



Comando Vigili del Fuoco Caserta
d'intesa con



Il D.M. 7 agosto 2012

“IL NUOVO PROFESSIONISTA ANTINCENDIO e le Responsabilità Professionali”

14 novembre 2012 - ore 9.00 - Hotel CROWNE PLAZA

RESISTENZA AL FUOCO: VALUTAZIONE DEL RISCHIO INCENDIO E METODOLOGIE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE



Prof. Ing. Emidio Nigro
Dipartimento di Ingegneria Strutturale
Università di Napoli “Federico II”

E-mail: emidio.nigro@unina.it



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

www.promozioneacciaio.it

in collaborazione con: Ing. Giuseppe Cefarelli e Ing. Anna Ferraro

QUADRO NORMATIVO

Italiane

Ministero dell'Interno Decreto 16 febbraio 2007	<i>Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione</i>
Ministero dell'Interno Decreto 9 marzo 2007	<i>Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei Vigili del Fuoco</i>
Ministero dell'Interno Decreto 9 maggio 2007	<i>Direttive per l'attuazione dell'<u>approccio ingegneristico</u> alla sicurezza antincendio</i>
Ministero Infrastrutture DM 14 gennaio 2008	<i>Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni</i>
Circolare NTC2008 n. 617 2 Febbraio 2009	<i>Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni» di cui al decreto 14 gennaio 2008</i>
EN 1990	<i>Eurocodice – Criteri generali di progettazione strutturale</i>
EN 1991-1-2	<i>Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-2: <u>Azioni sulle strutture esposte al fuoco</u></i>
EN 1992-1-2	<i>Eurocodice 2 – Progettazione delle <u>strutture di calcestruzzo</u> – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio</i>
EN 1993-1-2	<i>Eurocodice 3 – Progettazione delle <u>strutture di acciaio</u> – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio</i>
EN 1994-1-2	<i>Eurocodice 4 – Progettazione delle <u>strutture composte acciaio-calcestruzzo</u> – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio</i>

Europee

L'azione incendio – NTC 2008

NTC2008 (§3.6: **Azioni eccezionali**)

Le azioni eccezionali sono quelle che si presentano in occasione di eventi quali **incendi**, esplosioni ed urti ...

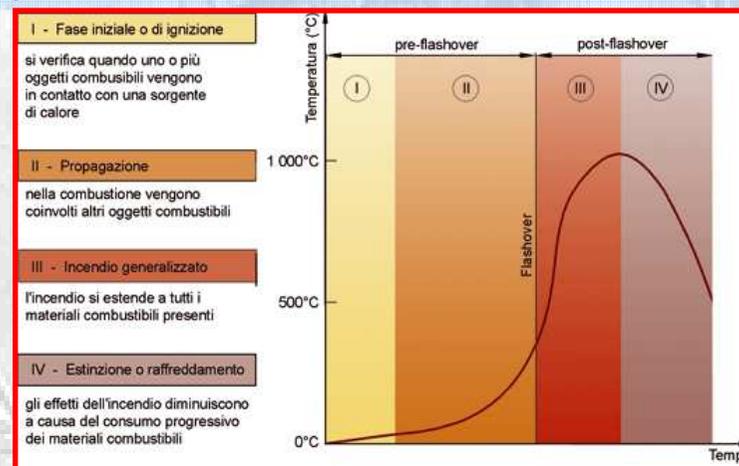
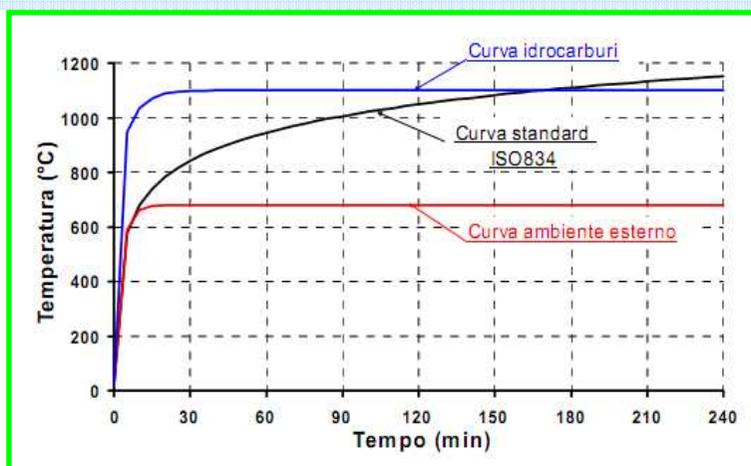
NTC2008 (§3.6.1.1: **Definizioni**)

Per incendio, si intende la combustione autoalimentata ed incontrollata di materiali combustibili presenti in un compartimento.

Ai fini della presente norma si fa riferimento ad un incendio convenzionale di progetto definito attraverso **una curva di incendio che rappresenta l'andamento, in funzione del tempo, della temperatura dei gas di combustione nell'interno della superficie degli elementi strutturali.**

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

- **nominale**: curva adottata per la classificazione delle costruzioni e per le verifiche di resistenza al fuoco di tipo convenzionale;
- **naturale**: curva determinata in base a modelli d'incendio e a parametri fisici che definiscono le variabili di stato all'interno del compartimento.



La sicurezza strutturale in caso di incendio – NTC 2012

NTC2012 (§2.1: PRINCIPALI GENERALI)

In particolare, secondo quanto stabilito nei capitoli specifici, le opere e **le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:**

- *sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): ... ;*
- *sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): ...;*
- **sicurezza antincendio: capacità di garantire le prestazioni strutturali previste in caso d'incendio, per un periodo richiesto;**
- *durabilità: ... ;*
- *robustezza nei confronti di azioni eccezionali: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle di possibili cause innescanti eccezionali quali incendio, esplosioni e, urti.*

NTC2012 (§2.2.5: VERIFICHE)

Le opere strutturali devono essere verificate:

- a) per gli stati limite ultimi che possono presentarsi, in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni;*
- b) per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese;*
- c) quando necessario, nei confronti degli effetti derivanti dalle azioni termiche connesse con lo sviluppo di un incendio.**

LA VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO

...

