

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Nuoro

**Corso di specializzazione in prevenzione incendi
ai fini dell'iscrizione dei professionisti negli elenchi del
Ministero dell'Interno di cui all'art. 1 della L. 818/84**

CARICO D'INCENDIO

Lezione 3.1

Ing. Natascia ERRIU

Direzione Regionale VVF per la Sardegna

RESISTENZA AL FUOCO DEI MATERIALI

La DIRETTIVA PRODOTTI DA COSTRUZIONE CPD 89/106* (recepita in Italia con il D.P.R. 246/93) stabilisce i Requisiti Essenziali per le opere di ingegneria

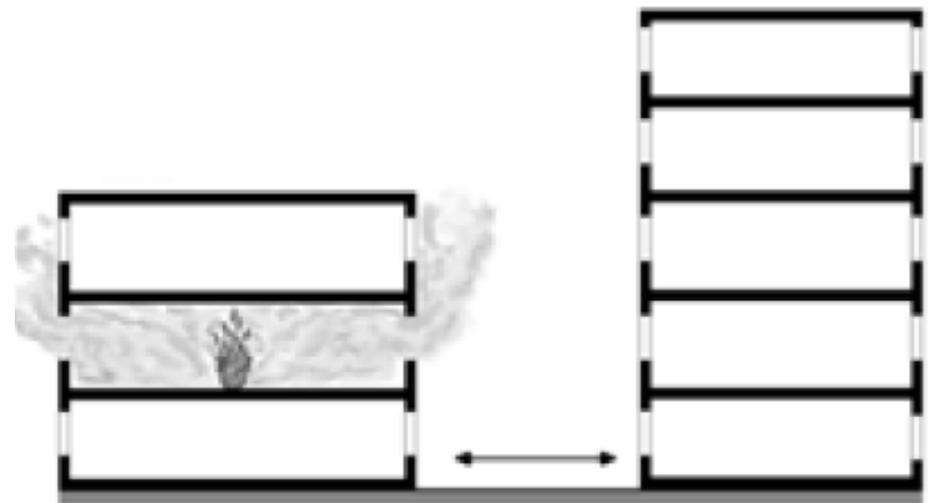
RE n.2: **SICUREZZA IN CASO DI INCENDIO**

* sostituita dal REGOLAMENTO PRODOTTI DA COSTRUZIONE 305/2011

SICUREZZA IN CASO DI INCENDIO

L'opera deve essere concepita, costruita e gestita in modo da garantire, in caso di incendio:

- la stabilità degli elementi portanti per un tempo utile ad assicurare il soccorso agli occupanti;
- la limitata propagazione del fuoco e dei fumi, anche riguardo alle opere vicine;
- la possibilità che gli occupanti lascino l'opera indenni o che gli stessi siano soccorsi in altro modo;
- la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza



SICUREZZA IN CASO DI INCENDIO

Questi obiettivi possono essere raggiunti soltanto se i materiali costituenti le strutture di un edificio mantengono particolari requisiti per tutta la durata dell'incendio. Essendo questi requisiti intrinseci nella natura dei materiali da costruzione costituiscono un elemento della protezione passiva di un edificio.

SICUREZZA IN CASO DI INCENDIO

I materiali da costruzione in caso di incendio subiscono delle alterazioni significative.

In particolare si ha:

- diminuzione della resistenza meccanica;**
- notevoli deformazioni per effetto dell'aumento della temperatura;**
- formazione di fessurazioni.**

