





**Parleremo di...**





# "FIRE SAFETY ENGINEERING"

Direzione Centrale per la Formazione

E' definita come applicazione di principi ingegneristici, di regole e di giudizi esperti basati sulla valutazione scientifica del fenomeno della combustione, degli effetti dell'incendio e del comportamento umano, *finalizzati alla tutela della vita umana, alla protezione dei beni e dell'ambiente, alla quantificazione dei rischi di incendio e dei relativi effetti ed alla valutazione analitica delle misure antincendio ottimali, necessarie a limitare entro livelli prestabiliti le conseguenze dell'incendio*

## VALUTAZIONE QUANTITATIVA DEL LIVELLO DI SICUREZZA ANTINCENDIO

Gli effetti dell'incendio vengono quantificati e il livello di sicurezza antincendio valutato rispetto a prestabilite *soglie prestazionali* (temperatura, visibilità, altezza dello strato libero da fumo ...) secondo un approccio **performance based**

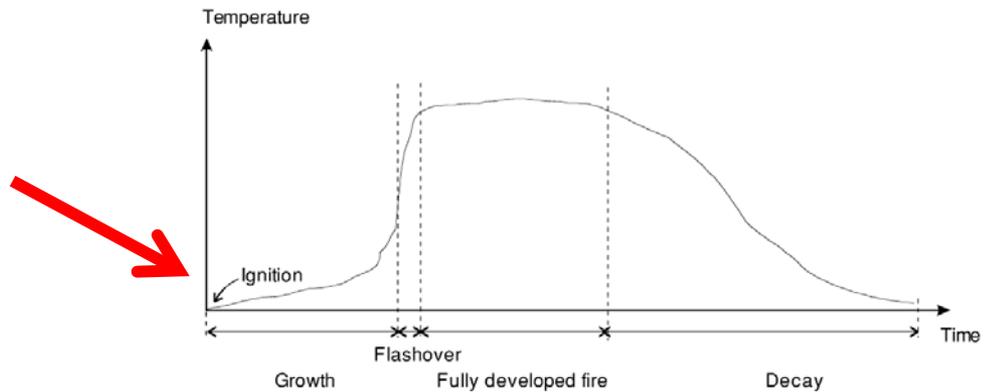
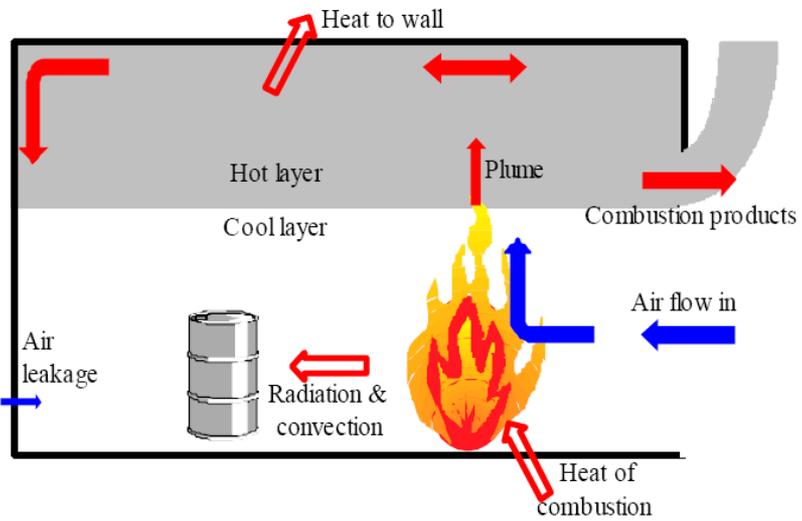


Figure A-2. Energy And Mass Flow Diagram For Compartment Fire



## APPROCCI ALLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

### APPROCCIO PRESCRITTIVO

- Approccio che non consente una valutazione quantitativa del livello di sicurezza antincendio
- La valutazione del rischio è fatta dal legislatore
- Approccio Rigido per situazioni reali complesse ( metropolitane, gallerie, infrastrutture , beni culturali..), laddove è spesso impossibile ottemperare alle prescrizioni

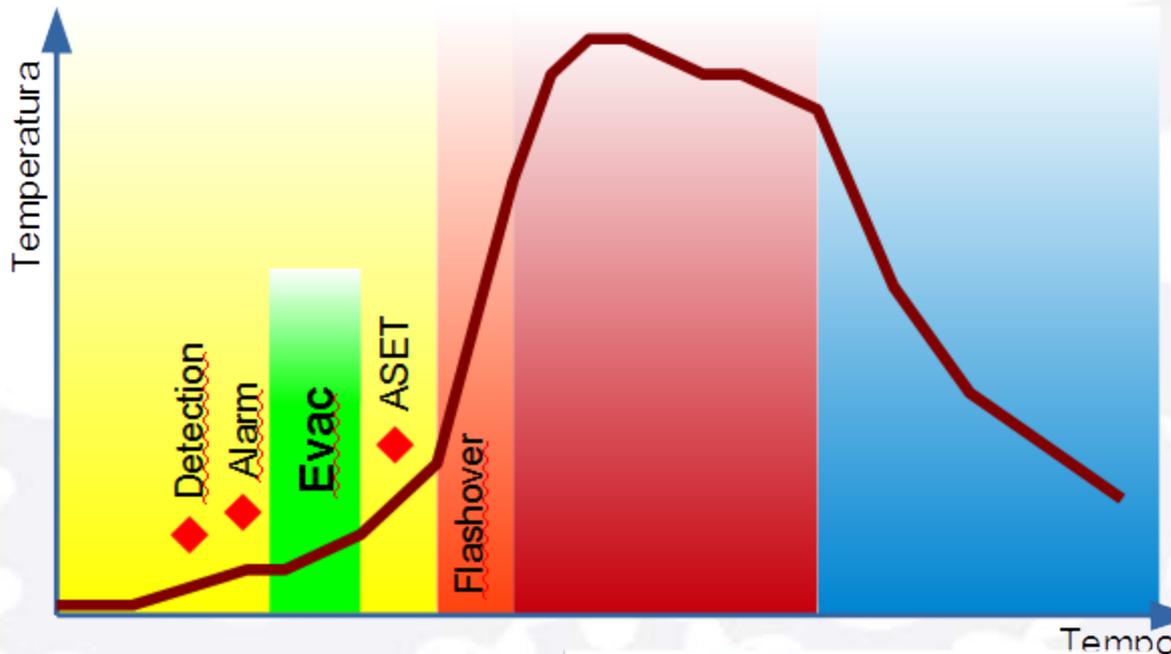
**PERFORMANCE**  
**BASED**

### APPROCCIO PRESTAZIONALE

- Approccio che consente una **valutazione quantitativa del livello di sicurezza antincendio** rispetto a prestabilite **soglie prestazionali** e con riferimento ad ipotizzati **scenari d'incendio** ritenuti ragionevolmente credibili
- L'effetto di ogni misura alternativa può essere quantificato e valutato attraverso l'uso di modelli rispetto a valori minimi delle prestazioni richieste
- maggiore controllo del rapporto rischi/misure di sicurezza



## TIPOLOGIE DI PROBLEMI PER LA FSE



Col metodo FSE si possono risolvere due tipologie di problemi:

### SALVAGUARDIA DELLA VITA

Problema pre-flashover, dipende essenzialmente dal movimento di fumi e calore nell'edificio ed è legato in prima approssimazione all'HRR ed alla qualità del focolare

### STABILITÀ STRUTTURALE

Problema post-flashover, dipende essenzialmente dal cemento termico della struttura cioè dall'energia prodotta dall'incendio (carico d'incendio) e dalle condizioni di ventilazione



Salvaguardia vita



Stabilità strutturale





Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile  
**CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO**  
Direzione Centrale per la Prevenzione e Sicurezza Tecnica  
Direzione Centrale per la Formazione

## **NEL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI**

*Sono presenti tre specifici capitoli...*

**LA METODOLOGIA DI PROGETTAZIONE DELL'INGEGNERIA  
DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO (Capitolo M.1)**

**SCENARI DI INCENDIO PER LA PROGETTAZIONE  
PRESTAZIONALE (Capitolo M.2)**

**SALVAGUARDIA DELLA VITA CON LA PROGETTAZIONE  
PRESTAZIONALE (Capitolo M.3)**



## L'ingegneria della sicurezza antincendio è uno dei metodi di progettazione impiegabile nel codice per la verifica delle soluzioni alternative o la verifica del livello di prestazione

### G.2.7 Metodi di progettazione della sicurezza antincendio

1. La tabella G.2-1 elenca i metodi per la progettazione della sicurezza antincendio impiegabili da parte di progettista per:
  - a. la verifica delle soluzioni alternative al fine di dimostrare il raggiungimento del collegato *livello di prestazione* (paragrafo G.2.6.5.2);
  - b. la verifica del livello di prestazione attribuito alle *misure antincendio* al fine di dimostrare il raggiungimento dei pertinenti obiettivi di sicurezza antincendio (paragrafo G.2.6.4).

**TABELLA G.2.1**

Metodi	Descrizione e limiti d'applicazione
Applicazione di norme o documenti tecnici	Il <i>progettista</i> applica norme o documenti tecnici adottati da organismi europei o internazionali, riconosciuti nel settore della sicurezza antincendio. Tale applicazione, fatti salvi gli obblighi connessi all'impiego di prodotti soggetti a normativa comunitaria di armonizzazione e alla regolamentazione nazionale, deve essere attuata nella sua completezza, ricorrendo a soluzioni, configurazioni e componenti richiamati nelle norme o nei documenti tecnici impiegati, evidenziandone specificatamente l'idoneità, per ciascuna configurazione considerata, in relazione ai profili di rischio dell'attività.
Soluzioni progettuali che prevedono l'impiego di prodotti o tecnologie di tipo innovativo	L'impiego di prodotti o tecnologie di tipo <i>innovativo</i> , frutto della evoluzione tecnologica, è consentito in tutti i casi in cui l'idoneità all'impiego possa essere attestata dal <i>professionista antincendio</i> , in sede di verifica ed analisi sulla base di una valutazione del rischio connessa all'impiego dei medesimi prodotti o tecnologie, supportata da pertinenti certificazioni di prova riferite a: <ul style="list-style-type: none"><li>• norme o specifiche di prova nazionali;</li><li>• norme o specifiche di prova internazionali;</li><li>• specifiche di prova adottate da laboratori a tale fine autorizzati.</li></ul>
Ingegneria della sicurezza antincendio	Il <i>professionista antincendio</i> applica i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio, secondo procedure, ipotesi e limiti indicati in particolare nei capitoli M.1, M.2 e M.3 oppure in base a principi tecnico-scientifici riconosciuti a livello nazionale o internazionale.
Prove sperimentali	Il <i>professionista antincendio</i> esegue prove sperimentali in scala reale o in scala adeguatamente rappresentativa, finalizzata a riprodurre ed analizzare dal vero i fenomeni (es. chimico-fisici e termodinamici, esodo degli occupanti, ...) che caratterizzano la problematica oggetto di valutazione avente influenza sugli obiettivi di prevenzione incendi. Le prove sperimentali sono condotte secondo protocolli standardizzati oppure condivisi con la Direzione centrale per la prevenzione e la sicurezza tecnica del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco. Le prove sono svolte alla presenza di rappresentanza qualificata del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco, su richiesta del responsabile dell'attività. Le prove devono essere opportunamente documentate. In particolare i rapporti di prova dovranno definire in modo dettagliato le ipotesi di prova ed i limiti d'utilizzo dei risultati. Tali rapporti di prova, ivi compresi filmati o altri dati monitorati durante la prova, sono messi a disposizione del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco.

Tabella G.2-1: Metodi di progettazione della sicurezza antincendio



## RIFERIMENTI

I principali riferimenti sull'argomento sono i seguenti:

**ISO 23932** FSE – General principles.

**BS 7974** Application of FSE principles to the design of buildings – Code of practice.

**BS PD 7974-0** Application of FSE principles to the design of buildings – Part 0: Guide to design framework and FSE procedures.

**SFPE** Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection, 2nd ed., 2007.

**B Karlsson, J Quintiere**, “Enclosure Fire Dynamics”, CRC Press, 1999.



Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile  
**CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO**  
Direzione Centrale per la Prevenzione e Sicurezza Tecnica  
Direzione Centrale per la Formazione

# **LA METODOLOGIA DI PROGETTAZIONE DELL'INGEGNERIA DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO**

## **Capitolo M.1**



Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile  
**CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO**  
Direzione Centrale per la Prevenzione e Sicurezza Tecnica  
Direzione Centrale per la Formazione

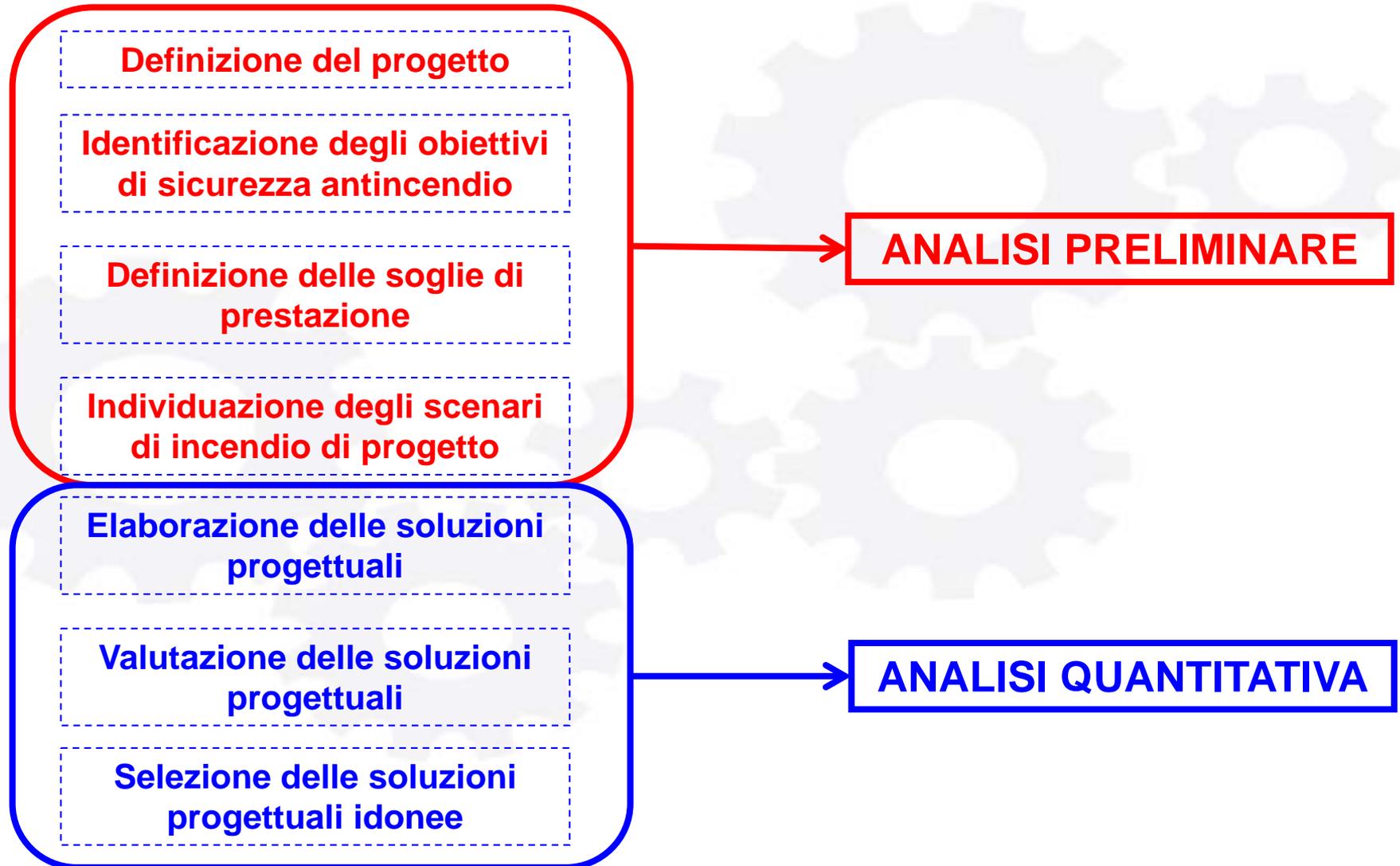
**LA METODOLOGIA DI  
PROGETTAZIONE  
DELL'INGEGNERIA DELLA  
SICUREZZA ANTINCENDIO**

**ANALISI PRELIMINARE**



**ANALISI QUANTITATIVA**

# LA METODOLOGIA DI PROGETTAZIONE DELL'INGEGNERIA DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO





**Definizione del progetto**

**Identificazione degli  
obiettivi di sicurezza  
antincendio**

**Definizione delle soglie di  
prestazione**

**Individuazione degli  
scenari di incendio di  
progetto**

**Elaborazione delle  
soluzioni progettuali**

**Valutazione delle  
soluzioni progettuali**

**Selezione delle soluzioni  
progettuali idonee**

## **LO SCOPO DELLA PROGETTAZIONE ANTINCENDIO**

Il professionista antincendio identifica e documenta almeno i seguenti aspetti:

**destinazione d'uso dell'attività ;**

- ✓ **caratteristiche degli occupanti** in relazione alla tipologia di edificio ed alla destinazione d'uso prevista.
- ✓ **eventuali vincoli progettuali** derivanti da previsioni normative o da esigenze peculiari dell'attività;
- ✓ **finalità della progettazione antincendio prestazionale;**

**S1** vie d'esodo più lunghe

**S2** resistenza al fuoco

**S3 ...**



## Definizione del progetto

### Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio

## Definizione delle soglie di prestazione

## Individuazione degli scenari di incendio di progetto

## Elaborazione delle soluzioni progettuali

## Valutazione delle soluzioni progettuali

## Selezione delle soluzioni progettuali idonee

In questa fase sono identificati ed esplicitati gli obiettivi di sicurezza antincendio in conformita' alle vigenti disposizioni in materia di prevenzione incendi ed in relazione alle specifiche esigenze dell'attivita' in esame, ivi compresa la sicurezza delle squadre di soccorso.

## *Quali obiettivi di sicurezza antincendio?*

- O1** Salvaguardia degli occupanti;
- O2** Salvaguardia dei soccorritori;
- O3** Continuità d'esercizio a seguito di un evento incidentale;
- O4** il massimo danno tollerabile all'attività ed al suo contenuto;



## Definizione del progetto

Identificazione degli  
obiettivi di sicurezza  
antincendio

Definizione delle soglie di  
prestazione

Individuazione degli  
scenari di incendio di  
progetto

Elaborazione delle  
soluzioni progettuali

Valutazione delle  
soluzioni progettuali

Selezione delle soluzioni  
progettuali idonee

## SOGLIE DI PRESTAZIONI

In relazione agli obiettivi di sicurezza individuati, il progettista deve indicare quali sono *i parametri significativi presi a riferimento per garantire il soddisfacimento degli stessi obiettivi.*

**Gli obiettivi antincendio vengono tradotti in *soglie di prestazione (performance criteria)*, rispetto alle quali operare una valutazione quantitativa del livello di sicurezza antincendio.**

*Tali soglie di prestazione devono poter essere utilizzate nella seconda fase della progettazione per discriminare in modo oggettivo le soluzioni progettuali che soddisfano gli obiettivi antincendio da quelle che invece non raggiungono le prestazioni richieste.*



**LE SOGLIE PRESTAZIONALI IN UN PROBLEMA DI  
LIFE SAFETY**

Definizione del progetto

Identificazione degli  
obiettivi di sicurezza  
antincendio

Definizione delle soglie di  
prestazione

Individuazione degli  
scenari di incendio di  
progetto

Elaborazione delle  
soluzioni progettuali

Valutazione delle  
soluzioni progettuali

Selezione delle soluzioni  
progettuali idonee

**SOGLIE DI PRESTAZIONE  
PER LA VITA  
LIFE SAFETY CRITERIA**

*soglie impiegate per definire  
l'incapacitazione degli  
occupanti esposti al fuoco  
ed ai suoi effetti*

**Effetti termici**

**Tossicità**

**visibilità**



Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100m <sup>2</sup> : 5 m	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 5 m Soccorritori in locali di superficie lorda < 100m <sup>2</sup> : 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> e FEC, <i>fractional effective concentration</i> per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571:2012, limitando a 1,1% la porzione di occupanti incapacitati al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	-
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m <sup>2</sup>	ISO 13571:2012, per esposizioni inferiori a 30 minuti
		Soccorritori: 3 kW/m <sup>2</sup>	[1]

[1] Ai fini di questa tabella, per soccorritori si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per hazardous conditions.

