

Fondamenti della prevenzione incendi



Concetto di Incendio

Un **incendio** è una **combustione non controllata** che si sviluppa senza limiti nello spazio e nel tempo, generando calore, fumi e gas tossici, con potenziale pericolo per persone, beni e ambiente.

Caratteristiche fondamentali:

- **Propagazione autonoma:** si autoalimenta grazie al calore prodotto.
- **Espansione incontrollata:** tende a estendersi in assenza di interventi.
- **Pericolosità:** provoca danni termici, strutturali, tossici, economici e ambientali.

Fisica della Combustione

La **combustione** è una reazione chimica esotermica di ossidazione rapida tra una sostanza combustibile e un comburente (di solito l'ossigeno dell'aria), con sviluppo di calore, luce e prodotti di reazione.

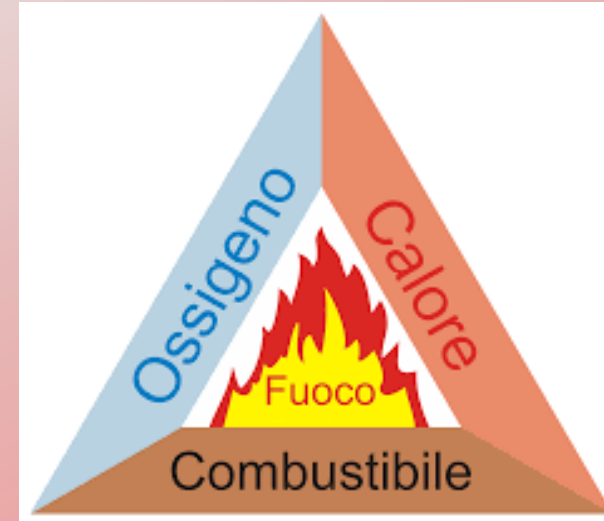
I prodotti della combustione



▲ 3. Il Triangolo e il Tetraedro del Fuoco

Triangolo del Fuoco: Rappresenta i 3 elementi necessari per l'innesco e il mantenimento della combustione:

- **Combustibile** (solido, liquido o gassoso)
- **Comburente** (generalmente ossigeno $\geq 16\%$)
- **Innesco** (fonte di calore sufficiente a raggiungere la temperatura di accensione)



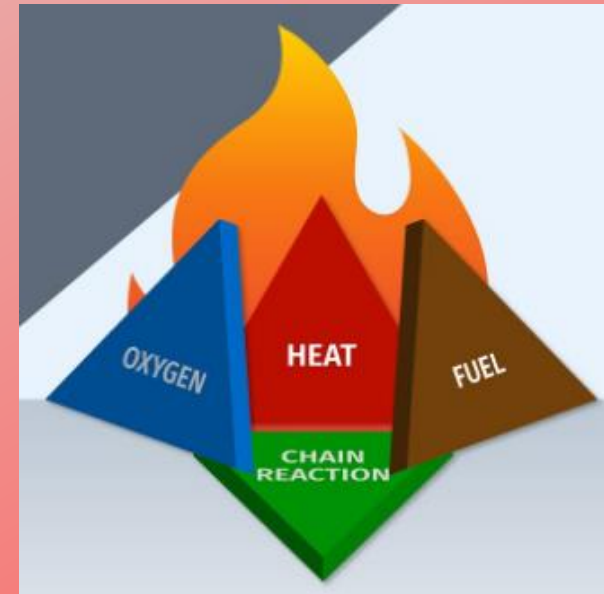
Tetraedro del Fuoco - :

- I tre elementi del triangolo
- Reazione chimica in catena

Aggiunge un quarto elemento:

Reazione a catena (radicali liberi che autoalimentano la combustione)

La **rimozione di uno solo** di questi elementi è sufficiente a **interrompere l'incendio**.



🔥 Concetti di base della combustione

Definizione

La **combustione** è una reazione chimica esotermica tra un combustibile e un comburente (di solito ossigeno), che produce calore, fiamme e gas di combustione.

Requisiti per la combustione

- **Combustibile:** materiale che può bruciare (legno, plastica, carta, idrocarburi, ecc.)
- **Comburente:** generalmente l'ossigeno dell'aria (21%)
- **Innesco:** fonte di calore sufficiente a raggiungere la **temperatura di accensione**

La perdita di materiale

La perdita di materiale è un esito importante della combustione. Evidenzia un processo di pirolisi, tipico della combustione del legno e dei materiali organici ed interessa anche materiali a basso punto di fusione (materiali plastici).

Decomposizione

Molte superfici si decompongono per effetto dell'esposizione al calore. I leganti delle vernici bruciano e scuriscono le superfici dipinte, formando spesso delle bolle. La carta da parati e la superficie cartacea dei pannelli di cartongesso bruciano se riscaldate, così come le superfici viniliche e plastiche in genere di pareti, pavimenti, tavoli, ecc. La valutazione del grado di scolorimento e bruciatura delle superfici consente di individuare le zone di danno.

Disidratazione

Per molti materiali, ed in particolare per i principali utilizzati in edilizia, la rapida disidratazione connessa all'esposizione di calore, determina anche una rapida modifica del materiale stesso. Gli effetti più frequenti sono la frammentazione, scheggiatura, sfarinamento, che dipendono dalla tipologia del materiale e dal livello di disidratazione.

La dilatazione termica e la deformazione dei materiali

Gran parte dei materiali si dilatano per azione del calore, modificando la loro forma in maniera temporanea o permanente.

In alcuni materiali tali effetti sono presenti con maggiore frequenza, in particolare:

- Materiali plastici
- Manufatti con elementi metallici
- Materiali aventi diversi coefficienti di dilatazione (cemento, laterizio armato ecc.) La caratteristica del materiale e la sua deformazione indica la vicinanza a fonti di calore.

Rammollimento e fusione

Sulla base della temperatura di fusione o di rammollimento, l'investigatore può valutare il livello di calore cui è stato sottoposto il materiale ritrovato sullo scenario, quindi individuare delle linee di separazione tra le porzioni fuse (o rammollite) e quelle solide.

Sono i materiali che possono modificare il loro stato fisico anche a basse temperature, ed in particolare i materiali plastici, che offrono un indicatore importante delle temperature in gioco e della distanza dall'epicentro dell'incendio.



Proprietà termiche e di reazione al fuoco

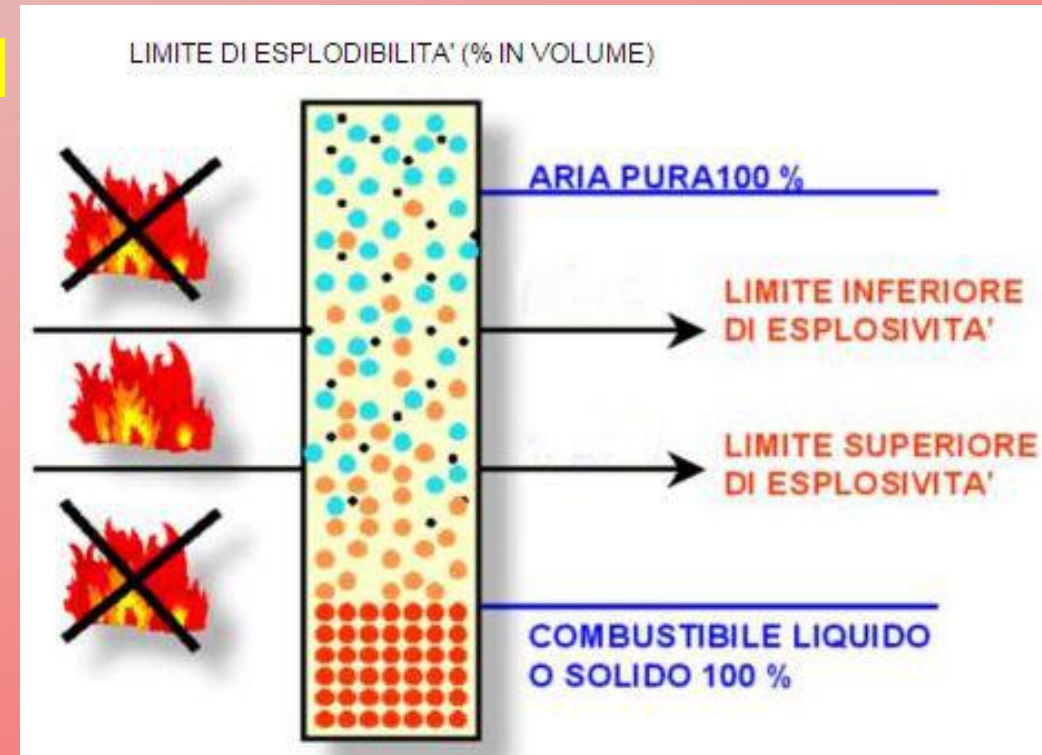
- Temperatura di accensione:** È la temperatura minima alla quale un materiale inizia a bruciare **senza fiamma esterna**.
Esempio: carta $\approx 230^{\circ}\text{C}$, legno $\approx 300^{\circ}\text{C}$
- Calore di combustione:** Quantità di energia rilasciata dalla combustione completa di un'unità di massa del materiale.
Misurato in kJ/kg.
- Propagazione della fiamma:** Velocità con cui la fiamma si propaga sulla superficie di un materiale. Maggiore è la velocità, più pericoloso è il materiale.
- Gocciolamento:** Durante la combustione, alcuni materiali plastici **gocciolano** incendiando ciò che si trova sotto.
- Produzione di fumo e gas tossici** - La combustione può generare:
 - Fumi densi che riducono la visibilità
 - Gas tossici (CO, HCl, HCN...) che causano la maggior parte delle vittime negli incendi

SOSTANZE	Temperatura di accensione ($^{\circ}\text{C}$) <i>valori indicativi</i>
acetone	540
benzina	250
gasolio	220
idrogeno	560
alcool metilico	455
carta	230
legno	220-250
gomma sintetica	300
metano	537

Una reazione di combustione avviene con la presenza contemporanea di un combustibile, di un comburente e di una sorgente di attivazione, "è però necessario che il combustibile ed il comburente siano presenti nelle giuste proporzioni perché, qualora vi sia un eccesso oppure un difetto di combustibile in rapporto al comburente disponibile, la miscela combustibile-comburente potrebbe non infiammarsi".

E dunque per ogni miscela di gas o vapori infiammabili esiste **«un limite superiore ed inferiore di infiammabilità»** che si esprime come percentuale in volume di combustibile nella miscela aria-combustibile, e che rappresentano rispettivamente la concentrazione massima e minima di combustibile nella miscela, oltre le quali la miscela stessa non brucia ovvero una fiamma non è in grado di propagarsi.

Tali parametri, riferendosi a concentrazioni in volume di vapore infiammabile, sono caratteristici solamente dei liquidi e dei gas combustibili". E la differenza tra il limite superiore ed inferiore di infiammabilità di un combustibile, si definisce campo di infiammabilità".





Classificazione di reazione al fuoco

In Europa, il **Regolamento Prodotti da Costruzione (CPR - Regolamento UE 305/2011)** e la norma **EN 13501-1** classificano i materiali secondo la loro **reazione al fuoco**:

Classi di reazione al fuoco (EN 13501-1)

Classe	Descrizione
A1	Non combustibile, nessuna partecipazione al fuoco
A2	Quasi non combustibile, limitata partecipazione
B	Combustibile, ma con comportamento favorevole
C, D	Combustibili con maggiore partecipazione al fuoco
E	Materiale con prestazioni minime
F	Nessuna prestazione determinata

A queste si aggiungono due classificazioni complementari:

- **s1, s2, s3** → Produzione di **fumo** (s1 = poca)
- **d0, d1, d2** → Gocciolamento di particelle infiammate (d0 = assente)

Esempio: un materiale classificato **B-s1,d0** ha una buona reazione al fuoco, produce poco fumo e non gocciola.

Il **capitolo S1** del **D.M. 3 agosto 2015** introduce così la strategia antincendio **“Reazione al Fuoco”**:

la reazione al fuoco è una misura antincendio passiva che esplica i suoi principali effetti nella fase iniziale dell'incendio, con l'obiettivo di limitare l'innesco dei materiali e la propagazione dell'incendio. Essa si riferisce al comportamento al fuoco dei materiali nelle effettive condizioni d'uso finali, con particolare riguardo al grado di partecipazione all'incendio che essi manifestano in condizioni standardizzate di prova. Tali requisiti sono applicati agli ambiti dell'attività ove si intenda limitare la partecipazione dei materiali alla combustione e ridurre la propagazione dell'incendio.

