

# Corso di Strutture Speciali e Progetto di Strutture Resistenti al Fuoco A.A. 2018-19

## IL PROGETTO DELLE STRUTTURE IN CASO DI INCENDIO

*Modelli di incendio a zone ed esercitazione in “Ozone”*

**Prof. Ing. Emidio Nigro**  
**Ing. Donatella de Silva**

Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e  
l'Architettura

Università di Napoli “Federico II”

E-mail: [emidio.nigro@unina.it](mailto:emidio.nigro@unina.it)

[donatella.desilva@unina.it](mailto:donatella.desilva@unina.it)



Commissione per la Sicurezza  
delle Costruzioni in Acciaio  
in caso d'Incendio

[www.promozioneacciaio.it](http://www.promozioneacciaio.it)

## Modelli di Incendio

Modello di incendio	Incendi nominali	Tempo equivalente	Incendi parametrici	Incendi localizzati	Modello a zone		CFD
					Una zona	Due zone	
<b>Complessità</b>	Bassa	Intermedia			Elevata		
<b>Comportamento dell'incendio</b>	Incendi in fase post-flashover			Incendi in fase pre-flashover	Incendi in fase post-flashover	Incendi in fase pre-flashover e incendi localizzati	Analisi completa del campo di temperatura e del moto dei fumi
<b>Parametri iniziali per la definizione del modello</b>	tipo di incendio da scegliere tra quelli nominali; durata dell'incendio da fissare sulla base del <u>carico di incendio</u> o di regole tecniche prescrittive	<u>carico di incendio</u> ; distribuzione del materiale combustibile; quantità di aria fornita nell'unità di tempo; geometria del compartimento; proprietà termiche dei materiali costituenti il compartimento		<u>carico di incendio</u> ; altezza del soffitto; curve di rilascio termico del materiale combustibile (RHR); diametro della fiamma	<u>carico di incendio</u> ; distribuzione del materiale combustibile; quantità di aria fornita nell'unità di tempo; geometria del compartimento; proprietà termiche dei materiali costituenti il compartimento; dati necessari per l'equilibrio di massa e calore del sistema		Dati sulle condizioni geometriche e di aerazione del compartimento, dati sulle caratteristiche dei materiali, sulla destinazione d'uso, ...
<b>Distribuzione di temperatura</b>	Uniforme in tutto il compartimento			Non uniforme in tutto il compartimento	Uniforme in ciascuna zona		Dipendente dal tempo e dalla posizione
<b>Strumenti di progetto</b>	Eurocodici EN 1990 EN 1991-1-2				Software di calcolo dedicati		

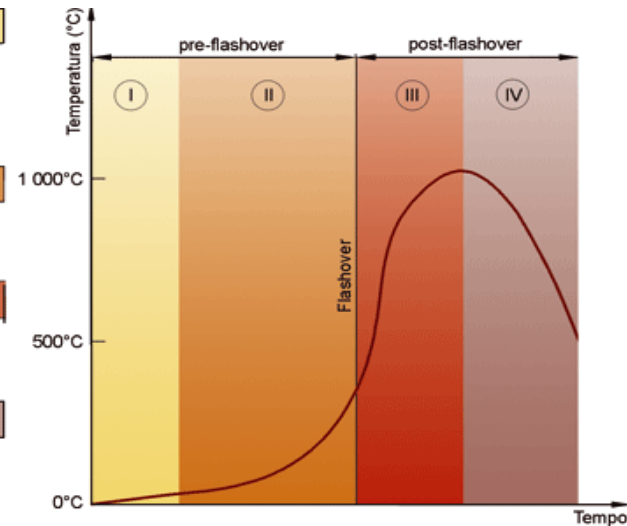
# Curve d'incendio

## Tipologie di incendio

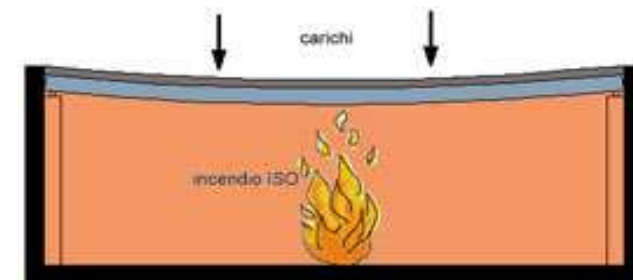
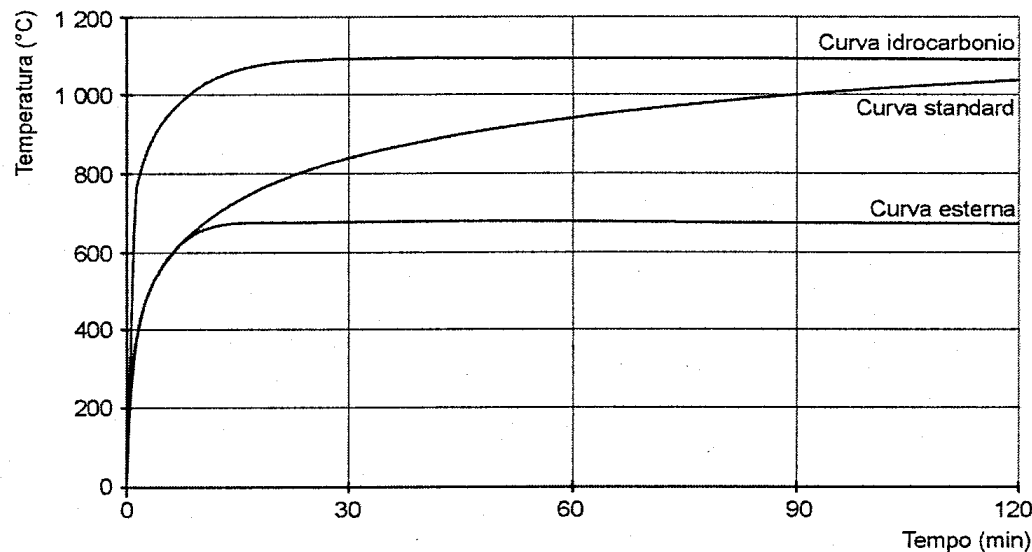
La **curva di incendio di progetto** può essere:

✓ **Naturale:** curva determinata in base a modelli d'incendio e a parametri fisici che definiscono le variabili di stato all'interno del compartimento.

- I - Fase iniziale o di ignizione**  
si verifica quando uno o più oggetti combustibili vengono in contatto con una sorgente di calore
- II - Propagazione**  
nella combustione vengono coinvolti altri oggetti combustibili
- III - Incendio generalizzato**  
l'incendio si estende a tutti i materiali combustibili presenti
- IV - Estinzione o raffreddamento**  
gli effetti dell'incendio diminuiscono a causa del consumo progressivo dei materiali combustibili



✓ **Nominale:** curva adottata per la classificazione delle costruzioni e per le verifiche di resistenza al fuoco di tipo convenzionale.



Prove in forno

# INCENDI NATURALI

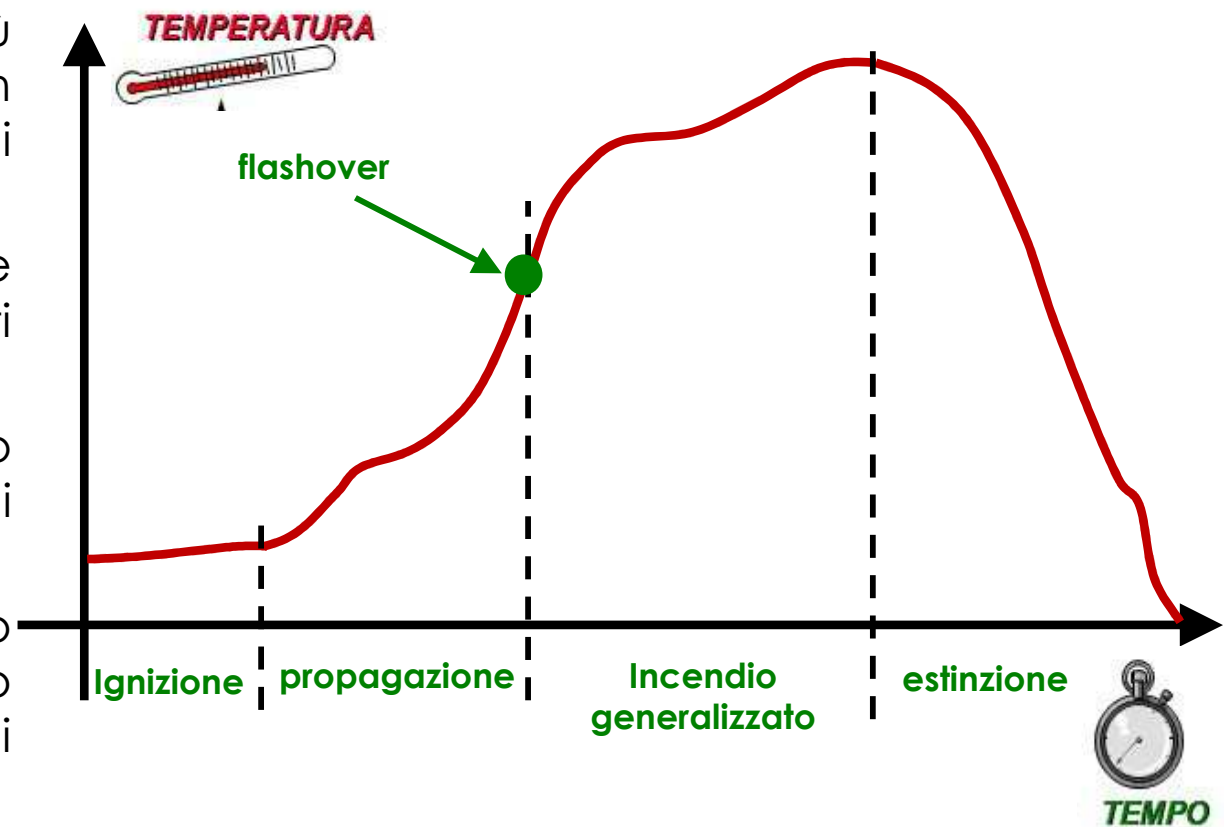
- ✓ **Naturale:** curva determinata in base a modelli d'incendio e a parametri fisici che definiscono le variabili di stato all'interno del compartimento.

**I. Ignizione:** si verifica quando o più oggetti combustibili vengono in contatto con una sorgente di calore.

**II. Propagazione:** nella combustione vengono coinvolti altri oggetti combustibili.

**III. Incendio generalizzato:** L'incendio si estende a tutti i materiali combustibili presenti

**IV. Estinzione:** gli effetti dell'incendio diminuiscono a causa del consumo progressivo dei materiali combustibili



**FLASHOVER:** è la fase di transizione in cui le fiamme, da uno stato di incendio localizzato, si propagano velocemente a tutto il volume del compartimento.

Questo stato può essere riconosciuto in corrispondenza di una temperatura dei gas sul soffitto dell'ordine di 600°C.

# INCENDI NATURALI

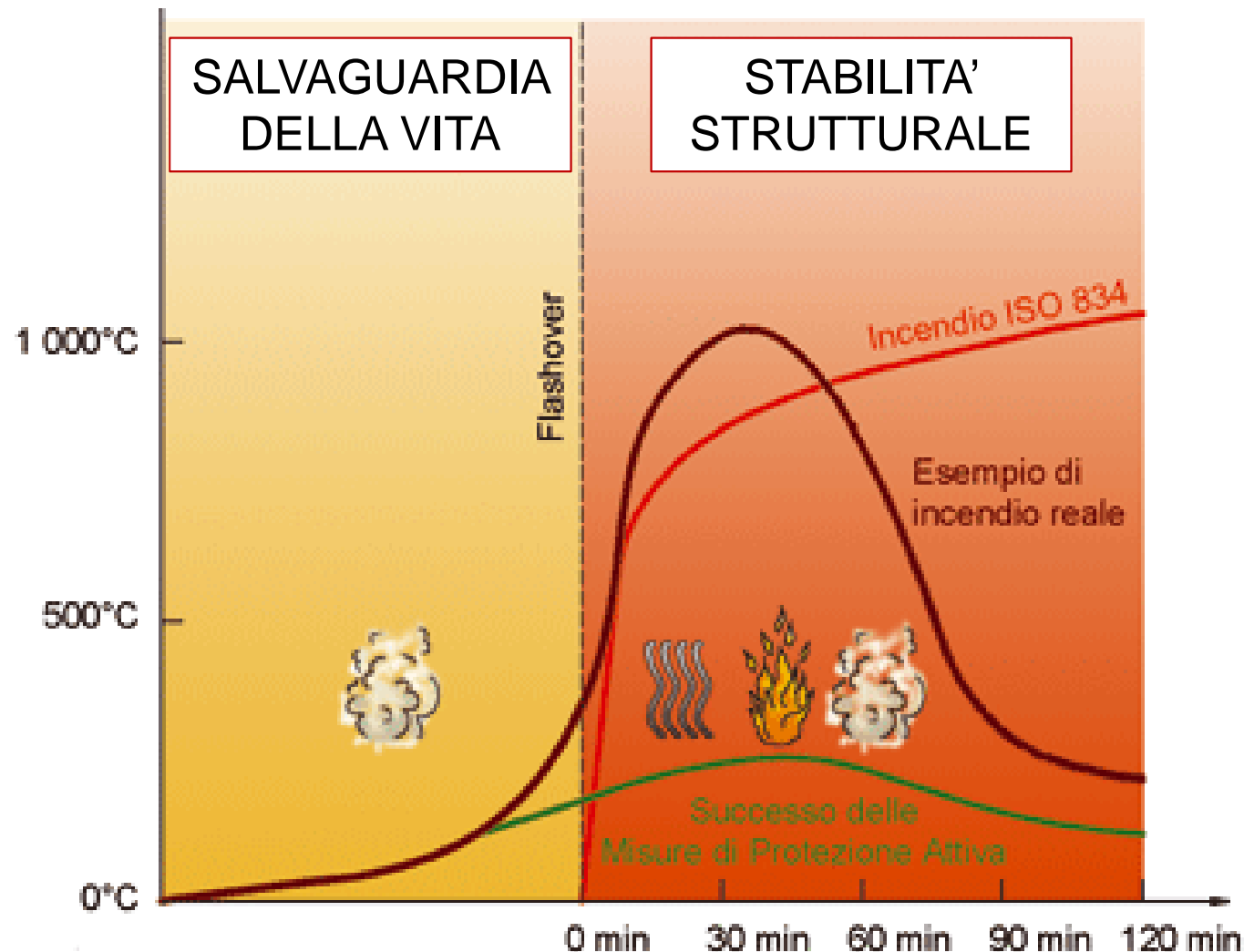
Col metodo FSE si possono risolvere due tipologie di problemi:

## SALVAGUARDIA DELLA VITA

Problema **pre-flashover**, dipende essenzialmente dal movimento di fumi e calore nell'edificio ed è legato in prima approssimazione all'RHR ed alla qualità del focolare.

## STABILITÀ STRUTTURALE

Problema **post-flashover**, dipende essenzialmente dal cimento termico della struttura cioè dall'energia prodotta dall'incendio (carico d'incendio) e dalle condizioni di ventilazione.



# Carico d'incendio

## Carico di incendio

Il carico di incendio rappresenta il potenziale termico netto della totalità dei materiali combustibili contenuti in uno spazio corretto in base ai parametri indicativi della partecipazione alla combustione dei singoli materiali. Il carico di incendio è espresso in MJ.