Tabella M.3-2: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo avanzato



Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata	Occupanti: 2 m	Ridotto da ISO/TR 16738:2009, section 11.2
	Soccorritori: 1,5 m	[1]
Temperatura media dello strato di fumi caldi	Occupanti: 200°C	ISO/TR 16738:2009, section 11.2
	Soccorritori: 250°C	[1]

[1] Ai fini di questa tabella, per soccorritori si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per hazardous conditions.

*Tabella M.3-3: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo semplificato*

**Allegato M.3 Salvaguardia della vita con la  
progettazione prestazionale**



**Definizione del progetto**

**Identificazione degli  
obiettivi di sicurezza  
antincendio**

**Definizione delle soglie di  
prestazione**

**Individuazione degli  
scenari di incendio di  
progetto**

**Elaborazione delle  
soluzioni progettuali**

**Valutazione delle  
soluzioni progettuali**

**Selezione delle soluzioni  
progettuali idonee**

## **SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO**

Gli scenari di incendio DI PROGETTO rappresentano la schematizzazione dei **più gravosi** eventi che possono **ragionevolmente** verificarsi nell'attività ( **credible worst-case scenarios** ) in relazione alle caratteristiche **dell'edificio, occupanti e focolare**





## SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO

Definizione del progetto

Identificazione degli  
obiettivi di sicurezza  
antincendio

Definizione delle soglie di  
prestazione

**Individuazione degli  
scenari di incendio di  
progetto**

Elaborazione delle  
soluzioni progettuali

Valutazione delle  
soluzioni progettuali

Selezione delle soluzioni  
progettuali idonee

SCENARI DI  
INCENDI  
IDENTIFICATI

SCENARI DI INCENDIO  
DI PROGETTO  
SELAZIONATI E  
QUANTIFICATI

**Il professionista antincendio deve specificare se lo scenario d'incendio ipotizzato sia relativo ad una condizione di **pre-flashover** oppure ad una condizione di **post-flashover**, a seconda dell'obiettivo da raggiungere.**



**Definizione del progetto**

**Identificazione degli  
obiettivi di sicurezza  
antincendio**

**Definizione delle soglie di  
prestazione**

**Individuazione degli  
scenari di incendio di  
progetto**

**Elaborazione delle  
soluzioni progettuali**

**Valutazione delle  
soluzioni progettuali**

**Selezione delle soluzioni  
progettuali idonee**

## **ELABORAZIONE DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI**

Il professionista antincendio elabora una o più soluzioni progettuali per l'attività, congruenti con le finalità da sottoporre alla successiva verifica di soddisfacimento degli obiettivi di sicurezza antincendio.



Definizione del progetto

Identificazione degli  
obiettivi di sicurezza  
antincendio

Definizione delle soglie di  
prestazione

Individuazione degli  
scenari di incendio di  
progetto

Elaborazione delle  
soluzioni progettuali

Valutazione delle  
soluzioni progettuali

Selezione delle soluzioni  
progettuali idonee

*In questa fase il professionista antincendio calcola gli effetti che gli scenari d'incendio di progetto determinerebbero nell'attività per ciascuna soluzione progettuale elaborata.*

A tal fine il professionista antincendio impiega un *modello di calcolo analitico o numerico*: l'applicazione del modello fornisce i risultati quantitativi che consentono di descrivere l'evoluzione dell'incendio e dei suoi effetti sulle strutture, sugli occupanti o sull'ambiente, secondo le finalità della progettazione.

Ottenuti i risultati della modellazione, *si verifica il rispetto delle soglie di prestazione per le soluzioni progettuali per ciascuno scenario d'incendio di progetto.*

Le soluzioni progettuali che non rispettano tutte le soglie di prestazione per ogni scenario di incendio di progetto devono essere scartate



Allo stato attuale i modelli più frequentemente utilizzati sono:

1. modelli analitici ( le correlazioni per i modelli di incendio localizzati o fire plumes di Zukoski, Heskestad, McCaffrey, Thomas, Hasemi e Nishiata, Alpert,.... )

2. Modelli numerici

2.1 modelli di simulazione dell'incendio a zone per ambienti confinati CFAST, Ozone,

2.2 modelli di simulazione dell'incendio di campo CFX, FDS, Fluent

2.3 modelli di simulazione dell'esodo, FDS+EVAC



## Selection of Models

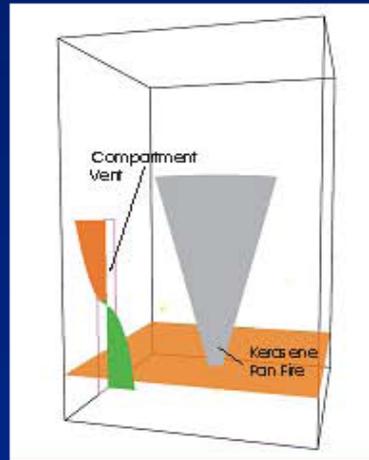
- Three useful classes of fire models exist

### Hand Calculations

$$T_g - T_\infty = 6.85 \left( \frac{\dot{Q}^2}{A_0 \sqrt{H_0} h_k A_T} \right)^{1/3}$$

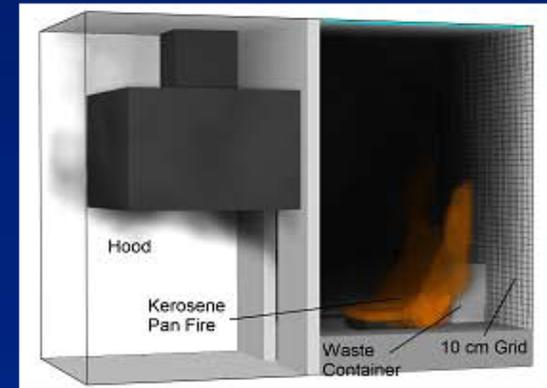
McCaffrey, Quintiere, Harkleroad (MQH)

### Two-Zone Models

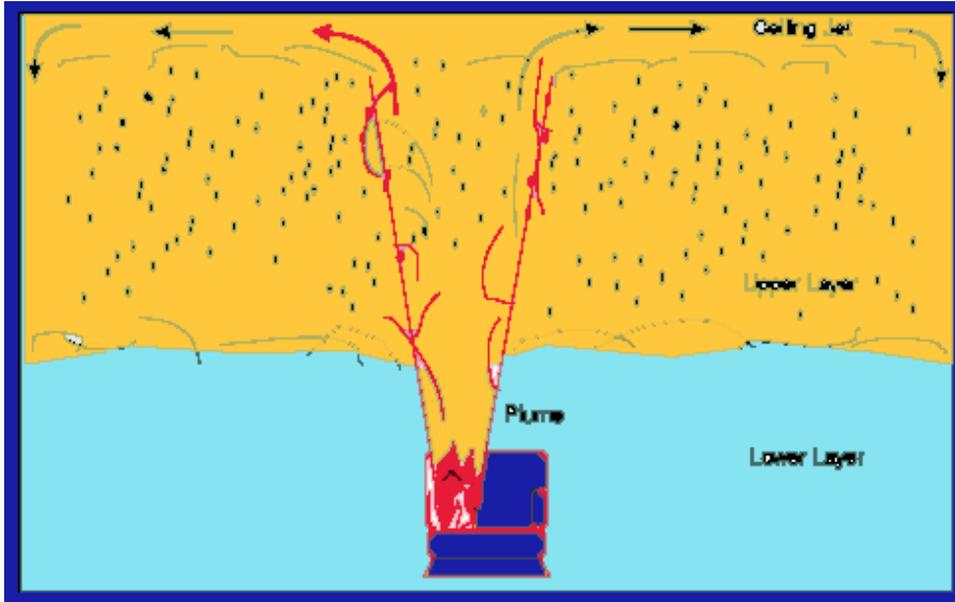


CFAST, NIST

### CFD



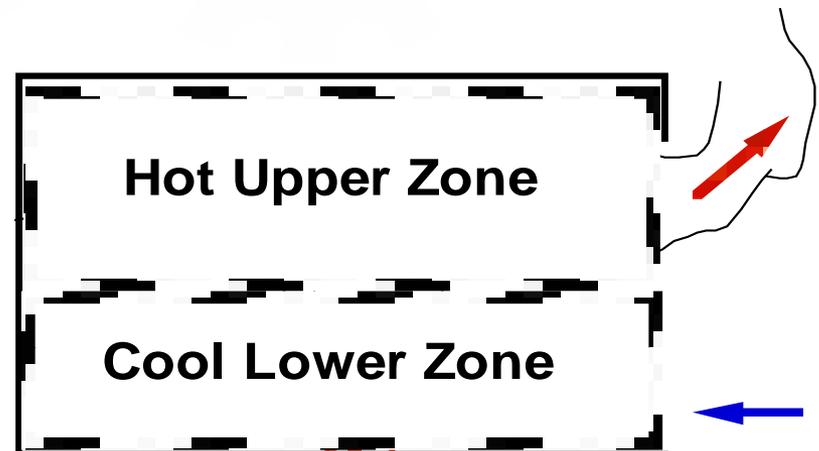
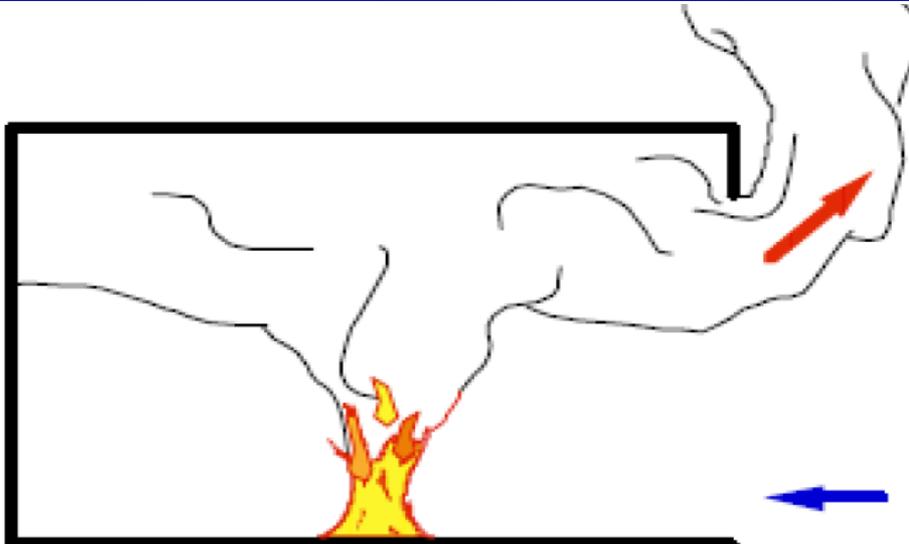
FDS, NIST

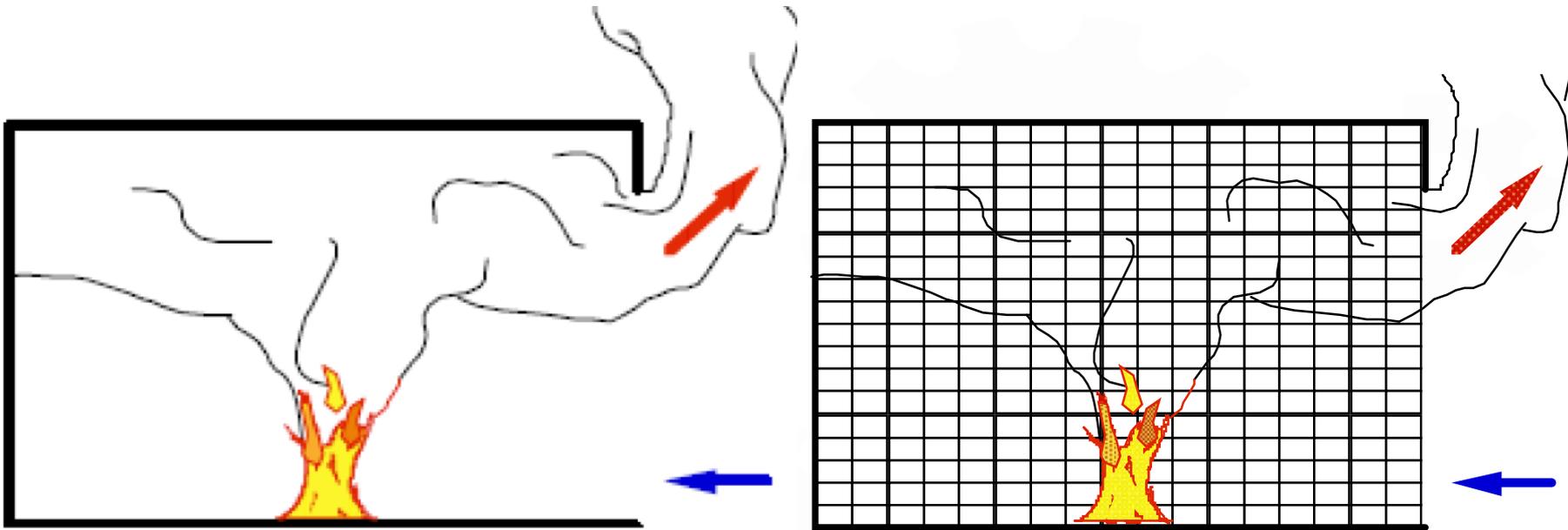


**NUMERO FINITO DI MACROREGIONI**

All'interno, poi di ciascun volume di controllo la temperatura e le altre proprietà sono *spazialmente uniformi ma variabili nel tempo*; quindi, vi sarà un gradiente di proprietà (per esempio di temperatura ) fra le regioni considerate.

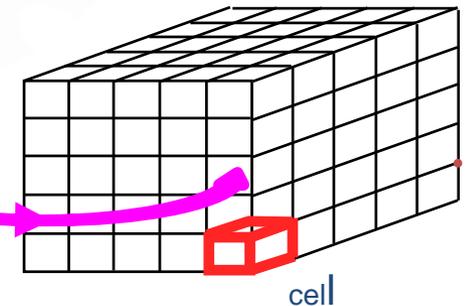
**TRASCURATI MODELLO DI  
TURBOLENZA E DI COMBUSTIONE**





**SCHEMATIZZAZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO IN UN MODELLO DI CAMPO**

**SUDDIVISIONE DOMINIO FISICO DELLA SIMULAZIONE IN CELLE TRIDIMENSIONALI (*computational grid*)**



**DISCRETIZZAZIONE EQUAZIONI DIFFERENZIALI ALLE DERIVATE PARZIALI CHE MODELLANO I FLUSSI TURBOLENTI DI UN FLUIDO**



## DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO

La documentazione di progetto deve essere integrata da:

a. **per la prima fase (analisi preliminare):**

i. **SOMMARIO TECNICO**, firmato congiuntamente dal professionista antincendio e dal responsabile dell'attività, ove e sintetizzato il processo seguito per individuare gli scenari di incendio di progetto e le soglie di prestazione,

b. **per la seconda fase (analisi quantitativa):**

i. specifica **RELAZIONE TECNICA** ove si presentino i risultati dell'analisi ed il percorso progettuale seguito;

ii. **PROGRAMMA PER LA GESTIONE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO.**



Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile  
**CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO**  
Direzione Centrale per la Prevenzione e Sicurezza Tecnica  
Direzione Centrale per la Formazione

## **Requisiti aggiuntivi per la gestione della sicurezza antincendio**

Le specifiche misure di gestione della sicurezza antincendio devono essere riferite agli aspetti trattati nella progettazione prestazionale.

## **Programma per l'attuazione della gestione della sicurezza antincendio**



Nell'ambito del *programma per l'attuazione della gestione della sicurezza antincendio* 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.

Qualora i sistemi di protezione attiva siano considerati ai fini della riduzione della potenza termica rilasciata dall'incendio  $RHR(t)$  (capitolo M.2) o comunque contribuiscano a mitigare gli effetti dell'incendio, devono essere installati *sistemi a disponibilità superiore*.





## G.2.10.2

### Sistemi o impianti a disponibilità superiore

Nota La definizione di *sistemi o impianti a disponibilità superiore* è reperibile nel capitolo G.1. Le definizioni di *disponibilità (availability)*, *affidabilità (reliability)*, *manutenibilità (maintainability)*, *supporto logistico della manutenzione (maintenance support performance)*, *stato degradato (degraded state)*, *stato di indisponibilità (down state)*, *guasto (failure)* e *tasso di guasto medio (mean failure rate)* sono riportate nella norma UNI EN 13306.

1. La *disponibilità superiore* per sistemi o impianti può essere ottenuta tramite:

a. migliore affidabilità,

Nota Ad esempio, grazie a componenti con minor rateo di guasto, ridondanza delle fonti di alimentazione elettrica, di estinguente, di componenti critici, inserimento di accorgimenti per la riduzione degli errori umani, protezioni specifiche dagli effetti dell'incendio, ...

b. maggiore manutenibilità e supporto logistico della manutenzione.

Nota Ad esempio, tramite riduzione dei tempi di ripristino dei guasti, programmazione delle manutenzioni per settori dell'impianto, controlli e prove periodiche, ...

Nota Utile riferimento per ispezione, test e manutenzione degli impianti di protezione attiva è rappresentato dalla norma NFPA 25.

2. Al fine di mantenere il livello di sicurezza assicurato all'attività, per sistemi o impianti a disponibilità superiore deve essere prevista la gestione degli stati degradati o dello stato di indisponibilità del sistema.

Nota Ad esempio, tramite limitazione della severità degli stati degradati, misure gestionali compensative, condizioni o limitazioni d'esercizio dell'attività, ...

3. Se nel presente documento non è richiesta disponibilità superiore, non sono dovute specifiche valutazioni per i sistemi o gli impianti realizzati secondo la regola dell'arte.



Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile  
**CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO**  
Direzione Centrale per la Prevenzione e Sicurezza Tecnica  
Direzione Centrale per la Formazione

# **SCENARI DI INCENDIO PER LA PROGETTAZIONE PRESTAZIONALE**

## **(Capitolo M.2)**



## Gli scenari di incendio

Identificazione dei  
possibili scenari  
d'incendio

Selezione degli scenari  
d'incendio di progetto

Descrizione quantitativa  
degli scenari di incendio  
di progetto

Durata degli scenari di  
incendio di progetto

Stima della curva RHR

Focolare predefinito

## SCENARI DI INCENDIO

Identificazione di *tutti i possibili scenari d'incendio* che possono svilupparsi durante la vita utile dell'attività, considerando *tutte le condizioni di esercizio* ragionevolmente prevedibili

1) INCENDIO (FOCOLARE)

2) ATTIVITA' (EDIFICIO)

3) OCCUPANTI





## Gli scenari di incendio

Identificazione dei possibili scenari d'incendio

Selezione degli scenari d'incendio di progetto

Descrizione quantitativa degli scenari di incendio di progetto

Durata degli scenari di incendio di progetto

Stima della curva RHR

Focolare predefinito

## INDIVIDUAZIONE DEGLI SCENARI DI INCENDIO

Identificazione di *tutti i possibili scenari d'incendio* che possono svilupparsi durante la vita utile dell'attività, considerando **tutte le condizioni di esercizio** ragionevolmente prevedibili

### ALBERO DEGLI EVENTI

Al fine di individuare gli scenari d'incendio, il professionista antincendio **può sviluppare** uno specifico **albero degli eventi** a partire **da ogni evento iniziatore** pertinente e credibile.  
Qualitativo oppure quantitativo

### ANALISI STORICA

Si deve tener conto degli incendi che hanno interessato **edifici o attività simili** a quella in esame mediante analisi storica, descrivendo: **evento iniziatore, propagazione, azione impianti, azioni squadra antincendio, occupanti**



## SCENARI DI INCENDIO

### Gli scenari di incendio

Identificazione dei possibili scenari d'incendio

Selezione degli scenari d'incendio di progetto

Descrizione quantitativa degli scenari di incendio di progetto

Durata degli scenari di incendio di progetto

Stima della curva RHR

Focolare predefinito

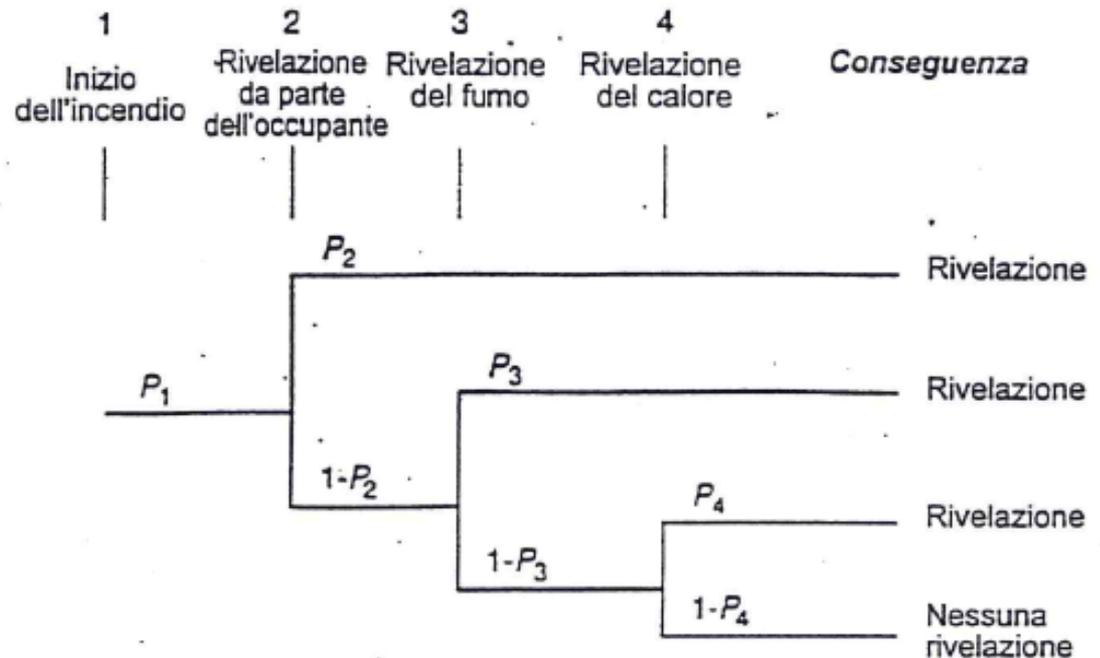
IDENTIFICAZIONE  
SCENARI DI  
INCENDI

Il professionista antincendio deve specificare se lo scenario d'incendio ipotizzato sia relativo ad una condizione di **pre-flashover** oppure ad una condizione di **post-flashover**, a seconda dell'obiettivo da raggiungere.



## ALBERO DEGLI EVENTI

Gli alberi degli eventi sono diagrammi logici da utilizzare per illustrare la sequenza dei fattori implicati nell'ignizione, nello sviluppo dell'incendio e nel suo controllo



$P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , e  $P_4$  sono le probabilità che gli eventi numerati accadranno  
 $1-P_1$ , ecc. sono le probabilità che gli eventi numerati non accadranno



Gli scenari di incendio

Identificazione dei  
possibili scenari  
d'incendio

Selezione degli scenari  
d'incendio di progetto

Descrizione quantitativa  
degli scenari di incendio  
di progetto

Durata degli scenari di  
incendio di progetto

Stima della curva RHR

Focolare predefinito

## PROCEDURA DI IDENTIFICAZIONE, SELEZIONE E QUANTIFICAZIONE

- a. **IDENTIFICAZIONE** dei possibili scenari d'incendio che possono svilupparsi nell'attività
- b. **SELEZIONE** degli scenari d'incendio di progetto tra tutti i possibili scenari d'incendio identificati
- c. **QUANTIFICAZIONE** degli scenari d'incendio di progetto selezionati



## SELEZIONE SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO

SCENARI DI  
INCENDI  
IDENTIFICATI

SCENARI DI  
INCENDIO DI  
PROGETTO  
SELAZIONATI E  
QUANTIFICATI

Gli scenari di incendio

Identificazione dei  
possibili scenari  
d'incendio

Selezione degli scenari  
d'incendio di progetto

Descrizione quantitativa  
degli scenari di incendio  
di progetto

Durata degli scenari di  
incendio di progetto

Stima della curva RHR

Focolare predefinito

Il professionista antincendio seleziona gli scenari di incendio ed estrae il sottoinsieme degli scenari d'incendio di progetto, esplicitando nella documentazione progettuale i motivi che portano ad escluderne alcuni dalla successiva analisi quantitativa, facendo riferimento agli alberi degli eventi già sviluppati nel precedente passo o con altra modalità.



## *Dagli scenari di incendio agli scenari di incendio di progetto*

Gli **scenari di incendio di progetto** rappresentano la schematizzazione dei **più gravosi eventi** che possono ragionevolmente verificarsi nell'attività ( **credible worst-case scenarios** ) in relazione alle caratteristiche



### **Scenario d'incendio di progetto**

specifico scenario d'incendio in relazione al quale viene condotta l'applicazione dei metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio.



## Gli scenari di incendio

Identificazione dei  
possibili scenari  
d'incendio

**Selezione degli scenari  
d'incendio di progetto**

Descrizione quantitativa  
degli scenari di incendio  
di progetto

Durata degli scenari di  
incendio di progetto

Stima della curva RHR

Focolare predefinito

**IDENTIFICAZIONE**

**SCENARI DI INCENDIO**

**SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO**

**SELEZIONE**

**ISO/TS 16733 : Selection of design fire scenarios and design fire**



**Gli scenari di incendio**

**Identificazione dei  
possibili scenari  
d'incendio**

**Selezione degli scenari  
d'incendio di progetto**

**Descrizione quantitativa  
degli scenari di incendio  
di progetto**

**Durata degli scenari di  
incendio di progetto**

**Stima della curva RHR**

**Focolare predefinito**

**DATI DI ATTIVITA'**

**a. Caratteristiche architettoniche e strutturali**

**b. Impiantistica**

**c. Aspetti gestionali ed operativi**

**d. Fattori ambientali**



**Gli scenari di incendio**

**Identificazione dei  
possibili scenari  
d'incendio**

**Selezione degli scenari  
d'incendio di progetto**

**Descrizione quantitativa  
degli scenari di incendio  
di progetto**

**Durata degli scenari di  
incendio di progetto**

**Stima della curva RHR**

**Focolare predefinito**

## **DATI OCCUPANTI**

**a. Affollamento e distribuzione**

**b. Tipologia**

**c. Familiarità con attività e vie d'esodo**

**d. Stato veglia/sonno**

...



**Gli scenari di incendio**

**Identificazione dei  
possibili scenari  
d'incendio**

**Selezione degli scenari  
d'incendio di progetto**

**Descrizione quantitativa  
degli scenari di incendio  
di progetto**

**Durata degli scenari di  
incendio di progetto**

**Stima della curva RHR**

**Focolare predefinito**

## **DATI FOCOLARE**

**a. Focolare: localizzazione**

**b. Focolare: tipologia (covante o con  
fiamma)**

**c. Materiale combustibile: quantità,  
qualità, distribuzione spaziale**

**d. Fonti di Innesco**

**e. Calore rilasciato: HRR**

**f. Prodotti rilasciati: rese (particolato, CO  
...)**



Gli scenari di incendio

Identificazione dei  
possibili scenari  
d'incendio

Selezione degli scenari  
d'incendio di progetto

Descrizione quantitativa  
degli scenari di incendio  
di progetto

Durata degli scenari di  
incendio di progetto

Stima della curva RHR

Focolare predefinito

## CARATTERIZZAZIONE DEL FOCOLARE

Il professionista antincendio può impiegare:

- a. *Dati sperimentali* ricavati direttamente
- b. *Dati pubblicati*
- c. *Metodologie di stima*

In alternativa può impiegare i **FOCOLARI  
PREDEFINITI** nell'ambito delle  
corrispondenti limitazioni specificate

**NB:** si richiede l'adozione di metodologie scientifiche consolidate, la precisa citazione di fonti autorevoli e condivise, la verifica conservativa tra campione di prova e corrispondente previsto nello scenario di incendio di progetto



Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile  
**CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO**  
Direzione Centrale per la Prevenzione e Sicurezza Tecnica  
Direzione Centrale per la Formazione

## CONO CALORIMETRICO

ISO 5660-1



*Necessità di sperimentazione*



Cono calorimetrico del CSE



Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile  
**CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO**  
Direzione Centrale per la Prevenzione e Sicurezza Tecnica  
Direzione Centrale per la Formazione



**Radiatore tronco conico**



## Parametri valutati

**HRR** (potenza termica totale rilasciata ( kW/m<sup>2</sup>))

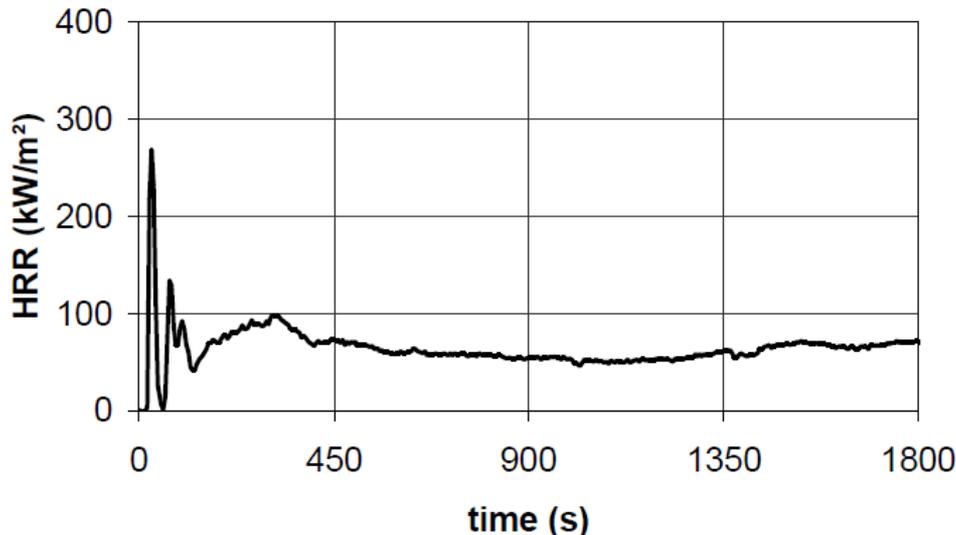
**Tempo di ignizione** (s)

**Perdita in massa** (Mass loss rate (g/s))

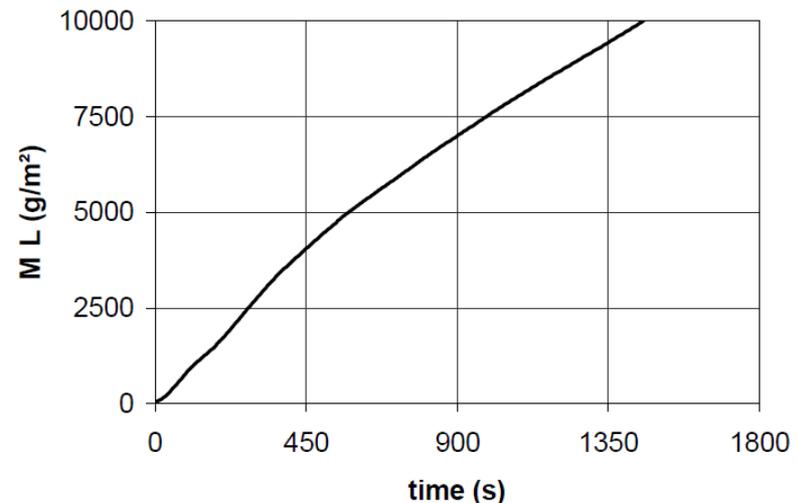
**Calore effettivo di combustione** (MJ/Kg).

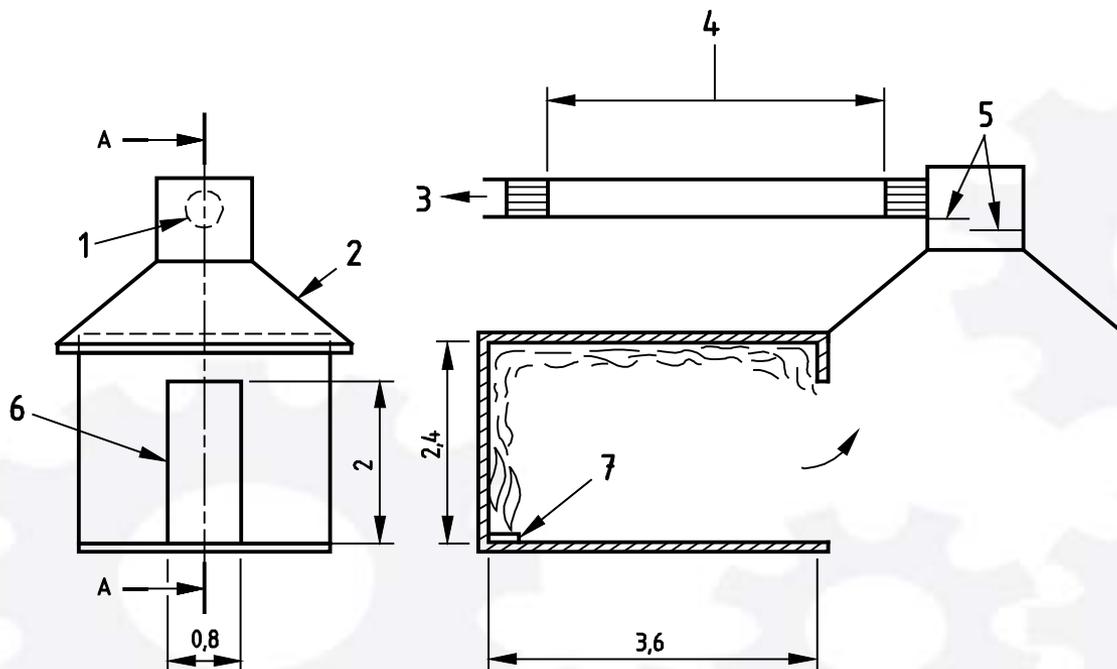
I dati sperimentali ottenuti consentono di determinare anche **il flusso critico di accensione del materiale**