A cosa serve la classificazione di reazione al fuoco?

La **classe di reazione** si riferisce all'impiego del materiale e alla sua posa in opera. Ogni prodotto può avere una diversa classe a seconda del suo impiego.

Utilizzare prodotti da costruzioni con una **idonea classe di reazione al fuoco** significa:

- ridurre la velocità di propagazione dell'incendio;
- limitare la propagazione dell'incendio;
- favorire l'aumento del tempo di esodo.

La classificazione di reazione al fuoco termina con l'emissione di un **certificato** da parte di un laboratorio autorizzato ai sensi del D.M. 26/03/1985.

Si tratta di una fase propedeutica alla emissione dell'**atto di omologazione**. La reazione al fuoco ha lo scopo di **valutare il grado di partecipazione all'incendio di un materiale o prodotto**, nelle sue reali condizioni di impiego.

All'esito di **prove standard** di laboratorio, ai materiali è **attribuita una classe di reazione al fuoco** che, in maniera sintetica, ne esprime la qualità nei confronti della reazione al fuoco.



Rapporto di Prova / Test Report
no. 2666.ODC0050/18 del / of 12/12/2018



CLASSIFICAZIONE E CAMPO DIRETTO DI APPLICAZIONE

Classification and direct field of application

Riferimenti e campo diretto di applicazione

Reference and direct field of application

La presente classificazione è stata effettuata in accordo al punto 9 di UNI EN 13501-1:2009.

This classification has been carried out in accordance with point 9 of UNI EN 13501-1:2009.

Classificazione

Classification

Il materiale in relazione al suo comportamento al fuoco è classificato come

The material in connection with its behaviour to fire is classified as

B – s1, d0

Campo di applicazione

Field of application

La presente classificazione è valida per la seguente condizione di uso effettivo (end use):

Rivestimento decorativo per pareti e/o soffitti incollato con adesivo tipo Adesilex MT32 della Mapei S.p.A. in ragione di circa 200 g/m², a supporto incombustibile di Euroclasse A1 o A2.

This classification is valid for the following end use conditions:

Decorative lining for walls and/or ceilings glued with adhesive type Adesilex MT32 by Mapei S.p.A. in ratio about 200 g/m², to a non combustible support of Euroclass A1 or A2.

LIMITAZIONI

Limitations

La presente classificazione si basa sui risultati forniti nei Rapporti di Prova no. 2666.ODC0030/18 e no. 2666.ODC0040/18 sopra citati; tali risultati e per conseguenza la presente classificazione si riferiscono esclusivamente al materiale sottoposto a prova fornito dal Richiedente (Rif. codice Laboratorio no. 2666/18).

This classification is based on the results contained in Test Reports no. 2666.ODC0030/18 and no. 2666.ODC0040/18 cited above; such results, and by consequence this classification refer solely to the material supplied for testing by the Sponsor (Ref. Laboratory code no. 2666/18).

Avvertenza

Warning

Questo documento non costituisce approvazione di tipo né certificazione di prodotto.

This document is not a type approval nor a product certification.

Rapporto di Prova / Test Report no. 2666.ODC0050/18	Nome / Name	Firma per conto di Signature on behalf of LAPI S.p.A.	Data / Date 12/12/2018	5 / 5
Preparato da: Prepared by	Ing. Fabio Crosetta			
Verificato da: Checked by	Dr. Luca Bernini			

Il **D.M. 26/06/1984** ha stabilito per primo norme, criteri e procedure per la classificazione di reazione al fuoco e l'omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi.

I materiali sono assegnati alle classi: 0, 1, 2, 3, 4, 5. Il comportamento di un materiale combustibile al fuoco è tanto migliore quanto più bassa è la classe:

- classe 0: materiali incombustibili;
- classe 1: materiali combustibili non infiammabili;
- classe 2: materiali combustibili difficilmente infiammabili;
- classe 3 materiali combustibili infiammabili;
- classe 4 materiali combustibili facilmente infiammabili;
- classe 5: materiali combustibili estremamente infiammabili.

Classe italiana	Definizione
0	materiali incombustibili
1	materiali combustibili non infiammabili
2	materiali combustibili difficilmente infiammabili
3	materiali combustibili infiammabili
4	materiali combustibili facilmente infiammabili
5	materiali combustibili estremamente infiammabili

I materiali e prodotti da costruzione, per essere ritenuti idonei e quindi utilizzabili nell'ambito di attività soggette alle disposizioni di prevenzione incendi, devono essere omologati, secondo la procedura indicata dallo stesso D.M. 26 Giugno 1984. La procedura di omologazione consiste in:

- una prima fase di "prova", da svolgersi presso la struttura preposta del Dipartimento dei Vigili del fuoco oppure presso uno dei laboratori autorizzati dal Ministero dell'interno, ed a seguito della quale viene rilasciato il "certificato di prova";
- nel rilascio da parte del Ministero dell'Interno stesso dell'atto di approvazione (approvazione di tipo o omologazione).

L'omologazione ha una validità di 5 anni ed è rinnovabile.

Le Euroclassi fanno riferimento alla sicurezza antincendio dei prodotti da costruzione e hanno lo scopo principale di creare una piattaforma comune che consente di confrontare le proprietà antincendio dei materiali da costruzione.

Nello specifico, è fondamentale assicurare che l'edificio mantenga la sua capacità portante per un determinato intervallo temporale, limitando la diffusione del fumo e delle fiamme. È essenziale controllare la propagazione dell'incendio agli edifici vicini, garantendo al contempo la possibilità di evacuazione o soccorso agli occupanti. In questo contesto è di vitale importanza considerare la sicurezza delle squadre di soccorso.

Le Euroclassi sono state introdotte dalla Commissione Europea 2000/147/CEE dell'8 febbraio 2000 contenente la classificazione della reazione all'azione dell'incendio dei prodotti da costruzione; ricordiamo, inoltre, che nel febbraio 2002 sono state pubblicate le norme europee sulla reazione al fuoco (EN ISO 1716, EN ISO 1182, EN ISO 9239-1, EN ISO 11925-2, EN 13823) e il relativo sistema di classificazione (EN 13501-1).

Per quanto riguarda il contesto italiano, i criteri di classificazione stabiliti a livello europeo sono stati implementati attraverso il D.M. 10/03/2005.



Euroclassi e prodotti da costruzione muniti di marcatura CE

Per i prodotti da costruzione muniti di marchiatura CE, la classe di reazione al fuoco viene riportata nel momento in cui un prodotto da costruzione rispetti determinate caratteristiche. In particolare quando:

- un prodotto da costruzione rientra nell'ambito di applicazione di una norma armonizzata o è conforme a una valutazione tecnica europea rilasciata per il prodotto in questione;
- rientra nell'ambito di applicazione di una norma armonizzata o è conforme a una valutazione tecnica europea rilasciata per il prodotto in questione;
- nel redigere la dichiarazione di prestazione, il fabbricante si assume la responsabilità della conformità del prodotto da costruzione a tale prestazione dichiarata. Salvo oggettive indicazioni contrarie, gli Stati membri presumono che la dichiarazione di prestazione redatta dal fabbricante sia precisa e affidabile.

Euroclassi e prodotti da costruzione sprovvisti di marcatura CE

L'impiego di prodotti da costruzione sprovvisti di marcatura CE nelle attività soggette a controlli di prevenzione incendi è subordinato al rilascio delle certificazioni emesse dal D.M. 26/06/1984.

In particolare, viene applicata per la classificazione e la certificazione dei materiali ai fini diversi dall'omologazione dei seguenti:

- prodotti da costruzione per cui non si applica la procedura ai fini della marcatura CE di cui al regolamento (UE) n. 305/2011;
- materiali già in opera;
- materiali per usi specifici;
- materiali per usi limitati nel tempo;
- materiali di limitata produzione.



"La reazione al fuoco è una misura di protezione passiva che esplica i suoi principali effetti nella fase di prima propagazione dell'incendio, con l'obiettivo di limitare l'innesco dei materiali e la propagazione stessa dell'incendio. Essa si riferisce al comportamento al fuoco dei materiali nelle effettive condizioni finali di applicazione, con particolare riguardo al grado di partecipazione all'incendio che essi manifestano in condizioni standardizzate di prova".

La reazione al fuoco di un materiale consente, a valle di specifici test, di determinare se il materiale è in grado di ritardare lo sviluppo dell'incendio, scongiurandone o almeno rallentarne la propagazione.

Conseguentemente, alcuni materiali posseggono caratteristiche tali da poter essere installati lungo i percorsi d'esodo, mentre altri possono essere installati unicamente negli ambienti interni.

Il comportamento al fuoco, nelle reali condizioni di applicazione, dei prodotti da costruzione viene testato nei laboratori autorizzati¹², determinando la classe di reazione al fuoco.

In ogni caso, l'impiego di prodotti da costruzione con un'idonea classe di reazione al fuoco:

- riduce la velocità di propagazione dell'incendio;
- limita l'eventualità che l'incendio coinvolga altri materiali combustibili presenti;
- favorisce l'aumento del tempo di esodo a disposizione per gli occupanti.

Con riferimento alle prove europee, le caratteristiche di reazione al fuoco sono definite a seconda dei metodi di prova utilizzati che verificano, in funzione del metodo specifico, le seguenti caratteristiche:

- durata dell'incendio;
- perdita di massa;
- aumento della temperatura;
- potere calorifico superiore;
- tendenza a produrre gocce infiammate/accese;
- calore totale rilasciato e la velocità di rilascio;
- tendenza a produrre fumi densi e opachi;
- propagazione della fiamma lungo il campione di prova.

Per le prove Italiane, le caratteristiche di reazione al fuoco sono definite a seconda dei metodi di prova utilizzati e in funzione del metodo specifico prevedono sempre un lavaggio e/o preconditionamento caratteristico, non previsto invece dalle norme europee.

I metodi di prova servono a verificare le seguenti caratteristiche:

- durata dell'incendio;
- perdita di massa;
- aumento della temperatura;
- velocità di propagazione della fiamma;
- estensione della zona danneggiata;
- tendenza a produrre gocce infiammate/accese;
- tempo di post combustione per i prodotti imbottiti,
- tempo di post incandescenza sul provino.



TABELLA DI CONVERSIONE INDICATIVA

Classe italiana	Classe europea approssimativa
0	A1 o A2
1	B
2	C
3	D
4	E
5	F

⚠ Nota importante: la corrispondenza **non è ufficiale né automatica**. Serve un **rapporto di classificazione** secondo la EN 13501-1 per l'immissione sul mercato europeo.

Descrizione	Classificazione europea			Classificazione italiana
	parete	soffitto	pavimento	
materiali incombustibili	A1	A1	A1fl	Classe 0
materiali combustibili non infiammabili	A2 - s1 d0 A2 - s1 d1 A2 - s2 d0 A2 - s2 d1 A2 - s3 d0 A2 - s3 d1 B - s1 d0 B - s1 d1 B - s2 d0 B - s2 d1	A2 - s1 d0 A2 - s1 d1 A2 - s2 d0 A2 - s2 d1 A2 - s3 d0 A2 - s3 d1 B - s1 d0 B - s2 d0	 A2fl - s1 A2fl - s2 Bfl - s1 Bfl - s2	Classe 1
materiali combustibili difficilmente infiammabili	A2 - s1 d2 A2 - s2 d2 A2 - s3 d2 B - s1 d2 B - s2 d2 B - s3 d0 B - s3 d1 B - s3 d2 C - s1 d0 C - s1 d1 C - s2 d0 C - s2 d1	 B - s1 d1 B - s2 d1 B - s3 d0 B - s3 d1 C - s1 d0 C - s2 d0	 Cfl - s1 Cfl - s2	Classe 2
materiali combustibili infiammabili	C - s1 d2 C - s2 d2 C - s3 d0 C - s3 d1 C - s3 d2 D - s1 d0 D - s1 d1 D - s2 d0 D - s2 d1	 C - s1 d1 C - s2 d1 C - s3 d0 C - s3 d1 D - s1 d0 D - s2 d0	 Dfl - s1 Dfl - s2	Classe 3
materiali combustibili facilmente infiammabili	non rilevante per i prodotti per scenografia			Classe 4
materiali combustibili estremamente infiammabili	non rilevante per i prodotti per scenografia			Classe 5



Meccanismi principali di propagazione del fuoco

I tre meccanismi fondamentali sono:

a. Conduzione

Trasferimento di calore attraverso materiali solidi.

