

# Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale

Capitolo M.3 - D.M. 3 Agosto 2015



# Salvaguardia della vita

## Dimensionamento di un sistema di vie di esodo

### Progettazione Prescrittiva

- Densità di affollamento
- Capacità di deflusso
- Numero dei moduli
- Lunghezza dei percorsi di esodo

### Progettazione Prestazionale

- I percorsi di esodo sono progettati in funzione dell'analisi del rischio incendio
- Può essere adottata qualsiasi soluzione progettuale dimostrando che l'esodo avviene in sicurezza in funzione delle caratteristiche dell'ambiente e dell'incendio di progetto



# Salvaguardia della vita

## Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale

- L'applicazione del metodo prestazionale alla sicurezza antincendio per la salvaguardia della vita, si prefigge i seguenti obiettivi:
  - a. la dimostrazione diretta ed esplicita della possibilità per tutti gli occupanti di un'attività di raggiungere o permanere in un luogo sicuro, senza che ciò sia impedito da un'eccessiva esposizione ai prodotti dell'incendio;
  - b. la dimostrazione della possibilità per i soccorritori di operare in sicurezza.
- La progettazione deve seguire una delle procedure riconosciute a livello internazionale per valutare la posizione e la condizione degli occupanti durante l'evoluzione degli scenari d'incendio previsti per l'attività.



Salvaguardia  
della vita

Criterio di  
 $ASET > RSET$

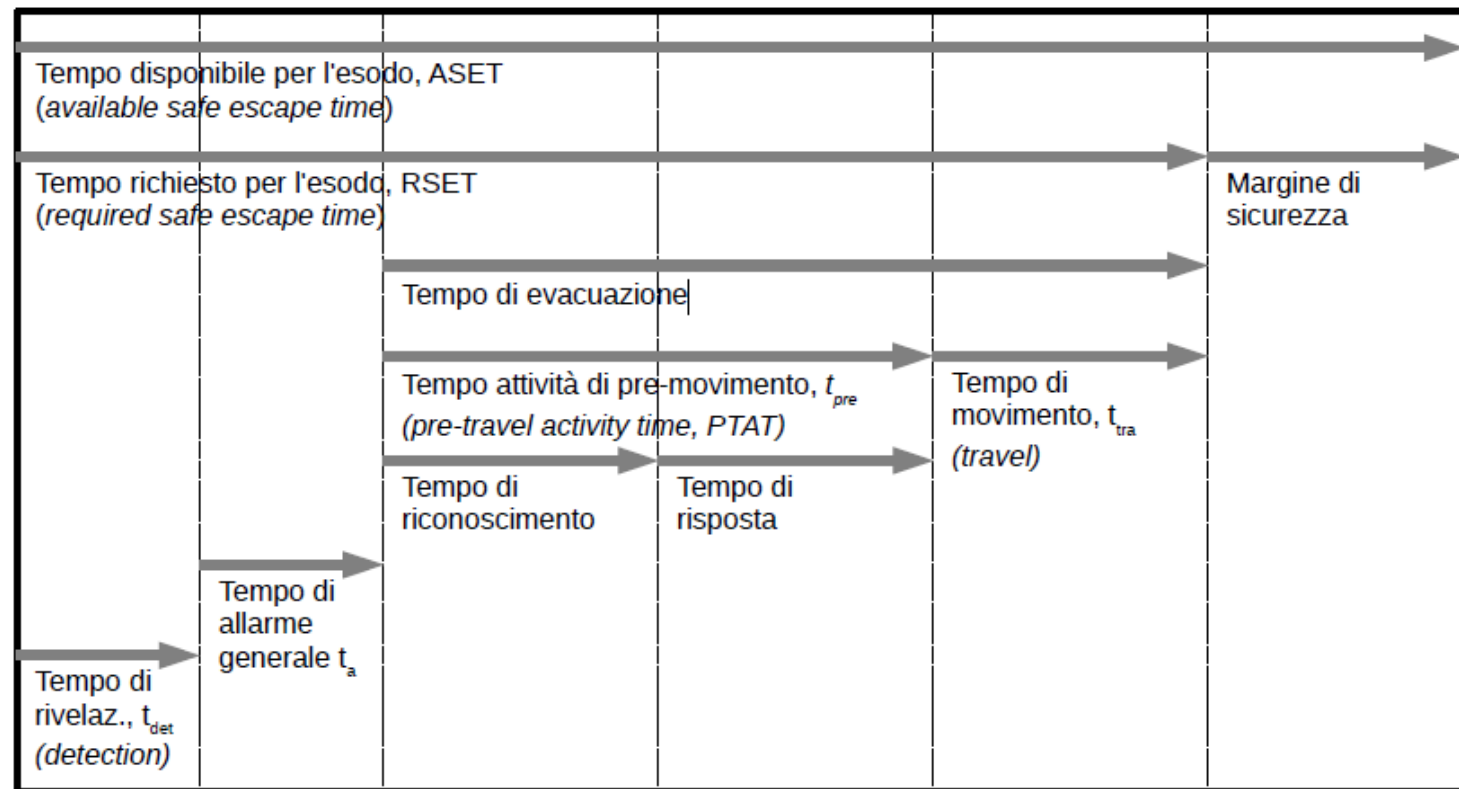
## Criterio di $ASET > RSET$

- La progettazione prestazionale del sistema di vie d'esodo consiste sostanzialmente nel calcolo e nel confronto tra due intervalli di tempo così definiti:
  - **ASET**, tempo disponibile per l'esodo (*Available Safe Escape Time*);
  - **RSET**, tempo richiesto per l'esodo (*Required Safe Escape Time*).
- Il sistema d'esodo si considera efficace se **ASET > RSET**, se cioè il tempo in cui permangono condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti è superiore al tempo necessario perché essi possano raggiungere un luogo sicuro, non soggetto a tali condizioni ambientali sfavorevoli dovute all'incendio.
- La differenza tra **ASET** ed **RSET** rappresenta il margine di sicurezza della valutazione.

# Salvaguardia della vita

## Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale

- La progettazione ideale di un sistema d'esodo deve assicurare agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro senza che ciò sia impedito da un'eccessiva esposizione ai prodotti dell'incendio.



Criterio di  $ASET > RSET$

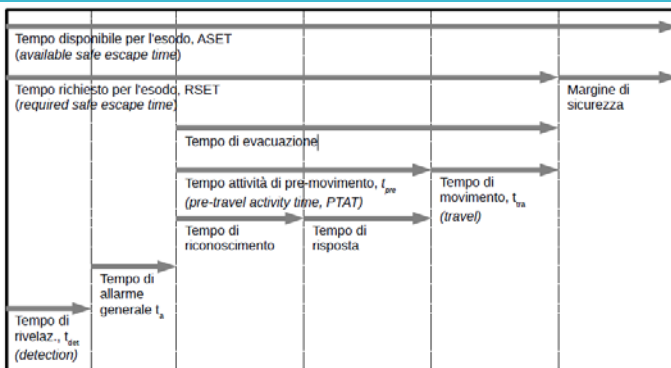
# Salvaguardia della vita

## Criterio di ASET > RSET

- Si considera efficace il sistema d'esodo se **ASET > RSET**, se cioè il tempo in cui permangono condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti è superiore al tempo necessario perché essi possano raggiungere un luogo sicuro, non soggetto a tali condizioni ambientali sfavorevoli dovute all'incendio.
- La differenza tra **ASET** ed **RSET** rappresenta il *marginale di sicurezza* della progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita:

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

- Nel confronto tra diverse soluzioni progettuali, il professionista antincendio rende massimo il margine di sicurezza  $t_{\text{marg}}$  in relazione alle ipotesi assunte, al fine di considerare l'incertezza nel calcolo dei tempi di **ASET** ed **RSET**.
- A meno di specifiche valutazioni si assume  $t_{\text{marg}} \geq 100\% \cdot \text{RSET}$ . In caso di specifiche valutazioni sull'affidabilità dei dati di input impiegati nella progettazione prestazionale, è consentito assumere  $t_{\text{marg}} \geq 10\% \text{RSET}$ .
- In ogni caso, il valore di  $t_{\text{marg}}$  non dovrà mai essere inferiore a 30 s.

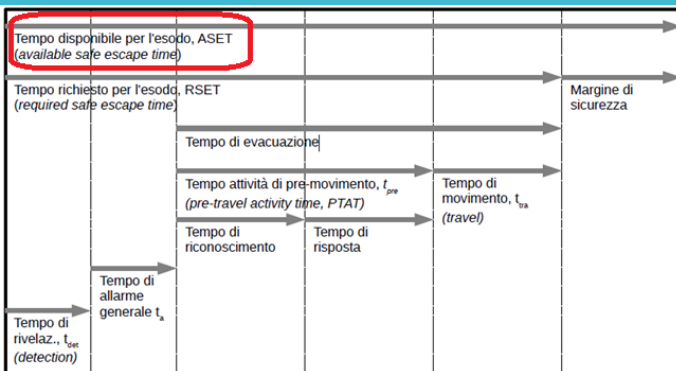


# Calcolo di ASET

# Calcolo di ASET

## Calcolo di ASET

- **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 prodotti, 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.
- Di conseguenza ciascun occupante possiede un proprio valore di **ASET**.

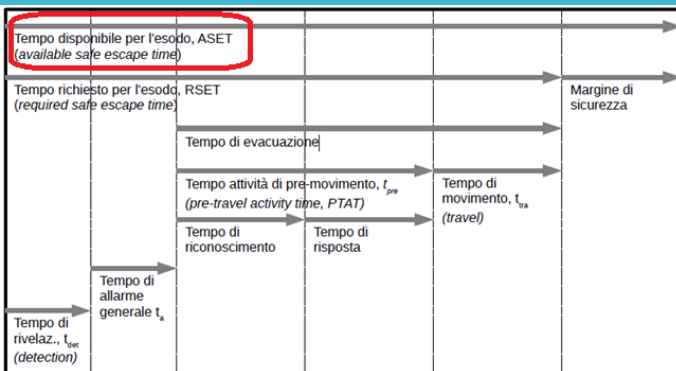




# Calcolo di ASET

## Calcolo di ASET

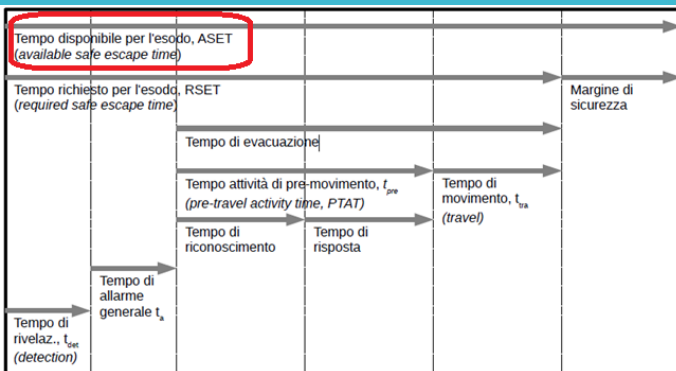
- I *metodi di calcolo* di **ASET** ammessi dalle norme sono:
  - a. metodo di calcolo avanzato;
  - b. metodo di calcolo semplificato.



# Metodo di calcolo avanzato per ASET

## Metodo di calcolo avanzato per ASET

- 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.
- La tipologia dell'incendio e dell'attività determinano complessivamente l'andamento di tali variabili tempo-varianti.
- La norma **ISO 13571** è attualmente il riferimento più autorevole per il calcolo di **ASET**. Nella norma **ASET globale è 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.

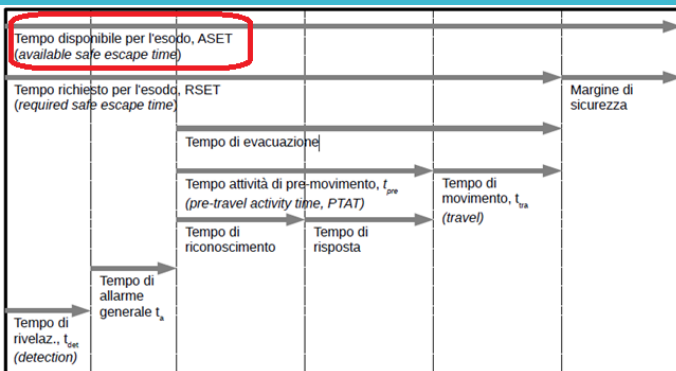


# Metodo di calcolo avanzato per ASET

## Metodo di calcolo **avanzato** per ASET

Soglia di prestazione utilizzabili con il **metodo di calcolo avanzato**

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscureamento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100m <sup>2</sup> : 5 m	ISO 13571-2012.
		Soccorritori: 5 m Soccorritori n locali di superficie lorda < 100m <sup>2</sup> : 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> e FEC, <i>fractional effective concentration</i> per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571-2012, limitando a 1,1% gli 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 <sup>2</sup>	ISO 13571-2012, per esposizioni maggiori di 30 minuti, senza modifica significativa dei tempi di esodo (2,5 kW/m <sup>2</sup> ).
		Soccorritori: 3 kW/m <sup>2</sup>	[1]

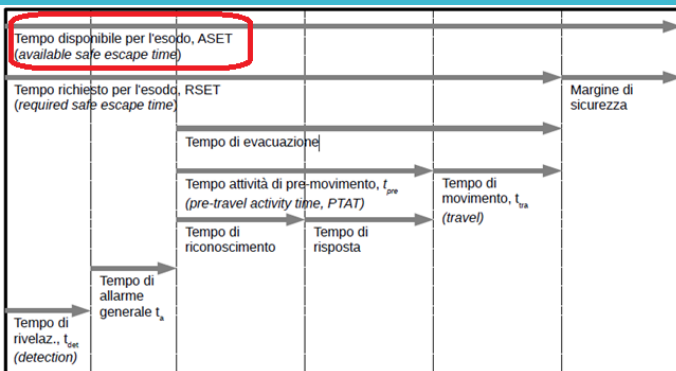


[1] Ai fini di questa tabella, per *soccorritori* si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere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

# Metodo di calcolo semplificato di ASET

## Metodo di calcolo **semplificato** per ASET (D.M. 3/8/2015)

- Sono automaticamente soddisfatti tutti i modelli descritti 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 di *pre-flashover* nell'edificio.
- Il metodo di calcolo semplificato è applicabile, solo se la potenza del focolare rapportata alla geometria dell'ambiente è sufficiente a garantire la formazione dello strato di fumi caldi superiore: il professionista antincendio è tenuto a verificare che tale condizione si verifichi.