La resistenza al fuoco è la capacità di una costruzione, di una parte di essa o di un elemento costruttivo di mantenere, per un tempo prefissato, la capacità portante, l'isolamento termico e la tenuta alle fiamme, ai fumi e ai gas caldi della combustione nonché tutte le altre prestazioni se richieste.

LA VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO

- **Nel dominio del tempo:**

$$t_{fi,d} \geq t_{fi,richiesto}$$

(tempo di resistenza al fuoco di progetto \geq tempo di resistenza al fuoco richiesto)

- **Nel dominio delle resistenze:**

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}$$

(resistenza in condizioni di incendio al tempo $t \geq$ sollecitazione in condizioni di incendio al tempo t)

- **Nel dominio delle temperature:**

$$\Theta_{d,t} \leq \Theta_{cr,d}$$

(temperatura dell'elemento al tempo $t \leq$ temperatura critica dell'elemento)

RIDUZIONE DI RESISTENZA DI UNA MEMBRATURA SOGGETTA AD INCENDIO

Verifica di sicurezza per esposizione a curva di incendio standard

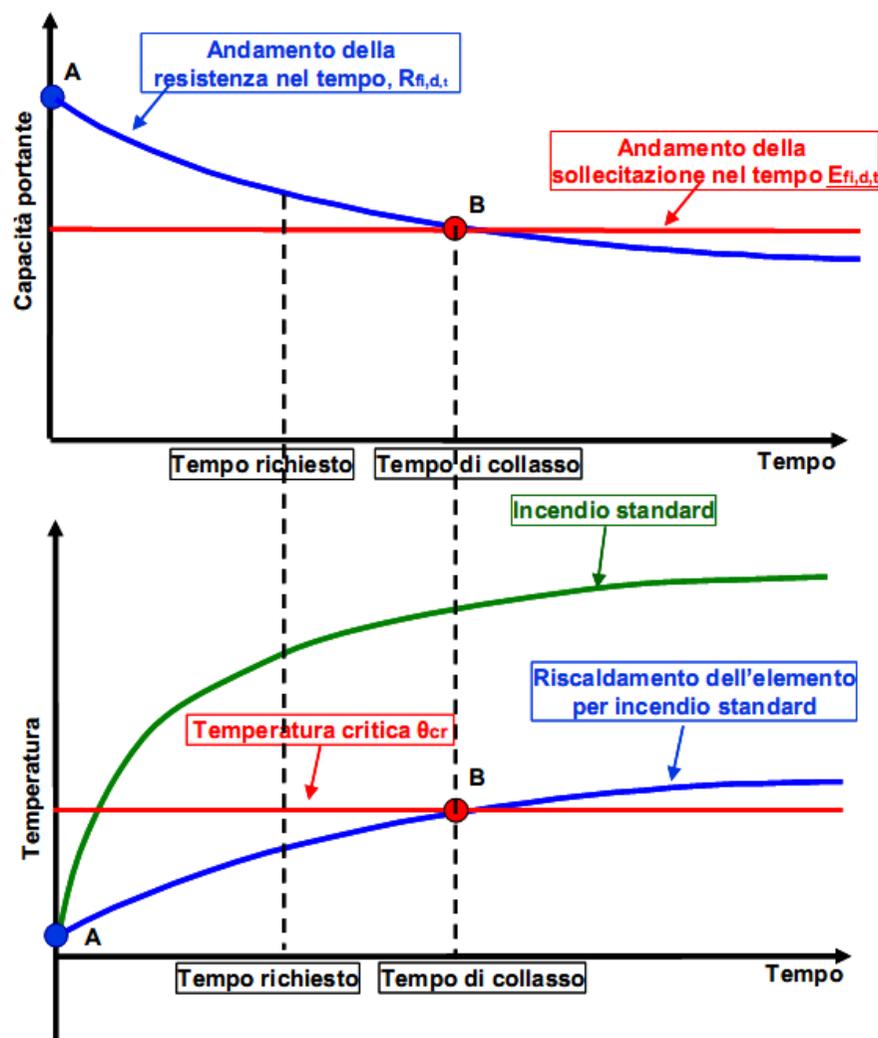
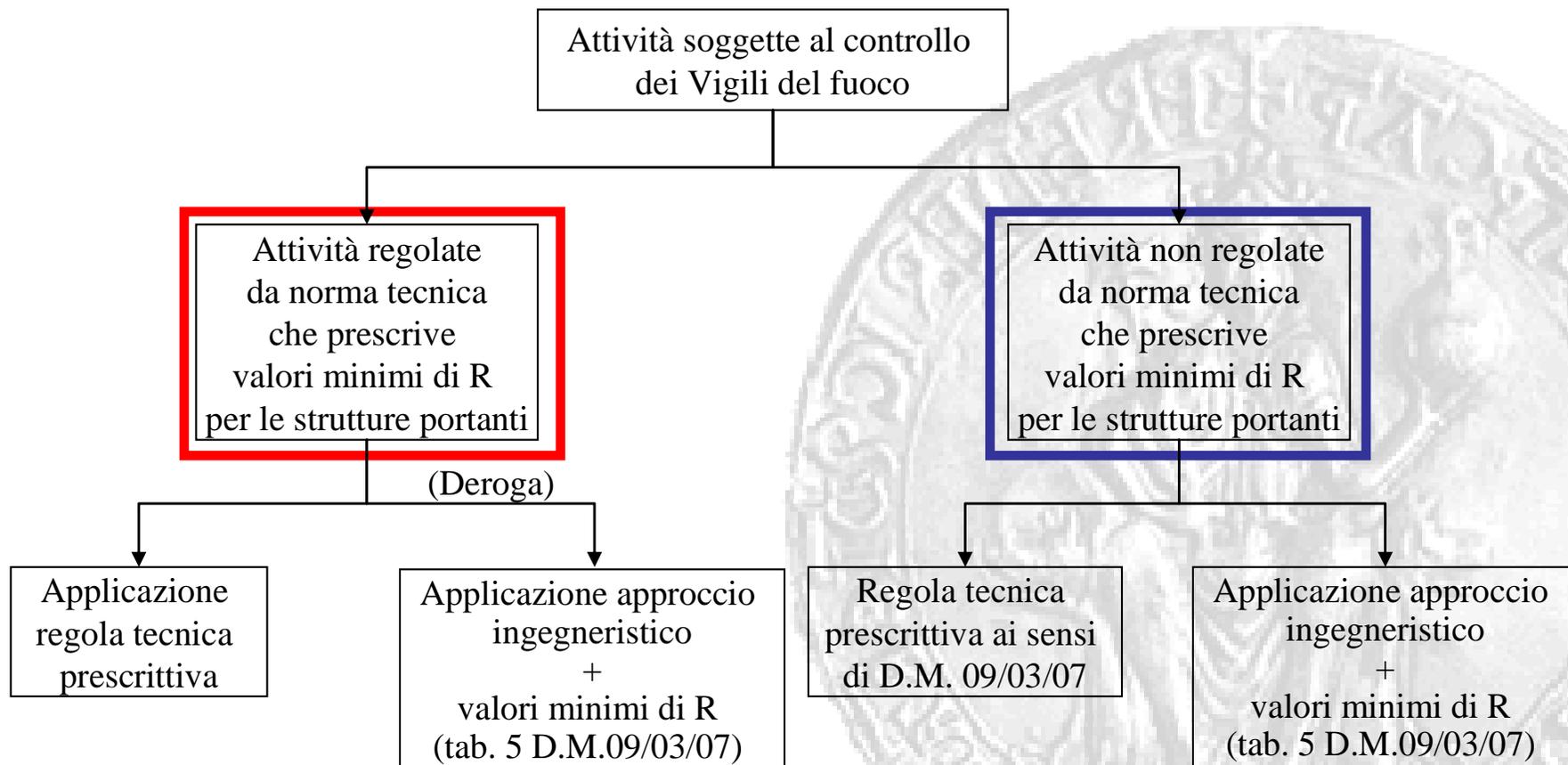