- **Esempio:** il calore si propaga lungo una trave d'acciaio o una tubazione metallica, raggiungendo zone non direttamente colpite dalle fiamme.
- **Materiali ad alta conducibilità:** metalli → facilitano la propagazione.
- **Materiali isolanti:** legno, lana di roccia → rallentano la propagazione.

b. Convezione

Trasporto di calore tramite fluidi (aria, fumi caldi).

- Il calore e i gas caldi salgono verso l'alto e si diffondono in altri ambienti attraverso:
 - Aperture (porte, finestre)
 - Condotti (ventilazione, canne fumarie)
- È il **principale meccanismo di propagazione verticale** negli edifici (effetto camino).

c. Irraggiamento

Trasmissione del calore sotto forma di onde elettromagnetiche (radiazione termica).

- Avviene **a distanza**, anche senza contatto diretto o movimento d'aria.
- È molto pericoloso nei grandi incendi: può **innescare combustibili vicini** anche senza fiamme dirette.
- Dipende da:
 - Temperatura della sorgente
 - Distanza tra sorgente e bersaglio
 - Assorbimento del materiale esposto



Fattori che influenzano la propagazione

a. Materiali da costruzione

- Infiammabili: legno, materiali plastici, isolanti espansi
- Resistenti: calcestruzzo, cartongesso con additivi ignifughi

b. Carico d'incendio

Quantità di materiale combustibile presente (espresso in MJ/m²).

Maggiore è il carico, maggiore è la propagazione.

c. Ventilazione

- Presenza di ossigeno accelera la combustione.
- Le aperture (finestre, porte rotte) creano **flussi d'aria** che alimentano e orientano l'incendio.

d. Layout architettonico

- Scale, cavedi, condotti verticali facilitano la propagazione verticale.
- Corridoi lunghi e comunicanti facilitano la propagazione orizzontale.



1. Ignizione (o Innesco)

Durata: Pochi secondi o minuti.

Condizioni: Presenza contemporanea di:

- combustibile,
- comburente (tipicamente ossigeno),
- energia di innesco (fonte di calore: scintilla, fiamma, superfici calde, scarica elettrica, ecc.).

Caratteristiche:

- Il fuoco è confinato nel punto d'origine.
- La temperatura dell'ambiente circostante è ancora vicina a quella ambiente.
- I fumi sono poco densi e contenuti.

Note tecniche:

- Il **punto di infiammabilità** è la temperatura alla quale un liquido produce vapori infiammabili.
- Il **punto di autoaccensione** è la temperatura alla quale un materiale si incendia spontaneamente.



Tipi di innesco

Esistono diverse **categorie di innesco**, in funzione della fonte di energia:

a. Innesco termico

- Fiamme libere (fiammiferi, fornelli, candele)
- Superfici calde (tubi, motori, camini)
- Riscaldamento per attrito (macchinari, cinghie, freni)
- Autoaccensione (accumulo di calore in oli vegetali, stracci imbevuti, ecc.)

b. Innesco elettrico

- Archi elettrici (cortocircuiti, contatti imperfetti)
- Sovraccarichi di corrente
- Scariche elettrostatiche (in ambienti con polveri o vapori infiammabili)
- Apparecchiature mal isolate

c. Innesco meccanico

- Impatti, urti tra materiali metallici (es. scintille da metallo contro pietra)
- Fratture o rotture in ambienti esplosivi

d. Innesco chimico

- Reazioni esotermiche tra sostanze incompatibili (acidi + basi forti, perossidi organici + combustibili)
- Decomposizione spontanea con rilascio di calore

e. Innesco biologico

- Fermentazioni con sviluppo di calore (ad esempio in cumuli di letame, compost o fieno umido → surriscaldamento e incendio spontaneo)





Temperature di riferimento

- **Temperatura di infiammabilità (Flash Point):** temperatura alla quale un liquido produce vapori sufficienti a formare una miscela infiammabile con l'aria.
- **Temperatura di accensione:** temperatura minima alla quale un materiale prende fuoco **senza fiamma libera** (autoaccensione).
- **Temperatura di combustione:** temperatura durante la reazione di combustione completa.

Esempi:

- Benzina: flash point ≈ -40 °C; autoaccensione ≈ 280 °C
- Olio da cucina: flash point ≈ 300 °C; autoaccensione ≈ 360 °C



Analisi del rischio di innesco

In un contesto di **valutazione del rischio incendio**, l'innesco è analizzato considerando:

- **Le sorgenti di calore presenti:** saldature, impianti elettrici, macchinari, motori.
- **I materiali combustibili:** carta, legno, solventi, polveri.
- **La ventilazione e l'accumulo di vapori o gas.**
- **Le attività svolte:** manutenzioni, processi produttivi, pulizie industriali.

Temperatura di infiammabilità



E' la temperatura minima alla quale un solido o un liquido sviluppano una quantità di vapore sufficiente a produrre con l'aria una miscela infiammabile e quindi a potersi accendere in presenza di innesco

Sostanza	° C
Alcool etilico	12
Xilolo	30
Toluolo	6
Acetilene	-
Etere etilico	<-20
Idrogeno	-
Benzina	-20
Gasolio	> 55



Prevenzione dell'innesco

Per ridurre il rischio di innesco si interviene su:

- **Controllo delle sorgenti di calore:** manutenzione impianti, isolamento superfici calde, controlli elettrici.
- **Controllo dell'atmosfera:** ventilazione, rilevatori gas, inertizzazione (es. azoto in serbatoi).
- **Controllo dei materiali combustibili:** stoccaggio corretto, rimozione dei rifiuti, pulizia regolare.
- **Formazione e procedure:** formazione antincendio, permessi di lavoro a caldo, piani di emergenza.

Anche per le lavorazioni pericolose entra in gioco la **valutazione da parte del Datore di lavoro**. Occorrerà valutare, in particolare, se sono presenti lavorazioni cosiddette a caldo (es. saldature, molature, ecc.) classificabili pericolose ai fini dell'incendio.



2. Crescita (o Propagazione)

Durata: Da qualche minuto a decine di minuti.

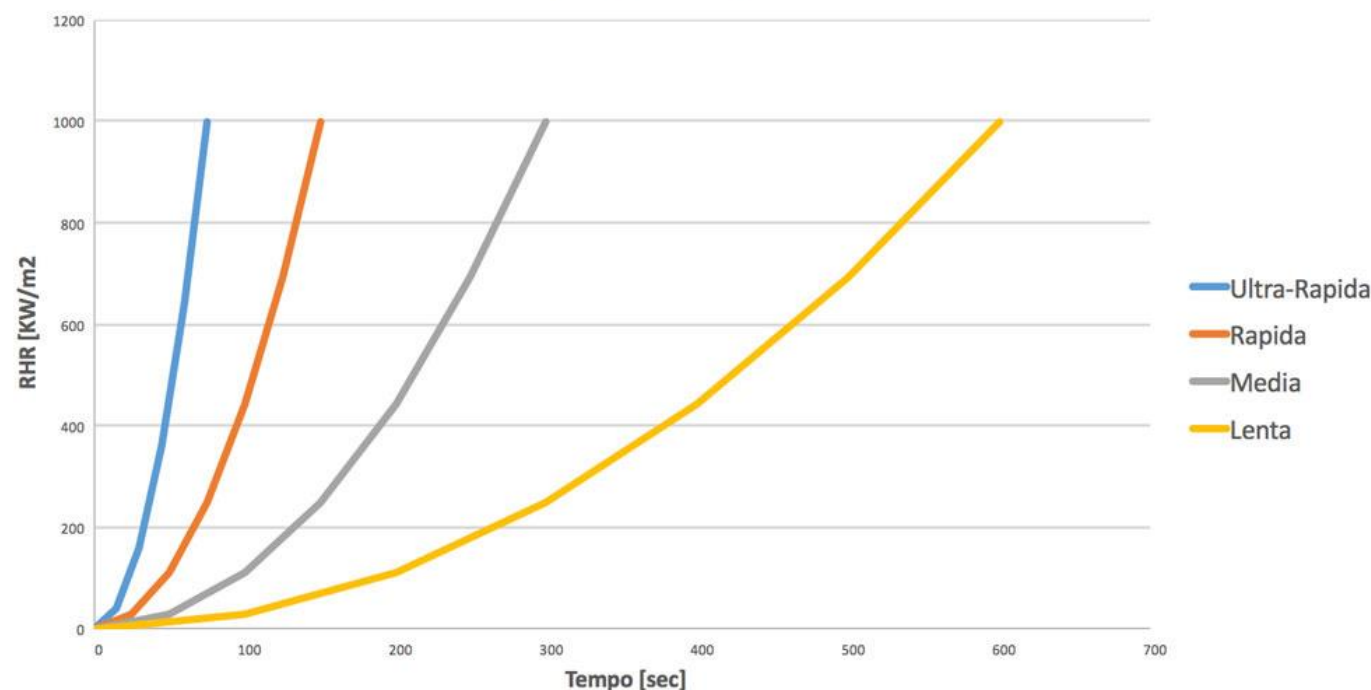
Caratteristiche:

- Il calore aumenta, il fuoco si estende ai materiali vicini.
- I gas combusti si accumulano in alto e iniziano a stratificarsi.
- Si produce un aumento esponenziale della temperatura.
- Inizia la **pirolisi**: i materiali solidi si degradano termicamente producendo gas combustibili.
- L'ambiente diventa **pre-flashover**.

Note critiche:

- Il fumo nero e denso riduce drasticamente la visibilità.
- Possono manifestarsi **fenomeni di backdraft** (riaccensione esplosiva al ritorno dell'ossigeno).

Velocità caratteristica di crescita dell'incendio





Propagazione tra ambienti

a. Propagazione interna

- Attraverso aperture non compartimentate
- Tra vani comunicanti (senza porte REI)

b. Propagazione esterna

- Da una facciata all'altra (es. effetto "torcia")
- Attraverso finestre o tetti

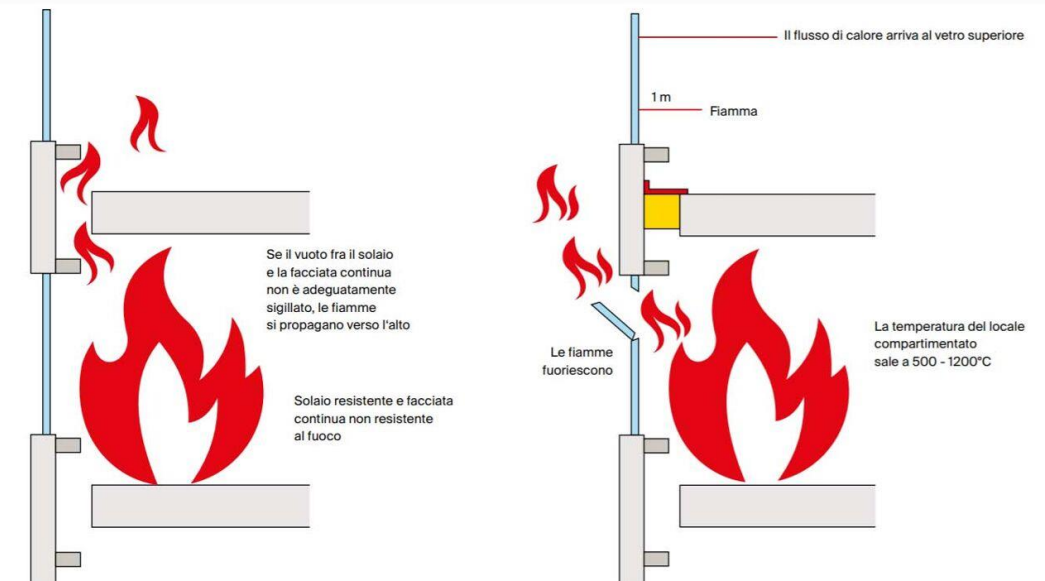
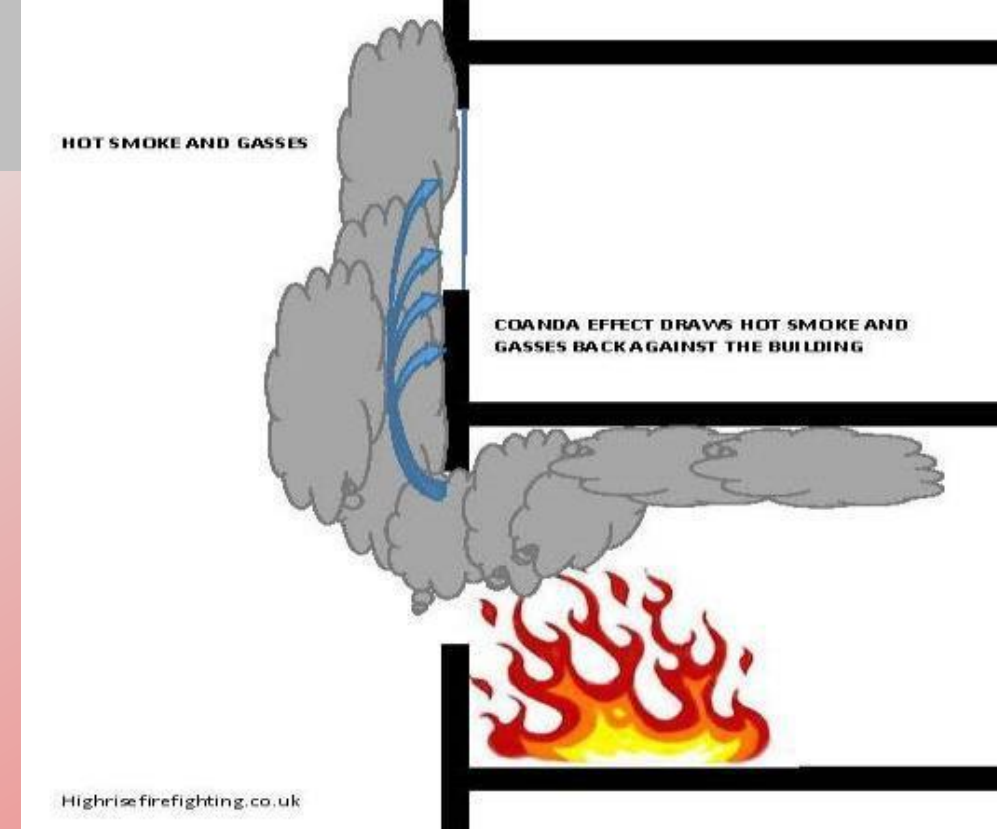
c. Effetto camino

