zero exposure**).

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



Irraggiamento dai fumi inferiore a 2,5 KW e sono soddisfatti i modelli avanzati

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 e 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)*

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

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)*

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

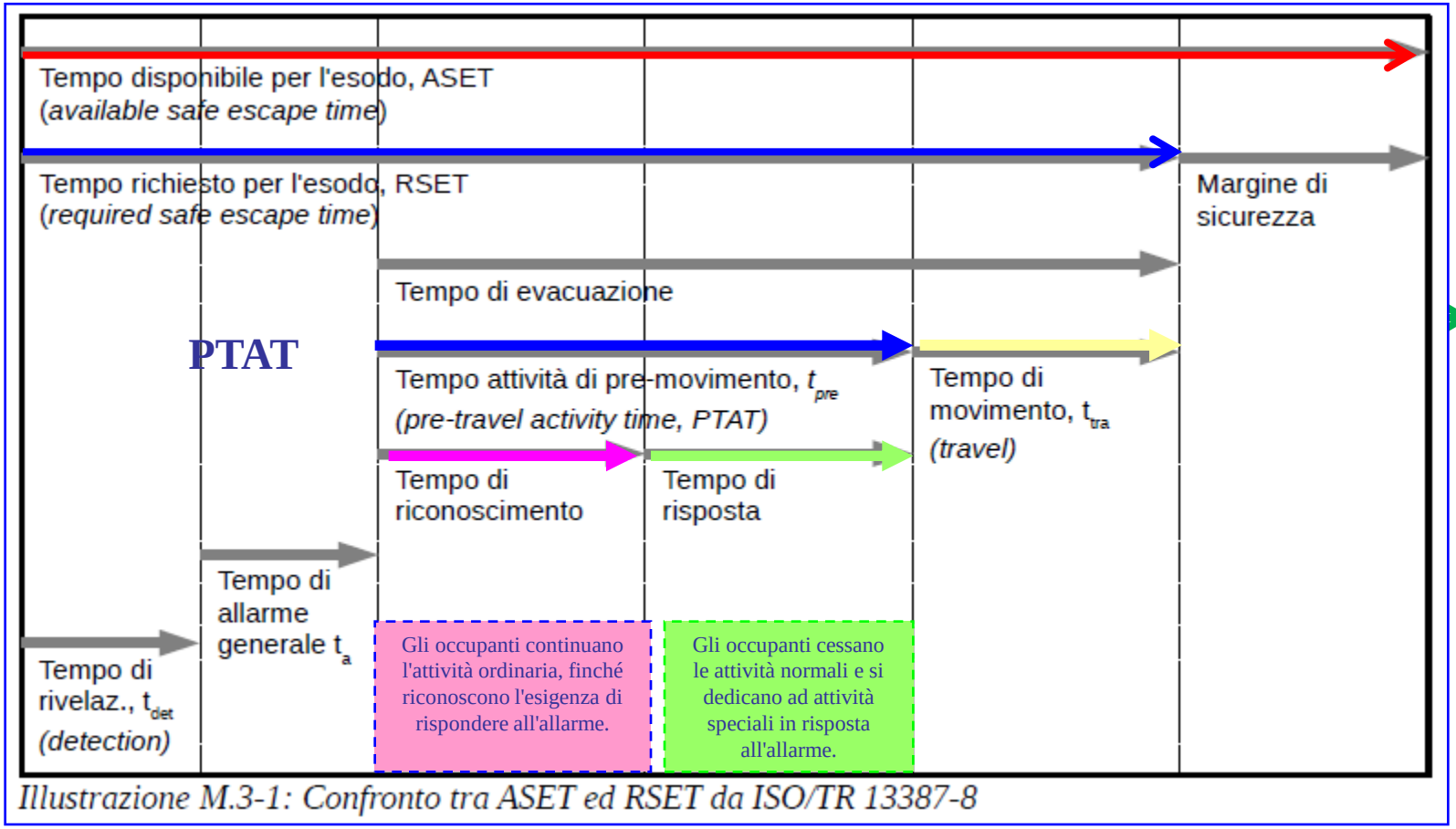


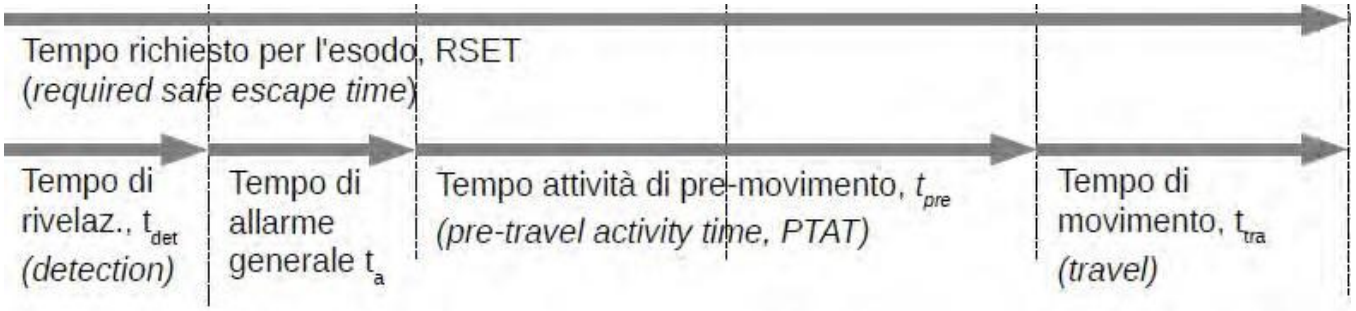
Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET ed RSET da ISO/TR 13387-8

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 modellizzazione** numerica degli scenari d'incendio e del sistema di rivelazione.

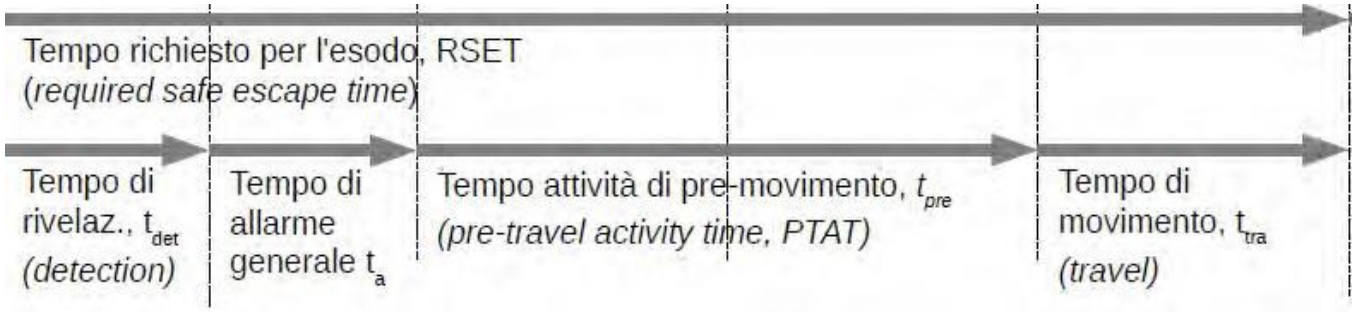


Tempo di allarme generale (t_a)

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.

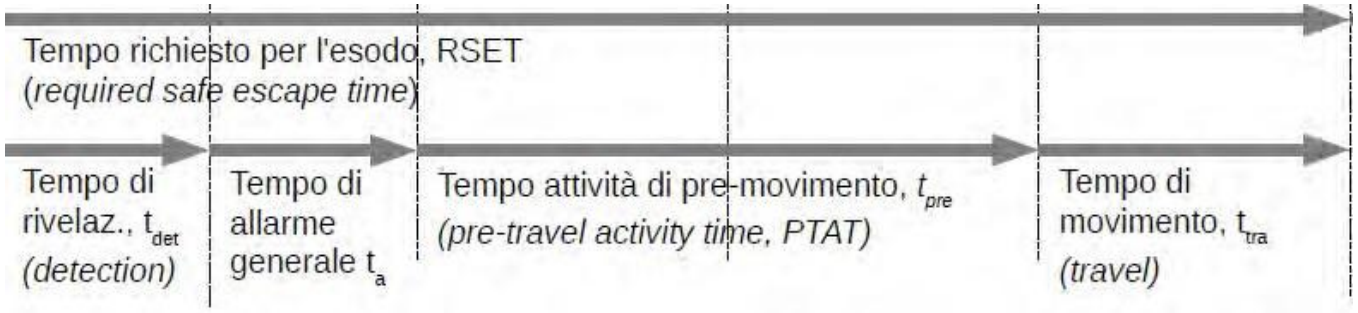
È pari al ritardo valutato dal professionista antincendio, se la rivelazione allerta una centrale di gestione dell'emergenza che verifica l'evento ed attiva poi l'allarme manuale.



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

È composto dal *tempo di riconoscimento (recognition)* e dal *tempo di risposta (response)*.

- 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
Esempio 1: albergo di media complessità • *occupanti: Ciii, sleeping and unfamiliar;* • sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; • complessità geometrica edificio: *edificio multipiano e layout semplice;* • gestione della sicurezza: *ordinaria.*	20'	40'
Esempio 2: grande attività produttiva • occupanti: *A, awake and familiar;* • sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; • complessità geometrica edificio: edificio multipiano e layout complesso; • gestione della sicurezza: *ordinaria*.	1' 30"	3' 30"
Esempio 3: residenza sanitaria assistenziale • occupanti: *D, sleeping and unfamiliar;* • sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; • complessità geometrica edificio: edificio multipiano e layout semplice; • gestione della sicurezza: *ordinaria*; • presenza di addetti in quantità sufficiente a gestire l'evacuazione dei diversamente abili.	5'	10'

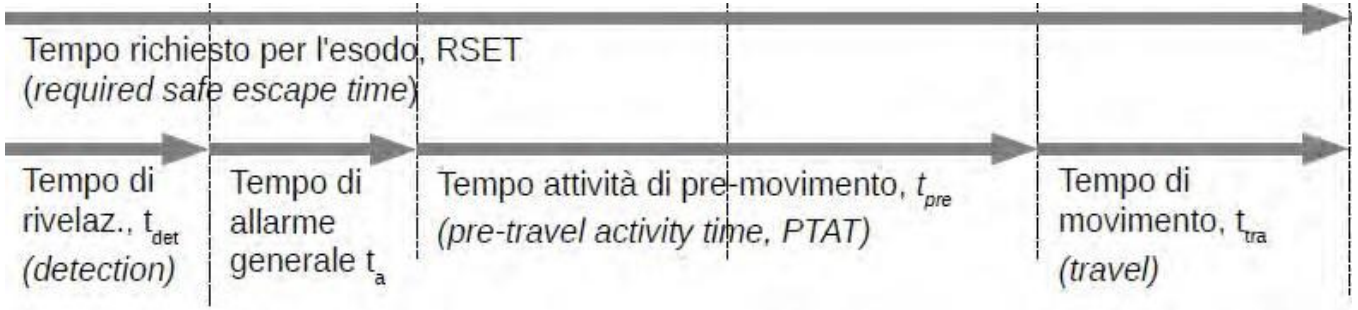
Tabella M.3-1: Esempi di valutazione del tempo di pre-movimento, tratto da ISO TR 16738

