

 ordine degli **ingegneri**  
della Provincia di Sondrio

in collaborazione con

 **C.R.O.I.L.**  
Consulta Regionale Ordini Ingegneri Lombardia

**CORSO DI AGGIORNAMENTO PER PROFESSIONISTI  
ANTINCENDIO - D.M. 5 agosto 2011.**

## **IL RISCHIO INCENDIO**

analisi del rischio dal D.M. 10.03.98 al D.M. 03.08.15

SONDRIO, 22 febbraio 2017

BORTOLO BALDUZZI  
bbalduzzi@comune.bg.it

Quando compaio  
nelle slides  
l'argomento è  
oggetto di test !



### **DEFINIZIONI**

#### **D.Lgs. 81.08 art. 2**

*lett r) “**pericolo**”* proprietà o qualità intrinseca di un determinato fattore avente il potenziale di causare danni;

*lett s) “**rischio**”* probabilità di raggiungimento del livello potenziale di danno nelle condizioni di impiego o di esposizione ad un determinato fattore o agente oppure alla loro combinazione;

**DEFINIZIONI****D.M. 10 marzo 1998 all.to I p.to 1.2**

**“pericolo di incendio”**: proprietà o qualità intrinseca di determinati materiali o attrezzature, oppure di metodologie e pratiche di lavoro o di utilizzo di un ambiente di lavoro, che presentano il potenziale di causare un incendio;

**DEFINIZIONI****D.M. 10 marzo 1998 all.to I p.to 1.2**

**“rischio di incendio”**: probabilità che sia raggiunto il livello potenziale di accadimento di un incendio e che si verifichino conseguenze dell'incendio sulle persone presenti;

**“valutazione dei rischi di incendio”**: procedimento di valutazione dei rischi di incendio in un luogo di lavoro, derivante dalle circostanze del verificarsi di un pericolo di incendio.

## DEFINIZIONI



### **D.M. 10 marzo 1998 all.to I p.to 1.3**

La valutazione dei rischi di incendio deve consentire al **datore di lavoro** di prendere i provvedimenti che sono effettivamente necessari per salvaguardare la sicurezza dei lavoratori e delle altre persone presenti nel luogo di lavoro.

## DEFINIZIONI

### **D.M. 10 marzo 1998 all.to I p.to 1.3**

Questi provvedimenti comprendono:

- la prevenzione dei rischi;
- l'informazione dei lavoratori e delle altre persone presenti;
- la formazione dei lavoratori;
- le misure tecnico-organizzative destinate a porre in atto i provvedimenti necessari.

☐ I termini:

- **sicurezza,**
- **pericolo,**
- **danno,**
- **rischio,**
- **perdita.....**

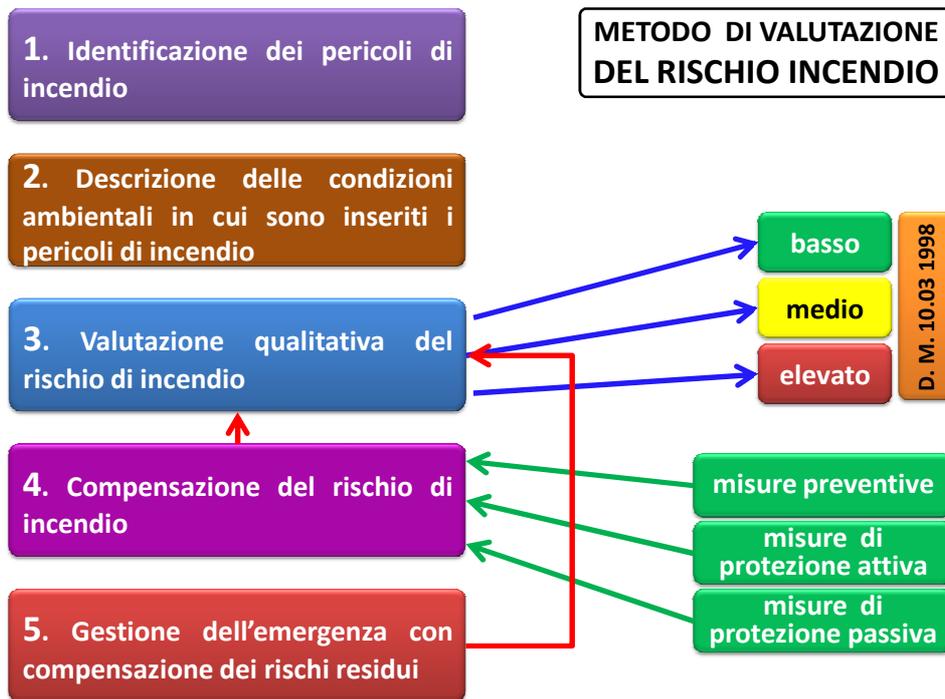
sono spesso, erroneamente, usati indifferentemente tra di loro con il medesimo significato.

☐ Il rischio è un **concetto contestualizzato**;

bisogna cioè riferirsi ad una specifica circostanza, ambiente o situazione; è connesso con un'aspettativa umana o con un effetto , per lo più negativo e indesiderato, che procura una perdita (**Loss**) che può riguardare:

- la **perdita di vita umana** o il suo non completo e totale godimento, anche solo temporaneo (es.: l'infortunio, l'inabilità o la malattia professionale) – **profilo di rischio  $R_{vita}$** ;
- la **perdita di un servizio pubblico essenziale** (es.: il servizio di distribuzione dell'acqua potabile, il servizio stampa.....) - **profilo di rischio  $R_{beni}$** ;

- la **perdita di patrimonio culturale insostituibile** – **profilo di rischio  $R_{beni}$ ,  $R_{ambiente}$** ;
- la **perdita economica** (relativa e soggettiva).



**EFFICACIA DELLE MISURE DI PROTEZIONE (fonte SUVA)**

	PERSONE	MISURA	PERICOLO INCENDIO	EFFICACIA	
<b>1. ELIMINARE IL PERICOLO</b>		-		<b>100%</b>	<b>Protezione collettiva</b>
<b>2. ALLONTANARE LE PERSONE</b>		-		<b>75%</b>	
<b>3. ISOLARE IL PERICOLO</b>				<b>50%</b>	
<b>4. PROTEGGERE LE PERSONE</b>	-			<b>25%</b>	<b>Protezione individuale</b>
<b>5. REGOLE DI COMPORTAMENTO</b>	-			<b>10%</b>	



□ **sicurezza:**  $S(t)$  è la probabilità che l'evento atteso (generalmente negativo, non voluto o indesiderato) non si verifichi;

- assume valore  $0 \leq S(t) \leq 1$ ;
- detto:

$N$  il numero di oggetti (di una popolazione)

$\mu(t)$  il numero di oggetti morti (inservibili al tempo  $t$ )

$n(t) = N - \mu(t)$  il numero di oggetti sopravvissuti al tempo  $t$ , si ha, per definizione:

$$S(t) = \frac{n(t)}{N}$$

definito il tasso di guasto come:

- se  $\gamma(t) = \text{cost} = g$  si ottiene: 
$$\gamma(t) = \frac{\mu(t)}{N - \mu(t)}$$

$$S(t) = e^{-gt}$$

- la sicurezza non è quindi costante nel tempo ma diminuisce con legge esponenziale inversa rispetto al tempo  $t$ .
- sviluppando  $e^{-gt}$  in serie di *Mc Laurin*:

$$S(t) = 1 - gt + \frac{gt^2}{2!} - \frac{gt^3}{3!} + \dots$$

Se, come spesso si verifica, il prodotto  $gt \ll 1$  risulta:

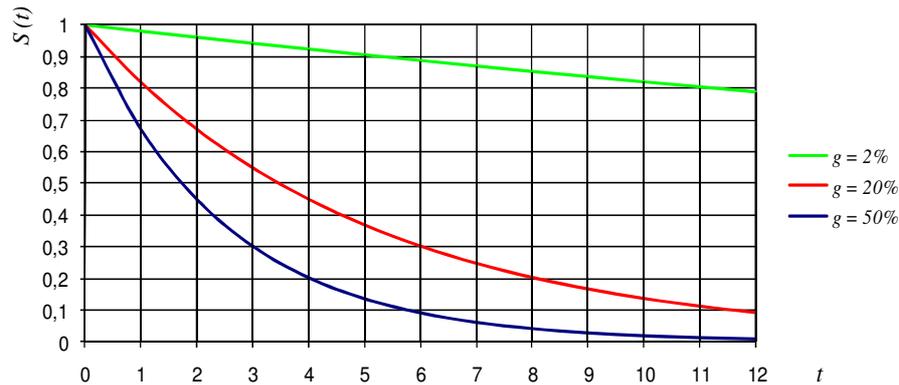
$$S(t) = 1 - gt$$

## LA SICUREZZA IN FUNZIONE DEL TEMPO E DEL TASSO DI GUASTO



Andamento di  $S(t) = e^{-gt}$  in funzione del tempo e del tasso di guasto  $g$  (espresso come %le riferita al tempo  $t$ , es.:  $g = 2\%$  all'anno).

Si noti che per  $g t \ll 1$  l'andamento è pressoché lineare decrescente.



□ **pericolo:**  $\pi(t) = [1-S(t)]$  - è il complemento ad 1

(all'unità) della sicurezza;

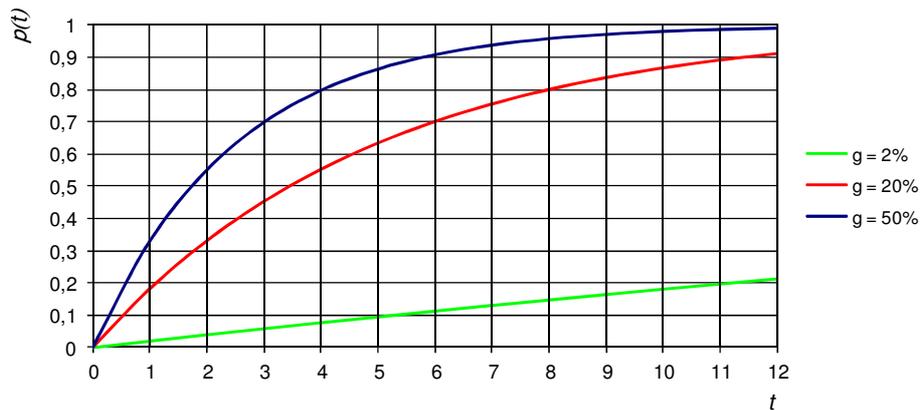
□ il pericolo rappresenta la probabilità che l'evento atteso (negativo o indesiderato) si verifichi;

▪ assume valore  $0 \leq \pi(t) \leq 1$ ;

▪ nel caso sia  $g t \ll 1$  si ha  $\pi(t) = 1 - S(t) = 1 - 1 + g t = g t$

### IL PERICOLO IN FUNZIONE DEL TEMPO E DEL TASSO DI GUASTO

Andamento di  $\pi(t) = [1-S(t)]$  in funzione del tempo e del tasso di guasto  $g$ . Si noti che per  $g t \ll 1$  l'andamento è lineare crescente.



□ **rischio:**  $R(t) = [1-S(t)] k$  - è il prodotto del pericolo  $\pi(t)$  per il coefficiente  $k$ , detto **VULNERABILITÀ**. La vulnerabilità esprime, analiticamente, la correlazione tra rischio  $R(t)$  e pericolo  $\pi(t)$  cioè la probabilità che si verifichi il rischio in presenza di pericolo;

- $k$  assume valore  $0 \leq k \leq 1$ ;
- il pericolo può quindi essere elevato  $\{[1-S(t)] \rightarrow 1\}$  ma il rischio può essere comunque basso se  $k \rightarrow 0$ ;
- anche  $R(t)$  assume pertanto valore  $0 \leq R(t) \leq 1$ ;
- la definizione del rischio così come formulata corrisponde a quella dell'art. 2 c. 1 lett. s) del D.lgs. 81.08;

- esiste, tra le altre, anche la seguente definizione di rischio:

□ **rischio:**  $R(t) = [1-S(t)] k d$  dove  $d$  è il danno cioè il valore economico stimato, espresso in €, della perdita **L** (Loss);

- solitamente al prodotto  $k d$  si assegna l'appellativo di danno probabile  $D$ ; è espresso in €.

la formula può essere scritta quindi come:

$$R(t) = \pi(t) D$$

formalmente identica a quella che si rinviene in letteratura:

$$R = F M$$

laddove si ponga  $F = \pi(t) =$  frequenza ed  $M = D =$  magnitudo.

- Il rischio così come formulato corrisponde alla definizione analitico - ingegneristica di rischio;

- tutte le definizioni di rischio che si rinvergono nelle norme sono riconducibili a quelle date.