- Nei vani verticali (scale, ascensori, condotti)
- I gas caldi salgono velocemente, propagando l'incendio



Prevenzione della propagazione

- Uso di **materiali ignifughi e resistenti al fuoco**
- **Compartimentazione** (barriere tagliafuoco, porte REI, soffitti e pavimenti protetti)
- Controllo delle **vie di ventilazione**
- Sistemi di **rilevazione e spegnimento automatico**
- **Manutenzione degli impianti** e dei passaggi tecnici



3. Flashover (accensione generalizzata)

Evento critico che segna il passaggio alla fase più pericolosa.

Caratteristiche:

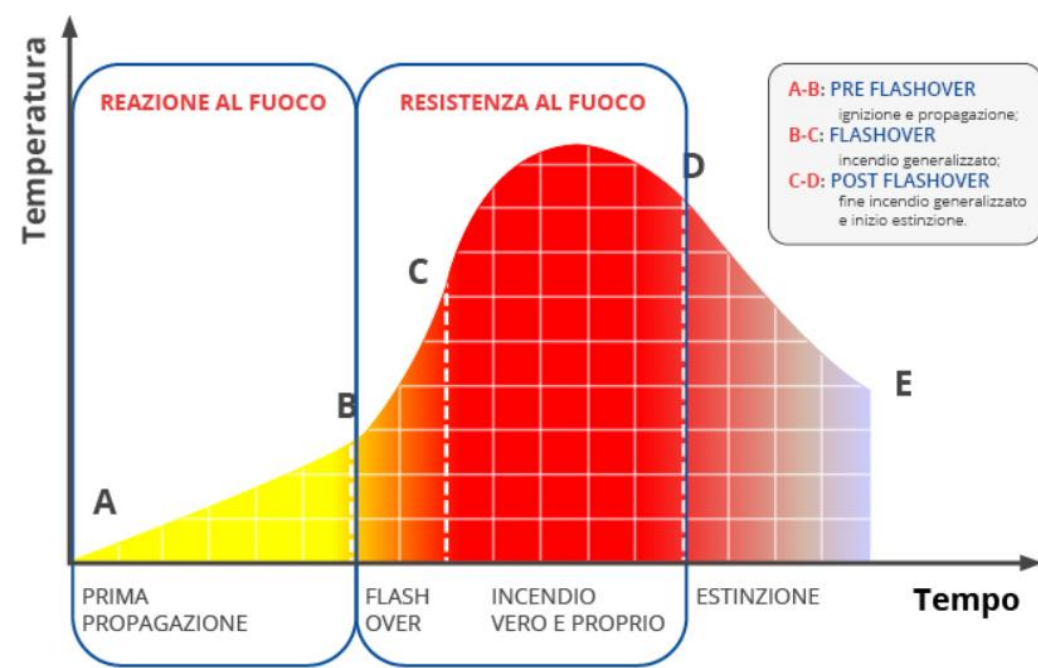
- Tutti i materiali combustibili presenti nell'ambiente prendono fuoco quasi simultaneamente.
- La temperatura supera i **600-650°C**.
- I gas combusti presenti in alto raggiungono la temperatura di autoaccensione.
- L'ambiente è **infiammato in ogni punto**.

Segnali premonitori:

- Oscuramento completo dell'ambiente.
- Forte aumento della temperatura.
- Vampate intermittenti nella parte alta.

Implicazioni:

- In questa fase non è più possibile la permanenza in sicurezza di persone non protette.
- La struttura edilizia comincia a subire danni seri.



Fase di flashover

Durante il flashover, la velocità di combustione aumenta drasticamente, la temperatura cresce e si producono grandi volumi di fumo e gas, con una rapida propagazione delle fiamme attraverso gas e vapori non combustibili. Questo stadio di transizione porta l'incendio da uno stadio di crescita a uno completamente sviluppato, coinvolgendo simultaneamente tutti i materiali combustibili. Il punto di flashover si caratterizza per un rapido incremento della temperatura fino a 500-600°C in un breve periodo (da 5 a 25 minuti).

Fase di incendio generalizzato

Superato il punto di flashover, la maggior parte dei materiali comuni diventa infiammabile e partecipa alla combustione. La trasmissione di calore all'interno degli edifici diventa significativa, e la resistenza strutturale di pareti, soffitti, pilastri e travi può essere gravemente compromessa. La rapidità di diffusione dell'incendio e il rischio di deterioramento e collasso delle strutture rendono questa fase particolarmente pericolosa.

4. Sviluppo Completo e Decadimento (Declino o Estinzione)

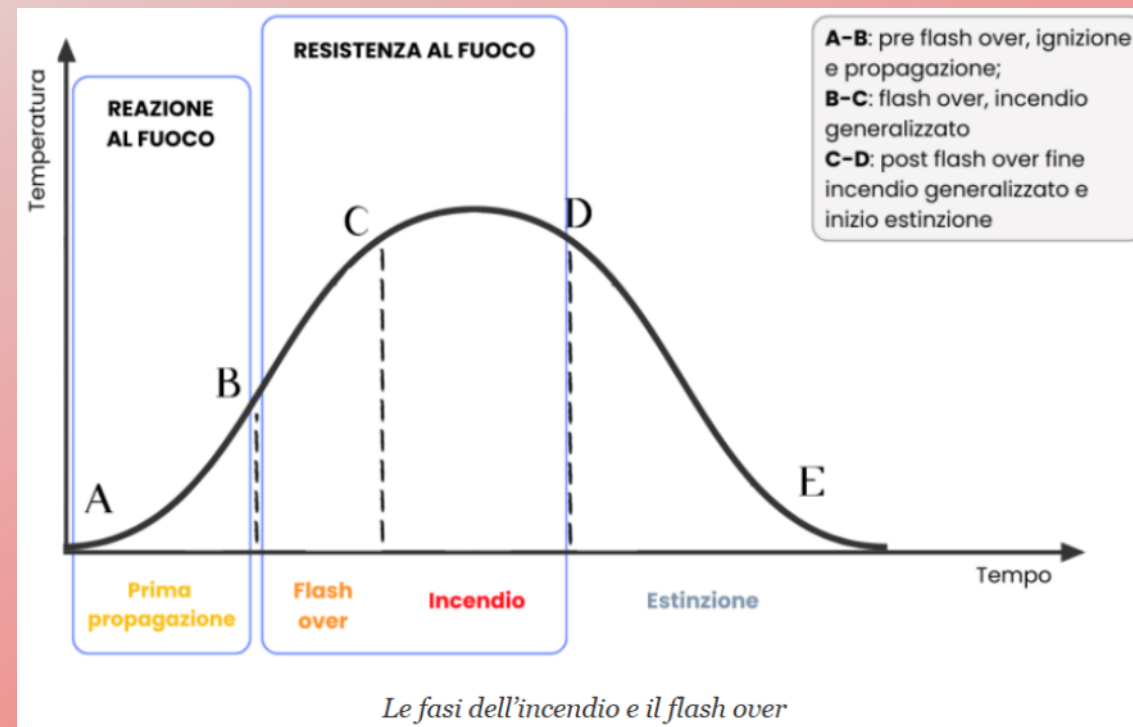
Durata: variabile, anche ore.

Sviluppo completo:

- Il combustibile è in grande parte consumato.
- Il fuoco ha raggiunto il suo massimo sviluppo.
- Le temperature possono superare **1000°C**.
- Le strutture portanti possono collassare per perdita di resistenza meccanica.

Decadimento:

- Diminuzione dell'intensità del fuoco per esaurimento del combustibile.
- Persistenza di braci, focolai isolati.
- Elevato rischio di **riaccensioni** se non si interviene con raffreddamento e bonifica.



Durante la fase di decadimento, l'incendio inizia a estinguersi a causa del progressivo esaurimento del combustibile, con una conseguente riduzione del flusso di calore generato. Il raffreddamento avviene lentamente e presenta ancora dei pericoli: zone apparentemente fredde possono nascondere fuochi latenti pronti a riaccendersi con nuovo combustibile. Questa fase termina convenzionalmente quando la temperatura scende al di sotto dei 300°C.

Il diagramma che descrive l'evoluzione di un incendio rappresenta uno strumento analitico fondamentale per interpretare lo sviluppo del fuoco, sia in spazi chiusi che all'aperto. Attraverso una rappresentazione grafica delle fasi principali e dei fenomeni fisici associati, consente di prevedere il comportamento dell'incendio e di pianificare adeguate misure di intervento, evacuazione e contenimento. Questo tipo di diagramma evidenzia l'andamento temporale dell'incendio, mostrando in che modo esso si origina, progredisce e viene estinto, tenendo conto di variabili come la disponibilità di combustibile, il grado di ventilazione, le caratteristiche geometriche dell'ambiente e l'azione delle squadre di soccorso.

Curve nominali d'incendio

Le curve nominali d'incendio rappresentano modelli standardizzati, riproducibili in laboratorio, che descrivono l'andamento della temperatura media dei gas caldi durante la fase di incendio completamente sviluppato, a partire dal punto di innesco del *flashover*. Pur non riflettendo le condizioni specifiche di un incendio reale, queste curve forniscono un riferimento convenzionale utile per valutare il comportamento al fuoco di materiali e strutture.

Sono utilizzate principalmente nei test sperimentali per simulare gli effetti termici dell'incendio sugli elementi costruttivi e per verificare la resistenza al fuoco di edifici e componenti edilizi.

Esistono diverse tipologie di curve nominali, ciascuna associata a specifici scenari d'incendio:

- **Curva standard ISO 834:** rappresenta un incendio in ambienti ordinari con presenza di materiali combustibili comuni come legno, carta e tessuti.
- **Curva di incendio esterno:** simula la dinamica termica di un incendio che coinvolge le facciate degli edifici.
- **Curva idrocarburica:** caratterizza incendi in presenza di combustibili ad alta energia, come gli idrocarburi, ed è tipicamente impiegata nel settore industriale e petrolchimico.
- **Curva a lento riscaldamento** (*slow heating curve*): descrive incendi con sviluppo termico graduale, come quelli covanti.

Questi modelli termici standard consentono di effettuare prove comparabili e di classificare le prestazioni dei materiali da costruzione, indipendentemente dalle variabili presenti in incendi reali.

