



«Scienza e Tecnica della Prevenzione Incendi»

A.A. 2014 - 2015

CARICO D'INCENDIO



Docente

NICOLA MAROTTA

nicola.marotta@dic.unipi.it

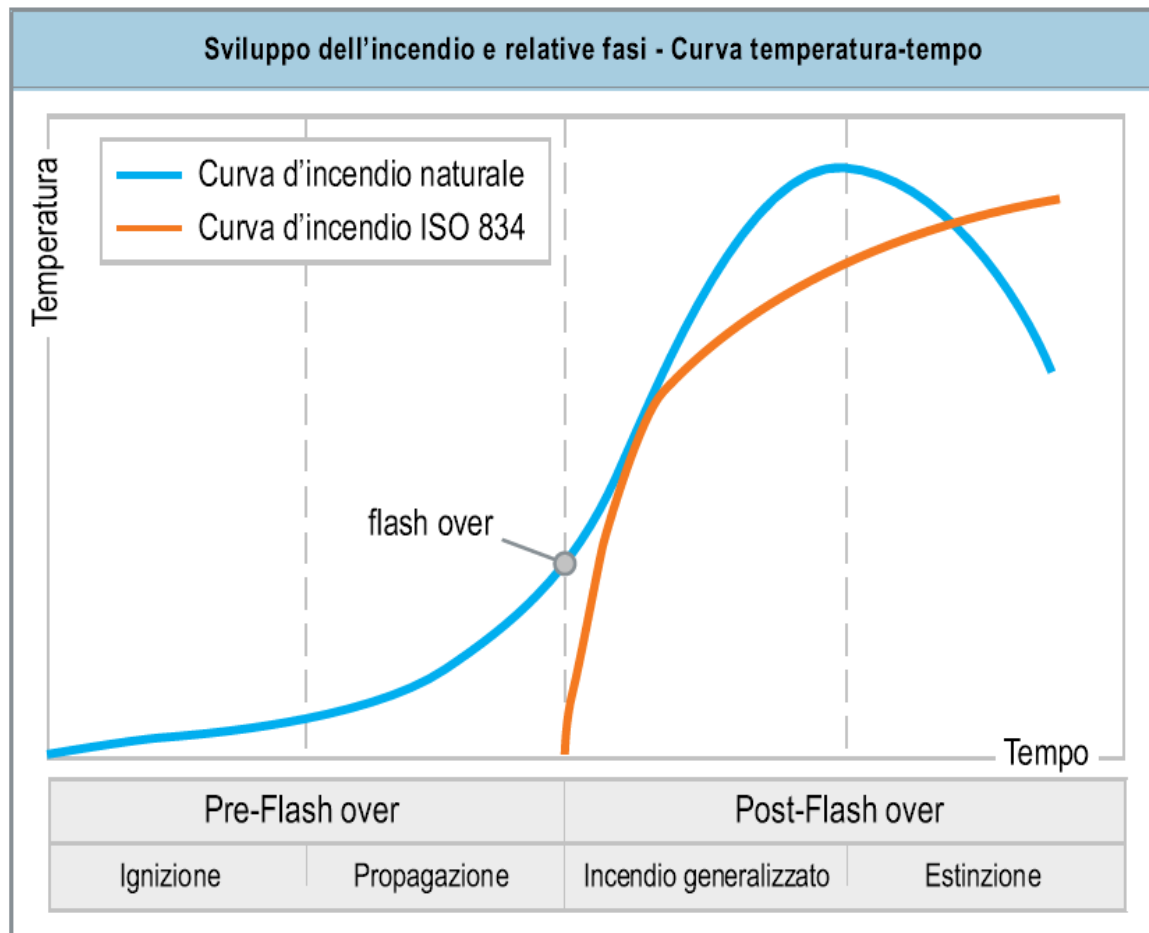


L'incendio

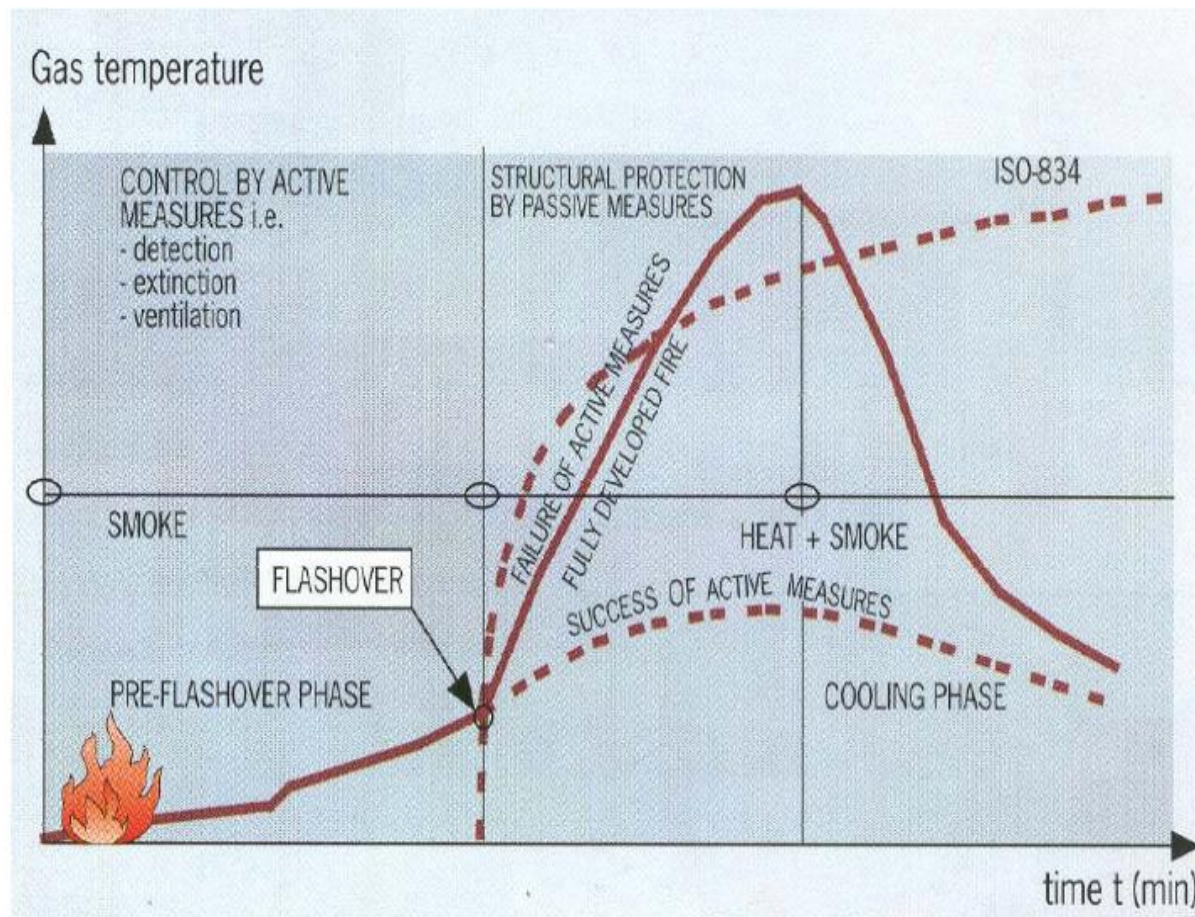
- L'incendio (fenomeno accidentale di natura chimica) è una particolare combustione in atmosfera di ossigeno (quello contenuto nell'aria), indesiderata (non voluta dall'uomo) a cui partecipano combustibili generici (solidi, liquidi o gas) a ciò non destinati, che ha origine in luogo all'uopo non predisposto ad accoglierla, per effetto di un apporto di energia occasionale, in un certo tempo e con certe caratteristiche dipendenti dallo stesso luogo e dalla qualità e quantità dei materiali combustibili presenti, e che per tali motivi spesso sfugge al controllo dell'uomo con conseguenti danni a persone, a cose e all'ambiente.

Sviluppo di un incendio

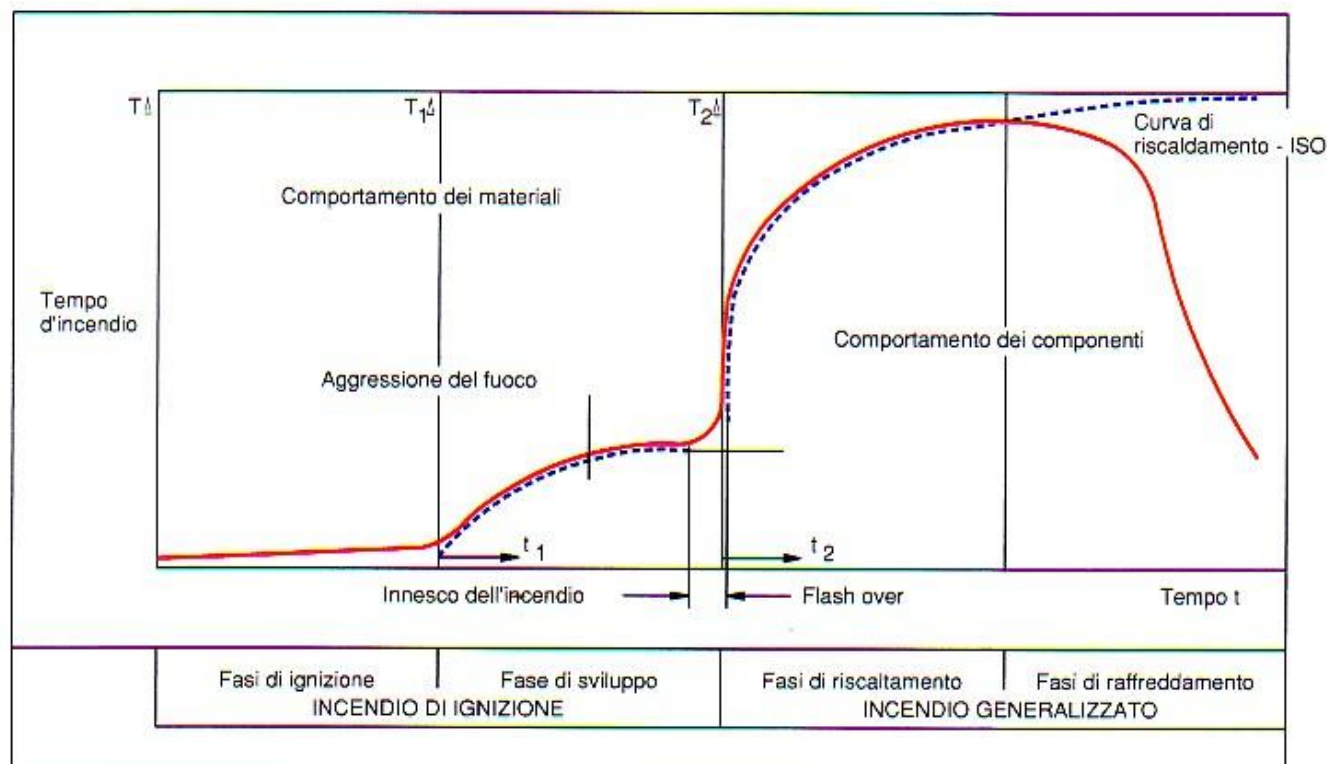
- Lo sviluppo di un incendio all'interno di un ambiente confinato può essere illustrato con riferimento all'andamento temporale della temperatura media durante l'incendio.
- Tale curva permette di individuare più stadi specifici durante lo sviluppo dell'incendio:
 - L'IGNIZIONE;
 - LO SVILUPPO PREFLASHOVER (PROPAGAZIONE);
 - IL FLASHOVER;
 - L'INCENDIO COMPLETAMENTE SVILUPPATO (INCENDIO GENERALIZZATO);
 - E IL DECADIMENTO FINALE (ESTINZIONE).



Fasi dell'incendio



Fasi dell'incendio





Fasi dell'incendio

Fasi dell'incendio	1 – Innesco	2 – Crescita (Propagazione)	3 – Pieno sviluppo	4 – Decadimento Estinzione
Comportamento dell'incendio	Riscaldamento del materiale combustibile	Combustione controllata dal combustibile	Combustione controllata dalla ventilazione	Combustione controllata dal combustibile
Comportamento umano	Attività di prevenzione	Azione primaria di spegnimento con presidi antincendio; esodo	Morte	
Misure attive impegnate	Rilevatori di fumo	Rilevatori di fumo e calore; impianti sprinklers; intervento VF; sistemi di controllo del fumo	Intervento VF	
Misure passive impegnate	Materiali classificati per reazione al fuoco	Materiali classificati per reazione al fuoco	Strutture resistenti al fuoco; separazione antincendio	

Flashover

- Il termine **flashover** è stato coniato dai vigili del fuoco britannici per indicare l'accensione improvvisa dei gas accumulatisi nella parte alta d'un locale, durante l'incendio (incendio generalizzato).
- La migliore definizione che troviamo è di Kennedy nella norma NFPA101: Life Safety Code 3.3.79 Flashover:
- *«Una fase dello sviluppo di un incendio al chiuso nel quale tutte le superfici esposte raggiungono la temperatura di accensione più o meno contemporaneamente e il fuoco si propaga rapidamente a tutto il compartimento.»*





Flashover

- Il passaggio rapido nell'evoluzione di un incendio, in cui tutte le superfici dei materiali combustibili presenti in un locale chiuso o semi chiuso si infiammano è evidenziato anche dalla definizione I.S.O. (francese): *“La transition rapide dans le développement d'un incendie où toutes les surfaces combustibles dans le compartiment s'enflamment.”*
- La definizione afferma che per raggiungere le condizioni ideali perché un flashover si verifichi, l'incendio deve svilupparsi in un locale chiuso o semi chiuso ed, inoltre, che è necessario essere in presenza di materiali combustibili e che il fuoco si sviluppi rapidamente sulla totalità delle superfici disponibili.
- Il flashover coincide con il primo punto di flesso della curva. Tutto il materiale combustibile presente nel locale investito dall'incendio prende fuoco contemporaneamente; questo particolare momento del fenomeno oggetto di studio assume grande rilievo perché rappresenta un gradino improvviso nello sviluppo del fuoco, costituendo anche pericolo per le squadre eventualmente impegnate nell'estinzione.



Fasi di un incendio

- Fase d'ignizione: in essa il processo di combustione è instabile, governato principalmente dal bilancio termico della reazione;
- Fase di propagazione: una volta stabilizzata la reazione di combustione, si nota una marcata tendenza all'estensione dell'incendio, associata ad un rapido aumento della temperatura ambientale;
- Fase d'incendio generalizzato: quando la temperatura ambientale tende all'uniformità e raggiunge valori compresi fra 500 °C e 600 °C, in dipendenza delle caratteristiche del compartimento e dei materiali combustibili in esso contenuti, oppure la potenza radiante raggiunge i 20 kW/m² a livello del pavimento, si ha il cosiddetto punto critico ovvero punto di completo sviluppo dell'incendio, conosciuto anche come flashover.
- Fase d'estinzione e raffreddamento: il progressivo esaurimento del combustibile determina la riduzione dell'emissione termica da parte dell'incendio, il quale diminuisce gradualmente d'intensità, fino a giungere all'estinzione. L'incendio può essere considerato estinto quando la temperatura dell'ambiente è scesa al di sotto dei 300 °C, potendosi ragionevolmente escludere improvvisi reinneschi dovuti al livello termico.

Flashover

- L'incendio generalizzato è lo stato di coinvolgimento completo di tutto il materiale combustibile all'interno d'uno specifico spazio (EC 1).
- Corrisponde all'inflammazione di quasi tutti i materiali combustibili presenti ed è caratterizzato dall'emissione di fiamme dalle finestre, in strati di forte spessore.
- Il valore di 600°C è adottato nella generalità dei casi quale temperatura di completo sviluppo dell'incendio, salvo determinazioni maggiormente approfondite riferite a casi specifici.





Approccio prestazionale

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



Velocità di propagazione

- Un incendio a sviluppo lento si produce a seguito della combustione di oggetto solidi massicci (tavoli e armadi in legno);
- Un incendio a sviluppo medio si origina in presenza combustibili aventi bassa densità (poltrone e divani imbottiti);
- Un incendio veloce si ha dalla combustione di materiali di bassa densità e piccola pezzatura (carta; scatole di cartone; tessuti);
- Un incendio ultraveloce si adatta bene per liquidi infiammabili e per liquidi altamente volatili.



Fattori da cui dipende l'incendio

- I fattori da cui dipende l'incendio e la sua durata sono molteplici:
- Ventilazione del locale;
- Velocità di combustione;
- Apporto di energia;



Ventilazione

- Secondo Kawagoe la portata volumetrica di aria entrante Q_a (mc) è proporzionale all'area delle finestre A_f (mq) (superficie delle aperture in condizioni di post-flashover praticamente coincidente, con la superficie totale finestrata del compartimento) e alla radice quadrata dell'altezza H (m) delle predette aperture, ossia:

$$\sqrt{\quad} (mc)$$

- Il coefficiente di proporzionalità K è una quantità dipendente dalla differenza di temperatura fra interno ed esterno e dal rapporto fra volume di gas prodotto per unità di massa e il volume di aria richiesto per la combustione completa dell'unità di massa di combustibile.



Altezza equivalente finestre

Nel caso di finestre di dimensioni diverse si deve considerare la H_{eq} ponderale:

$$H_{eq} = \frac{\sum_i A_{vi} \cdot H_i}{A_v} \quad [m]$$

Dove:

A_v = Superficie delle aperture di ventilazione ricavate sulle pareti del locale, in mq;

A_t = Superficie totale del compartimento, pavimento pareti e soffitto, in mq;

H_{eq} = altezza equivalente, media ponderata di tutte le altezza H_i delle aperture di ventilazione delle pareti.



Fattore di Ventilazione

- Fattore di primaria importanza perché da esso dipende prima lo sviluppo dell'incendio e poi la sua propagazione per effetto dell'apporto di aria necessaria alla combustione.
- Il fattore di ventilazione va ad influenzare la velocità di combustione (massa di combustibile consumata nell'unità di tempo [kg/s]). Il suo valore è dato dalla seguente formula empirica:

$$\frac{\sqrt{A_t}}{A_f}$$

A_t = Superficie totale del compartimento: somma delle superfici di pavimento, soffitto e chiusure laterali (mq).

A_f = Superficie delle aperture di ventilazione ricavate sulle pareti del locale, in mq;

- Si deve tuttavia precisare che una buona ventilazione consente l'evacuazione dei fumi e rende in tal modo più semplice le operazioni dei soccorritori i quali possono penetrare nei locali per individuare i focolai.



Velocità di combustione

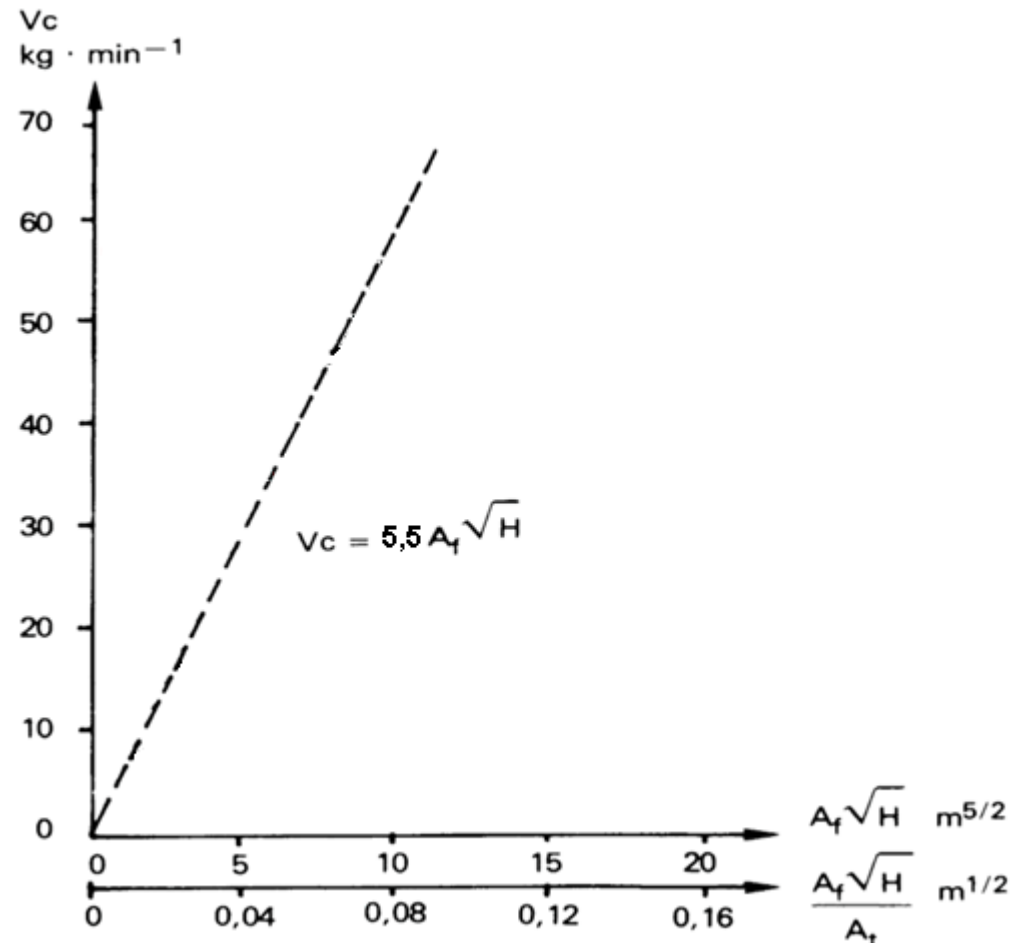
- Legata alla ventilazione è la velocità di combustione media V_c che rappresenta la massa di combustibile che brucia nell'unità di tempo.
- È praticamente costante nella fase di incendio vero e proprio e cioè dal Flashover al punto di temperatura massima.
- Kawagoe e Sekine, Tomas hanno trovato per il legno l'espressione:

$$\sqrt{\quad} \text{ (Kg/min)}$$

- essendo K_1 una costante opportuna dipendente dal tipo di combustibile: Per il legno $K_1 = 5,5 \text{ (Kg}^{-1/2} \text{ min}^{1/2})$

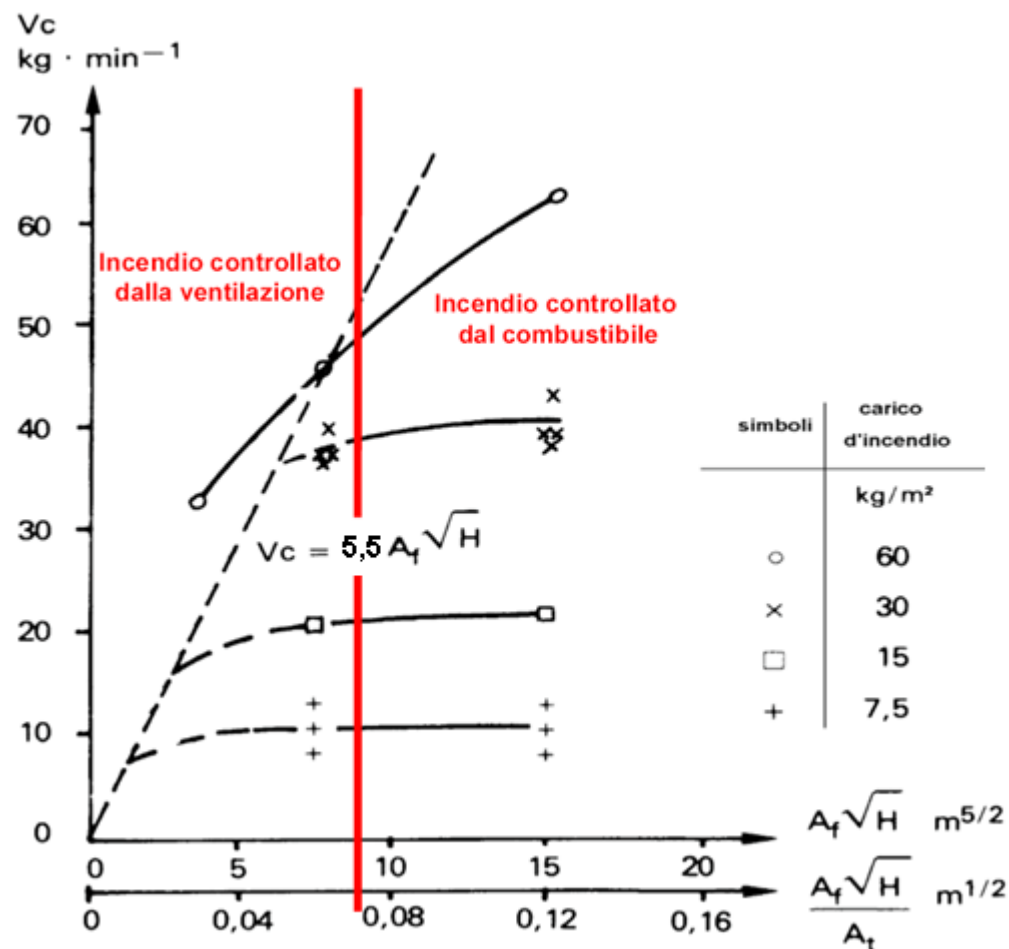
Velocità di combustione

- In un locale lo sviluppo di un incendio nella fase iniziale la combustione è ampiamente indipendente dalla quantità d'aria affluita, ma dipende dalle proprietà degli strati combustibili e la velocità di combustione dipende dalla quantità, forma e porosità del combustibile. Si dice che la combustione dipende (o che è controllata) dagli strati di combustibile.
- Nella fase di incendio vero e proprio, la velocità di combustione è approssimativamente proporzionale alla quantità d'aria affluita attraverso le aperture e non dipende in maniera apprezzabile dalla qualità, porosità e forma del combustibile. Si dice allora che la combustione dipende (o è controllata) dalla ventilazione. In tal caso è valida la formula di Kawagoe e Sekine che in una rappresentazione $\sqrt{\quad}$ ha per immagine una retta.