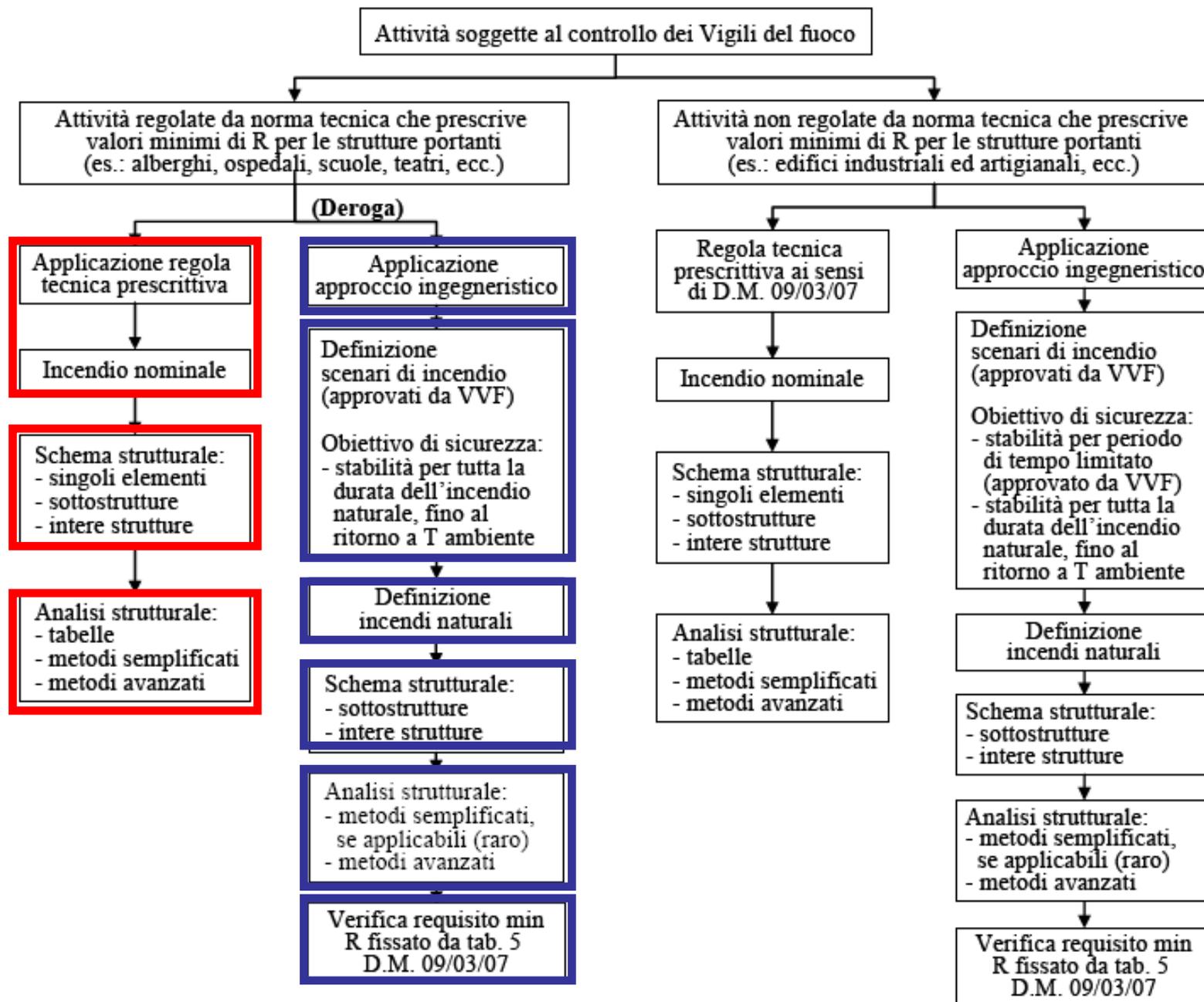
Figura 5.6 Verifica di sicurezza nel caso di esposizione all'incendio standard.

Procedure per la valutazione della resistenza al fuoco (D.M. 09/03/07)

D.P.R. 1 agosto 2011, n. 151: Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi ... (omissis).