La curva nominale di incendio standard, nota anche come **curva ISO 834**, rappresenta uno strumento di riferimento fondamentale per simulare l'evoluzione della temperatura durante un incendio completamente sviluppato. Si tratta della curva più comunemente utilizzata per testare la **resistenza al fuoco** di materiali e strutture edilizie, seguendo una scala temporale codificata.

Questa curva si basa su un'equazione che descrive l'aumento della temperatura dei gas all'interno di un compartimento incendiato nel tempo, secondo una progressione convenzionale che riflette le caratteristiche termiche tipiche degli incendi alimentati da combustibili cellulosici.

La relazione matematica che definisce la curva ISO 834 è la seguente:

$$T = T_0 + 345 \cdot \log_{10}(8t + 1)$$

dove:

- **T** è la temperatura in °C al tempo **t** (espresso in minuti);
- **T₀** è la temperatura iniziale, generalmente pari a 20°C;
- **t** è il tempo trascorso dall'innesco dell'incendio.

Questa espressione descrive l'incremento termico a partire dal fenomeno del **flashover**, ovvero il passaggio alla fase di combustione generalizzata. La curva ISO 834 costituisce il riferimento normativo per la **classificazione della resistenza al fuoco** di elementi strutturali, consentendo una valutazione uniforme del loro comportamento sotto l'effetto del calore. Attraverso appositi software di calcolo, è possibile eseguire la verifica della resistenza al fuoco di **strutture intelaiate** (come travi e pilastri) realizzate in **cemento armato**, **acciaio** o **legno**, applicando direttamente i parametri della curva ISO 834.



Curva di incendio nominale: le quattro fasi principali

L'evoluzione temporale di un incendio può essere suddivisa in quattro fasi fondamentali, ognuna contraddistinta da specifici comportamenti fisico-chimici:



1. Fase di ignizione (Ignition Phase)
2. Fase di crescita (Growth Phase)
3. Flashover e fase di combustione generalizzata (Fully Developed Fire)
4. Fase di decadimento (Decay Phase)

Fase di ignizione	Fase di crescita	Flashover	Fase di combustione generalizzata	Fase di decadimento
Questa fase rappresenta l'avvio del processo d'incendio: una porzione limitata del combustibile raggiunge la temperatura di accensione, dando inizio alla combustione. L'incendio, in questa fase, è confinato e il rilascio termico è contenuto. I principali fattori che influenzano questa fase sono: • Fonte di innesco: scintille, fiamme libere o superfici calde che portano il combustibile all'accensione; • Carico d'incendio locale: quantità, tipo e disposizione dei materiali combustibili nel punto d'innesco; • Ventilazione: la disponibilità di ossigeno condiziona la possibilità di propagazione iniziale del fuoco. Nel diagramma termico, la fase di ignizione è rappresentata da un incremento graduale del rilascio di calore, generalmente con andamento esponenziale iniziale.	Durante questa fase, l'incendio si estende rapidamente dal punto d'origine ai materiali combustibili circostanti, che iniziano a decomporsi per pirolisi, rilasciando vapori infiammabili. È una fase dinamica, caratterizzata da: • Heat Release Rate (HRR): la velocità di rilascio dell'energia termica cresce rapidamente, con un andamento quasi lineare o esponenziale; • Propagazione delle fiamme: influenzata dalla geometria dell'ambiente, dalla distribuzione del carico d'incendio e dalla presenza di correnti d'aria; • Ventilazione: essenziale per sostenere la combustione; in condizioni di ossigeno limitato, l'incendio può svilupparsi più lentamente o produrre fumi tossici. Nel diagramma, questa fase è evidenziata da un'accelerazione marcata nel rilascio termico fino a un punto critico.	Il flashover è una transizione improvvisa e pericolosa, in cui l'intero compartimento diventa coinvolto nella combustione. Si verifica quando la temperatura ambiente supera i 500–600°C. Le sue caratteristiche principali includono: • Accensione simultanea dei materiali combustibili: la totalità degli oggetti nel compartimento prende fuoco quasi contemporaneamente; • Drastico aumento dell'HRR: l'energia rilasciata raggiunge valori di picco; • Accumulo di gas combustibili: nella parte alta dell'ambiente si concentrano vapori infiammabili e aria calda, che favoriscono un'accensione rapida e diffusa. Nel grafico, il flashover appare come un'impennata improvvisa del rilascio termico, segnalando il passaggio alla fase di combustione pienamente sviluppata..	Fase di combustione generalizzata In questa fase, l'incendio coinvolge tutto il materiale combustibile disponibile nel compartimento. È caratterizzata da: • Combustione a pieno regime: tutto il comparto è invaso dalle fiamme, con temperature che possono superare i 1000°C; • Ventilazione determinante: l'apporto di ossigeno regola l'intensità della combustione. Se l'ossigeno si esaurisce, si può innescare una combustione incompleta con produzione di gas tossici (es. CO); • Rischio di collasso strutturale: le elevate temperature compromettono la stabilità dei materiali da costruzione. Il diagramma termico mostra una curva piatta o ondulata che indica un HRR al massimo livello mantenuto per un certo periodo.	Fase di decadimento La fase di decadimento inizia quando il combustibile disponibile comincia a esaurirsi e l'HRR diminuisce gradualmente. In questa fase si verificano: riduzione del rilascio termico: il tasso di combustione cala progressivamente man mano che i materiali combustibili sono consumati o che l'ossigeno disponibile si esaurisce; temperatura in diminuzione: la temperatura all'interno del compartimento si abbassa gradualmente; rischio di riaccensione: se non completamente estinto, l'incendio può rimanere in una fase di combustione lenta, e può riprendere vigore con l'introduzione di nuovo ossigeno (fenomeno noto come "backdraft"). Nel diagramma, questa fase è rappresentata da una riduzione del tasso di rilascio di calore, con una curva discendente che riflette la diminuzione dell'intensità del fuoco.

Nel descrivere l'andamento di un incendio, è fondamentale considerare alcune grandezze fisiche che ne determinano il comportamento e l'evoluzione nel tempo.

Tra queste, **la temperatura riveste un ruolo centrale**: durante un incendio, può aumentare rapidamente, influenzando sia la dinamica del fuoco sia la reazione dei materiali coinvolti. Di particolare rilievo è la temperatura di combustione, ovvero il punto a cui un combustibile inizia a bruciare.

Altro parametro essenziale è il calore rilasciato, ossia l'energia termica prodotta durante la combustione, generalmente espressa in kilojoule o megajoule. A essa si affianca il flusso di calore, che indica la potenza termica irradiata per unità di superficie e determina la rapidità con cui il calore si propaga nell'ambiente.

La **concentrazione di vapori** combustibili nell'aria è un ulteriore elemento da considerare, poiché influisce direttamente sulla possibilità di accensione e propagazione. Fondamentale è anche la presenza di ossigeno, che costituisce circa il 21% dell'atmosfera e rappresenta un elemento indispensabile per il mantenimento della fiamma.

La pressione, sia atmosferica sia quella generata dai vapori durante la combustione, può influenzare la dinamica dei fumi e il rischio di esplosioni. A ciò si aggiunge **la velocità di combustione**, che descrive la rapidità con cui la fiamma si propaga nel materiale e determina i tempi di intervento necessari.

Non meno importante è la **produzione di fumi e gas tossici**, come monossido di carbonio e composti organici volatili, che costituiscono un grave pericolo per la salute umana e la sicurezza dell'ambiente circostante.

Infine, **la radiazione termica**, ovvero l'energia irradiata dal fuoco, può contribuire in modo significativo alla propagazione dell'incendio riscaldando oggetti e superfici vicine. Anche l'umidità ambientale ha un'influenza, in quanto tende a ritardare l'innesco, pur non impedendolo del tutto.

Curve naturali (natural fire curves)

Descrivono l'andamento termico realistico di un incendio, considerando:

- carico d'incendio specifico
- ventilazione
- geometria del compartimento

Fasi tipiche:

1. Innesco e crescita

2. Flashover (accensione generalizzata)

3. Platea di temperatura (steady state)

4. Raffreddamento

Queste curve sono più **realistiche** e vengono utilizzate nelle **analisi ingegneristiche di sicurezza antincendio (FSE - Fire Safety Engineering)**.

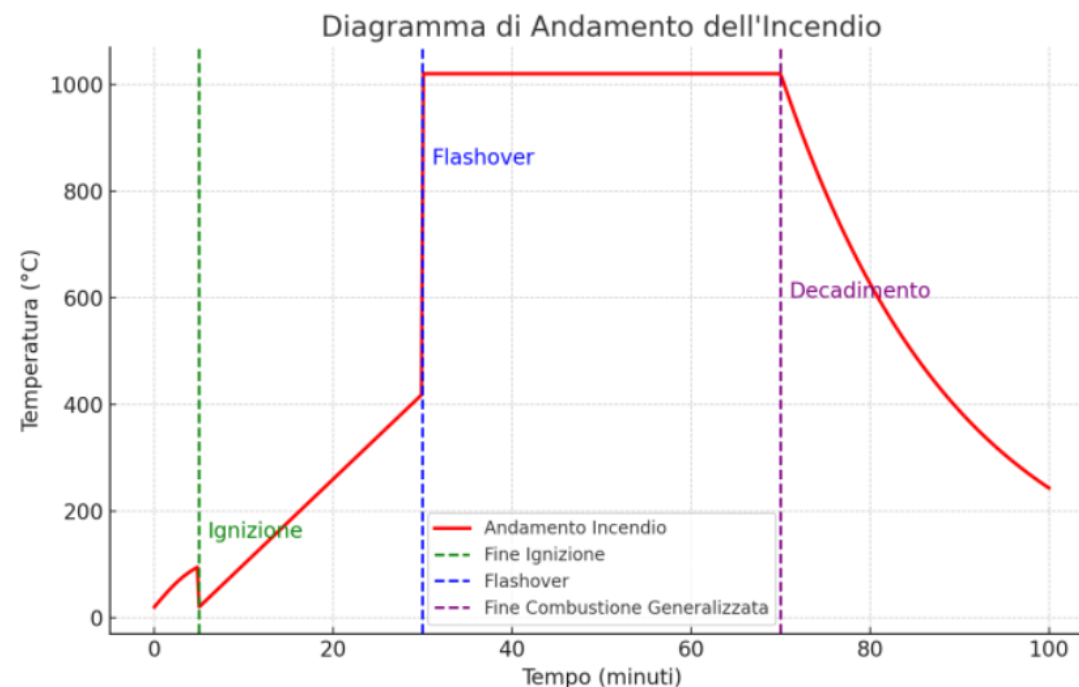


Diagramma andamento incendio

Curve parametriche (Eurocode EN 1991-1-2)

Utilizzate nell'ingegneria strutturale antincendio, tengono conto di:

- carico d'incendio
- superficie e tipo di rivestimento
- ventilazione

Sono definite da parametri specifici e **possono includere il raffreddamento**, a differenza della curva ISO.

