



CORSO FIRE SAFETY ENGINEERING

FSE PER LA SALVAGUARDIA DELLA VITA UMANA (ESODO)

E PER LA VERIFICA DELLA RESISTENZA AL FUOCO DELLE STRUTTURE

Dott. Pietro Monaco

Agenda

- Finalità dell'esodo
- Caratteristiche dei modelli di esodo
- Scenari e valori limite
- ASET
- RSET

1. La finalità del *sistema d'esodo* è di assicurare che gli occupanti dell'attività possano raggiungere un *luogo sicuro* o permanere al sicuro, autonomamente o con assistenza, prima che l'incendio determini condizioni *incapacitanti* negli ambiti dell'attività ove si trovano.

Nota Gli occupanti raggiungono l'*incapacitazione* quando diventano inabili a mettersi al sicuro a causa degli effetti dell'incendio (capitolo M.3).

2. Il sistema d'esodo deve assicurare la prestazione richiesta a prescindere dall'intervento dei Vigili del fuoco.

Nota Ad esempio, la funzione richiesta agli *spazi calmi* è quella di consentire agli occupanti di attendere l'assistenza dei soccorritori per completare l'esodo verso luogo sicuro.

3. Le modalità previste per l'*esodo* sono le seguenti:

- a. *esodo simultaneo*;
- b. *esodo per fasi*;

Nota L'esodo per fasi si attua ad esempio in: edifici di grande altezza, ospedali, multisale, centri commerciali, grandi uffici, attività distribuite, attività con profilo di rischio $R_{ambiente}$ significativo, ...

- c. *esodo orizzontale progressivo*;

Nota L'esodo orizzontale progressivo si attua ad esempio nei reparti di degenza degli ospedali.

- d. *protezione sul posto*.

Nota La protezione sul posto si attua ad esempio in: centri commerciali, mall, aerostazioni, ...

4. Il presente capitolo non tratta le tematiche riguardanti la *gestione della folla*.

Nota Le definizioni di *esodo simultaneo*, *esodo per fasi*, *esodo orizzontale progressivo*, *protezione sul posto*, *gestione della folla* sono reperibili nel capitolo G.1.

Secondo il Codice, la finalità del sistema d'esodo è di assicurare che gli occupanti del compartimento di primo innesco possano raggiungere o permanere in un *luogo sicuro*, consentendo loro di uscire prima che le condizioni diventino non tenibili.

L'esodo, pertanto, ha come primo obiettivo di sicurezza di poter offrire agli occupanti di raggiungere un *luogo sicuro temporaneo* (compartimento adiacente o spazio scoperto) dal quale, con "calma", essi potranno raggiungere un *luogo sicuro* o saranno altrimenti soccorsi.



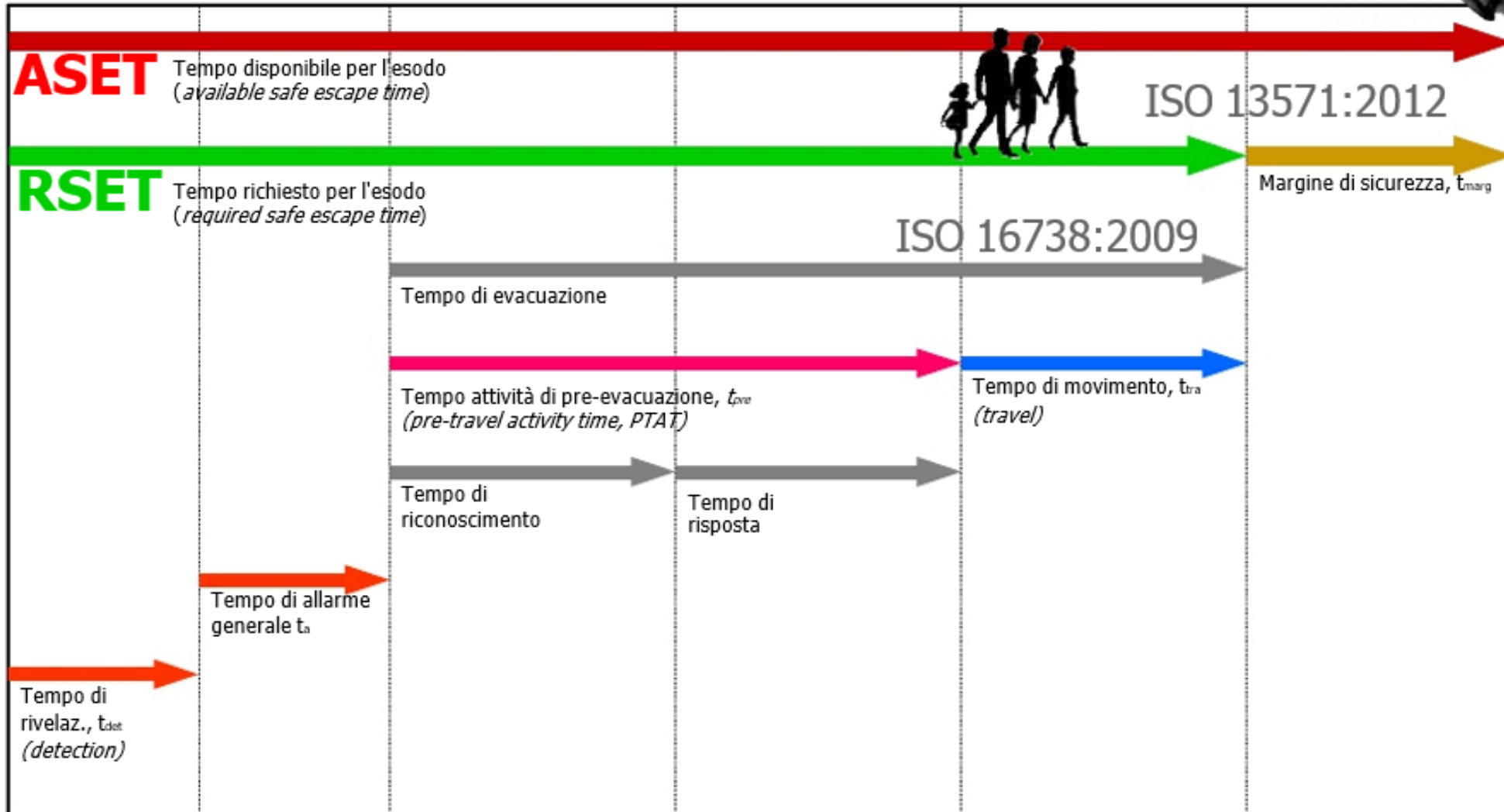
FINALITÀ DEL SISTEMA D'ESODO

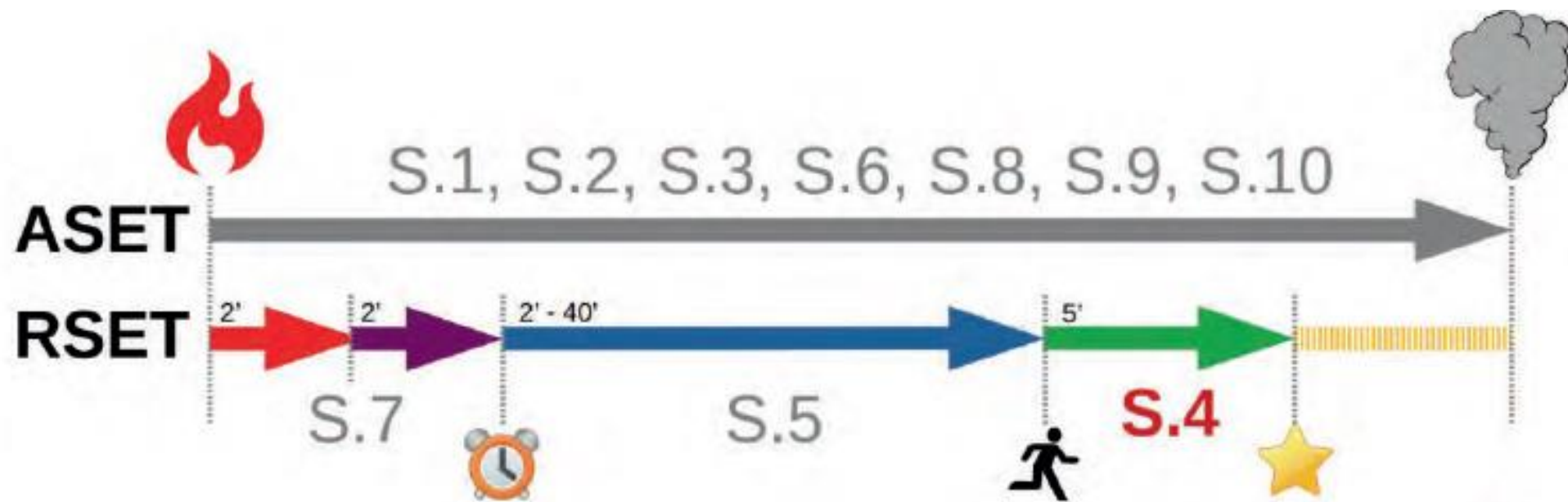




Stato dell'arte

ASET > RSET





INCIDENZA DELLA MISURA ESODO NELL'AMBITO DELLA STRATEGIA ANTINCENDIO

Criteria generali di sicurezza per le vie di uscita

Il punto 3.3 dell'allegato III del DM 10 marzo 1998 indica i criteri per stabilire se le vie di uscita presenti in un determinato luogo sono adeguate all'uso e prescrive che:

- a) ogni luogo di lavoro deve disporre di vie di uscita alternative, ad eccezione di quelli di piccole dimensioni o dei locali a rischio d'incendio medio/basso;
- b) ciascuna via di uscita deve essere indipendente dalle altre e distribuita in modo che le persone possano ordinatamente allontanarsi da un incendio;
- c) dove è prevista più di una via di uscita, la lunghezza del percorso per raggiungere la più vicina uscita di piano non dovrebbe essere superiore ai seguenti valori:
 - 15 - 30 metri (tempo max di esodo 1 minuto) per aree a rischio d'incendio elevato;
 - 30 - 45 metri (tempo max di esodo 3 minuti) per aree a rischio d'incendio medio;
 - 45 - 60 metri (tempo max di esodo 5 minuti) per aree a rischio d'incendio basso.
- d) le vie di uscita devono sempre condurre ad un luogo sicuro;
- e) i percorsi di uscita in un'unica direzione (per quanto possibile) devono essere evitati; e nel caso in cui tale condizione non può essere soddisfatta, la distanza da percorrere fino ad una uscita di piano ⁽³³⁾ o fino al punto dove inizia la disponibilità di due o più vie di uscita, non dovrebbe eccedere da:
 - 6 - 15 metri (tempo max = 30 secondi) per aree a rischio elevato;
 - 9 - 30 metri (tempo max = 1 minuto) per aree a rischio medio;
 - 12 - 45 metri (tempo max = 3 minuti) per aree a rischio basso.
- f) quando una via di uscita comprende una porzione del percorso unidirezionale, la lunghezza totale del percorso non potrà superare i limiti imposti alla lettera c)
- g) le vie di uscita devono disporre di una larghezza sufficiente, in relazione al numero massimo delle persone che possono essere presenti sul luogo di lavoro; tale larghezza va misurata nel punto più stretto del percorso;

DEFINIZIONE FIRE SAFETY ENGINEERING

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

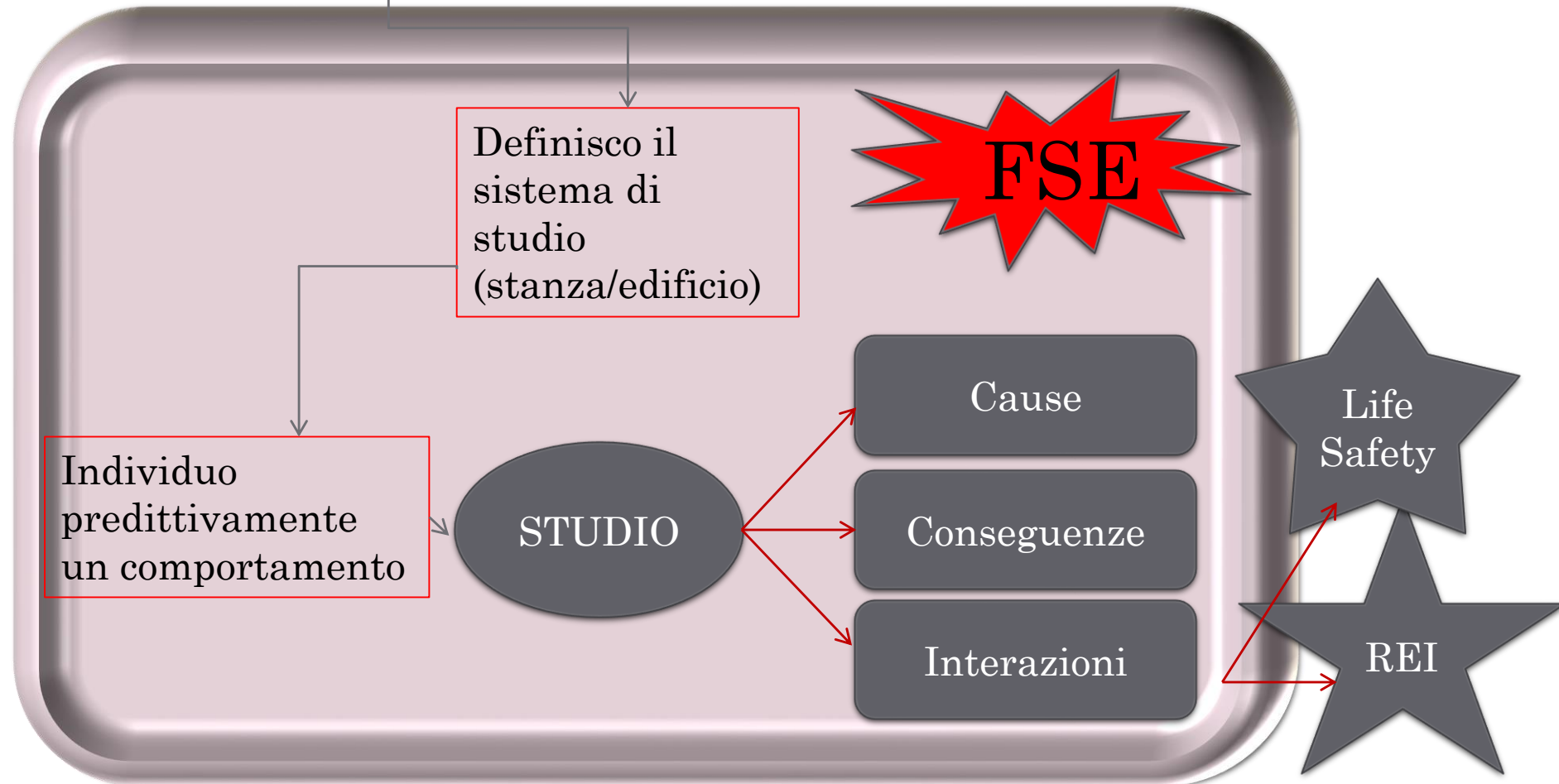
*Applicazione di principi ingegneristici, di regole e di giudizi esperti basati sulla **valutazione scientifica** del fenomeno della combustione, degli **effetti dell'incendio e del comportamento umano**, finalizzati alla tutela della vita umana, alla protezione dei beni e dell'ambiente, alla quantificazione 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, secondo le indicazioni del capitolo M.1 Codice di prevenzione incendi o ai sensi del D.M. 9 maggio 2007.*

Essa è stata definita per la prima volta in modo ufficiale con il documento **ISO** (International Standard Organization) **TR 13387 (Fire Safety Engineering)**.

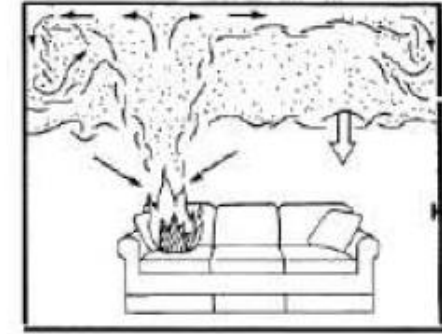
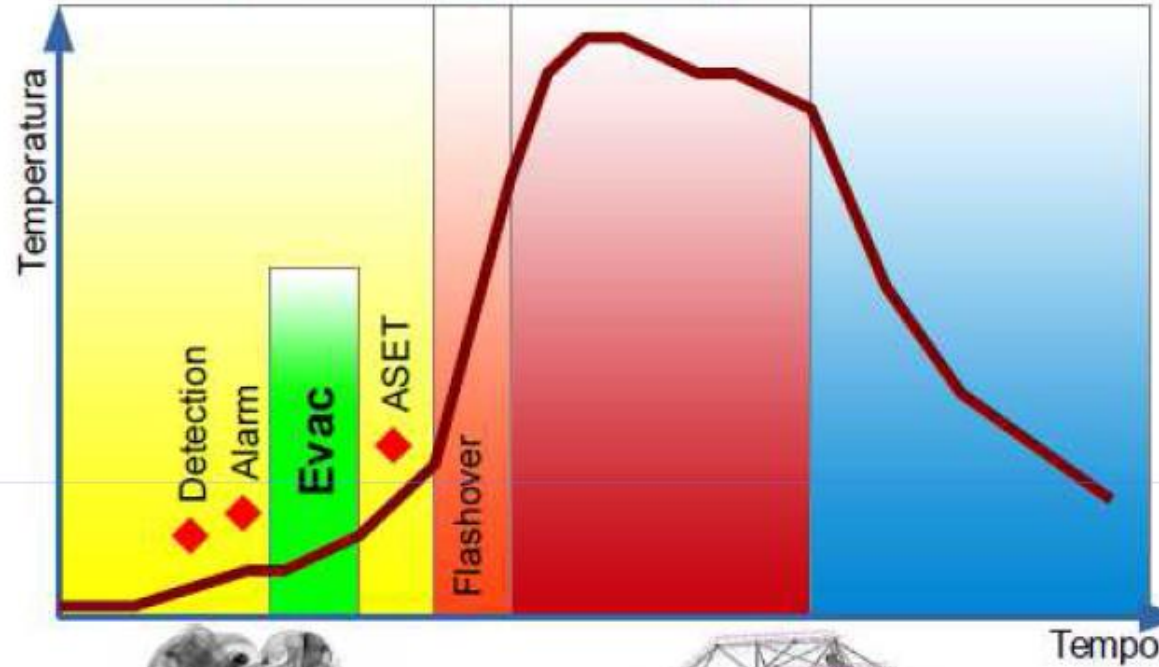
IN COSA CONSISTE L'FSE

Leggi della
chimica e della
fisica

si descrive il
comportamento
della realtà



Tipologie di problemi per la FSE



Col metodo FSE si possono risolvere due tipologie di problemi:

- **Salvaguardia della vita**
Problema pre-flashover, dipende essenzialmente dal movimento di fumi e calore nell'edificio ed è legato in prima approssimazione all'HRR ed alla qualità del focolare
- **Stabilità strutturale**
Problema post-flashover, dipende essenzialmente dal cimento termico della struttura cioè dall'energia prodotta dall'incendio (carico d'incendio) e dalle condizioni di ventilazione



Salvaguardia vita



Stabilità strutturale

POSSIBILI APPLICAZIONI

Si possono citare almeno quattro possibili applicazioni immediate:

DM
09/05/2007

- progettazione della sicurezza di **attività civili complesse** per le quali non esistano norme di riferimento
- possibilità di **valutare** le pratiche di **deroga**. L'ipotesi di adottare una misura in luogo di un'altra potrà infatti essere misurata e quindi pesata secondo criteri oggettivi (Life Safety)

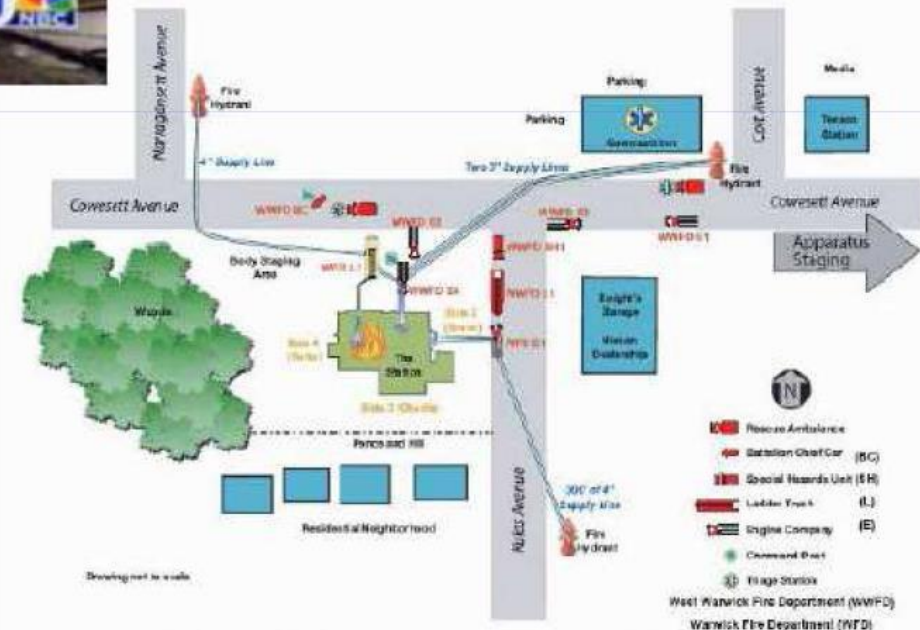
DM
18/10/2019

- **Soluzione alternativa** : dimostrazione del raggiungimento del collegato livello di prestazione impiegando uno dei metodi di progettazione della sicurezza antincendio ammessi.
- valutazione dei **piani di emergenza**, in quanto è possibile seguire l'andamento di un incendio e la propagazione dei prodotti della combustione, e conoscere istante per istante la percentuale di sopravvivenza di una persona in un ambiente
- **investigazione** delle **cause di incendio**, mediante la ricostruzione delle fasi dell'incendio e la verifica o l'esclusione delle varie ipotesi incidentali.

Investigazione delle cause di incendio Rhode Island station



**Caso di studio:
The Station nightclub fire**

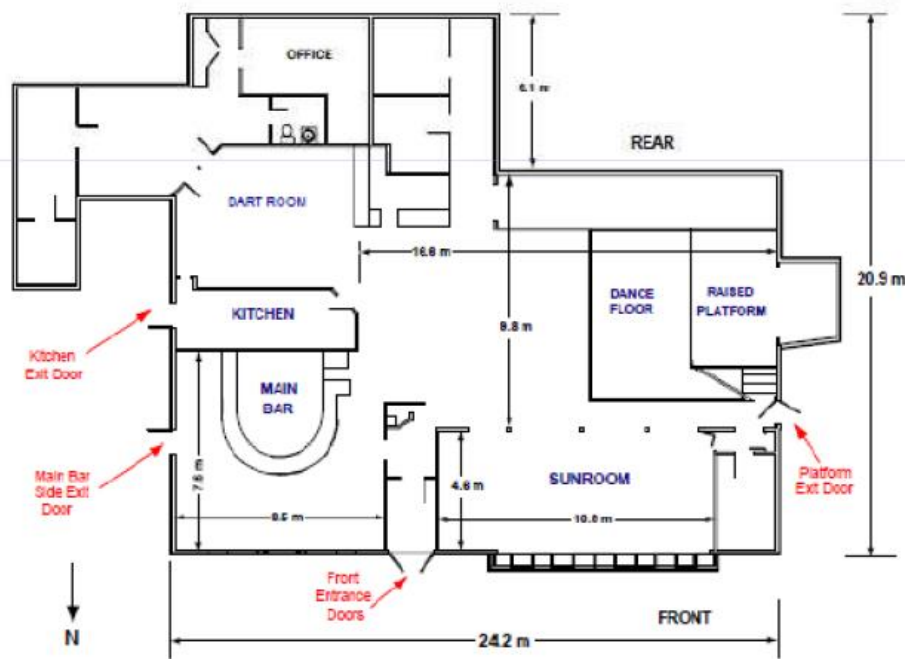
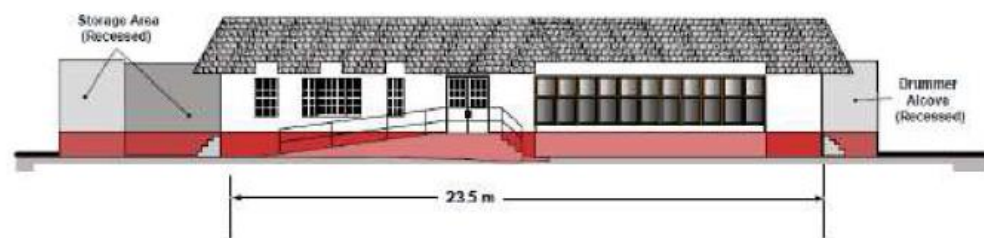


Investigazione delle cause di incendio Rhode Island station



Investigazione delle cause di incendio Rhode Island station

La struttura



- Luogo: Rhode Island (USA)
- Costruito: 1946
- Ultima modifica: 1991
- Geometria:
 - ◆ Area: 375 mq (esclusi servizi)
 - ◆ Uscite: n°4 (120 cm)

Investigazione delle cause di incendio Rhode Island station

23 febbraio 2003

- 23 febbraio 2003, ore 23:07: una band suona.
- Sono presenti circa **460 persone**.
- Una troupe TV filma l'evento.
- **0" Innesco**: vengono accese fontane pirotecniche, che innescano lastre di PU
- **30" Esodo**: la band smette di suonare, il pubblico si accorge delle fiamme sul palco e comincia ad evacuare.
- **46" Allarme**: si attiva l'allarme antincendio

Investigazione delle cause di incendio Rhode Island station

Video evento

■ Link al video

Capacity Early indications are the club was within its capacity of 300, although numbers released by the governor's office show more than 340 were in the club. About 100 people had made it outside by the time firefighters arrived.

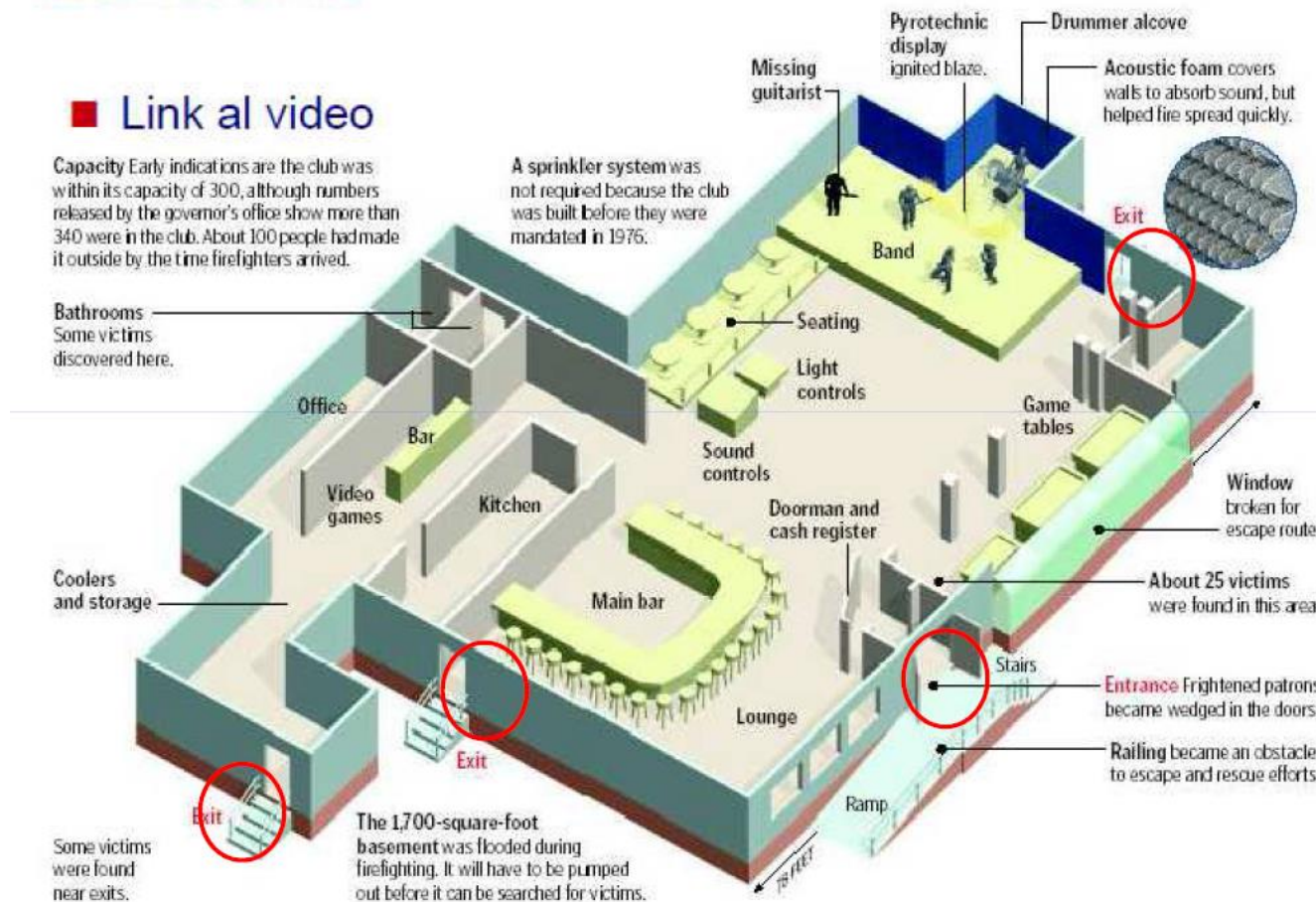
A sprinkler system was not required because the club was built before they were mandated in 1976.

Bathrooms Some victims discovered here.

Coolers and storage

Some victims were found near exits.

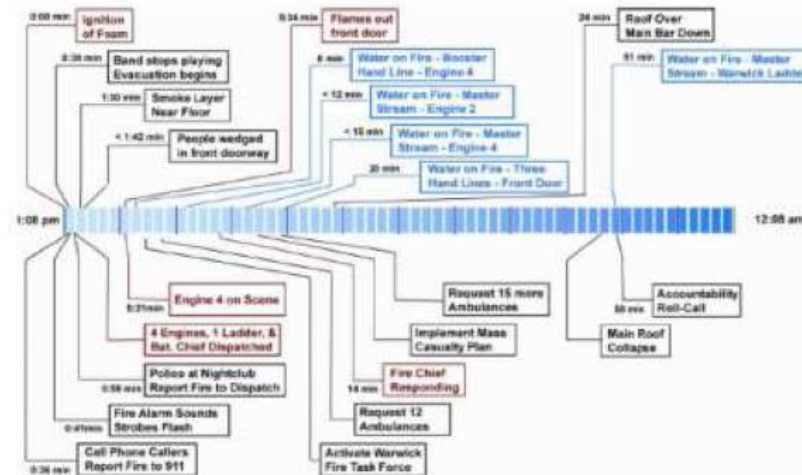
The 1,700-square-foot basement was flooded during firefighting. It will have to be pumped out before it can be searched for victims.



