

## Rappresentazione incendi curve parametriche :

### APPROCCIO PRESTAZIONALE

### Curve naturali di incendio

Esistono vari metodi per determinare le curve di incendio naturale. Il metodo più semplice è quello delle **curve parametriche**, che rappresentano l'andamento delle temperature medie in un ambiente confinato.

La loro determinazione è basata sulla conoscenza dei seguenti parametri:

1. **geometria dell'ambiente;**
2. **fattore di ventilazione;**
3. **inerzia termica delle pareti;**
4. **carico di incendio;**

Sono espressioni di natura semi-empirica date dal solo equilibrio energetico raggiunto all'interno del compartimento nella fase post-flash over.

Hanno un campo di applicazione assai limitato.

# Rappresentazione incendi curve parametriche :

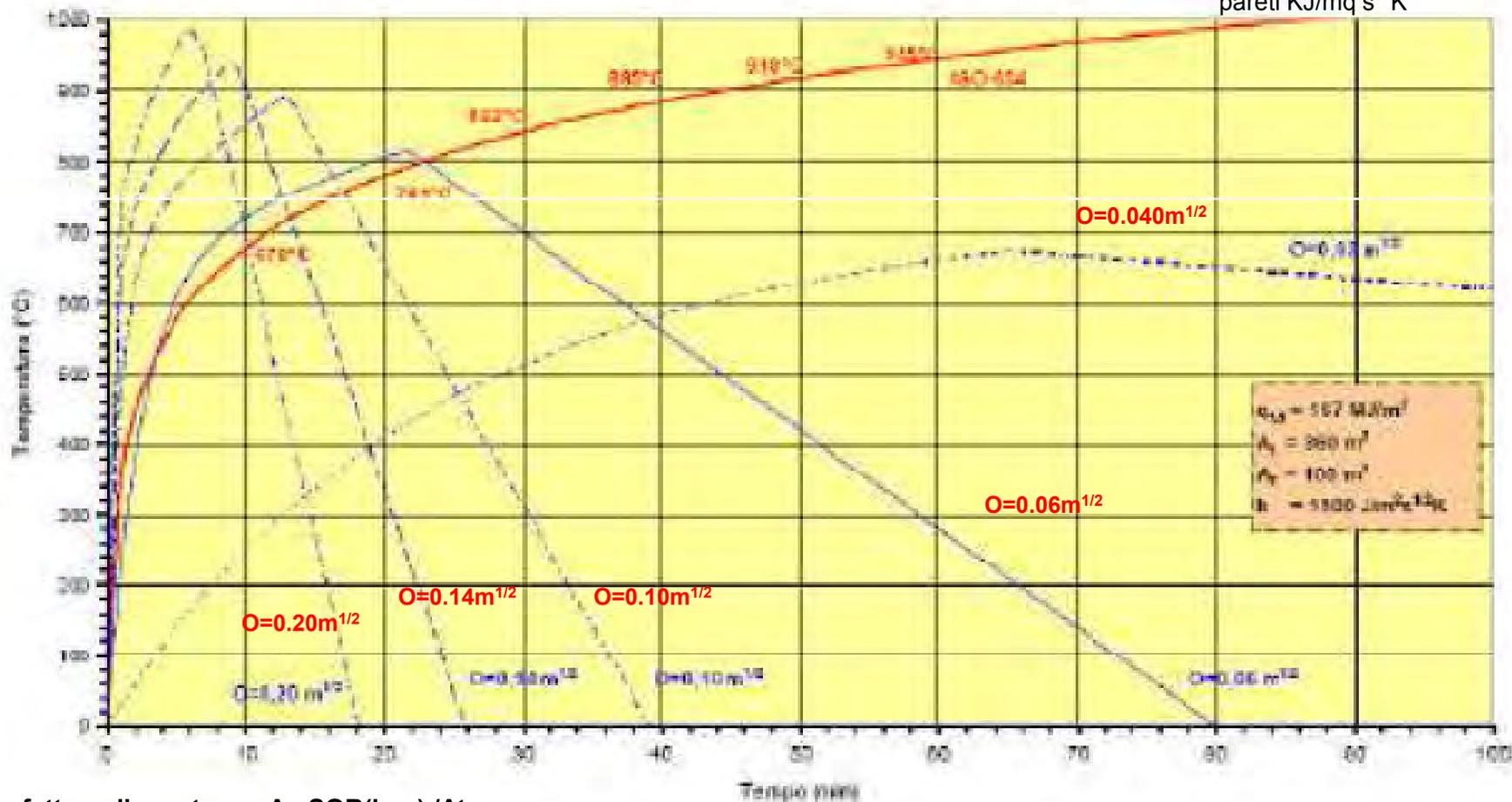
## APPROCCIO PRESTAZIONALE

### Curve naturali di incendio

Confronto tra curve parametriche di EC1 e curve standard

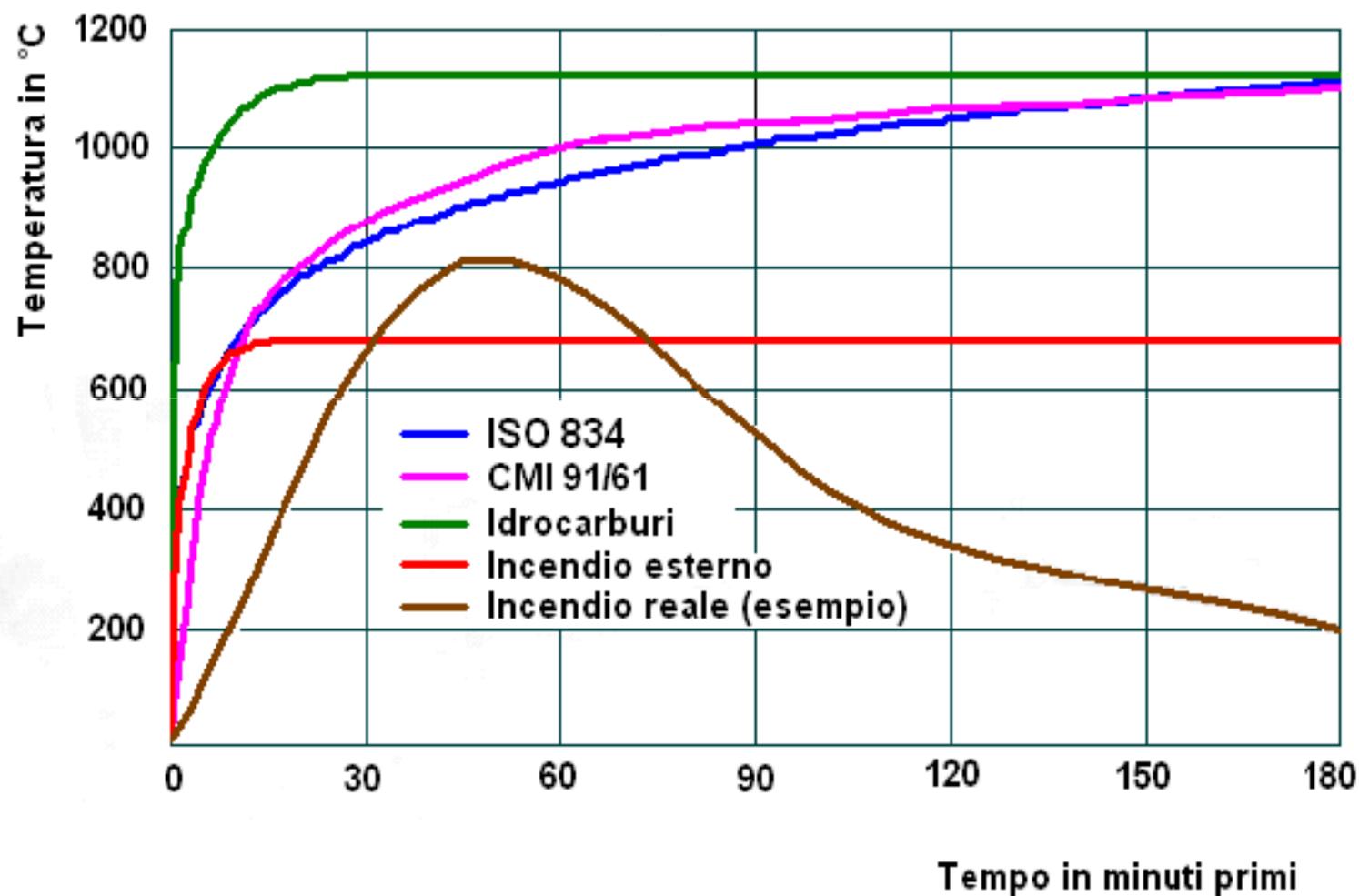
Variation T-t al variare di O con b, qfd, At e Af prefissati

**qfd**: valore di progetto del carico d'incendio specifico relativo all'area in pianta **Af** del pavimento (MJ/mq);  
**At**: area totale del compartimento  
**b**: inerzia termica delle pareti KJ/mq s °K



**O**= fattore di apertura =  $A_v \text{ SQR}(\text{heq}) / A_t$  con:  
**A<sub>v</sub>** area totale delle aperture verticali sulle pareti  
**heq** media pesata delle altezze delle finestre sulle pareti  
**A<sub>t</sub>** area totale del compartimento

## Raffronto delle curve d'incendio normalizzate APPROCCIO PRESCRITTIVO - PRESTAZIONALE



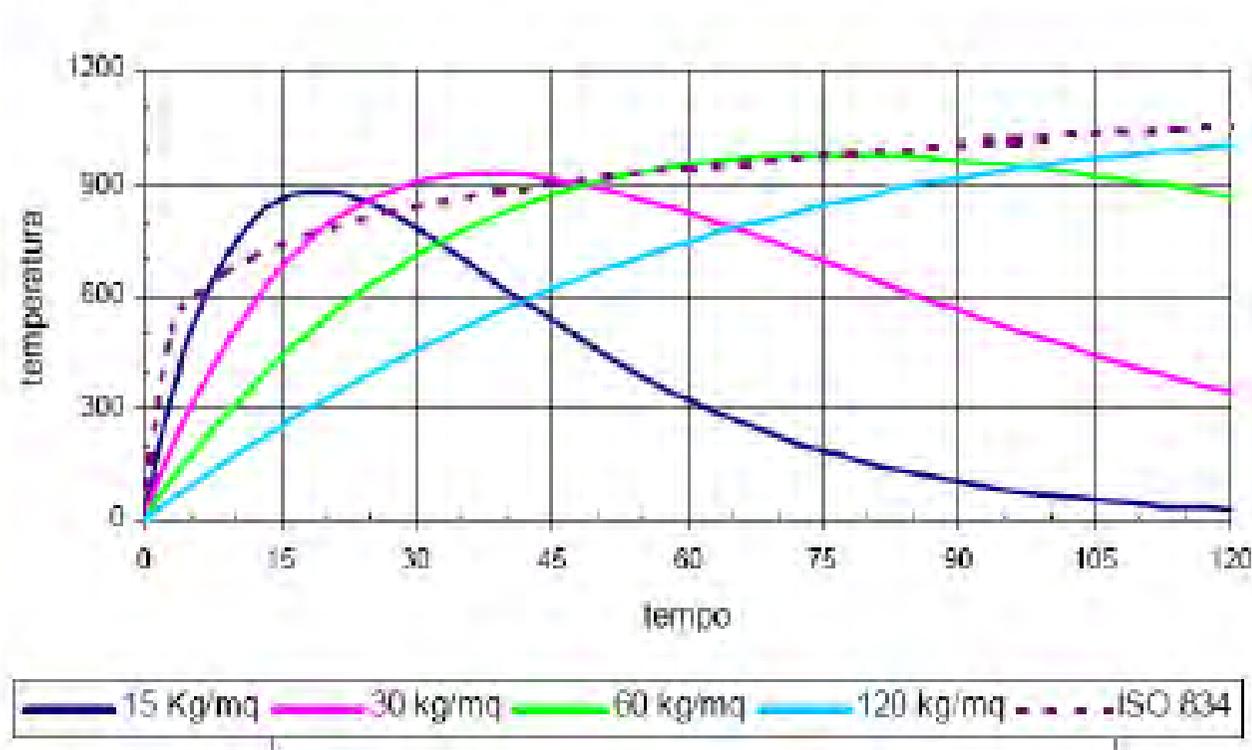
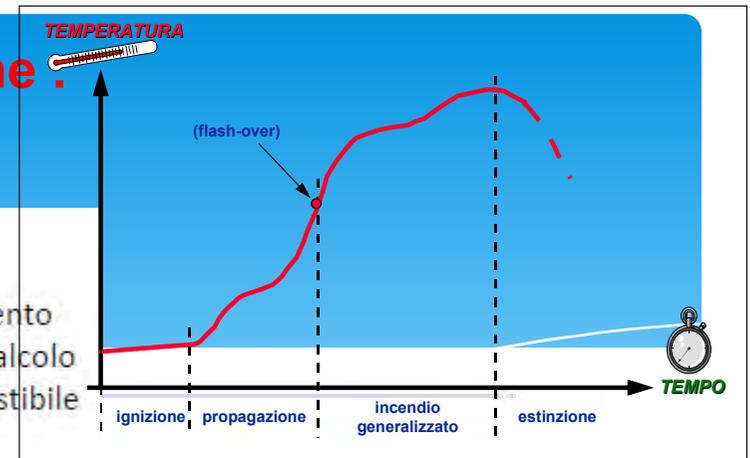
L'intervallo di tempo di esposizione è specificato in funzione della classe di resistenza al fuoco desiderata, senza alcuna fase di raffreddamento