4. Curve speciali (da UNI 9502)

Utilizzate in ambienti particolari:

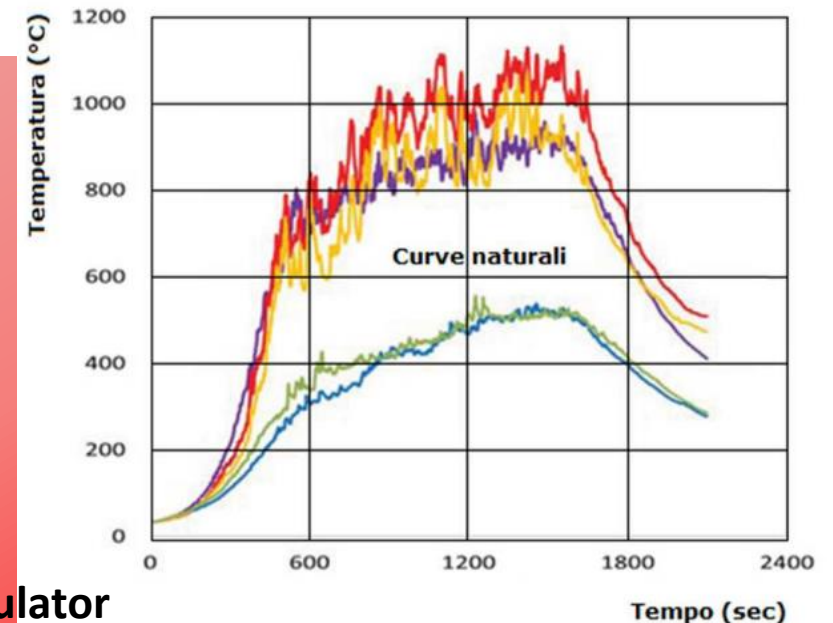
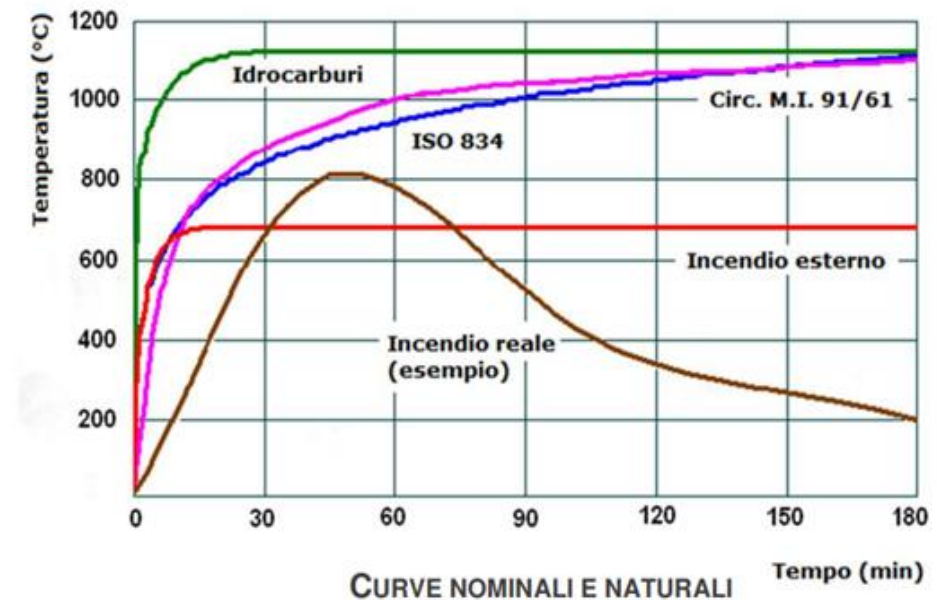
- **Curva esterna (ETK):** per incendi all'esterno
- **Curva idrocarburi (HC):** per incendi con combustibili liquidi (es. industrie petrolchimiche)
- **Curva a gas (G):** per incendi causati da gas Esempio: curva idrocarburi

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

Utilizzo pratico

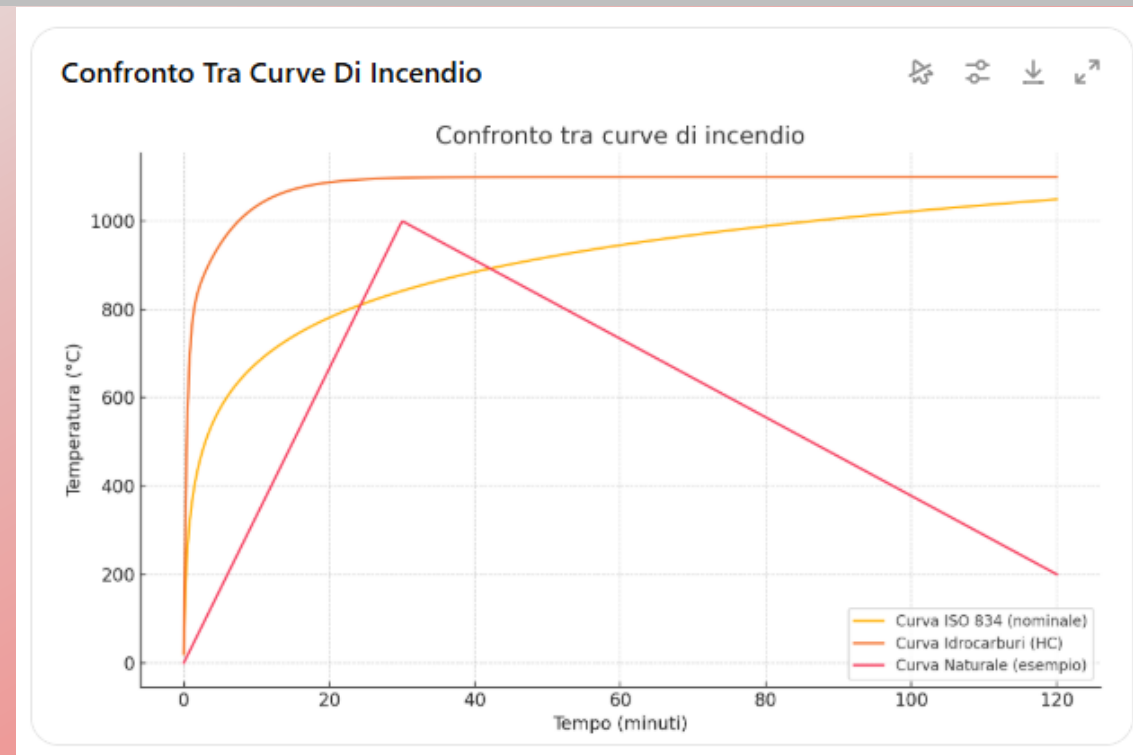
Le curve vengono usate per:

- valutare la **resistenza al fuoco delle strutture** (REI)
- progettare rivestimenti protettivi (es. intonaci, vernici intumescenti)
- dimensionare sistemi antincendio
- condurre **simulazioni FDS** o con software tipo **SAFIR, OZone, Fire Dynamics Simulator**



Ecco il grafico comparativo tra tre curve di incendio:

- **Curva ISO 834 (nominale):** cresce continuamente, senza fase di raffreddamento.
- **Curva idrocarburi (HC):** salita molto rapida, tipica degli incendi con carburanti liquidi/gassosi.
- **Curva naturale (esempio realistico):** salita graduale fino al picco e poi raffreddamento.



📌 Implicazioni per la sicurezza antincendio

- I **tempi di intervento** devono essere inferiori al flashover (tipicamente entro 8-10 minuti dall'ignizione).
- Le **vie di esodo** vanno progettate considerando i fumi caldi e le alte temperature.
- Gli impianti antincendio devono limitare la propagazione durante la **fase di crescita**.
- La **compartmentazione** edilizia serve a ritardare lo sviluppo completo.
- I materiali devono essere scelti in base alla **reazione** e alla **resistenza** al fuoco.

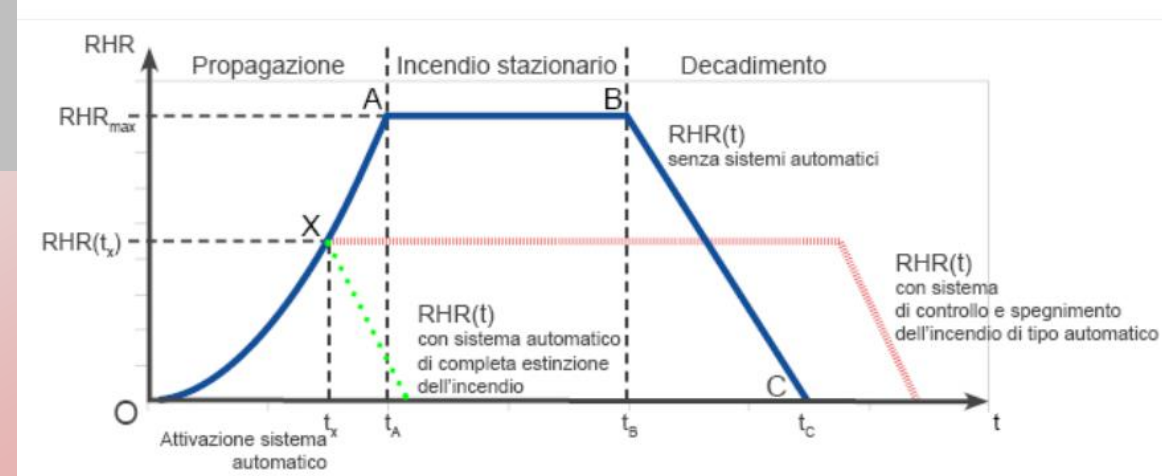


La curva **RHR** (Rate of Heat Release) rappresenta il **tasso di rilascio termico**, ovvero la quantità di energia termica emessa da un focolare o da un incendio per unità di tempo, generalmente espressa in **kW**. Questo parametro, noto anche come **Heat Release Rate (HRR)**, fornisce informazioni più dettagliate rispetto al concetto di **carico d'incendio**. Infatti, mentre il carico d'incendio rappresenta l'energia totale potenzialmente rilasciabile dai materiali combustibili, senza alcuna indicazione sul tempo in cui essa viene sprigionata, l'RHR descrive l'**andamento temporale della potenza termica rilasciata**, elemento fondamentale per la valutazione dello sviluppo reale dell'incendio.

A parità di carico d'incendio, l'andamento dell'RHR può variare sensibilmente in funzione delle condizioni specifiche dello scenario, influenzate sia dalle caratteristiche dei materiali (quantità, tipologia, forma, ecc.) sia dall'ambiente in cui sono inseriti (dimensioni del locale, ventilazione, eventuale esposizione all'aperto, ecc.). Di conseguenza, temperature molto diverse possono svilupparsi a seconda delle circostanze.

Inoltre, l'utilizzo del solo carico d'incendio comporta una stima **molto conservativa** delle temperature, poiché si assume che tutto il combustibile disponibile partecipi alla combustione contemporaneamente, rappresentando quindi **solo la fase di post-flashover** dell'incendio. Per questi motivi, l'RHR è uno dei parametri di input fondamentali nei **modelli a zona** e, allo stesso tempo, un parametro di output quando si analizza il **bilancio energetico** dell'intero dominio di calcolo.

Un incendio può essere schematizzato come una **sorgente volumetrica**, assimilabile a un bruciatore che rilascia **calore (HRR)**, **fumo** e **gas combusti**. I valori assunti dal progettista nella costruzione della curva HRR per uno specifico scenario devono essere **opportunamente giustificati**, in quanto condizionano in modo determinante i risultati della simulazione.



La curva **RHR** (Rate of Heat Release) rappresenta una modellazione semplificata dell'incendio naturale e ne descrive l'evoluzione attraverso tre fasi principali:

- **Fase iniziale:** corrisponde alla propagazione dell'incendio, caratterizzata da un andamento parabolico crescente (funzione quadratica del tempo);
 - **Fase intermedia:** rappresenta la fase di incendio completamente sviluppato, in cui la potenza termica rilasciata si mantiene pressoché costante nel tempo;
 - **Fase finale:** corrisponde all'estinzione dell'incendio, con un progressivo calo della potenza termica, generalmente modellato con un andamento lineare decrescente.
- Durante l'evoluzione dell'incendio, il valore della potenza termica rilasciata **RHR(t)**, in un dato istante t , può essere espresso come:

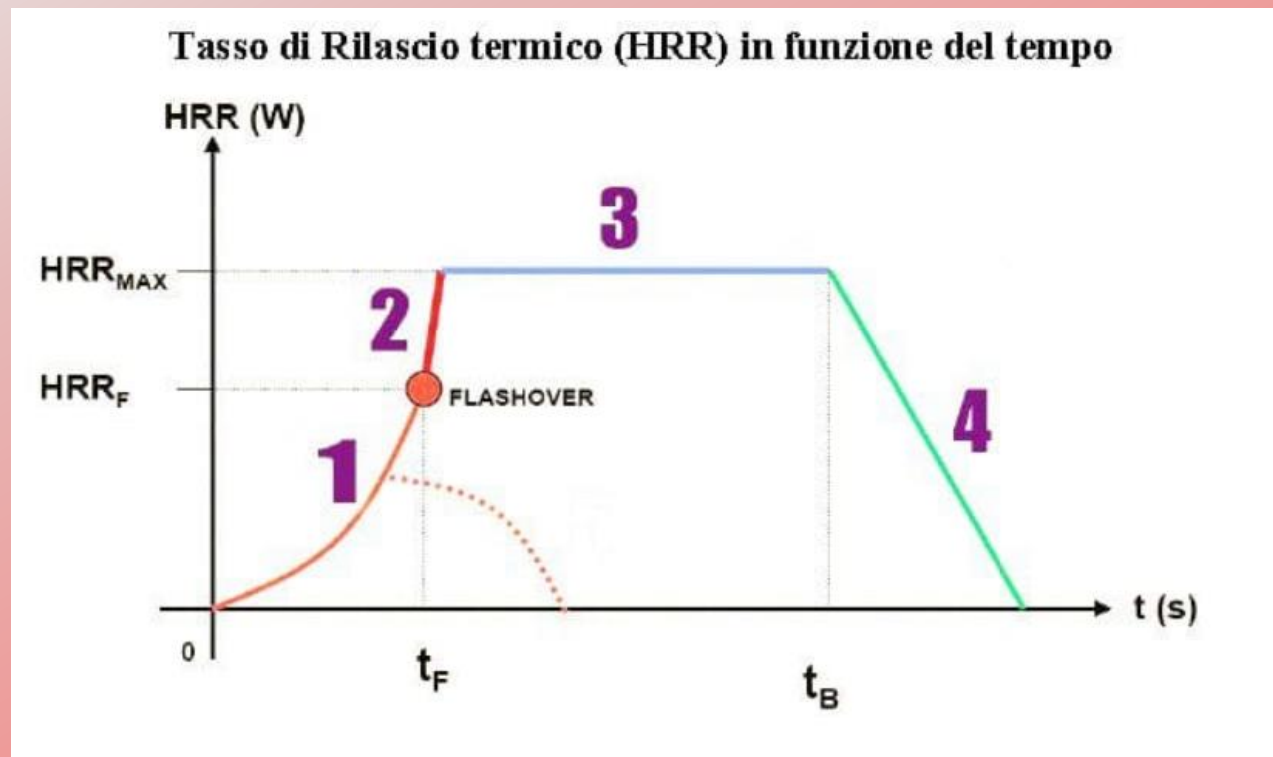
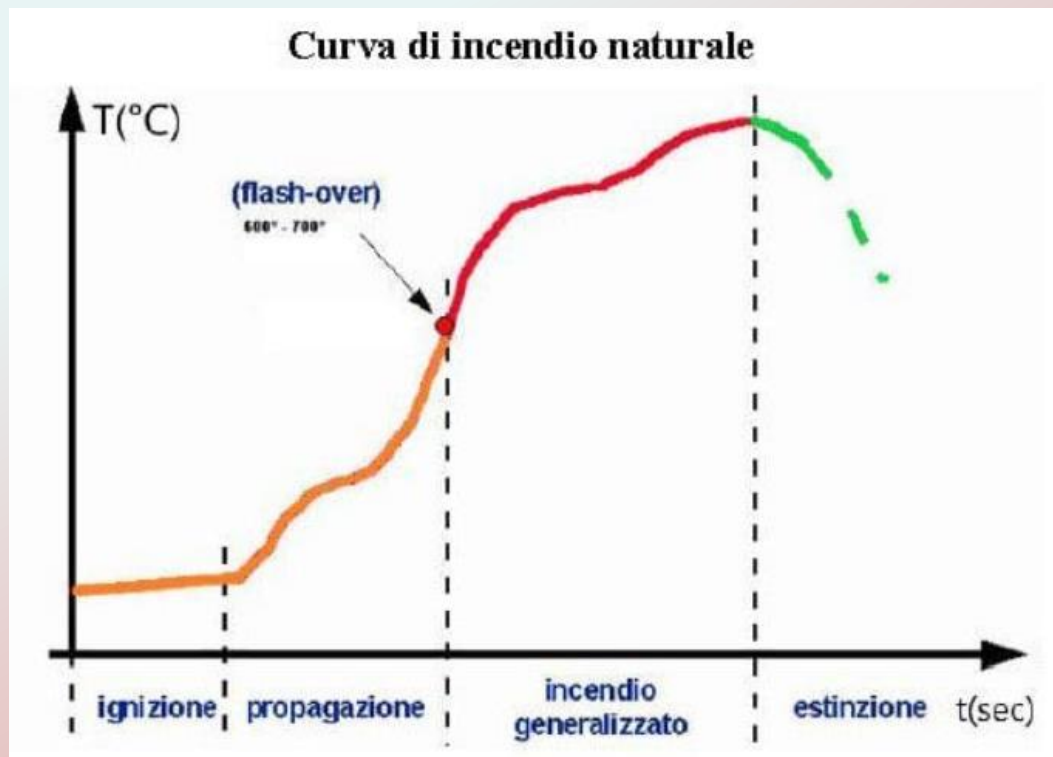
$$RHR(t) = \dot{m}c(t) \cdot H$$

dove:

- **$\dot{m}c(t)$:** velocità di combustione del materiale al tempo t [kg/s];
- **H :** potere calorifico del combustibile [kJ/kg].

La potenza termica rilasciata è dunque direttamente proporzionale alla velocità di combustione, e quindi alle dinamiche della combustione stessa. L'**area sottesa** dalla curva RHR (con tempo in ascissa e potenza termica in ordinata, [kW] = [kJ/s]) rappresenta il **carico d'incendio** [kJ], ovvero l'energia termica totale disponibile per essere rilasciata durante l'incendio.

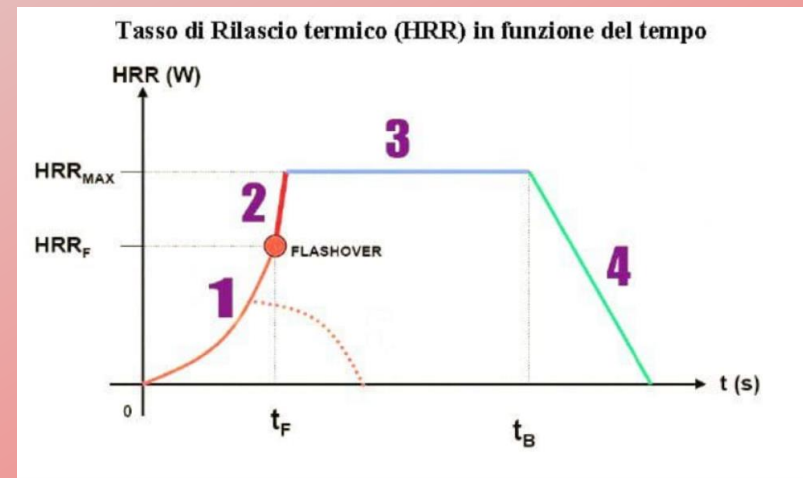
Se volessimo fare un confronto tra la **curva naturale di un incendio** e l'**RHR** in funzione del tempo possiamo far riferimento alle figure seguenti:



Per la curva RHR, il **flashover** si colloca all'interno della fase di propagazione dell'incendio, ovvero tra la **prima** e la **seconda** parte della curva crescente. Il suo raggiungimento è possibile solo in presenza di **quantità adeguate di combustibile**, con **pezzatura idonea**, e di una **superficie di ventilazione sufficiente**. In assenza di tali condizioni, ovvero se la disponibilità di combustibile e comburente è insufficiente, **il flashover non si verifica** e la curva RHR decresce rapidamente, come illustrato dalla **curva rossa tratteggiata** in figura. Superato il valore di potenza termica corrispondente al flashover (RHR_{x}), la curva continua a crescere fino a raggiungere un **picco massimo** (RHR_{max}). In genere, le prime fasi di propagazione (fasi 1 e 2) sono **controllate dal combustibile**, mentre la fase successiva, detta di **incendio completamente sviluppato** (fase 3), è **limitata dalla ventilazione**. Al raggiungimento di RHR_{max} , si instaura una fase a **velocità di combustione costante**, il cui valore dipende dalle condizioni di aerazione presenti. Infine, segue la **fase di decadimento** (fase 4), determinata dall'esaurimento del combustibile, che conduce gradualmente all'**estinzione dell'incendio**.

Nel diagramma della RHR (Release Heat Rate), il **flashover** si colloca all'interno della **fase di propagazione** dell'incendio, corrispondente alla transizione tra la **prima** e la **seconda parte della curva crescente**. Il raggiungimento del flashover avviene **solo in presenza di una quantità e pezzatura di combustibile adeguate**, tali da sostenere una rapida crescita dell'incendio. Un altro fattore determinante è la **ventilazione**: una superficie di apertura sufficiente è necessaria per fornire l'ossigeno (comburente) indispensabile alla combustione. In assenza di una quantità adeguata di combustibile o comburente, **il flashover non si verifica** e la curva della potenza termica rilasciata mostra un rapido decadimento, rappresentato graficamente con una **curva tratteggiata in rosso**.

Dopo il raggiungimento della potenza termica corrispondente al flashover (**RHR_F**), la curva di rilascio termico continua a crescere fino a raggiungere un picco massimo (**RHR_{max}**). Le prime due fasi dell'incendio (accensione e propagazione) sono generalmente **controllate dal combustibile** disponibile. Successivamente, nella fase di incendio completamente sviluppato (fase 3), la combustione è **controllata dalla ventilazione**, ossia dalla disponibilità di ossigeno, strettamente legata alle superfici di aerazione presenti. Una volta raggiunto **RHR_{max}**, si entra in una fase di rilascio termico costante, corrispondente alla **massima velocità di combustione** compatibile con le condizioni di ventilazione. Infine, si verifica la **fase di decadimento** (fase 4), dovuta all'esaurimento del combustibile, che conduce gradualmente all'estinzione dell'incendio.



Fasi dell'incendio sui materiali coinvolti e sulle persone

Fase	Ignizione	Crescita	Incendio pienamente sviluppato	Decadimento
Eventi	Innesco del primo oggetto, produzione di fumo e gas	Produzione di fumo e gas	I materiali partecipano alla combustione completamente, le temperature superano i 1000 °C	Le temperature si abbassano
Effetti sulle persone	L'aria inizia ad essere contaminata	L'aria diventa progressivamente intollerabile fino ad essere letale	L'atmosfera è letale	
Effetti sui materiali	Effetti trascurabili	I materiali sono contaminati ed anneriti dal fumo compaiono bolle sulla vernice	Le rifiniture sono distrutte, il legno strutturale brucia, la muratura non strutturale cede	Gli elementi protetti dall'incendio resistono

La **differenza tra le curve RHR e HRR+** riguarda l'ambito della **prevenzione incendi** e, più specificamente, l'analisi dell'**incendio sviluppato** nei materiali e nei prodotti da costruzione. Vediamole in dettaglio:



HRR+ (Heat Release Rate Plus)

- **Significato:** rappresenta la curva **potenza termica rilasciata nel tempo** (Heat Release Rate) di un materiale o componente durante un incendio.
- **Unità di misura:** tipicamente espressa in **kW** (chilowatt).
- **Caratteristiche:**
 - Mostra l'**intensità dell'incendio** nel tempo.
 - Viene utilizzata nei test con **calorimetri a cono** (cone calorimeter) secondo ISO 5660.
 - La curva mostra l'evoluzione della combustione: **accensione, crescita, picco, decrescita ed estinzione**.
- **Utilizzo:**
 - Valutazione del **comportamento al fuoco dei materiali**.
 - Input fondamentale nei modelli di simulazione d'incendio (es. **FDS**, Fire Dynamics Simulator).
 - È una **grandezza fondamentale** per il calcolo dell'energia termica disponibile durante l'incendio.



RHR (Required Heat Release) o RHR Curve

- **Significato:** rappresenta la curva di **potenza termica richiesta** affinché un incendio possa **sostenersi e propagarsi** in un determinato ambiente o scenario.
- **Unità di misura:** anch'essa in **kW**.
- **Caratteristiche:**
 - È legata alla **ventilazione disponibile**, alla geometria del compartimento e ai materiali presenti.
 - Viene spesso calcolata o stimata nei modelli di incendio strutturale (es. Eurocode, NFPA 555, ecc.).
 - Può rappresentare la soglia minima di HRR oltre la quale il fuoco diventa "autosostenuto".

Rimane da descrivere le relazioni analitiche necessarie per ricostruire le tre fasi della curva di rilascio termico, secondo la trattazione del paragrafo M.2.6 del Codice di Prevenzione Incendi.

FASE DI PROPAGAZIONE DELL'INCENDIO

Durante la fase di propagazione, la potenza termica rilasciata dall'incendio nel tempo può essere rappresentata da una funzione crescente di tipo parabolico, espressa come:

$$\text{RHR}(t) = 1000 \times (t / t_{\alpha})^2, \text{ per } t < t_{\alpha}$$

Dove:

- **RHR(t)**: potenza termica rilasciata dall'incendio al tempo t [kW];
- **t**: tempo [s];
- **t_{α}** : tempo necessario affinché RHR raggiunga il valore di 1000 kW [s].

Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio (Tabella G.3.-2 D.M. 3/8/2015)

δ_{α}	Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio t_{α} [s]	Esempi
1	600 Lenta	Materiali poco combustibili distribuiti in modo discontinuo o inseriti in contenitori non combustibili.
2	300 Media	Scatole di cartone impilate; pallets di legno; libri ordinati su scaffale; mobili in legno; automobili; materiali classificati per reazione al fuoco (capitolo S.1)
3	150 Rapida	Materiali plastici impilati; prodotti tessili sintetici; apparecchiature elettroniche; materiali combustibili non classificati per reazione al fuoco.
4	75 Ultra-rapida	Liquidi infiammabili; materiali plastici cellulari o espansi e schiume combustibili non classificati per la reazione al fuoco.

Il valore di t_{α} può essere determinato dalla tabella seguente, in funzione del parametro δ_{α} , ovvero la velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio.

In letteratura e più in particolare nell' Eurocodice EN 1991-1-2 tale valore è espresso per varie tipologie di attività come ad esempio:

Attività	Velocità di sviluppo atteso dell' incendio
Uffici	MEDIO
Vendita	VELOCE
Ospedali	MEDIO
Alberghi	MEDIO
Biblioteche	VELOCE
Scuole	MEDIO
Cinema	VELOCE

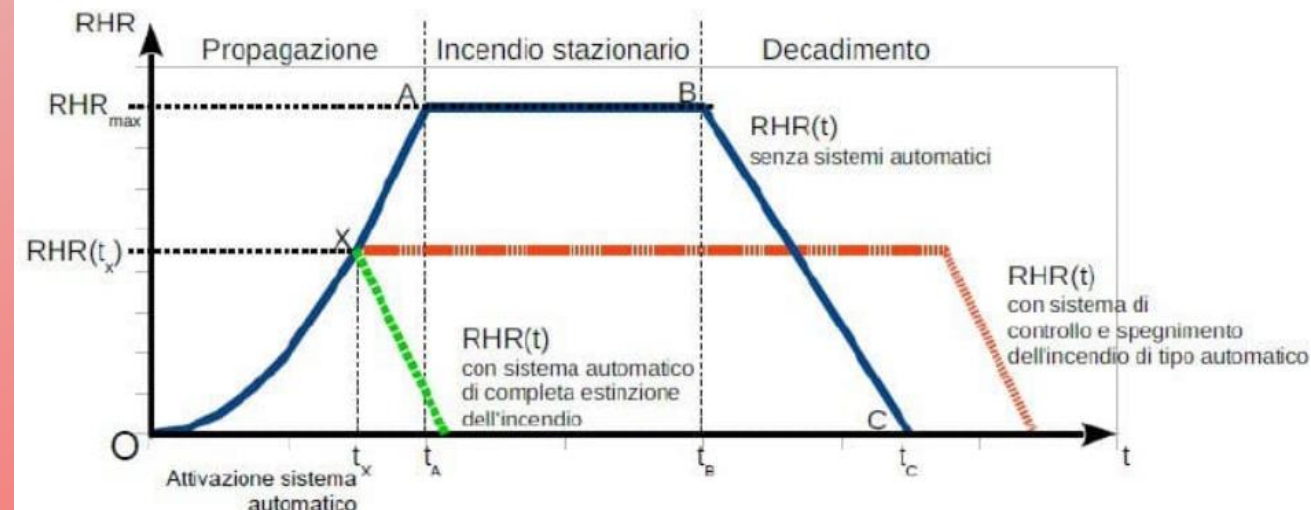
Effetto dei sistemi di controllo dell'incendio sull'andamento della $RHR(t)$

In presenza di sistemi automatici di controllo dell'incendio (ad esempio sprinkler), la potenza termica rilasciata $RHR(t)$ non raggiunge il valore massimo teorico RHR_{max} , che dipenderebbe dalle caratteristiche del combustibile e dell'ambiente. In tali casi, $RHR(t)$ può essere considerata costante e pari al valore $RHR(t)$ corrispondente all'istante t_x in cui l'impianto entra in funzione. Questo valore permane per un intervallo temporale pari alla durata di alimentazione prevista dell'impianto, entro cui si presume che l'incendio venga completamente controllato o estinto mediante intervento manuale.

Nel caso in cui l'attività preveda sistemi automatici di estinzione completa dell'incendio (ad esempio sprinkler ESFR, sistemi water mist, ecc.), l'efficacia di tali sistemi deve essere valutata **caso per caso**, tenendo conto della loro reale efficacia e dell'affidabilità di funzionamento.

Diversamente, l'intervento manuale delle squadre antincendio non può essere considerato nella fase progettuale come elemento utile a

Cambiamento del grafico $RHR(t)$ in funzione degli impianti di protezione attiva



Sviluppo dell'incendio oltre il flashover

Nella maggior parte dei casi, l'energia termica potenzialmente contenuta nel compartimento è sufficiente a innescare la condizione di **flashover**. Si assume quindi che, anche dopo il flashover, la curva di rilascio della potenza termica continui a crescere in modo proporzionale a t^2 fino a un tempo t_A , corrispondente al raggiungimento della massima potenza termica rilasciata, **RHRmax**, per quello specifico compartimento.

In assenza di impianti di controllo o di estinzione automatica dell'incendio, si ipotizza che, nel periodo compreso tra t_A e t_B , la potenza termica rilasciata rimanga costante al valore massimo:

$$\mathbf{RHR(t) = RHRmax} \quad \text{per } t_A \leq t < t_B$$

Dove t_B rappresenta il tempo finale della fase stazionaria dell'incendio e coincide con l'inizio della fase di decadimento. La stima del valore di **RHRmax** dipende dal tipo di controllo dell'incendio, che può essere:

- **Controllato dal combustibile:** tipico di incendi all'aperto o in edifici con ampia ventilazione. In questo caso, **RHRmax** si calcola come:

$$\mathbf{RHRmax = RHRf \times Af}$$

Dove:

- **RHRf** è la potenza termica massima rilasciata per unità di superficie lorda [kW/m^2], ovvero la massima densità di rilascio di calore da 1 m^2 di superficie incendiata;

- **Af** è la superficie lorda dell'area in combustione [m^2].

A lato è riportato il **Prospetto E.5** dell'Eurocodice **UNI EN 1991-1-2**, che fornisce i valori di **RHRf** per diverse tipologie di attività.

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

Determinazione di RHRmax in funzione del tipo di controllo dell'incendio

- Nel caso di incendio **controllato dal combustibile**, il parametro **Af** rappresenta:
- la **superficie lorda del compartimento**, qualora il carico d'incendio sia distribuito uniformemente;
- oppure la **superficie effettivamente occupata dal combustibile**, in caso di incendio localizzato.

Quando invece l'incendio è **controllato dalla ventilazione** – come avviene in ambienti con aperture di ventilazione ordinarie – il fattore limitante per la combustione non è la quantità di combustibile disponibile, bensì la disponibilità di ossigeno. Anche in presenza di elevate masse di materiale combustibile, la combustione risulta parzialmente limitata dalla scarsità di comburente.

In questo scenario, qualora il compartimento presenti **solo aperture verticali**, è possibile stimare la **RHRmax** (potenza termica massima rilasciata) mediante la seguente **formula semplificata**:

$$\text{RHRmax} = 0,10 \times m \times H_u \times A_v \times v_{heq}$$

Dove:

- **m**: fattore di partecipazione del materiale alla combustione (valore tipico: 0,8 per legno e materiali cellulosici, 1 per altri materiali combustibili);
- **Hu**: potere calorifico inferiore del combustibile, assunto pari a **17.500 kJ/kg** per il legno;
- **Av**: area totale delle aperture verticali presenti sulle pareti del compartimento [m²];
- **heq**: altezza equivalente delle aperture verticali [m], calcolata con la seguente relazione:

$$h_{eq} = \frac{\sum A_{v,i} h_i}{\sum A_{v,i}}$$

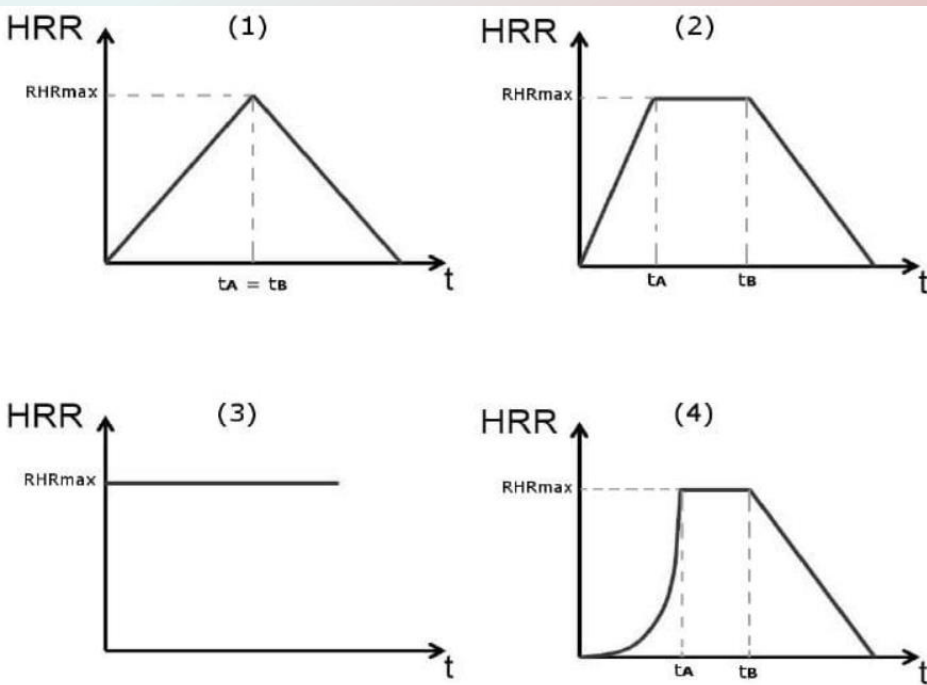
– Av,i : area dell'apertura verticale i-esima [m²]

– hi: altezza dell'apertura verticale i-esima [m]

Una volta calcolato il valore di RHRmax possiamo calcolare i tempi t_A e t_B di inizio e fine della fase stazionaria dell'incendio:

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

Il grafico del tasso di rilascio termico non sempre è costituito dalle tre fasi solite e può presentare delle forme differenti, come nel caso in cui si raggiunge il valore massimo di RHRmax al tempo t_A susseguito dalla fase di decadimento, quindi in assenza della fase di incendio stazionario. Riportiamo nella figure seguenti le varie tipologie di grafico RHR(t).



- Caso (1): incendio che non presenta la fase stazionaria, ma raggiunto RHRmax decresce;
- Caso (2): incendio tipico con susseguirsi delle tre fasi ma con fase di propagazione lineare;
- Caso (3): incendio costante nel tempo al valore di RHRmax ;
- Caso (4): incendio tipico con susseguirsi delle tre fasi ma con fase di propagazione di tipo parabolica.

Il presentarsi del Caso (1) o del Caso (2) dipende dalla percentuale di energia termica ancora disponibile dopo la fase di propagazione dell'incendio. In particolare, la Norma specifica che se l'energia termica inizialmente disponibile è sufficiente affinché l'incendio superi la fase di propagazione e raggiunga la potenza massima RHRmax, allora si verifica che:

$$70\% \cdot q_f \cdot A_f \geq \frac{1}{3} \cdot \frac{1000}{t_a^2} \cdot t_A^3$$

Se il primo termine è maggiore del secondo allora siamo nel Caso (2) o (4) ed il tempo t_B di fine della fase di incendio stazionario si calcola con la seguente espressione:

$$t_B = t_A + \frac{70\% q_f A_f - \frac{1}{3} \frac{1000}{t_a^2} t_A^3}{RHR_{max}}$$

Dove q_f rappresenta il carico di incendio specifico espresso in kJ/m².

Se l'energia termica inizialmente disponibile non è sufficiente affinché l'incendio superi la fase di propagazione, la curva RHR raggiunge il valore massimo per qualche secondo poi passa direttamente alla fase di decadimento, quindi siamo nel Caso (1) con $t_A = t_B$.

FASE DI DECADIMENTO

Il tempo t_C , trascorso il quale la potenza termica rilasciata dall'incendio si annulla, viene calcolato considerando che nella fase di decadimento è consumato il restante 30% dell'energia termica inizialmente disponibile. Possiamo calcolare il tempo con potenza termica nulla t_C con l'espressione:

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

Durante la fase di decadimento l'andamento della potenza prodotta dall'incendio è lineare ed il suo valore al variare del tempo vale specificatamente:

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

