



M1) METODOLOGIA PER L'INGEGNERIA DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO

FASI DELLA METODOLOGIA

✓ **I FASE: Analisi preliminare**

Definisce l'individuazione delle **condizioni più rappresentative di rischio** dell'attività e i **livelli di prestazione** cui riferirsi in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire.

✓ **II FASE: Analisi quantitativa**

Calcolo degli effetti dell'incendio in relazione agli obiettivi assunti, confrontando i risultati ottenuti con i livelli di prestazione individuati e definendo il progetto da sottoporre a approvazione.



FASI DELLA METODOLOGIA





ANALISI PRELIMINARE (I FASE)

Individuare le condizioni più rappresentative del rischio e i livelli di prestazione in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire.

Al termine è redatto un **SOMMARIO TECNICO**, firmato dal **progettista** e dal **responsabile dell'attività**, ove è sintetizzato il processo seguito per individuare **livelli di prestazione** e **scenari di incendio**.

1. **Definizione del progetto**
2. **Identificazione degli obiettivi di sicurezza**
3. **Definizione delle soglie di prestazione**
4. **Individuazione degli scenari di incendio di progetto ([Cap. M2](#))**



1. DEFINIZIONE DEL PROGETTO

Viene **definito lo scopo** della progettazione antincendio.

Si tratta di una **descrizione del progetto**.

È sufficiente **illustrare la situazione esistente** o di **progetto**, necessaria come base per le successive analisi.

Alcuni **elementi** sono di **particolare rilevanza** nella definizione degli obiettivi di sicurezza e, di conseguenza, nella selezione degli scenari.

Si devono **esplicitare** in modo chiaro gli elementi che, a giudizio del professionista, costituiscono **criticità** ai fini della valutazione.



Il professionista antincendio identifica e documenta:

- **destinazione d'uso** dell'attività;
- **finalità** della progettazione antincendio prestazionale;
- eventuali **vincoli progettuali** derivanti da previsioni normative o da esigenze peculiari dell'attività;
- **pericoli di incendio** connessi con la destinazione d'uso prevista;
- **condizioni al contorno** per l'individuazione dei dati necessari per la valutazione degli effetti che si potrebbero produrre;
- **caratteristiche degli occupanti** in relazione alla tipologia di edificio ed alla destinazione d'uso prevista.



2. IDENTIFICAZIONE DEGLI OBIETTIVI DI SICUREZZA ANTINCENDIO

Dopo aver stabilito lo scopo del progetto, il **professionista** antincendio **specifica gli obiettivi di sicurezza antincendio**, in relazione alle specifiche esigenze dell'attività.

Con gli obiettivi si specificano qualitativamente, ad esempio:

- Il livello di salvaguardia dell'**incolumità** degli occupanti.
- Il massimo **danno tollerabile** all'attività.
- La **continuità d'esercizio** a seguito di un evento incidentale.



Obiettivi generali e specifici identificati in conformità alle disposizioni di prevenzione incendi e in relazione a specifiche esigenze dell'attività.

Servono come riferimento per stabilire i livelli di prestazione.

Obiettivi generali: Requisito essenziale n. 2 “Sicurezza in caso di incendio” della **direttiva 89/106/CEE** “Prodotti da costruzione”: **1)** Capacità portante per periodo di tempo; **2)** Produzione e propagazione fuoco e fumo limitata; **3)** Propagazione fuoco alle opere vicine limitata; **4)** Sicurezza occupanti; **5)** Sicurezza soccorritori.

Esempio:

Finalità: ammettere una lunghezza delle vie di esodo maggiore di quanto previsto dalla regola tecnica.

Obiettivi: gli occupanti devono poter raggiungere un luogo sicuro.



Esempi di obiettivi, effettuando una valutazione delle priorità:

- *Evitare decessi nell'ambiente di origine dell'incendio.*
- *Evitare il flash over in un dato locale.*
- *Evitare danni al di fuori dell'edificio.*
- *Minimizzare le conseguenze per le persone all'interno dell'edificio.*
- *Minimizzare la probabilità di propagazione oltre il compartimento.*
- *Evitare conseguenze a persone che si trovano al di fuori dell'edificio.*
- *Rendere minimo il danno a determinati impianti o macchinari.*
- *Evitare l'interruzione delle attività commerciali o industriali.*
- *Limitare l'esposizione al fumo dei beni.*



3. DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DI PRESTAZIONE

Consiste nella traduzione degli **obiettivi antincendio in soglie di prestazione** (*gli obiettivi diventano valori numerici*) di tipo **quantitativo** e **qualitativo** rispetto alle quali si svolge la valutazione di sicurezza antincendio.

Il progettista indica i **parametri significativi** (*valori numerici*) per garantire il soddisfacimento degli obiettivi (*nella seconda fase*).

I **parametri** sono **valori di soglia** o **campi di valori** o **distribuzioni** (*Temperature dei gas, concentrazioni di gas, fumo, livelli di visibilità, irraggiamento, livelli di concentrazione delle specie tossiche, ecc.*).

In tal modo si rendono quantitativi gli **effetti termici** su strutture, la **propagazione** dell'incendio, i **danni** a **occupanti**, **beni** e **ambiente**.



CONSIDERAZIONI SU ALCUNI PARAMETRI

Quando i valori che danno luogo ai criteri prestazionali hanno a che fare con la **risposta umana** le scelte devono essere attentamente giustificate, data **l'incertezza** con cui i **comportamenti umani** possono essere schematizzati.



La definizione di criterio prestazionale evidenzia che è **impossibile garantire un ambiente privo di rischi**, caratteristica di ogni valutazione di rischio (*il rischio zero non esiste*).

La **diminuzione di rischi** è legata all'**aumento di costi della sicurezza**.



LIVELLI DI TEMPERATURA

Il livello massimo ammissibile può variare in funzione degli obiettivi antincendio.

(esodo degli occupanti, permanenza del personale addetto per il tempo necessario alla messa in sicurezza degli impianti, intervento dei soccorritori).



Esempio:

*Per gli **occupanti** può essere ritenuta ammissibile una esposizione ad una **temperatura $\leq 50 \div 60$ °C**⁽²³⁾ per il **tempo di esodo**;*

I valori possono variare e devono sempre essere giustificati.

²³ *Valori molto cautelativi.*

LIVELLI DI VISIBILITÀ

La visibilità ammessa lungo le vie di esodo deve essere **definita per un certo periodo temporale** e **relativamente** alla quota cui è posizionata la **segnaletica** che indica il percorso d'esodo.



La tipologia dei **segnali** (riflettenti, luminosi) e la loro posizione **può influenzare** i valori ammissibili.

Esempio:

*Per gli **occupanti** si può ritenere ammissibile una **visibilità di 10 m** per il **tempo di esodo**; Valori diversi devono essere giustificati.*

*Può essere giustificata per i **soccorritori** l'assunzione di **livelli di visibilità ridotti** ma garantiti per il tempo necessario all'intervento.*



LIVELLI DI IRRAGGIAMENTO

Il livello di irraggiamento deve intendersi risultante dal contributo della sorgente di incendio, dei prodotti della combustione (fumi, gas) e delle strutture (pareti, solai).



Esempio:

Per gli **effetti sulle persone** possono essere presi a riferimento i valori di soglia previsti dal DM LL.PP. 9/5/2001, che riporta il limite massimo di **3 kW/m²** per **lesioni reversibili**.

Considerato sono riferiti a un ambito industriale, valori usualmente accettabili sono **$\leq 2 \text{ kW/m}^2$** , ⁽²⁴⁾ per un limitato tempo di esposizione, che devono essere documentati in relazione allo scenario in esame.

²⁴ **Irraggiamento nel mese di agosto alle nostre latitudini $\cong 1 \div 1,5 \text{ kW/m}^2$.**



LIVELLI DI CONCENTRAZIONE DELLE SPECIE TOSSICHE

È consigliato **escludere tale parametro**, in quanto gli algoritmi disponibili non consentono di prevederne la distribuzione con sufficiente attendibilità. Possono essere adottate modalità indirette di affrontare il problema.



