

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DELLA SICUREZZA INTERCONNESSIONE DI VOLTRI SIMULAZIONI ESODO DEI PASSEGGERI IN GALLERIA

GENERAL CONTRACTOR	ITALFERR S.p.A.
Consorzio Cociv Project Manager Ing. Guagnozzi Data: 31/07/2012	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
A 3 0 1	0 0	D	C V	S X	G N 0 0 0 X	0 0 7	F

Progettazione :								IL PROGETTISTA
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	
E00	Adeguamento sicurezza in galleria	Prometeo engineering.it 	16/03/2012	Ing. I. Barilli 	20/03/2012	Ing. E. Pagani 	23/03/2012	 Dott. Ing. GHISLANDI Sez. A. Settori: a) civile e ambientale b) industriale c) dell'informazione n°A 16993 MILANO Data: 31/07/2012
F00	Istruttoria n. A30100DSCIS0000001A del 18/05/2012	Prometeo engineering.it 	27/07/2012	Ing. I. Barilli 	27/07/2012	Ing. E. Pagani 	31/07/2012	

n. Elab.:	File: A301-00-D-CV-SX-GN00-0X-007-F00.DOC
-----------	---

CUP: F81H92000000008

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>Codifica Documento a301-00-d-cv-sx-gn00-0x-007-f00.doc</p> <p>Foglio 2 di 39</p>

INDICE

INDICE.....		2
1. INTRODUZIONE.....		3
2. MODELLO TRIDIMENSIONALE DI SIMULAZIONE D'INCENDIO		4
3. MODELLO BIDIMENSIONALE DI SIMULAZIONE D'ESODO		7
4. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE D'INCENDIO E D'ESODO.....		11
5. CONCLUSIONI		39

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>Codifica Documento a301-00-d-cv-sx-gn00-0x-007-f00.doc</p>	<p>Foglio 3 di 39</p>

1. Introduzione

L'analisi di scenari incidentali è stata condotta mediante la simulazione della propagazione dei fumi di un evento di incendio generato da un treno passeggeri fermo in galleria, tramite il codice di calcolo tridimensionale Fire Dynamics Simulator, accoppiata alla simulazione del processo di esodo, condotta tramite il codice EVAC.

L'obiettivo delle simulazioni è costituito da:

- verifica della funzionalità delle uscite di sicurezza (bypass),
- verifica dei tempi di esodo in condizioni incidentali.

Lo scenario analizzato, con lo scopo primario di verificare la gestione dell'emergenza, rappresenta lo scenario caratterizzato da maggiore verosimiglianza, scenari estremi sono considerati dall'analisi di rischio probabilistica e quantitativa ma non sono analizzati nel dettaglio nella presente relazione per le seguenti ragioni:

- scenari coinvolgenti treni merci sono caratterizzati da bassa probabilità di accadimento in quanto non è prevista la fermata in galleria grazie a tutte le misure di sicurezza preventive adottate connesse alla gestione del traffico,
- i sistemi di sicurezza non sono dimensionati per far fronte a scenari estremi per cui risulta inutile verificarne l'efficacia.

L'ipotesi adottata per la definizione dell'incendio di riferimento per cui verificare la sicurezza della popolazione esposta è stato caratterizzato da una potenza termica generata massima prossima a 10 MW con una crescita graduale in un tempo pari a 10 min, in accordo ai dettami del DM 28/10/2005 Allegato III annesso D.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Codifica Documento a301-00-d-cv-sx-gn00-0x-007-f00.doc
	Foglio 4 di 39

2. Modello tridimensionale di simulazione d'incendio

Il modello di campo tridimensionale prodotto e le condizioni adottate per la simulazione del flusso del pericolo è stato risolto con un codice libero di fluido-dinamica numerica. La tabella seguente riassume le principali caratteristiche del modello adottato.

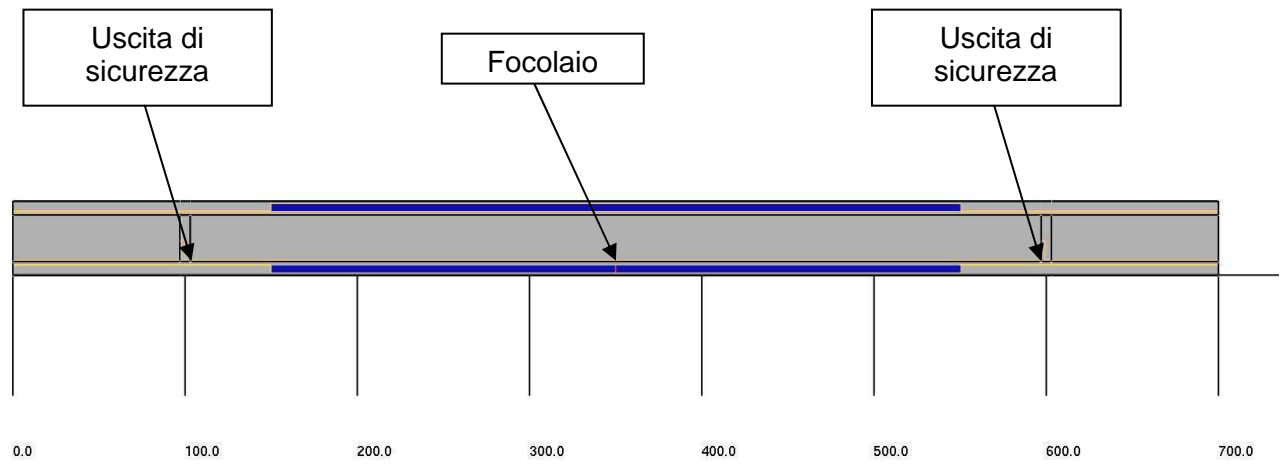
Caratteristiche del modello

Codice	FDS (Fire Dynamics Simulator)
Cardinalità	3D
Dimensioni cella	0.25x0.25x0.25m
Porzione di galleria simulata	700m galleria naturale singolo binario
Numero celle	ca 1.300.000
Sottomodello di turbolenza	Large Eddy Simulation
Sottomodello di combustione	Mixture fraction
Potenza termica generata	10 MW
Tempo di crescita	10 min
Regime	Transitorio
Durata simulazione	30 min

La simulazione effettuata mostra il dettaglio dell'evoluzione del flusso del pericolo per i primi 10 minuti dall'inizio dell'evento. I risultati sono riportati attraverso una rappresentazione grafica tridimensionale dei fumi, supportati dall'utilizzo di mappe di concentrazione di temperatura e di monossido di carbonio.

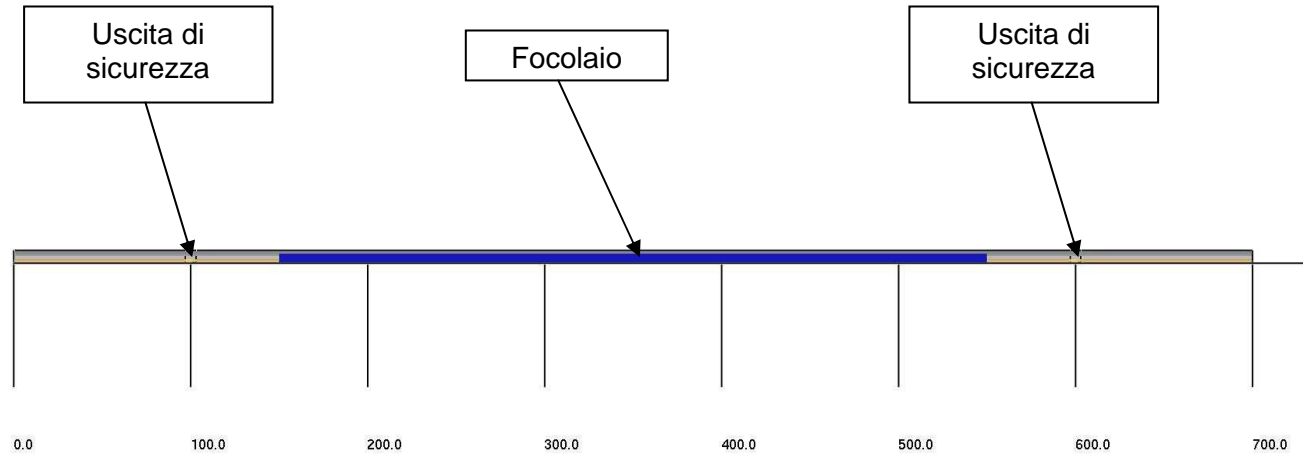
Le successive figure mostrano le caratteristiche geometriche e dimensionali del modello formulato, dove è possibile distinguere in grigio il rivestimento in cls della galleria, in blu il treno passeggeri, in rosa il focolaio ed in verde le uscite di sicurezza.