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

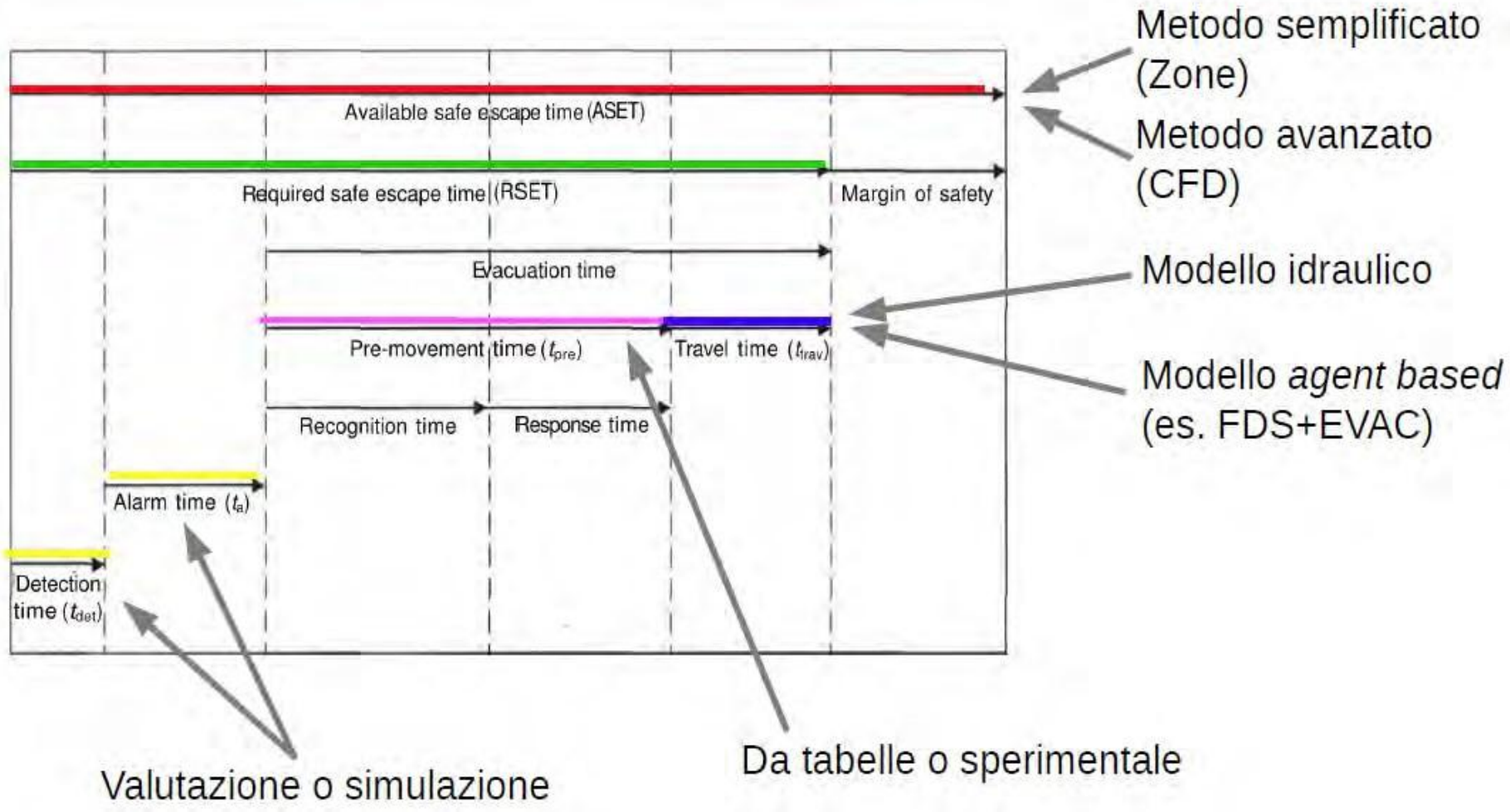
Attualmente si impiegano comunemente due famiglie di modelli per il calcolo del tempo di movimento:

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


Available safe escape time (ASET)
Required safe escape time (RSET)
Margin of safety
Evacuation time
Pre-movement time (t_{pre})
Travel time (t_{trav})
Recognition time
Response time
Alarm time (t_a)
Detection time (t_{det})
Metodo semplificato (Zone)
Metodo avanzato (CFD)
Modello idraulico
Modello *agent based* (es. FDS+EVAC)
Valutazione o simulazione
Da tabelle o sperimentale

Margine di sicurezza

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

t_{marg} = ASET – RSET [s]

Nel confronto tra diverse soluzioni progettuali, il professionista antincendio rende massimo[1] il margine di sicurezza t_{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 $t_{marg} \geq 100\% \cdot$ RSET. In caso di specifiche valutazioni sull'affidabilità dei dati di input impiegati nella progettazione prestazionale, è consentito assumere $t_{marg} \geq 10\% \cdot$ RSET.

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

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 < 100m^2: 5 m	ISO 13571-2012.
		Soccorritori: 5 m Soccorritori n locali di superficie lorda < 100m^2: 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, *fractional effective dose* e FEC, *fractional effective concentration* per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571-2012, limitando a 1,1% gli occupanti incapacitati al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	--
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571-2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m^2	ISO 13571-2012, per esposizioni maggiori di 30 minuti, senza modifica significativa dei tempi di esodo (2,5 kW/m^2).
		Soccorritori: 3 kW/m^2	[1]
[1] Ai fini di questa tabella, per *soccorritori* si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per *hazardous conditions.*			

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]
[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.3-3: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo semplificato

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 agente 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 si 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*

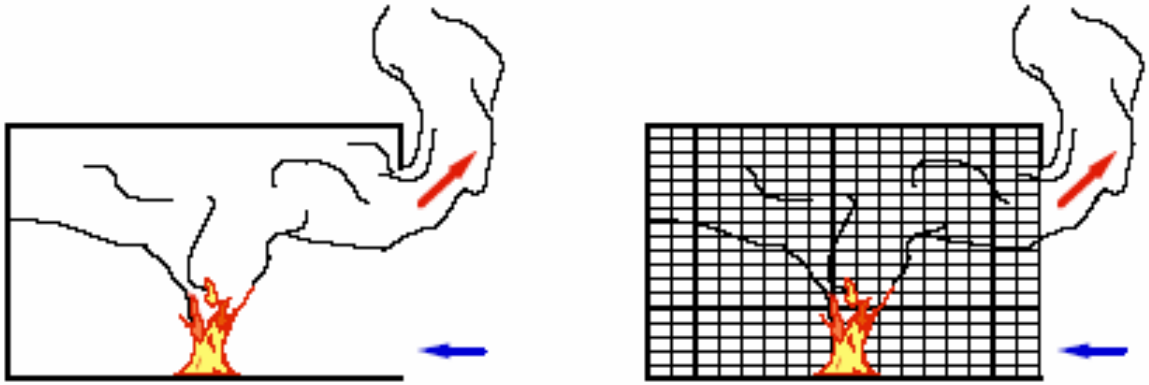
Sistema di gestione della sicurezza antincendio (SGSA)

Specifico documento da presentare all'Organo di controllo fin dalla fase di approvazione del progetto e da sottoporre a verifiche periodiche.

Devono essere valutati ed esplicitati i seguenti elementi:

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

Zone to Field Models



NIST
National Institute of Standards and Technology
Technology Administration, U.S. Department of Commerce

Codici di calcolo

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

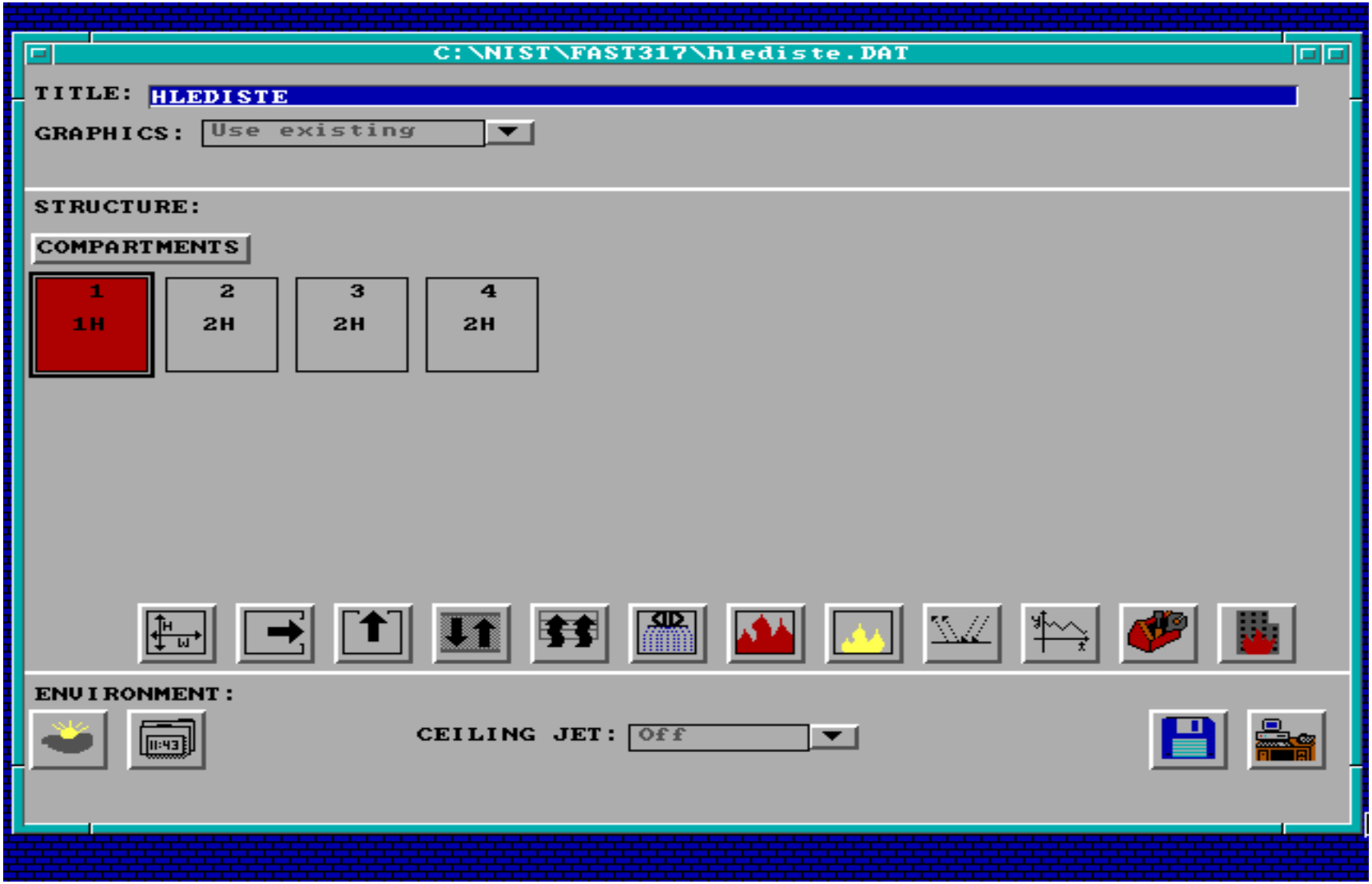
- ***CFAST** (Consolidated Fire and Smoke Transport Model) è un modello a zone sviluppato per valutare gli effetti dell'incendio in termini di evoluzione delle temperature, della propagazione del fumo e dei gas di combustione.*

