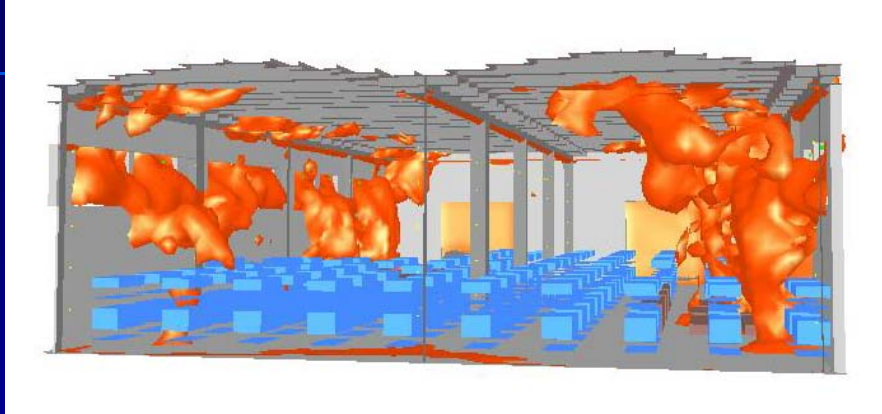


*L'importanza dell'evacuazione del fumo e del calore nell'ingegneria antincendio  
Bologna 6 giugno 2007*



*L'evacuazione del fumo e del calore  
e la resistenza passiva delle strutture*

*Mauro Caciolai*

1

## Resistenza al fuoco

Determinazione della  
prestazione da richiedere

Verifica della  
prestazione posseduta

Carico di incendio  
di progetto

Metodo sperimentale

Curva di incendio

Metodo tabellare

Altre azioni meccaniche

Metodo analitico

*D. M.I.T. 15 settembre 2005(\*)*

*D. M.I. 9 marzo 2007*

*D. M.I. 16 febbraio 2007*

(\*)Attualmente in corso di revisione

2

## **CLASSIFICAZIONE DEI COMPARTIMENTI**

*I compartimenti antincendio sono classificati dal punto di vista della Resistenza al Fuoco.*

*La classe del compartimento considerato esprime, in minuti primi, la durata minima di resistenza al fuoco da richiedere alla struttura o all'elemento costruttivo in essi contenuto.*

*Le classi sono le seguenti:*

***Classe 15 - Classe 20 - Classe 30 - Classe 45 - Classe 60***

***Classe 90 - Classe 120 - Classe 180 - Classe 240 - Classe 360***

***La classe del compartimento è determinata in base al livello di prestazione richiesto alla costruzione.***

3

## **DEFINIZIONI**

**Carico d'incendio specifico:** potenziale termico netto della totalità dei materiali combustibili contenuti in uno spazio, riferito all'unità di superficie, corretto in base ai parametri indicativi della partecipazione alla combustione dei singoli materiali.

**Carico d'incendio specifico di progetto:** 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.

**Superficie in pianta lorda di un compartimento:** superficie in pianta compresa entro il perimetro interno delle pareti delimitanti il compartimento.

4

Il carico di incendio specifico di progetto è espresso da:

$$q_{f,d} = d_{q1} \cdot d_{q2} \cdot d_n \cdot q_f$$

$d_{q1}$  è il fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione alla dimensione del compartimento

$d_{q2}$  è il fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione al tipo di attività svolta nel compartimento

$d_n = \prod_i d_i$  il fattore che tiene conto delle differenti misure di protezione adottate

$q_f$  è il carico di incendio specifico

5

Superficie in pianta lorda del compartimento (m <sup>2</sup> )	$d_{q1}$	Superficie in pianta lorda del compartimento (m <sup>2</sup> )	$d_{q1}$
$A < 500$	1,00	$2.500 \leq A < 5.000$	1,60
$500 \leq A < 1.000$	1,20	$5.000 \leq A < 10.000$	1,80
$1.000 \leq A < 2.500$	1,40	$A \geq 10.000$	2,00