# Rappresentazione incendi curve parametriche .

## APPROCCIO PRESTAZIONALE

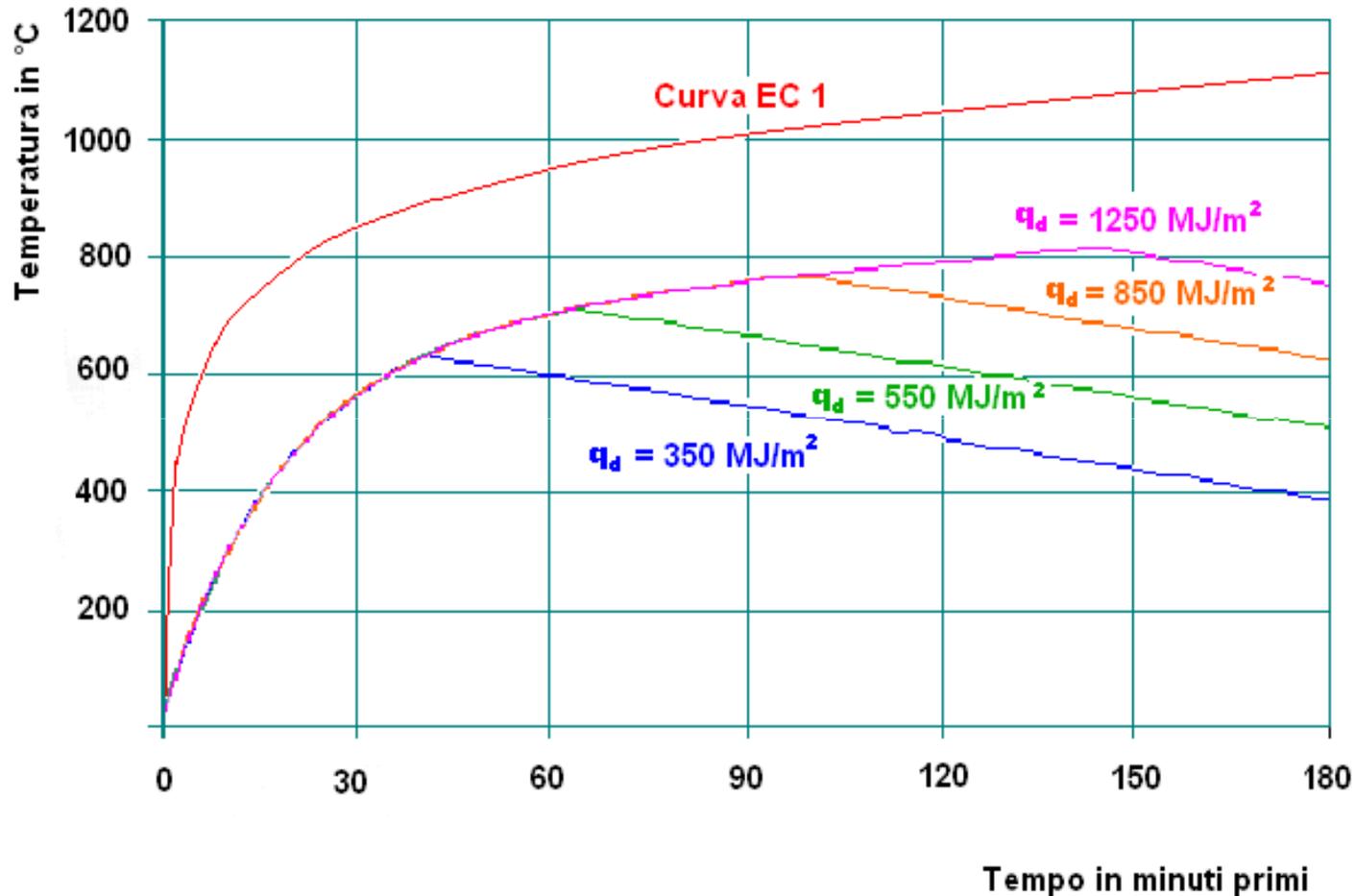
Curva naturale d'incendio

Si tiene conto dell'intera durata dell'incendio, compresa la fase di raffreddamento fino al ritorno alla temperatura ambiente, la curva è ottenuta con modelli di calcolo di comprovata attendibilità che tengano conto delle caratteristiche del combustibile e di quelle del compartimento.



Andamento delle temperature a parità di condizioni di ventilazione con carichi d'incendio variabili in un compartimento

# Rappresentazione incendi curve parametriche : APPROCCIO PRESTAZIONALE

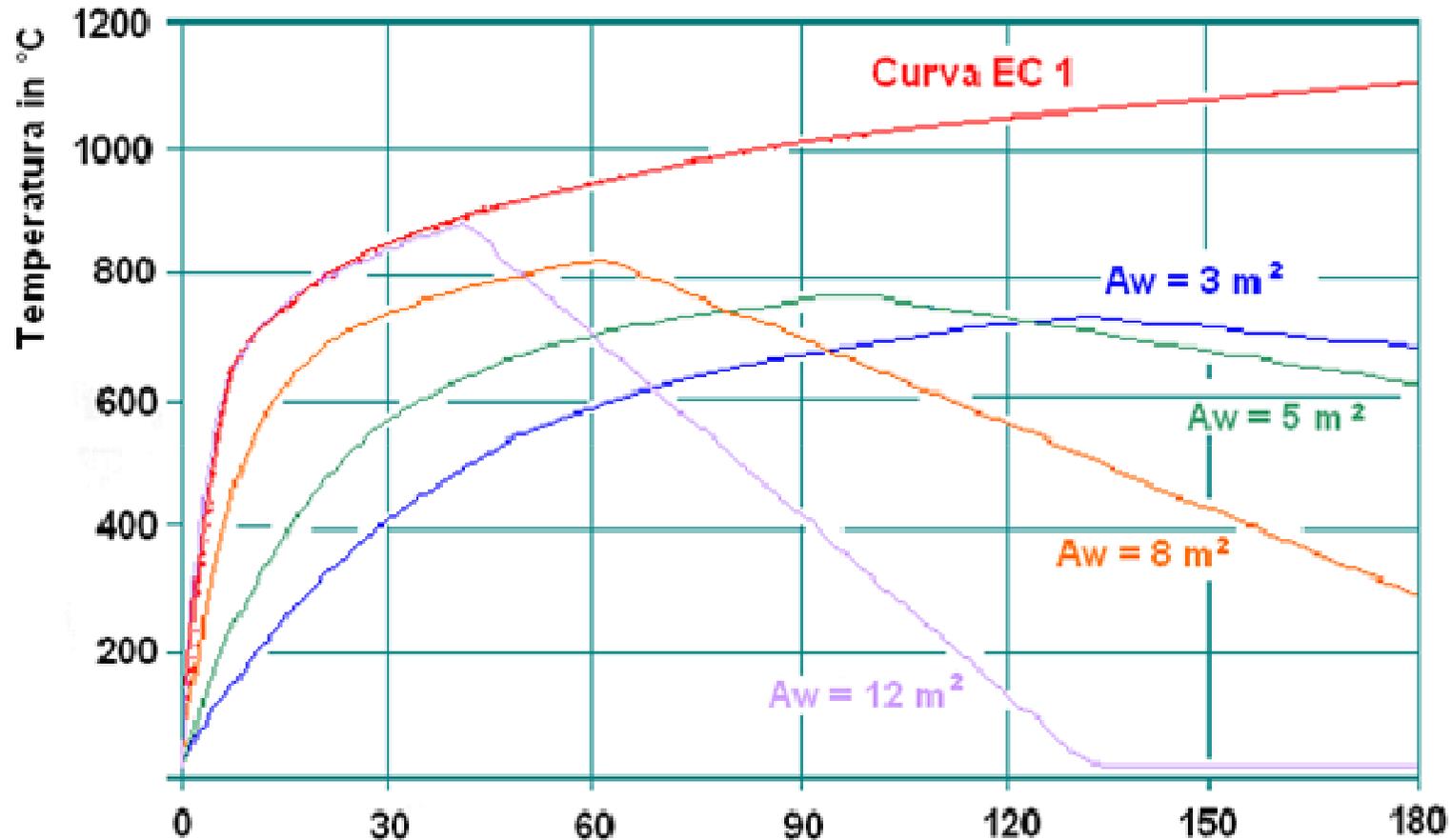


Carichi d'incendio specifici di progetto( $q_d$ )	classe
< 100MJ/mq	0
< 200MJ/mq	15
< 300MJ/mq	20
< 450MJ/mq	30
< 600MJ/mq	45
< 900MJ/mq	60
< 1200MJ/mq	90
< 1800MJ/mq	120
< 2400MJ/mq	180
> 2400MJ/mq	240

1MJ=0.057 Kglegna eq

Influenza del carico d'incendio sulla temperatura d'incendio

## Rappresentazione incendi curve parametriche : APPROCCIO PRESTAZIONALE



Generalmente l'incendio nelle prime fasi di ignizione e crescita è controllato dal combustibile e, successivamente, in particolare dopo il flash-over diventa controllato dalla ventilazione

Tempo in minuti primi

Influenza del fattore di ventilazione sulla temperatura d'incendio.



## ORDINE degli INGEGNERI della PROVINCIA di CAGLIARI

### CURVE NATURALI D'INCENDIO

I metodi avanzati di calcolo consentono di rappresentare l'andamento dell'incendio attraverso la soluzione delle equazioni che governano:

1. **il bilancio di energia;**
2. **il bilancio di massa;**
3. **le proprietà dei gas**

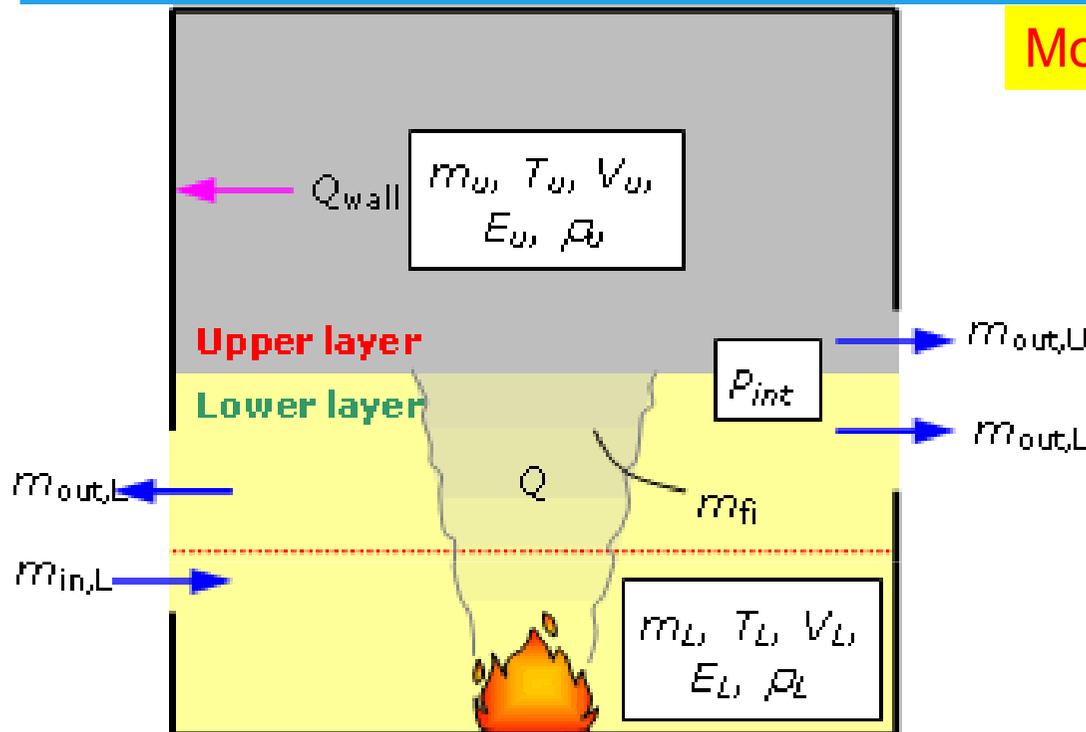
La soluzione delle equazioni può essere semplificata da rilevanti ipotesi sulla stratificazione dei prodotti della combustione. A tal proposito i modelli si dividono in:

**modelli a zone,**  
**modelli di campo.**

# ORDINE degli INGEGNERI della PROVINCIA di CAGLIARI

## CURVE NATURALI D'INCENDIO

### Modello Bi-zona



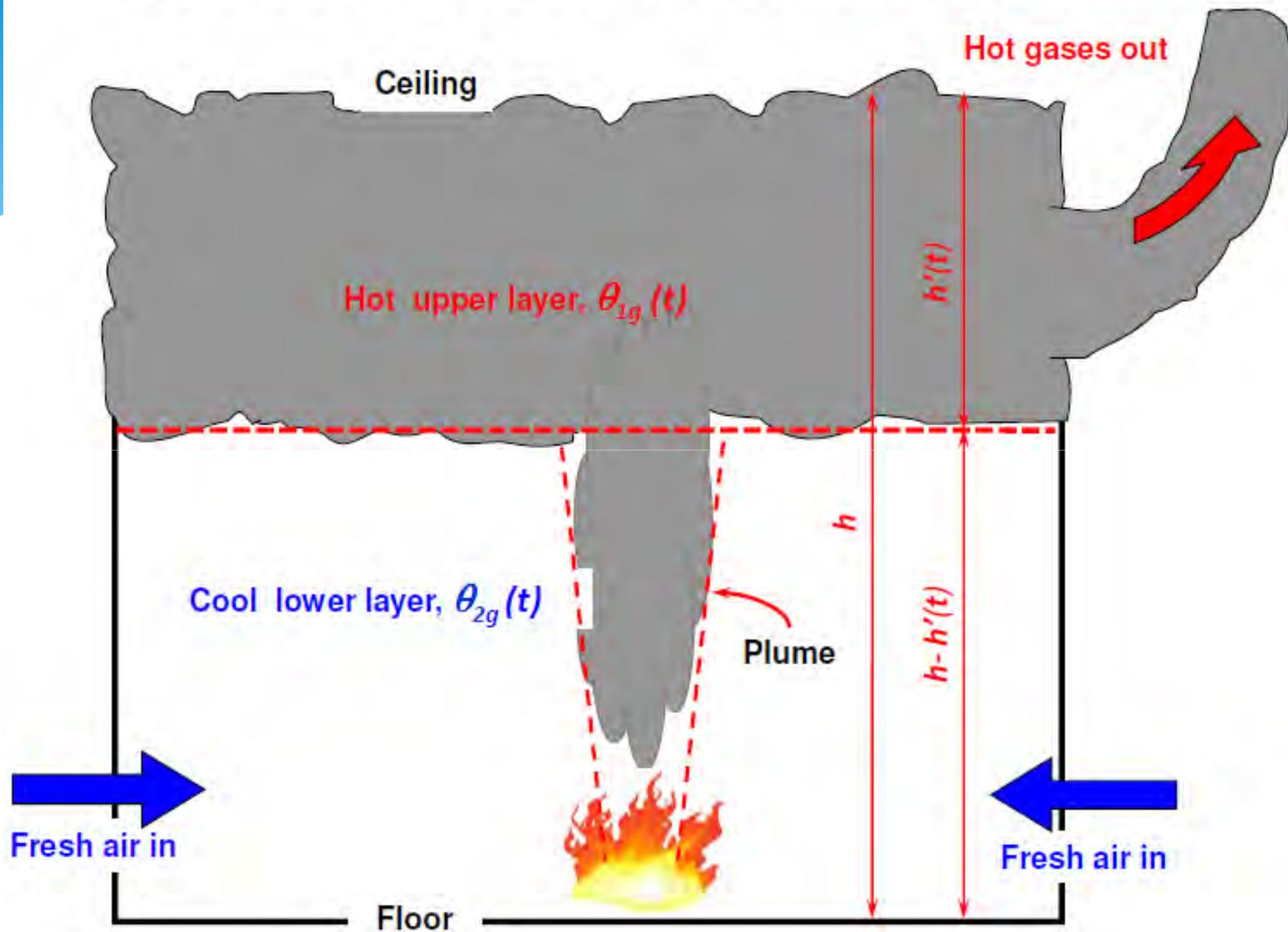
Physical properties of gas inside the fire compartment:  
 $E$  is the internal energy of gas  
 $m$  is the mass terms  
 $P_{int}$  is the gas pressure  
 $Q$  is the energy terms  
 $T$  is the gas temperature  
 $V$  is the volume  
 $\rho$  is the gas density

### Modelli a zone

Nella fase pre-flash over è ragionevole supporre che vi sia la formazione di un ben individuato strato di fumi e gas caldi al di sotto del solaio di copertura. Questo strato di spessore variabile “galleggia” sullo strato sottostante costituito da aria in condizioni standard. Il modello a due zone descrive questa situazione facendo l'ipotesi che la temperatura sia costante in ogni strato e restituendo principalmente le seguenti grandezze:

- temperatura dei gas nella zona superiore
- altezza del piano di separazione

# MODELLO DI FUOCO AVANZATO A DUE ZONE



# ORDINE degli INGEGNERI della PROVINCIA di CAGLIARI

## CURVE NATURALI D'INCENDIO

### Modelli a zone

I modelli a due zone sono basati sulla risoluzione di

### Equazioni Differenziali

Ordinarie per la conservazione

della **materia e dell'energia**

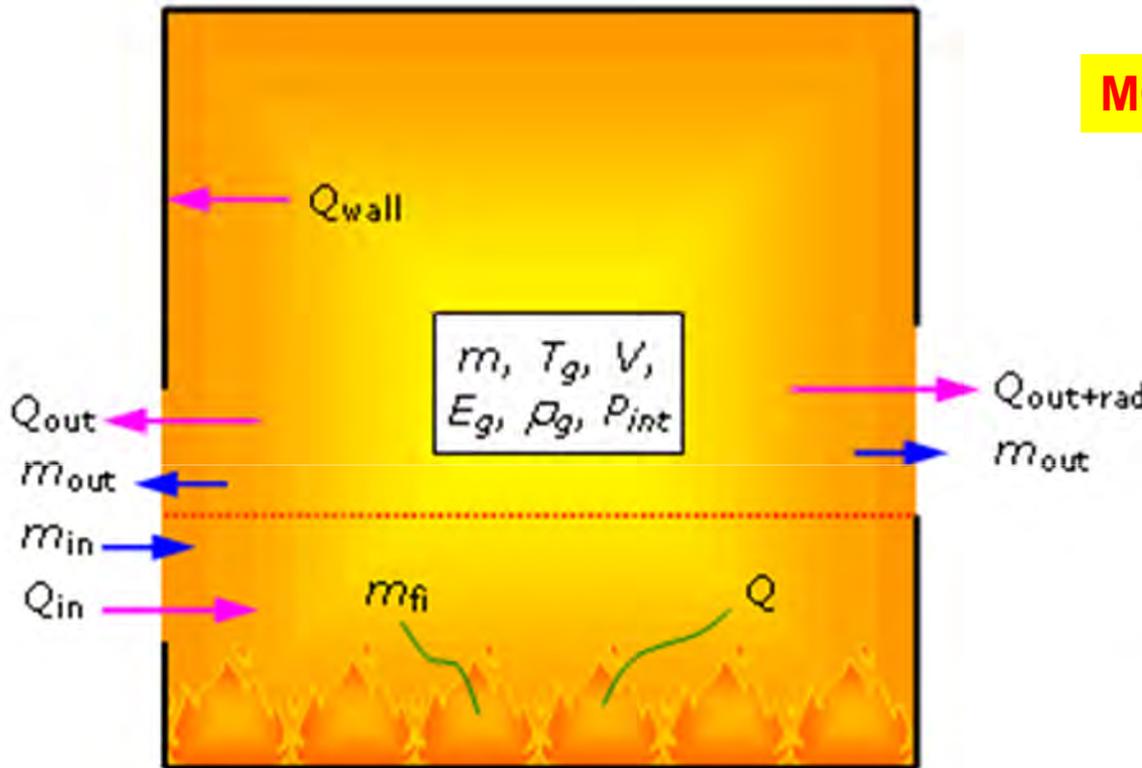
nel compartimento, ma ad un livello superiore di complessità .

Equation Type	Differential Equation
i'th layer mass	$\frac{dm_i}{dt} = \dot{m}_i$
pressure	$\frac{dP}{dt} = \frac{\gamma-1}{V} (\dot{h}_L + \dot{h}_U)$
i'th layer energy	$\frac{dE_i}{dt} = \frac{1}{\gamma} \left( \dot{h}_i + V \frac{dP}{dt} \right)$
i'th layer volume	$\frac{dV_i}{dt} = \frac{1}{P^\gamma} \left( (\gamma-1) \dot{h}_i - V_i \frac{dP}{dt} \right)$
i'th layer density	$\frac{d\rho_i}{dt} = \frac{-1}{c_p T_i V_i} \left( (\dot{h}_i - c_p \dot{m}_i T_i) - \frac{V_i}{\gamma-1} \frac{dP}{dt} \right)$
i'th layer temperature	$\frac{dT_i}{dt} = \frac{1}{c_p \rho_i V_i} \left( (\dot{h}_i - c_p \dot{m}_i T_i) + V_i \frac{dP}{dt} \right)$

La conservazione di materia ed energia deve essere valutata per le singole zone, ed inoltre viene considerato un bilancio tra le zone

**L'interesse primario è l'evoluzione della temperatura dei gas e lo spessore dello strato superiore dei fumi**

CURVE NATURALI D'INCENDIO

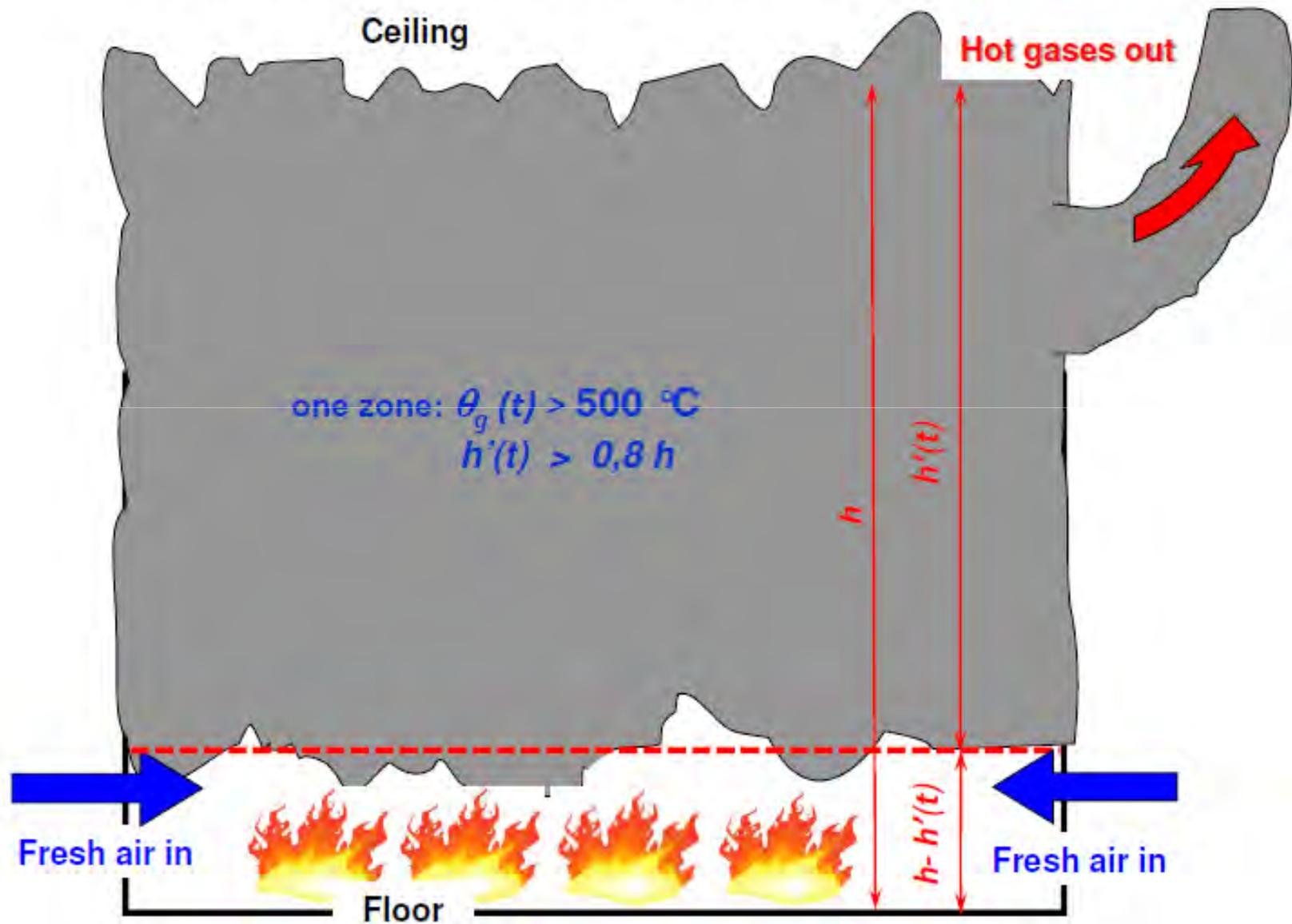


MODELLO MONOZONA

- Physical properties of gas inside the fire compartment:
- $E_g$  is the internal energy of gas
  - $m$  is the mass terms
  - $P_{int}$  is the internal pressure
  - $Q$  is the energy terms
  - $T_g$  is the gas temperature
  - $V$  is the compartment volume
  - $\rho_g$  is the gas density

Nella **fase post-flash** over, nel caso in cui il materiale combustibile sia distribuito su tutta la superficie del compartimento è ragionevole supporre che tutto il compartimento sia invaso dai fumi e gas caldi e che non sia possibile individuare le due zone. Il modello che descrive questa situazione è il modello ad una zona restituendo unicamente **la temperatura dei gas**.

EVOLUZIONE DI MODELLO DI FUOCO AVANZATO A DUE ZONE  
IN UN MODELLO DI FUOCO AVANZATO AD UNA ZONA





## ORDINE degli INGEGNERI della PROVINCIA di CAGLIARI

### CURVE NATURALI D'INCENDIO

#### MODELLO MONOZONA

In un modello one-zone vengono risolte le Equazioni Differenziali Ordinarie derivanti dal bilancio di Materia e di Energia nel Volume di controllo (compartimento)

- Il **Bilancio Energetico** è tra l'energia rilasciata dall'incendio, la fase gas nel compartimento, la frontiera del compartimento e l'atmosfera esterna tramite le aperture

Il **Bilancio di Materia** è tra i gas sviluppati dalla pirolisi, l'ingresso e l'uscita di aria attraverso le aperture

# ORDINE degli INGEGNERI della PROVINCIA di CAGLIARI

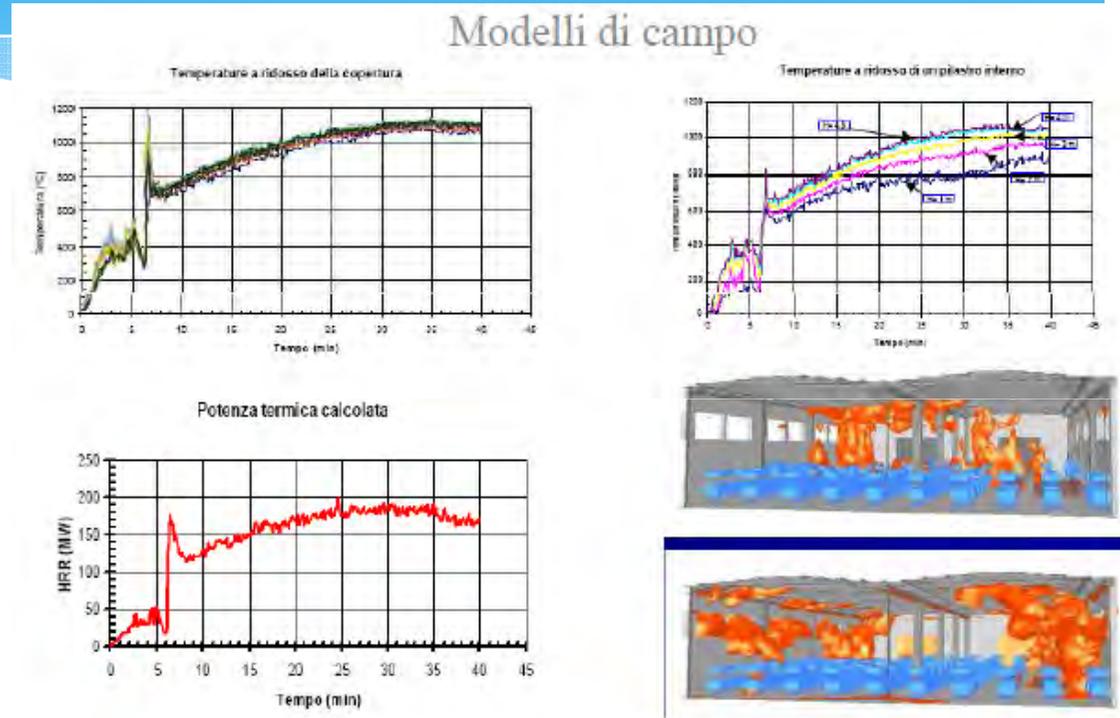
## CURVE NATURALI D'INCENDIO

### Modelli di campo

Forniscono la stima dell'evoluzione dell'incendio in uno spazio per via numerica, risolvendo :

- le equazioni della conservazione della massa,
- le equazioni della conservazione dell'energia,
- della diffusione della specie, che risultano da un incendio.

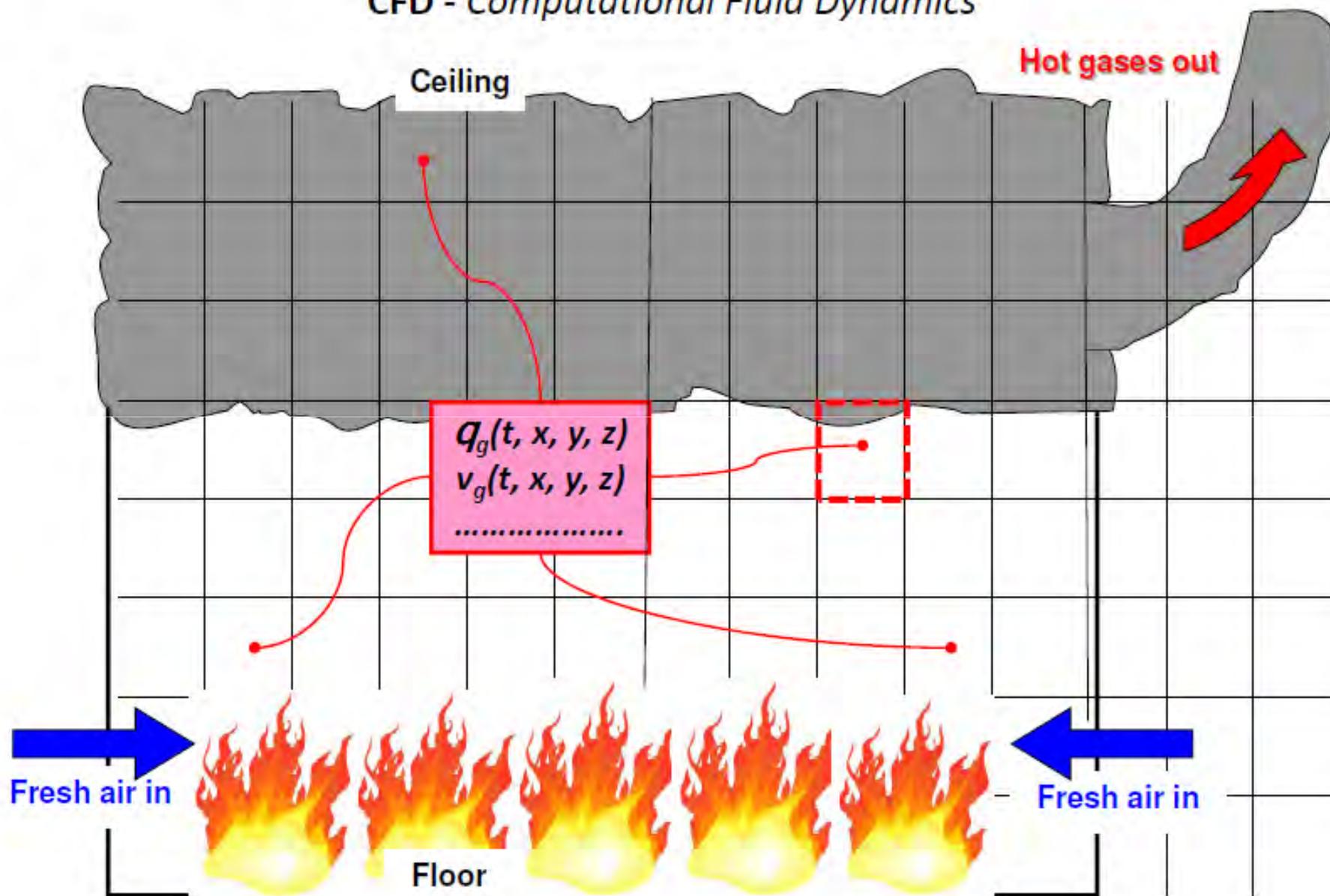
Dividono uno spazio in un **numero elevato di elementi** e risolvono le equazioni di conservazione all'interno di ciascuno di essi.



