



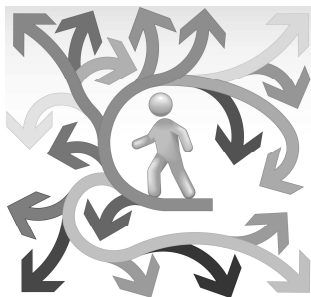
Progettazione antincendio

FSE & le nuove norme tecniche

“ il codice ”

Ing. Michelangelo Borino

Flessibilità



- a. *verifica delle soluzioni alternative* al fine di dimostrare il raggiungimento del collegato livello di prestazione;
- b. *verifica del livello di prestazione* attribuito alle *misure antincendio* al fine di dimostrare il raggiungimento del collegato obiettivo di sicurezza antincendio.

Sono definiti **metodi riconosciuti** affinché il **progettista** possa dimostrare la validità della specifica soluzione progettuale, nel rispetto degli obiettivi di sicurezza antincendio;

Progettazione

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 laddove è spesso impossibile ottemperare alle prescrizioni

APPROCCIO PRESTAZIONALE

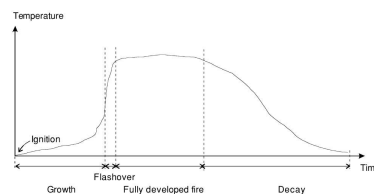
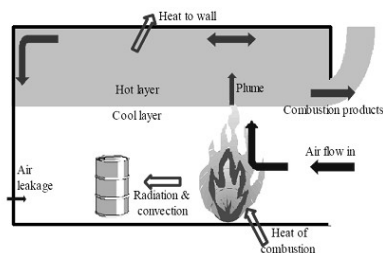
- Approccio che consente una valutazione quantitativa del livello di sicurezza antincendio rispetto a prestabilite soglie prestazionali e con riferimento ad ipotizzati scenari d'incendio ritenuti ragionevolmente credibili
- L'effetto di ogni misura alternativa può essere quantificato e valutato attraverso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

**PERFORMANCE
BASED**

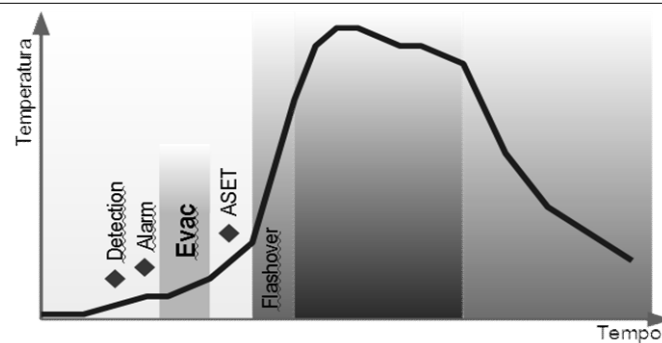
Fire Safety Engineering

**Valutazione quantitativa
LIVELLO DI SICUREZZA**

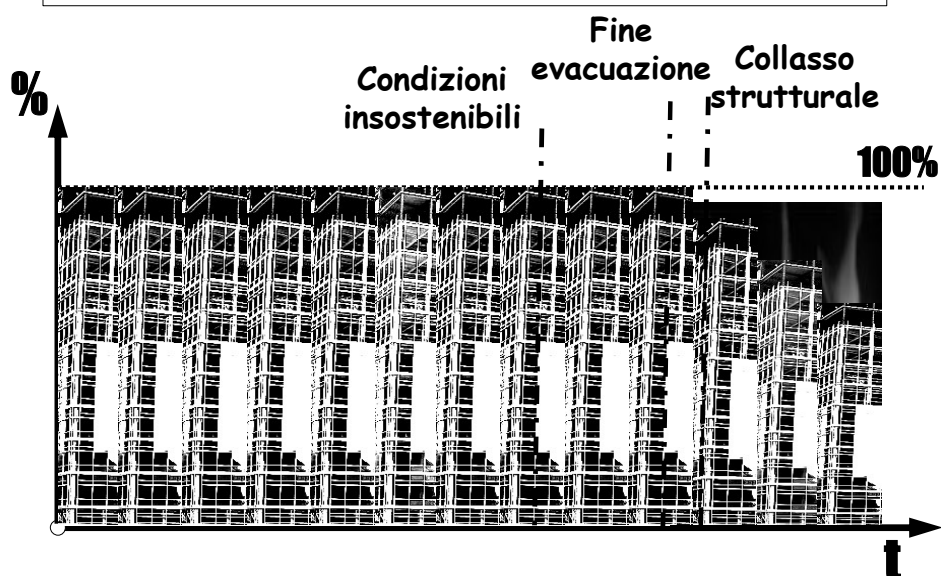
Gli effetti dell'incendio vengono quantificati e il livello di sicurezza antincendio valutato rispetto a prestabilite *soglie prestazionali* (temperatura, visibilità, altezza libera da fumo,...) secondo un approccio **performance based**



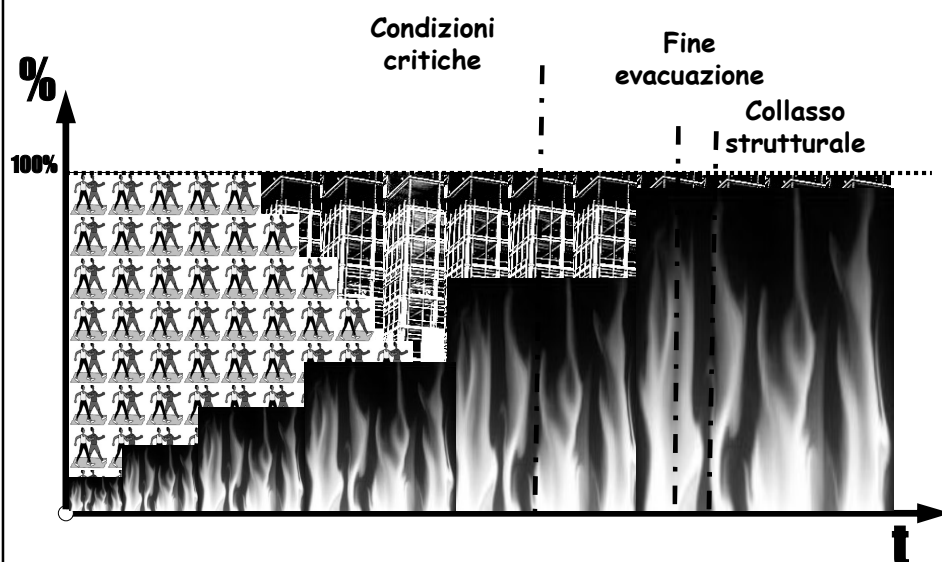
Obiettivi



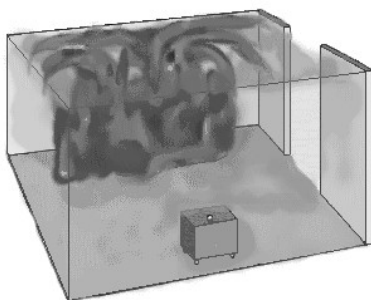
Aspetti di sicurezza



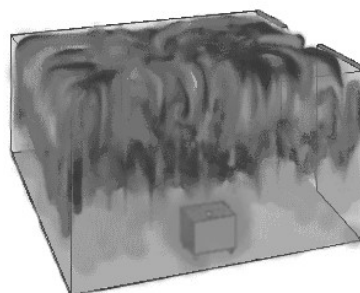
Obiettivo



Pre & post flash_over



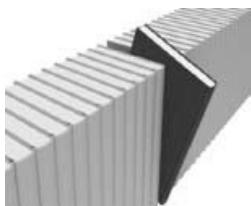
Fase di **Pre-flashover**, dipende essenzialmente dal movimento di fumi e calore nell'edificio ed è legato in prima approssimazione all'HRR ed alla qualità del focolare



Fase **post-flashover**, dipende dal cimento termico della struttura cioè dal rilascio di energia prodotta dall'incendio (carico d'incendio) e dalle condizioni di ventilazione

DM 3 Agosto 2015

Sono presenti tre specifici allegati...



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

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

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

Normativa

I principali riferimenti sull'argomento

ISO 23932:2009, *FSE – General principles.*

ISO/TR 13387-1:1999 *FSE – Part 1: Application of fire performance concepts to design objectives.*

BS 7974:2001 *Application of FSE principles to the design of buildings – Code of practice.*

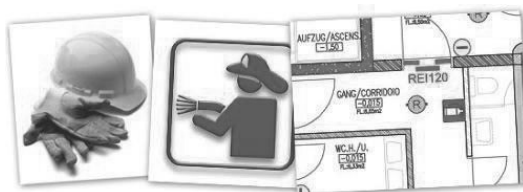
BS PD 7974-0:2002 *Application of FSE principles to the design of buildings – Part 0: Guide to design framework and FSE procedures.*

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



LA METODOLOGIA DI PROGETTAZIONE DELL'INGEGNERIA DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO

Allegato M1



Approccio prestazionale

E' necessario **formalizzare tutti i passaggi** che conducono il professionista **ad individuare le condizioni più rappresentative del rischio** alla quale l'attività è esposta e quali sono le **soglie di prestazione** cui riferirsi in relazione agli obiettivi da perseguire. Quindi vengono definiti gli **scenari di incendio**.

Successivamente si passa al calcolo, e cioè all'analisi quantitativa degli effetti dell'incendio, del comportamento umano e degli impianti attivi di estinzione. Si confrontano i risultati con le soglie di prestazione.

Analisi dei rischi



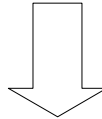
Scenari d' incendio



Analisi quantitativa

Verifica prestazionale

Il punto fondamentale dell'approccio ingegneristico non sono i calcoli ed i modelli matematici, ma il **metodo di verifica** scelto da parte del professionista.



Il professionista utilizzerà un **supporto** per l'analisi quantitativa con le **formule** di volta in volta più **adatte** ai passaggi da verificare.

verificare che i risultati ottenuti
siano in linea con il livello di
prestazione.

