Corso di prevenzione incendi

FIRE SAFETY ENGINEERING

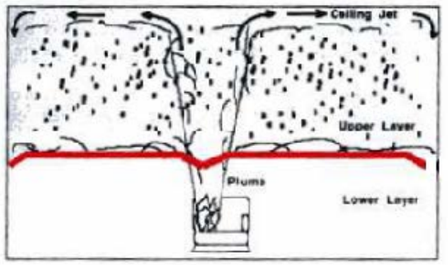
L'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio;
Il DM 9 maggio 2007 e la sezione M del Codice di prevenzione incendi

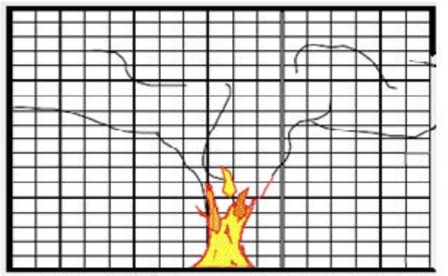
Dott. Ing. Mauro Malizia
Dirigente dei Vigili del Fuoco

Legge 22/4/1941 n. 633 smi. Non è consentito l'utilizzo, anche parziale, senza il consenso dell'autore.

ARGOMENTI

- ✓ **Origini** e **caratteristiche** dell'Ingegneria della sicurezza antincendio.
- ✓ **Differenze** tra approccio prestazionale e approccio prescrittivo.
- ✓ **Applicazione** dell'approccio prestazionale in **Italia**.
- ✓ L'ingegneria della sicurezza antincendio nel **codice di prevenzione incendi**.





PREMESSE

L'**ingegneria della sicurezza antincendio** è una disciplina complessa, che affronta con metodi scientifici il problema della scelta delle misure di sicurezza più adeguate e finalizzate alla protezione delle persone, dei beni e dell'ambiente dagli effetti dell'incendio.

L'Approccio prestazionale **non si occupa di verificare il rispetto di una norma**.

I **codici prescrittivi** sono in genere **più semplici** per progettisti e verificatori, ma possono avere **notevoli vincoli e limitazioni**.

Per contro, i **modelli prestazionali** presuppongono il possesso di **maggiori competenze** da parte di **progettisti** e **verificatori**.

L'**analisi è più mirata**, consente di ottenere **risultati più aderenti alla realtà** e di commisurare le misure di protezione antincendio alle **reali necessità**.

SINONIMI

È possibile trovare terminologie diverse nei vari documenti.

- ✓ Approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio
- ✓ Ingegneria della sicurezza antincendio
- ✓ Metodo prestazionale
- ✓ Fire safety engineering – FSE
- ✓ Progettazione antincendio prestazionale
- ✓ Approccio ingegneristico
- ✓ Approccio Performance Based
- ✓ Approccio prestazionale
- ✓ Progettazione prestazionale … ecc.

DEFINIZIONE

È stata definita con il documento **ISO TR 13387 (Fire Safety Engineering)**.

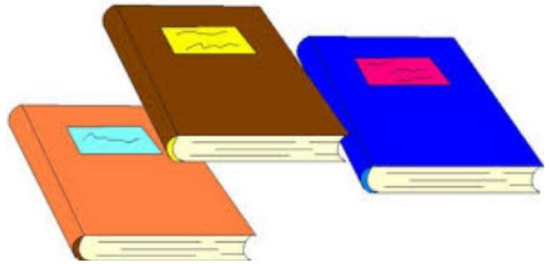
In Italia: **P.to G.1.21** del Codice – **Art. 1 lett. d** del D.M. 7 agosto 2012

Ingegneria della sicurezza antincendio *(Metodo prestazionale; Fire safety engineering – FSE)*

***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*.

CONFRONTO APPROCCI PRESTAZIONALI E PRESCRITTIVI [1/3]

L'Approccio prestazionale **non si occupa di verificare il rispetto di una norma** o di una probabilità di accadimento.



Si **definisce** lo **scopo** del progetto e l'**obiettivo** da conseguire e **si effettua la verifica** sulla rispondenza dei requisiti stabiliti.

Valutazione quantitativa del livello di sicurezza antincendio:

Gli effetti dell'incendio sono quantificati e il livello di sicurezza antincendio valutato rispetto a **soglie prestazionali** prestabilite *(temperatura, visibilità, altezza dello strato libero da fumo …).*

CONFRONTO APPROCCI PRESTAZIONALI E PRESCRITTIVI [2/3]

I **codici prescrittivi** sono in genere **più semplici da utilizzare** sia per i progettisti, sia per i verificatori *(organi di controllo)*.

In tal caso le **norme impongono il rispetto di requisiti minimi** di sicurezza attraverso l'adozione di misure prescrittive.

Possono avere però, soprattutto per opere complesse, innovative, edifici storici, ecc. **notevoli vincoli e limitazioni**.

Per contro, i **modelli prestazionali** presuppongono il possesso di **maggiori competenze** da parte dei **progettisti** e dei **verificatori**.

CONFRONTO APPROCCI PRESTAZIONALI E PRESCRITTIVI [3/3]

La **F.S.E.** consente di progettare **superando i tradizionali metodi prescrittivi** previsti dalle regole tecniche di prevenzione incendi.

F.S.E.

L'**analisi è più mirata**, consente di ottenere **risultati più aderenti alla realtà** e di commisurare le misure di protezione antincendio alle **reali necessità**.

In tal modo sono possibili **risparmi sui costi degli interventi** di prevenzione incendi, con la possibilità di valutare l'effetto sulla sicurezza complessiva delle singole misure previste.

APPROCCIO PRESCRITTIVO

La **valutazione del rischio** è effettuata dal **legislatore**.

Approccio rigido per situazioni complesse *(edifici complessi, innovativi, storici, …)*, ove spesso non è possibile rispettare prescrizioni.

Non consente una **valutazione quantitativa** della sicurezza.

APPROCCIO PRESTAZIONALE

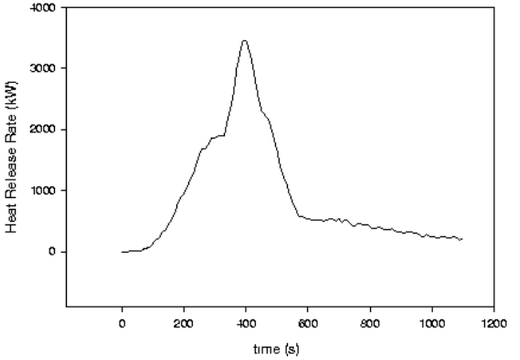
Consente una **valutazione quantitativa** del livello di sicurezza antincendio rispetto a prestabilite soglie prestazionali e con riferimento a ipotizzati scenari d'incendio ritenuti credibili.

L'**effetto** di ogni misura può essere **quantificato e valutato** con modelli di calcolo.

Studi scientifici

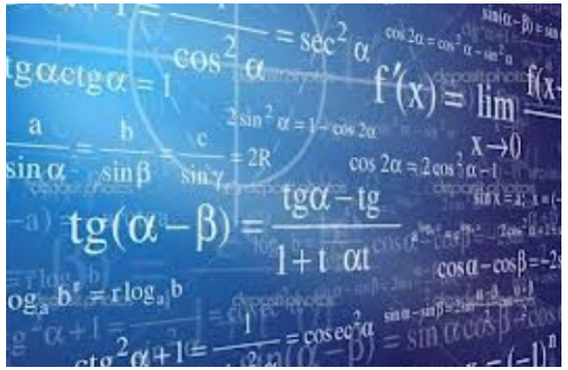
Negli ultimi tempi si sono molto **sviluppati studi scientifici sul comportamento del fuoco** e delle **persone** coinvolte.

Ciò presuppone di trattare l'incendio **non solo in modo empirico**, ma anche in **modo predittivo**.



Modelli matematici

Con l'approccio prestazionale si individuano soluzioni utilizzando **modelli matematici** per prevedere gli effetti di un determinato evento.



In tali studi sono coinvolte **varie discipline** diverse fra loro, non solamente di tipo ***scientifico*** *come matematica, fisica, chimica, informatica, architettura, ingegneria … ma anche* ***umanistico*** *come psicologia, comportamento umano …* ***medico*** *come fisiologia … e* ***finanziario*** *come economia, statistica, sistemi di gestione, ecc.*

Codici di calcolo

L'aspetto scientifico dell'**approccio prestazionale** è legato al fatto che sono svolte **simulazioni dell'incendio con codici di calcolo**.

I risultati delle simulazioni consentono di valutare, ad esempio, l'esodo **delle persone** o **quanto tempo possono resistere le strutture**.

Nell'**approccio tradizionale** tali calcoli sono sostituiti da **valutazioni convenzionali**, che si **adattano** genericamente a varie tipologie di attività senza particolari distinzioni.

Insediamenti di tipo complesso o di particolare rilevanza architettonica

L'approccio prestazionale, più sofisticato e raffinato e quindi più complesso e costoso può essere proficuamente utilizzato in **insediamenti** di **tipo complesso** o a **tecnologia avanzata** e in edifici di **particolare rilevanza architettonica** e/o costruttiva.

Riassumendo …

A differenza delle norme prescrittive che si basano su un **approccio storico - empirico** *(vantaggi di semplicità ma scarsa flessibilità)*, la **F.S.E.** si fonda su un **approccio** di tipo **scientifico - predittivo**.

Si utilizzano **modelli di calcolo** valutando i risultati rispetto a **soglie prestazionali** *(temperatura, visibilità, ...)* per vari scenari.

Per **ogni misura** si può **quantificare l'effetto**, con un maggiore controllo del **rapporto rischi/misure di sicurezza**.

Le **soluzioni sono** fondate su valutazioni **scientifiche** dell'**incendio** e del **comportamento umano**, con riferimento a obiettivi prefissati.

Si può utilizzare sia in fase di **pre-flashover** *(salvaguardia della vita umana)* sia di **post-flashover** *(stabilità strutturale)*.

Considerazioni sull'incendio, sulle persone, sull'esodo, ecc.

- *Velocità di crescita dell'incendio*
- *Entità dello sviluppo dei fumi, dei gas tossici …*
- *Dove può diffondersi l'incendio, il fumo …*
- *Tempo di attivazione dei rivelatori e che trascorrerà dopo l'allarme*
- *Tempo di arrivo dei soccorritori*
- *Tempo occorrente per uscire*
- *Tempo per raggiungere il flash-over*
- *Tempo per eventuale collasso strutturale*
- *Disposizione degli arredi e lay out*
- *Numero di occupanti, ubicazione, stato di veglia o sonno*
- *Persone in condizioni di disabilità, incapacitate a muoversi, colte da panico, ecc.*

Applicazione della metodologia in italia

In Italia la metodologia prestazionale è stata introdotta con il D.M. 9 maggio 2007 *"Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio"*, in vigore dal 20/8/2007.

Successivamente è stata inserita nella Sezione M del c.d. "Codice di prevenzione incendi" di cui al D.M. 3 agosto 2015, in vigore dal 18/11/2015.

Stato attuale di applicazione

A distanza di tempo, tuttavia **l'applicazione di questo approccio** è, ad oggi, ancora **poco diffusa**.

I **motivi** possono essere diversi…

- *Difficoltà della materia,*
- *scarsa conoscenza,*
- *elaborazioni complesse,*
- *tempi di progettazione e calcolo più lunghi,*
- *scarsa applicabilità a attività ordinarie,*
- *obbligo aggiuntivo del SGSA,*
- *altre considerazioni …*

Riferimenti normativi

- *DM 9/5/2007: **Direttive** per l'attuazione dell'**approccio ingegneristico** alla sicurezza antincendio.*
- *Lett. circ. prot. n. 4921 del 17/7/2007: Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico … - **Primi indirizzi applicativi**.*
- *Lett. Circ. prot. n. DCPST/427 del 31/3/2008: Approccio ingegneristico … - Trasmissione **linee guida** per l'approvazione dei progetti e della **scheda rilevamento dati** …*
- *DM 3/8/2015 (**Codice di prevenzione incendi**): Norme tecniche di prevenzione incendi… **Sezione M – Metodi** (M1: Metodologia; M2: Scenari di incendio; M3: Salvaguardia della vita).*

IL DM 9 MAGGIO 2007

MINISTERO DELL'INTERNO

Il decreto è costituito da:

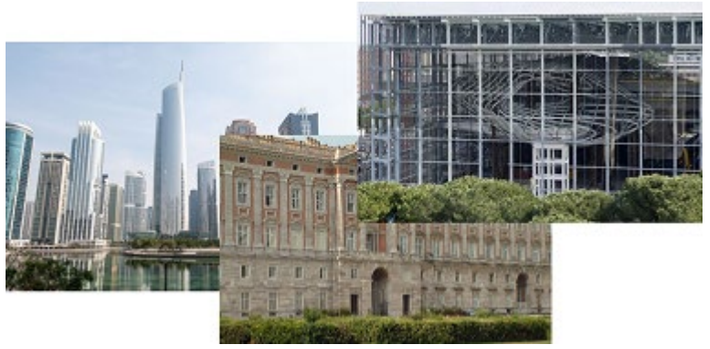
- ✓ **8 articoli** che stabiliscono le procedure per l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio.

  *(**art. 1**: Oggetto; **art. 2**: Campo di applicazione; **art. 3**: Domanda di parere di conformità sul progetto; **art. 4**: Domanda di deroga; **art. 5**: Dichiarazione di inizio attività; **art. 6**: Sistema di gestione della sicurezza antincendio; **art. 7**: Osservatorio per l'approccio ingegneristico; **art. 8**: Disposizioni finali).*

- ✓ **1 allegato tecnico** suddiviso in **5 punti** che indicano il processo di valutazione e progettazione nell'ambito dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio.

… segue (DM 9 maggio 2007)

Nel D.M. 9 maggio 2007 è stato specificato che si applica a insediamenti di **tipo complesso** o a **tecnologia avanzata** e in edifici di **particolare rilevanza** architettonica e/o costruttiva.



- Edifici pregevoli per arte o storia.
- Edifici ubicati in ambiti urbanistici di particolare specificità.

Successivamente è stato chiarito *che tale indicazione non deve essere intesa in senso limitativo, ma vuole indirizzare l'uso dello strumento prestazionale, più sofisticato e raffinato e quindi più complesso e costoso, per la progettazione di attività per le quali può essere maggiormente valorizzato.*

… segue (DM 9 maggio 2007)

Strumento alternativo al D.M. 7/8/2012 per la progettazione di:

- **attività non normate**;
- **attività normate** per l'individuazione di misure di sicurezza equivalenti nel procedimento di deroga.

Non può essere imposto dai vigili del fuoco ma è liberamente adottato dal richiedente e dal progettista.

Le **regole tecniche verticali** *(per attività normate)* continuano a essere **obbligatoriamente rispettate**.

È stato introdotto l'**obbligo aggiuntivo** di elaborare il programma per l'attuazione del **sistema di gestione della sicurezza antincendio** (**SGSA**).

… segue (DM 9 maggio 2007)

L'approccio ingegneristico e il regolamento di prevenzione incendi

Procedimenti del DPR 1 agosto 2011, n. 151 e del D.M. 7 agosto 2012

- ✓ **Valutazione del progetto** *(art. 3 DPR 151/2011 - art. 3 DM 7/8/2012)*
- ✓ **SCIA** *(art. 4 DPR 151/2011 - art. 4 DM 7/8/2012)*
- ✓ **Deroga** *(art. 7 DPR 151/2011 - art. 6 DM 7/8/2012)*

… segue (DM 9 maggio 2007)

Domanda di valutazione del progetto

Oltre a quanto previsto *(**art. 3** del D.M. 7/8/2012)*, la documentazione tecnica **a firma di professionista antincendio** è **integrata** con:

- ✓ **Sommario tecnico**, firmato congiuntamente da progettista e titolare attività.
- ✓ **Risultati dell'analisi quantitativa**.
- ✓ Documento contenente il programma per l'attuazione del **sistema di gestione della sicurezza antincendio (SGSA).**

Il Comando può acquisire il **parere** del **Comitato Tecnico Regionale**.

Il **versamento** è **doppio** rispetto al D.M. 7/8/2012, tenuto conto di **maggiore impegno** e **complessità** correlati all'esame.

… segue (DM 9 maggio 2007)

SCIA - Segnalazione certificata di inizio attività

La SCIA deve essere integrata da una **dichiarazione** a firma del responsabile dell'attività in merito all'attuazione del programma relativo al **sistema di gestione della sicurezza antincendio (SGSA)**.

… segue (DM 9 maggio 2007)

Domanda di deroga

Oltre a quanto previsto *(**art. 6** del D.M. 7/8/2012*), la documentazione tecnica, **a firma di professionista antincendio**, è **integrata** con:

- **Valutazione sul rischio aggiuntivo** conseguente alla mancata osservanza delle norme da derogare e indicazione delle **misure** ritenute idonee a **compensare** il **rischio aggiuntivo**, determinate con le metodologie FSE.
- Documento contenente il programma per l'attuazione del **sistema di gestione della sicurezza antincendio (SGSA)**.