Pianta



mesh: 1

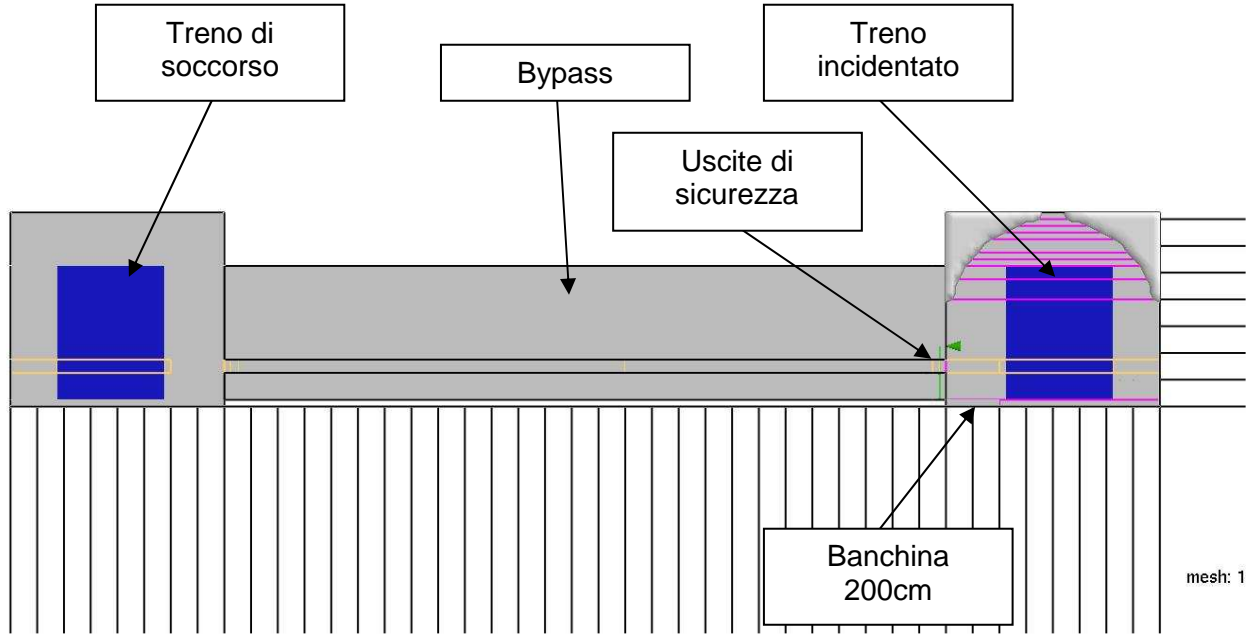
Prospetto longitudinale



mesh: 1

Prospetto frontale

Smokeview 5.5.6 - Jun 22 2010



3. Modello bidimensionale di simulazione d'esodo

La simulazione di esodo è stata condotta formulando e risolvendo un modello di campo bidimensionale di un tratto della Interconnessione di Voltri. Il modello di campo adottato per la simulazione degli scenari di esodo è stato risolto in combinazione con la simulazione d'incendio, i cui effetti interagiscono sul processo di esodo.

La tabella seguente riassume le principali caratteristiche del modello adottato.

Caratteristiche del modello

Codice	EVAC
Cardinalità	2D
Dimensioni cella	0.25x0.25m
Porzione di galleria simulata	2x700m galleria naturale singolo binario + 2x35m bypass pedonali
Numero celle	ca 480.000
Durata simulazione	30 min

Il modello di simulazione tratta ogni persona in fuga come singola entità (agente) il cui movimento all'interno della geometria bidimensionale è guidato da una equazione di moto. Ciascun agente segue la propria equazione di moto:

$$m_i \frac{d^2 \mathbf{x}_i(t)}{dt^2} = \mathbf{f}_i(t) + \boldsymbol{\xi}_i(t)$$

dove:

$\mathbf{x}_i(t)$ è la posizione iniziale dell'agente i al tempo t ,

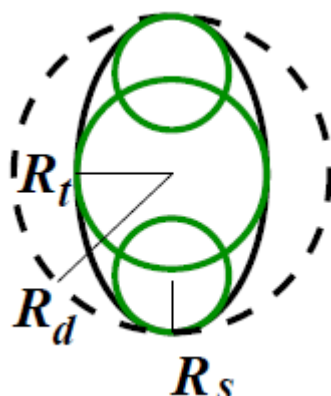
$\mathbf{f}_i(t)$ è la forza esercitata sull'agente i dall'ambiente circostante,

m_i è la massa,

$\boldsymbol{\xi}_i(t)$ è una piccola forza fluttuante random.

La forza i che agisce sull'agente ha varie componenti che sommano le interazioni tra agente-agente, le interazioni tra agente-ostacoli e le interazioni tra agente-condizioni ambientali (come ad esempio la repulsione al fuoco).

L'ingombro del corpo di ciascun agente è invece modellato da tre cerchi che approssimano in forma ellittica l'ingombro delle spalle della persona come nella figura sottostante:



La tabella successiva riporta le dimensioni del corpo e le velocità in assenza di impedimenti utilizzate in FDS+EVAC:

Body type	R_d (m)	R_t/R_d (-)	R_s/R_d (-)	d_s/R_d (-)	Speed (m/s)
Adult	0.255 ± 0.035	0.5882	0.3725	0.6275	1.25 ± 0.30
Male	0.270 ± 0.020	0.5926	0.3704	0.6296	1.35 ± 0.20
Female	0.240 ± 0.020	0.5833	0.3750	0.6250	1.15 ± 0.20
Child	0.210 ± 0.015	0.5714	0.3333	0.6667	0.90 ± 0.30
Elderly	0.250 ± 0.020	0.6000	0.3600	0.6400	0.80 ± 0.30

Nel modello FDS+EVAC gli agenti sono guidati verso le uscite da un campo vettoriale velocità che determina le direzioni preferenziali di cammino. Tale campo vettoriale è ottenuto dalla soluzione di un potenziale problema di flusso di un fluido incompressibile in geometria bidimensionale attraverso precise condizioni di contorno, dove ogni ostacolo è inerte e l'uscita si comporta come un ventilatore che estrae fluido dal dominio. La selezione dell'uscita è modellata tramite una ottimizzazione del tempo necessario all'evacuazione, dove il tempo stimato di evacuazione è dato dalla somma del tempo di cammino e del tempo di attesa in coda. A parte l'ubicazione delle uscite e le azioni degli altri agenti ci sono altri fattori che influenzano il processo decisionale di un agente, che possono essere relazionate all'incendio, alla familiarità dell'agente stesso con l'uscita e alla visibilità dell'uscita stessa.

Lo scenario analizzato simula l'esodo dei passeggeri a seguito di un evento di incendio generato da un treno passeggeri fermo in un tratto della Interconnessione di Voltri di 700m.

La posizione del treno è centrale rispetto la posizione dei bypass di collegamento tra le canne.

Le porte/uscite sono caratterizzate nel modo seguente:

Uscita/porta n.	Descrizione	Ampiezza	Posizionamento	Familiarità
1	Uscita: porta d'ingresso bypass 1	140cm	X=100m	Si
2	Uscita: porta d'ingresso bypass 2	140cm	X=600m	Si

La banchina pedonabile di emergenza presente sui lati interni delle due canne è ampia 200cm.

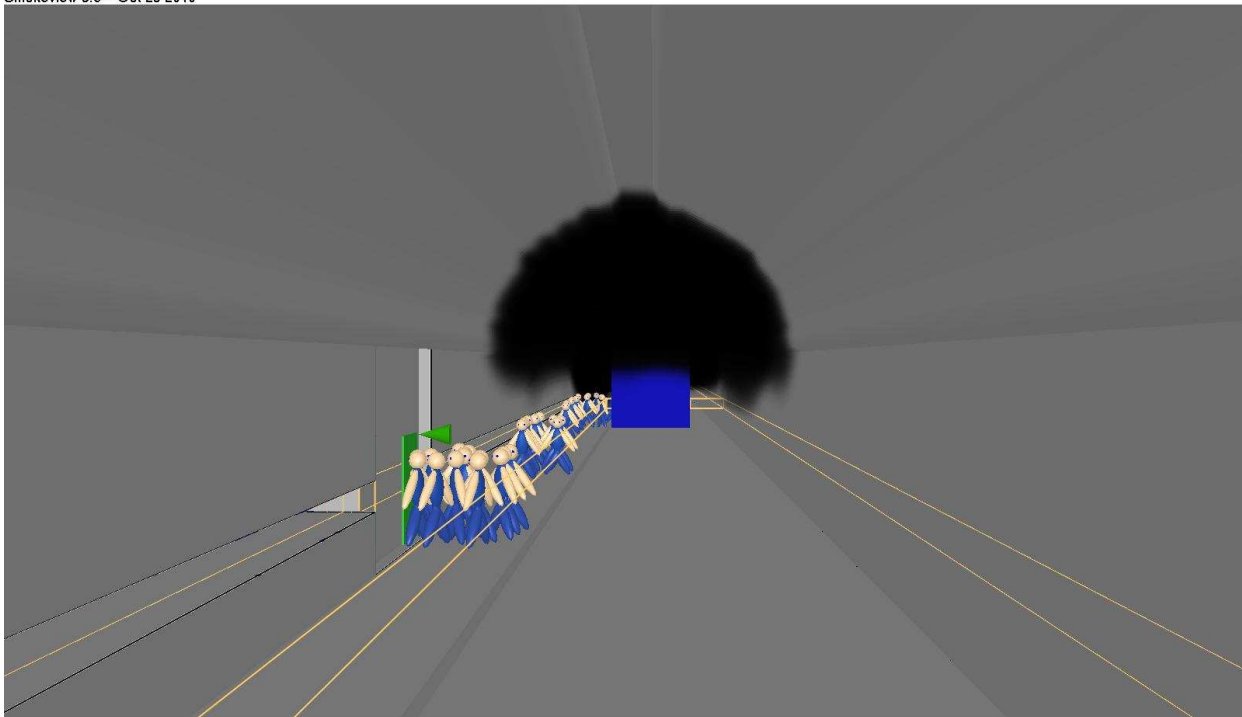
Gli agenti presenti nel treno sono n.500, in numero cautelativo rispetto ai 420 previsti dalle "Linee Guida per l'applicazione dell'analisi del rischio estesa alle gallerie ferroviarie" del 08/02/2011, e sono così suddivisi:

- n.200 adulti di sesso maschile;
- n.200 adulti di sesso femminile;
- n.50 anziani;
- n.50 bambini.