Velocità di combustione

- La formula di Kawagoe e Sekine ottenuta in base a esperienze condotte con cataste di legno in ambiente confinato, caratterizzato da afflussi minimi di ossigeno e quindi a ventilazione controllata può essere ritenuta valida solo per piccoli compartimenti (in cui l'afflusso d'aria per la combustione è ininfluente). Vi sono altri casi in cui in grandi ambienti con grandi aperture e con disponibilità più che sufficiente di ossigeno la combustione è indipendente dalla ventilazione ed è controllata dai letti o dalla superficie del combustibile. La figura mostra come le evidenze sperimentali si discostano notevolmente dalle previsioni di Kawagoe (linea tratteggiata)
- E' presente una zona di transizione che separa i regimi di combustione descritti prima.
- Con larga approssimazione possiamo ammettere che se il Fattore di ventilazione F_v è minore a $0.07 \div 0.08$ la combustione è influenzata dalla ventilazione, viceversa la combustione è controllata prevalentemente dagli strati di combustibile.



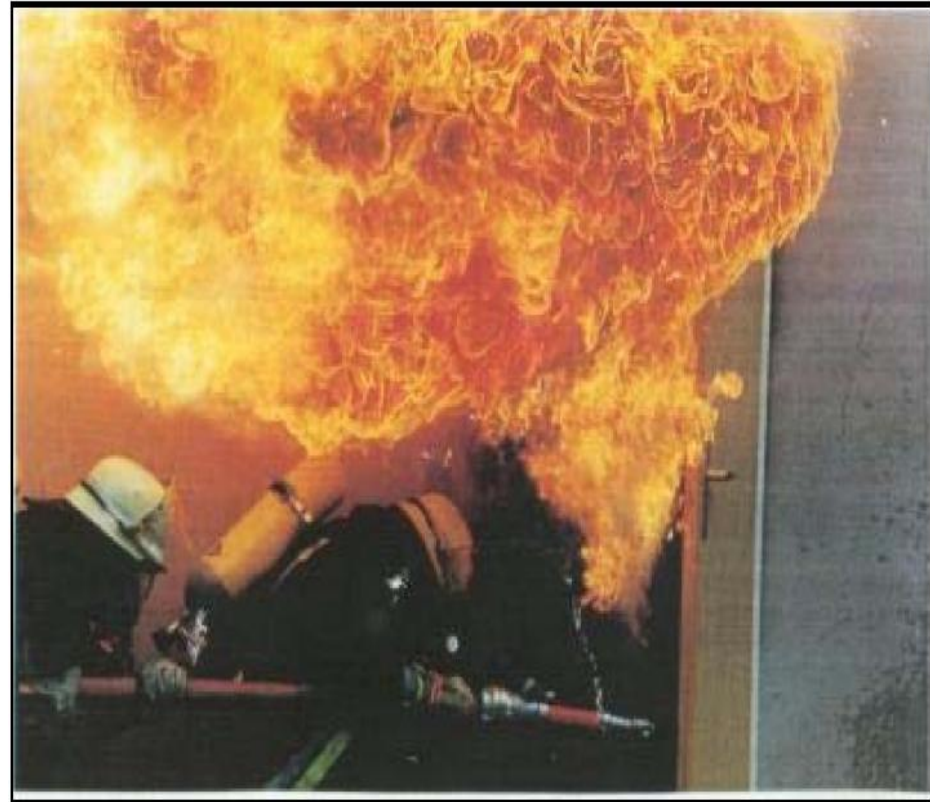


Regimi di combustione

- Ci si pone in ipotesi, a favore di sicurezza, di incendio pienamente sviluppato (fase di post-flashover).
- Se in tali ipotesi/condizioni, la velocità di combustione è approssimativamente proporzionale alla quantità di aria che affluisce attraverso le aperture, senza dipendere, in maniera apprezzabile, dalle caratteristiche del combustibile, si dice che la combustione è controllata dalla ventilazione.
- Viceversa, se, nella medesima fase di post-flashover, la velocità di combustione è ampiamente indipendente dalla ventilazione ma dipende dalla quantità, forma e porosità del combustibile, si dice che la combustione è controllata dagli strati di combustibile.
- Per quanto detto in precedenza i due predetti regimi di combustione si riferiscono, in pratica, rispettivamente, al caso di aperture di piccole dimensioni in cui la quantità d'aria entrante nel compartimento incendiato è critica e, viceversa, al caso di grandi aperture con elevata disponibilità di comburente.

Brackdraft

- Il **Brackdraft** o fiammata di ritorno è un fenomeno della combustione che dipende prevalentemente dalla ventilazione.
- In un locale non ventilato durante un incendio si ha un aumento di temperatura conseguente allo sviluppo di calore non smaltito all'esterno, con formazione di grosse quantità di composti volatili incombusti (fumi d'incendio) e di gas infiammabile. Quando l'ossigeno è reintrodotta nel locale, per esempio aprendo una porta o una finestra, la combustione riprende in maniera repentina con un effetto esplosivo, che prende il nome di Brackdraft (fiammata di ritorno).

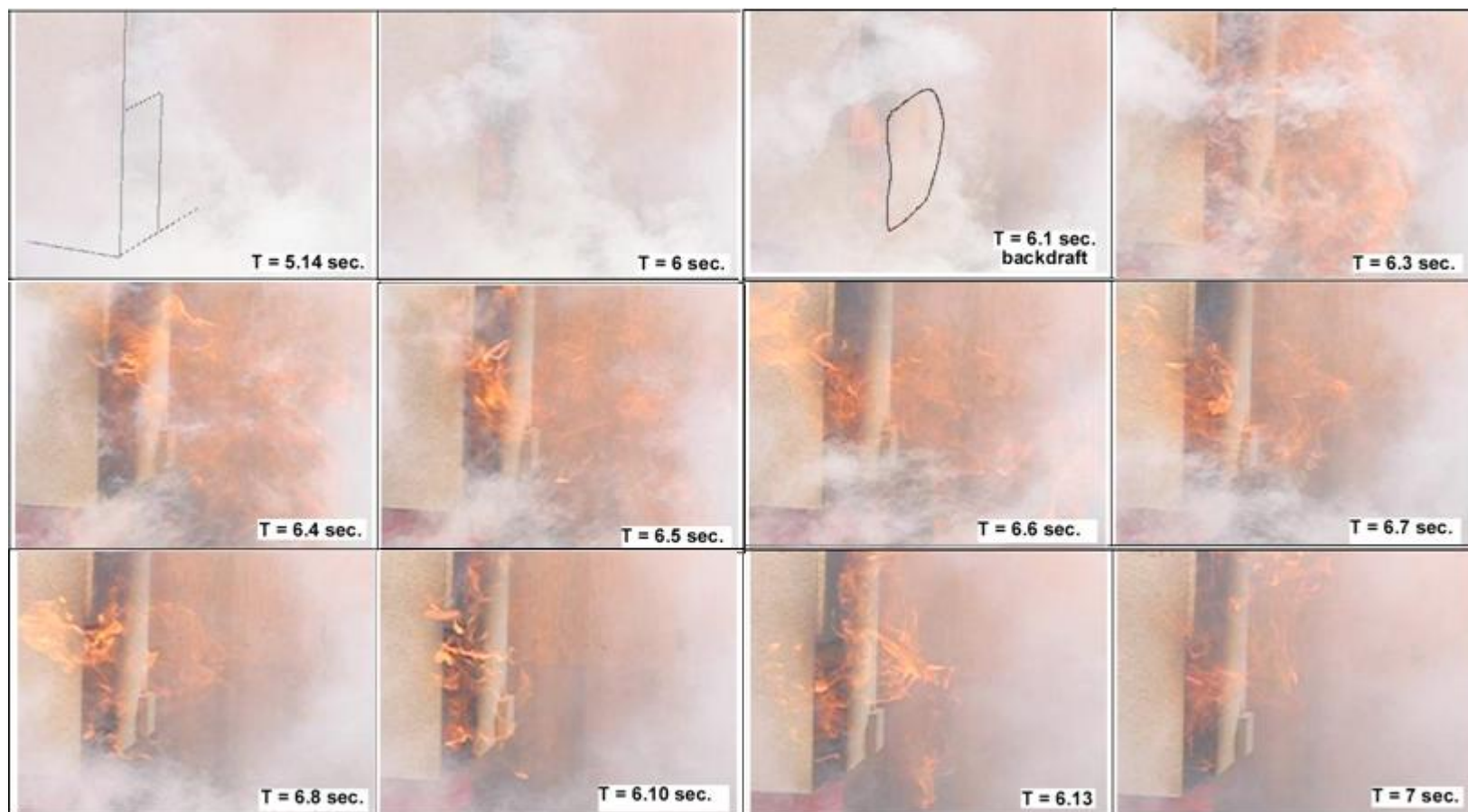




Brackdraft

- “Innesco esplosivo e rapido dei gas di combustione prodotti in un incendio, causato dall’ improvviso apporto di aria in uno spazio chiuso o semi-chiuso dove c’è carenza di ossigeno e dove sono ancora presenti i prodotti ad alta temperatura di una combustione incompleta.”
- Definizione I.S.O. (inglese): “Rapid flaming combustion caused by the sudden introduction of air into a confined oxygen-deficient space that contains hot products of incomplete combustion. In some cases, these conditions can result in an explosion.”
- Definizione N.F.P.A. (francese): «L’inflammation explosive ou rapide des gaz de combustion se produisant quand l’oxygène pénètre dans un bâtiment qui n’a pas été correctement aéré ou qui contenait une concentration faible en oxygène dû au feu»

Brackdraft





Durata equivalente dell'incendio

- La durata equivalente dell'incendio t_e è la durata convenzionale dell'incendio che dà luogo sugli elementi costruttivi del compartimento agli stessi effetti dell'incendio reale.
- Con buona approssimazione, in un compartimento di area A (mq), trascurando la prima fase dell'incendio (ossia l'ignizione), considerando l'incendio nella fase vera e propria (fase di combustione attiva) e la velocità di combustione V_c costante, la durata dell'incendio è proporzionale al carico di incendio q (Kg/mq) secondo la seguente espressione :



Energia rilasciata in un incendio

energia massima rilasciata = massa x potere calorifico = $M \times H_u$

$$Q_{fi,k} = \sum M_{k,i} \cdot H_{u,i} \cdot \Psi_i = \sum Q_{fi,k,i} \quad \text{carico di incendio caratteristico}$$

Ψ coeff. opzionale per carichi di incendio protetti

$M_{k,i}$ = se permanenti: valori medi attesi
se variabili: frattile 80%

carico di incendio specifico (fire load density) è l'energia massima al m^2

$$q_{f,k} \text{ (MJ/m}^2\text{)} = Q_{fi,k} / A_f \quad \text{rispetto all'area } A_f \text{ del pavimento}$$

q_t è riferito all'area totale A_t dell'ambiente (pareti, aperture e soffitto inclusi)

il pedice "k" indica il valore caratteristico,
mentre "d" indica il valore di progetto



Carico d'incendio

- L'apporto di energia dipende dalla qualità e quantità del materiale combustibile costituisce ciò che viene chiamato carico di fuoco o carico d'incendio.
- Il carico di incendio è espresso in [MJ]; 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.

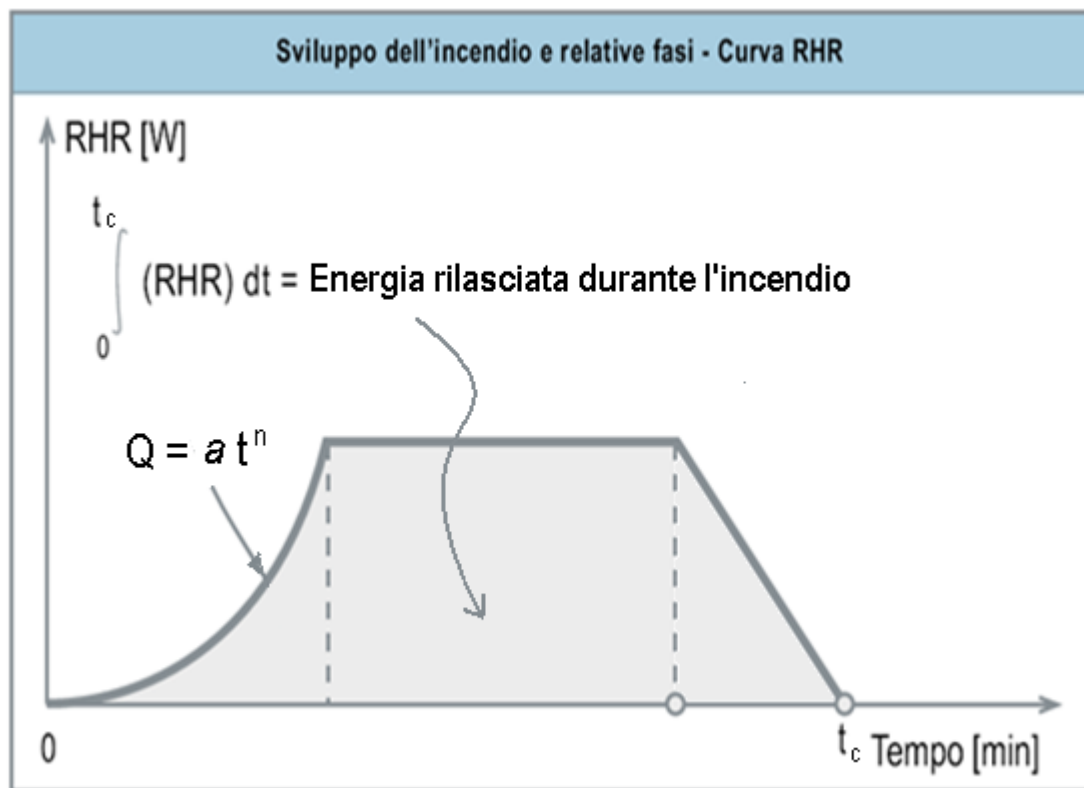


Potenza termica rilasciata

- Per descrivere la dinamica di sviluppo di un incendio in maniera più reale, devono essere prese in considerazione le modalità di rilascio energetico che giocano un ruolo fondamentale. Esse sono associate alla potenza rilasciata dall'incendio durante l'evento.
- La variazione spazio-temporale della liberazione di energia dal materiale combustibile governa gli scambi del sistema termodinamico materiale combustibile-ambiente e l'andamento delle temperature dei gas sviluppati. Si pensi come, infatti, uno stesso carico di incendio possa bruciare con differenti velocità a seconda delle particolari condizioni che si instaurano, dipendenti e dal materiale (quantitativo, tipologia, pezzatura, ecc) e dall'ambiente (volumetria, apertura, ambiente aperto, ecc), dando origine a temperature nel locale coinvolto o volume di controllo (se all'aperto) anche molto diverse da caso a caso.
- Sulla base di numerosi test eseguiti, su base internazionale, l'andamento delle modalità di rilascio energetico, viene descritto dal tasso di rilascio dell'energia termica RHR (dall'inglese Rate of Heat Released) o HRR (Heat Release Rate), che esprime la potenza termica rilasciata nell'ambiente durante la combustione al trascorrere del tempo.

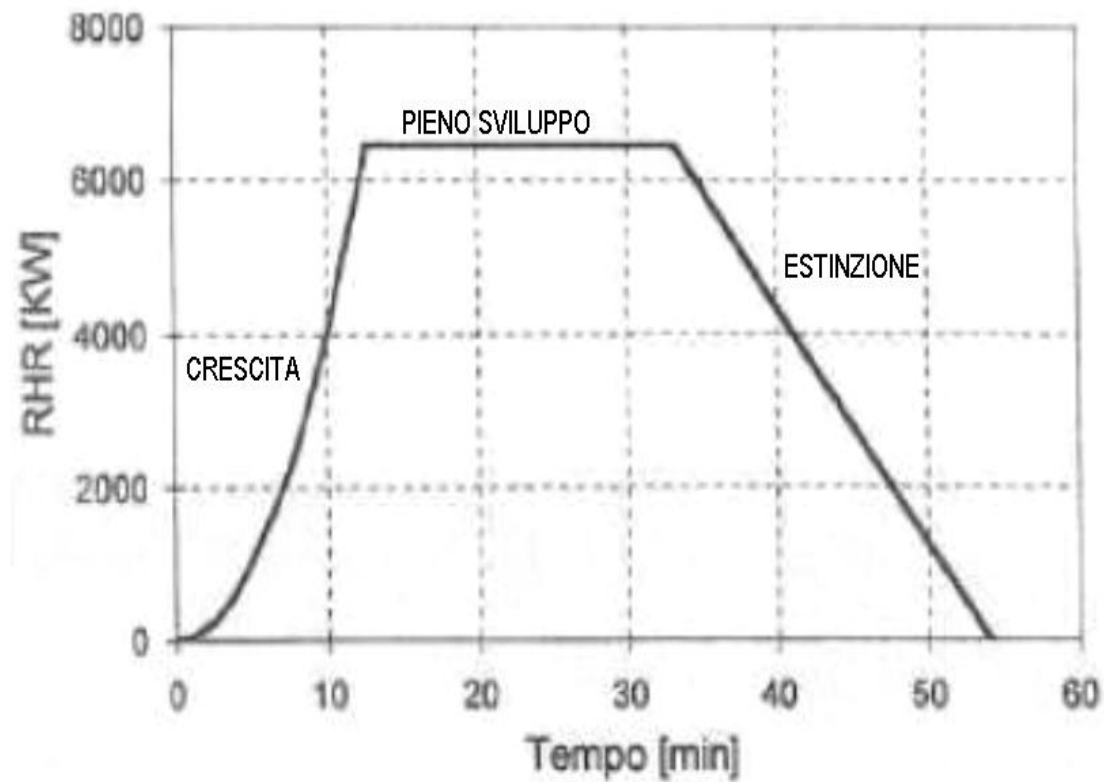
Curva RHR (Rate of Heat Released)

- Il concetto di RHR è più attendibile di quello di carico d'incendio: il primo, infatti, prende in esame il rilascio d'una potenza termica, ossia un parametro strettamente legato allo sviluppo dell'incendio reale; il carico d'incendio, per contro, è riferito ad un'energia rilasciata, senza riferimenti al tempo di combustione.
- Anche nella valutazione dei valori di temperatura che possono raggiungersi in un compartimento chiuso durante un incendio nella fase pre-flashover, il valore di RHR come dato di input è più attendibile di quello del carico di incendio; infatti, in tale fase, impiegando il carico di incendio, la stima dei valori di temperatura è molto conservativa, poiché si suppone che tutto il combustibile presente nell'ambiente partecipa al processo di combustione (tale ammissione è lecita solamente se si eseguono valutazioni di tipo post-flashover).