Investigazione delle cause di incendio Rhode Island station

23 febbraio 2003

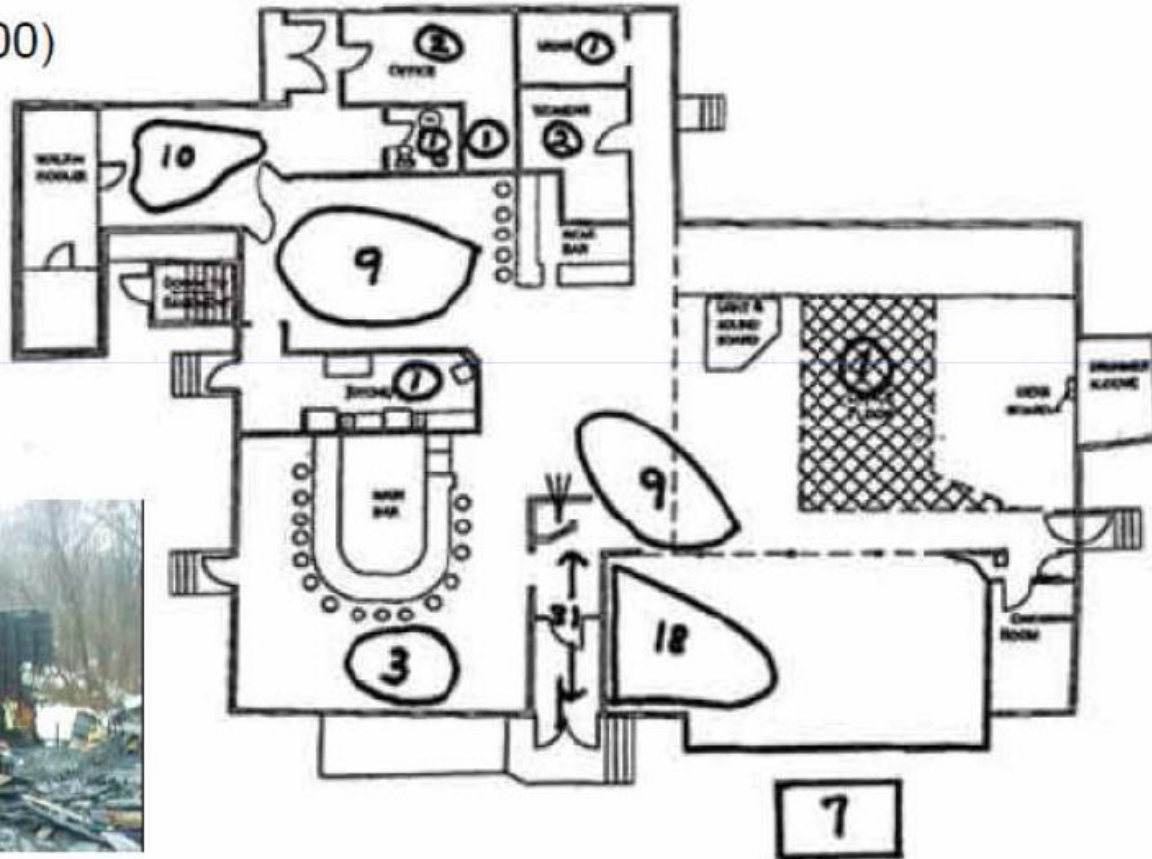
- **60" Soccorsi:** arrivano le chiamate al 911
- **90" Fumo:** il fumo è a 30 cm dal suolo.
- **100" Esodo:** la via d'esodo principale è bloccata
- **5' Flashover:** fiamme fuori dalle aperture.
- **6' Soccorsi:** arriva la prima squadra VVF.



Investigazione delle cause di incendio Rhode Island station

23 febbraio 2003

- 96 morti (100)
- 200 feriti



Investigazione delle cause di incendio Rhode Island station

Riflessioni sull'esodo

- Circa il **60%** degli occupanti tenta di uscire dalla porta di accesso principale.
- Il cameramen è esperto, scappa tra i primi, percorre 15 m in 1'11" ($v = 0,21 \text{ m/s}$)
DM 10/03/98: 30 m in 1'00" ($v = 0,50 \text{ m/s}$)
- A 100" la via d'esodo principale è **bloccata**.



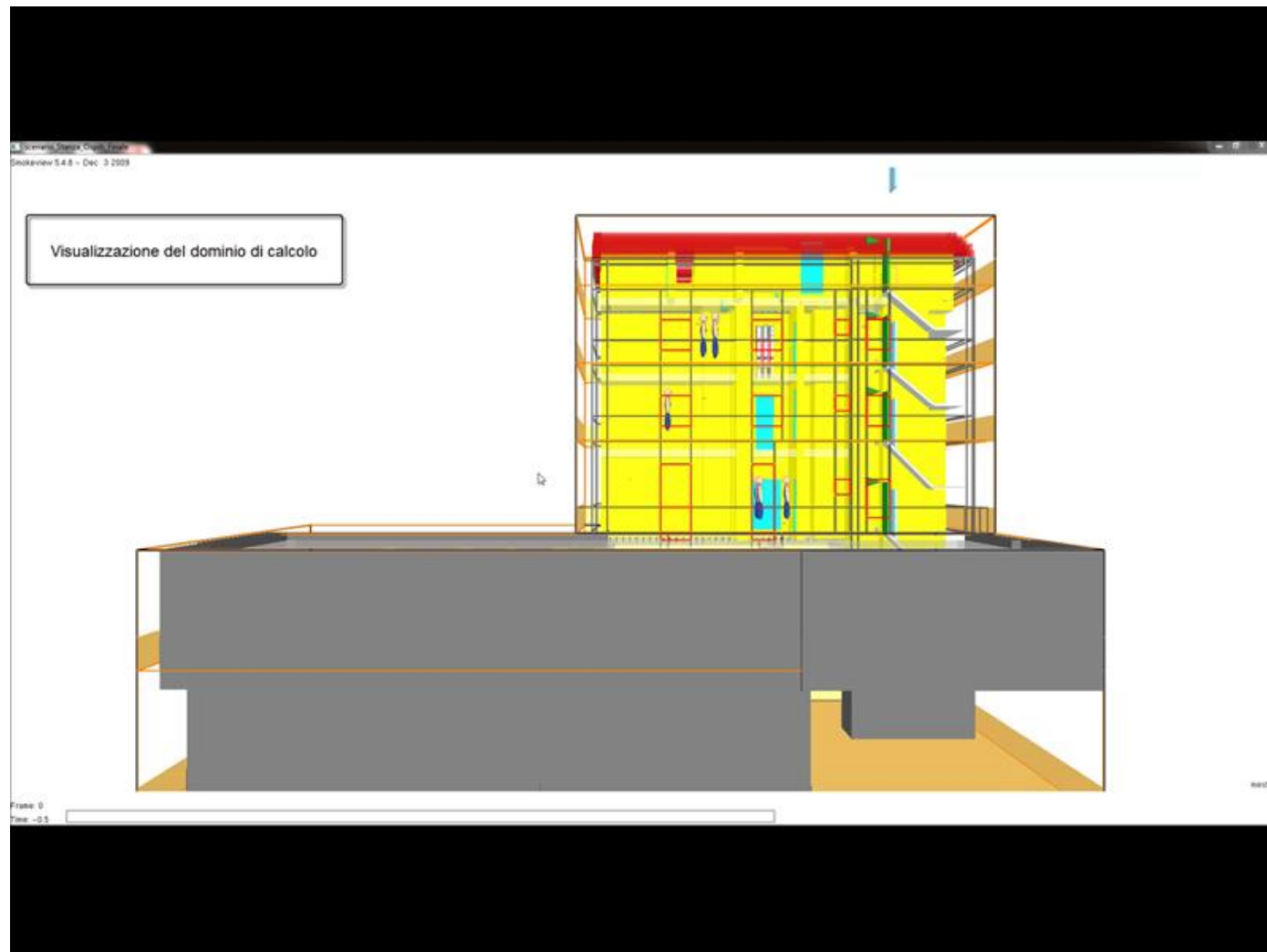
L'esodo non è
un **problema idraulico!**

Investigazione delle cause di incendio Rhode Island station

- [Rhode Island station nightclub fire](#) (100 morti)
- [Rhode Island Fire Simulazione evacuazione con EGREES](#)
- [Comparativa](#)
- [Presentazione](#)
- [Vol I NCSTAR2](#)
- [Vol II NCSTAR2](#)

FSE- Deroga

Parametri significativi



L'importanza della simulazione dell'esodo

- Con il termine **simulazione**, si intende generalmente la **realizzazione di un modello della realtà** che consente di valutare e prevedere lo svolgersi dinamico di una serie di eventi consequenziali all'imposizione di predeterminate condizioni al contorno.
- La **simulazione** è una **tecnica** molto importante di ricerca, forse la più **usata a supporto** di qualsiasi **processo decisionale**; negli ultimi anni è diventata un importante strumento di pianificazione con applicazioni molteplici in diversi ambiti, dall'economico-aziendale fino all'ingegneria ed alla gestione dell'esodo in emergenza.

L'importanza della simulazione dell'esodo - Vantaggi

La simulazione consente seppur con elevati oneri computazionali:

- Studio del comportamento del sistema nelle **condizioni presenti** od in **condizioni modificate**, senza modificarlo realmente;
- Soluzioni a problemi non affrontabili in altro modo, neanche attraverso la sperimentazione diretta;
- Riduzione di costi e tempi rispetto alla fase sperimentale;
- Maggior comprensione del fenomeno, ripetibilità e scalabilità;
- Sicurezza e legalità nella ricerca di soluzioni innovative.

L'importanza della simulazione dell'esodo - Svantaggi

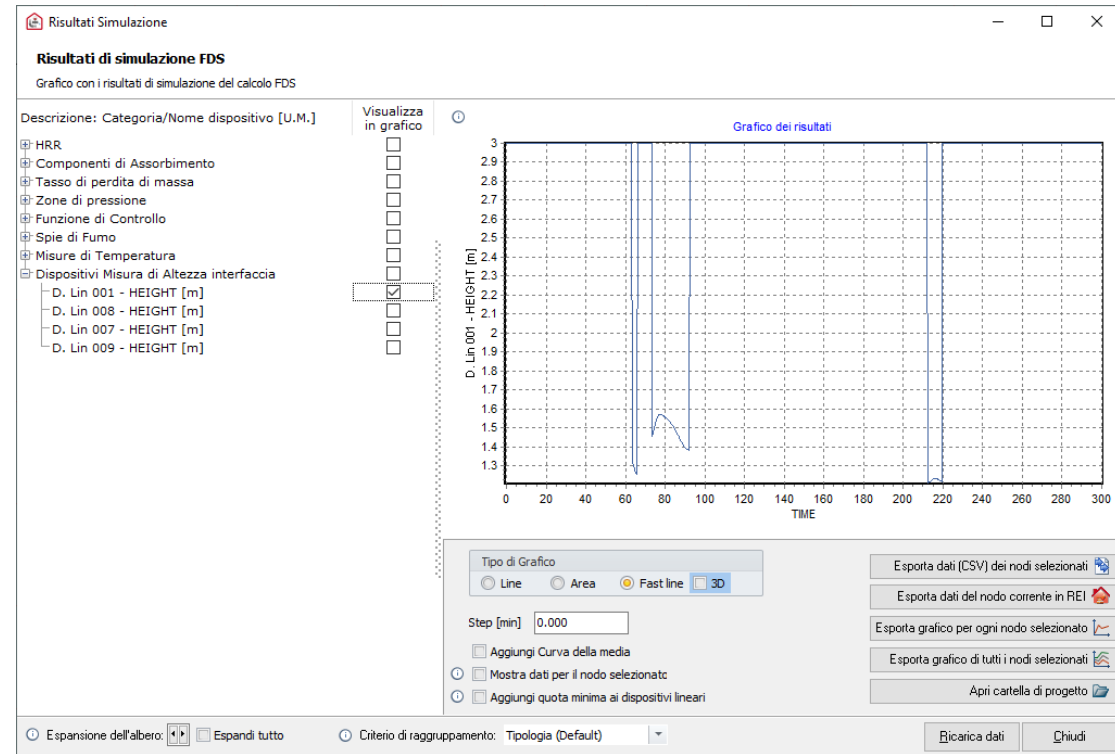
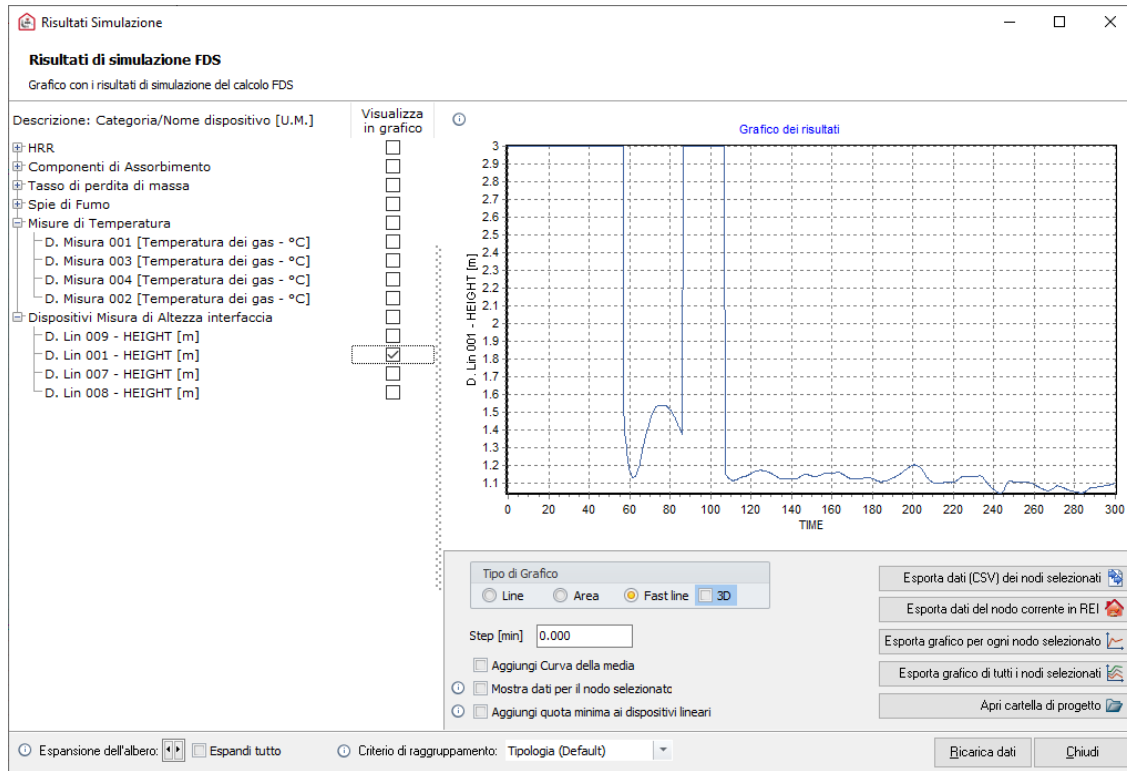
Al contrario la simulazione presenta anche alcuni svantaggi:

- Affidabilità non al 100%: i risultati della simulazione possono dare solo un'indicazione di quello che sarà il comportamento del sistema;
- Costi elevati: lo sviluppo del modello potrebbe risultare molto oneroso, sia per la necessità di dover disporre di personale qualificato sia per i tempi di calcolo;
- Complessità data dall'interpretazione dell'output nella ricerca della soluzione migliore.

L'importanza della simulazione dell'esodo - Vantaggi

- NO EFC

- SI EFC



Studio del comportamento del sistema nelle condizioni presenti od in condizioni modificate

Classificazione dei software di modellazione esistenti

I moderni sistemi di calcolo permettono di modellare l'esodo tenendo conto dell'interazione continua tra l'espressione fisica del moto ed i fattori comportamentali.

Tra tutti i modelli non ne esiste uno giusto o sbagliato e i risultati non possono essere generalizzati, poiché ogni strumento è soggetto all'esperienza di chi lo applica ed alle priorità individuate dal professionista.

- **Modelli disponibili al pubblico:** EVACNET4, WAYOUT, STEPS, PedGo, PEDROUTE, Simulex, GridFlow, ASERI, FDS+Evac, Pathfinder, SimWalk, PEDFLOW, buildingEXODUS, Legion, SpaceSensor, Evacuation Planning Tool (EPT), e MassMotion.
- **Modelli disponibili su base consulenziale:** PathFinder, Myriad II, ALLSAFE, CRISP, EGRESS, e SGEM.
- **Modelli che non sono ancora stati rilasciati:** EXIT89, MASSEgress, e EvacuationNZ.

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

<i>Model</i>	<i>Available to public</i>	<i>Modeling Method</i>	<i>Purpose</i>	<i>Grid/ Structure</i>	<i>Perspective of M/O</i>	<i>Behavior^a</i>	<i>Movement^a</i>	<i>Fire data</i>	<i>CAD</i>	<i>Visual</i>	<i>Valid</i>
EVACNET4	Y	M-O	1	C	G	N	UC	N	N	N	FD
WAYOUT	Y	M	5	C	G	N	D	N	N	2-D	FD
STEPS ^c	Y	B	1	F	I	C, P	P, E	Y1,2	Y	2,3-D	C,FD,PE
PEDROUTE	Y	PB	3	C	G	I	D	N	Y	2,3-D	N
Simulex ^b	Y	PB	1	Co.	I	I	ID	N	Y	2-D	FD,PE, 3P
GridFlow	Y	PB	1	Co.	I	I	D	N	Y	2,3-D	FD, PE
FDS+Evac ^c	Y	PB	1	Co.	I	I, C, P	ID	Y3	N/Y	2,3-D	FD,PE,OM
Pathfinder 2009 ^c	Y	PB	1	Co.	I/G	I	D,ID	N	Y	2,3-D	C,FD,PE,OM
SimWalk ^c	Y	PB	1,3	Co.	I	C, P	P	N	Y	2,3-D	FD,PE,3P
PEDFLOW ^c	Y	B	1	Co.	I	C, P	ID	Y2	Y	2,3-D	PE
PedGo ^c	Y,N1	PB/B	1	F	I/I,G	I/C, P	P,E (CA), C	Y2	Y	2,3-D	FD,PE,OM,3P
ASERF ^c	Y	B-RA	1	Co.	I	C, P	ID	Y1,2	Y	2,3-D	FD, PE
BldEXO ^b	Y	B	1	F	I	C, P	P, E	Y1,2	Y	2,3-D	FD,PE,OM,3P
Legion ^c	Y,N1	B	1	Co.	I	AI, P	ID, C	Y1	Y	2,3-D	C,FD,PE,3P
SpaceSensor ^c	Y	B	3	Co.	I	C, P	C, Ac_K	N	Y	2,3-D	FD,OM
EPT ^c	Y,N1	B	1	F	I	AI	UC,C	Y2	Y	2,3-D	FD
Myriad II ^c	Y, N1	B	1	C, F, Co.	I	AI	D, UC, IP, Ac_K	Y1	Y	2,3-D	PE, 3P
MassMotion ^c	Y, N1	B	1	Co.	I/I,G	ALP	C	N	Y	2,3-D	C,FD,PE,OM
PathFinder	N1	M	1	F	I/G	N	D	N	Y	2-D	N
ALLSAFE	N1	PB	5	C	G	I	Un F	Y1,2	N	2-D	OM
CRISP	N1	B-RA	1	F	I	C, P	E,D	Y3	Y	2,3-D	FD
EGRESS 2002	N1	B	1	F	I	C, P	P,D (CA)	Y2	N	2-D	FD
SGEM ^c	N1	PB	1	Co.	I	I	D	N	Y	2-D	FD,OM
EXIT89 ^c	N2	PB	1	C	I	I/C, P	D	Y1	N	N	FD,3P
MASSEgress ^b	N2	B	1	Co.	I	C, AI	C	N	Y	2,3-D	PE,OM
EvacuationNZ ^c	N2	B	1	C	I/I,G	I, C, P	D, UC	Y2	Y	2-D	FD, PE,OM

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

- Metodo di modellazione
- Scopo
- Griglia
- Prospettiva modello/occupante
- Comportamento degli occupanti
- Movimento
- Dati sull'incendio
- CAD
- Visualizzazione
- Validazione

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

Metodo di modellazione

Metodo di modellazione

Scopo

Griglia

Prospettiva
modello/occupante

Comportamento degli
occupanti

Movimento

Dati sull'incendio

CAD

Visualizzazione

Validazione

- **B**: modello di tipo comportamentale, si considerano le azioni degli occupanti durante il movimento verso l'uscita e le loro capacità di decisione in funzione delle condizioni ambientali
- **B-RA**: il modello può valutare il rischio derivante da una determinata situazione
- **M**: il modello è basato sul movimento e simula lo spostamento degli occupanti da un certo punto ad un altro (luogo sicuro) e viene usato soprattutto per identificare aree di congestione
- **MO**: il modello è in grado di individuare una configurazione ottimale di distribuzione degli ambienti, ecc..
- **PB**: il modello è parzialmente comportamentale, cioè calcola principalmente il movimento degli occupanti ma può simularne parzialmente anche il comportamento

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

Metodo di modellazione

Scopo

Griglia

Prospettiva
modello/occupante

Comportamento degli
occupanti

Movimento

Dati sull'incendio

CAD

Visualizzazione

Validazione

- **1**: applicabile ad ogni tipo di edificio
- **2**: specializzato nella simulazione di edifici residenziali
- **3**: specializzato per ambiti connessi col trasporto pubblico
- **4**: utilizzabile in edifici con altezza massima pari a 20 metri
- **5**: consentono la simulazione con un solo percorso di fuga

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

Metodo di modellazione

Scopo

Griglia

Prospettiva
modello/occupante

Comportamento degli
occupanti

Movimento

Dati sull'incendio

CAD

Visualizzazione

Validazione

- **C**: lo spazio quando si simula il movimento è suddiviso in una griglia a maglia larga con unità ambientali estese in termini di superficie, come stanze, corridoi, ecc.. attraverso le quali gli occupanti possono muoversi
- **F**: lo spazio quando si simula il movimento è suddiviso in una griglia a maglia stretta con piccole celle che rappresentano porzioni di unità ambientali
- **Co**: lo spazio quando si simula il movimento è rappresentato in modo continuo (per esempio per piani), simulando eventualmente la presenza di ostacoli e barriere all'interno dell'edificio che possano influenzare la scelta del percorso di fuga da parte degli occupanti.

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

Metodo di modellazione

Scopo

Griglia

**Prospettiva
modello/occupante**

Comportamento degli occupanti

Movimento

Dati sull'incendio

CAD

Visualizzazione

Validazione

- **G**: l'insieme degli occupanti viene visto dal software come un gruppo omogeneo di persone che si muove verso l'uscita
- **I**: viene rappresentata la posizione di ogni singolo individuo nel tempo, mostrando come ognuno scelga il percorso di esodo basandosi sulle informazioni presenti nel piano, l'esperienza personale e le informazioni ricevute dagli altri occupanti presenti.

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

Metodo di modellazione

Scopo

Griglia

Prospettiva
modello/occupante

Comportamento degli occupanti

Movimento

Dati sull'incendio

CAD

Visualizzazione

Validazione

- **N**: il comportamento degli occupanti non viene considerato ma vengono considerati solo gli aspetti relativi agli spostamenti
- **I**: il comportamento degli occupanti viene considerato in modo implicito, assegnando ritardi nei tempi di reazione all'allarme o caratteristiche degli occupanti che influenzano i movimenti e gli spostamenti durante l'evacuazione
- **R/C**: il comportamento degli occupanti viene considerato in modo condizionale, differenziando i modelli che assegnano azioni individuali a persone o gruppi di occupanti influenzate da condizioni ambientali durante l'evacuazione
- **AF**: i modelli utilizzano un insieme di equazioni (analogia funzionale) per rappresentare tutti gli occupanti
- **IA**: i modelli si basano su simulazioni artificiali dell'intelligenza umana
- **P**: i software fanno ricorso a modelli comportamentali probabilistici per cui ripetendo la stessa simulazione diverse volte si ottengono risultati diversi

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

Metodo di modellazione

Scopo

Griglia

Prospettiva
modello/occupante

Comportamento degli
occupanti

Movimento

Dati sull'incendio

CAD

Visualizzazione

Validazione

- **D**: a seconda della situazione di congestionamento la velocità di flusso viene assegnata agli individui o ai gruppi di persone in funzione della loro densità nello spazio
- **UC**: per ogni area dell'edificio l'utilizzatore del modello di simulazione può assegnare valori di velocità, flusso e densità
- **ID**: si considera ogni individuo come sfera, imponendo così dei vincoli di distanza minima tra gli occupanti, gli ostacoli e le parti dell'edificio
- **P**: per ogni cella della griglia di rappresentazione viene assegnato un valore di potenziale rispetto ad un punto di riferimento dell'edificio, per guidare gli occupanti verso una direzione

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

Metodo di modellazione

Scopo

Griglia

Prospettiva
modello/occupante

Comportamento degli
occupanti

Movimento

Dati sull'incendio

CAD

Visualizzazione

Validazione

- **E**: il movimento degli occupanti dipende dalla disponibilità delle celle adiacenti ad essi, per cui qualora tali celle siano occupate, gli occupanti dovranno mettersi in coda ed aspettare che si liberino, muovendosi poi in un ordine definito arbitrariamente dal modello
- **C**: il movimento degli occupanti dipende dalle condizioni ambientali, dalla struttura, dagli altri occupanti e dallo stato di propagazione dell'incendio,
- **FA**: vengono applicate equazioni per determinare il movimento, assimilato all'evoluzione di un fenomeno fisico come per esempio il moto di un fluido
- **Ac K**: il movimento non è desunto da algoritmi di simulazione ma da dati di altre evacuazioni

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

Metodo di modellazione

Scopo

Griglia

Prospettiva
modello/occupante

Comportamento degli
occupanti

Movimento

Dati sull'incendio

CAD

Visualizzazione

Validazione

- **Y1**: il modello può importare informazioni sull'incendio da un altro modello
- **Y2**: consente all'utilizzatore di inserire specifici dati sull'incendio, riferiti a specifici istanti di tempo
- **Y3**: ingloba al suo interno un modello di simulazione dell'incendio
- **N**: non può considerare informazioni sull'incendio ma elabora la simulazione come se fosse un'esercitazione antincendio nell'edificio

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

Metodo di modellazione

Scopo

Griglia

Prospettiva
modello/occupante

Comportamento degli
occupanti

Movimento

Dati sull'incendio

CAD

Visualizzazione

Validazione

- **Y**: il software consente di utilizzare file CAD provenienti di un altro programma in modo da risparmiare tempo ed aumentare il livello di precisione nella rappresentazione grafica dell'edificio
- **N**: non è possibile importare file da programmi CAD
- **F**: la possibilità di utilizzo di file CAD è in corso di sperimentazione

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

Metodo di modellazione

Scopo

Griglia

Prospettiva
modello/occupante

Comportamento degli
occupanti

Movimento

Dati sull'incendio

CAD

Visualizzazione

Validazione

- **2-D**: il modello permette di visualizzare i punti di congestionamento ed i punti critici all'interno dell'edificio in modo bidimensionale
- **3-D**: il modello permette di visualizzare i punti di congestionamento ed i punti critici all'interno dell'edificio in modo tridimensionale
- **N**: il modello non permette di visualizzare i punti di congestionamento ed i punti critici all'interno dell'edificio

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

Metodo di modellazione

Scopo

Griglia

Prospettiva
modello/occupante

Comportamento degli
occupanti

Movimento

Dati sull'incendio

CAD

Visualizzazione

Validazione

- **C**: i modelli vengono validati rispetto a normative codificate
- **FD**: i modelli vengono validati rispetto a dati provenienti da esercitazioni antincendio ed esperimenti di evacuazione
- **PE**: i modelli vengono validati rispetto a dati presenti in letteratura specializzata su esperimenti di evacuazione
- **OM**: i modelli vengono validati rispetto ad altri modelli
- **N**: per i modelli non è prevista alcuna validazione

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

FDS EVAC

Metodo di modellazione

PB

PATHFINDER

Metodo di modellazione

PB, M

B : modello di tipo comportamentale, si considerano le azioni degli occupanti durante il movimento verso l'uscita e le loro capacità di decisione in funzione delle condizioni ambientali

B-RA: il modello può valutare il rischio derivante da una determinata situazione

M: il modello è basato sul movimento e simula lo spostamento degli occupanti da un certo punto ad un altro (luogo sicuro) e viene usato soprattutto per identificare aree di congestione

MO: il modello è in grado di individuare una configurazione ottimale di distribuzione degli ambienti, ecc..

PB: il modello è parzialmente comportamentale, cioè calcola principalmente il movimento degli occupanti ma può simularne parzialmente anche il comportamento

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

FDS EVAC

Scopo	1
-------	---

PATHFINDER

Scopo	1
-------	---

- 1:** applicabile ad ogni tipo di edificio
- 2:** specializzato nella simulazione di edifici residenziali
- 3:** specializzato per ambiti connessi col trasporto pubblico
- 4:** utilizzabile in edifici con altezza massima pari a 20 metri
- 5:** consentono la simulazione con un solo percorso di fuga

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

FDS EVAC

Griglia

Co

PATHFINDER

Griglia

Co, F

C: lo spazio quando si simula il movimento è suddiviso in una griglia a maglia larga con unità ambientali estese in termini di superficie, come stanze, corridoi, ecc.. attraverso le quali gli occupanti possono muoversi

F: lo spazio quando si simula il movimento è suddiviso in una griglia a maglia stretta con piccole celle che rappresentano porzioni di unità ambientali

Co: lo spazio quando si simula il movimento è rappresentato in modo continuo (per esempio per piani), simulando eventualmente la presenza di ostacoli e barriere all'interno dell'edificio che possano influenzare la scelta del percorso di fuga da parte degli occupanti.