Heat Release Rate



Mass Loss

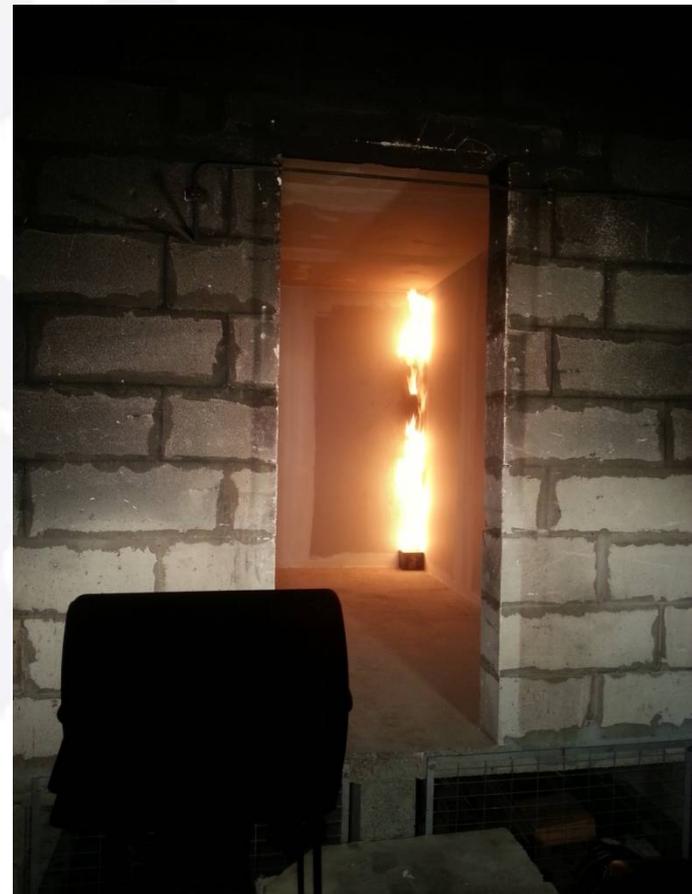


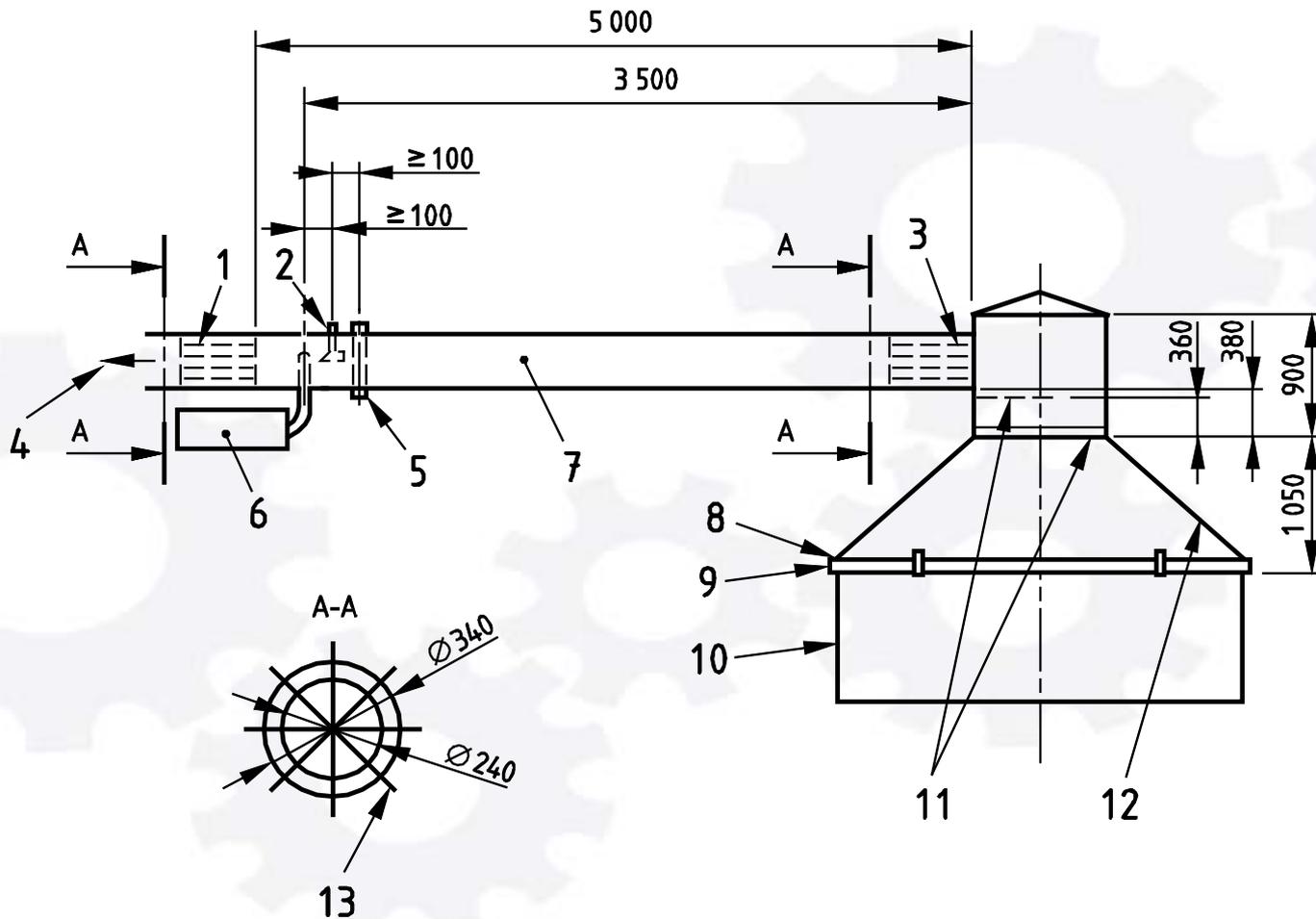


### Burner

## ROOM CORNER TEST EN14390

- 10 minutes at 100kW
- Then
- 10 minutes at 300kW





**Heat release rate HRR**

**SPR** smoke production rate at time t.

**Total heat release THR**

**TSP(t)** Total Smoke Production,

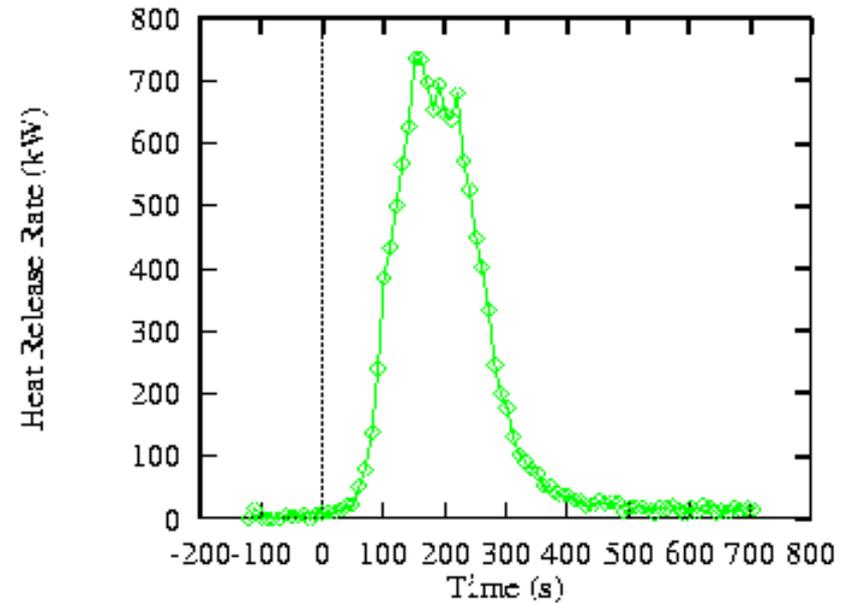


## Poliuretano

(Fonte: [http // www.fires.nist.gov](http://www.fires.nist.gov))

I DIAGRAMMI SONO  
RELATIVI:

- AL VALORE MASSIMO DEL TASSO DI RILASCIO TERMICO (*PEACK HRR*)
- AL TEMPO NECESSARIO PER RAGGIUNGERE IL VALORE MASSIMO DELL'HRR ;
- AL VALORE TOTALE DELL'ENERGIA RILASCIATA (*TOTAL ENERGY LOST*)





Gli scenari di incendio

Identificazione dei possibili scenari d'incendio

Selezione degli scenari d'incendio di progetto

Descrizione quantitativa degli scenari di incendio di progetto

Durata degli scenari di incendio di progetto

Stima della curva RHR

Focolare predefinito

## DURATA MINIMA DEGLI SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO

La *durata minima* degli scenari d'incendio di progetto dipende dall'*obiettivo di sicurezza antincendio*

### OBIETTIVO DI SICUREZZA ANTINCENDIO

SALVAGUARDIA DELLA VITA

MANTENIMENTO DELLA CAPACITA' PORTANTE IN CASO DI INCENDIO

SALVAGUARDIA DELLA VITA DEI SOCCORRITORI

Deve essere *descritta tutta la sequenza* di evoluzione dell'incendio a partire dall'evento iniziatore



Obiettivo di sicurezza antincendio	Durata minima degli scenari di incendio di progetto
<u>Salvaguardia della vita degli occupanti</u>	<p>Dall'evento iniziatore fino al momento in cui tutti gli occupanti dell'attività raggiungono o permangono in un luogo sicuro.</p> <p>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.</p>
 <u>Salvaguardia della vita dei soccorritori</u>	<p>Dall'evento iniziatore fino a 5 minuti dopo il termine delle operazioni previste per i soccorritori o l'arrivo delle squadre dei Vigili del fuoco presso l'attività.</p> <p>Il tempo di riferimento per l'arrivo dei Vigili del fuoco può essere assunto pari alla media dei tempi d'arrivo desunti dall'<i>Annuario statistico dei Vigili del fuoco</i> (<a href="http://www.vigilfuoco.it">http://www.vigilfuoco.it</a>), considerando i dati dell'ultimo anno disponibile, riferiti all'ambito provinciale.</p>
<u>Mantenimento della capacità portante in caso d'incendio</u>	<p>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</p>

Tabella M.2-1: Durata minima degli scenari d'incendio di progetto



**Durata degli scenari di incendio di progetto**

**Stima della curva RHR**

**Focolare predefinito**





## STIMA DELLA CURVA RHR

Gli scenari di incendio

Identificazione dei  
possibili scenari  
d'incendio

Selezione degli scenari  
d'incendio di progetto

Descrizione quantitativa  
degli scenari di incendio  
di progetto

Durata degli scenari di  
incendio di progetto

Stima della curva RHR

Focolare predefinito

La curva RHR si pone come *uno dei modelli* di descrizione disponibili attualmente dell'evoluzione temporale di una caratteristica rappresentativa di un incendio (la potenza) in determinate condizioni

### 3 FASI DELL'INCENDIO:

1 PROPAGAZIONE

2 STAZIONARIA

3 DECADIMENTO

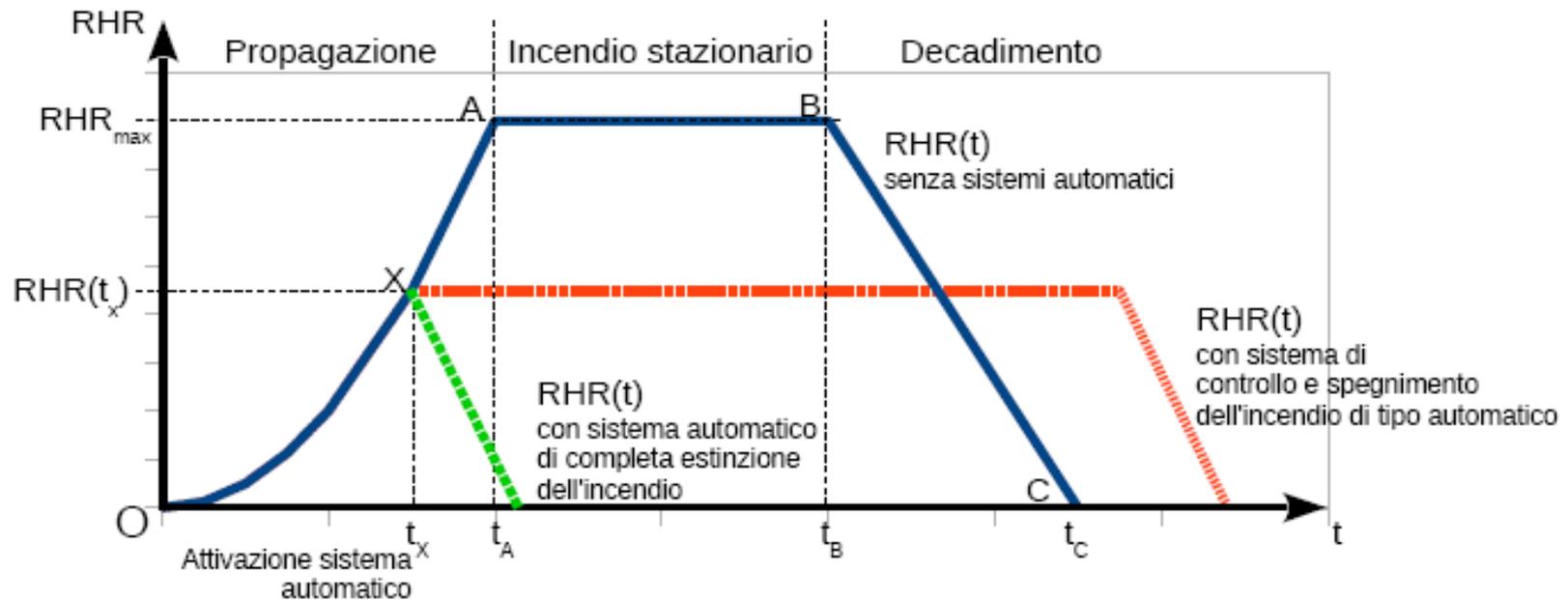
### 3 ANDAMENTI MATEMATICI:

1 PARABOLICA

2 COSTANTE

3 LINEARE

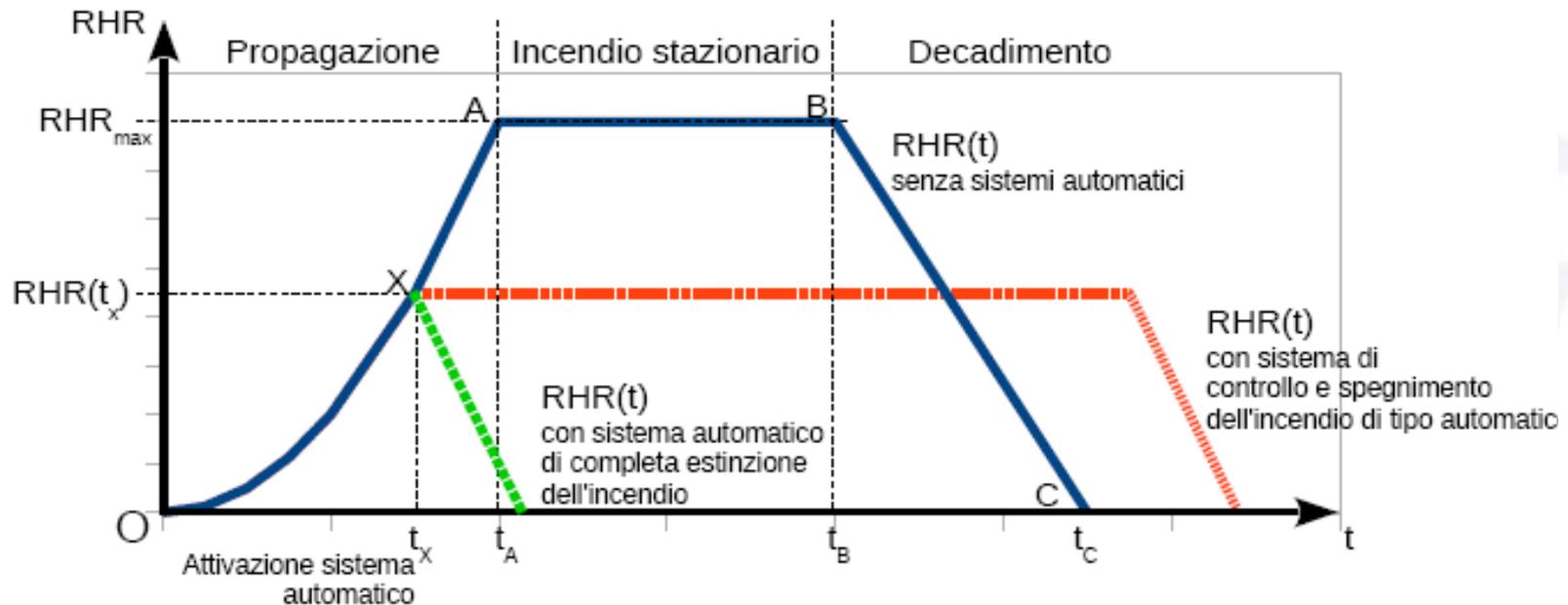




### Curva RHR

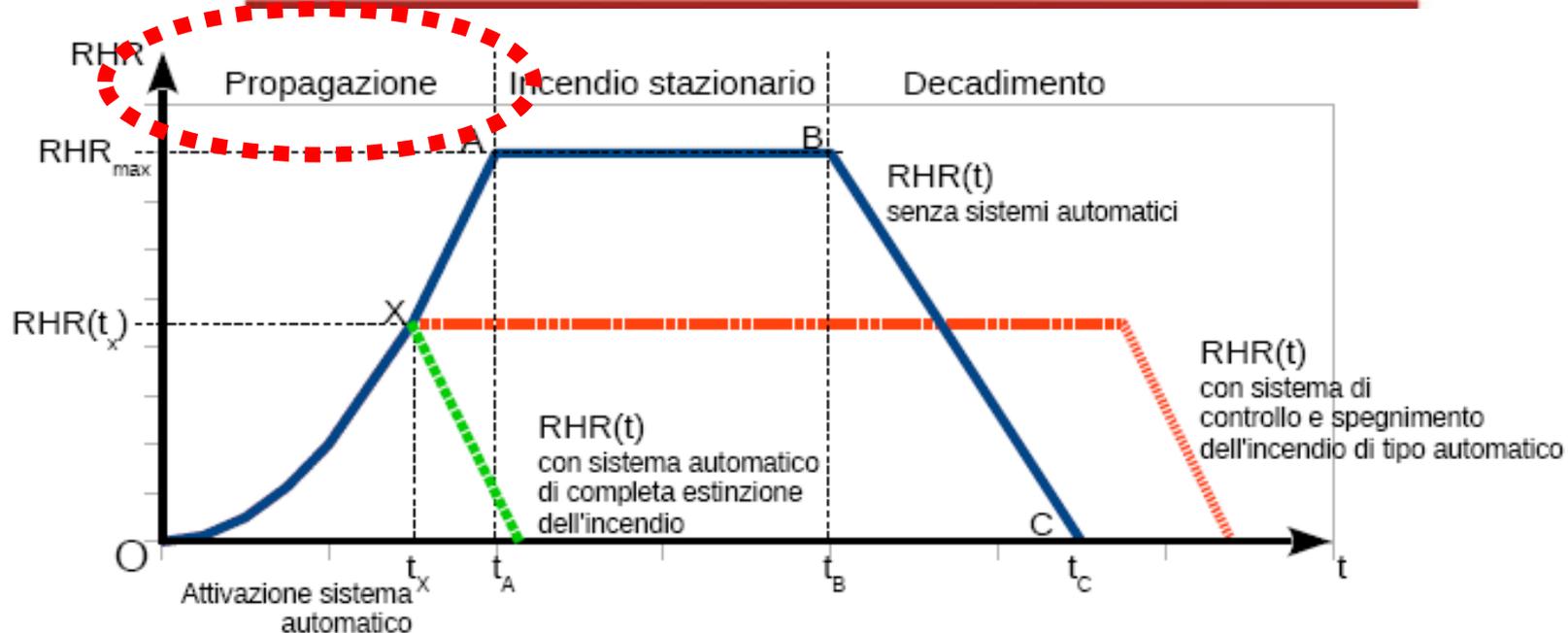
**Ascissa: Tempo (usualmente espresso in secondi)**

**Ordinata: Potenza (usualmente espressa in kiloWatt)**



Questa metodologia può essere utilizzata per:

- Costruire le *curve naturali* con un modello d'incendio numerico avanzato 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 di evacuazione di fumo e calore (SEFC)



## 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:

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

dove:

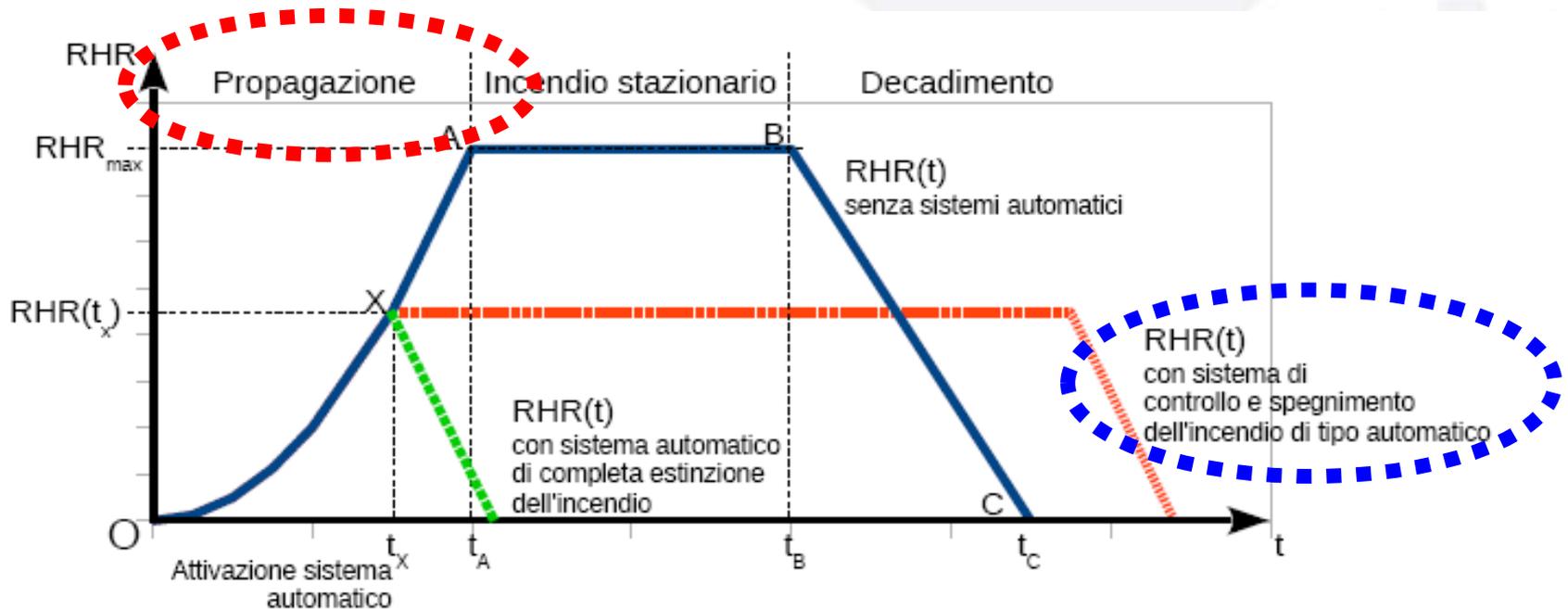
RHR(t) potenza termica rilasciata dall'incendio [kW]

t tempo [s]

t<sub>α</sub> tempo necessario affinché la potenza termica rilasciata raggiunga il valore di 1000 kW, come definito nel capitolo G.3. [s]