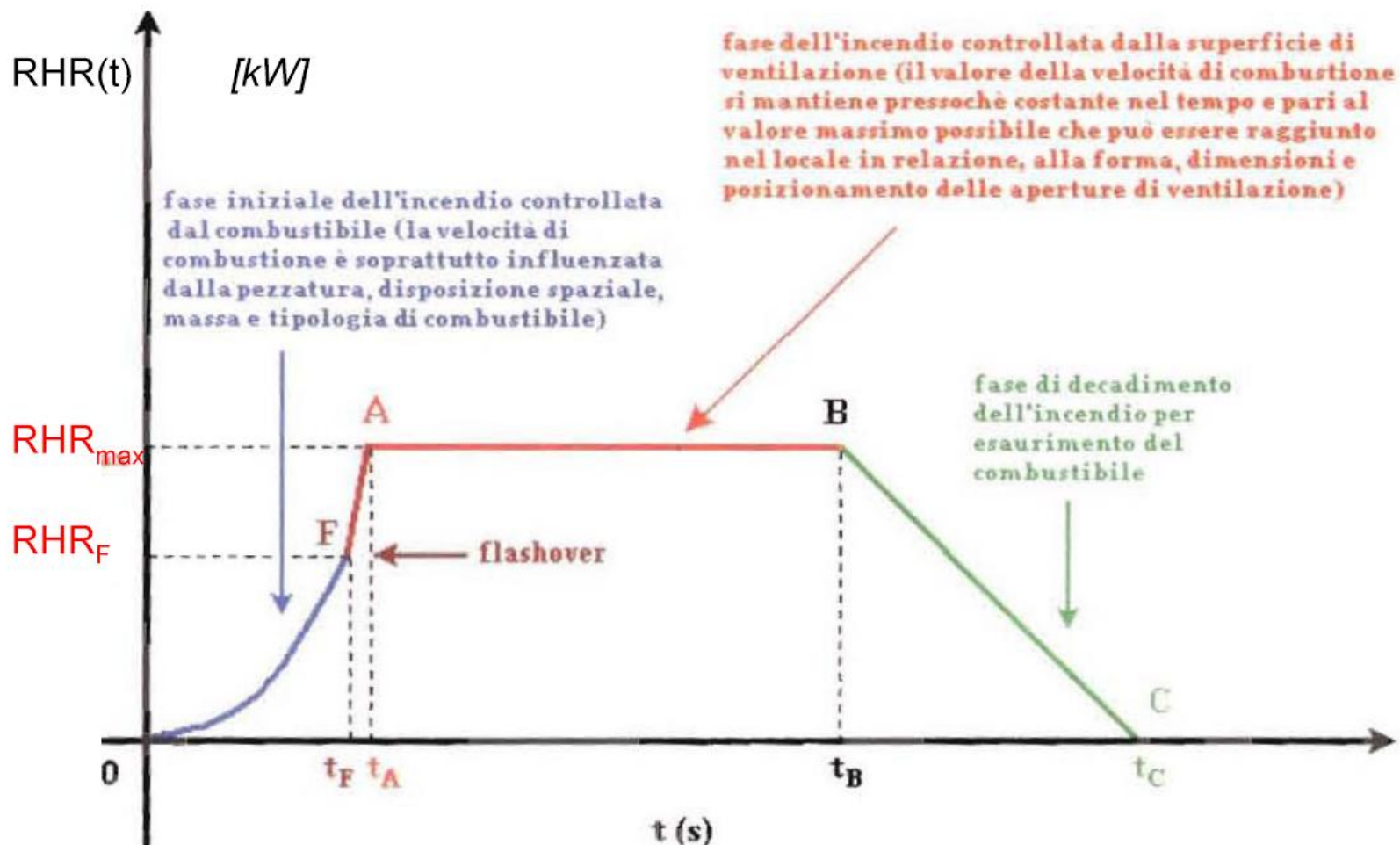


Curva RHR (Rate of Heat Released)

- Il modello che meglio rappresenta l'incendio dei comuni materiali combustibili contenuti all'interno delle costruzioni è quello citato dall'Eurocodice EN1991-1-2, costituito dai seguenti tratti:
 - Tratto di crescita quadratica fase di propagazione dell'incendio;
 - Fase di plateau orizzontale fase di pieno sviluppo;
 - Tratto di decadimento lineare fase di estinzione.
- In una prima fase (ignizione) la potenza termica totale rilasciata nell'ambiente, cresce in modo parabolico fino al flash-over, oltre il quale la potenza rilasciata resta costante fintanto che prosegue il processo di combustione, per poi ridursi gradualmente all'esaurirsi del combustibile.



Curva RHR (Rate of Heat Released)





Curva RHR (Rate of Heat Released)

$$RHR(t) = \sum_{i=1}^n V_{c,i}(t) H_i$$

$RHR(t)$	Potenza termica rilasciata dall'incendio (kW)
$V_{c,i}$	Velocità di combustione dell'i-esimo materiale combustibile (kg/s)
H_i	Potere cal. inferiore dell'i-esimo materiale combustibile (kJ/kg)

*Sperimentalmente si è determinato che, fino alla condizione di flashover, **RHR** varia con legge quadratica in funzione di **t**; per consentire valutazioni analitiche, si sono introdotte 4 curve di sviluppo di incendio ognuna caratterizzata dal tempo **t_g** che corrisponde al tempo in cui l'incendio raggiunge uno sviluppo di potenza pari a **1.000 kW**.*



Curva RHR – fase di propagazione

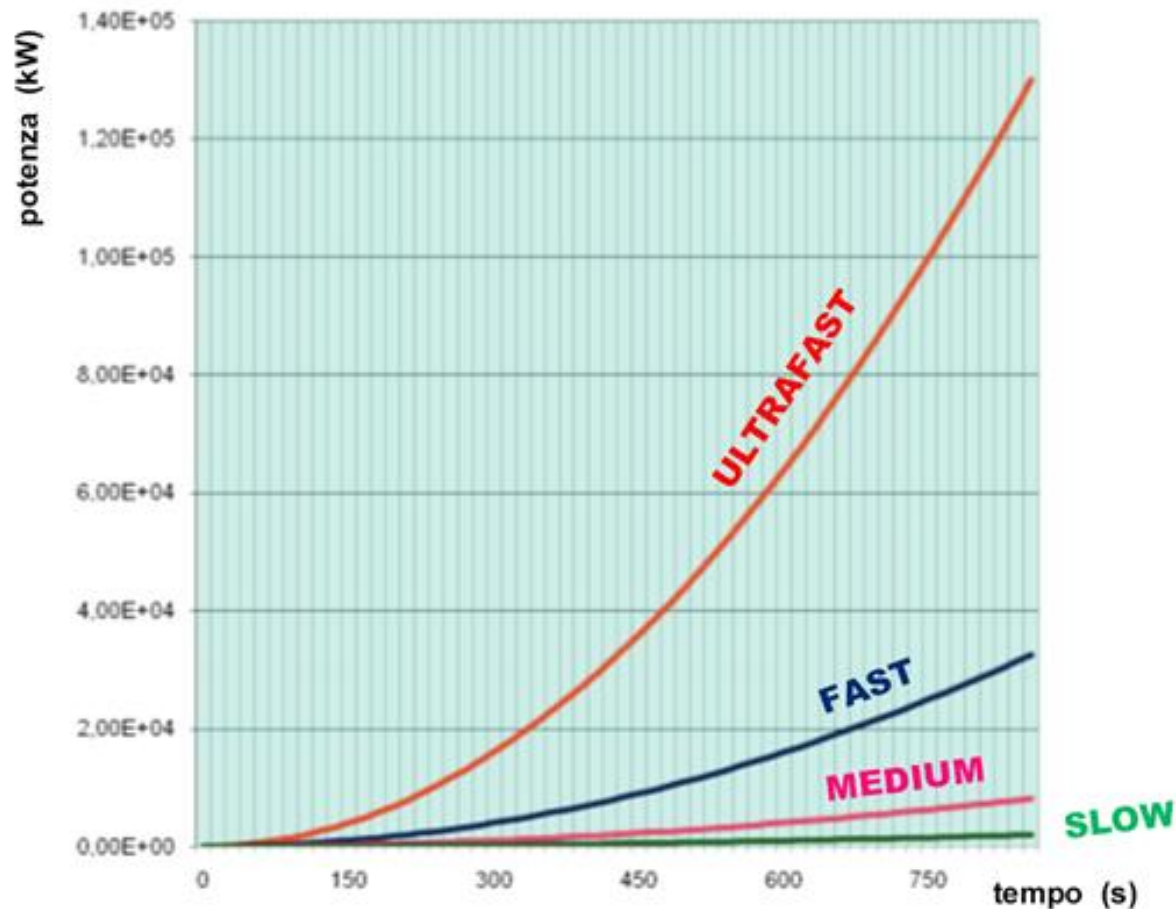
- L'andamento temporale dello RHR sino al flashover è di tipo quadratico, pertanto sino al tempo t_f (tratto di crescita) si adotta la seguente espressione riportata nelle norme NFPA 72 ed NFPA 92B, verificata sperimentalmente:

$$RHR(t) = V_c(t) H = \dot{a} t^2$$

Tipo di incendio atteso	Tempo di sviluppo della potenza di 1.000 kW t_g (s)	$\dot{a} = \frac{1.000}{t_g^2} \left(\frac{\text{kW}}{\text{s}^2} \right)$
ULTRAFAST	75	0,1777
FAST	150	0,0444
MEDIUM	300	0,0111
SLOW	600	0,0277



Curva RHR – fase di propagazione





Curva RHR – fase di propagazione

Attività	Sviluppo atteso dell'incendio	Potenza termica massima specifica rilasciata (kW/m ²)	t _g (s)	a (kW/s ³)
Uffici	MEDIUM	200+250	300	0,0111
Centri commerciali	FAST	500	150	0,0444
Camere di ospedale	MEDIUM	250	300	0,0111
Camere di albergo	MEDIUM	250	300	0,0111
Biblioteche	FAST	500	150	0,0444
Appartamenti	MEDIUM	250	300	0,0111
Aule scolastiche	MEDIUM	250	300	0,0111
Cinema e teatri	FAST	500	150	0,0444



Curva RHR – fase di propagazione

$$RHR(t) = V_c(t) H = \dot{a} t^2$$

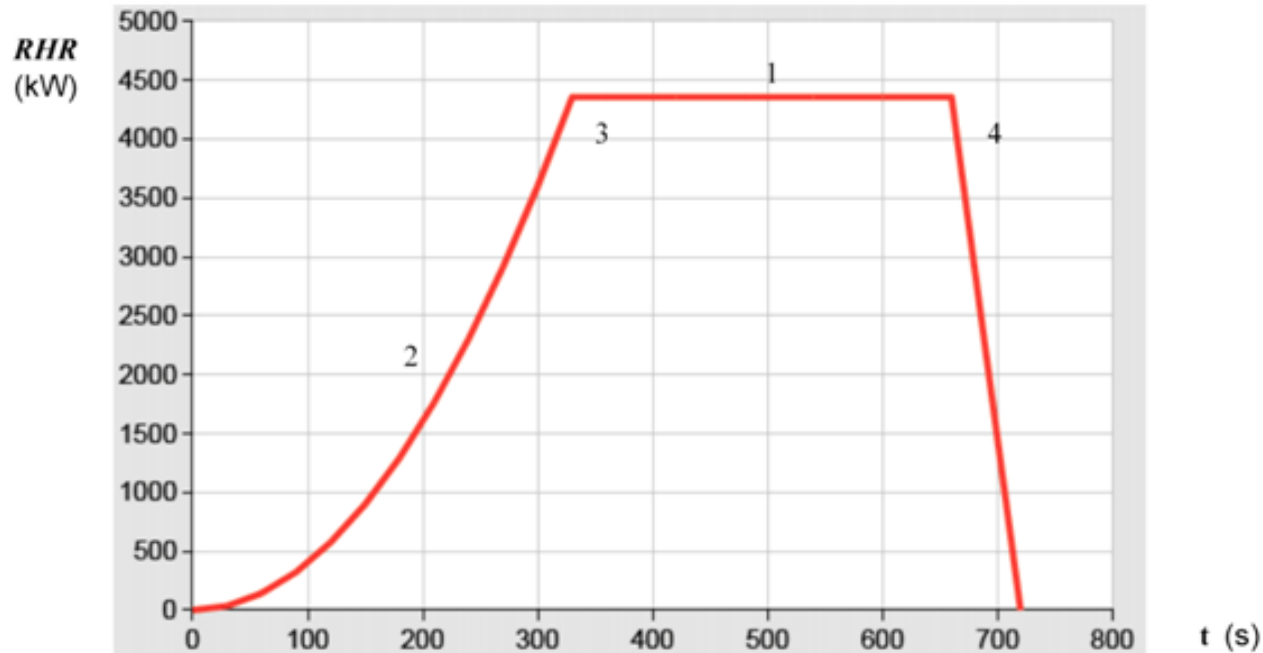
Tipo di incendio atteso	Tempo di sviluppo della potenza di 1.000 kW t_g (s)	$\dot{a} = \frac{1.000}{t_g^2} \left(\frac{\text{kW}}{\text{s}^2} \right)$
ULTRAFAST	75	0,1777
FAST	150	0,0444
MEDIUM	300	0,0111
SLOW	600	0,0277



Curva RHR – fase di propagazione

Con questi dati di input è possibile determinare:

1. La massima potenza termica rilasciata dal compartimento;
2. Il tipo di sviluppo atteso [ultrafast (75 s), fast (150 s), medium (300 s), slow (600 s)];
3. Il tempo di raggiungimento del flashover;
4. La durata dell'incendio.





Curva RHR – Valore max

- Il valore massimo RHRmax, può stimarsi con una espressione che è indicata nell'Eurocodice 1 – Allegato E – per incendi controllati dalla superficie di ventilazione:

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

Dove:

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

H: Potere Calorifico del materiale combustibile;

A_v : Superficie complessiva delle aperture di
aerazione del locale;

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



Curva RHR

- L'importanza della curva RHR risiede nel duplice fatto di descrivere la dinamica di un incendio e di costituire uno dei dati di ingresso (input) e di uscita (output) per i modelli di simulazione a zone.
- Prendendo come riferimento significativo il flashover di un incendio entro un ambiente chiuso (quando ovviamente il flashover stesso si manifesta), la fase iniziale di RHR descrive le condizioni pre-flashover, le condizioni di flashover e le condizioni principalmente di transizione post-flashover; la fase intermedia di RHR descrive le condizioni post-flashover dell' incendio nel locale o compartimento.
- Descrizioni diverse possono essere adottate in casi particolari.



Correlazione tra i vari fattori

- L'apporto di energia dipendente dalla qualità e quantità del materiale combustibile.
- La durata dell'incendio - funzione dalla velocità di combustione (quantità di combustibile che brucia nell'unità di tempo) - classifica il compartimento nei riguardi della resistenza al fuoco e dipende dal carico d'incendio.
- Al compartimento a cui corrisponde un determinato carico d'incendio viene quindi assegnata una determinata Classe a cui corrisponde a sua volta una determinata durata dell'incendio.
- Come si può, notare, esiste quindi una correlazione fra carico di fuoco o carico d'incendio, classe del compartimento e durata dell'incendio.



Normativa di riferimento

- **D.M. 16.2.2007** “Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione”;
- **D.M 9.3.2007** “Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco”.
- **La pubblicazione dei citati decreti sulla resistenza al fuoco rappresentano una svolta importante nel panorama normativo nazionale.**



Comportamento al fuoco

- Il *comportamento al fuoco* delle strutture e dei materiali comprende due componenti che, anche se distinte, si integrano vicendevolmente:
 - *resistenza al fuoco*: riguarda gli elementi strutturali i quali in caso d'incendio devono rispondere alle loro funzioni per un tempo determinato;
 - *reazione al fuoco*: riguarda il grado di partecipazione del materiale combustibile al fuoco al quale è sottoposto.
- Entrambe le componenti devono avere determinate caratteristiche per consentire l'esodo delle persone e l'intervento dei soccorritori.
- Gli elementi strutturali devono conservare stabilità, impermeabilità alla fiamma e al fumo, isolamento per un tempo stabilito, evitando così il collasso della struttura stessa prima di quel tempo stabilito.



Reazione al fuoco

- Grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco al quale è sottoposto.
- Individua l'attitudine di un materiale ad accendersi quando è innescato (da una piccola fiamma o a propagare l'incendio quando è in presenza di un forte calore radiante).
- I materiali sono assegnati alle classi definite tra [0-5], con l'aumentare della loro partecipazione alla combustione; quelli di classe "0" sono non combustibili.
- La reazione al fuoco è determinata con prove di laboratorio.
- La classe di reazione al fuoco viene accertata mediante certificazione. L'omologazione ha validità di 5 anni ed è rinnovabile alla scadenza su domanda del produttore.



Normativa abrogata

- Circ. Min. dell'interno 14 settembre 1961, n. 91, recante norme di sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati a struttura in acciaio destinati ad uso civile.
- D.M. del Ministro dell'interno 6 marzo 1986, recante «Calcolo del carico di incendio per locali aventi strutture portanti in legno»
- All'allegato A al D.M. dell'interno 30 novembre 1983, recante «Termini, definizioni generali e simboli grafici di prevenzione incendi» sono modificate le definizioni di:
 - «carico di incendio»
 - «compartimento antincendio»
 - «resistenza al fuoco»



Responsabilità

- L'individuazione dei valori che assumono i parametri posti alla base della determinazione delle azioni di progetto è a carico del **progettista**.
- Il mantenimento delle condizioni che determinano l'individuazione delle azioni di progetto è a carico del **titolare dell'attività**.



Definizioni (D. Min. 09 marzo 2007)

- CARICO D'INCENDIO SPECIFICO q_f : potenziale termico netto della totalità dei materiali combustibili contenuti in uno spazio, riferito all'unità di superficie lorda, corretto in base a parametri indicativi della partecipazione alla combustione dei singoli materiali. E' espresso in MJ/mq.
- CARICO D'INCENDIO SPECIFICO DI PROGETTO $q_{f,d}$ (MJ/mq): carico d'incendio specifico corretto in base ai parametri indicatori del rischio d'incendio nel compartimento e dei fattori relativi alle misure di protezione presenti. Esso costituisce la grandezza di riferimento per le valutazioni della esistenza al fuoco delle costruzioni.
- SUPERFICIE IN PIANTA LORDA DI UN COMPARTIMENTO A_f (mq): superficie in pianta compresa entro il perimetro interno delle pareti limitanti il compartimento.



D.M. 9.3.2007

- Il **DM 9.3.2007** stabilisce i nuovi criteri da utilizzare per determinare le prestazioni di resistenza al fuoco che devono possedere le costruzioni in cui sono presenti attività soggette al controllo del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, ad esclusione di quelle per cui le prestazioni di resistenza al fuoco siano espressamente stabilite da specifiche regole tecniche di prevenzione incendi.
- Le disposizioni del decreto si applicano nel caso di:
 - nuove attività, i cui progetti sono presentati ai comandi dei Vigili del Fuoco per l'acquisizione del parere di conformità, in data successiva a quella di entrata in vigore del decreto stesso;
 - costruzioni esistenti, nel caso in cui siano oggetto di modifiche tali da comportare un incremento della classe di rischio di incendio o una riduzione delle misure di protezione o un aumento del carico d'incendio.
- Il calcolo previsto dal decreto richiede di determinare il carico d'incendio



Carico d'incendio specifico di progetto

- La severità dell'incendio atteso può essere stimata quantificando il potenziale termico di tutti i materiali combustibili presenti in un compartimento, definito come carico di incendio.
- Ai fini della sicurezza è significativo rapportare tale carico alla superficie in pianta del compartimento, carico d'incendio specifico (q_f) o densità di carico d'incendio.
- Il carico d'incendio specifico nominale (q_f) è calcolato come sommatoria pesata del contributo calorifico di tutti i materiali combustibili presenti nel compartimento, riferita all'unità di superficie:

Carico d'incendio specifico di progetto

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

Fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione alla **dimensione del compartimento**

Fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione al **tipo di attività svolta**

Fattore che tiene conto **delle differenti misure di protezione**

$$\delta_n = \prod_i \delta_{ni}$$

Carico d'incendio specifico

1. **Formula**
2. **Valutazione statistica**

- Il carico d'incendio specifico di progetto ($q_{f,d}$) è il punto di partenza per qualunque determinazione della resistenza al fuoco delle strutture. Il valore del carico d'incendio specifico di progetto ($q_{f,d}$) è determinato secondo la citata relazione:

$\delta_{q1} \geq 1,00$ è un fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione alla superficie del compartimento

$\delta_{q2} \geq 0,80$ è un fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione al tipo di attività svolta nel compartimento

$\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni} \geq 0,20$ è un fattore che tiene conto delle differenti misure di protezione dall'incendio (sistemi automatici di estinzione, rivelatori, rete idranti, squadre antincendio, ecc.)

q_f è il valore nominale del carico d'incendio [MJ/m^2].



Carico d'incendio specifico di progetto

- Il 28 marzo 2008 è stata emanata la L.C. 414/08 che dà dei chiarimenti per una corretta applicazione.
- Nuova assunzione per il kg di legna equivalente: 1 kg di legna equivalente, in linea con gli atti normativi europei in materia, è stato assunto pari a 17,5 MJ (il valore precedentemente assunto era 18,5 MJ).
 - **1 kg legna equivalente = 17,5 MJ**
 - **1 MJ = 0,057 kg legna equivalente**



Carico specifico d'incendio

Il carico specifico d'incendio (secondo la "vecchia" L.C.M.I. n° 91/61) è stato sino ad oggi espresso in:

$$\frac{\text{kg di legna standard}}{\text{m}^2}$$

La legna standard ha un potere calorifico inferiore (p.c.i.) convenzionalmente pari a 4.400 kcal/kg per cui si ottiene:

$$1 \frac{\text{kg l.s.}}{\text{m}^2} = 4.400 \cdot 427 \cdot 9,8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} = 18,41 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Overo: } 1 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} = \frac{1}{18,41} \frac{\text{kg l.s.}}{\text{m}^2} = 0,054 \frac{\text{kg l.s.}}{\text{m}^2}$$

La L.C.M.I. P414 del 28/03/2008 ha modificato tale valore, portandolo in linea con il valore previsto nelle norme europee, ovvero:

$$1 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} = 0,057 \frac{\text{kg l.s.}}{\text{m}^2}$$

Per esemplificare:

un carico specifico d'incendio pari a **600 MJ/m²** corrisponde a $600 \times 0,057 \cong \mathbf{34 \text{ kg/m}^2}$ di legna standard.



Carico d'incendio specifico di progetto

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

$q_{f,d}$	Carico d'incendio specifico di progetto (MJ/m ²)
δ_{q1}	Fattore che tiene conto del rischio di incendio in funzione della superficie A del compartimento ($1 < \delta_{q1} < 1,8$ per $500 < A < 10.000$; $\delta_{q1} = 2$ per $A \geq 10.000$ m ²) - vedi tab. 3
δ_{q2}	Fattore che tiene conto del rischio di incendio in funzione della pericolosità dell'attività: $\delta_{q2} = 0,8$ basso rischio, $\delta_{q2} = 1,00$ rischio moderato, $\delta_{q2} = 1,20$ rischio alto e propagazione veloce – vedi tab. 4.
δ_n	Produttoria che tiene conto delle differenti misure di protezione (sistemi automatici di estinzione, EFC, sistemi autom. di rivelazione, rete idrica antincendio....) – vedi tab. 5


 δ_{q1}

Superficie in pianta lorda del compartimento (m ²)	δ_{q1}	Superficie in pianta lorda del compartimento (m ²)	δ_{q1}
$A < 500$	1,00	$2.500 \leq A < 5.000$	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



$$\delta_{q2}$$

Classi di rischio	Descrizione	δ_{q2}
I	Aree che presentano un <u>basso rischio di incendio</u> 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 <u>moderato rischio di incendio</u> in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza	1,00
III	Aree che presentano un <u>alto rischio di incendio</u> in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	1,20



L.C. 414 del 28.03.2008 chiarimento δq_2

- δq_2 è il fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione al tipo di attività svolta nel compartimento e i cui valori sono definiti in tabella precedente. La lettera circolare 414 del 28.03.2008 dà alcune indicazioni sul calcolo del δq_2
- In particolare evidenzia l'analogia con i livelli di pericolosità previsti nell'appendice B della UNI 10779 (idranti) e con le classi di pericolosità della UNI 12845 (sprinkler)



NORMA UNI 10779/07 Reti di idranti

Progettazione installazione ed esercizio

Per le classi di rischio un utile riferimento è costituito dalle Norme UNI 10779/07 ed UNI 12845/09

APPENDICE B CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DEGLI IMPIANTI

(informativa)

I criteri di dimensionamento di seguito riportati, desunti da regole di buona tecnica affermate a livello internazionale, costituiscono una guida per la definizione dei requisiti prestazionali degli impianti.