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

FDS EVAC

PATHFINDER

Prospettiva modello/occupante

I

Prospettiva modello/occupante

I/G

G: l'insieme degli occupanti viene visto dal software come un gruppo omogeneo di persone che si muove verso l'uscita

I: viene rappresentata la posizione di ogni singolo individuo nel tempo, mostrando come ognuno scelga il percorso di esodo basandosi sulle informazioni presenti nel piano, l'esperienza personale e le informazioni ricevute dagli altri occupanti presenti.

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

FDS EVAC

Comportamento degli occupanti | I, C, P

PATHFINDER

Comportamento degli occupanti | I, N

N: il comportamento degli occupanti non viene considerato ma vengono considerati solo gli aspetti relativi agli spostamenti

I: il comportamento degli occupanti viene considerato in modo implicito, assegnando ritardi nei tempi di reazione all'allarme o caratteristiche degli occupanti che influenzano i movimenti e gli spostamenti durante l'evacuazione

R/C: il comportamento degli occupanti viene considerato in modo condizionale, differenziando i modelli che assegnano azioni individuali a persone o gruppi di occupanti influenzate da condizioni ambientali durante l'evacuazione

AF: i modelli utilizzano un insieme di equazioni (analogia funzionale) per rappresentare tutti gli occupanti

IA: i modelli si basano su simulazioni artificiali dell'intelligenza umana

P: i software fanno ricorso a modelli comportamentali probabilistici per cui ripetendo la stessa simulazione diverse volte si ottengono risultati diversi

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

FDS EVAC

Movimento	ID
-----------	----

D: a seconda della situazione di congestionamento la velocità di flusso viene assegnata agli individui o ai gruppi di persone in funzione della loro densità nello spazio

UC: per ogni area dell'edificio l'utilizzatore del modello di simulazione può assegnare valori di velocità, flusso e densità

ID: si considera ogni individuo come sfera, imponendo così dei vincoli di distanza minima tra gli occupanti, gli ostacoli e le parti dell'edificio

P: per ogni cella della griglia di rappresentazione viene assegnato un valore di potenziale rispetto ad un punto di riferimento dell'edificio, per guidare gli occupanti verso una direzione

E: il movimento degli occupanti dipende dalla disponibilità delle celle adiacenti ad essi, per cui qualora tali celle siano occupate, gli occupanti dovranno mettersi in coda ed aspettare che si liberino, muovendosi poi in un ordine definito arbitrariamente dal modello

C: il movimento degli occupanti dipende dalle condizioni ambientali, dalla struttura, dagli altri occupanti e dallo stato di propagazione dell'incendio,

FA: vengono applicate equazioni per determinare il movimento, assimilato all'evoluzione di un fenomeno fisico come per esempio il moto di un fluido

Ac K: il movimento non è desunto da algoritmi di simulazione ma da dati di altre evacuazioni

PATHFINDER

Movimento	D, ID
-----------	-------

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

FDS EVAC

Dati sull'incendio

Y3

PATHFINDER

Dati sull'incendio

N

Y1: il modello può importare informazioni sull'incendio da un altro modello

Y2: consente all'utilizzatore di inserire specifici dati sull'incendio, riferiti a specifici istanti di tempo

Y3: ingloba al suo interno un modello di simulazione dell'incendio

N: non può considerare informazioni sull'incendio ma elabora la simulazione come se fosse un'esercitazione antincendio nell'edificio

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

FDS EVAC

CAD

N/Y

PATHFINDER

CAD

Y

Y: il software consente di utilizzare file CAD provenienti di un altro programma in modo da risparmiare tempo ed aumentare il livello di precisione nella rappresentazione grafica dell'edificio

N: non è possibile importare file da programmi CAD

F: la possibilità di utilizzo di file CAD è in corso di sperimentazione

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

FDS EVAC

Visualizzazione

2,3-D

PATHFINDER

Visualizzazione

2,3-D

2-D: il modello permette di visualizzare i punti di congestionamento ed i punti critici all'interno dell'edificio in modo bidimensionale

3-D: il modello permette di visualizzare i punti di congestionamento ed i punti critici all'interno dell'edificio in modo tridimensionale

N: il modello non permette di visualizzare i punti di congestionamento ed i punti critici all'interno dell'edificio

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

FDS EVAC

Validazione | FD, PE, OM

PATHFINDER

Validazione | C, FD, PE, OM

C: i modelli vengono validati rispetto a normative codificate

FD: i modelli vengono validati rispetto a dati provenienti da esercitazioni antincendio ed esperimenti di evacuazione

PE: i modelli vengono validati rispetto a dati presenti in letteratura specializzata su esperimenti di evacuazione

OM: i modelli vengono validati rispetto ad altri modelli

N: per i modelli non è prevista alcuna validazione

Caratteristiche speciali dei modelli di esodo (NIST 2010)

Aspetti specifici dell'evacuazione:

- Controcorrente;
- Blocco di uscita/ostacoli;
- Le condizioni di incendio influenzano il comportamento;
- Tossicità degli occupanti;
- Definizione dei gruppi;
- Disabilità/gruppi di occupanti lenti;
- Tempi di ritardo/pre evacuazione;
- Uso dell'ascensore;
- Scelta del percorso degli occupanti.

Caratteristiche speciali dei modelli di esodo (NIST 2010)

<i>Model</i>	<i>Counter-flow</i>	<i>Exit Block</i>	<i>Fire Conditions</i>	<i>Toxicity</i>	<i>Groups</i>	<i>Disabled / slower</i>	<i>Delays/pre-evacuation</i>	<i>Elevator use</i>	<i>Route choice</i>
EVACNET4	N	N	N	N	N	N	N	Y	Optimal routes
WAYOUT	N	N	N	N	N	N	Y	N	1 route, flows merge
STEPS ^c	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Conditional
PEDROUTE	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	Shortest, optimal, or signage
Simulex ^b	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	N	Shortest or altered distance map
GridFlow	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	N	Shortest, random, user-def.
FDS+Evac ^c	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	N	Optimal, conditional
Pathfinder 2009 ^c	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	N	Shortest, user-def.
SimWalk ^c	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Shortest
PEDFLOW ^c	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Shortest, conditional
PedGo ^c	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	N	Probabilistic/conditional, user-def.
ASER1 ^c	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Shortest, user-def., conditional
BldEXO ^b	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Various
Legion ^c	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Conditional
SpaceSensor ^c	N	Y	N	N	N	N	N	Y	Conditional – visual perception
EPT ^c	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Shortest, conditional
Myriad II ^c	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Various
MassMotion ^c	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Shortest, conditional
PathFinder	N	N	N	N	N	N	N	N	User's choice – 2 choices
ALLSAFE	N	N	Y	N	Y	N	Y	N	1-Choice
CRISP	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Shortest, user-def., conditional
EGRESS 2002	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Conditional
SGEM ^c	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Shortest time, conditional
EXIT89 ^c	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	N	Shortest distance, user-def.
MASSEgress ^b	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	N	Conditional – visual perception
EvacuationNZ ^c	N	Y	Y	N	Y	Y	Y	N	Various

ESEMPIO

Scenario A

Aspetti specifici dell'evacuazione

- Blocco di uscita/ostacoli;
- Disabilità/gruppi di occupanti lenti;
- Tempi di ritardo/pre evacuazione

- Affollamento 210 persone:
 - 50 Uomini (blue)
 - 50 Donne (giallo)
 - 50 Anziani (arancio)
 - 50 bambini (verde)
 - 10 Adulti con conoscenza (bianco)
- 4 US a 2 moduli in posizione contrapposta

ESEMPIO

Scenario A

Aspetti specifici dell'evacuazione

- Blocco di uscita/ostacoli;
- Disabilità/gruppi di occupanti lenti;
- Tempi di ritardo/pre evacuazione

FILE OUT

- Affollamento 210 persone:
 - 50 Uomini (blue)
 - 50 Donne (giallo)
 - 50 Anziani (arancio)
 - 50 bambini (verde)
 - 10 Adulti con conoscenza (bianco)
- 4 US a 2 moduli in posizione contrapposta

USCITA	N. PERSONE	PRIMA PERSONA	ULTIMA PERSONA
EXIT 1	58	25	94
EXIT 2	36	26	81
EXIT 3	51	27	98
EXIT 6	65	28	98

ESEMPIO

Scenario B FILMATO

Aspetti specifici dell'evacuazione

- ▶ Blocco di uscita/ostacoli;
- ▶ Disabilità/gruppi di occupanti lenti;
- ▶ **Tempi di ritardo/pre evacuazione**

- Affollamento 210 persone:
 - 50 Uomini ritardo 30 s nel riconoscimento (blue)
 - 50 Donne (giallo)
 - 50 Anziani (arancio)
 - 50 bambini (verde)
 - 10 Adulti con conoscenza (bianco)
- 4 US a 2 moduli in posizione contrapposta

ESEMPIO

Scenario B

Aspetti specifici dell'evacuazione

- Blocco di uscita/ostacoli;
- Disabilità/gruppi di occupanti lenti;
- **Tempi di ritardo/pre evacuazione**

FILE OUT

- Affollamento 210 persone:
 - 50 Uomini ritardo 30 s nel riconoscimento (blue)
 - 50 Donne (giallo)
 - 50 Anziani (arancio)
 - 50 bambini (verde)
 - 10 Adulti con conoscenza (bianco)
- 4 US a 2 moduli in posizione contrapposta

USCITA	N. PERSONE	PRIMA PERSONA	ULTIMA PERSONA
EXIT 1	48	27	98
EXIT 2	50	26	87
EXIT 3	54	27	99
EXIT 6	58	25	87

ESEMPIO

Scenario C

FILMATO

Aspetti specifici
dell'evacuazione

- **Blocco di uscita/ostacoli;**
- Disabilità/gruppi di occupanti lenti;
- Tempi di ritardo/pre evacuazione

- Affollamento 210 persone:
 - 50 Uomini (blue)
 - 50 Donne (giallo)
 - 50 Anziani (arancio)
 - 50 bambini (verde)
 - 10 Adulti con conoscenza (bianco)
- 4 US a 2 moduli in posizione contrapposta
 - US 6 disattivata dopo 30 s

ESEMPIO

Scenario C

Aspetti specifici dell'evacuazione

- **Blocco di uscita/ostacoli;**
- Disabilità/gruppi di occupanti lenti;
- Tempi di ritardo/pre evacuazione

FILE OUT

- Affollamento 210 persone:
 - 50 Uomini (blue)
 - 50 Donne (giallo)
 - 50 Anziani (arancio)
 - 50 bambini (verde)
 - 10 Adulti con conoscenza (bianco)
- 4 US a 2 moduli in posizione contrapposta
 - US 6 disattivata dopo 30 s

USCITA	N. PERSONE	PRIMA PERSONA	ULTIMA PERSONA
EXIT 1	58	27	95
EXIT 2	94	26	124
EXIT 3	55	26	85
EXIT 6	3	25	30

ESEMPIO

Scenario D FILMATO

Aspetti specifici
dell'evacuazione

- ▶ **Blocco di uscita/ostacoli;**
- ▶ Disabilità/gruppi di occupanti lenti;
- ▶ **Tempi di ritardo/pre evacuazione**

- Affollamento 210 persone:
 - 50 Uomini ritardo 30 s nel riconoscimento (blue)
 - 50 Donne (giallo)
 - 50 Anziani (arancio)
 - 50 bambini (verde)
 - 10 Adulti con conoscenza (bianco)
- 4 US a 2 moduli in posizione contrapposta
 - US 6 disattivata dopo 30 s

ESEMPIO

Scenario D

Aspetti specifici dell'evacuazione

- **Blocco di uscita/ostacoli;**
- Disabilità/gruppi di occupanti lenti;
- **Tempi di ritardo/pre evacuazione**

FILE OUT

- Affollamento 210 persone:
 - 50 Uomini ritardo 30 s nel riconoscimento (blue)
 - 50 Donne (giallo)
 - 50 Anziani (arancio)
 - 50 bambini (verde)
 - 10 Adulti con conoscenza (bianco)
- 4 US a 2 moduli in posizione contrapposta
 - US 6 disattivata dopo 30 s

USCITA	N. PERSONE	PRIMA PERSONA	ULTIMA PERSONA
EXIT 1	37	28	88
EXIT 2	114	26	147
EXIT 3	57	27	93
EXIT 6	2	24	31

ESEMPIO

NUMERO PERSONE AD USCIRE PER USCITA

	SCENARIO A	SCENARIO B RIT	SCENARIO C USC	SCENARIO D RIT - USC
EXIT 1	58	48	58	37
EXIT 2	36	50	94	114
EXIT 3	51	54	55	57
EXIT 4	65	58	3	2

ESEMPIO

PRIMA PERSONA AD USCIRE

	SCENARIO A	SCENARIO B RIT	SCENARIO C USC	SCENARIO D RIT - USC
EXIT 1	25	27	27	28
EXIT 2	26	26	26	26
EXIT 3	27	27	26	27
EXIT 4	28	25	25	24

ESEMPIO

ULTIMA PERSONA AD USCIRE

	SCENARIO A	SCENARIO B RIT	SCENARIO C USC	SCENARIO D RIT - USC
EXIT 1	94	98	95	88
EXIT 2	81	87	124	147
EXIT 3	98	98	85	93
EXIT 4	98	87	30	31

Caratteristiche modelli di esodo

- Col passare del tempo i modelli hanno incluso al loro interno sempre di più gli aspetti comportamentali e le capacità decisionali degli utenti coinvolti nell'esodo. **L'aspetto comportamentale è sicuramente quello più complesso e difficile da simulare nel processo di evacuazione.** Nessun modello fino ad oggi affronta completamente tutti gli aspetti comportamentali identificati, anche se vi è una forte tendenza verso modelli che includono un maggior dettaglio comportamentale
- Per rappresentare il processo decisionale impiegato in caso di evacuazione, il modello deve incorporare un metodo appropriato di simulazione del comportamento delle persone esposte. **Il fattore comportamentale, è sempre influenzato dalle caratteristiche dalla popolazione e dalla geometria considerata.**
- I modelli che utilizzano metodi di calcolo numerico per descrivere l'esodo degli occupanti possono essere: **basati sul movimento** (idraulici - Pathfinder) o **agent-based, cioè basati sul comportamento** (modelli comportamentali o parzialmente comportamentali – FDS EVAC).

L'aspetto comportamentale è sicuramente quello più complesso e difficile da simulare nel processo di evacuazione

Caratteristiche modelli di esodo



Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

I modelli **agent-based**, cioè **basati sul comportamento** possono essere ulteriormente suddivisi in base ai sistemi comportamentali adottati:

- **Nessuna regola comportamentale**: questi modelli non applicano regole di comportamento e affidano le scelte decisionali solo sulla base di influenze fisiche, il movimento della popolazione e la rappresentazione fisica della geometria influenzano e determinano il processo d'evacuazione;
- **Analogia funzionale del comportamento**: i modelli di analogia funzionale del comportamento applicano delle equazioni alla popolazione, che complessivamente governano la risposta, mimando il comportamento individuale;
- **Comportamento implicito**: viene dichiarato l'uso di metodi fisici complessi basati sull'applicazione di dati secondari, che incorporano le influenze psicologiche o sociologiche;

Caratteristiche principali dei modelli di esodo (NIST 2010)

I modelli **agent-based**, cioè **basati sul comportamento** possono essere ulteriormente suddivisi in base ai sistemi comportamentali adottati:

- **Regola basate sul sistema comportamentale**: i modelli in cui vengono riconosciuti esplicitamente i tratti comportamentali dei singoli occupanti solitamente adottano il modello con regola basata sul sistema comportamentale, permettendo di adottare scelte decisionali in base al set predefinito di regole. Queste regole possono essere attivate in circostanze specifiche e solo in tali circostanze, hanno effetto;
- **Intelligenza artificiale basata su sistema comportamentale**: intelligenza artificiale applicata ai modelli di comportamento dove gli occupanti individuali sono progettati per mimare l'intelligenza umana, o approssimativamente ad essa, nel rispetto dell'ambiente circostante.

Gli scenari di incendio

- Gli scenari di incendio giocano un ruolo fondamentale nella progettazione prestazionale e possono essere schematizzati in estrema sintesi come **descrizioni degli eventi che possono ragionevolmente verificarsi** in relazione alle caratteristiche del focolaio, dell'edificio e degli occupanti.
- Comprende le seguenti fasi : **innesco, crescita, pienamente sviluppato, decadimento.**
- Deve definire **l'ambiente nel quale si sviluppa l'incendio** di progetto ed i sistemi che possono avere impatto sulla sua evoluzione, come ad esempio eventuali **impianti di protezione attiva.**
- Rappresenta la **possibile evoluzione dell'incendio**, ovvero gli **incendi più gravi ragionevolmente ipotizzabili.**

Gli scenari di incendio

Uno scenario di incendio rappresenta una particolare combinazione di eventi associati a diversi fattori con obbligo della definizione dell'origine dell'incendio.

CARATTERISTICHE DEL FOCOLAIO

- stato, tipo e quantitativo del combustibile;
- configurazione e posizione del combustibile;
- tasso di crescita del rilascio termico e picco della potenza termica (HRRmax);
- tasso di sviluppo dei prodotti della combustione;
- caratteristiche dell'edificio (geometria del locale, condizioni di
- ventilazione interna ed esterna, stato delle porte e delle finestre;

Gli scenari di incendio

L'andamento della potenza termica rilasciata RHR (t) si può determinare facendo ricorso a:

CARATTERISTICHE DEL FOCOLAIO

- ▶ stato, tipo e quantitativo del combustibile;
- ▶ configurazione e posizione del combustibile;
- ▶ **tasso di crescita del rilascio termico e picco della potenza termica (HRRmax);**
- ▶ tasso di sviluppo dei prodotti della combustione;
- ▶ caratteristiche dell'edificio (geometria del locale, condizioni di ventilazione interna ed esterna, stato delle porte e delle finestre;

- **dati sperimentali**, ottenuti da misura diretta in laboratorio
- **dati pubblicati**, citando le fonti e *verificando la corrispondenza* del campione di prova sperimentale (quantità, composizione, geometria e modalità di prova) con quello previsto nello scenario di incendio di progetto
- **metodologie di stima**, riportate nel paragrafo M.2.6
- **focolari predefiniti**, individuati al paragrafo M.2.7

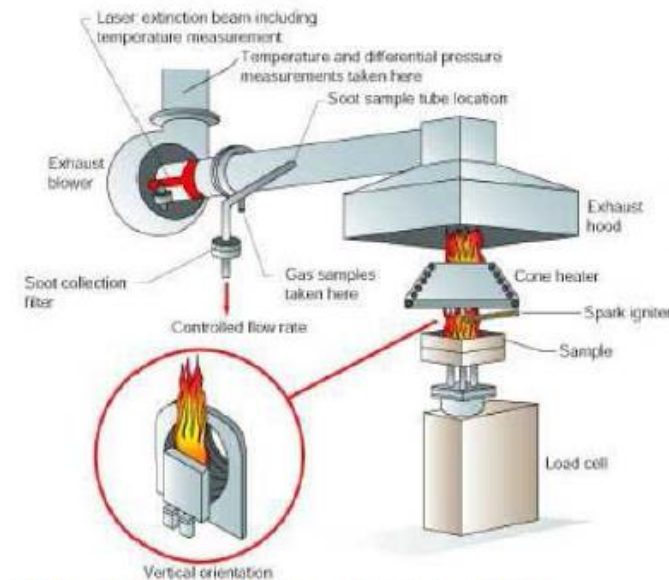
Gli scenari di incendio

CARATTERISTICHE DEL FOCOLAIO

- ▶ stato, tipo e quantitativo del combustibile;
- ▶ configurazione e posizione del combustibile;
- ▶ **tasso di crescita del rilascio termico e picco della potenza termica (HRR_{max});**
- ▶ tasso di sviluppo dei prodotti della combustione;
- ▶ caratteristiche dell'edificio (geometria del locale, condizioni di ventilazione interna ed esterna, stato delle porte e delle finestre);

ANALISI QUANTITATIVA - Incendio di progetto: RHR(t)

- Determinazione RHR(t) da dati sperimentali (prove di laboratorio)



ASTM E 1354 e ISO 5660



Prove strumentate in scala reale

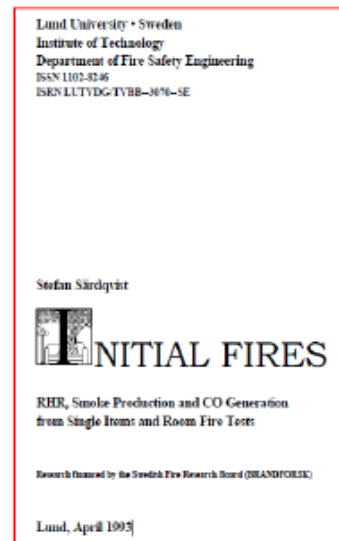
Gli scenari di incendio

CARATTERISTICHE DEL FOCOLAIO

- ▶ stato, tipo e quantitativo del combustibile;
- ▶ configurazione e posizione del combustibile;
- ▶ **tasso di crescita del rilascio termico e picco della potenza termica (HRR_{max});**
- ▶ tasso di sviluppo dei prodotti della combustione;
- ▶ caratteristiche dell'edificio (geometria del locale, condizioni di ventilazione interna ed esterna, stato delle porte e delle finestre);

ANALISI QUANTITATIVA - Incendio di progetto: RHR(t)

- **Determinazione RHR(t) da dati pubblicati**, citando le fonti e verificando la corrispondenza del campione di prova sperimentale



Esempio di Pubblicazione:

*Lund University • Sweden - Institute of Technology
Department of Fire Safety Engineering
ISSN 1102-8246 - ISRN LUTVDG/TVBB--3070—SE
Stefan Särndqvist: Initial fires
RHR, Smoke Production and CO Generation from single Items and Room Fire Tests
Research financed by the Swedish Fire Research Board (BRANDFORSK)
Lund, April 1993*

Gli scenari di incendio

ANALISI QUANTITATIVA - Incendio di progetto: RHR(t)


- Determinazione RHR(t) da dati pubblicati, citando le fonti e verificando la corrispondenza del campione di prova sperimentale

CARATTERISTICHE DEL FOCOLAIO

- ▶ stato, tipo e quantitativo del combustibile;
- ▶ configurazione e posizione del combustibile;
- ▶ **tasso di crescita del rilascio termico e picco della potenza termica (HRR_{max});**
- ▶ tasso di sviluppo dei prodotti della combustione;
- ▶ caratteristiche dell'edificio (geometria del locale, condizioni di ventilazione interna ed esterna, stato delle porte e delle finestre);

Lund University • Sweden
Institute of Technology
Department of Fire Safety Engineering
ISSN 1102-8246
ISRN LUTYDGTVB-09/0-SE

Stefan Särqvist



INITIAL FIRES

RHR, Smoke Production and CO-Generation from Single Items and Room Fire Tests

Research financed by the Swedish Fire Research Board (BRANDFORSK)

Lund, April 1993

Cables

Electric cables with 7 copper wires
Thickness: 19.5 mm, limited size: 3.30 mm, complete set: 21.7 mm

Development: 21 cables (single item: 0.18 x 0.14 m) or 2-shaped cables with 21.33 m diameter, 1.37 m vertical height (1.7 m horizontal)

Vertical configuration: 21 cables (single item: 0.18 x 0.14 m) or 2-shaped cables with 21.33 m diameter, 1.37 m vertical height (1.7 m horizontal)

21. Vertical configuration
The test item: One vertical cable (see 1) or 2-shaped cable with 21.33 m diameter, 1.37 m vertical height (1.7 m horizontal), 1.37 m vertical height (1.7 m horizontal), 1.37 m vertical height (1.7 m horizontal)

Material: Polyethylene insulation with vitreous paper core with 7 copper wires, 19.5 mm diameter, 1.37 m vertical height (1.7 m horizontal), 1.37 m vertical height (1.7 m horizontal)

Dimensions: 0.18 x 0.14 m, 1.37 m vertical height (1.7 m horizontal)

Mass: 0.27 kg
Sample ID: 1

22. 21. Vertical configuration
Cable placed in sample 12
Mass: 0.27 kg
Sample ID: 1

23. 21. Vertical configuration
The test item: Polyethylene insulation with vitreous paper core with 7 copper wires, 19.5 mm diameter, 1.37 m vertical height (1.7 m horizontal), 1.37 m vertical height (1.7 m horizontal)

Material: Polyethylene insulation with vitreous paper core with 7 copper wires, 19.5 mm diameter, 1.37 m vertical height (1.7 m horizontal), 1.37 m vertical height (1.7 m horizontal)

Dimensions: 0.18 x 0.14 m, 1.37 m vertical height (1.7 m horizontal)

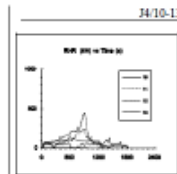
Mass: 0.27 kg
Sample ID: 1

24. 21. Vertical configuration
Cable placed in sample 12
Mass: 0.27 kg
Sample ID: 1

Test procedure
Standard: Fire testing in limited enclosure
Ignition source: Gas burner, 10 kW at 0.20, 340-400 and 500-550 (sample 12 and 13) or 10-200 (sample 11 and 14)

Sample: 12 13
Fire (kW): 41 34
Smoke (kg/kg): 200 240
CO (kg/kg): 6.12 8.17
CO₂ (kg/kg): 4.8 8.4
H₂O (kg/kg): 6.12 8.17

References
References: Y. et al.
Fire Research Commission of Fire Research and Fire Protection Products
SRI: Fire Research Commission
National Bureau of Standards
U.S.A. 1982



Offices

Cognitive work rooms with a cognitive desk and a workstation on eight supports in each room

Complete desk: The desk had a set of 4 cables above
Floor: Insulation covered, 21 cm thick
Size: 0.87 x 0.74 x 1.20 x 1.12 m
Mass: 70 kg
Paper load: 14 kg distributed under 4 desks

Desk case: 7 desk construction
Floor: Insulation covered, 21 cm thick
Size: 0.3 x 0.93 x 1.87 m
Mass: 40 kg
Paper load: 7 kg distributed under 2 desks

22. Fire testing
See 11

23. Fire testing
See 12

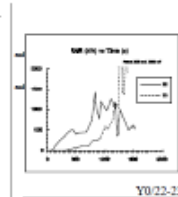
The procedure
Standard: Fire testing in limited enclosure
Sample 22: Fire testing in enclosure
Sample 23: Fire testing in enclosure
Ignition source: Gas burner between the desk and the desk case

Sample 22: 10 kg gas burner
Sample 23: Desk with one desk 1.1 kg paper

Also available
Total test release, per resp. 0, CO, and CO₂ concentrations

Notes
These tests were performed using different types of test procedure

References
References: Y. et al. and B. et al.
Desk system available in Office Configuration: Fire Research Commission
U.S.A. 1982



Television sets

The cabinet with the opening 0.57 m
The TV cabinet was covered of its external cabinet with the opening 0.57 m and under the cabinet opening 0.57 m and under the opening 0.57 m and under the opening 0.57 m

Thickness: 3.0 mm

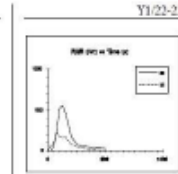
22. Fire testing
High impact polyethylene fire insulation
Mass: 27 kg
Sample ID: 1

23. Fire testing
High impact polyethylene fire insulation with aluminum insulation under 27% in vertical and horizontal cables (4 x 7 mm)
Mass: 27 kg
Sample ID: 1

The procedure
Standard: Fire testing in limited enclosure
Ignition source: 10 kW gas burner in 20% a, positioned between the cables

Sample: 22 23
Fire (kW): 23 23
Smoke (kg/kg): 2200 2000
CO (kg/kg): 6.12 8.17
CO₂ (kg/kg): 3.28 8.74
H₂O (kg/kg): 344 8.18

References
References: Y. et al.
Fire Research Commission of Fire Research and Fire Protection Products
SRI: Fire Research Commission
National Bureau of Standards
U.S.A. 1982



Gli scenari di incendio

CARATTERISTICHE DEL FOCOLAIO

- ▶ stato, tipo e quantitativo del combustibile;
- ▶ configurazione e posizione del combustibile;
- ▶ **tasso di crescita del rilascio termico e picco della potenza termica (HRRmax);**
- ▶ tasso di sviluppo dei prodotti della combustione;
- ▶ caratteristiche dell'edificio (geometria del locale, condizioni di ventilazione interna ed esterna, stato delle porte e delle finestre;

M.2.6

Stima della curva RHR

1. La definizione quantitativa delle varie fasi dell'incendio qui riportata si riferisce alla curva qualitativa dell'illustrazione M.2-1.
2. La presente metodologia può essere utilizzata per:
 - a. costruire le curve naturali con un modello di incendio numerico avanzato di cui al capitolo S.2, per la valutazione della capacità portante in condizioni d'incendio delle opere da costruzione;
 - b. valutare la portata di fumo emessa durante l'incendio per la progettazione dei sistemi SEFC.