# ORDINE degli INGEGNERI della PROVINCIA di

MODELLO DI FUOCO AVANZATO DI FLUIDODINAMICA COMPUTAZIONALE

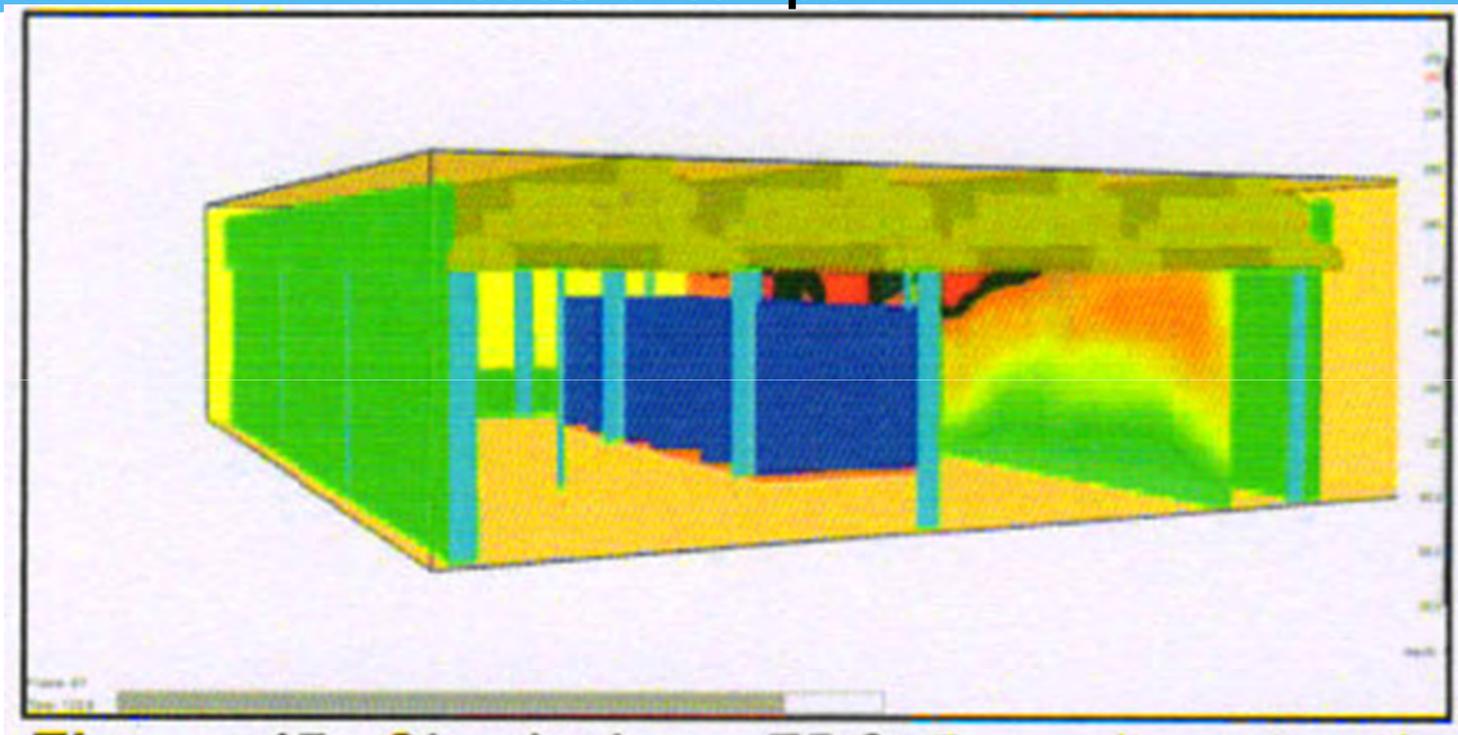
CFD - *Computational Fluid Dynamics*



# ORDINE degli INGEGNERI della PROVINCIA di CAGLIARI

## CURVE NATURALI D'INCENDIO

### Modelli di campo



Sono particolarmente indicati per **geometrie molto complesse** o per **carichi di incendio diversificati** e consentono approfondimenti sulla dinamica dell'incendio sin dalle fasi iniziali.

Restituiscono tutte le grandezze caratterizzanti la termo-fluidodinamica dell'incendio nello spazio e nel tempo.

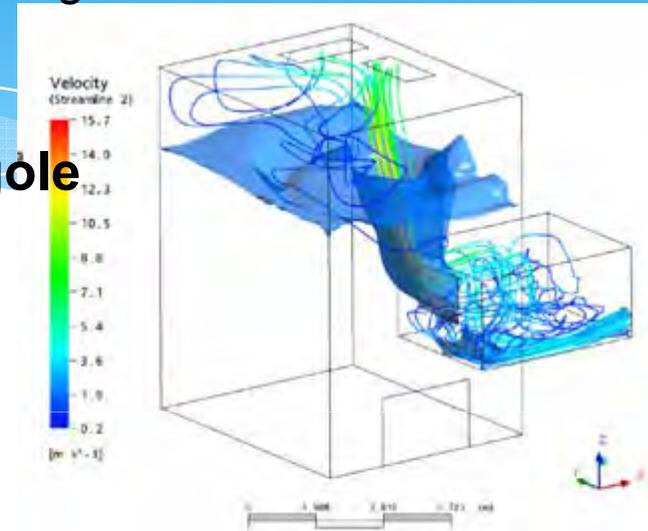


## ORDINE degli INGEGNERI della PROVINCIA di CAGLIARI

### L'approccio prestazionale e la Fire Safety Engineering

Questa disciplina è definita dal D.M. 7 agosto 2012 come:

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



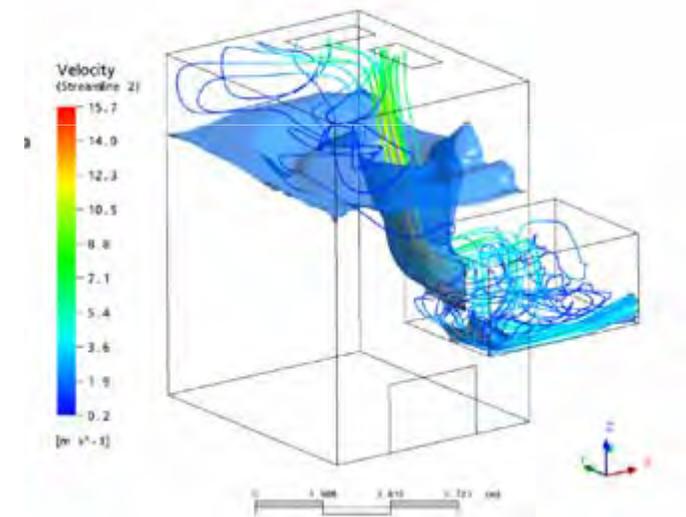


# ORDINE degli INGEGNERI della PROVINCIA di CAGLIARI

## L'approccio prestazionale e la Fire Safety Engineering

Dimostrare che un livello di sicurezza è garantito da misure diverse rispetto a quelle previste dalla norma, infatti, **non può essere fatto in modo oggettivo** se non accompagnando **la proposta con dei calcoli**.

**Tali calcoli sono sviluppabili solo attraverso l'approccio prestazionale** e, forse, non è superfluo aggiungere che non esistono altri approcci in grado di fornire un contributo analogo al miglioramento della sicurezza in caso di incendio.





### Struttura del decreto

Il decreto è costituito da:

otto articoli che stabiliscono le procedure per adottare l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio

un allegato tecnico suddiviso in cinque punti che indicano il processo di valutazione e progettazione nell'ambito dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio (***fire safety engineering***)



### Oggetto del decreto (art. 1):

Il decreto definisce : **gli aspetti procedurali**

**ed i criteri da adottare**

per **valutare il livello di rischio** e **progettare** le conseguenti **misure compensative**, utilizzando, in alternativa a quanto previsto dal D.M. 7.8.2012 (modalità di presentazione e relativa documentazione da allegare), l'approccio ingegneristico (**Fire Engineering**) alla sicurezza antincendio al fine di soddisfare gli obiettivi della prevenzione incendi



### Campo di applicazione (art. 2):

Fissa lo specifico campo di applicazione, individuando come destinatari dell'applicazione delle nuove metodologie :

- 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

la metodologia può essere applicata in alternativa alla metodologia vigente :

- per la individuazione delle misure da adottare ai fini del rilascio del c.p.i. nel caso di attività non regolate da specifiche disposizioni
- per la individuazione delle misure di sicurezza equivalenti nell'ambito del procedimento di deroga di cui all'art. 7 del DPR 151/2011



### Le deroghe alle norme di prevenzione incendi- indirizzi sui criteri di ammissibilità

individuazione delle misure di sicurezza equivalenti nell'ambito  
del procedimento di deroga di cui all'art. 7 del DPR 151/2011

La problematica dell'individuazione delle misure di sicurezza che si ritengono idonee a compensare il rischio aggiuntivo nell'ambito del procedimento di deroga di cui all'art. all'art. 7 del DPR 151/2011 , si può ritenere definitivamente risolta, anche alla luce dei contenuti del decreto ministeriale 9 maggio 2007 e delle successive direttive attuative, che introduce l'ingegneria della sicurezza antincendio.



### Le deroghe alle norme di prevenzione incendi- indirizzi sui criteri di ammissibilità

un'attività può essere trattata secondo le procedure di deroga nei casi in cui l'impossibilità di poter ottemperare alle disposizioni normative derivi o da una **caratteristica dell'attività** o da **un vincolo esistente**.

Mentre il concetto di **"vincolo esistente"** è sufficientemente ben interpretato ed uniforme a livello nazionale, sulle **"caratteristiche dell'attività"** si rende necessario fornire i seguenti chiarimenti:

Vale in ogni caso una **considerazione di carattere generale**: l'applicazione della norma tecnica di prevenzione incendi "ad ogni costo" non deve costituire un impedimento alla ricerca di **nuove soluzioni progettuali** nè rappresentare un processo di "omologazione" verso standard prescrittivi studiati per la generalità dei casi.



### Le deroghe alle norme di prevenzione incendi- indirizzi sui criteri di ammissibilità

Alla luce di quanto premesso, si ritiene che tra **le caratteristiche**, diverse da quelle tecniche, vadano debitamente prese in considerazione e valutate quelle:

- di ricerca di soluzioni architettoniche innovative;
- di ricerca e sperimentazione di material!;
- di nuove tecnologie costruttive;
- legate a problematiche locali;
- economiche, ecc.

Del resto, proprio per affrontare e risolvere scenari di quelli del tipo prima accennati, venne pensato **l'istituto della deroga** che, nella sua accezione più ampia, può essere, oggi più che ieri, proficuamente utilizzato.



### Campo di applicazione (art. 2):

Una prima importante, e forse utile, precisazione a tale articolo è stata offerta successivamente attraverso la lettera circolare n. 4921 del 17.07.2007 della direzione centrale per la prevenzione e la sicurezza tecnica.

Con tale precisazione si ritiene, in altri termini, **che la nuova metodologia possa anche essere applicata ad attività diverse da quelle specificamente richiamate dall'art. 2.** Tuttavia l'applicazione del metodo prestazionale dovrebbe essere indirizzato a quelle tipologie di attività per le quali esso è maggiormente adatto (attività complesse), anche in relazione al nuovo obbligo aggiuntivo, introdotto dal decreto, connesso alla elaborazione di apposito documento contenente il **cosiddetto "programma per l'attuazione del sistema di gestione della sicurezza antincendio (SGSA)"**, documento tipico delle attività a rischio di incidente rilevante.



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

Fatto salvo quanto previsto dall'art. 3 del D.M. 7.8.2012 (*modalità di presentazione, anche attraverso il SUAP, delle istanze ivi previste e la relativa documentazione da allegare*) la documentazione tecnica di cui al comma 2, lettera a **Allegato 1 del Dm 7 agosto 2012.docx** deve essere integrata con:

- **sommario tecnico**, firmato congiuntamente dal progettista e dal titolare dell'attività, ove è sintetizzato il processo seguito per individuare gli scenari di incendio di progetto ed i livelli di prestazione
- **presentazione dei risultati dell'analisi quantitativa** in modo che questi riassumano, in una sintesi completa ed efficace, il comportamento del sistema per quel particolare tipo di analisi
- **il documento contenente** il programma per l'attuazione del **sistema di gestione della sicurezza antincendio SGSA**



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

Il Comando provinciale valuta l'opportunità di acquisire il parere del Comitato tecnico regionale (art. 16, c. 3, d.Lgs. 139/06)

la durata del servizio, al fine di determinare l'importo del corrispettivo dovuto, è ottenuta moltiplicando il numero di ore stabilito (all. VI D.M. 4.5.1998) per un fattore pari a due

#### motivazione

- *maggiore impegno richiesto per la valutazione delle scelte progettuali*
- *rilevante complessità correlata all'esame dei progetti (f.s.e.)*



### Domanda di deroga (art. 4)

Fatto salvo quanto previsto dall'art. 6 D.M. 7.8.2012 (istanza di deroga), la documentazione tecnica deve essere integrata con:

- la **valutazione sul rischio aggiuntivo e le misure tecniche compensative** determinate utilizzando le metodologie dell'approccio ingegneristico
- il documento contenente il programma per l'attuazione del sistema di gestione della sicurezza antincendio.
- il versamento del corrispettivo dovuto calcolato sulla base della durata del servizio prevista per il parere di conformità (*numero di ore stabilito moltiplicato per un fattore pari a due*) maggiorata del cinquanta per cento.



### Dichiarazione di inizio attività (art. 5)

La dichiarazione di inizio attività (art. 4 D.M. 7.8.2012) deve comprendere anche la dichiarazione in merito all'attuazione del programma relativo al sistema di gestione della sicurezza antincendio.



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

L' **SGSA** è necessario per tenere sotto controllo tutti i parametri che hanno determinato la scelta degli scenari di incendio in base ai quali sono state individuate le specifiche misure di protezione, affinché non si verifichi una riduzione del livello complessivo di sicurezza .Le scelte e le ipotesi poste a base del progetto costituiscono vincoli e limitazioni imprescindibili per l'esercizio dell'attività



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

L' **SGSA** deve essere verificato dai VV.F. in concomitanza con la visita sopralluogo finalizzata al rilascio del c.p.i. e successivamente in occasione dei rinnovi e comunque ogni sei anni.