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

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

# Calcolo di ASET

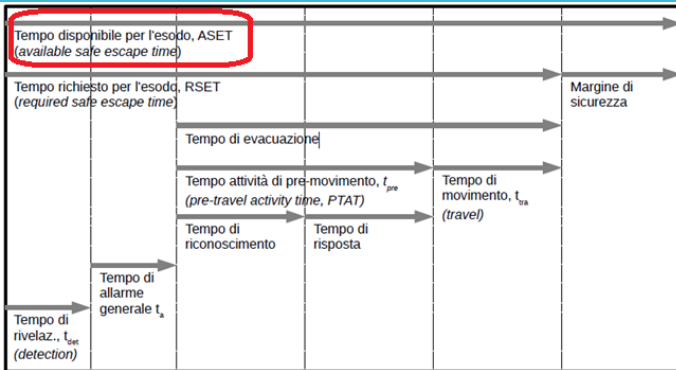
Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100m <sup>2</sup> : 5 m	ISO 13571-2012.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

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



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

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



# Calcolo di RSET

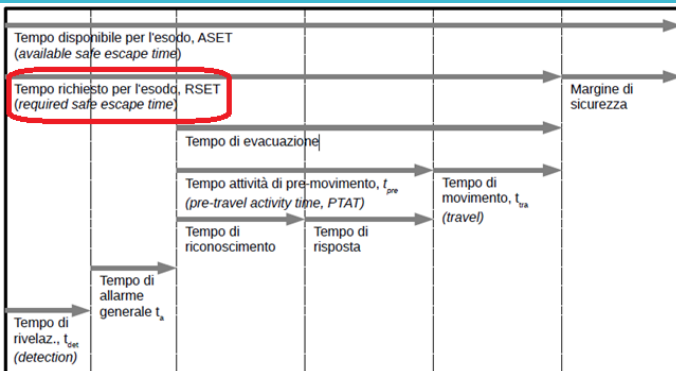
# Calcolo di RSET

## Calcolo di RSET

- Il documento di riferimento per il calcolo di **RSET** è la **ISO/TR 16738**.
- **RSET** è calcolato tra l'innesco dell'incendio ed il momento in cui gli occupanti dell'edificio raggiungono un luogo sicuro. **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.
- **RSET** è determinato da varie componenti, come:

- $t_{det}$  = il tempo di rivelazione (*detection time*),
- $t_a$  = il tempo di allarme generale,
- $t_{pre}$  = il tempo attività di pre-movimento (*pre-travel activity time*, PTAT),
- $t_{tra}$  = il tempo di movimento (*travel time*):

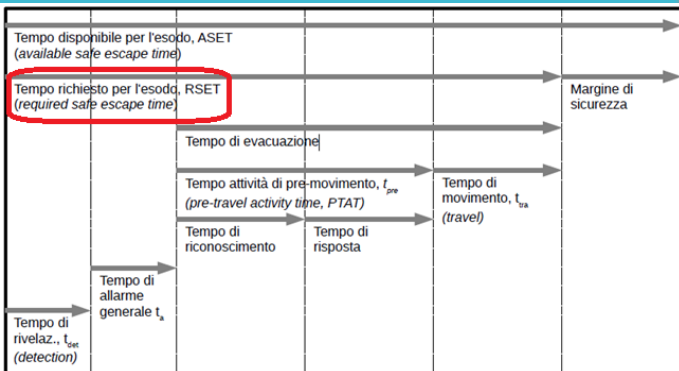
$$RSET = \Delta t_{det} + \Delta t_a + \Delta t_{pre} + \Delta t_{tra}$$



# Calcolo di RSET

## Calcolo di RSET

- 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.
- I vari parametri da adottare 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.
- Come già indicato per **ASET**, ciascun occupante possiede un proprio valore anche di **RSET**.



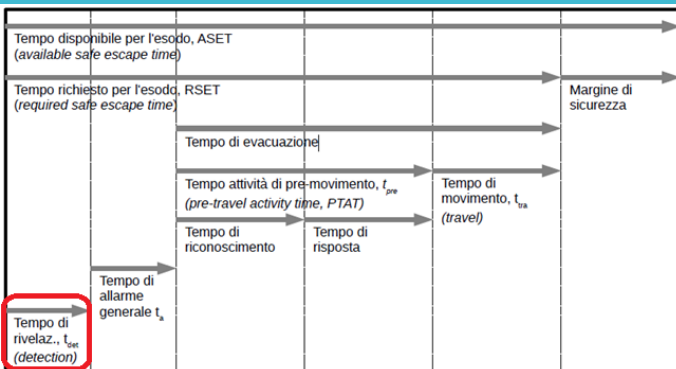


# Calcolo di RSET

## Tempo di rivelazione

### Tempo di rivelazione

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

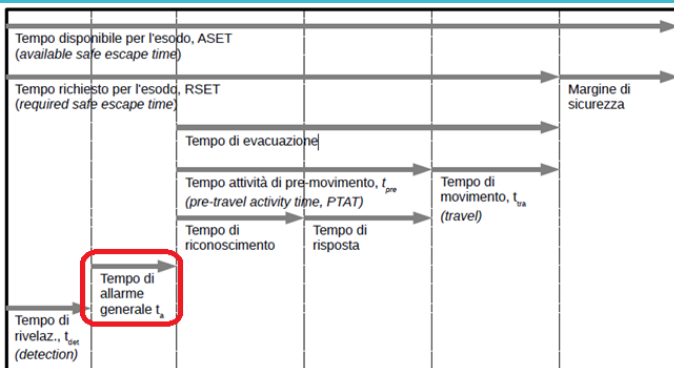


# Calcolo di RSET

## Tempo di allarme generale

### Tempo di allarme generale

- Il *tempo di allarme generale*  $t_a$  è il tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti, l'allarme generale.
- Può assumere i seguenti valori:
  - **pari a zero**, quando la rivelazione attiva direttamente l'allarme generale dell'edificio;
  - **pari al ritardo valutato** dal professionista antincendio, se la rivelazione allerta una centrale di gestione dell'emergenza che verifica l'evento ed attiva poi l'allarme manuale.
- Negli edifici grandi e complessi si deve tenere conto della modalità di allarme che può essere diversificata, ad esempio, nel caso di una evacuazione per fasi multiple.

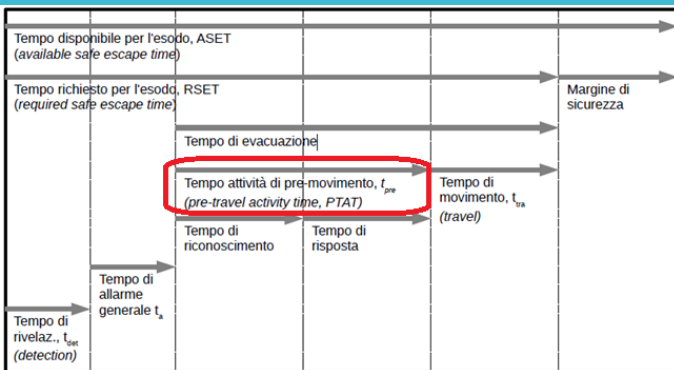


# Calcolo di RSET

## Tempo di attività pre-movimento

### Tempo di attività pre-movimento

- 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.
- Questa fase occupa spesso la maggior parte del tempo totale di esodo.
- Il tempo  $t_{pre}$  è composto da un tempo di *riconoscimento (recognition)* e da uno di *risposta (response)*.
- Durante il tempo di riconoscimento gli occupanti continuano le attività che stavano svolgendo prima dell'allarme generale, finché riconoscono l'esigenza di rispondere all'allarme.
- Nel tempo di risposta gli occupanti cessano le loro attività normali e si dedicano ad attività speciali legate allo sviluppo dell'emergenza.

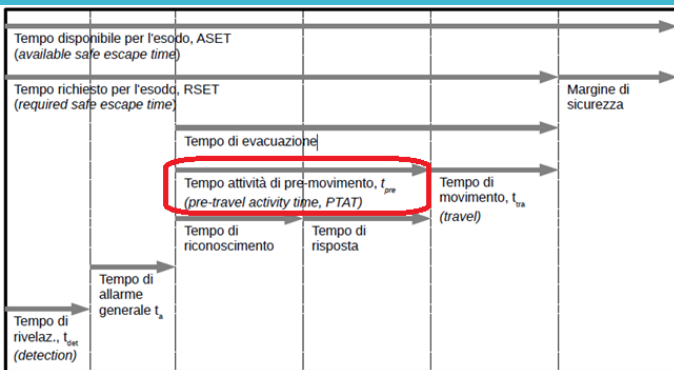


# Calcolo di RSET

## Tempo di attività pre-movimento

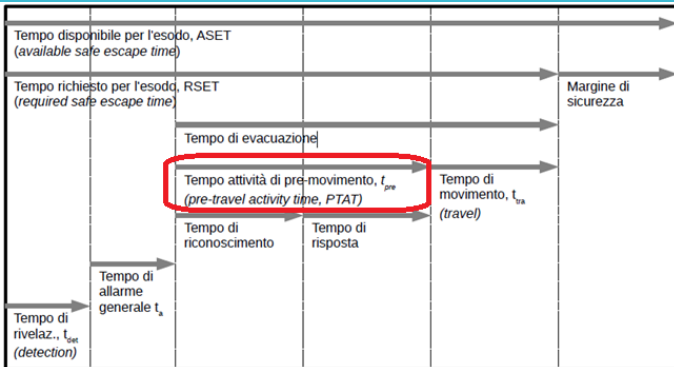
### Tempo di attività pre-movimento

- Nel tempo di risposta gli occupanti si impegnano:
  - nella raccolta di informazioni sull'evento,
  - l'arresto e la messa in sicurezza delle apparecchiature,
  - il raggruppamento del proprio gruppo (lavorativo o familiare),
  - la lotta all'incendio,
  - la ricerca e determinazione della via d'esodo appropriata (*wayfinding*)
  - altre attività a volte anche errate ed inappropriate.
- Il professionista antincendio può impiegare valori diversi da quelli indicati in letteratura purché adeguatamente giustificati, anche in riferimento a prove di evacuazione riportate nel registro dei controlli.



# Calcolo di RSET

## Tempo di attività pre-movimento



## Tempo di attività pre-movimento

Esempi di valutazione *del tempo di pre-movimento* secondo ISO TR 16738

Parametri di descrizione dell'attività secondo ISO TR 16738:2009	Tempi di attività di pre-movimento ISO TR 16738:2009	
	$\Delta t_{pre (1st)}$ primi occupanti in fuga	$\Delta t_{pre (99th)}$ ultimi occupanti in fuga
<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>	10'	20'

# Calcolo di RSET

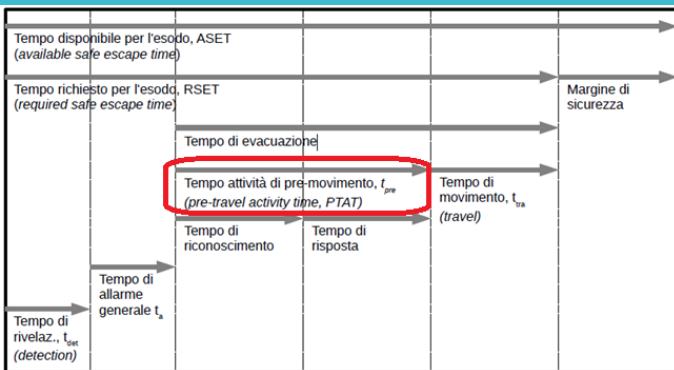
## Tempo di attività pre-movimento

### Tempo di attività pre-movimento

Esempi di valutazione *del tempo di pre-movimento* secondo BS 7974-6

Table 1 — Design behavioural scenarios and occupancy types

Category	Occupant alertness	Occupant familiarity	Occupant density	Enclosures/complexity	Examples of Occupancy types
A	Awake	Familiar	Low	One or many	Office or industrial
B1	Awake	Unfamiliar	High	One or few	Shop, restaurant, circulation space
B2	Awake	Unfamiliar	High	One with focal point	Cinema, theatre
Ci	Asleep Long term: individual occupancy.	Familiar	Low	Few	Dwelling Without 24 h on site management.
Cii	Managed occupancy:				Serviced flats, halls of residence, etc.
Ciii	Asleep	Unfamiliar	Low	Many	Hotel, hostel
D	Medical care	Unfamiliar	Low	Many	Residential (institutional)
E	Transportation	Unfamiliar	High	Many	Railway station/Airport



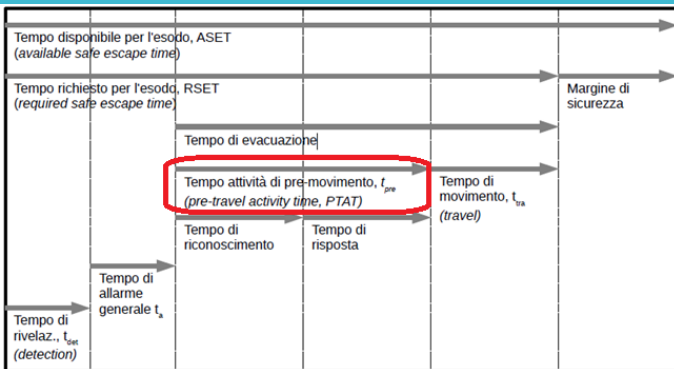
# Calcolo di RSET

## Tempo di attività pre-movimento

### Tempo di attività pre-movimento

Esempi di valutazione del tempo di pre-movimento secondo BS 7974-6

- **M** = Gestione della sicurezza antincendio
- **B** = tipo e complessità di un edificio
- **A** = effetti del sistema di allarme sui tempi di pre-movimento