□ **ad esempio** nella norma CEI 11-27 – lavori su impianti elettrici- il rischio elettrico viene definito come: ***“combinazione della probabilità e della gravità del possibile infortunio di una persona esposta a pericoli elettrici: shock elettrico ed arco elettrico”.***

<b>FREQUENZA → F</b>	ELEVATA 4	4	8	<b>AREA DI RISCHIO INACCETTABILE</b>		
	MEDIO ALTA 3	3	6			
	MEDIO BASSA 2	2	4		6	8
	BASSA 1	1	2		3	4
<b>MATRICE PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO</b>		LIEVE 1	MEDIA 2	GRAVE 3	GRAVISSIMA 4	
		<b>MAGNITUDO → M</b>				

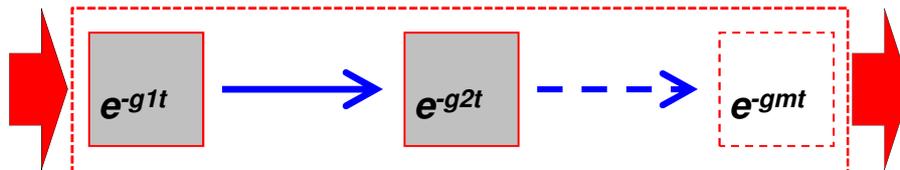
FREQUENZA F	
<b>ELEVATA ALTAMENTE PROBABILE 4</b>	<input type="checkbox"/> esiste una correlazione diretta tra la mancanza rilevata ed il verificarsi del danno ipotizzato per i lavoratori; <input type="checkbox"/> si sono già verificati danni per la stessa mancanza rilevata in situazioni simili; <input type="checkbox"/> il verificarsi del danno alla mancanza rilevata non susciterebbe alcun stupore (l'evento sarebbe largamente atteso)
<b>MEDIO ALTA PROBABILE 3</b>	<input type="checkbox"/> la mancanza rilevata può provocare danno anche se non in modo automatico e diretto; <input type="checkbox"/> già noto, all'interno dell'unità produttiva, qualche episodio in cui alla mancanza rilevata ha fatto seguito un danno; <input type="checkbox"/> il verificarsi del danno ipotizzato susciterebbe una moderata sorpresa.
<b>MEDIO BASSA POCO PROBABILE 2</b>	<input type="checkbox"/> la mancanza rilevata può provocare danno solo in circostanze sfortunate di eventi; <input type="checkbox"/> sono noti rarissimi episodi già verificatesi; <input type="checkbox"/> il verificarsi del danno ipotizzato susciterebbe grande sorpresa.
<b>BASSA IMPROBABILE 1</b>	<input type="checkbox"/> la mancanza rilevata può provocare un danno per la concomitanza di più eventi poco probabili e indipendenti; <input type="checkbox"/> non sono nati episodi già verificatesi; <input type="checkbox"/> il verificarsi del danno ipotizzato susciterebbe incredulità.

<b>MAGNITUDO <math>M</math></b>	
<b>GRAVISSIMA 4</b>	<input type="checkbox"/> infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti letali o di invalidità totale; <input type="checkbox"/> esposizione cronica con effetti letali e/o totalmente invalidanti.
<b>GRAVE 3</b>	<input type="checkbox"/> infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti di invalidità parziale; <input type="checkbox"/> esposizione cronica con effetti irreversibili e/o parzialmente invalidanti;
<b>MEDIA 2</b>	<input type="checkbox"/> infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti di inabilità reversibile; <input type="checkbox"/> esposizione cronica con effetti reversibili.
<b>LIEVE 1</b>	<input type="checkbox"/> infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti di inabilità rapidamente reversibile; <input type="checkbox"/> esposizione cronica con effetti rapidamente reversibili ;

<b>RISCHIO <math>R</math> → PIANIFICAZIONE INTERVENTI</b>	
<b><math>R = 16</math></b>	<input type="checkbox"/> interventi da realizzare <b>IMMEDIATAMENTE</b>
<b><math>9 &lt; R &lt; 12</math></b>	<input type="checkbox"/> interventi da realizzare <b>CON URGENZA</b> (entro 30 gg)
<b><math>8 &lt; R &lt; 9</math></b>	<input type="checkbox"/> interventi da realizzare in <b>TEMPI BREVI</b> (entro 60-90 gg)
<b><math>R = 6</math></b>	<input type="checkbox"/> interventi da realizzare in <b>TEMPI RAGIONEVOLI</b> (90-120 gg)
<b><math>R = 4</math></b>	<input type="checkbox"/> interventi da realizzare <b>IN 150-210 gg</b>
<b><math>R = 3</math></b>	<input type="checkbox"/> interventi non urgenti ma <b>NON DIFFERIBILI</b> per più di 360 gg
<b><math>1 &lt; R &lt; 2</math></b>	<input type="checkbox"/> interventi <b>DIFFERIBILI NEL TEMPO</b> (più di 360 gg)

### SICUREZZA DI UN SISTEMA A ELEMENTI IN SERIE

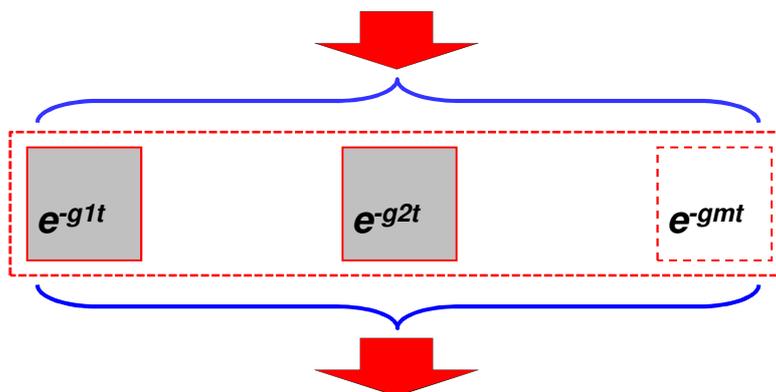
$$S_{sist.}(t) = S_1 S_2 \dots S_n = e^{-(g_1 t + g_2 t + \dots + g_n t)}$$



La sicurezza del sistema diminuisce con l'aumento del numero di componenti ed è < della sicurezza dell'elemento meno sicuro.

### SICUREZZA DI UN SISTEMA A ELEMENTI IN PARALLELO

$$S_{sist.}(t) = 1 - (g_1 g_2 \dots g_m) t$$



La sicurezza del sistema aumenta con l'aumento del numero dei componenti ed è > della sicurezza dell'elemento più sicuro.



**LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI INCENDIO  
SI BASA SU DUE IPOTESI FONDAMENTALI:**

- a) in condizioni ordinarie, l'incendio di un'attività si avvia da **un solo punto di innesco**;
- b) il rischio di incendio di un'attività **non può essere ridotto a zero**.

**Le misure antincendio di prevenzione, di protezione e gestionali sono finalizzate per minimizzare il rischio di incendio, in termini di probabilità e conseguenze, entro limiti considerati *“socialmente accettabili”*.**

Si considerano “socialmente accettabili” le perdite contenute entro i limiti:

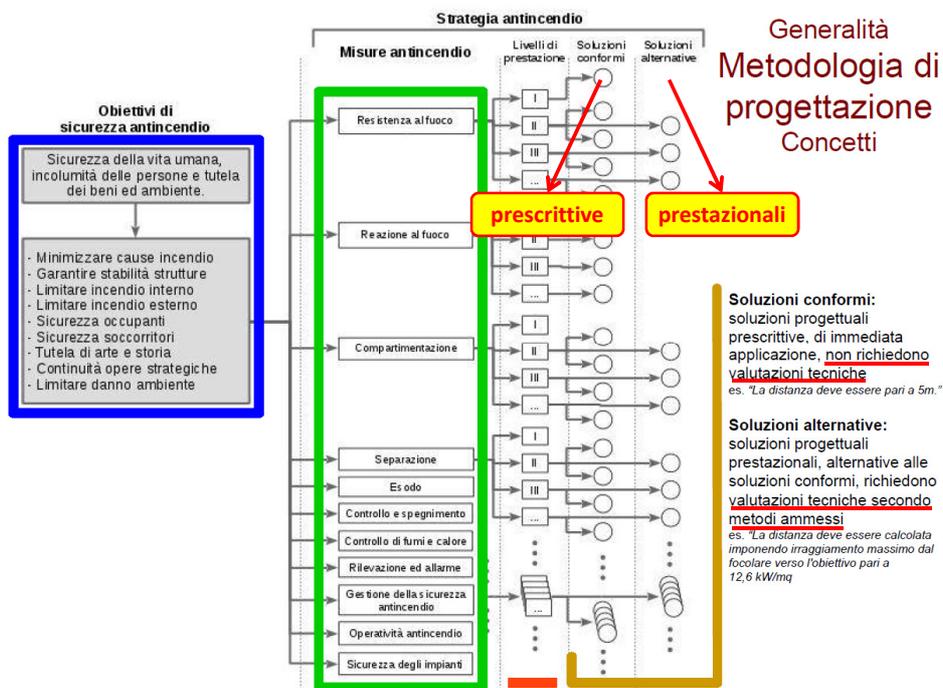
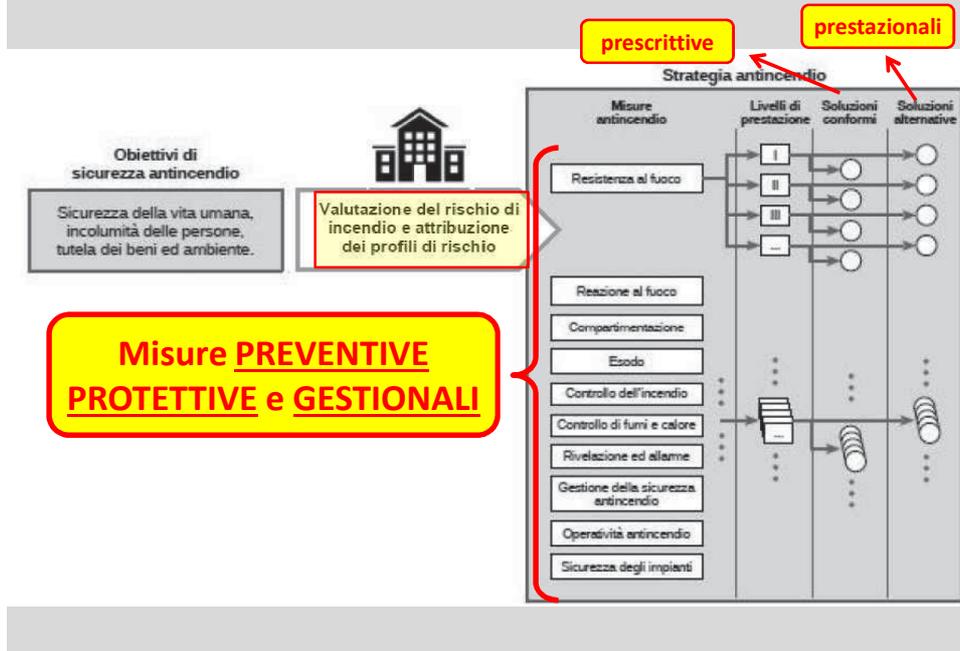
perdita	
- di vite umane (lesioni o morte $R_{vita}$ )	$< 10^{-5}/\text{anno}$
- di servizio pubblico ( $R_{beni}$ , $R_{ambiente}$ )	$< 10^{-3}/\text{anno}$
-di patrimonio culturale insostituibile ( $R_{beni}$ , $R_{ambiente}$ )	$< 10^{-3}/\text{anno}$

## LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI INCENDIO PER L'ATTIVITA'

è effettuata dal progettista (!) che attribuisce i profili di rischio:

- $R_{vita}$  profilo di rischio relativo alla salvaguardia della vita;
- $R_{beni}$  profilo di rischio relativo alla salvaguardia dei beni economici;
- $R_{ambiente}$  profilo di rischio relativo alla tutela dell'ambiente dagli effetti dell'incendio.

## SCHEMATIZZAZIONE DELLA METODOLOGIA GENERALE



## SOLUZIONI PROGETTUALI - mix tra prevenzione e protezione

MISURE DI PREVENZIONE	MISURE DI PROTEZIONE	
	PROTEZIONE ATTIVA	PROTEZIONE PASSIVA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destinazione d'uso dei locali</li> <li>• Limitazione del carico d'incendio</li> <li>• Aree a rischio specifico</li> <li>• Impianti a regola d'arte</li> <li>• Controlli periodici impianti</li> <li>• Rispetto divieti e limitazioni</li> <li>• Rispetto delle condizioni di esercizio</li> <li>• Addestramento periodico del personale e squadre aziendali</li> <li>• Piani d'intervento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rilevazione automatica</li> <li>• Impianti fissi di estinzione</li> <li>• Impianti per il controllo dello scarico dei fumi</li> <li>• Alimentazione elettrica di emergenza</li> <li>• Illuminazione di sicurezza</li> <li>• Vigilanza aziendale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicazione</li> <li>• Distanze di sicurezza</li> <li>• Resistenza al fuoco</li> <li>• Compartimentazione</li> <li>• Reazione al fuoco</li> <li>• Vie di esodo</li> <li>• Aerazione</li> <li>• Superfici di minori resistenze</li> <li>• Articolazione dell'edificio</li> </ul>