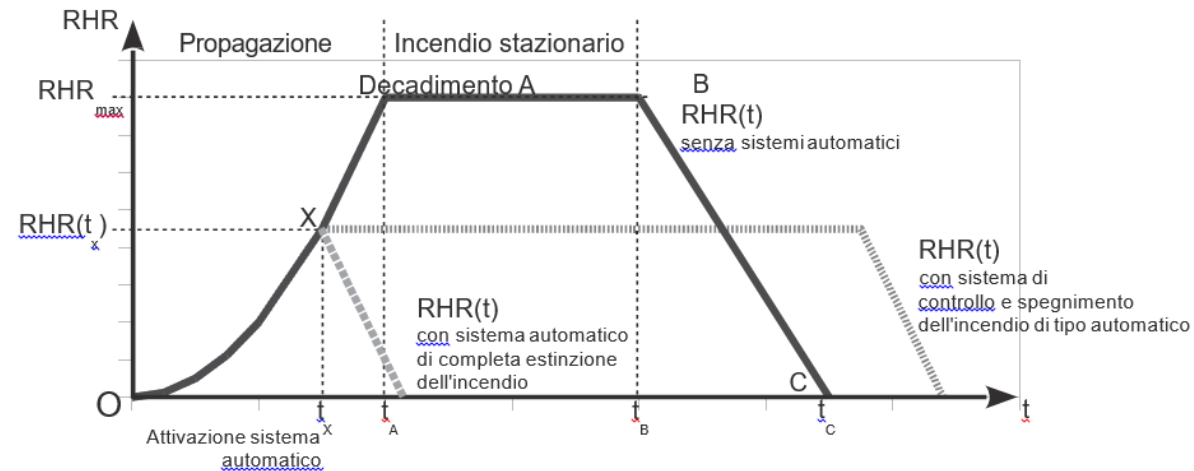


Illustrazione M.2-1: Fasi dell'incendio

Gli scenari di incendio

CARATTERISTICHE DEL FOCOLAIO

- ▶ stato, tipo e quantitativo del combustibile;
- ▶ configurazione e posizione del combustibile;
- ▶ **tasso di crescita del rilascio termico e picco della potenza termica (HRRmax);**
- ▶ tasso di sviluppo dei prodotti della combustione;
- ▶ caratteristiche dell'edificio (geometria del locale, condizioni di ventilazione interna ed esterna, stato delle porte e delle finestre);

Documento - CURVA_HRR - Namirial FSE Archivi 3.0.25

File Home Archivi di base Utilità

Nuovo Elimina Rinomina Sposta giù Conferma modifiche Annulla modifiche Espandi intero albero Riduci intero albero Mantiene scheda aperta Importa Esporta

Modifica Operazioni

Progetto

- Materiali
- Reazioni associate ai Materiali
- Superfici
- Curve HRR di progetto
 - ESEMPIO
- Oggetti FSE
- Extra Species
- Parametri di Attivazione
- Rivelatori Calore
- Rivelatori Fumo
- Termocoppia
- Particelle
- Reazioni chimiche di fase gassosa
- Spruzzatori
- Agenti
- Ventilatore

Curva HRR di progetto | ESEMPIO

Dati superfici | Dati aperture | Dati curva | Dati oggetto

Fonte di provenienza

Metodo di calcolo Sezione M.2.6 D.M. 03/08/2015

Dati di input

Modalità di sviluppo dell'incendio

- Controllato dalla superficie di ventilazione
- Controllato dalla massa di combustibile

Tipo di curva αT^2 (Crescita media (300s))

Fattore di partecipazione alla combustione 1,0

Carico di incendio specifico q_f 30.00 [MJ/m²]

Sistema automatico di estinzione/controllo dell'incendio

Tipo impianto

Istante di attivazione (Tx) 0 [s]

Istante intervento manuale (Ty) 0 [s]

Istante di estinzione (Txf) 0 [s]

Dati calcolati

Area del compartimento	10 000.000 [m ²]
Altezza equivalente	2.100 [m]
Area di ventilazione	10.080 [m ²]
HRR massimo	25 562.79 [kW]
Tempo fine sviluppo (Ta)	1 517 [s]
Tempo inizio decadimento (Tb)	9 226 [s]
Tempo fine incendio (Tc)	16 267 [s]

Curva HRR Stimata

Calcola Curva HRR

Grafico HRR

Codice cliente: 017335 giovedì 1 ottobre 2020

Scrive qui per eseguire la ricerca

Gli scenari di incendio

CARATTERISTICHE DEL FOCOLAIO

- ▶ stato, tipo e quantitativo del combustibile;
- ▶ configurazione e posizione del combustibile;
- ▶ **tasso di crescita del rilascio termico e picco della potenza termica (HRRmax);**
- ▶ tasso di sviluppo dei prodotti della combustione;
- ▶ caratteristiche dell'edificio (geometria del locale, condizioni di ventilazione interna ed esterna, stato delle porte e delle finestre);

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio t_e	150 s (<i>fast</i>)	75 s (<i>ultra-fast</i>)
RHR _{max} totale RHR _{max} per m ² di superficie del focolare	5 MW 250-500 kW/m ² [1]	50 MW 500 -1000 kW/m ² [1]
Resa in particolato Y_{soot}	Pre flashover: 0,07 kg/kg [2,3] Post flashover: 0,14 kg/kg [2,3]	Pre flashover: 0,18 kg/kg [4] Post flashover: 0,36 kg/kg [4]
Resa in monossido di carbonio Y_{CO}	Pre flashover: 0,10 kg/kg [5] Post flashover: 0,40 kg/kg [5]	
Calore di combustione effettivo ΔH_c	20 MJ/kg [3]	
Resa in biossido di carbonio Y_{CO_2}	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua Y_{H_2O}	0,82 kg/kg [3,6]	
Frazione di RHR in irraggiamento (<i>Radiative fraction</i>)	35% [3]	
<p>[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.</p> <p>[2] Robbins A P, Wade C A, Study Report no 185 "Soot Yield Values for Modelling Purposes - Residential Occupancies", BRANZ, 2008</p> <p>[3] "CVM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code</p> <p>[4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4th ed., 2008. Tabella 3-4.16, pag. 3-142, da <i>polyurethane flexible foams</i>.</p> <p>[5] Stec A A, Hull T R, "Fire Toxicity", Woodhead Pub., 2010. § 2.4 con $\Phi = 1,25$ (<i>underventilated fire</i>)</p> <p>[6] In alternativa alle rese Y_{CO_2} e Y_{H_2O}, si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico $CH_2O_{0,5}$.</p>		

Tabella M.2-2: Focolari predefiniti

Gli scenari di incendio

- L'Eurocodice 1 (norma UNI EN 1991-1-2:2004 “Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture - Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco”) indica che in un locale incendiato fino all'inizio della fase di decadimento è stato consumato il 70% della massa di tutto il combustibile inizialmente presente, mentre per la norma ISO/TR 13387-2 ne viene bruciata l'80%.

CARATTERISTICHE DEL FOCOLAIO

- ▶ stato, tipo e quantitativo del combustibile;
- ▶ configurazione e posizione del combustibile;
- ▶ **tasso di crescita del rilascio termico e picco della potenza termica (HRR_{max});**
- ▶ tasso di sviluppo dei prodotti della combustione;
- ▶ caratteristiche dell'edificio (geometria del locale, condizioni di ventilazione interna ed esterna, stato delle porte e delle finestre);

prospetto E.5 Velocità di crescita dell'incendio e RHR_f per differenti destinazioni d'uso

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

Gli scenari di incendio

CARATTERISTICHE DEL FOCOLAIO

- ▶ stato, tipo e quantitativo del combustibile;
- ▶ configurazione e posizione del combustibile;
- ▶ **tasso di crescita del rilascio termico e picco della potenza termica (HRRmax);**
- ▶ tasso di sviluppo dei prodotti della combustione;
- ▶ caratteristiche dell'edificio (geometria del locale, condizioni di ventilazione interna ed esterna, stato delle porte e delle finestre);

- Generalmente un incendio in FDS è simulato assegnando a una o più superfici la proprietà di rilasciare calore in modo controllato in funzione di una curva HRR–Tempo che si intende ottenere.
- `&SURF ID='Hrr hotel media' HRRPUA=250.000, TAU_Q=-300.000/`

Come parametri per l'incendio si è fatto riferimento a quanto indicato nell'EC1 1991-1-2 relativamente al valore normalizzato dell'HRR per un hotel.

Dal prospetto E5

prospetto E.5 Velocità di crescita dell'incendio e RHR_t per differenti destinazioni d'uso

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

Gli scenari di incendio

CARATTERISTICHE DEL FOCOLAIO

- ▶ stato, tipo e quantitativo del combustibile;
- ▶ configurazione e posizione del combustibile;
- ▶ **tasso di crescita del rilascio termico e picco della potenza termica (HRRmax);**
- ▶ tasso di sviluppo dei prodotti della combustione;
- ▶ caratteristiche dell'edificio (geometria del locale, condizioni di ventilazione interna ed esterna, stato delle porte e delle finestre;

&SURF ID='Hrr hotel media' HRRPUA=250.000, TAU_Q=-300.000/

- Nelle simulazioni in cui riveste una articolare importanza la valutazione dell'esodo delle persone presenti all'interno dei locali particolare attenzione deve essere posta nella scelta del **rateo di produzione del particolato**
- La descrizione del rateo di produzione del particolato (fumo) è definito tramite il parametro SOOT_YIELD presente nella riga &REAC

Gli scenari di incendio

CARATTERISTICHE DEL FOCOLAIO

- ▶ stato, tipo e quantitativo del combustibile;
- ▶ configurazione e posizione del combustibile;
- ▶ **tasso di crescita del rilascio termico e picco della potenza termica (HRRmax);**
- ▶ tasso di sviluppo dei prodotti della combustione;
- ▶ caratteristiche dell'edificio (geometria del locale, condizioni di ventilazione interna ed esterna, stato delle porte e delle finestre;

&SURF ID='Hrr hotel media' HRRPUA=250.000, TAU_Q=-300.000/

- La Lettera Circolare del Ministero dell'interno DCPST n.427 del 31 marzo 2008 “Oggetto: Decreto del Ministero dell'interno 9 maggio 2007 LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE DEI PROGETTI” consiglia valori del parametro del tipo:
 - per materiali cellulosici quali legno, carta, ecc. può essere accettabile un rateo di produzione di particolato di **0,01** kgsoot/kgcomb;
 - per materiali plastici quali, PVC, poliuretano, ecc. il rateo può crescere di un ordine di grandezza e arrivare a **0,08 – 0,10** kgsoot/kgcomb o anche maggiore.

Gli scenari di incendio

CARATTERISTICHE DEL FOCOLAIO

- ▶ stato, tipo e quantitativo del combustibile;
- ▶ configurazione e posizione del combustibile;
- ▶ **tasso di crescita del rilascio termico e picco della potenza termica (HRRmax);**
- ▶ tasso di sviluppo dei prodotti della combustione;
- ▶ caratteristiche dell'edificio (geometria del locale, condizioni di ventilazione interna ed esterna, stato delle porte e delle finestre;

materiali cellulosici

```
&SURF ID='Hrr hotel media'  
HRRPUA=250.000, TAU_Q=-  
300.000/
```

```
&REAC ID = 'legno',
```

```
HEAT_OF_COMBUSTION=18420.0  
0, SOOT_YIELD=0.0100,  
CO_YIELD=0.0043, C=3, H=6, O=2/
```

materiali plastici

```
&SURF ID='Hrr hotel media'  
HRRPUA=250.000, TAU_Q=-  
300.000/
```

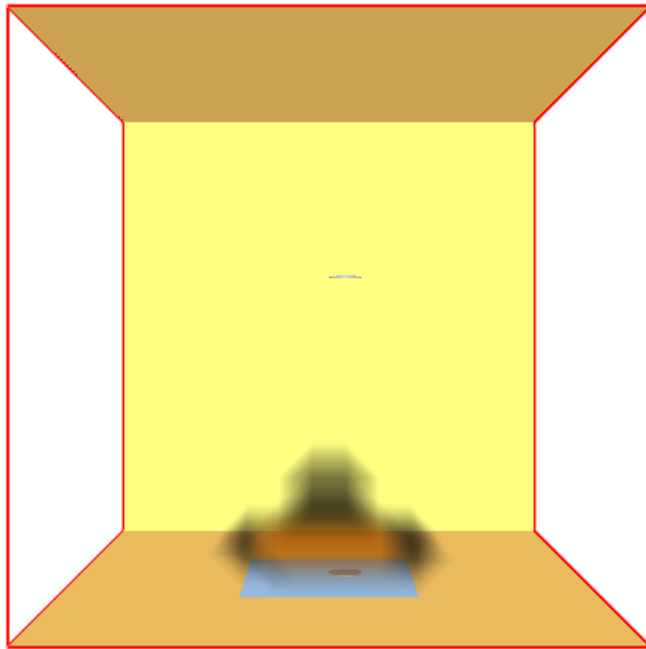
```
&REAC ID = 'polyurethane',
```

```
HEAT_OF_COMBUSTION=25300.0  
0, SOOT_YIELD=0.1875,  
CO_YIELD=0.02775, C=1, H=1.75,  
O=0.25, N=0.065,
```

IDEAL=.TRUE./ Polyurethane flexible foam (means) from Tewarson SFPE Handbook 3rd ed, SFPE handbook table 3-4.14, p. 3-112.

Grafico HRR

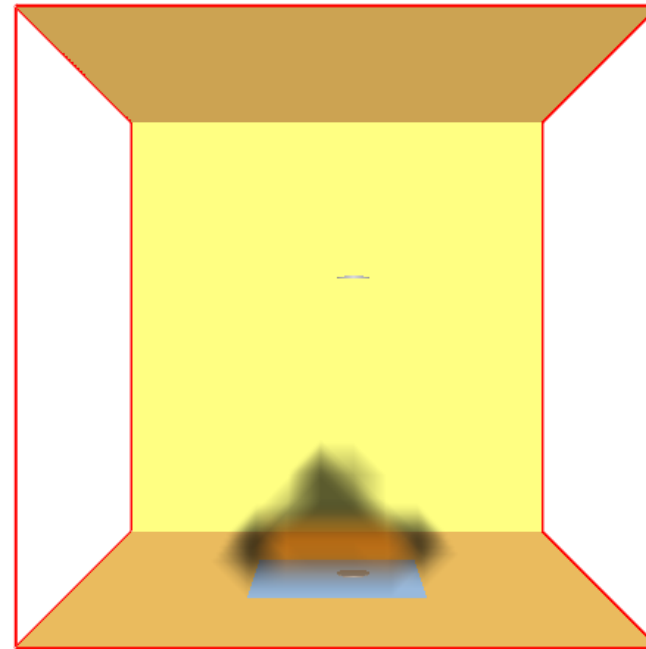
materiali cellulosici



Time: 600.0



materiali plastici

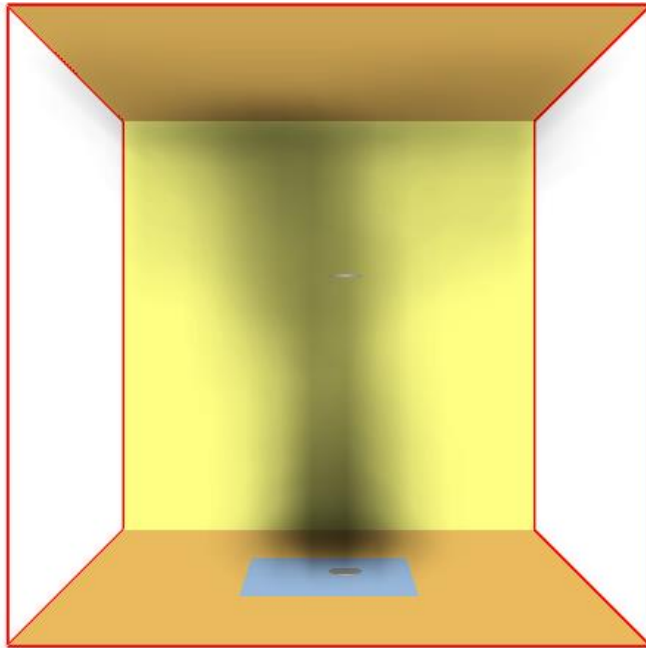


Time: 600.0



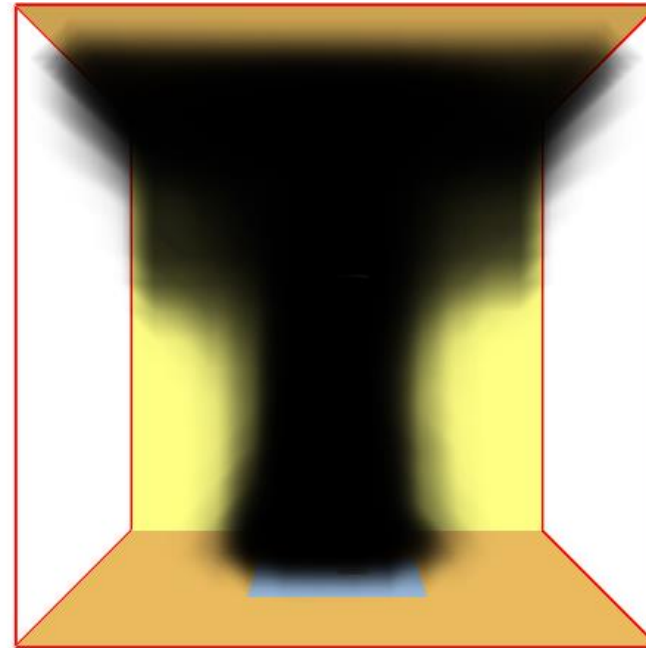
Grafico soot

materiali cellulosici



Time: 600.0

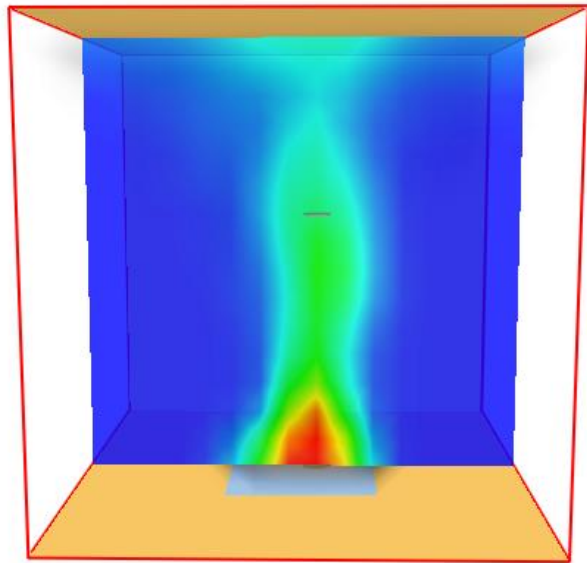
materiali plastici



Time: 600.0

Grafico temperatura

materiali cellulosici



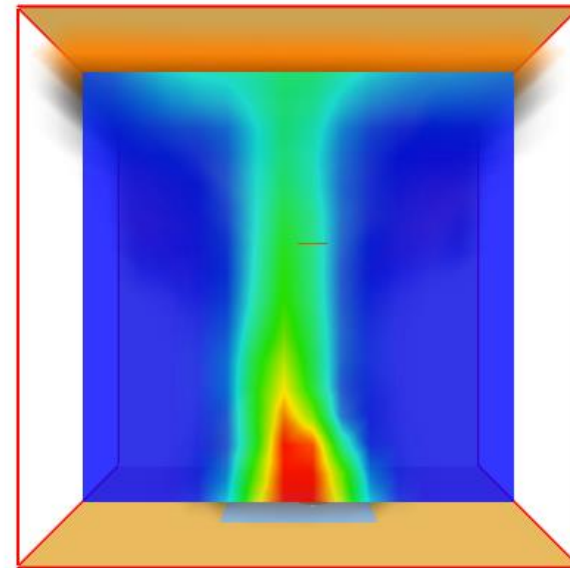
Slice temp °C
370
335
300
265
230
195
160
125
90.0
55.0
20.0