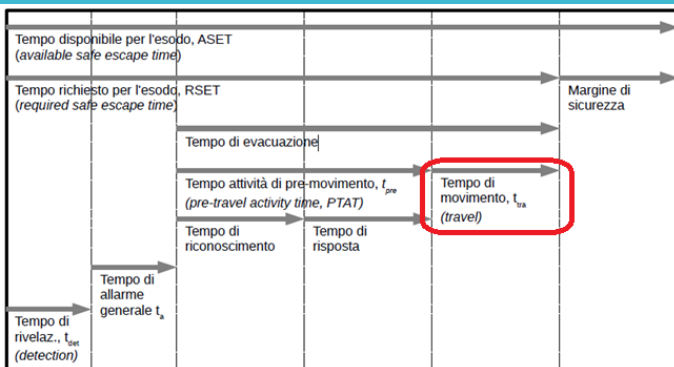
Scenario category and modifier	First occupants $\Delta t_{pre}$ (1st percentile)	Occupant distribution $\Delta t_{pre}$ (99th percentile) <sup>a</sup>
<b>A: awake and familiar</b> M1 B1 – B2 A1 – A2 M2 B1 – B2 A1 – A2 M3 B1 – B2 A1 – A3 For B3, add 0.5 for wayfinding M1 would normally require voice alarm/PA if unfamiliar visitors likely to be present	0.5 1 >15	1.0 2 >15
<b>B: awake and unfamiliar</b> M1 B1 A1 – A2 M2 B1 A1 – A2 M3 B1 A1 – A3 For B2 add 0.5 for wayfinding For B3 add 1.0 for wayfinding M1 would normally require voice alarm/PA	0.5 1.0 >15	2 3 >15
<b>Ci: sleeping and familiar</b> (e.g. dwellings – individual occupancy) M2 B1 A1 M3 B1 A3 For other units in a block assume one hour	5 10	5 >20
<b>Cii: managed occupancy</b> (e.g. serviced apartments, hall of residence) M1 B2 A1 – A2 M2 B2 A1 – A2 M3 B2 A1 – A3	10 15 >20	20 25 >20
<b>Ciii sleeping and unfamiliar</b> (e.g. hotel, boarding house) M1 B2 A1 – A2 M2 B2 A1 – A2 M3 B2 A1 – A3 For B3, add 1.0 for wayfinding M1 would normally require voice alarm/PA	15 20 >20	15 20 >20
<b>D: medical care</b> <b>Awake and unfamiliar</b> (e.g. day centre, clinic, surgery, dentist) M1 B1 A1 – A2 M2 B1 A1 – A2 M3 B1 A1 – A3 For B2 add 0.5 for wayfinding For B3 add 1.0 for wayfinding M1 would normally require voice alarm/PA <b>Sleeping and unfamiliar</b> (e.g. hospital ward, nursing home, old peoples' home) M1 B2 A1 – A2 M2 B2 A1 – A2 M3 B2 A1 – A3 For B3 add 1.0 for wayfinding M1 would normally require voice alarm/PA	0.5 1.0 >15  5 <sup>b</sup> 10 <sup>b</sup> >10 <sup>b</sup>	2 3 >15  10 <sup>b</sup> 20 <sup>b</sup> >20 <sup>b</sup>
<b>E: transportation</b> (e.g. railway, bus station or airport) <b>Awake and unfamiliar</b> M1 B3 A1 – A2 M2 B3 A1 – A2 M3 B3 A1 – A3 M1 and M2 would normally require voice alarm/PA	1.5 2.0 >15	4 5 >15

# Calcolo di RSET

## Tempo di Movimento

### Tempo di movimento

- Il **tempo di movimento**  $t_{tra}$  (*travel time*) é il tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro dal termine delle attività di pre-movimento.
- 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 e con gli effetti dell'incendio. É dimostrato che la presenza di fumi e calore rallenta notevolmente la velocità d'esodo;
  - c. la portata delle vie d'esodo, dovuta a geometria, dimensioni, dislivelli ed ostacoli.



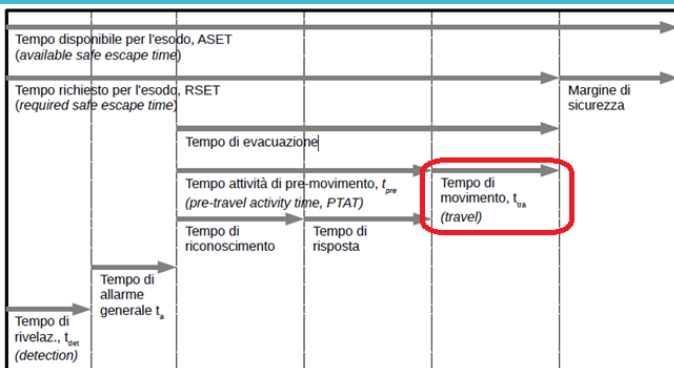


# Calcolo di RSET

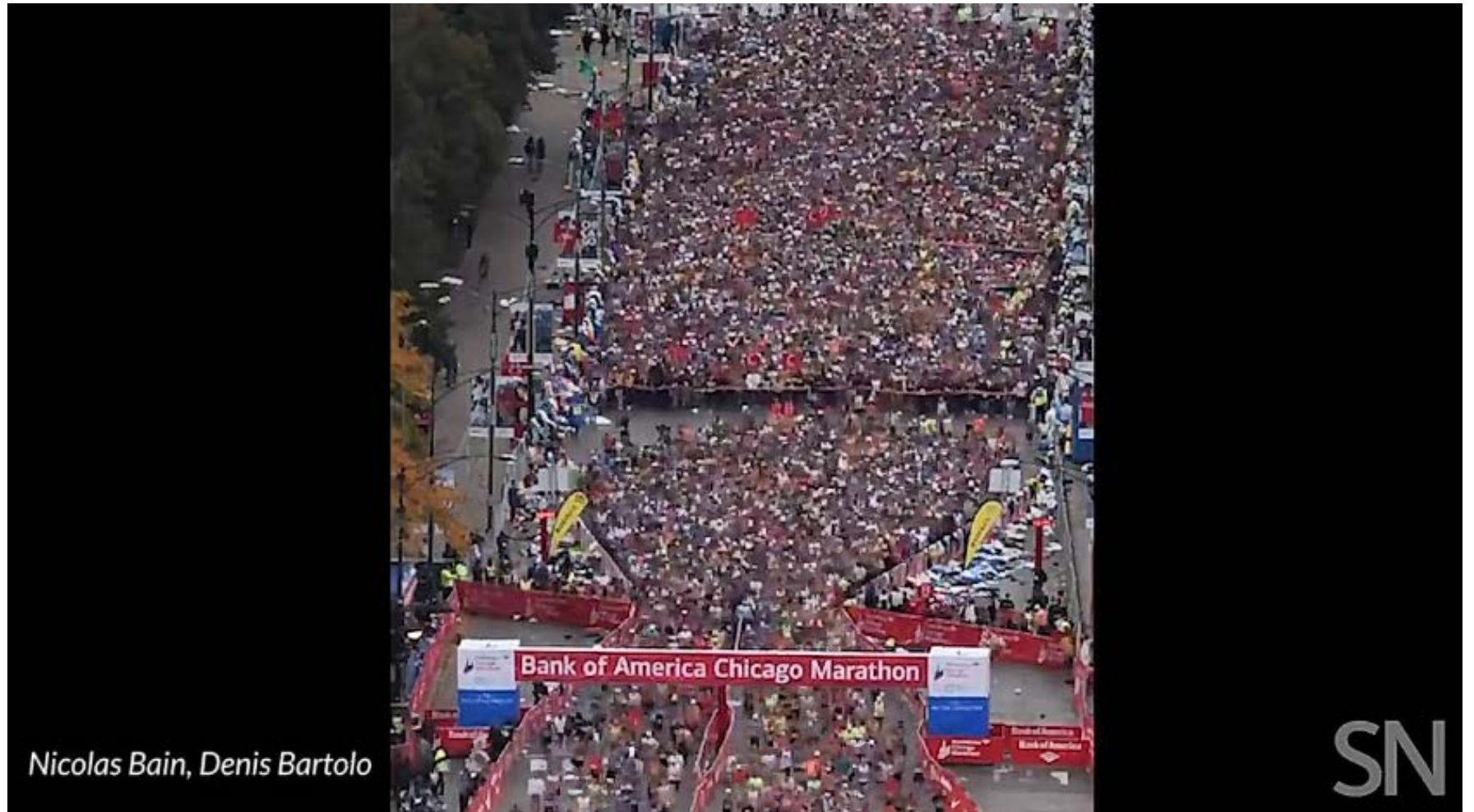
## Tempo di Movimento

### Tempo di movimento

- 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.
- Attualmente si impiegano comunemente due famiglie di modelli per il calcolo del tempo di movimento: *modelli idraulici* e *modelli comportamentali* (agent based).
- I modelli idraulici predicono con ragionevole precisione alcuni aspetti del movimento degli occupanti, ma non includono fattori importanti del comportamento umano, come la familiarità con l'edificio, le interazioni persona-persona e l'effetto del fumo sul movimento.



# Modelli Maratona di Chicago



Nicolas Bain, Denis Bartolo

SN

# Esempio: FDS+EVAC

Calcolo FED

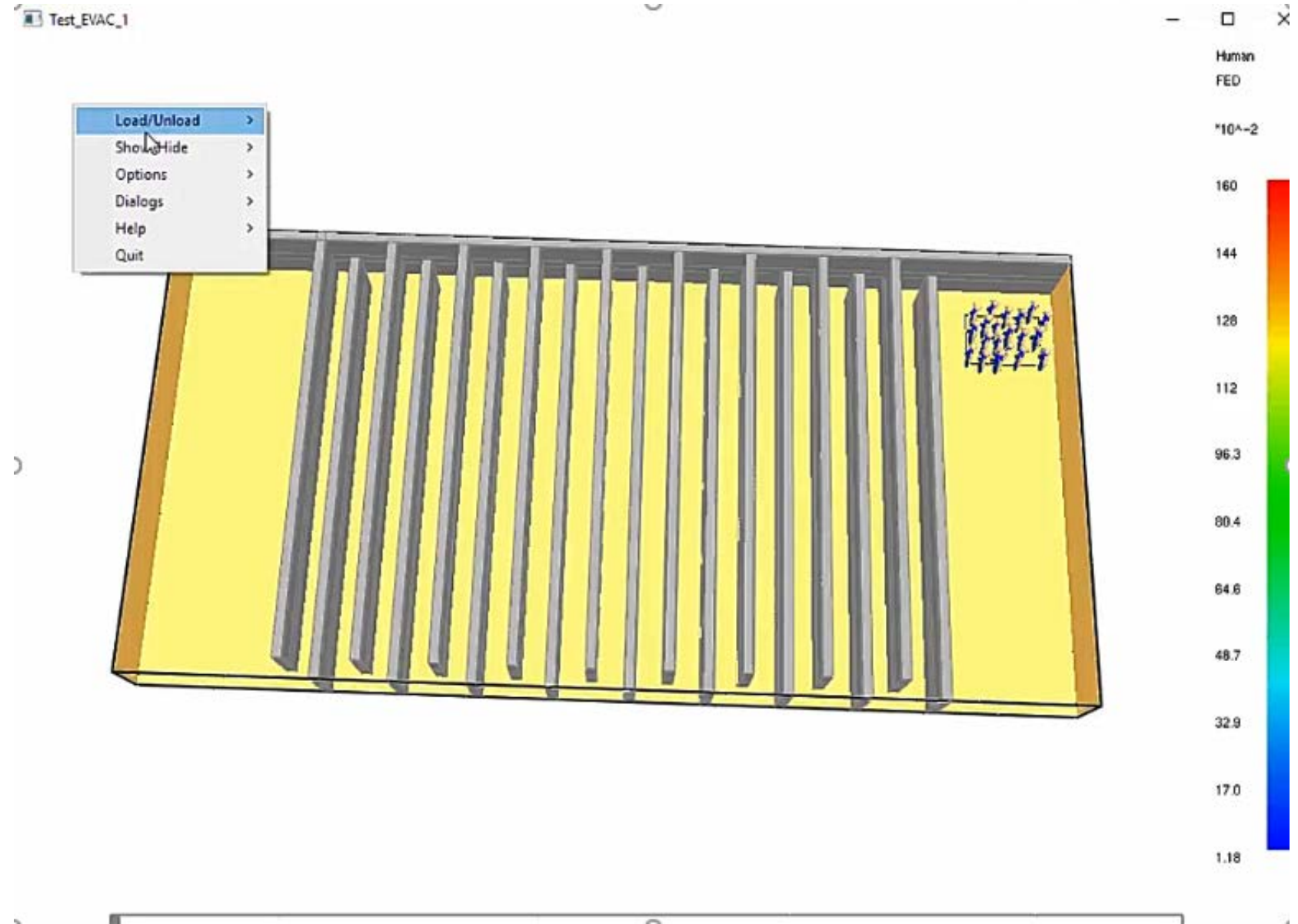
FDS+EVAC

Calcolo FED

- Nell'esempio viene testata l'implementazione del concetto di dose efficace frazionata (**FED**), è utilizzata una geometria semplice di un locale rettangolare con molte pareti che costringono gli agenti a seguire un percorso obbligato fino all'unica uscita di sicurezza del locale. In corrispondenza del posizionamento iniziale degli agenti è realizzato un fronte di fuoco mediante un **&VENT** avente dimensione 1.6 x 1.6 con **HRRPUA** = 1000 kW/mq che emette una potenza termica iniziale di 2.56 kW.
- Gli agenti sono colorati in funzione del **FED** assorbito, si nota che tutti gli agenti tranne il primo che si muove più velocemente, vengono incapacitati dagli effetti dei prodotti della combustione in quanto assorbono una dose di **FED** superiore all'unità.