Sono stati individuati, ai fini della presente norma per le aree da proteggere, tre differenti livelli di pericolosità in base al loro contenuto ed alla probabilità di sviluppo di un incendio; per ciascun livello di pericolosità sono state indicate le portate, le pressioni, le contemporaneità e le durate di erogazione minime della rete di idranti antincendio considerate adeguate.

B.1

Livelli di pericolosità

La definizione del livello di pericolosità non può essere eseguita semplicemente tramite verifica di parametri prestabiliti, ma deve essere determinata secondo esperienza e valutazione oggettiva delle condizioni specifiche dell'attività interessata.

I criteri utilizzati per tale determinazione devono essere esplicitati nella relazione di progetto affinché siano noti nel tempo anche al gestore dell'impianto.

Ai fini della presente norma si identificano, per le aree da proteggere, i seguenti livelli:

Nota I livelli di pericolosità, identificati dalla presente norma, coincidono con i livelli di rischio indicati nell'edizione precedente.



NORMA UNI 10779/07 Reti di idranti

Progettazione installazione ed esercizio

B.1.1

Livello 1

Aree nelle quali la quantità e/o la combustibilità dei materiali presenti sono basse e che presentano comunque basso pericolo 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.

Rientrano in tale classe tutte le attività di lavorazione di materiali prevalentemente incombustibili ed alcune delle attività di tipo residenziale, di ufficio, ecc., a basso carico d'incendio.

Nota Le aree di livello 1 possono essere assimilate a quelle definite di classe LH ed OH 1 dalla UNI EN 12845 cui si può fare riferimento per ulteriori indicazioni.

B.1.2

Livello 2

Aree nelle quali c'è una presenza non trascurabile di materiali combustibili e che presentano un moderato pericolo di incendio come probabilità d'innesco, velocità di propagazione di un incendio e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza.

Rientrano in tale classe tutte le attività di lavorazione in genere che non presentano accumuli particolari di merci combustibili e nelle quali sia trascurabile la presenza di sostanze infiammabili.

Nota Le aree di livello 2 possono essere assimilate a quelle definite di classe OH 2, 3 e 4 dalla UNI EN 12845 cui si può fare riferimento per ulteriori indicazioni.



NORMA UNI 10779/07 Reti di idranti Progettazione installazione ed esercizio

B.1.3

Livello 3

Sono le aree nelle quali c'è una notevole presenza di materiali combustibili e che presentano un alto pericolo 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.

Rientrano in questa categoria le aree adibite a magazzinaggio intensivo come definito dalla UNI EN 12845 le aree dove sono presenti materie plastiche espanse, liquidi infiammabili, le aree dove si lavorano o depositano merci ad alto pericolo d'incendio quali cascami, prodotti vernicianti, prodotti elastomerici, ecc.

Nota Le aree di livello 3 possono essere assimilate a quelle definite di classe HHP e/o HHS dalla UNI EN 12485 cui si può fare riferimento per ulteriori indicazioni.



NORMA UNI 12845/09 Sistemi automatici sprinkler Progettazione installazione, manutenzione

APPENDICE A CLASSIFICAZIONE DEI PERICOLI TIPICI (normativa)

I prospetti A.1, A.2 e A.3 contengono gli elenchi delle classificazioni di pericolo minimo. Essi devono anche essere utilizzati come linea guida per le attività non specificatamente menzionate. Essi devono essere letti unitamente al punto 6.2.

prospetto A.1

Attività a Basso Pericolo (LH)

Scuole e altre istituzioni educative (alcune aree) - Vedere punto 6.2.1
Uffici (alcune aree) - Vedere punto 6.2.1
Prigioni



NORMA UNI 12845/09 Sistemi automatici sprinkler Progettazione installazione, manutenzione

prospetto A.2 Attività a Pericolo Ordinario (OH)

Settore	Gruppo di Pericolo Ordinario			
	OH1	OH2	OH3	OH4
Vetro e ceramica			Industrie del vetro	
Chimica	Cementifici	Industrie per la produzione di pellicole fotografiche	Tintorie Industrie per sapone Laboratori fotografici Impianti di verniciatura con vernici a base acqua	
Ingegneria	Industrie per la produzione di laminati metallici	Industrie meccaniche	Industrie elettroniche Industrie per apparecchiature audiovisive Industrie per la produzione di macchine per il lavaggio Officine per auto	
Cibi e bevande		Mattatoi e industrie per la lavorazione della carne Panetterie Biscottifici Industrie per birra Industrie per cioccolato Industrie per dolciumi Industria del latte	Industrie per la produzione di mangime per animali Mulini per grano Industrie per la produzione di verdure e minestre disidratate Zuccherifici	Distillerie di alcol
Varie	Ospedali Alberghi Biblioteche (esclusi depositi di libri) Ristoranti Scuole, vedere punto 6.2.1 Uffici, vedere punto 6.2.1	Laboratori (di fisica) Lavanderie Autorimesse Musei	Studi audiovisivi di registrazione/trasmissione (piccoli) Stazioni ferroviarie Sala macchine (tecnica) Aziende agricole	Cinema e teatri Sale concerti Industrie del tabacco Studi cinematografici e televisivi
Carta			Legatorie Industrie del cartone Cartiere	Processi di riciclo carta



NORMA UNI 12845/09 Sistemi automatici sprinkler

Progettazione installazione, manutenzione

prospetto A.2 **Attività a Pericolo Ordinario (OH)** (Continua)

Settore	Gruppo di Pericolo Ordinario			
	OH1	OH2	OH3	OH4
Negozi ed uffici	Uffici di elaborazione dati (stanze computer, tranne locali di archivio nastri), vedere punto 6.2.1		Grandi magazzini Centri commerciali	Sale di esposizione/padiglioni fieristici (a)
Tessile ed abbigliamento		Industrie prodotti in cuoio	Fabbriche di tappeti (esclusi quelli in gomma e plastica espansa) Industrie tessili e dell'abbigliamento Industria di passamanerie e simili Calzaturifici (escluse produzioni in gomma e plastica) Calzifici Maglifici Linfifici Industrie per materassi (esclusi quelli in plastica espansa) Industria per il confezionamento Tessiture Tessiture di lana e lana pettinata	Tessiture di cotone Impianti di preparazione di lino e canapa
Legname e legno			Industrie per la lavorazione del legno Mobilifici (esclusa la plastica espansa) Esposizioni di mobili Industrie di tappezzeria (escluse le plastiche espanse)	Segherie Industrie del legno compensato
NOTA Dove, in attività a pericolo OH1 o OH2 vi sono aree di verniciatura o aree di simile pericolo elevato, esse dovrebbero essere trattate come pericolo OH3.				
(a) In questi casi deve essere tenuta in considerazione l'eccessiva distanza verticale.				

NORMA UNI 12845/09 Sistemi automatici sprinkler

Progettazione installazione, manutenzione

prospetto A.3 Attività con processi ad Alto Pericolo (HHP)

HHP1	HHP2	HHP3	HHP4
Produzione di tessuto per pavimenti e linoleum	Produzione di accendini	Produzione di nitrocellulosa	Produzione di fuochi d'artificio
Produzione di resine, nerofumo, trementina Produzione di sostituti della gomma Produzione di lana di legno Produzione fiammiferi Impianti di verniciatura con vernici con solvente Industrie per refrigeratori. Stamperie Industrie per la produzione di cavi in PP/PE/PS o con caratteristiche di combustibilità simili, diverso da OH3 Stampaggio ad iniezione (plastica) in PP/PE/PS o con caratteristiche di combustibilità simili, diverso da OH3 Industrie della plastica e beni in plastica (escluse le plastiche espanse) in PP/PE/PS o con caratteristiche di combustibilità simili, diverso da OH3 Industrie dei prodotti in gomma Industria per le fibre sintetiche (escluso materiale acrilico) Fabbrica di corde Fabbriche di tappeti inclusi quelli in plastica non-espansa Calzaturifici incluse produzioni in gomma e plastica	Distillazione di catrame Rimesse per autobus, autocarri senza merce e carrozze ferroviarie Industrie della cera per candele e paraffina Reparti di lavorazione carta Fabbriche di tappeti inclusi quelli in gomma e plastica espansa Segherie Produzione pannelli di truciolato (1) Produzione di vernici, colori e lacche	Pneumatici per autovetture e mezzi industriali Produzione di materiali di fattore M3 (vedere prospetto B.1), plastiche espanse, gomme espanse e prodotti in gomma espansa (escluso M4, vedere prospetto B.1)	

NOTA 1 Potrebbe essere necessaria una protezione localizzata supplementare.

δ_n

$\delta_n = \prod_i \delta_{ni}$ è il fattore che tiene conto delle differenti misure protezione. Quando non si adotta una o più misure di protezione il corrispondente valore di δ va posto uguale ad 1

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 (1)	Rete idrica antincendio		Percorsi protetti di accesso	Accessibilità ai mezzi di soccorso VVF
Ad acqua (*)	Altro				Interna	Interna e esterna		
δ_{n1}	δ_{n2}				δ_{n6}	δ_{n7}		
0,60	0,80	0,90	0,85	0,90	0,90	0,80	0,90	0,90

(*) Viene evidenziata l'efficacia dell'acqua come mezzo di estinzione sia in termini di raffreddamento che come soffocamento causato dalla formazione di atmosfera inerte creata dal vapore che occupa un volume ~1.700 volte maggiore di quello iniziale dell'acqua; il ϕ ottimale delle gocce di acqua è compreso tra 0,3 e 1 mm.

(1) "Gli addetti devono aver conseguito l'attestato di idoneità tecnica ex art. 3 L 28.11.96 n°609, a seguito del corso di formazione di tipo C di cui all'all.to IX del D.M. 10.03.98." Le squadre di soccorso VVF o che presidiano l'attività (es.: attività di pubblico spettacolo) non sono considerate squadre aziendali.



Valori di δ_{ni} (UNI EN 1991-1-2)

Prospetto E2

δ_{ni} funzione delle misure di lotta attiva contro l'incendio											
Spegnimento automatico dell'incendio				Rivelazione automatica dell'incendio		Spegnimento manuale dell'incendio					
Sistemi di estinzione ad acqua automatici	Adduzione indipendente di acqua			Rivelazione e allarme incendio automatici		Trasmissione automatica di allarme ai Comandi dei Vigili del fuoco	Squadre di Vigili del fuoco operanti sul posto	Squadre di Vigili del fuoco operanti dall'esterno	Percorsi di accesso sicuro	Dispositivi di lotta contro l'incendio	Sistemi di evacuazione dei fumi
	0	1	2	Mediante calore	Mediante fumo						
δ_{n1}	δ_{n2}			δ_{n3}	δ_{n4}	δ_{n5}	δ_{n6}	δ_{n7}	δ_{n8}	δ_{n9}	δ_{n10}
0,61	1,0	0,87	0,7	0,87 oppure 0,73		0,87	0,61 oppure 0,78		0,9 oppure 1 oppure 1,5	1,0 oppure 1,5	1,0 oppure 1,5

- (4) Con riferimento alle misure di spegnimento dell'incendio che si raccomanda siano sempre presenti, come per esempio le vie d'accesso, le attrezzature di spegnimento e i sistemi di estrazione dei fumi, si raccomanda che il valore di δ_{ni} del prospetto E.2 sia assunto pari a 1,0. Tuttavia, se dette misure di spegnimento all'incendio non sono previste, si raccomanda che i corrispondenti valori δ_{ni} siano posti pari a 1,5.

$$\delta_n = \prod_i \delta_{ni}$$

- (5) Se i vani scale sono posti in sovrappressione in caso di allarme d'incendio, il fattore δ_{n8} del prospetto E.2 può essere assunto pari a 0,9.
- (6) Il precedente approccio è basato sull'assunzione che i requisiti nelle norme europee relative agli sprinkler, segnalatori, allarmi, sistemi d'estrazione di fumi sono soddisfatti, vedere anche il punto 1.3. Tuttavia, circostanze locali possono influenzare i valori forniti dal prospetto E.2. Per ulteriori informazioni si fa riferimento al Documento di base CEN/TC250/SC1/N300A.



L.C. 414 del 28.03.2008 chiarimento δn_i

La L.C. n. 414 del 28 marzo 2008 dà chiarimenti sui coefficienti δn_i (fattori che tengono conto delle differenti misure di protezione)

- δn_1 - possono considerarsi equivalenti ai sistemi automatici di estinzione ad acqua quelli che prevedono l'erogazione automatica di soluzioni schiumogene se maggiormente idonee.
- δn_3 - può essere applicato in presenza di qualsiasi sistema di controllo dei fumi che garantisca risultati di analoga efficacia a quelli automatici in termini di smaltimento del calore e sicurezza delle squadre di intervento.
 - Aperture, sufficientemente dimensionate, permanenti o protette con elementi cedibili a basse temperature.
 - Superfici con serramenti ed impianti di estrazione non automatici, purché entrambi azionabili anche in mancanza dell'alimentazione elettrica ordinaria, da comando a distanza posto in zona protetta, di facile accesso e di attivazione rapida e sicura garantita dalla presenza di un presidio permanente nelle 24 ore.
- δn_4 - può essere correttamente utilizzato qualora l'impianto automatico di rivelazione, segnalazione e allarme di incendio sia in funzione durante le 24 ore e che, all'azionamento dell'allarme seguano le idonee procedure di emergenza.

- δn_5 - può essere adottato, al pari degli altri sistemi di protezione attiva, esclusivamente in caso di presenza continuativa sulle 24 ore della squadra aziendale incaricata della lotta antincendio.
- δn_8 – Percorsi protetti di accesso: sono quelli che consentono alle squadre di soccorso di raggiungere il compartimento interessato dall'incendio partendo dall'esterno della costruzione. Tale condizione si ritiene implicitamente verificata nel caso di un compartimento avente accesso direttamente dall'esterno, mediante un sufficiente numero di uscite, correlate alle dimensioni e alla tipologia di attività svolta, oppure in presenza di un ascensore di soccorso ai sensi del DM 15/09/2005 (comma 8 dell'allegato) .
- δn_9 – Per l'accessibilità ai mezzi di soccorso VVF si possono ritenere validi i requisiti di accesso all'area normalmente richiesti dalle regole tecniche di PI (purché garantiti nell'arco delle 24 ore). Possono ritenersi accettabili impedimenti all'accesso, purché rapidamente rimovibili con gli usuali dispositivi in dotazione alle squadre VVF.



CIRCOLARE del M.I. Prot. n°P1494/4109 sott. 53

Per i locali di pubblico spettacolo situati all'ultimo piano di un edificio è ritenuto ammissibile che gli elementi strutturali della copertura, qualora non collaborino alla statica dell'edificio, ma devono assicurare solo la propria stabilità, abbiano caratteristiche di resistenza al fuoco commisurata alla classe del locale indipendentemente dall'altezza antincendio come prevista al punto 2.3.1 Titolo II del D.M. 19/08/96.

Quanto sopra vale a condizione che la situazione al contorno escluda la possibilità di propagazione di un eventuale incendio ad ambienti o fabbricati circostanti; in tale caso (come per esempio in adiacenza con edifici di maggior altezza) dovranno essere attuate idonee misure di sicurezza atte ad impedire la propagazione dell'incendio.



Carico d'incendio specifico

$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^n g_i H_{u,i} m_i \psi_i}{A_f}$$

q_f	Valore nominale del carico d'incendio specifico (MJ/m ²)
g_i	Massa dell'i-esimo materiale combustibile (kg)
$H_{u,i}$	Potere cal. netto dell'i-esimo materiale combustibile (MJ/kg)
m_i	Fattore di partecipazione del materiale (0,8 per il legno o altri materiali di natura cellulosica, 1 per altri materiali combustibili)
ψ_i	Fattore limitativo della combustione (0 per contenitori res. al fuoco, 0,85 per contenitori non combustibili, 1 altri contenitori)
A_f	Superficie in pianta lorda del compartimento (m ²)



Area del compartimento A_f

-L'area A_f corrisponde a quella dell'intero compartimento qualora la distribuzione del materiale combustibile sia sufficientemente omogenea .

-Diversamente, l'area A_f corrisponde all'effettiva area in cui è depositato il materiale combustibile ed il valore di q_f è riferito a quell'area.

-Vale quindi il principio che un unico compartimento può avere diverse zone di area A_{f1} , A_{f2} ($\sum A_{fi} = A_f$), con diverso carico d'incendio q_{f1} , q_{f2}

-E' ragionevole supporre, nella ratio del D. Min. 09.03.07, che tali differenti q_{fi} vadano valutati quando si verificano differenze di $q_{f,d}$ pari a quelle della prima colonna della TABELLA 4 del Decreto perché da ciò deriva una diversa classe della zona.



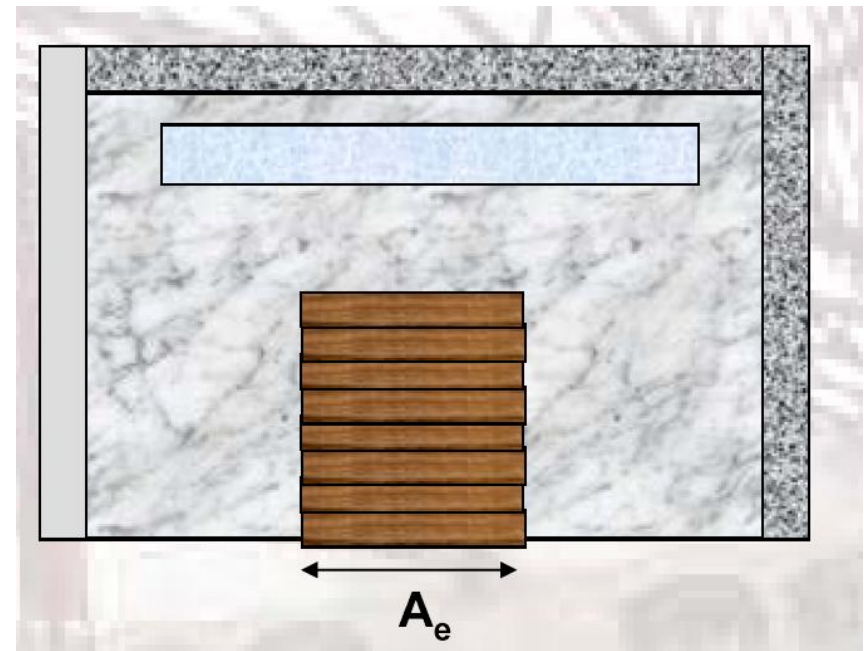
Area del compartimento Af

- Quando il materiale combustibile si presenta concentrato in alcuni punti, non è corretto calcolare il carico d'incendio riferendolo alla superficie totale del compartimento.
- Per incendio localizzato s'intende un focolaio d'incendio che interessa una zona limitata del compartimento, con sviluppo di calore concentrato in prossimità degli elementi strutturali posti superiormente al focolaio o immediatamente adiacenti. In un locale grande, un'intensa azione termica di un incendio localizzato può esporre le strutture circostanti a condizioni di riscaldamento di norma associate ad un incendio in più avanzata fase di sviluppo
- Il DM 14/01/2008 stabilisce che qualora siano presenti elevate dissimmetrie nella distribuzione dei materiali combustibili , q_k è calcolato con riferimento all'effettiva distribuzione dello stesso.
- Nell'ipotesi di una distribuzione non uniforme del carico di incendio il valore nominale q_f del carico d'incendio specifico è calcolato anche con riferimento all'effettiva distribuzione dello stesso.

Area del compartimento A_f

- L'EC 1 prende in considerazione l'incendio localizzato (governato dal combustibile), con diametro non superiore a 10 m
- Sono valutati gli effetti locali dell'incendio, con particolare riferimento al pennacchio

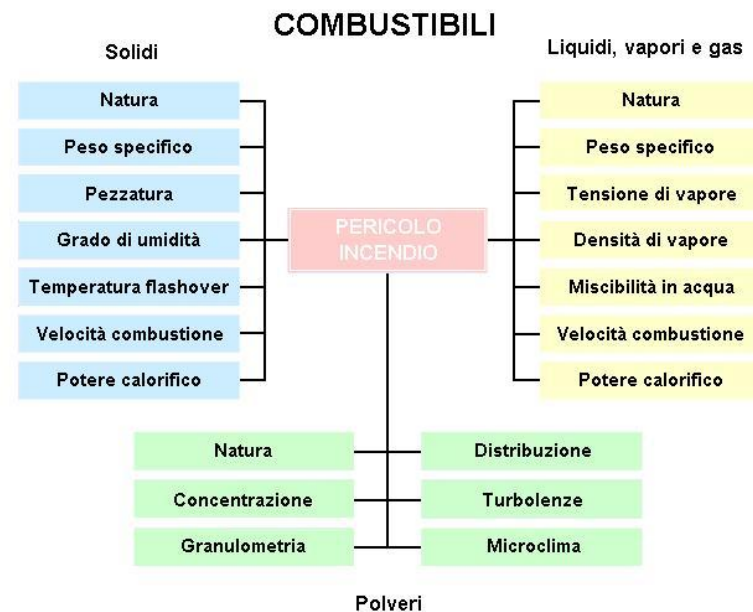
$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^n g_i H_{u,i} m_i \psi_i}{A_e}$$



Combustibili



- Sostanza solida, liquida o gassosa nella cui composizione molecolare sono presenti elementi quali il carbonio, l'idrogeno, lo zolfo, etc..





I materiali combustibili

- I materiali combustibili presenti nelle costruzioni che costituiscono il carico d'incendio hanno diversa origine. Derivano dalle sostanze organiche di origine vegetale, animale o petrolchimica che compongono la struttura, i rivestimenti, le finiture e i materiali immagazzinati permanentemente o temporaneamente nell'edificio.
- **Materiali di origine vegetale:** cotone, tessuti, alimenti, piante, etc.
- **Materiali lignei:** legno massiccio, pannelli multistrato e truciolari, carta, cartone, sughero, etc.
- **Materiali di origine animale:** lana, grassi, alimenti, etc.
- **Derivati del petrolio:** combustibili liquidi e gassosi, materie plastiche, etc.