Il **versamento** è calcolato sulla base di quanto previsto per la valutazione del progetto **maggiorato del 50 %.**

ALLEGATO AL DM 9 MAGGIO 2007

Processo di valutazione e progettazione nell'ambito dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio

CODICE DI PREVENZIONE INCENDI:

D.M. 3 agosto 2015: Norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'art. 15 del D.Lgs 8 marzo 2006, n. 139.

M1: Metodologia;

M2: Scenari di incendio;

M3: Salvaguardia della vita.

Sezione G - Generalità

G.1 Termini, definizioni e simboli grafici
G.2 Progettazione per la sicurezza antincendio
G.3 Determinazione dei profili di rischio delle attività

Sezione S - Strategia antincendio

S.1 Reazione al fuoco
S.2 Resistenza al fuoco
S.3 Compartimentazione
S.4 Esodo
S.5 Gestione della sicurezza antincendio
S.6 Controllo dell'incendio
S.7 Rivelazione ed allarme
S.8 Controllo di fumi e calore
S.9 Operatività antincendio
S.10 Sicurezza impianti tecnologici e di servizio

Sezione V - Regole tecniche verticali

V.1 Aree a rischio specifico
V.2 Aree a rischio atmosfere esplosive
V.3 Vani degli ascensori
V.4 Uffici
V.5 Alberghi
V.6 Autorimesse
V.7 Scuole
V.8 Attività commerciali
V.9 Asili nido
V.10 … V.11… V.12 … V.13 … V.14… V.15 …

Sezione M - Metodi

M.1 Metodologia per ingegneria sicurezza antincendio
M.2 Scenari d'incendio per progettazione prestazionale
M.3 Salvaguardia vita con progettazione prestazionale

REVISIONE DEL CODICE

Il **DM 18 ottobre 2019**, entrato in vigore il **1° novembre 2019**, ha **sostituito integralmente** l'**allegato 1** al DM 3 agosto 2015 *(Sezioni G, S, V, M)* ad esclusione dei capitoli da V.4 a V.8 *(poi successivamente "allineati" con DM 14/2/2020).*

La Sezione M - Metodi **non** ha subito **sostanziali modifiche**.

Si rilevano alcune precisazioni su **Premessa** del cap. M.1 *(§ M.1.1 p.to 1): non è sempre necessario impiegare modelli numerici per valutare gli effetti degli scenari d'incendio;* integrazione **tabella** M.2-1; inserimento/aggiornamento di **note**; **riduzione di RHR** con sistemi di protezione attiva *(§ M.1.8 p.to 5)*; modifica valore σ *(§ M.3.3.1.4)*; **altre integrazioni**, **precisazioni** e **correzioni** minori.

M1) METODOLOGIA PER L'INGEGNERIA DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO

Nel **capitolo M1** è descritta la **metodologia di progettazione** dell'ingegneria della sicurezza antincendio (o *progettazione antincendio prestazionale*).

L'applicazione dei principi dell'ingegneria della sicurezza antincendio consente, analogamente alle altre discipline ingegneristiche, di definire **soluzioni idonee** al raggiungimento di **obiettivi** progettuali mediante **analisi di tipo quantitativo**.

Il progettista:

1. definisce lo ***scopo*** della progettazione;
2. specifica gli ***obiettivi*** *di sicurezza antincendio* che intende garantire;
3. traduce gli obiettivi in ***soglie di prestazione*** quantitative;
4. identifica gli ***scenari d'incendio*** *di progetto,* ragionevolmente i più gravosi;
5. Quindi, con strumenti di modellazione analitici o numerici, **descrive** o **calcola gli effetti** degli *scenari d'incendio di progetto* in relazione alla *soluzione progettuale* ipotizzata;
6. Se gli effetti così calcolati conservano un adeguato *margine di sicurezza* rispetto alle *soglie di prestazione* precedentemente stabilite, allora la **soluzione** progettuale analizzata è considerata **accettabile**.

FASI DELLA METODOLOGIA

Si distinguono **due fasi**:

- ✓ **I FASE: Analisi preliminare**: 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.

Le due fasi della metodologia

ANALISI PRELIMINARE (I FASE)

Individua 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 da **progettista** e **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)

DEFINIZIONE DEL PROGETTO

Parte più generale dell'analisi preliminare.

È **definito lo scopo** della progettazione.

Si **descrive** l'edificio, destinazione d'uso, pericoli d'incendio, caratteristiche degli occupanti.

Si **esplicitano** in modo chiaro gli elementi che costituiscono **criticità** ai fini della valutazione.

Evidenziare le **difformità** rispetto a norme specifiche chiarendo le **motivazioni** dell'uso dell'approccio ingegneristico.

Il professionista antincendio identifica e documenta:

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

IDENTIFICAZIONE 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

Servono come riferimento per stabilire i livelli di prestazione.

Esempio:

Finalità: *ammettere una lunghezza delle vie di esodo maggiore di quanto previsto dalle regole tecniche.*

Obiettivo: *gli occupanti devono raggiungere un luogo sicuro.*

Obiettivi generali di "Sicurezza in caso di incendio"

Secondo il **Regolamento (UE) 305/2011 "CPR"** - Prodotti da Costruzione *(sostituisce la Direttiva 89/106/CEE "CPD")*, le **opere di costruzione devono soddisfare vari requisiti di base**, tra cui

Requisito n. 2 dell'Allegato I *(Sicurezza in caso di incendio):*

1) Capacità portante per periodo di tempo determinato;

2) Generazione e propagazione di fuoco e fumo limitata;

3) Propagazione del fuoco alle opere vicine limitata;

4) Sicurezza occupanti;

5) Sicurezza squadre di soccorso.

Esempi di obiettivi

- *Obiettivi generali di "Sicurezza in caso di incendio".*
- *Evitare decessi nell'ambiente di origine dell'incendio.*
- *Evitare il flash over in un dato locale.*
- *Evitare conseguenze a persone al di fuori dell'edificio.*
- *Tutela edifici storici (limitare danni a quadri, affreschi, libri …)*
- *Evitare danni al di fuori dell'edificio.*
- *Minimizzare la propagazione oltre il compartimento.*
- *Minimizzare i danni a determinati impianti o macchinari.*
- *Garantire continuità d'esercizio a opere strategiche.*

DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DI PRESTAZIONE

Traduzione degli **obiettivi in soglie di prestazione** *(performance criteria)* di tipo quantitativo e qualitativo *(gli obiettivi diventano valori numerici).*

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

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

Con l'obiettivo primario della **salvaguardia della vita** umana, i parametri significativi sono quelli che agiscono sull'**incapacitazione**.

Effetti termici ⇨ temperatura massima di esposizione e irraggiamento termico ammissibile.

Tossicità ⇨ fractional effective dose.

Visibilità ⇨ visibilità minima.

Per ogni parametro si **quantifica un livello di soglia** rispetto al quale verificare i risultati nella **seconda fase**.

Esempi di soglie di prestazione

*Per **quantificare le soglie di prestazione** si può fare riferimento alle norme ISO 13571-2012, ISO/TR 16738-2009, ecc.*

Livello di prestazione	***Soglia***
Visibilità	*10 / 5 metri (occupanti/soccorritori)*
Temperatura di esposizione	*60 / 80 °C (occupanti/soccorritori)*
Irraggiamento	*2,5 / 3 KW/m^2 (occupanti/soccorritori)*
Altezza dei fumi dal pavimento	*2 /1,5 metri (occupanti/soccorritori)*
Temperatura dei fumi	*200 /250 °C (occupanti/soccorritori)*
Concentrazione di ossigeno	*15%*
Concentrazione di CO	*500 ppm (allucinazioni dopo 60-90 min.)*
Concentrazione di CO_2	*0,5 %*

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)*.

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).

Esempi:

*Per gli **occupanti** può essere ritenuta ammissibile una esposizione ad una **temperatura = 60 °C** circa per il tempo di esodo;*

*Per i "**soccorritori**" (**addetti antincendio** addestrati e provvisti di DPI) si può considerare una **temperatura = 80 °C** circa;*

I valori possono variare e devono sempre essere giustificati.

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.

Esempi:

*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 fino a **5 m**.*

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).

Esempi:

*Per gli **effetti sulle persone** si possono prendere a riferimento i valori di soglia previsti dal DM LL.PP. 9/5/2001 (**3 kW/m²** per **lesioni reversibili**).*

*Valori usualmente accettabili sono **2,5 ÷ 3 kW/m²**, [1] in relazione alle persone presenti (occupanti o soccorritori).*

1 *Irraggiamento nel mese di agosto alle nostre latitudini ≅ **1÷1,5 kW/m²**.*

Livelli di concentrazione delle specie tossiche

È consigliato **escludere tale parametro** poiché gli algoritmi disponibili non consentono di prevederne la distribuzione con sufficiente attendibilità. Si possono adottare modalità indirette per affrontare il problema.

Esempi:

*Stabilire che una persona non sia esposta, neanche per brevissimo tempo, a fumi e gas di combustione, imponendo **H > 2 m libera da fumi e gas**, nelle vie di esodo durante l'evacuazione.*

*Imporre valori minimi di **visibilità** nelle vie di esodo per determinato tempo, senza materiali che danno luogo a fuochi covanti o cianuri, clorurati, fluorurati, … Generalmente con **visibilità ≥ 10 m** si può trascurare la valutazione delle specie tossiche.*

INDIVIDUAZIONE SCENARI D'INCENDIO DI PROGETTO (CAP. M2)

Rappresentano la **schematizzazione degli eventi** che possono ragionevolmente verificarsi.

Nel codice tale sottofase *(procedura di **identificazione**, **selezione** e **quantificazione** degli scenari di incendio di progetto)*, pur se fa parte dell'**analisi preliminare (Prima Fase)**, è descritta nel:

Capitolo M2: Scenari di incendio per la progettazione prestazionale.

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

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.

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.

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 da progettista e titolare dell'attività, ove è sintetizzato il processo seguito per individuare gli scenari d'incendio di progetto e i livelli di prestazione.

- ✓ **II FASE (analisi quantitativa):**
  - **Relazione tecnica**;
  - **Programma per la G.S.A.**:

SOMMARIO TECNICO

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

Contiene le seguenti **informazioni** e **individua**:

- **Responsabile** dell'**attività**;
- **Responsabile** della **progettazione** antincendio;
- **Professionisti antincendio** che utilizzano l'**FSE** e definiscono l'**SGSA**, se diversi;
- **Finalità** per le quali si applica il **metodo prestazionale**[2].
- Devono essere evidenziati gli **aspetti** della progettazione antincendio **esclusi dalla progettazione prestazionale**.

[2] *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

L'esito dell'analisi deve essere **sintetizzato in maniera chiara** con tabelle, disegni, schemi grafici, immagini.

Sono forniti:

- **Modelli di calcolo utilizzati**: elementi a sostegno della scelta del modello utilizzato;
- **Parametri e valori associati**: la scelta iniziale dei valori deve essere giustificata in modo adeguato, con riferimento a norme, letteratura, prove sperimentali;

… segue

- **Origine e caratteristiche dei codici di calcolo** con riferimento a: *denominazione, autore o distributore, versione e validazioni sperimentali, inquadramento teorico della metodologia di calcolo e traduzione numerica, affidabilità 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, ai fini dell'adeguatezza delle misure antincendio da adottare.

Rendere disponibili **tabulati di calcolo** e relativi **dati di input**.

Una documentazione appropriata assicura che **tutti i soggetti interessati comprendano** le limitazioni imposte all'attività in relazione al progetto.

REQUISITI AGGIUNTIVI PER LA GESTIONE 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.

Devono pertanto essere previste specifiche misure di ***GSA*** (capitolo S.5).

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

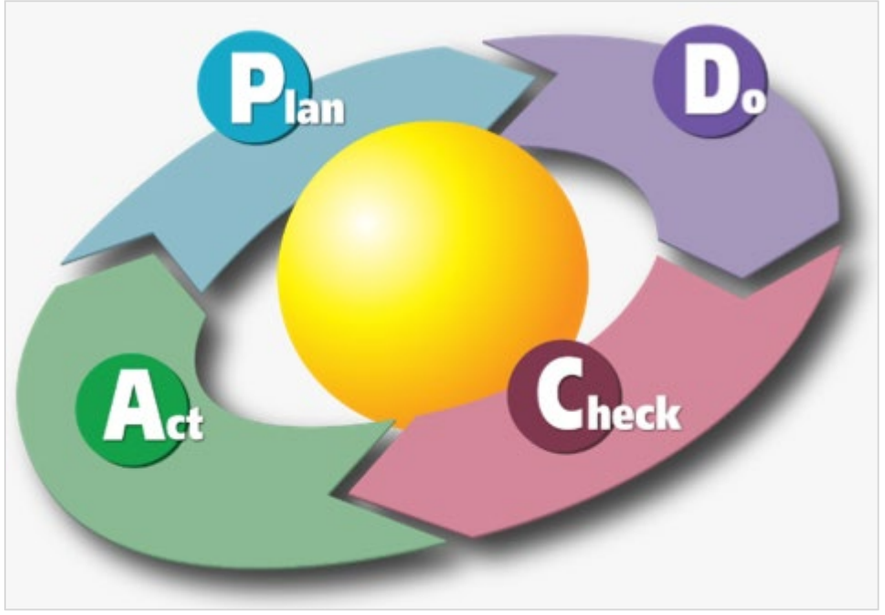
*Soluzioni progettuali, misure di prevenzione e protezione, mantenimento delle condizioni di esercizio da cui **discendono i valori dei parametri di ingresso***.

Le misure di GSA sono sottoposte a **verifiche periodiche** da parte del responsabile dell'attività con periodicità definita nel progetto.

Struttura della GSA

Sono valutati e esplicitati i provvedimenti presi relativamente a:

- 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.



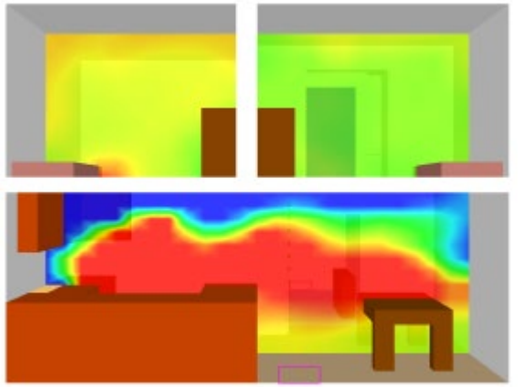
Riduzione di RHR con sistemi di protezione attiva

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*** *(*)*.

(*) Sistema o impianto dotato di un livello di disponibilità più elevato rispetto a quello minimo previsto dalle norme di riferimento del sistema o dell'impianto.
La definizione di disponibilità (availability) è riportata nella ***norma UNI EN 13306****.*
La disponibilità superiore per sistemi o impianti può essere ottenuta tramite:

- *migliore affidabilità,*
- *maggiore manutenibilità e supporto logistico della manutenzione.*

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



Il professionista antincendio può **optare tra i modelli di calcolo disponibili**, e deve possedere **particolare competenza** e conoscenza di fondamenti teorici e di dinamica dell'incendio.

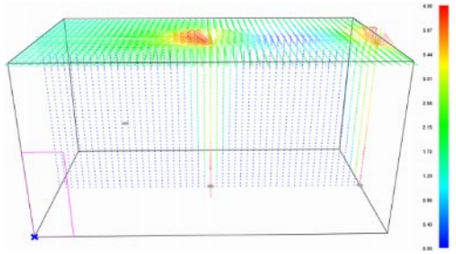
Nella relazione tecnica è specificato:

- **tipo di codice** adottato, autori, versione, documentazione, …;
- **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.

Modelli più frequentemente utilizzati



- **Modelli analitici**;
- **Modelli numerici**:
  - *simulazione incendio **a zone** per ambienti confinati (CFAST, Ozone).*
  - *simulazione incendio **di campo** (CFX, FDS, Fluent).*
  - *simulazione dell'**esodo** (FDS+EVAC).*
  - *analisi **termostrutturale** (Abaqus, Adina, Ansys, Diana, Safir, …).*

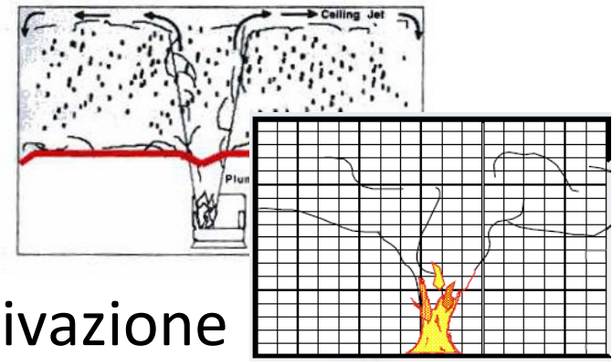
Nel **campo di applicazione**, i modelli analitici garantiscono stime accurate di effetti dell'incendio *(es. tempo di flashover)*.