FDS+EVAC

Calcolo FED



# Esempio: Deroga

Recupero conservativo del Teatro della Concordia

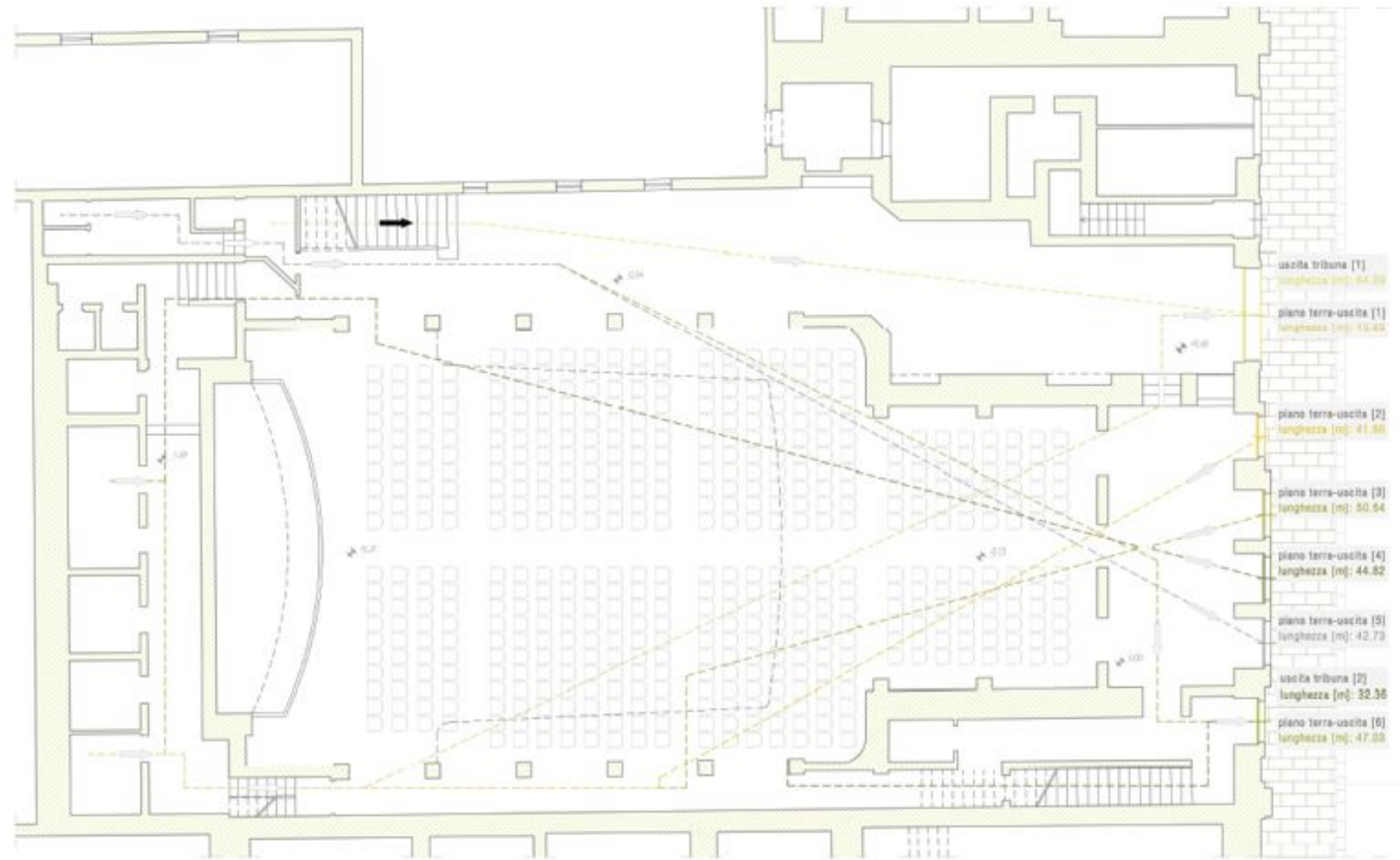
# DEROGA

## Teatro della Concordia



# DEROGA

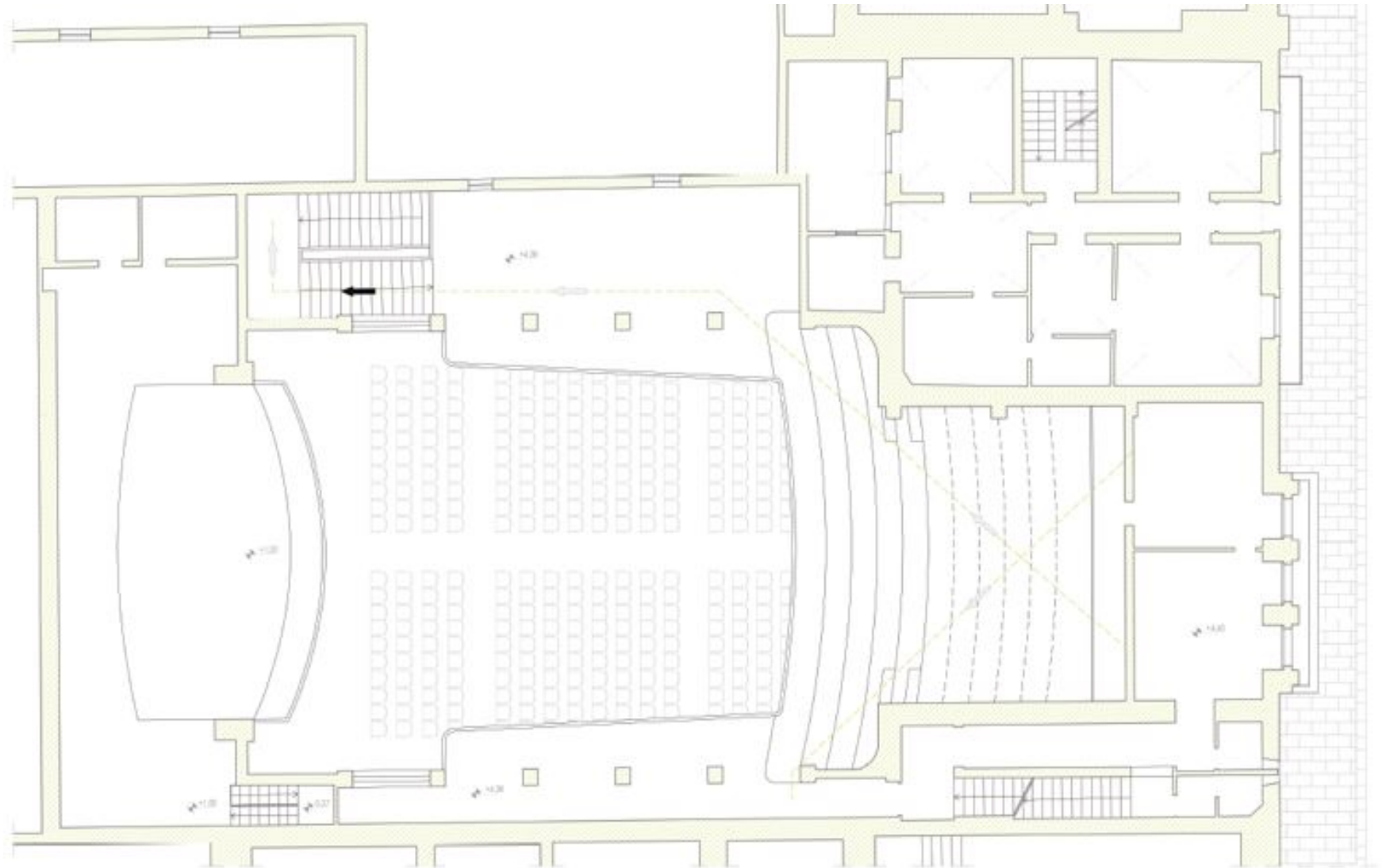
## Teatro della Concordia





# DEROGA

## Teatro della Concordia



# DEROGA Teatro della Concordia

Nella simulazione dell'incendio, a favore della sicurezza, è stata utilizzata come "Reazione chimica di fase gassosa" di **FDS** quella del Poliuretano, che risulta il materiale in grado di produrre il maggiore quantitativo di fumo all'interno dell'ambiente di simulazione.

La formula chimica del Poliuretano è tratta da **SFPE – Handbook of Fire Protection Engineering**; tabella 3-4.13, e 3.4.14, materiale tipo GM27 la formula chimica è  $\text{CH}_{1.7}\text{O}_{0.3}\text{N}_{0.08}$ .

Table 3-4.13 Net Heats of Complete Combustion per Unit Mass of Fuel and Oxygen Consumed and Carbon Dioxide and Carbon Monoxide Generated for Polymeric Materials<sup>a</sup>

Fuel	Formula <sup>b</sup>	$\Delta H_f^c$ (kJ/g)	$\Delta H_0^c$ (kJ/g)	$\Delta H_{CO_2}^c$ (kJ/g)	$\Delta H_{CO}^c$ (kJ/g)	Fuel	Formula <sup>b</sup>	$\Delta H_f^c$ (kJ/g)	$\Delta H_0^c$ (kJ/g)	$\Delta H_{CO_2}^c$ (kJ/g)	$\Delta H_{CO}^c$ (kJ/g)
<b>Carbon-hydrogen-oxygen-nitrogen atoms in the structure</b>						<b>Carbon-hydrogen-oxygen-nitrogen atoms in the structure (continued)</b>					
Polyoxy-methylene	CH <sub>2</sub> O	15.4	14.4	10.5	6.6	<b>Rigid polyurethane foams</b>					
Polymethyl-methacrylate	CH <sub>1.6</sub> O <sub>0.4</sub>	25.2	13.1	11.5	8.0	GM29	CH <sub>1.1</sub> O <sub>0.23</sub> N <sub>0.10</sub>	26.0	12.6	10.7	6.8
Polyester	CH <sub>1.4</sub> O <sub>0.22</sub>	32.5	13.9	12.5	9.6	GM31	CH <sub>1.2</sub> O <sub>0.22</sub> N <sub>0.10</sub>	25.0	11.9	10.2	6.1
Epoxy	CH <sub>1.3</sub> O <sub>0.20</sub>	28.8	12.1	10.8	6.9	GM37	CH <sub>1.2</sub> O <sub>0.20</sub> N <sub>0.08</sub>	28.0	12.7	11.2	7.5
Polycarbonate	CH <sub>0.88</sub> O <sub>0.19</sub>	29.7	13.1	10.7	6.9	<b>Rigid polyisocyanurate foams</b>					
Cellulose triacetate	CH <sub>1.3</sub> O <sub>0.67</sub>	17.6	13.3	9.6	5.1	GM41	CH <sub>1.0</sub> O <sub>0.19</sub> N <sub>0.11</sub>	26.2	12.5	10.4	6.4
Polyethylene-terephthalate	CH <sub>0.80</sub> O <sub>0.40</sub>	22.0	13.2	9.6	5.1	GM43	CH <sub>0.93</sub> O <sub>0.20</sub> N <sub>0.11</sub>	22.2	10.8	8.9	(4.0)
Rigid phenolic foam	CH <sub>1.1</sub> O <sub>0.24</sub>	36.4	(16.8)	(14.0)	(12.0)	<b>Average 12.5 10.9 7.2</b>					
Polycrylonitrile (PAN)	CHN <sub>0.33</sub>	30.8	10.7	12.3	9.4	<b>Carbon-hydrogen-chlorine atoms in the structure</b>					
Red Oak	CH <sub>1.7</sub> O <sub>0.72</sub> N <sub>0.001</sub>	17.1	13.2	10.2	6.0	<b>Polyethylene with</b>					
Douglas Fir	CH <sub>1.7</sub> O <sub>0.74</sub> N <sub>0.002</sub>	16.4	12.4	9.5	5.0	25% chlorine	CH <sub>1.9</sub> Cl <sub>0.13</sub>	31.6	12.7	13.4	10.8
Nylon	CH <sub>1.8</sub> O <sub>0.17</sub> N <sub>0.17</sub>	30.8	11.9	13.3	10.8	36% chlorine	CH <sub>1.8</sub> Cl <sub>0.22</sub>	26.3	12.8	12.9	10.2
<b>Flexible polyurethane foams</b>						48% chlorine	CH <sub>1.7</sub> Cl <sub>0.36</sub>	20.6	12.8	12.3	9.4
GM21	CH <sub>1.8</sub> O <sub>0.30</sub> N <sub>0.05</sub>	26.2	12.1	11.5	8.0	Polychloroprene	CH <sub>1.3</sub> Cl <sub>0.30</sub>	25.3	13.3	12.7	9.5
GM23	CH <sub>1.8</sub> O <sub>0.35</sub> N <sub>0.06</sub>	27.2	13.7	12.5	9.7	Polyvinylchloride	CH <sub>1.5</sub> Cl <sub>0.50</sub>	16.4	11.7	11.7	8.2
GM25	CH <sub>1.7</sub> O <sub>0.32</sub> N <sub>0.07</sub>	24.6	12.0	11.1	7.5	Polyvinylidenechloride	CHCl	9.0	13.5	9.8	(5.5)
<b>GM27</b>	CH <sub>1.7</sub> O <sub>0.03</sub> N <sub>0.08</sub>	23.2	11.2	10.4	6.2	<b>Average 12.8 12.1 9.6</b>					
						<b>Carbon-hydrogen-fluorine atoms in the structure<sup>d</sup></b>					
						Teflon TFE	CF <sub>2</sub>	6.2	9.7	(7.1)	(1.1)
						Teflon FEP	CF <sub>1.8</sub>	4.8	(6.9)	(5.0)	(0)

Table 3-4.14 Yields of Fire Products and Chemical, Convective, and Radiative Heats of Combustion for Well-Ventilated Fires<sup>a</sup> (Continued)

Material	$\Delta H_f$ (kJ/g)	Yields (g/g)				$\Delta H_{ch}$	$\Delta H_{con}$	$\Delta H_{rad}$
		Y <sub>CO<sub>2</sub></sub>	Y <sub>CO</sub>	Y <sub>CH<sub>4</sub></sub>	Y <sub>H<sub>2</sub></sub>			
<b>Natural materials</b>								
Tissue paper	—	—	—	—	—	11.4	6.7	4.7
Newspaper	—	—	—	—	—	14.4	—	—
Wood (red oak)	17.1	1.27	0.004	0.001	0.015	12.4	7.8	4.6
Wood (Douglas fir)	16.4	1.31	0.004	0.001	—	13.0	8.1	4.9
Wood (pine)	17.9	1.33	0.005	0.001	—	12.4	8.7	3.7
Corrugated paper	—	—	—	—	—	13.2	—	—
Wood (hemlock) <sup>b</sup>	—	—	—	—	0.015	13.3	—	—
Wool 100% <sup>b</sup>	—	—	—	—	0.008	19.5	—	—
<b>Polyurethane (flexible) foams</b>								
GM21	26.2	1.55	0.010	0.002	0.131	17.8	8.6	9.2
GM25	24.6	1.50	0.028	0.005	0.194	17.0	7.2	9.8
<b>GM27</b>	23.2	1.57	0.042	0.004	0.198	16.4	7.6	8.8

Tabella da SFPE Handbook of Fire Protection Engineering

Parametro **SOOT\_YIELD** della linea **&REAC**

# DEROGA

## Teatro della Concordia

### Scenario 1

Il presente scenario rappresenta l'edificio senza alcuna aggiunta di impianti finalizzata alla prevenzione e alla protezione dall'incendio.