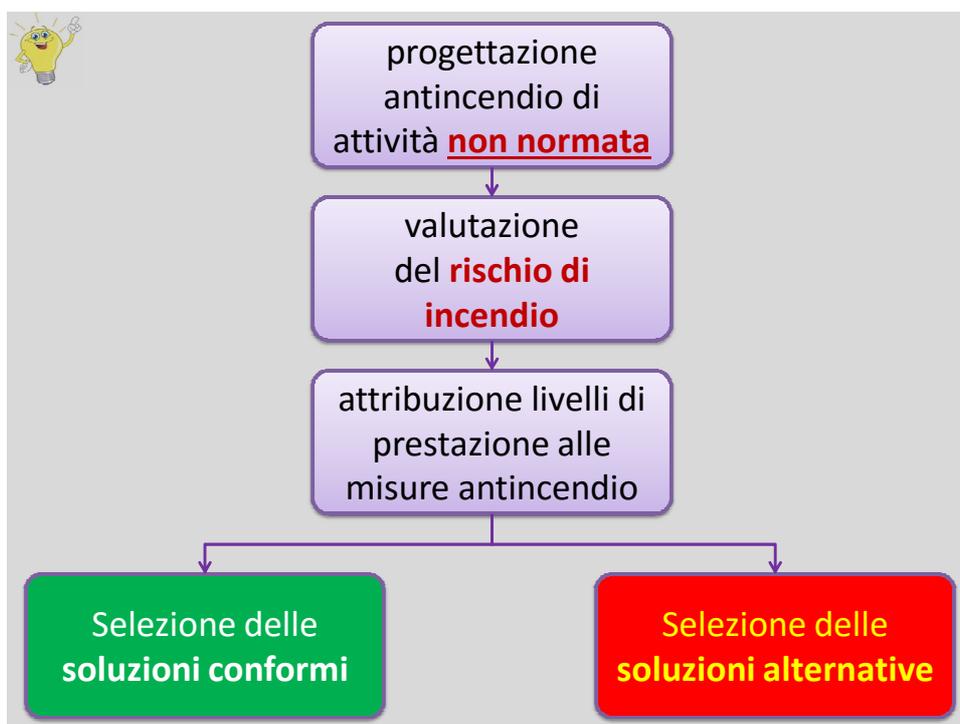
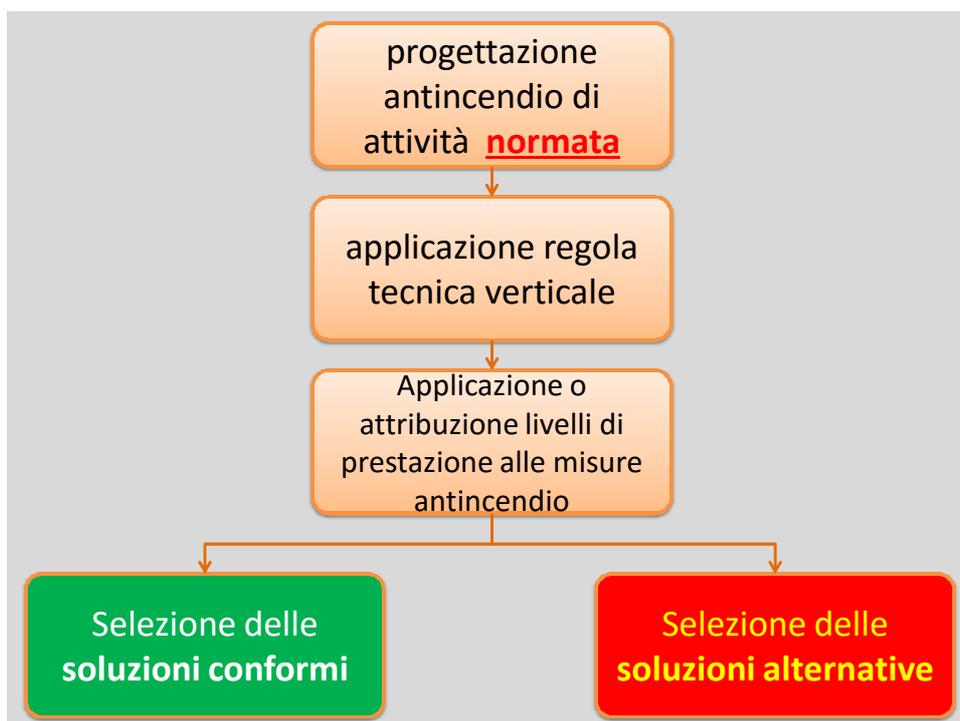
### Metodi ORDINARI di progettazione della sicurezza antincendio G.2.6

Metodi	Descrizione e limiti di applicazione
Applicazione di norme o documenti tecnici	Il progettista applica <u>norme o documenti tecnici adottati da organismi europei o internazionali</u> , riconosciuti nel settore della sicurezza antincendio. Tale applicazione, fatti salvi gli obblighi connessi all'impiego di prodotti soggetti a normativa comunitaria di armonizzazione e alla regolamentazione nazionale, deve essere attuata nella sua completezza, ricorrendo a soluzioni, configurazioni e componenti richiamati nelle norme o nei documenti tecnici impiegati, evidenziandone specificatamente l'idoneità, per ciascuna configurazione considerata, in relazione ai profili di rischio dell'attività.
Applicazione di prodotti o tecnologie di tipo innovativo	L' <u>impiego di prodotti o tecnologie di tipo innovativo</u> , frutto della evoluzione tecnologica ma sprovvisti di apposita specifica tecnica, è consentito in tutti i casi in cui l'idoneità all'impiego possa essere attestata dal progettista, in sede di verifica ed analisi sulla base di una valutazione del rischio connessa all'impiego dei medesimi prodotti o tecnologie, supportata da pertinenti certificazioni di prova riferite a: <ul style="list-style-type: none"> <li>• norme o specifiche di prova nazionali;</li> <li>• norme o specifiche di prova internazionali;</li> <li>• specifiche di prova adottate da laboratori a tale fine autorizzati.</li> </ul>
Ingegneria della sicurezza antincendio	Il progettista applica i <u>metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio</u> , secondo procedure, ipotesi e limiti indicati nel presente documento, in particolare nei capitoli M.1, M.2 e M.3, e secondo le procedure previste dalla normativa vigente.

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

Metodi	Descrizione e limiti di applicazione
Ingegneria della sicurezza antincendio	Il progettista applica i <u>metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio</u> impiegando ipotesi e limiti previsti dalla regola dell'arte nazionale ed internazionale, secondo le procedure previste dalla normativa vigente.
Prove sperimentali	<p>Il progettista esegue <u>prove sperimentali</u> in scala reale o in scala adeguatamente rappresentativa, finalizzata a riprodurre ed analizzare dal vero i fenomeni chimico-fisici e termodinamici che caratterizzano la problematica oggetto di studio o valutazione avente influenza sugli obiettivi di prevenzione incendi.</p> <p>Le prove sperimentali sono condotte secondo protocolli condivisi con la Direzione centrale per la prevenzione e la sicurezza tecnica del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco.</p> <p>Le prove sono svolte alla presenza di rappresentanza qualificata del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco, su richiesta del responsabile dell'attività.</p> <p>Le prove devono essere opportunamente documentate. In particolare i rapporti di prova dovranno definire in modo dettagliato le ipotesi di prova ed i limiti di utilizzo dei risultati. Tali rapporti di prova, ivi compresi filmati o altri dati monitorati durante la prova, sono messi a disposizione del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco.</p>
Analisi e progettazione secondo giudizio esperto	L'analisi <u>secondo giudizio esperto</u> è fondata sui <u>principi generali</u> di prevenzione incendi e sul bagaglio di conoscenze del progettista esperto del settore della sicurezza antincendio.





## IL PROFILO DI RISCHIO $R_{vita}$

Il profilo di rischio  $R_{vita}$  è attribuito per compartimento in relazione ai seguenti fattori :

- $\delta_{occ}$ : caratteristiche *prevalenti* degli occupanti che si trovano nel compartimento antincendio;
- $\delta_{\alpha}$ : velocità caratteristica *prevalente* di crescita dell'incendio riferita al tempo  $t_{\alpha}$ , in secondi, impiegato dalla potenza termica per raggiungere il valore di **1.000 kW (~1 Btu/s)**.

## IL PROFILO DI RISCHIO $R_{vita}$

Caratteristiche prevalenti degli occupanti $\delta_{occ}$		Esempi
A	Gli occupanti sono in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio	Ufficio non aperto al pubblico, scuola, autorimessa privata, attività produttive in genere, depositi, capannoni industriali
B	Gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio	Attività commerciale, autorimessa pubblica, attività espositiva e di pubblico spettacolo, centro congressi, ufficio aperto al pubblico, ristorante, studio medico, ambulatorio medico, centro sportivo
C [1]	Gli occupanti possono essere addormentati:	
Ci	• in attività individuale di lunga durata	Civile abitazione
Cii	• in attività gestita di lunga durata	Dormitorio, residence, studentato, residenza per persone autosufficienti
Ciii	• in attività gestita di breve durata	Albergo, rifugio alpino
D	Gli occupanti ricevono cure mediche	Degenza ospedaliera, terapia intensiva, sala operatoria, residenza per persone non autosufficienti e con assistenza sanitaria
E	Occupanti in transito	Stazione ferroviaria, aeroporto, stazione metropolitana

[1] Quando nel presente documento si usa C la relativa indicazione è valida per Ci, Cii, Ciii

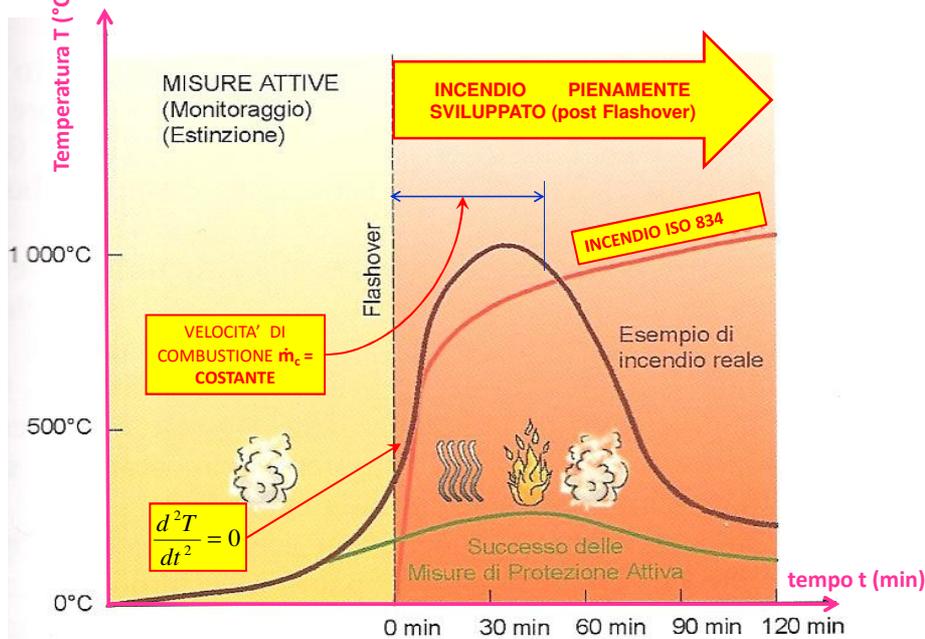
## IL PROFILO DI RISCHIO $R_{vita} - \delta_\alpha$



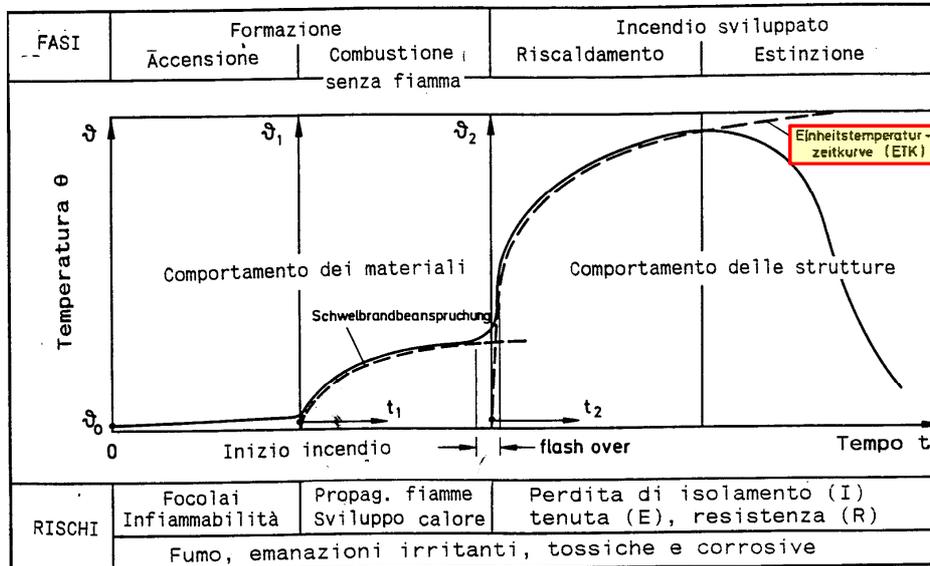
$\delta_\alpha$	Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio $t_c$ [s]	Esempi
1	600 Lenta	Materiali poco combustibili distribuiti in modo discontinuo o inseriti in contenitori non combustibili.
2	300 Media	Scatole di cartone impilate; pallets di legno; libri ordinati su scaffale; mobili in legno; automobili; materiali classificati per reazione al fuoco (capitolo S.1)
3	150 Rapida	Materiali plastici impilati; prodotti tessili sintetici; apparecchiature elettroniche; materiali combustibili non classificati per reazione al fuoco.
4	75 Ultra-rapida	Liquidi infiammabili; materiali plastici cellulari o espansi e schiume combustibili non classificati per la reazione al fuoco.