Time: 600.0



materiali plastici



Slice temp °C
370
335
300
265
230
195
160
125
90.0
55.0
20.0

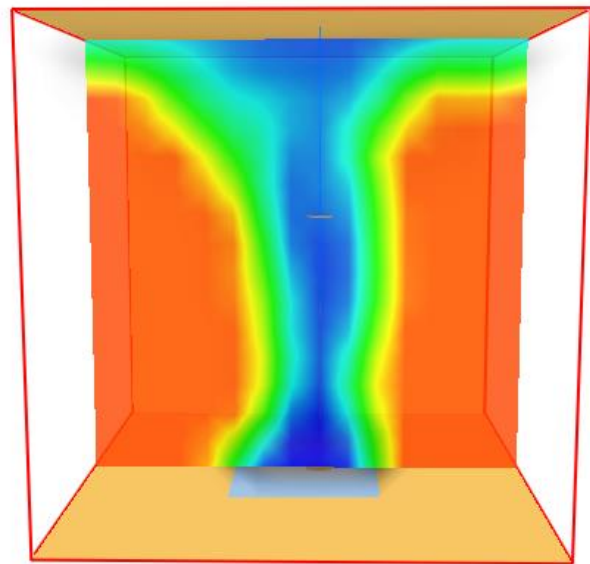


Time: 600.0

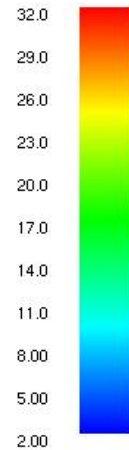


Grafico visibilità

materiali cellulosici

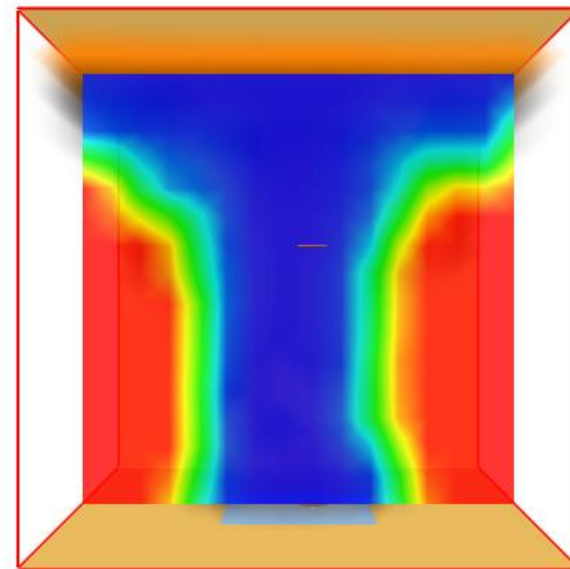


Slice
VIS_CO.9H0.1
m

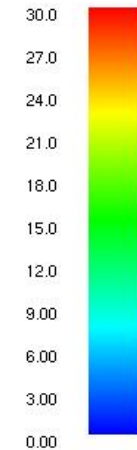


Time: 600.0

materiali plastici

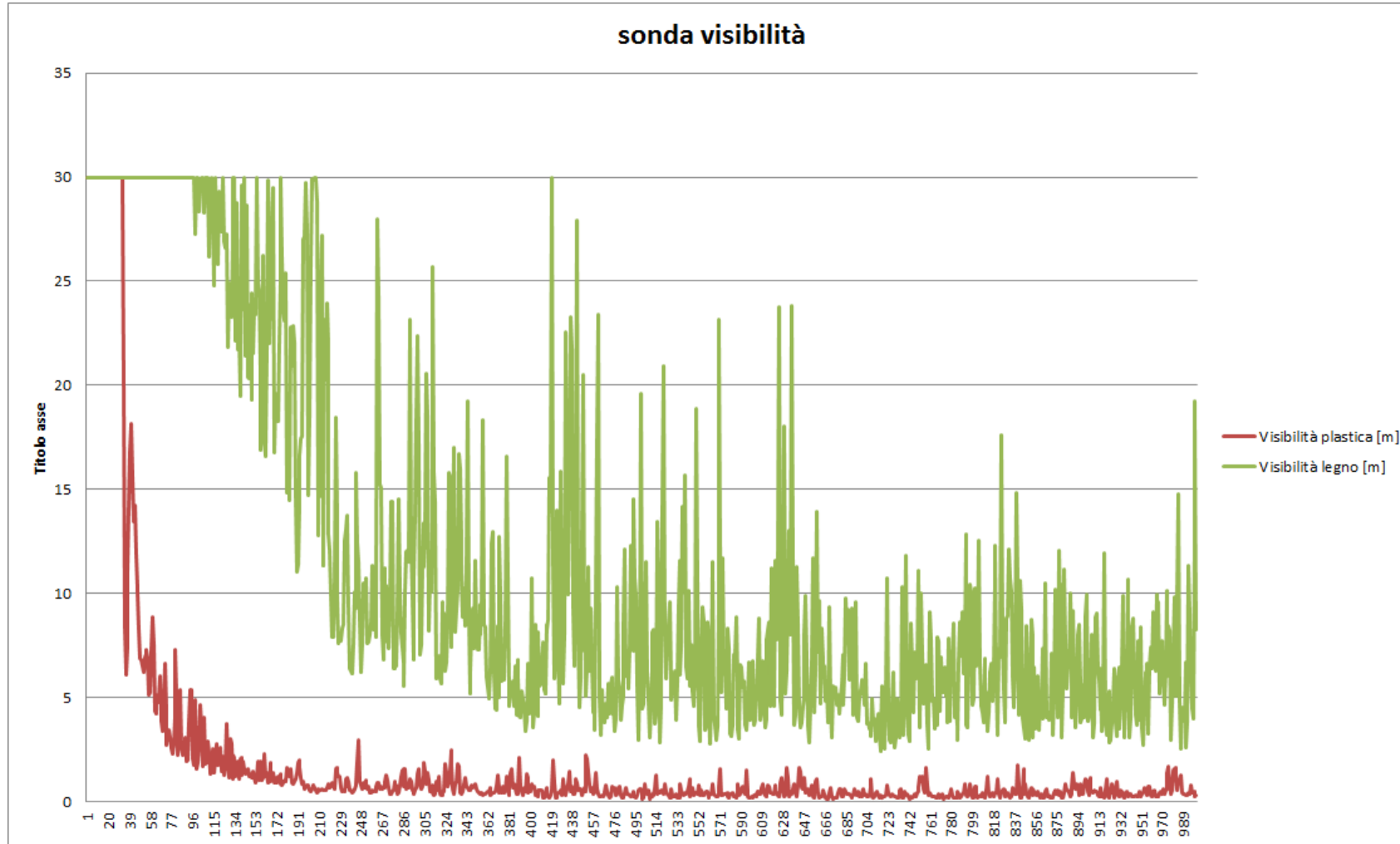


Slice
VIS_CO.9H0.1
m

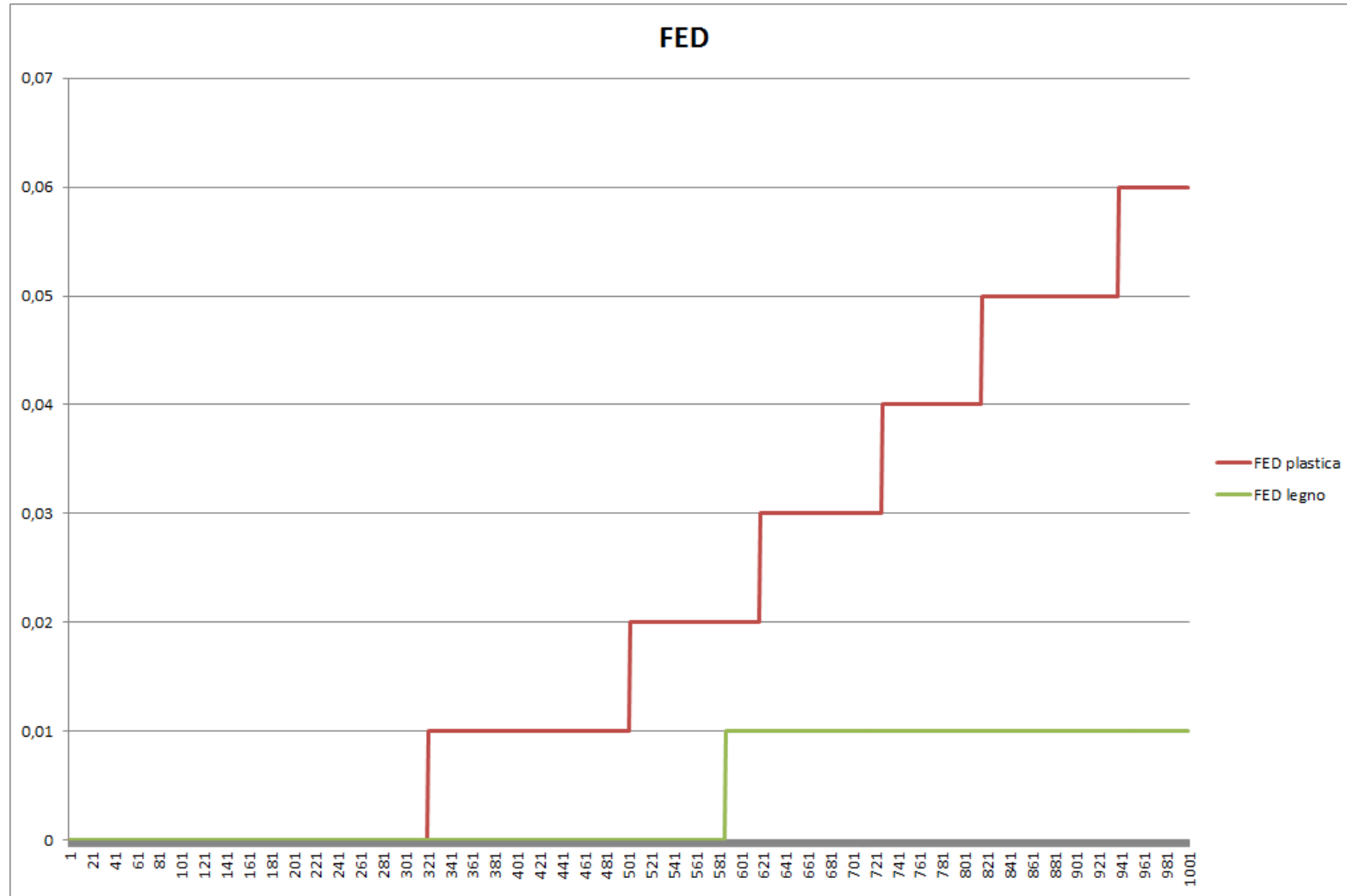


Time: 600.0

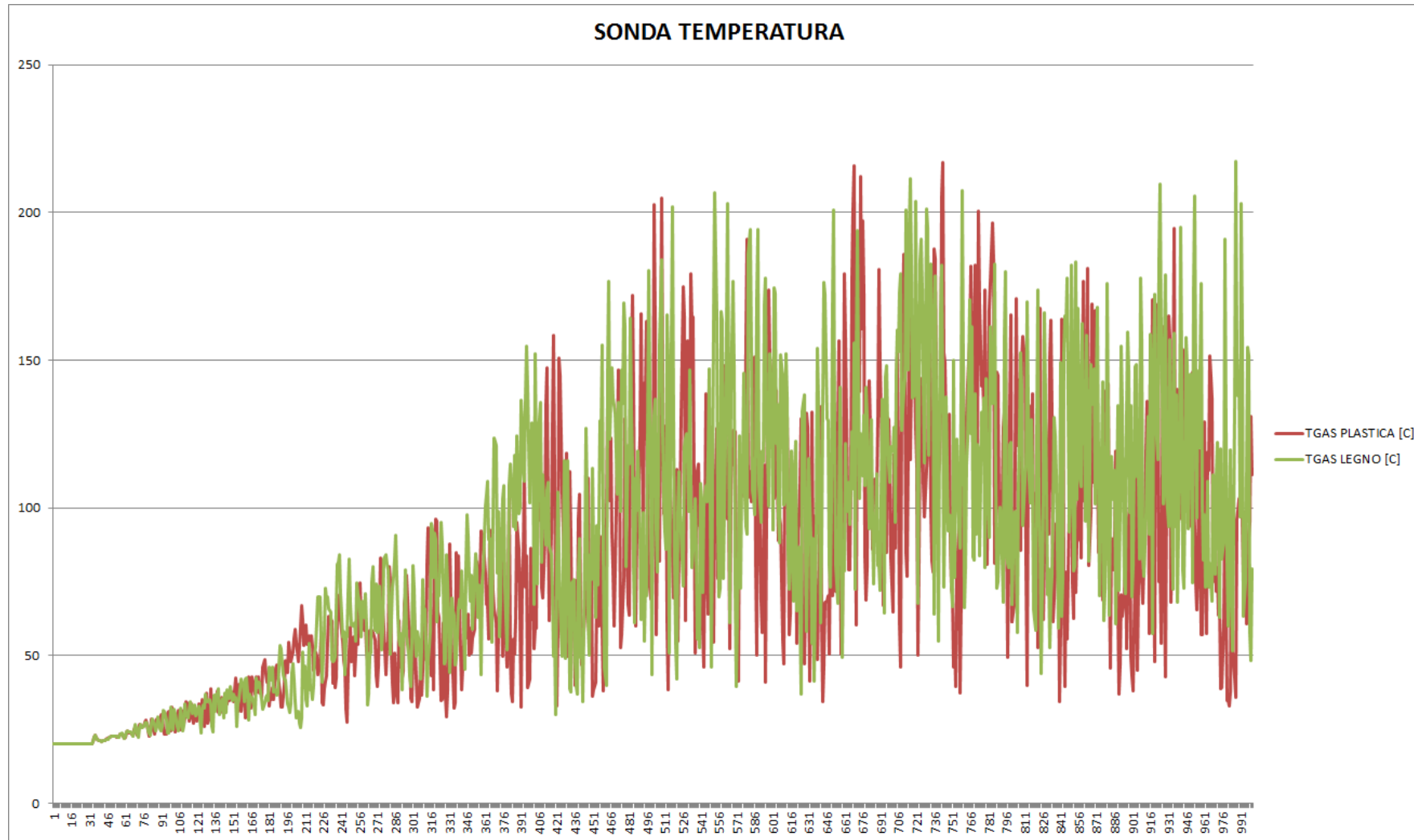
Modellazione incendio HRR predefinito



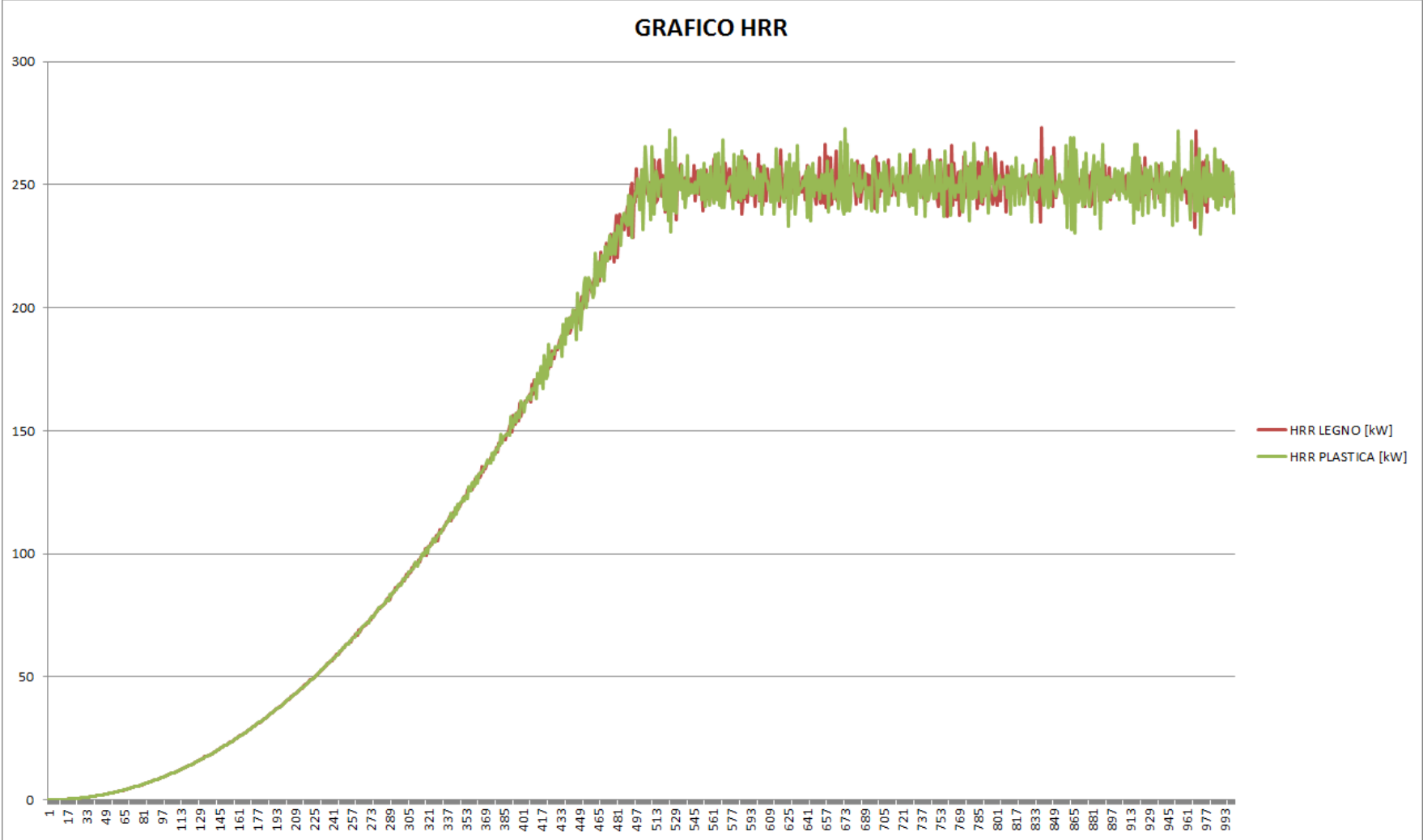
Modellazione incendio HRR predefinito



Modellazione incendio HRR predefinito



Modellazione incendio HRR predefinito



Gli scenari di incendio

Uno scenario di incendio rappresenta una particolare combinazione di eventi associati a diversi fattori quali

CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO

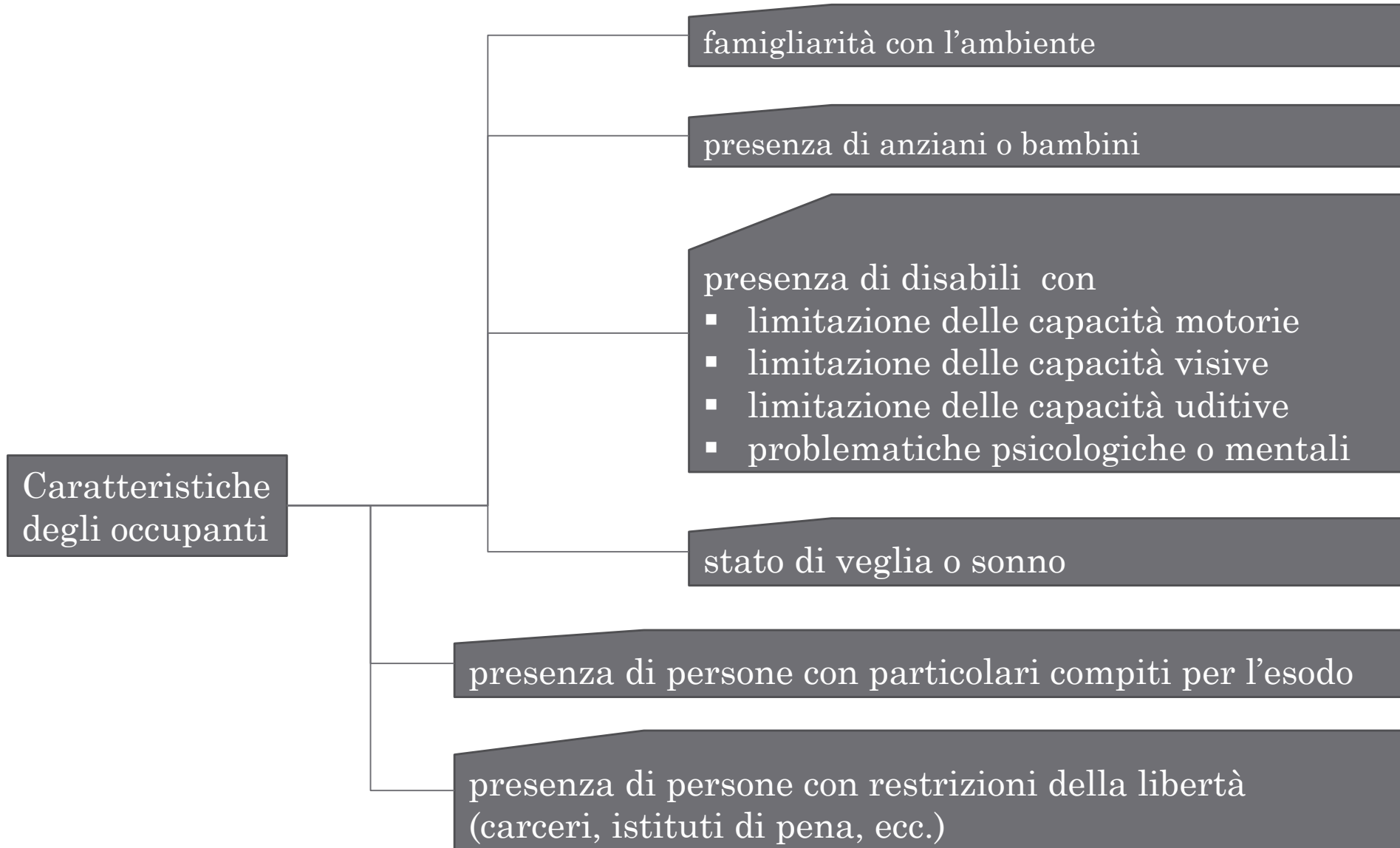
- geometria dei locali e caratteristiche termiche delle pareti e dei solai
- condizioni di ventilazione naturale interna ed esterna
- condizioni di ventilazione meccanica
- stato delle porte e delle finestre con riferimento alla situazione di apertura/chiusura in funzione del tempo

CARATTERISTICHE OCCUPANTI

- affollamento
- categoria occupanti;
- stato psico-fisico
- grado di familiarità dei presenti con l'ambiente
- stato di veglia/sonno

Gli scenari di incendio

Processo di valutazione



Edificio 50 m X 100 m 4 US da 2 moduli
Area occupanti : 2400 mq

Gli scenari di incendio

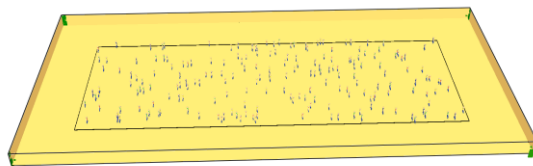
CARATTERISTICHE DEGLI OCCUPANTI

- affollamento
- **categoria occupanti;**
- stato psico-fisico
- grado di familiarità dei presenti con l'ambiente
- stato di veglia/sonno

Scenario 1

- Affollamento 200 persone:
 - 50 Uomini (blue)
 - 50 Donne (giallo)
 - 50 Anziani (arancio)
 - 50 bambini (verde)
 - 10 Adulti (bianco)

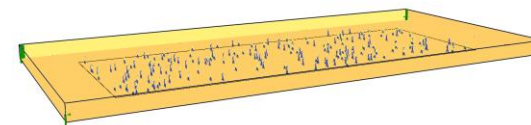
113 s esodo completo



Scenario 2

- Affollamento 210 persone:
 - 100 Uomini (blue)
 - 100 Donne (giallo)
 - 10 Adulti (bianco)

74 s esodo completo



Edificio 50 m X 100 m 4 US da 2 moduli
Area occupanti : 2400 mq

Gli scenari di incendio

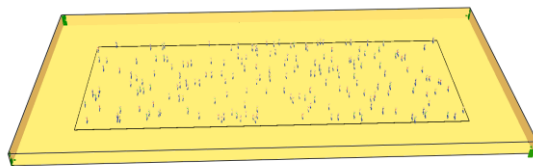
Scenario 3

CARATTERISTICHE DEGLI OCCUPANTI

- affollamento
- **categoria occupanti;**
- stato psico-fisico
- grado di familiarità dei presenti con l'ambiente
- stato di veglia/sonno

- Affollamento 200 persone:
 - 100 Anziani (arancio)
 - 100 bambini (verde)
 - 10 Adulti (bianco)

100 s esodo completo



Edificio 50 m X 100 m 4 US da 2 moduli
Area occupanti : 2400 mq

Gli scenari di incendio

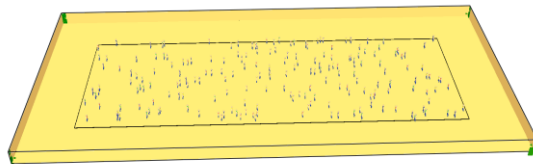
CARATTERISTICHE DEGLI OCCUPANTI

- affollamento
- categoria occupanti;
- stato psico-fisico
- **grado di familiarità dei presenti con l'ambiente**
- stato di veglia/sonno

Scenario 1

- Affollamento 200 persone:
 - 50 Uomini (blue)
 - 50 Donne (giallo)
 - 50 Anziani (arancio)
 - 50 bambini (verde)
 - 10 Adulti con conoscenza (bianco)

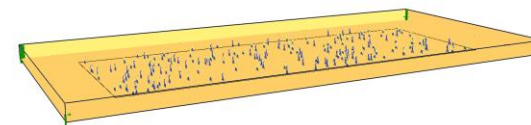
92 s (113 s) esodo completo



Scenario 2

- Affollamento 210 persone:
 - 100 Uomini (blue)
 - 100 Donne (giallo)
 - 10 Adulti con conoscenza (bianco)

71 s (74 s) esodo completo



Gli scenari di incendio

Il passaggio dagli scenari possibili a quelli di progetto è un processo in cui vi è la garanzia che gli scenari esclusi oltre a non avere un livello di rischio significativo non alterino le conclusioni dello studio.

La riduzione del numero dei primi sarà fatta fino ad una quantità che sia rappresentativa della situazione di rischio nel caso reale e sia in grado di essere trattata nei calcoli.



Gli scenari di incendio

Tale approccio riguarda la valutazione probabilistica dell'insorgenza dell'incendio e delle relative conseguenze; se la verosimiglianza di uno o più gruppi di scenari è considerata bassa, questi possono essere eliminati all'analista

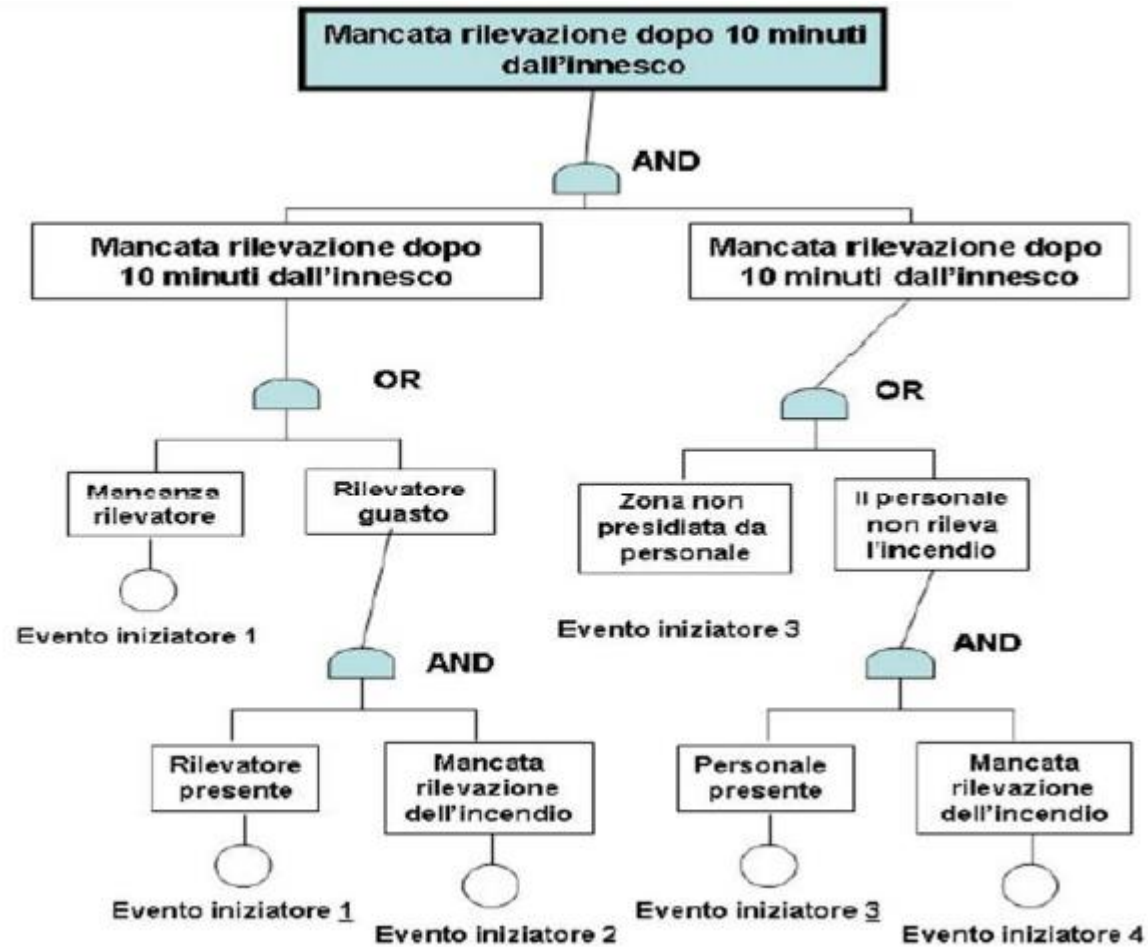
Selezione degli scenari di progetto

- **Approccio probabilistico**
- Approccio deterministico
- Approccio normativo

- **Failure analysis:** studio dei guasti e delle indisponibilità
- **What if analysis:** cosa avviene se un determinato guasto o evento si verificano
- **Failure Modes and Effects Analysis (FMEA o FMECA):** analisi dei modi di guasto e dei relativi effetti
- **HAZard & OPerability analysis:** tecnica qualitativa con suddivisione del progetto in parti più semplici riviste individualmente da un team multidisciplinare
- **Analisi storica,** manuali operative e liste di controllo: analisi storica dei dati incidentali

Gli scenari di incendio

L'albero dei guasti

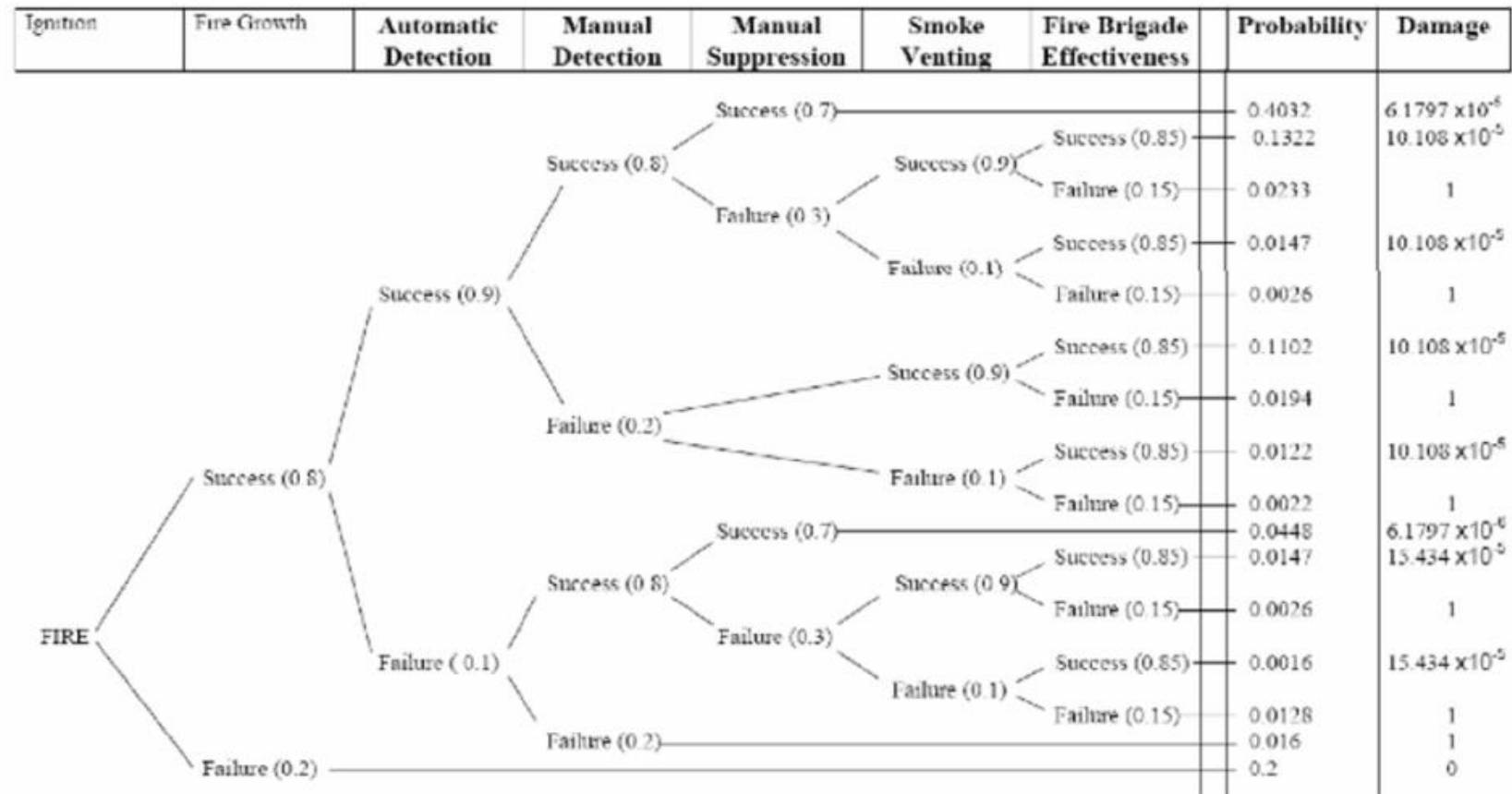


Selezione degli scenari di progetto

- **Approccio probabilistico**
- Approccio deterministico
- Approccio normativo

Gli scenari di incendio

L'albero dei guasti



- Selezione degli scenari di progetto
- **Approccio probabilistico**
 - Approccio deterministico
 - Approccio normativo

Gli scenari di incendio

Table A.1 — Probability of fire starting

Occupancy	Probability of fire per year	
	a	b
Industrial buildings		
Food, drink and tobacco	0.001 1	0.60
Chemical and allied	0.006 9	0.46
Mechanical engineering and other metal goods	0.000 86	0.56
Electrical engineering	0.006 1	0.59
Vehicles	0.000 12	0.86
Textiles	0.007 5	0.35
Timber, furniture	0.000 37	0.77
Paper, printing and publishing	0.000 069	0.91
Other manufacturing	0.008 4	0.41
All manufacturing industry	0.001 7	0.53
Other occupancies		
Storage	0.000 67	0.5
Shops	0.000 066	1.0
Offices	0.000 059	0.9
Hotels, etc.	0.000 08	1.0
Hospitals	0.000 7	0.75
Schools	0.000 2	0.75

$$F = a A^b$$

Frequenza di innesco

Tratta da: BSI PD 7974-7:2003 – probabilistic risk assessment

Selezione degli scenari di progetto

- **Approccio probabilistico**
- Approccio deterministico
- Approccio normativo

Gli scenari di incendio

Table A.2 — Overall probability of fire starting in various types of occupancy

Occupancy	Probability of fire starts per occupancy y^{-1}
Industrial	4.4×10^{-3}
Storage	1.3×10^{-3}
Offices	6.2×10^{-3}
Assembly entertainment	1.2×10^{-1}
Assembly non-residential	2.0×10^{-2}
Hospitals	3.0×10^{-1}
Schools	4.0×10^{-2}
Dwellings	3.0×10^{-3}

Probabilità assoluta

Table A.3 — Probability of fire starting within given floor area for various types of occupancy

Occupancy	Probability of fire starting $y^{-1}m^{-2}$
Offices	1.2×10^{-5}
Storage	3.3×10^{-5}
Public assembly	9.7×10^{-5}

Probabilità per m^2

Tratta da: BSI PD 7974-7:2003 – probabilistic risk assessment

Selezione degli scenari di progetto

- **Approccio probabilistico**
- Approccio deterministico
- Approccio normativo

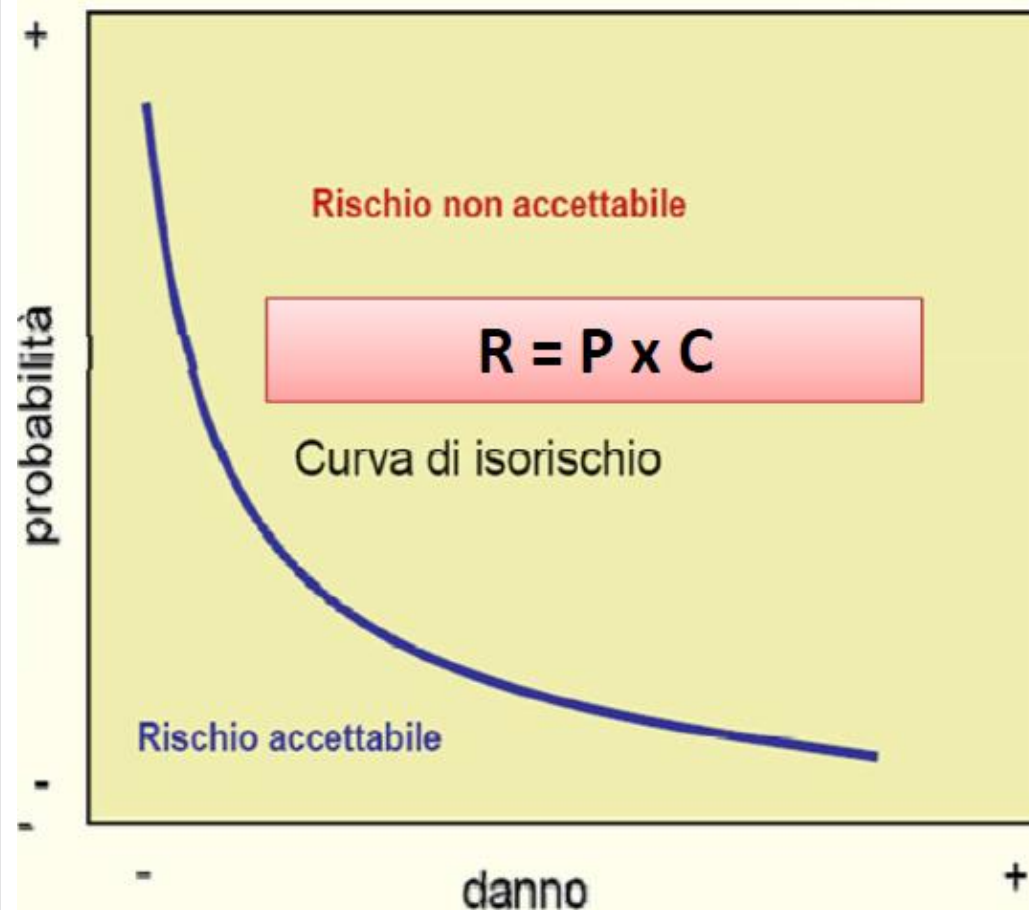
Gli scenari di incendio

Selezione degli scenari di progetto

- **Approccio probabilistico**
- Approccio deterministico
- Approccio normativo

La scelta degli scenari di progetto può essere effettuata sulla base del **rischio R**, connesso a ciascuno scenario di incendio possibile per l'edificio in esame, ottenuto dal prodotto della **probabilità P di accadimento** dello scenario per le **conseguenze C che lo stesso scenario può provocare**