Rischio	Descrizione	$d_{q2}$
I	Aree che presentano un basso rischio di incendio in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	0,8
II	Aree che presentano un moderato rischio di incendio in termini di probabilità d'innesco, velocità di propagazione di un incendio e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza	1,0
III	Aree che presentano un alto rischio di incendio in termini di probabilità d'innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	1,2

**$d_{ni}$  Funzione delle misure di protezione**

Sistemi automatici di estinzione		Sistemi di evacuazione automatica di fumo e calore	Sistemi automatici di rivelazione, segnalazione e allarme di incendio	Squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio	Rete idrica antincendio		Percorsi protetti di accesso	Accessibilità ai mezzi di soccorso VVF
Ad acqua	Ad altro				Interna	Interna ed esterna		
$d_{n1}$	$d_{n2}$	$d_{n3}$	$d_{n4}$	$d_{n5}$	$d_{n6}$	$d_{n7}$	$d_{n8}$	$d_{n9}$
0,60	0,80	0,90	0,85	0,90	0,90	0,80	0,90	0,90

III Gli addetti devono aver conseguito l'attestato di idoneità tecnica di cui all'art. 3 della legge 28 novembre 1996, n. 609, a seguito del corso di formazione di tipo C di cui all'allegato IX del decreto ministeriale 10 marzo 1998.

Quando non si adotta una o più misure di protezione il corrispondente valore di  $d$  va posto uguale ad 1

7

**EN 1991-1-2 : Actions on structures exposed to fire**

Table E.2 — Factors  $\delta_{ni}$

$\delta_{ni}$ Function of Active Fire Fighting Measures									
Automatic Fire Suppression		Automatic Fire Detection			Manual Fire Suppression				
Automatic Water Extinguishing System	Independent Water Supplies	Automatic fire Detection & Alarm		Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	Work Fire Brigade	Off Site Fire Brigade	Safe Access Routes	Fire Fighting Devices	Smoke Exhaust System
		by Heat	by Smoke						
$\delta_{n1}$	$\delta_{n2}$	$\delta_{n3}$	$\delta_{n4}$	$\delta_{n5}$	$\delta_{n6}$	$\delta_{n7}$	$\delta_{n8}$	$\delta_{n9}$	$\delta_{n10}$
0,61	1,0   0,87   0,7	0,87 or 0,73	0,87	0,87	0,61 or 0,78	0,9 or 1 or 1,5	1,0 or 1,5	1,0 or 1,5	1,0 or 1,5

(4) For the normal fire fighting measures, which should almost always be present, such as the safe access routes, fire fighting devices, and smoke exhaust systems in staircases, the  $\delta_{ni}$  values of Table E.2 should be taken as 1,0. However, if these fire fighting measures have not been foreseen, the corresponding  $\delta_{ni}$  value should be taken as 1,5.

Background Document CEN/TC250/SC1/N300A.

8

Le prestazioni da richiedere alle costruzioni in caso di incendio sono articolate su 5 livelli

Il livello III di prestazione garantisce il mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la gestione dell'emergenza

Le classi di resistenza al fuoco sufficienti a garantire il livello III di prestazione dipendono dal valore assunto dal carico di incendio specifico di progetto.

**N.B. Nelle costruzioni che ospitano attività soggette ai controlli di prevenzione incendi dotate di apposito regolamento le classi necessarie per garantire il livello III di prestazione sono stabilite dal legislatore**

Carichi d'incendio specifici di progetto	Classe
Non superiore a 100 MJ/m <sup>2</sup>	0
Non superiore a 200 MJ/m <sup>2</sup>	15
Non superiore a 300 MJ/m <sup>2</sup>	20
Non superiore a 450 MJ/m <sup>2</sup>	30
Non superiore a 600 MJ/m <sup>2</sup>	45
Non superiore a 900 MJ/m <sup>2</sup>	60
Non superiore a 1200 MJ/m <sup>2</sup>	90
Non superiore a 1800 MJ/m <sup>2</sup>	120
Non superiore a 2400 MJ/m <sup>2</sup>	180
Superiore a 2400 MJ/m <sup>2</sup>	240