Tabella G.3-2: Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio

### LA CURVA T-t Temperatura – tempo



## LA CURVA T-t Temperatura – tempo



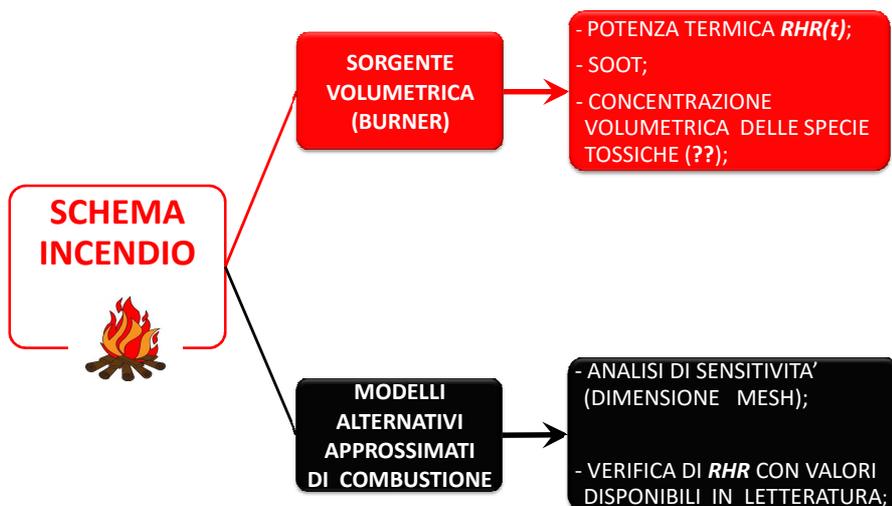
## LA CURVA T-t Temperatura-tempo

- la curva Temperatura - tempo non fornisce tutte le indicazioni utili per essere considerata un modello esaustivo dell'incendio.
- fino al punto di flashover ha valore puramente convenzionale e non descrive fisicamente alcun fenomeno;
- il flashover è sempre possibile e non è noto il tempo a cui si verifica; parimenti non si hanno informazioni sulla durata dell'incendio.

## LA CURVA T-t Temperatura-tempo

- ❑ non si hanno indicazioni sull'energia messa in gioco (potenza termica liberata nel compartimento) nell'evoluzione temporale dell'incendio;
- ❑ non vengono forniti valori di concentrazione dei gas di combustione nel compartimento;
- ❑ gli effetti delle eventuali azioni di spegnimento sono di difficile valutazione;
- ❑ .....

## LA SCHEMATIZZAZIONE DELLA COMBUSTIONE NEL COMPARTIMENTO - (lett. circ. VV.F. n° DCPST/427 del 31.03.08)

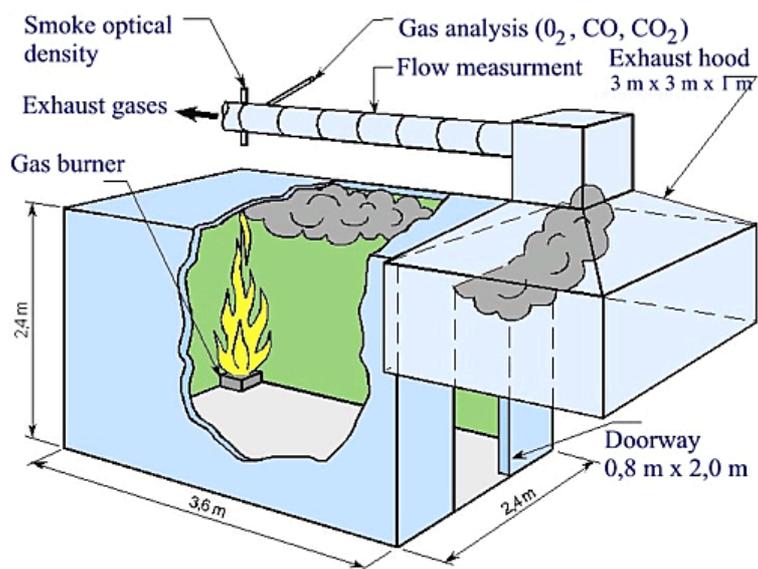


### Rate of Heat Released *RHR* (*HRR*)

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

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

### Un esempio di camera calorimetrica



Sperimentalmente si è determinato che, nella **fase di crescita** dell'incendio e fino alla condizione di flashover,  $RHR(t)$  varia con legge quadratica in funzione di  $t$ .

In letteratura si fa infatti riferimento all'incendio "***t-quadro***".

Per consentire valutazioni analitiche, si considerano quattro curve di sviluppo di incendio ognuna caratterizzata dal tempo  $t_a$  che corrisponde al tempo in cui l'incendio (burner) sviluppa una potenza pari a **1.000 kW**.

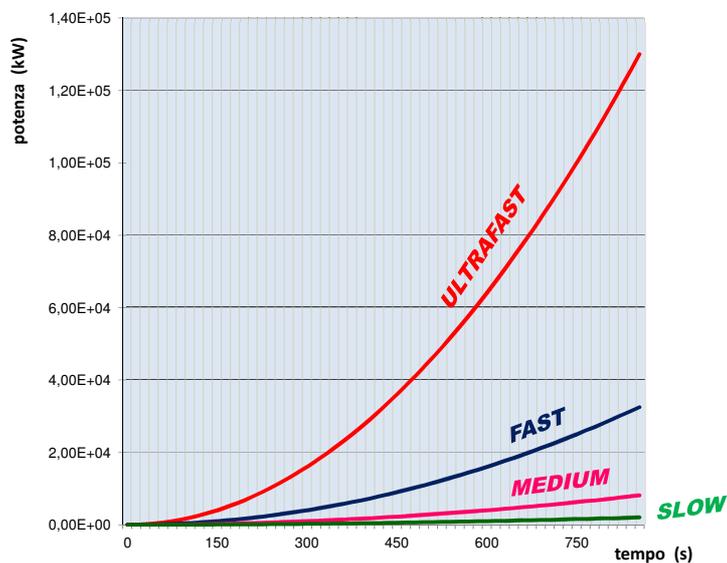
(in letteratura si trova frequentemente **1 Btu/s** che equivale a **1.055 kW** con buona pace per il cambio di u. di m.)

### Rate of Heat Released $RHR$ - rising phase

$$RHR(t) = \frac{dm_c}{dt} H = \alpha t^2$$

Tipo di incendio atteso	Tempo di sviluppo della Potenza di 1 BTU/s $\approx$ 1 MW $t_a$ (s)	$\alpha = \frac{1.000}{t_a^2} \left(\frac{\text{kW}}{\text{s}^2}\right)$
<b>ULTRAFAST</b>	75	0,1777
<b>FAST</b>	150	0,0444
<b>MEDIUM</b>	300	0,0111
<b>SLOW</b>	600	0,0027

Rate of Heat Released *RHR* – rising phase



Rate of Heat Released *RHR*  $f_{max}$

alcuni dati reperibili in letteratura - incendio controllato dal combustibile

Attività	Sviluppo atteso dell'incendio	Potenza termica massima specifica rilasciata (kW/m <sup>2</sup> )	$t_{\alpha}$ (s)	$\alpha$ (kW/s <sup>3</sup> )
Uffici	MEDIUM	200÷250	300	0,0111
Centri commerciali	FAST	500	150	0,0444
Camere di ospedale	MEDIUM	250	300	0,0111
Camere di albergo	MEDIUM	250	300	0,0111
Biblioteche	FAST	500	150	0,0444
Appartamenti	MEDIUM	250	300	0,0111
Aule scolastiche	MEDIUM	250	300	0,0111
Cinema e teatri	FAST	500	150	0,0444



### Rate of Heat Released $RHR_{f max}$

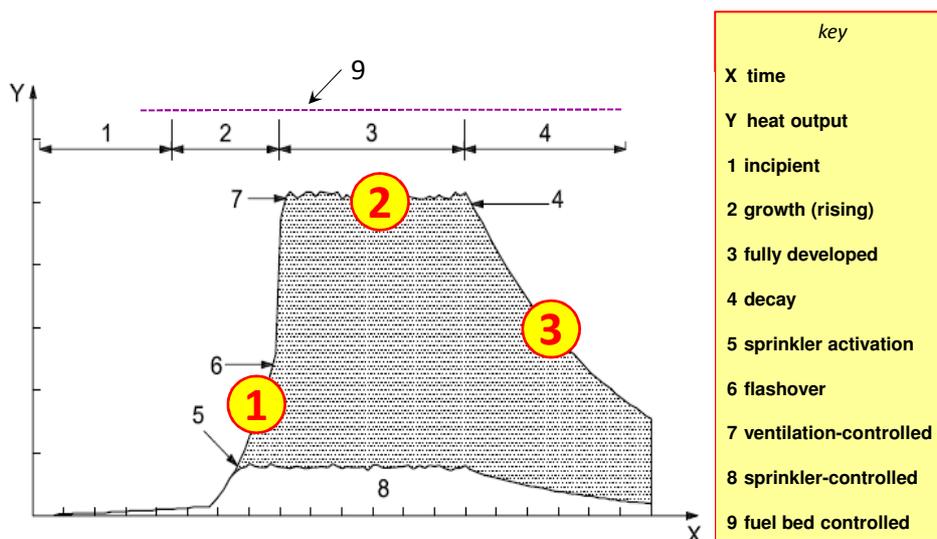
il prospetto E.5 della norma UNI EN 1991-1-2, incendio controllato dal combustibile  
 (richiamata anche dall'all.to alla lett. circ. VV.F. n° DCPST/427 del 31.03.08)

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	$t_{\alpha}$ [s]	$RHR_f$ [kW/m <sup>2</sup> ]
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

### Rate of Heat Released $RHR(t)$

example of design fire ISO/TS 16733



- key
- X time
  - Y heat output
  - 1 incipient
  - 2 growth (rising)
  - 3 fully developed
  - 4 decay
  - 5 sprinkler activation
  - 6 flashover
  - 7 ventilation-controlled
  - 8 sprinkler-controlled
  - 9 fuel bed controlled

## IL PROFILO DI RISCHIO $R_{vita} - \delta_{occ}$

Caratteristiche prevalenti degli occupanti $\delta_{occ}$		Esempi
<b>A</b>	Gli occupanti sono in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio	Ufficio non aperto al pubblico, scuola, autorimessa privata, attività produttive in genere, depositi, capannoni industriali
<b>B</b>	Gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio	Attività commerciale, autorimessa pubblica, attività espositiva e di pubblico spettacolo, centro congressi, ufficio aperto al pubblico, ristorante, studio medico, ambulatorio medico, centro sportivo
<b>C [1]</b>	Gli occupanti possono essere addormentati:	
<b>Ci</b>	• in attività individuale di lunga durata	Civile abitazione
<b>Cii</b>	• in attività gestita di lunga durata	Dormitorio, residence, studentato, residenza per persone autosufficienti
<b>Ciii</b>	• in attività gestita di breve durata	Albergo, rifugio alpino
<b>D</b>	Gli occupanti ricevono cure mediche	Degenza ospedaliera, terapia intensiva, sala operatoria, residenza per persone non autosufficienti e con assistenza sanitaria
<b>E</b>	Occupanti in transito	Stazione ferroviaria, aeroporto, stazione metropolitana

[1] Quando nel presente documento si usa C la relativa indicazione è valida per Ci, Cii, Ciii

Tabella G.3-1: Caratteristiche prevalenti degli occupanti

## IL PROFILO DI RISCHIO $R_{vita} - \delta_{\alpha}, \delta_{occ}$

Caratteristiche prevalenti degli occupanti $\delta_{occ}$		Velocità caratteristica prevalente dell'incendio $\delta_{\alpha}$			
		1 lenta	2 media	3 rapida	4 ultra-rapida
<b>A</b>	Gli occupanti sono in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio	A1	A2	A3	A4
<b>B</b>	Gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio	B1	B2	B3	Non ammesso [1]
<b>C</b>	Gli occupanti possono essere addormentati	C1	C2	C3	Non ammesso [1]
<b>Ci</b>	• in attività individuale di lunga durata	Ci1	Ci2	Ci3	Non ammesso [1]
<b>Cii</b>	• in attività gestita di lunga durata	Cii1	Cii2	Cii3	Non ammesso [1]
<b>Ciii</b>	• in attività gestita di breve durata	Ciii1	Ciii2	Ciii3	Non ammesso [1]
<b>D</b>	Gli occupanti ricevono cure mediche	D1	D2	Non ammesso [1]	Non ammesso
<b>E</b>	Occupanti in transito	E1	E2	E3	Non ammesso [1]

[1] Per raggiungere un valore ammesso,  $\delta_{\alpha}$  può essere ridotto di un livello come specificato nel comma 4.  
 [2] Quando nel testo si usa uno dei valori C1, C2, C3 la relativa indicazione è valida rispettivamente per Ci1, Ci2, Ci3 o Cii1, Cii2, Cii3 o Ciii1, Ciii2, Ciii3

<b>Tipologie di destinazione d'uso</b>	<b>R<sub>vita</sub></b>
Palestra scolastica	A1
Autorimessa privata	A2
Ufficio non aperto al pubblico , sala mensa, aula scolastica, sala riunioni aziendale, archivio, deposito librario, attività commerciale all'ingrosso	A2-A3
Laboratorio scolastico, sala server	A3
Attività produttive, attività artigianali, impianti di processo, laboratorio di ricerca, magazzino, officina meccanica	A1-A4
Depositi sostanze o miscele pericolose	A4
Galleria d'arte, sala d'attesa, ristorante, studio medico, ambulatorio medico	B1-B2
Autorimessa pubblica	B2

<b>Tipologie di destinazione d'uso</b>	<b>R<sub>vita</sub></b>
Ufficio aperto al pubblico, centro sportivo, sala conferenze aperta al pubblico, discoteca, museo, teatro, cinema, locale di trattenimento, area lettura di biblioteca, attività commerciale al dettaglio, attività espositiva, autosalone	B2-B3
Civile abitazione	Ci2-Ci3
Dormitorio, residence, studentato, residenza per persone autosufficienti	Cii2-Cii3
Rifugio alpino	Ciii1-Ciii2
Camera d'albergo	Ciii2-Ciii3
Degenza ospedaliera, terapia intensiva, sala operatoria, residenza per persone non autosufficienti e con assistenza sanitaria	D2
Stazione ferroviaria, aeroporto, stazione metropolitana	E2

### IL PROFILO DI RISCHIO $R_{beni}$

L'attribuzione del profilo di rischio  $R_{beni}$  è attribuito per l'intera attività in funzione del carattere strategico dell'opera da costruzione e dell'eventuale valore storico, culturale, architettonico, o artistici della stessa e dei beni in essa contenuti.