Per **analisi più complesse** con interazioni dipendenti dal tempo di più processi fisici e chimici si ricorre a modelli numerici.

Uso contemporaneo di più tipologie di modelli

È ammesso, utilizzando:

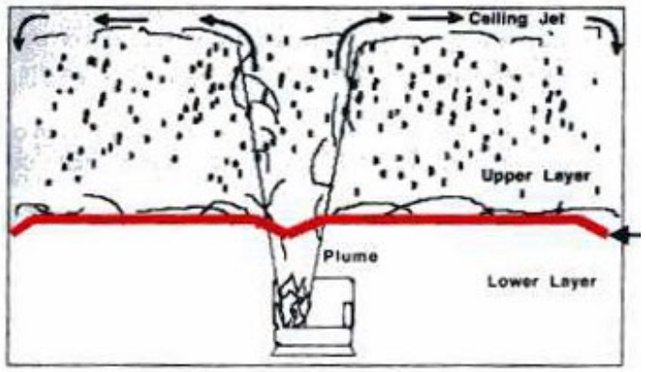
- **Modello a zone** per valutare preliminarmente le condizioni di maggiore criticità, per poi approfondire con **modelli di campo**.



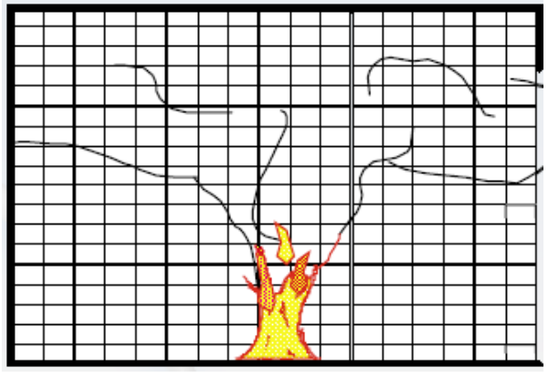
- **Modelli specifici**, es. per la valutazione del tempo di attivazione di un impianto, per poi inserire i dati in **modelli di campo**.

MODELLI A ZONE E MODELLI DI CAMPO

Sono basati sui principi della chimica e fisica dell'incendio *(conservazione della massa, dell'energia e della quantità di moto).*



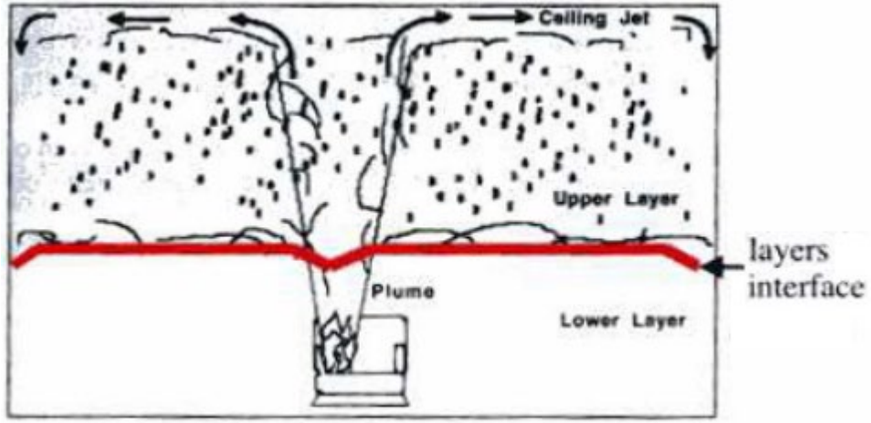
Modello a zone
(Geometrie semplici)



Modello di campo
(Geometrie complesse)

MODELLI A ZONE [1/6]

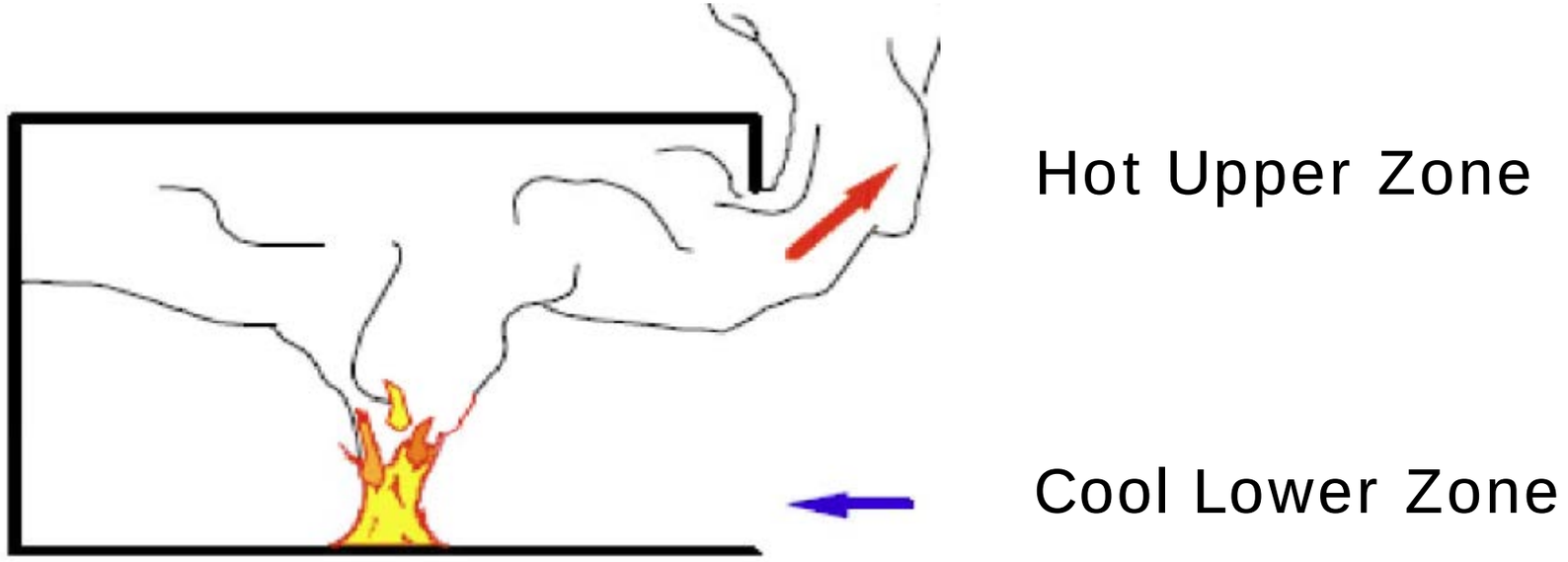
Un modello a zone simula la dinamica di un incendio in un ambiente confinato, risolvendo le equazioni di conservazione di massa e energia relativamente ad un **numero basso di zone macroscopiche**.



*(di norma **2 zone omogenee**)*

- ✓ **Zona superiore**: dove sono presenti i prodotti della combustione (fumi e gas caldi).
- ✓ **Zona inferiore**: libera da fumo e più fresca di quella superiore.

MODELLI A ZONE [2/6]



- **Ambiente confinato.**
- **Numero finito di macroregioni** (di solito 2).
  All'interno di ciascun volume temperatura e altre proprietà sono *spazialmente uniformi ma variabili nel tempo*;
- **Trascurati modello di turbolenza e di combustione.**

MODELLI A ZONE [3/6]

Il rapporto di altezza tra le 2 zone cambia con lo sviluppo dell'incendio.

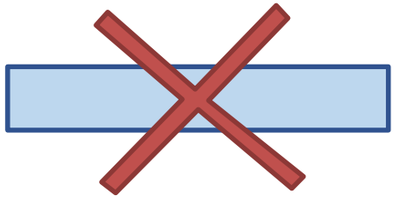
I modelli a zone **stimano** in funzione del tempo:

- **temperature** (medie) dello strato inferiore e superiore;
- posizione dell'**interfaccia** tra le zone;
- concentrazione di **ossigeno**;
- concentrazione di **ossido di carbonio**;
- **visibilità**;
- **flusso** in entrata e uscita **da aperture** verso l'esterno o altri locali.

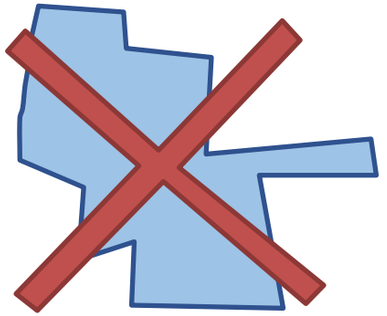
MODELLI A ZONE [4/6]

Si applicano, in genere, ad **ambienti con geometria semplice** *(regolare e compatta)*, anche se collegati tra di loro e con aperture.

Non idonei per **ambienti stretti e lunghi** poiché non è soddisfatta l'ipotesi di uniformità spaziale delle proprietà termodinamiche in ciascuna zona.



Non idonei per **sistemi complessi** poiché non dotati di modello di combustione e di turbolenza, fenomeni che possono condizionare scambi termici convettivi e radianti, propagazione di fumi e gas, interazione fluidodinamica con le pareti.



MODELLI A ZONE [5/6]

I **dati di input** sono **molto di meno** rispetto ai modelli di campo.

Sono necessari **dati sulla geometria** del compartimento e sulla tipologia delle aperture (interne ed esterne).

È necessaria la **conoscenza delle proprietà termiche delle pareti di confine** del compartimento per stimare la dispersione del calore attraverso muri, soffitto, solai, ecc.

Devono essere forniti, come **input**, caratteristiche del focolaio iniziale (**HRR**), degli oggetti nell'ambiente e degli eventuali "target".

MODELLI A ZONE [6/6]

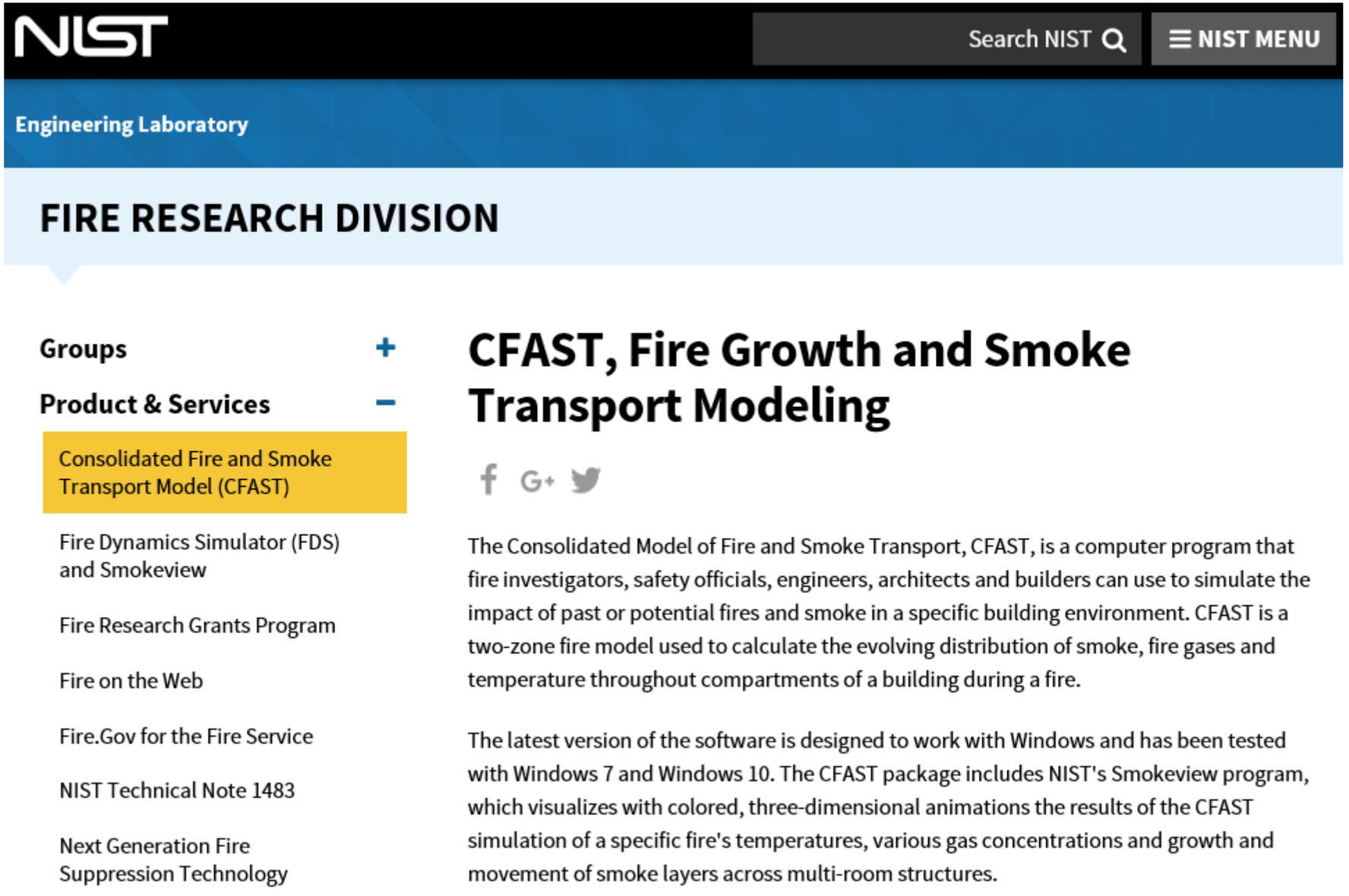
Esempi di modelli di zona validati in ambito scientifico:

- ***CFAST*** *(Nist - https://www.nist.gov)*

  The Consolidated Model of Fire and Smoke Transport, CFAST, is a computer program that fire investigators, safety officials, engineers, architects and builders can use to simulate the impact of past or potential fires and smoke in a specific building environment. CFAST is a two-zone fire model used to calculate the evolving distribution of smoke, fire gases and temperature throughout compartments of a building during a fire.

- ***OZone*** *(Université de Liège - https://www.uee.uliege.be).*

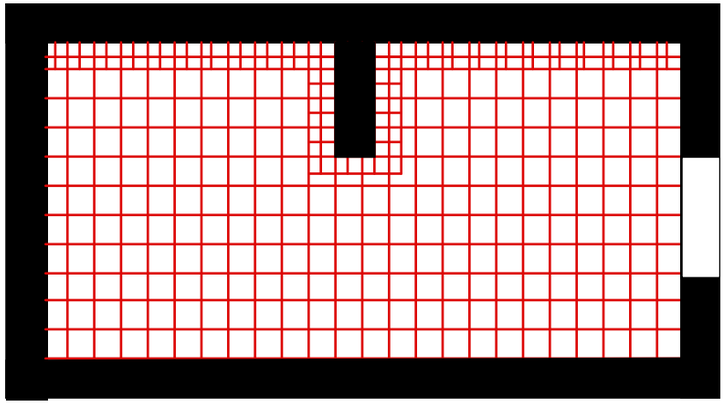
  Le logiciel OZone V2 calcule l'évolution de la température du gaz dans un compartiment sous le feu et évalue la résistance au feu des éléments en acier simples soumis à ces feux de compartiment. Elle est basée sur une description à 1 ou 2 zones de la situation, avec un passage automatique de 2 vers 1 situation de la zone dans certaines circonstances.


NIST
Search NIST
NIST MENU
Engineering Laboratory
FIRE RESEARCH DIVISION
Groups
Product & Services
Consolidated Fire and Smoke Transport Model (CFAST)
Fire Dynamics Simulator (FDS) and Smokeview
Fire Research Grants Program
Fire on the Web
Fire.Gov for the Fire Service
NIST Technical Note 1483
Next Generation Fire Suppression Technology
CFAST, Fire Growth and Smoke Transport Modeling
The Consolidated Model of Fire and Smoke Transport, CFAST, is a computer program that fire investigators, safety officials, engineers, architects and builders can use to simulate the impact of past or potential fires and smoke in a specific building environment. CFAST is a two-zone fire model used to calculate the evolving distribution of smoke, fire gases and temperature throughout compartments of a building during a fire.
The latest version of the software is designed to work with Windows and has been tested with Windows 7 and Windows 10. The CFAST package includes NIST's Smokeview program, which visualizes with colored, three-dimensional animations the results of the CFAST simulation of a specific fire's temperatures, various gas concentrations and growth and movement of smoke layers across multi-room structures.