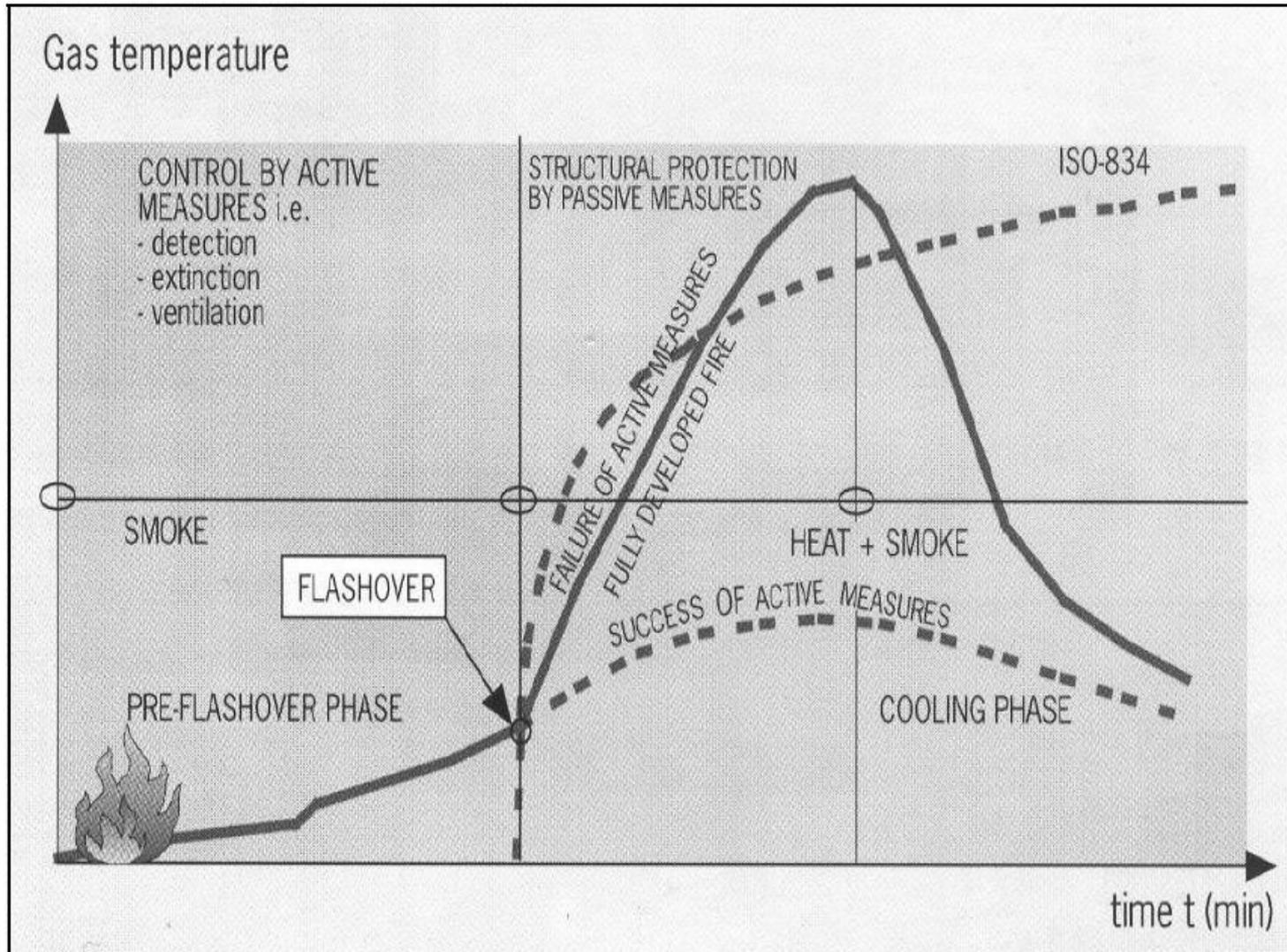
SICUREZZA IN CASO DI INCENDIO



RESISTENZA AL FUOCO

La **resistenza al fuoco** è una delle fondamentali strategie di protezione da perseguire per garantire un adeguato livello di sicurezza della costruzione in condizioni di incendio. Essa riguarda la **capacità portante** in caso di incendio, per una struttura, per una parte della struttura o per un elemento strutturale nonché la **capacità di compartimentazione** rispetto all'incendio per gli elementi di separazione sia strutturali, come muri e solai, sia non strutturali, come porte e tramezzi.

RESISTENZA AL FUOCO



D.M. 9 Marzo 2007

Campo di applicazione

Il campo di applicazione del provvedimento è limitato alle costruzioni in cui si svolgono attività soggette ai controlli del CNVVF per le quali le prestazioni di resistenza al fuoco non siano già stabilite da specifiche regole tecniche di settore ⁽¹⁾.

Le disposizioni si applicano:

- alle nuove attività, i cui progetti siano presentati ai Comandi VV.F. per l'acquisizione del parere di conformità sui progetti in data successiva a quella di entrata in vigore (25 settembre 2007);
- alle costruzioni esistenti nel caso di modifiche che comportino un incremento della classe di rischio di incendio, una riduzione delle misure di protezione o un incremento del carico di incendio specifico.

⁽¹⁾ Il D.M. 9 maggio 2007 fa una eccezione per quelle attività che, sebbene dotate di una specifica regola tecnica (che fissa un valore della classe di resistenza al fuoco), sono oggetto di una istanza di deroga supportata da valutazioni condotte attraverso i metodi della F.S.E.

D.M. 9 Marzo 2007

Classificazione dei compartimenti

Compartimento antincendio: parte della costruzione organizzata per rispondere alle esigenze della sicurezza in caso di incendio e delimitata da elementi costruttivi idonei a garantire, sotto l'azione del fuoco e per un dato intervallo di tempo, **la capacità portante** e la **capacità di compartimentazione**.

D.M. 9 Marzo 2007

Classi di resistenza al fuoco

La *classe di resistenza al fuoco* è l'intervallo di tempo espresso in minuti, durante il quale il compartimento antincendio garantisce la capacità di compartimentazione.

Le classi di resistenza al fuoco sono le seguenti:

classe 15, classe 20, classe 30, classe 45, classe 60,
classe 90, classe 120, classe 180, classe 240, classe 360

Esse sono di volta in volta precedute dai simboli (R, E, I, W, C, S, ecc.) indicanti i requisiti che devono essere garantiti dagli elementi costruttivi portanti e/o separanti, individuati sulla base della valutazione del rischio d'incendio (rimanda al D.M. 16 febbraio 2007)

D.M. 9 Marzo 2007

Classi di resistenza al fuoco

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

Livello I	Nessun requisito specifico di resistenza al fuoco dove le conseguenze della perdita dei requisiti stessi siano accettabili o dove il rischio di incendio sia trascurabile	Nessun requisito	Non ammesso dal D.M. 9.3.2007
Livello II	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione	Requisiti indipendenti dal valore assunto dal carico di incendio	Valori prescritti
Livello III	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la gestione dell'emergenza	Requisiti dipendenti dal valore assunto dal carico di incendio	Valori calcolati
Livello IV	Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento della costruzione	Requisiti dipendenti dal valore assunto dal carico di incendio	Valori calcolati
Livello V	Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità della costruzione stessa	Requisiti dipendenti dal valore assunto dal carico di incendio	Valori calcolati

D.M. 9 Marzo 2007

Livello I

Il livello I di prestazione - *Nessun requisito specifico di resistenza al fuoco* - non è ritenuto accettabile per le costruzioni nelle quali si svolgono attività soggette ai controlli del CNVVF.

D.M. 9 Marzo 2007

Livello II

Il livello II di prestazione - *Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione* - è ritenuto adeguato per le costruzioni:

- isolate
- fino a due piani fuori terra ed un piano interrato
- destinate ad un'unica attività non aperta al pubblico

ove inoltre risultino verificate tutte le seguenti condizioni:

D.M. 9 Marzo 2007

Livello II

- a) le dimensioni della costruzione siano tali da garantire l'esodo in sicurezza degli occupanti;
- b) gli eventuali crolli totali o parziali non arrechino danni ad altre strutture;
- c) gli eventuali crolli totali o parziali non compromettano l'efficacia degli elementi di compartimentazione e di impianti di protezione attiva che proteggono altre costruzioni;
- d) il massimo affollamento complessivo della costruzione non superi 100 persone e la densità di affollamento media non sia superiore a 0,2 pers/m²;
- e) la costruzione non sia adibita ad attività che prevedono posti letto;
- f) la costruzione non sia adibita ad attività specificamente destinate a malati, anziani, bambini o a persone con ridotte o impedito capacità motorie, sensoriali o cognitive.