Esempi:

*Prescrivere che una persona non possa essere esposta, neanche per brevissimo tempo, a fumi e gas di combustione, imponendo **$H > 1,8 \div 2$ m libera da fumi e gas, nelle vie di esodo** durante l'evacuazione.*

*Imporre valori minimi di visibilità **nelle vie di esodo** determinato tempo, senza presenza di materiali tali da dar luogo a fuochi covanti o cianuri, clorurati, fluorurati, ecc. Generalmente con **visibilità ≥ 10 m** si può trascurare la valutazione delle specie tossiche presenti.*



4. SCENARI DI INCENDIO

Schematizzazione degli **eventi** che possono **ragionevolmente verificarsi** in relazione alle caratteristiche del focolare, edificio e occupanti.

Fra gli scenari ipotizzabili devono essere **scelti i più gravosi**.

Rappresentano la **schematizzazione degli eventi** che possono ragionevolmente verificarsi in relazione a **3 aspetti** fondamentali:

- Caratteristiche dell'**incendio**;
- Caratteristiche dell'**edificio**;
- Caratteristiche degli **occupanti**.

La procedura di **identificazione**, **selezione** e **quantificazione** degli scenari di incendio di progetto è descritta nel **Capitolo M2**.



ANALISI QUANTITATIVA (II FASE)

Si compone di alcune sotto-fasi necessarie per effettuare le verifiche di sicurezza degli scenari individuati nella fase preliminare:

- 1. Elaborazione delle soluzioni progettuali.**
- 2. Valutazione delle soluzioni progettuali.**
- 3. Selezione delle soluzioni progettuali idonee.**



1. ELABORAZIONE DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI

Il professionista antincendio elabora una o più soluzioni progettuali per l'attività, **congruenti con le finalità già definite** al paragrafo “**Definizione del progetto**” della I fase, da sottoporre alla successiva verifica di soddisfacimento degli obiettivi di sicurezza antincendio.



2. VALUTAZIONE DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI

- Il professionista antincendio **calcola gli effetti** dei singoli scenari per ogni soluzione progettuale elaborata nella fase precedente.
- Sono impiegati **modelli di calcolo** analitici o numerici, i cui risultati quantitativi consentono di descrivere l'evoluzione dell'incendio e gli effetti su strutture, occupanti, ambiente.
- La **modellazione** è di norma **onerosa** per risorse e tempo.
- Ottenuti i risultati, si **verifica** il rispetto delle **soglie di prestazione** per le soluzioni progettuali per ciascuno scenario di progetto.
- Le **soluzioni** progettuali **che non rispettano** tutte le soglie di prestazione per ogni scenario di progetto devono essere **scartate**.



3. SELEZIONE DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI IDONEE

- Il professionista antincendio **seleziona la soluzione** progettuale finale **tra quelle che sono state verificate positivamente** rispetto agli scenari di incendio di progetto.



DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO

La documentazione deve essere **integrata**:

✓ **I FASE (ANALISI PRELIMINARE):**

Sommario tecnico firmato congiuntamente dal progettista e dal titolare dell'attività, ove è sintetizzato il processo seguito per individuare gli scenari di incendio di progetto ed i livelli di prestazione.

✓ **II FASE (ANALISI QUANTITATIVA):**

- **Relazione tecnica;**
- **Programma per la gestione della sicurezza antincendio:**



SOMMARIO TECNICO

Firmato dal **responsabile dell'attività** e dai **progettisti**.

Deve contenere le seguenti **informazioni** e **individuare**:

- **Responsabile** dell'**attività**;
- **Responsabile** della **progettazione** antincendio;
- **Professionisti antincendio** che utilizzano l'**FSE** e che definiscono l'**SGSA**, se diversi;
- **Finalità** per le quali si applica il **metodo prestazionale**⁽²⁵⁾.
- Devono essere evidenziati gli **aspetti** della progettazione antincendio **esclusi dalla progettazione prestazionale**.

²⁵ *es. analisi campi termici, diffusione fumi e verifica vie d'esodo, valutazione tempi d'esodo, valutazione capacità portante delle strutture, protezione beni o ambiente in caso d'incendio, continuità di esercizio.*



RELAZIONE TECNICA

- ✓ Deve risultare la risposta complessiva di tutte le soluzioni progettuali agli scenari di incendio di progetto.
- ✓ L'esito dell'analisi deve essere **sintetizzato in maniera chiara** con tabelle, disegni, schemi grafici, immagini.
- ✓ Il professionista antincendio deve fornire le seguenti **indicazioni**:
 - **Modelli di calcolo utilizzati**: elementi a sostegno della scelta del modello utilizzato dimostrando la coerenza con lo scenario di incendio di progetto adottato;
 - **Parametri e valori associati**: la scelta iniziale dei valori da assegnare deve essere giustificata in modo adeguato, con riferimento a norme, letteratura, prove sperimentali;



- **Origine e caratteristiche dei codici di calcolo:** indicazioni su origine e caratteristiche dei codici utilizzati con riferimento a: *denominazione, autore o distributore, versione e validazioni sperimentali, inquadramento teorico della metodologia di calcolo e traduzione numerica, affidabilità dei codici;*
- **Confronto fra risultati della modellazione e soglie di prestazione:** elementi che consentono di verificare il rispetto delle soglie di prestazione indicate nell'analisi preliminare, al fine di evidenziare l'adeguatezza delle misure antincendio da adottare.
- ✓ Rendere disponibili **tabulati di calcolo** e relativi **dati di input**.
- ✓ Una documentazione appropriata dei risultati e del percorso progettuale assicura che **tutti i soggetti interessati comprendano** le limitazioni imposte all'attività in relazione alla soluzione progettuale.



GESTIONE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO (GSA)

La metodologia prestazionale, basandosi sull'individuazione delle misure di protezione effettuata mediante scenari di incendio, richiede un **mantenimento nel tempo di tutti i parametri** posti alla base della scelta degli scenari.

Le misure di GSA devono essere limitate agli **aspetti trattati nella progettazione prestazionale**, con riguardo a:

*Soluzioni progettuali, misure di prevenzione e protezione, mantenimento delle condizioni di esercizio da cui **discendono i valori dei parametri di ingresso**.*

Le misure di GSA sono sottoposte a **verifiche periodiche** da parte del responsabile dell'attività secondo intervalli definiti nel progetto.



STRUTTURA DELLA GSA

Nell'ambito della GSA devono essere valutati ed esplicitati i provvedimenti presi relativamente ai seguenti punti:

- Organizzazione del personale;
- Identificazione e valutazione dei pericoli derivanti dall'attività;
- Controllo operativo;
- Gestione delle modifiche;
- Pianificazione di emergenza;
- Sicurezza delle squadre di soccorso;
- Controllo delle prestazioni;
- Manutenzione dei sistemi di protezione;
- Controllo e revisione.



CRITERI DI SCELTA E D'USO DEI MODELLI E DEI CODICI DI CALCOLO

- ✓ Il prof. antincendio può **optare tra i modelli di calcolo disponibili**.
- ✓ Il prof. antincendio deve possedere **particolare competenza** e conoscenza dei fondamenti teorici e della dinamica dell'incendio.
- ✓ Nella relazione tecnica deve essere specificato:
 - Tipologia del codice di calcolo adottato, autori, versione, modalità per accedere alla documentazione d'uso e tecnica;
 - Criterio di scelta del modello di calcolo impiegato.
- ✓ Deve essere indicato che il codice di calcolo è:
 - **Impiegato nel suo campo di applicazione**;
 - **Validato** per applicazioni analoghe.