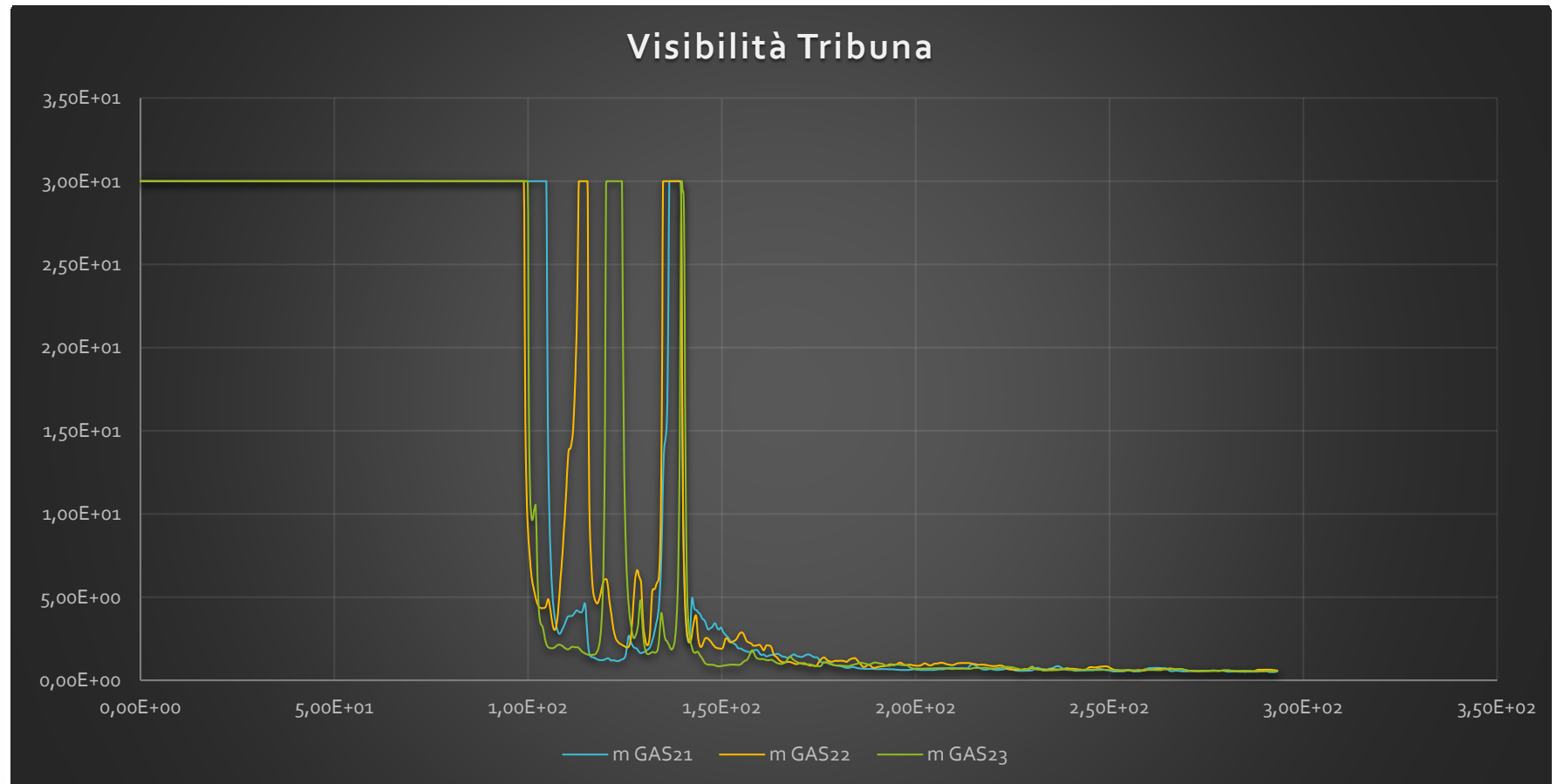
# DEROGA

## Teatro della Concordia

### Scenario 1

Il presente scenario rappresenta l'edificio senza alcuna aggiunta di impianti finalizzata alla prevenzione e alla protezione dall'incendio.

### Sensori Visibilità

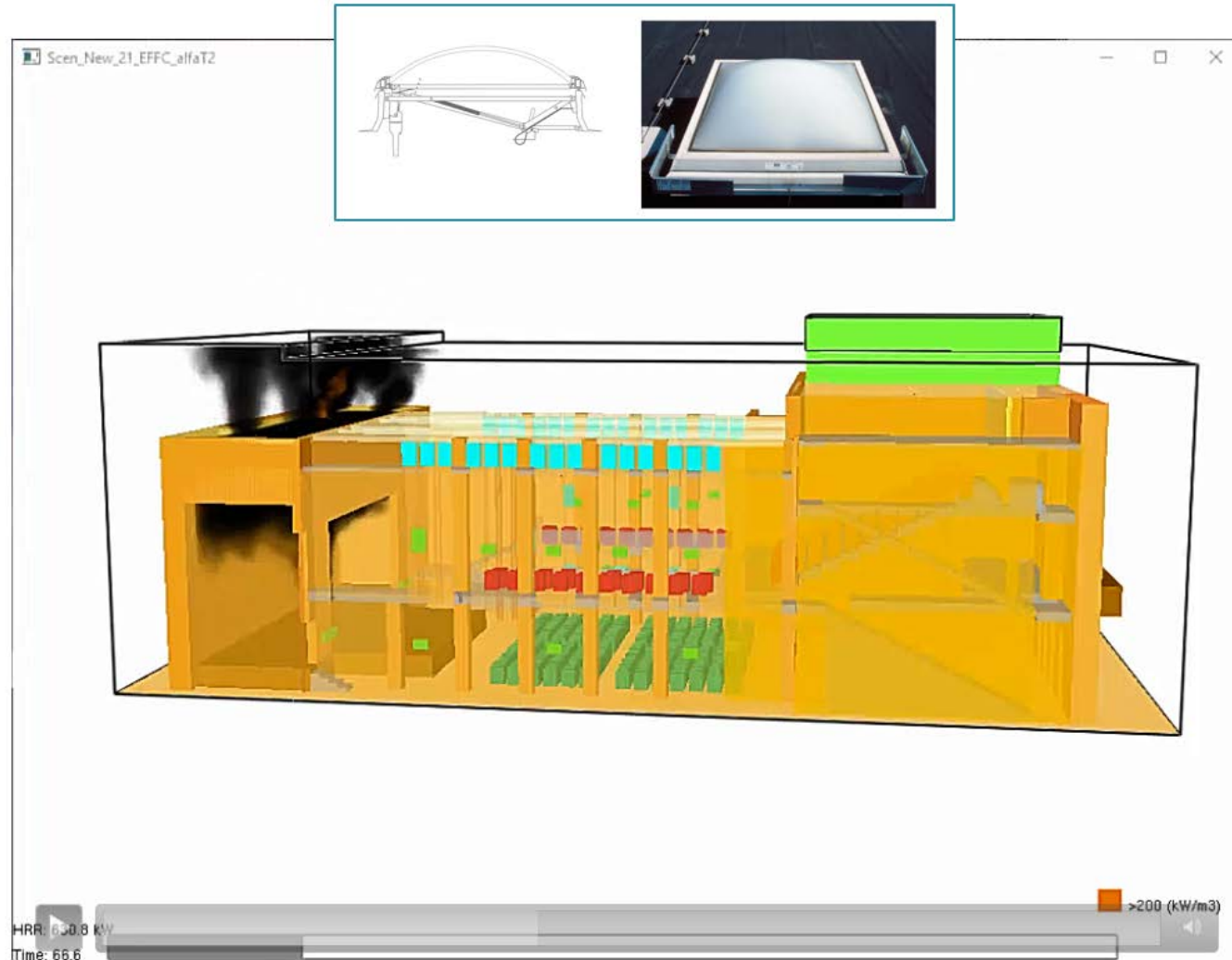


# DEROGA

## Teatro della Concordia

### Scenario 2

Lo scenario prevede la realizzazione di un sistema di evacuazione naturale di fumo e calore (SENFC 1,8 m<sup>2</sup> + infissi laterali in sommità).

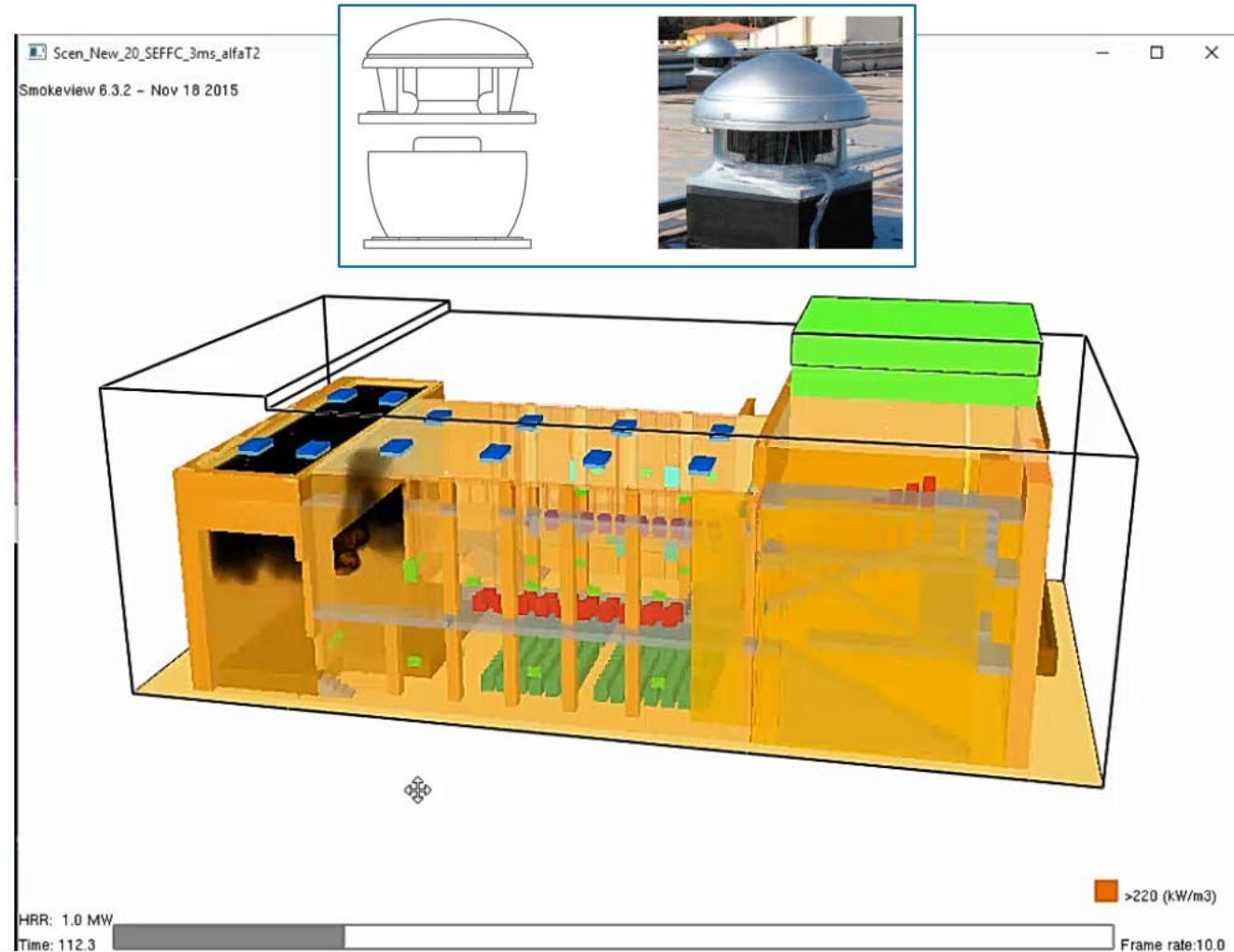


# DEROGA

## Teatro della Concordia

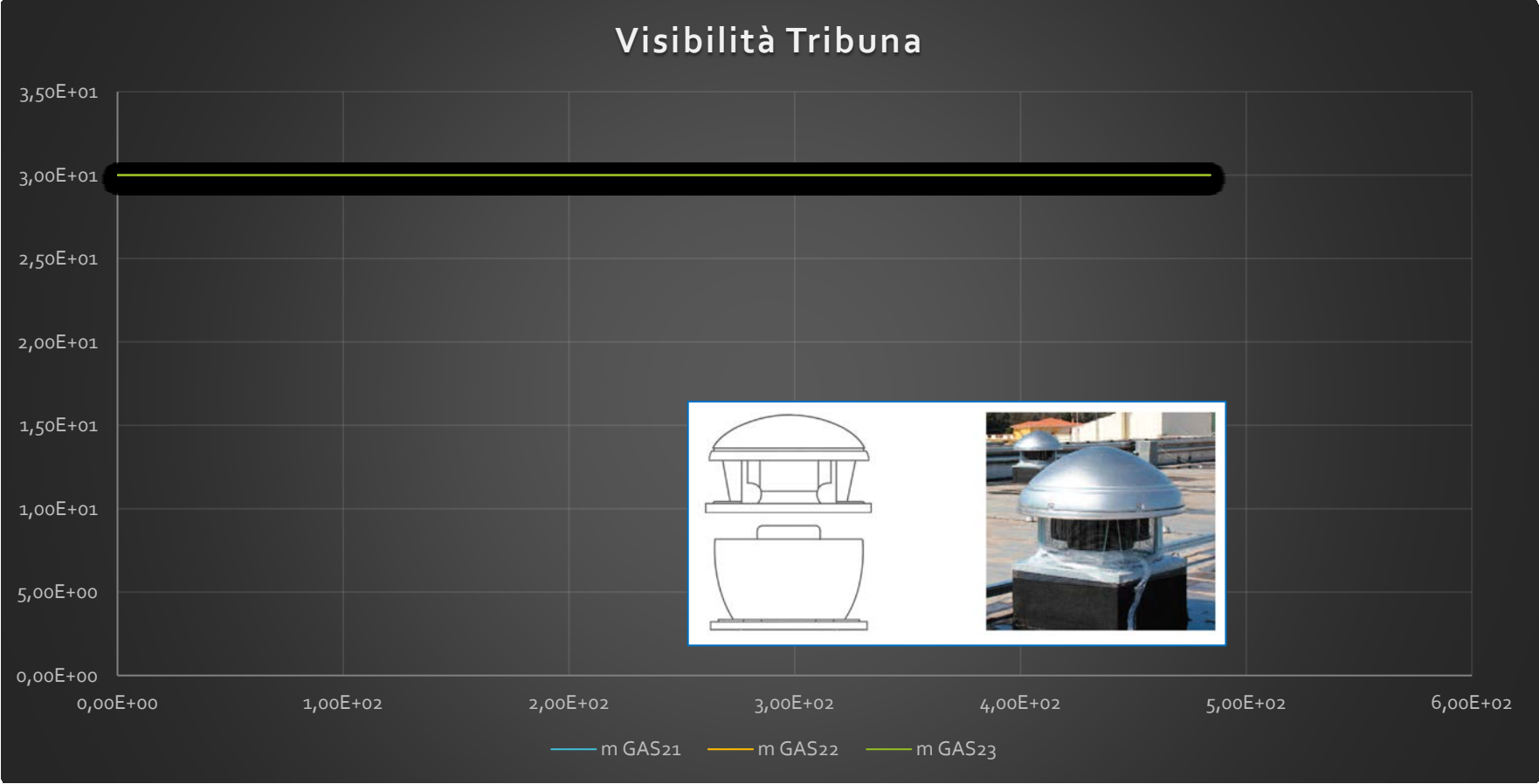
### Scenario 3

Lo scenario prevede la realizzazione di un sistema di evacuazione forzata di fumo e calore (SEFFC 2 m/s)



# DEROGA Teatro della Concordia

**Scenario 3**  
Lo scenario prevede la realizzazione di un sistema di evacuazione forzata di fumo e calore (SEFFC).  
**Sensori Visibilità**

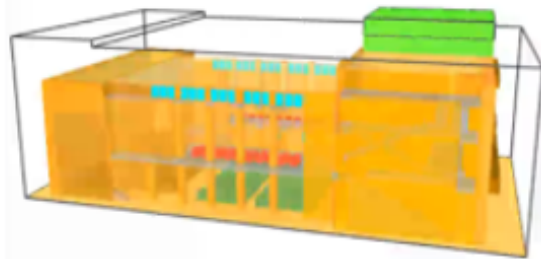


# DEROGA

## Teatro della Concordia

### Scenario 1

Il presente scenario rappresenta l'edificio senza alcuna aggiunta di impianti finalizzata alla prevenzione e alla protezione dall'incendio



View 25

### Scenario 2

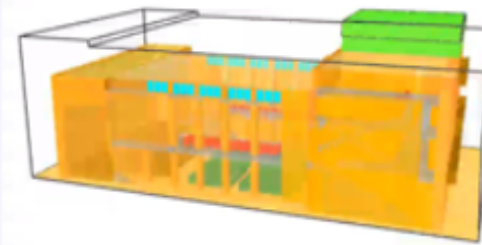
Lo scenario prevede la realizzazione di un sistema di evacuazione naturale di fumo e calore (SENF).  
(SENF).