D.M. 9 Marzo 2007

Livello II

Le classi di resistenza al fuoco per garantire il livello II di prestazione sono le seguenti, **indipendentemente dal valore assunto dal carico di incendio specifico di progetto.**

30	per costruzioni ad un piano fuori terra senza interrati
60	per costruzioni fino a due piani fuori terra e un interrato

Sono consentite classi inferiori se compatibili con il livello III di prestazione.

D.M. 9 Marzo 2007

Livello III

Il livello III di prestazione - *Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la gestione dell'emergenza* – può ritenersi adeguato per tutte le costruzioni soggette ai controlli del CNVVF fatte salve quelle per le quali sono richiesti i livelli IV e V.

Le classi di resistenza al fuoco necessarie per garantire il livello III sono correlate al

carico d'incendio specifico di progetto ($q_{f,d}$)

D.M. 9 Marzo 2007

Livello III - Definizioni

Il ***carico di incendio*** è 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 d'incendio specifico*** è il carico di incendio riferito all'unità di superficie lorda. E' espresso in MJ/m².

Il ***carico d'incendio specifico di progetto*** è il 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.

D.M. 9 Marzo 2007

Livello III – Il carico di incendio specifico di progetto

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot q_f \quad [\text{MJ/m}^2]$$

δ_{q1} è il fattore ($>1,0$) che tiene conto del rischio di incendio correlato alle dimensioni in pianta del compartimento

δ_{q2} è il fattore ($>0,8$) che tiene conto del rischio di incendio correlato alle caratteristiche dell'attività svolta nel compartimento

$\delta_n = \prod_i \delta_{ni}$ è il fattore riduttivo ($> 0,2$) che tiene conto delle misure di protezione previste nell'attività secondo i seguenti valori

q_f è il valore del carico d'incendio specifico che può determinarsi con una valutazione deterministica del carico di incendio ovvero con una valutazione statistica con riferimento a valori con probabilità di superamento minore del 20%.

D.M. 9 Marzo 2007

Livello III – Il carico di incendio specifico di progetto

δ_{q1} tiene conto del rischio di incendio correlato alle dimensioni in pianta del compartimento

Superficie in pianta lorda del compartimento (m ²)	d_{q1}	Superficie in pianta lorda del compartimento (m ²)	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

D.M. 9 Marzo 2007

Livello III – Il carico di incendio specifico di progetto

δ_{q2} tiene conto del rischio di incendio correlato alle caratteristiche dell'attività svolta nel compartimento

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

Livello III – Il carico di incendio specifico di progetto

$\delta_n = \prod_i \delta_{ni}$ è il fattore riduttivo ($> 0,2$) che tiene conto delle misure di protezione previste nell'attività secondo i seguenti valori

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 ^[1]	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

^[1] 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 adottano una o più misure di protezione il corrispondente valore di δ va posto uguale ad 1

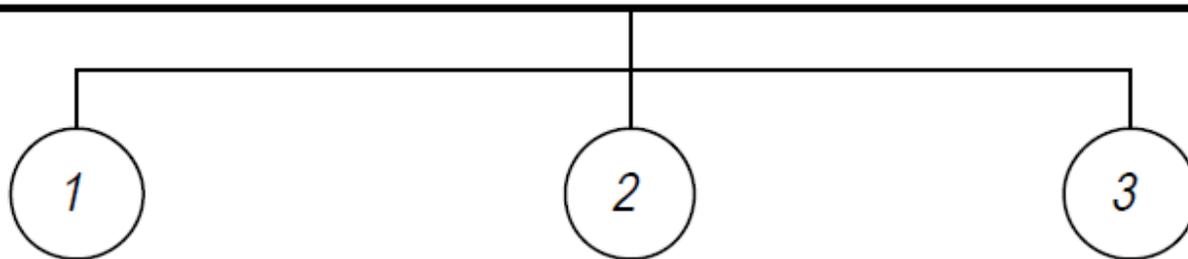
Livello III – Il carico di incendio specifico di progetto

Chiarimenti della circolare P414 sott. 55 del 28 marzo 2008

- δ_{q2} classificazione analoga alla norma UNI 10779:2007
- δ_{n1} OK per sistemi automatici a schiuma
- δ_{n3} OK E.F.C. equivalenti. *OK cupolini bassofondenti.*
OK impianti ad attivazione manuale con presidio H24
- δ_{n4} OK se l'impianto è funzionante H24 con attivazione piano emergenza
- δ_{n5} OK se la squadra è presente H24
- δ_{n8} OK accesso diretto dall'esterno o con ascensore di soccorso (DM 15/9/05)
- δ_{n9} OK i requisiti di accesso richiesti solitamente dalla regole tecniche di P.I.

Livello III – Il carico di incendio specifico di progetto

Come si determina il carico di incendio di un compartimento ?



Direttamente in base all'attività svolta nel compartimento	In base ai componenti di arredo e/o ai beni in deposito nel compartimento	In base al contributo puntuale di tutti i materiali combustibili presenti nel compartimento
Approssimazione grossolana (è imposto un margine di sicurezza)	Buona approssimazione	Precisa valutazione
Adottabile per attività non ancora in esercizio per le quali si ignora la tipologia e l'entità dei materiali presenti	Adottabile quando sono noti i componenti di arredo e/o i beni in deposito e per essi esiste una banca dati di riferimento	Adottabile sempre

Il carico specifico di incendio q_f si determina:

1 Direttamente per attività svolta

Il frattile 80 % è il valore della grandezza esaminata che statisticamente ha la probabilità di essere superato nel 20 % dei casi.



Table E.4 — Fire load densities $q_{f,k}$ [MJ/m²] for different occupancies.

Occupancy	Average	80% Fractile
Dwelling	780	948
Hospital (room)	230	280
Hotel (room)	310	377
Library	1500	1824
Office	420	511
Classroom of a school	285	347
Shopping centre	600	730
Theatre (cinema)	300	365
Transport (public space)	100	122

NOTE Gumbel distribution is assumed for the 80% fractile.