- ✓ I modelli più frequentemente utilizzati sono:
 - **Modelli analitici;**
 - **Modelli numerici:**
 - di simulazione incendio **a zone** per ambienti confinati (CFAST, Ozone).
 - di simulazione incendio **di campo** (CFX, FDS, Fluent).
 - di simulazione dell'**esodo** (FDS+EVAC).
 - di analisi **termostrutturale** (Abaqus, Adina, Ansys, Diana, Safir, Strauss).
- ✓ Nel **campo di applicazione**, i **modelli analitici** garantiscono stime accurate di effetti dell'incendio (*es. calcolo tempo di flashover*).
Per **analisi più complesse** con interazioni dipendenti dal tempo di più processi di tipo fisico e chimico si ricorre ai **modelli numerici**.



- ✓ Per i parametri di input più rilevanti deve essere svolta l'**analisi di sensibilità** dei risultati alla variazione del parametro di input.

*Ad es., i risultati non devono essere significativamente **dipendenti** dalle dimensioni della griglia di calcolo;*

*O anche, se **piccole variazioni dei dati di input** portano a **forti cambiamenti nell'output**, è necessario riconsiderare con grande attenzione.*

- ✓ Ammesso l'**uso contemporaneo di più tipologie di modelli**. Ad es.:
 - **Modelli specifici** per la valutazione del tempo di attivazione di un impianto e della rottura di un vetro, per poi inserire i dati ricavati in una modellazione con **modelli di campo**;
 - **Modello a zone** per valutare in una prima fase le condizioni di maggiore criticità del fenomeno, per poi approfondire la trattazione degli effetti con **modelli di campo**.



M2) SCENARI DI INCENDIO PER LA PROGETTAZIONE PRESTAZIONALE

È descritta la procedura di *identificazione*, *selezione* e *quantificazione* degli scenari

Identificazione di tutti gli scenari possibili (*il numero può essere molto elevato*)



Selezione degli scenari di incendio di progetto (*un sottogruppo dei primi*)



Quantificazione degli scenari di incendio di progetto selezionati.



Identificazione dei possibili scenari d'incendio

Il **1^ passo** consiste nell'**identificare tutti i possibili scenari** d'incendio che possono svilupparsi durante la vita dell'attività.

Si devono **considerare** tutte le **condizioni di esercizio** ragionevolmente prevedibili.

Ogni scenario d'incendio identificato deve essere descritto in relazione alle sue **3 caratteristiche** fondamentali:

- **Incendio**
- **Attività**
- **Occupanti**

Il professionista antincendio deve tenere conto degli incendi che hanno interessato attività simili mediante **analisi storica**.



Selezione degli scenari d'incendio di progetto

Nel **1^ passo** è identificato un **elevato numero di scenari d'incendio**.

Lo scopo **2^ passo** è **ridurre il numero al minimo ragionevole**, per alleggerire la successiva verifica.

Il professionista antincendio esplicita i motivi che portano ad escluderne alcuni dalla successiva analisi quantitativa, facendo riferimento agli **alberi degli eventi** o secondo **giudizio esperto**.

Il professionista antincendio **seleziona i più gravi** tra gli scenari di incendio credibili.

Gli scenari d'incendio così selezionati rappresentano un **livello di rischio d'incendio non inferiore** a quello relativo a tutti gli scenari.

La selezione degli scenari d'incendio è fortemente **influenzata dall'obiettivo** che il professionista antincendio intende raggiungere.



Descrizione quantitativa degli scenari d'incendio di progetto

Terminata la selezione degli **scenari d'incendio di progetto**, il professionista antincendio procede con la loro **descrizione quantitativa**.

Il professionista antincendio **traduce la descrizione qualitativa** degli scenari d'incendio di progetto **in dati numerici di input** appropriati per la metodologia di calcolo scelta per la verifica delle ipotesi progettuali.

In relazione alle finalità dell'analisi, il professionista antincendio specifica i **dati di input per**:

- **Attività.**
- **Occupanti.**
- **Incendio.**



Attività

Le caratteristiche dell'attività influenzano:

- Esodo degli occupanti,
- Sviluppo dell'incendio,
- Diffusione dei prodotti della combustione.

A seconda dell'obiettivo dell'analisi, la descrizione quantitativa dell'attività potrà comprendere vari elementi:

- Caratteristiche architettoniche e strutturali
- Impiantistica
- Aspetti gestionali ed operativi
- Fattori ambientali che influenzano le prestazioni antincendio



Occupanti

A seconda dell'obiettivo dell'analisi, il professionista antincendio descrive le caratteristiche delle persone presenti, che possono influenzare il comportamento e la risposta nei confronti dell'incendio.

- ✓ Condizioni delle persone presenti:
 - Affollamento.
 - Categoria occupanti (*Lavoratori, studenti; visitatori; anziani; malati; disabili*).
 - Stato psico-fisico.
 - Grado di familiarità degli occupanti con l'ambiente.
 - Stato di veglia/sonno.



Incendio

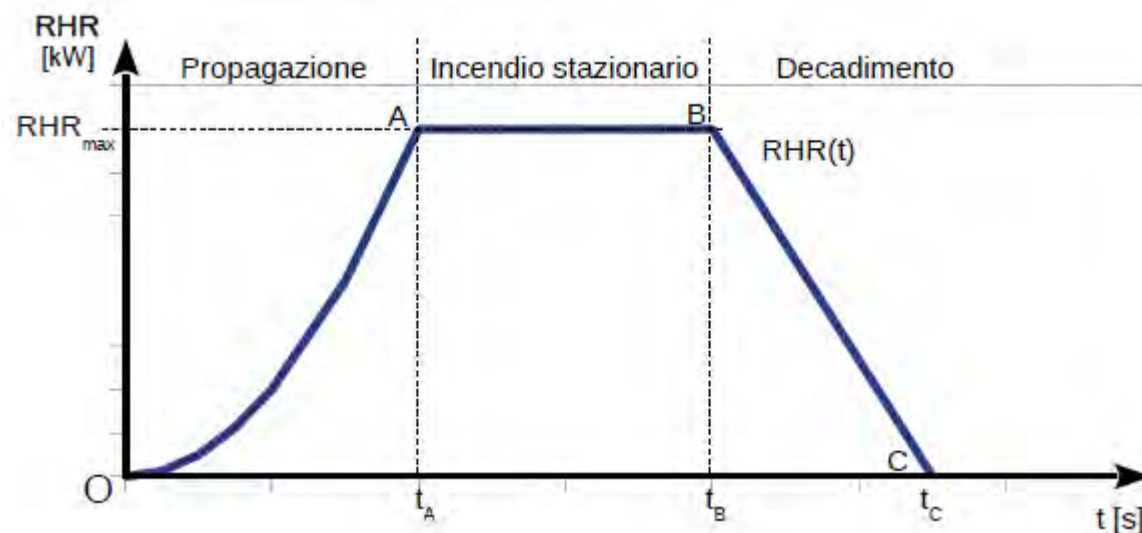
A seconda dell'obiettivo dell'analisi, la descrizione dell'incendio consiste nella **caratterizzazione quantitativa del focolare**, in quanto sorgente di energia termica e di prodotti della combustione, secondo i seguenti parametri:

- localizzazione del focolare;
- tipologia di focolare: covante o con fiamma;
- quantità, qualità e distribuzione spaziale del combustibile;
- fonti d'innesco;
- curva RHR (rate of heat released), quale potenza termica prodotta dal focolare al variare del tempo $RHR(t)$;
- generazione dei prodotti della combustione presi in considerazione (es. CO e particolato).



Heat Release Rate – HRR

L'incendio può essere schematizzato come una sorgente di tipo volumetrico, ossia una sorta di **bruciatore che rilascia calore** (Heat Release Rate - HRR) e quantità di **particolato** (*soot*) e di **gas**.



I valori assunti dal progettista per la costruzione della curva HRR per un dato scenario devono essere opportunamente giustificati.

L' HRR rappresenta la “carta di identità” dell'incendio ed è il parametro di input principale per i software di simulazione degli incendi.