- ***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*

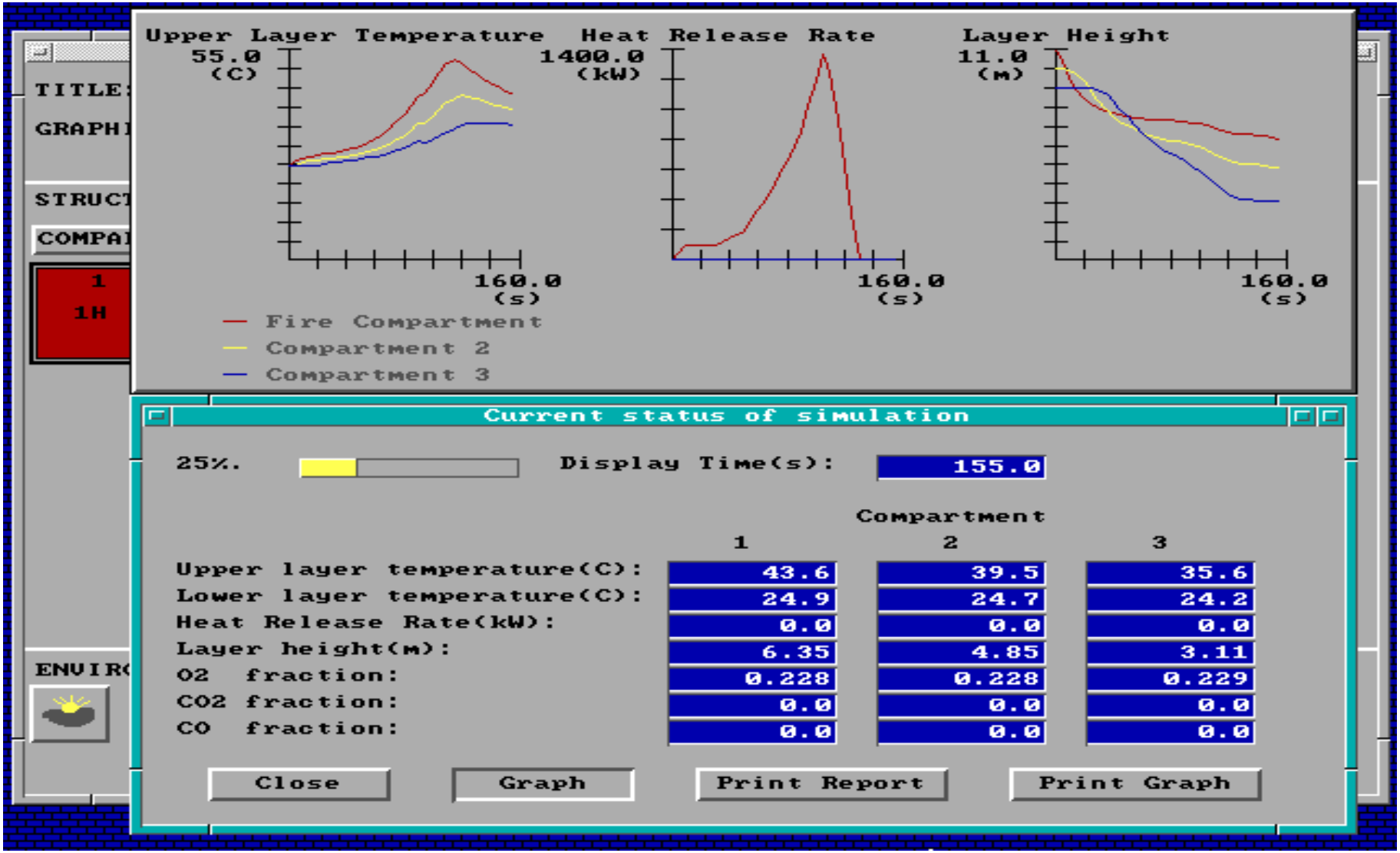
  E' un codice di calcolo fluidodinamico ad elementi finiti (celle)

  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)

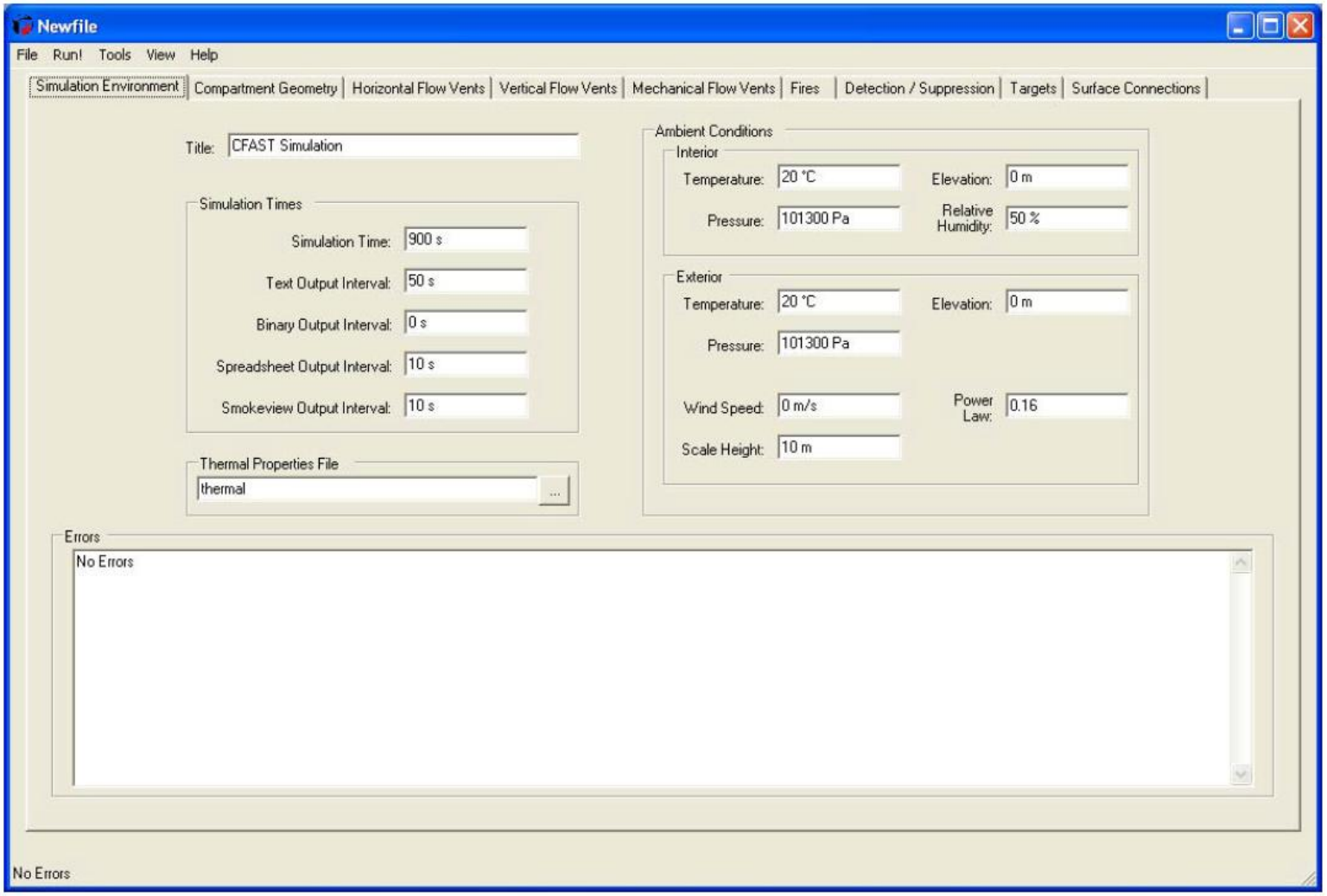


CFAST (modello a zone)

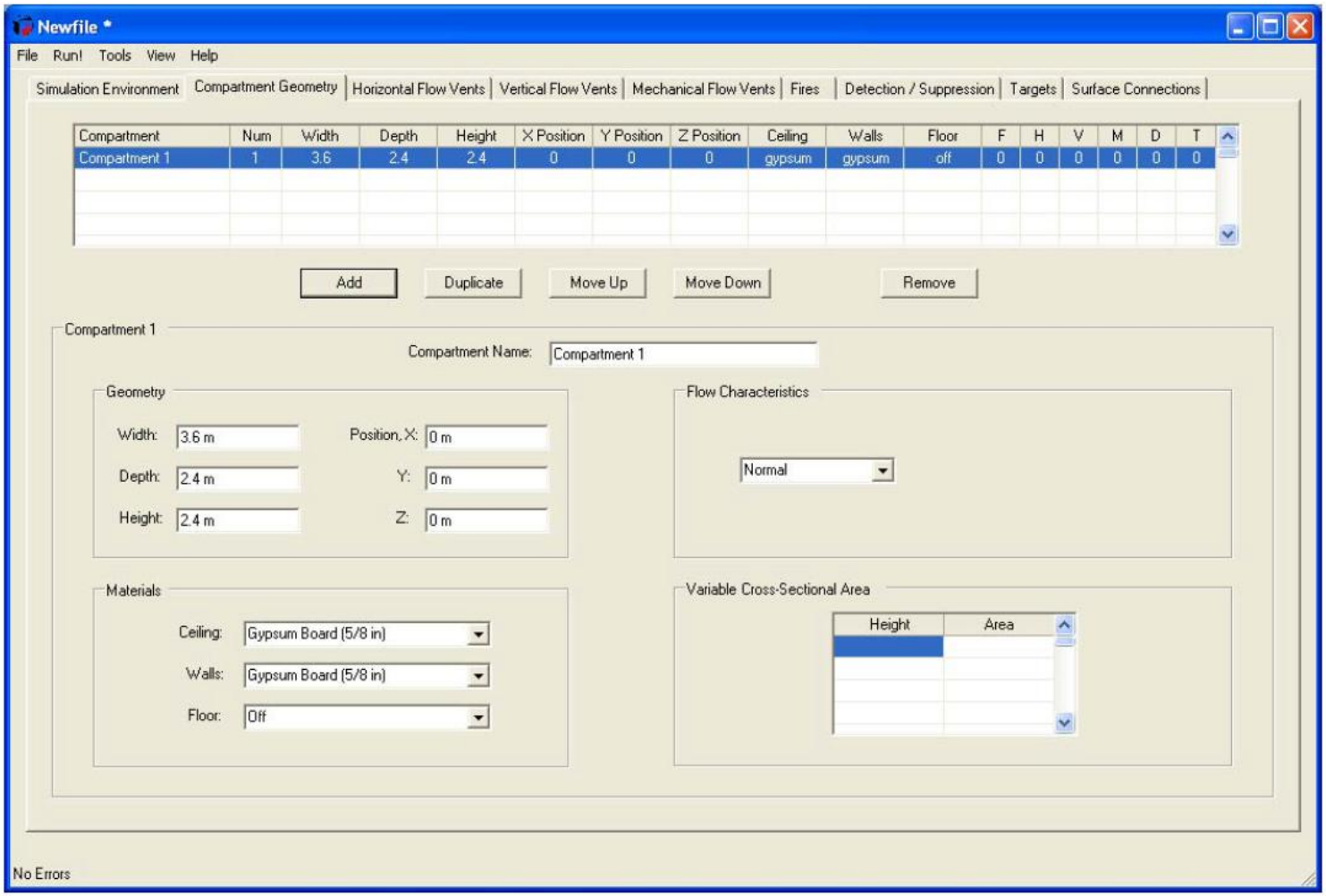


CFAST (modello a zone)