Structural Design for Fire Safety Andrew H. Buchanan	Attività ben definite che sono piuttosto simili o con differenze molto limitate negli arredi o nei beni in deposito come abitazioni, alberghi, ospedali, uffici e scuole	Attività che sono piuttosto dissimili o con larghe differenze negli arredi e nei beni in deposito come centri commerciali, grandi magazzini e attività industriali
coefficiente di variazione	30%-50% del valore medio dato	50%-80% del valore medio dato
valore del frattile 90 %	(1,35-1,65) x il valore medio dato	(1,65-2,00) x il valore medio dato
valore del frattile 80 %	(1,25-1,50) x il valore medio dato	(1,45-1,75) x il valore medio dato
valore di picco isolato	2 x il valore medio dato	2,5 x il valore medio dato

Il carico specifico di incendio q_f si determina:

2 Per gli arredi presenti e/o per le merci in deposito

Tabella c - Materiali da arredo - Valore orientativo della quantità di calore sviluppata da ciascun pezzo in MJ (megajoules) (1 MJ = 238 kcal)

<i>Materiale</i>	<i>MJ/per pezzo</i>
Apparecchio radio	84
Armadio a muro (compreso il contenuto)	
Armadio a 1 porta	670
Armadio a 2 porte	1.340
Armadio a 3 porte	2.009
Armadio a 4 porte	2.679
Armadio con classificatore (compreso il contenuto)	2.009
Armadio per abiti (compreso il contenuto)	
Armadio a 2 porte	1.674
Armadio a 3-4 porte	2.679
Armadio per disegni (compreso il contenuto)	2.511
Banco di magazzino (per m ²)	1.005
Biblioteca (compreso contenuto per m ² di superficie)	837
Casellario per archivio (per m ² compreso il contenuto)	2.009
Cassettone	1.005
Comodino da notte (compreso il contenuto)	168
Credenza da cucina	1.172
Credenza (per alimenti)	418
Divano	837
Letto (compreso materasso, lenzuola, cuscino, coperte, ecc.)	1.080
Pianoforte	2.846
Poltrone	335
Scaffale in legno (per m ² di superficie frontale)	418
Scrivania di metallo	837
Scrivania grande (a due serie di cassetti)	2.177
Scrivania piccola (ad una serie di cassetti)	1.172
Sedia da cucina	59
Sedia non imbottita	67
Tappeto (per m ²)	47
Tavolo allungabile grande	590
Tavolo da cucina (con piedi di metallo)	252
Tavolo da cucina in legno	335
Tavolo medio	418
Tavolino rotondo (per radio o simile)	252
Tende (per m ² di superficie delle finestre)	13

Il carico specifico di incendio q_f si determina:

3 Con riferimento ai materiali

$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i}{A} \quad [\text{MJ/m}^2]$$

g_i massa dell'i-esimo materiale combustibile

H_i potere calorifico inferiore dell'i-esimo materiale combustibile. I valori di H_i dei materiali combustibili possono essere determinati per via sperimentale in accordo con UNI EN ISO 1716:2002 ovvero essere mutuati dalla letteratura tecnica

m_i fattore di partecipazione alla combustione dell'iesimo materiale combustibile pari a 0,80 per il legno e altri materiali di natura cellulosa e 1,00 per tutti gli altri materiali combustibili

ψ_i fattore di limitazione della partecipazione alla combustione dell'i-esimo materiale combustibile pari a 0 per i materiali contenuti in contenitori appositamente progettati per resistere al fuoco; 0,85 per i materiali contenuti in contenitori non combustibili e non appositamente progettati per resistere al fuoco; 1 in tutti gli altri casi

A superficie in pianta lorda del compartimento [m^2]

Solids	Netcalorific values H_i [MJ/kg]
Wood	17,5
Other cellulosic materials	20
<ul style="list-style-type: none"> • Clothes • Cork • Cotton • Paper, cardboard • Silk • Straw • Wool 	
Carbon	30
<ul style="list-style-type: none"> • Anthracit • Charcoal • Coal 	
Chemicals	
Paraffin series	50
<ul style="list-style-type: none"> • Methane • Ethane • Propane • Butane 	
Olefin series	45
<ul style="list-style-type: none"> • Ethylene • Propylene • Butene 	
Aromatic series	40
<ul style="list-style-type: none"> • Benzene • Toluene 	
Alcohols	30
<ul style="list-style-type: none"> • Methanol • Ethanol • Ethyl alcohol 	
Fuels	45
<ul style="list-style-type: none"> • Gasoline, petroleum • Diesel 	
Pure hydrocarbons plastics	40
<ul style="list-style-type: none"> • Polyethylene • Polystyrene • Polypropylene 	
Other products	
ABS (plastic)	35
Polyester (plastic)	30
Polyisocyanerat and polyurethane (plastics)	25
Polyvinylchloride, PVC (plastic)	20
Bitumen, asphalt	40
Leather	20
Linoleum	20
Rubber tyre	30
NOTE The values given in this table are not applicable for calculating energy content of fuels.	

D.M. 9 Marzo 2007

Livello III – Determinazione della classe di resistenza al fuoco

Una volta determinato il carico di incendio specifico di progetto, **le classi di resistenza al fuoco idonee a garantire il livello III di prestazione si ricavano dalla seguente tabella in funzione del carico d'incendio specifico di progetto.**

Carichi d'incendio specifici di progetto ($q_{f,d}$)	Classe
Non superiore a 100 MJ/m ²	0
Non superiore a 200 MJ/m ²	15
Non superiore a 300 MJ/m ²	20
Non superiore a 450 MJ/m ²	30
Non superiore a 600 MJ/m ²	45
Non superiore a 900 MJ/m ²	60
Non superiore a 1200 MJ/m ²	90
Non superiore a 1800 MJ/m ²	120
Non superiore a 2400 MJ/m ²	180
Superiore a 2400 MJ/m ²	240

D.M. 9 Marzo 2007

Esempio di determinazione della classe

Deposito di bitume in fusti metallici (1.800 pz da 20 kg/cad.; tot. 36.000 kg)

Superficie in pianta del compartimento = 900 m²

Elementi caratteristici: ubicazione p.t.; h interna 6 m; imp. automatico di rivelazione, segnalazione e allarme; estintori; idranti interni e esterni; accessibilità ai mezzi VVF.