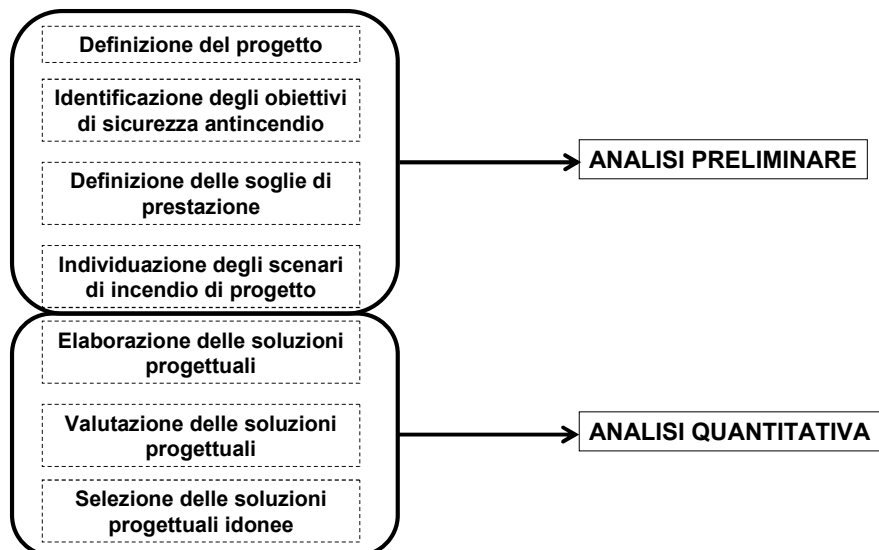
LA METODOLOGIA DI
PROGETTAZIONE
DELL'INGEGNERIA DELLA
SICUREZZA ANTINCENDIO

ANALISI PRELIMINARE

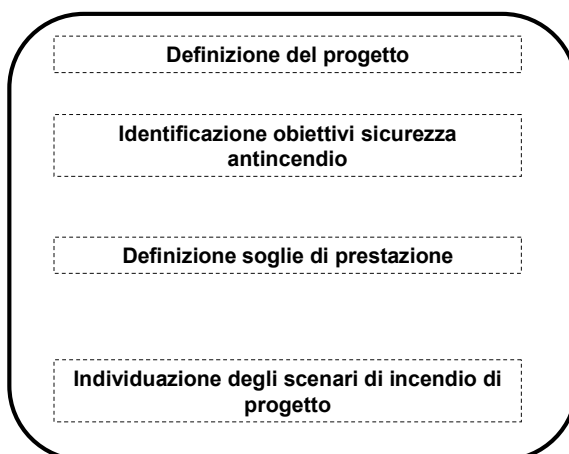


ANALISI QUANTITATIVA

Procedimento



Analisi preliminare



Definizione del progetto

Definizione del progetto

Identificazione degli
obiettivi di sicurezza
antincendio

Definizione delle soglie
di prestazione

Individuazione degli
scenari di incendio di
progetto

Identificare e documentare:

- a. **destinazione d'uso dell'attività**
- b. **caratteristiche degli occupanti** in relazione alla tipologia di edificio ed alla destinazione d'uso prevista.
- c. i **vincoli progettuali** derivanti da previsioni normative o da esigenze dell'attività;
- d. **finalità della progettazione antincendio**
vie d'esodo
resistenza al fuoco

Obiettivi di sicurezza

Definizione del progetto

Identificazione degli
obiettivi di sicurezza
antincendio

Definizione delle soglie
di prestazione

Individuazione degli
scenari di incendio di
progetto

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'attività in esame, ivi compresa la sicurezza delle squadre di soccorso.

**Quali obiettivi di sicurezza
antincendio?**



Soglie di prestazione

Definizione del progetto

Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio

Definizione delle soglie di prestazione

Individuazione degli scenari di incendio di progetto

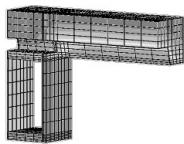
In relazione agli obiettivi di sicurezza individuati, il progettista deve indicare quali sono i parametri significativi presi a riferimento per garantire il soddisfacimento degli stessi obiettivi.

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.

I parametri

I parametri rispetto ai quali verificare i risultati dei calcoli devono essere scelti in funzione della progettazione e possono includere un campo molto vasto di dati

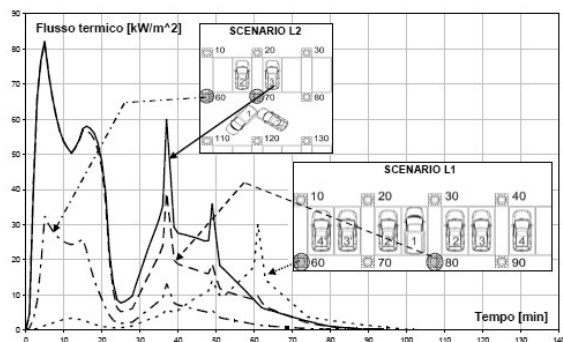
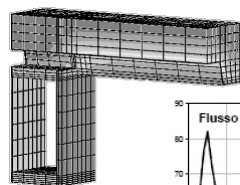


temperature dei gas,
livelli di visibilità,
Esposizione termica persone
Esposizione termica strutture



quantificare i livelli di prestazione

Capacità portante

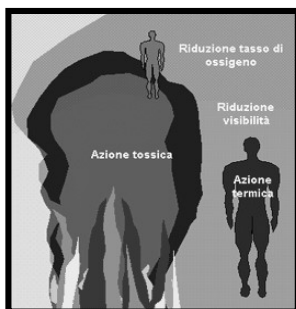


Andamento del flusso termico impattante gli elementi strutturali, in funzione della posizione del focolaio e della curva RHR di ciascuna tipologia di veicolo.

Salvaguardia della vita

SOGLIE DI PRESTAZIONE PER LA VITA LIFE SAFETY CRITERIA

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



$$t_e \llll t_c$$

Gli occupanti raggiungono l'**incapacitazione** quando diventano inabili a mettersi al sicuro autonomamente.

Scenari di progetto

Definizione del progetto

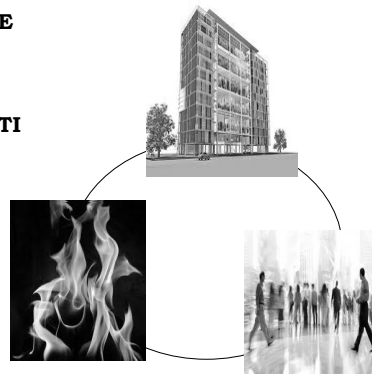
Identificazione degli
obiettivi di sicurezza
antincendio

Definizione delle soglie
di prestazione

Individuazione degli
scenari di incendio di
progetto

Gli scenari di incendio rappresentano la schematizzazione degli eventi che possono **ragionevolmente** verificarsi nell'attività in relazione alle seguenti caratteristiche:

- 1) **FOCOLARE**
- 2) **EDIFICIO**
- 3) **OCCUPANTI**



Scenari di progetto



SCENARI DI INCENDIO DI
PROGETTO

IDENTIFICATI

SELEZIONATI

QUALIFICATI

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.

Identificazione

La definizione degli **scenari** (**cosa brucia**, in quali condizioni *ambientali*, con quale comportamento *umano* e quale risposta degli *impianti*) **non può essere un'attività del modello di simulazione.**

La scelta degli scenari comporta notevoli responsabilità e coinvolge la cultura professionale di chi sviluppa l'analisi di rischio incendio.



Sommario tecnico

Contiene le seguenti informazioni:

- indicazione del responsabile dell'attività;
- individuazione dei professionisti antincendio che utilizzano l'ingegneria della sicurezza antincendio e che definiscono le specifiche misure di gestione della sicurezza antincendio, qualora diversi al responsabile della progettazione antincendio generale;
- finalità della FSE (es. analisi dei campi termici, della diffusione dei fumi e verifica delle vie di esodo, valutazione dei tempi di esodo, valutazione della capacità portante delle strutture, protezione di beni o ambiente in caso d'incendio, continuità di esercizio dell'attività). Devono essere chiaramente evidenziati gli aspetti della progettazione antincendio esclusi dalla progettazione prestazionale



Esempi



Uffici

Edificio adibito ad uffici:
procedimento di deroga ai punti
6.4.1 e 6.6.3 del Titolo II del d.m.
22 febbraio 2006

6.4.1 Numero delle uscite

Il numero di uscite dei singoli
piani dell'edificio non deve essere
inferiore a due, ubicate in
posizione contrapposta.

6.6.3 Lunghezza delle vie di uscita

La lunghezza dei corridoi ciechi
non deve essere superiore a 15 m.



Analisi preliminare

1 Definizione del progetto

Edificio di cinque piani che è stato oggetto nel 2007 di un intervento di ristrutturazione edilizia che ha comportato il cambio di destinazione d'uso ad uffici (di tipo 4, ovvero destinati ad ospitare più di 500 presenze) e la razionalizzazione della distribuzione planimetrica degli ambienti.

L'intervento è risultato conforme alle prescrizioni imposte dal citato DM 22/02/06 tranne che nel livello seminterrato, dove è presente una sola uscita e percorsi unidirezionali pari a 18 mt.

2. Obiettivi da raggiungere

Consentire l'esodo sicuro delle persone

3. Livelli di prestazione

Mantenere lungo il percorso nel tempo stabilito, la visibilità oltre i 7 mt, la concentrazione di CO entro i 150 ppm e la temperatura entro i 50°C

Scenari di progetto

1. innesco costituito da un cestino di carta posto in prossimità di faldoni contenuti nell'archivio

2. Innesco in prossimità di un tavolo posto nella stanza antistante l'accesso alla scala protetta

L'apertura della porta che consente l'uscita delle persone presenti nella stanza dell'incendio, **aperta**.



Scuola



Non è rispettata la prescrizione relativa alla lunghezza dei percorsi di esodo, fino alle scale a prova di fumo, risultando superiore ai 60 m.



Analisi preliminare

Definizione del progetto

L'esempio si riferisce ad un edificio, con tipologia edilizia a corte centrale, avente tre piani fuori terra, destinato ad ospitare un Istituto tecnico per geometri.

La conformazione planimetrica del piano tipo non permette di rispettare la prescrizione relativa alla lunghezza dei percorsi di esodo, fino alle scale a prova di fumo, risultandone alcuni superiori ai 60 m.



Dati di progetto:

Affollamento previsto: 200 pers./piano
Larghezza corridoi: 2,40 m
Larghezza porte vani scala: 2 x 0,60 m
Larghezza scale: 1,50 m
Pianerottoli: 1,60 x 3,75 m
Gradini delle scale: 16,5/33 cm

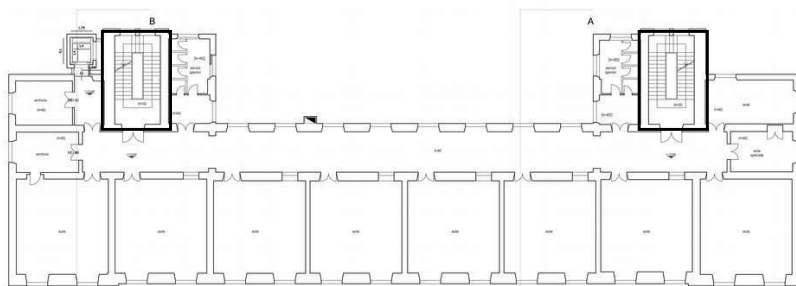
Analisi preliminare

Obiettivi. Evitare che il fumo generato dai focolari di progetto invada i vani scale.

Definizione delle soglie di prestazione

L'obiettivo di sicurezza si traduce in *soglia di prestazione* quantitativa. La soglia di prestazione è rappresentata da:

- altezza dei fumi superiore all'altezza delle porte di piano verso le scale poste a 2,00 m dal piano di calpestio entro il termine dell'evacuazione di piano;
- temperatura media dei fumi non superiore a 60°C



Autorimessa

1 Definizione del progetto

Autorimessa di tipo interrata con altezza di 2,4 m, contenente cinque box serviti da una corsia avente larghezza di 5,0 m; la lunghezza massima del percorso per raggiungere il luogo sicuro risulta pari a 36,50 m (6,50 m superiore alla lunghezza consentita).

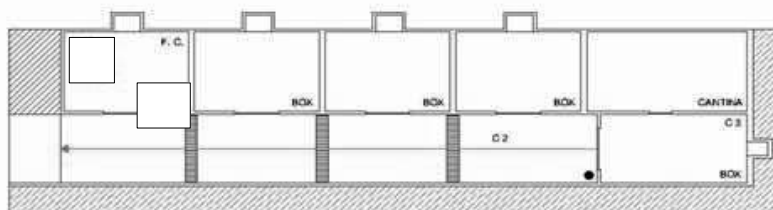
L'unica via di esodo è costituita dalla rampa avente larghezza pari a 3,5 m.