## Carico di incendio specifico ( $q_f$ )

Il carico di incendio specifico rappresenta il carico di incendio riferito all'unità di superficie lorda. E' espresso in MJ/m<sup>2</sup> e determinato con la seguente relazione:

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

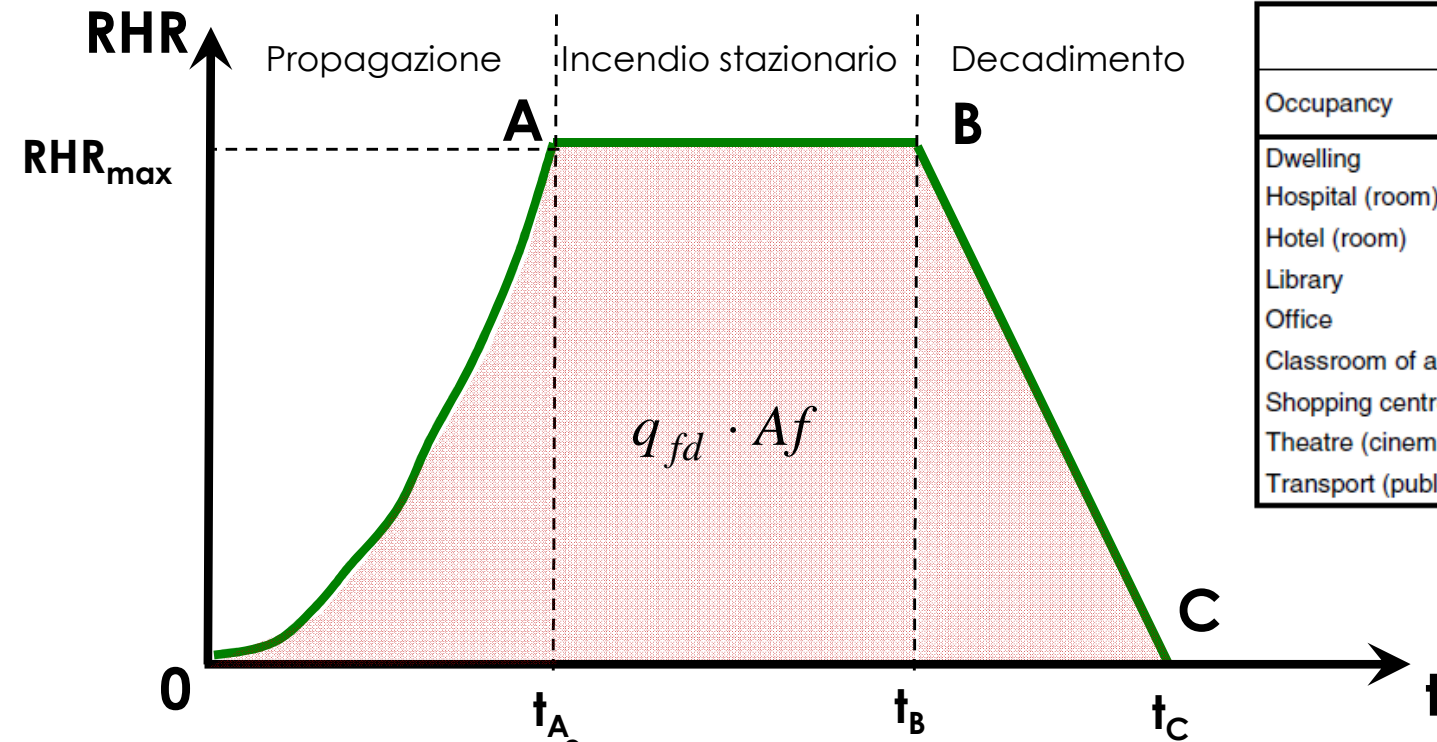
## Carico di incendio specifico di progetto ( $q_{f,d}$ )

Il carico di incendio specifico di progetto rappresenta carico d'incendio specifico corretto in base ai parametri indicatori del rischio di incendio del compartimento e dei fattori relativi alle misure di protezione presenti. Esso costituisce la grandezza di riferimento per le valutazioni della resistenza al fuoco delle costruzioni ed è determinato con la seguente relazione:

$$q_{f,d} = q_f \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n$$

# Curva di rilascio termico

## Tipologie di incendio: RHR – Curva di rilascio termico (M2.6)



Max Rate of heat release $RHR_f$			
Occupancy	Fire growth rate	$t_{\alpha}$ [s]	$RHR_f$ [kW/m <sup>2</sup> ]
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	250
Theatre (cinema)	Fast	150	500
Transport (public space)	Slow	600	250

$$RHR(t) = 1000 \cdot \left( \frac{t}{t_{\alpha}} \right)^2 \quad \forall t \leq t_A$$

$$RHR(t) = RHR_{max} = RHR_f \cdot A_f \quad \forall t_A < t \leq t_B$$

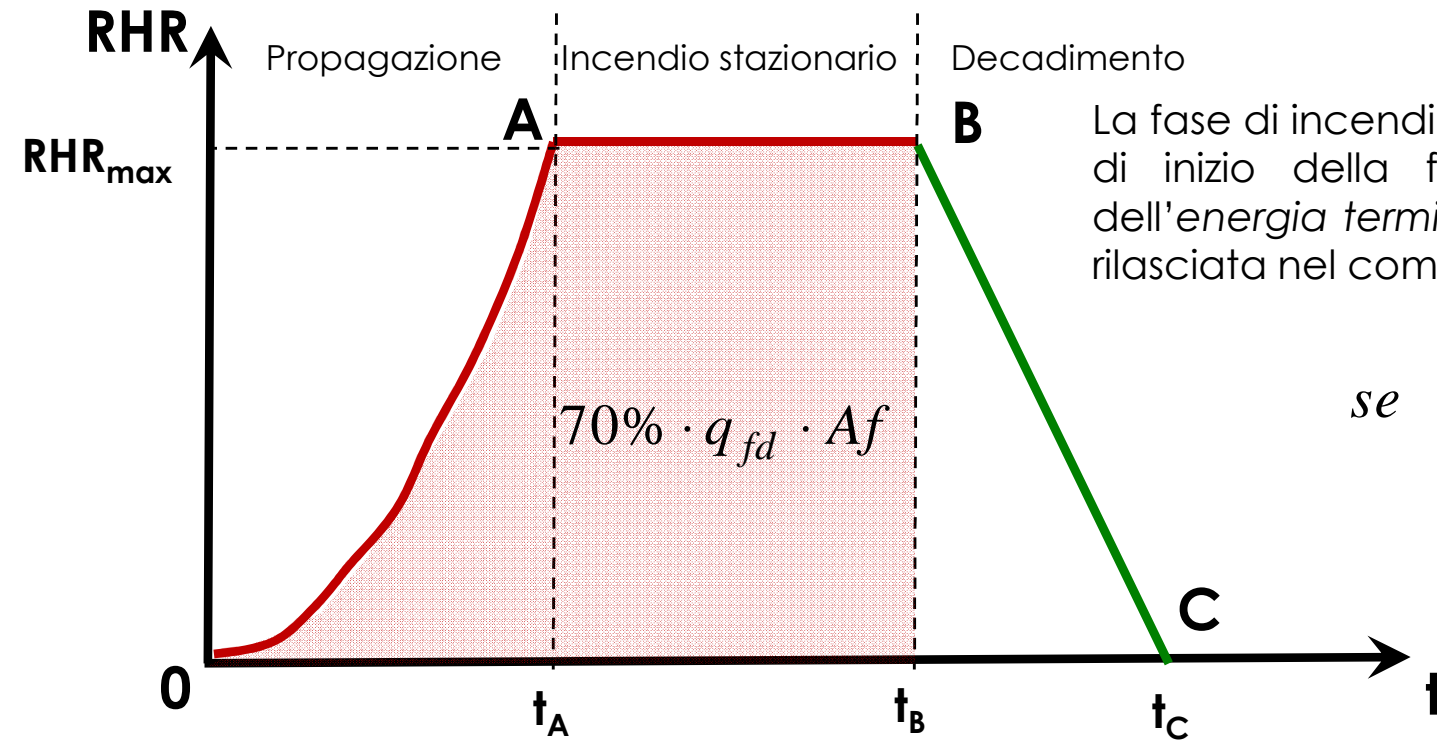
$t_{\alpha}$  tempo necessario affinché la potenza termica rilasciata raggiunga il valore di 1000 kW.

$RHR_f$  valore della potenza termica massima rilasciata per unità di superficie lorda.

$A_f$  superficie lorda del compartimento in caso di distribuzione uniforme del carico d'incendio, oppure superficie lorda effettivamente occupata dal combustibile

# Curva di rilascio termico

## Tipologie di incendio: RHR – Curva di rilascio termico (M2.6)



La fase di incendio stazionario termina al tempo  $t_B$ , tempo di inizio della fase di decadimento, in cui il 70% dell'energia termica inizialmente disponibile  $q_{fd}A_f$  è stata rilasciata nel compartimento antincendio.

$$se \quad 70\% \cdot q_{fd} \cdot A_f > \frac{1}{3} \frac{1000}{t_\alpha^2} t_A^3$$



$$t_B = t_A + \frac{70\% q_{fd} \cdot A_f - \frac{1}{3} \cdot \frac{1000}{t_\alpha^2} \cdot t_A^3}{RHR_{max}}$$

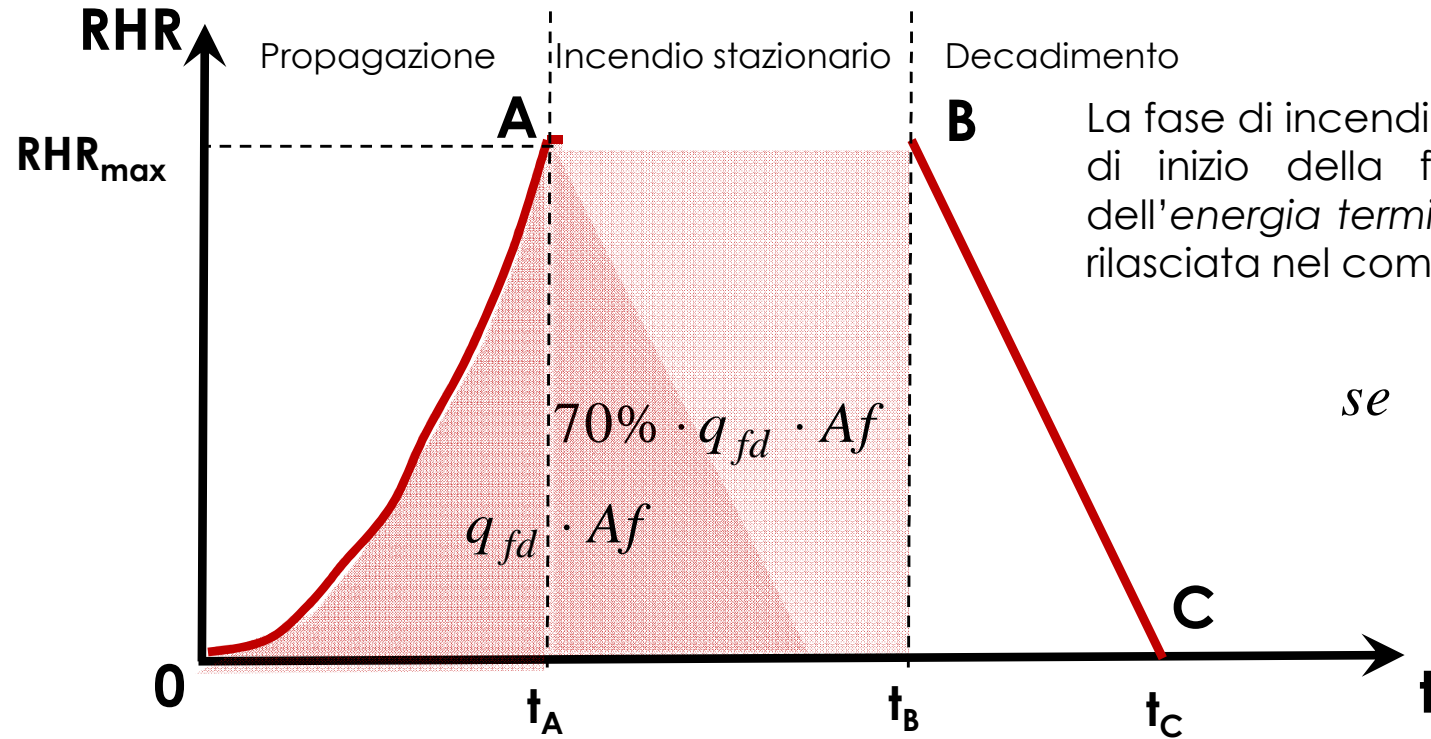
$$t_A = \sqrt{RHR_{max} \frac{t_\alpha^2}{1000}}$$

$$RHR(t) = RHR_{max} \cdot \frac{t_C - t}{t_C - t_B} \quad \forall t_B < t \leq t_C$$

$$t_C = t_B + \frac{2 \cdot 30\% q_{fd} \cdot A_f}{RHR_{max}}$$

# Curva di rilascio termico

## Tipologie di incendio: RHR – Curva di rilascio termico (M2.6)



La fase di incendio stazionario termina al tempo  $t_B$ , tempo di inizio della fase di decadimento, in cui il 70% dell'energia termica inizialmente disponibile  $q_{fd}A_f$  è stata rilasciata nel compartimento antincendio.

$$se \quad 70\% \cdot q_{fd} \cdot A_f \leq \frac{1}{3} \frac{1000}{t_\alpha^2} t_A^3$$



$$t_B = t_A + \frac{70\% q_{fd} \cdot A_f - \frac{1}{3} \cdot \frac{1000}{t_\alpha^2} \cdot t_A^3}{RHR_{max}}$$

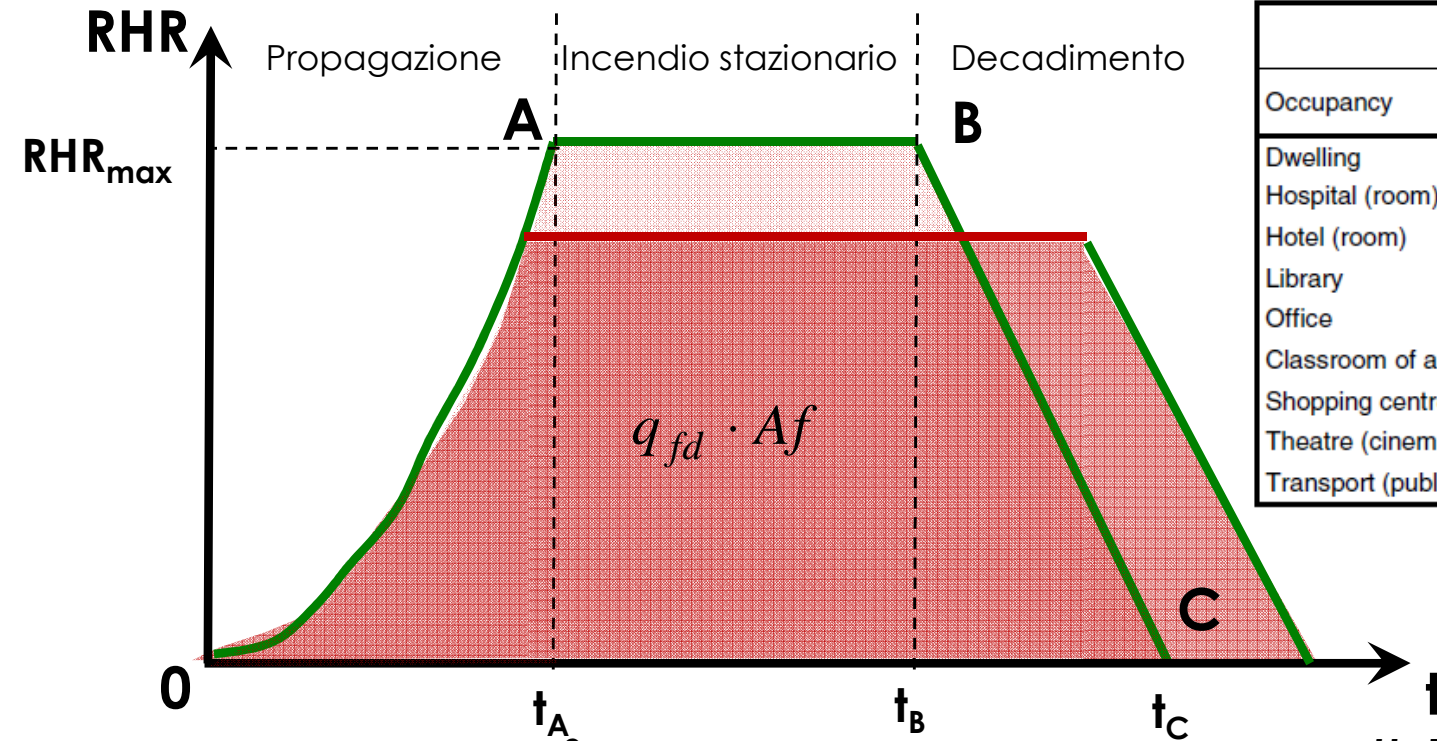
$$t_A = \sqrt{RHR_{max} \frac{t_\alpha^2}{1000}}$$

$$RHR(t) = RHR_{max} \cdot \frac{t_C - t}{t_C - t_B} \quad \forall t_B < t \leq t_C$$

$$t_C = t_B + \frac{q_{fd} \cdot A_f - \frac{1}{3} \cdot \frac{1000}{t_\alpha^2} \cdot t_A^3}{RHR_{max}}$$

# Curva di rilascio termico

## Tipologie di incendio: RHR – Curva di rilascio termico (M2.6)



Max Rate of heat release $RHR_f$			
Occupancy	Fire growth rate	$t_{\alpha}$ [s]	$RHR_f$ [kW/m <sup>2</sup> ]
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	250
Theatre (cinema)	Fast	150	500
Transport (public space)	Slow	600	250

$$RHR(t) = 1000 \cdot \left( \frac{t}{t_{\alpha}} \right)^2 \quad \forall t \leq t_A$$

$$RHR(t) = RHR_{max} = \cancel{RHR_f} \cdot \cancel{A_f} \quad \forall t_A < t \leq t_B$$

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

$H_v$  Potere calorifico del legno  
 $A_v$  Area totale delle aperture verticali.  
 $h_{eq}$  Altezza media delle finestre

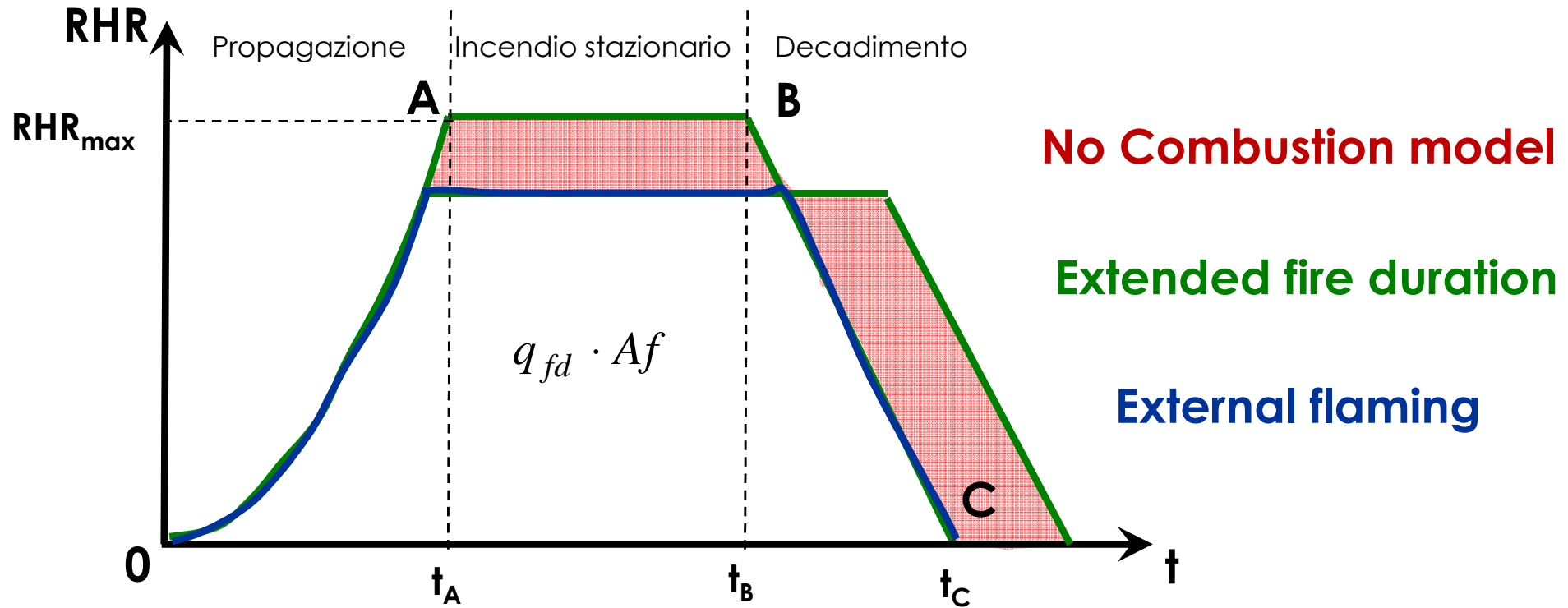
$t_{\alpha}$  tempo necessario affinché la potenza termica rilasciata raggiunga il valore di 1000 kW.