Schema valutazione sicurezza strutturale

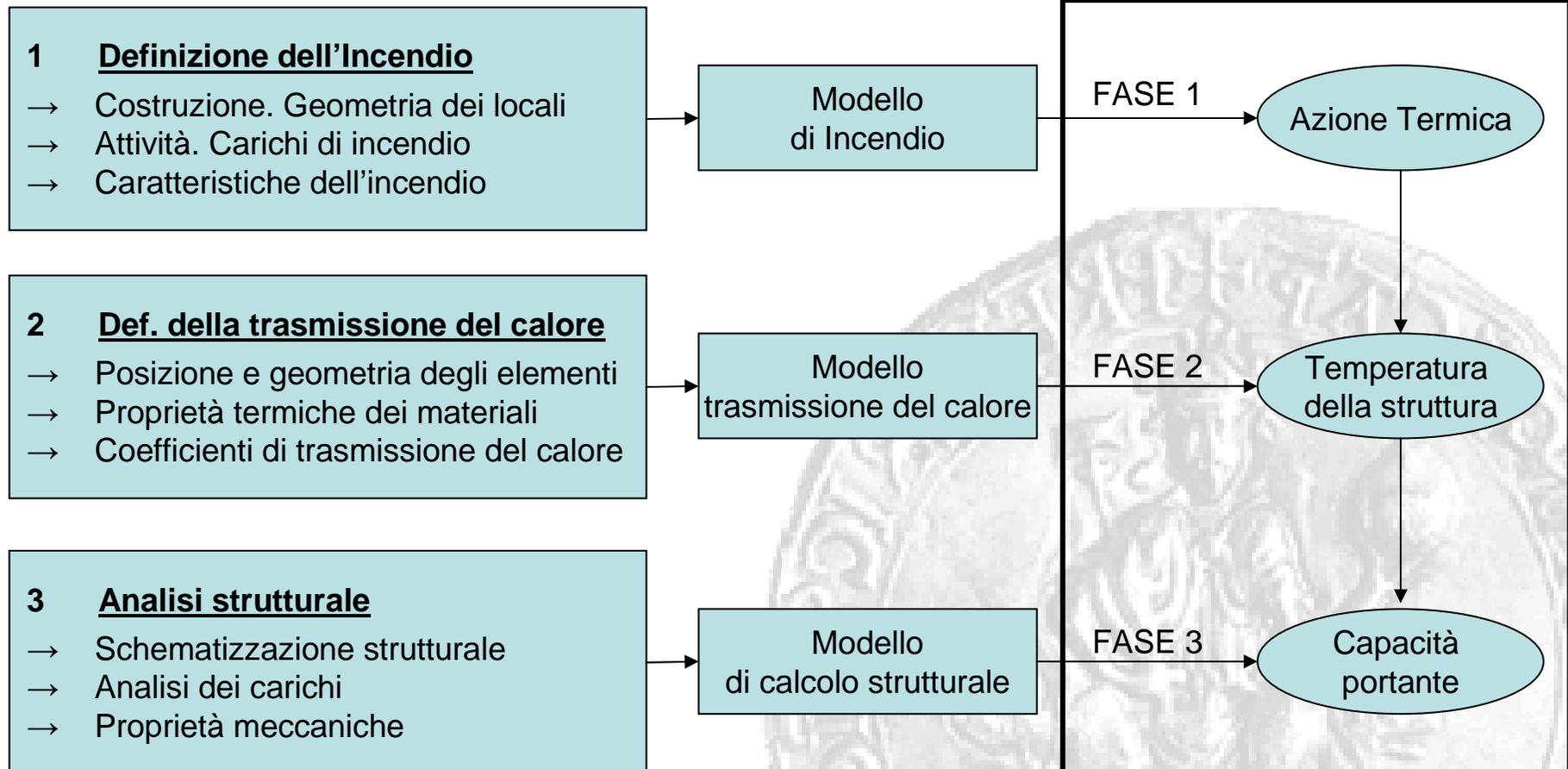


RICHIESTE DI PRESTAZIONE IN CASO DI INCENDIO

Le recenti normative (NTC 2008 e D.M. Int. 09/03/2007) distinguono **5 livelli di prestazione** da richiedere alla struttura in caso di incendio in funzione degli obiettivi prefissati:

Livello 1	Nessun requisito di resistenza specifico al fuoco dove le conseguenze del crollo delle strutture siano accettabili o dove il rischio di incendio sia trascurabile.
Livello 2	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo sufficiente a garantire l'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione.
Livello 3	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo congruo con la gestione dell'emergenza.
Livello 4	Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento delle strutture stesse.
Livello 5	Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità delle strutture stesse.