Definizione di t_α e HRR_f

t_α , tempo necessario per raggiungere il tasso di rilascio termico pari a 1 MW.

HRR_f massimo tasso di rilascio termico prodotto da 1 m² di incendio nel caso di combustione controllata dal combustibile.

Table E.5 — Fire growth rate and RHR_f for different occupancies

Max Rate of heat release RHR_f			
Occupancy	Fire growth rate	t_α [s]	RHR_f [kW/m ²]
Dwelling	Medium	300	250
Hospital (room)	Medium	300	250
Hotel (room)	Medium	300	250
Library	Fast	150	500
Office	Medium	300	250
Classroom of a school	Medium	300	250
Shopping centre	Fast	150	250
Theatre (cinema)	Fast	150	500
Transport (public space)	Slow	600	250

Un riferimento condiviso è, in **ambito civile**, la tabella E5 dell'Eurocodice EN 1991-1-2.

In **ambito industriale**, con riferimento ad incendi in ambiente confinato, si può far riferimento a valori diversi purché riconducibili a studi e sperimentazioni effettuate in tale ambito.



Incendio - Caratterizzazione quantitativa del focolare

Ai fini della caratterizzazione quantitativa del focolare il professionista antincendio può:

- Impiegare **dati sperimentali** ottenuti da misura diretta in laboratorio secondo metodologia scientifica consolidata.
- Usare **dati pubblicati da fonti autorevoli e condivise**. Il professionista antincendio cita sempre con precisione tali fonti e verifica la corrispondenza del campione di prova sperimentale.
- Impiegare delle **metodologie di stima**.
- In alternativa, può impiegare i **focolari predefiniti** (forniti dal Codice) nell'ambito delle limitazioni ivi specificate.



Durata degli scenari d'incendio di progetto

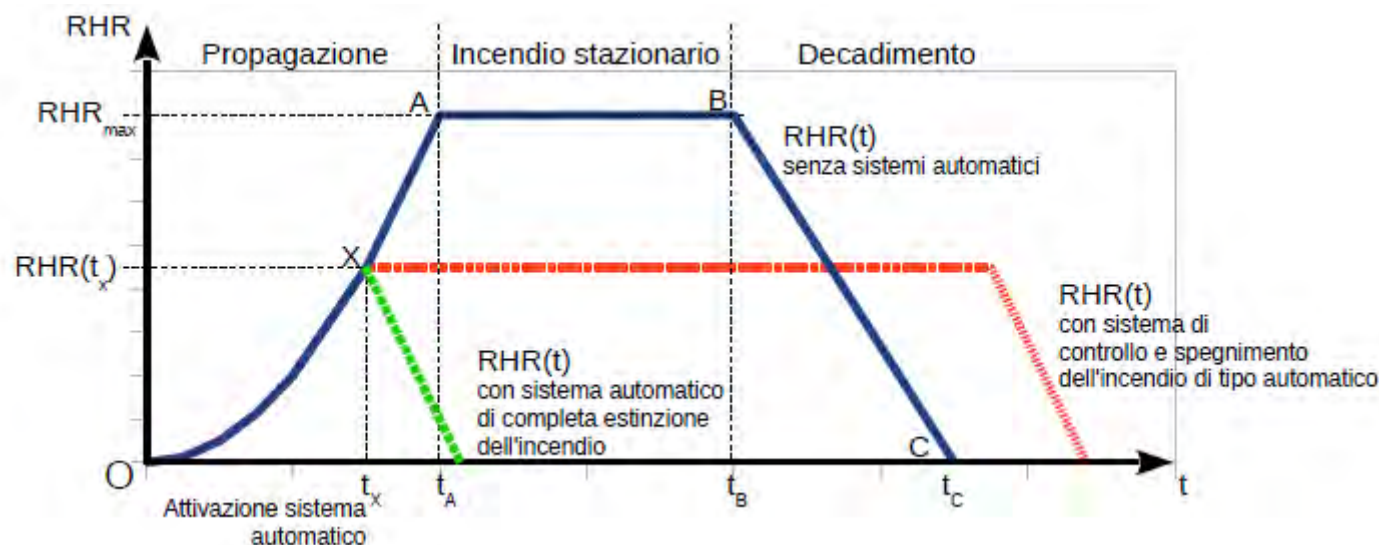
Deve essere descritta tutta la sequenza di evoluzione dell'incendio, a partire dall'evento iniziatore per un intervallo di tempo che dipende dagli obiettivi di sicurezza da raggiungere come riportato in tabella:

Obiettivo di sicurezza antincendio	Durata minima degli scenari di incendio di progetto
Salvaguardia della vita	Dall'evento iniziatore fino al momento in cui tutti gli occupanti dell'attività raggiungono o permangono in un luogo sicuro. Se il luogo sicuro è prossimo o interno all'opera da costruzione, devono essere valutate eventuali interazioni tra il mantenimento della capacità portante dell'opera da costruzione ed il luogo sicuro.
Mantenimento della capacità portante in caso d'incendio	Dall'evento iniziatore fino all'arresto dell'analisi strutturale, in fase di raffreddamento, al momento in cui gli effetti dell'incendio sono ritenuti non significativi in termini di variazione temporale delle caratteristiche della sollecitazione e degli spostamenti

Stima della curva RHR

La definizione quantitativa delle varie fasi dell'incendio si riferisce alla seguente curva qualitativa. La metodologia può essere utilizzata per:

- Costruire le curve naturali per la valutazione della capacità portante in condizioni d'incendio delle opere da costruzione;
- Valutare la portata di fumo emessa durante l'incendio per la progettazione dei sistemi per l'evacuazione di fumo e calore.