$RHR_f$  valore della potenza termica massima rilasciata per unità di superficie lorda.

$A_f$  superficie lorda del compartimento in caso di distribuzione uniforme del carico d'incendio, oppure superficie lorda effettivamente occupata dal combustibile

# Curva di rilascio termico

## Tipologie di incendio: RHR – Curva di rilascio termico (M2.6)



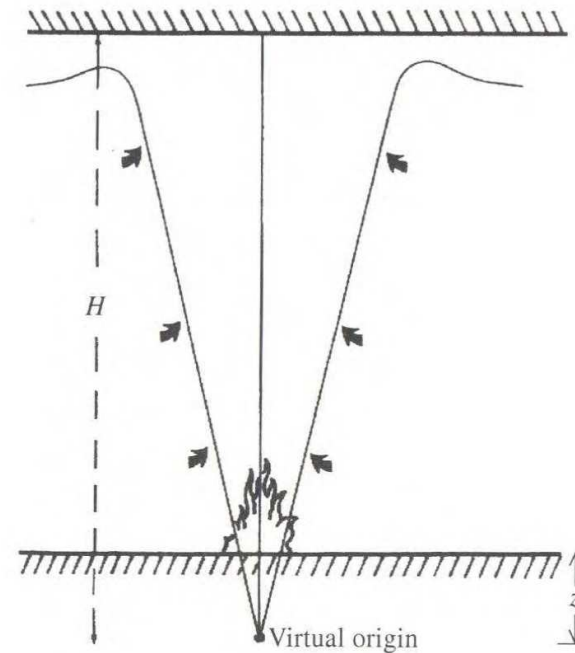
# Incendi Localizzati

Spazi ampi

Carico d'incendio  
modesto o concentrato

Spazi ampiamente  
ventilati

NO Flashover



$L_f$  = altezza della fiamma in m

$L_f < H$

EN 1991-1-2 APP C

$L_f > H$

**Incendi localizzati  
Non impattanti il  
soffitto**

**Metodo di Heskestad**

**Incendi localizzati  
impattanti il soffitto:  
Metodo di Hasemi**

Parte convettiva del rilascio termico [W]

$$\theta(z) = 20 + 0,25 \cdot Q_c^{2/3} \cdot (z - z_0)^{-5/3}$$

$$\dot{h}_{net} = \dot{h} - \alpha_c \cdot (\theta_m - 20) - \varphi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\theta_m + 273)^4 - (293)^4]$$

$z$  = altezza lungo l'asse verticale della fiamma [m]

$z_0$  = origine virtuale della fiamma [m]

# Incendi Localizzati

L'Eurocodice fornisce il flusso di calore per superficie unitaria:

$$\dot{h} = 100000$$

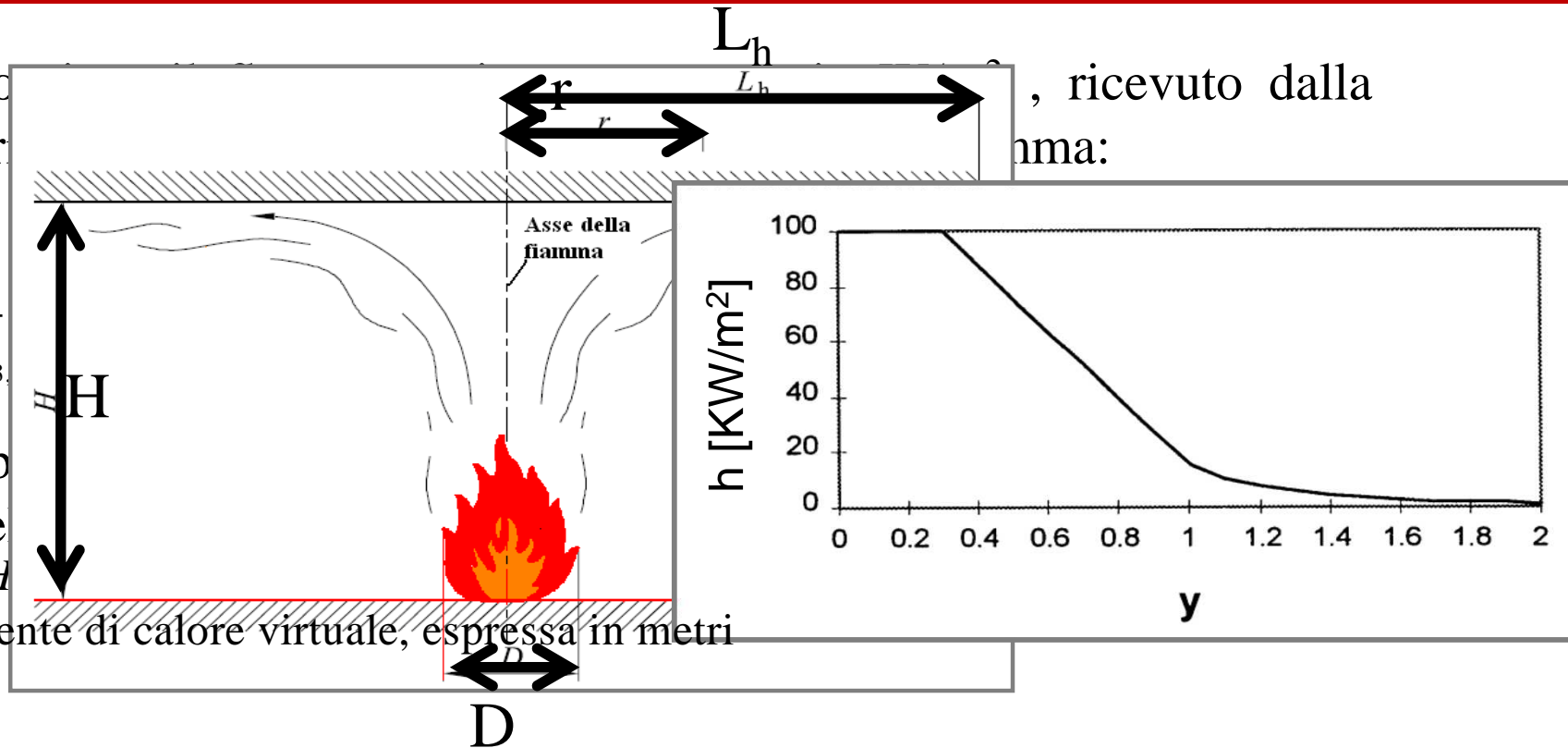
$$\dot{h} = 136300 -$$

$$\dot{h} = 15000 y^{-3}$$

Essendo  $y$  un parametro fornito dalla relazione:

$$y = (r + H)$$

$z'$  = posizione della sorgente di calore virtuale, espressa in metri



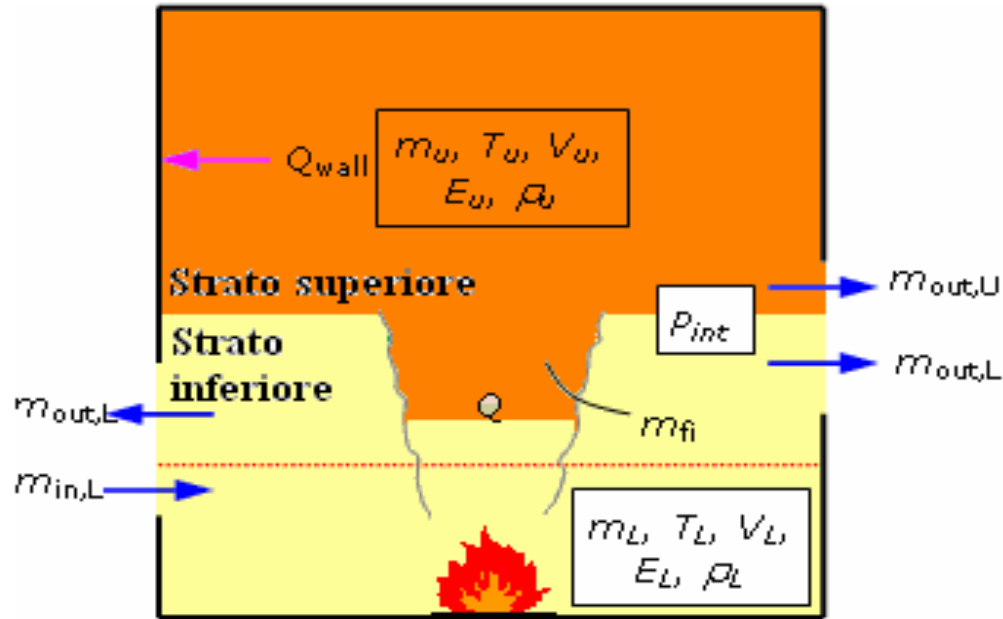
$D$  è il diametro della fiamma.

$r$  è la distanza, in metri, tra l'asse verticale della fiamma ed il punto appartenente al soffitto nel quale viene calcolato il flusso di calore;

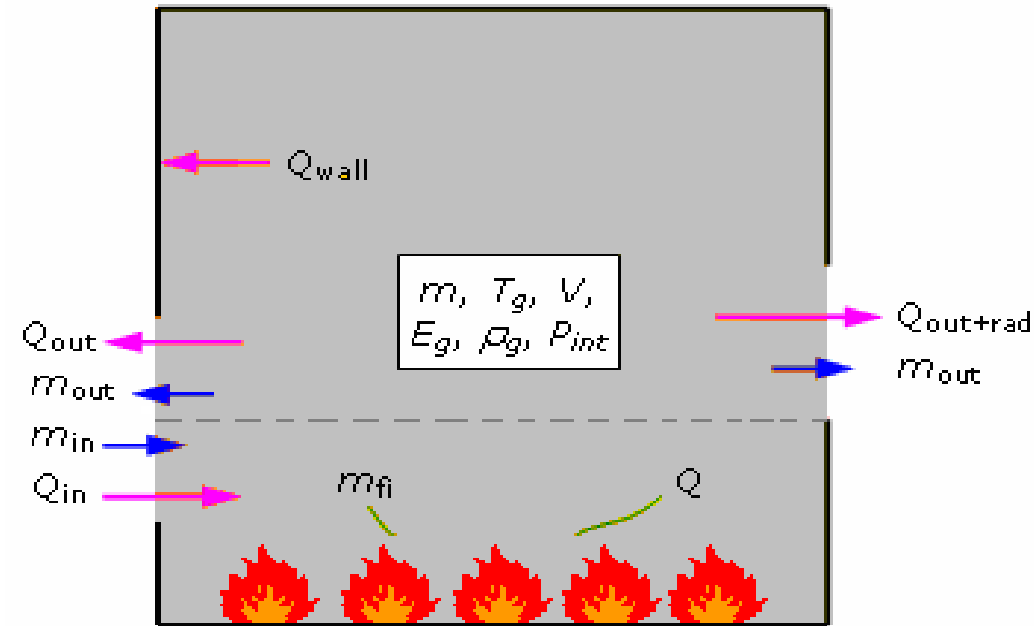
$H$  è la distanza, in metri, tra la sorgente dell'incendio ed il soffitto;

$L_h$  è l'ingombro orizzontale della fiamma, espresso in metri.

# Incendi a zone



**Incendio a due zone**



**Incendio a una zona**

Proprietà fisiche del gas all'interno del compartimento soggetto ad incendio:

- $m$  massa del gas;
- $T_g$  temperatura del gas.
- $V$  volume del compartimento;
- $E_g$  energia interna del gas;
- $\rho_g$  densità del gas;
- $P_{int}$  pressione interna del gas;
- $Q$  velocità di rilascio di calore dell'incendio

**BILANCIO DI ENERGIA (CALORE) E DI MASSA ( GAS)**

# Incendi a zone

La legge dei gas ideali afferma che la pressione interna del gas  $P_{int}$ , che nel modello ad una zona corrisponde alla pressione nel compartimento, è data da:

$$P_{int} = \rho_g \cdot R \cdot T_g \quad (3.49)$$

dove

$\rho_g$  è la densità del gas;

$R$  è la costante universale dei gas ideali;

$T_g$  è la temperatura del gas.

Per il principio di conservazione della massa, il bilancio di massa dei gas del compartimento può essere scritto come segue:

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} + \dot{m}_{fi} \quad (3.50)$$

dove:

$\frac{dm}{dt}$  è la velocità di variazione della massa di gas nel compartimento;

$\dot{m}_{in}$  è la velocità della massa di gas entrante nel compartimento;

$\dot{m}_{out}$  è la velocità della massa di gas uscente dal compartimento;

$\dot{m}_{fi}$  è la velocità di generazione del gas per pirolisi.

# Incendi a zone

Per il principio di conservazione dell'energia, il bilancio di energia dei gas nel compartimento può essere espresso come segue:

$$\frac{dE_g}{dt} = Q - Q_{out} + Q_{in} - Q_{wall} - Q_{rad}$$

dove:

$E_g$  è l'energia interna del gas;

$Q$  è la velocità di rilascio di calore dell'incendio;

$$Q_{in} = \dot{m}_{in} \cdot c \cdot T_f ;$$

$$Q_{out} = \dot{m}_{out} \cdot c \cdot T_{amb} ;$$

$Q_{wall} = (A_t - A_{h,v}) \cdot \dot{h}_{net}$  è la perdita di energia dalle superfici perimetrali del compartimento;

$Q_{wall} = A_{h,v} \cdot \sigma \cdot T_f^4$  è la perdita di energia per irraggiamento attraverso le aperture;

con

$c$  calore specifico;

$\dot{h}_{net}$  flusso termico netto;

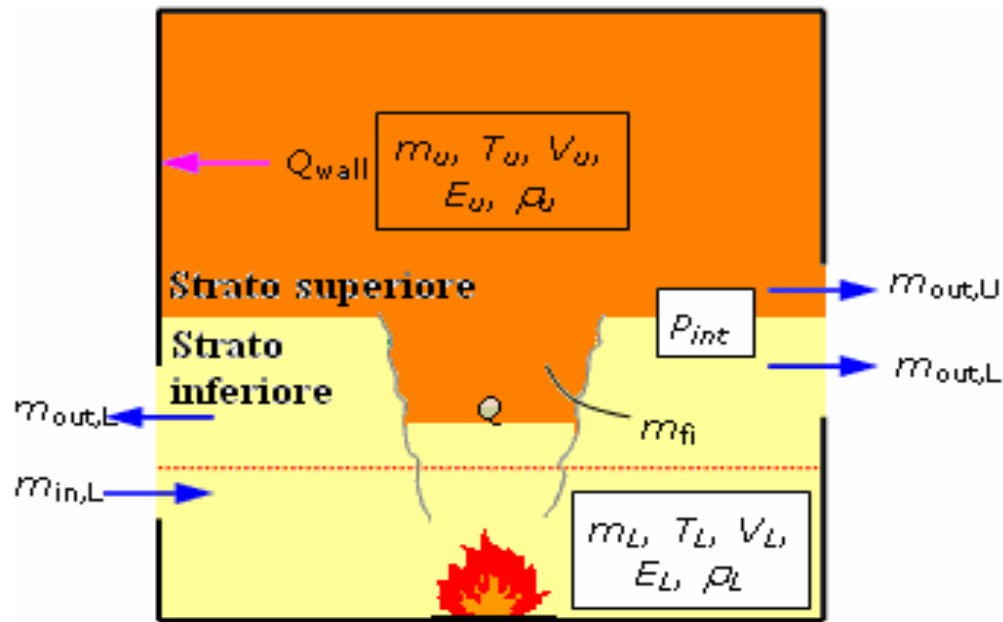
$\dot{m}$  variazione di massa del gas nell'unità di tempo;

$T$  temperatura

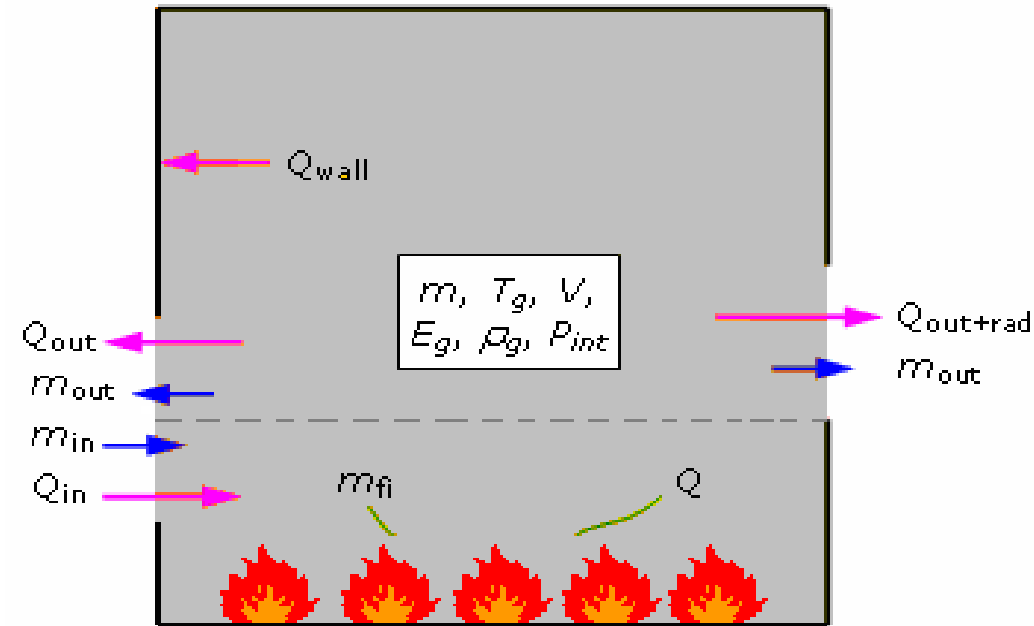
$T_f$  temperatura della fiamma.