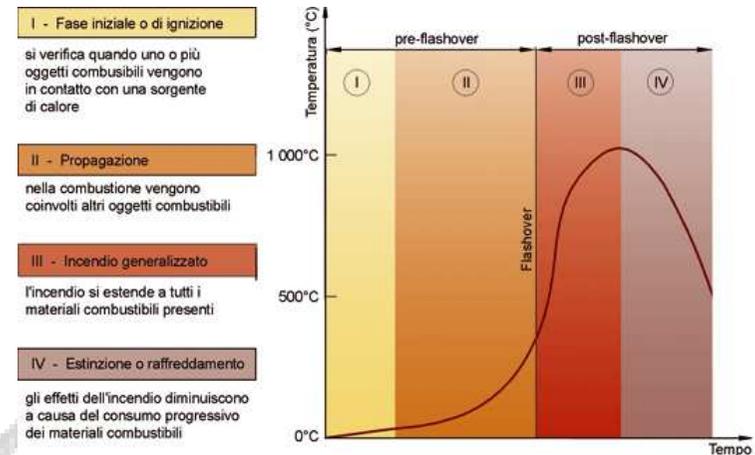
ANALISI STRUTTURALE IN CONDIZIONI DI INCENDIO



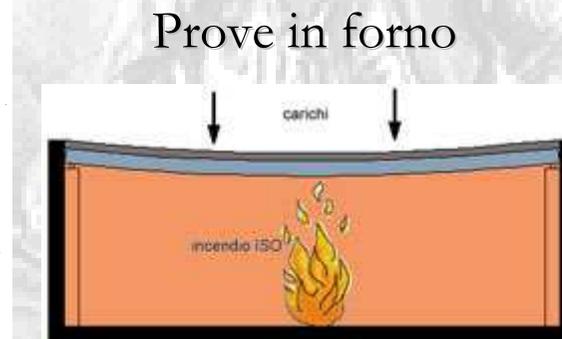
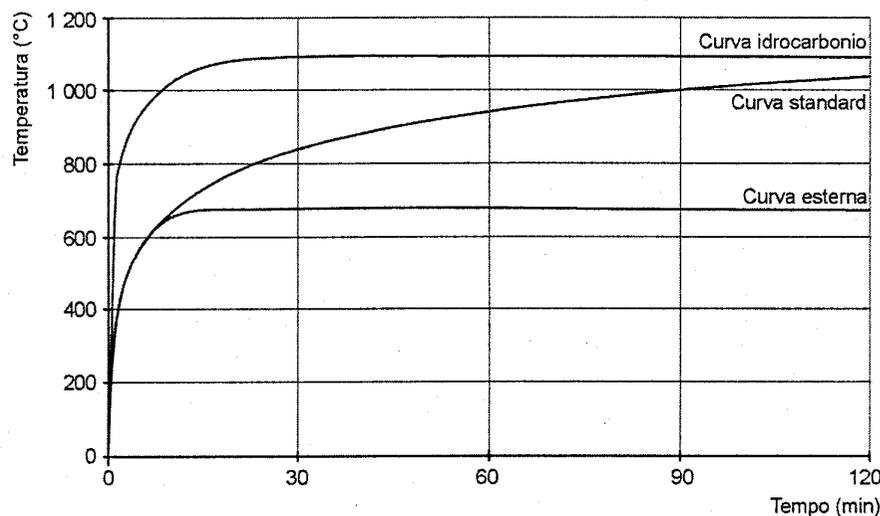
TIPOLOGIE DI INCENDIO

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.



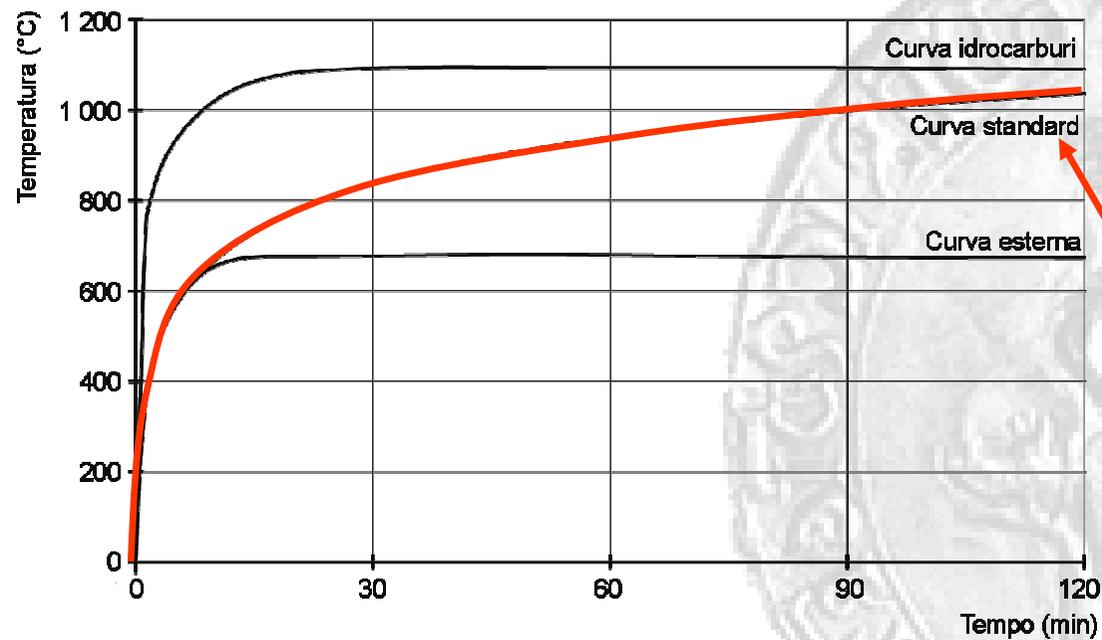
- **Nominale:** curva adottata per la classificazione delle costruzioni e per le verifiche di resistenza al fuoco di tipo convenzionale.



TIPOLOGIE DI INCENDIO

Curve di Incendio Nominali

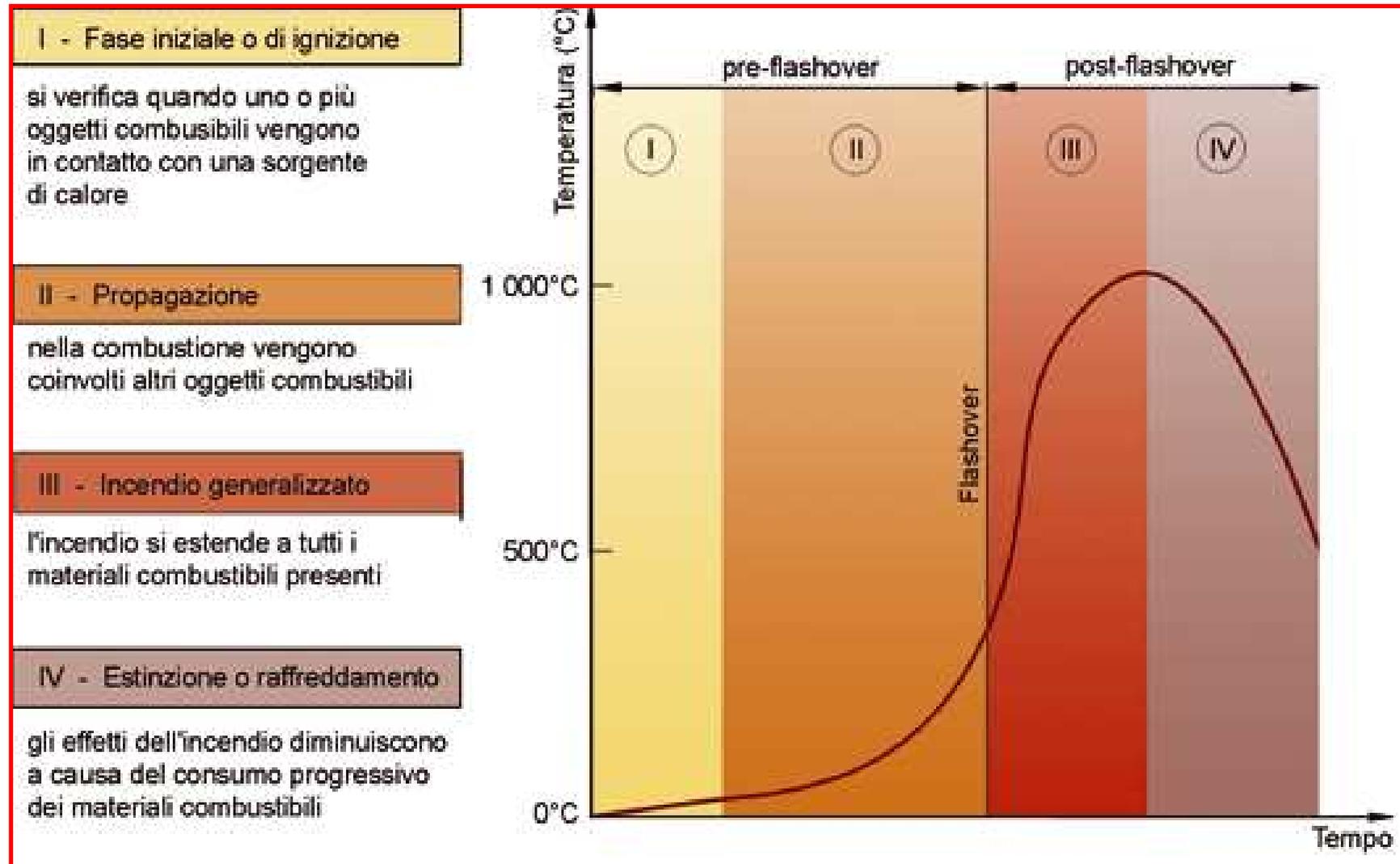
- Curva di incendio standard (ISO834);
- Curva di incendio degli idrocarburi;
- Curva di incendio esterno.