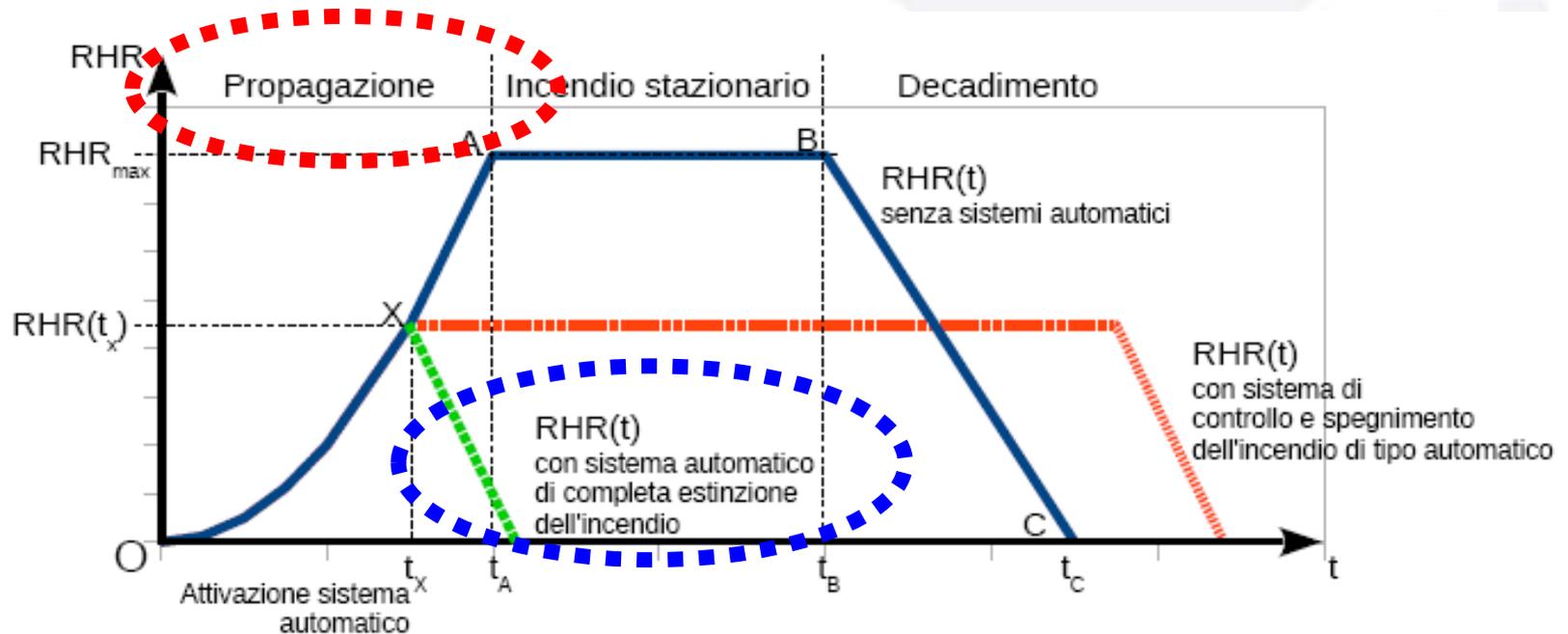
## Fase di Propagazione dell'Incendio Sistemi Automatici di Controllo



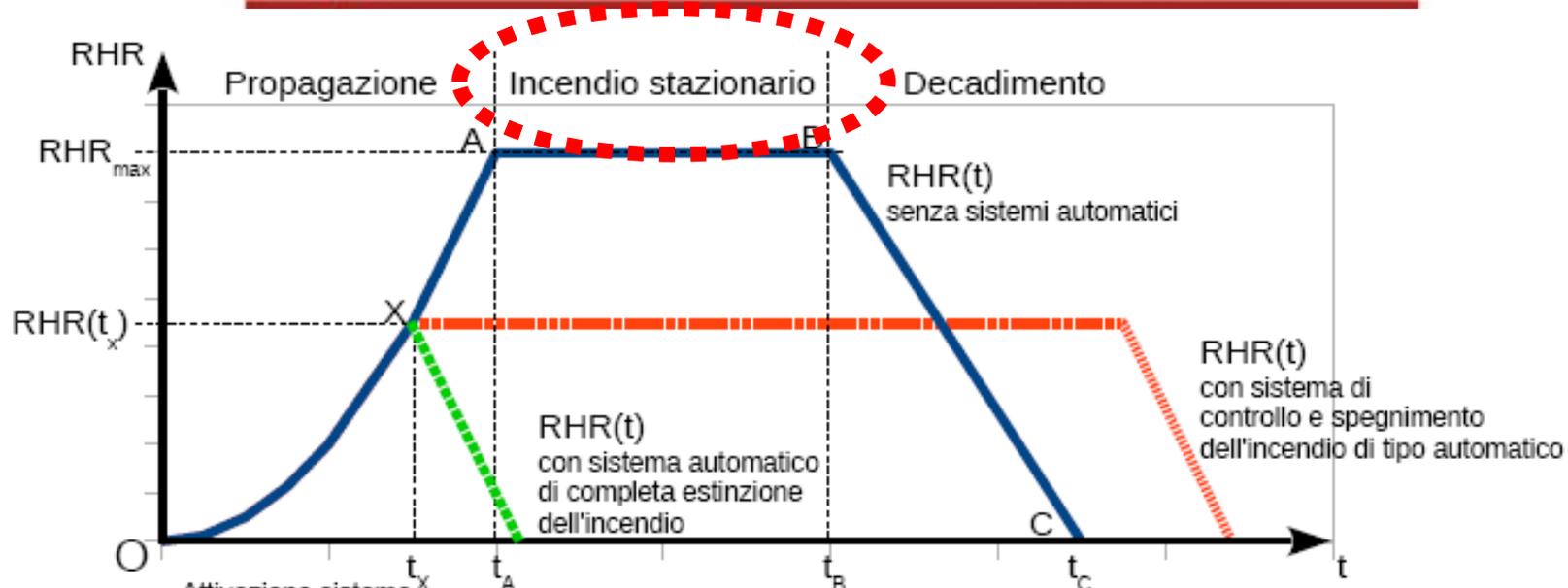
Incendio controllato da sistema di tipo automatico (es. impianto sprinkler)



## Fase di Propagazione dell'Incendio Sistemi Automatici di Controllo

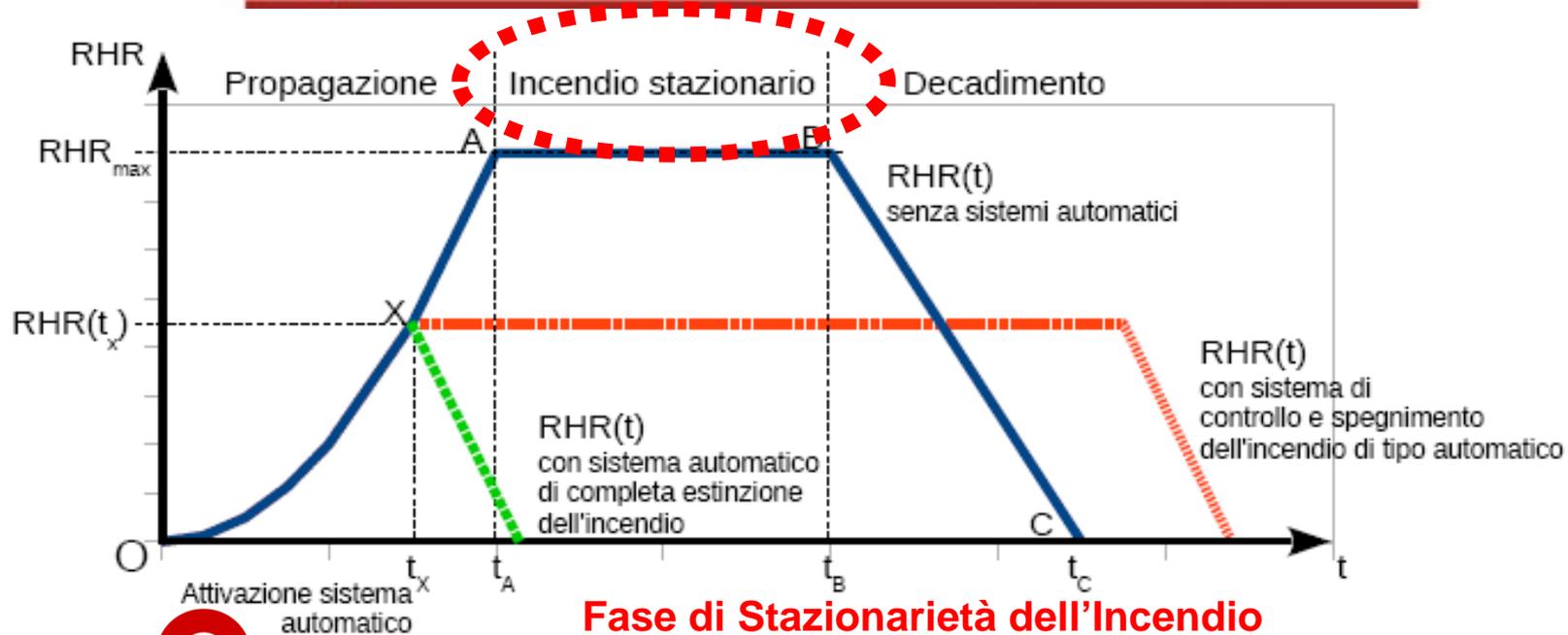


Incendio con sistema automatico di  
completa estinzione



### Fase di Stazionarietà dell'Incendio

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



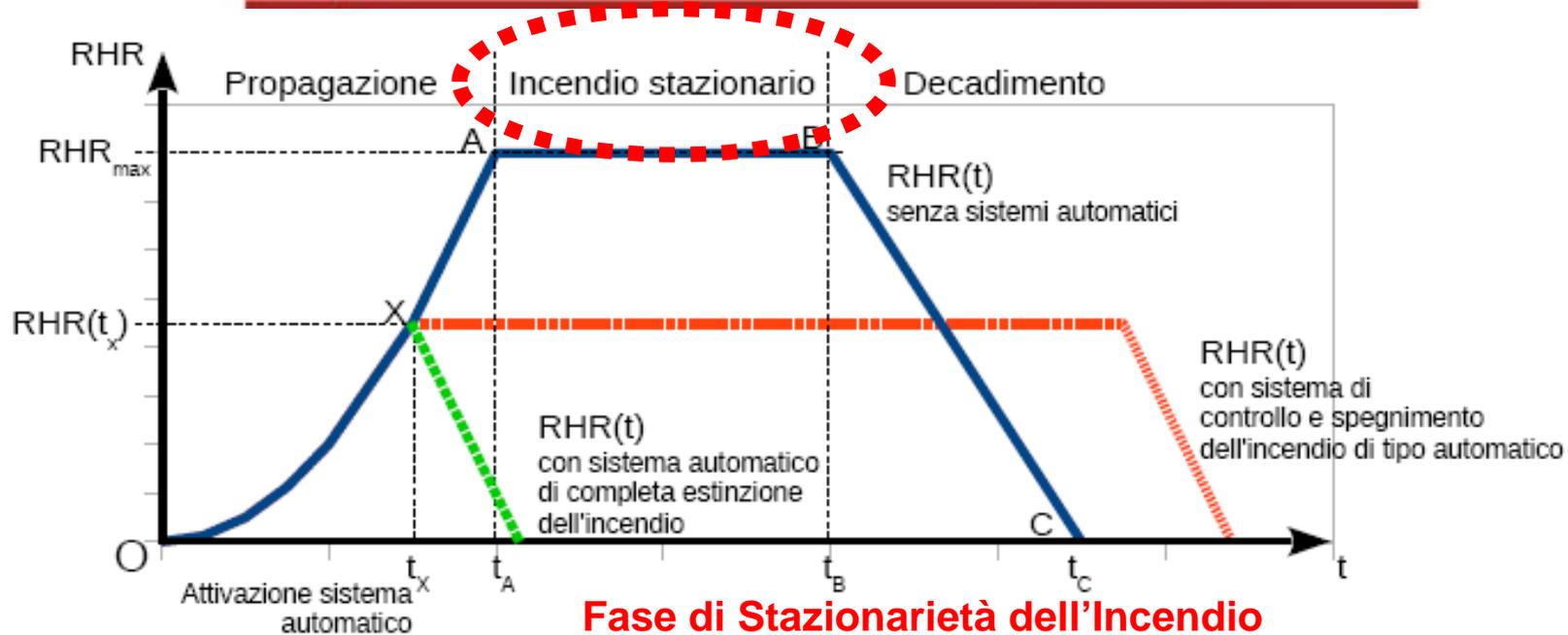
## Incendio controllato dal combustibile

$$RHR_{max} = RHR_f A_f$$

dove:

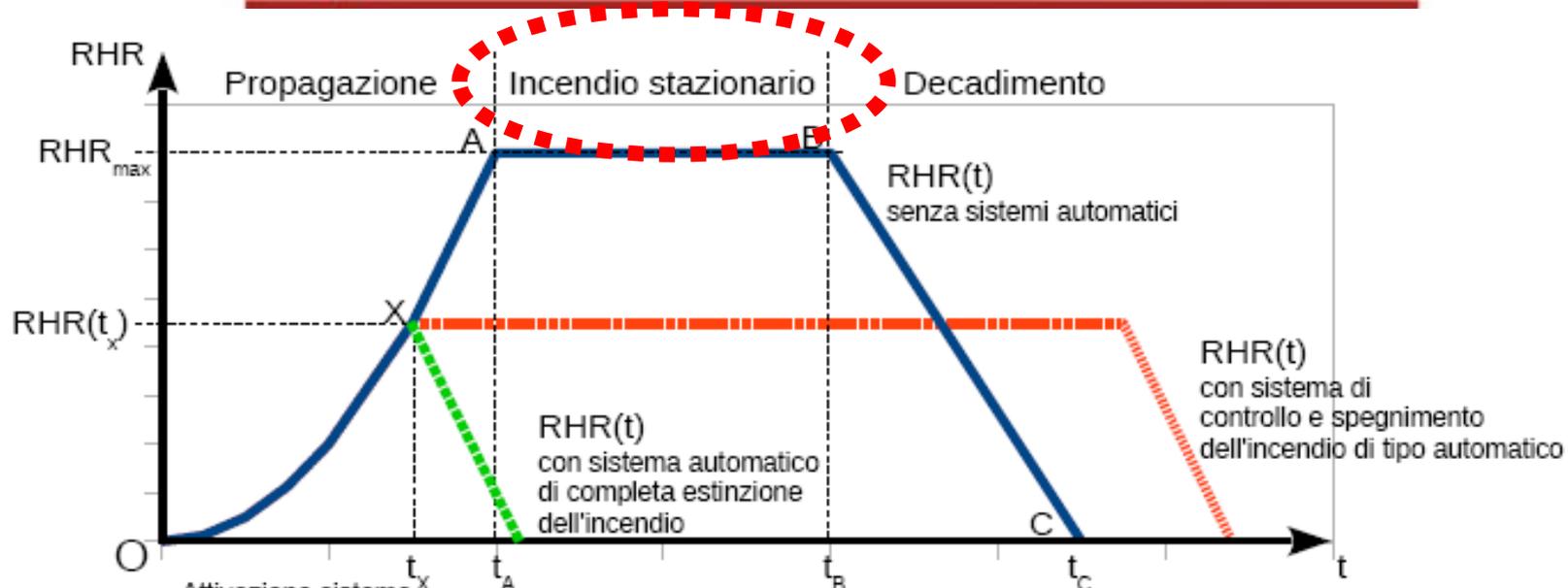
$RHR_f$  valore della potenza termica massima rilasciata per unità di superficie lorda. Per alcune attività, tale valore può essere desunto dai prospetti dell'appendice E.4 dell'Eurocodice 1, UNI EN 1991-1-2. [kW/m<sup>2</sup>]

$A_f$  superficie lorda del compartimento in caso di distribuzione uniforme del carico d'incendio, oppure superficie lorda effettivamente occupata dal combustibile [m<sup>2</sup>]



Incendio limitato dal valore della superficie di ventilazione

$$RHR_{max} = 0,10 m H_u A_v \sqrt{h_{eq}}$$



### Fase di Stazionarietà dell'Incendio

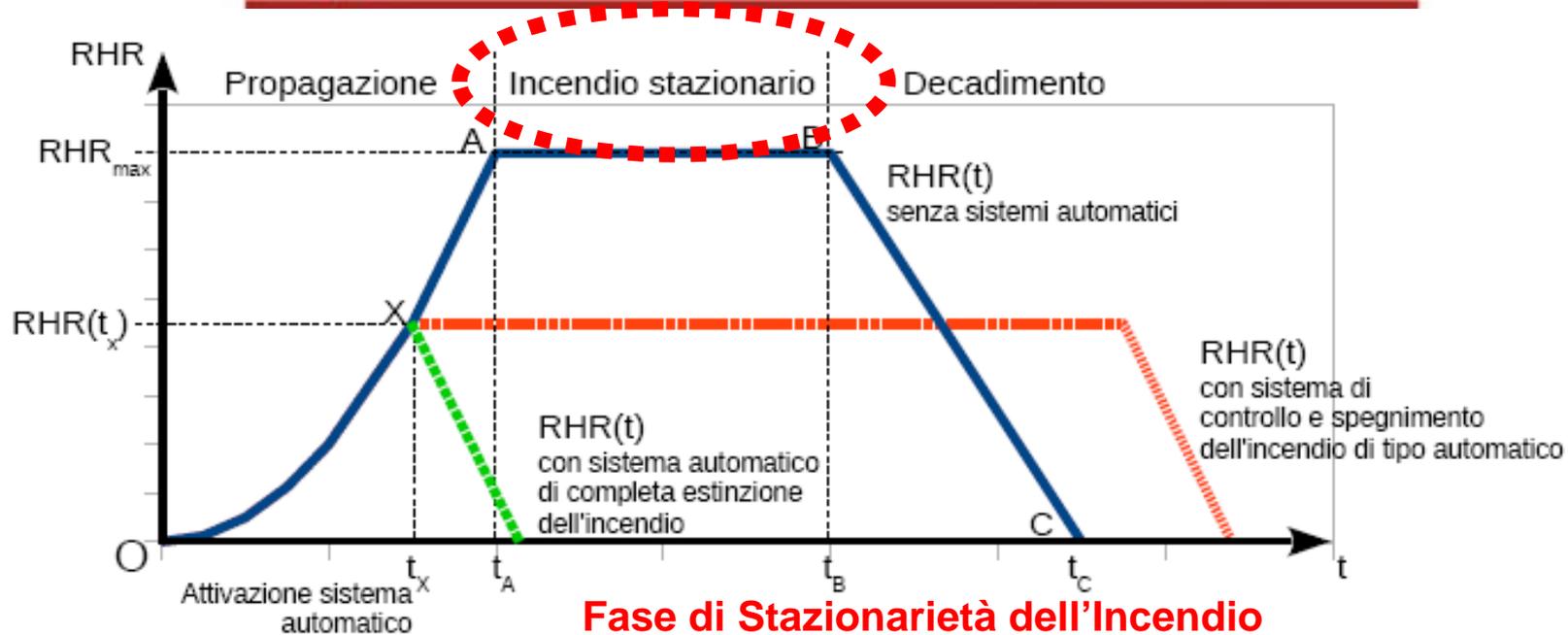
$$RHR_{max} = 0,10 m H_u A_v \sqrt{h_{eq}}$$

con:

$m$  fattore di partecipazione alla combustione di cui al capitolo S.2 del presente documento.

$H_u$  potere calorifico inferiore del legno pari a 17500 kJ/kg.