PCI bitume = 42 MJ/kg; legno 19 MJ/kg

Valutazione della classe di resistenza al fuoco con il metodo del DM 9 marzo 2007

$$q_f = 36.000 \cdot 42 \cdot 0,85 / 900 = 1428 \text{ MJ/m}^2$$

$$q_{f,d} = 1428 \cdot 1,2 \cdot 0,612 = 1049 \text{ MJ/m}^2 \text{ ossia classe } \mathbf{90}$$

Con impianto di spegnimento automatico ad acqua

$$q_{f,d} = 1428 \cdot 1,2 \cdot 0,367 = 629 \text{ MJ/m}^2 \text{ ossia classe } \mathbf{60}$$

$dq1$	1,2	
$dq2$	1	
$dn1 - dn2$	1	0,60
$dn3$	1	
$dn4$	0,85	
$dn5$	1	
$dn6 - dn7$	0,80	
$dn8$	1	
$dn9$	0,90	
Prodotto dni	0,612	0,367

D.M. 9 Marzo 2007

Livelli IV e V

Per garantire il livello di prestazione IV - *Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento della costruzione* – e V - *Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità della costruzione stessa* - le costruzioni devono essere oggetto delle seguenti verifiche:

- a) Capacità portante mantenuta per tutta la durata dell'incendio
- b) Regime deformativo contenuto
- c) Capacità portante residua che consenta interventi di ripristino (IV)
- c) Capacità portante residua adeguata alla funzionalità immediata della costruzione (V)

D.M. 9 Marzo 2007

Presenza di elementi strutturali in legno

Nel caso siano presenti elementi strutturali in legno, il D. M. 9 marzo 2007 non precisa come si debba tener conto, nel carico di incendio, del contributo di tali combustibili.

In tal caso la struttura combustibile ha un duplice ruolo:

quello di contribuire alla determinazione della classe del compartimento e quello di avere requisiti di resistenza al fuoco compatibili con tale classe.

In attesa di futuri confronti in ambito europeo, si può calcolare il contributo delle strutture portanti in legno utilizzando il procedimento previsto dalla Lettera Circolare prot. P414/4122 del 28.03.2008.

D.M. 9 Marzo 2007

Presenza di elementi strutturali in legno

Il procedimento è articolato in tre passi:

- 1) Determinare la classe del compartimento prescindendo inizialmente dalla presenza degli elementi strutturali lignei.
- 2) Calcolare lo spessore di carbonizzazione degli elementi lignei corrispondenti alla classe determinata, adottando come valori di riferimento della velocità di carbonizzazione, quelli contenuti nella norma EN 1995-1-2 *“progettazione delle strutture in legno – Parte 1- 2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l’incendio, di cui si riporta uno stralcio nella seguente tabella:*

Essenza	Tipologia di legno	mm/min
a) Legname tenero (conifere) e faggio	Legno laminato incollato con densità caratteristica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,70
	Legno massiccio con densità caratteristica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,80
b) Legname duro (latifoglie)	Legno duro massiccio o laminato incollato con densità caratteristica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,70
	Legno duro massiccio o laminato incollato con densità caratteristica $\geq 450 \text{ Kg/m}^3$	0,55

D.M. 9 Marzo 2007

Presenza di elementi strutturali in legno

Il procedimento è articolato in tre passi:

- 3) Determinare definitivamente la classe del compartimento, tenendo anche conto del carico di incendio specifico relativo alle parti di elementi lignei corrispondenti allo spessore di cui al punto 2) che hanno partecipato alla combustione.

Non è necessario reiterare più volte il calcolo!

D.M. 9 Marzo 2007

Verifica degli elementi costruttivi

L'incendio convenzionale di progetto è definito da una curva di incendio che rappresenta l'andamento, in funzione del tempo, della temperatura media dei gas di combustione nell'intorno degli elementi costruttivi.

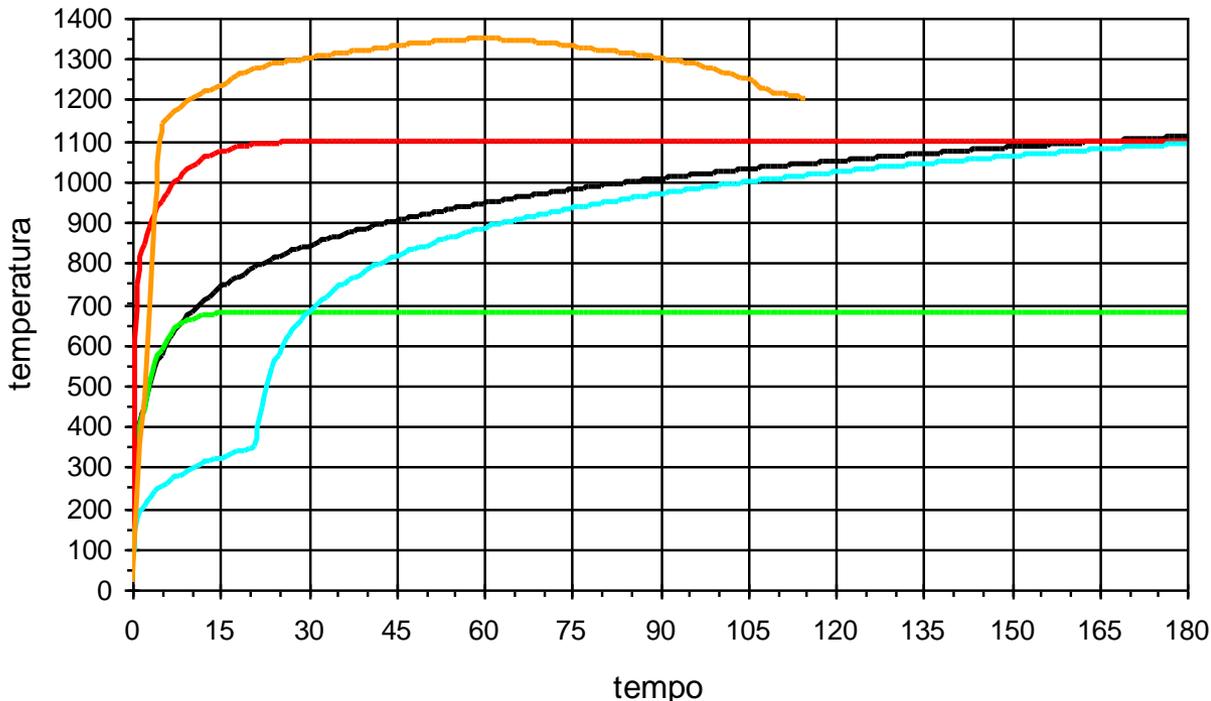
A seconda del tipo di approccio adottato (prescrittivo o prestazionale) l'andamento delle temperature negli elementi costruttivi sarà valutato in riferimento:

- a una **curva nominale d'incendio** tra quelle indicate di seguito, per l'intervallo di tempo di esposizione pari alla classe di resistenza al fuoco prevista, senza alcuna fase di raffreddamento;
- a una **curva naturale d'incendio**, determinata in base a modelli di incendio tenendo conto dell'intera durata dello stesso, compresa la fase di raffreddamento fino al ritorno alla temperatura ambiente.

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.

D.M. 9 Marzo 2007

Curve naturali di incendio

Nel caso in cui il progetto sia condotto con un approccio prestazionale, secondo i criteri del **DM 9 maggio 2007 - Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio** - la capacità portante e/o la capacità di compartimentazione, in alternativa al metodo che fa riferimento alle classi, può essere verificata rispetto all'azione termica della *curva naturale di incendio*, applicata per l'intervallo di tempo necessario al ritorno alla T ordinaria, da determinarsi attraverso:

- modelli di incendio sperimentali (p.e. prove di incendio su scala reale) oppure,
- modelli di incendio numerici semplificati (p.e. curve parametriche) oppure,
- modelli di incendio numerici avanzati (p.e. modelli a zone, di campo).

Le curve di incendio naturale devono essere determinate in base al carico di incendio specifico di progetto ponendo pari ad 1 i coefficienti δ_{ni} relativi alle misure di protezione che si intende modellare.

Occorre riferirsi a metodi di riconosciuta affidabilità, tenendo conto delle limitazioni d'uso di ciascun modello (Come puntualmente indicato nel DM 9 maggio 2007)

D.M. 9 Marzo 2007

Curve naturali di incendio

Qualora si adotti uno di questi metodi, è tuttavia previsto che gli elementi costruttivi portanti e/o separanti garantiscano il possesso di requisiti minimi di resistenza al fuoco determinati rispetto all'azione termica della curva di incendio nominale standard ISO 834 secondo la correlazione tra carico d'incendio specifico di progetto ($q_{f,d}$) e classe di riferimento riportata nella seguente tabella:

Carichi d'incendio specifici di progetto ($q_{f,d}$)	Classe
Non superiore a 300 MJ/m ²	0
Non superiore a 450 MJ/m ²	15
Non superiore a 600 MJ/m ²	20
Non superiore a 900 MJ/m ²	30
Non superiore a 1200 MJ/m ²	45
Non superiore a 1800 MJ/m ²	60
Non superiore a 2400 MJ/m ²	90
Superiore a 2400 MJ/m ²	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

D.M. 9 Marzo 2007

Curve naturali di incendio

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.

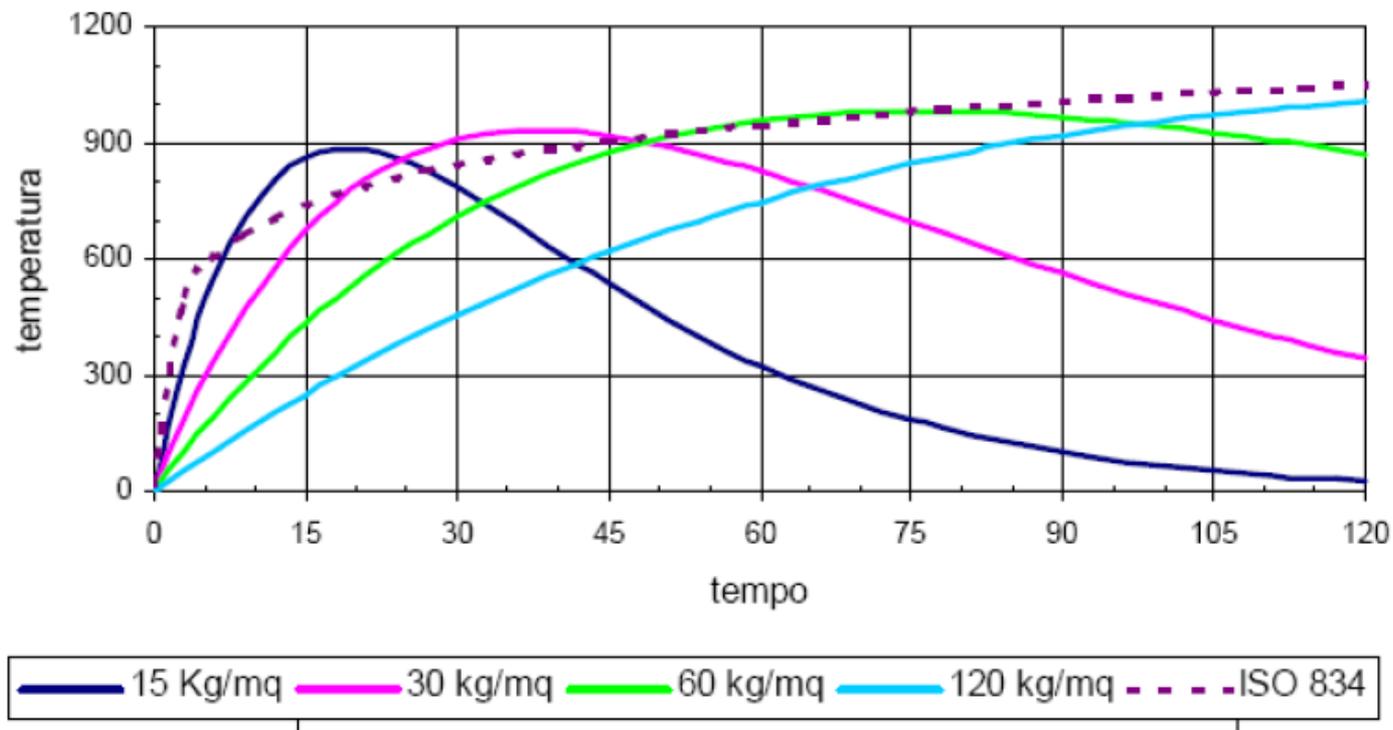
Sono espressioni di natura semiempirica date dal solo equilibrio energetico raggiunto all'interno del compartimento nella fase post-flashover.