Per tale verifica deve essere corrisposto un importo pari a quello dovuto per il “primo sopralluogo” o per il “rinnovo”



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

nel caso in cui l'esito della verifica **del SGSA** rilevi la mancanza dei requisiti previsti, il comando VF sospende la validità del certificato di prevenzione incendi e provvede a darne comunicazione **all'interessato**, **al sindaco**, **al prefetto** e alle altre autorità competenti ai fini dei provvedimenti da adottare nei rispettivi ambiti (ovviamente per le attività con lavoratori dipendenti viene confermata la contestuale applicazione al d.lgs 758/94).



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

Presso il Dipartimento è istituito l'Osservatorio per l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio per favorire la massima integrazione tra tutti i soggetti chiamati all'attuazione delle disposizioni inerenti il FSE

L'Osservatorio:

- espleta attività di monitoraggio
- adotta misure tese ad uniformare le modalità attuative del FSE
- fornisce supporto e indirizzi agli organi territoriali del CNVVF



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

Per garantire l'uniformità applicativa nella trattazione delle pratiche, i Comandi 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 la produzione della documentazione tecnica inerente singoli procedimenti

L'Osservatorio opera nell'ambito della DCPST avvalendosi dell'Area Coordinamento

Composizione e modalità di funzionamento dell'Osservatorio sono dettate con provvedimento del Capo del CNVVF

# DEFINIZIONI

## (ALLEGATO AL DM 9 /5/2007)

---

# Definizioni

Per poter caratterizzare un incendio, si necessita di conoscere il valore di **RHR nel tempo**. La curva **HRR** rappresenta il rateo ( velocità) con il quale è rilasciata l'energia per unità di tempo.

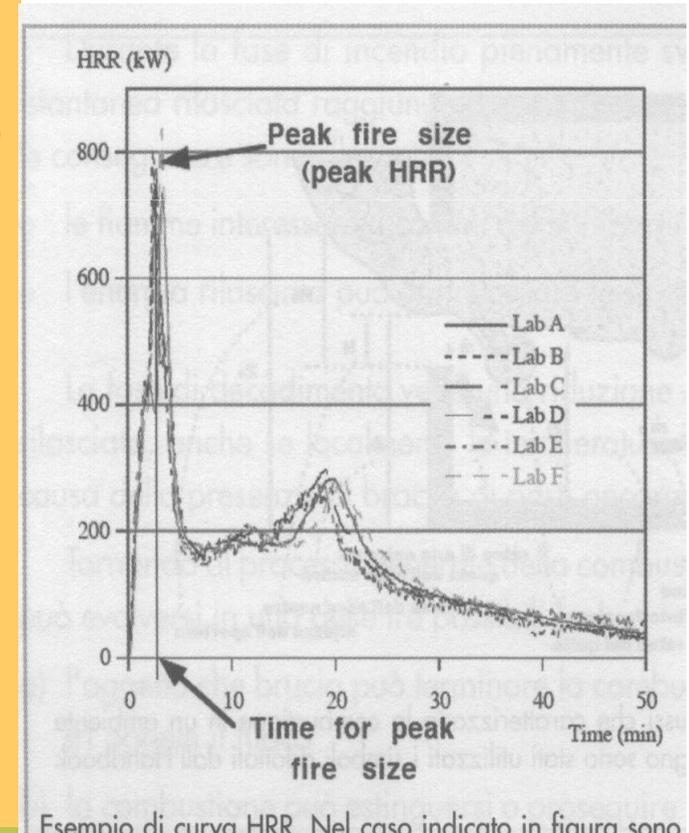
La **potenza termica di un incendio** è il valore della sua velocità di rilascio del calore, indicato come *Rate of Heat Released (RHR o HRR)*:

$$HRR(t): H \times v(t) \quad \text{con: } \dots$$

**HRR(t)** : Heat Release Rate (kW)

**H**: Potere calorifico ( kJ/kg)

**v(t)** : velocità di combustione (Kg/s)





## La potenza Termica rilasciata da un incendio

Il rischio di incendio in un ambiente dipende principalmente da:

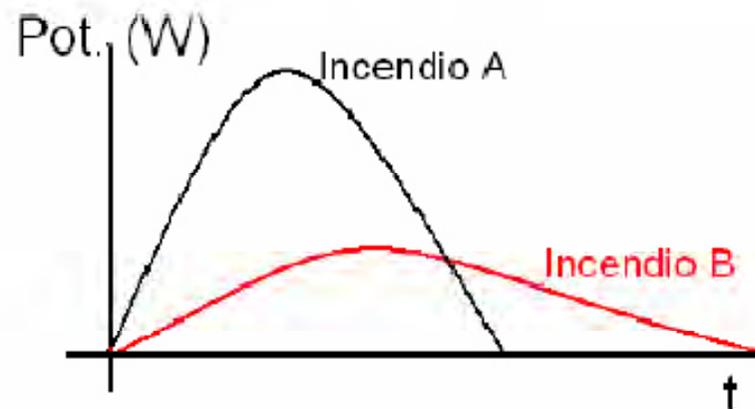
- Temperatura massima;
- Portata massima di fumo e gas nocivi che si liberano.

Queste grandezze dipendono dalla potenza termica dell'incendio, indice della rapidità con la quale viene rilasciata l'energia termica sviluppata.



## La potenza Termica rilasciata da un incendio lo “RHR”

L'incendio A e l'incendio B sviluppano la stessa energia, l'area sottesa dalle rispettive curve è la stessa:



L'incendio A è più severo dell'incendio B, in quanto nell'unità di tempo rilascia il doppio dell'energia!



## La potenza Termica rilasciata da un incendio lo “RHR”

La potenza termica totale rilasciata nell'ambiente varia nel tempo durante un incendio;

In letteratura anglosassone viene indicata con l'acronimo RHR: *Rate of Heat Release.*

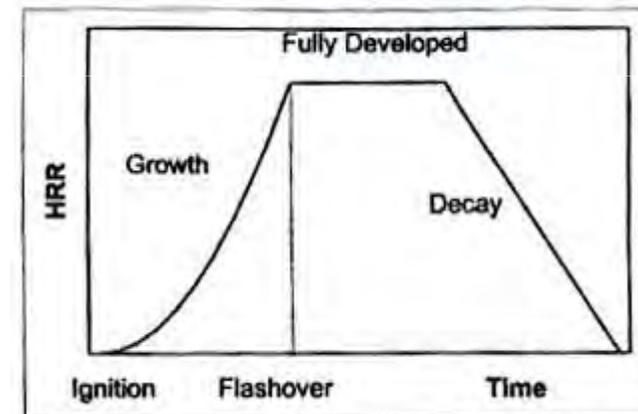
# Definizioni

Determinare questo valore non è semplice, perché la quantità di ossigeno presente in un locale diminuisce nel tempo con il progredire dell'incendio. Variando il quantitativo di ossigeno, è ovvio che, nel tempo, varierà anche la potenza termica rilasciata durante la combustione.

All'aumentare di HRR la temperatura e la velocità di aumento di questa crescono entrambe, accelerando lo sviluppo dell'incendio.

L'incremento dell'HRR provoca :

1. una riduzione della concentrazione dell'ossigeno;
2. Un incremento dei prodotti gassosi e di particolato generato da una combustione incompleta;



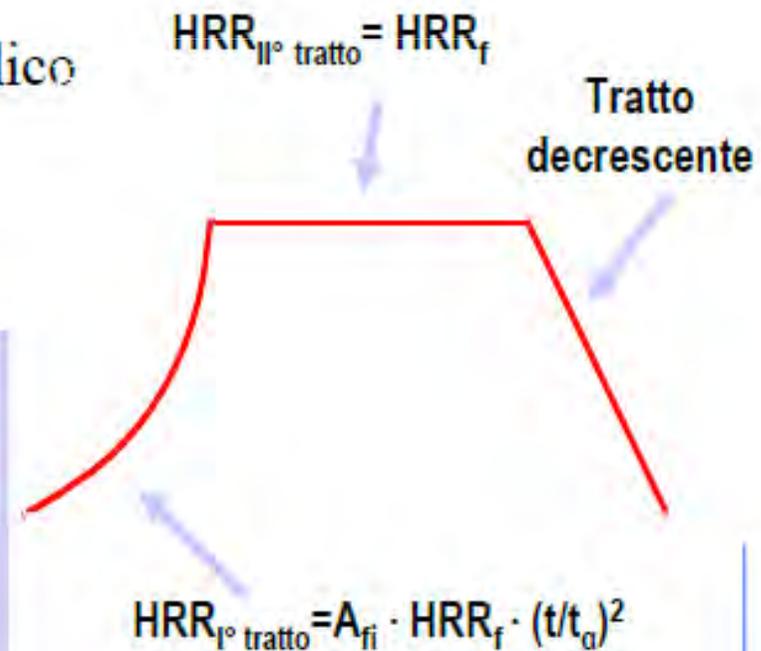
Nelle curve HRR, di solito, il tratto di crescita iniziale è pari al 10/30%, quello a potenza costante al 40/60% ed il decadimento al 10/20%

# Definizioni

## Potenza emessa da un incendio

- L'incendio può essere descritto da una curva di rilascio d'energia
- Curva Heat Release Rate (HRR)
  - Il primo tratto ha andamento parabolico
  - Il secondo è un tratto costante
  - Il terzo un tratto decrescente

- $A_{fi}$  : area dove è distribuito il combustibile [ $m^2$ ]
- $HRR_f$  : HRR massimo raggiungibile [ $kW/m^2$ ]
- $t$  = tempo [s]
- $t_a$  = costante di tempo





## La potenza Termica rilasciata da un incendio lo “RHR”

In un determinato istante, lo RHR è dato dal prodotto della velocità di combustione  $m_c$  [kg/s] ed il potere calorifico  $H$  del combustibile [kJ/kg]:

$$\text{RHR}(t) = m_c(t) \times H \text{ [kW/kg]}$$

$m_c$  dipende dallo stato del combustibile e dalle condizioni dell'ambiente di sviluppo dell'incendio;

Valori tipici variano da frazioni di g/s ad alcuni kg/s.



## La potenza Termica rilasciata da un incendio lo “RHR”

Ordine di grandezza dello RHR:

La combustione di n. 3 fogli di poliuretano  
espanso con:

$$\rho = 20 \text{ kg/m}^3;$$

$$A=50 \times 50 \text{ cm};$$

$$S=6 \text{ cm};$$

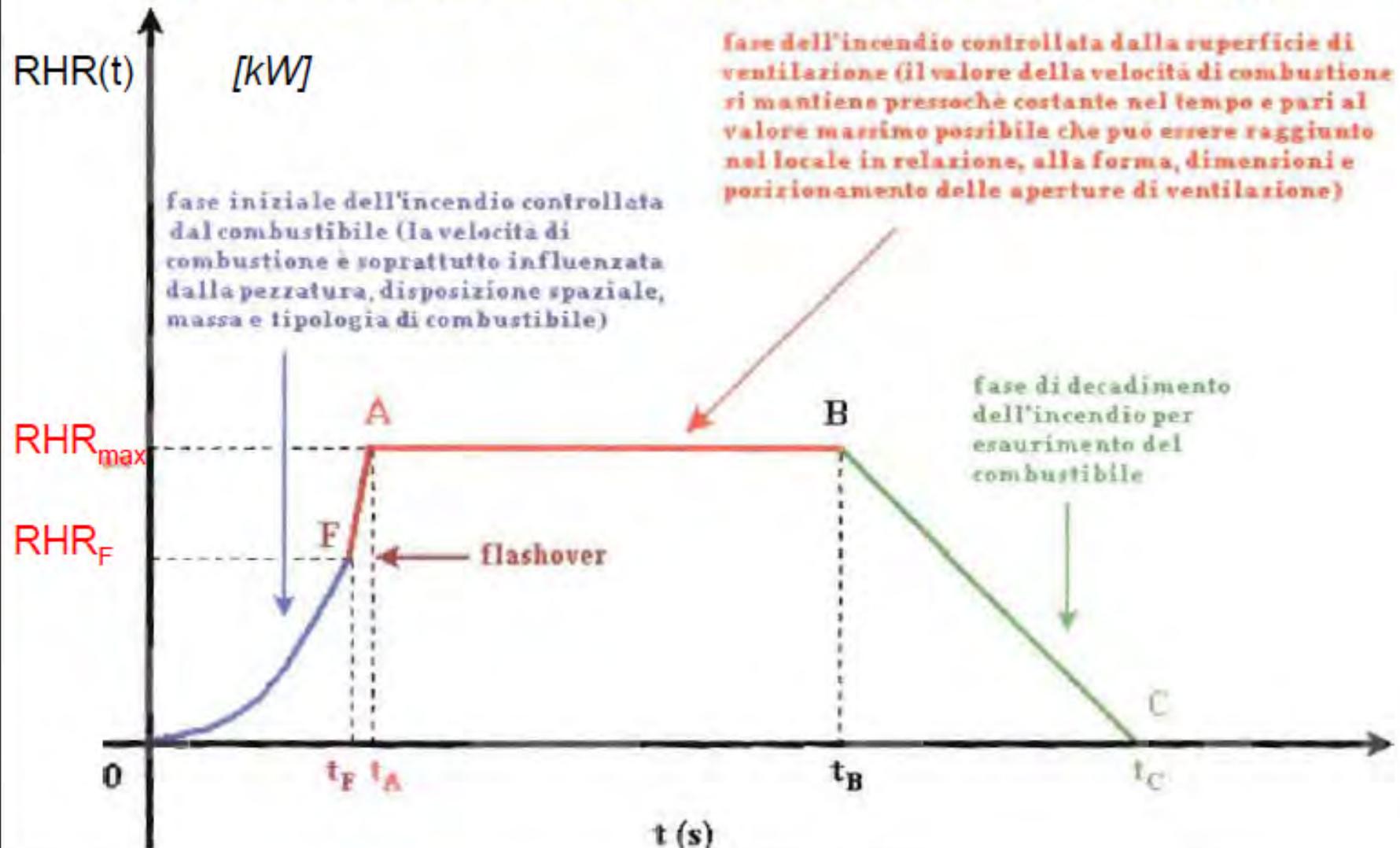
$$\text{RHR}_{\text{max}}=50 \text{ kW};$$

Stesso valore della combustione di un cuscino;

Per un divano si arriva a 3100 kW.



# La potenza Termica rilasciata da un incendio lo "RHR"





## La potenza Termica rilasciata da un incendio lo “RHR”

Dall'istante iniziale sino al flashover, l'andamento dello RHR è di tipo quadratico;

La velocità di crescita raggiunge, in prossimità del flashover, valori compresi fra 1 kW/s e qualche decina di kW/s;

Il valore massimo RHR<sub>max</sub>, può stimarsi con una espressione che è indicata **nell'Eurocodice 1 – Allegato E** – per incendi controllati dalla superficie di ventilazione.



## La potenza Termica rilasciata da un incendio lo “RHR”

$$RHR \max = 0,10 \cdot m \cdot H \cdot A_v \cdot h_{eq}^{0.5}$$

Dove:

m: fattore di partecipazione alla combustione  
(stesso del DM 09/03/2007);

H: Potere Calorifico del materiale combustibile;

$A_v$ : Superficie complessiva delle aperture di  
aerazione del locale;

$h_{eq}$ : altezza equivalente (stessa definizione per il  
calcolo del fattore di ventilazione).