$A_v$  area totale delle aperture verticali su tutte le pareti del compartimento [m<sup>2</sup>]

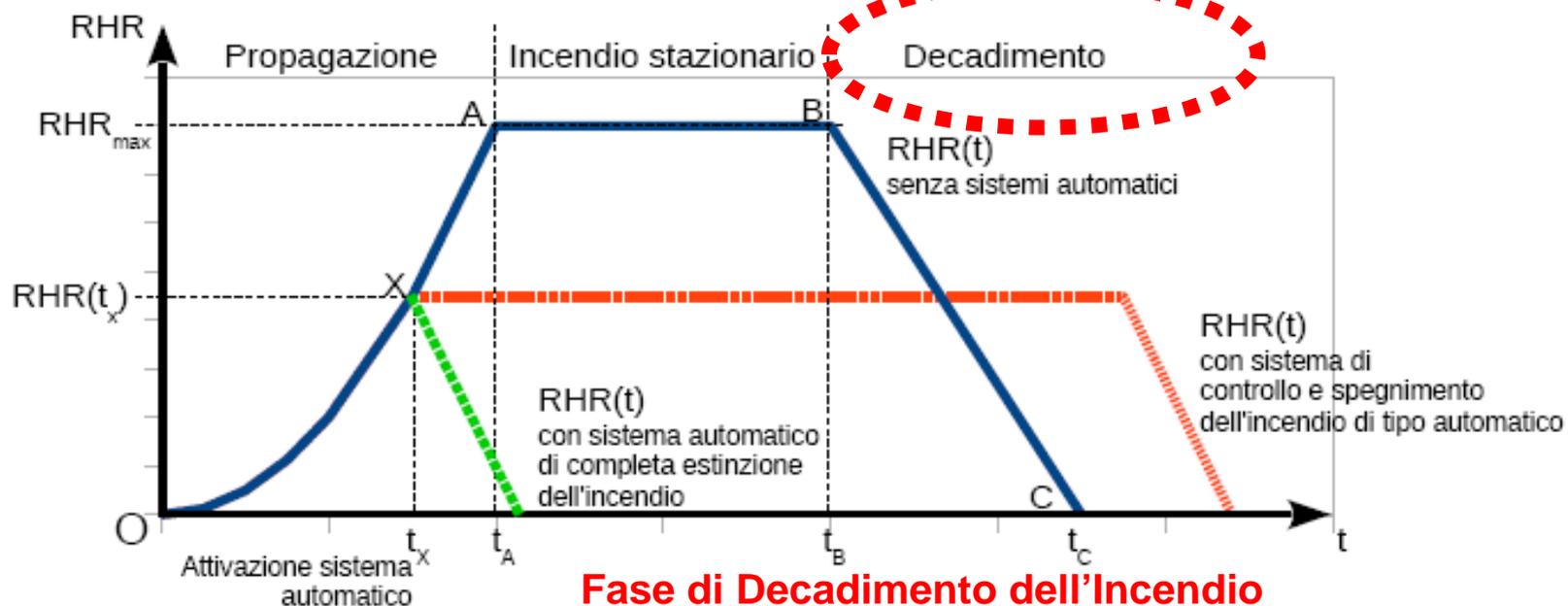


$$RHR_{max} = 0,10 m H_u A_v \sqrt{h_{eq}}$$

L'altezza equivalente delle aperture verticali  $h_{eq}$  si calcola con la seguente relazione:

con:

- |  |           |  |                   |
|--|-----------|--|-------------------|
| $h_{eq} = \frac{\sum_i A_{v,i} h_i}{\sum_i A_{v,i}}$ | $h_{eq}$  | altezza equivalente delle aperture verticali | [m]               |
|  | $A_{v,i}$ | area dell'apertura verticale i-esima         | [m <sup>2</sup> ] |
|  | $h_i$     | altezza dell'apertura verticale i-esima      | [m]               |



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:

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

$$RHR(t) = RHR_{max} \frac{t_c - t}{t_c - t_B} \quad \text{per } t_B \leq t \leq t_c$$



**Gli scenari di incendio**

**Identificazione dei  
possibili scenari  
d'incendio**

**Selezione degli scenari  
d'incendio di progetto**

**Descrizione quantitativa  
degli scenari di incendio  
di progetto**

**Durata degli scenari di  
incendio di progetto**

**Stima della curva RHR**

**Focolare predefinito**

## **DESCRIZIONE QUANTITATIVA INCENDIO**

**Il professionista antincendio può impiegare:**

- a. Dati sperimentali ricavati direttamente**
- b. Dati pubblicati**
- c. Metodologie di stima**

**In alternativa può impiegare i FOCOLARI  
PREDEFINITI nell'ambito delle  
corrispondenti limitazioni specificate**

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio $t_g$	150 s ( <i>fast</i> )	75 s ( <i>ultra-fast</i> )
RHR <sub>max</sub> totale RHR <sub>max</sub> per m <sup>2</sup> di superficie del focolare	5 MW 250-500 kW/m <sup>2</sup> [1]	50 MW 500 -1000 kW/m <sup>2</sup> [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 $\Delta H_c$	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 in irraggiamento ( <i>Radiative fraction</i> )	35% [3]	

[1] Da impiegare in alternativa all'RHR<sub>max</sub> 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] "CVM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code

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

[5] Stec AA, 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  $CH_2O_{0,5}$ .

Tabella M.2-2: Focolari predefiniti

Focolare predefinito

**NB:** è escluso l'impiego dei focolari predefiniti nei casi in cui si valuti che i focolari attesi risultino **più gravosi** di quelli previsti in tabella



Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile  
**CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO**  
Direzione Centrale per la Prevenzione e Sicurezza Tecnica  
Direzione Centrale per la Formazione

**Salvaguardia della vita  
con la progettazione prestazionale**

**Capitolo M3**



Nell'applicazione del metodo prestazionale alla sicurezza antincendio per la salvaguardia della vita, gli obiettivi del professionista antincendio possono essere:

- a. la dimostrazione diretta ed esplicita della possibilità per tutti gli occupanti di un'attività di raggiungere o permanere in un luogo sicuro, senza che ciò sia impedito da un'eccessiva esposizione ai effetti dell'incendio;
- b. la dimostrazione della possibilità per i soccorritori di operare in sicurezza.



**CRITERI DI PROGETTAZIONE PRESTAZIONALI  
PER LA SALVAGUARDIA DELLA VITA**

**Criterio IDEALE**

Assicura agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro in sicurezza o di permanervi senza mai incontrare gli effetti dell'incendio.

**Criterio ASET > RSET**



## **Critério ASET > RSET**

**Si basa sul confronto tra due intervalli di tempo**

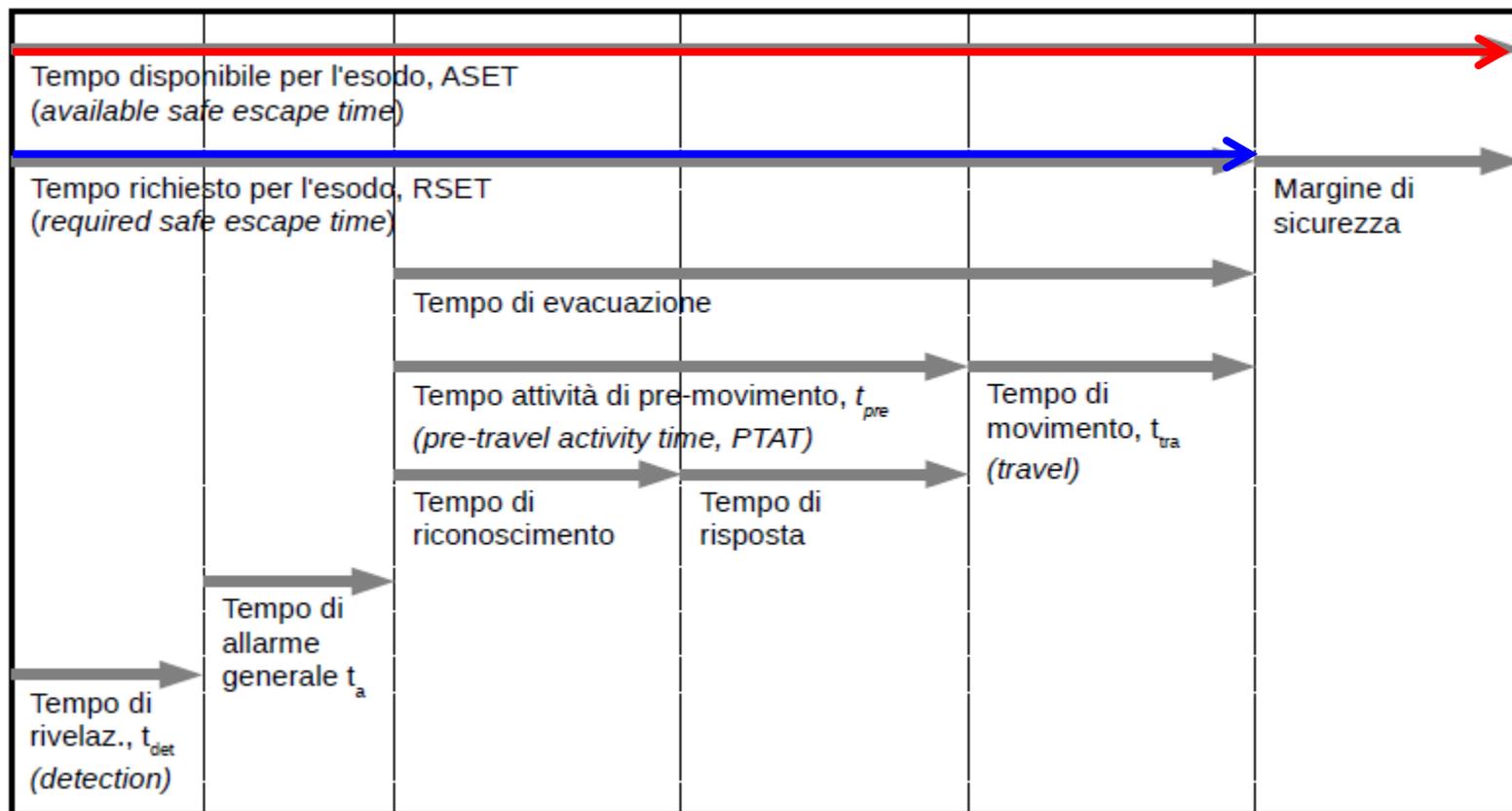
1. **ASET**, tempo disponibile per l'esodo **AVAILABLE SAFE ESCAPE TIME**
2. **RSET**, tempo richiesto per l'esodo **REQUIRED SAFE ESCAPE TIME**

**Si considera efficace il sistema d'esodo se  $ASET > RSET$ , se cioè il tempo in cui permangono condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti e superiore al tempo necessario perchè essi possano raggiungere un luogo sicuro, non soggetto a tali condizioni ambientali sfavorevoli dovute all'incendio.**



**ASET**

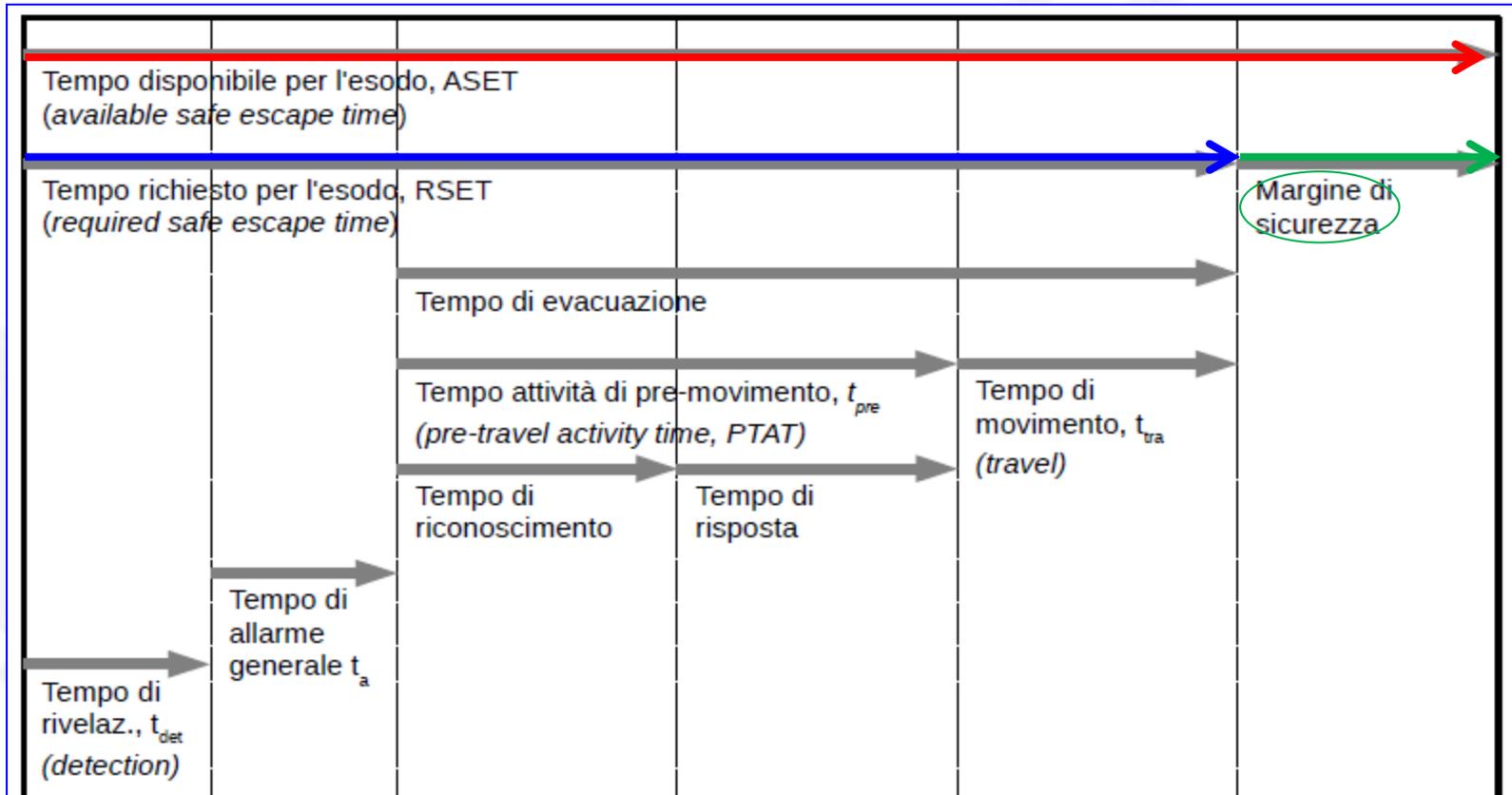
**RSET**





**ASET**

**RSET**





La differenza tra ASET ed RSET rappresenta il *margin*e di sicurezza della progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita:

$$t_{\text{marg}} = \text{ASET} - \text{RSET}$$

Nel confronto tra diverse soluzioni progettuali, il professionista antincendio rende massimo il margine di sicurezza  $t_{\text{marg}}$  in relazione alle ipotesi assunte, al fine di considerare l'incertezza nel calcolo dei tempi di ASET ed RSET.

***A meno di specifiche valutazioni si assume  $t_{\text{marg}} \geq 100\%$  RSET. In caso di specifiche valutazioni sull'affidabilità dei dati di input impiegati nella progettazione prestazionale, è consentito assumere  $t_{\text{marg}} \geq 10\%$  RSET. In ogni caso, il valore di  $t_{\text{marg}}$  non dovrà mai essere inferiore a 30 secondi.***



## GLI STRUMENTI A DISPOSIZIONE PER IL CALCOLO ASET

### CALCOLO ASET

metodo di calcolo  
avanzato

ISO 13571

ASET globale è definito come il più piccolo tra gli ASET calcolati secondo i quattro modelli

ISO/TR 16738

metodo di calcolo  
semplificato

Modello gas tossici

Modello gas irritanti

Modello del calore

Modello della visibilità

Zero exposure



## **MODELLO GAS TOSSICI**

**Exposure dose** = è definita come *la misura della dose di un gas tossico disponibile per inalazione*, cioè presente nell'aria inspirata, calcolata **per** integrazione della curva concentrazione-tempo della sostanza;

**FED ( Fractional effective dose)** = Exposure dose /Dose incapacitante del gas tossico;

Quando il FED =1, il soggetto medio è **sicuramente**  
**incapacitato**



## Relazione [ISO 13571]

$$X_{\text{FED}} = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\varphi_{\text{CO}}}{35\,000} \Delta t + \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\exp(\varphi_{\text{HCN}} / 43)}{220} \Delta t$$

- La dose incapacitante per il CO è 35.000 ppm · min (SO 13571:2012);
- Si suppone che solo CO ed HCN abbiano significativa influenza per la tossicità;

Il soggetto è incapacitato (FED = 1) se esposto a:  
3.500 ppm di CO x 10 min  
7.000 ppm di CO x 5 min

*In entrambi i casi la sua FED è pari a 1 ed il suo ASET per il CO è pari a 10 minuti e 5 minuti rispettivamente.*



## MODELLO GAS IRRITANTI

### Ipotesi semplificative

- L'irritazione è diretta ed istantanea, accade al primo contatto, non c'è accumulo.
- Esiste additività diretta tra gli effetti degli irritanti.

### Relazione [ISO 13571]

$$X_{FEC} = \frac{\varphi_{HCl}}{F_{HCl}} + \frac{\varphi_{HBr}}{F_{HBr}} + \frac{\varphi_{HF}}{F_{HF}} + \frac{\varphi_{SO_2}}{F_{SO_2}} + \frac{\varphi_{NO_2}}{F_{NO_2}} + \frac{\varphi_{acrolein}}{F_{acrolein}} + \frac{\varphi_{formaldehyde}}{F_{formaldehyde}} + \sum \frac{\varphi_{irritant}}{F_{C_i}}$$



## Soglia di prestazione per FED e FEC

1. I valori di FED e FEC pari ad **1** sono associati ad effetti incapacitanti dell'esodo calibrati su occupanti di media sensibilità agli effetti dei prodotti dell'incendio.
2. Per tenere conto delle categorie più deboli o più sensibili della popolazione, che risulterebbero incapacitate ben prima del raggiungimento di FED o FEC uguale a 1, si considera ragionevole impiegare il valore 0,1 come soglia di prestazione per FED (limitando a 1,1% la porzione di occupanti incapacitati al raggiungimento della soglia secondo ISO 13571) e lasciando però al professionista antincendio l'onere di selezionare e giustificare il valore più adatto alla tipologia di popolazione coinvolta.



## MODELLO DEL CALORE

### Ipotesi semplificativa

Meccanismi di danno: ipertermia, ustione pelle, ustione vie aeree.

Esclusa ustione vie aeree.

Relazioni [ISO 13571]

$$X_{\text{FED}} = \sum_{t_1}^{t_2} (1/t_{\text{irad}} + 1/t_{\text{iconv}}) \Delta t$$

I valori di  $t_{\text{irad}}$  e  $t_{\text{iconv}}$  sono i tempi di incapacitazione per calore radiante e calore convettivo calcolati con altre relazioni in funzione della condizione di abbigliamento dei soggetti, reperibili nella norma ISO 13571.



$$t_{\text{Irad}} = 6,9q^{-1,56}$$

USTIONI

*t in minuti*

$$t_{\text{Irad}} = 4,2q^{-1,9}$$

DOLORI

q radiante in kW/m<sup>2</sup>

$$t_{\text{Iconv}} = (4,1 \times 10^8) T^{-3,61}$$

NORMALMENTE  
VESTITI

*t in minuti per il dolore,*

*T in °C*

$$t_{\text{Iconv}} = (5 \times 10^7) T^{-3,4}$$

POCO VESTITI

La verifica del modello del calore può essere semplificata assumendo conservativamente le seguenti *soglie di prestazione*:

- a. **irraggiamento sugli occupanti  $\leq 2,5$  kW/m<sup>2</sup>;**
- b. **temperatura ambiente sugli occupanti  $\leq 60^\circ\text{C}$ .**

Tali valori corrispondono ad un ASET oltre i 30 minuti per qualsiasi condizione di abbigliamento.