$$\theta_s = 20 + 345 \log_{10} (8t + 1)$$

TIPOLOGIE DI INCENDIO

Incendio Naturale



TIPOLOGIE DI INCENDIO

Modelli di incendio

<i>Modello di incendio</i>	<i>Incendi nominali</i>	<i>Tempo equivalente</i>	<i>Incendi parametrici</i>	<i>Incendi localizzati</i>	<i>Modello a zone</i>		<i>CFD</i>
					<i>Una zona</i>	<i>Due zone</i>	
<i>Complessità</i>	Bassa	Intermedia			Elevata		
<i>Comportamento dell'incendio</i>	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
<i>Parametri iniziali per la definizione del modello</i>	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, ...		
<i>Distribuzione di temperatura</i>	Uniforme in tutto il compartimento			Non uniforme in tutto il compartimento	Uniforme in ciascuna zona		Dipendente dal tempo e dalla posizione
<i>Strumenti di progetto</i>	Eurocodici EN 1990 EN 1991-1-2			Software di calcolo dedicati			

TIPOLOGIE DI INCENDIO

Carico di incendio (NTC2008 e D.M. 09/03/07)

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; convenzionalmente 1 MJ è assunto pari a 0,054 chilogrammi di legna equivalente.

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/m² e determinato con la seguente relazione:

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

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:

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

Livello di prestazione III

Il livello III di prestazione può ritenersi adeguato per tutte le costruzioni nelle quali si svolgono attività soggette al controllo del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco fatte salve quelle per le quali sono richiesti i livelli IV o V.

Le classi di resistenza al fuoco necessarie per garantire il livello III sono funzione del carico d'incendio specifico di progetto ($q_{f,d}$).

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. 09/03/07

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

Superficie in pianta lorda del compartimento (m ²)	δ_{q1}	Superficie in pianta lorda del compartimento (m ²)	δ_{q1}
A < 500	1,00	2.500 ≤ A < 5.000	1,60
500 ≤ A < 1.000	1,20	5.000 ≤ A < 10.000	1,80
1.000 ≤ A < 2.500	1,40	A ≥ 10.000	2,00

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

Classi di rischio	Descrizione	δ_{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	0,80
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	1,00
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	1,20