- Fire Risk Assessment (FRA)
- Annesso E del EN1991-1-2

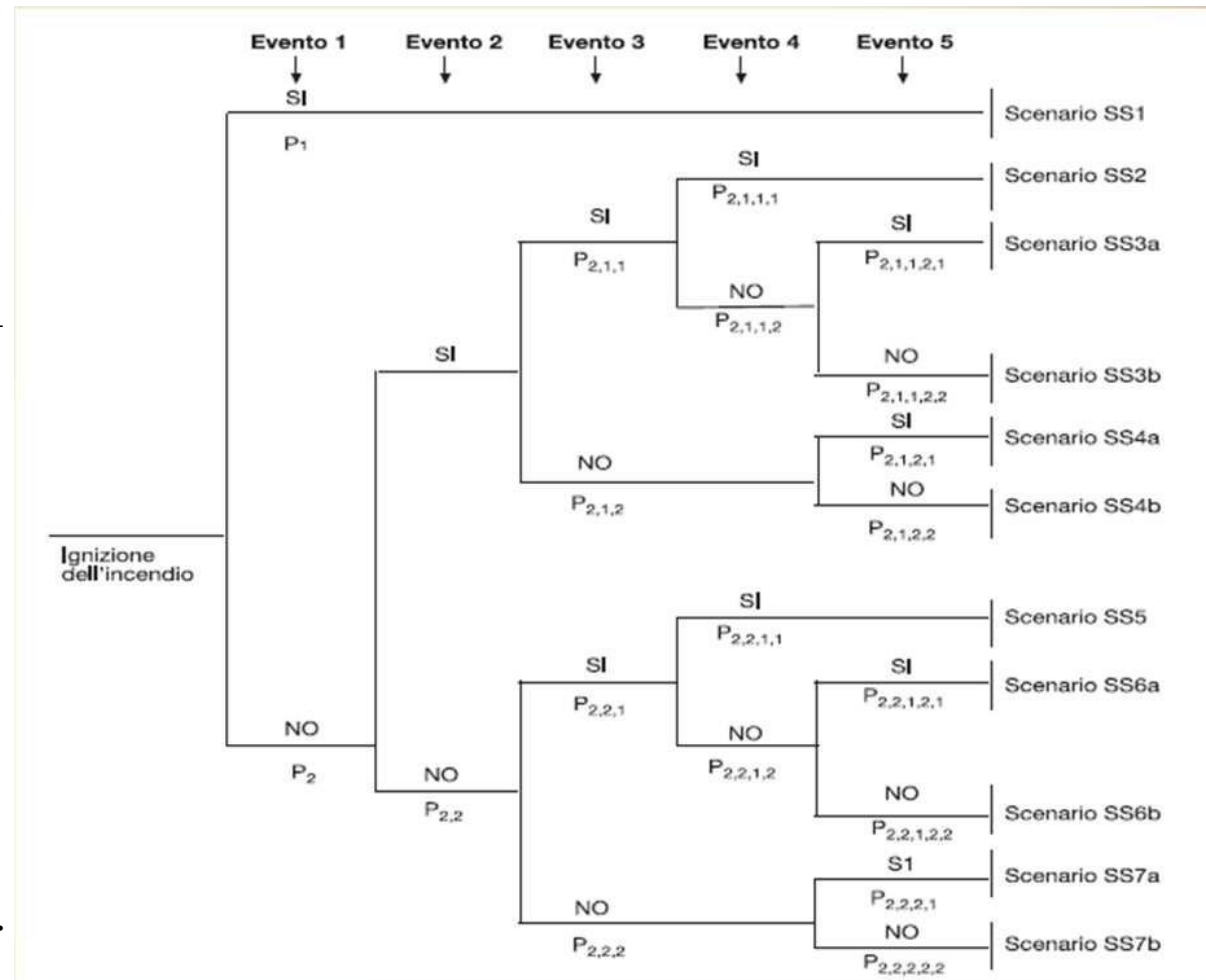


Gli scenari di incendio

Selezione degli scenari di progetto

- **Approccio probabilistico**
- Approccio deterministico
- Approccio normativo

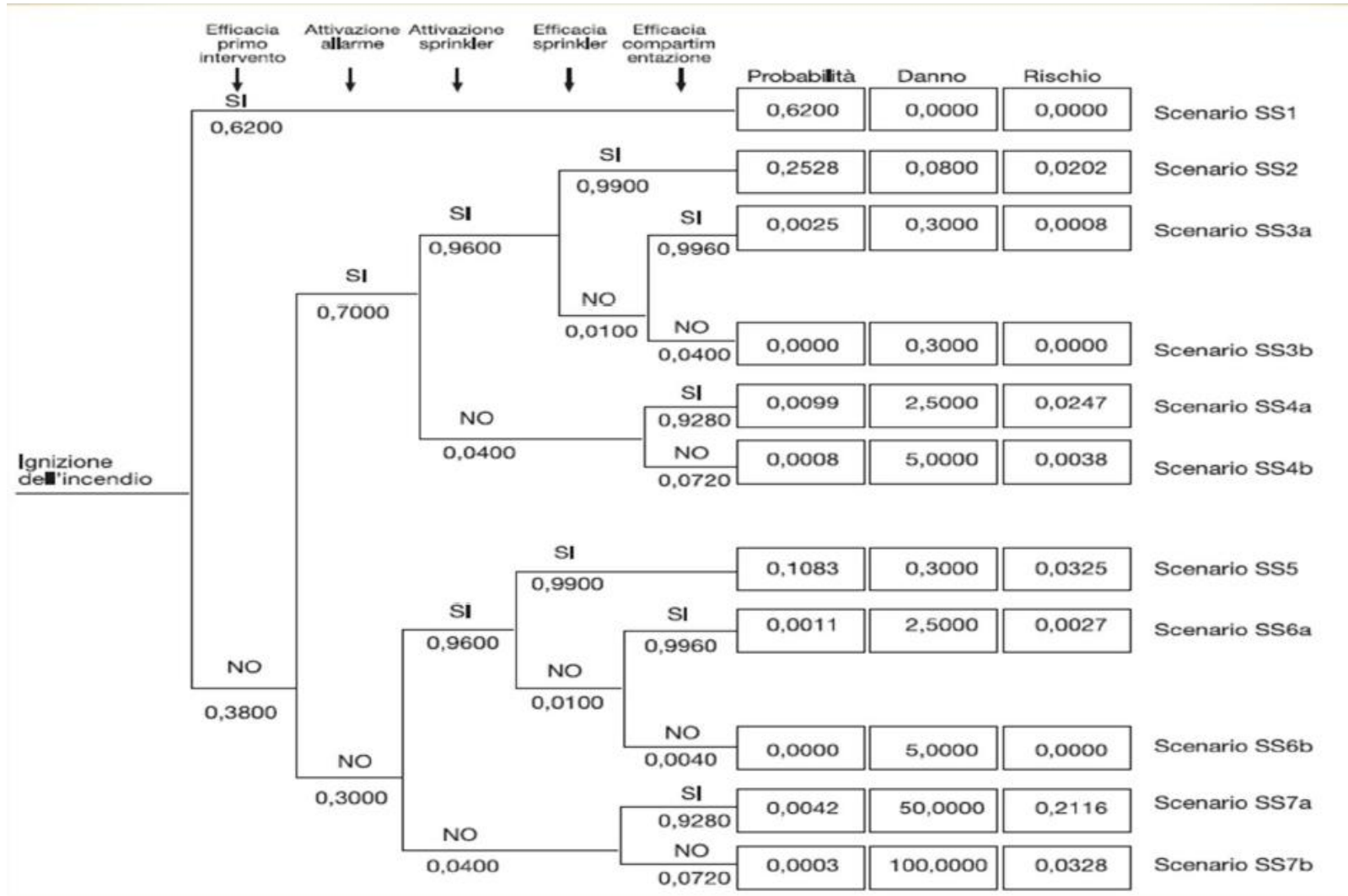
Applicazione del FRA ad edifici con destinazione d'uso uffici e scelta dei livelli prestazionali - Il FRA, in accordo con le linee guida ISO-16732, può avvalersi di uno strumento per la valutazione del rischio di incendio, quale l'“albero degli eventi” basato sulla discretizzazione della reale evoluzione dell'incendio in un certo numero di eventi macroscopici; le sequenze di eventi che ne derivano sono poi caratterizzate in termini della loro probabilità di accadimento.



Gli scenari di incendio

Selezione degli scenari di progetto

- **Approccio probabilistico**
- Approccio deterministico
- Approccio normativo



Gli scenari di incendio

Le conseguenze possono essere definite in termini di perdite economiche prodotte dall'incendio

Selezione degli scenari di progetto

- **Approccio probabilistico**
- Approccio deterministico
- Approccio normativo

Indicatore numerico del danno per ciascuna torre							
Scenario	Evento 1	Evento 2	Evento 3	Evento 4	Evento 5	N (Danno%)	Note
SS1	SI					SI	Danno limitato all'oggetto di origine dell'incendio
SS2	NO	SI	SI	SI		0,08%	Danno limitato agli oggetti circostanti di origine dell'incendio (1/2 stanza)
SS3a	NO	SI	SI	NO	SI	0,3%	Danno limitato all'ambiente di origine dell'incendio (2 stanze)
SS3b	NO	SI	SI	NO	NO	0,3%	Danno limitato all'ambiente di origine dell'incendio (2 stanze)
SS4a	NO	SI	NO	NO	SI	2,5%	Danno limitato ad un intero compartimento di piano dell'edificio (15 stanze)
SS4b	NO	SI	NO	NO	NO	5,0%	Danno limitato ad un intero piano (30 stanze)
SS5	NO	NO	SI	SI		0,3%	Danno limitato all'oggetto di origine dell'incendio (2 stanze)
SS6a	NO	NO	SI	NO	SI	2,5%	Danno limitato ad un intero compartimento di piano dell'edificio (15 stanze)
SS6b	NO	NO	SI	NO	NO	5,0%	Danno limitato ad un intero piano (30 stanze)
SS7a	NO	NO	NO	NO	SI	50,0%	Crollo di una parte dell'edificio
SS7b	NO	NO	NO	NO	NO	100,0%	Crollo dell'edificio

Gli scenari di incendio

Selezione degli scenari di progetto

- **Approccio probabilistico**
- Approccio deterministico
- Approccio normativo

Scenario	Probabilità	Conseguenza	Rischio	Classifica del rischio
Scenario SS1	0,6200	0,00	0,0000	11
Scenario SS2	0,2528	0,08	0,0202	5
Scenario SS3a	0,0025	0,30	0,0008	8
Scenario SS3b	0,0001	0,30	0,0000	10
Scenario SS4a	0,0099	2,50	0,0247	4
Scenario SS4b	0,0008	5,00	0,0038	6
Scenario SS5	0,1083	0,30	0,0325	3
Scenario SS6a	0,0011	2,50	0,0027	7
Scenario SS6b	0,0000	5,00	0,0002	9
Scenario SS7a	0,0042	50,00	0,2116	1
Scenario SS7b	0,0003	100,00	0,0328	2

Tabella 2 - Risk Ranking

Gli scenari di incendio

Selezione degli scenari di progetto

- Approccio probabilistico
- **Approccio deterministico**
- Approccio normativo

- Il filtro più importante è quello del giudizio basato sull'esperienza e sulla conoscenza della materia da parte del professionista.
- Questo approccio si fonda sulle **analisi o sui giudizi basati sulla chimica, sulla fisica** e sulle correlazioni sviluppate da prove sperimentali per prevedere le conseguenze dell'incendio.
- Secondo questo approccio si valutano **analiticamente** gli scenari per verificarne se possono fornire degli effetti che superano i criteri di prestazione stabiliti.
- L'identificazione degli elementi di rischio d'incendio che caratterizzano una specifica attività, se condotta in conformità a quanto indicato dal **DMI 7 agosto 2012** e dal **DMI 10 marzo 1998**, permette di definire gli scenari d'incendio, intesi quali proiezioni dei possibili eventi di incendio.

Gli scenari di incendio

Selezione degli scenari di progetto

- Approccio probabilistico
- Approccio deterministico
- **Approccio normativo**

- La norma **NFPA 101 (life safety code)** in alternativa alla definizione degli scenari secondo le valutazioni esperte, prevede la prova del progetto e la valutazione rispetto ad **8 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.
- In particolare, inoltre, nella norma **NFPA 914** l'esame degli scenari deve considerare sia gli aspetti di **sicurezza delle persone (parte A)** che di **salvaguardia dei beni (parte B)**.

Gli scenari di incendio NFPA 101

- **Scenario 1:** incendio che si sviluppa durante una fase normale dell'attività
- **Scenario 2:** incendio che si sviluppa con la combustione di un materiale con curva ultra veloce nella via di esodo più importante. Questo scenario è volto alla problematica dell'esodo delle persone, si ipotizzano le porte interne aperte.
- **Scenario 3:** incendio che si sviluppa in un locale in cui non sono normalmente presenti persone ma che può mettere in pericolo persone presenti in altri locali a causa della sua ubicazione.
- **Scenario 4:** incendio che si sviluppa in un intercapedine o un controsoffitto adiacente ad un locale di grande dimensioni in cui sono presenti persone. Si ipotizza intercapedine e controsoffitto senza sistema di rilevazione né di soppressione.
- **Scenario 5:** incendio che si sviluppa con materiale a lenta curva di crescita ed ostacolato da sistemi di protezione attiva in locale adiacente ad uno affollato. Piccolo innesco ma con sviluppo di incendio rilevante.
- **Scenario 6:** incendio intenso dovuto al massimo carico d'incendio possibile in presenza di persone.
- **Scenario 7:** incendio esterno alla zona oggetto dello studio e che si propaga all'interno rendendo le condizioni non sostenibili o impedisce le vie di esodo.
- **Scenario 8:** incendio originato da combustibili ordinari o che si sviluppa in una zona con sistemi di protezione disattivati uno alla volta.

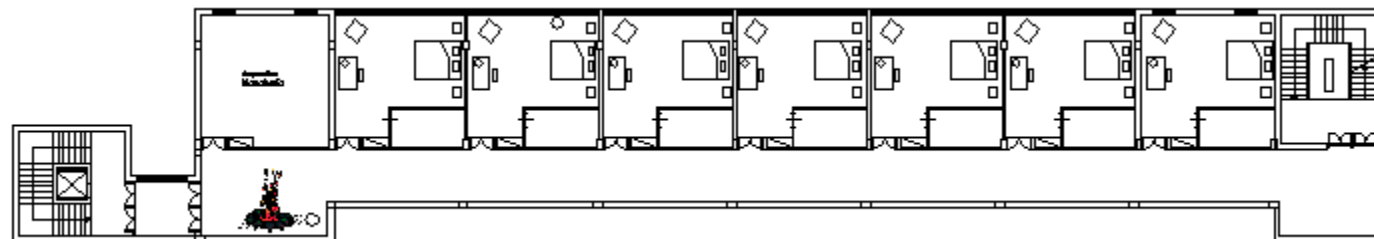
Selezione degli scenari di progetto

- Approccio probabilistico
- Approccio deterministico
- **Approccio normativo**

NFPA 101 – SCENARIO 2

Questo scenario descrive un incendio che si sviluppa con la combustione di un materiale con curva di crescita ultra veloce, ubicato nella via di esodo più importante. Le porte interne all'inizio dell'incendio sono aperte.

- Parte A: questo scenario particolare deve riguardare la simulazione dell'incendio con specifica attenzione ai problemi di esodo delle persone. Infatti, in considerazione del fatto che l'incendio riduce il numero di vie di esodo disponibili, dovrà essere valutata la disponibilità ed efficacia dei sistemi di esodo alternativi.
- Parte B: questo scenario particolare deve riguardare la simulazione dell'incendio con specifica attenzione ai problemi determinati dagli effetti di una rapida propagazione dell'incendio sui beni da proteggere, sulle finiture interne e sui componenti strutturali.



SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

Un corretto approccio all'analisi di sostenibilità coinvolge necessariamente tre percorsi tra loro connessi:

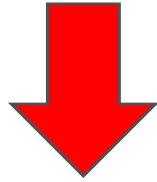
- La sorgente dei prodotti della combustione, per identificare tipo e quantità
- Le modalità con cui i prodotti si muovono nell'ambiente considerato, per stabilire se e quando potrebbero interessare le persone presenti
- **Gli effetti sulle persone**

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

Obiettivo strategico di sicurezza



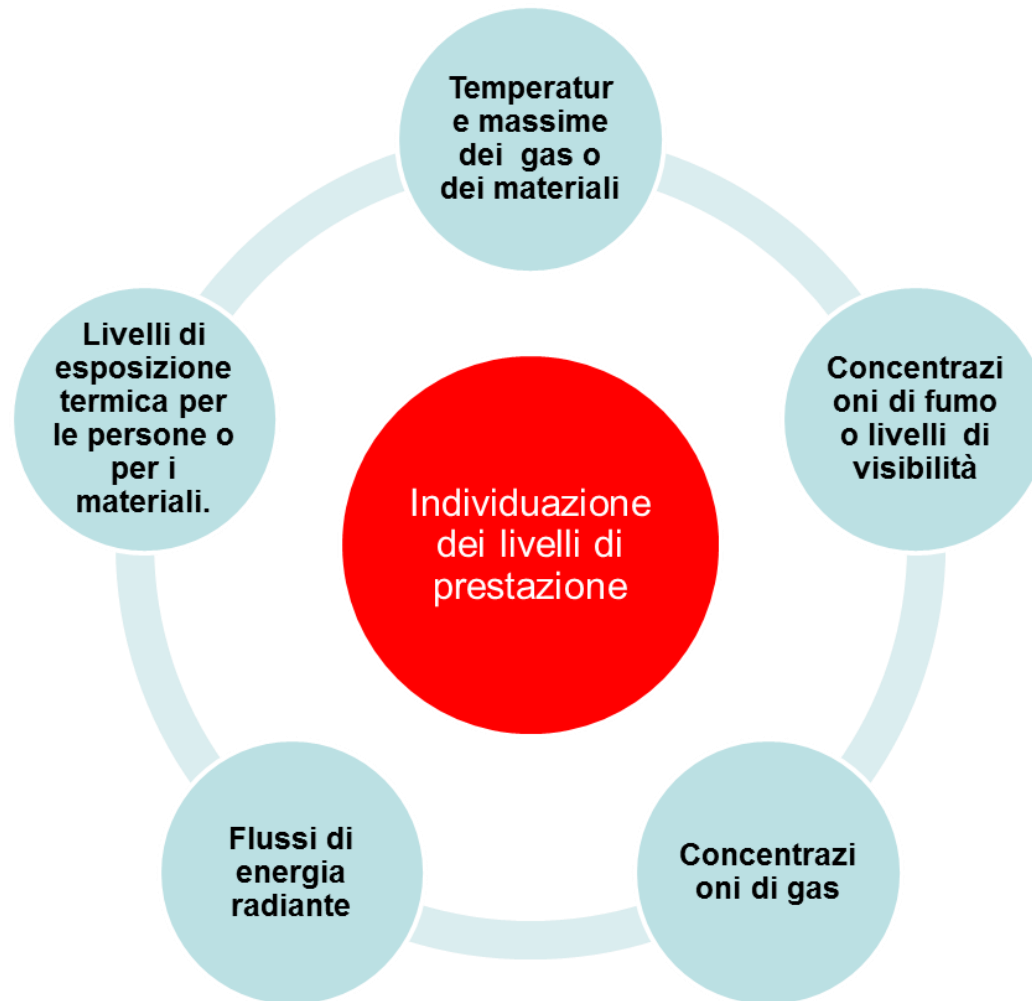
tutela della vita umana in caso d'incendio



deve essere assicurato alle persone :

- di poter lasciare l'opera in cui si trovano
- di raggiungere luoghi sicuri al suo interno
- di rimanere sul posto senza subire conseguenze

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE



SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

criteri di prestazioni
legati alla vita umana

effetti termici

valori di soglia - tempi limite di esposizione

tossicità

Tempi di esposizione - quantità inalata

visibilità

in rapporto alla capacità dei presenti di
allontanarsi in sicurezza - particolato presente
sul percorso ottico - effetti irritanti sugli occhi

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

criteri di prestazioni **non**
legati alla vita umana

effetti termici

fusione, gocciolamento, deformazione,
ignizione ecc. - anche per la fonte di innesco
(distanza, potenza conduzioni,
irraggiamento, ecc)

Propagazione incendio

fattori che influenzano la propagazione, la
ventilazione, il flusso termico ecc

danni barriere

la crisi delle barriere modifica l'estensione
dei danni

danni ai beni

danni limitrofi

danni ambientali

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

Individuazione dei livelli di prestazione

- livelli di temperatura massima alla quale si può essere esposti
- livelli di visibilità
- livelli di irraggiamento termico a cui le persone o gli elementi possono essere esposti
- livelli di concentrazione delle specie tossiche.

I livelli di prestazione devono essere quantificati con valori numerici rispetto ai quali verificare i risultati attesi dal progetto

Tali valori possono essere desunti dalla letteratura tecnica condivisa norme ISO/TR 13387, BS 7974, BS 9999, Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 9/05/2001, DM 03/08/2015

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

Obiettivo strategico di sicurezza

tutela della vita umana in caso d'incendio

ASET

acronimo di **A**vailable **S**afe **E**gress **T**ime non è altro che il tempo disponibile per mettersi in salvo

L' **ASET** rappresenta il tempo che impiega l'incendio a realizzare condizioni incompatibili per le persone presenti

RSET

acronimo di **R**equired **S**afe **E**gress **T**ime letteralmente tempo richiesto per l'evacuazione delle persone

L' **RSET** rappresenta il tempo necessario per poter raggiungere un luogo sicuro in sicurezza ovvero il tempo per completare l'azione di allontanamento per la propria tutela

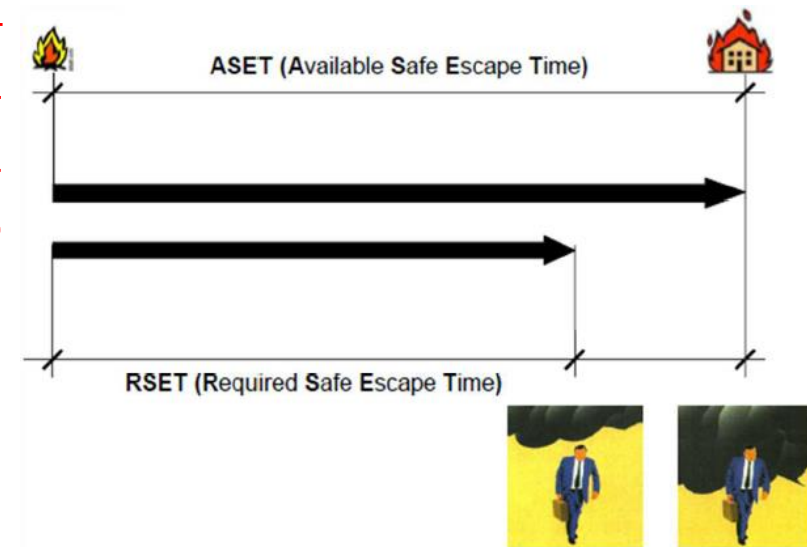
SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

Scopo di una simulazione è determinare il tempo oltre il quale le condizioni dell'ambiente non sono più compatibili per la sopravvivenza, al raggiungimento del livello di prestazione imposto.

Per ciascun scenario ipotizzato si deve verificare che

$$\text{ASET} > \text{RSET}$$

Al fine di poter valutare le grandezze di interesse vengono predisposti all'interno del dominio di simulazione una serie di punti per la misura di varie quantità che operano secondo specifiche direttive (termocoppie di temperatura, hrr, visibilità, ecc)



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

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

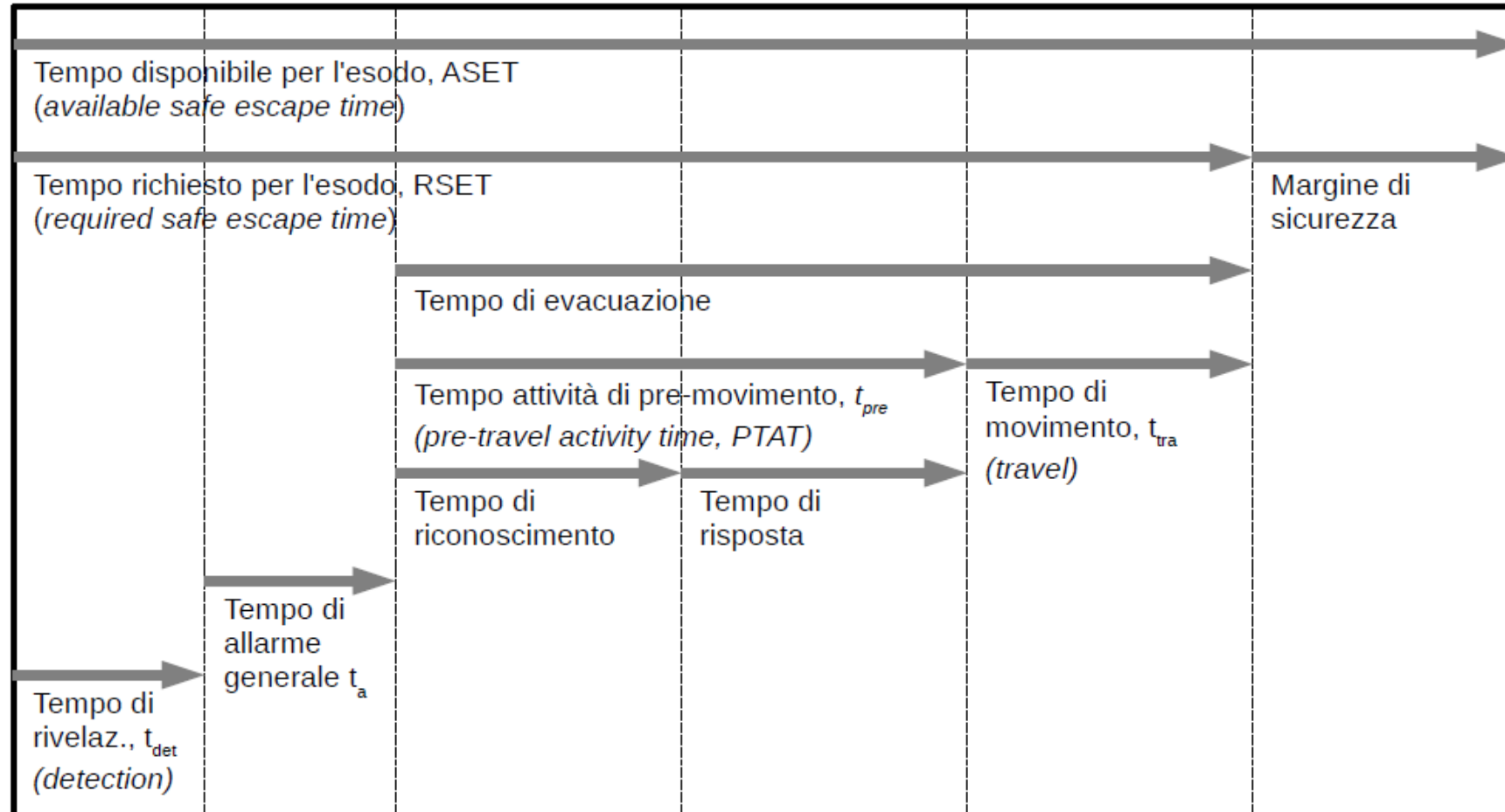


Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET ed RSET

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

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

$$t_{\text{marg}} = \text{ASET} - \text{RSET} \quad \text{M.3-1}$$

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

A meno di specifiche valutazioni si assume $t_{\text{marg}} \geq 100\% \cdot \text{RSET}$. In caso di specifiche valutazioni sull'affidabilità dei dati di input impiegati nella progettazione prestazionale, è consentito assumere $t_{\text{marg}} \geq 10\% \cdot \text{RSET}$.

In ogni caso, deve essere $t_{\text{marg}} \geq 30$ secondi.

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

M.3.3

Calcolo di ASET

1. *ASET*, il tempo a disposizione degli occupanti per mettersi in salvo, dipende strettamente dalle interazioni nel sistema incendio-edificio-occupanti: l'incendio si innesca, si propaga e diffonde nell'edificio i suoi effetti, fumi e calore. L'edificio resiste all'incendio per mezzo delle misure protettive attive e passive: impianti antincendio, compartimentazioni, sistemi di controllo di fumo e calore. Gli occupanti sono esposti agli effetti dell'incendio in relazione alla attività che svolgono, alla loro posizione iniziale, al loro percorso nell'edificio ed alla condizione fisica e psicologica.
2. In conseguenza di quanto indicato al comma 1, ciascun occupante possiede un proprio valore di *ASET*. Tale complessità viene risolta dal professionista antincendio con considerazioni statistiche, con modelli di calcolo numerici o assumendo le ipotesi semplificative descritte nel paragrafo M.3.3.2.
3. Nei seguenti paragrafi si presentano i *metodi di calcolo* di *ASET* ammessi dalle norme:
 - a. metodo di calcolo avanzato;
 - b. metodo di calcolo semplificato.

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

M.3.3.1

Metodo di calcolo avanzato per ASET

1. Il calcolo di ASET richiede la stima delle concentrazioni di prodotti tossici, delle temperature e delle densità del fumo negli ambienti a seguito dell'incendio e la loro variazione nel tempo, in quanto gli occupanti possono muoversi nel fumo, che nei casi complessi può essere ragionevolmente elaborata solo con modelli di calcolo fluidodinamici. Sono infatti la tipologia dell'incendio e dell'attività che determinano complessivamente l'andamento di tali variabili con il tempo.
2. La norma ISO 13571 è il riferimento più autorevole per il calcolo ASET. ASET globale è ivi definito come il più piccolo tra gli ASET calcolati secondo quattro modelli:
 - a. modello dei *gas tossici*;
 - b. modello dei *gas irritanti*;
 - c. modello del *calore*;
 - d. modello dell'oscuramento della *visibilità* da fumo.

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

M.3.3.2

Metodo di calcolo semplificato per ASET

1. La ISO/TR 16738 prevede la possibilità di utilizzare l'ipotesi semplificativa della *esposizione zero* (*zero exposure*).
2. Invece di procedere alla verifica di tutti i modelli di cui al paragrafo M.3.3.1, il professionista antincendio impiega le seguenti soglie di prestazione, molto conservative:
 - a. altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2 m, al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata e
 - b. temperatura media dello strato di fumi caldi $\leq 200^{\circ}\text{C}$.

Questi criteri permettono agli occupanti la fuga in aria indisturbata, non inquinata dai prodotti della combustione, ed un valore dell'irraggiamento dai fumi cui sono esposti inferiore a $2,5 \text{ kW/m}^2$: sono dunque automaticamente soddisfatti tutti i modelli di cui al paragrafo M.3.3.1 e l'analisi è notevolmente semplificata perché non occorre eseguire calcoli di esposizione degli occupanti a tossici, irritanti, calore e oscuramento della visibilità. È infatti sufficiente valutare analiticamente o con modelli numerici a zone o di campo l'altezza dello strato dei fumi pre-flashover nell'edificio.

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

M.3.5

Soglie di prestazione per la salvaguardia della vita

1. Le soglie di prestazione per la salvaguardia della vita determinano l'incapacitazione degli occupanti e dei soccorritori quando sottoposti agli effetti dell'incendio.
2. 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, ...).
3. Il rispetto delle soglie di prestazione per la salvaguardia della vita deve essere verificato:
 - a. per gli *occupanti*: in tutte le zone dell'attività dove esiste contemporanea presenza di occupanti, stanziali o in movimento, e di effetti dell'incendio.
 - b. per i *soccorritori*:
 - i. solo qualora essi abbiano un ruolo ben definito nella pianificazione d'emergenza dell'attività,
 - ii. in tutte le zone dell'attività dove esiste contemporanea presenza di soccorritori, stanziali o in movimento, e di effetti dell'incendio.