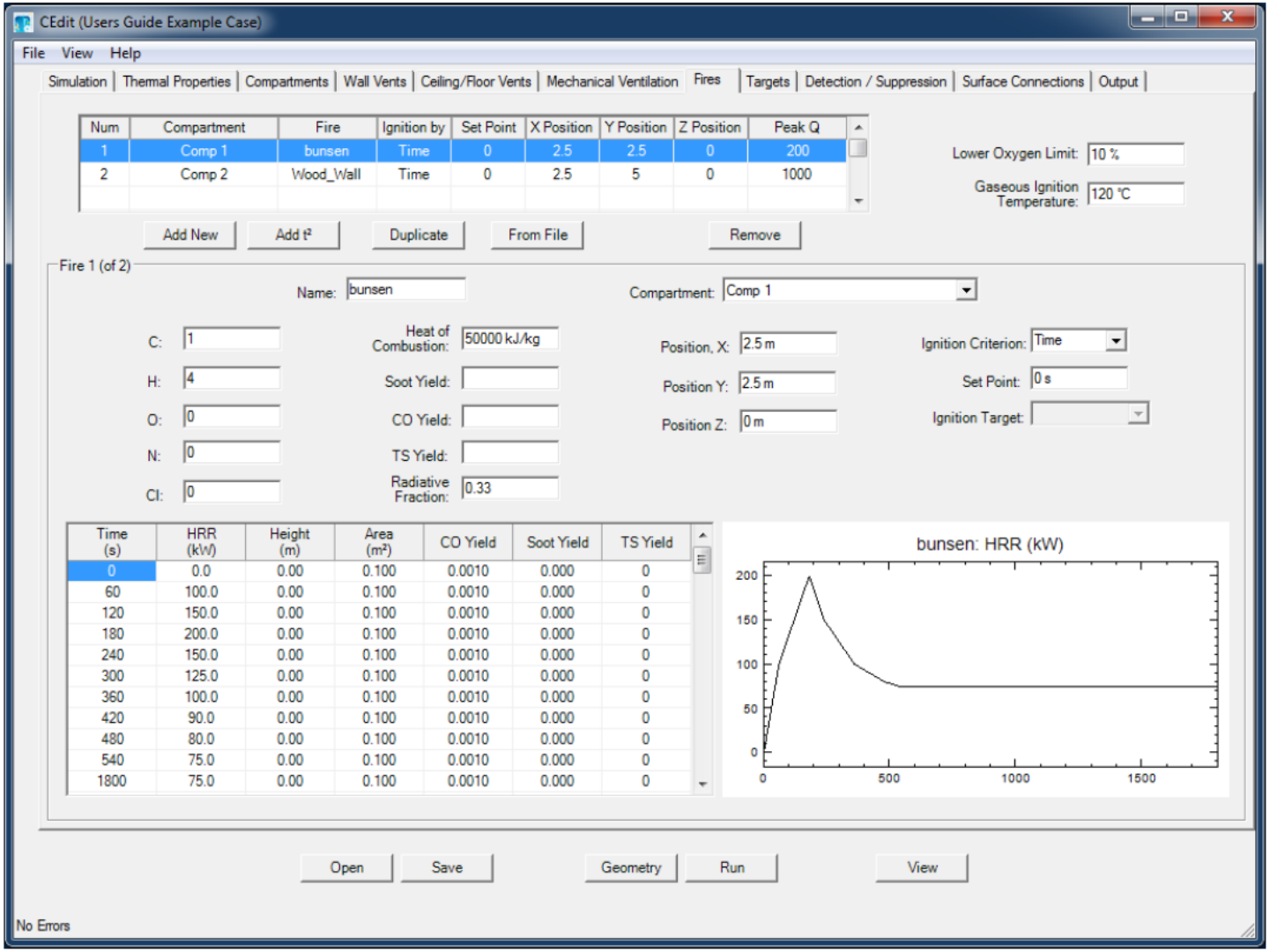
Simulation Environment



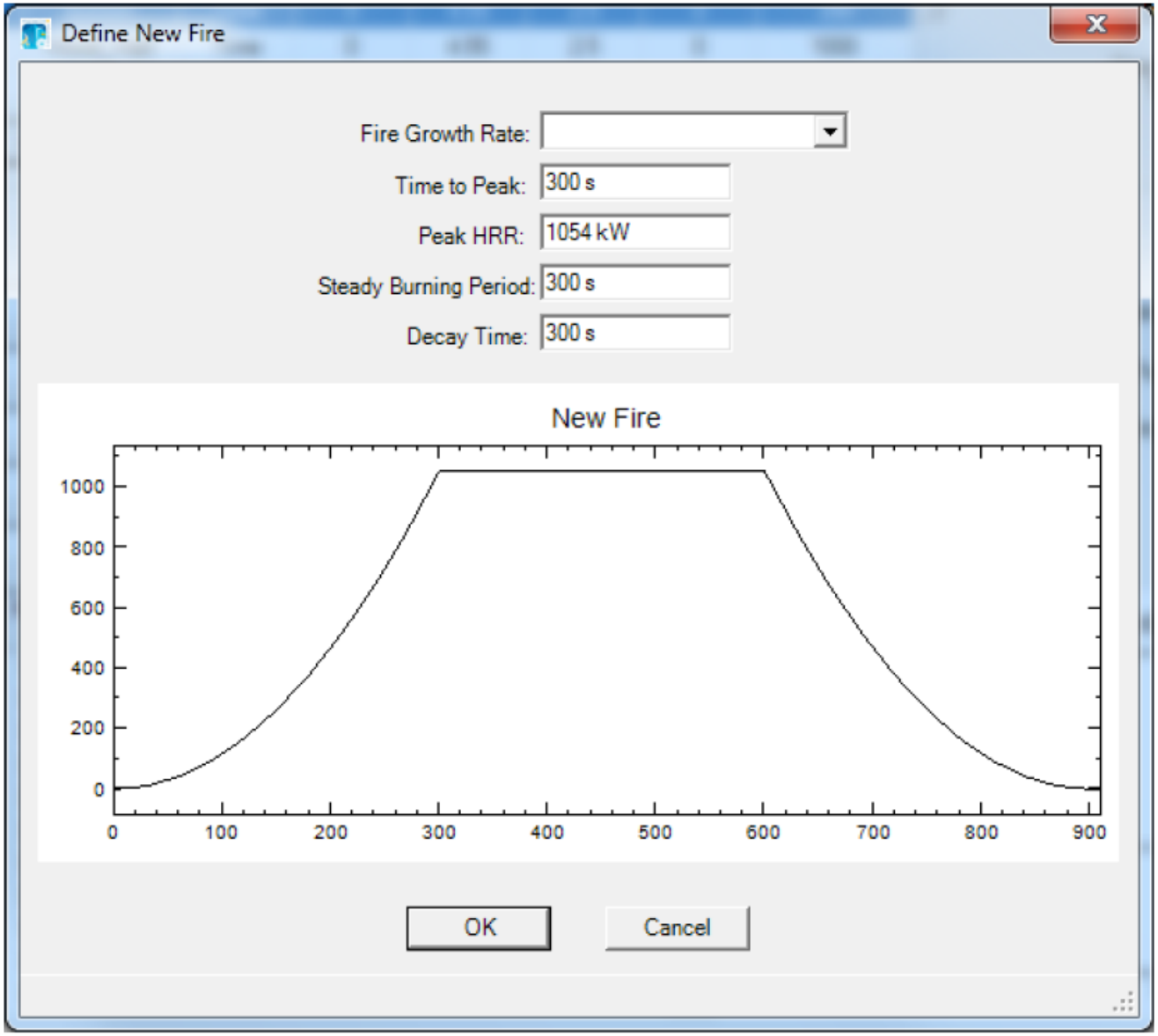
Compartment Geometry



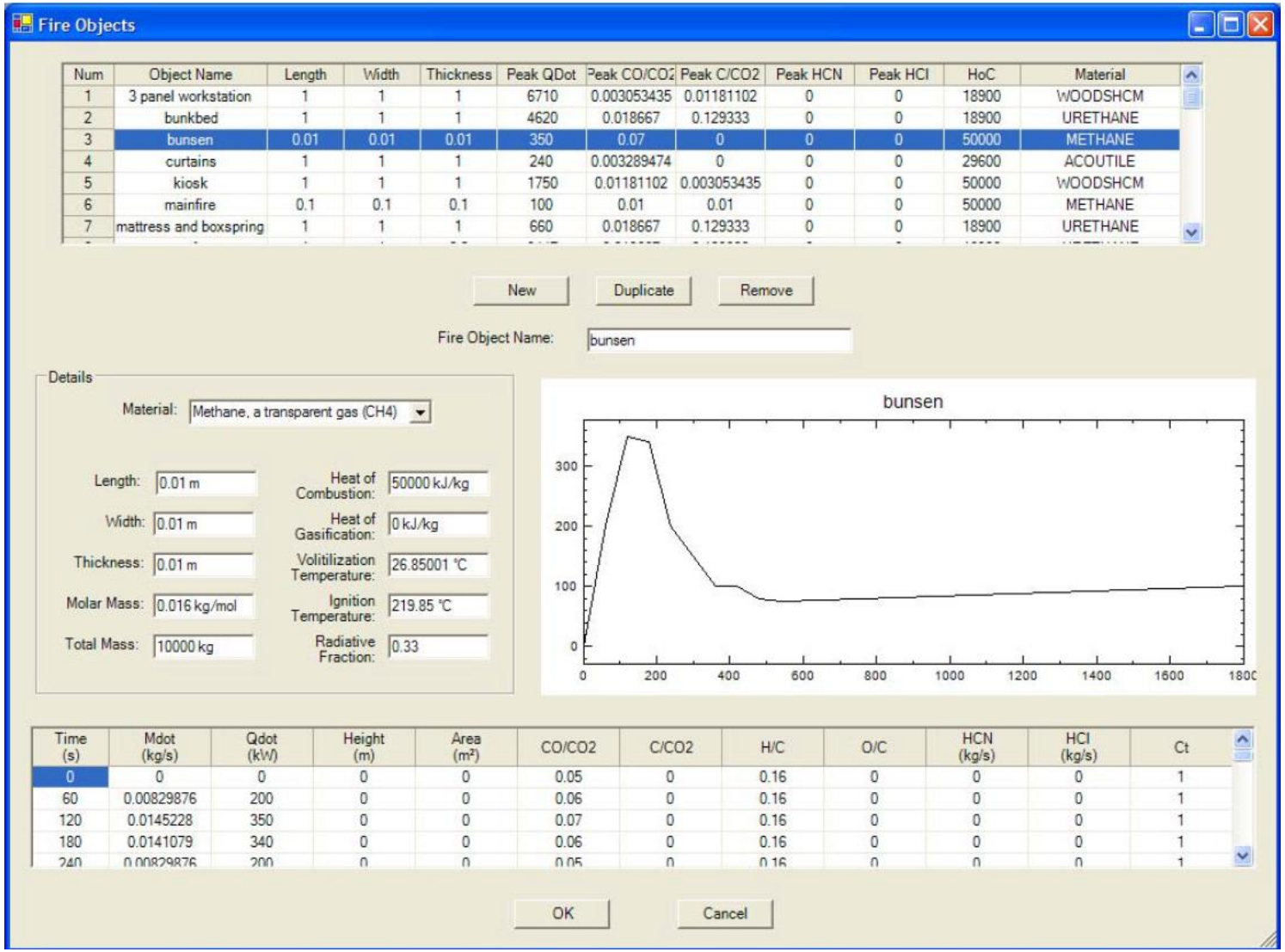
Fires


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
H: 4
O: 0
N: 0
Cl: 0
Heat of Combustion: 50000 kJ/kg
Soot Yield:
CO Yield:
TS Yield:
Radiative Fraction: 0.33
Position, X: 2.5 m
Position Y: 2.5 m
Position Z: 0 m
Ignition Criterion: Time
Set Point: 0 s
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)
200
150
100
50
0
0
500
1000
1500
Open | Save | Geometry | Run | View
No Errors