Il tempo di reazione iniziale di ciascun agente è stato ipotizzato al tempo di 60s.

Seguono alcune immagini esemplificative del modello realizzato.

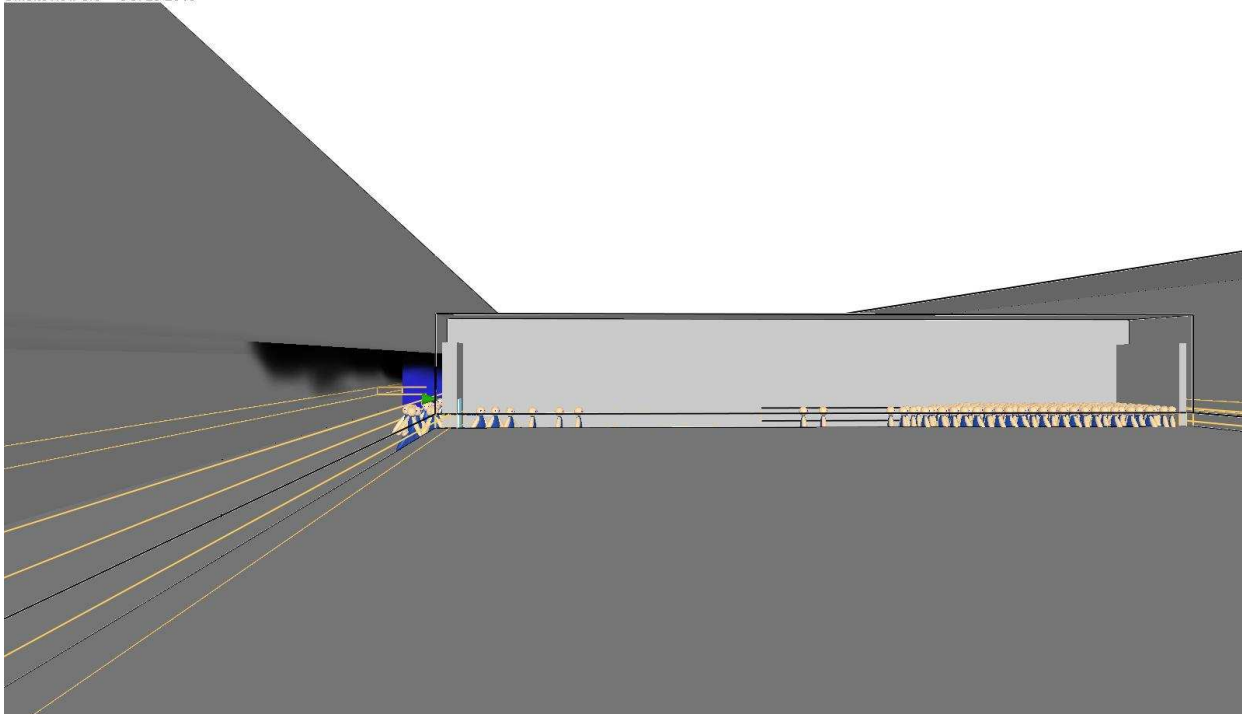
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



mesh: 1

Frame: 711
0:05:55.0

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



mesh: 1

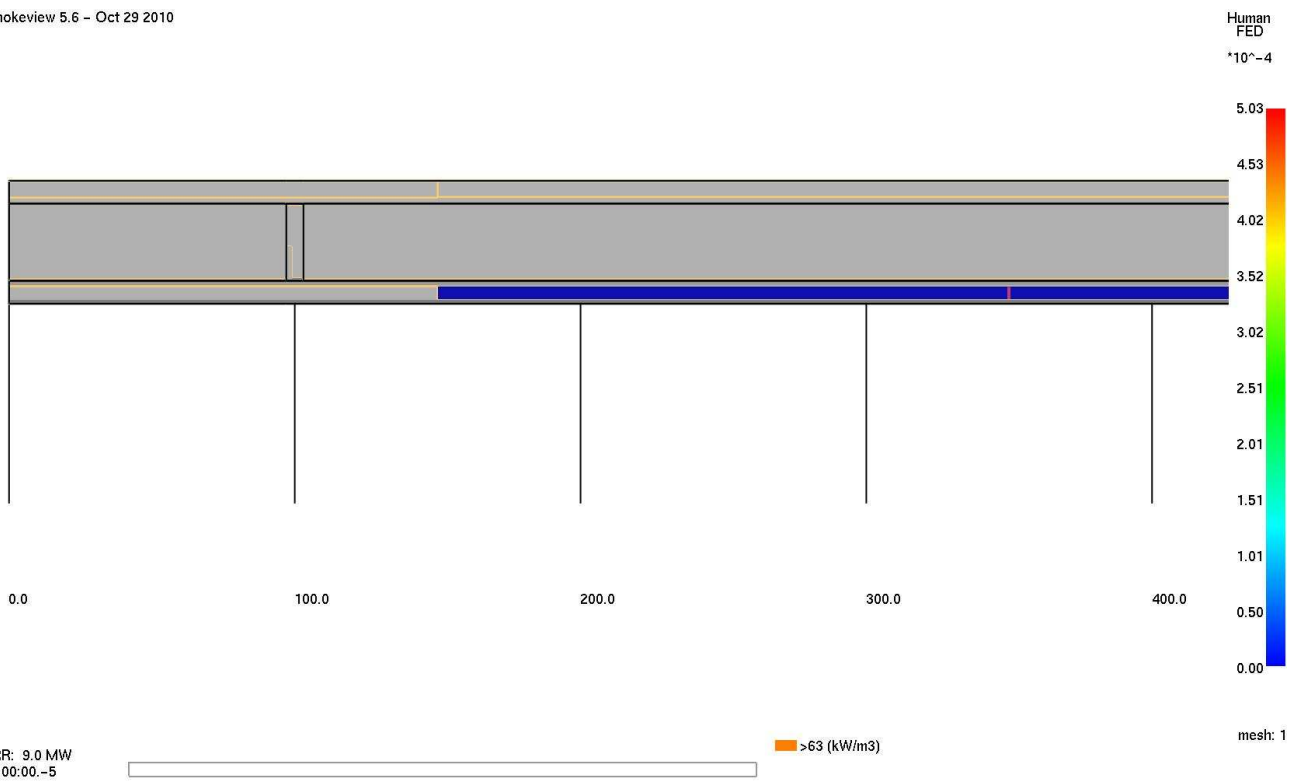
Frame: 729
0:06:04.0

4. Risultati della simulazione d'incendio e d'esodo

Le simulazioni effettuate mostrano il dettaglio dell'evoluzione del flusso del pericolo per i primi 10 minuti dall'inizio dell'evento, con scansione temporale pari a intervalli di 30s per i primi 2 minuti ed intervalli di 1min per i successivi 6 min.

Le successive figure mostrano in pianta la propagazione dei fumi e l'esodo dei passeggeri in una porzione di galleria significativa di 400m, in quanto l'altra metà della simulazione riporta pressoché risultati speculari.