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100m ² : 5 m	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 5 m Soccorritori in locali di superficie lorda < 100m ² : 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> e FEC, <i>fractional effective concentration</i> per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571:2012, limitando a 1,1% la porzione di occupanti incapaci al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	-
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m ²	ISO 13571:2012, per esposizioni inferiori a 30 minuti
		Soccorritori: 3 kW/m ²	[1]
<p>[1] Ai fini di questa tabella, per soccorritori si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per hazardous conditions.</p>			

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

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata	Occupanti: 2 m	Ridotto da ISO/TR 16738:2009, section 11.2
	Soccorritori: 1,5 m	[1]
Temperatura media dello strato di fumi caldi	Occupanti: 200°C	ISO/TR 16738:2009, section 11.2
	Soccorritori: 250°C	[1]
<p>[1] Ai fini di questa tabella, per soccorritori si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per hazardous conditions.</p>		

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

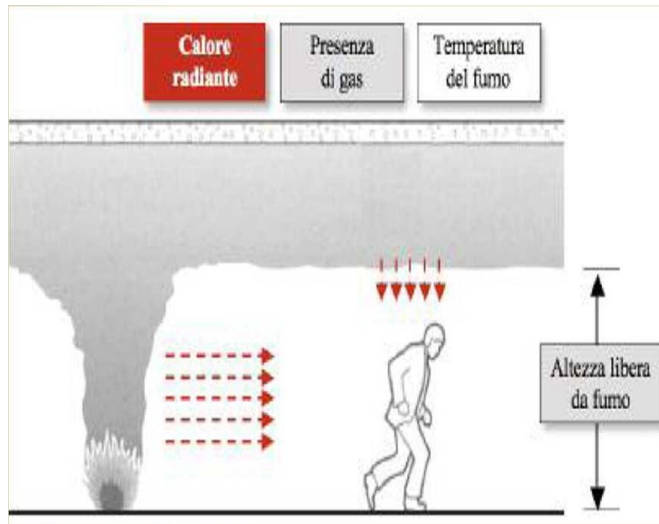
SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

- Il livello di temperatura massima ammissibile può variare in funzione degli obiettivi antincendio (esodo degli occupanti, permanenza del personale addetto per il tempo necessario alla messa in sicurezza degli impianti, intervento dei soccorritori...)
- Esempio: per gli occupanti può essere in genere ritenuta ammissibile una esposizione ad una temperatura non superiore a 50 – 60 °C per il tempo di esodo.

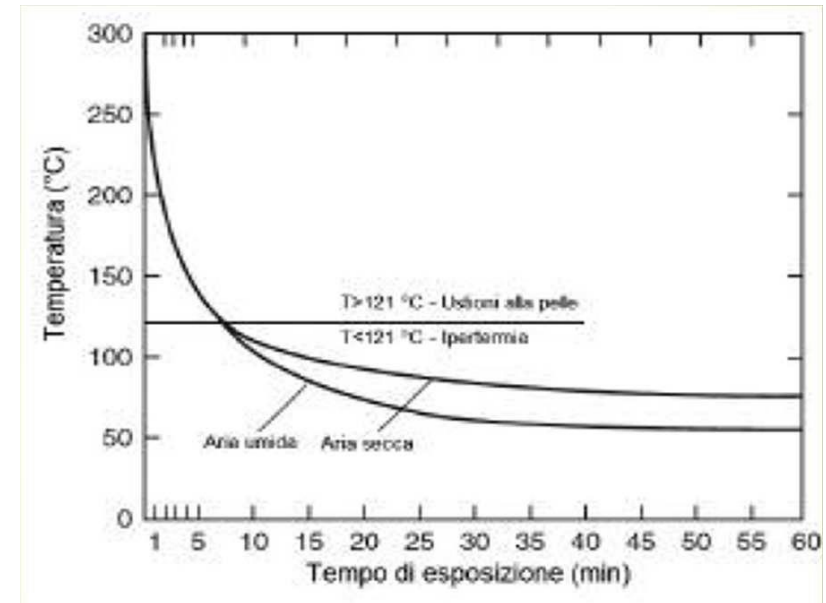


SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

Condizioni determinate da un incendio e che possono interagire con l'evacuazione



Gli effetti connessi con l'esposizione ad alte temperature giocano un ruolo importante quando si considerano le persone in prossimità dell'incendio, oppure che si muovono al di sotto di uno strato di fumo caldo.



- Ipertermia
- ustioni cutanee
- ustioni all'apparato respiratorio

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

- Inizio incendio
 - 15.44.04
- Rilevazione
 - 15.44.15
- Fenomeno di Autoaccensione
 - 15.47.16
- Temperatura assorbita
 - 15.48.26

L'analisi degli effetti termici sull'uomo prevede che sia definita una soglia che determini un valore di danno ed il tempo di esposizione necessario a raggiungere la soglia durante uno specifico scenario di incendio.

Danni fisici possono derivare da esposizioni alle radiazioni termiche dovute alle fiamme o ai gas caldi.

Il calore radiante può causare anche l'innesco dei vestiti.

filmato



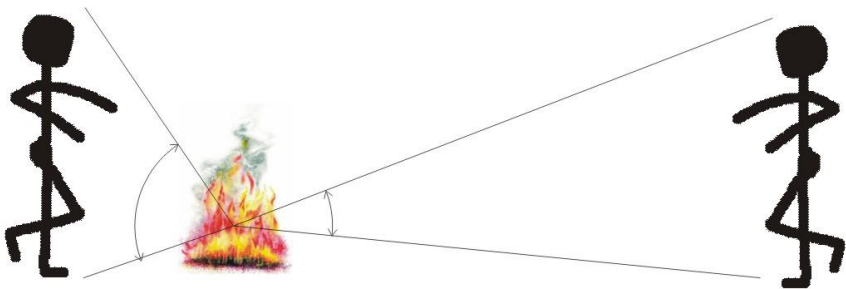
SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

Tabella 1 - Valori limite di riferimento estratti da NFPA e ISO

Fonte	Valore di riferimento	Note
NFPA 101	93 °C 49 °C	"Area of refuge"*, altezza del fumo < 1,5 m dal pavimento "Area of refuge"*, altezza del fumo < 1,5 m dal pavimento
NFPA 130 NFPA 502	60 °C	Brevi esposizioni (pochi secondi)
NFPA 130 NFPA 502	Valore medio pari a 49°C	Per i primi 6 minuti di esposizione
ISO 13571	2,5 kW m ⁻²	Brevi esposizioni
NFPA 130	2,5 kW m ⁻²	Esposizione superiori a 30 minuti
NFPA 502	6,3 kW m ⁻² per alcuni secondi; valore medio di 1,58 kW m ⁻² per i primi 6 minuti di esposizione e 0.95 kW/m ² per esposizioni più lunghe	

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

- Il livello di irraggiamento deve intendersi risultante dal contributo della sorgente di incendio, dei prodotti della combustione (fumi, gas) e delle strutture (pareti, solai).
- Il contributo dell'irraggiamento diventa significativo per temperature dell'elemento emettitore superiori a 350-400 °C
- IL **decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 9/5/2001** per gli effetti sulle persone riporta il limite massimo di **3 kW/m²** per lesioni reversibili.
- In considerazione del fatto che tali valori sono riferiti ad un ambito industriale ed a particolari condizioni di esercizio, valori usualmente accettabili ai fini del raggiungimento dell'obiettivo di realizzare esodi in sicurezza, non sono superiori a **2 kW/m²**, per un limitato tempo di esposizione.



SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

Valori tratti da BS 7974

Table G.3 — Tenability limits for radiative and convective heat

Mode of heat transfer	Intensity	Tolerance time
Radiation	$<2.5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$	$>5 \text{ min}$
	$2.5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$	30 s
	$10 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$	4 s
Convection	$<60 \text{ }^\circ\text{C}$ 100 % saturated	$>30 \text{ min}$
	$100 \text{ }^\circ\text{C}$ $< 10 \text{ \% H}_2\text{O}^a$	8 min
	$110 \text{ }^\circ\text{C}$ $< 10 \text{ \% H}_2\text{O}$	6 min
	$120 \text{ }^\circ\text{C}$ $< 10 \text{ \% H}_2\text{O}$	4 min
	$130 \text{ }^\circ\text{C}$ $< 10 \text{ \% H}_2\text{O}$	3 min
	$150 \text{ }^\circ\text{C}$ $< 10 \text{ \% H}_2\text{O}$	2 min
	$180 \text{ }^\circ\text{C}$ $< 10 \text{ \% H}_2\text{O}$	1 min

^a v/v

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

La diminuzione di visibilità causata dalla presenza dei fumi può influire sulla capacità degli occupanti di riuscire a raggiungere l'esterno di un edificio in sicurezza.

- I fattori che peggiorano la visibilità includono l'ammontare di particolato nel campo visivo e l'effetto fisiologico sull'occhio.
- Anche un basso livello di illuminamento può influenzare negativamente la capacità di fuga.
- La visibilità ammessa lungo le vie di esodo deve essere definita per un determinato periodo temporale e relativamente alla quota cui sono posizionate le segnalazioni che indicano il percorso d'esodo.



SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

Questo aspetto è intrinsecamente affrontato dalla normativa di prevenzione incendi fin quando considera la necessità di mantenere un'altezza libera dei percorsi d'esodo pari a 2 metri, un valore a cui corrisponde la cosiddetta "esposizione zero", ovvero in cui non si manifesta un'effettiva interferenza tra fumo e persone.

Questo valore è stato recentemente proposto a 2,5 m nel documento ISO/TR 16738:2009.

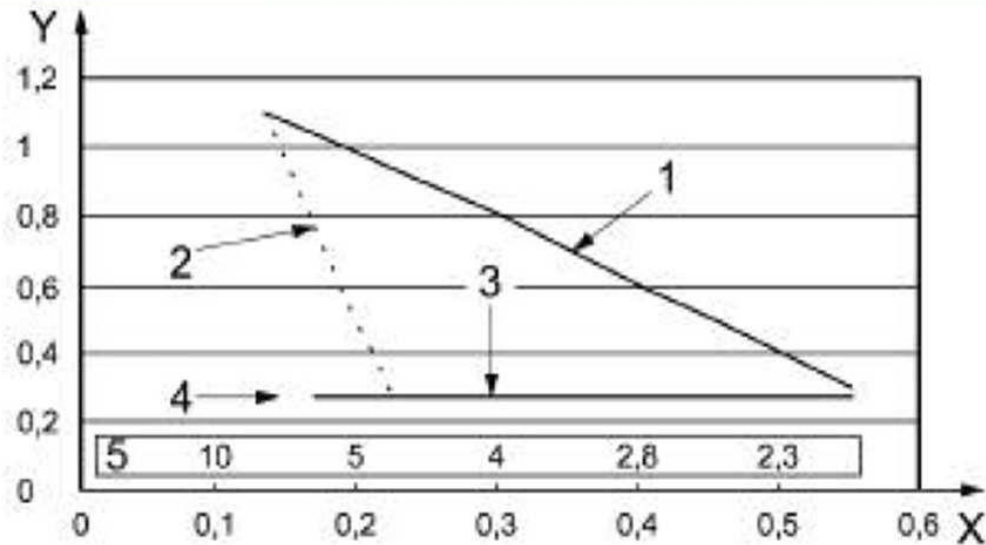
In alcuni casi si dovrà tener conto anche della possibilità che vi sia una certa interferenza tra il fumo e le persone stesse, alterandone le prestazioni.

Questa condizione non porta direttamente all'incapacitazione come nel caso di esposizione a calore o gas e va considerata ai fini della riduzione della visibilità, con le conseguenze che può comportare (le più rilevanti e studiate sono la **riduzione della velocità e la compromissione del wayfinding**, che dipendono dalla concentrazione del fumo e dalla capacità di indurre effetti irritanti).



SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

Effetti dell'esposizione a fumo irritante e non sulla velocità di movimento estratti dai lavori di Tadahisa Jin



Legenda:

- X densità ottica del fumo (m^{-1})
 - Y velocità (m/s)
 - 1 fumo non irritante
 - 2 fumo irritante generato da legno
 - 3 30% delle persone che decidono di non entrare nell'ambiente
 - 4 velocità di spostamento al buio
 - 5 visibilità (m)
- Le relazioni tra velocità e densità ottica del fumo sono le seguenti:
Fumo non irritante: $v_{fni} = 1,36 - 1,9 \times \rho_{OD}$
Fumo irritante: $v_{fi} = 2,27 - 9,0 \times \rho_{OD}$



SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE



Effetti dell'esposizione a fumo irritante e non sulla velocità di movimento estratti dai lavori di Tadahisa Jin

Jin rilevò che nel caso di **fumo non irritante la velocità delle persone diminuiva con l'aumentare della sua densità ottica**;

in particolare, ad un valore di $0,5 \text{ m}^{-1}$ la velocità scendeva da circa $1,2 \text{ m/s}$ (assenza di fumo) a circa $0,3 \text{ m/s}$, mentre per valori superiori le persone si comportavano come fossero nella totale oscurità, cercando il percorso muovendosi a contatto con la parete.

Integrando la sperimentazione con fumo irritante rilevò poi una più rapida riduzione della velocità, raggiungendo i $0,3 \text{ m/s}$ ad un valore più basso di densità ottica pari a $0,2 \text{ m}^{-1}$.

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE



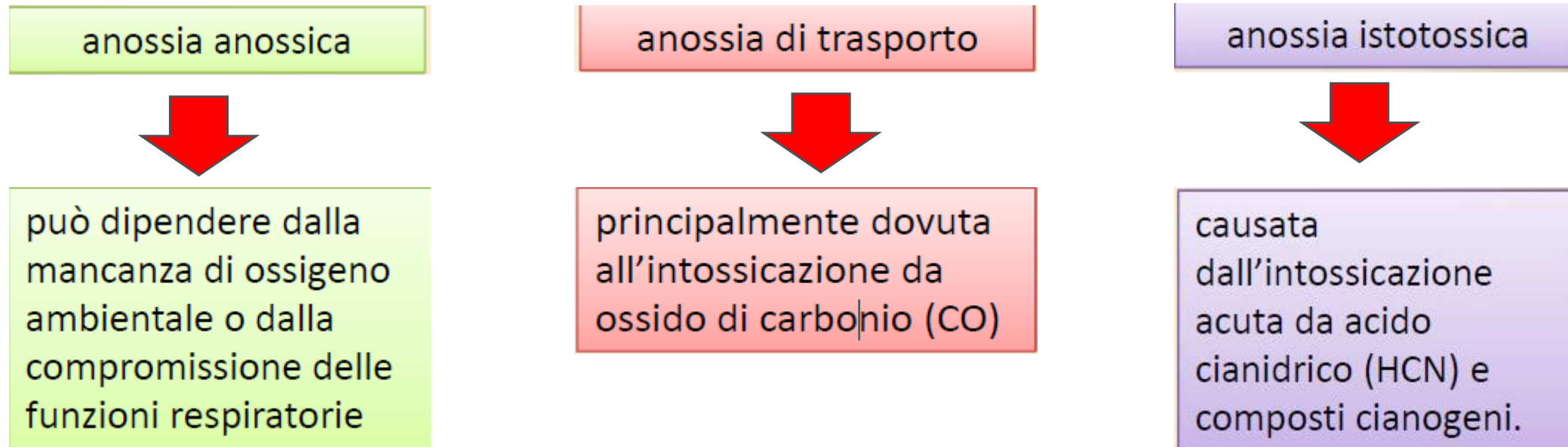
Effetti di intossicazione possono derivare dall'inalazione dei prodotti della combustione.

- Gli effetti generali sugli esseri umani consistono in una **riduzione della capacità di prendere decisioni e in un peggioramento delle capacità motorie**, che possono portare all'incapacità o alla morte.
- Inoltre, è molto importante tenere conto del fatto che anche in caso di sopravvivenza, le vittime possono riportare danni permanenti.
- L'analisi di questi effetti include la **determinazione di una soglia di valore di danno** ed il tempo di esposizione necessario a raggiungere la soglia nello specifico scenario che viene considerato.

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

La letteratura medico-legale considera tre possibili varianti di sindrome asfittica

Asfissianti sono quei gas che possono compromettere la capacità individuale di allontanarsi autonomamente per diminuzione della disponibilità di ossigeno



I gas irritanti, invece, possono determinare problemi per irritazioni di tipo sensoriale, come agli occhi o all'apparato respiratorio superiore, condizioni capaci di limitare alcune prestazioni fisiche

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

La **Fractional Effective Dose** è un indicatore che serve a permettere di valutare la risposta delle persone quando respirano diversi gas tossici contemporaneamente prodotti da un incendio ed è funzione della dose assorbita.

Il documento ISO/TDS 13571 indica un valore di 0.3 come adeguato alla maggior parte delle attività nelle quali possono essere presenti persone a rischio.

Nel caso di sostanze asfissianti la FED è definita dalla equazione:

$$X_{FED} = \sum_{i=1}^n \sum_{t_1}^{t_2} \frac{C_i}{(C \cdot t)_i} \Delta t \quad [6]$$

Dove:

C_i è la concentrazione media di un gas i-esimo, espressa in ppm

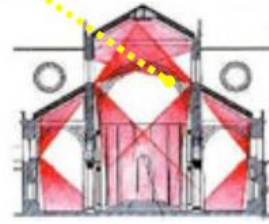
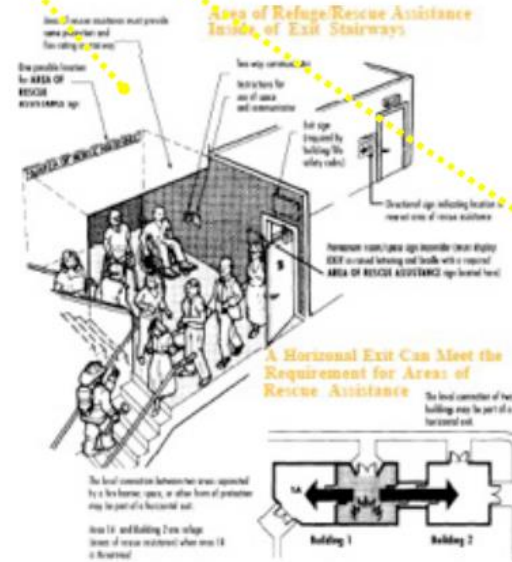
Δt intervallo di tempo in minuti

$(C \cdot t)_i$ è il valore soglia della concentrazione dello stesso gas, espressa in ppm, che impedirebbe alle persone di evacuare

SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

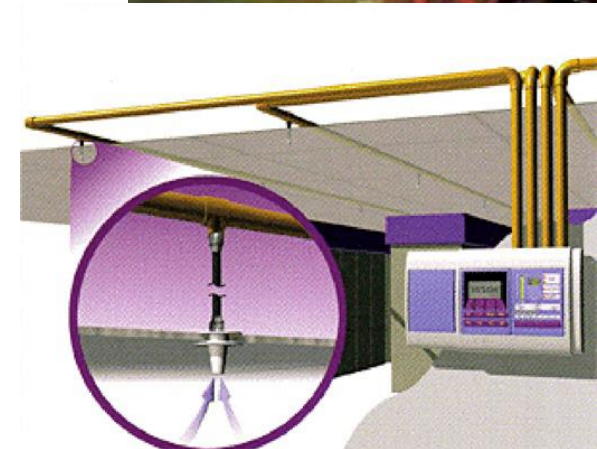
Velocità:

- Mobilità delle persone;
- Affollamento;
- Livelli luce;
- Presenza di fumo;
- Qualità delle superfici (muri e pavimenti);
- Larghezza dei percorsi, gradini ecc.;
- Addestramento;

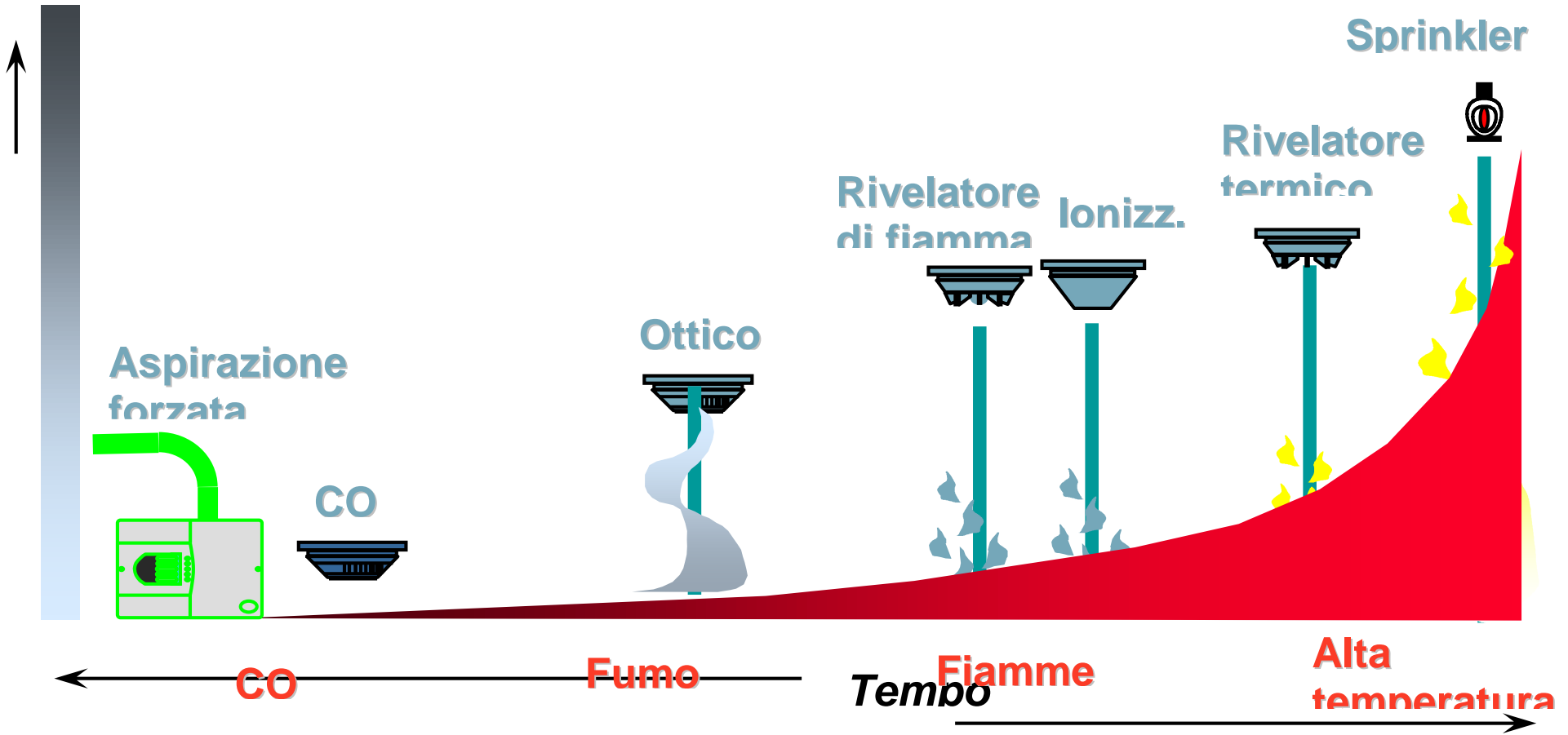


SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE

- Sprinkler
- Rivelazione incendi (barriera, puntiforme, aspirato)
- Evacuatori di fumo e calore
- Water-mist
- Schiuma
- Riduzione di ossigeno
- Rete idrica antincendio
- Spegnimento gas
- Barriere al fumo



SCENARI DI INCENDIO E LIMITI PER PERSONE



RSET

M.3.4

Calcolo di RSET

1. RSET è calcolato tra l'innesco dell'incendio ed il momento in cui gli occupanti dell'edificio raggiungono un luogo sicuro. Anche RSET dipende dalle interazioni del sistema incendio-edificio-occupanti: la fuga degli occupanti è fortemente condizionata dalle geometrie dell'edificio ed è rallentata dagli effetti dell'incendio.
2. Il documento di riferimento per il calcolo di RSET è la ISO/TR 16738.
3. RSET è determinato da varie componenti, come il *tempo di rivelazione (detection)* t_{det} , il *tempo di allarme generale* t_a , il *tempo di pre-movimento (pre-travel activity time, PTAT)* t_{pre} , il *tempo di movimento (travel)* t_{tra} :

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra} \quad M.3-4$$

4. Al fine del calcolo di RSET il professionista antincendio deve sviluppare lo *scenario comportamentale di progetto più appropriato* per il caso specifico, perché l'attività di pre-movimento e le velocità dell'esodo dipendono dalla tipologia di popolazione considerata e dalle modalità d'impiego dell'edificio.

Nota I parametri variano notevolmente se gli occupanti sono svegli ed hanno familiarità con l'edificio, come in un edificio scolastico, o dormono e non conoscono la struttura, come in una struttura alberghiera.

5. Come già indicato per ASET, ciascun occupante possiede un proprio valore anche di RSET.

RSET

La guida tecnica **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering** al cap. 14 **Emergency Movement** definisce l' **RSET** come la somma di intervalli di tempo associati a varie azioni ovvero

$$RSET = t_d + t_a + t_o + t_i + t_e$$

Dove

- *t_d è il tempo che intercorre per la scoperta dell'incendio*
- *t_a è il tempo dal rilevamento dell'incendio alla segnalazione agli occupanti di un pericolo di incendio*
- *t_o è il tempo che intercorre da quando gli occupanti vengono avvertiti del pericolo e decidono di fare qualcosa*
- *t_i è il tempo che intercorre da quando si prende coscienza del pericolo e inizia l'evacuazione*
- *t_e è il tempo che ci vuole per evacuare le persone dal momento che si mettono in movimento*

Il tempo di pre-movimento è influenzato dal tipo di attività che le persone stanno svolgendo nell'edificio. Lavorare, guardare un film o dormire comportano necessariamente dei tempi di reazione molto differenti.

RSET

M.3.4.1

Tempo di rivelazione

1. Il *tempo di rivelazione* t_{det} è determinato dalla tipologia di sistema di rivelazione e dallo scenario di incendio. È 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.

Focolare tipo	Tipo di fuoco	Caratteristiche				
		Emissione di calore	Correnti ascensionali	Emissione di fumo	Spettro di aerosol	Parte visibile
TF 2	Covante di legno	Trascurabile	Deboli	Si	Prevalentemente visibile	Chiara
TF 3	Covante di cotone	Trascurabile	Deboli	Si	Prevalentemente visibile	Chiara
TF 4	Materie plastiche (poliuretano)	Elevata	Molto elevate	Si	Parzialmente invisibile	Chiara
TF 5	Combustibile liquido (n-eptano)	Molto elevata	Molto elevate	Si	Prevalentemente invisibile	Chiara

Focolari tipo della norma UNI EN 54 parte 7

(A. La Malfa, "Ingegneria della sicurezza antincendio")

Focolare	Tempo di intervento dei rivelatori puntiformi di calore (s)	Tempo di intervento dei rivelatori puntiformi di fumo(s)	Gradiente termico (°C/min)
TF 2	Non interviene	260	Trascurabile
TF 3	Non interviene	120	Trascurabile
TF 4	180	60	9
TF 5	80	15	20

Tempi medi indicativi di intervento dei rivelatori puntiformi di fumo e calore

(A. La Malfa, "Ingegneria della sicurezza antincendio")

RSET

RSET

=

t_{det}

+

t_a

+

t_{pre}

+

t_{tra}

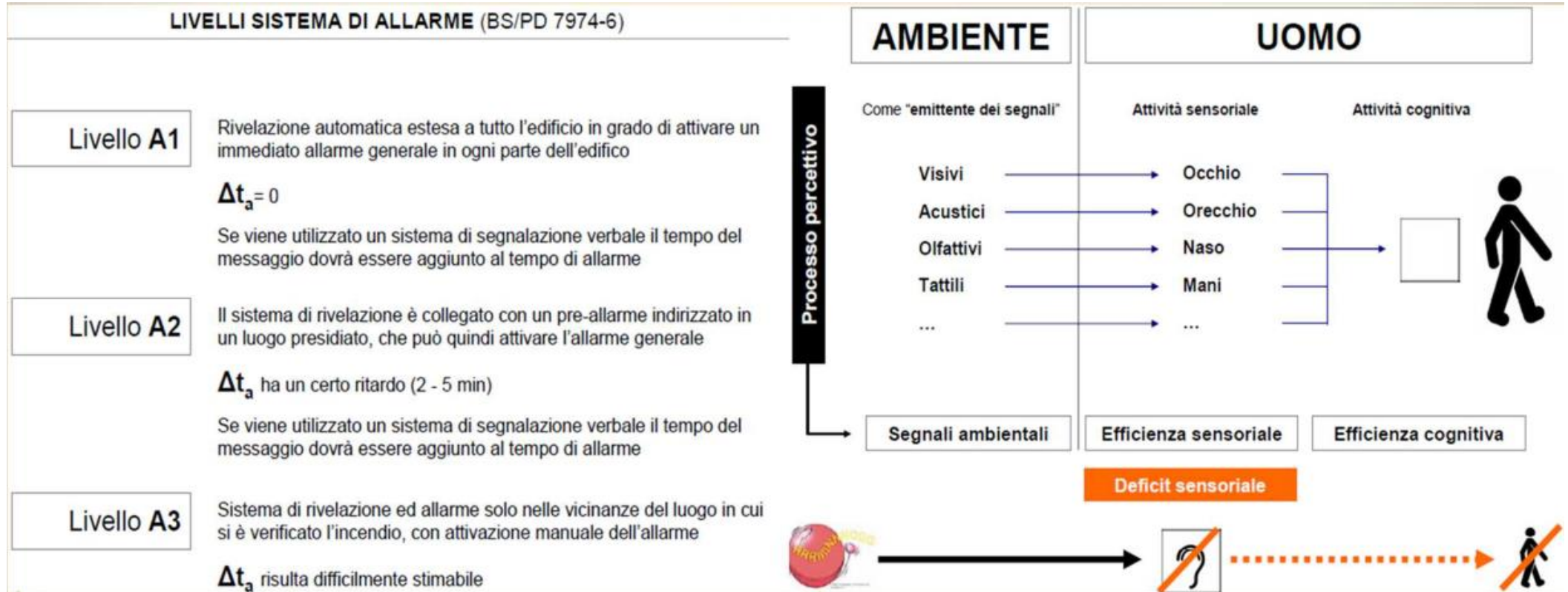
M.3.4.2

Tempo di allarme generale

1. Il *tempo di allarme generale* t_a è il tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti, dell'allarme generale.
2. Il tempo di allarme generale sarà dunque:
 - a. pari a zero, quando la rivelazione attiva direttamente l'allarme generale dell'edificio;
 - b. pari al ritardo valutato dal professionista antincendio, se la rivelazione allerta una centrale di gestione dell'emergenza che verifica l'evento ed attiva poi l'allarme manuale.
3. 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.