UNIVERSITÉ DE LIÈGE
FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
UEE
Urban & Environmental Engineering
LIÈGE université
UEE
Recherche
Enseignement
Innovation et business
Membres
Contacts
Accueil UEE / Innovation et business / Logiciels
OZone V2
Description
Le logiciel OZone V2 calcule l'évolution de la température du gaz dans un compartiment sous le feu et évalue la résistance au feu des éléments en acier simples soumis à ces feux de compartiment. Elle est basée sur une description à 1 ou 2 zones de la situation, avec un passage automatique de 2 vers 1 situation de la zone dans certaines circonstances.
Communauté des utilisateurs
Le logiciel est disponible en téléchargement pour le grand public. Il vous suffit d'en faire la demande par mail à Jean-Marc Franssen.
Télécharger
Le logiciel OZONE peut être téléchargé via le lien suivant.
La description technique et les validations de OZone sont pour leur part décrite dans la thèse de doctorat de J-F. Cadorin.
Projets industriels et prestations
Laboratoires
Logiciels
Partenaires industriels
Collaborateurs scientifiques
CERES
CERES - Archives et conférences passées
CERES - Un peu d'histoire

MODELLI DI CAMPO [1/3]

Rappresentano l'ambiente nel modo più adeguato alle necessità.

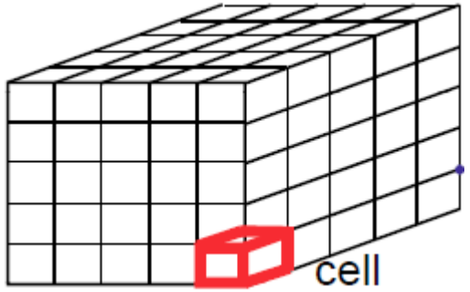


Stimano l'incendio per via numerica, dividendo lo spazio in un numero elevato di **celle, risolvendo le equazioni di conservazione** di massa, energia, ecc. all'interno di ciascuno di essi, attraverso i **metodi degli elementi finiti.**

Con la definizione di **celle** tridimensionali, si **possono studiare geometrie diverse e più complesse** dei semplici parallelepipedi, considerando la **presenza di elementi architettonici particolari**.

I risultati sono molto **più dettagliati dei modelli a zone**.

MODELLI DI CAMPO [2/3]



Per risultati accurati le **celle** devono essere di **dimensioni ridotte** *(35 - 50 cm)* e **molto numerose** *(alcune centinaia di migliaia)*.

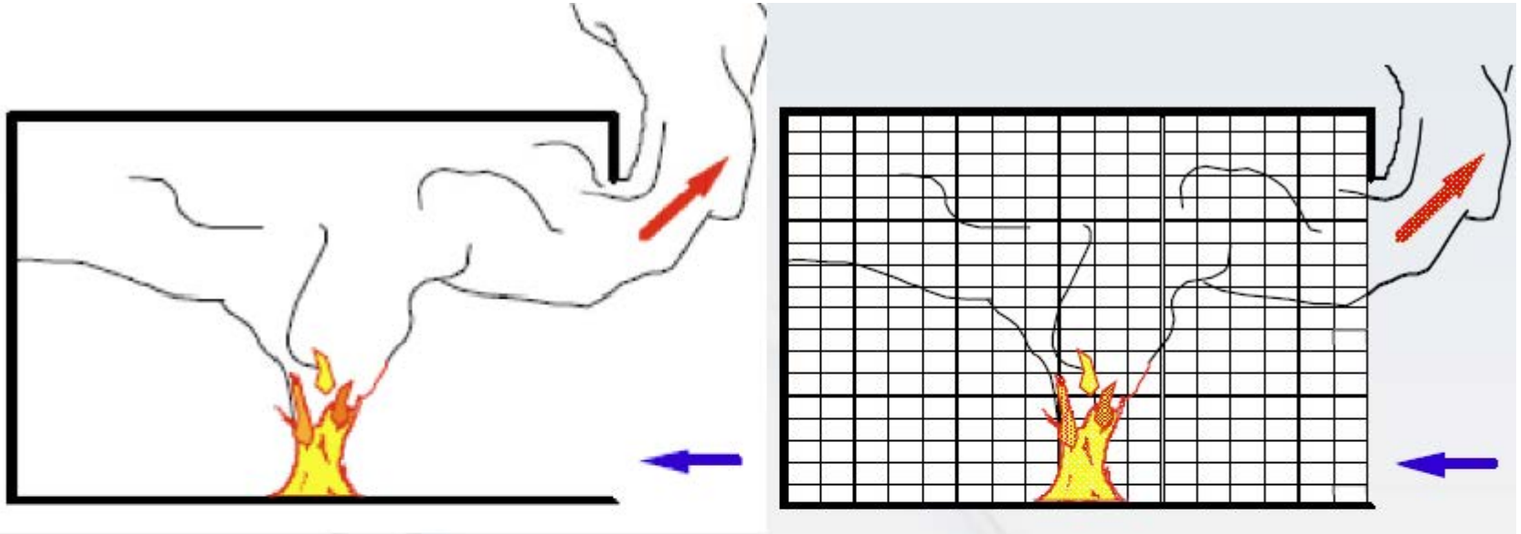
Forniscono i **valori di tutte le variabili calcolate in ciascuna cella** del dominio *(concentrazioni di specie chimiche, distribuzione temperature, pressioni, velocità di gas e fumi, visibilità)*.

Possono simulare anche spazi non compartimentati, come plume *(pennacchio di fiamme e gas caldi)* e camini.

Richiedono **molto tempo di calcolo**.

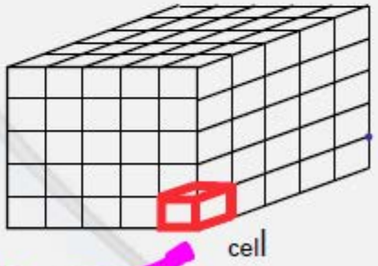
Utili se altri modelli forniscono soluzioni troppo **conservative**.

MODELLI DI CAMPO [3/3]



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

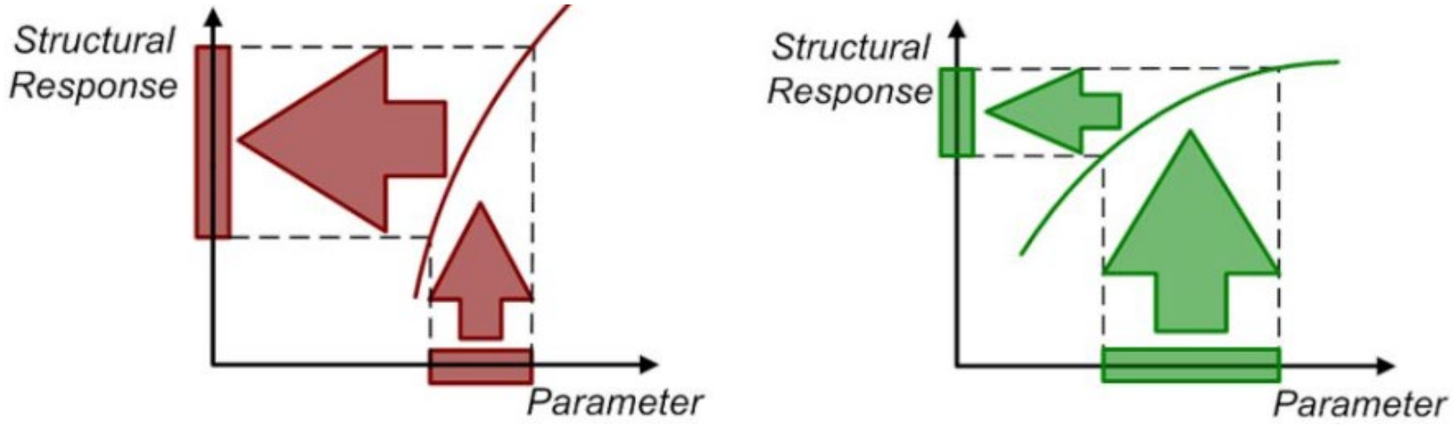
Slide tratta da presentazioni predisposte dalla Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica

ANALISI DI SENSIBILITÀ

Per i parametri di input più rilevanti è 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, **piccole variazioni** dei dati **di input** non devono generare **forti cambiamenti nell'output**.*



… segue (Analisi di sensibilità)

Il Codice sottolinea la necessità di eseguire l'**analisi di sensibilità** dei risultati in dipendenza della variazione dei parametri di input.

I **risultati non** devono risultare significativamente **dipendenti** dalle **dimensioni della griglia** di calcolo.

La **dimensione media della cella** di discretizzazione *(computational grid)*, è legata al **diametro caratteristico del fuoco**, parametro indicativo della bontà della risoluzione di griglia, secondo:

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}}$$

D : diametro caratteristico del fuoco;*
Q: heat release rate totale, kW;
ρ_∞: densità a temperatura ambiente, kg/m^3;
c_∞: calore specifico del gas, kJ/kgK;
T_∞: temperatura ambiente, K

… segue (Analisi di sensibilità)

L'accuratezza di risoluzione è evidenziata dal rapporto (D*/δ), cioè dalla potenza termica rilasciata e dalla **dimensione della cella di discretizzazione**.

In letteratura si consiglia di adottare un valore di δ come segue e di eseguire l'analisi di sensibilità in tale range di valori.

$$0.10\ D^* < \delta < 0.4\ D^*$$

Per quanto concerne la **verifica della convergenza** dei calcoli, è importante verificare che il calcolo **converga con una rapidità accettabile**, per **evitare risultati inaffidabili**.

Dopo aver trattato “Metodologie” e “Scenari d’incendio” di cui ai Capitoli M1 e M2 con la descrizione della I e II fase della metodologia, passiamo ad esaminare l’ultimo Capitolo del Codice:

Capitolo M3: Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale

M2) INDIVIDUAZIONE SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO

Rappresenta la **schematizzazione degli eventi** che possono ragionevolmente verificarsi.

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

Per gli **scenari di incendio di progetto** è descritta la procedura di:

- **Identificazione**
- **Selezione**
- **Quantificazione**

ESEMPI DI SCENARI DI INCENDIO

Scenario di incendio: descrizione completa e univoca dell'incendio in relazione ai **tre aspetti**: **focolare**, **attività** e **occupanti**.

Scenario di incendio di progetto: specifico scenario analizzato.

In relazione alle caratteristiche dell'edificio, gli scenari devono contenere alcune specificazioni, quali:

- *Posizione iniziale dell'incendio.*
- *Valori iniziali della produzione di fumo e di calore.*
- *Caratteristiche di materiali, intervento umano e impianti.*

L'esame degli scenari deve considerare sia gli aspetti di sicurezza delle persone che di salvaguardia dei beni.

Esempi di scenari di incendio predefiniti (NFPA 101; 914 ...)

***1**: incendio durante fase normale dell'attività.*

***2**: curva di crescita ultraveloce in via d'esodo principale.*

***3**: locale normalmente non occupato da persone.*

***4**: in intercapedine o controsoffitto adiacente a un locale con persone.*

***5**: curva di crescita lenta, adiacente a zona con affollamento.*

***6**: crescita rapida in presenza di persone.*

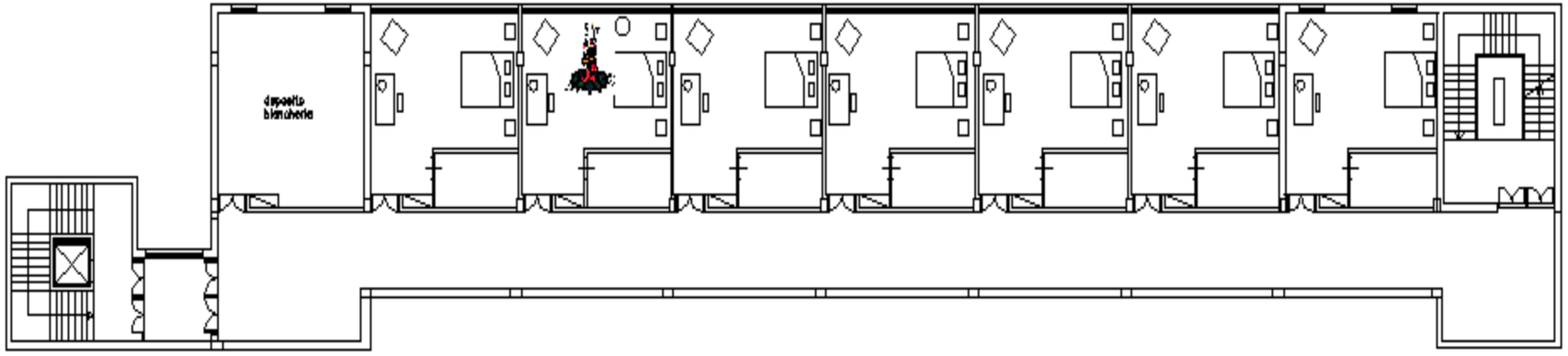
***7**: esposizione a un incendio esterno.*

***8**: malfunzionamento sistemi di protezione.*

Scenario 1

*Incendio che si sviluppa durante una **fase normale dell'attività**.*

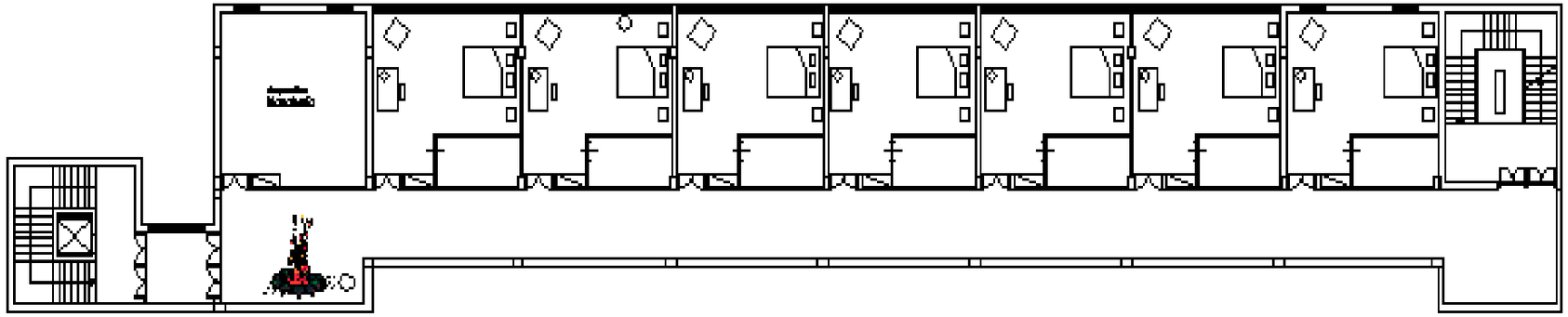
Prese in considerazione: attività, numero e posizione delle persone presenti; dimensione dei locali, tipo e quantità di mobilio, rivestimenti e materiale contenuto nell'ambiente; proprietà del combustibile presente; fonti di innesco; condizioni di ventilazione; il primo oggetto ad essere incendiato e la sua posizione.



Scenario 2

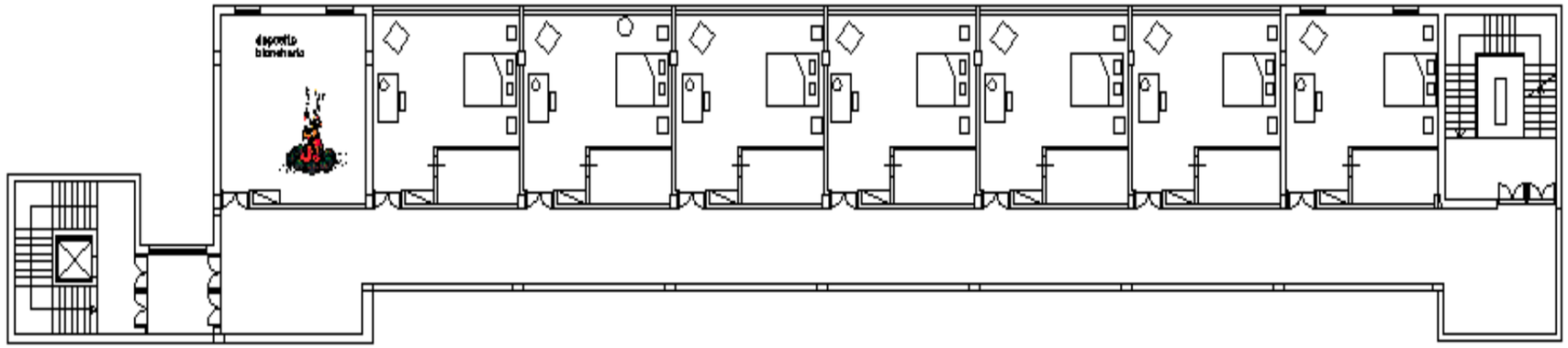
*Incendio che si sviluppa nella **via di esodo principale**, con la combustione di un materiale con curva di crescita ultraveloce.*

Ipotesi: Le porte interne delle camere all'inizio dell'incendio sono aperte, pavimentazione, pareti … sono rivestite, innesco da …, ecc. ...