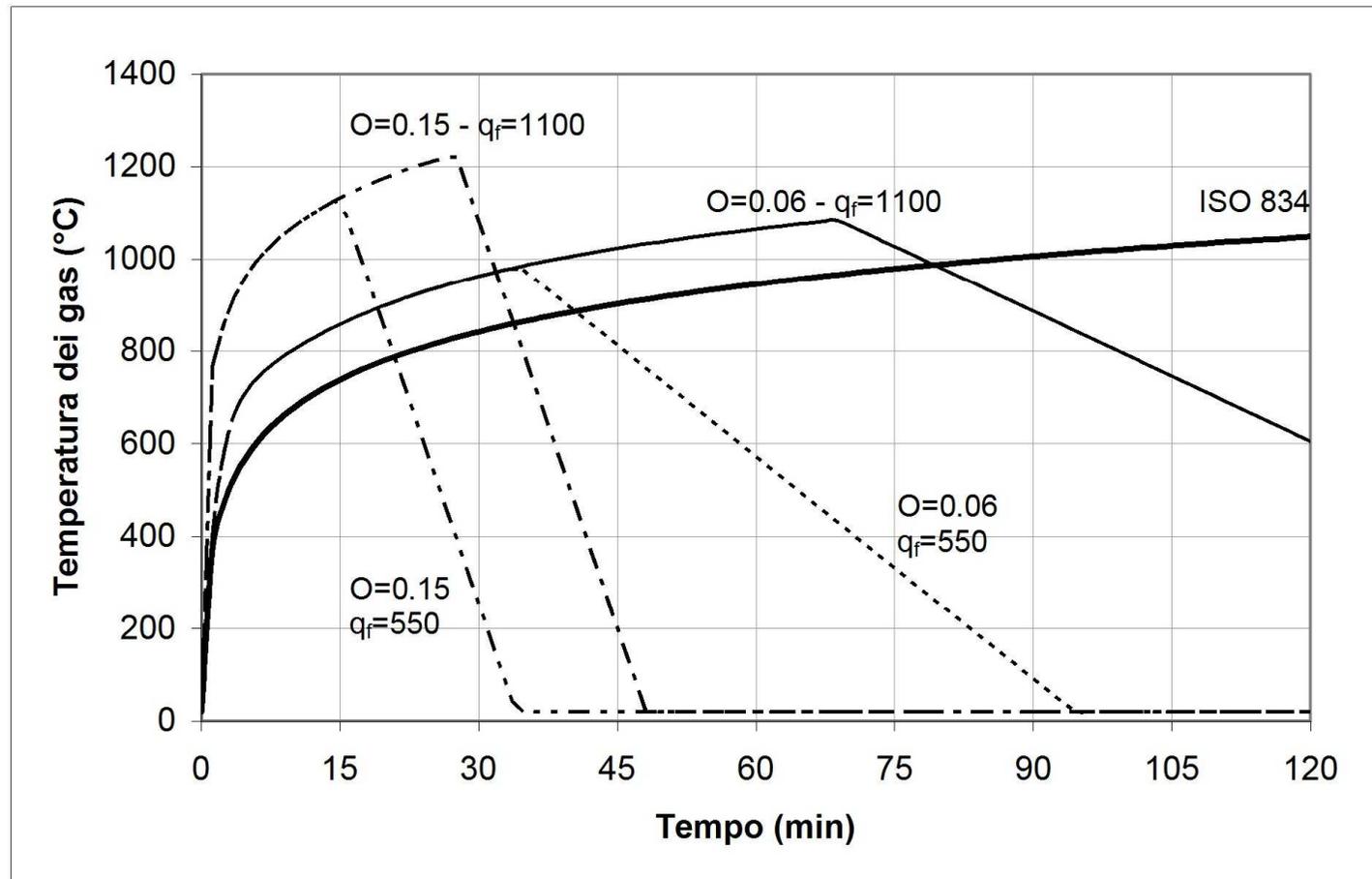
D.M. 09/03/07

$\delta_n = \prod_i \delta_{ni}$ è il fattore che tiene conto delle differenti misure di protezione.

δ_{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 δ_{n1}	altro δ_{n2}	δ_{n3}	δ_{n4}	δ_{n5}	interna δ_{n6}	interna e esterna δ_{n7}	δ_{n8}	δ_{n9}
0,60	0,80	0,90	0,85	0,90	0,90	0,80	0,90	0,90

TIPOLOGIE DI INCENDIO

Incendi Parametrici



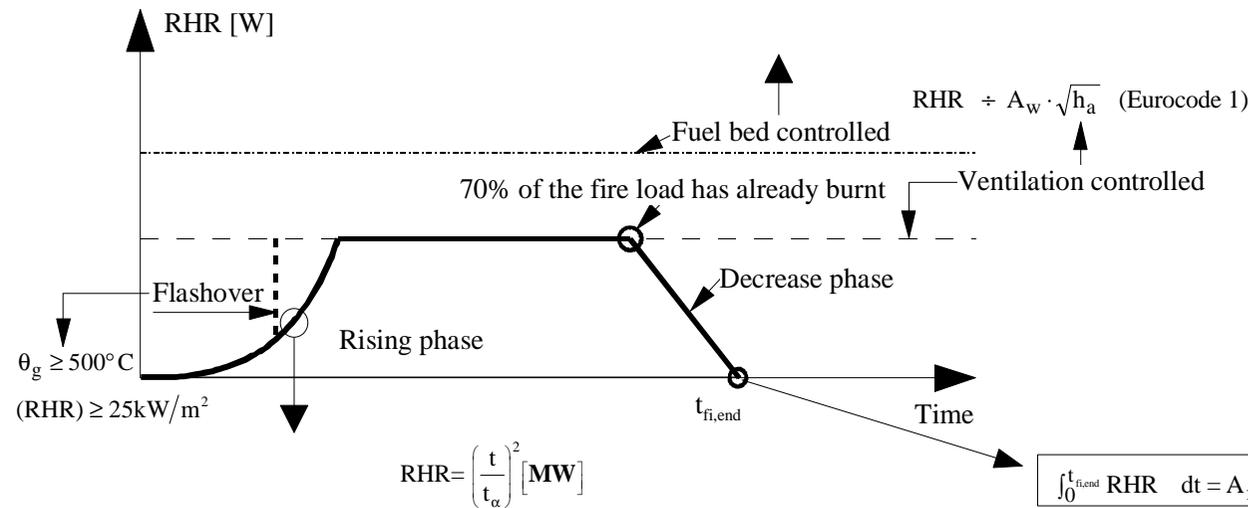
$$O = A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t \quad \text{Fattore di apertura}$$

q_f Carico di incendio

TIPOLOGIE DI INCENDIO

La curva di rilascio termico: rate of heat release (RHR)

$RHR = A_{fi} \cdot RHR_f$	}	For stacked wood pallets of height 0.5 m	$RHR_f = 1250 \text{ kW / m}^2$
		For stacked wood pallets of height 3.0 m	$RHR_f = 6000 \text{ kW / m}^2$
		For plastic bottles in cartons, stacked of 4.6 m	$RHR_f = 4320 \text{ kW / m}^2$
		For PS insulation board, rigid foam, stacked of 4.3 m	$RHR_f = 2900 \text{ kW / m}^2$
		Building use is retail	$RHR_f = 500 \text{ kW / m}^2$
		Building use is offices	$RHR_f = 250 \text{ kW / m}^2$



Fire growth rate	Typical equivalent materials	t_o : Time [s] for RHR = 1 MW	Occupancy
Slow	no uniform fire load	600	Picture gallery
Medium	Cotton/polyester sprung mattress	300	Dwelling Hotel reception Office Hotel bedroom
Fast	Full mail bags, plastic foam, stacked timber pallets	150	Shop
Ultra-fast	Methyl alcohol pool fire, faster burning upholstered furniture	75	Chemical Plant

OCCUPANCY / ACTIVITY	Fire load (80% fractile) q_{fk} [MJ/m ²]
Dwelling	948
Hospital	280
Hotel (room)	377
Library	1824
Office	511
School	347
Shopping centre	730
Theatre (cinema)	365
Transport (public space)	122