### IL PROFILO DI RISCHIO $R_{beni}$

- ❑ un'opera da costruzione si considera **vincolata per arte o storia** se essa stessa o i beni in essa contenuti sono tali a norma di legge (*D.lgs. 22.01.2004, n. 42....*);
- ❑ un'opera da costruzione si considera **strategica** se è tale a norma di legge o in considerazione di pianificazioni di soccorso pubblico e difesa civile o su indicazione del responsabile dell'attività.

### IL PROFILO DI RISCHIO $R_{beni}$

		Opera da costruzione vincolata	
		No	Sì
Opera da costruzione strategica	No	$R_{beni} = 1$	$R_{beni} = 2$
	Sì	$R_{beni} = 3$	$R_{beni} = 4$

Tabella G.3-6: Determinazione di  $R_{beni}$

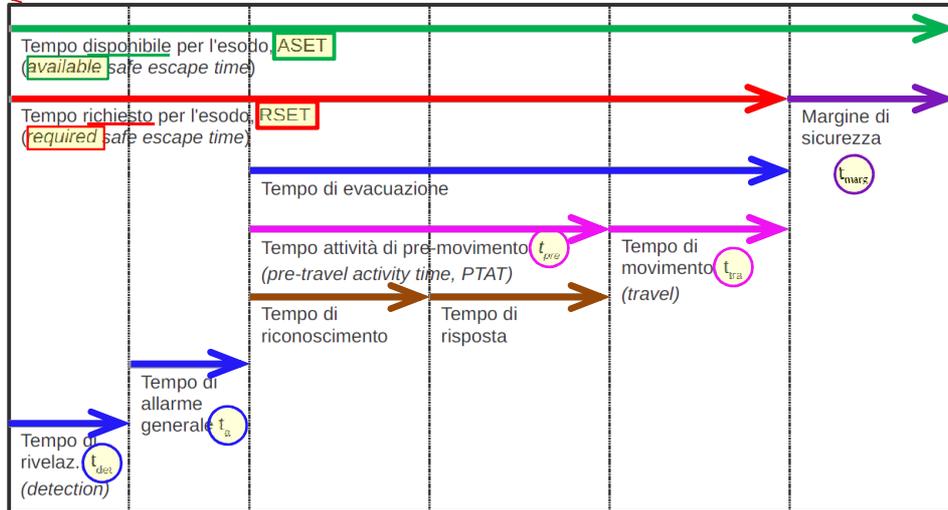
### IL PROFILO DI RISCHIO $R_{ambiente}$

Il rischio ambientale, se non diversamente indicato nel presente documento o determinato in esito a specifica valutazione del rischio (es. Direttiva “SEVESO”), può ritenersi mitigato dall’applicazione di tutte le misure antincendio connesse ai profili di rischio  $R_{vita}$  ed  $R_{beni}$ , che consentono, in genere, di considerare *non significativo* tale rischio.



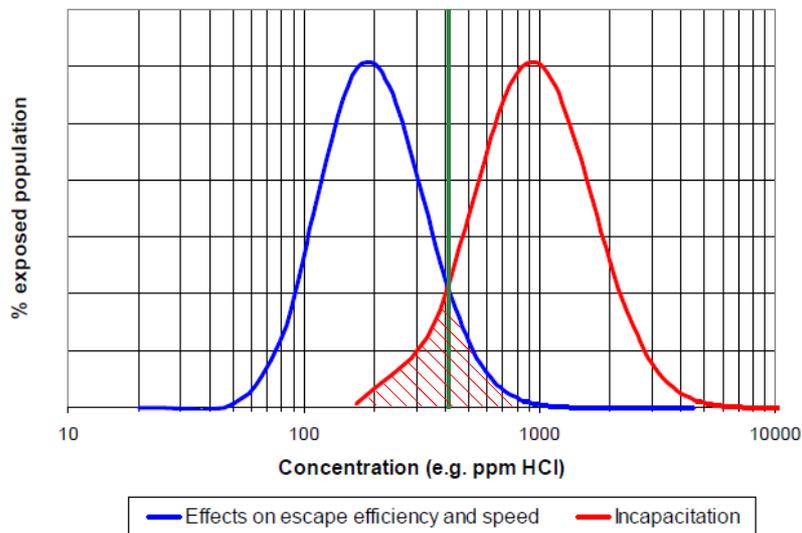
**La valutazione di  $R_{vita}$  con i metodi della ingegneria della sicurezza antincendio.**

L'origine dei tempi coincide con l'inizio dell'incendio che si autosostiene



**Le grandezze caratteristiche dei fenomeni sono valutate come variabili casuali (metodo NON deterministico).**

Frequency distribution of responses to irritants (Purser)



### La valutazione di $R_{vita}$ con i metodi dell'ingegneria della s.a.

Dal grafico deve essere:

**ASET** (Available Safe Escape Time) > **RSET** (Required Safe Escape Time)

- $t_{marg}$  deve essere il più elevato possibile;
- in ogni caso  $t_{marg} \geq 10\% RSET$  o di 30 S.
- consegue che:

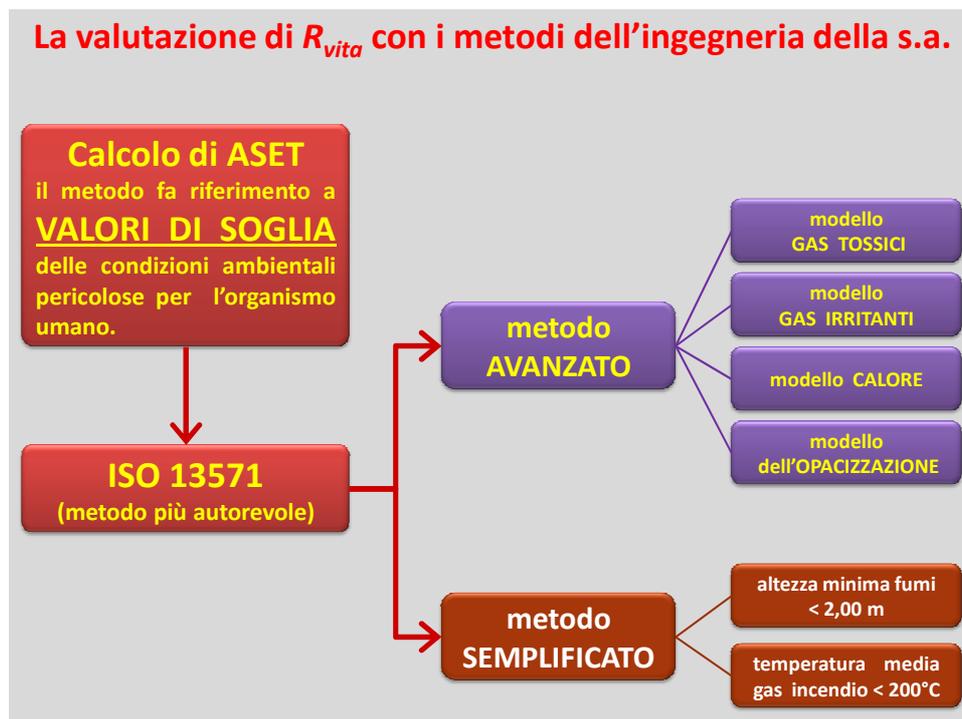
$$\begin{cases} ASET \geq 1,10 RSET; \\ ASET \geq RSET + (t_{marg} \geq 30 s) \end{cases}$$

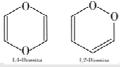
### La valutazione di $R_{vita}$ con i metodi dell'ingegneria della s.a.

Gli occupanti sono esposti agli effetti dell'incendio relativamente a:

- **ATTIVITA' SVOLTA;**
- **POSIZIONE INIZIALE;**
- **PERCORSO NEL COMPARTIMENTO;**
- **CONDIZIONE FISICA;**
- **CONDIZIONE PSICOLOGICA.**

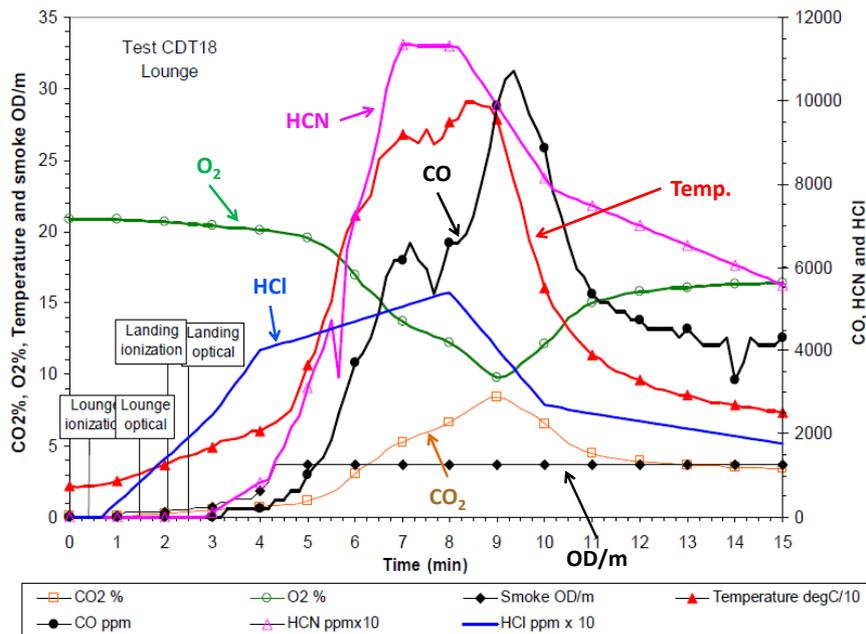
Ogni occupante è caratterizzato quindi da un proprio **ASET** e da un proprio **RSET**.



GAS TOSSICI E IRRITANTI IN AMBIENTE INTERESSATO DA INCENDIO	
CLORO	Cl
CARBON MONOXIDE	CO
ANIDRIDE CARBONICA	CO <sub>2</sub>
DIOSINE	
ACIDO SOLFIDRICO	H <sub>2</sub> S
ANIDRIDE SOLFOROSA	SO <sub>2</sub>
ACIDO CIANIDRICO	HCN
OSSIDI DI AZOTO	NO <sub>x</sub>
ACROLEINA	CH <sub>2</sub> :CHCHO
ACIDO CLORIDRICO	HCl



**Variazioni di concentrazione dei gas da incendio in ambiente – test incendio domestico (Purser)**



### Calcolo di ASET – metodo avanzato, modello GAS TOSSICI



Il metodo è previsto da **ISO 13571** e si basa su due concetti:

- a) **Exposure dose**: gas tossico assorbito come integrazione della curva %-tempo per il tempo di esposizione – unità di misura: **[ppm min]**.
- b) **FED (fractional effective dose)**: rapporto tra *exposure dose* e dose incapacitante sul soggetto medio esposto – unità di misura: **[adimensionale]**.

### Calcolo di ASET – metodo avanzato, modello GAS TOSSICI



$$FED = \frac{\int_{t_1}^{t_2} c(t) dt}{c t} \quad \text{con:}$$

$\int_{t_1}^{t_2} c(t) dt$  **exposure dose** [ppm min]

$c t$  **dose che causa incapacitazione** [ppm min]

Se **FED** = 1 viene incapacitato il soggetto medio esposto.

L'Università di Lund propone un valore dell'indice **FED = 0,5** come valore di soglia di sostenibilità dei prodotti della combustione.