## SCENARI E INCENDI CONVENZIONALI DI PROGETTO

*Gli incendi convenzionali di progetto devono essere applicati ad un compartimento dell'edificio alla volta, salvo che non sia diversamente indicato nello scenario d'incendio adottato.*

*In un edificio multipiano è possibile considerare separatamente il carico di incendio dei singoli piani qualora gli elementi orizzontali di separazione posseggano una capacità di compartimentazione adeguata nei confronti della propagazione verticale degli incendi.*

*L'andamento delle temperature negli elementi sarà valutato in riferimento:*

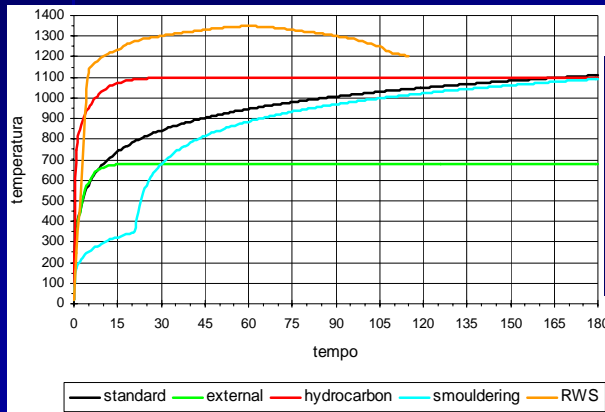
- *a una curva nominale d'incendio, per l'intervallo di tempo di esposizione pari alla classe di resistenza al fuoco prevista*
- *a una curva naturale d'incendio, tenendo conto dell'intera durata dello stesso, compresa la fase di raffreddamento fino al ritorno alla temperatura ambiente.*

*La curva di incendio è una rappresentazione analitica dell'andamento nel tempo delle temperature (curva tempo-Temperatura) che si raggiungono in un compartimento in condizioni di incendio.*

## CURVE NOMINALI

La curva nominale è una curva convenzionale generalmente monotona crescente e pertanto ben riproducibile in laboratorio. Trascura la fase di innesco e di prima propagazione avendo inizio in corrispondenza del flash over.

Nella letteratura tecnica esistono molte curve nominali



La curva di incendio nominale termina in corrispondenza della classe del compartimento, senza alcuna fase di raffreddamento.

11

## CURVE NATURALI

Nel caso in cui il progetto sia condotto con un approccio prestazionale, la capacità portante e/o la capacità di compartimentazione può essere verificata rispetto all'azione termica della curva naturale di incendio, applicata per l'intervallo di tempo necessario al ritorno alla temperatura ordinaria, da determinarsi attraverso:

- modelli di incendio sperimentali oppure,
- modelli di incendio numerici semplificati oppure,
- modelli di incendio numerici avanzati

Le curve di incendio naturale dovranno essere determinate per lo specifico compartimento e facendo riferimento al carico di incendio specifico di progetto ponendo pari ad 1 i coefficienti  $\delta_{ni}$  relativi alle misure di protezione che si intende modellare

12

Qualora si adotti uno di questi metodi, *deve essere eseguita anche la verifica della capacità portante e/o della capacità di compartimentazione degli elementi costruttivi rispetto all'azione termica della curva di incendio nominale standard con riferimento alle classi riportate nella tabella in funzione del carico d'incendio specifico di progetto ( $q_{f,d}$ ).*

Carichi d'incendio specifici di progetto	Classe
Non superiore a 300 MJ/m <sup>2</sup>	0
Non superiore a 450 MJ/m <sup>2</sup>	15
Non superiore a 600 MJ/m <sup>2</sup>	20
Non superiore a 900 MJ/m <sup>2</sup>	30
Non superiore a 1200 MJ/m <sup>2</sup>	45
Non superiore a 1800 MJ/m <sup>2</sup>	60
Non superiore a 2400 MJ/m <sup>2</sup>	90
Superiore a 2400 MJ/m <sup>2</sup>	120