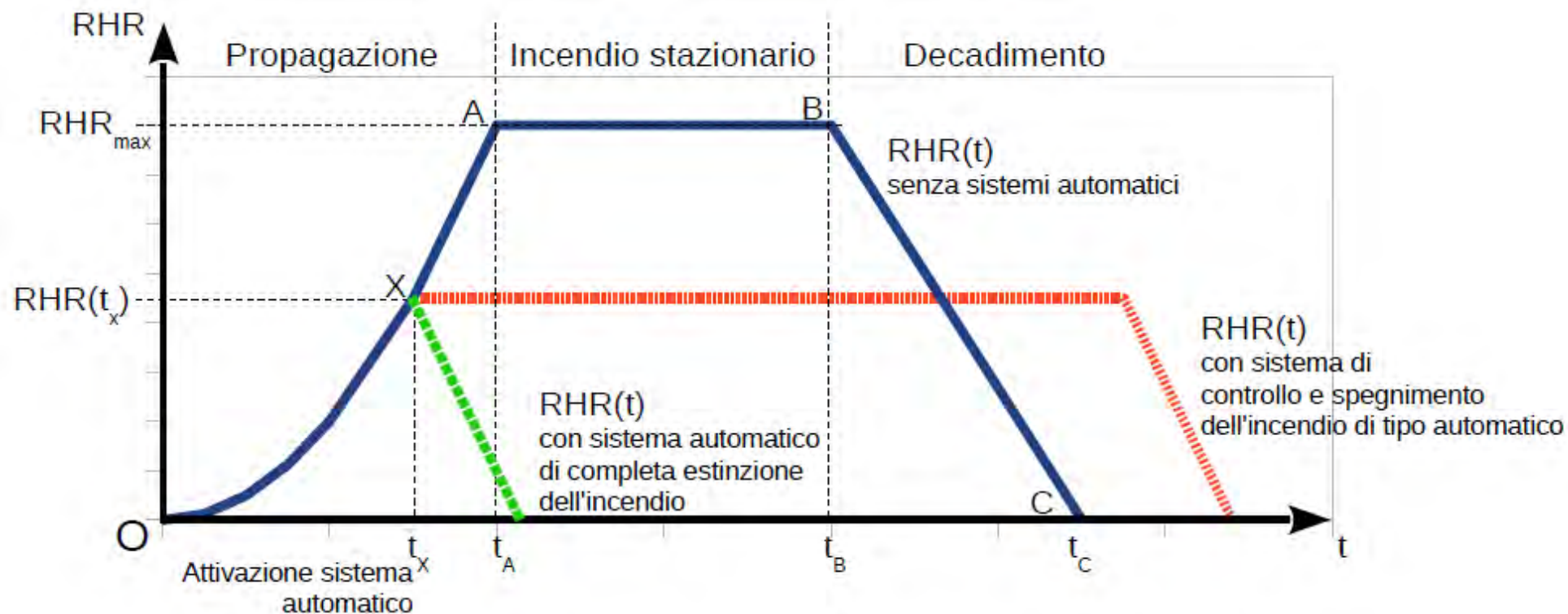




Curva RHR

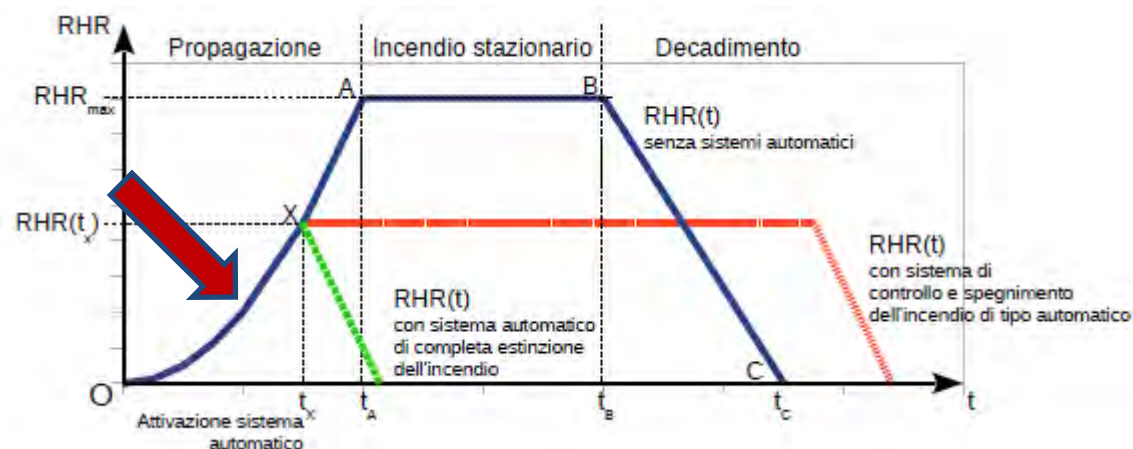
Fasi dell'incendio:

Propagazione - Incendio stazionario - Decadimento



Fase di propagazione dell'incendio

Durante la fase di propagazione, la potenza termica rilasciata dall'incendio al variare del tempo $RHR(t)$ può essere rappresentata da:



$$RHR(t) = 1000 \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2 \quad \text{per } t < t_A$$

$RHR(t)$: potenza termica rilasciata dall'incendio [kW]

t : tempo [s]

t_α : tempo affinché RHR raggiunga 1000 kW [s]
(come da tabella seguente)



δ_α : Caratteristiche prevalenti di crescita dell'incendio

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
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, schiume combustibili



$$\mathbf{RHR(t) = 1000 \left(\frac{t}{t_{\alpha}} \right)^2 \quad per\ t < t_A}$$

Crescita parabolica (quadratica) $\mathbf{RHR(t) = \beta\ t^2}$ con $\mathbf{\beta = \frac{1000}{t_{\alpha}^2}}$

$$t_{\alpha} = 600\ s\ (S - Slow) \quad \Rightarrow \quad RHR(t) = 0,00278\ t^2$$

$$t_{\alpha} = 300\ s\ (M - Medium) \quad \Rightarrow \quad RHR(t) = 0,01111\ t^2$$

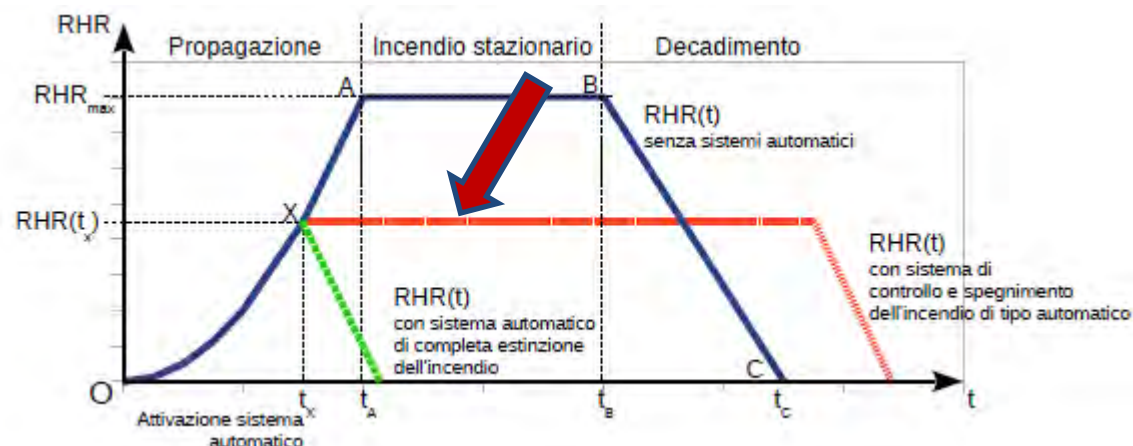
$$t_{\alpha} = 150\ s\ (F - Fast) \quad \Rightarrow \quad RHR(t) = 0,04444\ t^2$$

$$t_{\alpha} = 75\ s\ (UF - Ultra Fast) \quad \Rightarrow \quad RHR(t) = 0,17778\ t^2$$



Effetto dei sistemi automatici di controllo dell'incendio

Con **sistemi di controllo dell'incendio di tipo automatico** (es. sprinkler), $RHR(t)$ non raggiunge RHR_{max} , che poteva raggiungere in base a combustibile e ambiente.



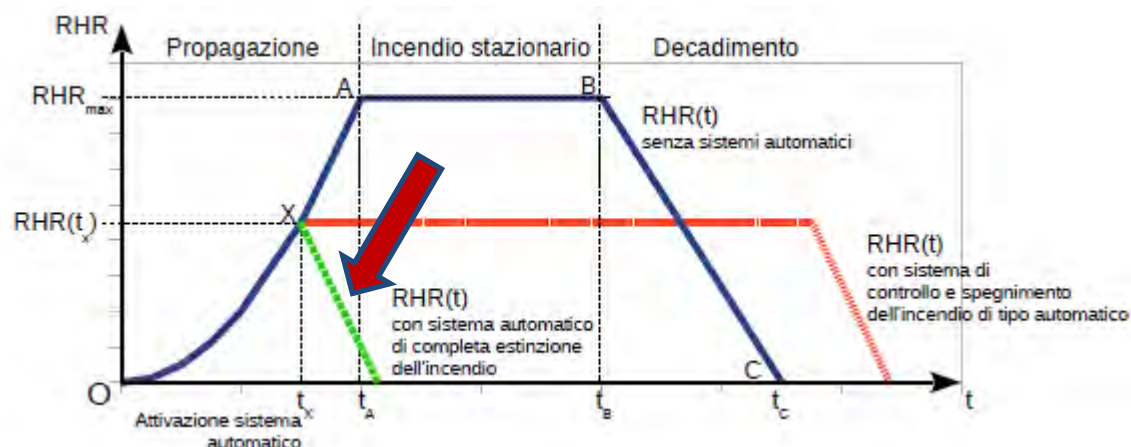
RHR può essere assunto **costante** e pari a $RHR(t_x)$ **raggiunto all'istante t_x** di entrata in funzione dell'impianto.