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

D.M. 9 Marzo 2007

Curve parametriche naturali

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

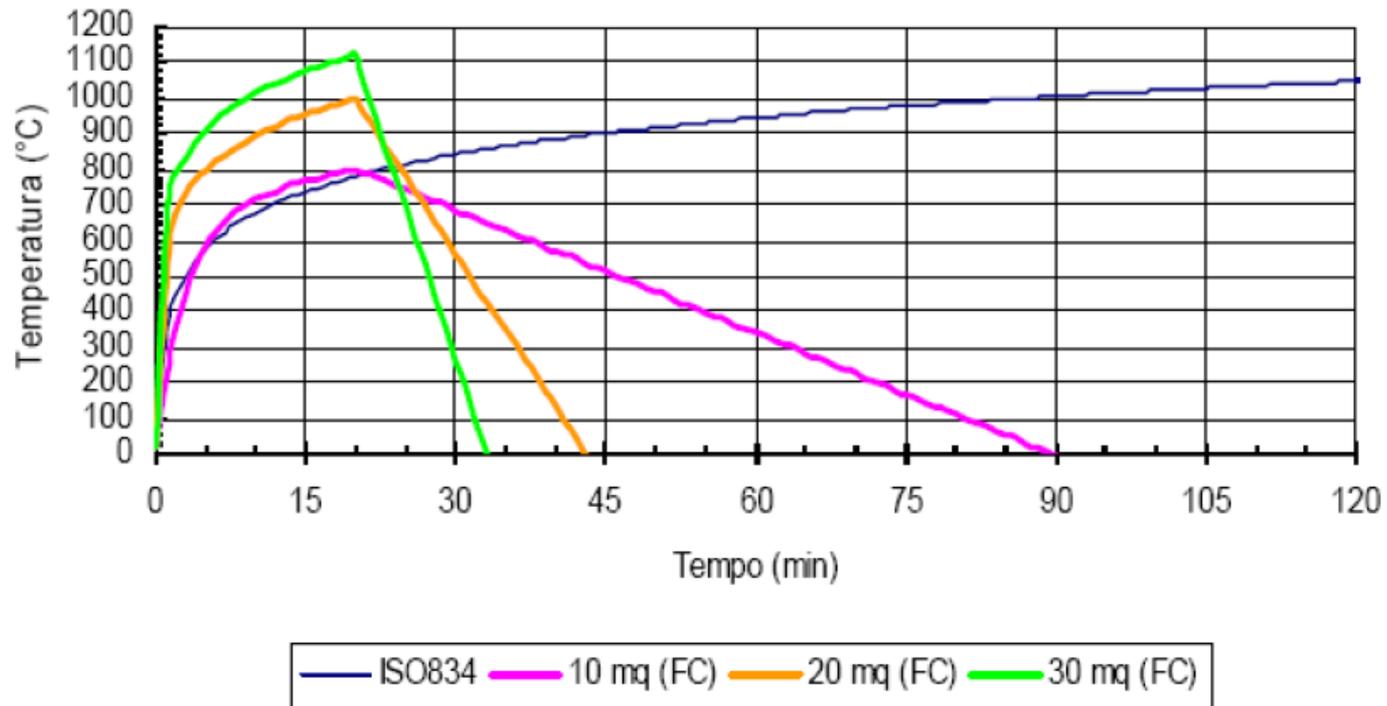


D.M. 9 Marzo 2007

Curve parametriche naturali

Curva Parametrica Eurocodice 1 (curva di Wickstrom) (UNI-ENV 1992-1-2)

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



D.M. 9 Marzo 2007

Metodi avanzati di modellazione dell'incendio

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.