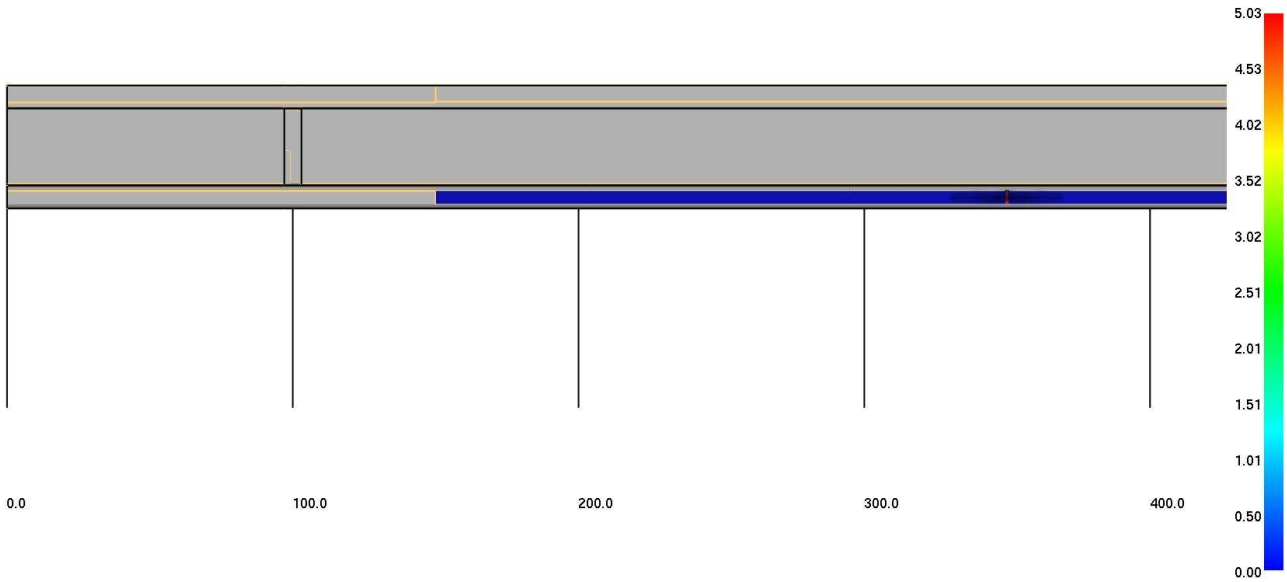
Smokeyview 5.6 - Oct 29 2010





Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



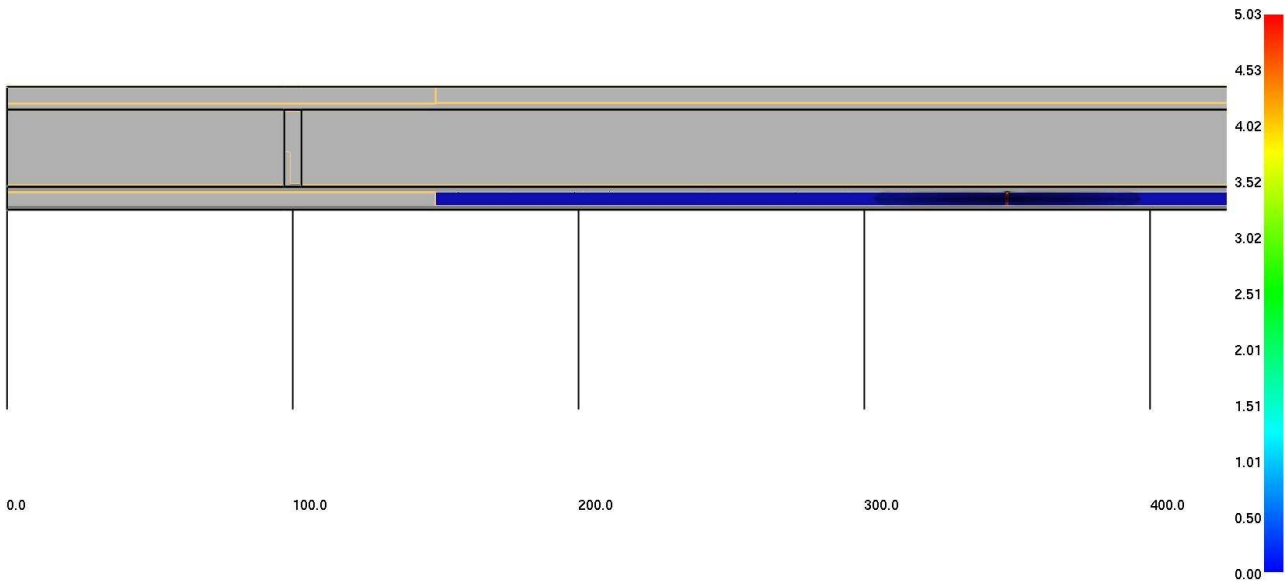
HRR: 431.5 kW
0:00:29.5

>63 (kW/m3)

mesh: 1

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



HRR: 976.1 kW
0:00:59.5

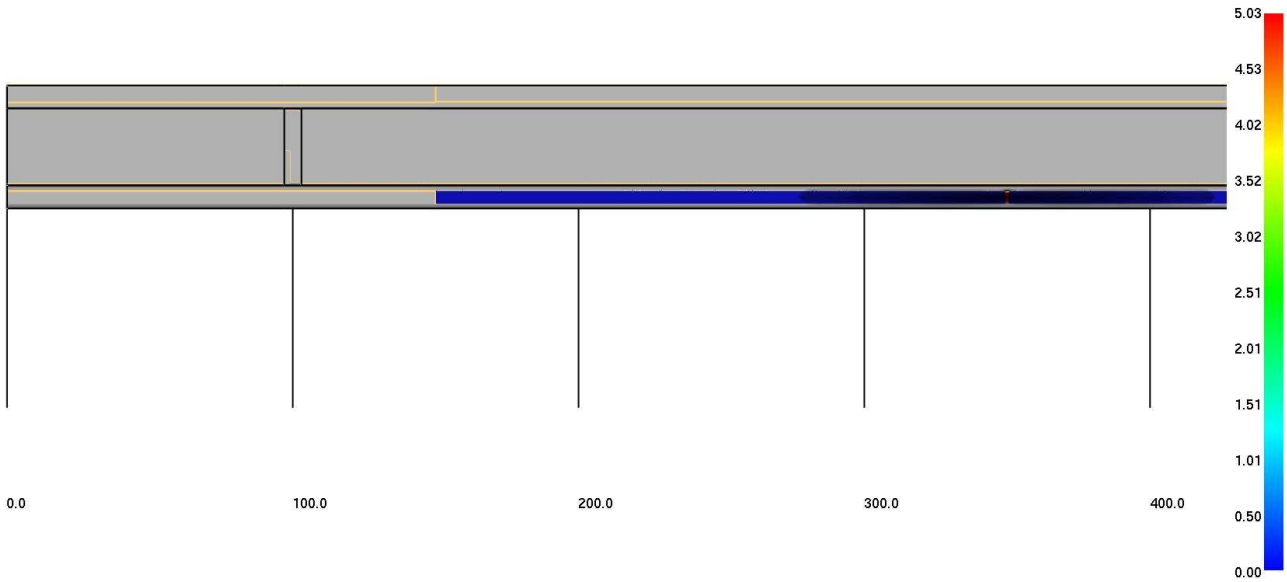
>63 (kW/m3)

mesh: 1



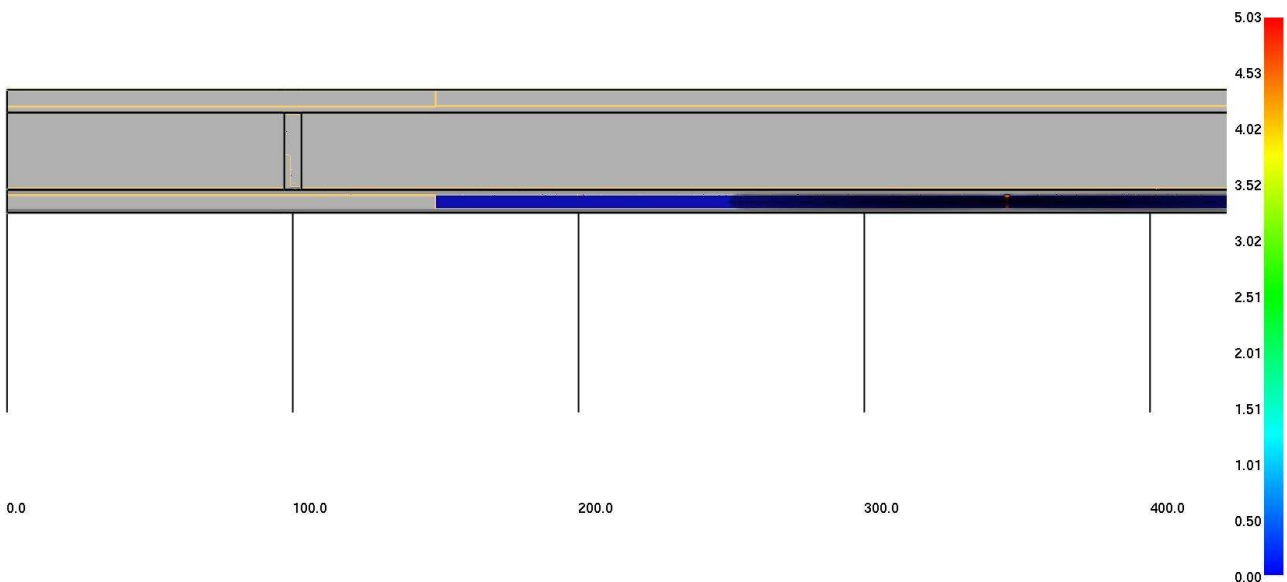
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