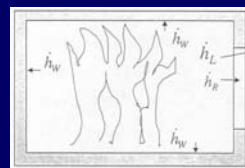
*Quale che sia il modello scelto, i valori del carico d'incendio e delle caratteristiche del compartimento, adottati nel progetto per l'applicazione dei metodi suddetti, costituiscono un vincolo d'esercizio per le attività da svolgere all'interno della costruzione*

13

### **MODELLI DI INCENDIO NUMERICI SEMPLIFICATI le curve parametriche**

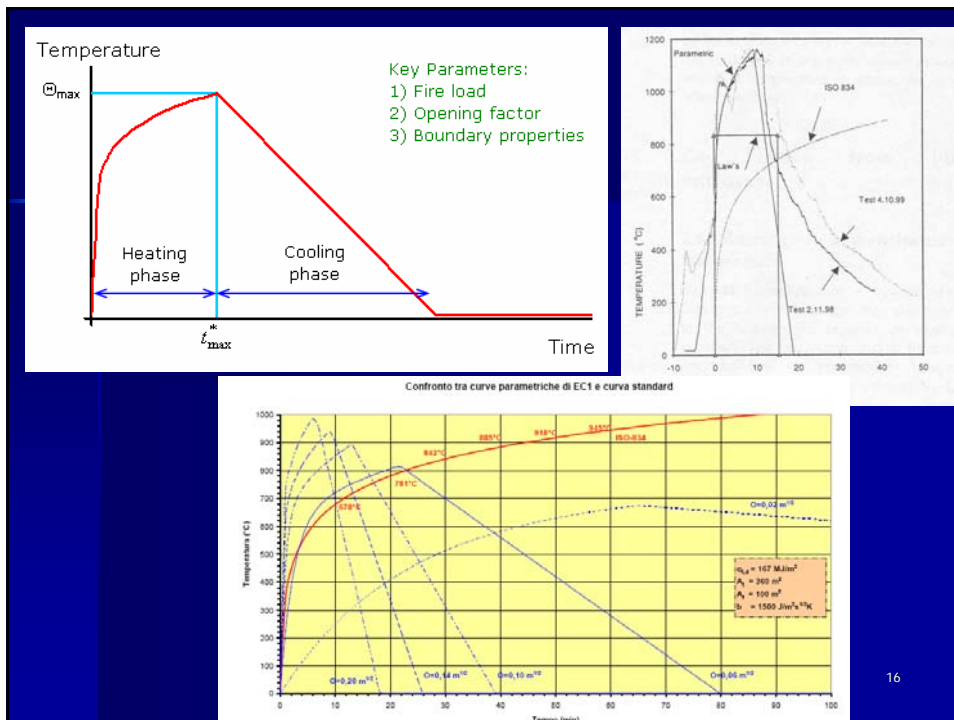
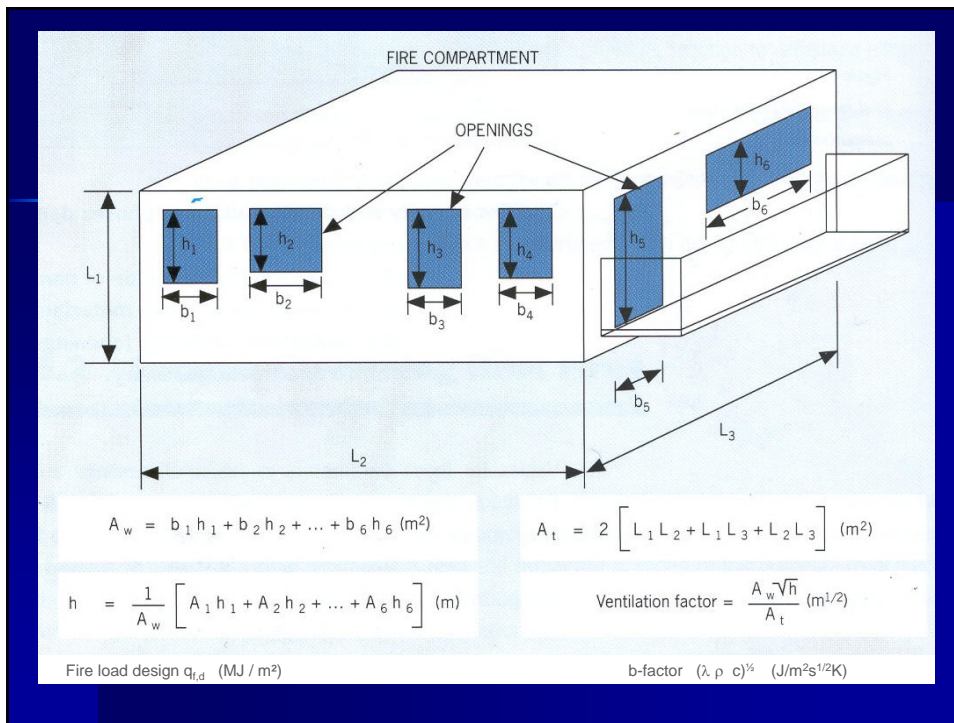
*Le curve parametriche sono la più semplice rappresentazione dell'andamento delle temperature medie dei prodotti della combustione in ambiente confinato. La loro determinazione è basata sulla conoscenza dei seguenti parametri:*