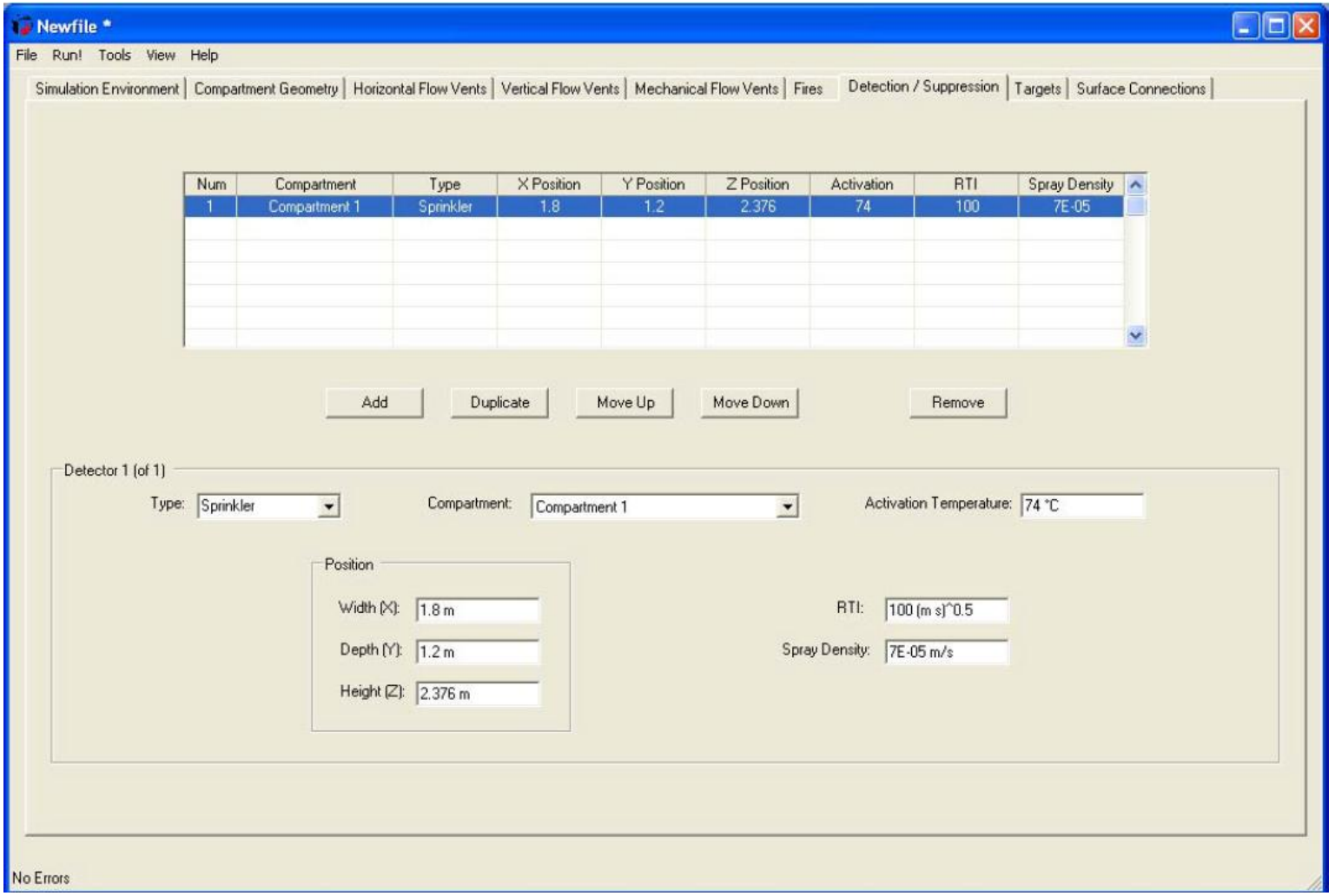
Define fire


Define New Fire
Fire Growth Rate:
Time to Peak: 300 s
Peak HRR: 1054 kW
Steady Burning Period: 300 s
Decay Time: 300 s
New Fire
1000
800
600
400
200
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
OK
Cancel

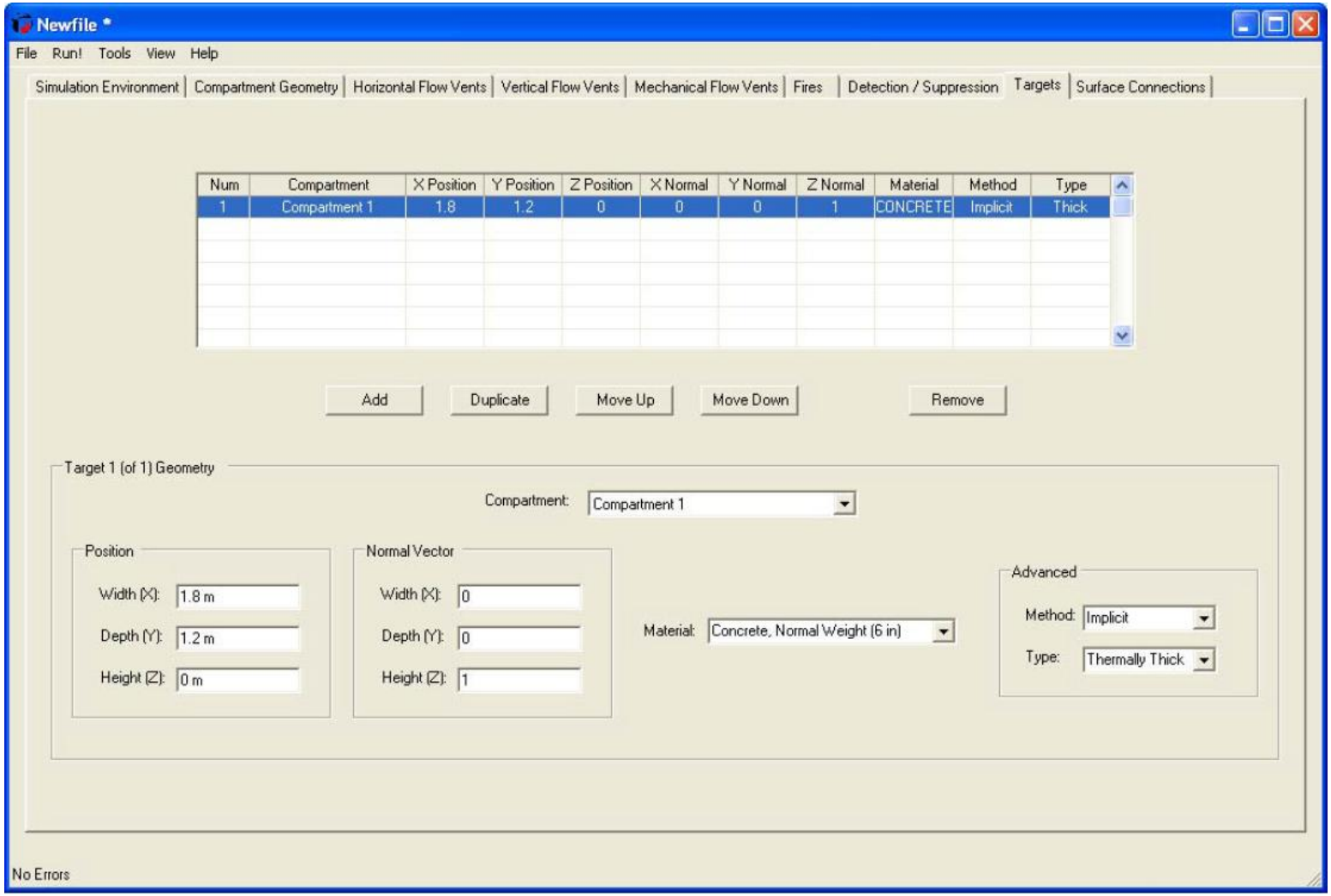
Fire objects



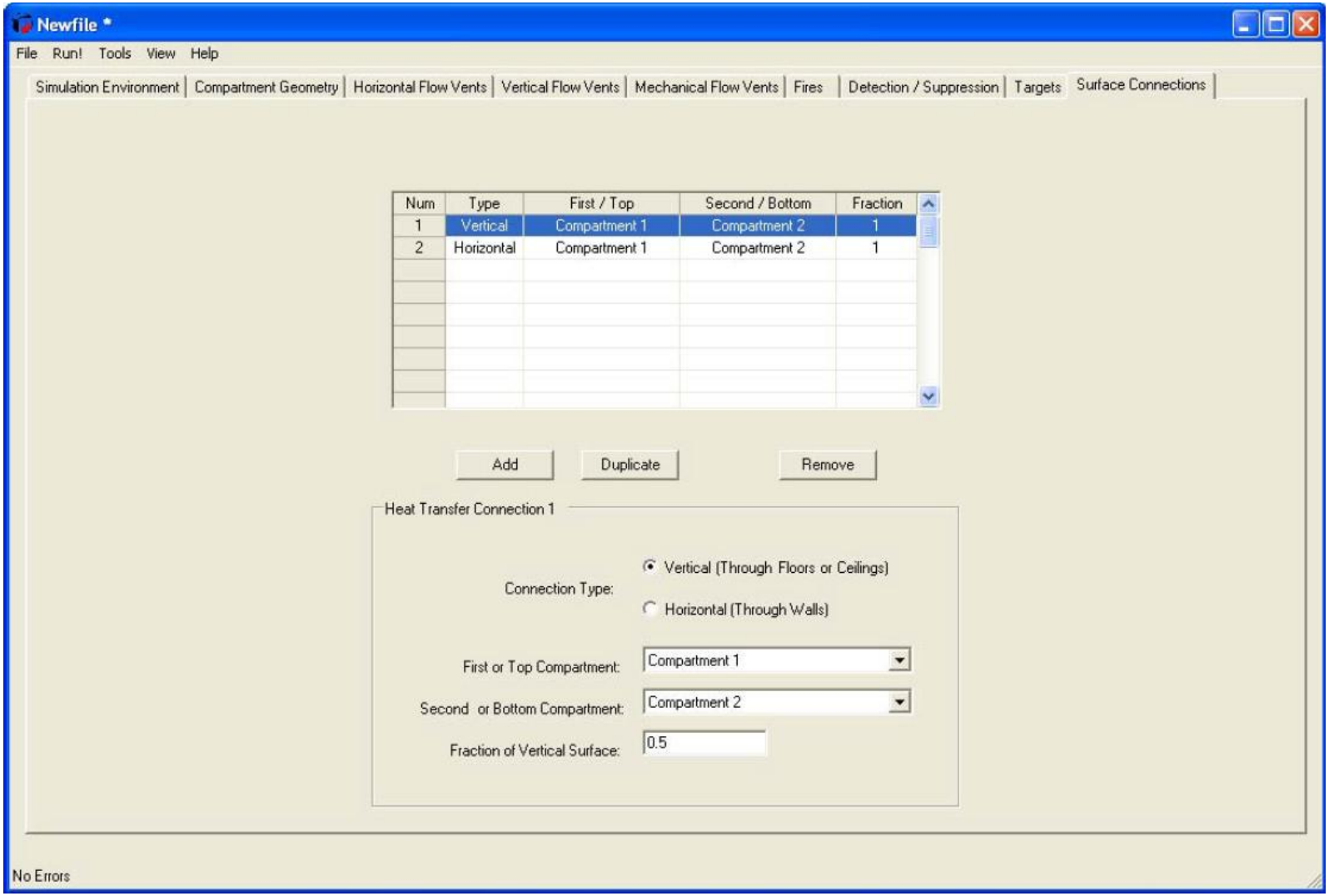
Detection


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)^0.5
Spray Density: 7E-05 m/s
No Errors