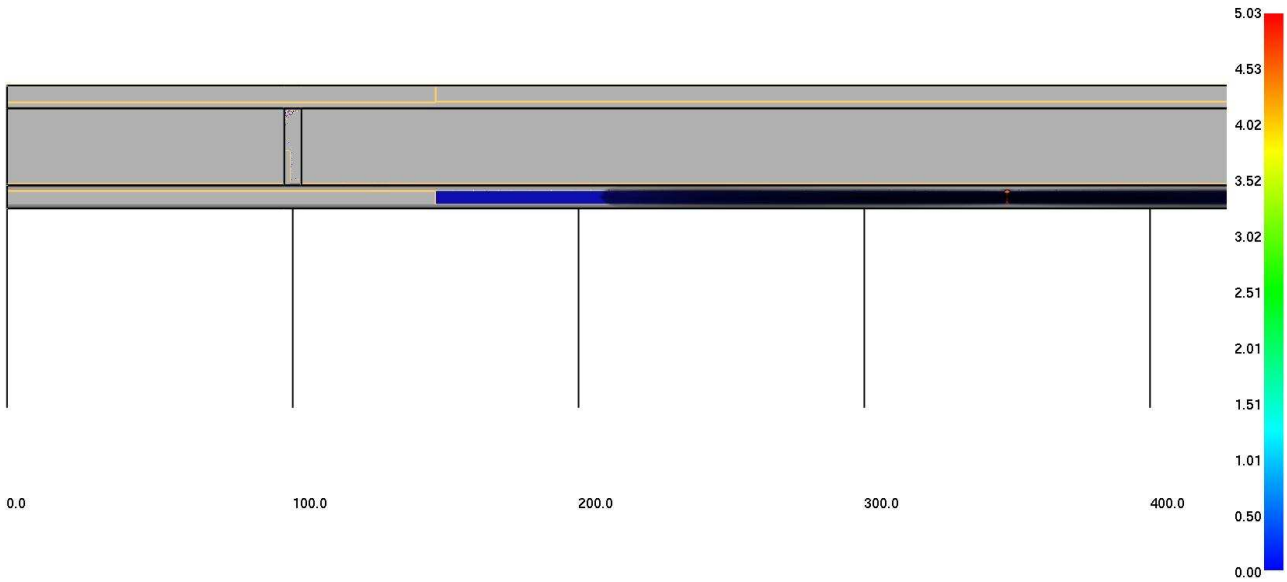
Human
FED
*10^-4





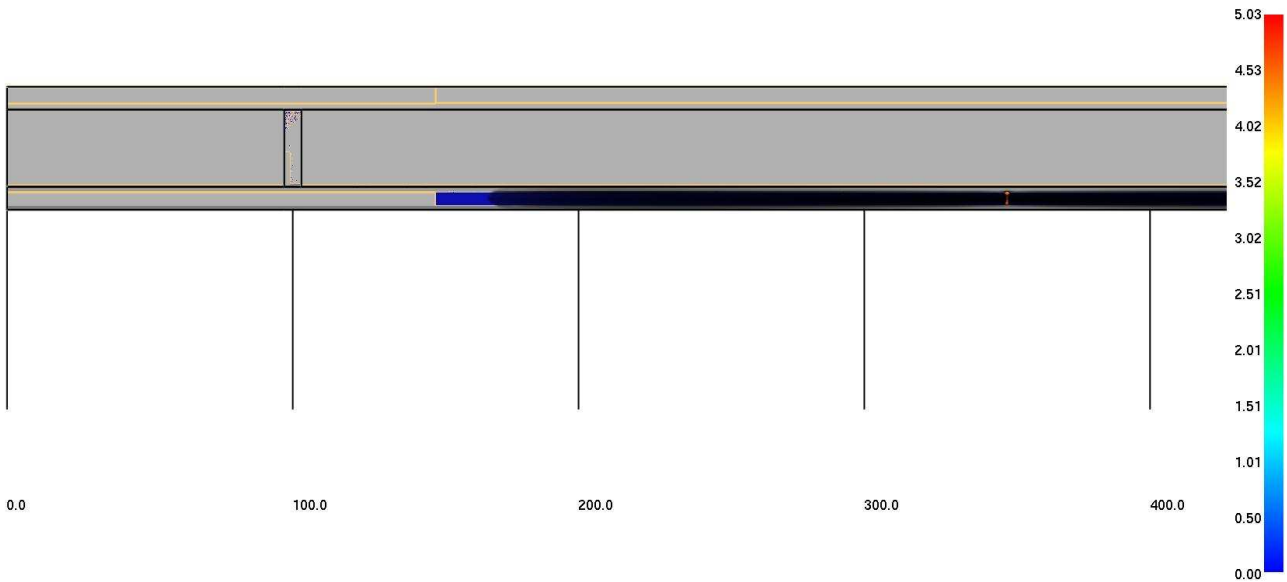
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

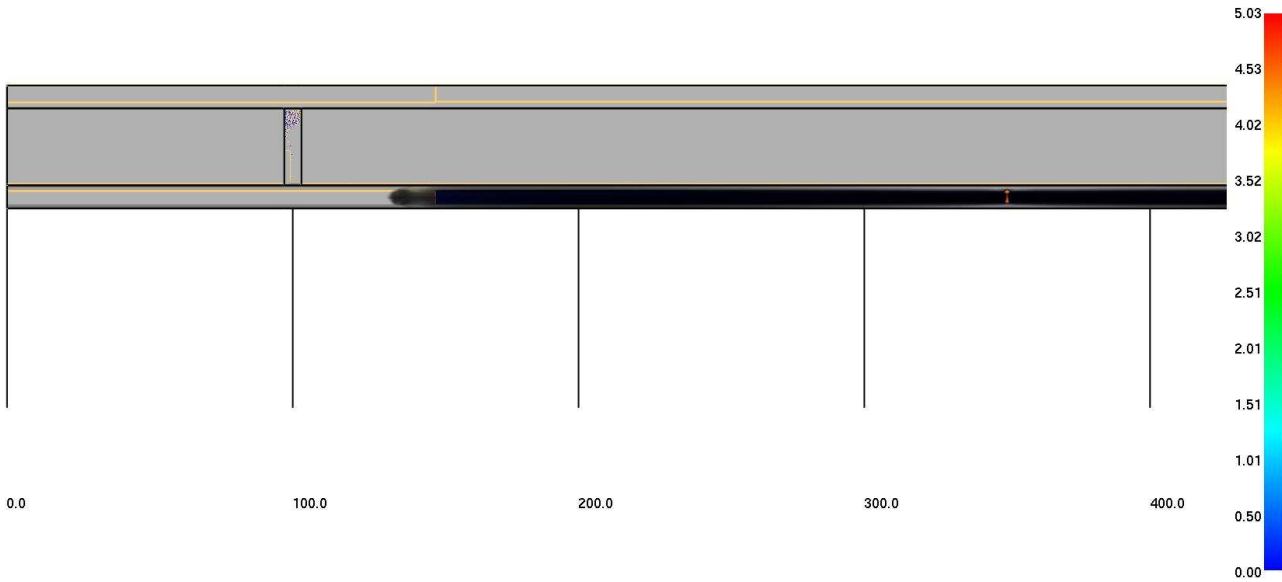
Human
FED
*10^-4





Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



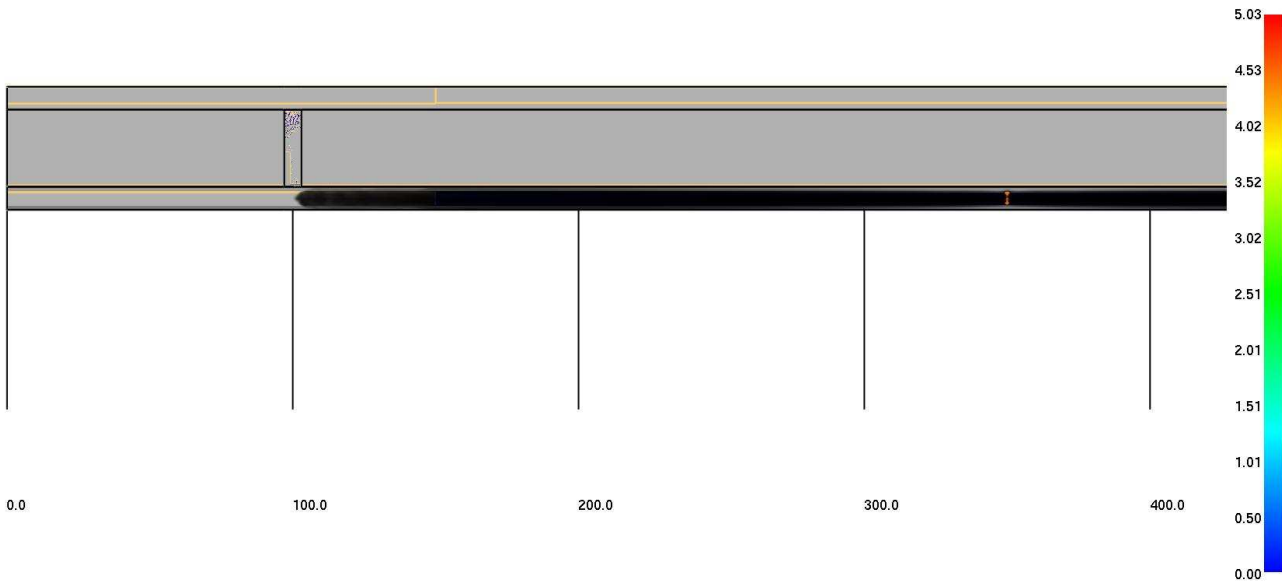
HRR: 4.9 MW
0:04:59.5

>63 (kW/m3)