- *geometria del compartimento,*
- *fattore di ventilazione,*
- *inerzia termica delle pareti e*
- *carico di incendio.*



*Sono espressioni di natura semiempirica date dal solo equilibrio energetico raggiunto all'interno del compartimento nella fase post-flashover.*

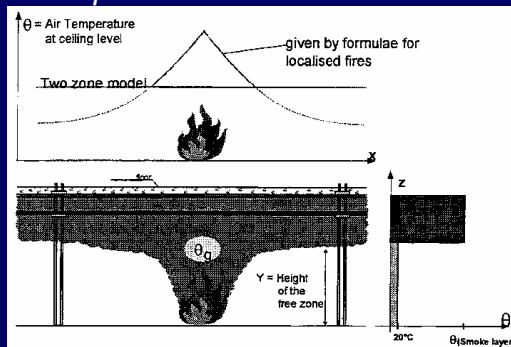
*Hanno un campo di applicazione assai limitato in quanto risentono delle condizioni sperimentali che hanno consentito la loro determinazione.*



## MODELLI DI INCENDIO NUMERICI SEMPLIFICATI incendio localizzato

Nel caso in cui il materiale combustibile sia molto concentrato il modello a due zone potrebbe non essere una buona rappresentazione della realtà. Occorre ragionare in termini di **incendio localizzato** e vedere, con formule empiriche, l'altezza di fiamma e temperature locali. Le temperature raggiunte sull'asse della fiamma e sul soffitto nella zona in asse con il focolaio potrebbero essere molto maggiori della temperatura media della zona superiore.

- Equazione di Heskestad per l'altezza del plume,
- Equazione di Alpert per studiare il caso di fiamma che non impatta il solaio di copertura
- Equazione di Hasemi per studiare il caso di fiamma che impatta il solaio di copertura



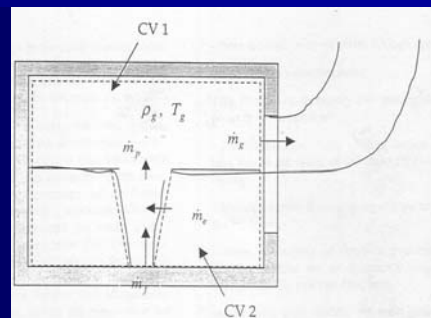
## I MODELLI DI INCENDIO NUMERICI AVANZATI

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

- il bilancio di massa,
- il bilancio di energia,
- 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



## MODELLI A ZONE

Nella fase pre-flashover è ragionevole supporre che ci 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 ciascuno strato e restituendo principalmente le seguenti grandezze:

- Temperatura dei gas nella zona superiore  $T_U(t)$ ,
- Altezza del piano di separazione tra le due zone  $H_f(t)$