## La potenza Termica rilasciata da un incendio lo “RHR”

L'andamento temporale dello RHR sino al flashover è di tipo quadratico, pertanto sino al tempo  $t_f$  si adotta la seguente espressione:

$$\text{RHR}(t) = \alpha t^2$$

Relazione riportata nelle norme NFPA 72 ed NFPA 92B, verificata sperimentalmente.

# Definizioni

**curva di rilascio termico (Heat Release Rate - HRR):** energia termica emessa da un focolare o da un incendio per unita' di tempo; e' espressa in W;

Costruire una curva HRR “teorica” da fornire al modello

- Curva HRR in fase di Pre-FlashOver
- Curva HRR relativa all'intera durata dell'incendio

Per definire una **curva di incendio**, espressa come relazione tra potenza termica emessa e tempo, possono essere utilizzati molti metodi:

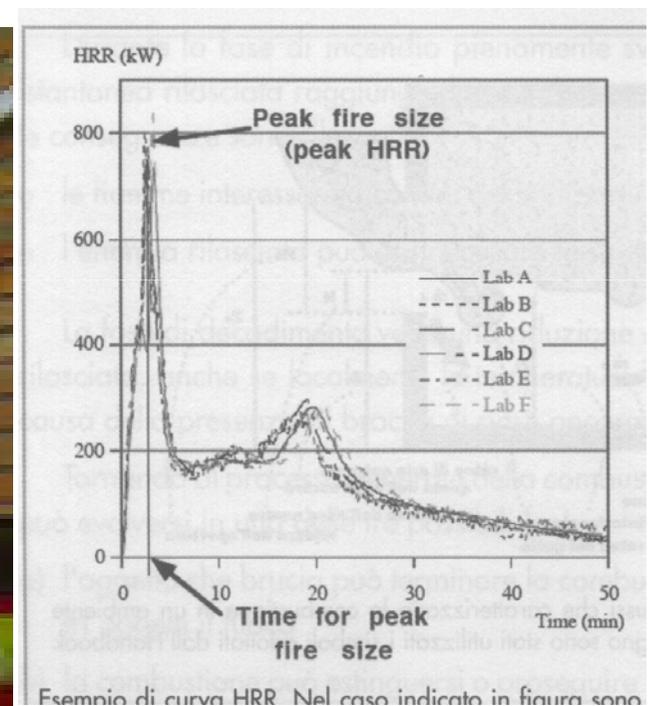
1. **dati disponibili,**
2. **test di laboratorio**
3. **calcolare uno sviluppo teorico.**

In un **progetto prestazionale**, per determinare le curve di incendio di progetto, è utile disporre dei dati derivanti da più di uno di questi metodi. In particolare:

**letteratura specializzata**: quando si sviluppa uno scenario di incendio di progetto e si definisce la curva di incendio di progetto, l'uso di dati precedentemente determinati e pubblicati è un importante strumento di lavoro;

**prove sperimentali:** le prove sperimentali possono essere usate per raccogliere dati sull'HRR per determinare curve di incendio di progetto. A questo proposito si deve ricordare che sono disponibili molti metodi standard di prova, dai modelli in scala ai singoli pezzi di mobilia fino agli interi locali completi.

## Curva HRR sperimentale



Flash-over: dal punto di vista fisico può essere definito come il raggiungimento di una  $T=600^{\circ}\text{C}$  o di un livello di energia radiante a pavimento superiore a  $20\text{kW}$

**metodi teorici**: i dati relativi alla generazione delle specie di inquinanti potrebbero non essere disponibili per lo specifico insieme di combustibili e lo scenario di incendio di progetto in studio potrebbe impedire analisi sperimentali.

In questo come in altri casi, potrebbe rendersi necessario l'uso di curve HRR e di generazione di specie di **tipo teorico o nominale**.

A questo scopo sono state sviluppate relazioni empiriche da dati sperimentali per un grande numero di tipi di combustibili, **come incendi di pozza di liquidi infiammabili, cataste di legna, ecc.**

L'applicazione di queste relazioni richiede la conoscenza delle proprietà dei materiali e, in alcuni casi, informazioni sull'entità della ventilazione disponibile.

Quando un materiale combustibile è sottoposto all'azione di una sorgente di calore, prima che si instauri un processo di combustione trascorre **un tempo to, detto "tempo di incubazione"**, che dipende :

- **dal valore della potenza termica della sorgente ;**
  - **dalla posizione nella quale essa agisce**
- **dalle proprietà del combustibile.**

Il combustibile, trascorso il tempo di incubazione, si infiamma e l'incendio si propaga nell'ambiente rilasciando una potenza termica che inizialmente (perché non è più così una volta superato il flashover) varia nel tempo  $t$  secondo la seguente relazione:

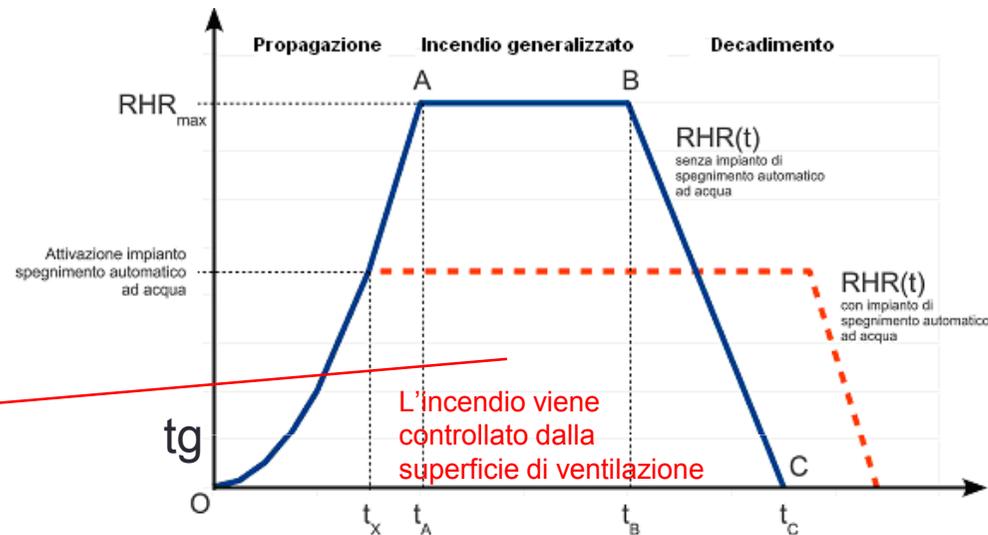
$$\text{RHR: } \alpha (t-t_0)^2$$

in cui:

$\alpha$  è una costante;

$t$  è il tempo espresso in secondi;

ENERGIA RILASCIATA  
DURANTE L'INCENDIO



L'HRR durante la fase di crescita di un incendio può essere genericamente rappresentata da una funzione dipendente dal tempo **di tipo esponenziale**.

In tal caso **il tasso di rilascio di calore** è dato da:

$$Q = Q_0 \left( t/t_g \right)$$

$t_g =$  Tempo di sviluppo che coincide con il tempo necessario al raggiungimento del tasso di scarico di calore di riferimento  $Q_0$

$Q_0 = 1 \text{ MW}$  tasso di rilascio dell'energia termica

Il combustibile, trascorso il tempo di incubazione, si infiamma e l'incendio si propaga nell'ambiente rilasciando una potenza termica che inizialmente (perché non è più così una volta superato il flashover) varia nel tempo  $t$  secondo la seguente relazione:

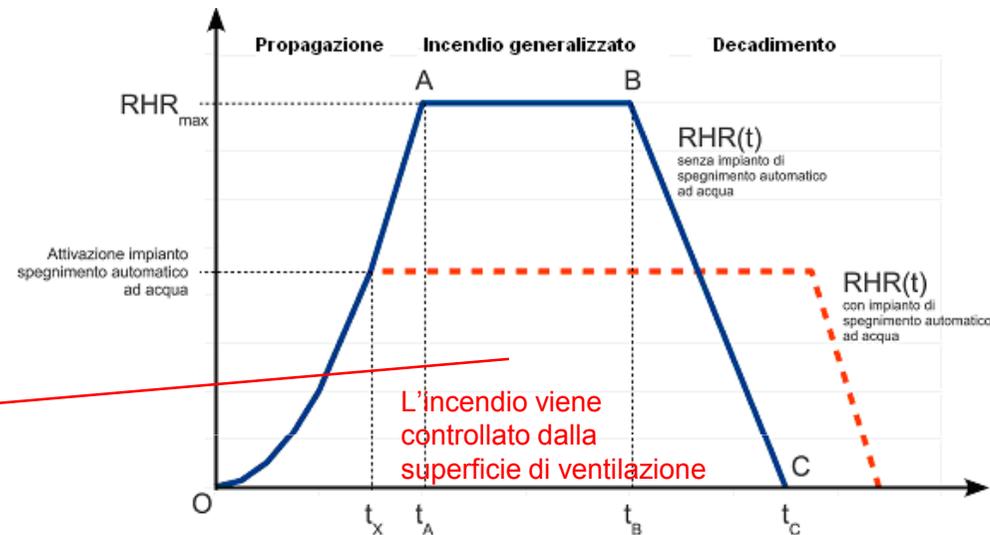
$$\text{RHR} = \alpha (t - t_0)^2$$

in cui:

$\alpha$  è una costante;

$t$  è il tempo espresso in secondi;

ENERGIA RILASCIATA  
DURANTE L'INCENDIO



Successivamente viene raggiunta una fase in cui l'incendio è pienamente sviluppato. Qui la potenza termica istantanea raggiunge il suo valore massimo. Con il progredire dell'incendio, il valore massimo raggiunto si mantiene costante per un determinato intervallo di tempo, funzione della quantità di combustibile inizialmente presente; infine, la potenza termica rilasciata decresce per il progressivo esaurimento di combustibile (fase di decadimento).

Nell'approccio utilizzato più comunemente, indicato **come “fuochi  $t^2$ ”, l' HRR è crescente con il quadrato del tempo sin dall'innesco.**

Esistono diverse applicazioni software di modellazione di incendio, con routines che richiedono l'introduzione di **curve di crescita di incendio di ogni singolo oggetto**, per stimare le curve di crescita di incendio complessive e rappresentare l'HRR cumulativo dovuto alla combustione di più oggetti. In questi casi, uno o più oggetti sono considerati come quelli inizialmente innescati, e la routine produce la curva di crescita risultante dalla successiva innesco dei restanti oggetti combustibili.

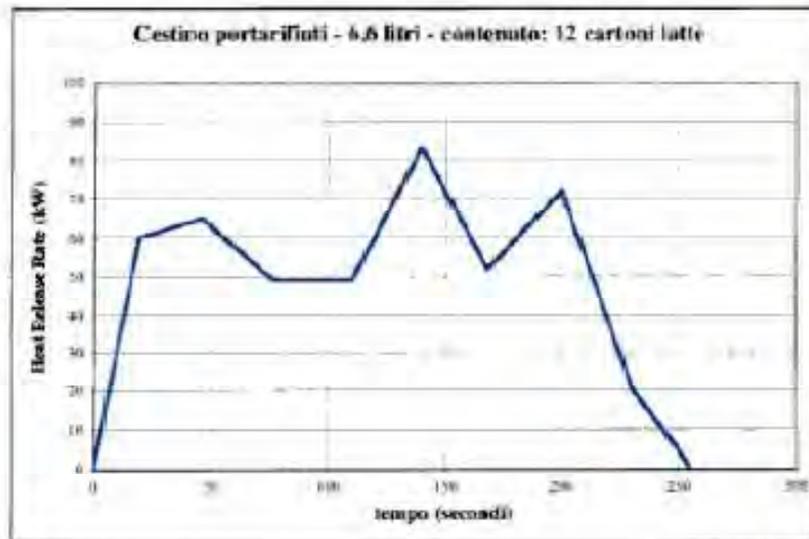
Si deve enfatizzare la necessità di prestare la massima attenzione nella costruzione delle curve teoriche di incendio in un processo di analisi prestazionale, in quanto i risultati dipendono dalle condizioni ipotizzate.

Per compensare le incertezze, si potrà utilizzare un coefficiente di sicurezza o dei fattori di correzione (come, ad esempio, selezionare un HRR più grande di quello atteso).

### Cestino rifiuti in polietilene da 6,6 l - con t.to: 12 cartoni latte (polyethylene 6.6 L wastebasket with 12 milk cartons)

(fonte: V. Babrauskas - "Burning Rates" - The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering)

- valore massimo **HRR**: ~ **83 kW**
- energia totale rilasciata: ~ **13 MJ**



tempo (secondi)	0	19	46	76	110	140	168	200	230	250	255
HRR (kW)	0	60	65	49	49	83	52	72	20	5	0
tempo (secondi)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HRR (kW)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: incendi brevi  
Ma intensi sono  
Pericolosi per le  
persone

## CLASSIFICAZIONE DEGLI INCENDI

La maggior parte dei fuochi che non coinvolgono liquidi infiammabili, gas o combustibili leggeri come la schiuma polimerica, si **sviluppano lentamente**, mentre il fuoco aumenta di dimensioni, il tasso di sviluppo dello stesso accelera. Questo tasso di sviluppo è espresso generalmente in termini di **HRR**.

Generalmente, per la definizione degli scenari viene utilizzato un tasso di rilascio di energia di tipo esponenziale. La formulazione esponenziale più comunemente utilizzata e indicata come fuoco di tipo :

$$\mathbf{RHR: \alpha (t-t_0)^2}$$

in cui:

**$\alpha$**  è una costante;

**$t$**  è il tempo espresso in secondi

In tal caso **il tasso di rilascio di calore** è dato da:

$$Q = Q_0 \left( t/t_g \right)$$

$t_g =$  Tempo di sviluppo che coincide con il tempo necessario al raggiungimento del tasso di scarico di calore di riferimento  $Q_0$

$Q_0 = 1 \text{ MW}$  tasso di rilascio dell'energia termica

## CLASSIFICAZIONE DEGLI INCENDI

La **funzione** rappresentativa del tasso di rilascio del calore può quindi essere rappresentata con una funzione del tipo:

$$Q = \alpha t^2$$

**RHR:  $\alpha (t-t_0)^2$**

in cui:

**$\alpha$**  è una costante;

**$t$**  è il tempo espresso in secondi

dove:

**$Q$**  = tasso di rilascio di calore del fuoco (HER)

**$\alpha$**  = coefficiente di crescita del fuoco

**$t$**  = tempo (s)

## CLASSIFICAZIONE DEGLI INCENDI

Gli incendi vengono classificati in **funzione** della **velocità di crescita**, che per definizione *può* essere:

- **Slow** = lenta
- **Medium** = media
- **Fast** = veloce
- **Ultra-Fast** = ultraveloce

Con riferimento al tempo per raggiungere un rateo di rilascio termico (potenza di fuoco) pari a 1.055 KW (1.000 BTU) ' si ha quanto riportato nella tabella seguente,

<i>Tipo di crescita dell'incendio</i>	<i>Tempo caratteristico</i>	<i>Coefficiente di crescita</i>
Crescita lenta	600	0,00293
Crescita media	300	0,01172
Crescita veloce	150	0,04690
Crescita ultraveloce	75	0,18760

## Rate of *Heat Released RHR* - rising phase

La *Tabella G.3-2: velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio* del D. M. 3 agosto 2015 (N.T.P.I.)