2. Obiettivi da raggiungere

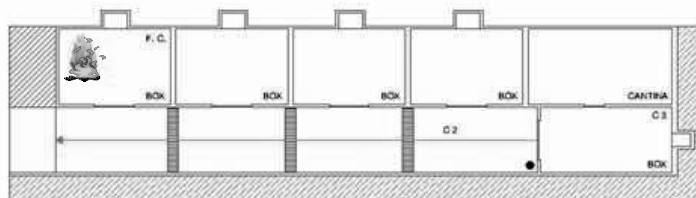
Esodo sicuro degli occupanti

3. Livelli di prestazione

Mantenere lungo il percorso nel tempo stabilito, fumo e gas si mantengono al di sopra di 1,5 mt. altezza media delle vie respiratorie.



scenario



Incendio a sviluppo veloce ($t_g = 150$ s) e si produca nel box più vicino alla rampa (unica via di esodo), avente dimensione (8,5 x 5,75) m; si suppone inoltre che:

- le basculanti dei box aventi dimensioni (3,0 x 2,05) m. siano munite di superficie di aerazione pari almeno 1/100 della superficie del box, quella interessata dall'incendio è aperta le altre sono chiuse.
- al fine di garantire una buona evacuazione del fumo del calore e dei gas di combustione l'autorimessa è dotata di tre griglie di aerazione sulla corsia (avente ognuna superficie di 4 mq) e bocche di lupo da 1mq lungo il perimetro dell'autorimessa

Analisi quantitativa

Elaborazione delle soluzioni progettuali

Valutazione delle soluzioni progettuali

Selezione delle soluzioni progettuali
idonee

Analisi quantitativa

Elaborazione delle
soluzioni progettuali

Valutazione delle
soluzioni progettuali

Selezione delle
soluzioni progettuali
idonee



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.

Valutazione soluzioni

Elaborazione delle
soluzioni progettuali

Valutazione delle
soluzioni progettuali

Selezione delle
soluzioni progettuali
idonee

Calcolo degli effetti che gli scenari d'incendio determinano per ciascuna soluzione progettuale elaborata.



A tal fine si impiega un **modello di calcolo analitico o numerico** che fornisce i risultati quantitativi che consentono di descrivere l'evoluzione dell'incendio e dei suoi effetti sulle strutture, sugli occupanti o sull'ambiente.



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



Eliminazione delle soluzioni progettuali che non rispettano **tutte** le soglie di prestazione per ogni scenario di incendio

Soluzioni idonee

Elaborazione delle
soluzioni progettuali

Valutazione delle
soluzioni progettuali

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 di progetto integrata da:

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

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

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**.

Particolare attenzione alle modalità di presentazione dei risultati in modo che questi riassumano, in una sintesi completa ed efficace, il comportamento del sistema per quel particolare tipo di analisi.

Relazione tecnica

L'esito dell'elaborazione deve essere sintetizzato in disegni e/o schemi grafici e/o immagini che presentino in maniera chiara e inequivocabile i principali parametri di interesse per l'analisi svolta.



Le grandezze devono essere evidenziati i valori numerici nei punti significativi ai fini della valutazione dell'andamento dei fenomeni connessi allo sviluppo dell'incendio, in relazione alla verifica delle condizioni di sicurezza necessarie.

Relazione tecnica

Fornire indicazioni su:

modelli utilizzati

affinché sia dimostrata la coerenza delle scelte operate con lo scenario di incendio di progetto adottato

parametri e valori associati

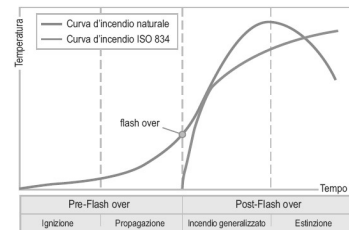
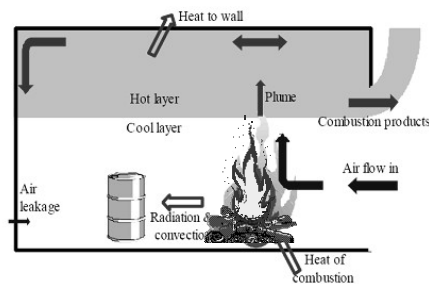
la scelta iniziale dei valori da assegnare ai parametri alla base dei modelli di calcolo, deve essere giustificata in modo adeguato, facendo specifico riferimento alla letteratura tecnica condivisa o a prove sperimentali

origine e caratteristiche dei codici di calcolo

devono essere fornite indicazioni in merito all'origine ed alle caratteristiche dei codici di calcolo utilizzati con riferimento alla denominazione, all'autore o distributore, alla versione e alle validazioni sperimentali.



Modellazione incendio



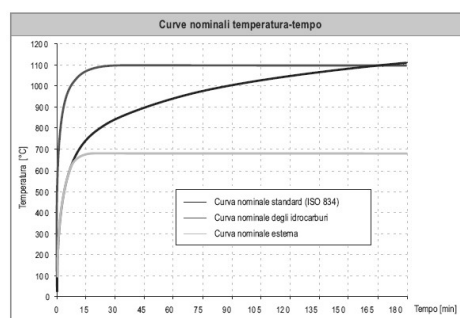
L'azione del fuoco è definita attraverso una valutazione degli **scenari di incendio**, che permettono di fare riferimento a modelli di fuoco espressi nel dominio temperatura tempo (curve temperatura-tempo).

Curve nominali

curva standard introdotta dalla ISO 834 normalmente utilizzata

curva degli idrocarburi per incendi di quantità rilevanti di idrocarburi o altre sostanze con equivalente velocità di rilascio termico

curva esterna nel caso di strutture poste all'esterno rispetto al compartimento interessato dall'incendio



danno una rappresentazione convenzionale dell'incendio per scenari differenziati (idrocarburi, esterna) e che non tengono in conto la **fase di raffreddamento**;

Modellazione incendio

Si possono individuare, in ordine crescente di complessità di formulazione, le seguenti tipologie di schematizzazioni adottabili:

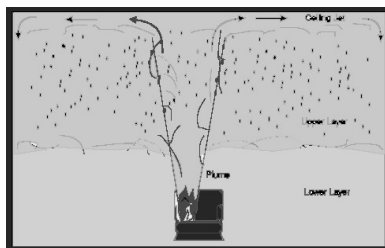
I. Modelli di fuoco semplificati

- Modelli parametrici
- Modelli di fuoco localizzato

II. Modelli avanzati

- A una zona
- A due zone
- Modelli di fluidodinamica computazionale o "di campo".

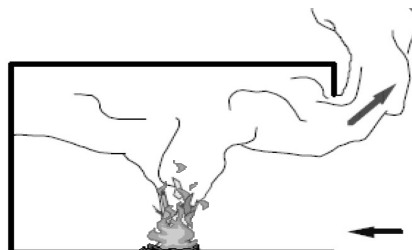
Modelli a zone



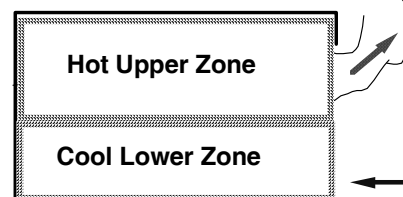
AMBIENTE CONFINATO

NUMERO FINITO DI MACROREGIONI

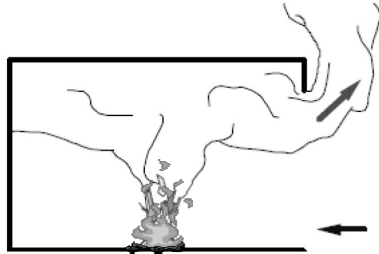
All'interno, poi di ciascun volume di controllo la temperatura e le altre proprietà sono *spazialmente uniformi ma variabili nel tempo*; quindi, vi sarà un gradiente di proprietà (per esempio di temperatura) fra le regioni considerate.



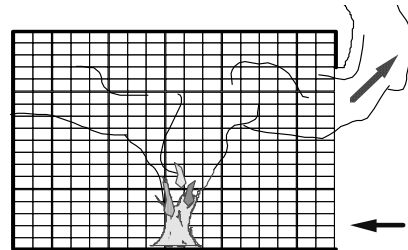
TRASCURATI MODELLO DI TURBOLENZA E DI COMBUSTIONE



Modelli di campo

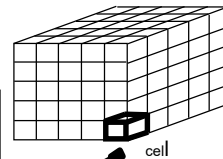


SCHEMATIZZAZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO IN UN MODELLO DI CAMPO

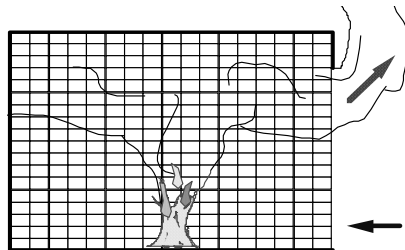


SUDDIVISIONE DOMINIO FISICO DELLA SIMULAZIONE IN CELLE TRIDIMENSIONALI (*computational grid*)

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



Analisi di sensibilità

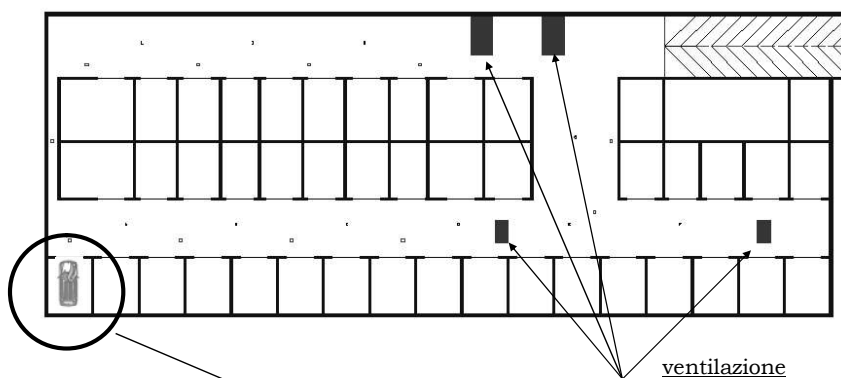


Per i parametri di input del modello più rilevanti deve essere svolta analisi di sensibilità dei risultati alla variazione del parametro di input.
Ad esempio, i risultati dell'analisi non devono essere significativamente dipendenti dalle dimensioni della griglia di calcolo.