$T_{amb}$  temperatura dell'ambiente.

# Incendi a zone



**Incendio a due zone**



**Incendio a una zona**

Tra i programmi di calcolo basati sui modelli a zone si segnalano:

- **CFAST**: disponibile presso il National Fire Protection Association, realizzato da W. Jones nel 2002;
- **OZone**: disponibile presso l'Università di Liegi (Belgio), sviluppato da Cadorin & Franssen nel 2003.

# Incendi a zone

## Tipologie di incendio: Modelli a zone (Annex D1 e D2)

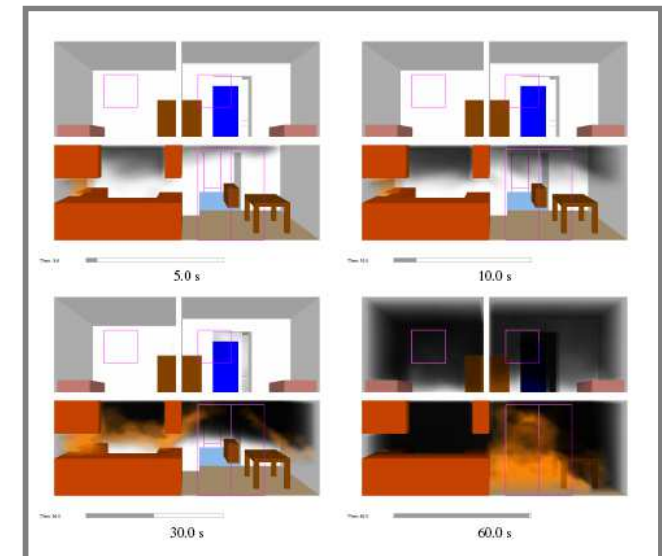
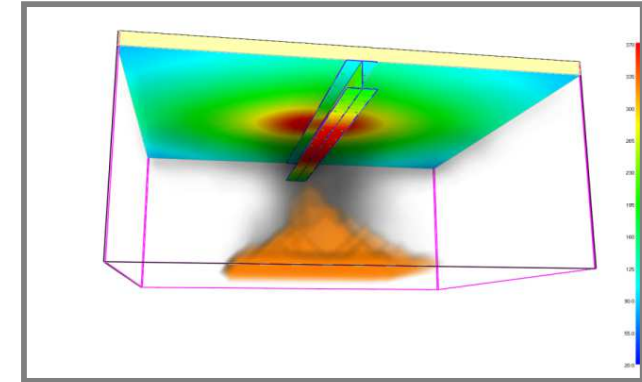
Parameter	OZONE	C-FAST
Flashover temperature	500°C	600°C
Convective coefficient	Constant; defined by the user	Variable and dependent on Nusselt number
Radiative model	Stephan-Boltzman equation	Siegel & Howell model
Type of analyses	1 zone, 2 zones or combination	1 zone; 2 zones
% of available oxygen to have a fuel controlled fire	>0	Defined by the user
Loss coefficient for ventilation opening $C_v$	0.4	0.6

# Eurocodici – EN 1991-1-2

## Tipologie di incendio: FDS (Annex D3)

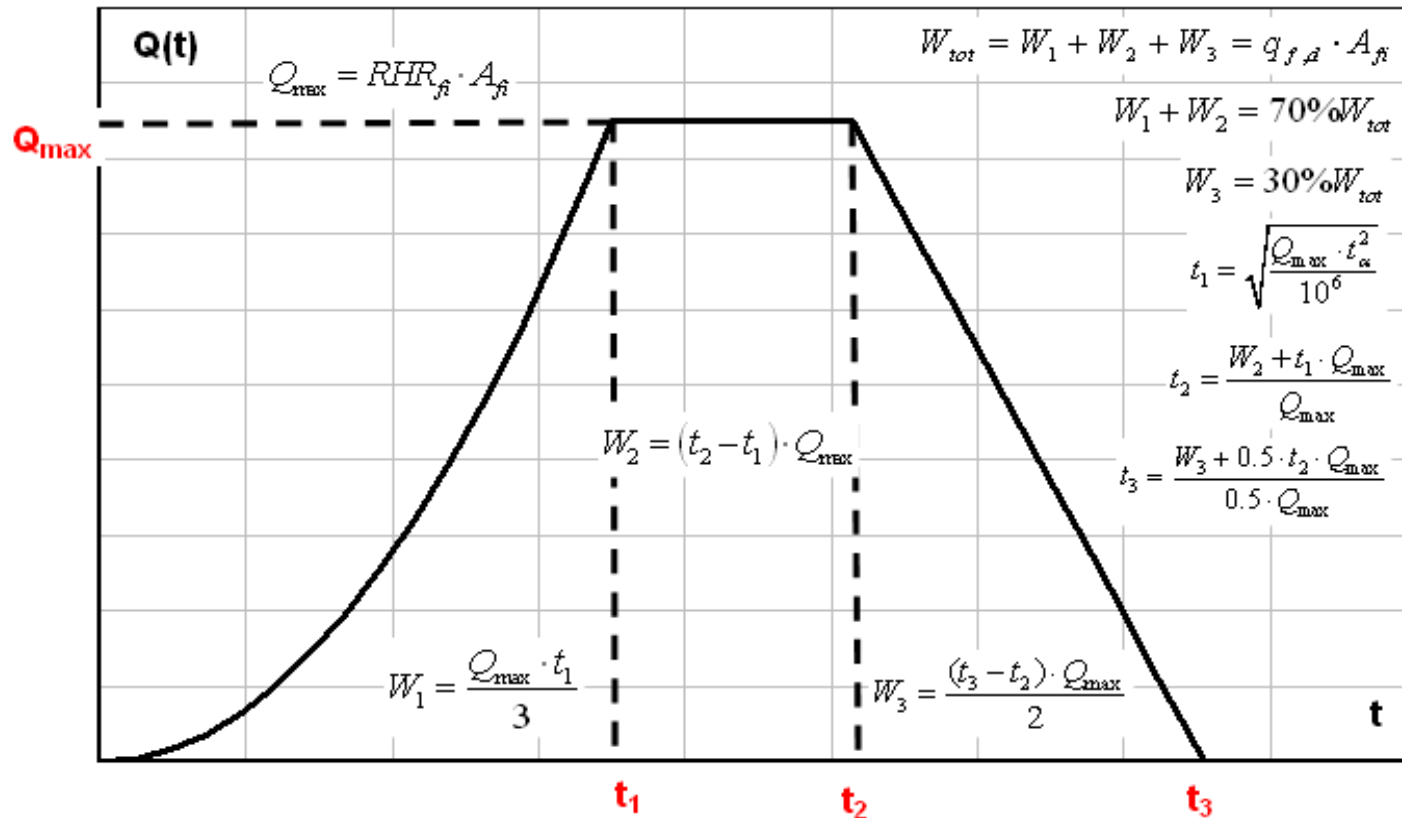
### Modelli di campo o CFD

- ✓ I modelli di fluidodinamica computazionale forniscono la stima dell'evoluzione dell'incendio in uno spazio, risolvendo per via numerica le equazioni fondamentali del flusso dei fluidi risultante da un incendio.
- ✓ Essi sono capaci di modellare incendi in fase pre-flashover e localizzati, incendi in fase post-flashover. Valutano la diffusione delle fiamme e dei fumi all'interno del dominio.
- ✓ Forniscono le temperature, i flussi incidenti radiativi e convettivi sugli elementi solidi



*Fire Dynamics Simulator (FDS) : disponibile presso il National Institute of Standards and Technology (NIST), sviluppato da K. McGrattan e G. Forney nel 2002.*

## Appendice E.4 dell'Eurocodice 1, UNI EN 1991-1-2



I parametri da conoscere per costruire una curva di RILASCIO TERMICO sono:

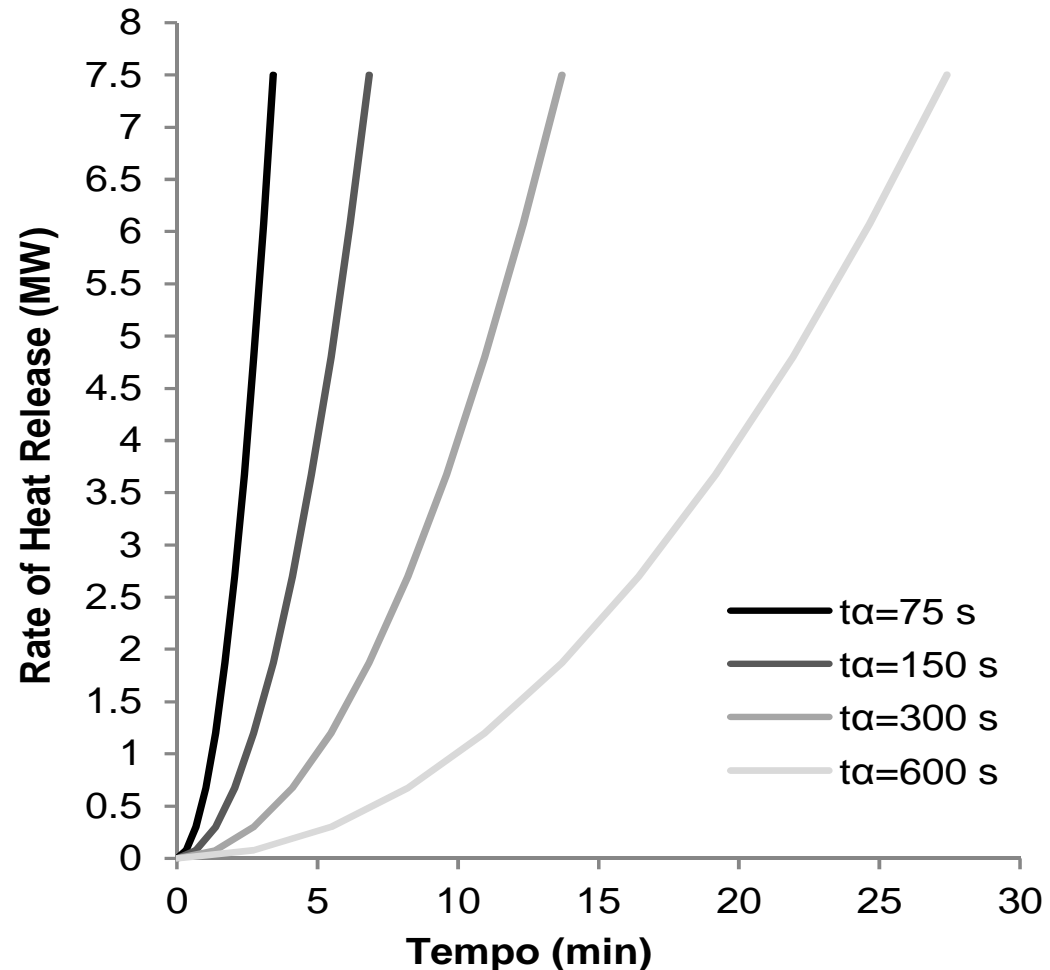
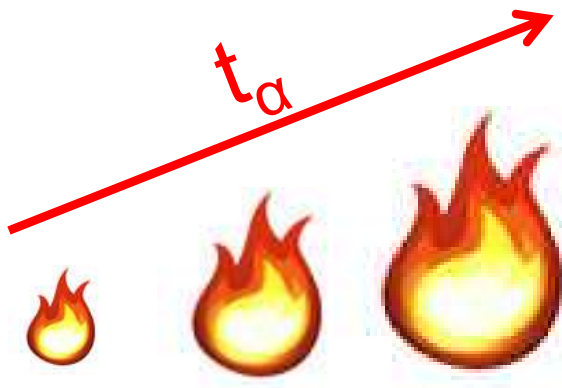
- $\underline{Q}_f$
- $\underline{A}_{fi}$
- $\underline{RHR}_{fi}$
- $\underline{t}_{\alpha}$

## L'effetto di $t_a$ variabile

$$A_f = 30 \text{ m}^2$$

$$q_{f,k} = 511 \text{ MJ/m}^2$$

$$\text{RHR}_f = 250 \text{ KW/m}^2$$



Variazione della potenza termica totale nel tempo nella fase di crescita in funzione del tipo di sviluppo d'incendio. I tempi sono conteggiati a partire dall'istante nel quale la sostanza combustibile raggiunge la sua temperatura di ignizione.