### Calcolo di ASET – metodo avanzato, modello GAS TOSSICI



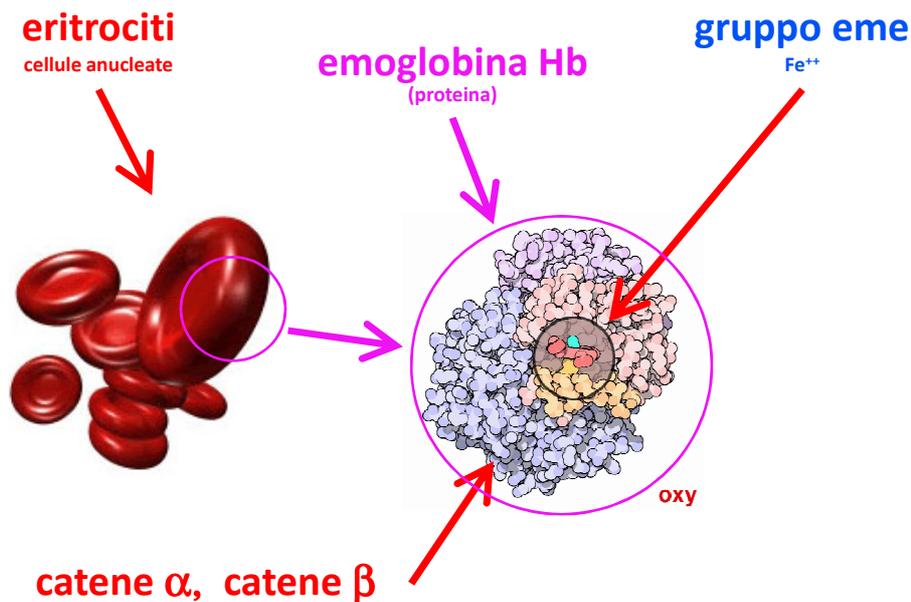
Per tenere conto delle categorie più deboli o sensibili si consiglia **FED = 0,1**.

**FED = 0,1** significa incapacitare l' **1,1 %** dei soggetti esposti.

**FED = 0,3** significa incapacitare l' **11,4 %** dei soggetti esposti.

E' comunque lasciato al professionista antincendio "l'onere" di selezionare il valore di **FED** più adatto alla tipologia di popolazione coinvolta.

### Calcolo di ASET – metodo avanzato, modello GAS TOSSICI



### Calcolo di ASET – metodo avanzato, modello GAS TOSSICI

Gli **eritrociti** (*globuli rossi*) sono cellule anucleate presenti nel sangue, responsabili, tra l'altro, del suo colore rosso. La loro funzione di trasporto dell'ossigeno dai polmoni ai tessuti è resa possibile da una proteina in essi presente, l'emoglobina, capace di legarsi stabilmente alla molecola di **O<sub>2</sub>**.

### Calcolo di ASET – metodo avanzato, modello GAS TOSSICI

La loro forma biconcava si deve interpretare come un adattamento biologico che ne rende massima la superficie di scambio rapportata al volume ( $S/V \rightarrow \max$ ).

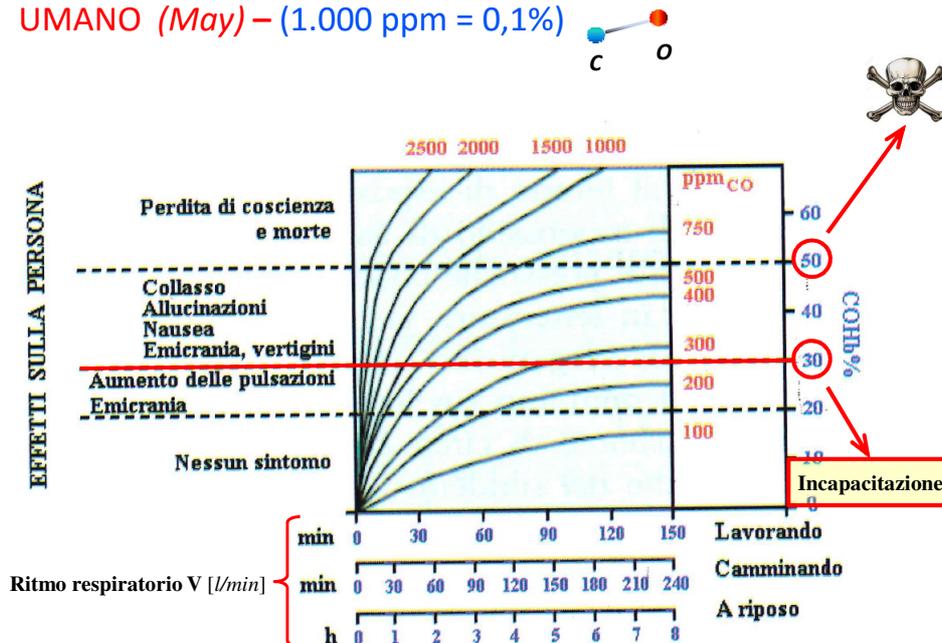
L'ossido di carbonio **CO** è un gas incolore, inodore e con densità paragonabile a quella dell'aria. Il **CO** si sviluppa ogni qualvolta si verifica, in genere in ambienti chiusi, combustione incompleta, in carenza di **O<sub>2</sub>**, di un materiale organico.

EFFETTI DEL **CO** (carbon monoxide) SULL'ORGANISMO UMANO -  
Esposizione ambientale dell'organismo umano al CO

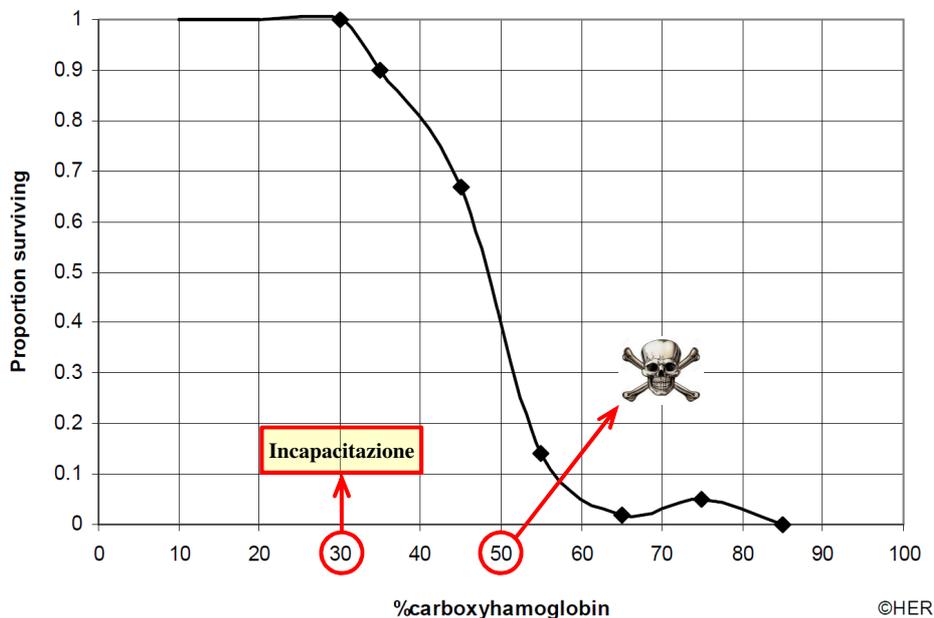
La affinità del **CO** per l'emoglobina è circa **250 volte superiore a quella per l'ossigeno.**

I fumatori di più di un pacchetto di sigarette al giorno hanno nel sangue carbossiemoglobina **HbCO** nella percentuale del 5 - 10% rispetto all'emoglobina totale.

EFFETTI DEL **CO** (carbon monoxide) SULL'ORGANISMO UMANO (May) - (1.000 ppm = 0,1%)



### EFFETTI DEL CO (carbon monoxide) SULL'ORGANISMO UMANO - % di sopravvivenza in funzione di % COHb (Purser)



### EFFETTI DEL CO (carbon monoxide) SULL'ORGANISMO UMANO (Haber, 1924)

L'effetto dell'esposizione a gas tossici sull'organismo umano è espressa dalla legge di Haber:

$$C_{gas} t = E$$

- $C_{gas}$  concentrazione gas [ppm]
- $t$  tempo di esposizione [min]
- $E$  effetto dell'esposizione (incapacitazione, % di sopravvivenza, danni biologici, ☠) [ppm min]

EFFETTI DEL **CO** (carbon monoxide) SULL'ORGANISMO

La dose incapacitante per il **CO**, secondo **ISO 13571**, vale:

$$C_{co} t = 35.000 \quad [\text{ppm min}]$$

con ritmo respiratorio  $V$  di **20 l/min** (*Stewart-Peterson*)

EFFETTI DEL **CO** (carbon monoxide) SULL'ORGANISMO

Concentrazione di  $COHb_t$  nel sangue (%) in funzione di  $C_{co}$  in ambiente (ppm), del tempo di esposizione  $t$  e dell'attività respiratoria  $V$  (l/min) (*Stewart*).

$$COHb_t = COHb_0 + 3,317 E-5 C_{co}^{1,036} V t$$

### EFFETTI DEL CO (carbon monoxide) SULL'ORGANISMO

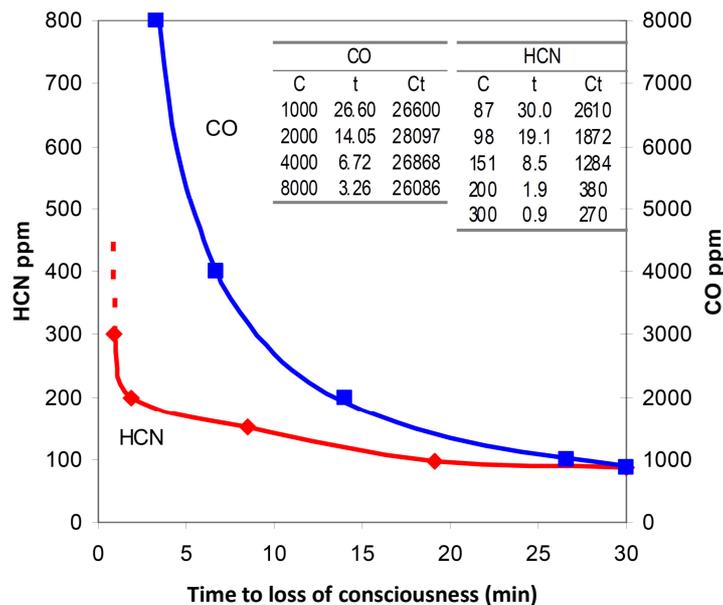
Esempio:

Calcolare il tempo di incapacitazione di un soggetto esposto ad una concentrazione media di CO in ambiente di 2.050 ppm; si suppone  $V = 20$  l/min,  $COHb_0 = 0\%$  e  $COHb_t = 30\%$ .

Risolvendo in  $t$  l'espressione di Stewart:

$$t = \frac{30\%}{3,317E-5 C_{CO}^{1,036} V} = \frac{30}{3,317 E-5 \cdot 2.050^{1,036} \cdot 20} = 16,8 \text{ min}$$

### Time to incapacitation for CO and HCN exposure (Purser)



EFFETTI DEL **CO** (carbon monoxide) SULL'ORGANISMO

$$FED_{co} = \frac{C_{co} t}{35.000} \quad \text{da cui:} \quad t = \frac{FED_{co} 35.000}{C_{co}}$$

## Esempio:

Se la concentrazione media in ambiente è di 2.050 ppm di CO l'incapacitazione del soggetto avviene dopo  $35.000:2.050 = 17 \text{ min} \rightarrow \text{FED} = 1$ .

Se si assume  $\text{FED} = 0,5$  si ottiene **ASET = 8,5 min**

Se si assume  $\text{FED} = 0.3$  si ottiene **ASET = 5,1 min**

Se si assume  $\text{FED} = 0.1$  si ottiene **ASET = 1,7 min**

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio $t_i$	150 s (fast)	75 s (ultra-fast)
RHR <sub>max</sub> totale RHR <sub>max</sub> per m <sup>2</sup> di superficie del focolare	5 MW 250-500 kW/m <sup>2</sup> [1]	50 MW 500 -1000 kW/m <sup>2</sup> [1]
Resa in particolato $Y_{soot}$	Pre flashover: 0,07 kg/kg [2,3] Post flashover: 0,14 kg/kg [2,3]	Pre flashover: 0,18 kg/kg [4] Post flashover: 0,36 kg/kg [4]
Resa in monossido di carbonio $Y_{CO}$	Pre flashover: 0,10 kg/kg [5] Post flashover: 0,40 kg/kg [5]	
Calore di combustione effettivo $\Delta H_c$	20 MJ/kg [3]	
Resa in biossido di carbonio $Y_{CO2}$	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua $Y_{H2O}$	0,82 kg/kg [3,6]	
Frazione di RHR(t) in irraggiamento (Radiative fraction)	35% [3]	
<p>[1] Da impiegare in alternativa all'RHR<sub>max</sub> totale, considerando la massima superficie del focolare, pari al compartimento antincendio nel caso di carico di incendio uniformemente distribuito, ma che può essere un valore inferiore nel caso d'incendio localizzato.</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] "C/MM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code</p> <p>[4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4<sup>th</sup> ed., 2008. Tabella 3-4.16, pag. 3-142, da polyurethane flexible foams.</p> <p>[5] Stec AA, Hull T R, "Fire Toxicity", Woodhead Pub., 2010. § 2.4 con <math>\Phi = 1,25</math> (underventilated fire)</p> <p>[6] In alternativa alle rese <math>Y_{CO2}</math> e <math>Y_{H2O}</math>, si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico <math>CH_2O_{0,5}</math>.</p>		

Tabella M.2-2: Focolari predefiniti

cellulosa  $\rightarrow C_6H_{12}O_6 \rightarrow C H_2O_{0,5}$

## EFFETTI DI **HCN** SULL'ORGANISMO



In ambiente interessato da incendio è possibile rinvenire **HCN** per combustione incompleta di:

**materie plastiche, lana, seta, resine acriliche, cotone, poliesteri, poliuretano, poliammidi.**

**HCN** ha potere tossico di c.ca **25 volte** superiore a **CO**, si lega con l'enzima citocromo-c ossidasi (enzima respiratorio di Warburg) del mitocondrio delle cellule impedendo l'utilizzo dell'ossigeno.