Scenario 3

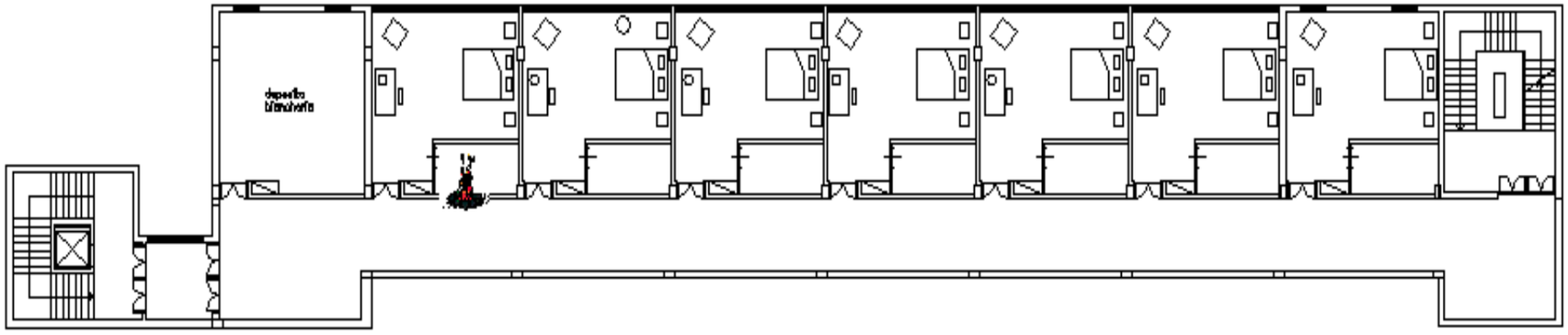
*Incendio con innesco in un **locale normalmente non occupato** da persone ma che, per la sua posizione, può generare una situazione di pericolo per le persone presenti in altri locali.*



Scenario 4

*Incendio che ha **origine in una intercapedine o in un controsoffitto** adiacente a un locale in cui sono presenti persone.*

Es. ipotesi: intercapedine non è protetta né da un sistema di rilevazione né di estinzione e si propaga nell'ambiente all'interno dell'edificio che può ospitare il maggior numero di persone



***Scenario 5**: Incendio di un materiale con **curva** di **crescita lenta** rallentato dai sistemi di soppressione, **adiacente a zona con affollamento**.*

***Scenario 6**: Incendio intenso, dovuto al maggior carico di incendio possibile nelle normali operazioni svolte nell'edificio (**crescita rapida in presenza di persone**).*

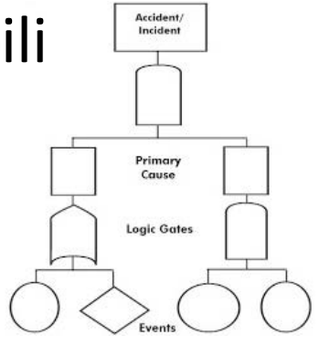
***Scenario 7**: **Esposizione a un incendio esterno**. Combustione che inizia in una zona distante dall'area interessata alla valutazione e che si propaga nell'area oppure ne blocca le vie di esodo o rende al suo interno non sostenibili le condizioni.*

***Scenario 8**: Incendio che ha origine nei combustibili ordinari oppure in un'area o stanza con **sistemi di protezione** (attivi o passivi) **messi uno alla volta fuori uso**. Valuta l'evoluzione dell'incendio in relazione ai singoli sistemi di protezione, considerati singolarmente non affidabili.*

Nel **Capitolo M2** è descritta la procedura di identificazione, selezione e quantificazione degli scenari.

Schematizzazione degli eventi *che possono ragionevolmente verificarsi* ⇨ *Sono* ***scelti i più gravosi****.*

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

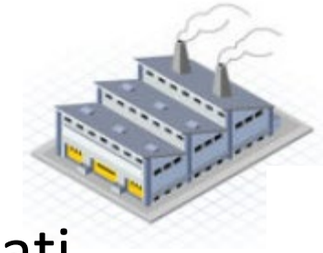


⇩

Selezione scenari incendio di progetto
(un sottogruppo dei primi)

⇩

Quantificazione scenari incendio di progetto selezionati.
(Attività – Occupanti – Incendio)



Identificazione dei possibili scenari d'incendio

Il **1^ passo** consiste nell'**identificare tutti i possibili scenari** d'incendio che possono svilupparsi. Si devono **considerare** tutte le **condizioni di esercizio** ragionevolmente prevedibili.

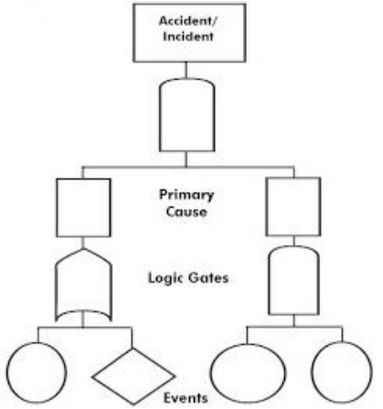
Per individuare gli scenari d'incendio il professionista antincendio sviluppa uno specifico **albero degli eventi**.

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

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

Metodi utilizzati

Albero degli eventi: può costituire un efficace metodo "**qualitativo**" per individuare e esaminare criticamente le varie opzioni. Si potrà eventualmente approfondire ricorrendo a un impiego "**quantitativo**".



Analisi storica: può guidare nell'individuazione degli scenari e fornire indicazioni quantitative utili per rendersi conto degli ordini di grandezza attesi.

Altra **fonte di informazione** può essere il **web**, con attenta **verifica dell'attendibilità delle fonti.**

Selezione degli scenari d'incendio di progetto

Nel **1^ passo** si identifica un **elevato numero di scenari d'incendio**.

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

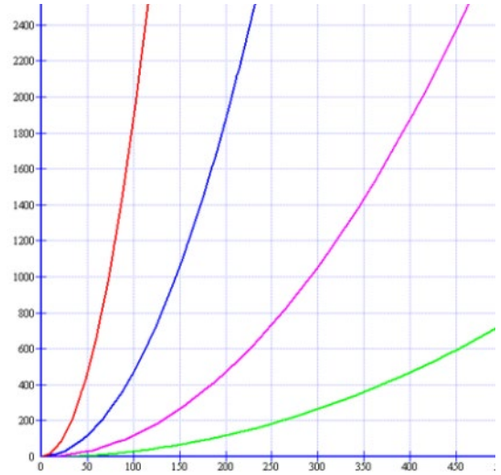
Il professionista antincendio esplicita i motivi che portano a escluderne alcuni dalla successiva analisi quantitativa, utilizzando alberi degli eventi o secondo giudizio esperto, e **seleziona i più gravi** tra gli scenari d'incendio **credibili**.

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

Importanza della dinamica dell'incendio nell'FSE

Tipico della **FSE** è l'analisi della **dinamica dell'incendio**, che l'**approccio tradizionale** di tipo prescrittivo tende a **trascurare**.

L'**approccio tradizionale** considera il **carico d'incendio** *(energia disponibile che può essere rilasciata)* come **principale parametro** per caratterizzare un incendio, **non considerando la dinamica** sul rilascio nel tempo dell'energia.



Esempi:

Incendi veloci *e con molto* ***fumo*** *risultano pericolosi per le persone.*

Incendi lenti *con maggiore potenza ma* ***minore sviluppo di fumi*** *possono essere pericolosi più per le strutture portanti che per le persone.*

Descrizione quantitativa degli scenari d'incendio di progetto

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

In tal modo traduce la descrizione qualitativa degli scenari in **dati numerici di input** appropriati per la metodologia di calcolo scelta per la verifica delle ipotesi progettuali.

Il professionista antincendio specifica, in base all'obiettivo, i **dati di input per le tre caratteristiche fondamentali della FSE**:

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

Attività

Le caratteristiche dell'attività **influenzano**:

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

In base all'obiettivo, la **descrizione** dell’attività comprenderà:

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

Occupanti

In base all'obiettivo, il professionista antincendio descrive le **condizioni delle persone presenti**, che possono influenzare comportamento e risposta nell'incendio.

- Affollamento.
- Categoria occupanti *(Lavoratori, studenti; visitatori; anziani; malati; disabili)*.
- Stato psico-fisico.
- Grado di familiarità degli occupanti con l’ambiente.
- Stato di veglia/sonno.

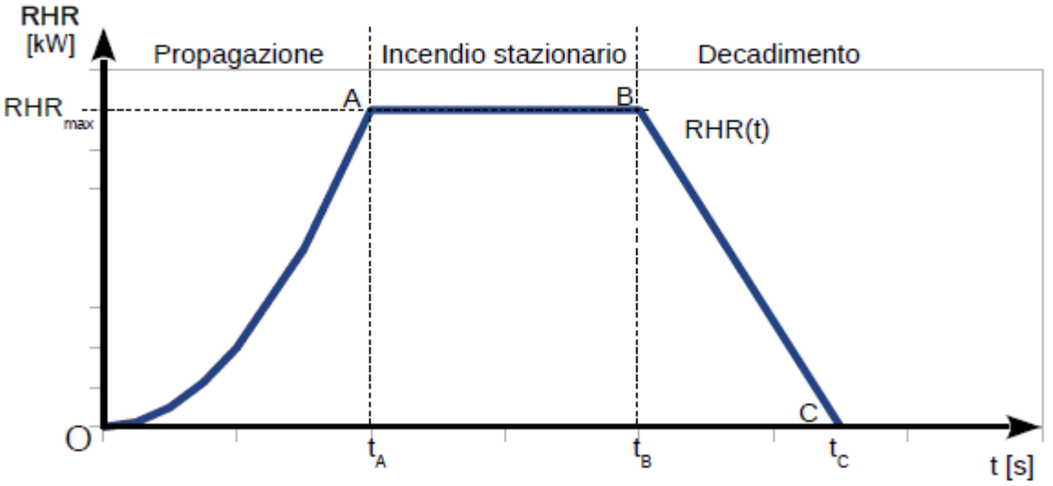
Incendio

La descrizione consiste nella **caratterizzazione quantitativa del focolare** come sorgente di energia termica e prodotti della combustione, secondo:

- 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)* o **HRR** (*Heat Release Rate*), potenza termica prodotta dal focolare nel tempo RHR(t);
- prodotti della combustione considerati *(es. CO e particolato)*.

Heat Realease Rate – HRR

L'incendio si può schematizzare come una sorgente di tipo volumetrico, ossia un **bruciatore che rilascia calore** *(HRR)* e quantità di **particolato** *(soot)* e di **gas**.



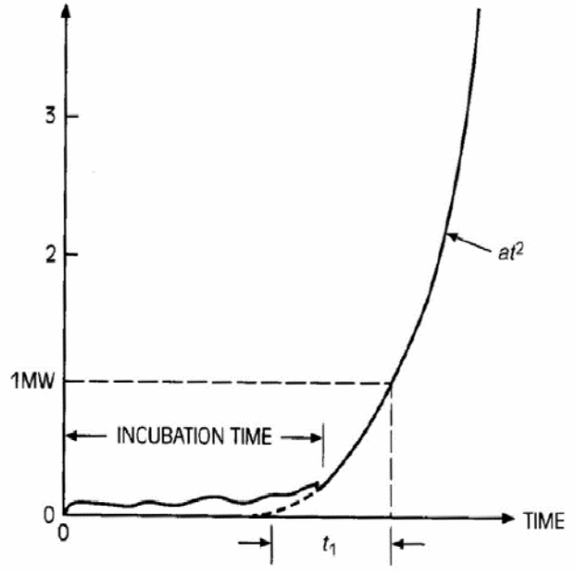
I **valori assunti dal progettista** per la costruzione della curva HRR per un dato scenario devono essere opportunamente giustificati.

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

HRR e carico d'incendio

Nelle valutazioni della temperatura raggiunta in un compartimento nella **fase di pre-flashover**, **HRR** come dato di input **è più attendibile del carico d'incendio** *(in tale fase **solo una parte del combustibile partecipa alla combustione**)*.

Con il carico di incendio, la stima della temperatura risulta molto conservativa perché si suppone che tutto il combustibile presente partecipi alla combustione.



Ciò è **ammissibile** solo nel **post-flashover**.

HRR in prima fase è approssimata a funzione **quadratica**

$$Q = at^2$$

Incendio - caratterizzazione quantitativa del focolare

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

- Impiegare **dati sperimentali** *(prove di laboratorio)*.
- Usare **dati di letteratura** *(autorevoli, condivisi e attentamente valutati)*.
- 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

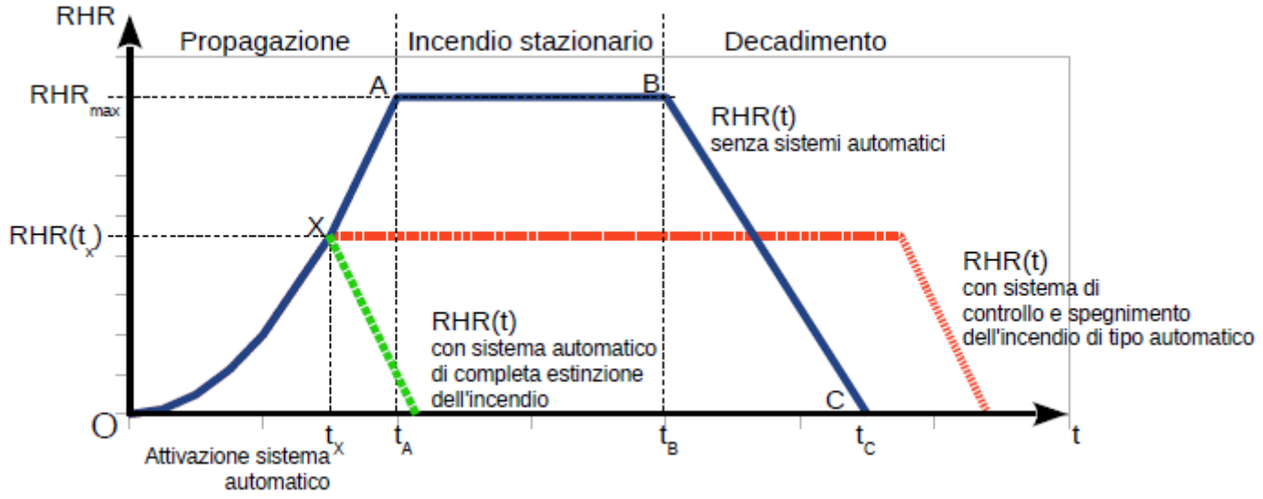
Deve essere descritta la sequenza di evoluzione dell'incendio, a **partire** dall'**evento iniziatore** per un **tempo** che dipende dai seguenti **obiettivi** di sicurezza:

- ✓ **Salvaguardia vita degli occupanti**: fino a quando tutti gli occupanti **raggiungono un luogo sicuro** *(valutando il mantenimento della capacità portante se è prossimo o interno alla costruzione)*.
- ✓ **Salvaguardia vita dei soccorritori**: fino a 5 minuti dopo il termine delle operazioni previste per i soccorritori o l'arrivo delle squadre dei Vigili del fuoco *(tempi arrivo VVF desunti dall'Annuario statistico)*.
- ✓ **Mantenimento capacità portante**: 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 di sollecitazione e spostamenti.

Stima della curva RHR

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

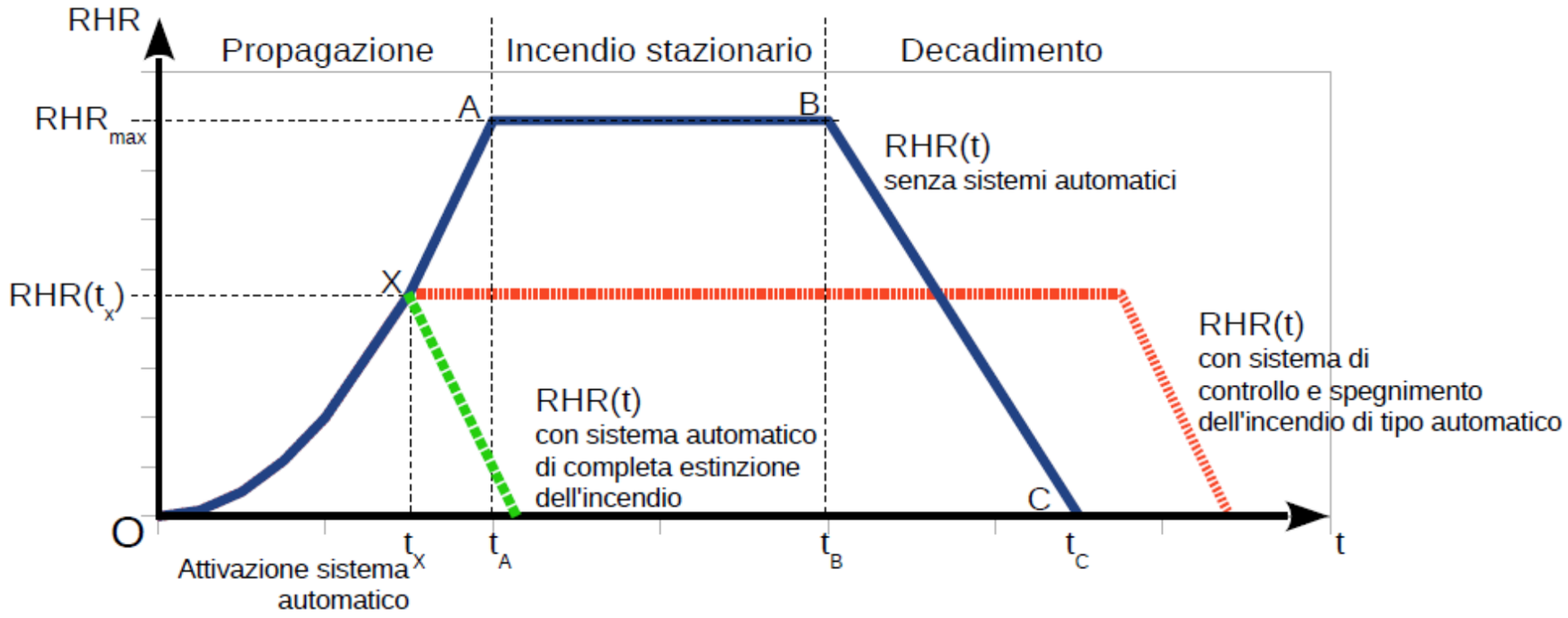
- Costruire **curve naturali** per valutare la capacità portante delle opere da costruzione;
- Valutare la portata di fumo per la progettazione dei SEFC.