In rapporto alla velocità di sviluppo, è possibile caratterizzare diversi modelli di incendio

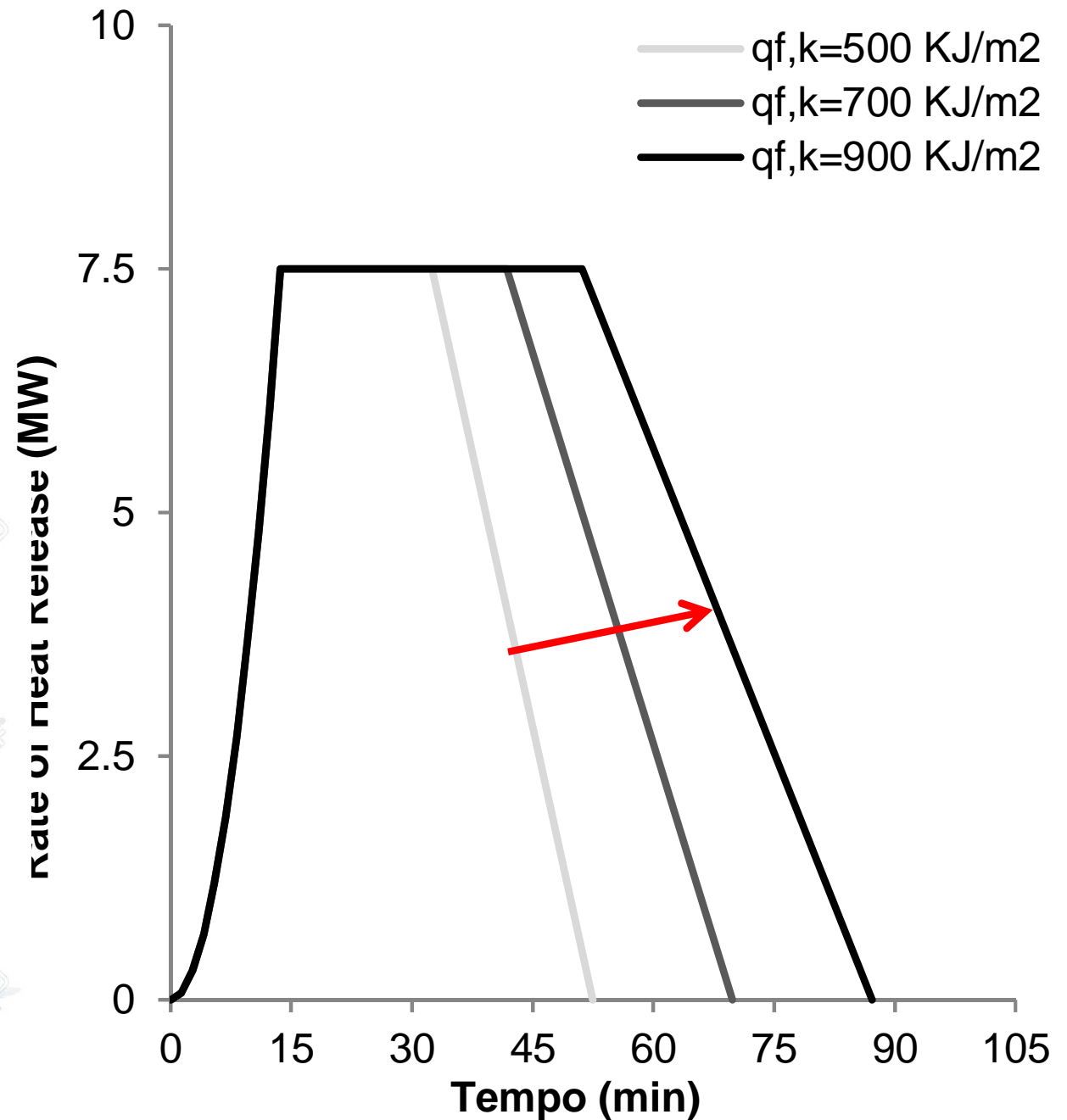
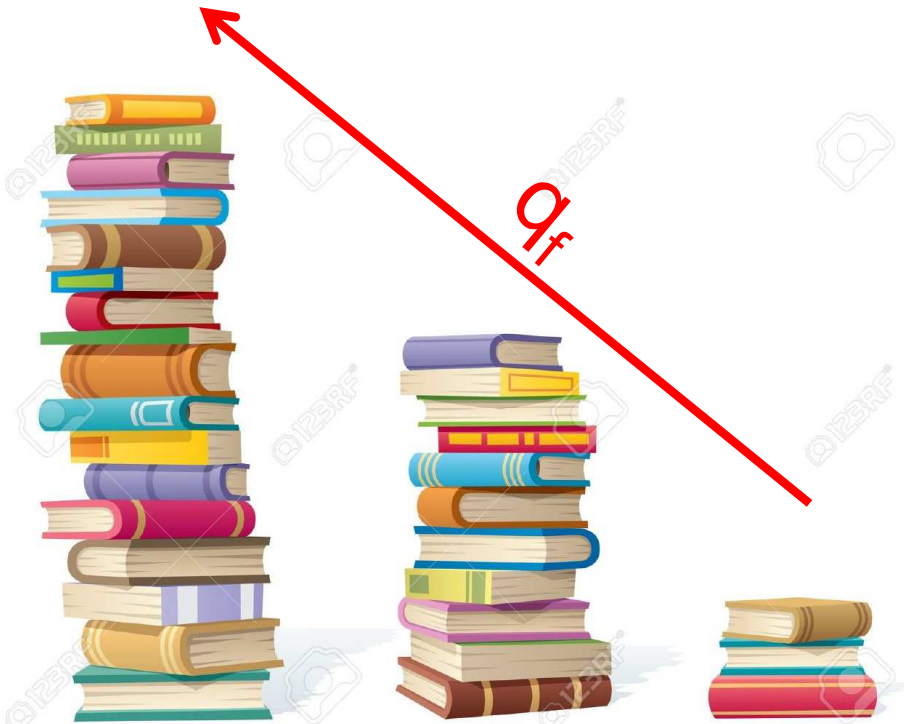
- Fuoco a crescita **lenta**: 1.000 kW in **600 s**;
- Fuoco a crescita **media**: 1.000 kW in **300 s**;
- Fuoco a crescita **rapida**: 1.000 kW in **150 s**;
- Fuoco a crescita **ultrarapida**: 1.000 kW in **75 s**;

## L'effetto di $q_{f,k}$ variabile

$$A_f = 30 \text{ m}^2$$

$$t_\alpha = 300 \text{ s}$$

$$\text{RHR}_f = 250 \text{ KW/m}^2$$

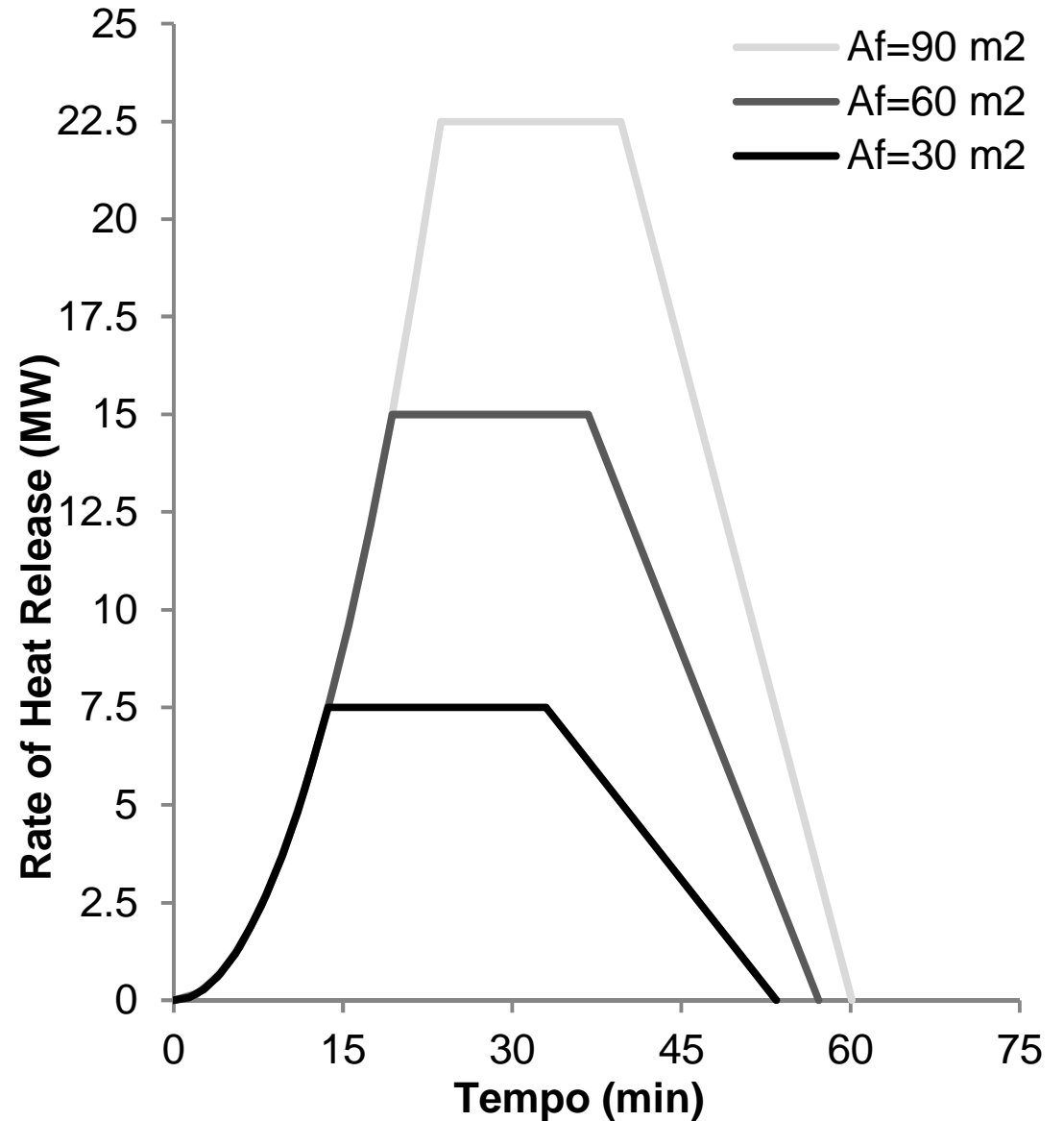
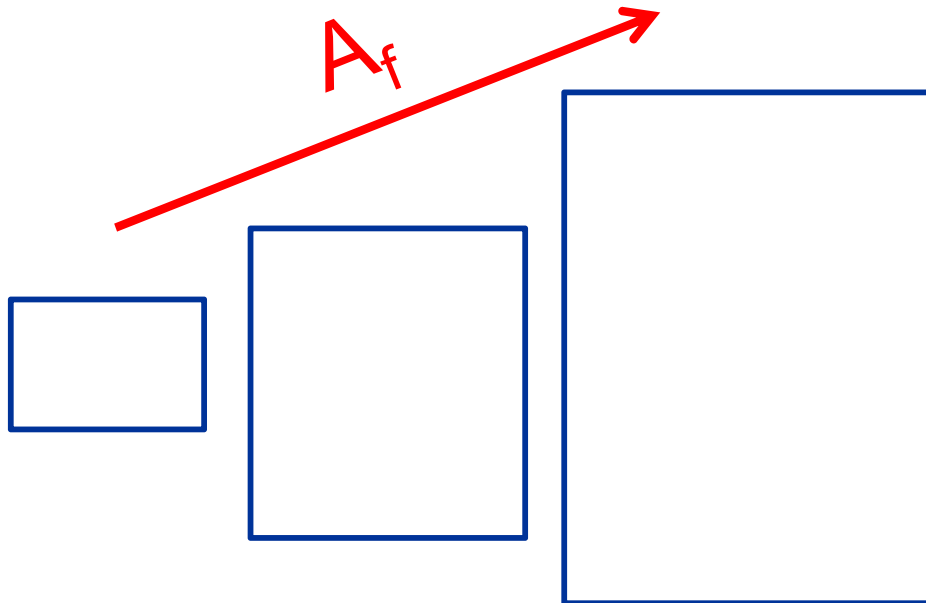


## L'effetto di $A_f$ variabile

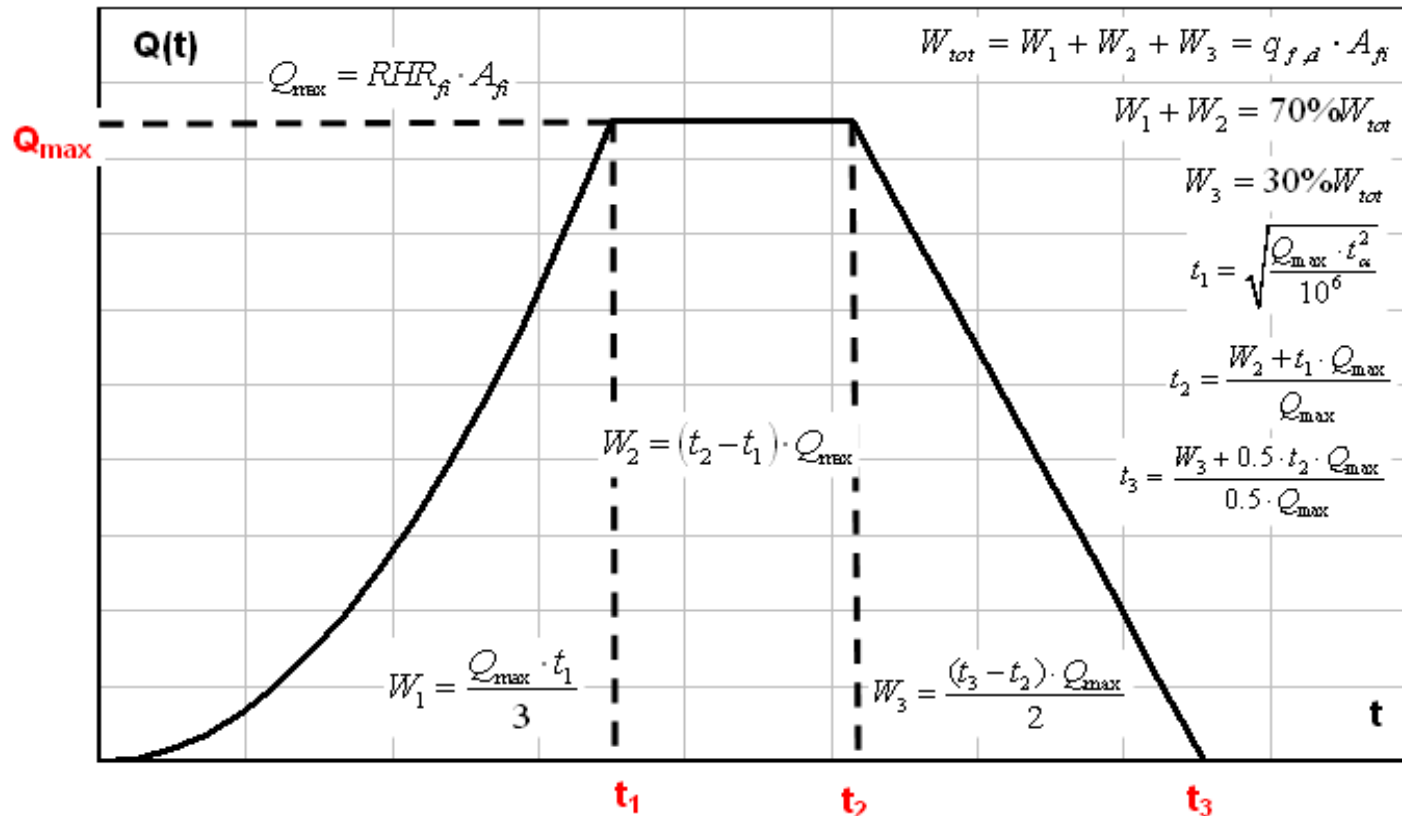
$$q_{f,k} = 511 \text{ MJ/m}^2$$

$$t_{\alpha} = 300 \text{ s}$$

$$\text{RHR}_f = 250 \text{ KW/m}^2$$



## Appendice E.4 dell'Eurocodice 1, UNI EN 1991-1-2



I parametri da conoscere per costruire una curva di RILASCIO TERMICO sono:

- $\underline{Q}_f$
- $\underline{A}_{fi}$
- $\underline{RHR}_{fi}$
- $\underline{t}_{\alpha}$

## Appendice E.4 dell'Eurocodice 1, UNI EN 1991-1-2

prospetto E.4

Densità di carico d'incendio  $q_{f,k}$  [MJ/m<sup>2</sup>] per differenti destinazioni d'uso

Destinazione d'uso	Media	80% Frattile
Alloggio	780	948
Ospedale (stanza)	230	280
Albergo (stanza)	310	377
Biblioteca	1 500	1 824
Ufficio	420	511
→ Classe di una scuola	285	347
Centro commerciale	600	730
→ Teatro (cinema)	300	365
Trasporti (spazio pubblico)	100	122

Nota La distribuzione di Gumbel è spaziata per l'80% frattile.

Velocità di crescita dell'incendio e  $RHR_f$  per differenti destinazioni d'uso

Velocità massima di rilascio di calore $RHR_f$			
Destinazione d'uso	Velocità di crescita dell'incendio	$t_{\alpha}$ [s]	$RHR_f$ [kW/m <sup>2</sup> ]
Alloggio	Media	300	250
Ospedale (stanza)	Media	300	250
Albergo (stanza)	Media	300	250
Biblioteca	Veloce	150	500
Ufficio	Media	300	250
→ Classe di una scuola	Media	300	250
Centro commerciale	Veloce	150	250
→ Teatro (cinema)	Veloce	150	500
Trasporti (spazio pubblico)	Lenta	600	250

## Software "OZone V2.2 . . ."

<http://sections.arcelormittal.com/download-center/design-software/fire-calculations.html>

- Consente di analizzare un compartimento alla volta;
- Modellazione di incendi pre e post-flashover;
- I principali dati di input da fornire al programma sono relativi alla geometria del compartimento e delle aperture, alle caratteristiche termofisiche dei materiali di cui sono realizzati gli elementi che delimitano il compartimento in esame, alle proprietà dell'incendio che si intende simulare in termini di potere calorifico del combustibile, alla curva di rilascio del calore in funzione del tempo ( Heat Release Rate o **HRR**);
- Implementa le formule dell'Eurocodice e pertanto è dedicato alle verifiche di resistenza strutturale (verifica sezionale di elementi in acciaio nudi e protetti).



The screenshot displays the Ozone v2.2 - 750a software interface. The window title is "Ozone v2.2 - 750a". The menu bar includes "File", "Tools", "View", and "Help". The toolbar contains icons for file operations and a "Name:" input field. The main area is titled "Program Flow Chart" and contains a flowchart with the following components and connections:

- Compartment...** (highlighted with a red box) connects to **Fire...**.
- Fire...** connects to **Zone Temperature**.
- Zone Temperature** connects to **Steel Profile...**.
- Steel Profile...** connects to **Heating...**.
- Heating...** connects to **Steel Temperature**.
- Steel Temperature** connects to **Element...**.
- Element...** connects to **Fire Resistance**.

Below the flowchart, there are two buttons: **Strategy** and **Parameters**. To the right, a graph shows temperature in degrees Celsius ([°C]) on the y-axis (ranging from 300 to 1200) and time in minutes [min] on the x-axis (ranging from 30 to 150). The graph area is currently empty.

At the bottom, a status bar shows the file name "750a.ozn" and a tabbed interface with the following tabs: **Compartment**, **Fire**, **Steel**, and **Elements**.