Esempio



Scenario

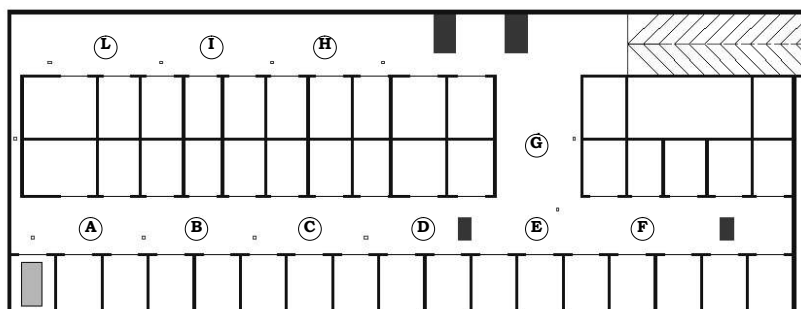
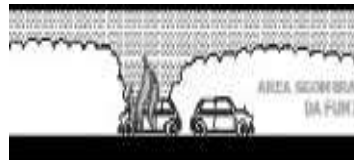


La simulazione è stata effettuata considerando uno scenario caratterizzato dall'incendio di una macchina situata in un box,

Sonde rilievo parametri

Tab. 2 Livelli di prestazione

Livelli prestazionali	
Visibilità	10 m
Temperatura	50 °C
Monossido di carbonio	500 ppm
Ossigeno	15 %



Focolare

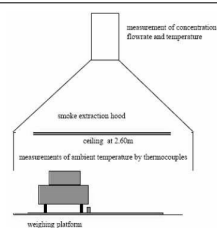
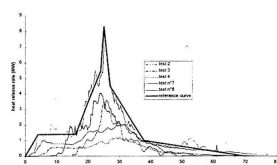
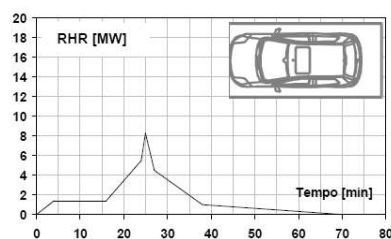


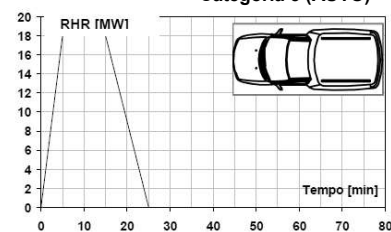
Figura 4-6: calorimetric hood



Time [min]	HRR [MW]
0	0
4	1.4
16	1.4
24	5.5
25	8.3
27	4.5
38	1
70	0



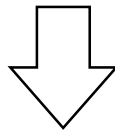
Categoria 3 (AUTO)



Categoria VAN

Gestione Sicurezza Antincendio

Le misure previste nel «progetto antincendio»
richiedono una corretta **gestione**



elemento essenziale per la sicurezza antincendio
per tutta la **durata di vita dell'edificio**

Gestione Sicurezza Antincendio

- *Misura antincendio organizzativa con la quale far permanere quelle condizioni di sicurezza che assicurano il raggiungimento degli obiettivi propri della prevenzione incendi;*
- *strumento di gestione del rischio d'incendio residuo del luogo di lavoro e dell'attività in genere;*

Gestione della sicurezza

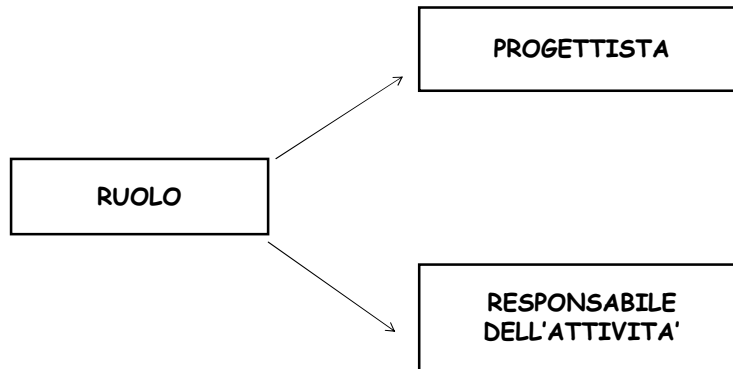


Organizzazione dell'attività
quotidiana dell'azienda



Pianificazione dei
provvedimenti da assumere
in emergenza

Progettazione SGSA



Soggetti

Progettista



Riceve dal committente le informazioni di input sull'attività (es. finalità, geometrie, materiali, affollamento, ...),
definisce le misure antincendio che minimizzano il rischio d'incendio,
concepisce e **documenta** sin dal principio il modello di gestione della sicurezza antincendio.

Responsabile dell'attività



Acquisisce dalla progettazione le **indicazioni**, le **limitazioni** e le **modalità d'esercizio** ammesse per l'appropriata gestione della sicurezza antincendio dell'attività, al fine di limitare la probabilità d'incendio, **garantire** il corretto **funzionamento dei sistemi di sicurezza** e la **gestione dell'emergenza** qualora si sviluppi un incendio

Gestione sicurezza

Le specifiche misure di *gestione della sicurezza antincendio* devono essere *limitate* agli aspetti trattati nella progettazione prestazionale:

**specifiche soluzioni progettuali,
misure antincendio di prevenzione e protezione adottate
mantenimento delle condizioni di esercizio da cui discendono i valori dei
parametri di ingresso nella progettazione prestazionale.**

SGSA sottoposto a verifiche periodiche da parte del responsabile dell'attività secondo le cadenze temporali già definite nel progetto.



SGSA

Struttura zione

identificazione pericoli dell'attività

organizzazione e personale

controllo operativo

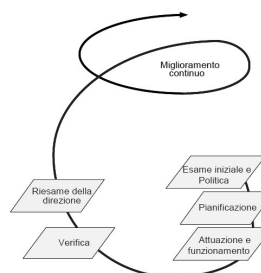
gestione delle modifiche

Piano di emergenza

controllo delle prestazioni

Manutenzione sistemi di protezione

revisione del sistema



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



Scenario di incendio

Premessa

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*
da parte del professionista antincendio che si avvale della
FSE ai fini del raggiungimento degli obiettivi di sicurezza
antincendio per le attività

SCENARI DI INCENDIO DI
PROGETTO

SCENARI DI INCENDIO

SCENARI DI INCENDIO DI
PROGETTO

Scenario di incendio

Gli scenari di incendio rappresentano la schematizzazione degli eventi che possono *ragionevolmente* verificarsi nell'attività in relazione alle caratteristiche di



Scenario di progetto

SCENARI DI INCENDIO

Descrizione dettagliata degli *eventi che possono ragionevolmente verificarsi* in relazione a tre aspetti caratteristici fondamentali:
1 incendio 2 attività 3 occupanti

SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO

Descrizione dettagliata del *minimo numero ragionevole di eventi* estratti per ridurre il numero degli scenari d'incendio in relazione ai tre aspetti caratteristici fondamentali:
1 incendio 2 attività 3 occupanti

Identificazione

La definizione degli **scenari** (cosa brucia, in quali condizioni *ambientali*, con quale comportamento *umano* e quale risposta degli impianti) **non può essere un'attività del modello di simulazione.**

La scelta degli scenari comporta notevoli responsabilità e coinvolge l'esperienza professionale del progettista



Identificazione

ASPETTI CARATTERISTICI

Ogni scenario d'incendio identificato deve essere descritto compiutamente ed univocamente in relazione ai suoi **tre aspetti fondamentali**:

- 1 caratteristiche **incendio**
- 2 caratteristiche **attività**
- 3 caratteristiche **occupanti**

OBIETTIVO

Il professionista antincendio deve specificare se lo scenario d'incendio ipotizzato è relativo ad una condizione **pre-flashover** oppure **post-flashover**, secondo l'obiettivo da raggiungere

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

SCENARI DI INCENDIO

1. IDENTIFICAZIONE allestimenti, configurazioni, modifiche ...
2. ALBERO DEGLI EVENTI qualitativo o quantitativo
3. CARATTERISTICHE incendio – attività – occupanti
4. SCENARIO pre-flashover, post-flashover
5. ANALISI STORICA iniziatore, propagazione, impianti, azioni, occupanti

Selezione

In genere costituiscono un numero elevato

SCENARI DI INCENDIO

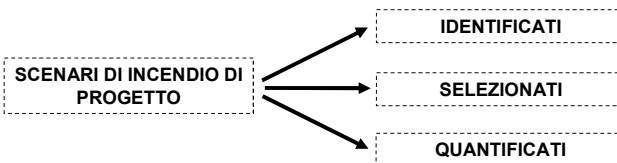
Descrizione dettagliata degli eventi che possono ragionevolmente verificarsi in relazione a tre aspetti caratteristici fondamentali:
1 incendio 2 attività 3 occupanti

Formano un numero più ridotto

SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO

Descrizione dettagliata del minimo numero ragionevole di eventi estratti per ridurre il numero degli scenari d'incendio, con motivazione da esplicitare nella documentazione progettuale, in relazione ai tre aspetti caratteristici fondamentali:
1 incendio 2 attività 3 occupanti , ricorrendo ad alberi di eventi o a giudizio esperto





Il professionista antincendio seleziona i ***più gravi*** tra gli scenari d'incendio ***credibili***

Gli ***scenari d'incendio di progetto*** così selezionati rappresentano per l'attività un livello di rischio non inferiore a quello descritto dall'insieme di tutti gli ***scenari d'incendio***

Le soluzioni progettuali, nel rispetto delle ***soglie di prestazione*** richieste nell'ambito degli ***scenari d'incendio di progetto***, garantiscono lo stesso grado di sicurezza anche nei confronti di tutti gli altri ***scenari d'incendio***

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

Scenari & obiettivi

un incendio di limitate dimensioni, che però si sviluppa in prossimità delle vie di esodo e/o uscite di sicurezza di un locale ad alta densità di affollamento,

può risultare più pericoloso

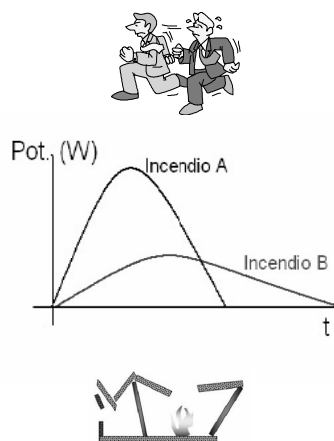
di uno che emette una maggiore potenza termica, ma che si origina in un ambiente confinato e che si trova lontano dalle zone dove è prevista la presenza di pubblico (ad es., una combustione che si verifica all'interno di un deposito, costituente un compartimento antincendio, contenente materiale combustibile).

Scenari & obiettivi

un incendio (A) di breve durata e con crescita veloce, che è accompagnato da elevata produzione di fumo e gas di combustione (ad es. incendio di un mobile imbottito),

potrà risultare più critico

di un incendio (B) che rilascia maggiore potenza termica, ma che ha una crescita lenta e dura più a lungo, anche se quest'ultimo potrebbe sollecitare termicamente in modo più severo gli elementi costruttivi presenti;



Scenari normativi

La norma **NFPA 101** (*life safety code*), in alternativa alla definizione degli scenari secondo le valutazioni esperte, prevede la valutazione rispetto ad otto scenari predeterminati; a loro volta, ciascuno di questi scenari potrà essere multiplo o non applicabile, a seconda delle caratteristiche dell'edificio

La norma **NFPA 914** (*code for fire protection of historic structures*) aggiunge a tali scenari quattro ulteriori indicazioni per la valutazione della **tutela dei beni**

NFPA 101

Scenario di incendio 1

considera le attività, il numero degli occupanti, la tipologia degli ambienti e degli arredi e le condizioni di ventilazione con definizione del primo elemento che prende fuoco e della sua localizzazione;

Scenario di incendio 2:

considera un fuoco a sviluppo ultraveloce, ubicato nelle vie di esodo, con porte di comunicazione interna aperte in fase iniziale;

Scenario di incendio 3:

incendio che si sviluppa in un ambiente normalmente deserto comunicante con altro ambiente con alta densità di occupanti in potenziale pericolo;

Scenario di incendio 4:

fuoco che ha origine a parete o a soffitto, adiacente un luogo ad alta densità di affollamento;

NFPA 101

Scenario di incendio 5:

incendio a sviluppo lento in area non coperta da sistemi di protezione attiva in adiacenza di un locale ad alta densità di affollamento;

Scenario di incendio 6:

incendio più gravoso con il massimo carico d'incendio ipotizzabile e con sviluppo rapido, in presenza di persone;

Scenario di incendio 7:

incendio che si sviluppa all'esterno della zona in esame ma con possibilità di potersi propagare e di interessare le vie d'esodo;

Scenario di incendio 8:

incendio con origine del fuoco all'interno della zona in esame con mancato intervento dei sistemi di protezione attiva e passiva antincendio e con disattivazione sequenziale delle stesse.

SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO

1. SELEZIONE al minimo numero ragionevole
2. SCENARI più gravi credibili
3. SOLUZIONI PROGETTUALI con garanzia rispetto di soglie di prestazione
4. OBIETTIVO salvaguardia occupanti, verifica strutture

Descrizione

Premessa

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 DI PROGETTO

1. **DESCRIZIONE** **QUANTITATIVA** per
ciascuno scenario
2. **DATI NUMERICI** input appropriato secondo
metodologia di calcolo scelta
3. **SPECIFICHE DATI** input attività – occupanti
– incendio in relazione alle finalità dell'analisi

Edificio

a. Caratteristiche architettoniche e strutturali

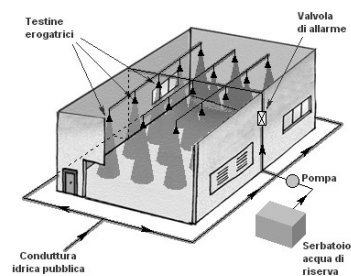
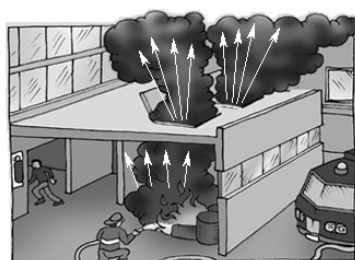
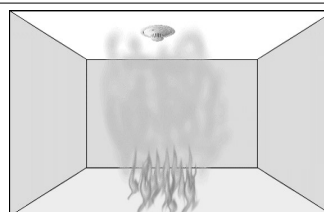
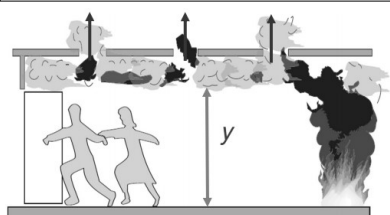
b. Impiantistica

c. Aspetti gestionali ed operativi

d. Fattori ambientali



Impianti



Occupanti

- a. Affollamento e distribuzione**
- b. Tipologia**
- c. Familiarità con attività e vie d'esodo**
- d. Stato veglia/sonno**
- ...**



Incendio

- a. Focolare: localizzazione**
- b. Focolare: tipologia**
- c. Il combustibile: quantità, qualità, distribuzione**
- d. Innesco**
- e. Calore rilasciato: HRR**
- f. Prodotti rilasciati: rese (particolato, CO ...)**



Il focolare

Per la caratterizzazione quantitativa del focolare il **professionista** può impiegare:

- **dati sperimentali** ottenuti da misura diretta in laboratorio con metodi scientifici consolidati;
- **dati pubblicati** da fonti autorevoli
- **metodologie di stima**
- **focolari predefiniti** e relativi limiti



NB. citare sempre con precisione le fonti e verificare la corrispondenza del campione di prova sperimentale (quantità, composizione, geometria e modalità di prova) con quello previsto nello scenario di incendio di progetto, utilizzando un approccio ragionevolmente conservativo;



Premessa

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 DI PROGETTO

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

OBIETTIVO DI SICUREZZA ANTINCENDIO

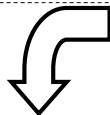
SALVAGUARDIA DELLA VITA

MANTENIMENTO DELLA CAPACITA' PORTANTE IN CASO DI INCENDIO

Deve essere *descritta tutta la sequenza* di evoluzione dell'incendio



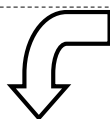
OBIETTIVO DI SICUREZZA ANTINCENDIO:
SALVAGUARDIA DELLA VITA



DURATA MINIMA SCENARI D'INCENDIO DI PROGETTO:
dall'evento iniziatore fino al momento in cui tutti gli occupanti
dell'attività raggiungono o permangono in un luogo sicuro



OBIETTIVO DI SICUREZZA ANTINCENDIO:
MANTENIMENTO CAPACITA' PORTANTE



DURATA MINIMA SCENARI D'INCENDIO DI PROGETTO:
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

Curva RHR

Premessa

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

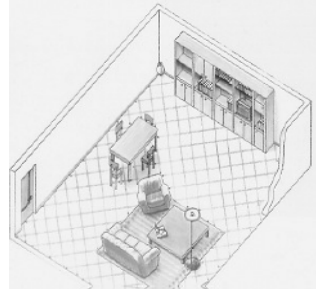
In un determinato istante, RHR è dato dal prodotto della
velocità di combustione m_c [kg/s] ed il potere calorifico
H del combustibile [kJ/kg]:

$$RHR(t) = m_c(t) \times H \text{ [kJ/kg]}$$

m_c dipende dallo stato del combustibile e dalle
condizioni dell'ambiente di sviluppo dell'incendio;
Valori tipici variano da frazioni di g/s ad alcuni kg/s.

Carico di incendio

potenziale termico netto *MJ* della totalità dei materiali combustibili contenuti in uno spazio, corretto in base ai parametri indicativi della partecipazione alla combustione dei singoli materiali.
convenzionalmente 1 MJ è assunto pari a 0,057 kg di legna equivalente.



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

Curva RHR



Heat Release Rate o Curva di rilascio termico

Potenza termica (KW) emessa da un focolare o da un incendio per unità di tempo.

Il carico d'incendio indica il quantitativo di energia termica che viene rilasciato durante la combustione di tutto il materiale combustibile presente all'interno di un determinato compartimento

RHR sperimentale

Di un oggetto



Cono calorimetro

RHR sperimentale

**Cestino rifiuti in polietilene da 6,6 l - cont.to: 12 cartoni latt
(polyethylene 6.6 L wastebasket with 12 milk cartons)**
(fonte: V. Babrauskas - "Burning Rates"- The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering)

- valore massimo **HRR**: ~ 83 kW
- energia totale rilasciata: ~ 13 MJ

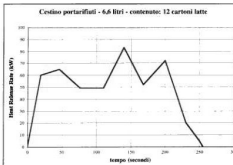
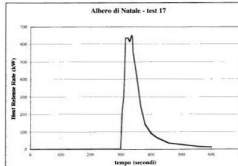
Albero di Natale
(*Christmas tree - test 17*)

- massa totale: **7 kg**
- valore massimo *HRR*: **650 kW**
- energia totale rilasciata: **41 MJ**

Postazione di lavoro a due pannelli (two panel workstation)

(fonte: "Fire on the Web". <http://fire.mist.gov/ftp/fire/fors.html>)

- valore massimo *HRR*: ~ 1750 kW
- energia totale rilasciata: ~ 1745 MJ

[illegible]

tempo (seconds)	0	300	305	310	315	320	325	327	329	335	337
HRR (b/min)	0	0	225	305	400	615	620	610	610	650	640

tempo (seconds)	340	350	355	365	380	400	420	460	560	600	-
HRR (b/min)	645	650	770	745	110	90	65	55	15	10	-

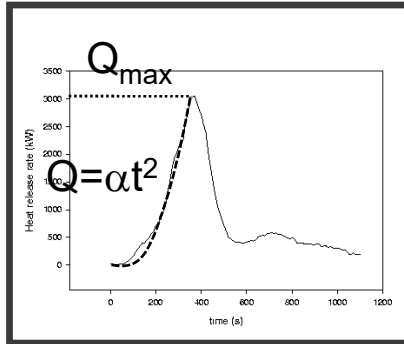


tempo (secondi)	0	135	180	275	305	350	450	465	470	520
HRR (L/W)	0	95	365	1750	1720	1430	1500	1450	1325	1350

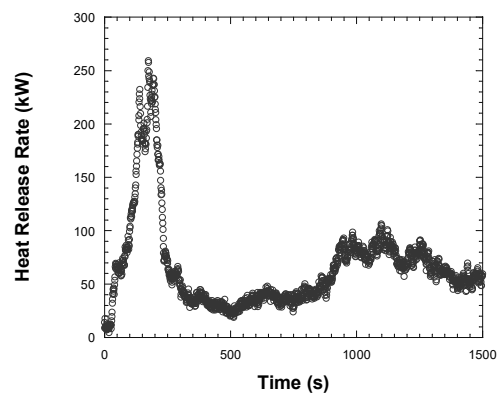
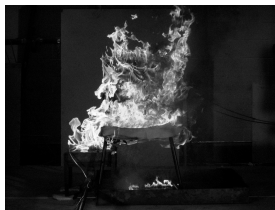
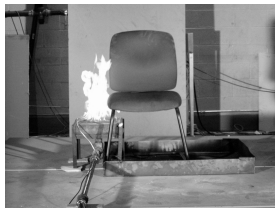
tempo (secondi)	1000	1200	1300	1360	1500	1750	2000	2100	2250	2440
HRR (L/W)	720	780	750	780	570	505	425	385	425	305

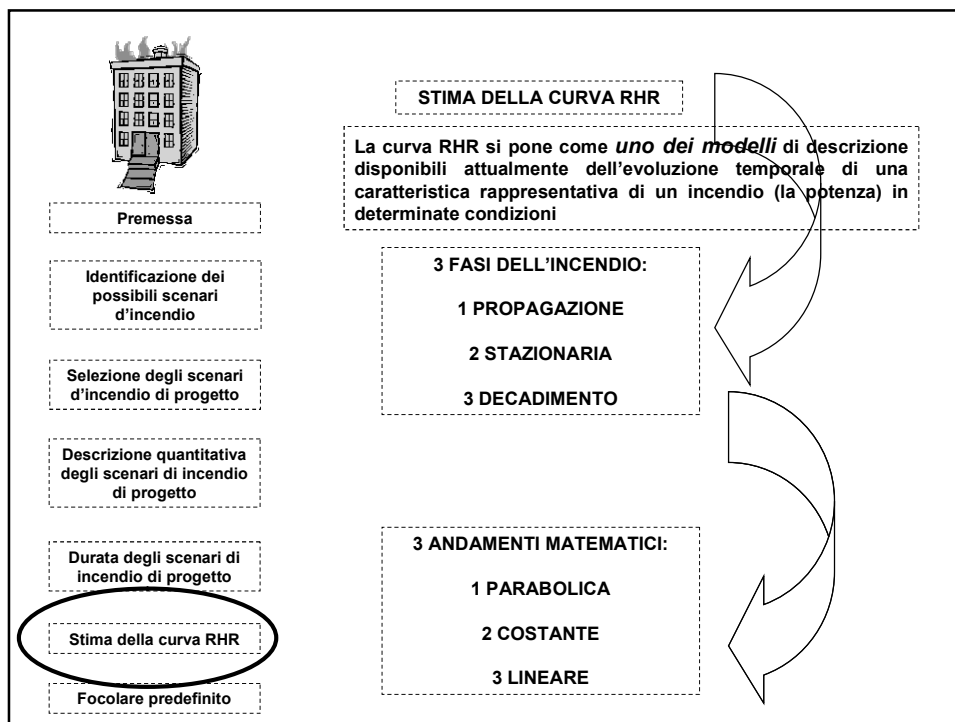
tempo (second)	1000	1200	1300	1360	1500	1750	2000	2100	2250	2440
HRR (kW)	720	780	750	780	570	505	425	383	425	305