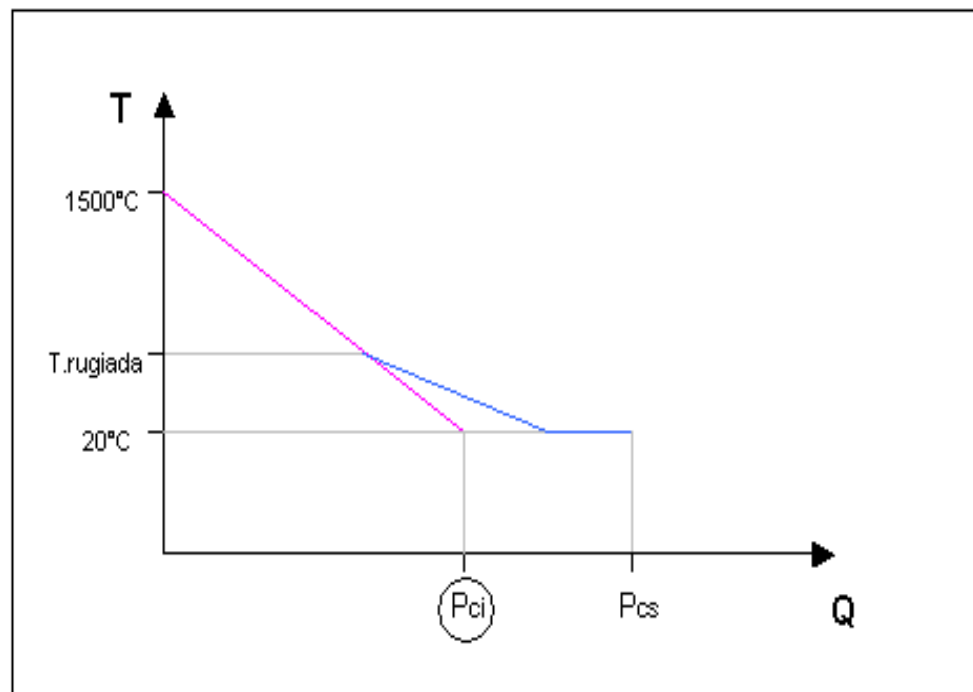


Il Potere Calorifico

- **Potere calorifico** PC dei combustibili: quantità di energia rilasciata a pressione costante durante la completa combustione di una massa unitaria di materiale e si misura in MJ/kg (normalmente 15÷50 MJ/kg).
- La definizione termodinamica corretta è data dal calore che occorre asportare dai prodotti della combustione completa dell'unità di massa di combustibile per riportarli nelle condizioni iniziali dei reagenti (p , T per sistemi aperti; V , T per sistemi chiusi). In base a tale definizione operano i calorimetri, che sono gli strumenti di laboratorio utilizzati per la determinazione sperimentale del potere calorifico.
- Nei combustibili che contengono idrogeno si distingue il potere calorifico superiore (che include il calore di condensazione del vapore d'acqua che si forma nella combustione) e il potere calorifico inferiore (che non include tale calore).

Il Potere Calorifico inferiore

- Convenzionalmente si definisce **potere calorifico inferiore H_i** (MJ/kg) "il potere calorifico superiore diminuito del calore di condensazione del vapore d'acqua durante la combustione". Si ottiene ipotizzando un raffreddamento dei vapori fino a temperatura ambiente senza che avvenga il processo di condensazione. Graficamente si prosegue fino a temperatura ambiente lungo la retta che normalmente si sarebbe interrotta al punto di rugiada (vedi fig.).
- Questo è il valore a cui si fa usualmente riferimento quando si parla di potere calorifico di un combustibile per il calcolo del carico d'incendio.



- Ad ogni materiale combustibile è associato un potere calorifico inferiore H_i . 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.



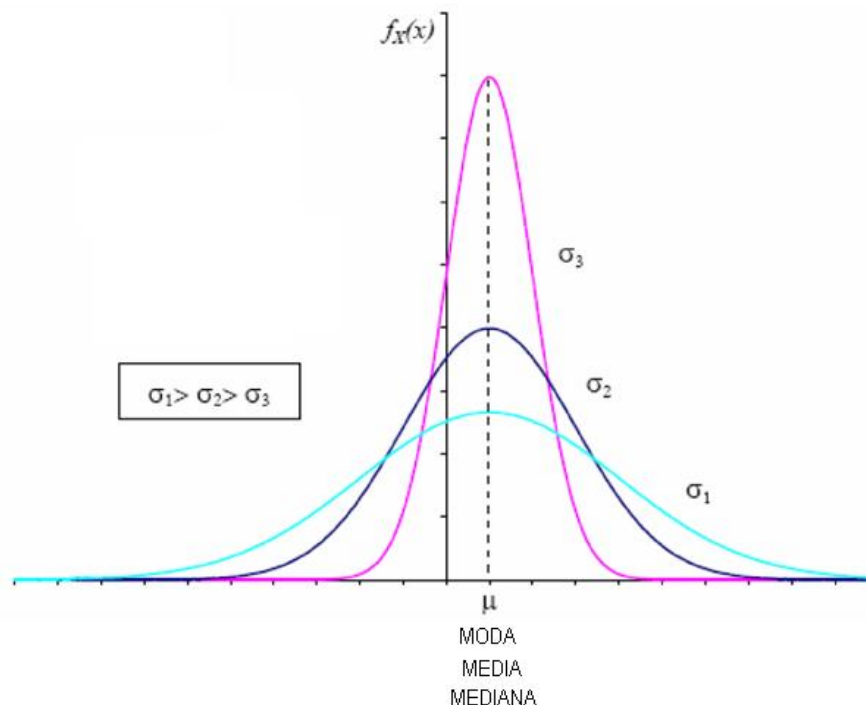
Potere Calorifico inferiore di alcuni materiali

materiali	note	mj/kg	kcal/kg
- abiti		17-21	4046-4998
- abiti su stampelle per metro lineare		510	121380
- acetaldeide		25	5950
- acetilene (disciolta in bombole)	17 mj/lt		
- acetilene gas	57 mj/mc	49	11662
- acetone		34	8092
- acquaragia		42	9996
- alcool etilico		25	5950
- alcool butilico o butanolo		34	8092
- alcool metilico (v. metanolo)			
- amido		17	4046
- anilina		38	9044
- antracite	1200 kg/mc	34	8092
- autovettura media	5000 mj/pez		
- balena, grasso di		42	9996
- bambù, canna di		17	4046
- benzina	700 kg/mc	42	9996
- benzolo		42	9996
- betulla		19	4522
- biscotti		15	3570
- bitume o catrame	1300 kg/mc	38	9044
- burro		38	9044
- butano	122 mj/mc	51	12138
- cacao in polvere amaro		17-21	4046-4998
- caffè		17	4046
- caffeina		21	4998
- canfora		38	9044
- carbone		35	8330
- carbone antracite	1000 kg/mc	34	8092
- carbone coke da carbon fossile		30	7140
- carbone fossile o grasso		34	7140
- carbone lignite		21	4998
- carbone mattonelle di carbon fossile	1250 kg/mc	34	8092
- carbone da legna	250 kg/mc	30	7140
- carne essiccata		26	6188
- carta alla rinfusa	875 kg/mc	17	4046
- carta in pacchi	1200 kg/mc	47	11186
- cartone		17	4046

- cartone bitumato sabbato	1300 kg/mc	17	4046
- cartone bitumato non sabbato	1300 kg/mc	21	4998
- cartone impregnato, per tetti	1200 kg/mc	21	4998
- cartone ondulato	120 kg/mc	17	4046
- catrame o bitume	1300 kg/mc	38	9044
- celluloidi		19	4522
- cellulosa (corteccia di chine)		17	4046
- cera di paraffina		47	11186
- cereali	750 kg/mc	17	4046
- china		9	2142
- cioccolata		26	6188
- cocco, fibra di	500 kg/mc	26	6188
- coke metallurgico	600 kg/mc	34	8092
- concimi, solfato e nitrato di ammonio		2	476
- concimi, urea		9	2142
- concimi, ritagli di corna		17	4046
- cotone		17	4046
- cuoio		21	4998
- eptano		47	11186
- esano		47	11186
- etano	66 kg/mc	53	12614
- etere amilico	770 kg/mc	42	9996
- etere etilico	720 kg/mc	34	8092
- farina, alla rinfusa	450 kg/mc	17	4046
- farina compressa	800 kg/mc	17	4046
- fenolo		26	6188
- fibre artificiali, seta artificiale, rayon		17	4046
- fibre naturali, cotone, lino, tessuti confezionati in balle	1000 kg/mc	17	4046
- fieno sciolto	70 kg/mc	17	4046
- fieno compresso	170 kg/mc	17	4046
- formaggi		9-18	2142-4284
- formaggio grasso (45%)		17	4046
- fosforo		26	6188
- frutta secca (noci, nocciole, mandorle)		13	3094
- gas di città (illuminante)		17	4046

Valutazione statistica di qf

- Qualora, in alternativa alla formula suddetta, si pervenga alla determinazione di qf attraverso una valutazione statistica del carico di incendio per la specifica attività, si deve far riferimento a valori con probabilità di superamento inferiore al 20%. Nel calcolo probabilistico, il frattile inferiore di ordine 80 della variabile aleatoria qf, è quel particolare valore della variabile stessa, , cui corrisponde la probabilità 80% di non essere superato, cioè al di sotto del quale ricade la percentuale 80% dei valori aleatori.
- In generale il frattile 80% si ottiene moltiplicando il valore medio μ per:
 - 1,25-1,50 (abitazioni, scuole, ospedali, uffici, alberghi.);
 - 1,45-1,75 (centri comm., att. industriali)





Valutazione statistica q_f

Valori del carico di incendio specifico in funzione della destinazione d'uso (Eurocodice EN 1991-1-2 Annex E)

Tabella 3.5 Dati sulla densità del carico di incendio $q_{f,k}$ [MJ/m²] per differenti destinazioni d'uso (da EN 1991-1-2 - Appendice E e CEC Agreement 7215-PA/PB/PC-042, 2001).

Destinazione d'uso	Deviazione standard	Valore medio	Fratte 80%	Fratte 90 %	Fratte 95 %
Residenziale	234	780	948	1085	1217
Ospedale	69	230	280	320	359
Hotel (camera)	93	310	377	431	484
Biblioteca	450	1500	1824	2087	2340
Ufficio (standard)	126	420	511	584	655
Scuole	85,5	285	347	397	445
Centro commerciale	180	600	730	835	936
Teatro (cinema)	90	300	365	417	468
Trasporti (spazi pubblici)	30	100	122	139	156



Valutazione statistica q_f

Valori del carico di incendio specifico in funzione della destinazione d'uso

Densità di carico d'incendio $q_{f,k}$ [MJ/m²] 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.		



Classe di resistenza al fuoco

Intervallo di tempo espresso in minuti, definito in base al carico di progetto incendio specifico di progetto, , durante il quale il compartimento capacità antincendio garantisce la capacità àdi compartimentazione di compartimentazione..

Le classi di resistenza al fuoco sono le seguenti:

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

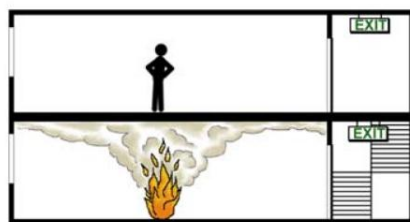


Obiettivi secondo D.M. 9.3.2007

- Al fine di limitare i rischi derivanti dagli incendi, le costruzioni devono essere progettate, realizzate e gestite in modo da garantire:
- la stabilità degli elementi portanti per un tempo utile ad assicurare il soccorso degli 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.

Obiettivi secondo Direttiva 89/106/CEE

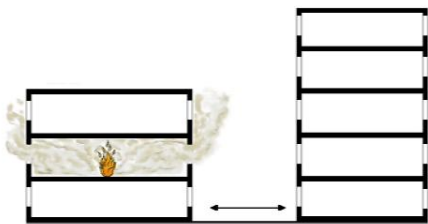
La capacità portante delle strutture sia garantita per un determinato periodo di tempo



La produzione e la propagazione di fiamme e di fumi all'interno delle costruzioni sia limitata



La propagazione dell'incendio alle costruzioni vicine sia limitata



Gli occupanti possano abbandonare la costruzione o essere messi in salvo



La sicurezza delle squadre di soccorso sia presa in considerazione



Il Consiglio della Comunità Economica Europea, con propria Direttiva 89/106/CEE del 21/12/88, relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati membri, concernente "i prodotti da costruzione", ha stabilito i requisiti essenziali delle "opere di costruzione" affinché queste non compromettano "la sicurezza delle persone, degli animali domestici e dei beni, pur soddisfacendo altri requisiti essenziali nell'interesse generale". Tali requisiti sono:

- 1. Resistenza meccanica e stabilità;
- **2. Sicurezza in caso di incendio;**
- 3. Igiene, salute e ambiente;
- 4. Sicurezza nell'impiego;
- 5. Protezione contro il rumore;
- 6. Risparmio energetico e ritenzione del calore.



Richieste di prestazione

- Le prestazioni da richiedere ad una costruzione, in funzione degli obiettivi di sicurezza, sono individuate nei seguenti livelli:

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	Classe prescritta
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	Classe calcolata
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 e da altri parametri	Metodi prestazionali
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 e da altri parametri	Metodi prestazionali



Livelli I e II di prestazione

- ❑ Il livello I di prestazione non è ammesso per le costruzioni che ricadono nel campo di applicazione del decreto
- ❑ Il livello II di prestazione può ritenersi adeguato per costruzioni (e ai relativi impianti tecnologici di servizio e depositi)
 - fino a due piani fuori terra ed un piano interrato
 - isolate (eventualmente adiacenti ad altre purché strutturalmente e funzionalmente separate)
 - destinate ad un'unica attività non aperta al pubblico
- ❑ Le classi di resistenza al fuoco necessarie 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 piano interrato
 - Sono consentite classi inferiori a quelle precedentemente indicate se compatibili con il livello III di prestazione



Livello III di prestazione

- Il **livello III di prestazione** può ritenersi adeguato per **tutte le costruzioni** rientranti nel campo di applicazione del decreto fatte salve quelle per le quali sono richiesti i livelli IV o V (*specifiche esigenze del committente o costruzioni destinate ad attività di particolare importanza*)
- Le classi di resistenza al fuoco necessarie per garantire il livello III sono indicate nella tabella, in 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



Livelli IV e V di prestazione

- I livelli IV o V possono essere oggetto di specifiche richieste del committente o essere previsti dai capitolati tecnici di progetto.
- I livelli IV o V di prestazione possono altresì essere richiesti dalla autorità competente per costruzioni destinate ad attività di particolare importanza.



Livelli IV e V di prestazione

Per garantire i livelli di prestazione IV e V le costruzioni devono essere oggetto delle seguenti verifiche:

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



Scenari e incendi convenzionali di progetto

- Per definire le azioni del fuoco, devono essere determinati i principali scenari d'incendio e i relativi incendi convenzionali di progetto, sulla base di una valutazione del rischio d'incendio
- **INCENDIO CONVENZIONALE DI PROGETTO** incendio definito attraverso una curva di incendio che rappresenta l'andamento, in funzione del tempo, della temperatura media dei gas di combustione nell'intorno della superficie degli elementi costruttivi
- 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 (in un edificio multipiano sarà possibile considerare separatamente il carico di inc. dei singoli piani)
- L'azione del fuoco è quindi definita attraverso una valutazione degli scenari di incendio, che permettono di fare riferimento a modelli di fuoco espressi nel dominio temperatura tempo (curve temperatura-tempo). Tali modelli descrivono la temperatura media di un compartimento soggetto ad un incendio generalizzato, con temperatura uniformemente distribuita nell'ambiente. Si distinguono due tipologie di curve temperatura-tempo: Nominali, Naturali.



Incendio convenzionale di progetto

La curva di incendio di progetto può essere:

naturale: determinata in base a modelli d'incendio e a parametri fisici che definiscono le variabili di stato del **compartimento antincendio** quest'ultimo definito come la parte della costruzione delimitata da elementi costruttivi resistenti al fuoco e che tengono conto della potenza rilasciata (RHR). Tali modelli descrivono sia la fase di riscaldamento, sia la fase di raffreddamento.

nominale: adottata per la classificazione delle costruzioni e per le verifiche di resistenza al fuoco di tipo convenzionale per scenari differenziati (incendio (incendio cellulosico, da idrocarburi e per elementi esterni ad un compartimento) e che non tengono conto la fase di raffreddamento;



Curve nominali di incendio

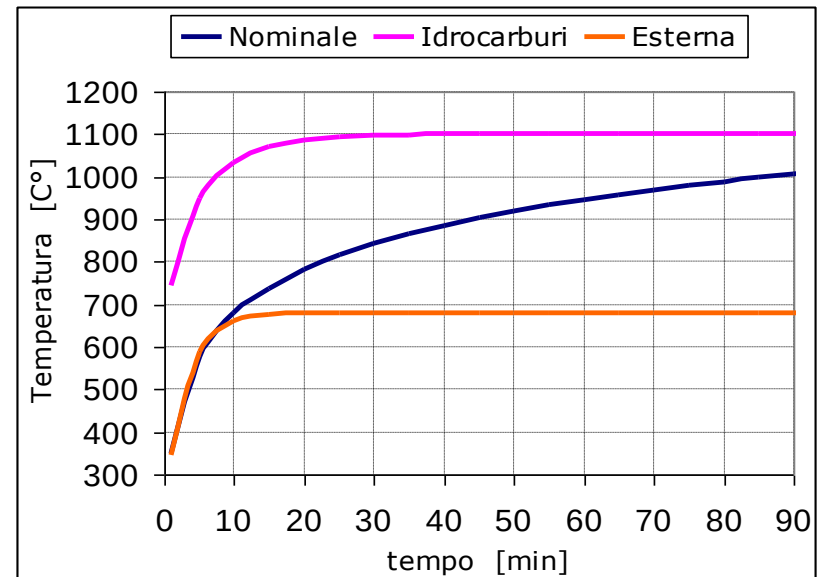
□ Curva nominale standard

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

dove:

θ_g temperatura media dei
gas di combustione [C]

t tempo [min]



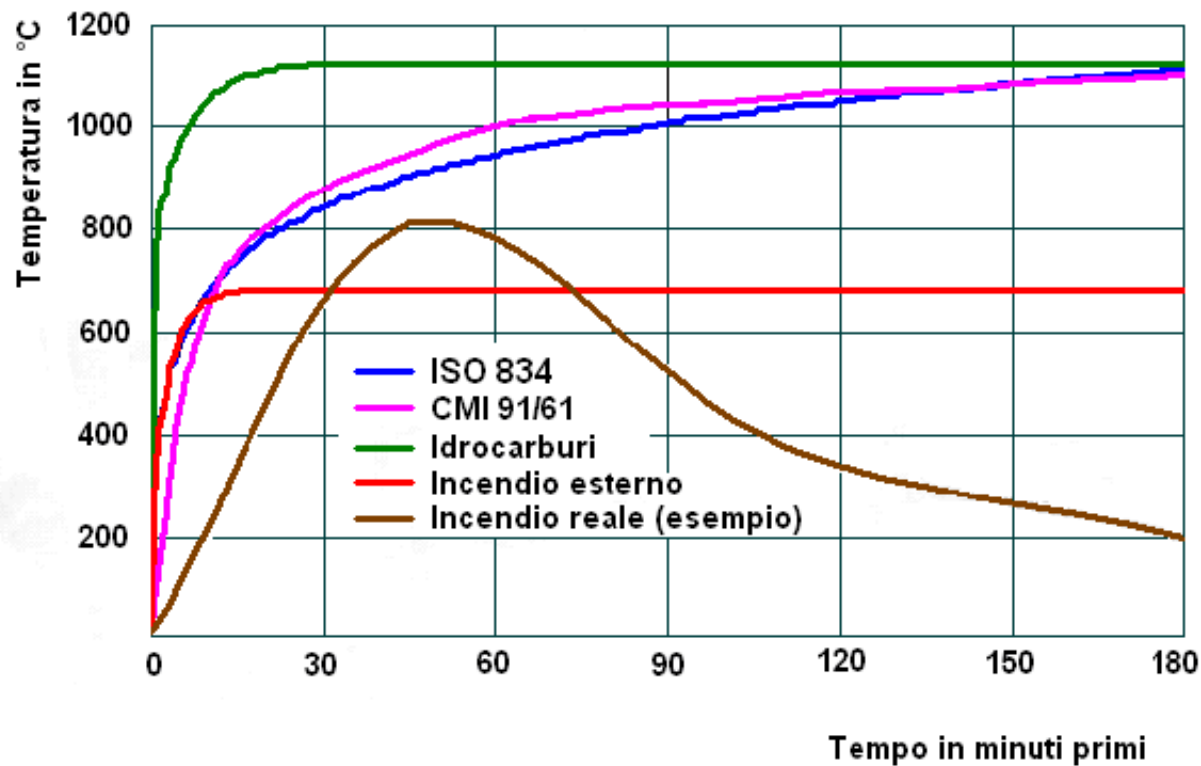
□ Curva nominale degli idrocarburi (per la capacità portante)

$$\theta_g = 1080 \left(1 - 0,325 \cdot e^{-0,167t} - 0,675 \cdot e^{-2,5t} \right) + 20$$

□ Curva nominale esterna

$$\theta_g = 660 \left(1 - 0,687 \cdot e^{-0,32t} - 0,313 \cdot e^{-3,8t} \right) + 20$$

Curve nominali di incendio





Curve naturali di incendio

- Nel caso in cui il progetto sia condotto con un **approccio prestazionale**, 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 temperatura ordinaria, da determinarsi attraverso:
 - modelli di incendio sperimentali;
 - modelli di incendio numerici semplificati;
 - modelli di incendio numerici avanzati.



Curve naturali di incendio

- Le curve di incendio naturale dovranno essere determinate per lo specifico compartimento, con riferimento a metodi di riconosciuta affidabilità e facendo riferimento al carico di incendio specifico di progetto ponendo pari ad 1 i coefficienti δ ni relativi alle misure di protezione che si intende modellare.
- In caso di utilizzo di curve di incendio naturale la valutazione della resistenza al fuoco deve essere condotta considerando l'intera durata dell'incendio , comprensiva della fase di raffreddamento. La verifica dovrà inoltre essere estesa all'intera struttura e non limitarsi alla verifica sezionale del singolo elemento.