# MODELLI AVANZATI - OZONE

Compartement - ozone spr

File Tools View Help

**Form of Compartment**

Rectangular Floor

Flat Roof

Single Pitch Roof

Double Pitch Roof

Any Compartment

Height: 3 m

Depth: 6 m

Length: 5 m

**Define Layers and Openings**

Select Wall:

Floor

Floor

Ceiling

Wall 1

Wall 2

Wall 3

Wall 4

Wall 3

Wall 4

Wall 2

Wall 1

Depth

Length

Height

**Defined Walls:**

Wall	Type	Openings
Floor	1	
Ceiling	1	
Wall 1	2	yes
Wall 2	2	yes
Wall 3	2	
Wall 4	2	

Copy Openings

**Forced Ventilation**

Height	m			
Diameter	m			
Volume	m <sup>3</sup> /sec			
In/Out				

**Smoke Extractors:**

0

OK Cancel

# MODELLI AVANZATI - OZONE

Layers and Openings Wall 2 - 2m

File Tools View Help

Wall Length: 6 m

	Material	Thickness	Unit mass	Conductivity	Specific Heat	Rel Emissivity	Rel Emissivity
		[cm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[W/mK]	[J/kgK]	Hot Surface	Cold Surface
Layer 1	Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	15	2300	1.6	1000	0.8	0.8
Layer 2							
Layer 3							
Layer 4							

Enter each layer on a single row in the table above (up to four layers). Just click in a cell and edit it's value. If not found in the list of materials you can define your own material, by filling in the appropriate cells. Define your layers starting from Layer 1 (Inside).

Define your openings if any (up to three openings in a single wall). Click in the desired cell and input your values. Start from Opening 1.

To delete or insert a row, right click on a row header and select the appropriate command from the popup menu.

Warning: no check is made regarding the dimensions of the openings !

	Sill Height Hi	Soffit Height Hs	Width	Variation	Adiabatic
	[m]	[m]	[m]		
Opening 1	1	2	2	Constant	no
Opening 2					
Opening 3					

Inside

Layer 1
Layer 2
Layer 3
Layer 4

Outside

OK Cancel

# MODELLI AVANZATI - OZONE

Layers and Openings Wall 1 - ozone spr

File Tools View Help

Wall Length: 6 m

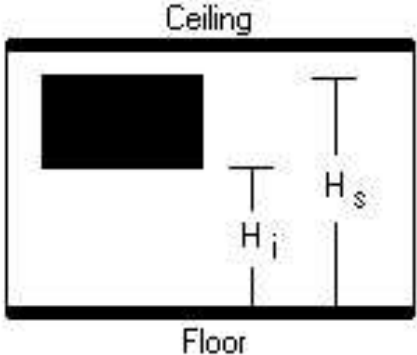
	Material	Thickness	Unit mass	Conductivity	Specific Heat	Rel Emissivity	Rel Emissivity
		[cm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[W/mK]	[J/kgK]	Hot Surface	Cold Surface
Layer 1	Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	12	2300	1.6	1000	0.8	0.8
Layer 2							
Layer 3							
Layer 4							

Enter each layer on a single row in the table above (up to four layers). Just click in a cell and edit its value. If not found in the list of materials you can define your own material, by filling in the appropriate cells. Define your layers starting from Layer 1 (Inside).

Define your openings if any (up to three openings in a single wall). Click in the desired cell and input your values. Start from Opening 1.

To delete or insert a row, right click on a row header and select the appropriate command from the popup menu.

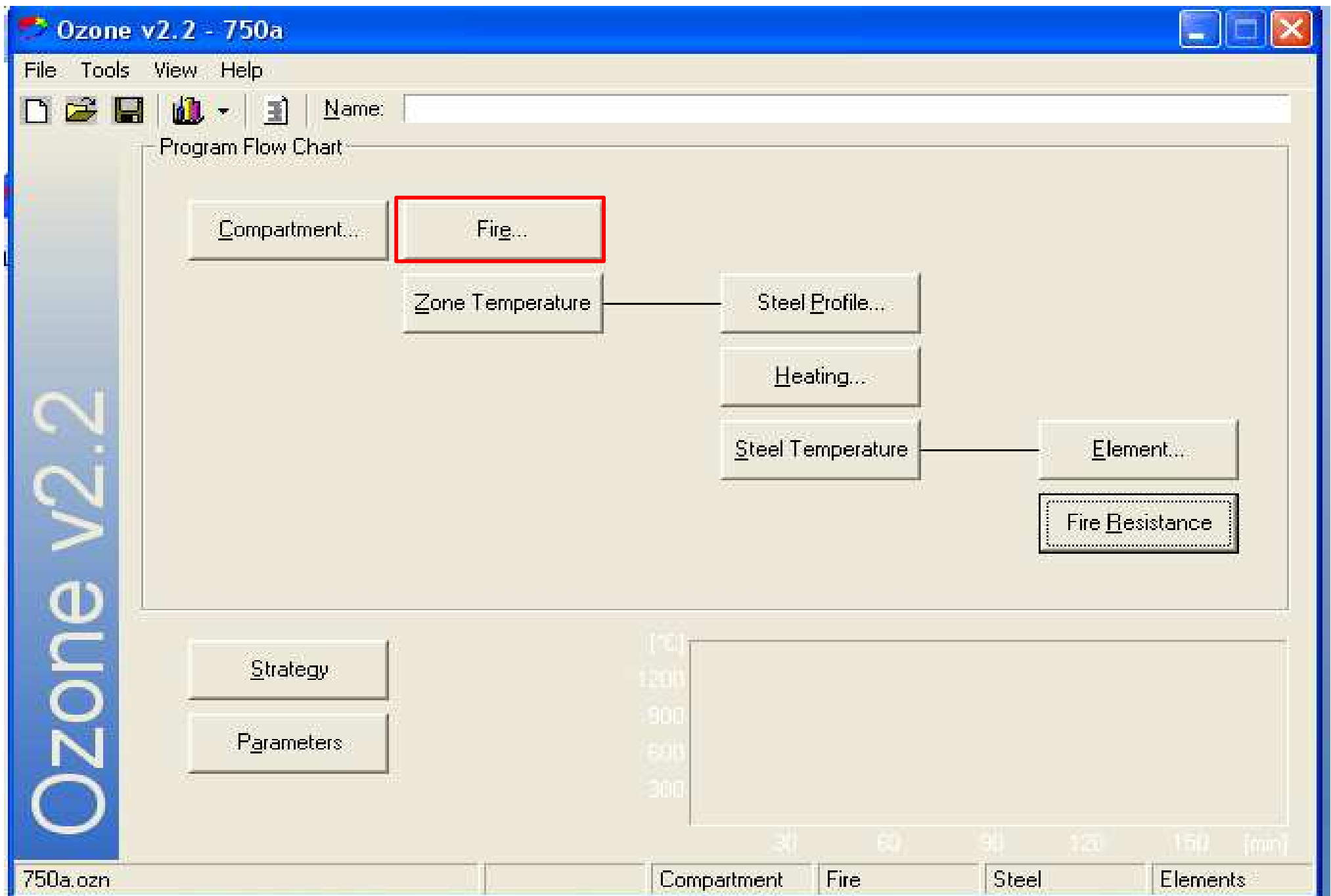
Warning: no check is made regarding the dimensions of the openings !



	Sill Height H <sub>i</sub>	Soffit Height H <sub>s</sub>	Width	Variation	Adiabatic
	[m]	[m]	[m]		
Opening 1	0	2	1	Constant	no
Opening 2					
Opening 3					

OK Cancel

# MODELLI AVANZATI - OZONE



# MODELLI AVANZATI - OZONE

Fire - ozone spr

File Tools View Help

Fire Curve

NFSC Design Fire  User Defined Fire

Max Fire Area:  m<sup>2</sup>

Fire Elevation:  m Fuel Height:  m

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kW/m <sup>2</sup> ]	Fire Load q <sub>f,k</sub> 80% Fractile [MJ/m <sup>2</sup> ]	Danger of Fire Activation

Automatic Water Extinguishing System  $\gamma_{n,1} = 1$

Independent Water Supplies ( 1  2)  $\gamma_{n,2} = 1$

Automatic Fire Detection by Heat  $\gamma_{n,3} = 1$

Automatic Fire Detection by Smoke  $\gamma_{n,3} = 1$

Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade  $\gamma_{n,5} = 1$

Work Fire Brigade  $\gamma_{n,6} = 1$

Off Site Fire Brigade  $\gamma_{n,6} = 1$

Safe Access Routes  $\gamma_{n,8} = 1$

Design Fire Load

Fire Risk Area:  m<sup>2</sup>  $\gamma_{q,1} = 1.15$

Danger of Fire Activation:  $\gamma_{q,2} =$

Active Measures:  $\prod'_{n,i} = 1$

$q_{f,d} = \gamma_{q,1} \cdot \gamma_{q,2} \cdot \prod'_{n,i} \cdot m \cdot q_{f,k} =$  MJ/m<sup>2</sup>

Combustion

Combustion Heat of Fuel:  MJ/kg

Combustion Efficiency Factor:

Combustion Model:

OK Cancel

# MODELLI AVANZATI - OZONE

File Tools View Help

Fire Curve

NFSC Design Fire  **User Defined Fire**

Max Fire Area:  m<sup>2</sup>

Fire Elevation:  m Fuel Height:  m

To delete or insert a row, right click on a row header and select the appropriate command from the popup menu.

Data Points

User Defined Fire Columns

Only RHR  Fire Area

Only mf

RHR and mf

Combustion

Combustion Heat of Fuel:  MJ/kg

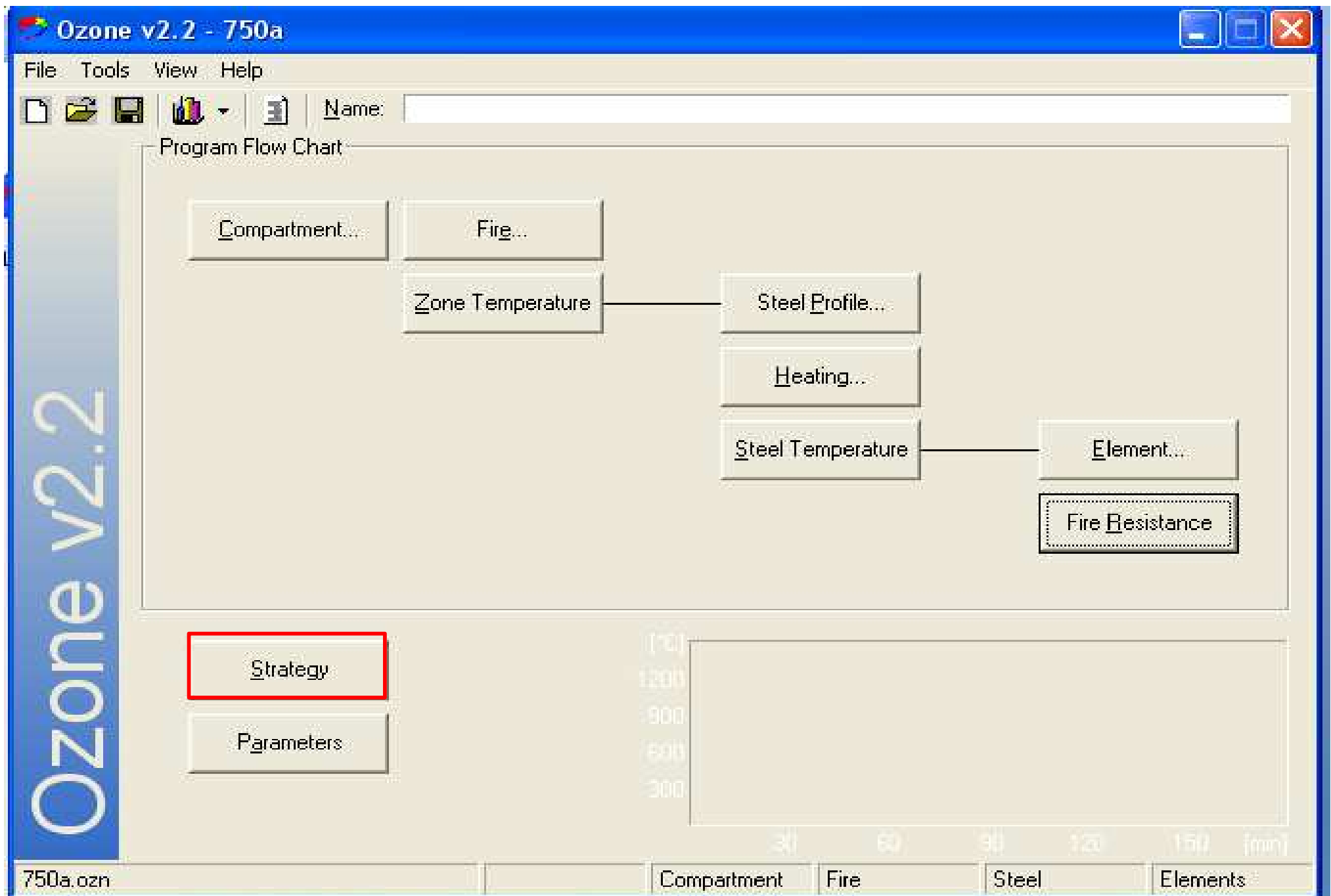
Combustion Efficiency Factor:

Combustion Model:

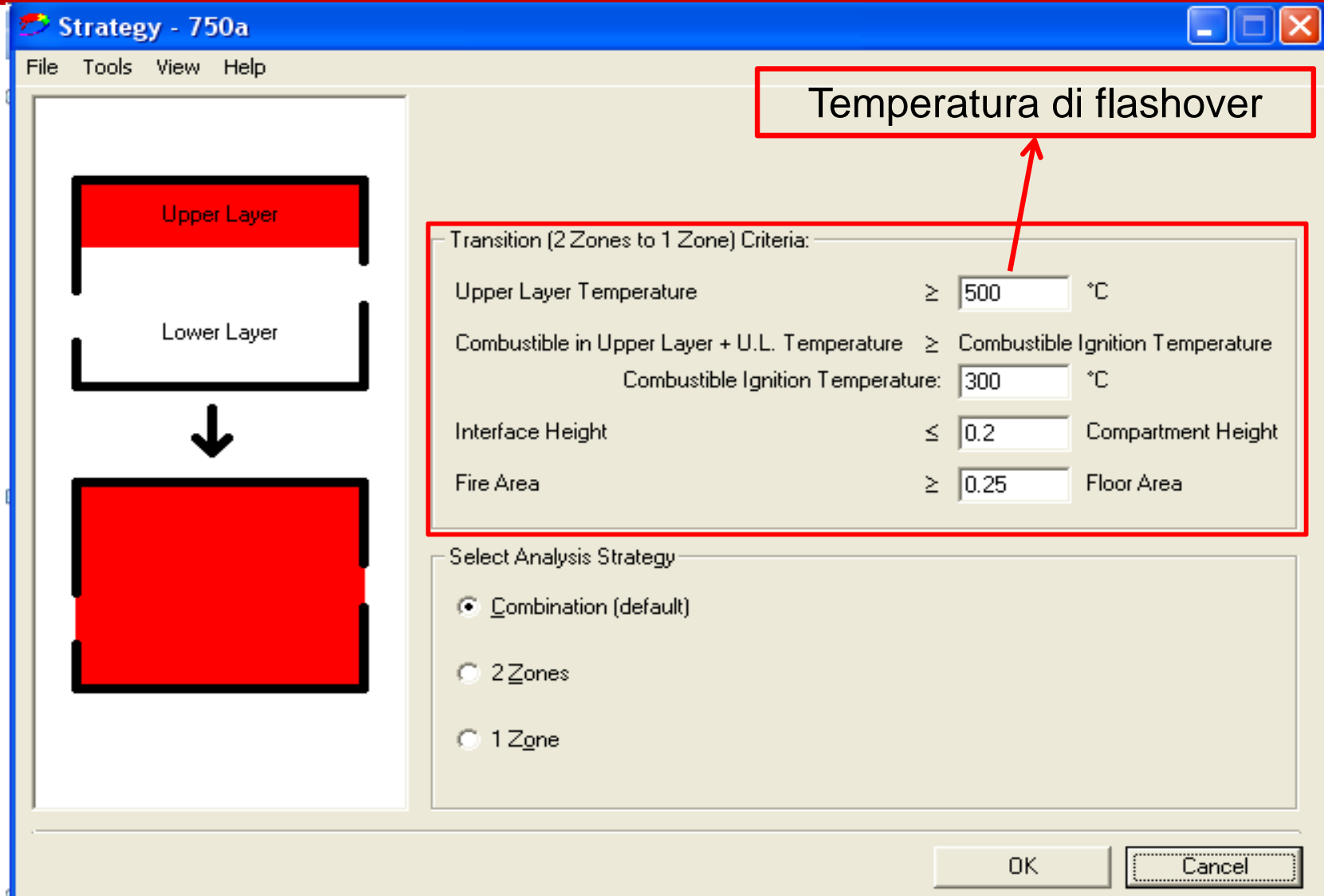
Point	Time [sec]	RHR [MW]	mf [kg/s]	Fire Area [m <sup>2</sup> ]
1	0	0	0	0
2	1.3	4.5	0.321	0.3
3	2.7	18	1.286	1.2
4	4.10	40.5	2.893	2.7
5	5.4	72	5.143	4.8
6	6.8	112.5	8.036	7.5
7	8.2	162	11.571	10.8
8	9.5	220.5	15.75	14.7
9	10.9	288	20.571	19.2
10	12.3	364.5	26.036	24.3
11	13.6	450	32.143	30
12	32.9	450	32.143	30
13	53.4	0	0	0
14				
15				

OK Cancel

# MODELLI AVANZATI - OZONE



# MODELLI AVANZATI - OZONE



**Warning!!!**

Se solo uno di questi parametri è stato superato si passa da 2 a 1 zona.