Divano



Sedia





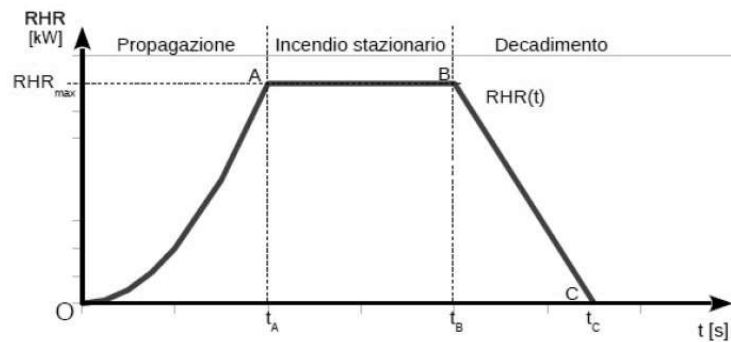
RHR

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

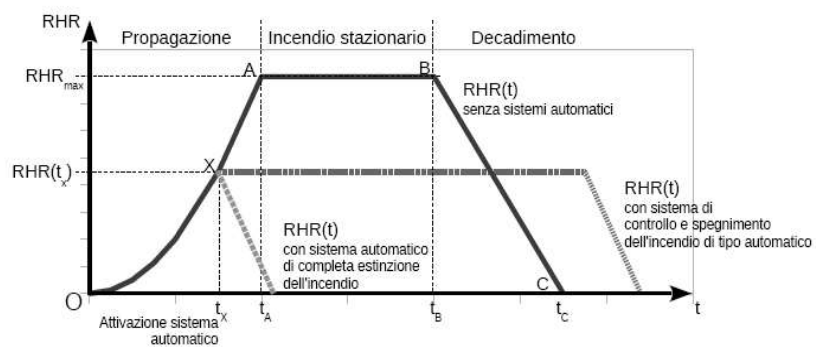
$RHR(t)$	Potenza termica rilasciata dall'incendio (kW)
$V_{c,i}$	Velocità di combustione dell'i-esimo materiale combustibile (kg/s)
H_i	Potere cal. inferiore dell'i-esimo materiale combustibile (kJ/kg)

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

Curva RHR



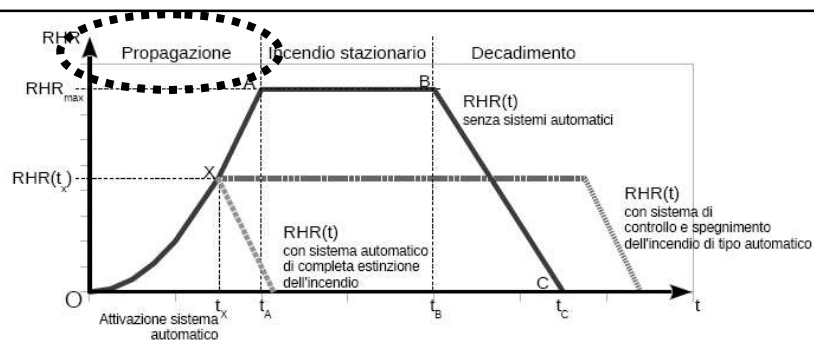
RHR & impianti



Fase di crescita

$$RHR(t) = V_c(t) H = \alpha t^2$$

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



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:

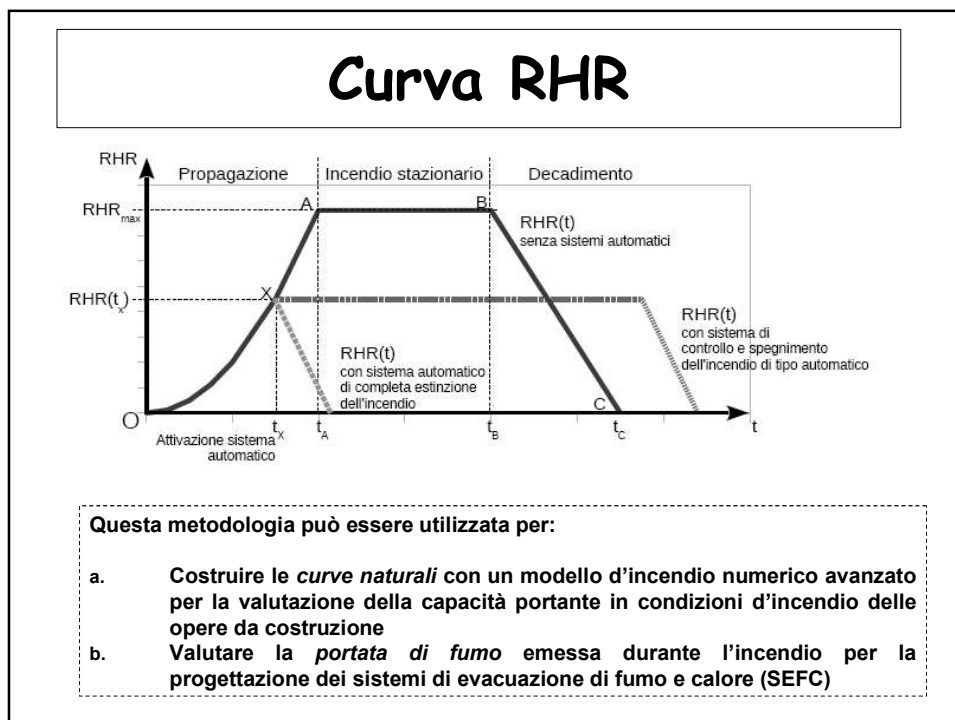
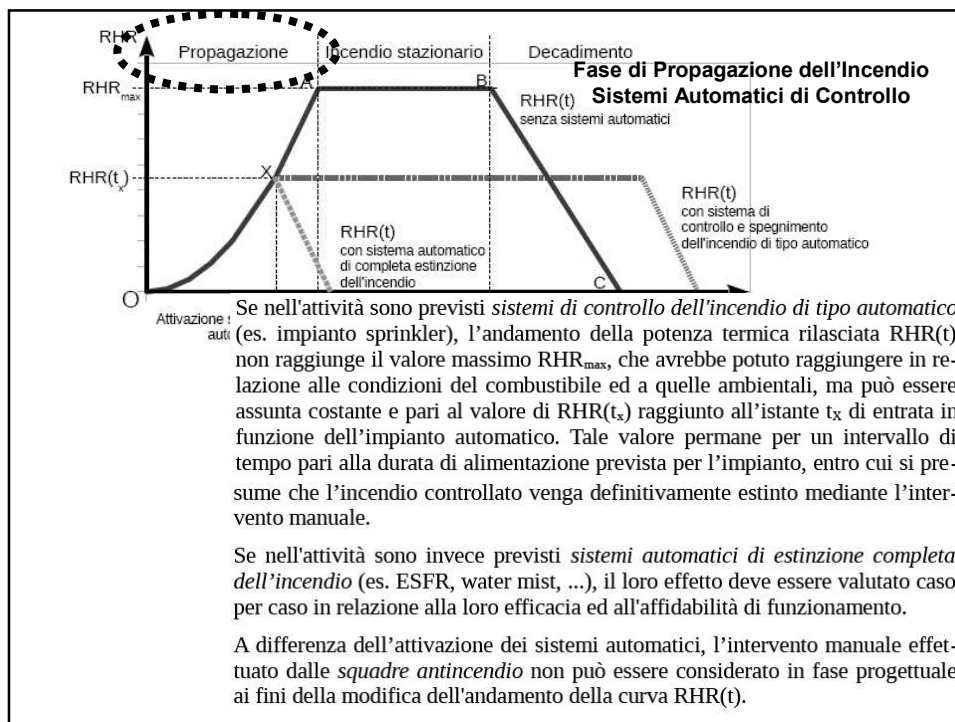
$$RHR(t) = 1000 \left(\frac{t}{t_g} \right)^2 \quad \text{per } t < t_A$$

dove:

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

t tempo [s]

t_g tempo necessario affinché la potenza termica rilasciata raggiunga il valore di 1000 kW, come definito nel capitolo G.3. [s]



Curva RHR

Fase di Stazionarietà dell'Incendio

Nella maggioranza dei casi l'energia termica potenzialmente contenuta nel compartimento antincendio è sufficiente a produrre la condizione di *flashover* e si ipotizza che, anche dopo il *flashover*, la curva cresca con andamento ancora proporzionale a t^2 fino al tempo t_A che corrisponde alla massima potenza RHR_{max} rilasciata dall'incendio nello specifico compartimento antincendio.

Se nell'attività non sono previsti impianti di controllo o estinzione automatica dell'incendio, si suppone che dal tempo t_A fino a t_B la potenza termica prodotta dall'incendio si stabilizzi al valore massimo RHR_{max} :

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

Fase stazionaria

A parità di carico di incendio in quanto a distribuzione e caratteristiche, la modalità con cui avviene la combustione dipende dalla configurazione del locale e può svilupparsi secondo *due diversi meccanismi*.

RHR max con *incendio controllato dal combustibile* (*fuel control*)

RHR max con *incendio* si dice *controllato dalla ventilazione* (*ventilation control*)

Curva RHR

Fase di Stazionarietà dell'Incendio

Se lo sviluppo dell'incendio risulta *controllato dal combustibile*, come accade *all'aperto* o in edifici con *elevata superficie di ventilazione*, il valore di RHR_{max} può essere fornito dalla seguente espressione:

$$RHR_{max} = RHR_f A_f$$

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/m²]

A_f superficie lorda del compartimento in caso di distribuzione uniforme del carico d'incendio, oppure superficie lorda effettivamente occupata dal combustibile [m²]

Curva RHR

Fase di Stazionarietà dell'Incendio

Se lo sviluppo dell'incendio risulta *limitato dal valore della superficie di ventilazione*, come generalmente si verifica in edifici con superficie di *ventilazione ordinaria*, allora il valore di RHR_{max} deve essere ridotto in conseguenza della quantità di comburente disponibile che può affluire dalle superfici di ventilazione presenti nella fase di post-flashover. In tal caso, se le pareti del compartimento presentano solo aperture verticali, è possibile determinare il valore di RHR_{max} ridotto tramite la seguente espressione semplificata:

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

Curva RHR

Fase di Stazionarietà dell'Incendio

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

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 [m²]

Fase di decadimento

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

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

dove:

t_c tempo con potenza termica rilasciata dall'incendio nulla [s]

Durante la fase di decadimento l'andamento della potenza prodotta dall'incendio è lineare e quindi:

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

Focolare predefinito

Premessa

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

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio t_e	150 s (fast)	75 s (ultra-fast)
RHR _{max} totale	5 MW	50 MW
RHR _{max} per m ² di superficie del focolare	250-500 kW/m ² [1]	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_{CO_2}	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua Y_{H_2O}	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] "CVM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code
 [4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4^a 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_{CO_2} e Y_{H_2O} , si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico $CH_2O_{0,6}$.

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

Soot yield y_s

Massa di particolato generato per unità di massa di combustibile bruciato

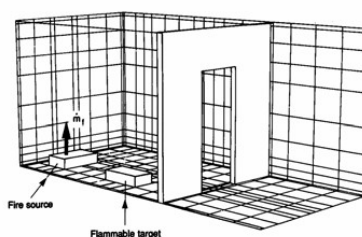
$$m_{soot} = y_s \times m_{fuel}$$

Pre-Flashover Soot Yield Value (kg _{soot} /kg _{fuel})	Post-Flashover Soot Yield Value (kg _{soot} /kg _{fuel})	Description
0.20	0.40	100% polyurethane
0.11	0.22	50% polyurethane, 50% wood
0.015	0.030	100% wood

La scelta del rateo di produzione del particolato rappresenta un momento di criticità: infatti, la combustione di un modesto quantitativo di materiale plastico, es. televisore o poltrona, dal punto di vista della diffusione dei fumi in fase pre-flashover, è importante nell'esodo, infatti le conseguenze sono molto più gravose di un incendio di legno o carta con livelli di picco termico anche molto maggiori.