mesh: 1

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



HRR: 5.7 MW
0:05:59.5

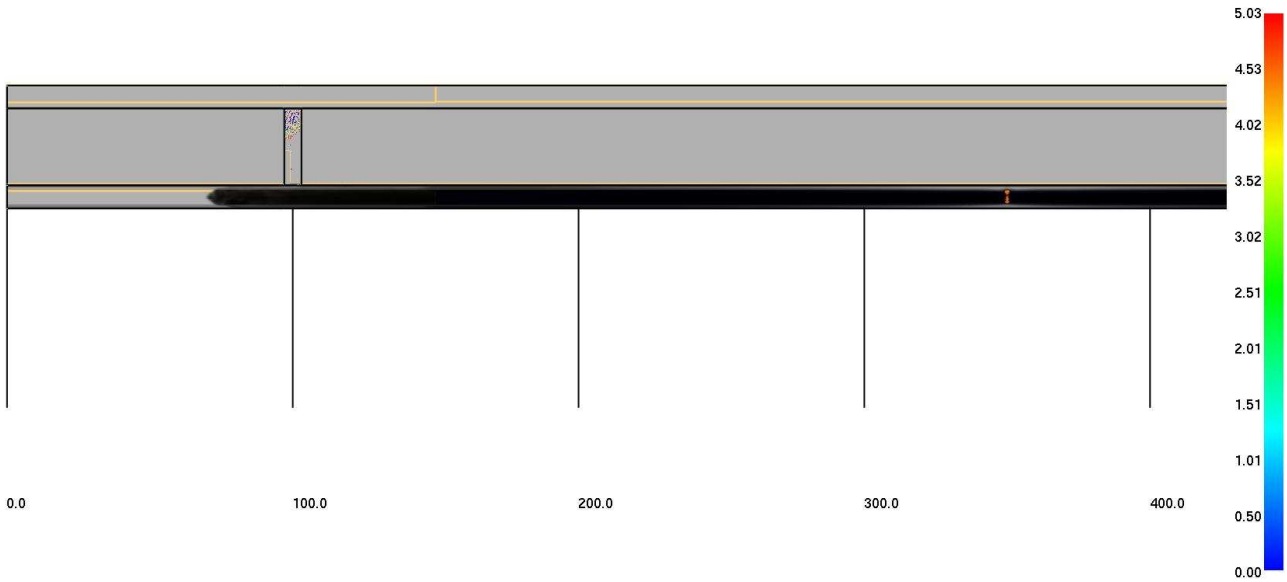
>63 (kW/m3)

mesh: 1



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



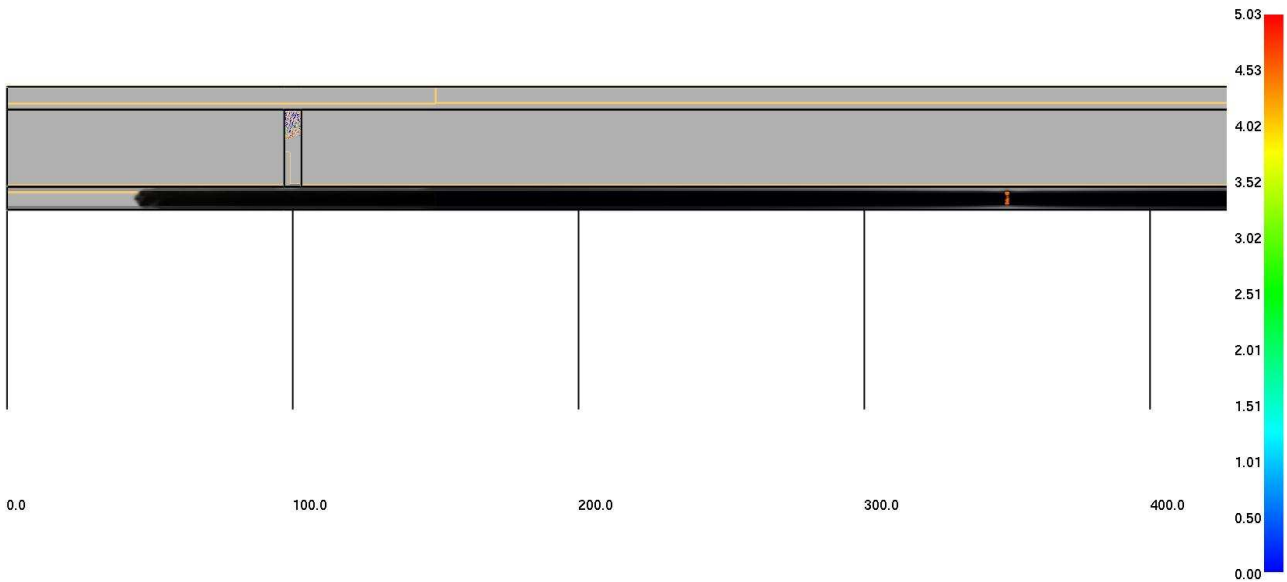
HRR: 6.5 MW
0:06:59.5

>63 (kW/m3)

mesh: 1

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



HRR: 7.1 MW
0:07:59.5

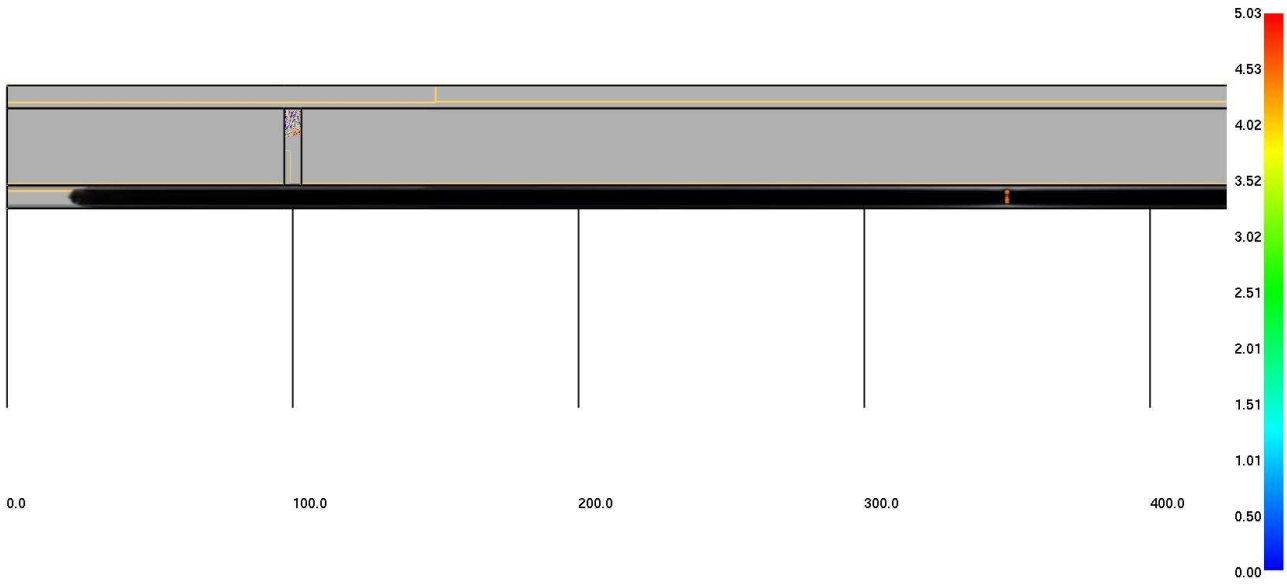
>63 (kW/m3)

mesh: 1



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



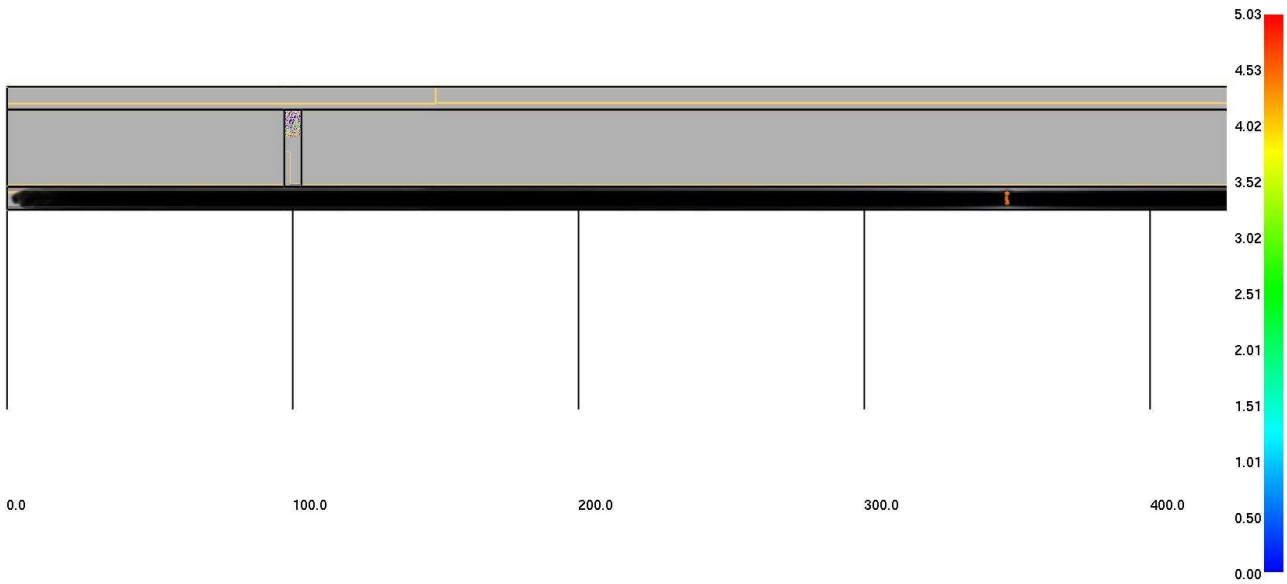
HRR: 7.7 MW
0:08:59.5

>63 (kW/m3)

mesh: 1

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



HRR: 8.2 MW
0:09:59.5

>63 (kW/m3)

mesh: 1

Le simulazioni effettuate mostrano il dettaglio dell'evoluzione del flusso del pericolo per i primi 10 minuti dall'inizio dell'evento, con scansione temporale pari a intervalli di 30s per i primi 2 minuti ed intervalli di 1min per i successivi 6 min.