D.M. 9 Marzo 2007

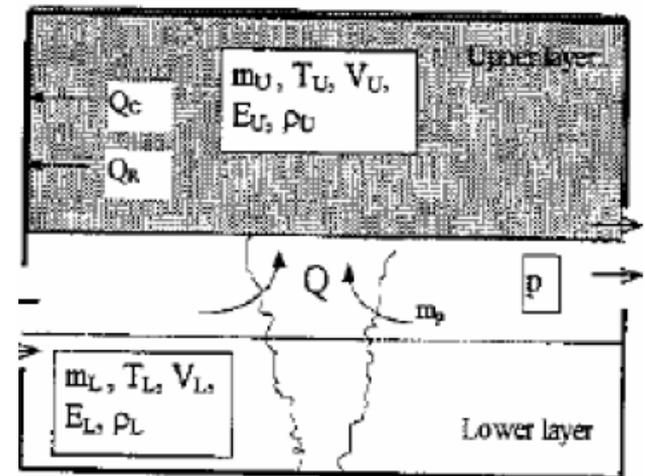
Modelli a zone

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

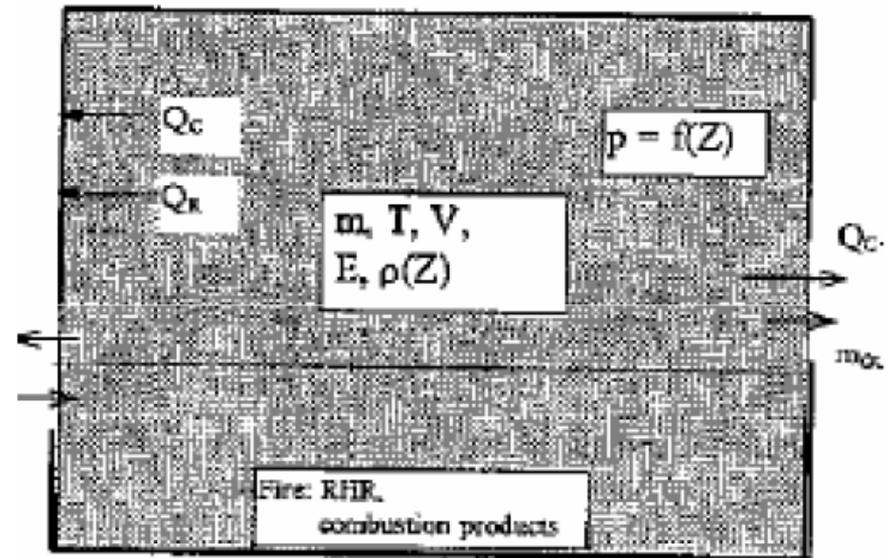
Il modello a zone è un modello adatto a compartimenti dalla geometria semplice con poche stanze e con un modello fuoco ben rappresentabile da un $RHR(t)$ complessivo dell'intero combustibile presente.



D.M. 9 Marzo 2007

Modelli a zone

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.



D.M. 9 Marzo 2007

Modelli di campo

Forniscono la stima *dell'evoluzione dell'incendio* in uno spazio per via numerica, risolvendo le equazioni della conservazione della massa, *dell'energia*, della diffusione della specie, che risultano da un incendio.

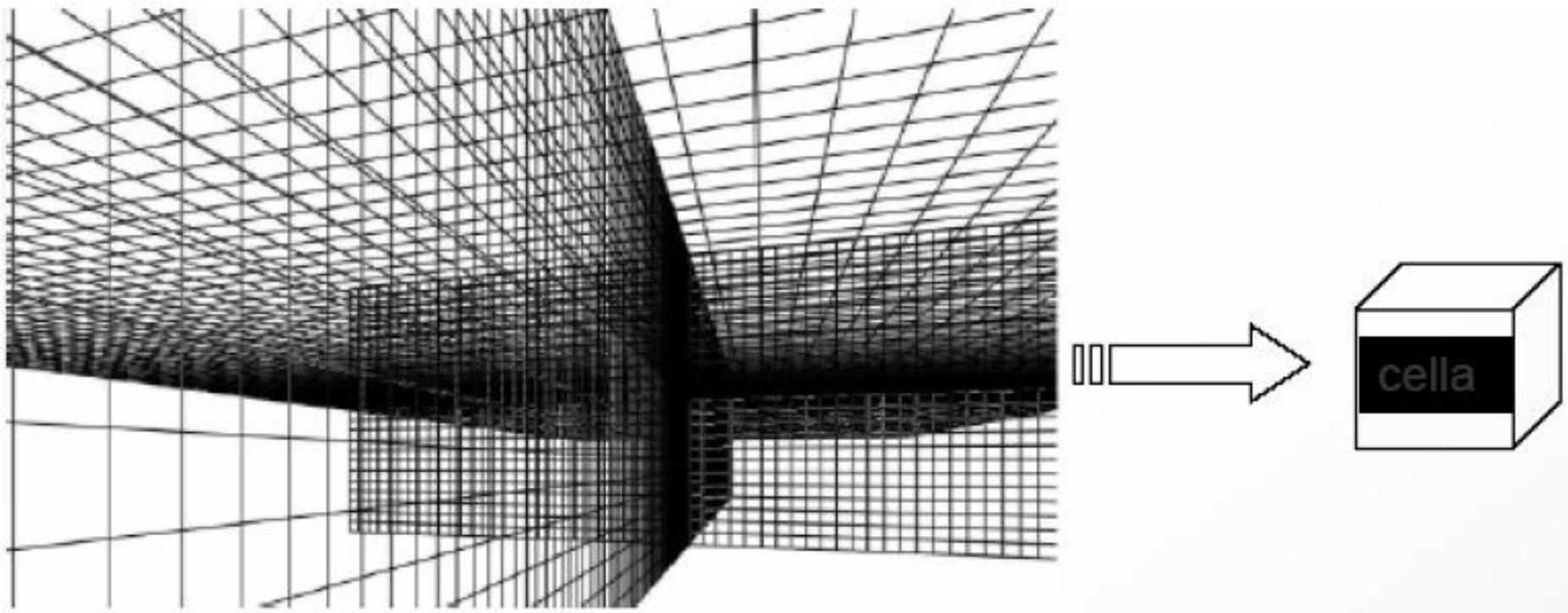
Dividono uno spazio in un numero elevato di elementi e risolvono le equazioni di conservazione *all'interno* di ciascuno di essi.

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 termofluidodinamica *dell'incendio* nello spazio e nel tempo.

D.M. 9 Marzo 2007

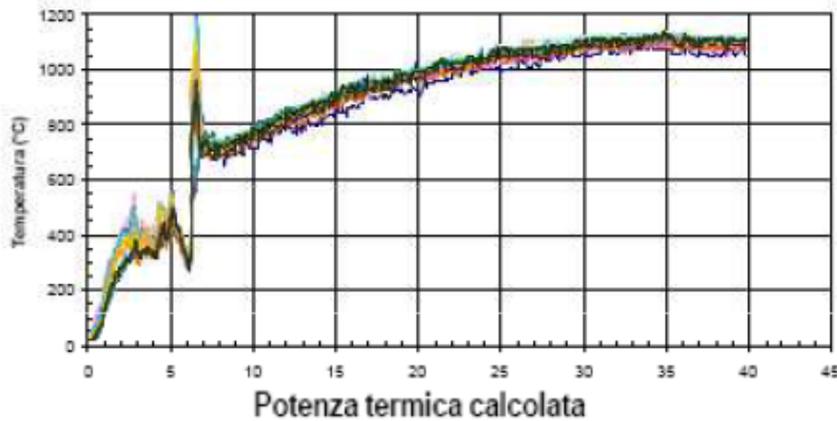
Modelli di campo



D.M. 9 Marzo 2007

Modelli di campo

Temperature a ridosso della copertura



Temperature a ridosso di un pilastro interno