$\delta_{cr}$	Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio $t_{cr}$ [s]	Esempi
1	600 Lenta	Materiali poco combustibili distribuiti in modo discontinuo o inseriti in contenitori non combustibili.
2	300 Media	Scatole di cartone impilate; pallets di legno; libri ordinati su scaffale; mobili in legno; automobili; materiali classificati per reazione al fuoco (capitolo S.1)
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 e schiume combustibili non classificati per la reazione al fuoco.

*Tabella G.3-2: Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio*

## CLASSIFICAZIONE DEGLI INCENDI

Ogni oggetto coinvolto dalla combustione deve avere un suo caratteristico **tempo di crescita**.

**Il tempo di crescita** è fissato come quello necessario per ottenere un picco del tasso di rilascio dell'energia termica pari ad 1MW.

a crescita lenta  
(slow)

- $\alpha = 0.00293$
- adatta per massicci oggetti solidi, tavoli e armadi in legno

a crescita media  
(medium)

- $\alpha = 0.01172$
- adatta per combustibili solidi a bassa densità, mobilio imbottito e materassi

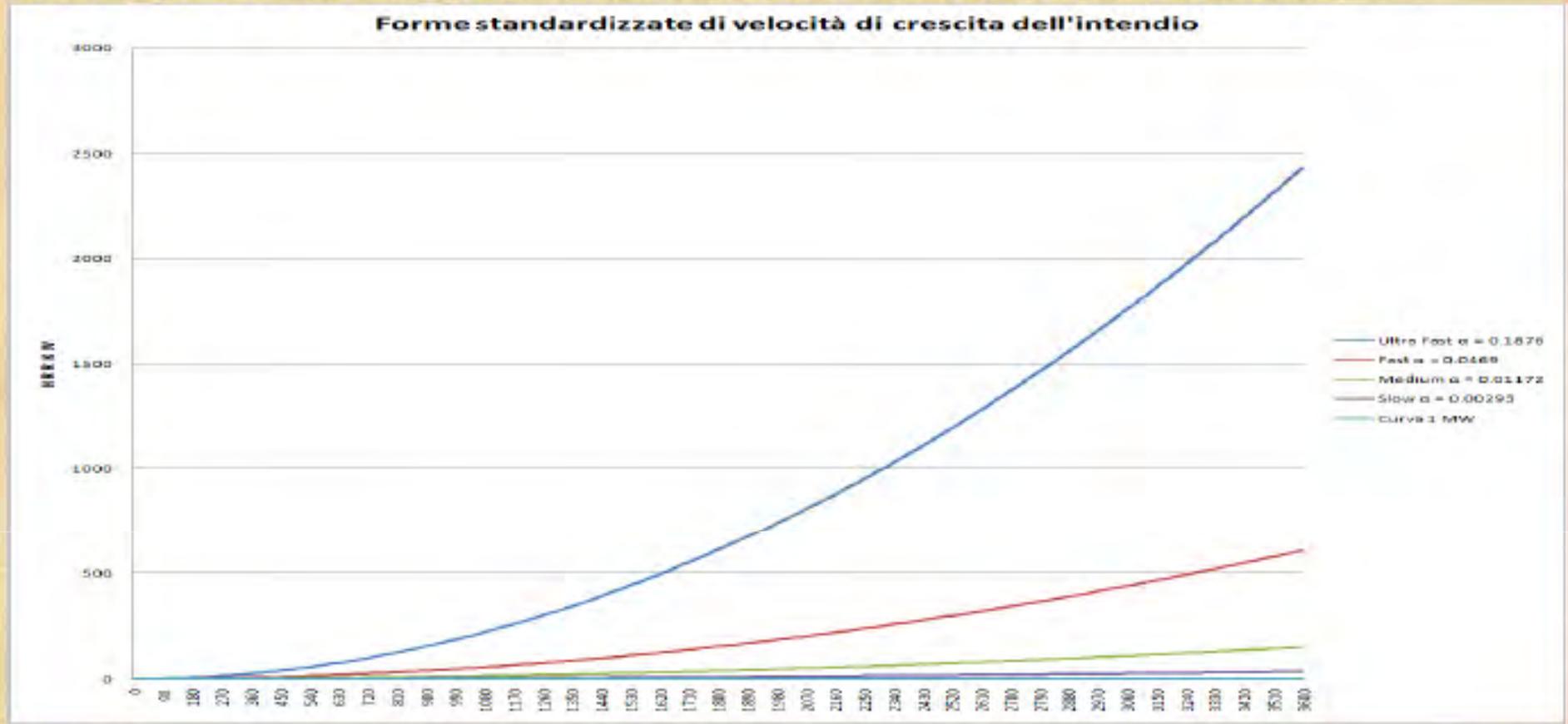
## CLASSIFICAZIONE DEGLI INCENDI

Ogni oggetto coinvolto dalla combustione deve avere un suo caratteristico **tempo di crescita**.

**Il tempo di crescita** è fissato come quello necessario per ottenere un picco del tasso di rilascio dell'energia termica pari ad 1MW.

a crescita veloce (fast)	a crescita ultra veloce (ultra fast)
<ul style="list-style-type: none"><li>• <math>\alpha = 0.0469</math></li><li>• adatta per combustibili a bassa densità in pezzatura sottile, carta, scatole di cartone, tessuti</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <math>\alpha = 0.1876</math></li><li>• adatta per liquidi infiammabili e in genere per combustibili altamente volatili</li></ul>

# LA VELOCITÀ DI CRESCITA DELL'INCENDIO

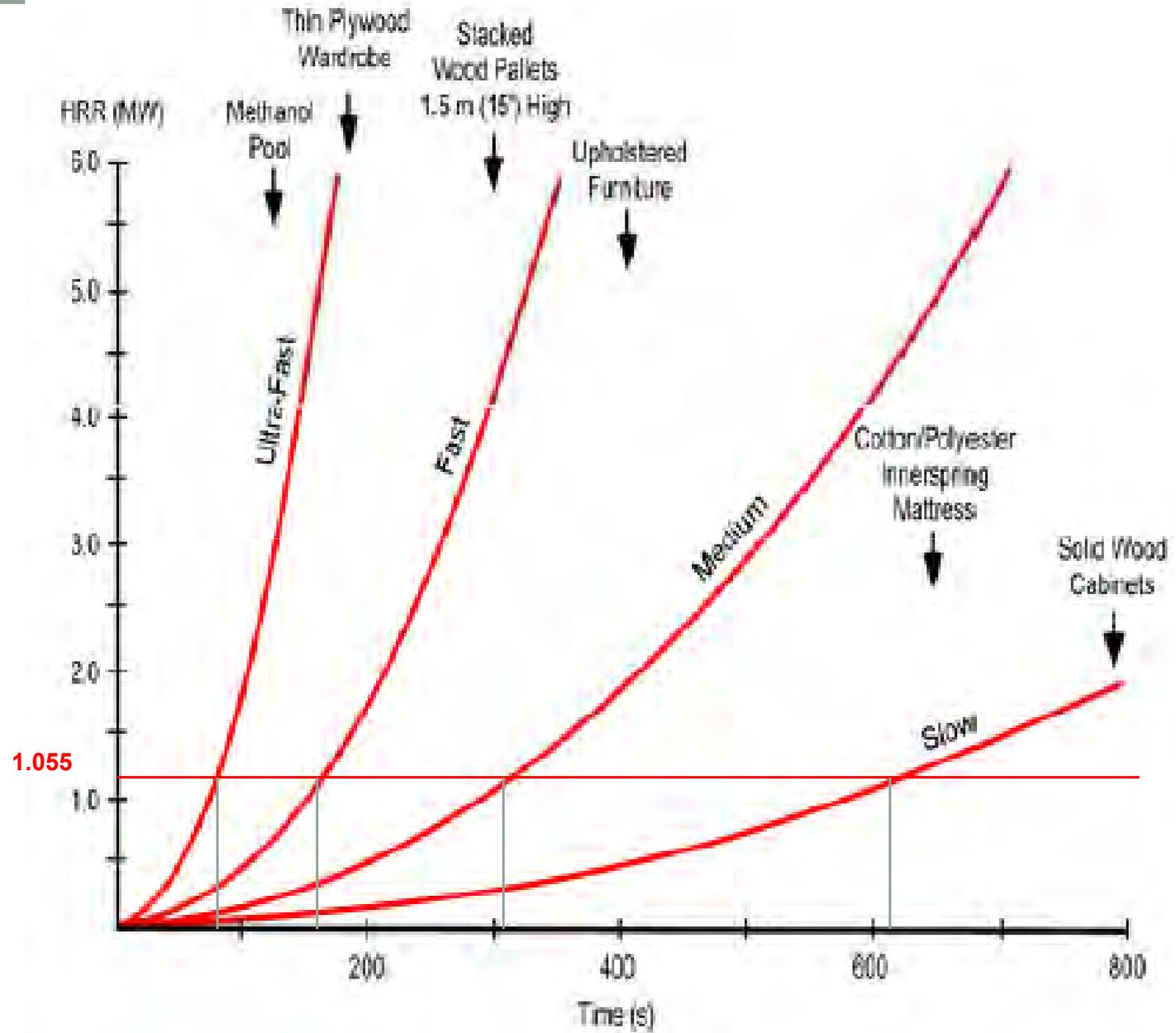


## Classificazione dei fuochi in base alla velocità di crescita

- “Lento” - HRR di 1055 kW in 600 secondi ( $Q = \alpha t^2 = 0,00293 t^2$ )
- “Medio” - HRR di 1055 kW in 300 secondi ( $Q = \alpha t^2 = 0,01172 t^2$ )
- “Veloce” - HRR di 1055 kW in 150 secondi ( $Q = \alpha t^2 = 0,0469 t^2$ )
- “Ultraveloce” - HRR di 1055 kW in 75 sec. ( $Q = \alpha t^2 = 0,1876 t^2$ )

In relazione alla **velocità di crescita ed al tipo di combustibile** si possono verificare 4 tipi di incendi (UNI EN 1991-1-2:2004)

- Crescita lenta
- Crescita media
- Crescita veloce
- Crescita ultraveloce



La **selezione della categoria**, adatta per uno scenario di incendio particolare, deve considerare i fattori descritti sopra.

Il "**giudizio esperto di ingegneria**" è necessario per la selezione della categoria adatta di sviluppo del fuoco.

Per **gli scenari di progetto**, in cui la disposizione geometrica del combustibile è conosciuta, la selezione della categoria può essere basata sui dati sperimentali o su simulazione numerica.

Utili indicazioni sulla scelta delle curve HRR per merci immagazzinate si può ricavare dalle: NFPA204 *Guide for Smoke and Heat Ven-ting, National Fire Protection Association.*

In assenza di dati più specifici, la tabella seguente può fornire dati utili.

Tab. 2.2 – Velocità di rilascio del calore (HRR) in funzione del tipo di attività.

<i>Velocità massima di rilascio di calore <math>HRR_t</math></i>			
<i>Tipo attività</i>	<i>Velocità di crescita dell'incendio</i>	<i>T [sec]</i>	<i><math>HRR_t</math> [KW/mq]</i>
Casa civile abitazione	Media	300	250
Ospedale (camera)	Media	300	250
Albergo (camera)	Media	300	250
Biblioteca	Veloce	150	500
Ufficio	Media	300	250
Aula di una scuola	Media	300	250
Centro commerciale	Veloce	150	250
Teatro-Cinema	Veloce	150	500
Trasporti (spazio pubblico)	Lenta	600	250
Mobili imbottiti e mobilia accatastata vicino a rivestimenti combustibili	Ultra veloce	75	—
Arredamento leggero	Ultra veloce	75	—
Materiale da imballaggio nei rifiuti	Ultra veloce	75	—
Deposito di plastica espansa	Ultra veloce	75	—
Cartone o scatole di plastica disposte verticalmente	Ultra veloce	75	—
Forniture di ufficio distribuite orizzontalmente	Media	300	—
Monitor e materiali per la suddivisione delle stazioni di lavoro	Veloce	150	—
Coperte e materassi	Veloce	150	—
Rivestimenti per pavimenti	Lenta	600	—
Casse del negozio	Media	300	—

## Definizioni

- **incendio di progetto**: descrizione quantitativa di un focolare previsto all'interno di uno **scenario di incendio**;
- **livelli di prestazione**: criteri di tipo quantitativo e qualitativo rispetto ai quali si puo' svolgere una valutazione di sicurezza;
- **processo prestazionale**: processo finalizzato a raggiungere obiettivi e livelli di prestazione specifici;

# Definizioni

## **scenario di incendio:**

descrizione qualitativa dell'evoluzione di un incendio che individua gli eventi chiave che lo caratterizzano e che lo differenziano dagli altri incendi.

Di solito puo' comprendere le seguenti fasi: **innesco, crescita, incendio pienamente sviluppato, decadimento.**

---

Deve inoltre definire l'ambiente nel quale si sviluppa **l'incendio di progetto** ed i sistemi che possono avere impatto sulla sua evoluzione, come ad esempio eventuali impianti di protezione attiva;

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

## COSTRUZIONE APPROSSIMATA DELLA CURVA HRR

1) Il **valore di HRR di flashover** dipende dai seguenti parametri:

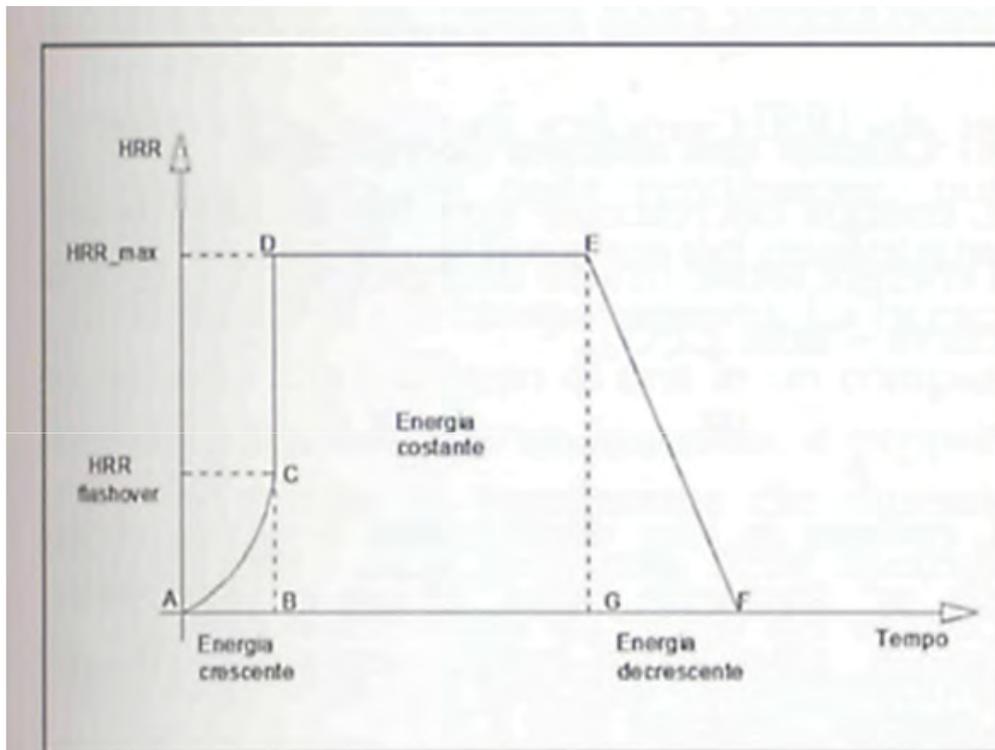


Fig. 2.5 Metodo per la determinazione della curva HRR.