Le successive figure mostrano in prospettiva la propagazione dei fumi e l'esodo dei passeggeri in una porzione di galleria significativa di 400m, in quanto l'altra metà della simulazione riporta pressoché risultati speculari. Gli ostacoli sono nascosti per agevolare la lettura dei risultati stessi.

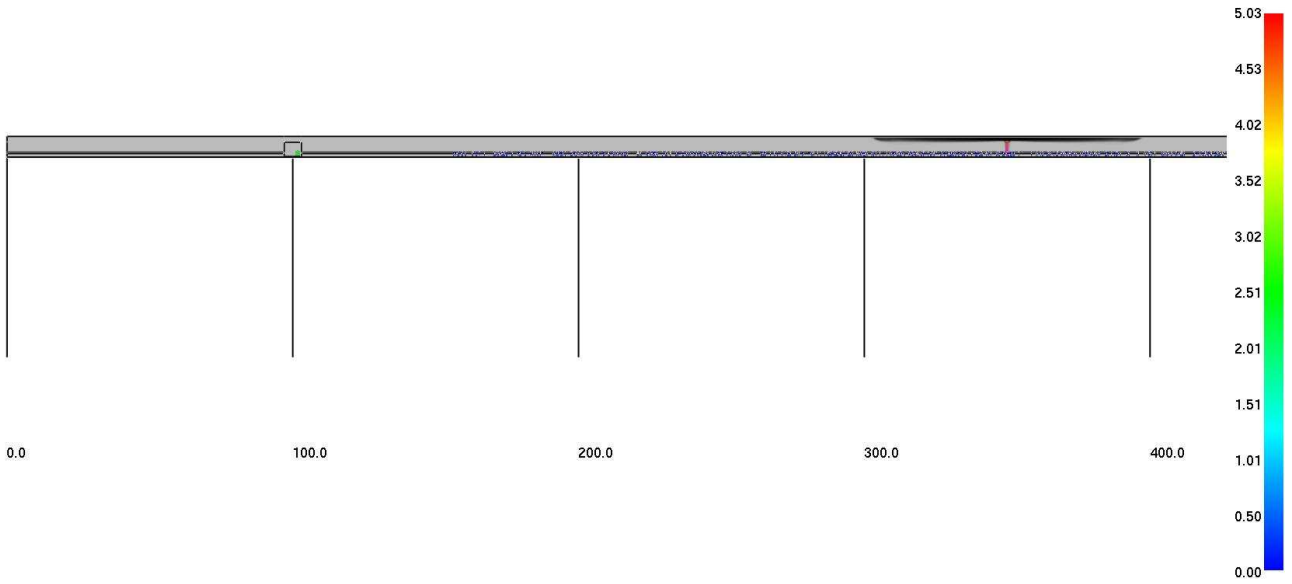
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010





Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



HRR: 976.1 kW
0:00:59.5

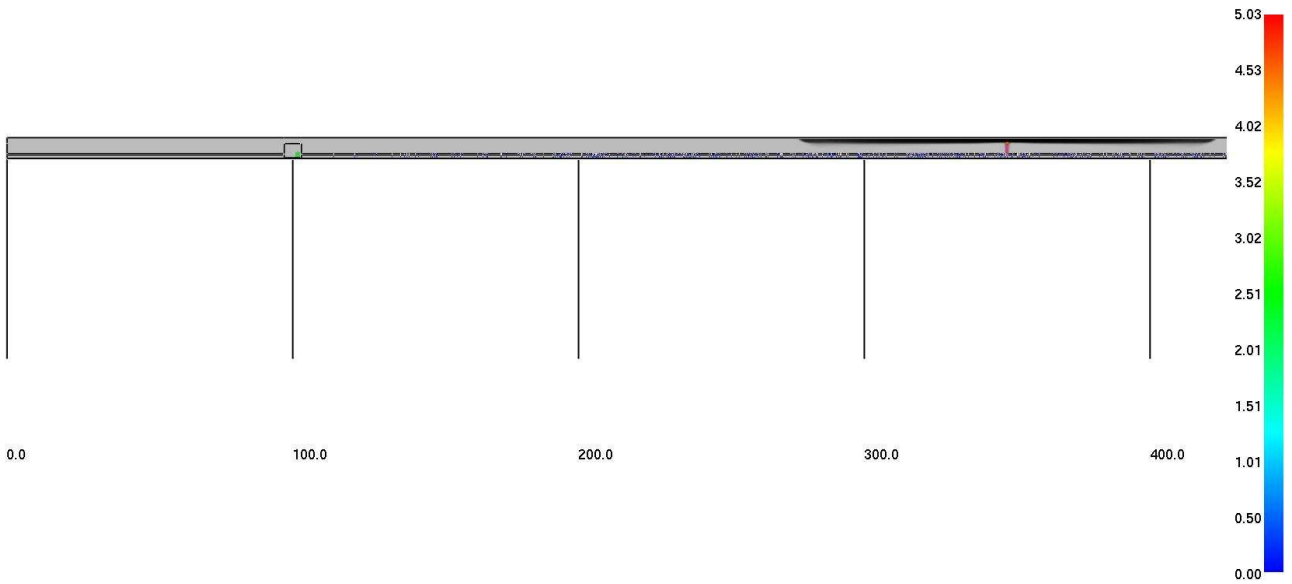


>63 (kW/m3)

mesh: 1

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



HRR: 1.5 MW
0:01:29.5



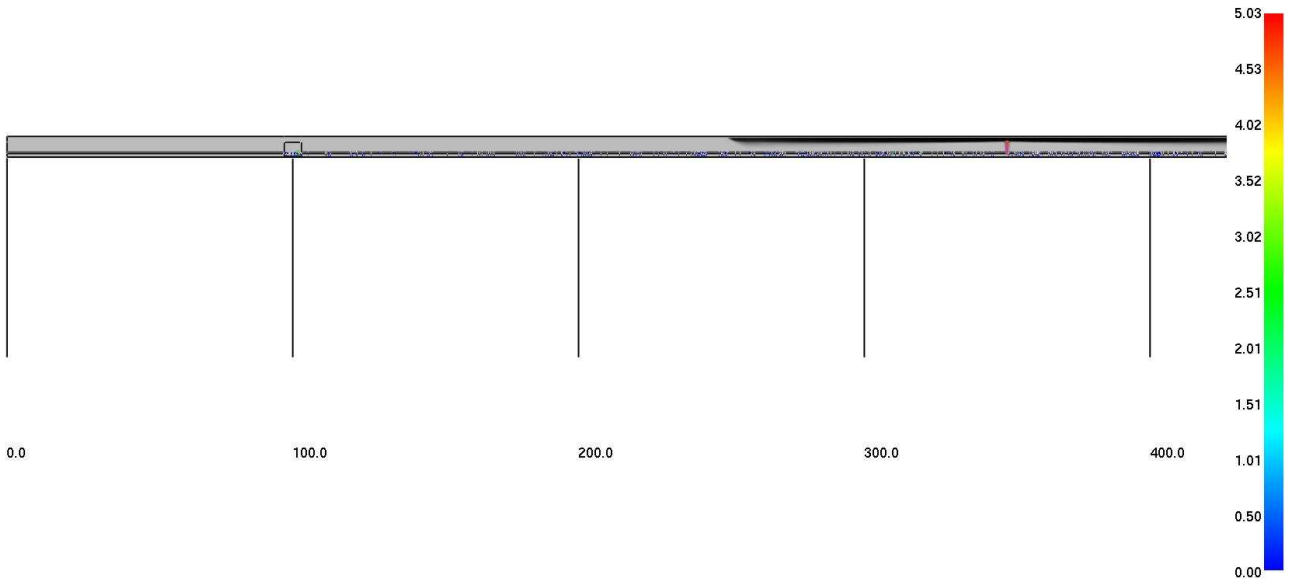
>63 (kW/m3)