RHR

L'incendio si schematizza come una sorgente di tipo volumetrico, ossia una sorta di **bruciatore che rilascia calore** (Heat Release Rate - HRR) e **quantità di particolato** (soot) e di gas. I valori assunti dal progettista per la costruzione della curva HRR per un dato scenario devono essere opportunamente giustificati. L' HRR rappresenta la "carta di identità" dell'incendio ed è il parametro di input principale per i software di simulazione degli incendi.



Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale

ALLEGATO M3



Obiettivi

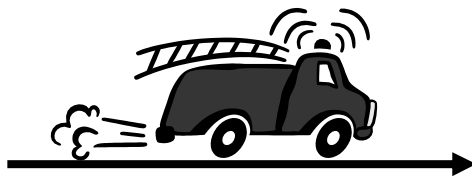
Nell'applicazione della FSE per la **salvaguardia della vita**, gli obiettivi del professionista antincendio possono essere:

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 prodotti dell'incendio;

la dimostrazione della possibilità per i **soccorritori** di operare in sicurezza.



Sistema di esodo



Insieme delle *misure antincendio* di salvaguardia della vita che consentono agli occupanti di raggiungere un **luogo sicuro** in caso d'incendio (*a prescindere dall'intervento dei Vigili del Fuoco*).

Luogo sicuro

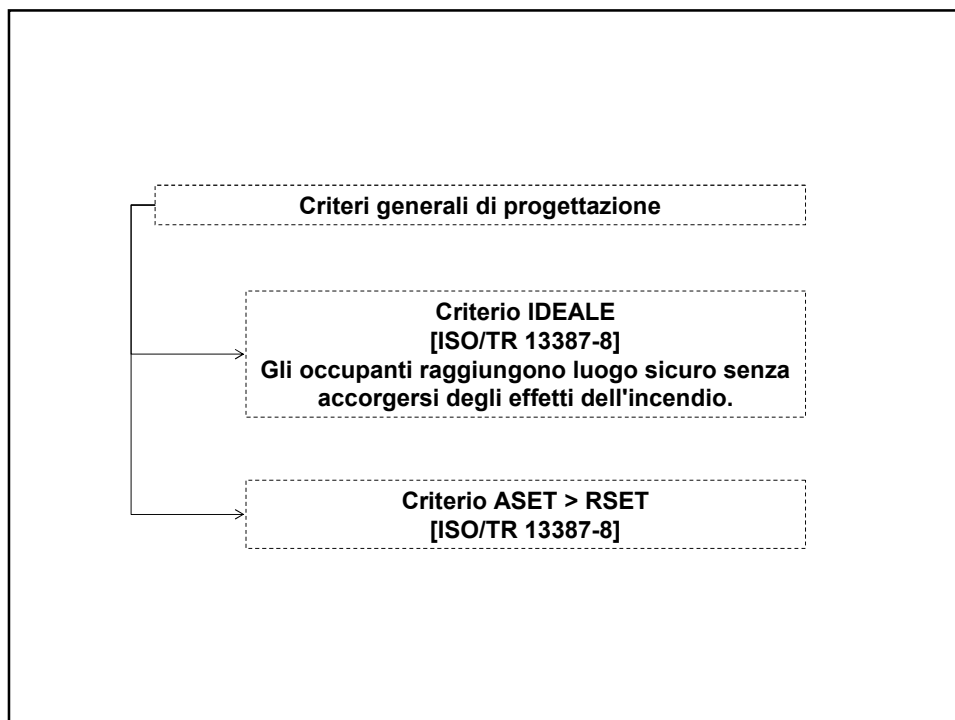
spazio scoperto esterno alla costruzione sicuramente collegato alla pubblica via in ogni condizione d'incendio, che non sia investito da prodotti della combustione, in cui non vi sia pericolo di crolli.



Il luogo sicuro deve essere contrassegnato con cartello UNI EN ISO 7010-E007

Progettazione





Criterio ASET RSET

ISO/TR 13387-8 ha introdotto 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 è superiore al tempo necessario perché essi possano raggiungere un luogo sicuro, non soggetto a tali condizioni ambientali sfavorevoli dovute all'incendio.

ASET RSET

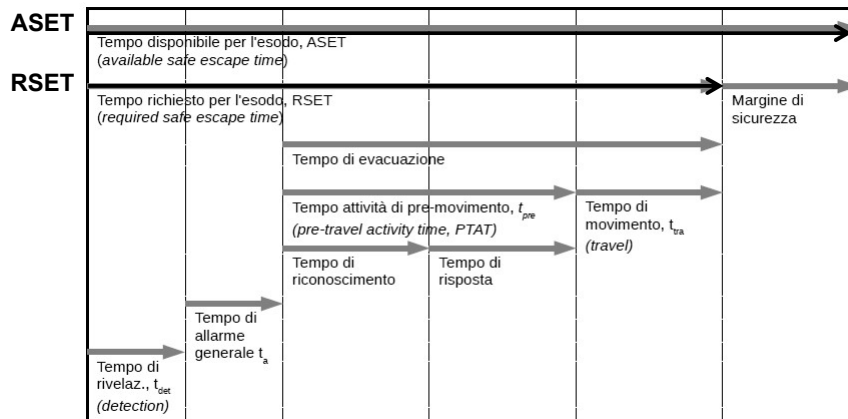


Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET ed RSET da ISO/TR 13387-8

Margine di sicurezza

Il codice

A meno di specifiche valutazioni si assume

$$t_{\text{marg}} \geq 100\% * \text{RSET}$$

In caso di specifiche valutazioni sull'affidabilità dei dati di input impiegati nella progettazione prestazionale, è consentito assumere

$$t_{\text{marg}} \geq 10\% * \text{RSET}.$$

In ogni caso $t_{\text{marg}} \geq 30 \text{ sec}$

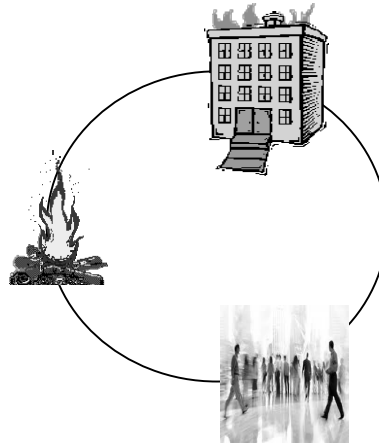
ASET

ASET, dipende strettamente dalle interazioni nel sistema:

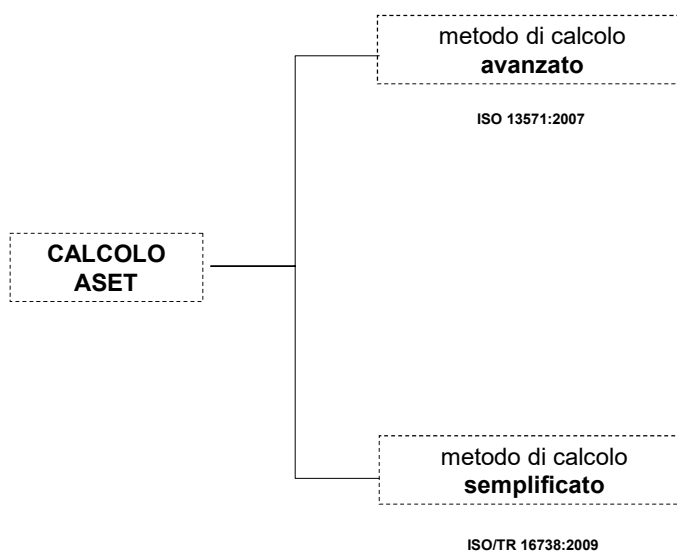
L'**incendio** si innesca, si propaga e diffonde nell'edificio i suoi prodotti, fumi e calore.

L'**edificio** resiste per mezzo delle misure protettive attive e passive: impianti antincendio, compartimenti, sistemi di controllo dei fumi.

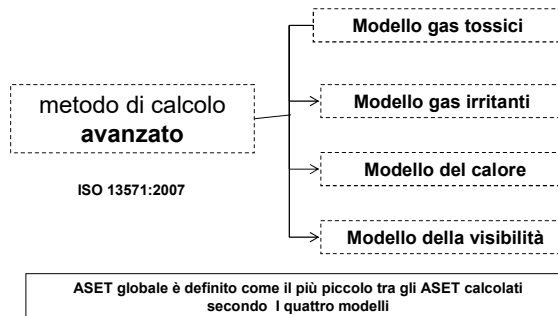
Gli **occupanti** sono esposti agli effetti dell'incendio in relazione alla attività che svolgono, alla loro posizione iniziale, al loro **percorso** nell'edificio.



Calcolo di ASET



ASET



Esposizione

Verifica esposizione **gas tossici** (FED - Fractional Effective Dose)
Verifica esposizione **gas irritanti** (FEC - Fractional Effective Concentration)
Verifica esposizione **calore** (X_{FED})

Modello gas tossici

Exposure dose

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;

X_{FED} (Fractional effective dose)

Exposure dose/Dose incapacitante del gas tossico;



$X_{FED} = 1$, il soggetto medio è sicuramente incapacitato

Modello gas irritanti

Il modello dei gas irritanti impiega il concetto di *FEC*, *fractional effective concentration*.

La *FEC* è definita come il rapporto tra la concentrazione di un gas irritante disponibile per inalazione e la concentrazione dello stesso gas che determina effetti incapacitanti sul soggetto medio esposto.

Ipotesi semplificative

L'irritazione è diretta ed istantanea, accade al primo contatto, **non c'è accumulo**.

Esiste additività diretta tra gli effetti degli irritanti.

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

Al fine di semplificare l'analisi, qualora 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...) la verifica del modello dei gas irritanti può essere omessa.

Modello calore

Relazioni [ISO 13571:2007]

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

I valori di t_{Irad} e t_{Iconv} sono i *tempi di incapacitazione* per calore **radiante** e calore **convettivo** calcolati con altre relazioni in funzione del tipo di abiti dei soggetti, reperibili nella norma ISO 13571:07.

Modello calore semplificato

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

- a. irraggiamento sugli occupanti $\leq 2,5 \text{ kW/m}^2$;
- 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 oscuramento

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.



Apparecchio per vie di fuga scarsamente luminoso.

La diminuzione della **visibilità** è causata dalla presenza dei fumi ed influisce sulla capacità degli occupanti di raggiungere un luogo sicuro. I fattori che peggiorano la visibilità includono l'ammontare di particolato (**soot**) nel campo visivo e l'effetto fisiologico sull'occhio.

La visibilità ammessa lungo le vie di esodo deve essere definita per un certo **periodo di tempo** e relativamente alla quota cui sono posizionate le segnalazioni che indicano il percorso d'esodo.

Visibilità

Per legare il valore della visibilità L alla **smoke aerosol mass concentration**, si ricorre a correlazioni sperimentali quali la legge di Bouguer si può affermare che:

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

- L visibilità espressa in metri,
- C costante adimensionale
3 per cartellonistica di esodo riflettente non illuminata
8 per cartellonistica retroilluminata,
- σ coefficiente massico di estinzione della luce pari a $10 \text{ m}^2/\text{g}$
- ρ_{smoke} **smoke aerosol mass concentration** in g/m^3 .