Curve naturali di incendio

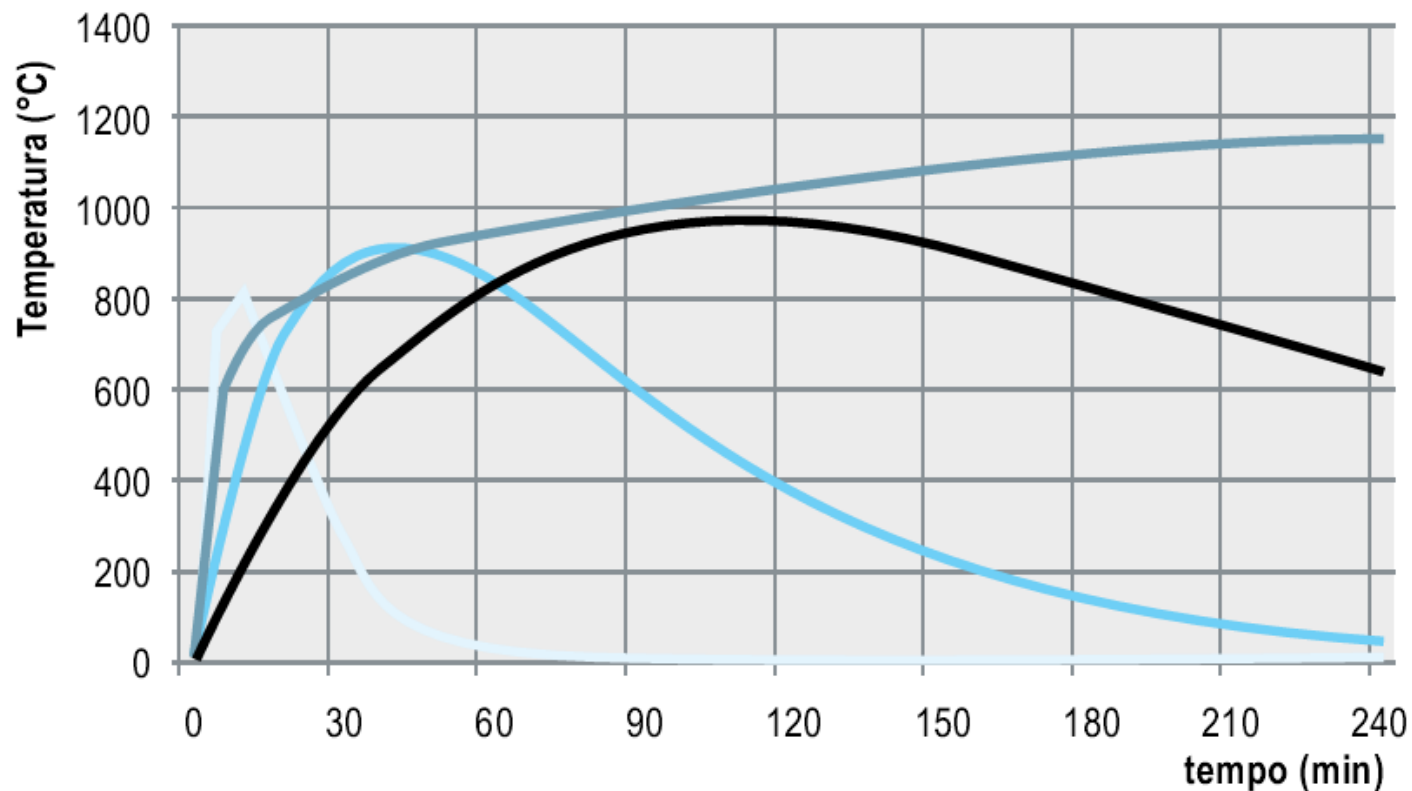
- Le curve di incendio naturale possono essere calcolate con metodi semplificati di tipo parametrico, che danno lo sviluppo della temperatura media nel compartimento in funzione del carico di incendio specifico di progetto, della ventilazione del compartimento, della sua area in pianta e delle caratteristiche termofisiche delle pareti. Le curve di tipo parametrico sono valide per compartimenti antincendio fino a 500 m², di altezza massima 4 m e con aperture solo sulle pareti laterali.



Curve naturali di incendio

Curve parametriche temperatura-tempo EN 1991-1.2 - Appendice A

$q_f = 200, 900, 1800 \text{ MJ/m}^2$, $O=0,06 \text{ m}^{1/2}$





Curve naturali

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 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



Metodo del tempo equivalente

Si valuta il tempo d'esposizione all'incendio standard che può essere considerato equivalente all'incendio reale, arrotondandolo alla classe immediatamente superiore

La classe risultante, ad ogni modo, non può essere inferiore al valore minimo dato, in funzione del carico d'incendio specifico di progetto q_d , dalla tabella precedente



Metodo del tempo equivalente

$$t_{e,d} = q_d \cdot k_b \cdot w$$

- q_d** carico d'incendio specifico di progetto, in MJ/m²
- k_b** fattore di conversione associato alle proprietà termiche delle superfici di chiusura del compartimento, in min·m²/MJ
- w** fattore di ventilazione associato alla geometria del compartimento ed alle aperture nelle superfici di chiusura

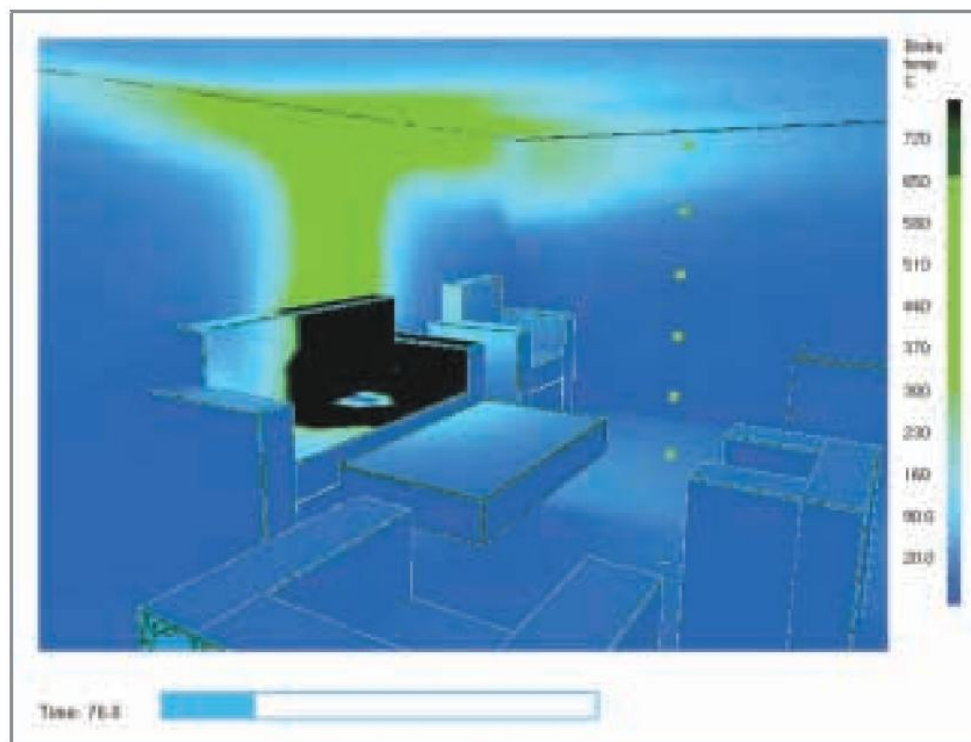


Modelli

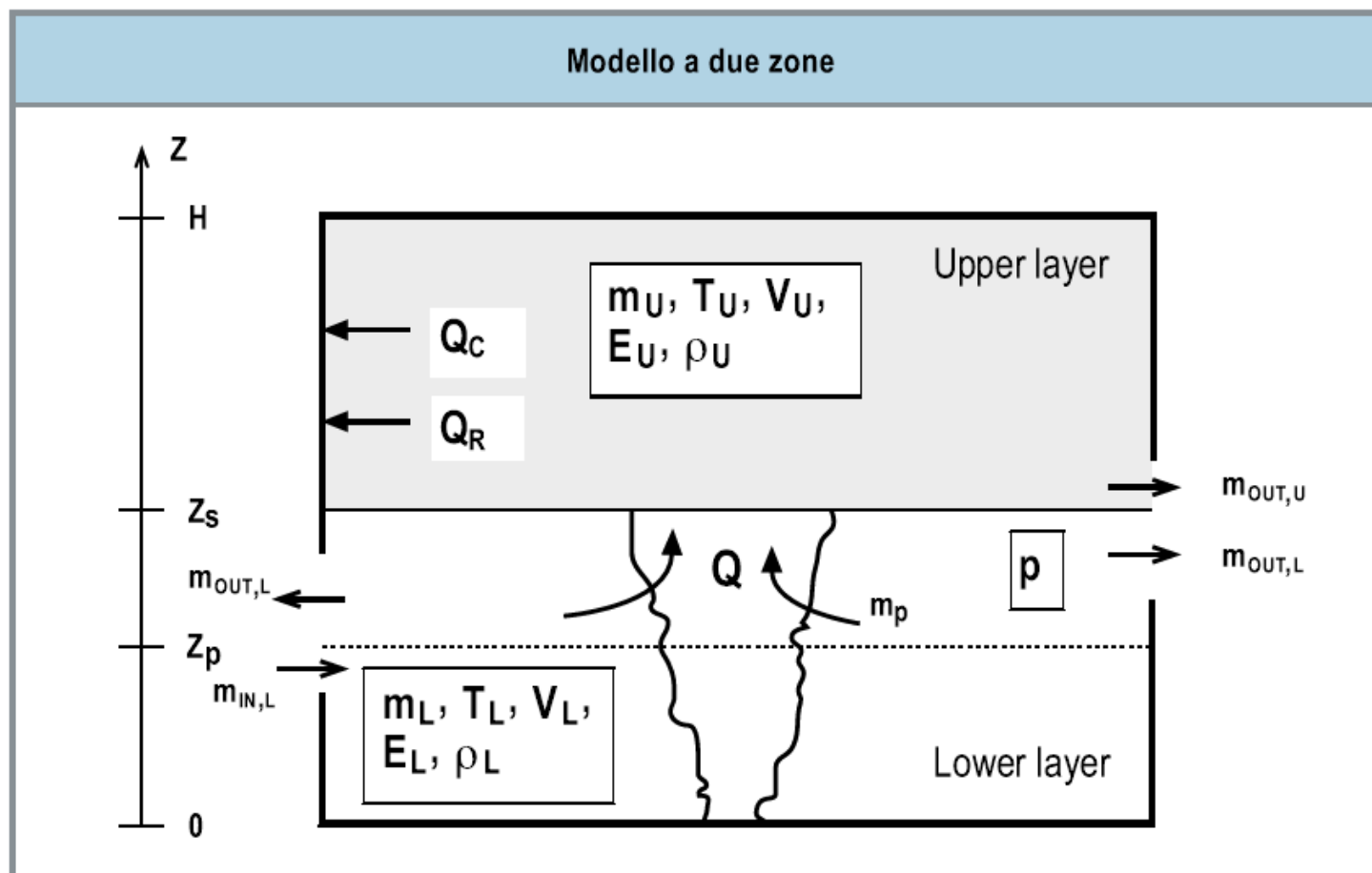
- In alternativa le curve di incendio naturale possono essere calcolate con modelli avanzati ad una due zone o attraverso modelli fluidodinamici. Nei modelli a zone si calcola la temperatura media del compartimento risolvendo le equazioni di conservazione della massa e dell'energia.
- Nei modelli ad una zona si fa riferimento ad un'unica temperatura omogenea del compartimento in fase di incendio generalizzato.
- Nei modelli a due zone si distingue tra condizioni di pre-flashover, caratterizzate da temperatura non omogenea nel compartimento, e condizioni di post-flashover con distribuzione uniforme della temperatura. Anche in questo caso sono risolte le equazioni di conservazione della massa e dell'energia, ipotizzando l'accumulo di gas caldi in corrispondenza del soffitto (zona calda) e la presenza di un piano di interfaccia orizzontale, che separa la zona calda dalla zona fredda interessata dal ricambio d'aria .

Curve naturali di incendio

- I modelli fluidodinamici suddividono il compartimento in celle elementari per le quali vengono risolte le equazioni di conservazione della massa, dell'energia e della quantità di moto.
- Tali modelli danno una descrizione molto particolareggiata dell'evoluzione dell'incendio, ma sono molto onerosi sia per tempi di calcolo, sia per la difficoltà di gestione dei dati. In figura 5 si riporta un esempio di modello a celle ottenuto con il codice di calcolo FDS prodotto e distribuito da NIST (www.fire.nist.gov).



Modello a due zone





Curve naturali

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 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



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 relativi alle misure di protezione che si intende modellare



Classe di resistenza al fuoco

La richiesta prestazionale di resistenza al fuoco si esprime attraverso le classi di resistenza al fuoco, che specificano per quanti minuti devono risultare garantite le prestazioni di resistenza al fuoco.

Per alcune attività la regola tecnica di prevenzione incendi impone a priori una classe minima di resistenza al fuoco



Resistenza al fuoco

“...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”

Classi di Resistenza al fuoco

(D.M. 16 febbraio 2007 – “*Classificazioni di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione*”)

R - Capacità portante	P o PH - Continuità di corrente o capacità di segnalazione
E - Tenuta	G - Resistenza all’incendio della fuliggine
I - Isolamento	K - Capacità di protezione al fuoco
W - Irraggiamento	D - Durata della stabilità a temperatura costante
M - Azione meccanica	DH - Durata della stabilità lungo la curva standard tempo-temp
C - Disp aut di chiusura	F - Funzionalità degli evacuatori motorizzati di fumo e calore
S - Tenuta al fumo	B - Funzionalità degli evacuatori naturali di fumo e calore

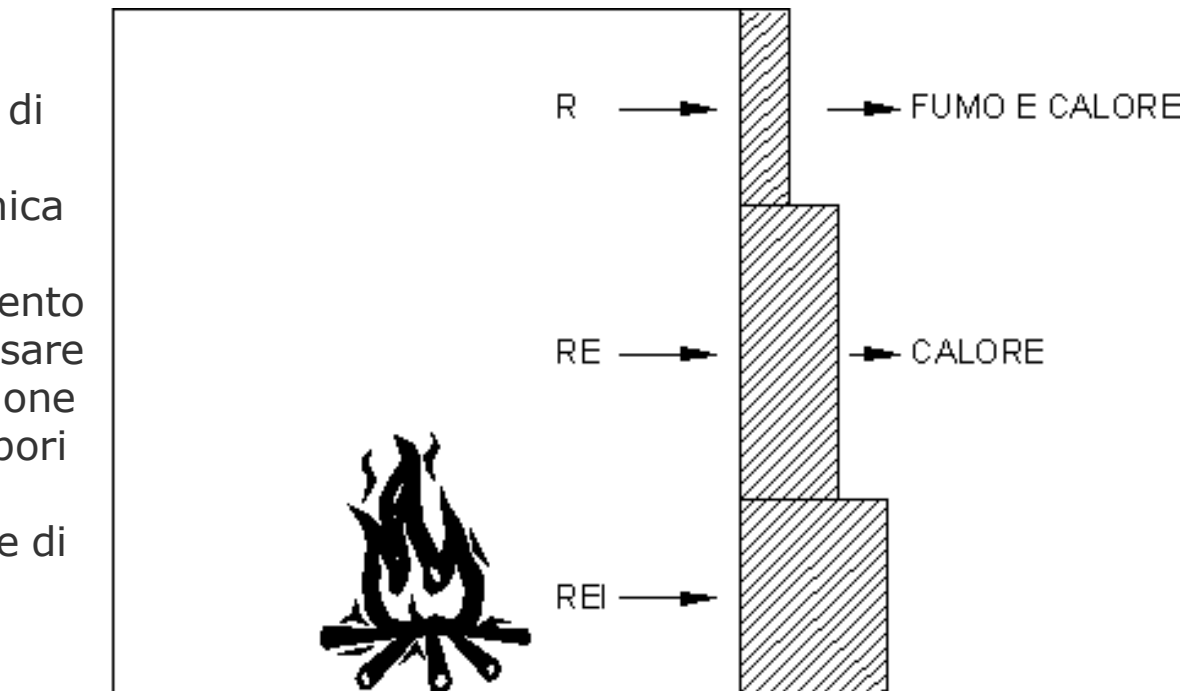
Capacità di compartimentazione in caso d'incendio

- **Attitudine di un elemento costruttivo a conservare, sotto l'azione del fuoco, oltre alla propria stabilità, un sufficiente isolamento termico ed una sufficiente tenuta ai fumi e ai gas caldi della combustione, nonché tutte le altre prestazioni se richieste**

Capacità portante (R) attitudine di un elemento da costruzione a conservare la resistenza meccanica sotto l'azione del fuoco

Tenuta (E) attitudine di un elemento da costruzione a non lasciar passare né produrre se sottoposto all'azione del fuoco su un lato fiamme, vapori o gas caldi sul lato non esposto.

Isolamento termico (I) attitudine di un elemento da costruzione a ridurre, entro un dato limite, la trasmissione del calore





Classe del compartimento attività normate

ATTENZIONE Nel caso di attività dotate di specifico regolamento di p.i. la classe del compartimento è definita dal legislatore.

Attività	Norma	Classe	Note
SCUOLE	D.M. 26 agosto 1992	60	Con altezza antincendio ¹⁷ fino a 24 m
ALBERGHI	D.M. 9 aprile 1994	60	Strutture con capacità ricettiva oltre 25 posti ed altezza antincendio fino a 24 m
OSPEDALI	D.M. 18 settembre 2002	90	Strutture nuove con altezza antincendio fino a 24 m
		120	Strutture nuove con altezza antincendio sup. a 24 m
TEATRI	D.M. 19 agosto 1996	60	Con altezza antincendio fino a 12 m
AUTORIMESSE	D.M. 1 febbraio 1986	90	Con più di 9 autoveicoli
IMPIANTI TERMICI A GAS	D.M. 12 aprile 1996	120	Per la produzione centralizzata di acqua calda, acqua surriscaldata e/o vapore con potenzialità superiore a 116 Kw
UFFICI	D.M. 22 febbraio 2006	30	Fino a 500 presenze (per i piani fuori terra)

¹⁷ Altezza massima misurata dal livello inferiore dell'apertura più alta dell'ultimo piano abitabile e/o agibile, escluse quelle dei vani tecnici, al livello del piano esterno più basso (D.M. 30/11/1983 "Termini, definizioni generali e simboli grafici di prevenzione incendi")

17



Classificazione di resistenza al fuoco

- Le prestazioni di resistenza al fuoco dei prodotti e degli elementi costruttivi possono essere determinate in base ai risultati di:
 - a) prove
 - b) calcoli
 - c) confronti con tabelle
- L'uso delle tabelle è strettamente limitato alla classificazione di elementi costruttivi per i quali è richiesta la resistenza al fuoco nei confronti della curva temperatura-tempo standard e delle altre azioni meccaniche previste in caso di incendio



Classe di capacità portante

Metodo analitico:

determinazione del tempo d'esposizione all'incendio standard considerato equivalente all'incendio reale che può interessare il compartimento – caratteristiche termofisiche delle superfici di chiusura, ventilazione.

Metodo semplificato:

tabella di correlazione tra carico d'incendio specifico di progetto e classe di capacità portante.



Metodo semplificato

In funzione del carico d'incendio specifico di progetto q_d , la classe di capacità portante è fornita da una tabella (classe di riferimento)

I valori del carico d'incendio e delle caratteristiche del compartimento adottati per l'applicazione del metodo costituiscono un vincolo d'esercizio per le attività da svolgere all'interno della costruzione



Metodo semplificato

I metodi tabellari consentono di procedere con speditezza, forniscono risultati sempre accettabili e quindi sono spesso affetti da una certa sovrastima. Un minor lavoro d'analisi è compensato da un esito cautelativo



Classificazione di resistenza al fuoco

Esempio: Murature non portanti di blocchi

Valori minimi (mm) dello spessore s di murature di blocchi di laterizio (escluso l'intonaco) sufficienti a garantire i requisiti EI per le classi indicate esposte su un lato che rispettano le seguenti limitazioni:

- altezza della parete fra i due solai o distanza fra due elementi di irrigidimento con equivalente funzione di vincolo dei solai non superiore a 4 m
- presenza di 10 mm di intonaco su ambedue le facce ovvero 20 mm sulla sola faccia esposta al fuoco

Classe	Blocco con percentuale di foratura > 55 %		Blocco con percentuale di foratura < 55 %	
	Intonaco normale	Intonaco protettivo antincendio	Intonaco normale	Intonaco protettivo antincendio
30	$s = 120$	80	100	80
60	$s = 150$	100	120	80
90	$s = 180$	120	150	100
120	$s = 200$	150	180	120
180	$s = 250$	180	200	150
240	$s = 300$	200	250	180

intonaco normale: intonaco tipo sabbia e cemento, sabbia cemento e calce, sabbia calce e gesso e simili caratterizzato da una massa volumica compresa tra 1000 e 1400 kg/m³

Intonaco protettivo antincendio: Intonaco tipo gesso, vermiculite o argilla espansa e cemento o gesso, perlite e gesso e simili caratterizzato da una massa volumica compresa tra 600 e 1000 kg/m³



Compartimentazione

E' una delle protezioni passive più diffuse.

- **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 di compartimentazione
 - ✓ **Superficie lorda di un compartimento** Superficie in pianta compresa entro il perimetro interno delle pareti delimitanti il compartimento
 - ✓ Gli **obiettivi** della compartimentazione sono:
 1. Garantire la resistenza meccanica delle strutture
 2. Impedire la propagazione di fuoco, fumo e calore
 - ✓ Tra le **tecniche di compartimentazione**, la migliore è quella che prevede la separazione fisica dei locali mediante aria (caratterizzata da bassa impedenza chimica)



Livelli di prestazioni e classi

Classi di resistenza al fuoco (D.M. 16/02/2007)			
Livelli prestazionali	Note	Carico d'incendio specifico di progetto [MJ/mq]	Classe minima di Resistenza al fuoco
I	Non è ammesso per costruzioni che ricadono nel campo di applicazione del D.M. 16/02/2007	Non specificato	Non sono indicati requisiti specifici di resistenza al fuoco in quanto il rischio di incendio è trascurabile
II	- Esodo di sicurezza degli occupanti - Assenza di danni da crolli totali o parziali ad altre costruzioni - Non è compromessa efficacia dei sistemi compartimentazione - Densità di affollamento media ≤ 0.2 prs./mq - Affollamento max 100 persone - Non sono previsti posti letto e attività specifiche per anziani/bambini.	Non specificato	R 30 Per costruzioni ad un piano fuori terra senza interrati
			R 60 Per costruzioni fino a due piani fuori terra e un interrato
			Sono consentite classi inferiori a R30 e R60 se compatibili con il livello III di prestazione



Livelli di prestazioni e classi

III	Valido per tutte le costruzioni fatte salve quelle appartenenti al livello IV e V	≤ 100	R 0
		≤ 200	R 15
		≤ 300	R 20
		≤ 450	R 30
		≤ 600	R 45
		≤ 900	R 60
		≤ 1200	R 90
		≤ 1800	R 120
		≤ 2400	R 180
		> 2400	R 240
IV	• Specifiche richieste del committente • Richieste in capitolati tecnici di progetto • Richieste dalla autorità per le costruzioni destinate ad attività di particolare importanza	• Capacità portante mantenuta per tutta la durata dell'incendio • Regime deformativo contenuto • Capacità portante residua che consenta interventi di ripristino	
V	• Specifiche richieste del committente • Richieste in capitolati tecnici di progetto • Richieste dalla autorità per le costruzioni destinate ad attività di particolare importanza	• Capacità portante mantenuta per tutta la durata dell'incendio • Regime deformativo trascurabile • Capacità portante residua adeguata alla funzionalità immediata della costruzione	

Carico d'incendio in presenza di strutture lignee





Normativa previgente

Nel caso degli edifici contenenti strutture di legno nella determinazione del carico di incendio bisogna tener conto anche della presenza delle strutture di legno le quali si sommano agli altri materiali combustibili non strutturali.

Il carico di incendio totale dei locali a struttura portante di legno nella precedente normativa (D.M. 6/3/86 "Calcolo del carico di incendio per locali aventi strutture portanti in legno") - **che è stata abrogata** - veniva così determinato:

$$q = Q + 12,5 \times \frac{S}{A}$$

dove:

- q carico di incendio totale;
- Q carico di incendio dei materiali combustibili contenuti nel locale, escluse le strutture portanti di legno (kg/m^2) calcolato nella maniera classica;
- S è la superficie esposta al fuoco delle strutture portanti di legno (m^2);
- A è la superficie orizzontale del locale.