- **area totale** (pavimemo+soffitto+ pareti laterali) di tutte le superfici che delimitano l'ambiente al netto delle aperture **presenti**;
- **Area delle aperture di ventilazione**
- **Altezza delle aperture di ventilazione** .Nel caso di più aperture si utilizzano l'area e l'altezza equivalente.
- Dal **tempo di raggiungimento del flashover**, e dal coefficiente di crescita dell'incendio alfa;

## COSTRUZIONE APPROSSIMATA DELLA CURVA HRR

2) Il **valore del HRR massimo** utilizzando la formula di Kawagoe che **dipende dai seguenti parametri**:

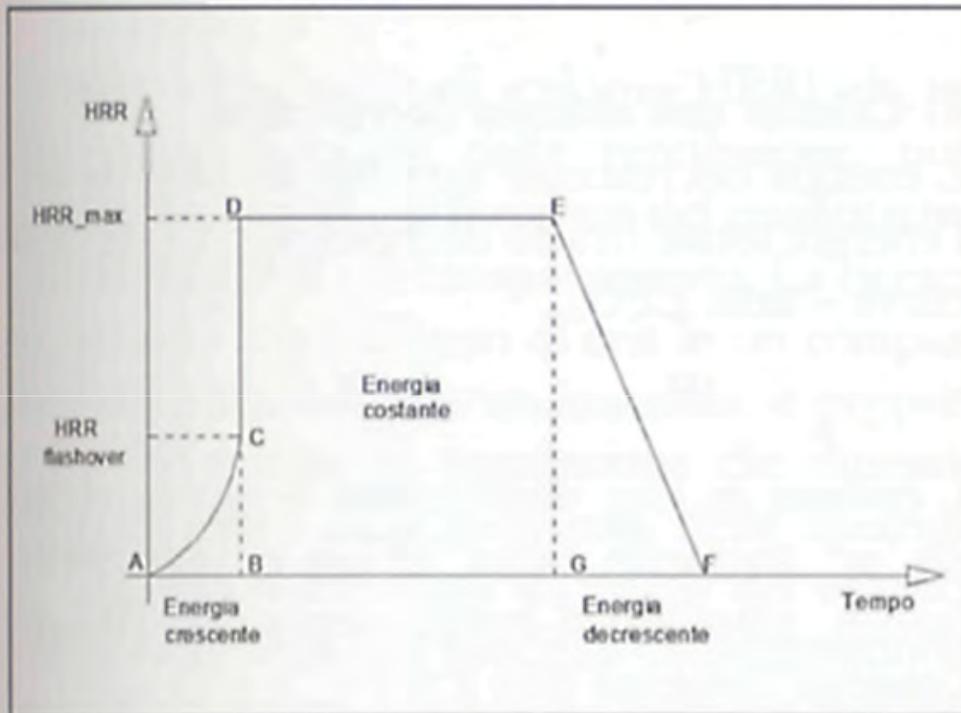


Fig. 2.5 Metodo per la determinazione della curva HRR.

- Dall' **efficienza della combustione** che generalmente si assume uguale a 1.
- **dal calore prodotto della combustione** di un combustibile per kg di aria (valore circa 3.000).
- dall' **area delle aperture di ventilazione**.
- **Dall'altezza delle aperture di ventilazione**.

## COSTRUZIONE APPROSSIMATA DELLA CURVA HRR

3) Calcolo dell'**energia totale**  $E_{tot}$  (area ACDEF), che **dipende dai seguenti parametri**:

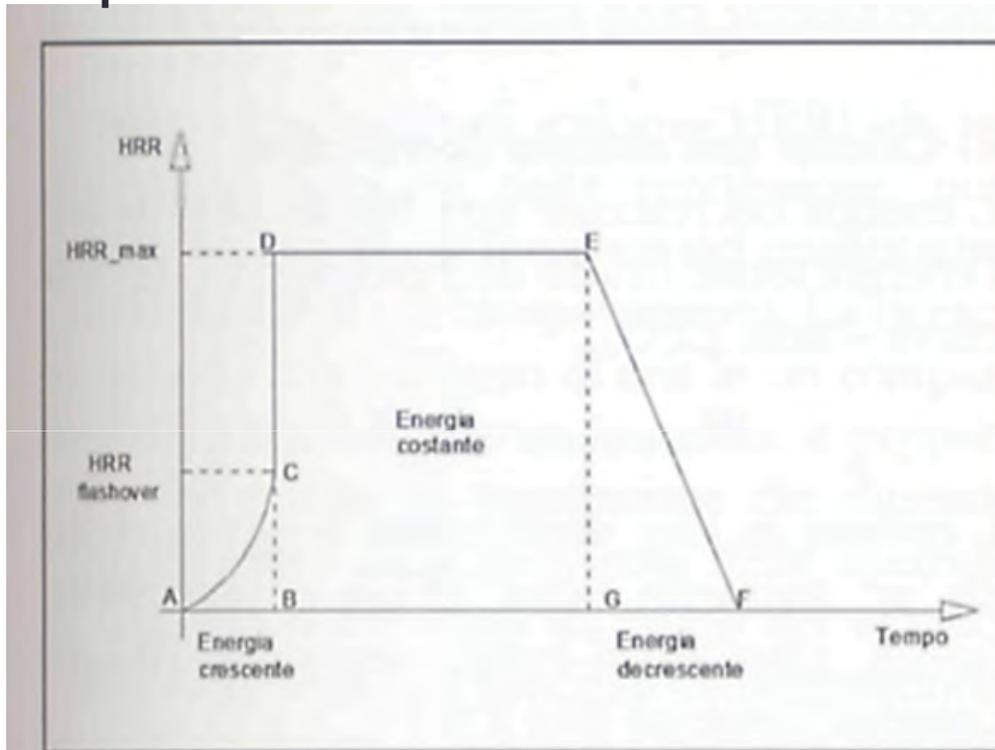


Fig. 2.5 Metodo per la determinazione della curva HRR.

- Dalla massa dello iesimo materiale combustibile
- dal potere calorifico inferiore dello iesimo ma-teriale combustibile [MJ/kg],

## COSTRUZIONE APPROSSIMATA DELLA CURVA HRR

4) Calcolo dell'energia ***E crescente*** relativa al tratto crescente della curva (area ACB), che dipende dai seguenti parametri:

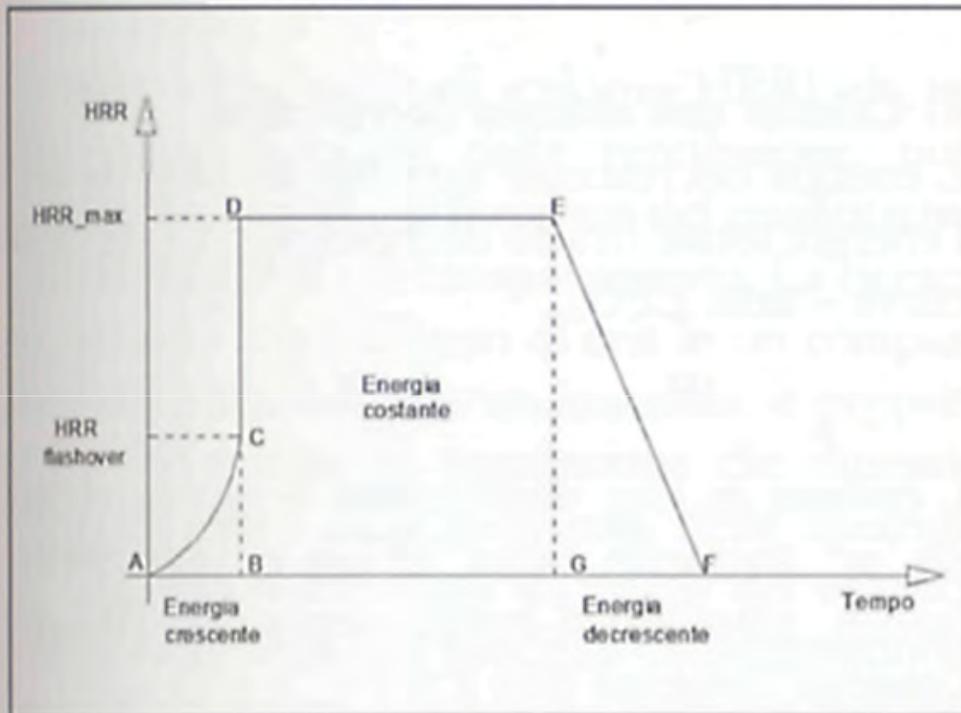


Fig. 2.5 Metodo per la determinazione della curva HRR.

- Curva di crescita dell'incendio ;(crescita lenta, media...)
- Tempo di crescita dell'incendio sino al flash over;

## COSTRUZIONE APPROSSIMATA DELLA CURVA HRR

5) Calcolo dell'**energia E costante** relativa al tratto costante della curva (area BDEG), che **dipende dai seguenti parametri:**

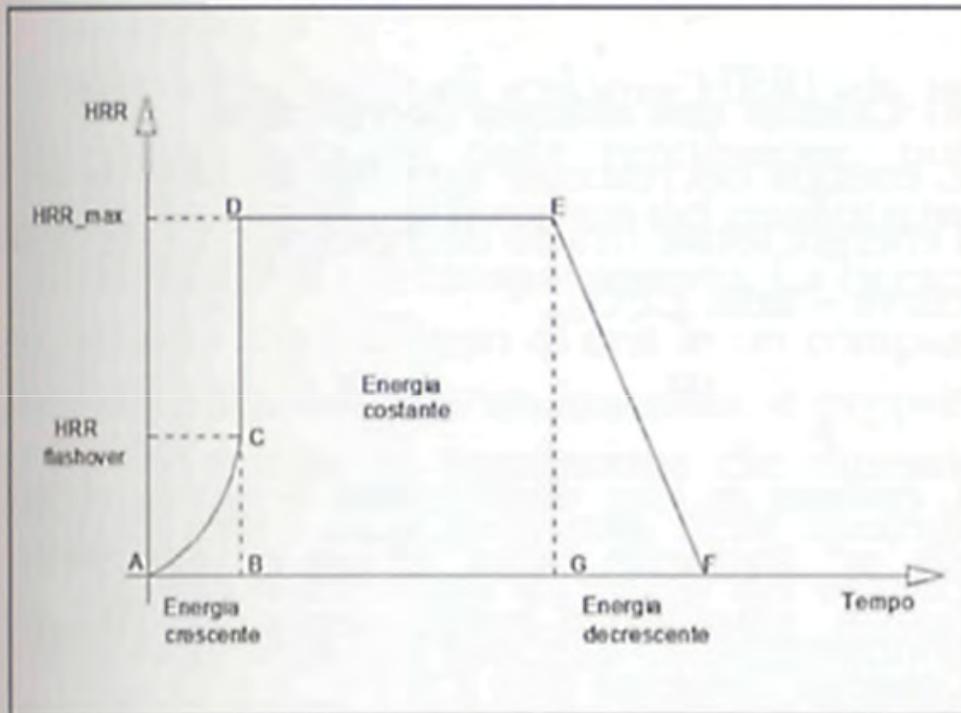


Fig. 2.5 Metodo per la determinazione della curva HRR.

L'Eurocodice 1 UNI-EN 1991-1-2 (appendice E punto E.4) prevede che la curva HRR nella fase di massimo sviluppo corrisponde al 70% del carico di incendio totale consumato,

La fase di riduzione può essere assunta in forma lineare con un inizio quando il 70% del carico di incendio è combusto ed una fine in cui il carico di incendio è completamente combusto.

In relazione alla fase costante dell'incendio l'energia è uguale a:

$E_{\text{costante}} = 70\% E_{\text{tot}} - E_{\text{crescente}}$ .

Di conseguenza si può calcolare il tempo nel quale l'energia si mantiene costante.

## COSTRUZIONE APPROSSIMATA DELLA CURVA HRR

6) Calcolo dell'energia **E decrescente** relativa al tratto calante della curva (area EFG) che **dipende dai seguenti parametri:**

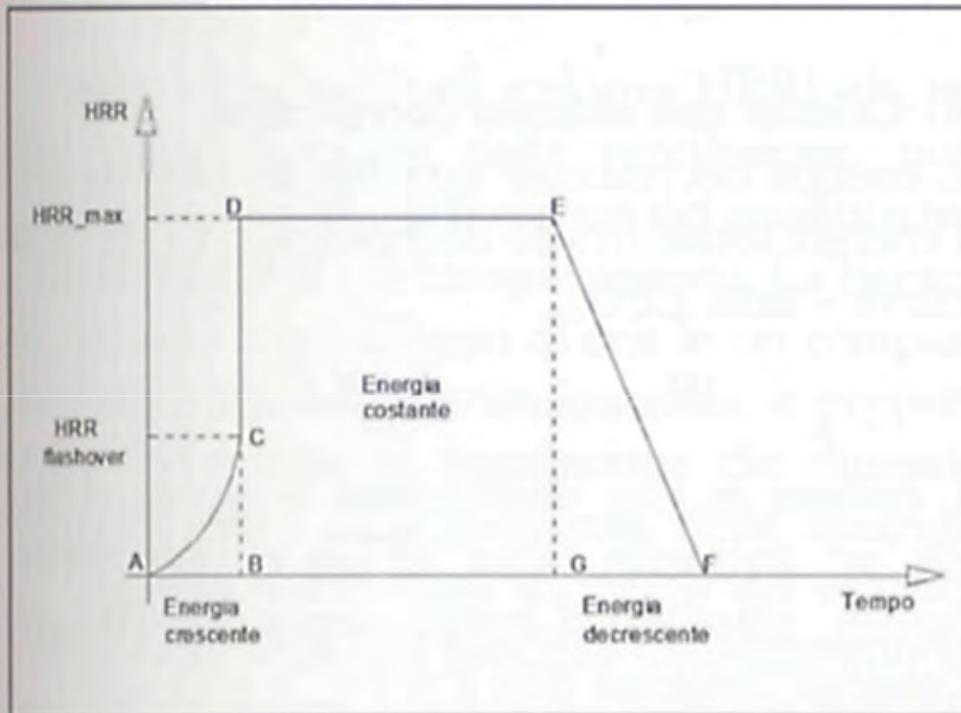


Fig. 2.5 Metodo per la determinazione della curva HRR.

L'energia decrescente sarà uguale al 30% dell'energia totale (tratto decrescente lineare della curva - area EFG).

L'energia in fase decrescente è rappresentata da un triangolo (area EFG] e può essere, quindi, calcolato il tempo necessario affinché l'energia decresca fino a zero.



## La potenza Termica rilasciata da un incendio lo “RHR”

### CONCLUSIONI:

Per un progetto prestazionale è sempre necessario:

- 1) Identificare l'incendio di progetto in relazione agli scenari di incendio credibili per l'attività in esame;
- 2) L'incendio di progetto deve prevedere, mediante dati mutuati dalla letteratura o da prove sperimentali l'andamento dello RHR(t);
- 3) La curva dello RHR(t) qualitativa rappresenta la base di partenza per il calcolo mediante software specifici di simulazione incendi ( a zone o di con modelli fluidodinamici di campo).