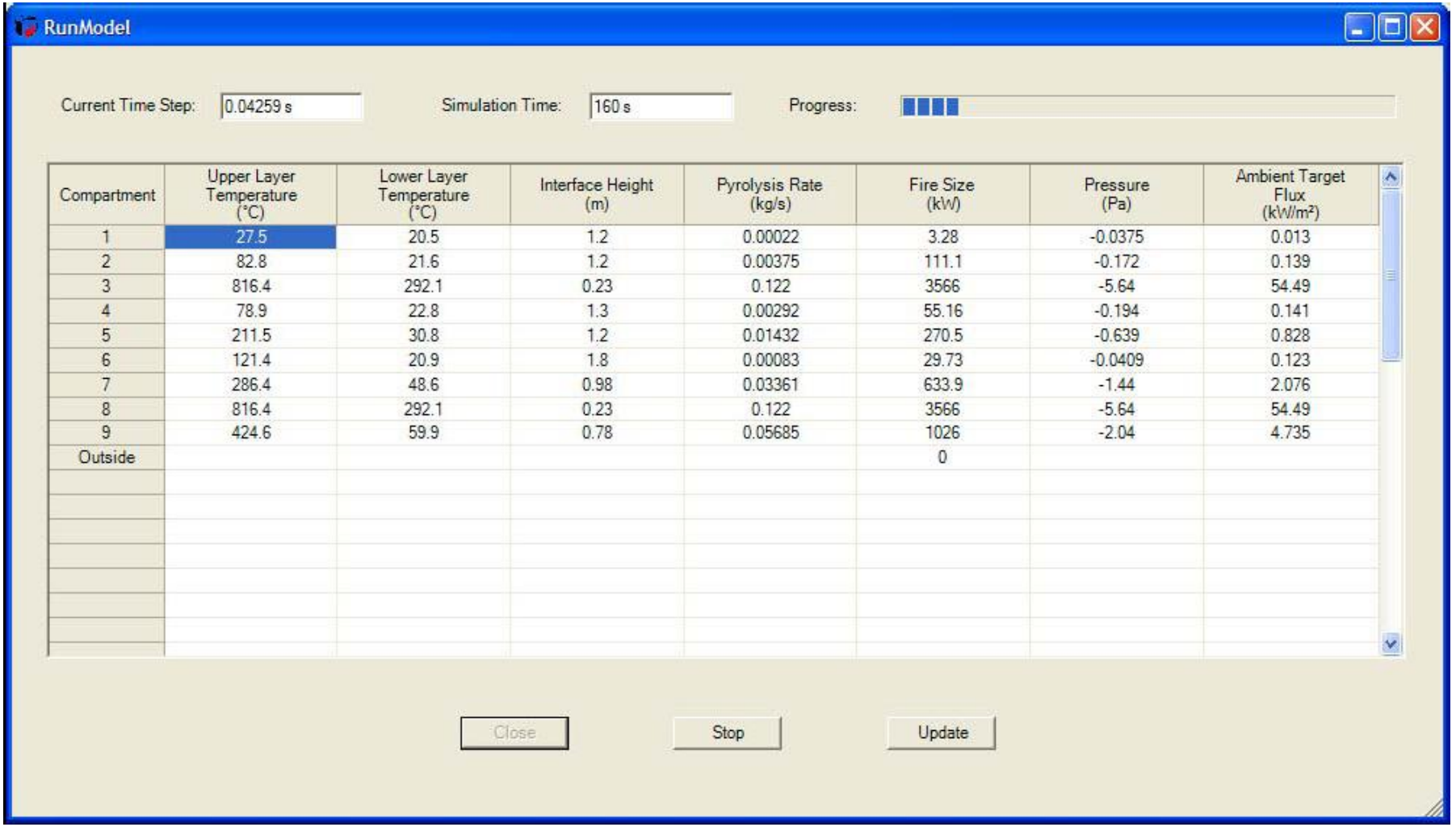
Target


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

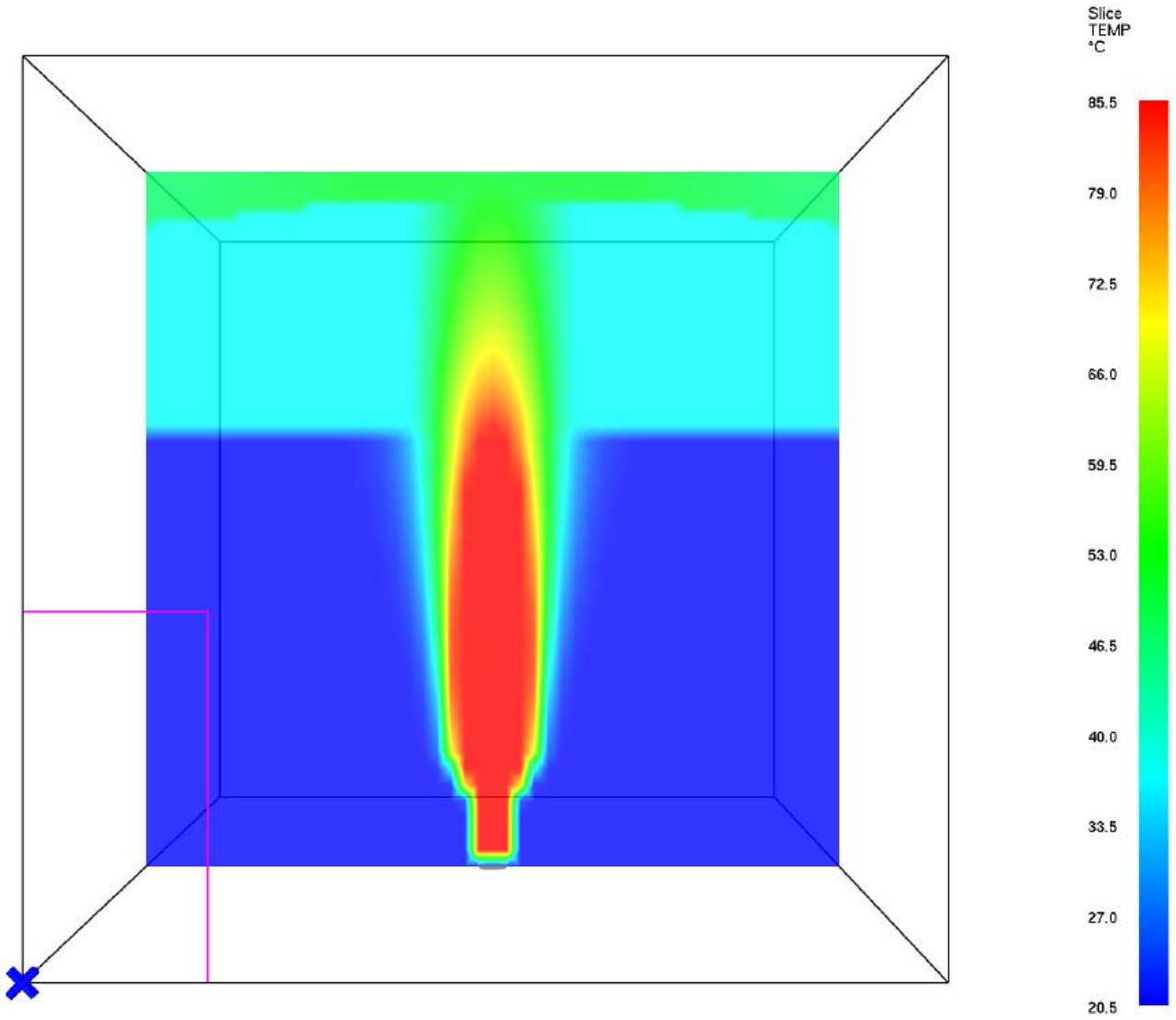


Elaborazione

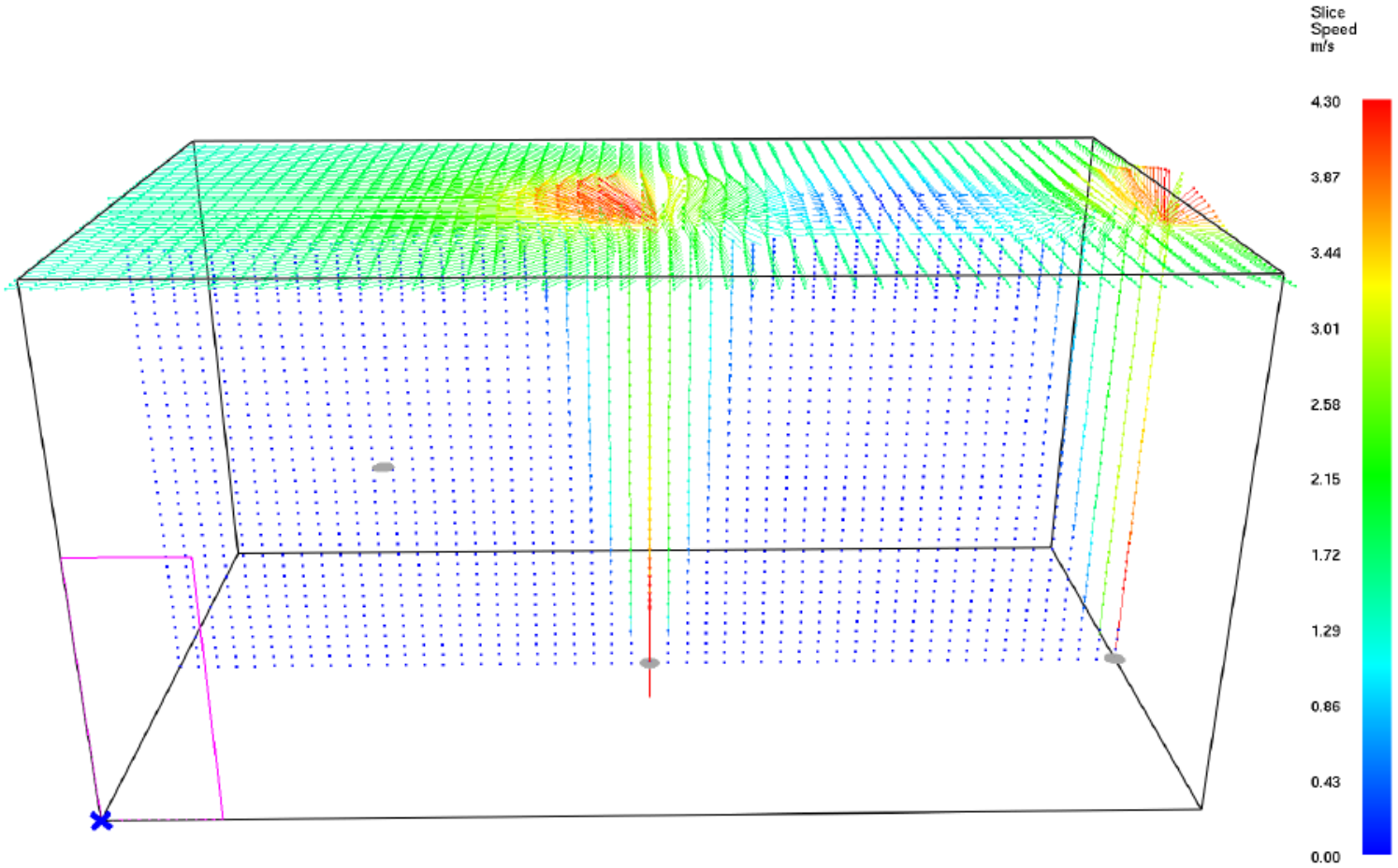


Compartment	Upper Layer Temperature (°C)	Lower Layer Temperature (°C)	Interface Height (m)	Pyrolysis Rate (kg/s)	Fire Size (kW)	Pressure (Pa)	Ambient Target Flux (kW/m²)
1	27.5	20.5	1.2	0.00022	3.28	-0.0375	0.013
2	82.8	21.6	1.2	0.00375	111.1	-0.172	0.139
3	816.4	292.1	0.23	0.122	3566	-5.64	54.49
4	78.9	22.8	1.3	0.00292	55.16	-0.194	0.141
5	211.5	30.8	1.2	0.01432	270.5	-0.639	0.828
6	121.4	20.9	1.8	0.00083	29.73	-0.0409	0.123
7	286.4	48.6	0.98	0.03361	633.9	-1.44	2.076
8	816.4	292.1	0.23	0.122	3566	-5.64	54.49
9	424.6	59.9	0.78	0.05685	1026	-2.04	4.735
Outside					0		