Carico d'incendio in presenza di strutture lignee

Caratteristiche all'incendio:

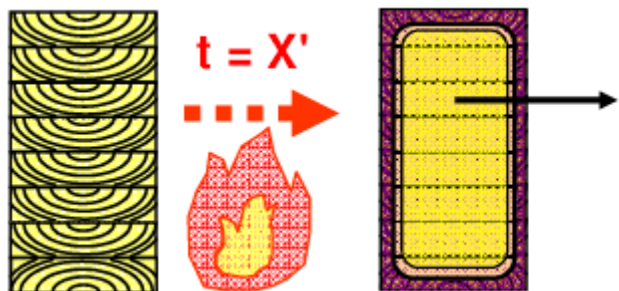
- Materiale combustibile: durante l'incendio gli elementi strutturali esposti subiscono una riduzione di massa;
- Bassa conducibilità termica: (circa 0.15 W/mK), perciò esso si comporta come un buon isolante termico.

Meccanismo della combustione del legno:

1° stadio: riscaldamento con conseguente perdita d'acqua;

2° stadio: il riscaldamento provoca la decomposizione del legno con liberazione di sostanze volatili, che mescolandosi con l'aria, danno luogo a miscele combustibili. La temperatura d'ignizione può assumere valori di 200- 300 °C;

3° stadio: combustione della parte solida, per lo più frazione carboniosa, la combustione procede verso l'interno con velocità finita, chiamata "velocità di penetrazione della carbonizzazione".



Durante l'incendio esiste una sezione residua interna a temperature inferiori a 100 °C e quindi efficace

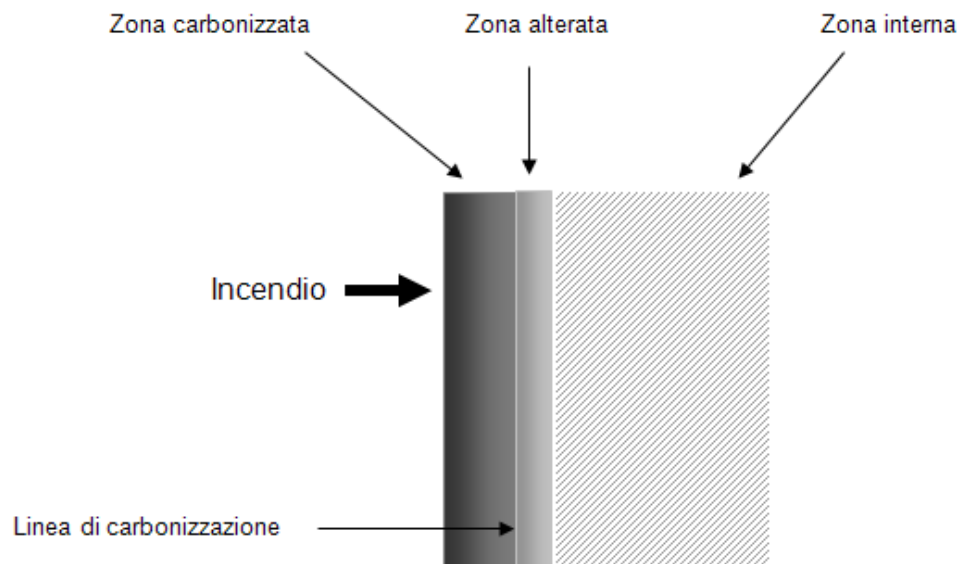
Carico d'incendio in presenza di strutture lignee

Durante la combustione si possono distinguere tre zone all'interno della sezione:

Zona Carbonizzata: situata all'esterno della sezione, in essa non si considera più alcuna caratteristica di resistenza;

Zona Alterata: strato intermedio dello spessore di alcuni millimetri, in cui le caratteristiche meccaniche sono degradate;

Zona Interna: parte della sezione non ancora investita dal fuoco, in tale zona le caratteristiche meccaniche sono pressoché inalterate.





Carico d'incendio in presenza di strutture lignee

Lettera circolare prot. n. P414/4122 del 28/3/08

- Il DM 9 marzo 2007 non affronta la questione degli elementi strutturali in legno.
- Lo scopo del calcolo di q_f è quello di determinare la classe del compartimento in base alla quale verificare successivamente la resistenza al fuoco degli stessi elementi strutturali lignei. Pertanto si ritiene ragionevole che il contributo degli elementi strutturali di legno sia considerato secondo il seguente procedimento:
 - 1. determinare la classe prescindendo dalla presenza degli elementi strutturali lignei;
 - 2. calcolare lo spessore di carbonizzazione degli elementi lignei corrispondente alla classe determinata, adottando come valori di riferimento della velocità di carbonizzazione, quelli contenuti nella norma EN 1995-1-2 «Progettazione delle strutture di legno – Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio»;
 - 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.
- Lettera circolare prot. n. P414/4122 del 28/3/08



Carico d'incendio in presenza di strutture lignee

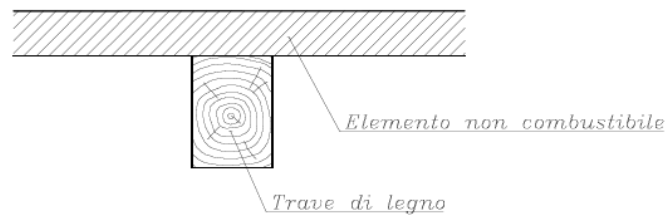
Valutazione con la CNR_DT206_2007

Si definiscono i seguenti termini che nel seguito saranno utilizzati, con riferimento alla sezione trasversale di un generico elemento di legno:

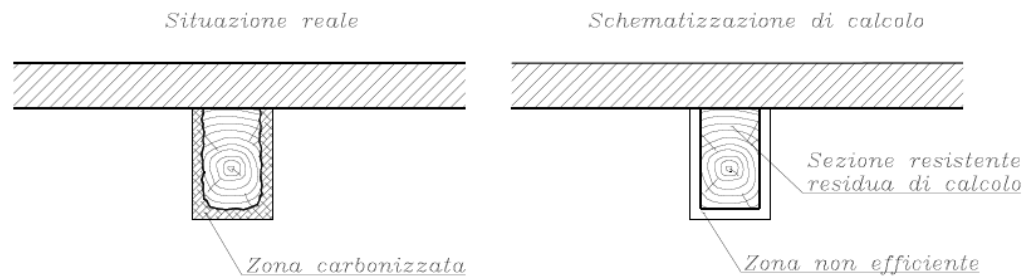
- **linea di carbonizzazione**: confine tra strato carbonizzato e sezione trasversale residua;
- **sezione trasversale residua**: sezione trasversale originaria ridotta dello strato carbonizzato;
- **sezione trasversale efficace**: sezione trasversale originaria ridotta dello strato carbonizzato e di un successivo strato in cui si considerano nulli i valori di resistenza e di rigidezza.

Schematizzazione di calcolo

Situazione iniziale



Dopo R minuti di incendio



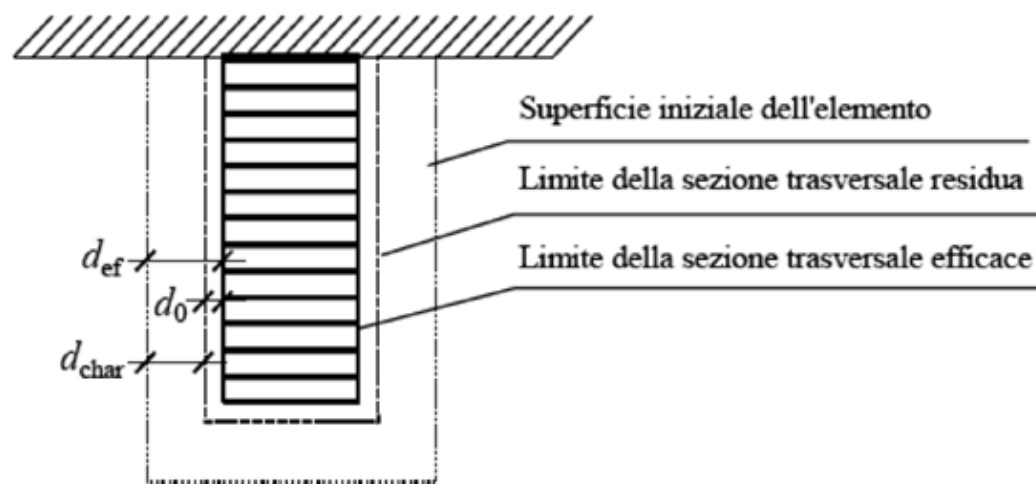
Profondità di carbonizzazione

Per il singolo elemento ligneo esposto al fuoco, in assenza di valutazioni più rigorose, si può fare riferimento al calcolo della cosiddetta “sezione efficace” in corrispondenza del tempo richiesto di resistenza al fuoco.

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 \cdot d_0$$

dove:

- d_{ef} è la profondità di carbonizzazione;
- $d_{char} = \beta_0 \cdot t$;
- β_0 è la velocità di carbonizzazione ideale, convenientemente superiore a quella effettiva, per includere gli effetti (negativi) di fessurazioni e arrotondamento degli spigoli della sezione;
- k_0 è il coefficiente dipendente dal tempo t , variabile linearmente tra 0 (in corrispondenza del tempo $t=0$) e 1 (in corrispondenza del tempo $t=20$ minuti), ed assunto costante e pari ad 1 per $t > 20$ minuti;
- $d_0 = 7\text{mm}$.





Velocità di carbonizzazione β_0

Per quanto riguarda la velocità di carbonizzazione, in mancanza di valutazioni sperimentali dirette effettuate in accordo alle pertinenti normative CEN, si può fare riferimento a quanto riportato nella seguente Tabella (EN 1995-1-2)

Tabella 12.1–Velocità di carbonizzazione β_0

Materiale	β_0 [mm/minuto]
a) Conifere e faggio	
Legno massiccio con massa volumica caratteristica non inferiore a 290 kg/m^3	0.8
Legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica non inferiore a 290 kg/m^3	0.7
b) Latifoglie	
Legno massiccio o legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica non inferiore a 290 kg/m^3	0.7
Legno massiccio o legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica non inferiore a 450 kg/m^3	0.55
c) LVL	
con massa volumica caratteristica non inferiore a 480 kg/m^3	0.7

LVL = (Laminate Veneer Lumber)

Presenza di smussi

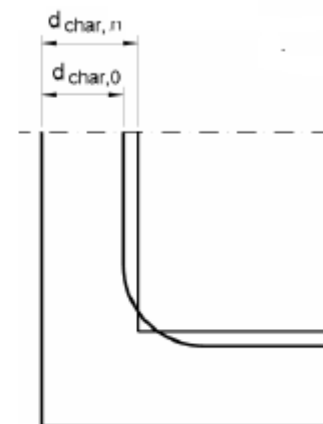
$$d_{\text{char}} = \beta_n \cdot t$$

→ Non si considerano gli "smussi"

$$d_{\text{char}} = \beta_0 \cdot t$$

→ Si considerano gli "smussi"

$$\beta_0 < \beta_n$$





Velocità di carbonizzazione β_n

Tabella 7.7 Valori di β_0 e β_n per il legno e materiali derivati

ripreso da EN 1995-1-2

Materiale	β_0 (mm/min)	β_n (mm/min)
a) Conifere e faggio		
Legno massiccio con massa volumica caratteristica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,80
Legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,70
b) Latifoglie		
Legno massiccio o lamellare con massa volumica caratteristica di 290 kg/m^3	0,65	0,70
Legno massiccio o lamellare con massa volumica caratteristica $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
c) LVL con massa volumica caratteristica $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,70
d) Pannelli di legno		
pannellature di legno	0,90*	—
compensato	1,00*	—
pannelli derivati da legno (non compensato)	0,90*	—

* Questi valori si applicano a pannelli con massa volumica caratteristica di 450 kg/m^3 e spessore pari a 20 mm: la norma fornisce i metodi per derivare i valori per altri casi.



Carico d'incendio in presenza di strutture lignee

La formula del carico d'incendio pertanto diventa:

$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^n g_i H_i m_i \Psi_i + \sum_{l=1}^n g_l \cdot 17,5 \cdot 0,8}{A}$$

dove:

g_i = massa del legno che partecipa alla combustione (kg).

17,5 MJ/kg = potere calorifero del legno.

0,8 = fattore di partecipazione alla combustione del legno.

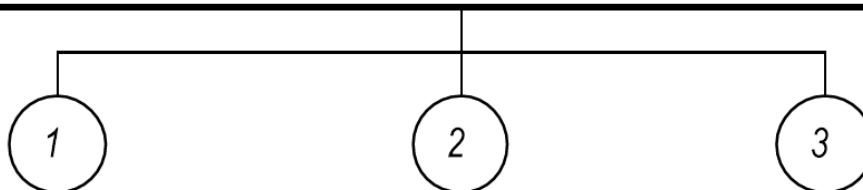
ClaRaf



Gratuito dal sito istituzionale del C.N.VV.F. www.vigilfuoco.it

ClaRaf modi di calcolo

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

ClaRaf modo di calcolo I

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



ClaRaf modo di calcolo 2

Carico di incendio in funzione del materiale e dell'arredo

Claraf – Software Min. Int. per la classificazione di resistenza al fuoco delle costruzioni secondo D.M. 9 marzo 2007

Materiale	qf (MJ/kg)	Arredo	qf (MJ/pezzo)
ABS (plastica)	36	Apparecchio radio	84
Alcool etilico	30	Armadio a classificatore (compreso il contenuto)	2009
Asfalto	40	Armadio a muro a 2 ante (contenuto incluso)	1340
Benzina	45	Armadio per abiti a 2 ante (contenuto incluso)	1674
Bitume	40	Banco da falegname	837
Butano	50	Banco da lavoro in legno	2009
Carbone	30	Banco di magazzino (per metro quadro)	1005
Carta, Cartone	20	Biblioteca (compreso il contenuto per metro quadro di superficie)	837
Cotone	20	Casellario per archivio (per metro quadro compreso il contenuto)	2009
Cuoio, Pelle	20	Cassettone	1005
Etano	50	Comodino da notte (compreso il contenuto)	168
Etilene	45	Credenza	1172
Gasolio	45	Credenza per alimenti	418
Lana	20	Divano	837
Legno	17,5	Letto (compreso materasso, lenzuola, cuscino, coperte, etc.)	1080
Linoleum	20	Pianoforte	2846
Metano	50	Poltrone	335
Petrolio	45	Scaffale in legno (per metro quadro di superficie frontale)	418
Poliestere (plastica)	30	Scrivania in metallo	837
Polistirene	40	Scrivania grande (a due serie di cassetti)	2177
Poliuretani	25	Scrivania piccola (ad una serie di cassetti)	1172
Propano	50	Sedia da cucina	59
Propilene	45	Sedia non imbottita	67
PVC	20	Tappeto (per metro quadro)	47
Seta	20	Tavolo medio	418
Sughero	20	Tende (per metro quadro di superficie della finestra)	23

Carico di incendio in funzione del materiale dell'attività

Claraf – Software Min. Int. per la classificazione di resistenza al fuoco delle costruzioni secondo D.M. 9 marzo 2007

Tipologia di attività	qf [MJ/m²]
Abitazioni	780
Alberghi	310
Alluminio, trattamento del	200
Archivio documenti	4200
Articoli in cuoio, fabbrica di	500
Asilo nido	400
Automobili, officina	300
Autorimessa interrata privata	200
Bar	400
Biblioteca	1500
Bitume, preparazione	800
Burro, fabbrica di	700
Carbone, deposito	2500
Carbone, deposito interrato	10500
Carta catramata, fabbrica di	1700
Carta, fabbrica di	200
Carta, interrimento della	800
Caseificio	200
Cemento, fabbrica di	1000
Centrale elettrica	600
Centrale termica, a legna o carbone	300
Centro commerciale	600
Chiese	200
Chimici, impianti - stima di massima	300
Cinematografi	300
Colla, fabbrica di	1000
Cotone, fabbrica di	1200
Cuoio artificiale	1000
Dentista, ufficio	200
Elettrico, deposito di materiale (altezza < 3 m)	1200
Esplosivi, industria degli	4000
Falegnameria, bancone da lavoro	700

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

Farina, prodotti a base di	800
Farmacia (magazzino incluso)	800
Fiammiferi, produzione di	300
Formaggio, fabbrica	120
Frigoriferi, fabbrica di	1000
Gomma, oggetti in - fabbrica di	600
Latte in polvere, fabbrica di	200
Lavatrici, fabbrica di	300
Legno, impianto di conservazione	3000
Libreria (rivendita di libri)	1000
Musei	300
Nucleare, ricerca	2100
Ospedale	230
Pellicceria	500
Plastica, fabbrica di	2000
Ristorante	300
Sala congressi	600
Scuola	285
Seta naturale, filatura	300
Sigarette, impianto	3000
Spedizione generi alimentari	1000
Sughero, fabbrica di prodotti in	500
Tabaccheria	500
Teatri	500
Tendaggi, fabbrica di	300
Tipografia, ufficio	1000
Ufficio	420
Vernici e lucidi, fabbrica di	4200



ClaRaf modo di calcolo 3

3 Con riferimento ai materiali

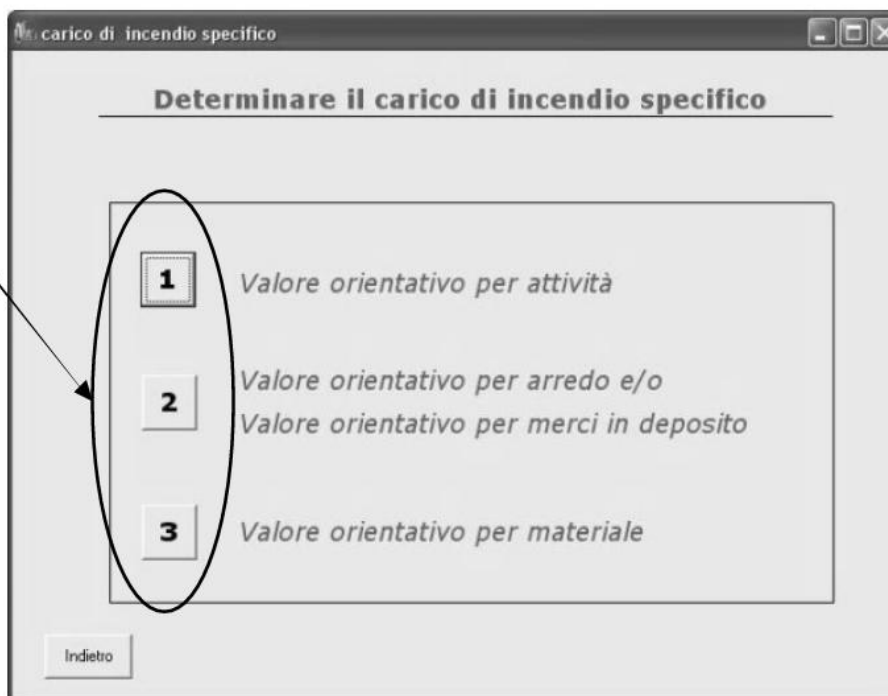
$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i}{A} \quad [\text{MJ/m}^2]$$

g_i	massa dell'i-esimo materiale combustibile [kg]
H_i	potere calorifico inferiore dell'i-esimo materiale combustibile [KJ/kg] 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'i-esimo materiale combustibile pari a 0,80 per il legno e altri materiali di natura cellulosica 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		Net calorific values H_c [MJ/kg]
Wood		17,5
Other cellulosic materials		20
- Clothes - Cork - Cotton - Paper, cardboard - Silk - Straw - Wool		
Carbon		30
- Anthracite - Charcoal - Coal		
Chemicals		
Paraffin series		50
- Methane - Ethane - Propane - Butane		
Olefin series		45
- Ethylene - Propylene - Butene		
Aromatic series		40
- Benzene - Toluene		
Alcohols		30
- Methanol - Ethanol - Ethyl alcohol		
Fuels		45
- Gasoline, petroleum - Diesel		
Pure hydrocarbons plastics		40
- Polyethylene - Polystyrene - Polypropylene		
Other products		
ABS (plastic)		35
Polyester (plastic)		30
Polyisocyanurate 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.		

Caratteristiche principali

Tre modalità alternative di determinazione del carico d'incendio specifico (q_f) – come specificato nell'Allegato al DM 9 marzo 2007



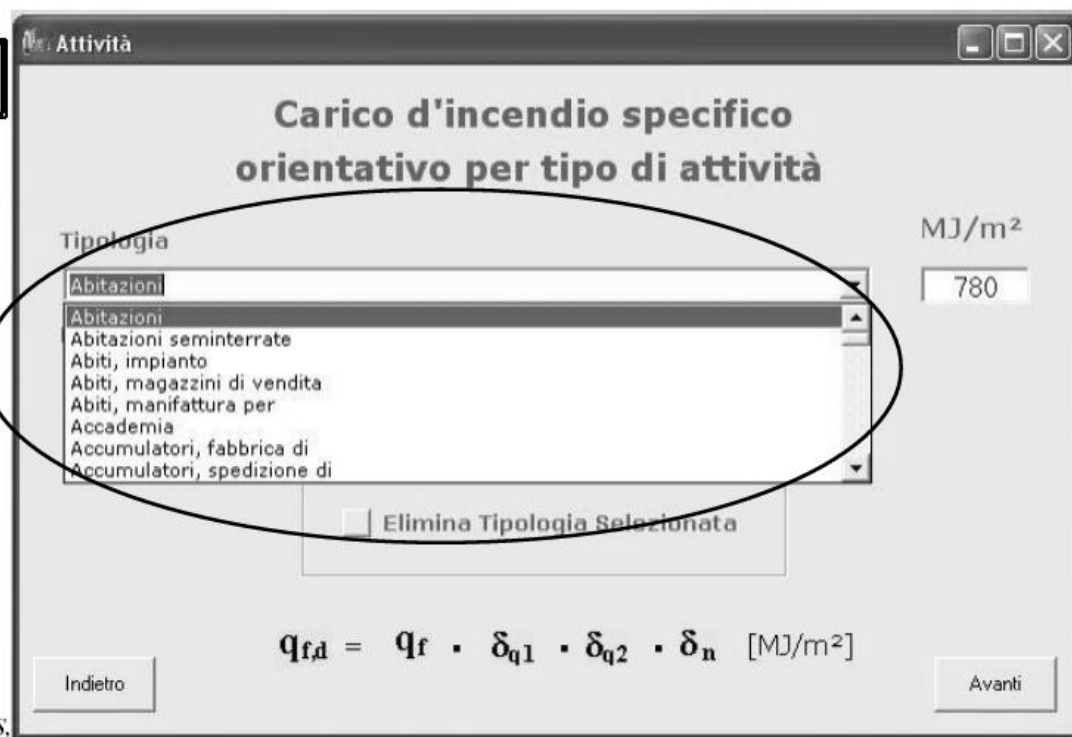
The screenshot shows a software window titled "carico di incendio specifico". Inside, there is a section titled "Determinare il carico di incendio specifico". Below this title, there are three numbered options, each with a corresponding description:

- 1 Valore orientativo per attività
- 2 Valore orientativo per arredo e/o
Valore orientativo per merci in deposito
- 3 Valore orientativo per materiale

An arrow points from the text box on the left to the number 2. At the bottom left of the window, there is a button labeled "Indietro".