View 25

### Scenario 3

Lo scenario prevede la realizzazione di un sistema di evacuazione forzata di fumo e calore (SEFFC).



View 25



# DEROGA

## Teatro della Concordia

### Risultati scenario 1

Nello scenario 1 il fumo invade i locali, con particolare riferimento alla tribuna e gli occupanti non hanno le necessarie condizioni minime di sopravvivenza.

Parametri	Livelli di prestazione	Verifica
"Zero exposure"	Altezza dei fumi dal pavimento < 2m	<b>Non soddisfatta</b>
	Temperatura dello strato di gas caldi < 60 °C	<b>Soddisfatta</b>

### Risultati simulazione 2

Nello scenario 2 il fumo invade parzialmente il locale, con particolare riferimento alla tribuna e gli occupanti non hanno le necessarie condizioni minime di sopravvivenza.

Parametri	Livelli di prestazione	Verifica
"Zero exposure"	Altezza dei fumi dal pavimento < 2m	<b>Non soddisfatta</b>
	Temperatura dello strato di gas caldi < 60 °C	<b>Soddisfatta</b>

### Risultati scenario 3

Nello scenario 3 il fumo NON invade i locali.

Parametri	Livelli di prestazione	Verifica
"Zero exposure"	Altezza dei fumi dal pavimento > 2m	<b>Soddisfatta</b>
	Temperatura dello strato di gas caldi < 60 °C	<b>Soddisfatta</b>



Verifica dei livelli di prestazione

Esodo

**Ipotesi di progetto 1** Esistente  $T_{trav} = 160$  s  $T_{trav - tribuna} = 130$  s



Ipotesi di progetto 1

Verifica dei livelli di  
prestazione  
**Esodo**

Ipotesi di progetto 2 US Laterali  $T_{trav} = 128\text{ s}$   $T_{trav-tribuna} = 128\text{ s}$

Exited: 188 / 427



Ipotesi di progetto 2

42,9

Verifica dei livelli di  
prestazione  
Esodo

Ipotesi di progetto 3 Doppia scala Tribuna  $T_{trav} = 159\text{ s}$

$T_{trav-tribuna} = 120\text{ s}$

Exited: 46/427



Ipotesi di progetto 3

24,7

Verifica dei livelli di  
prestazione  
Esodo

## Ipotesi di progetto 4 Doppia scala Tribuna + Uscite Laterali

$$T_{\text{trav}} = 118 \text{ s} = T_{\text{trav-tribuna}} = 118 \text{ s}$$

Exited: 66/427



19,7

Verifica dei livelli di  
prestazione

Esodo

ASET > RSET

VERIFICA SODDISFATTA

<b>Scenario</b>	Tempo di rilevazione $T_{det}$ [s]	Tempo di allarme $T_a$ [s]	Tempo di pre-movimento $T_{pre}$ [s]	Tempo di spostamento $T_{trav}$ [s]	<b>RSET</b> [s]	<b>ASET</b> [s]	<b>Margine di Sicurezza</b> $T_{margin}$ [s]
<b>1</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>60</b>	<b>160</b>	<b>236</b>	<b>500</b>	<b>264</b>
<b>2</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>60</b>	<b>128</b>	<b>204</b>	<b>500</b>	<b>296</b>
<b>3</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>60</b>	<b>159</b>	<b>235</b>	<b>500</b>	<b>265</b>
<b>4</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>60</b>	<b>118</b>	<b>194</b>	<b>500</b>	<b>306</b>

Verifica dei livelli di prestazione  
Esodo

# Esempio: Pubbliche manifestazioni

Evacuazione Piazza S. Carlo



# EVACUAZIONE

## Piazza S. Carlo

### **Pubbliche manifestazioni – gestione delle emergenze**

- I recenti attentati in varie città europee hanno mostrato la necessità di studiare il comportamento delle folle in condizioni di emergenza. In Italia a seguito dei gravi fatti accaduti a Torino il 3 giugno 2017, quando in occasione della finale di Champions League, tra Juventus e Real Madrid, in piazza S. Carlo dove fu installato un maxischermo per permettere ai tifosi di seguire in diretta la partita che si disputava a Cardiff, a seguito del comportamento di un gruppo di rapinatori che utilizzavano spray urticante per aprirsi la strada, dopo aver rubato oggetti di valore tra il pubblico, si è scatenato il panico. Le persone presenti hanno creato una calca per fuggire, che ha provocato un totale di 1527 feriti e la morte di due persone.

# EVACUAZIONE

## Piazza S. Carlo

### Pubbliche manifestazioni – gestione delle emergenze

- Questi fatti hanno portato a nuove considerazioni e riflessioni sulla sicurezza degli eventi di pubblico spettacolo e in modo più in generale sugli eventi pubblici in genere, non più intesi come insieme di misure di prevenzione e protezione da adottare per mitigare il rischio dovuto alla casualità, ma anche come insieme di misure tese a prevenire e minimizzare gli impatti di azioni criminose.

- [Circolare del capo della polizia NR. 555/OP/0001991/2017/l.](#)
- [Circolare del Capo Dipartimento dei VVF, del soccorso pubblico e della difesa civile PROT. 1146 DEL 19 GIUGNO 2017](#)  
OGGETTO: Manifestazioni pubbliche. Indicazioni di carattere tecnico in merito a misure di safety.
- [Nota del Ministero dell'Interno Prot. 0009925 del 20 luglio 2017](#)  
OGGETTO: Manifestazioni organizzate in aree di libero accesso al pubblico. Indicazioni operative.
- [Circolare del Ministero dell'Interno N. 11001/110\(10\) del 28 LUGLIO 2017](#)  
OGGETTO: Modelli organizzativi per garantire alti livelli di sicurezza in occasione di manifestazioni pubbliche. Direttiva.
- [Circolare del Ministero dell'Interno N. 11001/110\(10\) del 18 LUGLIO 2018](#)  
Linea guida per l'individuazione delle misure di contenimento del rischio in manifestazioni pubbliche con peculiari condizioni di criticità



# Salvaguardia della vita

La **FOLLA** è una moltitudine di individui che si muovono nello stesso spazio in un certo intervallo temporale

## La Crowd Science

- Scienza che si occupa dello studio del movimento della folla, sia in **condizioni normali** che in caso di **esodo** di emergenza
- Teorie basate sullo studio del movimento e comportamento della folla durante **eventi** ed esperimenti “controllati” in **laboratorio**
- **Ottimizzazione dei flussi pedonali** con modelli matematici e simulazioni
- Studio del **movimento pedonale**, tempi di **esodo**, e analisi delle **densità** (LoS)

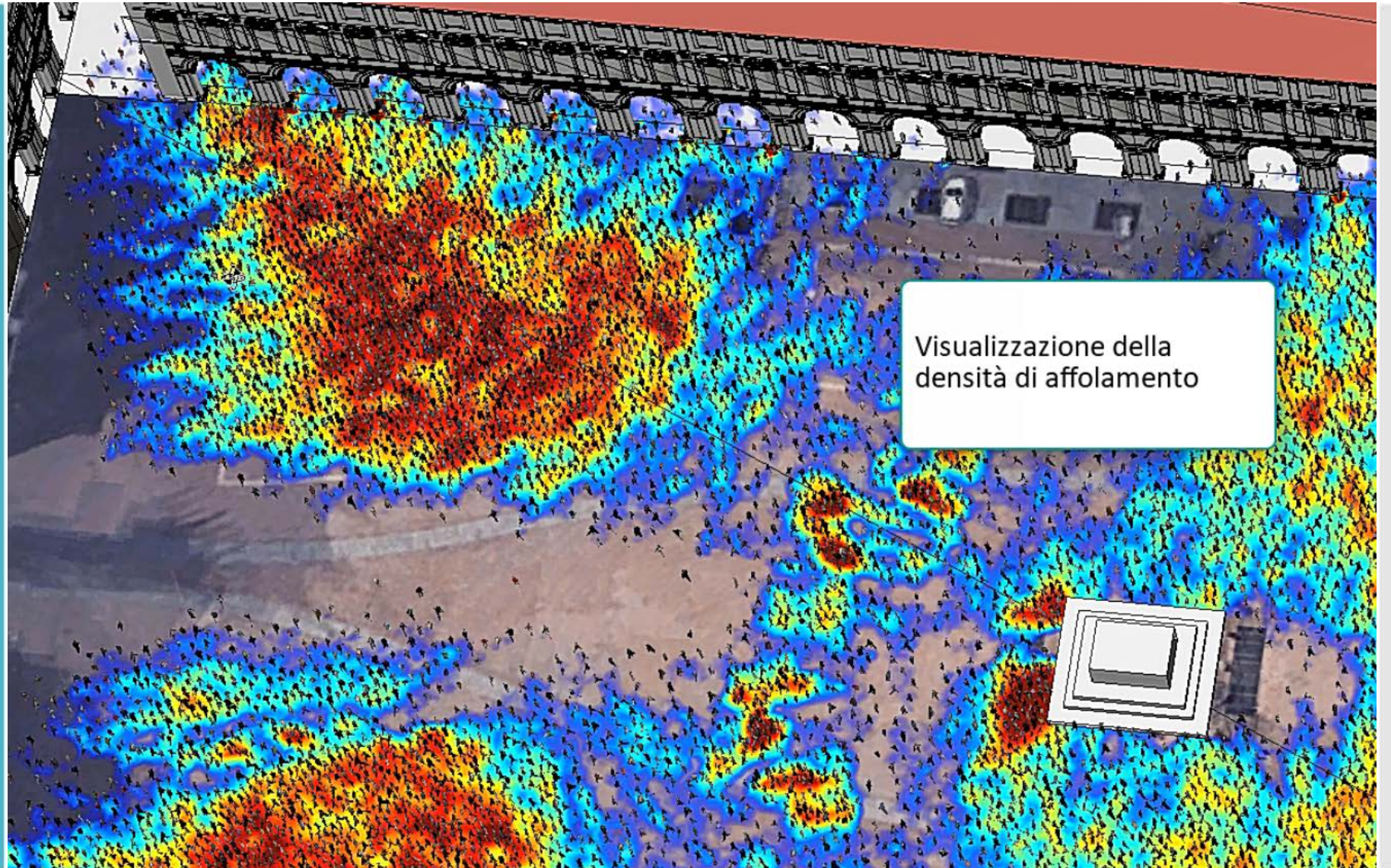
## Velocità di Esodo

### Publiche manifestazioni – gestione delle emergenze

- Sebbene, in realtà, si possano raggiungere densità di affollamento superiori a  $0,175$  persone/ft<sup>2</sup> ( $1,9$  persone/m<sup>2</sup>), è prudente non utilizzare tali densità in un progetto ingegneristico di esodo. Questa densità di affollamento produce il maggiore movimento possibile; oltre questa densità, la portata delle persone diminuisce rapidamente. Se la densità di affollamento aumenta significativamente oltre  $0,37$  persone/ft<sup>2</sup> ( $4$  persone/m<sup>2</sup>), si potrebbero sviluppare condizioni di schiacciamento.
- Valori simili di densità di affollamento sono previsti da **NFPA 101 "Life Safety Code"**, in questo caso i valori suggeriti sono da  $0,142$  persone/ft<sup>2</sup> ( $1,54$  persone/m<sup>2</sup>) a  $0,003$  persone/ft<sup>2</sup> ( $0,022$  persone/m<sup>2</sup>) a seconda del tipo di attività considerata ( $1$  ft<sup>2</sup> =  $10.764$  m<sup>2</sup>)