Curva RHR

Fasi dell'incendio:

Propagazione - Incendio stazionario - Decadimento

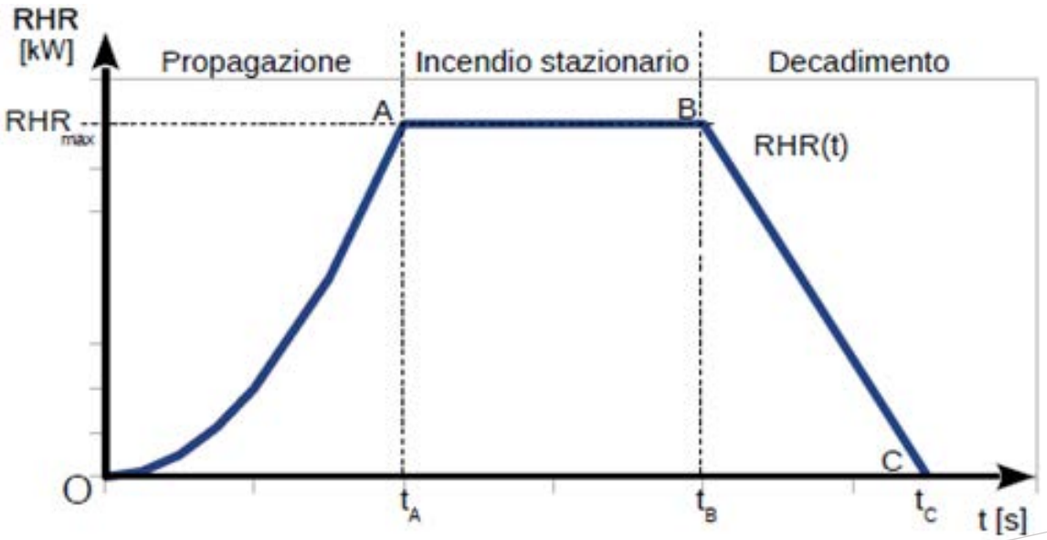


Curva RHR

Fasi dell'incendio: Propagazione - Incendio stazionario - Decadimento

La curva **RHR** è una **schematizzazione semplificata** dell'**incendio naturale**, con l'individuazione di **3 fasi:**

- **iniziale** *(quadratica)*,
- **intermedia** *(costante)*
- **finale** *(lineare)*.

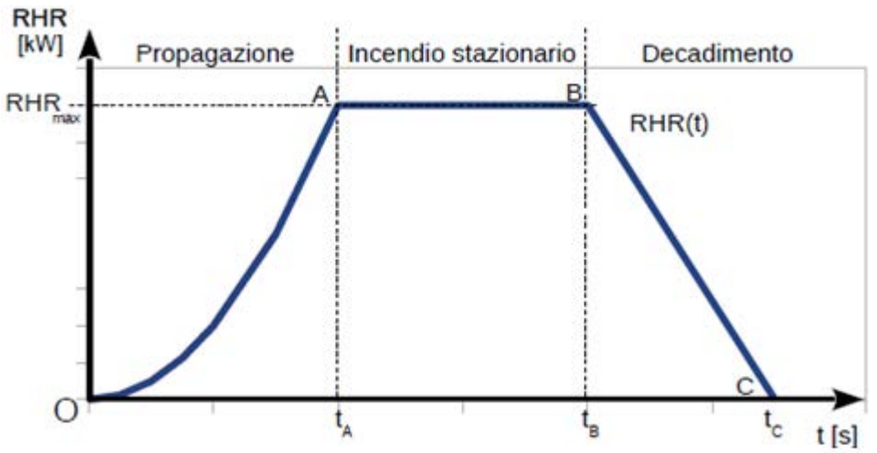


L'area sottesa dalla curva RHR (in ascissa il tempo [s] e in ordinata la potenza termica [KW] = [kJ s^{-1}]) rappresenta il ***carico d'incendio*** *[kJ], l'energia disponibile per essere rilasciata*

La curva è associata non solo al **carico d'incendio**, ma anche alla **dinamica** *(incendio lento, veloce, …)*.

- **Prima fase** *(pre-flashover)*: funzione diretta della velocità di combustione e del quantitativo di combustibile *(energia)* disponibile.

  Si ha una **crescita di tipo quadratico**, con pendenza *(velocità)* in funzione del materiale e sue condizioni fisiche.



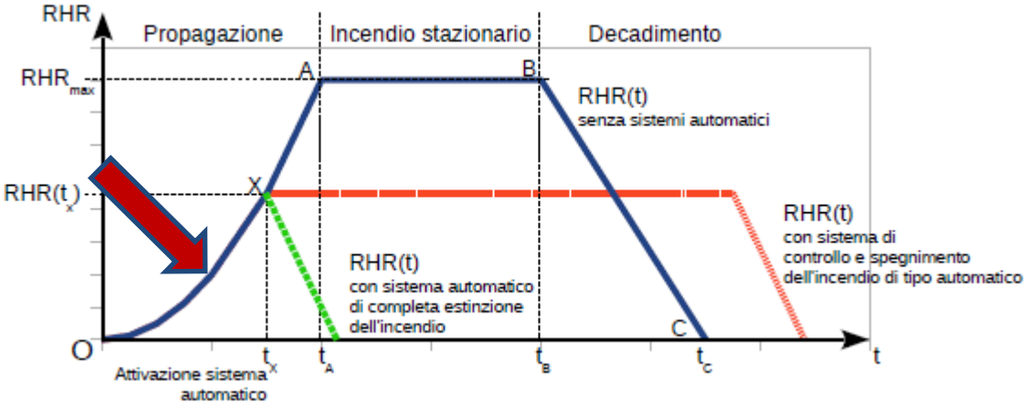
- **Seconda fase**: In ambiente chiuso si raggiunge, dopo un certo t, una temperatura tale da provocare l'incendio di tutti i materiali; il fattore determinante diventa la ventilazione e il materiale che può bruciare dipende solo dalla ventilazione disponibile.

  Si ha un **diagramma orizzontale**, con RHR_{max} limitato dalla ventilazione;

- **Terza fase**: **lineare**, rappresenta il progressivo spegnimento.

FASE DI PROPAGAZIONE DELL'INCENDIO *(Prima fase)*

Durante la fase di propagazione, la potenza termica rilasciata dall'incendio nel tempo può essere rappresentata da **RHR = at²**:



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

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

t : *tempo* *[s]*

t_α : *tempo affinché RHR raggiunga 1000 kW* *[s]*
(t_α = 75 s | 150 s | 300 s | 600 s)

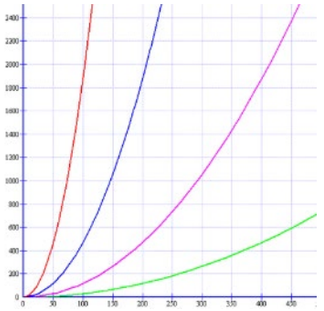
δ_α : CARATTERISTICHE DELL'INCENDIO

1) Lenta *(t_α = 600 s)* — *(Materiali che contribuiscono in modo trascurabile …)*

2) Media *(t_α = 300 s)* — *(Materiali che contribuiscono in modo moderato …)*

3) Rapida *(t_α = 150 s)* — *(Materiali plastici impilati, tessili sintetici …)*

4) Ultra-rapida *(t_α = 75 s)* — *(Materiali plastici espansi, sostanze pericolose, …)*

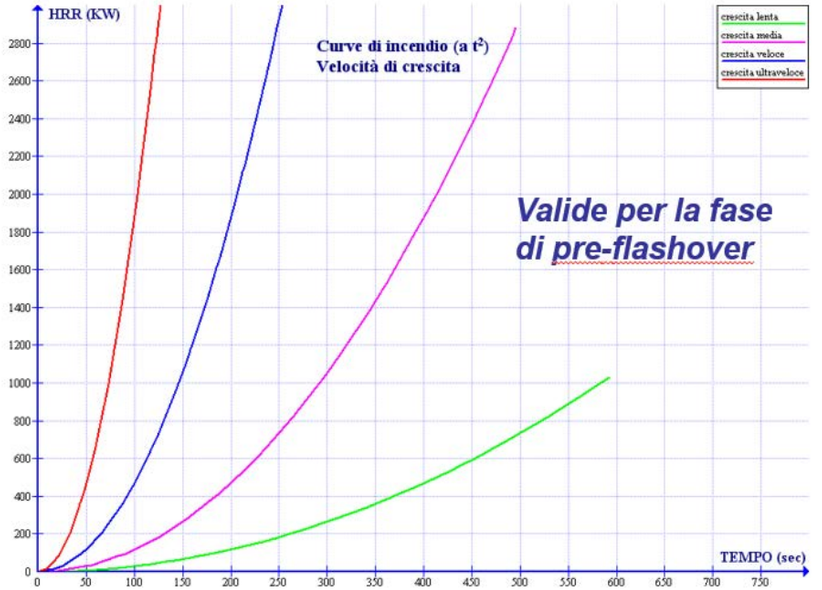


t_α : *Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio, è il tempo per raggiungere RHR = 1 MW.*

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

Crescita parabolica (quadratica)

$$\mathbf{RHR(t) = a\, t^2}\ con\ \mathbf{a = \frac{1000}{t_\alpha^2}}$$



t_α = 600 s (S - Slow) ⇨ $\mathrm{RHR(t)} = 0{,}0028\ t^2$

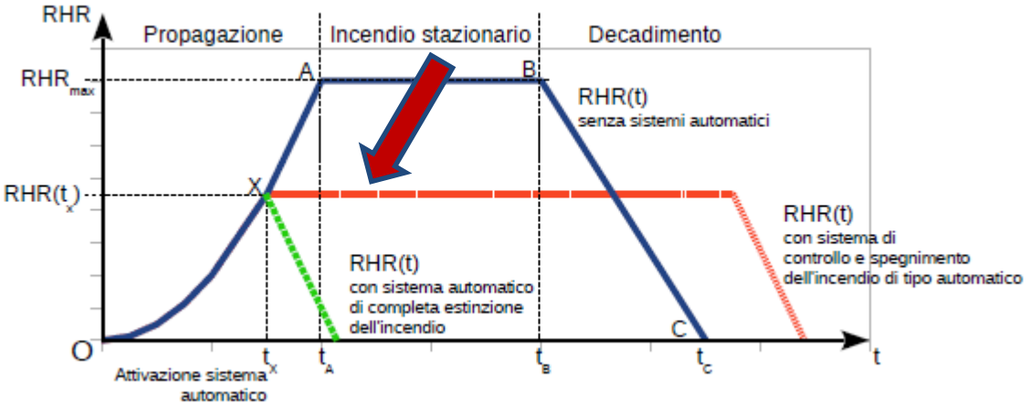
t_α = 300 s (M - Medium) ⇨ $\mathrm{RHR(t)} = 0{,}0111\ t^2$

t_α = 150 s (F - Fast) ⇨ $\mathrm{RHR(t)} = 0{,}0444\ t^2$

t_α = 75 s (UF - Ultra Fast) ⇨ $\mathrm{RHR(t)} = 0{,}1778\ t^2$

Effetto dei sistemi automatici di controllo dell'incendio

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

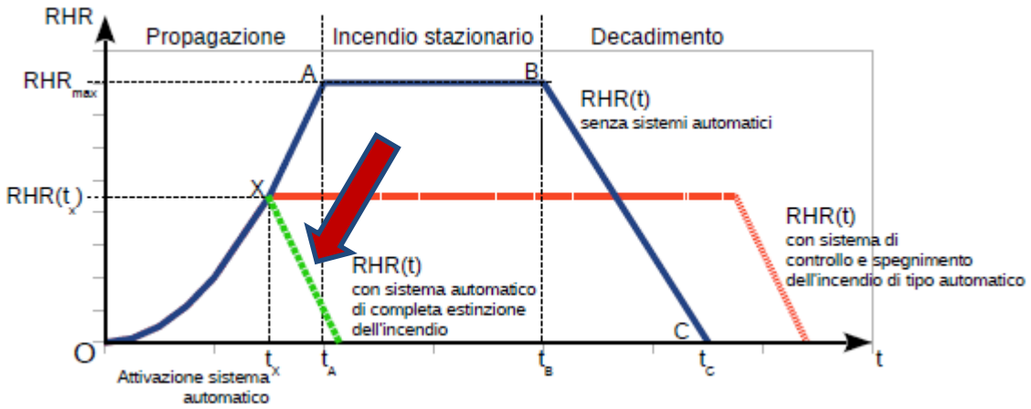


RHR può essere assunto **costante**, pari a $RHR(t_x)$ **raggiunto all'istante t_X** di entrata in funzione dell'impianto.

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

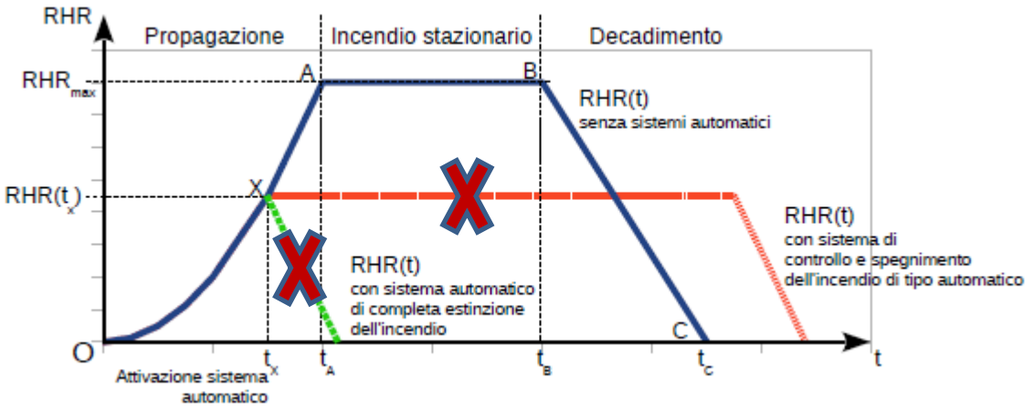
Effetto dei sistemi automatici di controllo dell'incendio

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



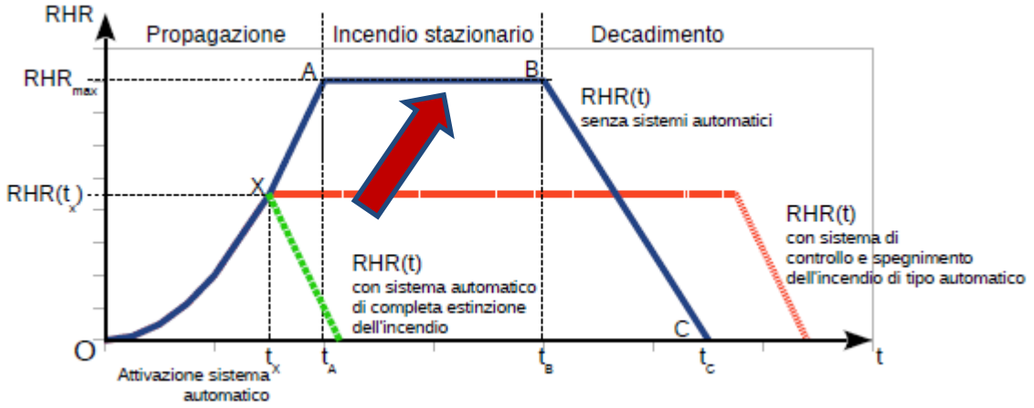
Effetto dell'intervento manuale di controllo dell'incendio

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 *(Seconda fase)*

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 da indicazioni per **determinare RHR_{max}** in casi d'incendio:

- **Controllato dal combustibile** *(all'aperto o in edifici con elevata superficie di ventilazione)*. $RHR_{max} = RHR_f A_f$

- **Limitato dalla superficie di ventilazione** *(in edifici con superficie di ventilazione ordinaria)*. $RHR_{max} = 0{,}10\ m\ H_u\ A_v \sqrt{h_{eq}}$

Determinazione di HRR_f

HRR_f massimo tasso di rilascio termico prodotto da 1 m^2 di incendio nel caso di combustione controllata dal combustibile.