Il modello a zone è un modello adatto a compartimenti dalla geometria semplice con un unico ambiente e con un modello di fuoco rappresentabile da un RHR(t) complessivo dell'intero combustibile presente

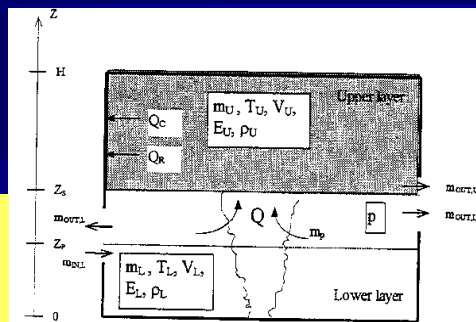


FIGURE 6.1: a compartment in a two zone model

## MODELLI A ZONE

Nella fase post-flashover, 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 dai gas caldi e che non sia possibile individuare le due zone. Il modello che descrive questa situazione è **il modello ad una zona** restituendo:

- Temperatura dei gas  $T(t)$ ,

ARGOS	FIRAC	NRCC1-Friedman
ASET	FireMD Firepro	NRCC2-Friedman OSU
ASET-B	FIREWIND	Ozone
BRANZFIRE	FIRIN	POGAR
BRI-2	FIRM	RADISM-Friedman
CALTECH	FIRST	RFIRES
CCFM,VENTS-Friedman	FLAMME-S	R-VENT-Friedman
CFAST/FAST	FMD	SFIRE-4-Friedman
CFIRE-X-Friedman	HarvardMarkVI-Friedman	SICOM
CIFI	HEMFAST	SMKFLW-Friedman
CISNV	HYSLAV	Smokepro
COMPBRN-III-Friedman	IMFE	SP
COMPF2	MAGIC-Friedman	WPI-2
DACFIR-3	MRFC	WPIFIRE
DSLAYV	NAT	ZMFE
FASTitle	NBS	
FFM		
FIGARO-II		

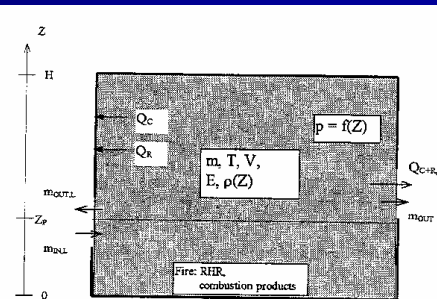
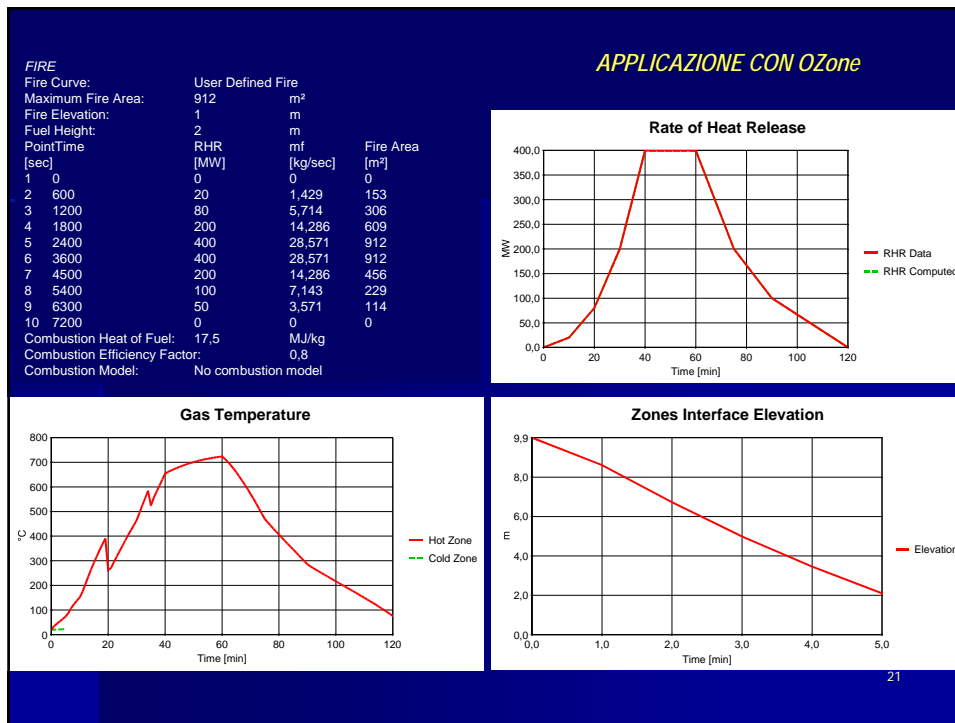