## MODELLO DI VISIBILITA'

Il modello dell'oscuramento della visibilità da fumo è basato sul concetto del minimo contrasto percettibile, cioè la minima differenza di luminosità visibile tra un oggetto e lo sfondo.

$$C = \sigma \rho_{\text{smoke}} L$$

M.3-3

dove:

L visibilità [m]

C costante adimensionale pari a 3 per segnaletica di esodo riflettente non illuminata o 8 per segnaletica retroilluminata

$\sigma$  coefficiente massico di estinzione della luce pari a  $8,7 \text{ m}^2/\text{g}$  o diverso valore adeguatamente giustificato dal progettista [ $\text{m}^2/\text{g}$ ]

$\rho_{\text{smoke}}$  massa volumica dei fumi (*smoke aerosol mass concentration*) [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]

Grazie a questa correlazione, i codici di calcolo fluidodinamico restituiscono direttamente la  $\rho_{\text{smoke}}$  e calcolano la visibilità L per ogni punto degli ambienti simulati.



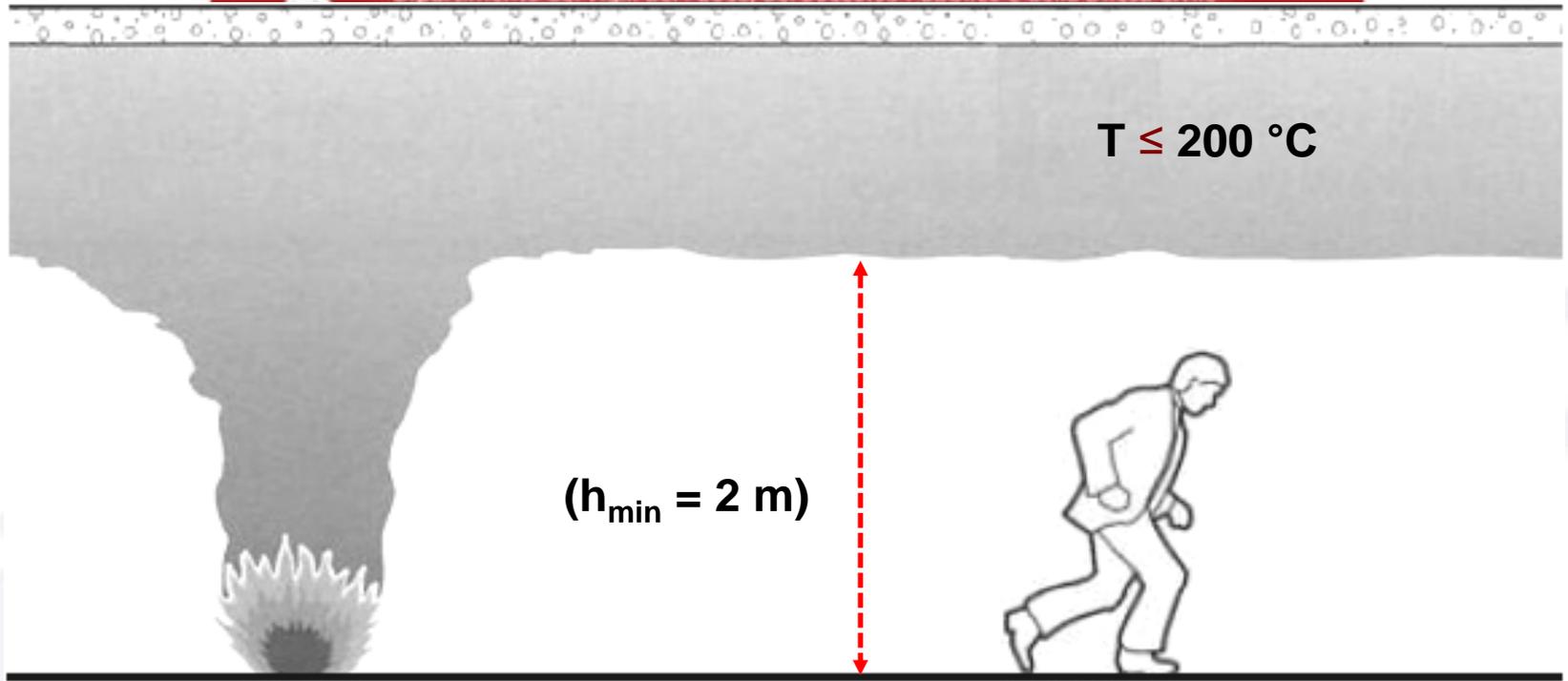


## **Metodo di calcolo semplificato per ASET**

La **ISO/TR 16738:2009** prevede la possibilità di utilizzare l'ipotesi semplificativa della **esposizione zero (zero exposure)**.

Il professionista antincendio impiega le seguenti **soglie di prestazione molto conservative**:

- a. **altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2,0 m**, al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata;
- b. **temperatura media dello strato di fumi caldi non superiore a 200°C**.



**Campo di applicabilità  
del metodo semplificato**

Il metodo di calcolo semplificato è applicabile, solo se la potenza del focolare rapportata alla geometria dell'ambiente è sufficiente a garantire la formazione dello strato di fumi caldi superiore: il professionista antincendio è tenuto a verificare che tale condizione si verifichi.  
metodo di calcolo semplificato



## Calcolo di RSET

**Il documento di riferimento per il calcolo di RSET e la ISO/TR 16738:2009.**

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

Dipende dalle interazioni del **sistema incendio-edificio-occupanti**

la fuga degli occupanti è fortemente condizionata dalle geometrie dell'edificio ed è rallentata dagli effetti dell'incendio.



**ASET**

**RSET**

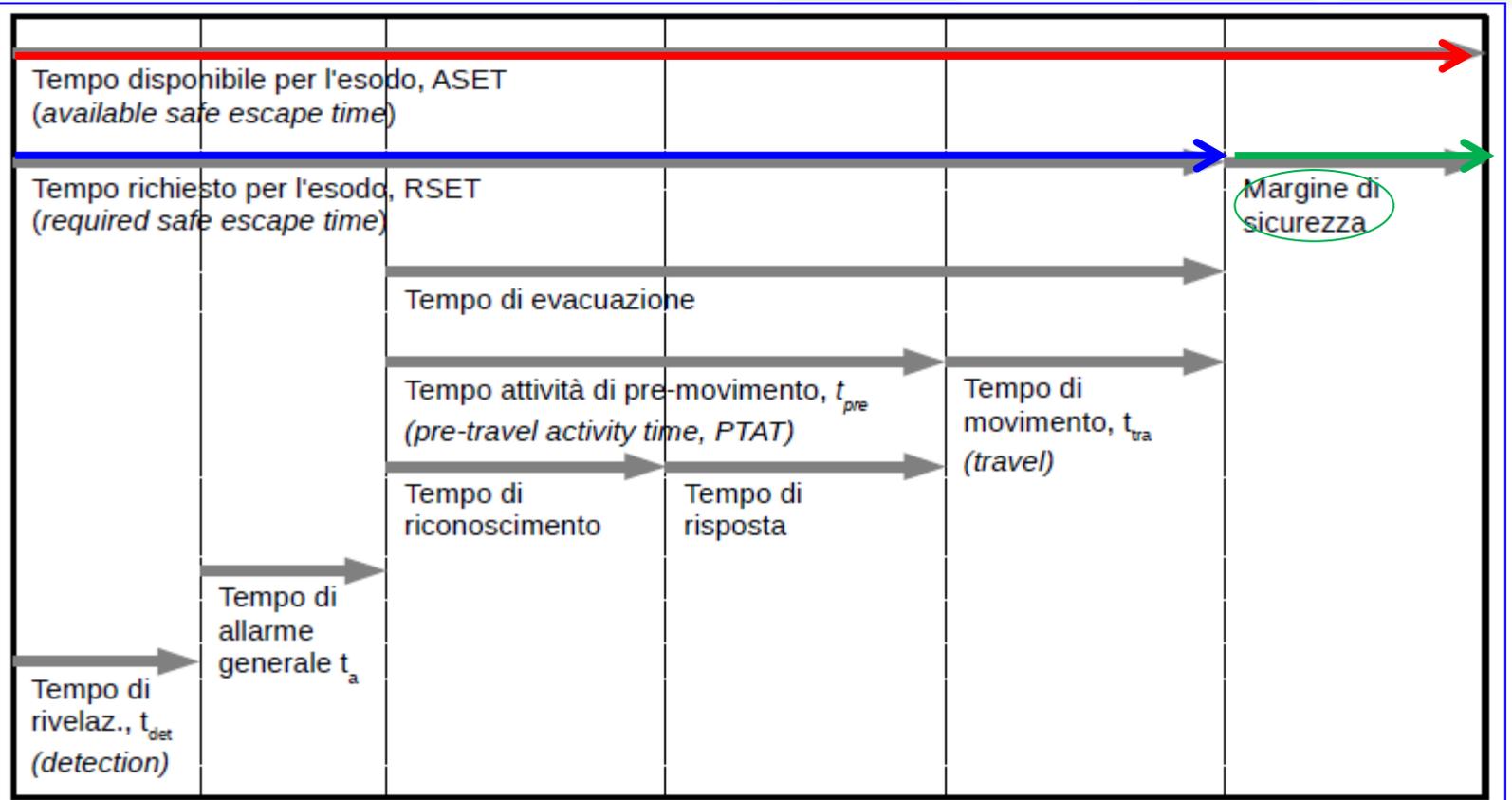


Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET ed RSET da ISO/TR 13387-8



## **Tempo di rivelazione**

**Il tempo di rivelazione  $t_{det}$  è determinato dalla tipologia di sistema di rivelazione e dallo scenario di incendio. E' il tempo necessario al sistema di rivelazione automatico per accorgersi dell'incendio. Viene calcolato analiticamente o con apposita modellizzazione numerica degli scenari d'incendio e del sistema di rivelazione.**

## **Tempo di allarme generale**

**Il tempo di allarme generale  $t_a$  è il tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti, l'allarme generale.**

**Sara dunque:**

- a. pari a zero, quando la rivelazione attiva direttamente l'allarme generale dell'edificio;**
- b. 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.**

**Negli edifici grandi e complessi si deve tenere conto della modalità di allarme che può essere diversificata, ad esempio, nel caso di una evacuazione per fasi multiple.**



## TEMPO ATTIVITÀ DI PRE-MOVIMENTO

Il tempo  $t_{pre}$  è composto da un tempo di *riconoscimento (recognition)* e da uno di *risposta (response)*.

Durante il tempo di riconoscimento gli occupanti continuano le attività che stavano svolgendo prima dell'allarme generale, finchè riconoscono l'esigenza di rispondere all'allarme.

Nel tempo di risposta gli occupanti cessano le loro attività normali e *si dedicano ad attività speciali* legate allo sviluppo dell'emergenza: raccolta di informazioni sull'evento, arresto e messa in sicurezza delle apparecchiature, raggruppamento del proprio gruppo (lavorativo o familiare), lotta all'incendio, ricerca e determinazione della via d'esodo appropriata (*wayfinding*) ed altre attività a volte anche errate ed inappropriate.



**ORIENTAMENTO.** Processo tramite il quale una persona all'interno di uno spazio è in grado di dire dove si trova.

**WAYFINDING.** Capacità di comprendere come è possibile, da un dato punto, raggiungere una data destinazione.

Variabili ambientali che influenzano la prestazione di wayfinding all'interno degli ambienti:

- **Accesso visivo** alle informazioni
- Grado di **differenziazione architettonica**
- **Uso di segnaletica ed indicazione numerica/letterale delle stanze**, in modo da garantire una corretta identificazione o informazioni direzionali
- **Configurazione della planimetria**
- **Familiarità**

## Tempo attività di pre-movimento

Parametri di descrizione dell'attività tratto da ISO/TR 16738	Tempi di attività di pre-movimento ISO/TR 16738	
	$\Delta t_{pre (1st)}$ primi occupanti in fuga	$\Delta t_{pre (20th)}$ ultimi occupanti in fuga
<p>Esempio 1: albergo di media complessità</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• occupanti: <i>Ciii, sleeping and unfamiliar</i>;</li> <li>• sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti;</li> <li>• complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout semplice</i>;</li> <li>• gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>.</li> </ul>	20'	40'
<p>Esempio 2: grande attività produttiva</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• occupanti: <i>A, awake and familiar</i>;</li> <li>• sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti;</li> <li>• complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout complesso</i>;</li> <li>• gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>.</li> </ul>	1' 30"	3' 30"
<p>Esempio 3: residenza sanitaria assistenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• occupanti: <i>D, sleeping and unfamiliar</i>;</li> <li>• sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti;</li> <li>• complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout semplice</i>;</li> <li>• gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>;</li> <li>• presenza di addetti in quantità sufficiente a gestire l'evacuazione dei diversamente abili.</li> </ul>	5'	10'

Tabella M.3-1: Esempi di valutazione del tempo di pre-movimento, tratto da ISO/TR 16738



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

Tempo attività di pre-movimento

**ASET**

**RSET**

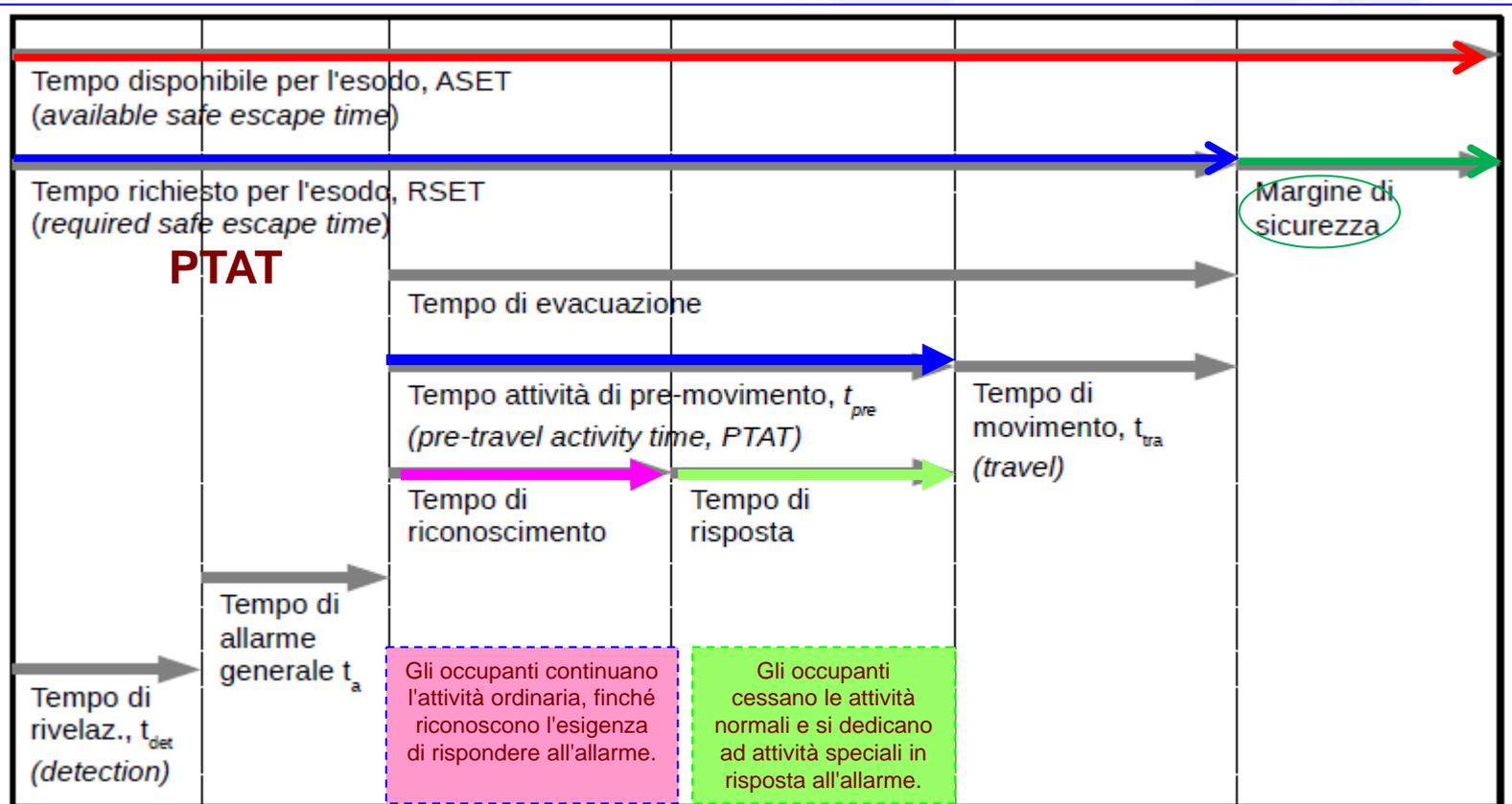


Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET ed RSET da ISO/TR 13387-8



## **TEMPO DI MOVIMENTO**

Il **tempo di movimento** è il tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro.

È calcolato in riferimento ad alcune variabili:

- la **distanza** degli occupanti o gruppi di essi dalle vie d'esodo.
- le **velocità d'esodo**, che dipendono dalla tipologia degli occupanti e dalle loro interazioni con l'ambiente costruito e gli effetti dell'incendio.
- la **portata delle vie d'esodo**, dovuta a geometria, dimensioni, dislivelli ed ostacoli.
- i **comportamenti** assunti dalle persone: scelta della via, irrazionalità...