TIPOLOGIE DI INCENDIO

Prove sperimentali su autorimesse fuori terra



TIPOLOGIE DI INCENDIO

Prove sperimentali su autorimesse fuori terra



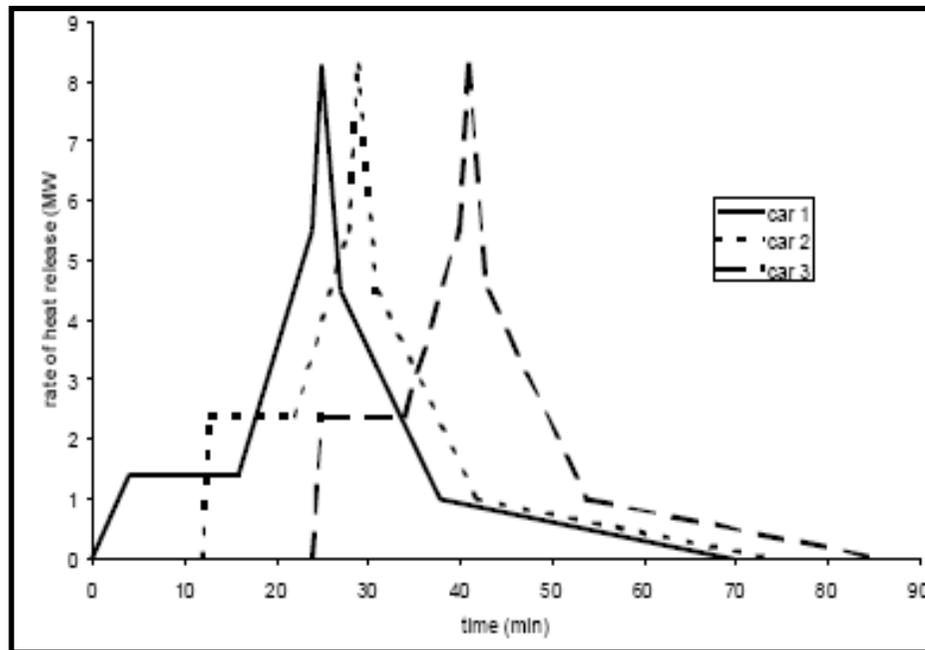
33 min

TIPOLOGIE DI INCENDIO

Prove sperimentali su autorimesse fuori terra



Curva di Rilascio termico RHR



TIPOLOGIE DI INCENDIO

Cono Calorimetrico

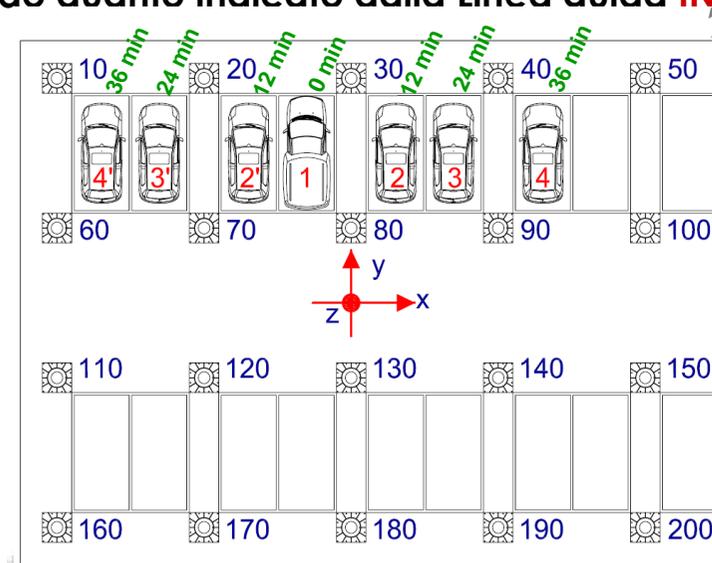


Caso Studio FSE: Scenari di incendio di progetto

✓ Scenari di tipo localizzato - Pre-flashover Secondo auanto indicato dalla Linea guida **INERIS**.

SCENARIO L1: 7 autoveicoli, composti da un VAN centrale e 6 auto ai lati dello stesso, che bruciano con un tempo di propagazione di 12 min a partire dal VAN .

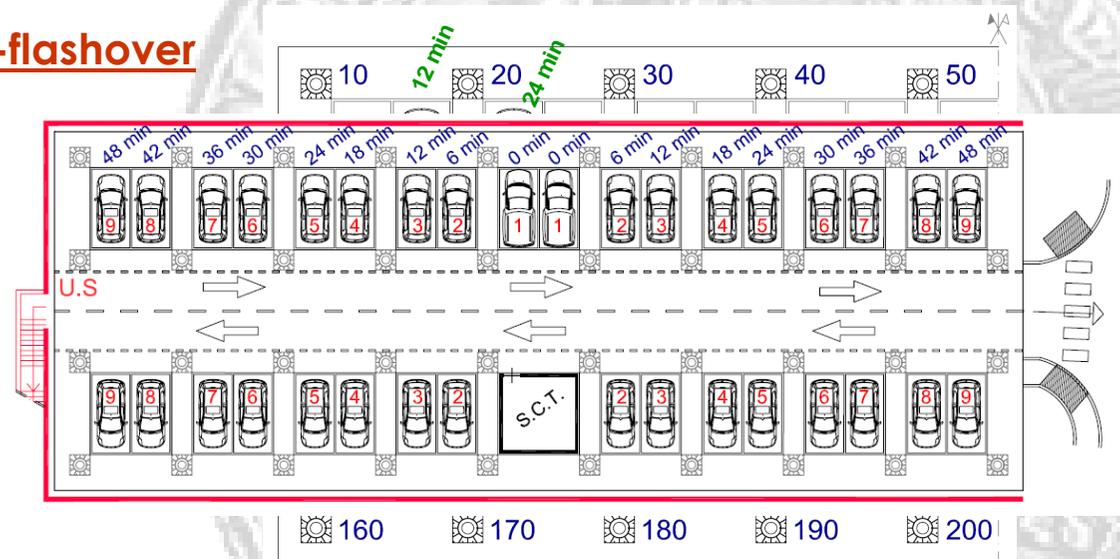
SCENARIO L2: 4 autoveicoli, costituiti da un VAN e 3 auto, che circondano una colonna e bruciano con un tempo di propagazione di 12 min a partire dal VAN



Tempo di propagazione 12min.

✓ Scenari di tipo generalizzato - Post-flashover

SCENARIO D1: 34 autoveicoli, composti da 2 VAN in posizione centrale e 32 auto nei rimanenti stalli, che bruciano con un tempo di propagazione di 6 min a partire dai 2 VAN in successione di gruppi composti da 4 auto per volta



Tempo di propagazione 6 min.