## EFFETTI DI **HCN** SULL'ORGANISMO

Altri nomi commerciali di **HCN**

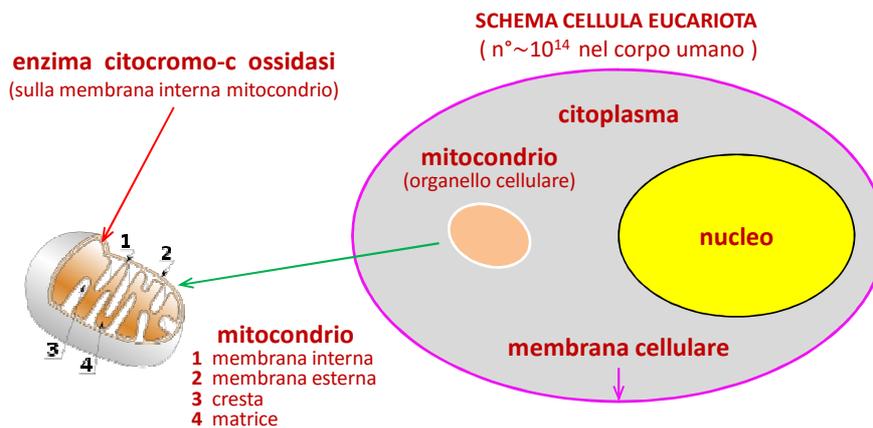
- **Zyklon B** (su dischetti di polpa di legno o farina fossile tristemente impiegato per distruzioni umane di massa)
- **acido prussico**
- **acido idrocianico**
- **formonitrile**

A temperatura ambiente è un liquido volatile, incolore dal sapore di mandorle amare.

Una poltrona che brucia in una stanza di 40 m<sup>3</sup> produce dopo c.ca 4 min una concentrazione di **100 ppm** di **HCN**

## IL MITOCONDRIO DELLE CELLULE EUCARIOTE

Lo ione  $\text{CN}^-$  si lega stabilmente a  $\text{Fe}^{++}$  e a  $\text{Cu}^{++}$  dell'enzima **citocromo-c ossidasi** impedendo la reazione di ossidazione.



## EFFETTI DI **HCN** SULL'ORGANISMO

Tempo di incapacitazione (min) in funzione della concentrazione di **HCN** (ppm) in ambiente.

$$t = \frac{220}{\frac{C_{HCN}}{e^{43}}}$$

Il tempo di incapacitazione per la combustione della poltrona della slide precedente vale:

$$t = \frac{220}{\frac{100}{e^{43}}} = 21,5 \text{ min}$$

### EFFETTI DI **HCN** SULL'ORGANISMO

La **FED** di **HCN** assume l'espressione.

$$FED_{HCN} = \frac{C_{HCN} t}{220}$$

Al tempo di incapacitazione di 21,5 min con concentrazione di 100 ppm corrisponde in effetti:

$$FED_{HCN} = \frac{100 \cdot 21,5}{220} = 0,97 \approx 1$$

**HCN** può essere assorbito dall'organismo umano sia per inalazione che per via cutanea.

### SOVRAPPOSIZIONE DEGLI EFFETTI PER IL CALCOLO DI Fractional Effective Dose

In ambiente interessato da incendio con contemporanea presenza di due o più gas tossici vale, con buona approssimazione, il principio di sovrapposizione degli effetti.

Negli incendi le dosi di **CO** liberate superano di molto quelle di **HCN**, in prima approssimazione il raggiungimento di **FED** è quindi generalmente governato da **CO**.

$$FED = \frac{C_{co} t}{35.000} + \frac{C_{HCN} t}{220} + \dots + \dots$$

**Attenzione alle espressioni di FED: in letteratura se ne rinvencono di molto  $\neq$  tra loro perché vengono formulate per scopi  $\neq$  da quelli della sicurezza antincendio.**

$$FED = \frac{[CO]}{5.000} + \frac{[HCN]}{150} + \frac{[HCl]}{3.800} + \frac{[HBR]}{3.000} + \frac{[NO]}{1.000} + \frac{[NO_2]}{200}$$

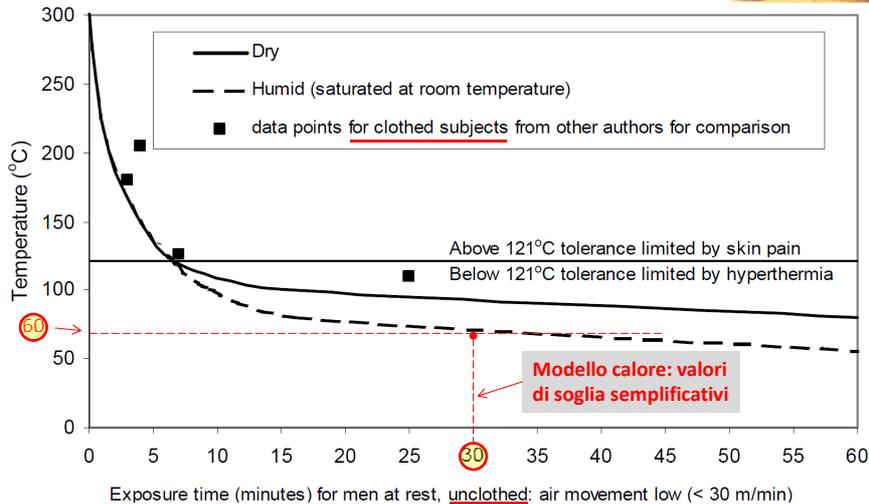
In questo caso i numeratori [XX] della sommatoria rappresentano le concentrazioni in ppm in ambiente.

I denominatori rappresentano le concentrazioni, in ppm, degli effluenti in grado di incapacitare il soggetto (☠ Death), con un tempo di esposizione di **30 min**, con una probabilità del **50%**.

Indice Humidex della temperatura apparente															
T (° C)	Umidità relativa (%)														
	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
42°	48°	50°	52°	55°	57°	59°	62°	64°	66°	68°	71°	73°	75°	77°	79°
41°	46°	48°	51°	53°	55°	57°	59°	61°	64°	66°	68°	70°	72°	74°	76°
40°	45°	47°	49°	51°	53°	55°	57°	59°	61°	63°	65°	67°	69°	71°	73°
39°	43°	45°	47°	49°	51°	53°	55°	57°	59°	61°	63°	65°	66°	68°	70°
38°	42°	44°	45°	47°	49°	51°	53°	55°	56°	58°	60°	62°	64°	66°	67°
37°	40°	42°	44°	45°	47°	49°	51°	52°	54°	56°	58°	59°	61°	63°	65°
36°	39°	40°	42°	44°	45°	47°	49°	50°	52°	54°	55°	57°	59°	60°	62°
35°	37°	39°	40°	42°	44°	45°	47°	48°	50°	51°	53°	54°	56°	58°	59°
34°	36°	37°	39°	40°	42°	43°	45°	46°	48°	49°	51°	52°	54°	55°	57°
33°	34°	36°	37°	39°	40°	41°	43°	44°	46°	47°	48°	50°	51°	53°	54°
32°	33°	34°	36°	37°	38°	40°	41°	42°	44°	45°	46°	48°	49°	50°	52°
31°	32°	33°	34°	35°	37°	38°	39°	40°	42°	43°	44°	45°	47°	48°	49°
30°	30°	32°	33°	34°	35°	36°	37°	39°	40°	41°	42°	43°	45°	46°	47°
29°	29°	30°	31°	32°	33°	35°	36°	37°	38°	39°	40°	41°	42°	43°	45°
28°	28°	29°	30°	31°	32°	33°	34°	35°	36°	37°	38°	39°	40°	41°	42°
27°	27°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	33°	34°	35°	36°	37°	38°	39°	40°
26°	26°	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	33°	34°	34°	35°	36°	37°	38°
25°	25°	25°	26°	27°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	33°	34°	34°	35°	36°
24°	24°	24°	25°	26°	27°	28°	28°	29°	30°	31°	32°	33°	33°	34°	35°
23°	23°	23°	24°	25°	25°	26°	27°	28°	28°	29°	30°	31°	32°	32°	33°
22°	22°	22°	22°	23°	24°	25°	25°	26°	27°	27°	28°	29°	30°	30°	31°
T (° C)	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
Umidità relativa (%)															



## Calcolo di ASET – metodo avanzato, modello CALORE



Thermal tolerance to convected heat exposure for humans at rest, naked skin exposed (Adapted from Blockley).

## Calcolo di ASET – metodo avanzato, modello CALORE



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

$X_{\text{FED}}$  Fractional Effective Dose per esposizione a calore;

$t_{\text{Irad}}$  tempo di incapacitazione per irraggiamento secondo ISO 13571;

$t_{\text{Iconv}}$  tempo di incapacitazione per convezione secondo ISO 13571;

$\Delta t$  tempo di esposizione del soggetto.

### Calcolo di ASET – metodo avanzato, modello CALORE



La verifica del modello calore può essere semplificata conservativamente con i seguenti valori di soglia:

- a. irraggiamento sugli occupanti  $\leq 2,5 \text{ kW/m}^2$   
(temperatura media dei gas caldi  $< 200^\circ\text{C}$ );
- b. temperatura ambiente  $\leq 60^\circ\text{C}$ .

Tali valori corrispondono ad un **ASET > 30 min**, indipendentemente dal tipo di abbigliamento degli occupanti.

### Calcolo di ASET – metodo avanzato, modello VISIBILITA'

La verifica del modello **VISIBILITA'** si effettua con la correlazione sperimentale di Jin:

$$L = \frac{K}{\sigma \rho_{\text{smoke}}}$$

con:

$L$  ( $V$ ) visibilità [m];

$K$  costante adimensionale;

$\sigma$  ( $k$ ) coefficiente massico di estinzione della luce pari a  $10 \text{ m}^2/\text{g}$  [ $\text{m}^2/\text{g}$ ];

$\rho_{\text{smoke}}$  ( $C$ ) concentrazione volumica del particolato dei fumi [ $\text{g}/\text{m}^3$ ].

*N.B.: Le lettere tra parentesi si riferiscono alla trattazione della densità ottica  $D$*

**Calcolo di ASET – metodo avanzato, modello VISIBILITA'**

SITUAZIONE	<i>K</i>
cartellonistica retroilluminata	<b>8</b>
cartellonistica illuminata per riflessione	<b>3</b>
elementi del compartimento in luce riflessa	<b>3</b>

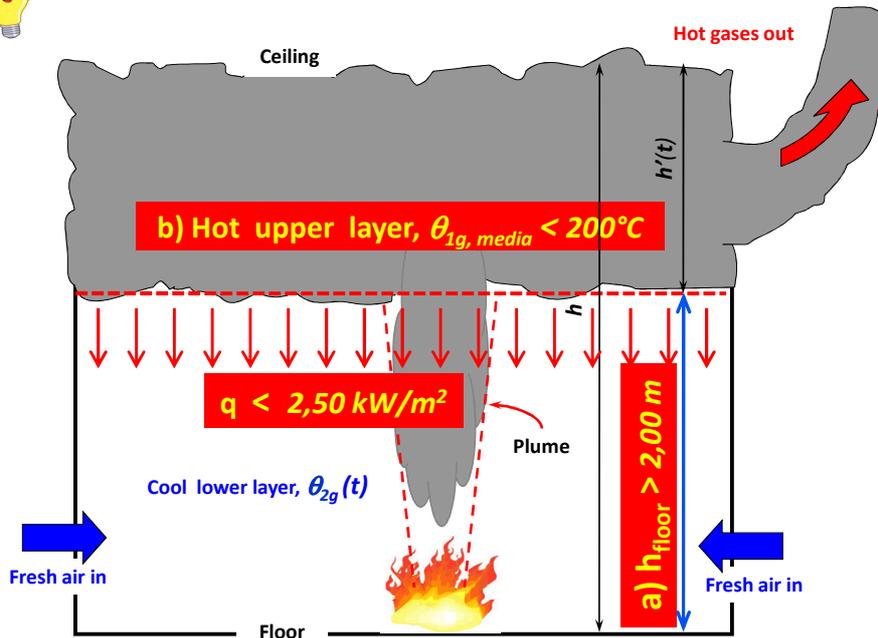
**Calcolo di ASET – metodo semplificato**

Il metodo è previsto da **ISO TR 16738** e prevede valori di soglia molto conservativi che soddisfano automaticamente tutti i valori di soglia del metodo avanzato:

- a) **Altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2 m, al di sotto del quale permanga lo strato di aria indisturbata → fuga in aria indisturbata;**
- b) **Temperatura media dello strato di fumi caldi non superiore a 200°C → irraggiamento < 2,50 kW/m<sup>2</sup>;**



### Calcolo di ASET – metodo semplificato



### Calcolo di RSET

- **Tempo di rivelazione  $t_{det}$**  : é il tempo che il sistema di rivelazione impiega per “accorgersi” dell’incendio;
- **Tempo di allarme  $t_a$**  : è il tempo che intercorre tra la rivelazione e la diffusione dell’informazione (pari a = 0 se la rivelazione attiva l’allarme).
- **Tempo di premovimento  $t_{pre}$** : di valutazione difficoltosa perché intervengono complessi fenomeni comportamentali (milling, ricerca di conferme, ritorno sui propri passi....)