Tale valore permane per un intervallo di tempo pari alla durata di alimentazione prevista, entro cui si presume che l'incendio controllato venga estinto con l'intervento manuale.



Effetto dei sistemi automatici di controllo dell'incendio

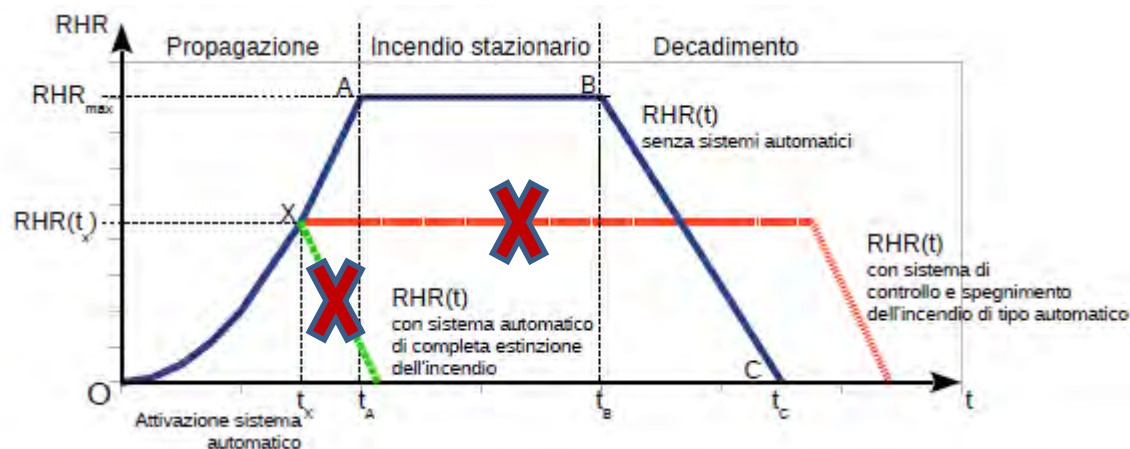
Se nell'attività sono previsti **sistemi automatici di estinzione completa** dell'incendio (es. ESFR, water mist, ecc.), il loro effetto deve essere **valutato caso per caso** in relazione alla loro efficacia ed all'affidabilità di funzionamento.





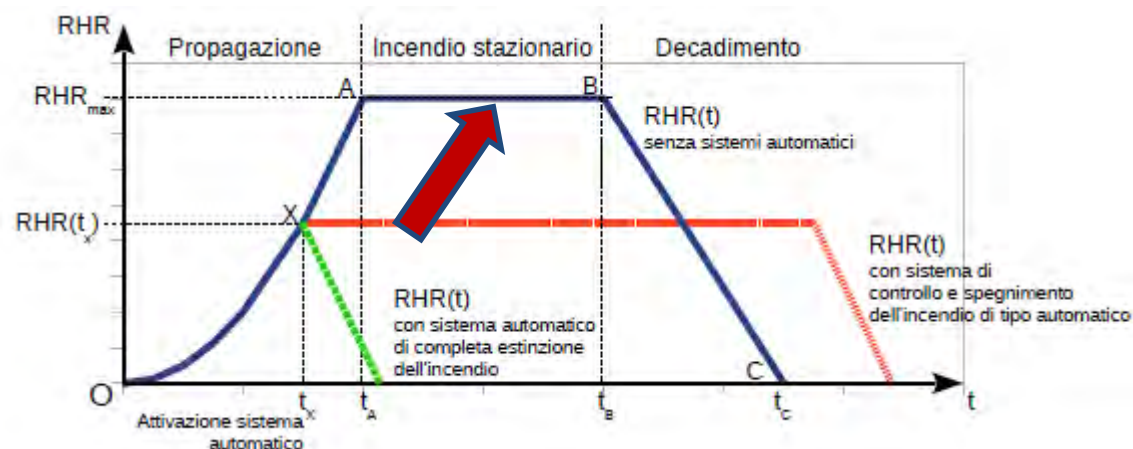
Effetto dell'intervento manuale di controllo dell'incendio

A differenza dell'attivazione dei sistemi automatici, **l'intervento manuale** effettuato dalle squadre antincendio **non può essere considerato** in fase progettuale **ai fini della modifica** dell'andamento della curva $RHR(t)$.



Fase dell'incendio stazionario

Si ipotizza **che anche dopo il flashover la curva cresca proporzionalmente a t^2** fino al tempo t_A che corrisponde alla massima potenza RHR_{max} rilasciata nel compartimento.



Il Codice dà indicazioni per determinare **RHR_{max}** nei casi d'incendio:

- **Controllato dal combustibile** (all'aperto o in edifici con elevata superficie di ventilazione).
- **Limitato dal valore della superficie di ventilazione** (in edifici con superficie di ventilazione ordinaria).



Fase dell'incendio stazionario

Noto il valore di RHR_{max} si calcola il tempo t_A di inizio della fase di incendio stazionario:

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

Tale fase termina al tempo t_B , di inizio della fase di decadimento, in cui il 70% dell'energia termica inizialmente disponibile $q_f \cdot A_f$ è stata rilasciata nel compartimento.

q_f : valore nominale del carico d'incendio specifico

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

A_f : superficie lorda del compartimento

Il Codice fornisce indicazioni per determinare t_B .



Fase dell'incendio stazionario

Il tempo t_c , trascorso il quale la potenza termica rilasciata dall'incendio si annulla, viene calcolato considerando che nella fase di decadimento e consumato il restante 30% dell'energia termica inizialmente disponibile.

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



Focolare predefinito

In alternativa, possono essere impiegati i focolari predefiniti impiegando i valori dei parametri di cui alla tabella.

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio t_a	150 s (<i>fast</i>)	75 s (<i>ultra-fast</i>)
RHR _{max} totale RHR _{max} per m ² di superficie del focolare	5 MW 250-500 kW/m ² [1]	50 MW 500 -1000 kW/m ² [1]
Resa in particolato Y _{soot}	Pre flashover: 0,07 kg/kg [2,3] Post flashover: 0,14 kg/kg [2,3]	Pre flashover: 0,18 kg/kg [4] Post flashover: 0,36 kg/kg [4]
Resa in monossido di carbonio Y _{CO}	Pre flashover: 0,10 kg/kg [5] Post flashover: 0,40 kg/kg [5]	
Calore di combustione effettivo ΔH _c	20 MJ/kg [3]	
Resa in biossido di carbonio Y _{CO2}	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua Y _{H2O}	0,82 kg/kg [3,6]	
Frazione di RHR(t) in irraggiamento (<i>Radiative fraction</i>)	35% [3]	

[1] Da impiegare in alternativa all'RHR_{max} totale, considerando la massima superficie del focolare, pari al compartimento antincendio nel caso di carico di incendio uniformemente distribuito, ma che può essere un valore inferiore nel caso d'incendio localizzato.

[2] Robbins A P, Wade C A, Study Report No.185 "Soot Yield Values for Modelling Purposes – Residential Occupancies", BRANZ, 2008

[3] "C/VM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code

[4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4th ed., 2008. Tabella 3-4.16, pag. 3-142, da polyurethane flexible foams.

[5] Stec A A, Hull T R, "Fire Toxicity", Woodhead Pub., 2010. § 2.4 con $\Phi = 1,25$ (*underventilated fire*)

[6] In alternativa alle rese Y_{CO2} e Y_{H2O}, si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico CH₂O_{0,5}.



M3) SALVAGUARDIA DELLA VITA CON LA PROGETTAZIONE PRESTAZIONALE

Criterio ideale: La progettazione ideale di un sistema d'esodo dovrebbe assicurare agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro senza neanche accorgersi degli effetti dell'incendio. Non sempre è applicabile.

Criterio di $ASET > RSET$: il tempo in cui permangono condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti deve essere superiore al tempo necessario perché essi possano raggiungere un luogo sicuro. La differenza tra ASET ed RSET rappresenta il **marginale di sicurezza**.