The screenshot displays the Ozone v2.2 - 750a software interface. The window title is "Ozone v2.2 - 750a". The menu bar includes "File", "Tools", "View", and "Help". The toolbar contains icons for file operations and a "Name:" input field. The main area is titled "Program Flow Chart" and shows a sequence of steps: "Compartment...", "Fire...", "Zone Temperature" (highlighted with a red box), "Steel Profile...", "Heating...", "Steel Temperature", "Element...", and "Fire Resistance". Below the flow chart are buttons for "Strategy" and "Parameters". On the right, a graph shows temperature in degrees Celsius (°C) on the y-axis (ranging from 300 to 1200) and time in minutes (min) on the x-axis (ranging from 30 to 150). The status bar at the bottom shows the file name "750a.ozn" and the current step "Compartment".

Ozone v2.2

File Tools View Help

Name: [ ]

Program Flow Chart

Compartment... Fire... Zone Temperature Steel Profile... Heating... Steel Temperature Element... Fire Resistance

Strategy Parameters

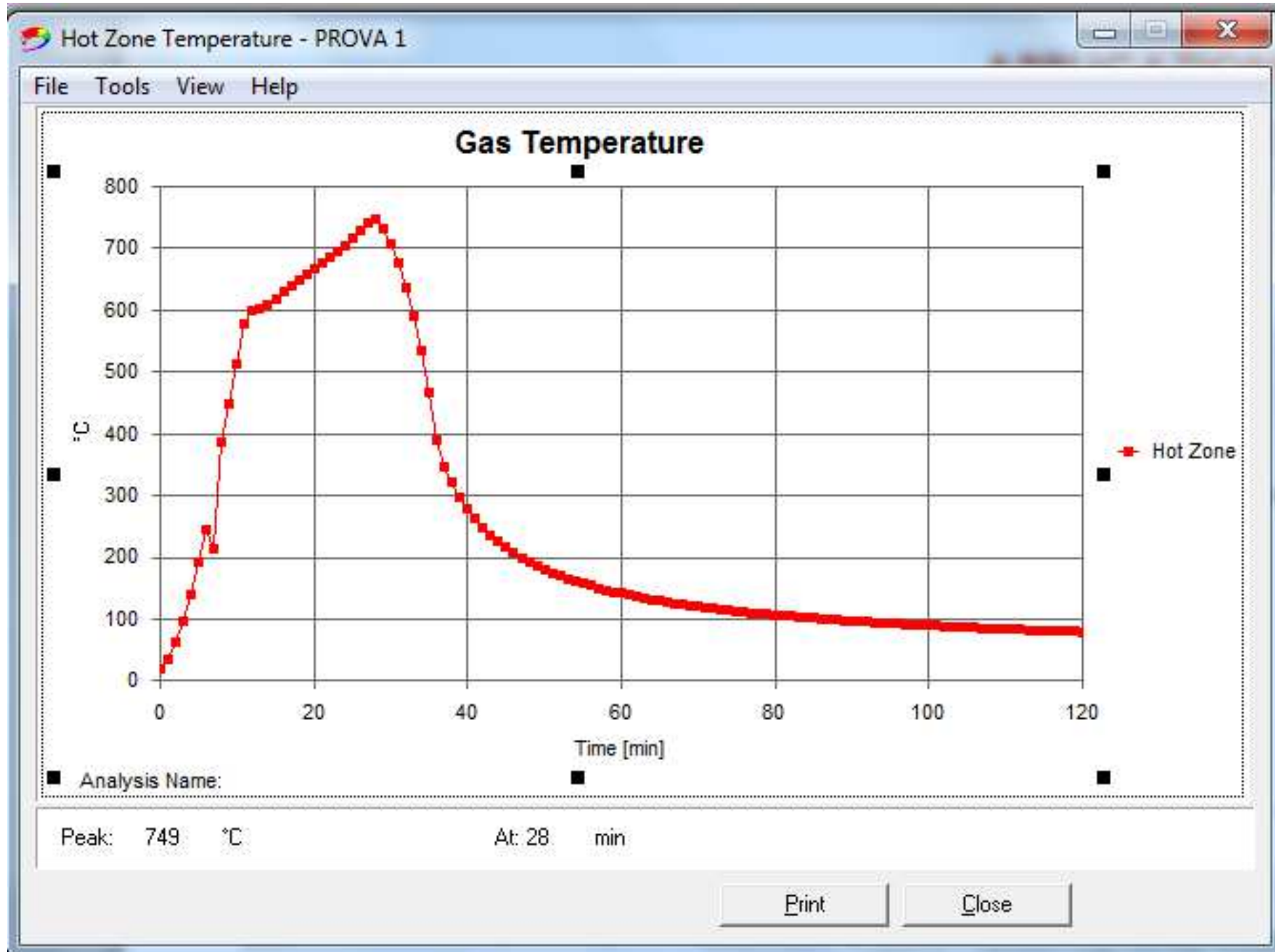
°C

1200 900 600 300

30 60 90 120 150 [min]

750a.ozn | Compartment | Fire | Steel | Elements

# MODELLI AVANZATI - OZONE



# MODELLI AVANZATI - OZONE

Ozone v2.2 - Quarto piano UFFICIO

File Tools View Help

Name: Ufficio

Program Flow Chart

Performance based code (NFSC approach)

Prescriptive rules (Standard Fire Curve)

Compartment...  
Fire...  
Zone Temperature

Heating...  
Steel Profile...  
Steel Temperature

Element...  
Fire Resistance

Strategy  
Parameters

[°C]

30 60 90 120 150 [min]

Quarto piano UFFICIO.ozn

Compartment Fire Steel Heating Element

Ozone v2.2

# MODELLI AVANZATI - OZONE

Steel Profile - Quarto piano UFFICIO

File Tools View Help

Cross Section

Unprotected Cross Section

Protected Cross Section

Steel Profile

Profile Type: IPE

Profile: IPE 400

Exposure

Exposed on Four Sides

Exposed on Three Sides

Encasement

Contour Encasement

Hollow Encasement

Protection Material

From Catalog

Constant Values

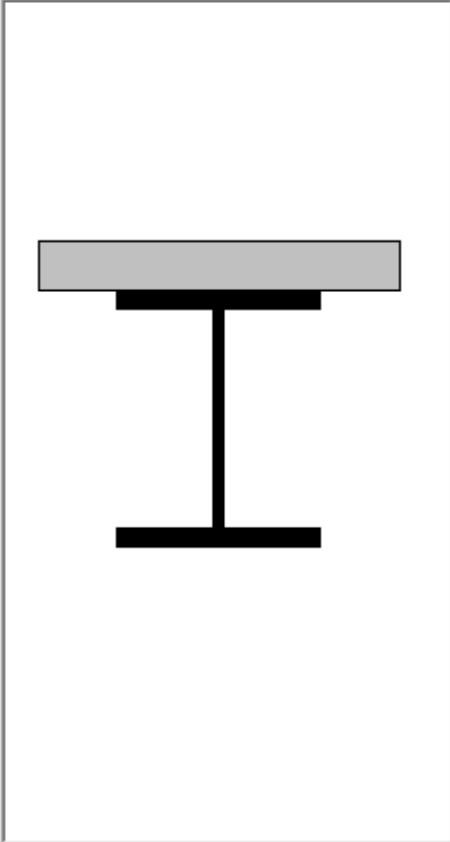
Thickness: 0 mm

Temperature Dependent

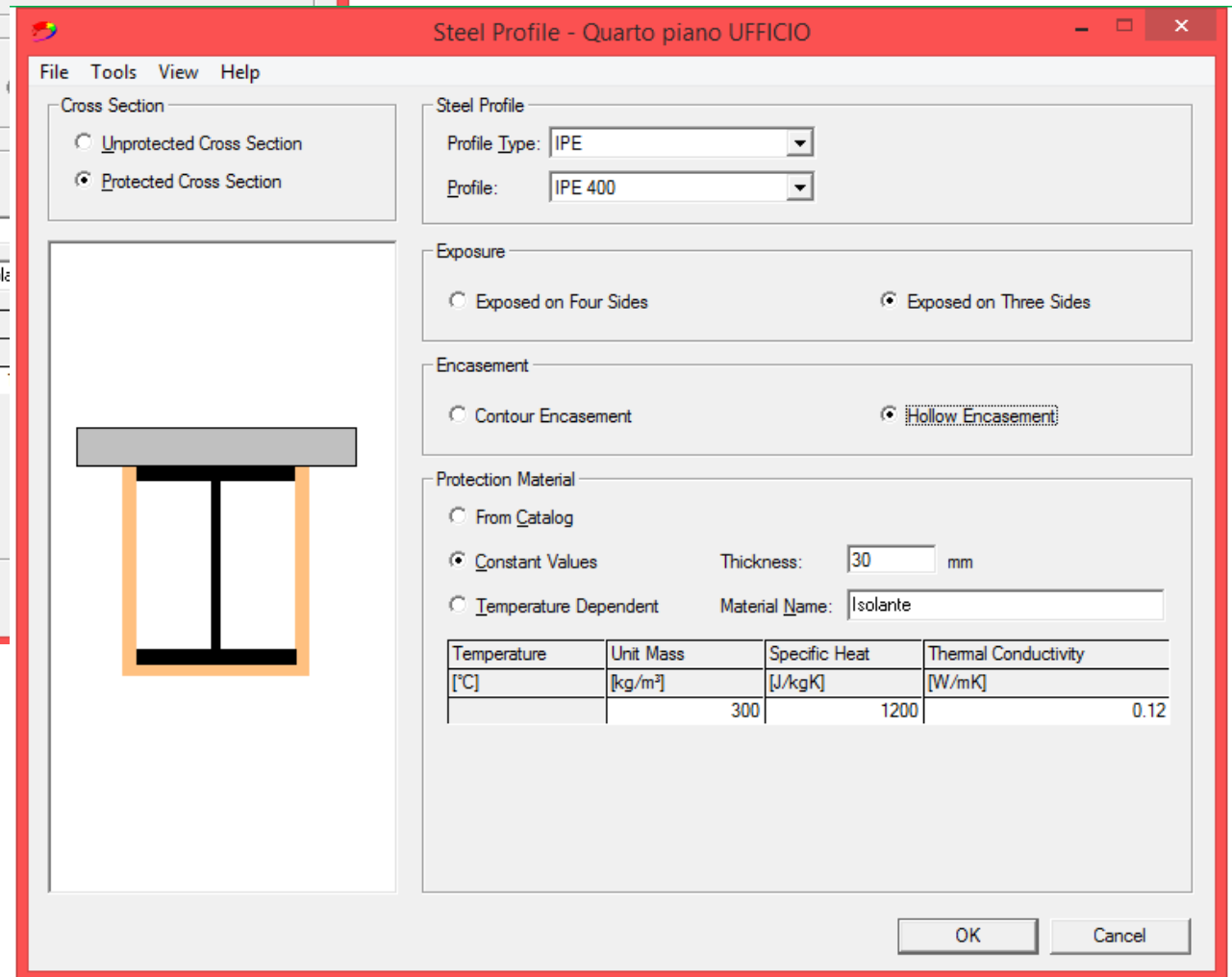
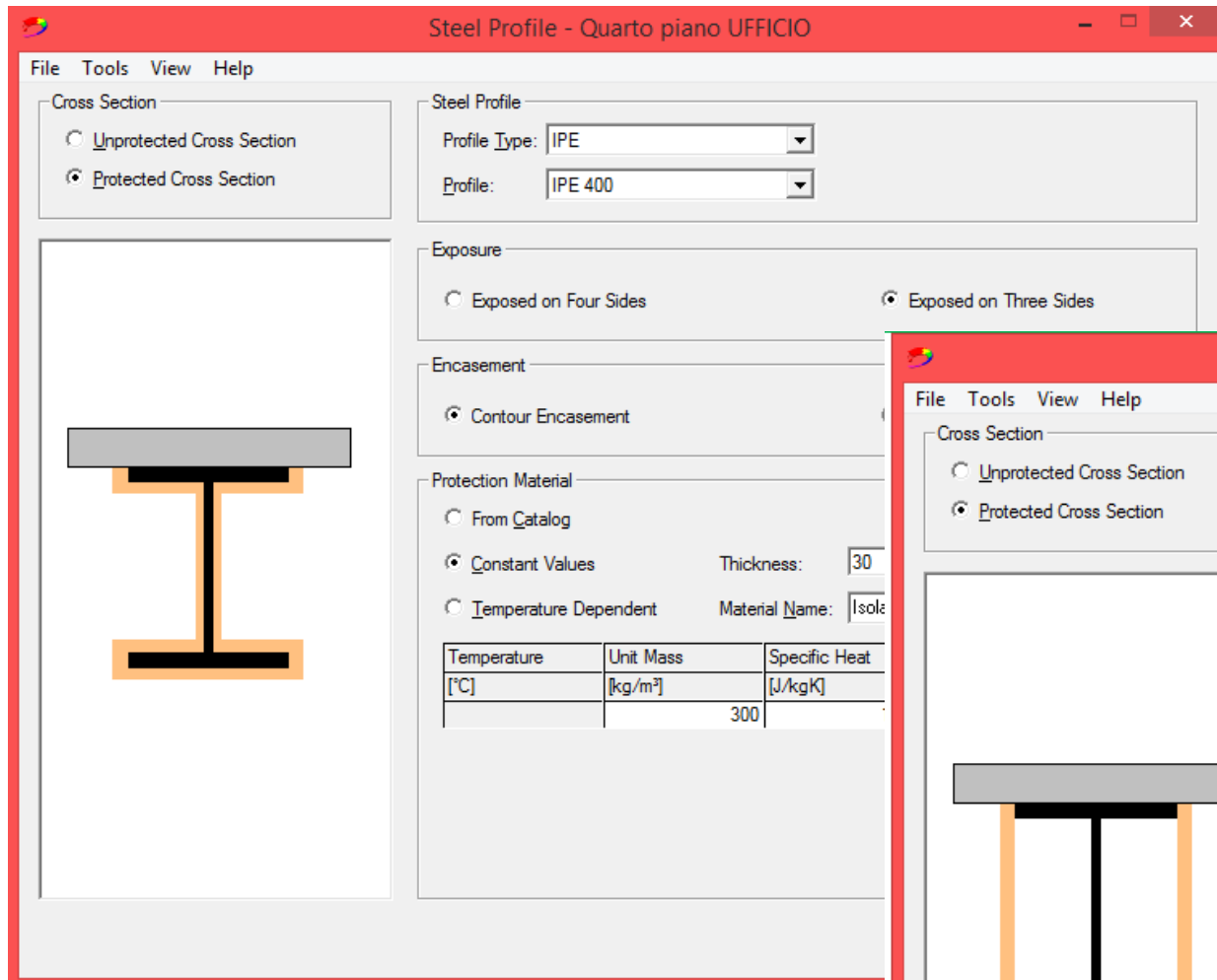
Material Name: Spray Mineral Fiber

Temperature	Unit Mass	Specific Heat	Thermal Conductivity
[°C]	[kg/m³]	[J/kgK]	[W/mK]
	300	1200	0.12

OK Cancel



# MODELLI AVANZATI - OZONE



# MODELLI AVANZATI - OZONE

Ozone v2.2 - Quarto piano UFFICIO

File Tools View Help

Name: Ufficio

Program Flow Chart

Performance based code (NFSC approach)

Prescriptive rules (Standard Fire Curve)

Compartment...  
Fire...  
Zone Temperature

Heating...  
Steel Profile...  
Steel Temperature

Element...  
Fire Resistance

Strategy  
Parameters

[°C]

30 60 90 120 150 [min]