### Calcolo di RSET – tempo di premovimento $t_{pre}$

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
<b>Esempio 1: albergo di media complessità</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>occupanti: <i>Ciii, sleeping and unfamiliar</i>;</li> <li>sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti;</li> <li>complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout semplice</i>;</li> <li>gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>.</li> </ul>	20'	40'
<b>Esempio 2: grande attività produttiva</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>occupanti: <i>A, awake and familiar</i>;</li> <li>sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti;</li> <li>complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout complesso</i>;</li> <li>gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>.</li> </ul>	1' 30"	3' 30"
<b>Esempio 3: residenza sanitaria assistenziale</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>occupanti: <i>D, sleeping and unfamiliar</i>;</li> <li>sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti;</li> <li>complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout semplice</i>;</li> <li>gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>;</li> <li>presenza di addetti in quantità sufficiente a gestire l'evacuazione dei diversamente abili.</li> </ul>	5'	10'

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

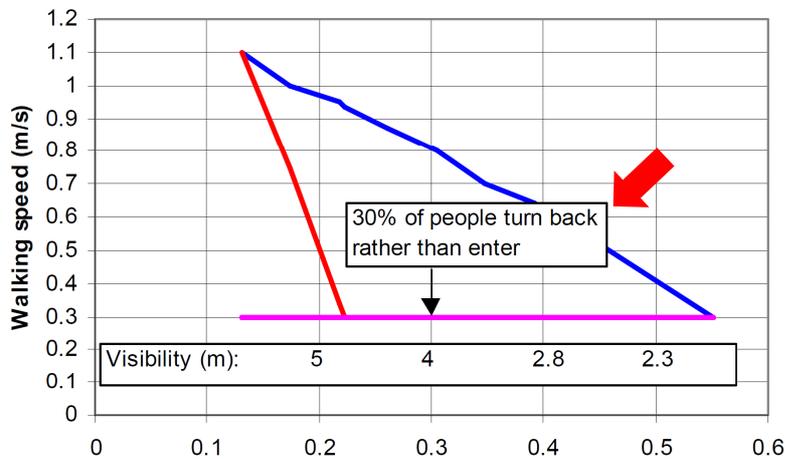
### Calcolo di RSET

• **Tempo di movimento  $t_{travel}$** : é il tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro;

•  **$t_{travel}$**  dipende:

- dalla distanza degli occupanti dalle vie di esodo;
- dalle velocità di esodo (affollamento, presenza di persone disabili, illuminamento vie di esodo, **densità ottica D** dei fumi.....);
- dalla *portata "idraulica"* delle vie di esodo (geometria, dimensioni, dislivelli, ostacoli.....);

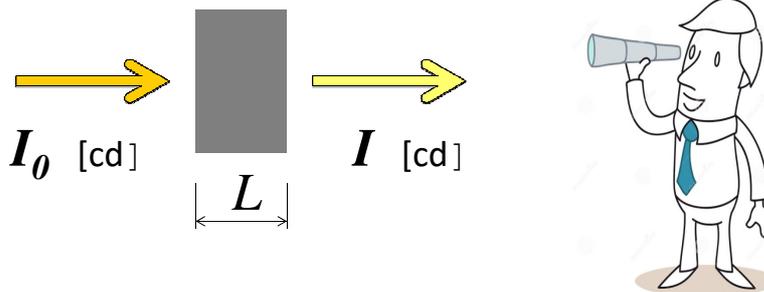
**Calcolo di RSET -  $t_{travel}$ , Walking speed in smoke Purser, Jin**



After Jin 1976  $D_{10}/m \rightarrow$  Smoke density (OD/m)

	Non-irritant wood smoke		Irritant wood smoke
	Walking speed in darkness $VD_{10} = 0,87 \div 1,74$ (Jin)		

**La densità ottica D**



$$I = I_0 e^{-k C L} \quad (\text{Lambert-Beer})$$

- $k$  coefficiente di estinzione [ $m^2/g$ ];
- $C$  concentrazione massica di particolato [ $g/m^3$ ];
- $L$  lunghezza del tratto ottico che attraversa il fumo;

## La densità ottica $D$

### 1<sup>a</sup> definizione (*Babrauskas*)

$$D_e = -\log \frac{I}{I_0} = k C L \quad [\text{adimensionale}]$$

Il valore del coefficiente di estinzione  $k$  secondo *Seader e Einhorn*

- **7,6** m<sup>2</sup>/g per il fumo da legno;
- **4,4** m<sup>2</sup>/g per il fumo da materie plastiche.

## La densità ottica $D$

### 2<sup>a</sup> definizione (*Rasbash and Phillips*)

$$D_{10} = -10 \log_{10} \frac{I}{I_0} = 10 k C L \log_{10} e = \frac{10 k C L}{2,303} \quad [\text{db}]$$

E' quindi: 
$$D_{10} = \frac{10 D_e}{2,303} = 4,342 D_e$$

## La densità ottica D

**3<sup>a</sup> definizione** *percentage obscuration P.O.*

$$P. O. = \frac{I_0 - I}{I_0} \cdot 100 \quad [\text{adimensionale}]$$

Relazione tra le grandezze $P.O.$ , $D_e$ , $D_{10}$		
Percentage Obscuration – $P.O.$	Optical Density $D_e$ ( <i>Babrauskas</i> )	Optical Density $D_{10}$ ( <i>Phillips and Rasbash</i> )
<b>10</b>	<b>0.11</b>	<b>0.46</b>
<b>50</b>	<b>0.69</b>	<b>3.01</b>
<b>90</b>	<b>2.30</b>	<b>10.00</b>
<b>95</b>	<b>3.00</b>	<b>13.01</b>
<b>99</b>	<b>4.61</b>	<b>20.00</b>

## La densità ottica D

Nota il valore della densità ottica  $D_{10}/m$  è possibile ricavare il valore della visibilità  $V$  [m] dalla:

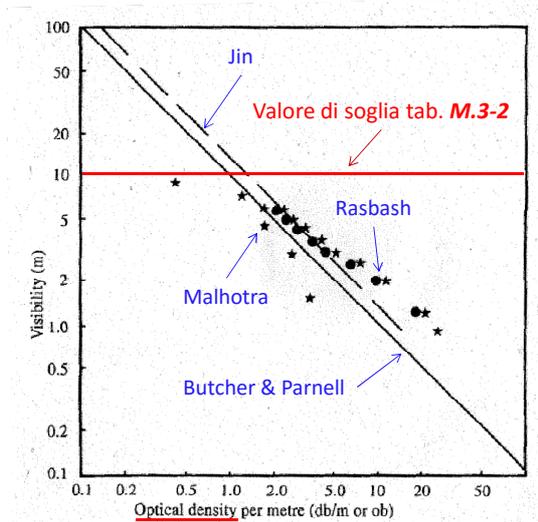
$$V \ D_{10}/m = \begin{cases} 1,00 & \text{Rasbash, Malhotra} \\ 0,87 \div 1,74 & \text{Jin} \\ 1,30 & \text{C.I.S.B.E.} \end{cases}$$

*oggetto illuminato per riflessione*

**La densità ottica D**

$$V D_{10}/m = \begin{cases} 2,5 & \text{Butcher-Parnell} \\ 2,17 \div 4,34 & \text{Jin} \\ 3,47 & \text{A.S.H.R.A.E. C.I.S.B.E.} \\ 3,50 & \text{WS Atkins International} \end{cases}$$

**oggetto retroilluminato**



Relazione tra visibilità  $V$  (m) e  $D_{10}/m$  in luce riflessa. (da Douglas Drysdale, *An Introduction*

*To Fire Dynamics*)

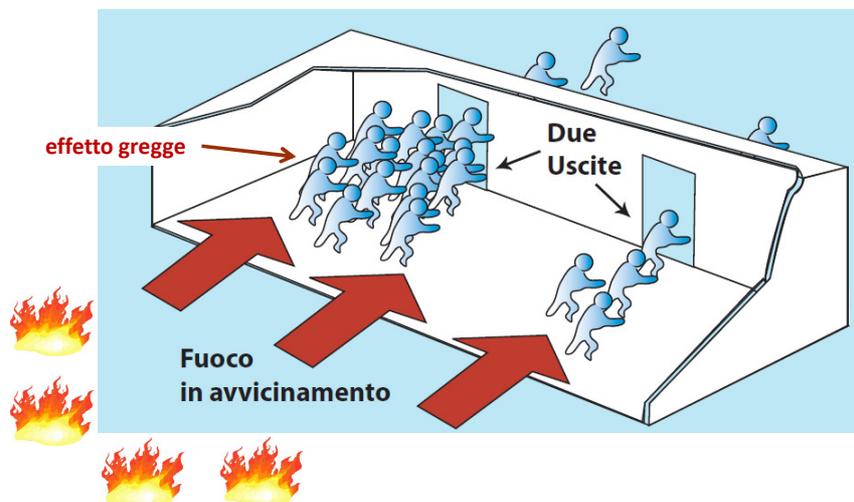
- Rasbash
- ★ Malhotra
- Jin
- Butcher & Parnell

## IL COMPORTAMENTO UMANO IN CASO DI INCENDIO

1. Le persone prima di rispondere ad un allarme vogliono **“definire”** e **“capire”** la situazione ambientale;
2. Per questo motivo aspettano indicatori ambientali (odore di fumo, urla di una persona, un collega che gli impone di uscire....);
3. Le persone tendono a credere che la probabilità che ad un allarme corrisponda un incendio e che questo possa rappresentare un rischio per loro è **estremamente bassa**;
4. Si instaura il fenomeno del **“milling”** (girovagare a vuoto come un mulino);

## IL COMPORTAMENTO UMANO IN CASO DI INCENDIO

5. Le persone tendono ad avere comportamenti gregari (effetto gregge);



### IL COMPORTAMENTO UMANO IN CASO DI INCENDIO

6. L'interazione tra le persone nella fase di evacuazione che provoca stress emotivo, ansia, preoccupazione per la sopravvivenza, tende a diventare solo fisica (accalcamento, persone che cadono e vengono calpestate....);
7. Le persone cercano di soddisfare i propri bisogni senza prestare interesse a quelli delle altre persone;
8. La maggior parte delle persone tende ad uscire seguendo il percorso che ha effettuato in ingresso;
9. Più l'ambiente è familiare e più le persone indugiano nel recuperare effetti personali.... nel salvataggio di dati;

### IL COMPORTAMENTO UMANO IN CASO DI INCENDIO

(analisi di Prolux, 2005, sulle testimonianze di 324 persone che si sono salvate nel crollo delle Twin Tower 11.09.2001).

- Il **70%** delle persone coinvolte nel crollo hanno parlato tra loro sul da farsi prima di fuggire;
- L'**83%** delle persone ha giudicato la situazione molto grave nei primi minuti dopo lo schianto degli aeroplani;
- Solo il **55%** delle persone è evacuato immediatamente;
- Il **13%** delle persone ha recuperato effetti personali;
- Il **20%** delle persone ha messo in sicurezza i dati informatici e poi ha vagato per il piano prima di fuggire;
- L'**8%** delle persone aveva deciso di restare al piano, poi ha cambiato idea ed è fuggito;

## La valutazione di $R_{vita}$ – i valori di soglia



Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad <u>altezza 1,80 m</u> dal piano di calpestio	Occupanti: <u>10 m</u> Occupanti in locali di superficie lorda < 100m <sup>2</sup> : <u>5 m</u>	ISO 13571-2012.
		Soccorritori: <u>5 m</u> Soccorritori in locali di superficie lorda < 100m <sup>2</sup> : <u>2,5 m</u>	[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: <u>0,1</u>	ISO 13571-2012, limitando a 1,1% gli occupanti incapacitati al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	--
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: <u>60°C</u>	ISO 13571-2012
		Soccorritori: <u>80°C</u>	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: <u>2,5 kW/m<sup>2</sup></u>	ISO 13571-2012, per esposizioni maggiori di 30 minuti, senza modifica significativa dei tempi di esodo (2,5 kW/m <sup>2</sup> ).
		Soccorritori: <u>3 kW/m<sup>2</sup></u>	[1]

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

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

## La valutazione di $R_{vita}$ – i valori di soglia

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: <u>2 m</u>	Ridotto da ISO TR 16738-2009, section 11.2
	Soccorritori: <u>1,5 m</u>	[1]
Temperatura media dello strato di fumi caldi	Occupanti: <u>200°C</u>	ISO TR 16738-2009, section 11.2
	Soccorritori: <u>250°C</u>	[1]

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

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

## BIBLIOGRAFIA

**A. La Malfa** – Approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio  
Ed. Legislazione Tecnica;

**John H. Klote & James A. Milke** – Principles of Smoke Management  
Ed. Society of Fire Protection Engineer;

**Douglas Drysdale** – An Introduction to Fire Dynamics  
Ed. John Wiley & Sons;

**David A. Purser** – Modelling Toxic and Physical Hazard in Fire  
Fire Safety Science Proceedings of the Second International Symposium

**Jin, T. J.** – Studies of Emotional Instability in Smoke from Fires  
Journal of fire and Flammability

**David A. Purser** – Fire Toxicity and Toxic Hazard Analysis  
6th International Seminar on: *Fire and Explosion Hazards University of Leeds*

**Carlo Ortolani** - Casi di combustioni accidentali, voll. I e II  
MAGGIOLI EDITORE