FIGURE 6.9: a compartment in a one zone model



## I MODELLI DI CAMPO

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 risultano da un incendio.

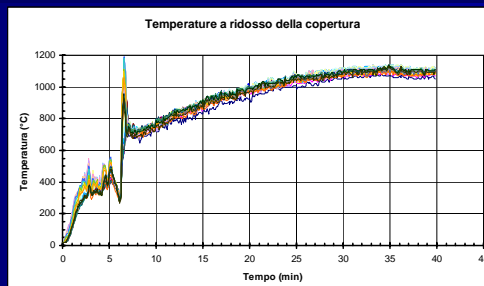
I modelli di campo, quindi, dividono uno spazio in un numero elevato di elementi e risolvono le equazioni di conservazione all'interno di ciascuno di essi.

## I MODELLI DI CAMPO

Sono particolarmente indicati per geometrie molto complesse o per carichi di incendio diversificati e permettono approfondimenti sulla dinamica di un incendio fin dalla fase dell'innesco (ideali per la fire investigation).

Restituiscono tutte le grandezze caratterizzanti la termo-fluidodinamica dell'incendio nello spazio e nel tempo, compatibilmente con la discretizzazione in volumi finiti fatta. Per i tempi di modellazione e di calcolo richiesti e per le potenze di elaborazione necessarie sono di rado impiegati per la progettazione. Risultano estremamente sensibili ai dati di input e pertanto l'uso deve essere accompagnato da grande perizia e controllo con modelli più semplici.

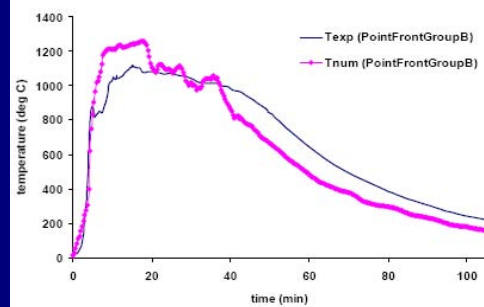
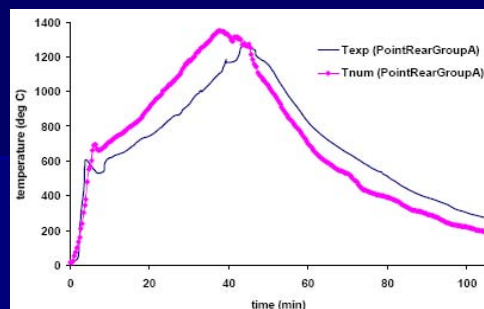
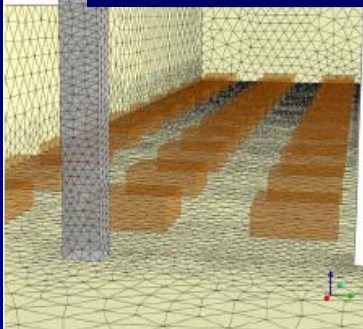
ALOFT-FT	CFX
FDS	FIRE
FLOTRAN	FLUENT
JASMINE	KAMELEON FireEx
KOBRA-3D	MEFE
PHOENICS	RMFIRE-Friedman
SMARTFIRE	SOFIE
SOLVENT-2002	SPLASH-Friedman
STAR-CD	STREAM
UNSAFE-Friedman	VESTA



## BRE Cardington Laboratory



CFX 10 - 280.000 domini solidi



24