# EVACUAZIONE

Piazza S. Carlo  
20,000 persone  
NO settori



# EVACUAZIONE

Piazza S. Carlo  
20000 persone  
4 settori 5000 persone

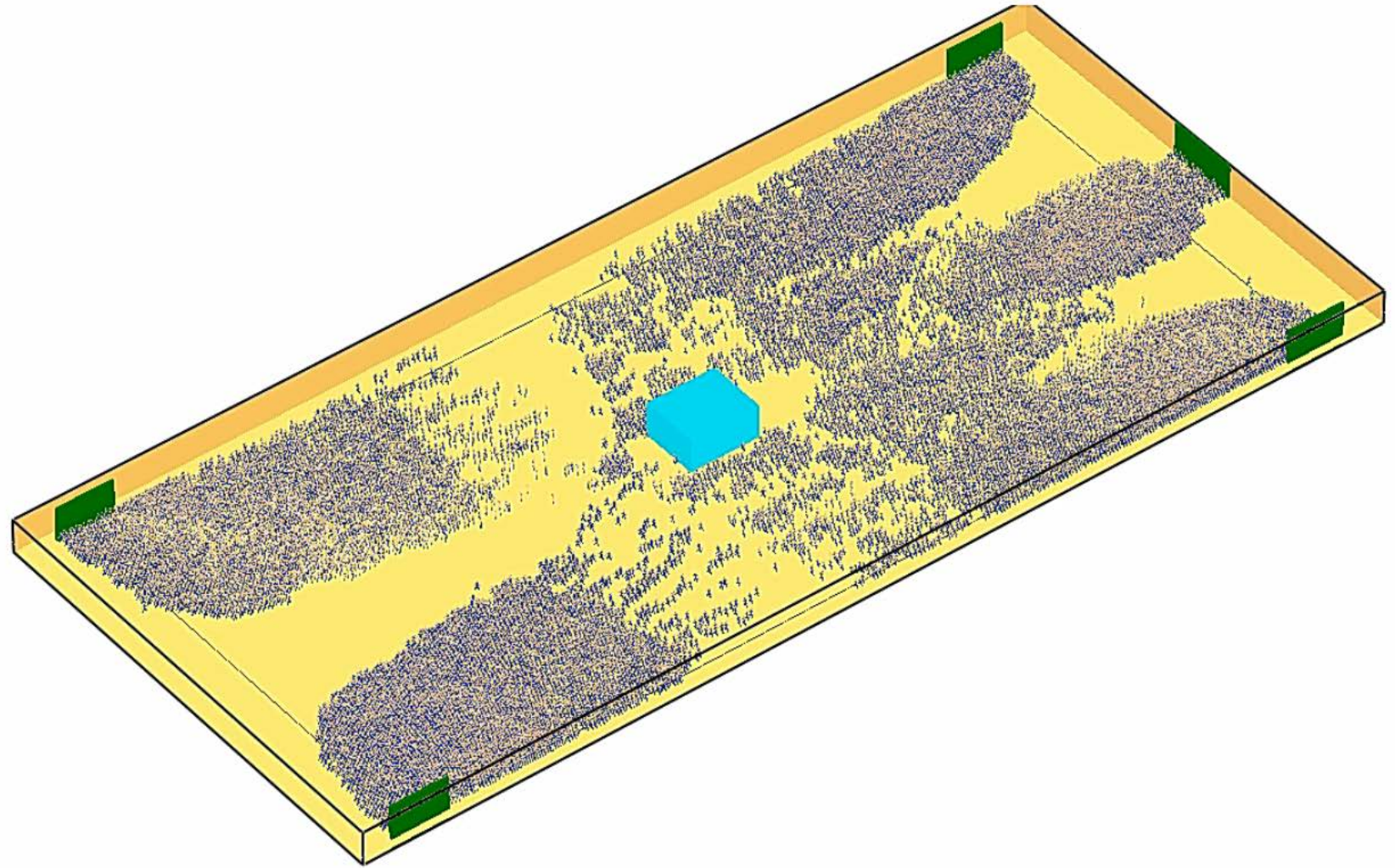


La piazza è suddivisa in 4 settori ognuno con capienza di 5.000 persone e densità di affollamento di circa 3.12 persone/mq. I varchi nella delimitazione dei settori sono posti ogni circa 10 m e sono larghi 2.4 m (4 moduli, per un totale, per settore, di 18 US (4 moduli) = 72 moduli ->  $72 \times 250 = 18.000$  persone evacuabili da ogni settore. Le due strade che adducono a piazza CLN sono aperte e permettono il passaggio degli agenti.

# EVACUAZIONE

Piazza S. Carlo  
20,000 persone  
NO settori

SCarlo\_5US\_20000

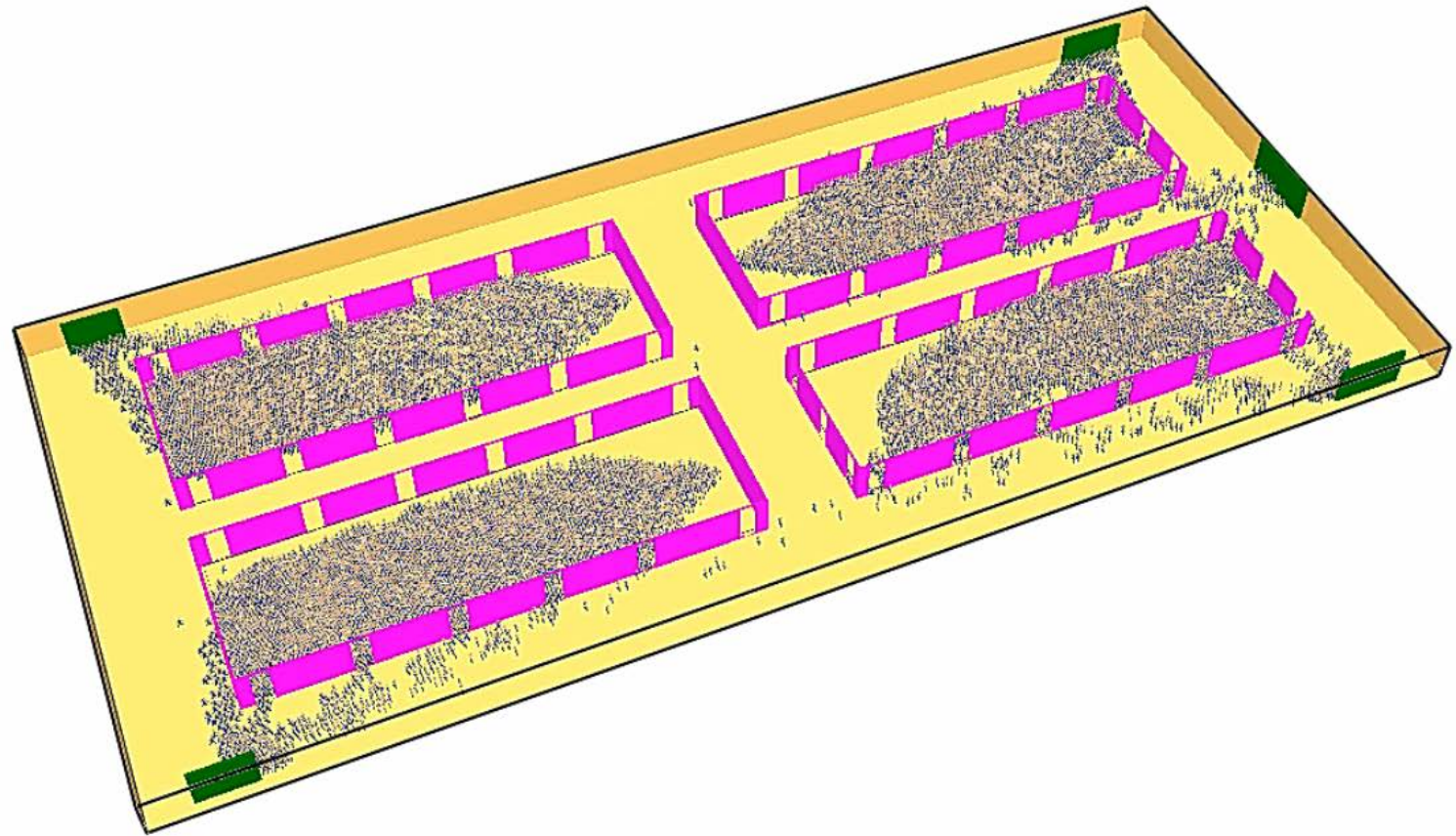


Time: 31.7

# EVACUAZIONE

Piazza S. Carlo  
20000 persone  
4 settori 5000 persone

SCarlo\_SUS\_20000\_4Settori



Time: 34.5



# EVACUAZIONE

Piazza S. Carlo

Modello	Settori	Tempo [s]
Pathfinder	Si	620
Pathfinder	NO	570
EVAC	Si	450
EVAC	NO	400

# Esempio: Fire Investigation

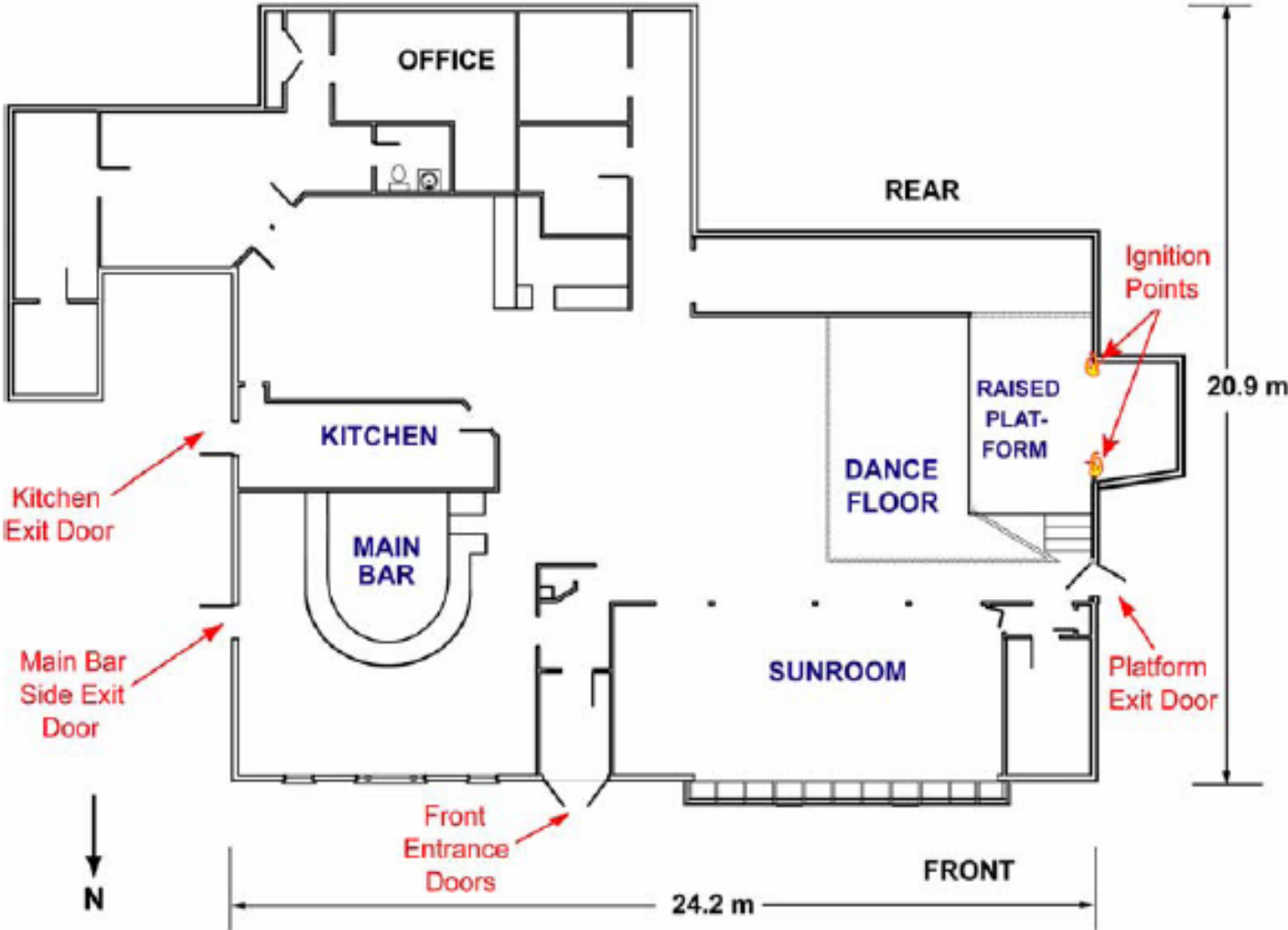
Rode Island - nightclub The Station

# EVACUAZIONE

## Rhode Island Station Nightclub 20/2/2003

# EVACUAZIONE

## Rhode Island Station Nightclub 20/2/2003



# Rhode Island Station Nightclub



# Fire Investigation

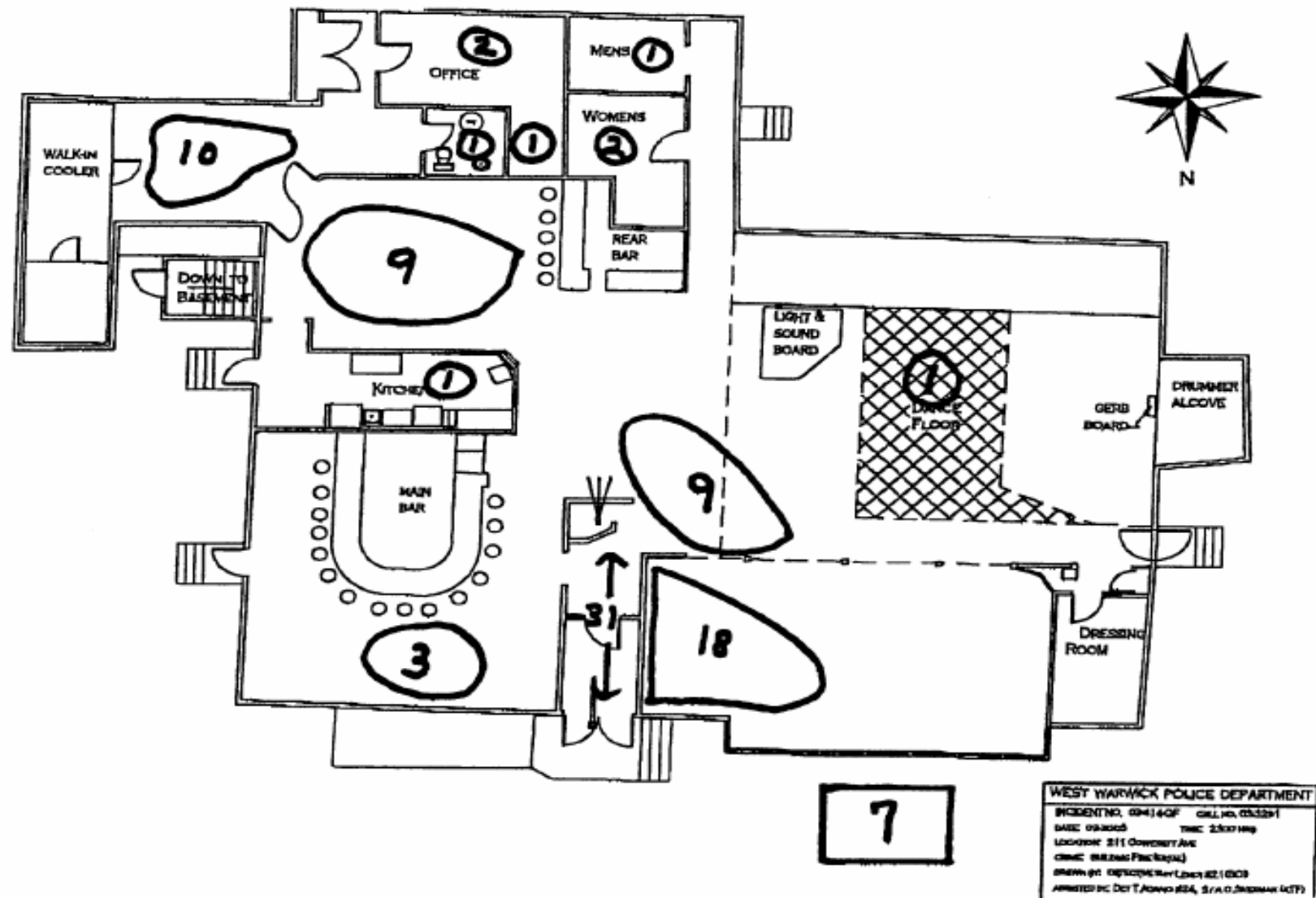


Figure 5-54. West Warwick Police Department Victim location diagram

100 morti; 230 feriti; 132 illesi.