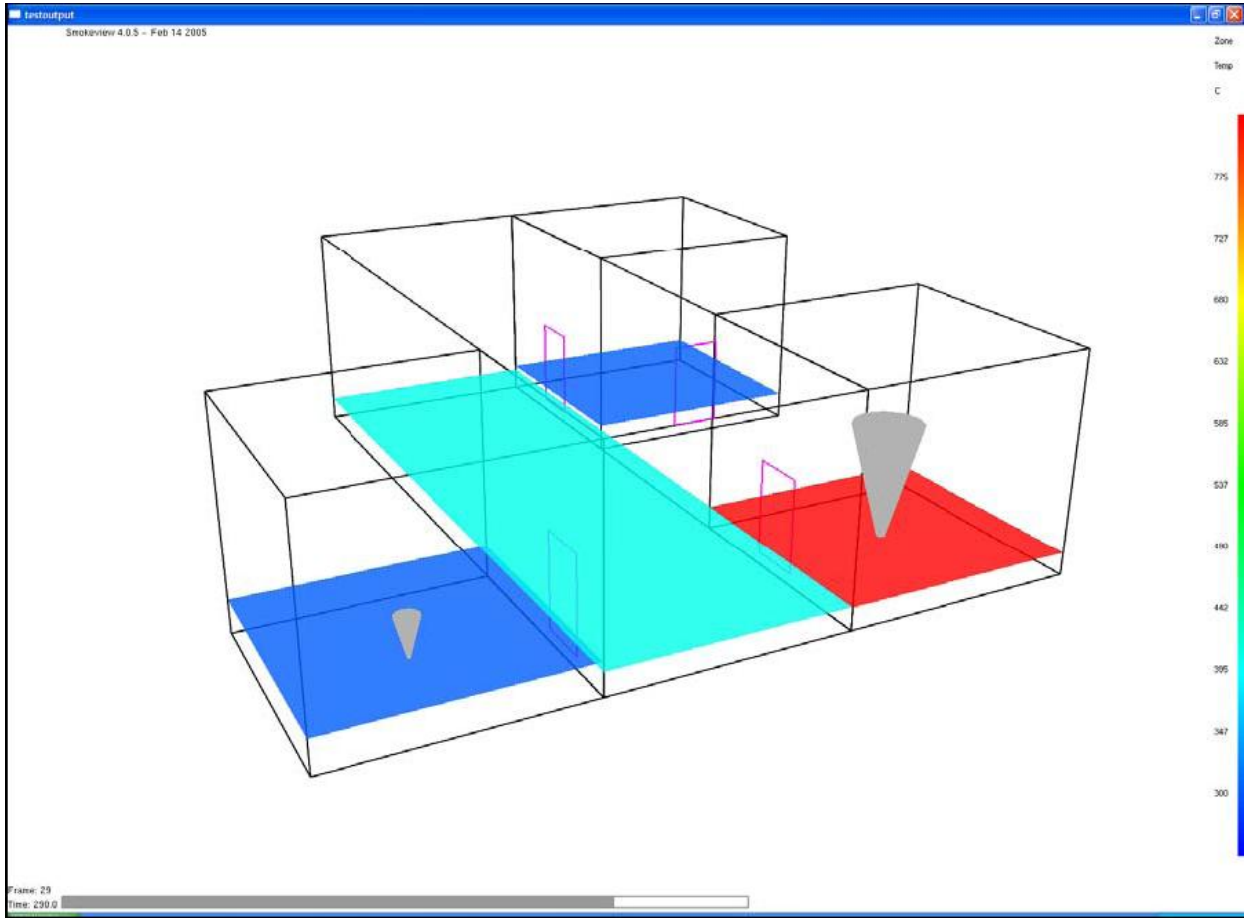
Visualizzazione temperature dei fumi con un fuoco



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

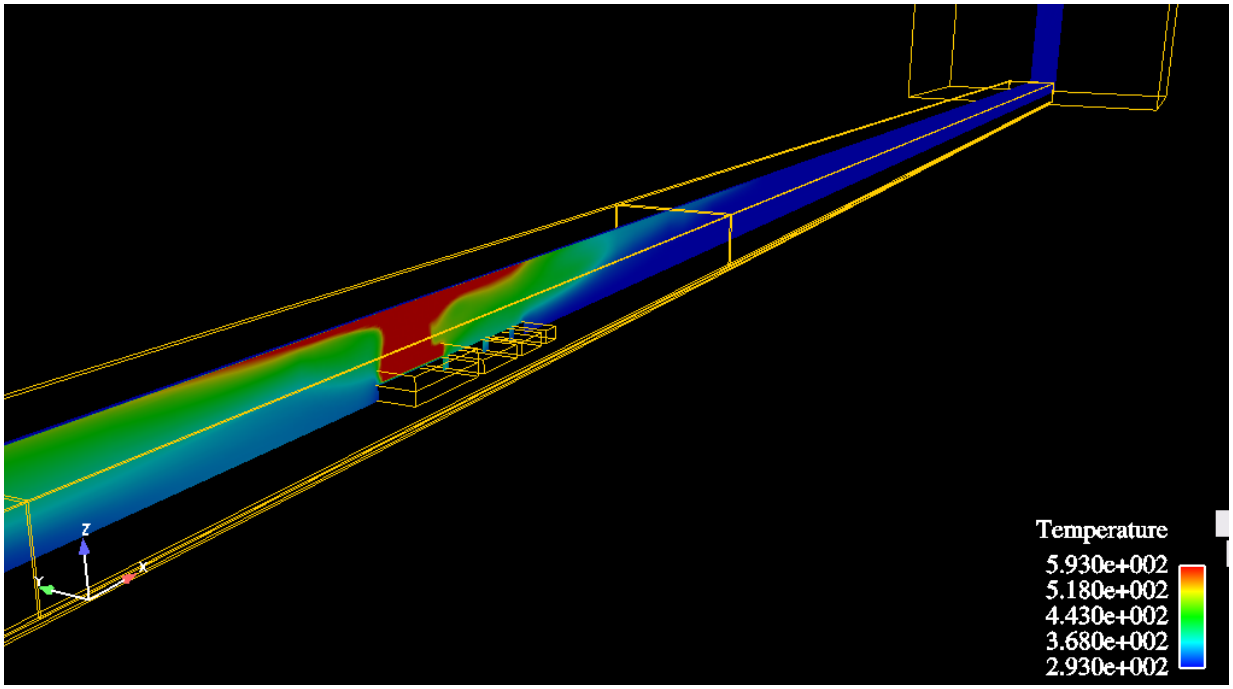
Scenario and Software Limits

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

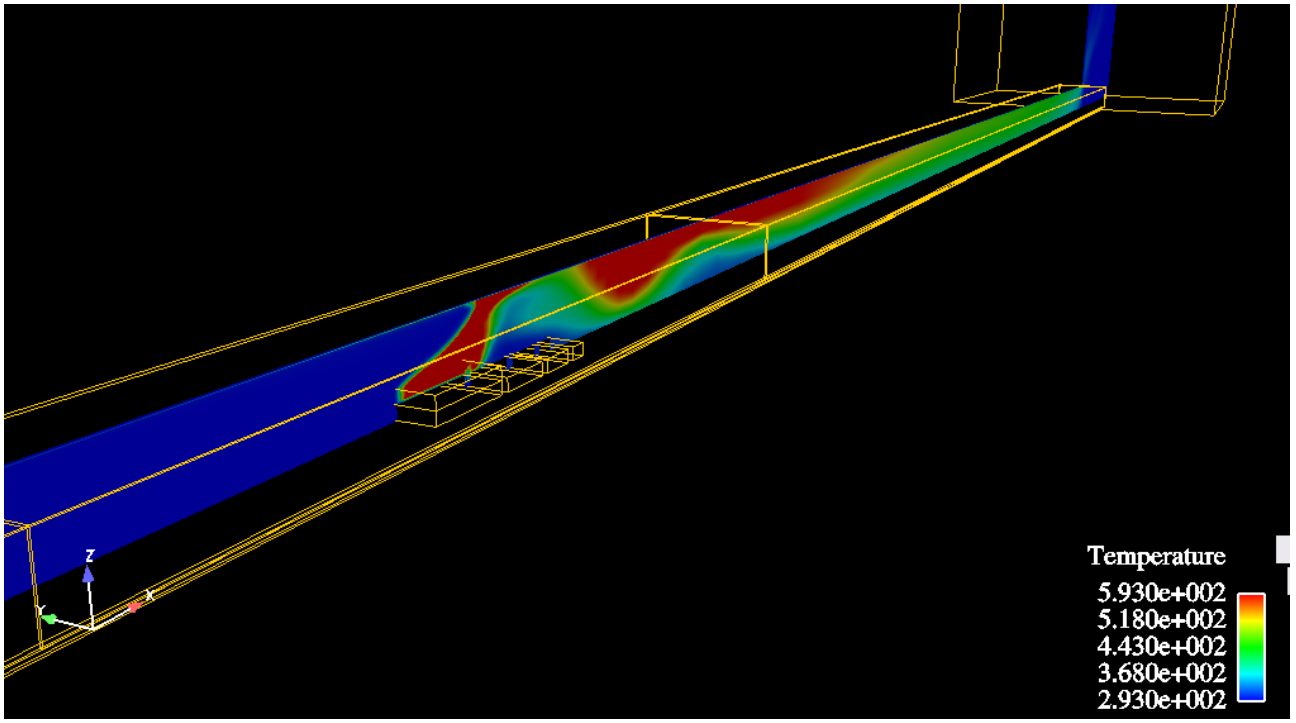
Limiti dei modelli a zone

l'importanza delle reali condizioni fluidodinamiche



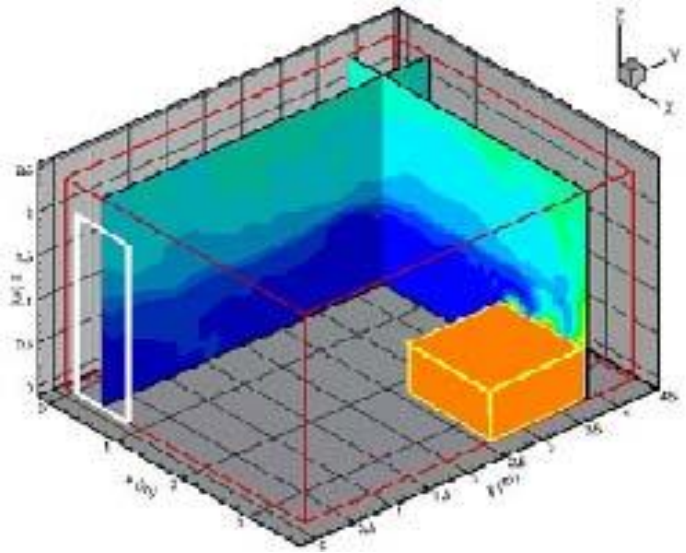
La plume in una prima fase dell'incendio rimane sostanzialmente verticale. In questo caso non è credibile ipotizzare due zone con caratteristiche termiche e chimiche costanti.