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

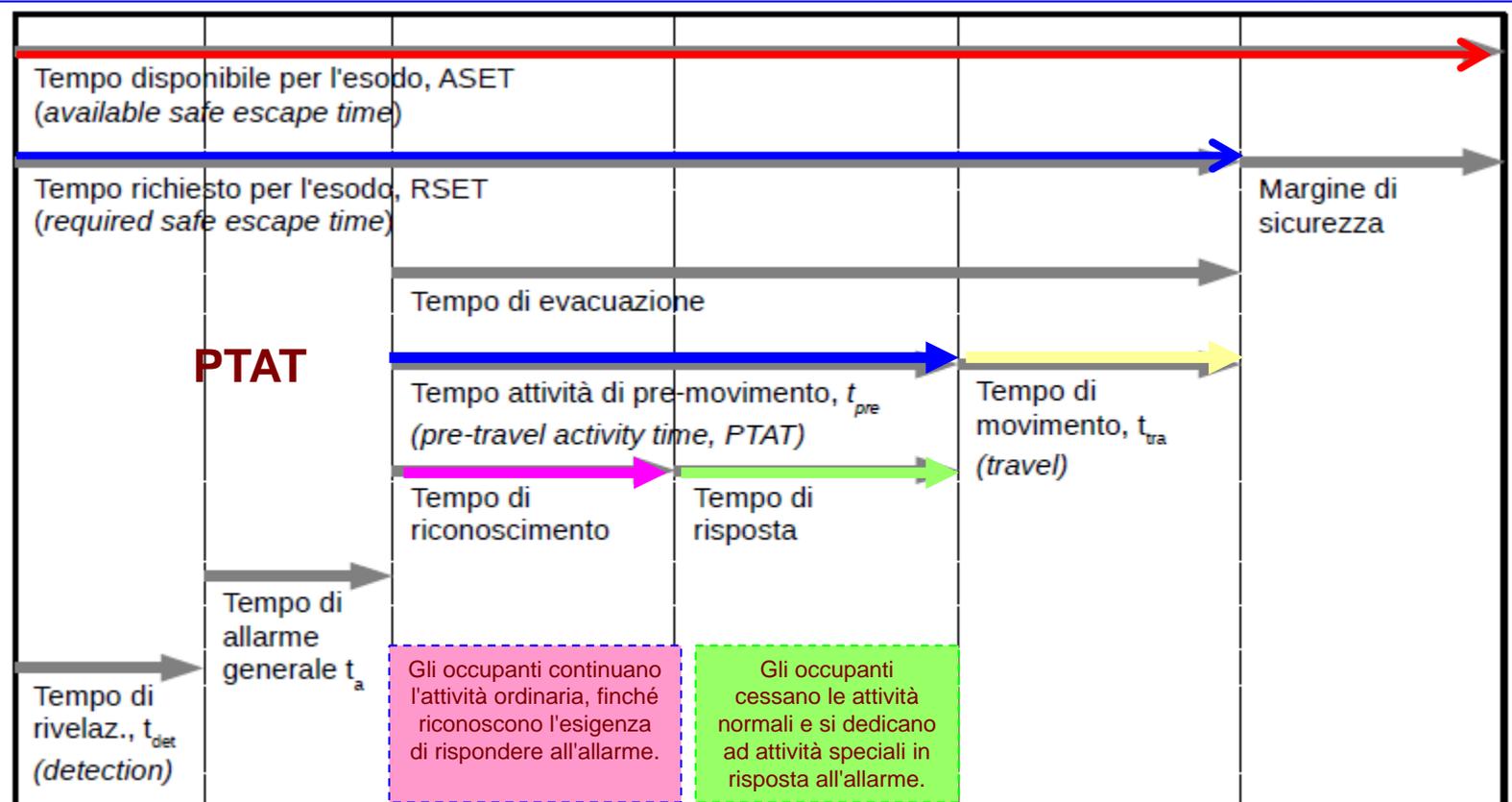
Direzione Centrale per la Prevenzione e Sicurezza Tecnica  
Direzione Centrale per la Formazione

Protezione Civile  
COP

Tempo di movimento

ASET

RSET



PTAT

Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET ed RSET da ISO/TR 13387-8



## I MODELLI PER IL CALCOLO DEL TEMPO DI MOVIMENTO

Attualmente si impiegano comunemente due famiglie di modelli per il calcolo del tempo di movimento: **MODELLI IDRAULICI E MODELLI AGENT BASED.**

I modelli idraulici predicono con ragionevole precisione alcuni aspetti del movimento degli occupanti, ma non includono fattori importanti del comportamento umano, come **la familiarità con l'edificio, le interazioni persona-persona e l'effetto del fumo sul movimento.**

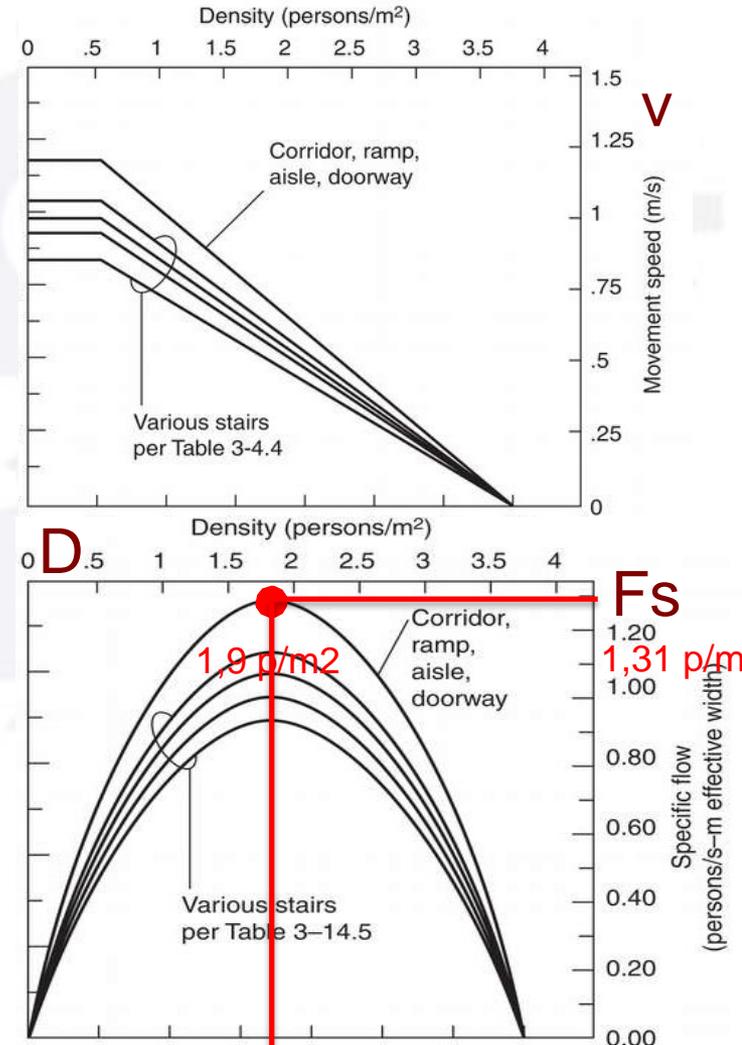
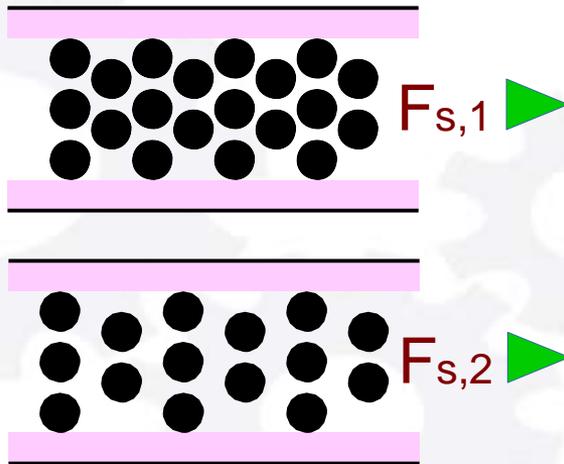
Altri tipi di modelli (es. *cellular automata, agent-based ...*) sono oggetto di intensa ricerca scientifica e di sperimentazione; attualmente esistono ancora solo validazioni parziali dei risultati. Pertanto i risultati devono essere valutati con cautela.



# $t_{tra}$ , modello idraulico

**Flusso specifico**  $F_s = v \cdot D$  [p/m/s]

$v$  velocità [m/s],  $D$  densità [p/m<sup>2</sup>]





In questo modello, ***per densità  $< 0,54$  persone/m<sup>2</sup>*** le persone sono in grado di muoversi indipendentemente; il valore di velocità pertanto è *indipendente dalla densità* e pari a quello calcolato per densità di 0,54 pers/m<sup>2</sup>.

Per ***densità  $> 3,8$  persone/m<sup>2</sup>*** (0,266m<sup>2</sup>/persona) *il moto si arresta  $S=0$* ; il gruppo di persone non è più in grado di muoversi finchè le prime file non sono uscite, diminuendo così la densità.

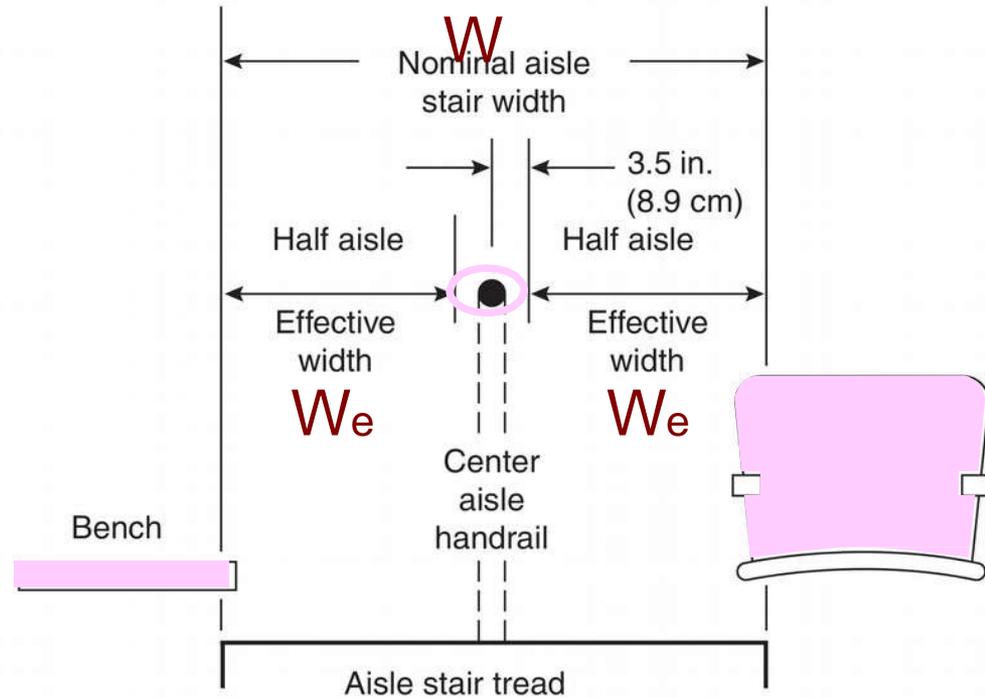
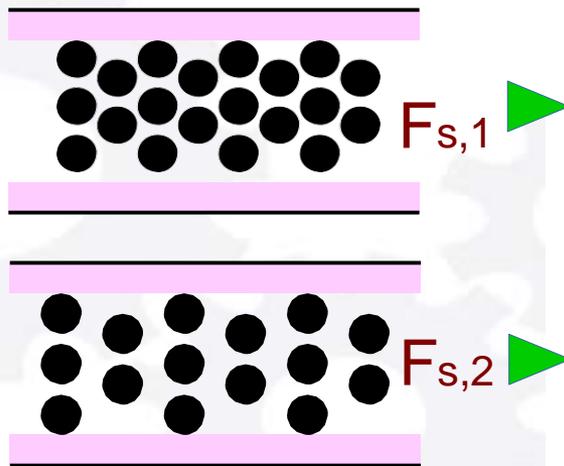


# $t_{ra}$ , modello idraulico

**Flusso specifico**  $F_s = v \cdot D$  [p/m/s]

**Flusso calcolato**  $F_c = F_c \cdot W_e$  [p/s]

$W_e$  larghezza effettiva [m]





Il tempo di movimento  $t_{ra,i}$  che l'*i*-esimo occupante impiega per percorrere la via di esodo dal luogo in cui si trova nel compartimento di primo innesco fino al luogo sicuro temporaneo, rappresentato dal compartimento adiacente, è somma di più componenti:

$$t_{ra,i} = t_{ra(pres),i} + t_{ra(coda),i}$$

$t_{ra(pres),i}$  è il tempo di presentazione ovvero il tempo necessario all'*i*-esimo occupante per presentarsi all'uscita verso il luogo sicuro temporaneo dal luogo in cui si trova;

$t_{ra(coda),i}$  è il tempo di coda ovvero il tempo che l'*i*-esimo occupante attende in coda all'uscita verso il luogo sicuro temporaneo.



Supponendo velocità costante, il **tempo di presentazione all'uscita**  $t_{ra(pres),i}$  dell'*i*-esimo occupante è funzione della distanza che percorre, quindi dalla sua posizione iniziale nel compartimento di primo innesco e dal suo percorso di esodo.

**Il tempo di coda** dipende invece dalla geometria della via di esodo e dal numero di occupanti in attesa all'uscita prima dell'*i*-esimo occupante. Al fine di ridurre la complessità delle interazioni tra la distribuzione statistica del tempo di pre-evacuazione e gli altri tempi elementari che compongono RSET, si impiega **l'analisi semplificata descritta nell'annesso H del rapporto tecnico ISO/TR 16738:2009**.



Con queste premesse, il tempo RSET può essere assunto il più gravoso tra i tempi calcolati come segue:

$$RSET_1 = t_{det} + t_a + t_{pre(99^\circ \text{ percentile})} + t_{tra(pres)}$$

$$RSET_2 = t_{det} + t_a + t_{pre(1^\circ \text{ percentile})} + t_{tra(pres)} + t_{ra(coda)}$$

ove:

$t_{pre(1^\circ \text{ percentile})}$  è il tempo di pre-evacuazione per i primi occupanti a muoversi, secondo la distribuzione statistica di  $t_{pre}$ ;

$t_{pre(99^\circ \text{ percentile})}$  è il tempo di pre-evacuazione per gli ultimi occupanti a muoversi, secondo la distribuzione statistica di  $t_{pre}$ ;

$t_{tra(pres)}$  è il tempo necessario all'occupante più lontano per presentarsi all'uscita verso il luogo temporaneo;

$t_{ra(coda)}$  è il tempo di attesa in coda all'uscita verso luogo sicuro temporaneo per l'ultimo occupante a muoversi, secondo la distribuzione statistica del tempo di pre-evacuazione  $t_{pre}$





- Modelli *agent-based*

Theoretical Basis for the Evacuation Model

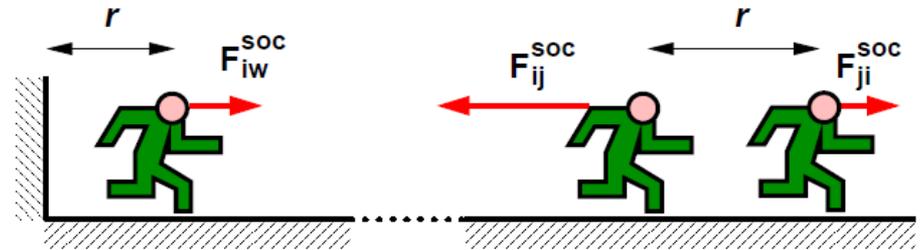


Figure 2. The concept of the social force.

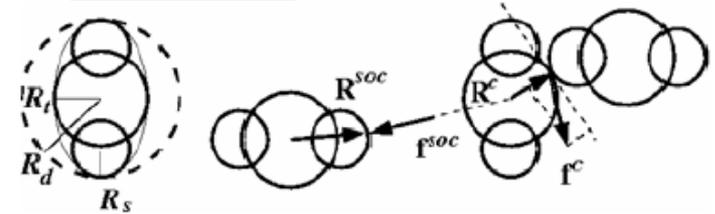
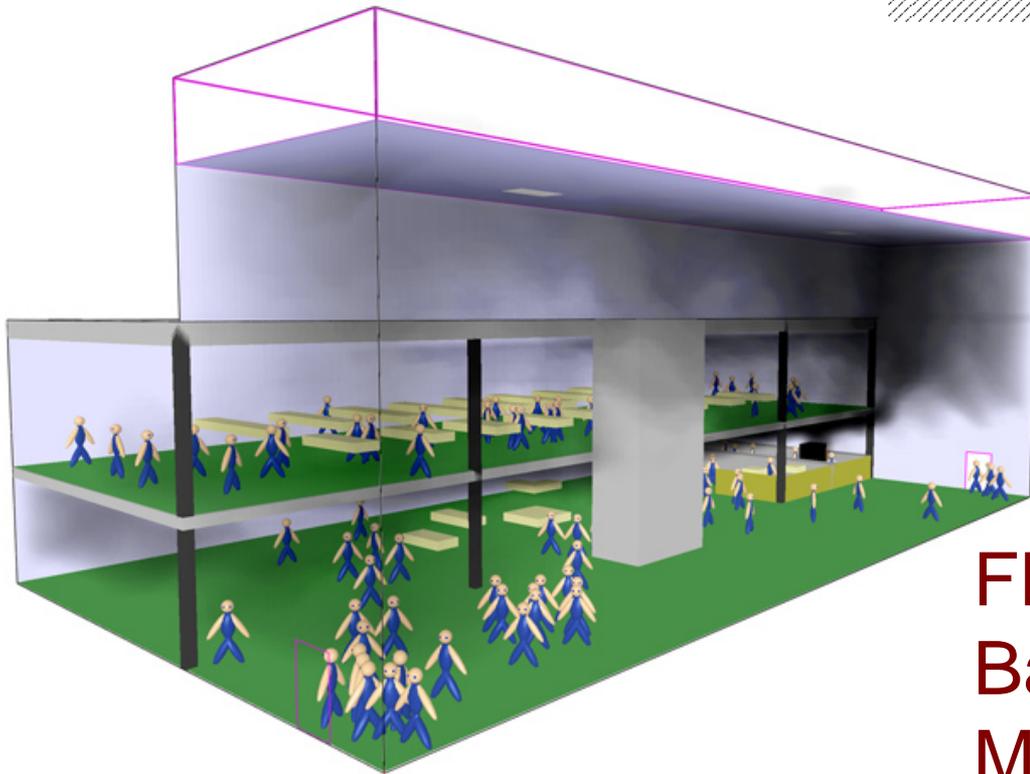
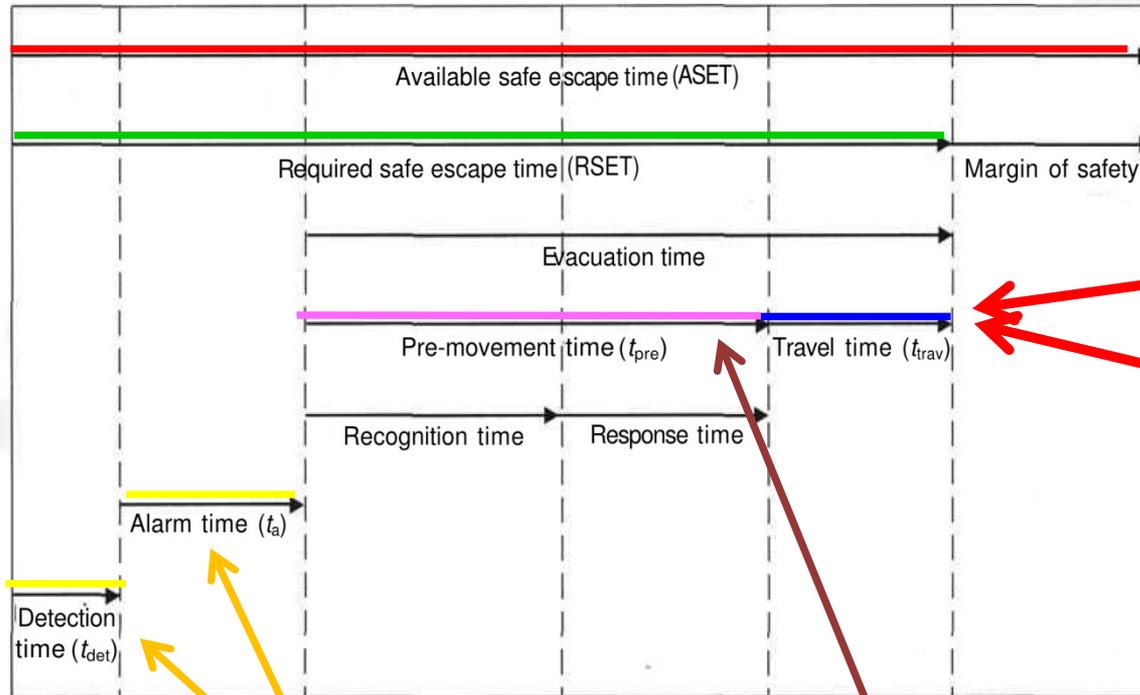


Figure 2. Illustration of the three-circle model of humans.

**FDS+Evac: An Agent Based Fire Evacuation Model -VTT RESEARCH**



## Riepilogando.....



**Metodo semplificato (Zone)**  
**Metodo avanzato (CFD)**

**Modello idraulico**

**Modello agent based (es. FDS+EVAC)**

**Valutazione o simulazione**

**Da tabelle o sperimentale**



Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile  
**CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO**  
Direzione Centrale per la Prevenzione e Sicurezza Tecnica  
Direzione Centrale per la Formazione

# Grazie per l'attenzione