RSET

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

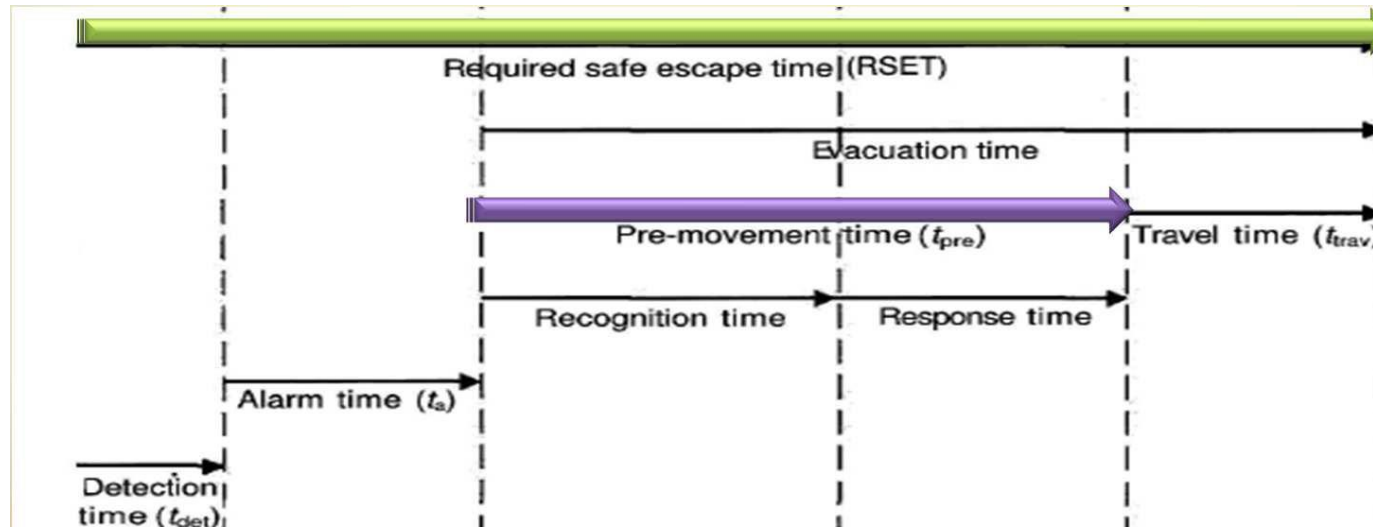


RSET

M.3.4.3

Tempo di attività pre-movimento

1. Il tempo di attività pre-movimento t_{pre} è l'oggetto della valutazione più complessa, perché si tratta del tempo necessario agli occupanti per svolgere una serie di attività che precedono il movimento vero e proprio verso il luogo sicuro. La letteratura indica che questa fase occupa spesso la maggior parte del tempo totale di esodo.
2. Il tempo t_{pre} è composto da un tempo di *riconoscimento* (*recognition*) e da uno di *risposta* (*response*).
3. 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.



RSET
=
 t_{det}
+
 t_a
+
 t_{pre}
+
 t_{tra}

RSET

Tempo di ricognizione

Consiste nel periodo che decorre dall'allarme fino a quando gli occupanti dell'edificio cominciano a rispondere.

La sua lunghezza risulta estremamente variabile e dipende da fattori quali la tipologia di edificio, la natura degli occupanti ed il sistema di allarme.

Finisce quando gli occupanti hanno accettato che c'è la necessità di rispondere.

Può variare tra le persone presenti nello stesso spazio o tra gruppi di occupanti nell'ambito di spazi diversi.

$$\begin{aligned} & \text{RSET} \\ & = \\ & t_{\text{det}} \\ & + \\ & t_{\text{a}} \\ & + \\ & t_{\text{pre}} \\ & + \\ & t_{\text{tra}} \end{aligned}$$

RSET

M.3.4.3

Tempo di attività pre-movimento

4. Nel tempo di risposta gli occupanti cessano le loro attività normali e si dedicano ad attività legate allo sviluppo dell'emergenza, quali: 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.
5. A seconda dello scenario comportamentale di progetto, questi tempi possono durare anche alcune decine di minuti. Nella tabella M.3-1 si riportano alcuni esempi di valutazione tratti dal ISO/TR 16738.

RSET

=

t_{det}

+

t_a

+

t_{pre}

+

t_{tra}

RSET

Tempo di risposta

Consiste nel periodo che decorre da quando le persone hanno riconosciuto l'allarme e cominciano a rispondere, per muoversi ad evacuare.

Come nel tempo di ricognizione, può variare da pochi secondi a parecchi minuti, in funzione di varie circostanze.

$$\begin{aligned} & \text{RSET} \\ & = \\ & t_{\text{det}} \\ & + \\ & t_{\text{a}} \\ & + \\ & t_{\text{pre}} \\ & + \\ & t_{\text{tra}} \end{aligned}$$

RSET

RSET

=

t_{det}

+

t_a

+

t_{pre}

+

t_{tra}

Modalità	Partecipanti	%
Odore di fumo	148	26,0
Avvisati da altri	121	21,3
Rumore	106	18,6
Avvisati dalla famiglia	76	13,4
Visione di fumo	52	9,1
Visione di fiamme	46	8,1
Esplosione	6	1,1
Calore percepito	4	0,7
Vedere/sentire i vigili del fuoco	4	0,7
Interruzione dell'elettricità	4	0,7
Animali domestici	2	0,3
N = 11	569	100,00

Modalità per acquisire consapevolezza degli indizi in caso d'incendio da parte di un gruppo di studio

(fonte: J. L. Bryan, "Behavioral response to fire and smoke", The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2002)

Azione	% Inghilterra	% USA
Avvertire altri	8.1	15.0
Cercare l'incendio	12.2	10.1
Chiamare i vigili del fuoco	10.1	9.0
Vestirsi	2.2	8.1
Lasciare l'edificio	8.0	7.6
Cercare i famigliari	5.4	7.6
Combattere l'incendio	14.9	10.4
Lasciare l'area	1.8	4.3
Dire ad altri di chiamare i vigili del fuoco	2.1	2.7
Tutelare i propri averi	2.8	2.2
Andare verso l'area dell'incendio	1.2	2.1
Rimuovere combustibile	5.6	2.1
Entrare nell'edificio	1.2	1.7
Provare ad uscire	0.1	1.6
Chiudere la porta verso l'incendio	1.6	1.6
Azionare l'allarme	3.1	1.0
Disattivare le apparecchiature	2.7	0.9
	4.1	0.9
N = 11	2193	580

Prime azioni in caso d'incendio

(fonte: J. L. Bryan, "Behavioral response to fire and smoke", The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2002)

RSET

RSET

=

t_{det}

+

t_a

+

t_{pre}

+

t_{tra}

Parametri di descrizione dell'attività tratto da ISO/TR 16738	Tempi di attività di pre-movimento ISO/TR 16738	
	$\Delta t_{pre (1st)}$ primi occupanti in fuga	$\Delta t_{pre (99th)}$ ultimi occupanti in fuga
<p>Esempio 1: albergo di media complessità</p> <ul style="list-style-type: none"> • occupanti: <i>Ciii, 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'
<p>Esempio 2: grande attività produttiva</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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"
<p>Esempio 3: residenza sanitaria assistenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. 	5'	10'

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

RSET

RSET

=

t_{det}

+

t_a

+

t_{pre}

+

t_{tra}

A - Complessità dell'edificio : utilizzo da parte delle persone, pianta, layout e dimensioni, contenuto, sistema di allertamento, gestione della sicurezza antincendio

B - Dinamica delle simulazioni: condizione dell'edificio e posizione dell'incendio, visibilità di fumo o fiamme, esposizione agli effluenti gassosi o calore, tipo di allarme incendio, altre modalità di allertamento, stato dei sistemi di protezione attiva

C – Condizioni degli occupanti : numero delle persone, età e stato di salute, attività e condizioni

RSET

RSET

=

t_{det}

+

t_a

+

t_{pre}

+

t_{tra}

Livello B1

Edificio a pianta semplice ed un solo piano, semplice layout ed un buon accesso visivo alle condizioni interne, moderate distanze per raggiungere uscite di sicurezza che conducono direttamente all'esterno

Livello B2

Semplice edificio in cui sono presenti più ambienti su piani diversi, con caratteristiche rispondenti alle indicazioni prescrittive e semplice layout interno.

Livello B3

Rappresenta un edificio complesso. Questa tipologia considera complessi costituiti da più edifici tra loro integrati (centri commerciali, aeroporti, ecc.). Per la complessità e le dimensioni possono presentare difficoltà nel **wayfinding** durante una evacuazione e la gestione dell'emergenza presenta comunque particolari necessità.

RSET

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

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

Per effettuare correttamente il **wayfinding** le persone fanno riferimento alla propria conoscenza spaziale e ad una serie di capacità cognitive.

Conoscenza dei landmark, riguarda la conoscenza dei punti di riferimento salienti all'interno di uno spazio

Conoscenza del percorso, in cui i punti di riferimento salienti (landmark) vengono messi in sequenza (si costituiscono così i percorsi di navigazione)

Conoscenza topografica, che permette alle persone di localizzare i punti di riferimento e i percorsi all'interno di uno schema di riferimento più ampio.

Variabili ambientali che influenzano la prestazione di **wayfinding** all'interno degli ambienti costruiti: **accesso visivo** alle informazioni; grado di **differenziazione architettonica**; **uso di segnaletica e numeri delle stanze**, in modo da garantire una corretta identificazione o informazioni direzionali; **Configurazione della planimetria; familiarità** - (Weissman, 1981)

RSET

=

t_{det}

+

t_a

+

t_{pre}

+

t_{tra}

RSET

RSET
 =
 t_{det}
 +
 t_a
 +
 t_{pre}
 +
 t_{tra}

Profilo di rischio R_{vita}	$t_{pre(1^\circ)}$ [sec]	$t_{pre(99^\circ)}$ [sec]	descrizione
A_1	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A_2	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A_3	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
A_4	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
B_1	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B_2	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B_3	30	150	B: Awake and unfamiliar, M1 B1 A1-A2
C_1	1200	2400	C: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
C_2	900	1800	C: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
C_3	900	1800	C: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
D_1	600	1200	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
D_2	300	600	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2

$t_{pre(1^\circ)}$ tempo di pre-evacuazione dei primi occupanti a muoversi

$t_{pre(99^\circ)}$ tempo di pre-evacuazione degli ultimi occupanti a muoversi

A tipologia sistemi allarme

B complessità edifici

M tipo gestione sicurezza

RSET

M.3.4.4

Tempo di movimento

1. Il *tempo di movimento* t_{tra} è il tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro dal termine delle attività di pre-movimento appena descritte.
2. Il t_{tra} è calcolato in riferimento ad alcune variabili:
 - a. la distanza degli occupanti o gruppi di essi dalle vie d'esodo;
 - b. le velocità d'esodo, che dipendono dalla tipologia degli occupanti e dalle loro interazioni con l'ambiente costruito e gli effetti dell'incendio. È dimostrato che la presenza di fumi e calore rallenta notevolmente la velocità d'esodo in funzione delle condizioni di visibilità;
 - c. la portata delle vie d'esodo, dovuta a geometria, dimensioni, dislivelli ed ostacoli.
3. Nella realtà, quando gli occupanti di edifici densamente affollati fuggono lungo le vie d'esodo, si formano lunghe file nei restringimenti, inoltre secondo lo sviluppo degli scenari di incendio di progetto presi in esame, alcuni percorsi possono diventare impercorribili o bloccati.

Il calcolo del t_{tra} deve tenere conto di questi fenomeni.

RSET

=

t_{det}

+

t_a

+

t_{pre}

+

t_{tra}

RSET

Il tempo t_{tra} si calcola con riferimento a:

- a. **distanza** degli occupanti o gruppi di essi dalle vie d'esodo;
- b. **velocità d'esodo**, che dipendono dalla tipologia degli occupanti e dalle loro interazioni con l'ambiente e gli effetti dell'incendio;
- c. **portata** delle vie d'esodo (*geometria, dimensioni, dislivelli ed ostacoli...*).

Per il calcolo di t_{tra} si impiegano due famiglie di modelli:

- a. **modelli idraulici**, che predicono alcuni aspetti del movimento degli occupanti (*es. flussi attraverso le uscite*), ma non includono fattori del comportamento umano (*familiarità con l'edificio, interazioni persona-persona, effetto del fumo sul movimento, ...*).
- b. **modelli "agent based"**, che studiano i sistemi complessi partendo dallo studio delle interazioni tra le singole unità.

RSET

=

t_{det}

+

t_a

+

t_{pre}

+

t_{tra}

RSET

Modello idraulico per il calcolo del tempo di movimento

➤ per $D > 3,8$ persone/m²: $v=0$ quando si verificano tali densità, il movimento cessa finché l'avanzamento dei primi riduce l'affollamento;

➤ per $0,54 \leq D \leq 3,8$ persone/m²:

$$v = k - (a \cdot k \cdot D)$$

v= velocità lungo la linea di spostamento

D = densità (persone/m²)

k = fattore di velocità (1,4 su piano orizzontale)

a = costante (0,266 m²/p)

➤ per $D < 0,54$ persone/m²:

$$v = 0,85 \cdot k$$

k varia da 1,00 a 1,23 per le rampe di scale in relazione ad alzata e pedata.

RSET

=

t_{det}

+

t_a

+

t_{pre}

+

t_{tra}

RSET

Il **modello idraulico** (in analogia al comportamento idraulico dei fluidi), è basato su:

- larghezza effettiva delle vie d'esodo, W_e ;
- densità di affollamento, D ;
- velocità di movimento v degli occupanti lungo il percorso;
- flusso specifico F_s ;
- flusso calcolato F_c ;
- tempo di passaggio t_p

RSET

=

t_{det}

+

t_a

+

t_{pre}

+

t_{tra}

RSET

W_e : porzione della larghezza di una via di uscita effettivamente utilizzata dall'occupante.

L'ampiezza della via di esodo deve essere corretta, misurandola al netto dello spazio inutilizzato:

Elemento della via di esodo	Larghezza inutilizzata (cm)
Scale-muro o lato della pedata	15
Mancorrenti, ringhiere, parapetti	9
Corridori, muri di rampe	20
Ostacoli	10
Larghi passaggi, ampie vie di esodo	46
Porte, volte	15

RSET

=

t_{det}

+

t_a

+

t_{pre}

+

t_{tra}

RSET

RSET

=

t_{det}

+

t_a

+

t_{pre}

+

t_{tra}

D: Massimo numero prevedibile di persone presenti per unità di superficie lungo le vie d'esodo [pers/m²].

Nel modello idraulico equivale alla densità del fluido.

RSET

v : velocità di movimento funzione della densità di affollamento D :

$$v = k \cdot (1 - a \cdot D) \quad [\text{m/s}]$$

con $a = 0,266 \text{ m}^2/\text{pers}$, e k :

Elemento della via di esodo		k (m/s)
Corridoi, spazio tra due file di panche, rampe, porte		1.4
Scale		
<i>Alzata (cm)</i>	<i>Pedata (cm)</i>	
19.0	25.4	1
17.8	27.9	1.08
16.5	30.5	1.16
16.5	33.0	1.23

RSET
=
 t_{det}
+
 t_a
+
 t_{pre}
+
 t_{tra}

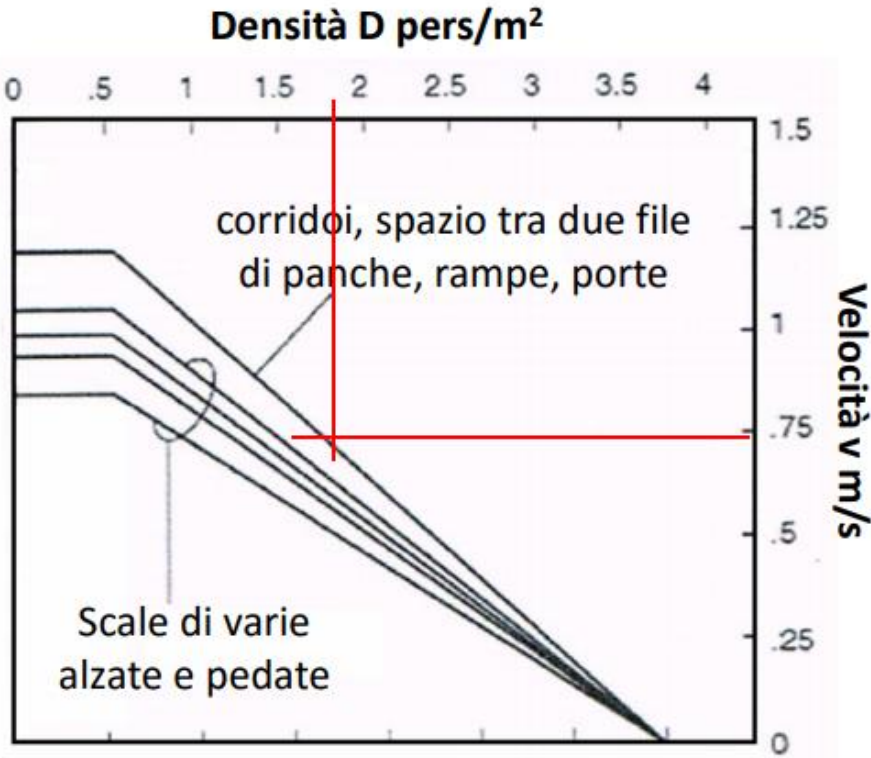
RSET

$$F_s = 0.85 * k * D$$

Relazione valida nel caso di $D < 54 \text{ p/m}^2$

per densità $D < 0,54 \text{ pers/m}^2$
le persone sono in grado di muoversi indipendentemente

per densità $D > 3,80 \text{ pers/m}^2$
il moto si arresta ($S=0$);
il gruppo di persone non è più in grado di muoversi finché le prime file non sono uscite



RSET
=
 t_{det}
+
 t_a
+
 t_{pre}
+
 t_{tra}

RSET

RSET

=

t_{det}

+

t_a

+

t_{pre}

+

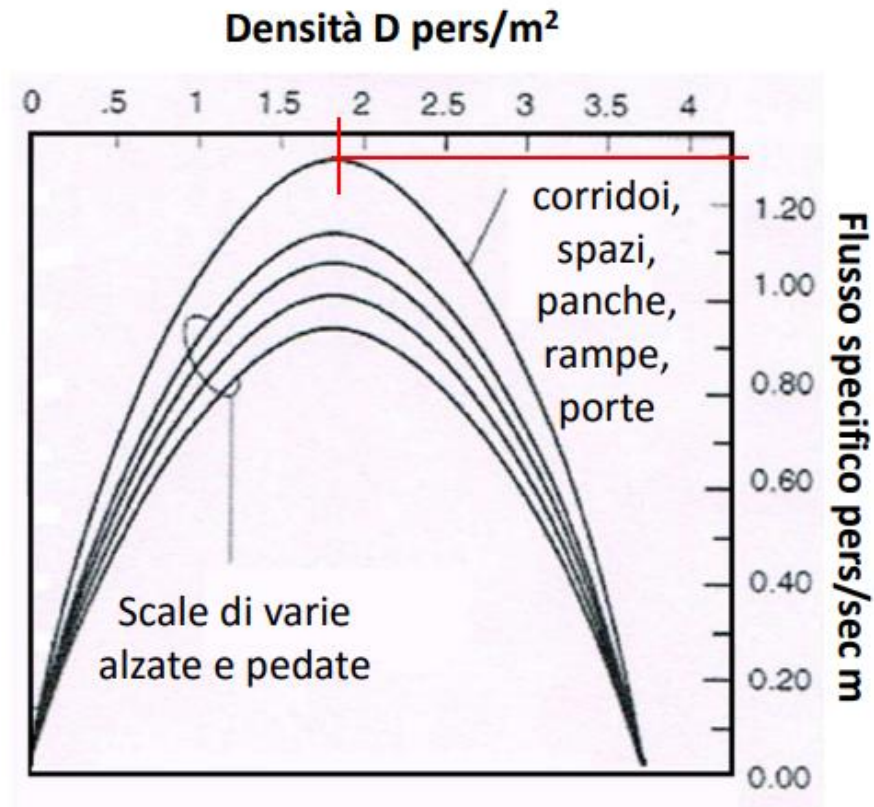
t_{tra}

Flusso specifico F_s : persone che attraversano l'unità di larghezza effettiva W_e di passaggio nell'unità di tempo:

$$F_s = v \cdot D = k \cdot (1 - a \cdot D) \cdot D$$

[pers/sec·m]

Il flusso specifico è massimo per una densità di circa 1,9 pers/m²



(Relazione valida nel caso di $0,54 < D < 3,8$ p/m²)

RSET

Flusso calcolato F_c : portata di persone simulata attraverso il punto del sistema di vie di esodo:

$$F_c = F_s \cdot W_e = k \cdot (1 - a \cdot D) \cdot D \cdot W_e \quad [\text{pers/sec}]$$

Tempo di passaggio t_p

È il tempo necessario affinché un gruppo di persone passino attraverso una soglia del sistema di esodo:

$$t_p = P / F_c = P / [k \cdot (1 - a \cdot D) \cdot D \cdot W_e] \quad [\text{sec}]$$

con P numero di persone.

Il tempo t_{tra} sarà la somma dei tempi di passaggio necessari per attraversare tutte le soglie del sistema di esodo.

RSET

=

t_{det}

+

t_a

+

t_{pre}

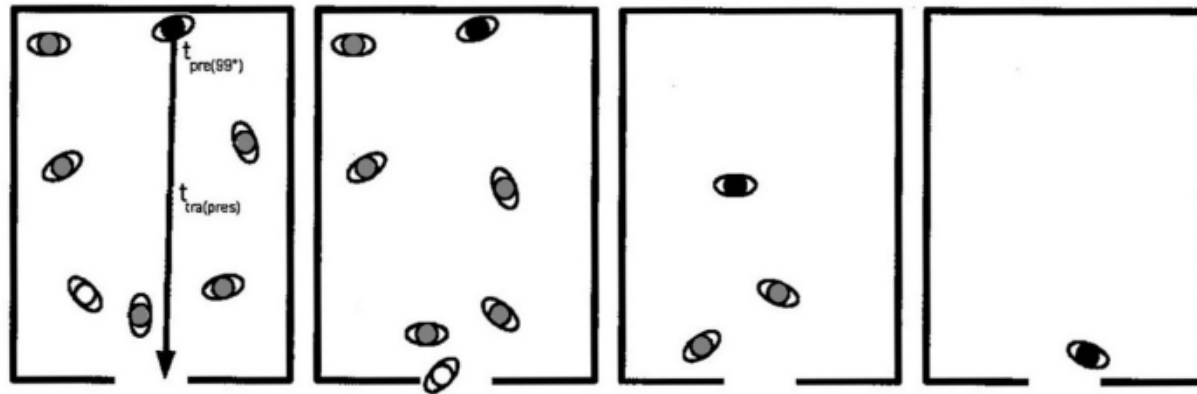
+

t_{tra}

RSET

Per **bassa densità di affollamento**:

$$t_{tra(es)} = L_{es} / v$$



In realtà, quando gli occupanti di edifici densamente affollati fuggono lungo le vie di esodo, si formano file nei restringimenti.

RSET
=
 t_{det}
+
 t_a
+
 t_{pre}
+
 t_{tra}

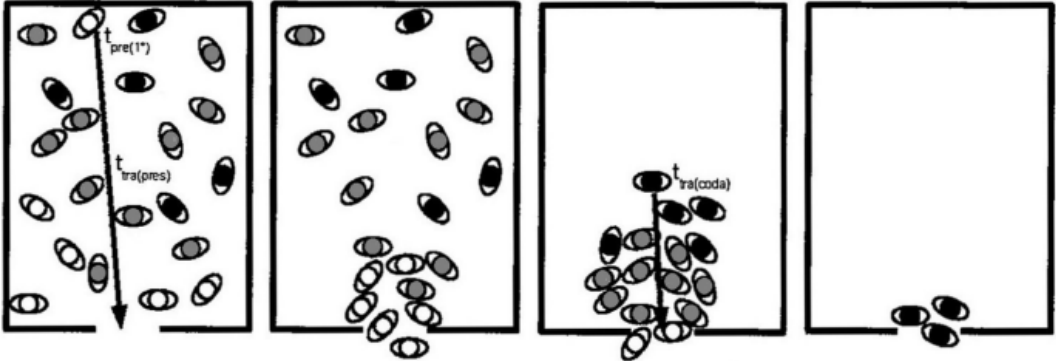
RSET

Per **alta densità di affollamento**, il tempo di movimento che l'i-esimo occupante impiega per percorrere la via di esodo dal compartimento di primo innesco fino al luogo sicuro temporaneo, è somma di due componenti:

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

con:

- $t_{tra(pres),i}$ tempo per presentarsi all'uscita verso luogo sicuro (L_{es}/V_{orizz})
- $t_{tra(coda),i}$ tempo di attesa in coda all'uscita verso luogo sicuro



RSET
 =
 t_{det}
 +
 t_a
 +
 t_{pre}
 +
 t_{tra}

RSET

Modello agent-based o comportamentale per il calcolo del tempo di movimento

- I modelli idraulici predicono con ragionevole precisione alcuni aspetti del movimento delle persone, ma non includono fattori importanti del comportamento umano, come la familiarità con l'edificio e le interazioni persona- persona, se non indirettamente.
- I modelli comportamentali considerano ciascuna persona una particella autonoma, con autonoma capacità di scelta dei percorsi in relazione all'ambiente ed alle altre persone in fuga.
- Inoltre ciascuna persona può essere descritta nelle sue abilità secondo lo scenario comportamentale di progetto, per tenere conto delle differenti abilità presenti nella popolazione considerata.
- La complessità dei parametri e degli algoritmi non permette di svolgere analiticamente tale tipo di calcolo e si ricorre sempre alla simulazione numerica al calcolatore.

RSET

=

t_{det}

+

t_a

+

t_{pre}

+

t_{tra}

RSET

$$\begin{aligned}
 & \text{RSET} \\
 & = \\
 & t_{\text{det}} \\
 & + \\
 & t_{\text{a}} \\
 & + \\
 & t_{\text{pre}} \\
 & + \\
 & t_{\text{tra}}
 \end{aligned}$$

FDS+EVAC

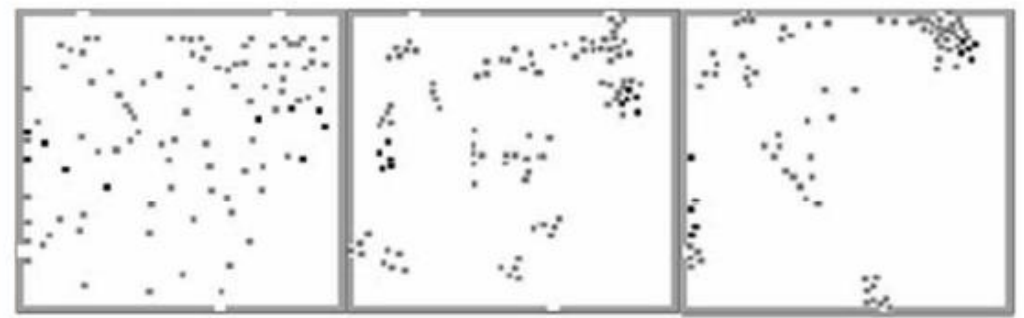


Figure 3. Snapshots of a test simulation with the group model.

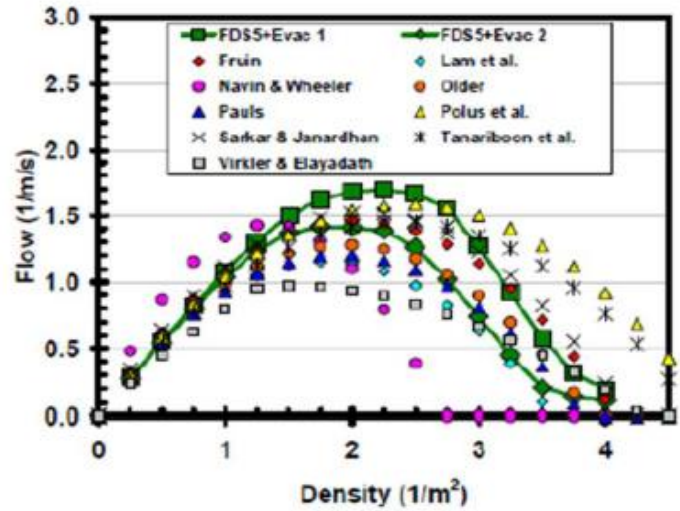
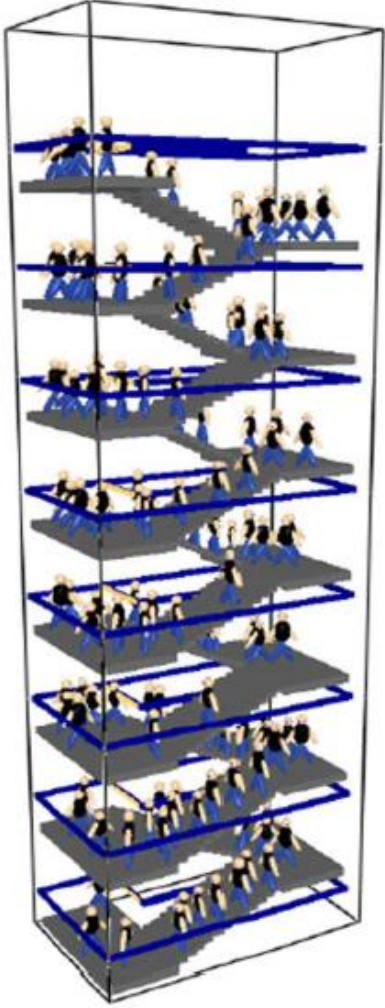


Figure 14. The specific flows in corridors.

Time: 155.5

CONCLUSIONE

La FSE **non è una regola tecnica** che fissa a priori le misure ed i relativi livelli prestazionali da adottare.

La FSE rappresenta una **linea guida che stabilisce un percorso** metodologico **da seguire**, i cui presupposti tecnici e scientifici devono necessariamente essere ricercati nella letteratura internazionale di settore.

CONCLUSIONE



Fire safety engineering \neq modello matematico o numerico

NON SOLO MODELLI DI SIMULAZIONE

È un **APPROCCIO METODOLOGICO** che mira a trovare soluzioni ad un problema complesso analizzando la realtà secondo logiche “causa-effetto” fondate su scienza, tecnica esperienza

Fire safety engineering = approccio ingegneristico alla gestione di un problema

Spetta a noi stabilire

i modelli numerici vanno visti come strumenti di supporto alle decisioni “sono le funzioni di una calcolatrice”

{ cosa calcolare e perché
definire i dati da inserire
interpretare i risultati ottenuti





GRAZIE PER L'ATTENZIONE

CORSO FIRE SAFETY ENGINEERING

Dott. Pietro Monaco