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).***

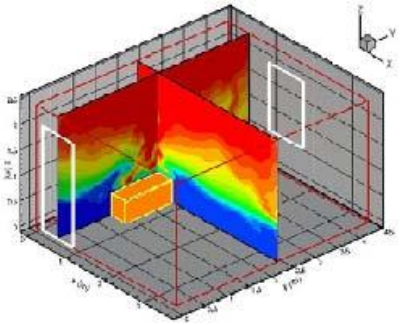


Nel tempo la situazione cambia completamente

Modelli di campo

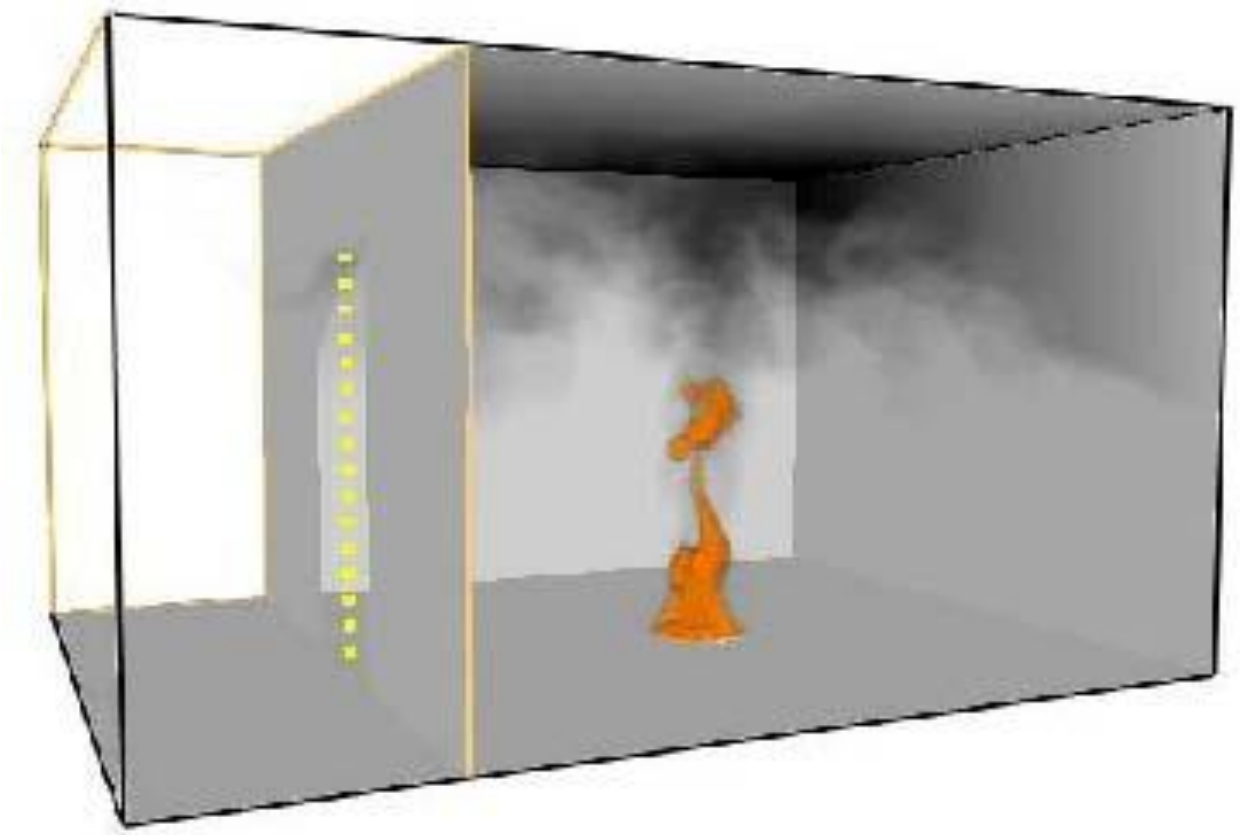


Devono essere inseriti i dati suddividendo l'ambiente in celle elementari



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

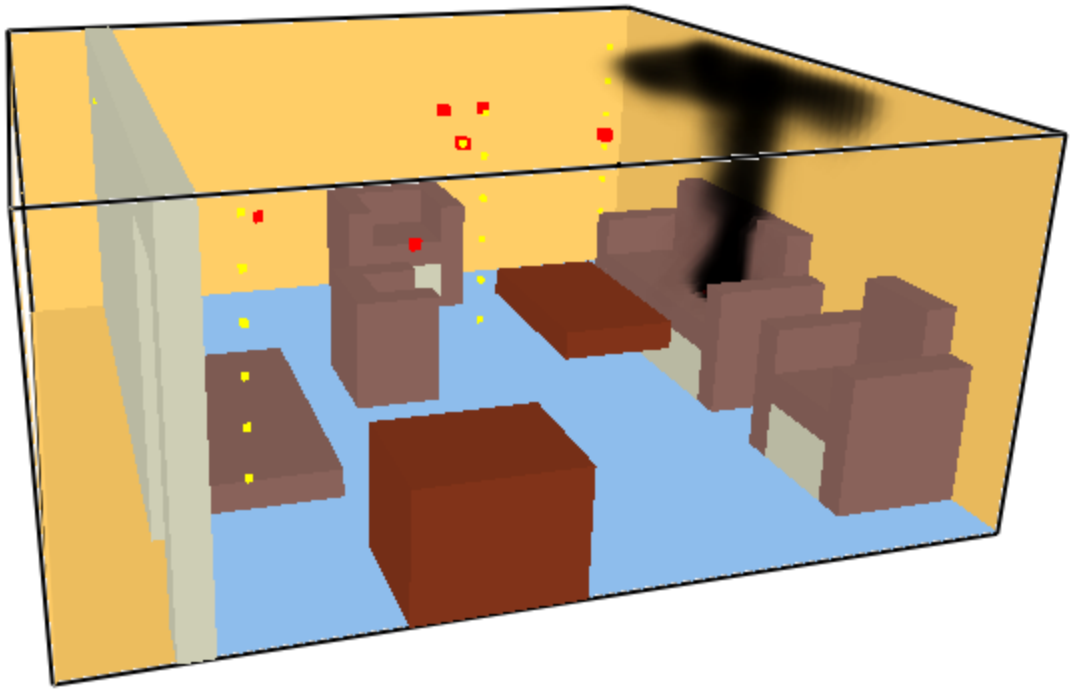
Simulazione con FDS e Smokeview



Play Help

Smokeview 4.0.6 - Sep 15 2005

Simulazione con FDS e Smokeview



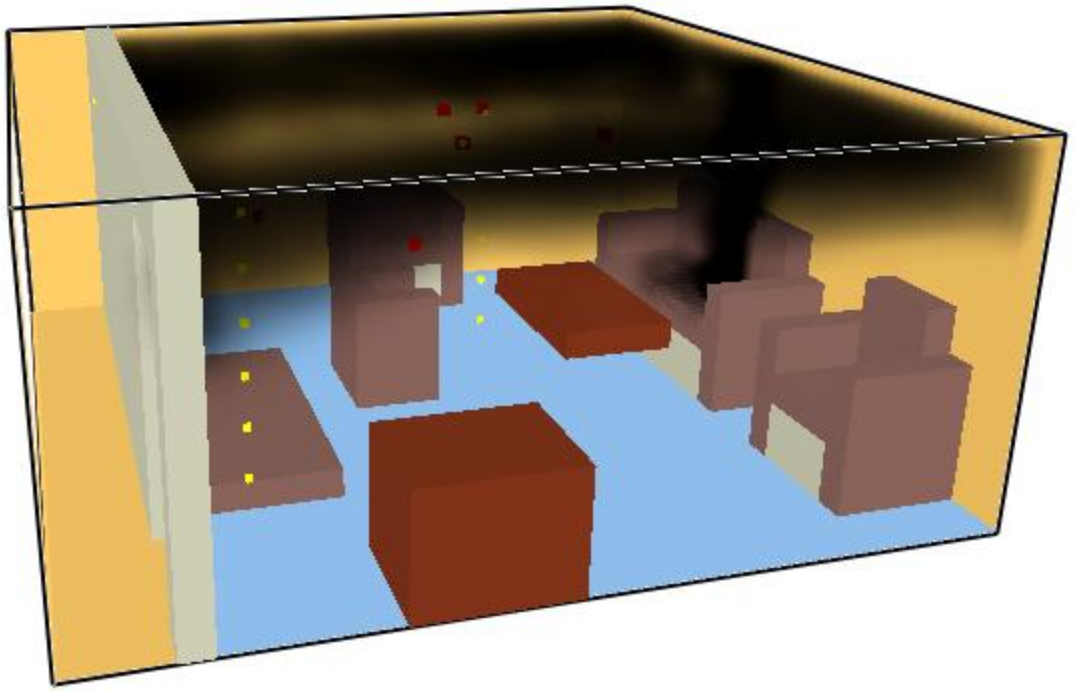
Frame: 10
Time: 2.5

Paused 00:00/03

Play Help

Smokeview 4.0.6 - Sep 15 2005

Simulazione con FDS e Smokeview



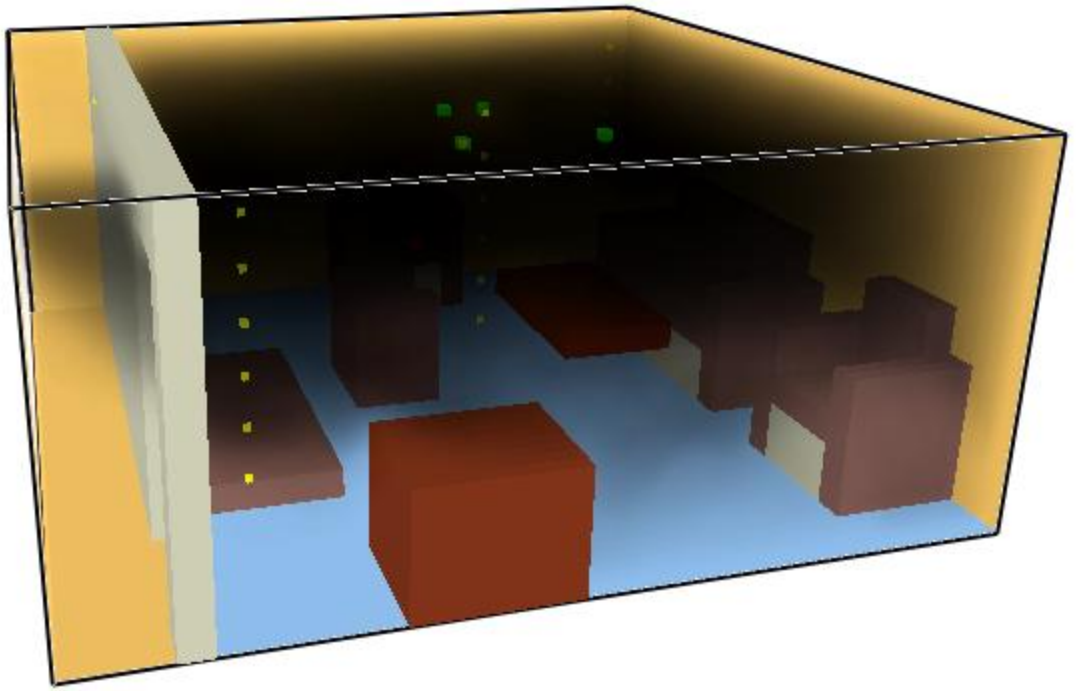
Frame: 41
Time: 10.3

Paused 00:02/03

Play Help

Smokeview 4.0.6 - Sep 15 2005

Simulazione con FDS e Smokeview



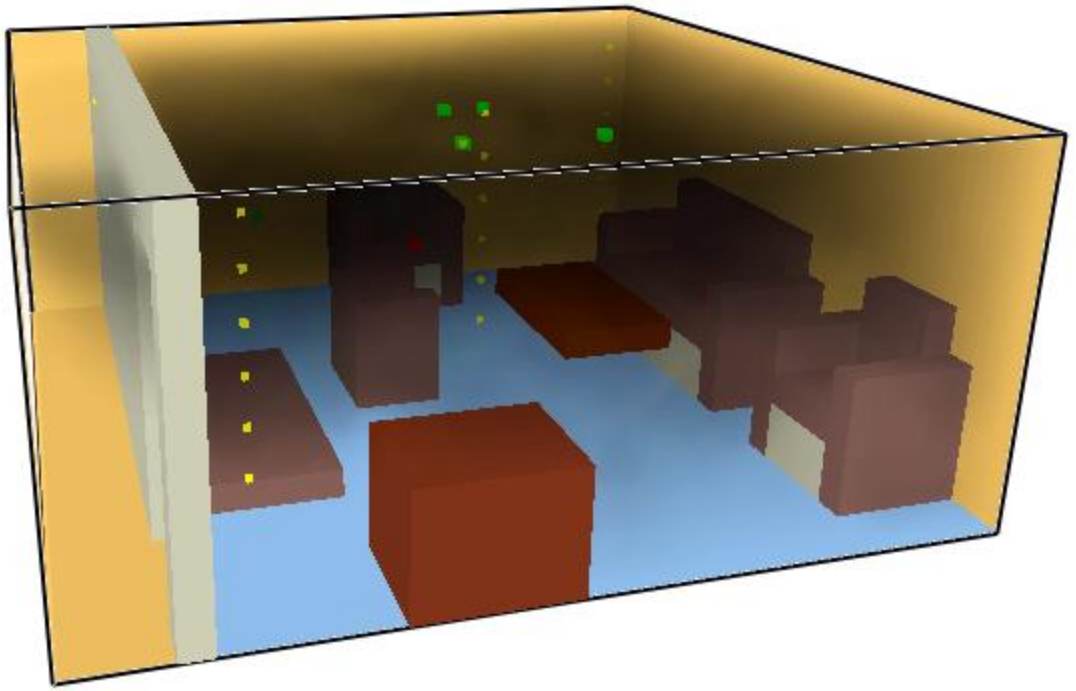
Frame: 2587
Time: 646.8

Paused 02:42/03

Play Help

Smokeview 4.0.6 - Sep 15 2005

Simulazione con FDS e Smokeview



Frame: 3010
Time: 752.5

Playing 03:08/03