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

In **ambito industriale** si può far riferimento a valori diversi in base a sperimentazioni.

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

Incendio non vincolato o vincolato (dall'ossigeno)

- ✓ **"Non vincolato": Controllato dal combustibile**

  (all'aperto, in grandi ambienti o edifici con elevata superficie di ventilazione).

  La quantità del **combustibile** determina l'entità dell'incendio. C'è sovrabbondanza di ossigeno.

- ✓ **"Vincolato": Limitato dalla superficie di ventilazione**

  (in edifici con superficie di ventilazione ordinaria).

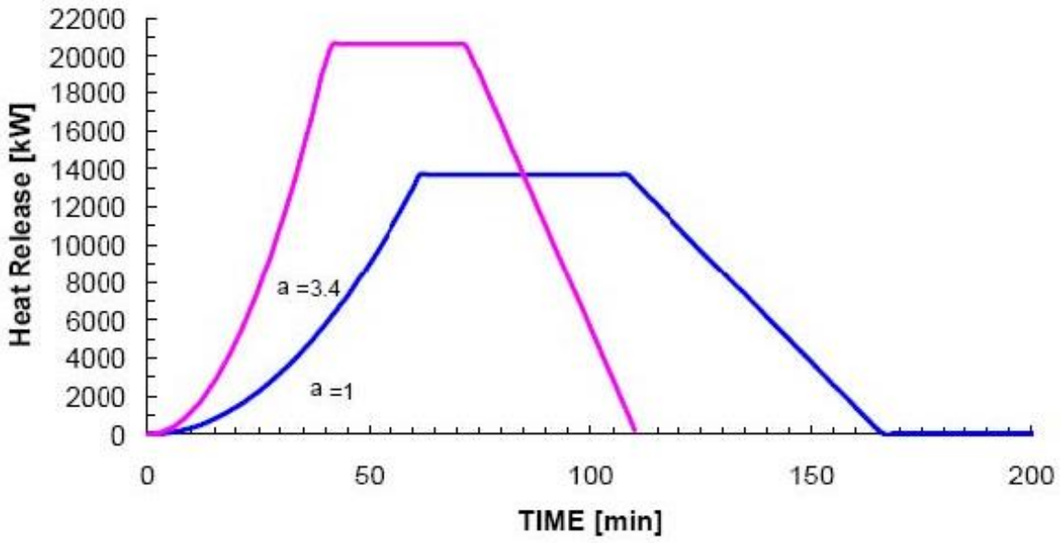
  È l'**ossigeno** che regola la combustione. Può esservi anche una grande quantità di combustibile, ma non può bruciare adeguatamente perché non c'è ossigeno sufficiente.

Curve teoriche HRR

HRR [W] è la quantità di energia rilasciata nell'unità di tempo.

L'area del diagramma rappresenta l'energia complessivamente emessa nel corso dell'incendio.

Nella fase di decadimento il decremento della temperatura è pari a circa 10 °C / min.

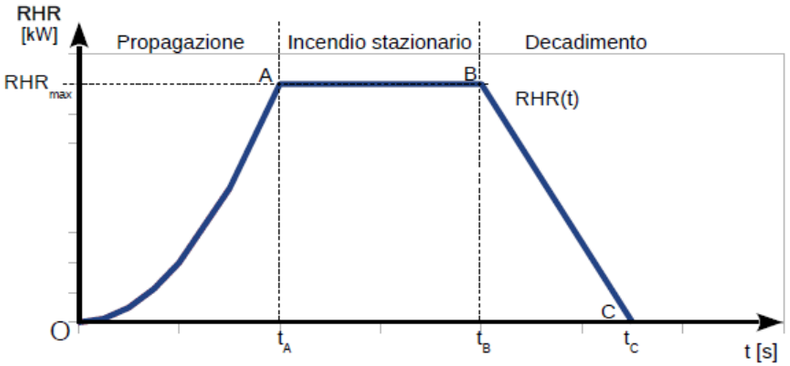


Fase iniziale di crescita: 10% - 30%
Fase di pieno sviluppo: 40% - 60%
Fase di decadimento: 20% - 30%.

Fase dell'incendio stazionario

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

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



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

$\boldsymbol{q_f}$ *: valore nominale del carico d'incendio specifico*

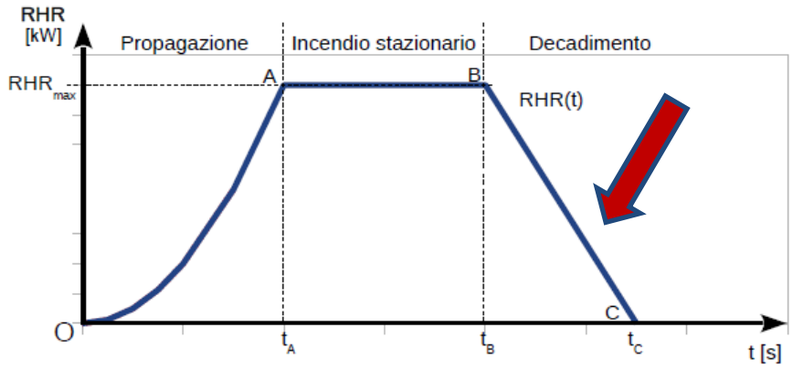
$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^{n} g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i}{A}$$

$\boldsymbol{A_f}$ *: superficie lorda del compartimento*

Il Codice fornisce indicazioni per determinare $\boldsymbol{t_B}$ *.*

FASE DI DECADIMENTO *(Terza fase)*

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 utilizzando i valori dei parametri di cui alla tabella.

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio t_α	150 s (*fast*)	75 s (*ultra-fast*)
RHR_{max} totale RHR_{max} per m^2 di superficie del focolare	5 MW 250–500 kW/m^2 [1]	50 MW 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 (*Radiative fraction*)	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 $CH_2O_{0,5}$.

Dopo aver descritto la “I Fase”, passiamo ad esaminare la “II Fase” tornando al Capitolo M1.

Capitolo M.1.4: *Analisi Quantitativa (II fase)*

M3) SALVAGUARDIA DELLA VITA CON LA PROGETTAZIONE PRESTAZIONALE

Lo studio dell'**esodo** è molto **complesso** in quanto governato **dall'interazione** dell'**occupante** con l'**edificio** e l'**incendio**.

Le regole tecniche di prevenzione incendi trattano l'esodo in funzione di elementi fisico-geometrici *(layout, moduli d'uscita, …)*, **trascurando le componenti comportamentali** e le modalità con cui le persone prendono decisioni, percepiscono i rischi, ecc.

La **progettazione prestazionale dell'esodo** tiene conto degli aspetti **comportamentali, fisico-geometrici** *(layout, sistema d'esodo, ecc.)* e **ambientali** *(presenza degli effetti avversi dell'incendio)*.

PROGETTAZIONE PRESTAZIONALE PER LA SALVAGUARDIA DELLA VITA

Criterio ideale

La progettazione ideale dovrebbe assicurare agli occupanti di **raggiungere** un **luogo sicuro** senza neanche accorgersi degli effetti dell'incendio.

Non sempre è applicabile, in particolare per gli occupanti che si trovano nel compartimento di primo innesco dell'incendio.

Criterio di ASET > RSET

Il **tempo disponibile** per l'esodo deve essere **maggiore** del **tempo richiesto** per l'esodo.

Criterio di ASET > RSET

*(Il **tempo disponibile** per l'esodo deve essere **maggiore** del **tempo richiesto)***

ASET (***available*** *safe escape time*): tempo tra innesco e quando le condizioni diventano tali da rendere occupanti incapaci di salvarsi.

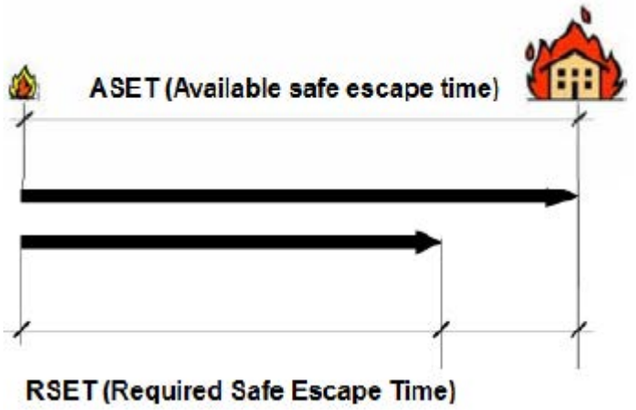
Comporta la valutazione quantitativa degli **effetti dell'incendio** *(esposizione a gas tossici asfissianti e irritanti, perdita di visibilità per fumi, esposizione al calore per irraggiamento e convezione)*.

RSET (***required*** *safe escape time):* tempo tra innesco e momento in cui gli occupanti raggiungono un luogo sicuro.

Il **calcolo**, dipendendo dalle interazioni tra incendio, edificio e occupanti, è **complesso** dovendo considerare anche **situazioni comportamentali** degli occupanti, non facilmente quantificabili.

Criterio di ASET > RSET

Il tempo in cui permangono condizioni non incapacitanti per occupanti deve essere superiore al tempo necessario perché possano raggiungere luogo sicuro.



La **differenza tra ASET** *(available safe escape time)* **e RSET** *(required safe escape time)* rappresenta il **margine di sicurezza**.

$$t_{marg} = ASET - RSET \ [s]$$

Tenuto conto dell'incertezza nel calcolo di ASET e RSET, il professionista antincendio renderà **massimo t_{marg}** in relazione alle ipotesi assunte tra varie soluzioni progettuali.

Margine di sicurezza

A meno di specifiche valutazioni si assume **$t_{marg} \geq 100\% \cdot RSET$**.

In caso di specifiche valutazioni sull'affidabilità dei dati di input impiegati nella progettazione prestazionale, è consentito assumere **$t_{marg} \geq 10\% \cdot RSET$**.

In ogni caso **$t_{marg} \geq 30$ secondi**.

Confronto tra ASET e RSET

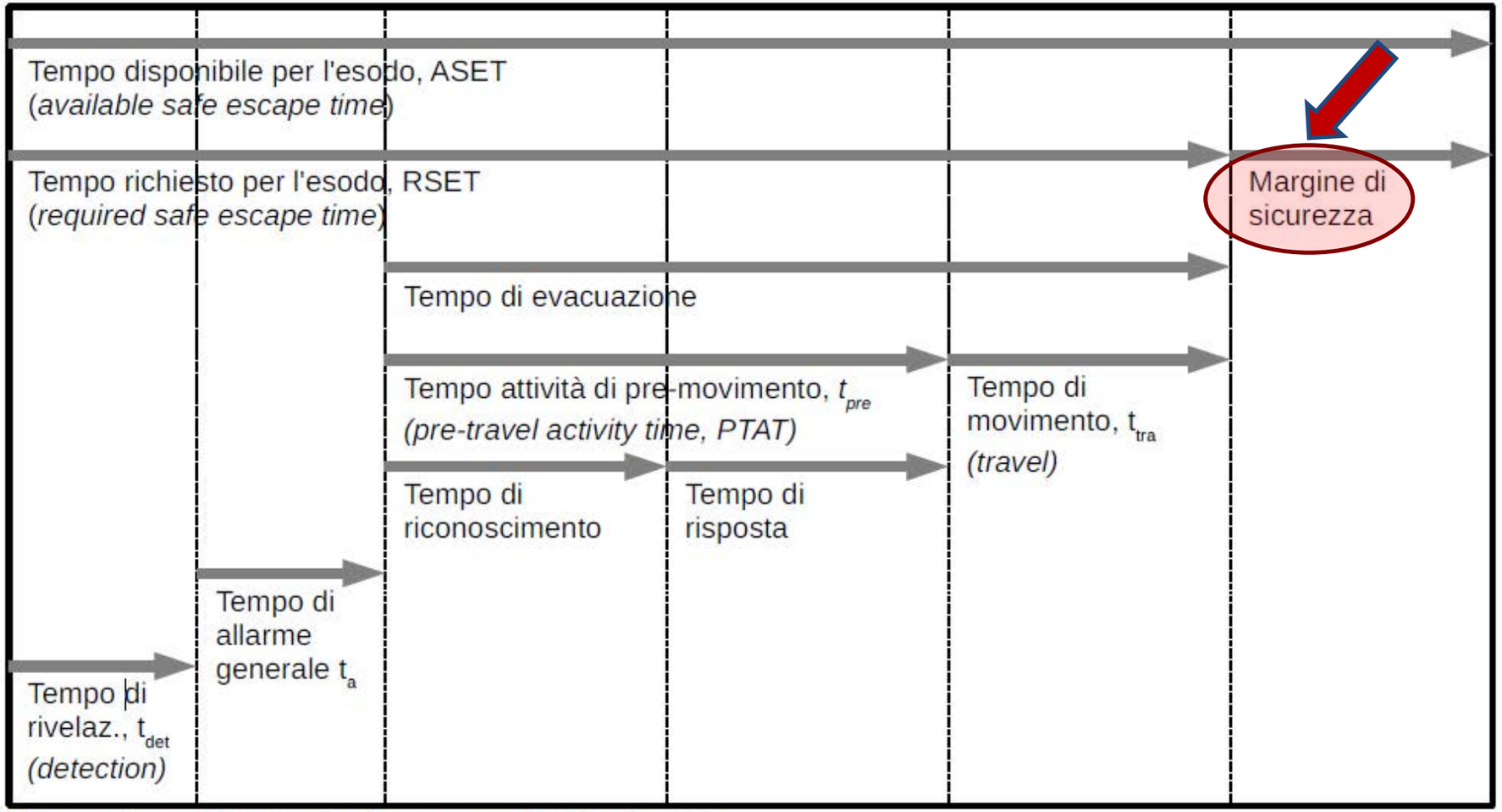
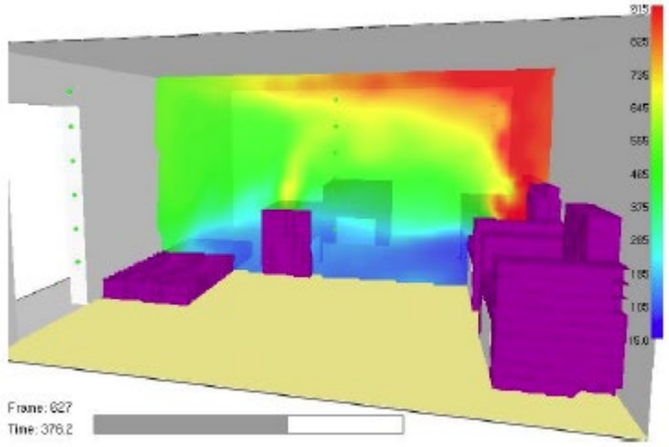


Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET ed RSET

CALCOLO DI ASET (Avalaible safe escape time)

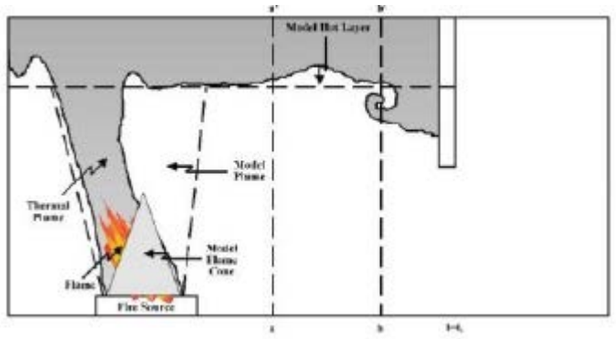
Metodo avanzato

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



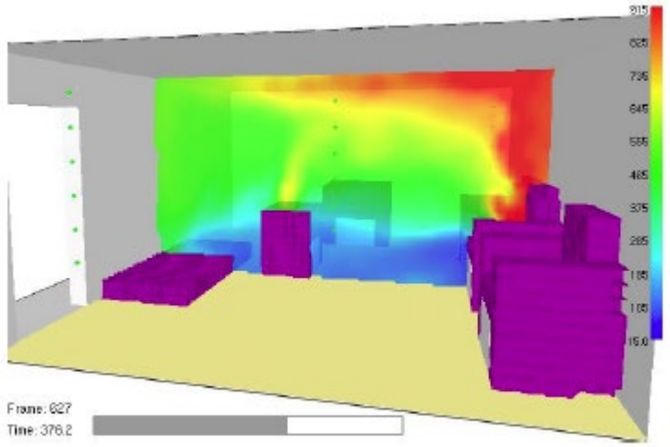
Metodo semplificato

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



Metodo di calcolo avanzato per ASET

Il calcolo richiede la stima delle concentrazioni di prodotti **tossici**, **temperature**, densità del **fumo** e loro variazione nel tempo *(poiché gli occupanti possono muoversi)*, in genere elaborata con modelli di calcolo fluidodinamici.