Criterio di $ASET > RSET$

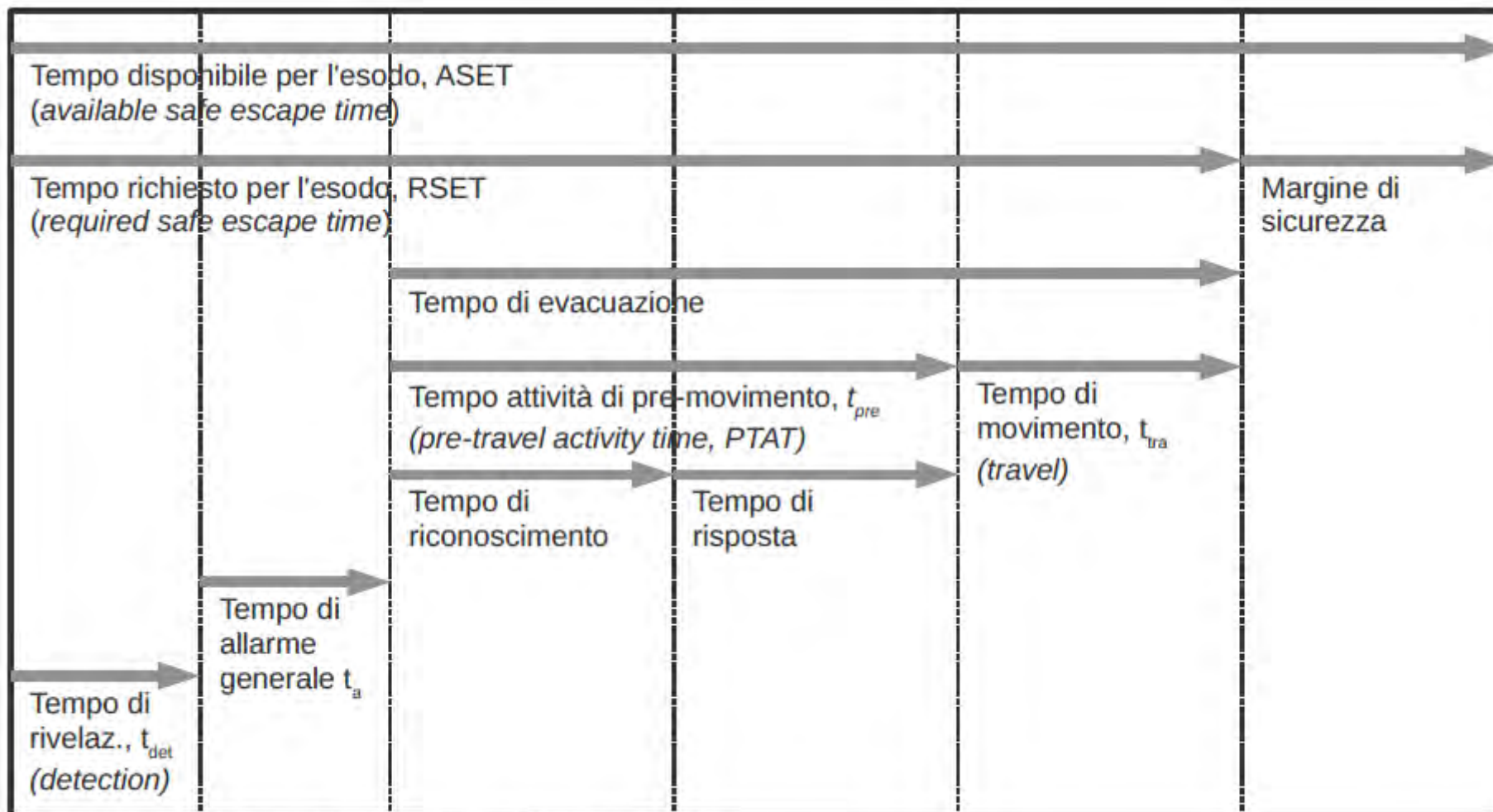
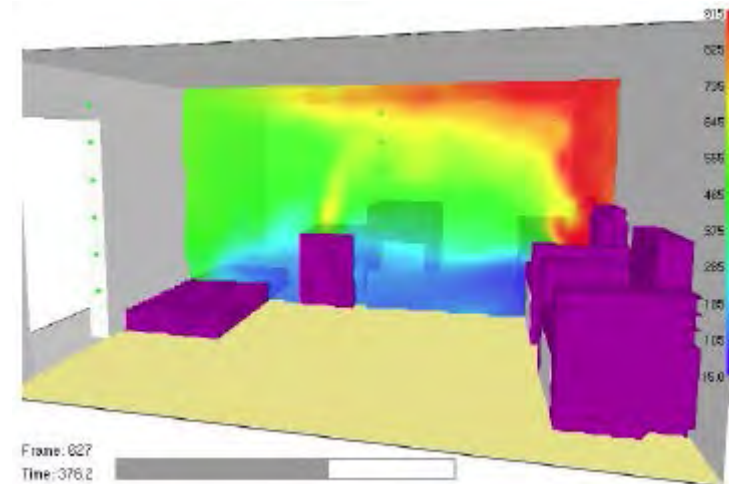


Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET ed RSET

CALCOLO DI ASET (*Available safe escape time*)

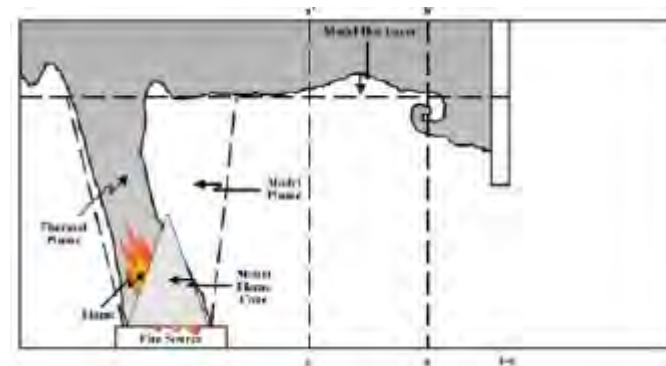
Metodo avanzato

- modello dei gas tossici,
- modello dei gas irritanti,
- modello del calore,
- modello della visibilità



Metodo semplificato

- altezza fumi > 2,00 m
- temperatura fumi < 200 °C





CALCOLO DI RSET (*Required safe escape time*)

È calcolato tra l'innesco dell'incendio ed il momento in cui gli occupanti dell'edificio raggiungono un luogo sicuro.

RSET è determinato da varie componenti:

- t_{det} : tempo di rivelazione (*detection*)
- t_a : tempo di allarme generale
- t_{pre} : tempo attività di pre-movimento (*pre-travel activity time*)
- t_{tra} : tempo di movimento (*travel*)

$$\text{RSET} = \Delta t_{\text{det}} + \Delta t_a + \Delta t_{\text{pre}} + \Delta t_{\text{tra}}$$

I parametri variano notevolmente se gli occupanti sono svegli e hanno familiarità con l'edificio, o dormono e non conoscono la struttura.