ASET

metodo di calcolo
semplificato

Zero exposure

ISO/TR 16738:2009

Prestazione	Soglia di prestazione
Altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata	Occupanti: 2 m
	Soccorritori: 1,5 m
Temperatura media dello strato di fumi caldi	Occupanti: 200°C
	Soccorritori: 250°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 è tenuto a verificare che tale condizione si verifichi.
metodo di calcolo semplificato

Soglie di prestazione

Le soglie di prestazione per la salvaguardia della vita determinano **l'incapacitazione** degli occupanti e dei soccorritori quando sottoposti agli effetti dell'incendio.

Il professionista antincendio sceglie idonee soglie di prestazione per la specifica attività, in relazione agli scenari di incendio di progetto, ed in particolare in riferimento alle caratteristiche degli occupanti coinvolti (es. anziani, bambini, disabilità, ...).

Il rispetto delle soglie di prestazione per la salvaguardia della vita deve essere verificato per:

- occupanti**
- soccorritori**



Metodi avanzato

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione
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 ² : 5 m
		Soccorritori: 5 m Soccorritori in locali di superficie lorda < 100m ² : 2,5 m
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> massima di esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,3
		Soccorritori: nessuna valutazione
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C
		Soccorritori: 80°C
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m ²
		Soccorritori: 3 kW/m ²

Metodi semplificato

Prestazione	Soglia di prestazione
Altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata	Occupanti: 2 m
	Soccorritori: 1,5 m
Temperatura media dello strato di fumi caldi	Occupanti: 200°C
	Soccorritori: 250°C

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

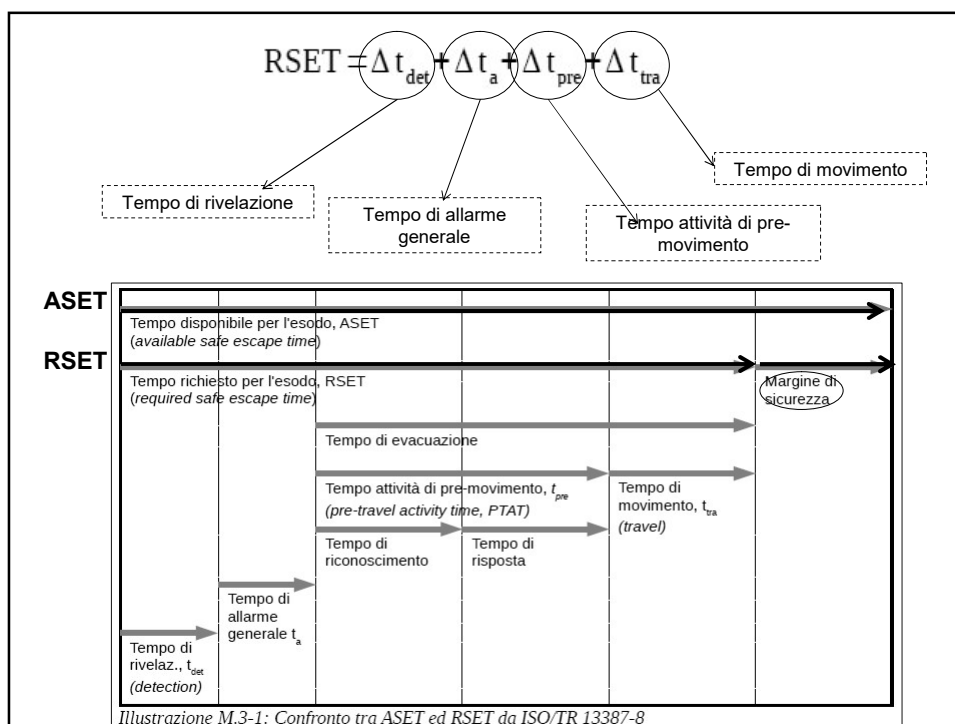
del **sistema**

Incendio

Edificio

occupanti

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



Tempo di rivelazione Δt_{det}

Il *tempo di rivelazione* Δt_{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 allarme Δt_a

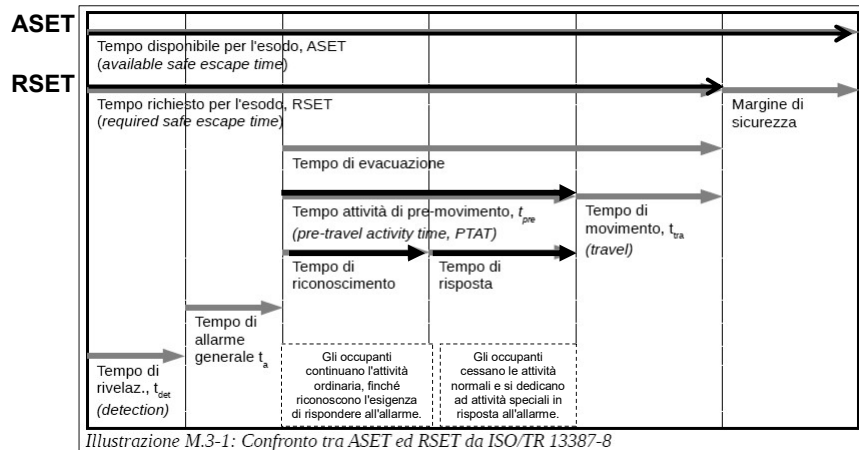
Il *tempo di allarme generale* è il tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti, l'allarme generale.



- pari a zero**, quando la rivelazione attiva direttamente l'allarme generale dell'edificio;
- 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 pre_movimento Δt_{pre}



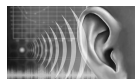
Tempo pre_movimento Δt_{pre}

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, finché 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.

Pre_movimento Δt_{pre}



Parametri di descrizione dell'attività secondo ISO TR 16738:2009	Tempi di attività di pre-movimento ISO TR 16738:2009	
	$\Delta t_{pre} (1st)$ primi occupanti in fuga	$\Delta t_{pre} (99th)$ ultimi occupanti in fuga
Esempio 1: albergo di media complessità - occupanti: <i>Citi, sleeping and unfamiliar</i>; - sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; - complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout semplice</i>; - gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>.	20'	40'
Esempio 2: grande attività produttiva - occupanti: <i>A, awake and familiar</i>; - sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; - complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout complesso</i>; - gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>.	1' 30"	3' 30"
Esempio 3: residenza sanitaria assistenziale - occupanti: <i>D, sleeping and unfamiliar</i>; - sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; - complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout semplice</i>; - gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>; - presenza di addetti in quantità sufficiente a gestire l'evacuazione dei diversamente abili.	10'	20'

Tabella M.3-1: Esempi di valutazione del tempo di pre-movimento, secondo ISO TR 16738:2009

Tempo di movimento Δt_{trav}

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

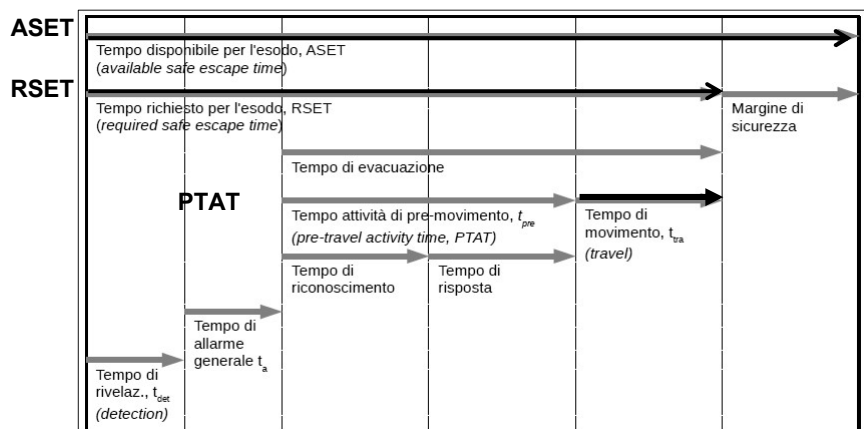


Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET ed RSET da ISO/TR 13387-8

Tempo di movimento Δt_{trav}

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 dalle vie d'esodo.
- le velocità d'esodo, dipende dalla tipologia degli occupanti e dagli effetti dell'incendio.
- la portata delle vie d'esodo, dovuta a geometria, dimensioni
- i comportamenti delle persone

Fattori dipendono da:



EDIFICIO



OCCUPANTI



Tempo di movimento

Tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro.



$$t = L / V$$

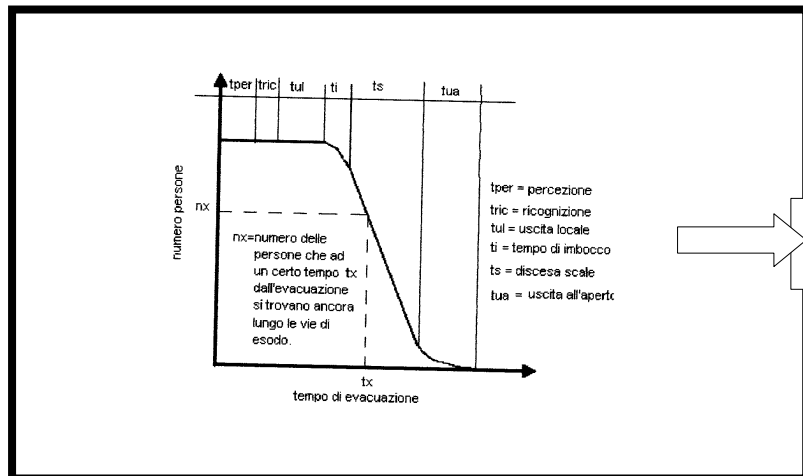


Velocità di esodo

- Capacità motorie occupanti
- Affollamento
- Illuminazione
- Smoke
- Geometria percorsi di esodo;
- Assistenza all'esodo



Processo di evacuazione



Modelli calcolo tempo esodo

Attualmente si impiegano comunemente due famiglie di modelli per il calcolo del tempo di movimento:

MODELLI IDRAULICI E MODELLI AGENT BASED.

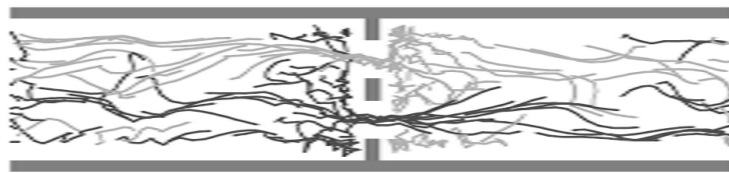
I modelli idraulici predicono con ragionevole precisione alcuni aspetti del movimento degli occupanti, ma non includono fattori importanti del comportamento umano, come la familiarità con l'edificio, le interazioni persona-persona e l'effetto del fumo sul movimento.

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.

Modelli di calcolo esodo

1. **modelli basati sul movimento**, nei quali non è possibile descrivere il comportamento delle persone che sono genericamente rappresentate con una figura geometrica.
2. **modelli parzialmente comportamentali**, in cui il comportamento dell'occupante può essere implicitamente modellato;
3. **modelli comportamentali**, in cui la capacità decisionale del singolo occupante ed il conseguente comportamento possono essere *pienamente simulati*.

Modello idraulico



Per il calcolo del tempo di movimento si impiega il modello idraulico, per calcolare in modo deterministico il tempo di movimento degli occupanti in relazione alle geometrie del sistema di esodo.

Si tratta di un modello di flusso che permette di determinare i tempi di movimento, impiegando una serie di espressioni che correlano dati sperimentali ad approssimazioni idrauliche del moto degli occupanti.

Procedimento