Carico d'incendio specifico per tipo di attività

Database di attività



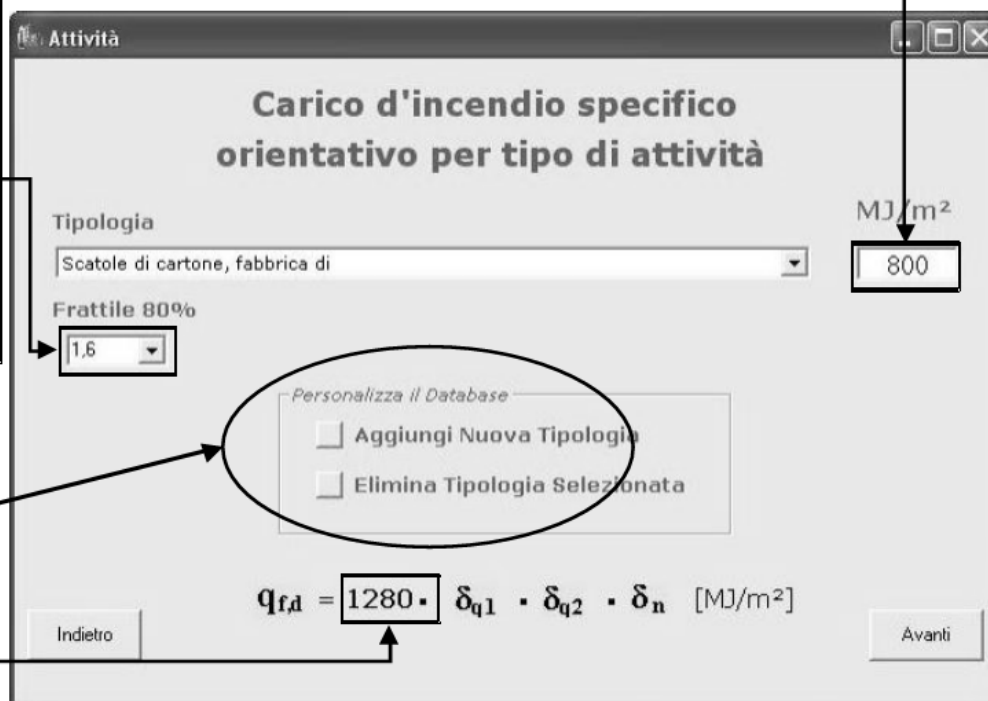
The screenshot shows a software window titled "Attività". Inside, the main heading is "Carico d'incendio specifico orientativo per tipo di attività". Below this, there is a section labeled "Tipologia" which contains a list box. The list box has "Abitazioni" selected at the top, and a scrollable list below it containing: "Abitazioni", "Abitazioni seminterrate", "Abiti, impianto", "Abiti, magazzini di vendita", "Abiti, manifattura per", "Accademia", "Accumulatori, fabbrica di", and "Accumulatori, spedizione di". To the right of the list box, the unit "MJ/m²" is displayed above a text box containing the value "780". Below the list box is a checkbox labeled "Elimina Tipologia Selezionata". At the bottom of the window, the formula $q_{f,d} = q_f \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n$ [MJ/m²] is shown. There are two buttons at the bottom: "Indietro" on the left and "Avanti" on the right.

Fonte: *Structural Design for Fire Safety*, Andrew H. Buchanan, John Wiley & Sons, LTD

Carico d'incendio specifico per tipo di attività

Il valore di q_f (medio) riportato in letteratura viene moltiplicato per un fattore compreso tra 1,25 e 1,75 in modo da ottenere il valore al frattile 80%

Possibilità di personalizzare il Database



Attività

Carico d'incendio specifico orientativo per tipo di attività

Tipologia
Scatole di cartone, fabbrica di

Frattile 80%
1,6

MJ/m²
800

Personalizza il Database

☐ Aggiungi Nuova Tipologia

☐ Elimina Tipologia Selezionata

$q_{fd} = 1280 \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n [MJ/m^2]$

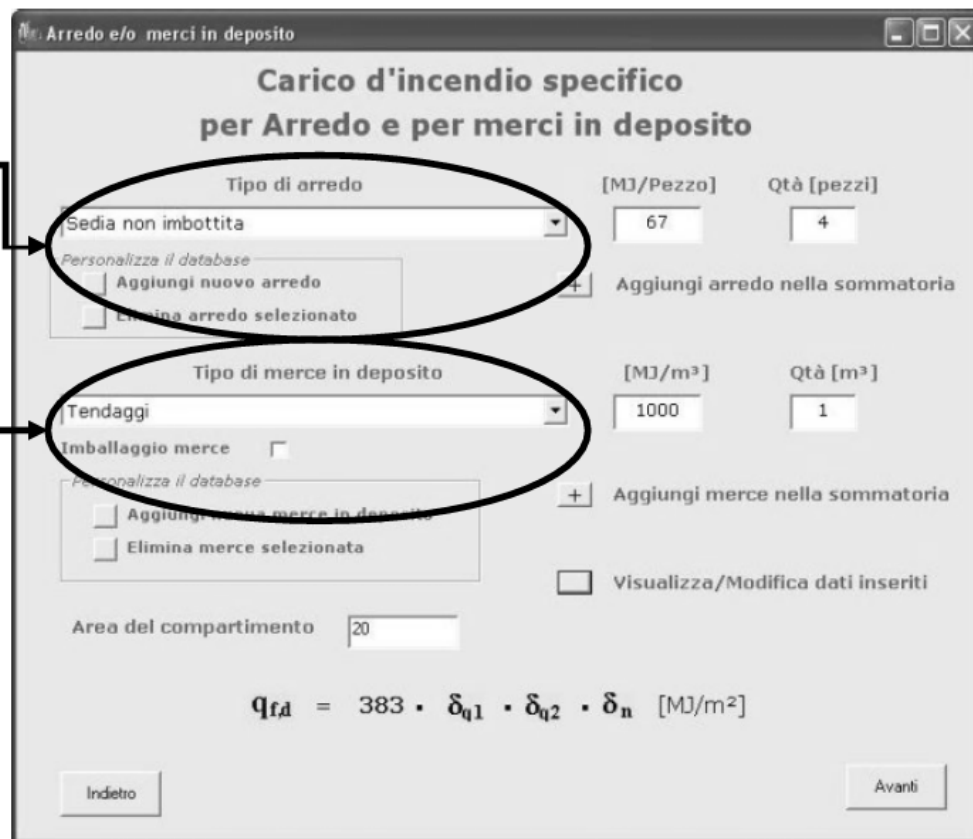
Indietro Avanti

Carico d'incendio specifico per arredo e per merci

Database di arredi e merci in deposito personalizzabile

Fonti:

- 1) *Structural Design for Fire Safety*, Andrew H. Buchanan, John Wiley & Sons, LTD
- 2) *Comportamento al fuoco dei materiali, dei componenti costruttivi e degli arredi*, ANIA (Associazione Italiana fra le Imprese Assicuratrici), Edizione 1986



Arredo e/o merci in deposito

Carico d'incendio specifico per Arredo e per merci in deposito

Tipo di arredo [MJ/Pezzo] Qtà [pezzi]

Sedia non imbottita 67 4

Personalizza il database

Aggiungi nuovo arredo

Elimina arredo selezionato

Aggiungi arredo nella sommatoria

Tipo di merce in deposito [MJ/m³] Qtà [m³]

Tendaggi 1000 1

Personalizza il database

Aggiungi nuova merce in deposito

Elimina merce selezionata

Aggiungi merce nella sommatoria

Visualizza/Modifica dati inseriti

Area del compartimento 20

$$q_{fd} = 383 \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \text{ [MJ/m}^2\text{]}$$

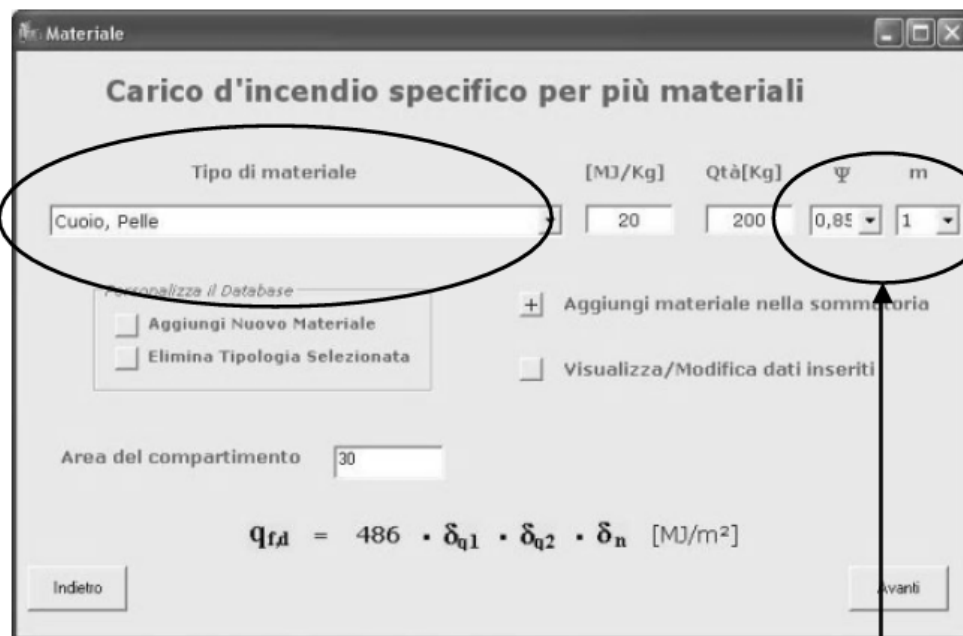
Indietro Avanti

Carico d'incendio specifico per materiale

Database di materiali personalizzabile.

Fonte:
Eurocodice EN 1991-1-2

Coefficienti di partecipazione o protezione alla combustione



Carico d'incendio specifico per più materiali

Tipo di materiale	[MJ/Kg]	Qtà[Kg]	Ψ	m
Cuoio, Pelle	20	200	0,85	1

Personalizza il Database

☐ Aggiungi Nuovo Materiale
☐ Elimina Tipologia Selezionata

☐ Visualizza/Modifica dati inseriti

Area del compartimento: 30

$q_{td} = 486 \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \text{ [MJ/m}^2\text{]}$

Indietro Avanti

Fattore di rischio δ_{q1}

La formula viene aggiornata in tempo reale in base all'intervallo selezionato

Fattore Rischio 1

Fattore di rischio di incendio in relazione alla dimensione del Compartimento

Superficie in pianta del Compartimento (mq) δ_{q1}

- ☐ da 0 a 500
- ☒ da 500 a 1000
- ☐ da 1000 a 2.500
- ☐ da 2.500 a 5.000
- ☐ da 5.000 a 10.000
- ☐ oltre 10.000

$q_{rd} = 1280 \cdot 1,2 \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n$ [MJ/m²]

Indietro Avanti

Negli approcci 2 e 3, il corretto valore di δ_{q1} viene selezionato automaticamente

Fattore di rischio δ_{q2}

Richiamo alle
definizioni date nel
DM 9 marzo 2007

La formula viene
aggiornata in tempo
reale in base alla
classe selezionata

Fattore Rischio 2

Fattore di rischio di incendio in relazione al tipo di attività svolta

Classe di Rischio 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
- II ☐ Aree che presentano un moderato rischio di incendio come probabilità di innesco, velocità di propagazione di un incendio e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza
- III ☒ Aree che presentano un alto rischio di incendio in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza

$$q_{fd} = 1280 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot \delta_n \text{ [MJ/m}^2\text{]}$$

Indietro Avanti

Fattore di protezione δ_n

Fattore di Protezione

Fattore di protezione in relazione alle misure antincendio adottate

δ_{n1}	Sistemi automatici di estinzione ad acqua	☒
δ_{n2}	Sistemi automatici di estinzione ad altro estinguento	☐
δ_{n3}	Sistemi di evacuazione automatica di fumo e calore	☐
δ_{n4}	Sistemi automatici di rilevazione, segnalazione e allarme di incendio	☒
δ_{n5}	Squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio	☐
δ_{n6}	Rete idrica antincendio interna	☒
δ_{n7}	Rete idrica antincendio interna e esterna	☐
δ_{n8}	Percorsi protetti di accesso	☐
δ_{n9}	Accessibilità ai mezzi di soccorso VV.F.	☐

$q_{fa} = 1280 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot \mathbf{0,46} \text{ [MJ/m}^2\text{]}$

Indietro Avanti

$$\delta_n = \prod_i \delta_{ni}$$

viene calcolato selezionando le caselle relative alle misure antincendio adottate

Il risultato viene mostrato nella formula



Calcolo e classificazione

Al termine della procedura di immissione dei dati, il programma fornisce la classe di riferimento e la classe minima per il livello di prestazione III

A screenshot of a software window titled "Totale" with standard Windows window controls. The window displays the title "Carico di incendio specifico di progetto" in bold. Below this, a calculation is shown: $q_{f,d} = 1280 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 0,46 = 847,87$ [MJ/m²]. The result "847,87" is bolded. Below the calculation, two lines of text provide classification results: "Classe di riferimento per il livello di prestazione III = 60" and "Classe minima per il livello di prestazione III = 30". The numbers "60" and "30" are bolded. At the bottom left is a button labeled "Indietro" and at the bottom right is a button labeled "Anteprima stampa relazione".

Carico di incendio specifico di progetto

$$q_{f,d} = 1280 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 0,46 = \mathbf{847,87} \quad [\text{MJ/m}^2]$$

Classe di riferimento per il livello di prestazione III = **60**

Classe minima per il livello di prestazione III = **30**

Indietro Anteprima stampa relazione

Stampa rapporto

In funzione dell'approccio seguito per il calcolo del carico d'incendio specifico vengono visualizzati tre diversi prospetti riepilogativi stampabili suddivisi in sezioni:

• Carico d'incendio specifico (q_f)

• Fattore di rischio δ_{q1}

• Fattore di rischio δ_{q2}

• Fattori di protezione δ_{ni}

• Carico d'incendio specifico di progetto (q_{fd}) e classi

Stampa rapporto per attività

Classificazione di resistenza al fuoco delle costruzioni

decreto del Ministero dell'interno 9 marzo 2007

Indietro Nuova analisi Stampa

Valore orientativo del carico d'incendio specifico di progetto per attività

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

Carico d'incendio specifico	
Tipologia di attività:	Scatole di cartone, fabbrica di
Carico d'incendio specifico:	800 $[\text{MJ/m}^2]$
Cratere 80%	1.6
$q_f = 1280 \quad [\text{MJ/m}^2]$	

Fattore di rischio in relazione alla dimensione del compartimento	
Superficie:	da 500 a 1000 $[\text{m}^2]$
$\delta_{q1} = 1.2$	

Fattore di rischio in relazione al tipo di attività svolta	
Classe di rischio: III	Aree che presentano un alto rischio di incendio in termini di probabilità di innescio, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza
$\delta_{q2} = 1.2$	

Fattore di protezione	
Sistemi automatici di estinzione ad acqua	$\delta_{n1} = 0.6$
Sistemi automatici di estinzione ad altro estinguente	$\delta_{n2} = 1$
Sistemi di evacuazione automatica di fumo e calore	$\delta_{n3} = 1$
Sistemi automatici di rilevazione, segnalazione e allarme di incendio	$\delta_{n4} = 0.85$
Squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio	$\delta_{n5} = 1$
Rete idrica antincendio interna	$\delta_{n6} = 0.9$
Rete idrica antincendio interna e esterna	$\delta_{n7} = 1$
Percorsi protetti di accesso	$\delta_{n8} = 1$
Accessibilità ai mezzi di soccorso VV.F.	$\delta_{n9} = 1$

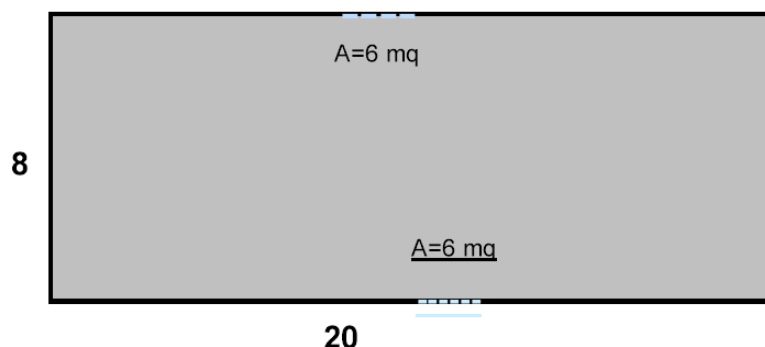
$$q_{fd} = 1280 \cdot 1.2 \cdot 1.2 \cdot 0.46 = 847.87 \quad [\text{MJ/m}^2]$$

Classe di riferimento per il livello di prestazione III = 60

Classe minima per il livello di prestazione III = 30

Esempio

Esempio archivio con deposito > di 50 q.li



DATI

Lunghezza = 20 m.

Larghezza = 8 m.

A= 160 mq

Altezza = 4 m

Areazione = 12 mq

Contenuto= 150 q.li carta

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

$$q_{f,d} = 1 \cdot 1 \cdot 0,55 \cdot q_f$$

$$q_{f,d} = 1500 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,55 = 825 \text{ MJ/m}^2$$

$$q_f = \Sigma (g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i) / A$$

$$q_f = 15000 \cdot 20 \cdot 0,8 \cdot 1/160 = 1500 \text{ MJ/m}^2$$

Sul sito www.vigilfuoco.it è stato pubblicata il 15.11.2011 la versione 2.0 del programma [ClaRaf](#).



Esempio

Valore orientativo del carico d'incendio specifico di progetto per materiali	
$q_{f,d}$	$q_f \cdot \delta_{n1} \cdot \delta_{n2} \cdot \delta_n$ [MJ/m ²]
Carico d'incendio specifico	
Allegato elenco materiali aggiunti nella sommatoria	$q_f = 1500$
	Area compartimento: 160 [m ²]
Fattore di rischio in relazione alla dimensione del compartimento	
Superficie: da 0 a 500 [m ²]	$\delta_{n1} = 1$
Fattore di rischio in relazione al tipo di attività svolta	
Classe di rischio: II	$\delta_{n2} = 1$
Aree che presentano un moderato rischio di incendio come probabilità di innesco, velocità di propagazione di un incendio e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza	
Fattore di protezione	
Sistemi automatico di estinzione ad acqua	$\delta_{n1} = 1$
Sistemi automatico di estinzione ad altro estinguento	$\delta_{n2} = 0,8$
Sistemi di evacuazione automatica di fumo e calore	$\delta_{n3} = 0,9$
Sistemi automatici di rilevazione, segnalazione e allarme di incendio	$\delta_{n4} = 0,85$
Squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio	$\delta_{n5} = 1$
Rete idrica antincendio interna	$\delta_{n6} = 1$
Rete idrica antincendio interna e esterna	$\delta_{n7} = 0,8$
Percorsi protetti di accesso	$\delta_{n8} = 0,9$
Accessibilità ai mezzi di soccorso V.V.F.	$\delta_{n9} = 0,9$
Strutture in legno	
Area della superficie esposta:	0 [m ²]
Velocità di carbonizzazione:	0 mm/min
$q_{f,d} = 1500 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,4 = 600,00$	

Ciaraf – Software Min. Int. per la classificazione di resistenza al fuoco delle costruzione secondo D.M. 9 marzo 2007 – www.vigilfuoco.it



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 relativi alle misure di protezione che si intende modellare



Classificazione di resistenza al fuoco

- Le prestazioni di resistenza al fuoco dei prodotti e degli elementi costruttivi possono essere determinate in base ai risultati di:
 - a) prove (*all. B*)
 - b) calcoli (*all. C*)
 - c) confronti con tabelle (*all. D*)
- L'uso delle tabelle è strettamente limitato alla classificazione di elementi costruttivi per i quali è richiesta la resistenza al fuoco nei confronti della curva temperatura-tempo standard e delle altre azioni meccaniche previste in caso di incendio



Classificazione di resistenza al fuoco

Esempio: Murature non portanti di blocchi

Valori minimi (mm) dello spessore s di murature di blocchi di laterizio (escluso l'intonaco) sufficienti a garantire i requisiti EI per le classi indicate esposte su un lato che rispettano le seguenti limitazioni:

- altezza della parete fra i due solai o distanza fra due elementi di irrigidimento con equivalente funzione di vincolo dei solai non superiore a 4 m
- presenza di 10 mm di intonaco su ambedue le facce ovvero 20 mm sulla sola faccia esposta al fuoco

Classe	Blocco con percentuale di foratura > 55 %		Blocco con percentuale di foratura < 55 %	
	Intonaco normale	Intonaco protettivo antincendio	Intonaco normale	Intonaco protettivo antincendio
30	$s = 120$	80	100	80
60	$s = 150$	100	120	80
90	$s = 180$	120	150	100
120	$s = 200$	150	180	120
180	$s = 250$	180	200	150
240	$s = 300$	200	250	180

intonaco normale: intonaco tipo sabbia e cemento, sabbia cemento e calce, sabbia calce e gesso e simili caratterizzato da una massa volumica compresa tra 1000 e 1400 kg/m³

Intonaco protettivo antincendio: Intonaco tipo gesso, vermiculite o argilla espansa e cemento o gesso, perlite e gesso e simili caratterizzato da una massa volumica compresa tra 600 e 1000 kg/m³

ClaRaf 2.0

<http://www.vigilfuoco.it/aspx/notizia.aspx?codnews=13174>





ClaRaf 2.0 novità

Le novità inserite nella nuova release sono di seguito elencate:

- Compatibilità verso tutti i sistemi operativi della Microsoft compresa l'ultima versione Windows 8 (32 e 64 bit).
- Gestione della stampa con l'aggiunta di Crystal Report.
- Possibilità di memorizzare un progetto, richiamarlo, modificarlo o eliminarlo.
- Personalizzare il progetto con i dati del progettista.



Bibliografia

- Decreto del Ministero dell'Interno 9 marzo 2007: "Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco"
- Lettera Circolare n. 414/4122 sott. 55 del 28 marzo 2008: "DM 9 marzo 2007 – Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del CNVFF Chiarimenti ed indirizzi applicativi".
- UNI EN 1991-1-2: "Basi di calcolo e azioni sulle strutture – Azioni sulle strutture esposte al fuoco"
- Structural Design for Fire Safety, Andrew H. Buchanan, John Wiley & Sons, LTD
- Comportamento al fuoco dei materiali, dei componenti costruttivi e degli arredi, ANIA (Associazione Italiana fra le Imprese Assicuratrici), Edizione 1986