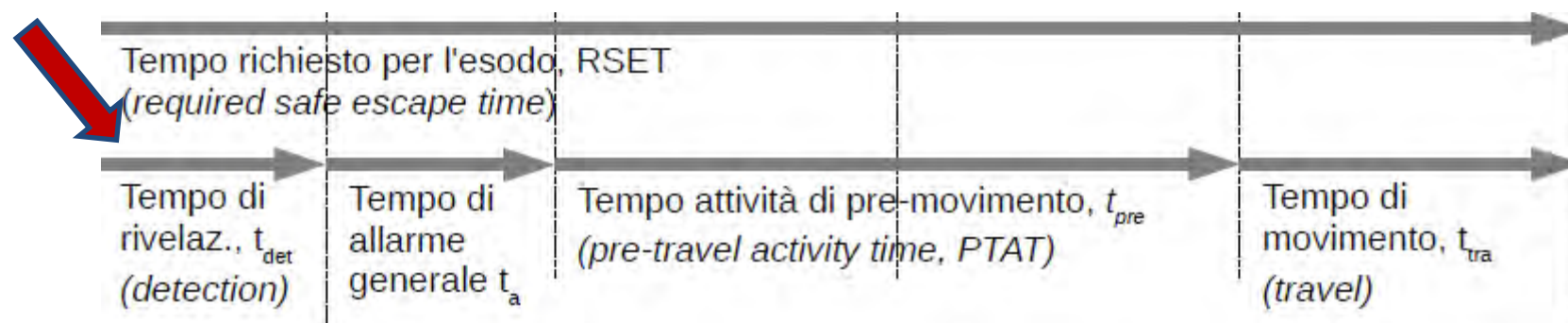


Tempo di rivelazione (t_{det})

Tempo **necessario al sistema di rivelazione automatico per accorgersi dell'incendio.**

Dipende dal tipo di sistema di rivelazione e dallo scenario d'incendio.

È **calcolato analiticamente** o con **apposita modellizzazione** numerica degli scenari d'incendio e del sistema di rivelazione.

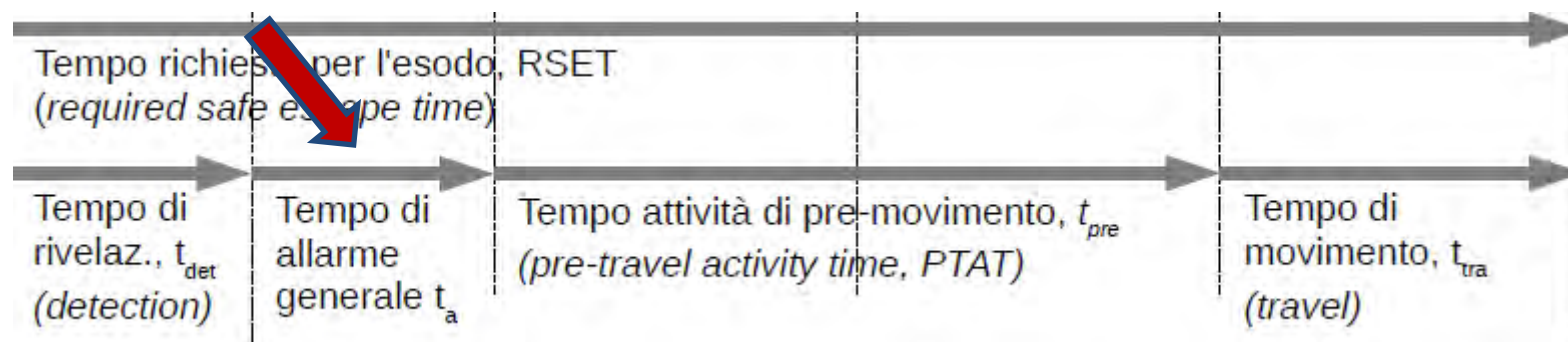




Tempo di allarme generale (t_a)

Tempo che intercorre **tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione** agli occupanti.

- È pari a zero, quando la rivelazione attiva direttamente l'allarme.
- È pari al ritardo valutato dal professionista antincendio, se la rivelazione allerta una centrale di gestione dell'emergenza che verifica l'evento ed attiva poi l'allarme manuale.

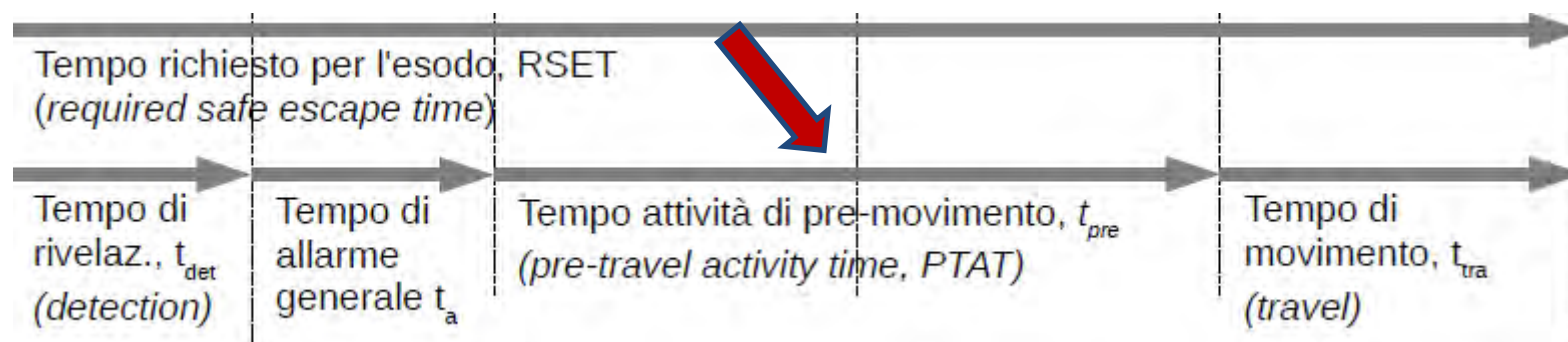




Tempo di attività pre-movimento (t_{pre})

È composto dal tempo di *riconoscimento* (*recognition*) e di *risposta* (*response*).

- Durante il **tempo di riconoscimento** gli occupanti continuano le attività che stavano svolgendo, finché riconoscono l'esigenza di rispondere all'allarme.
- Nel **tempo di risposta** gli occupanti cessano le loro attività normali e si dedicano ad attività legate all'emergenza.



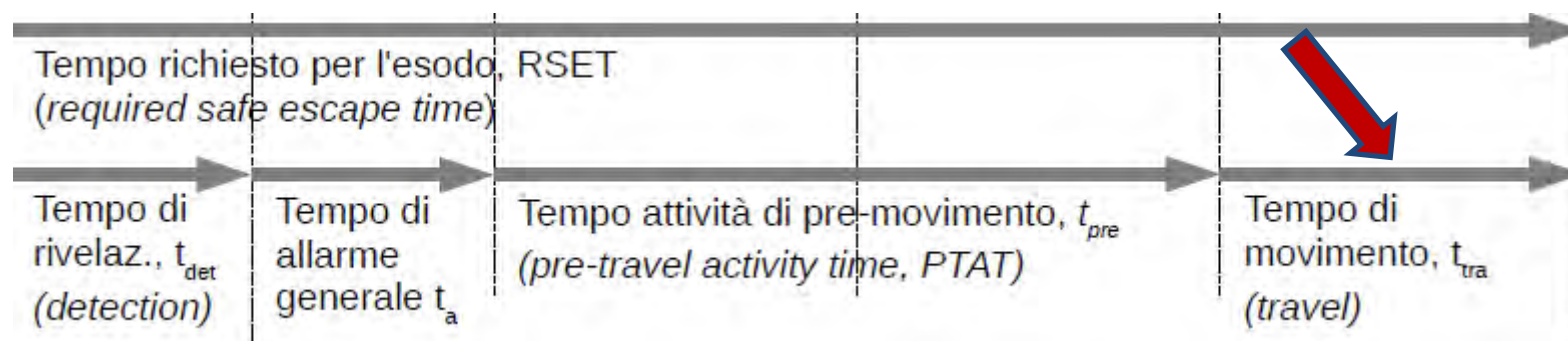


Tempo di movimento (t_{tra})

Tempo **impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro** dal termine delle attività di pre-movimento.

Dipende da:

- Distanza degli occupanti o gruppi di essi dalle vie d'esodo;
- Velocità d'esodo, che dipendono dalla tipologia degli occupanti e dalle loro interazioni con l'ambiente e gli effetti dell'incendio;
- Vie d'esodo (geometria, dimensioni, dislivelli, ostacoli).





Riepilogo