Quarto piano UFFICIO.ozn | Compartment | Fire | Steel \* | Heating | Element

Ozone v2.2

# MODELLI AVANZATI - OZONE

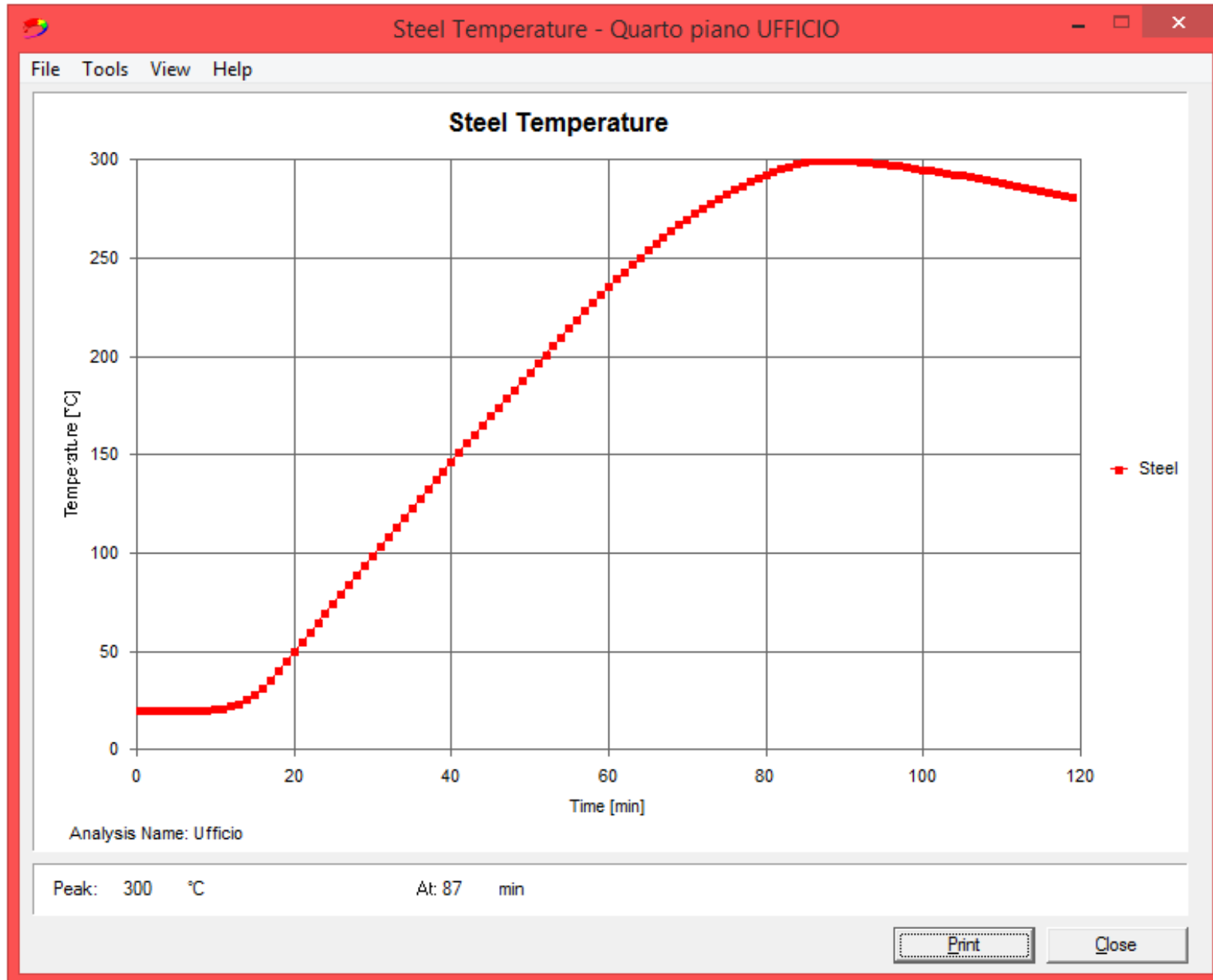
The screenshot displays the Ozone v2.2 software interface for a fire model simulation. The window title is "Ozone v2.2 - Quarto piano UFFICIO". The "View" menu is open, listing various data and visualization options with their respective keyboard shortcuts. The "Steel Temperature" option is highlighted. The main workspace shows a diagram of a fire model with a "Standard Fire Curve" and several buttons: "Heating...", "Steel Profile...", "Steel Temperature", "Element...", and "Fire Resistance". A graph at the bottom right plots temperature in degrees Celsius against time in minutes, showing a peak of approximately 750°C at 60 minutes. The status bar at the bottom indicates the current view is "Steel".

View Option	Shortcut
Pyrolysis Rate Data	CTRL+F1
RHR Data	CTRL+F2
Pyrolysis Rate Computed	CTRL+F3
RHR Computed	CTRL+F4
Hot Zone Temperature	CTRL+F5
Cold Zone Temperature	CTRL+F6
Zones Interface Elevation	CTRL+F7
Fire Area	CTRL+F8
Floor Pressure	CTRL+F9
Oxygen Mass	CTRL+F11
Localised Fire Temperature	
<b>Steel Temperature</b>	<b>CTRL+F12</b>
Report	CTRL+E

Graph Data (Approximate):

Time [min]	Temperature [°C]
0	0
30	600
60	750
90	300
120	0

# MODELLI AVANZATI - OZONE



# MODELLI AVANZATI - OZONE

Ozone v2.2 - Quarto piano UFFICIO

File Tools View Help

Name: Ufficio

Program Flow Chart

Performance based code (NFSC approach)

Prescriptive rules (Standard Fire Curve)

Compartment...  
Fire...  
Zone Temperature

Heating...  
Steel Profile...  
Steel Temperature

Element...  
Fire Resistance

Strategy  
Parameters

Quarto piano UFFICIO.ozn

Compartment Fire Steel \* Heating Element

Ozone v2.2

# MODELLI AVANZATI - OZONE

Element - Quarto piano UFFICIO

File Tools View Help

Analysis: Bending

Nominal Steel Grade: S 235

Section: IPE 400

Class: Class 1

$f_{y,20}$ : 235 N/mm<sup>2</sup>

Design effect of actions in fire situation

User Defined Value of Design Moment

Select Loading: Uniform Distributed Load - Simple Beam

$P_{fi,d}$ : 10 kN/m

Span: 6 m


$M_{fi,d}$ : 45 kNm

Adaptation Factors

Non-uniform Temperature Across the Cross-Section  $\kappa_1$ : 1

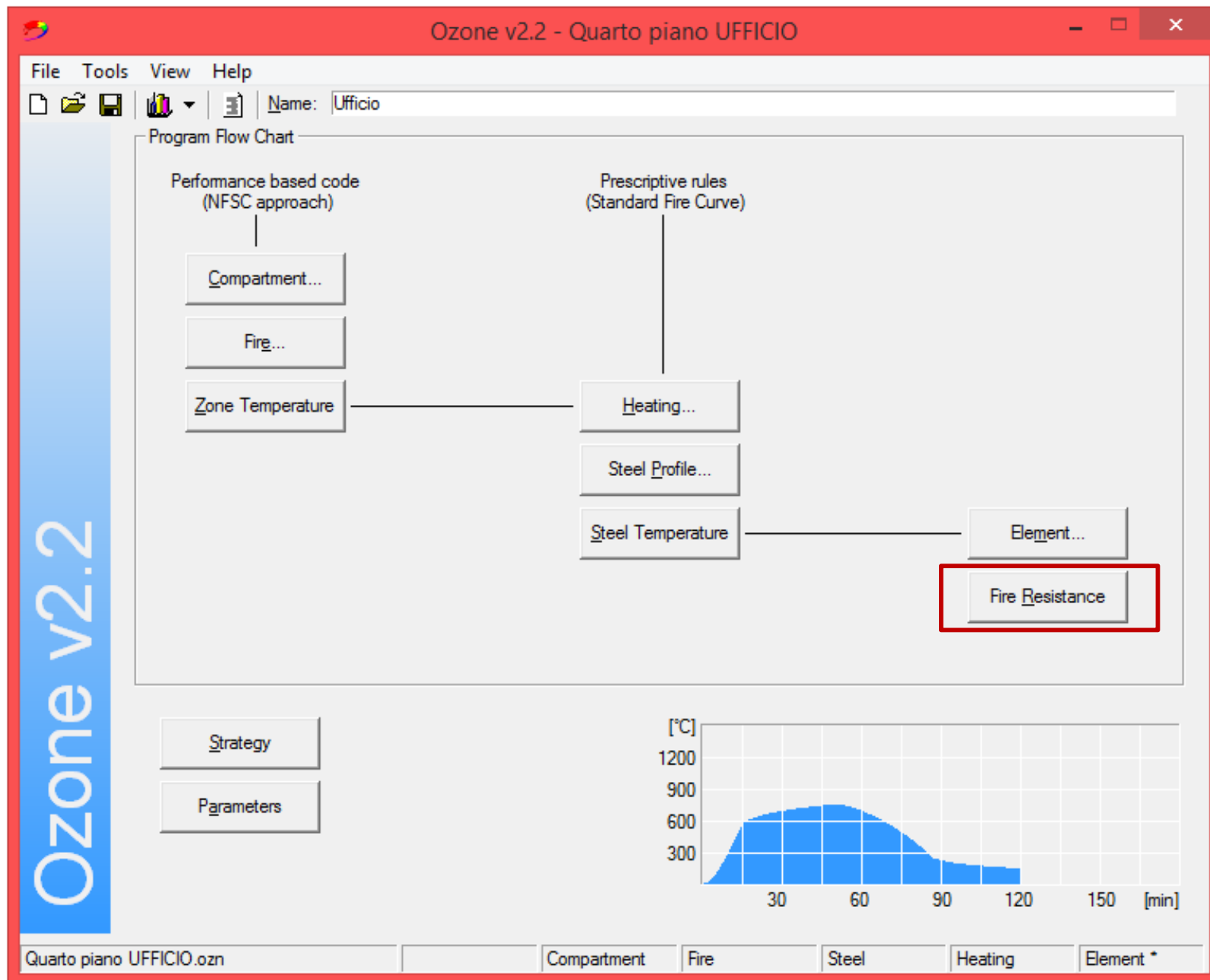
Non-uniform Temperature Along the Beam  $\kappa_2$ : 1

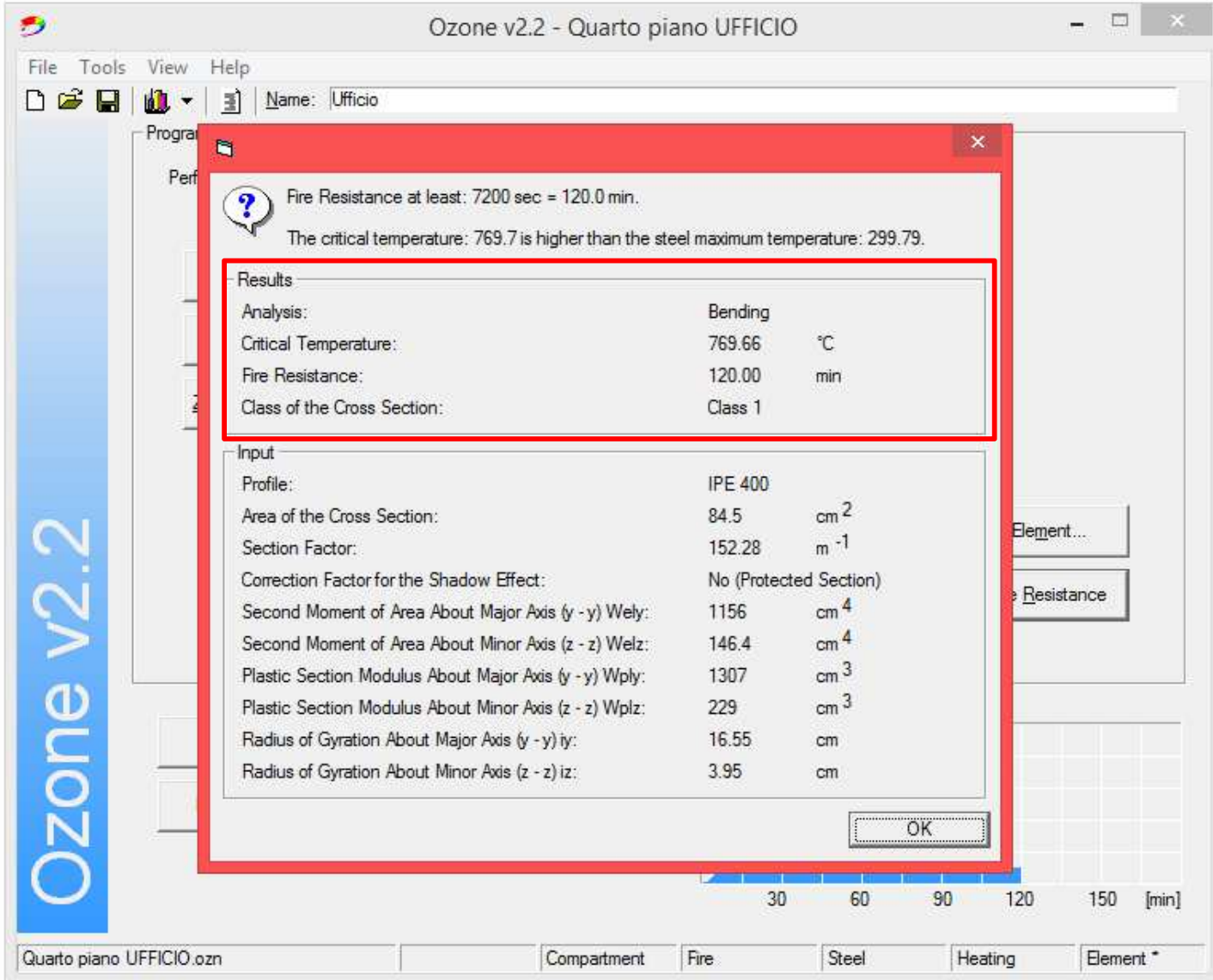
OK Cancel



The diagram shows a horizontal beam supported by two triangular supports at its ends. A blue rectangular area above the beam represents a uniformly distributed load. Two black arrows point downwards from the top corners of the blue area towards the beam, indicating the direction of the load.

# MODELLI AVANZATI - OZONE





Ozone v2.2 - Quarto piano UFFICIO

File Tools View Help

Name: Ufficio

Program

Perf

Fire Resistance at least: 7200 sec = 120.0 min.  
The critical temperature: 769.7 is higher than the steel maximum temperature: 299.79.

Results

Analysis:	Bending
Critical Temperature:	769.66 °C
Fire Resistance:	120.00 min
Class of the Cross Section:	Class 1

Input

Profile:	IPE 400
Area of the Cross Section:	84.5 cm <sup>2</sup>
Section Factor:	152.28 m <sup>-1</sup>
Correction Factor for the Shadow Effect:	No (Protected Section)
Second Moment of Area About Major Axis (y - y) Wely:	1156 cm <sup>4</sup>
Second Moment of Area About Minor Axis (z - z) Welz:	146.4 cm <sup>4</sup>
Plastic Section Modulus About Major Axis (y - y) Wply:	1307 cm <sup>3</sup>
Plastic Section Modulus About Minor Axis (z - z) Wplz:	229 cm <sup>3</sup>
Radius of Gyration About Major Axis (y - y) iy:	16.55 cm
Radius of Gyration About Minor Axis (z - z) iz:	3.95 cm

OK

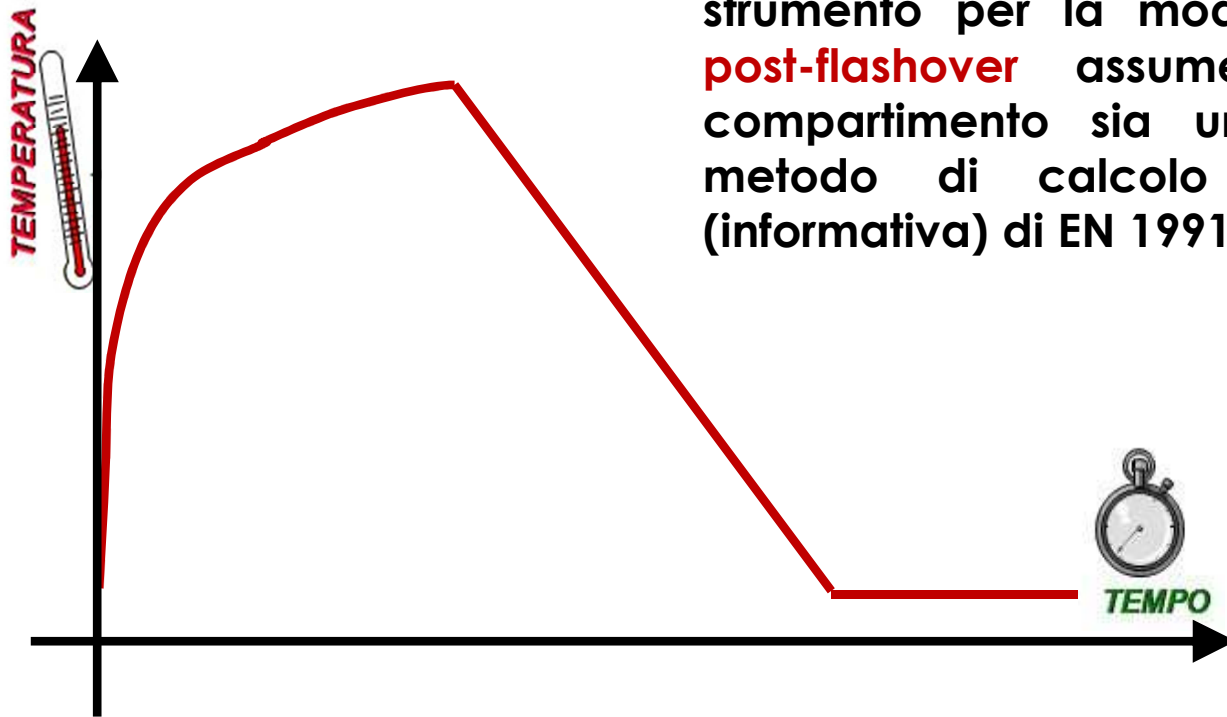
30 60 90 120 150 [min]

Quarto piano UFFICIO.ozn | Compartment | Fire | Steel | Heating | Element \*

Ozone v2.2

# Modelli di incendio parametrici

I modelli di incendio parametrici forniscono un semplice strumento per la modellazione dell'incendio nella fase **post-flashover** assumendo che la temperatura nel compartimento sia uniforme. Una versione di questo metodo di calcolo è riportato nell'appendice A (informativa) di EN 1991-1-2.



**Limiti applicabilità**

$$A_p \leq 500m^2$$

$$h \leq 4m$$

$$0.02 \leq O \leq 0.2$$

**Parametri:**

$$O = A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t$$

$$b = \sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda}$$

$$h_{eq} = \frac{\sum_i q_f A_{vi} h_i}{\sum_i A_{vi}}$$