# Fire Investigation

- U.S. indicazioni [DM 19 Agosto 1996](#)
- Reazione al fuoco dei materiali
- Gestione della sicurezza
  - Prescrittivo [Titolo XVIII DM 19/8/1996](#)
  - Prestazionale SGSA
- Indagini NIST Simulazione [senza Sprinkler](#)
- Indagini NIST Simulazione [con Sprinkler](#)
- Indagini NIST Simulazione [Comparativa](#)

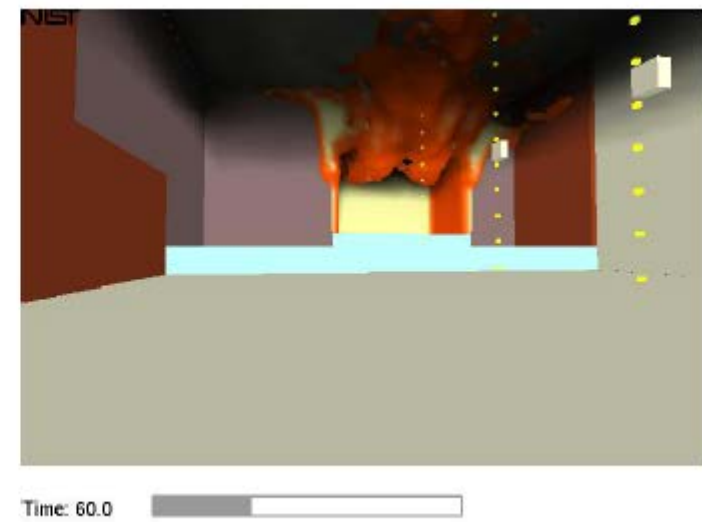
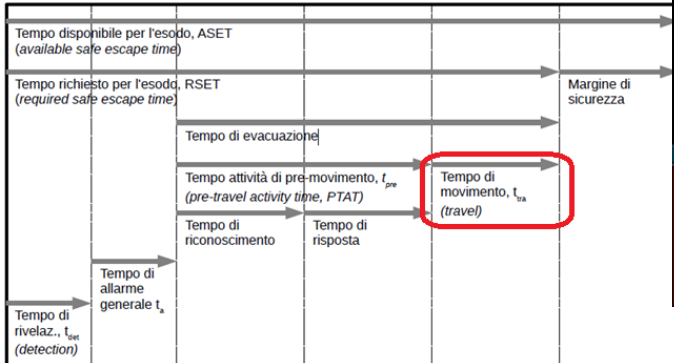
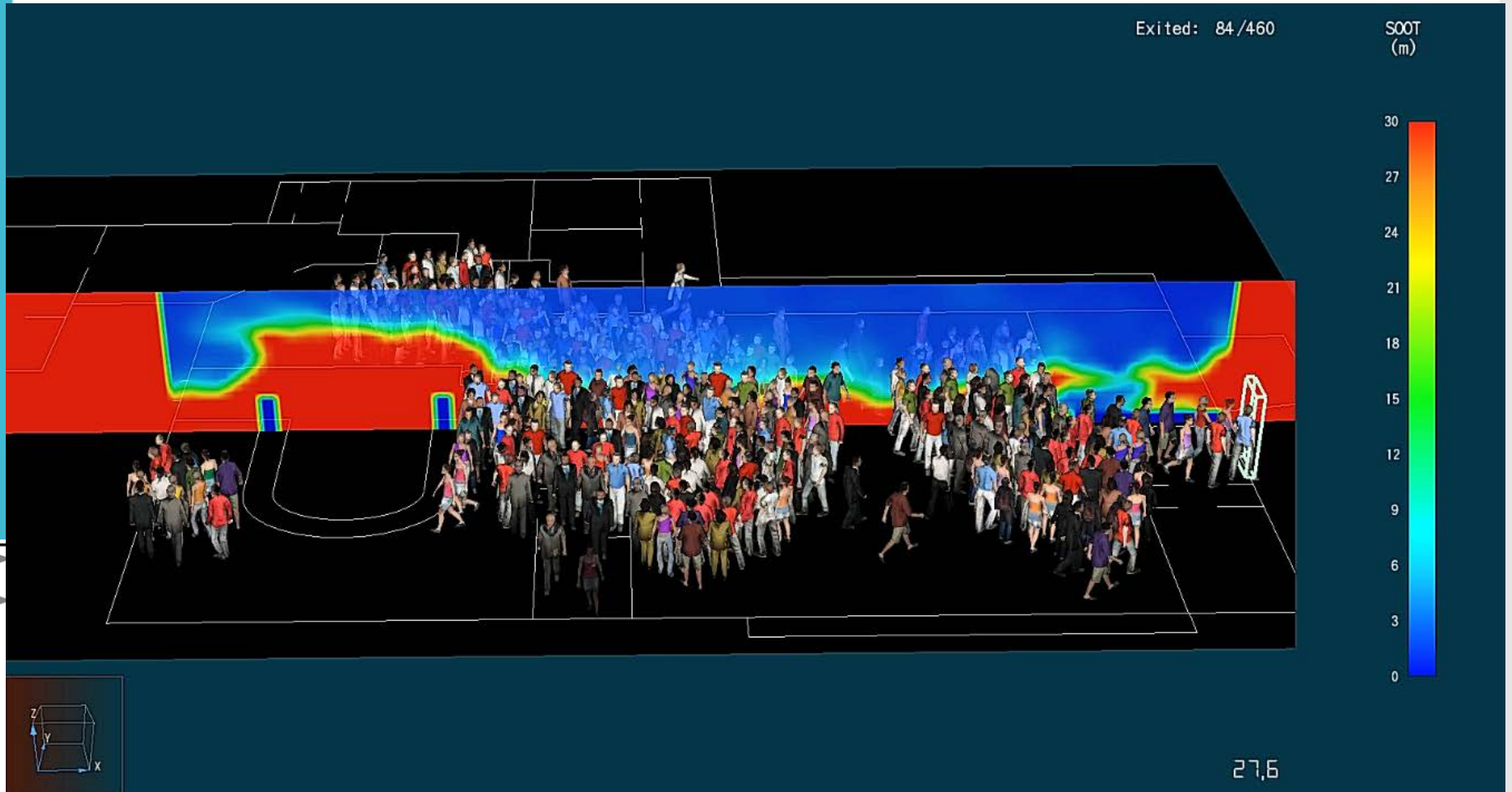


Figure 5-8. Flashover has occurred in alcove area,  $t = 60$  seconds after ignition.

# Tempo di movimento Pathfinder

Calcolo di RSET

Tempo di Movimento

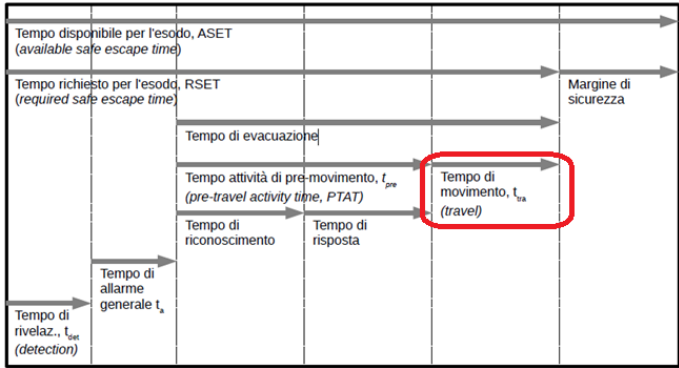
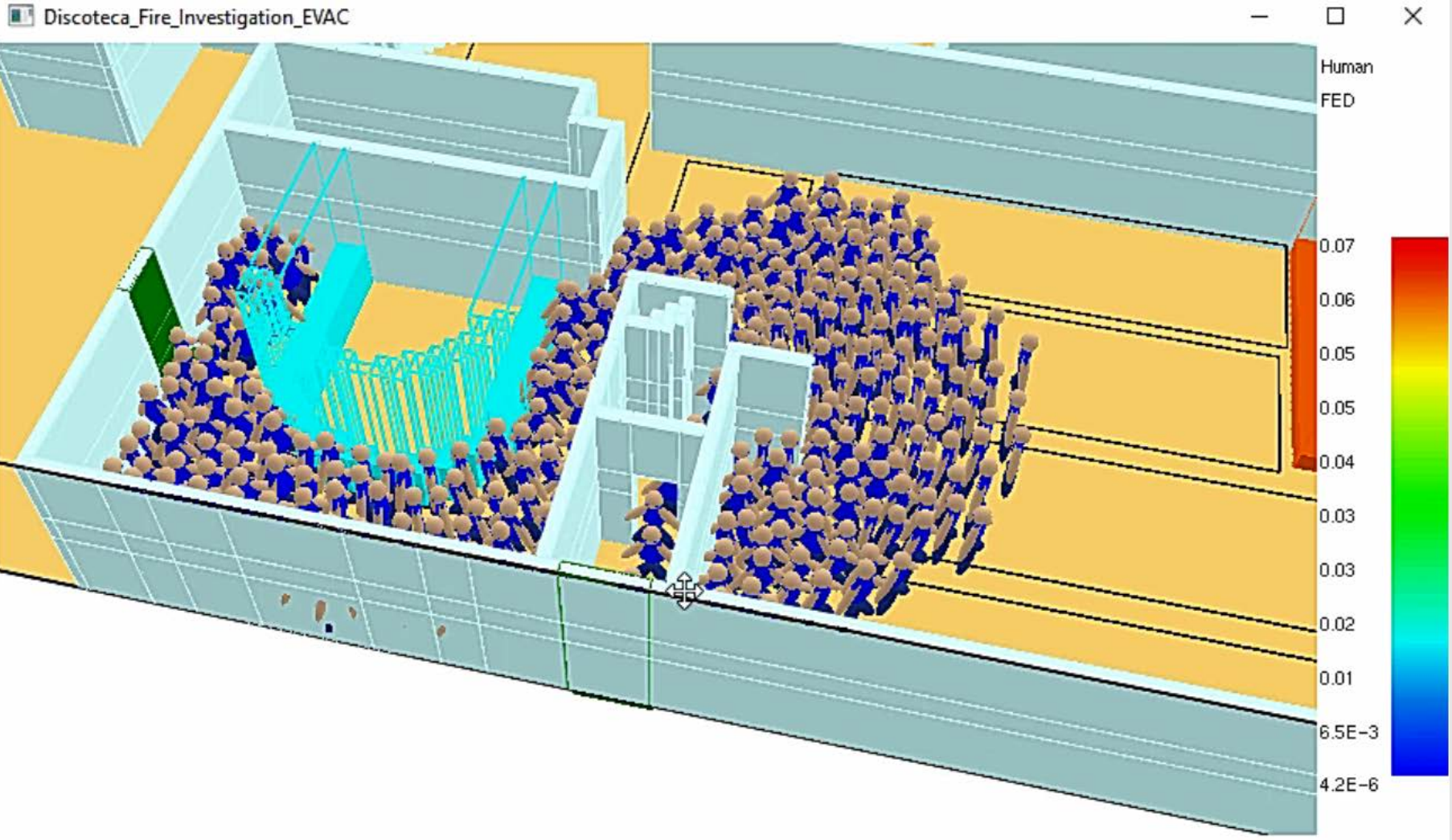


27,6

# Calcolo di RSET

# Tempo di Movimento

## Tempo di movimento EVAC





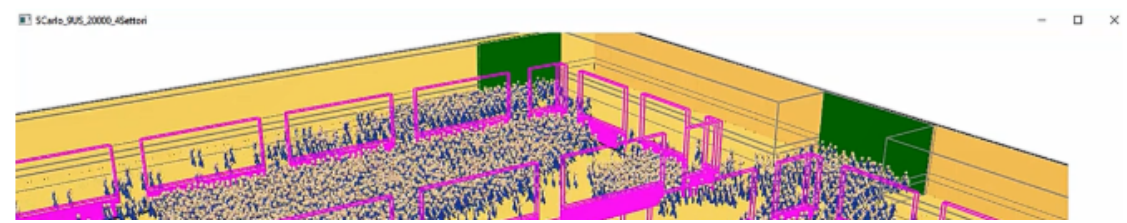
<b>Home</b>	<b>FSE</b>	<b>Applicazioni FSE</b>	<b>FDS 6</b>	<b>EVAC</b>	<b>WFDS</b>	<b>Modelli – FSE</b>	<b>Tool's</b>	<b>Software FSE</b>	<b>Biblioteca</b>	<b>Formazione – Corsi</b>
LEX	RIR	Impianti Antincendio	Link	GoogleFire	Iscrizione al Sito	Contatti				

# Home

## Ultimo articolo pubblicato

### Pubbliche manifestazioni – Modelli di calcolo

Guardando un gruppo di persone che cammina per la strada si potrebbe pensare che il loro moto sia caotico ed imprevedibile, ognuno ha le sue preferenze, i suoi bisogni, i suoi scopi e la sua destinazione; invece la dinamica delle folle di pedoni può essere sorprendentemente predicibile.



### Log In

[Log In](#)

- ### Articoli Recenti
- [VTT-NIST Programma Documentazione](#)
  - [Documenti relativi a FDS](#)
  - [Documenti Incendio](#)
  - [Documenti Evacuazione](#)
  - [Validazione – Misure della velocità dei gas di combustione attraverso una](#)