La **norma ISO 13571** è il riferimento più autorevole.

ASET globale è definito come il **minore tra quelli calcolati** secondo i **4 modelli** *(gas tossici, gas irritanti, calore, visibilità)*.

Il Codice fornisce indicazioni sull'applicazione di tali modelli.

Modello gas tossici

Il modello impiega il concetto di **dose inalata** (*exposure dose*) e di **FED** *(fractional effective dose)*.

***exposure dose**:* dose di un gas tossico presente nell'aria inspirata.

***FED**:* rapporto tra *exposure dose* e *dose incapacitante* del gas tossico (determina effetti incapacitanti su soggetto medio esposto).

Per FED = 1 ⇨ il soggetto medio è incapacitato.

Es. dose incapacitante CO = 35000 ppm · min.

Soggetto medio esposto a concentraz. 3500 ppm per 10 min. è incapacitato.

In tal caso FED = 1 e ASET per CO = 10 min.

Modello gas irritanti

Il modello gas irritanti impiega il concetto di **FEC** *(fractional effective concentration).*

***FEC**:* rapporto tra concentrazione di un gas irritante disponibile per inalazione e quella che determina effetti incapacitanti sul soggetto medio esposto.

La verifica del modello gas irritanti **può essere omessa**, se negli scenari di incendio di progetto non siano identificati nel focolare materiali combustibili suscettibili di costituire specifica sorgente di gas irritanti *(es. sostanze o miscele pericolose, cavi elettrici in quantità significative...)*.

Modello calore

Per il modello calore irraggiato e convettivo è proposto un approccio, basato sulla FED, simile a quello dei gas tossici.

$$X_{FED} = \sum_{t1}^{t2} \left(\frac{1}{t_{Irad}} + \frac{1}{t_{Iconv}} \right) \Delta t$$

t_{Irad} e t_{Iconv} : tempi di incapacitazione per calore radiante e calore convettivo calcolati con altre relazioni in funzione della condizione di abbigliamento dei soggetti (norma ISO 13571).

Assumendo conservativamente le seguenti soglie di prestazione:

- *irraggiamento sugli occupanti ≤ 2,5 kW/m^2;*
- *temperatura ambiente sugli occupanti ≤ 60°C.*

si ha ASET > 30 min. per qualsiasi condizione di abbigliamento.

Modello visibilità

Il modello oscuramento visibilità da fumo è basato sul concetto del **minimo contrasto percettibile** *(minima differenza di luminosità visibile oggetto-sfondo).*

Correlazione tra visibilità (L) e massa volumica fumi (ρ_{smoke}):

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

- L visibilità [m]
- C costante adimensionale *(3 per cartellonistica esodo riflettente non illuminata, 8 per cartellonistica retroilluminata)*
- σ coefficiente massico di estinzione luce (=10 m^2/g) [m^2/g]
- ρ_{smoke} massa volumica fumi *(smoke aerosol mass concentration)* [g/m^3]

Soglia di prestazione per FED e FEC

FED e FEC = 1 sono associati a effetti incapacitanti dell'esodo su occupanti di media sensibilità agli effetti dell'incendio.

Per **tenere conto delle categorie più deboli** o più sensibili della popolazione, che risulterebbero incapacitate ben prima, si considera ragionevole impiegare il valore **0,1** come *soglia di prestazione* per **FED** e **FEC** *(limitando a 1,1% gli occupanti incapacitati al raggiungimento della soglia secondo ISO 13571)*.

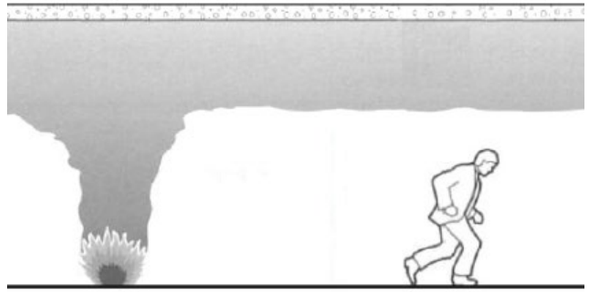
Il professionista antincendio dovrà selezionare e giustificare il valore più adatto alla tipologia di popolazione coinvolta.

Metodo di calcolo semplificato per ASET

La ISO/TR 16738 consente di utilizzare l'ipotesi semplificativa della **“esposizione zero”** *(zero exposure)*, con **soglie di prestazione**, molto **conservative**:

– altezza fumi > 2,00 m

– temperatura fumi < 200 °C



Ciò consente l’**esodo in ambiente non inquinato** da fumi, e un valore dell'**irraggiamento** da **fumi** < 2,5 kW/m^2.

Sono **automaticamente soddisfatti** tutti i **modelli**.

È sufficiente valutare analiticamente o con modelli numerici a zone o di campo l'**altezza dello strato dei fumi** *pre-flashover* nell'edificio.

Il professionista antincendio deve **accertare il campo di applicabilità**, cioè che si verifichi la **formazione dello strato di fumi caldi superiore**.

CALCOLO DI RSET (Required safe escape time)

Nell'analisi prestazionale dell'esodo **non è facile** valutare l'interazione tra occupante, edificio e incendio, a causa degli **aspetti comportamentali** delle persone.

In genere gli occupanti, anche a seguito di allarmi, percezione di fumo, comunicazioni di altre persone, ecc., impiegano parte del **tempo in attività non** immediatamente **rivolte all'evacuazione**;

Si attiva un processo di validazione continuo di ricezione, riconoscimento, interpretazione e di decisione in risposta agli indizi.

Ciò può costituire una **parte non trascurabile del tempo** impiegato per raggiungere un luogo sicuro.

CALCOLO DI RSET

È calcolato **tra l'innesco** dell'incendio e 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)*

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

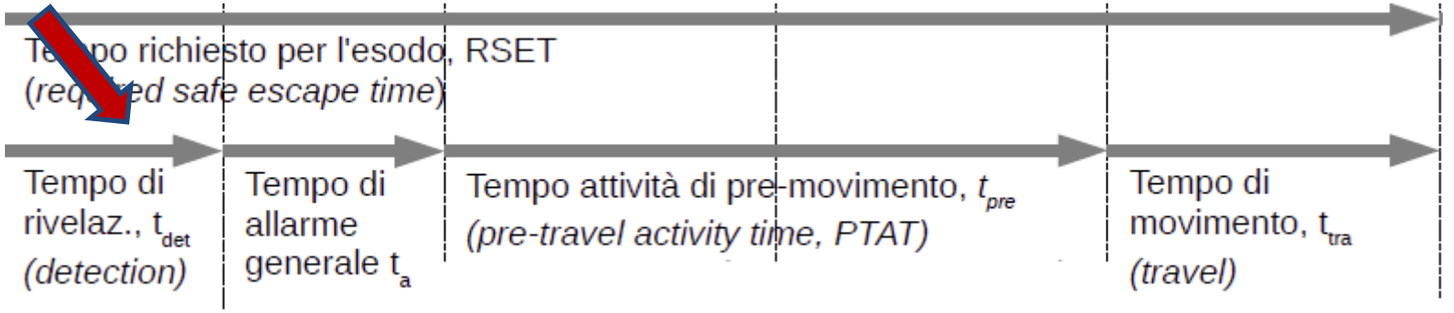
I parametri variano molto se gli occupanti sono svegli e hanno familiarità con l'edificio, o dormono e non conoscono la struttura.

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.

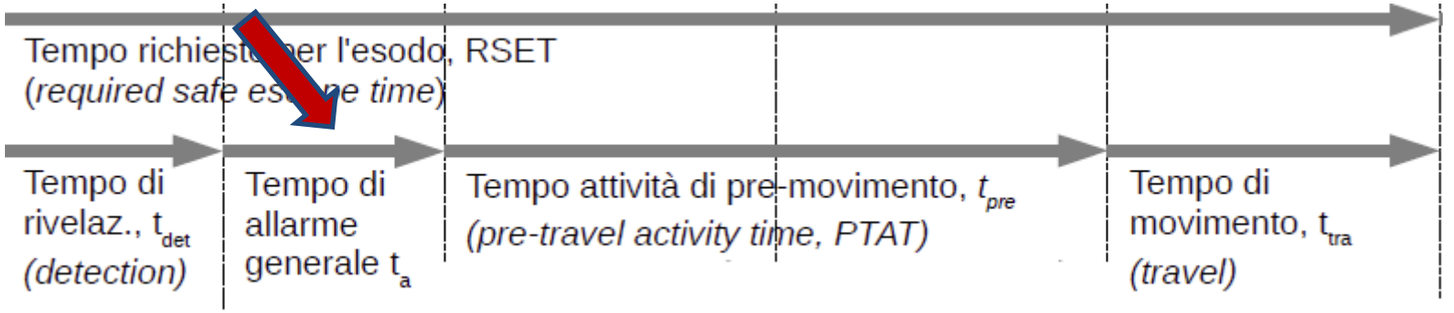
È **calcolato analiticamente** o con **apposita modellizzazione** numerica degli scenari d'incendio e del sistema di rivelazione.



Tempo di allarme generale (t_a)

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

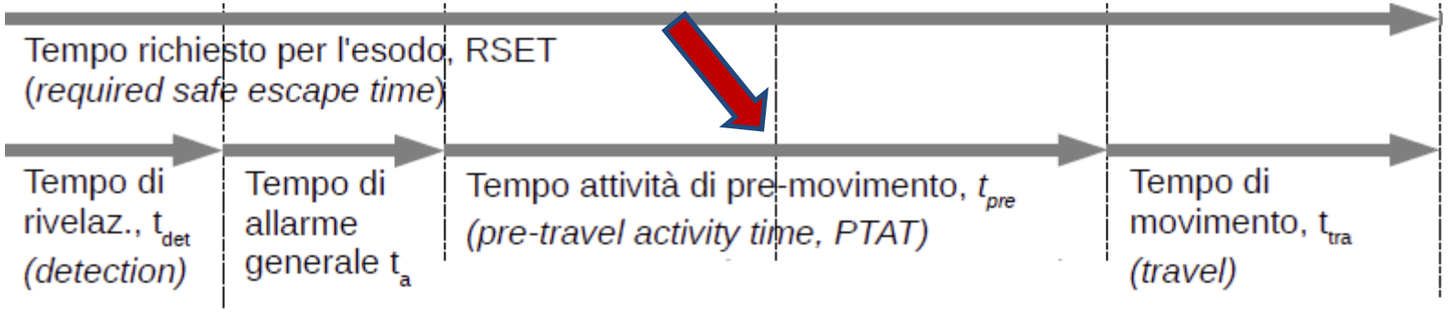
- È pari a zero, se la rivelazione attiva direttamente l'allarme.
- È pari al ritardo valutato dal professionista antincendio, se la rivelazione allerta una centrale di gestione dell'emergenza che verifica l'evento ed attiva poi l'allarme manuale.



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

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

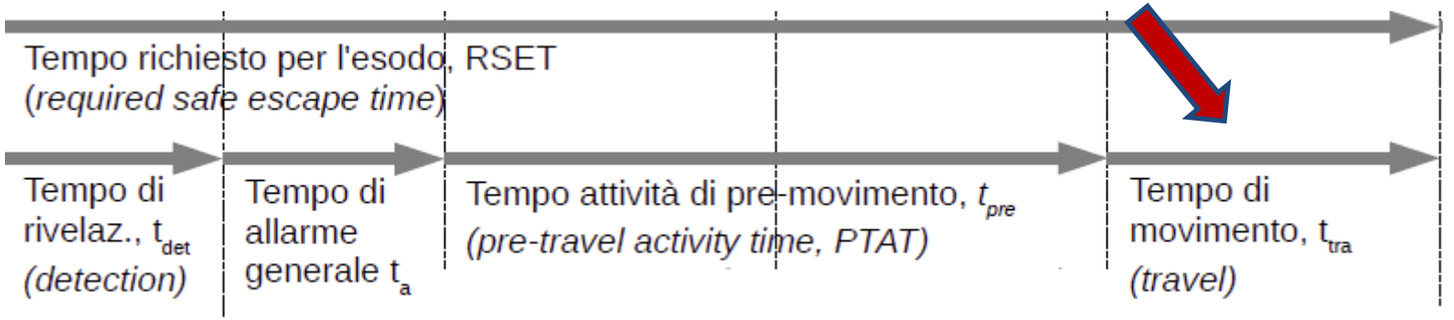
- Durante il **tempo di riconoscimento** gli occupanti continuano le attività che stavano svolgendo, finché riconoscono l'esigenza di rispondere all'allarme.
- Nel **tempo di risposta** gli occupanti cessano le loro attività normali e si dedicano ad attività legate all'emergenza.



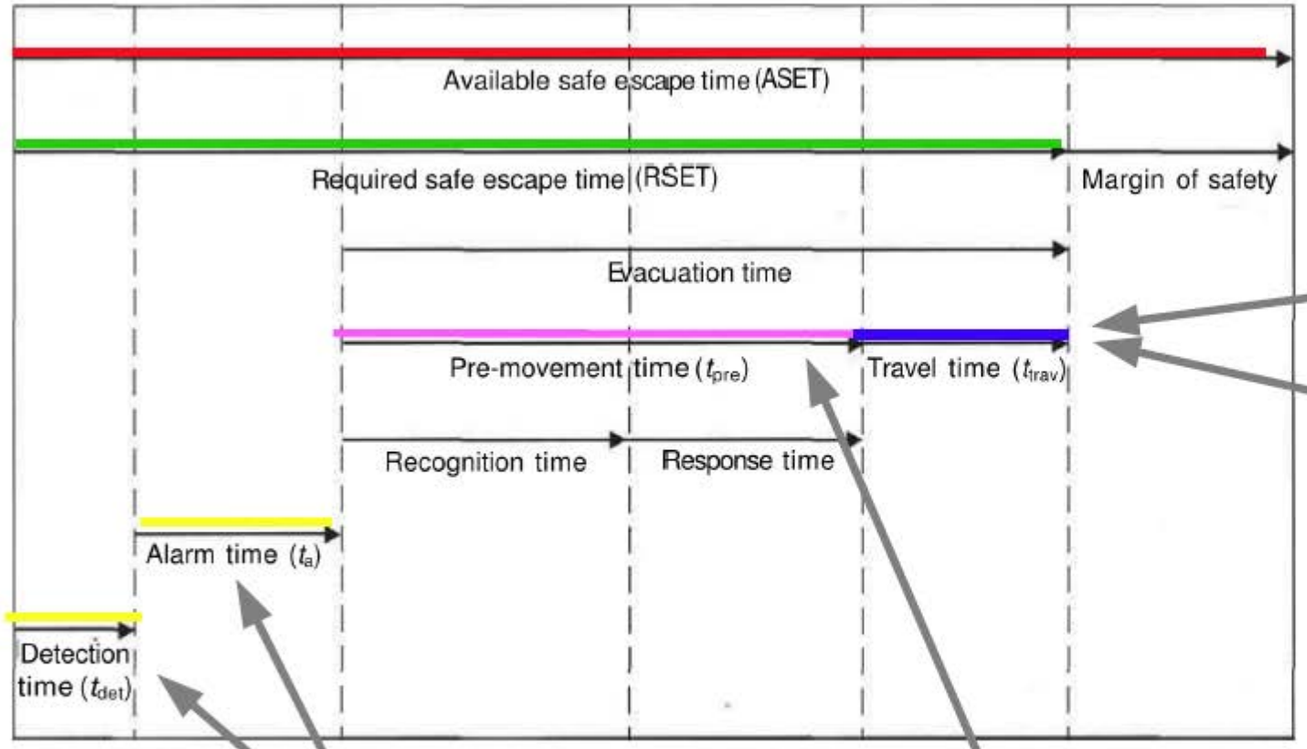
Tempo di movimento (t_{tra})

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 loro interazioni con ambiente e effetti dell'incendio;
- Vie d'esodo (geometria, dimensioni, dislivelli, ostacoli).



Riepilogo



Metodo semplificato (Zone)

Metodo avanzato (CFD)

Modello idraulico

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

Valutazione o simulazione

Da tabelle o sperimentale

Grazie per l'attenzione

mauromalizia.it