mesh: 1



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



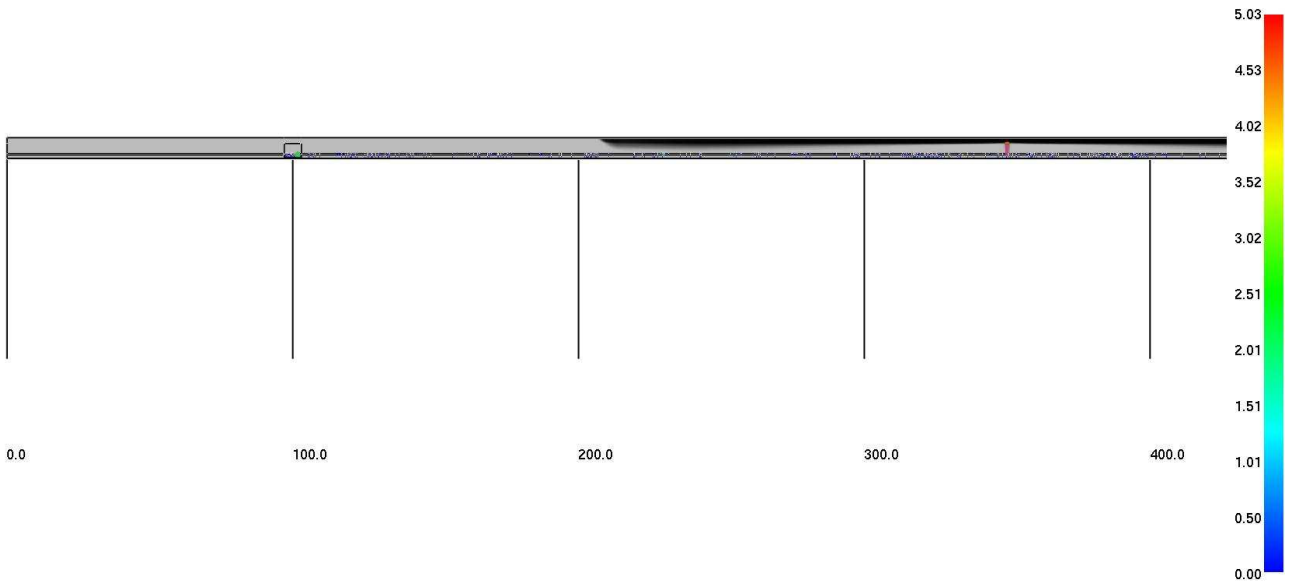
HRR: 2.0 MW
0:01:59.5

>63 (kW/m3)

mesh: 1

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



HRR: 3.0 MW
0:02:59.5

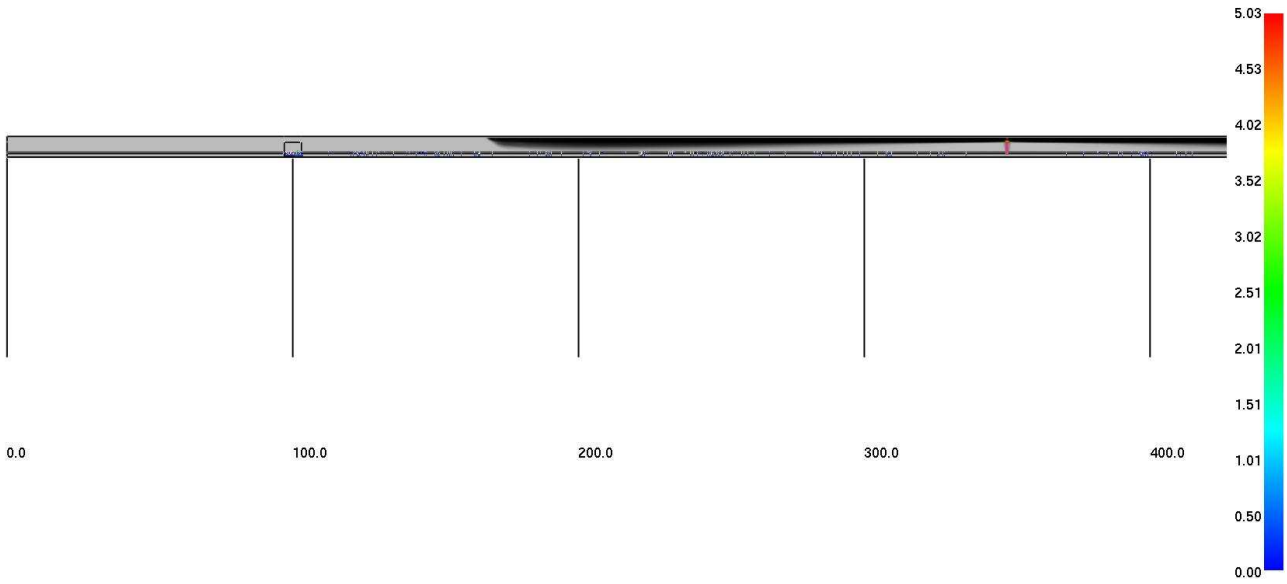
>63 (kW/m3)

mesh: 1



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



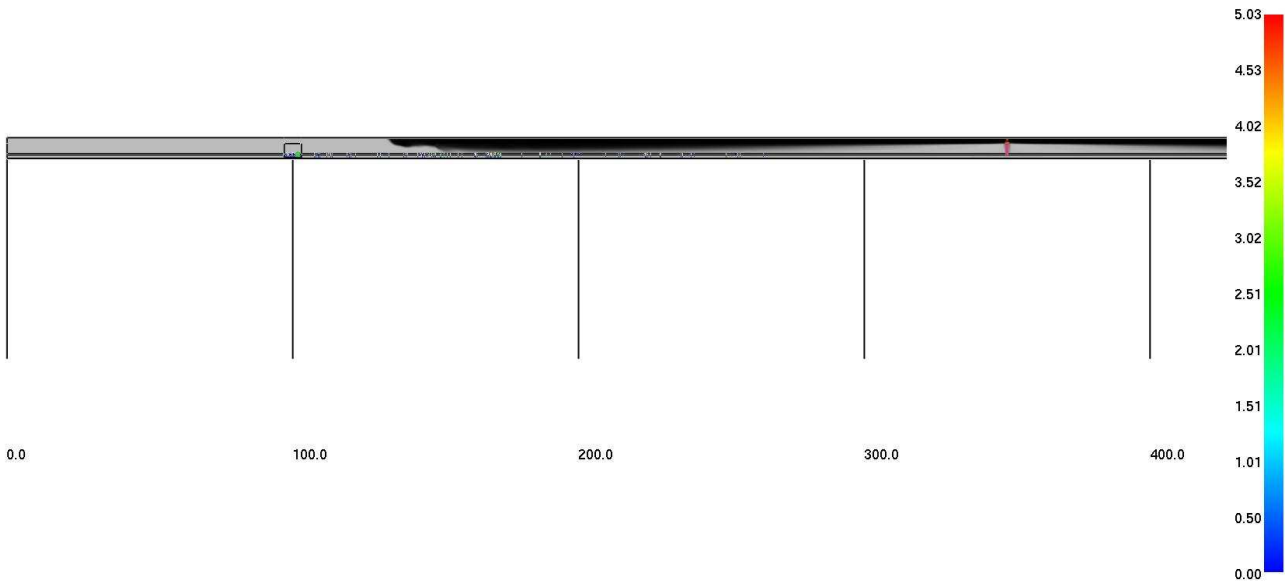
HRR: 4.0 MW
0:03:59.5

>63 (kW/m3)

mesh: 1

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



HRR: 4.9 MW
0:04:59.5

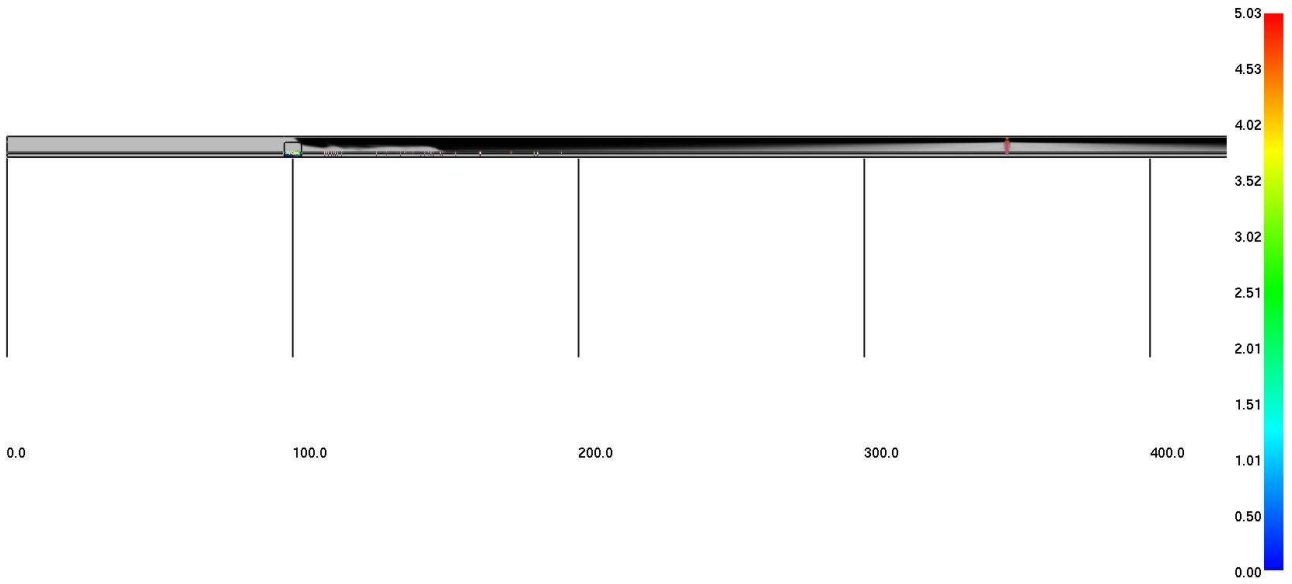
>63 (kW/m3)

mesh: 1



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



HRR: 5.7 MW
0:05:59.5

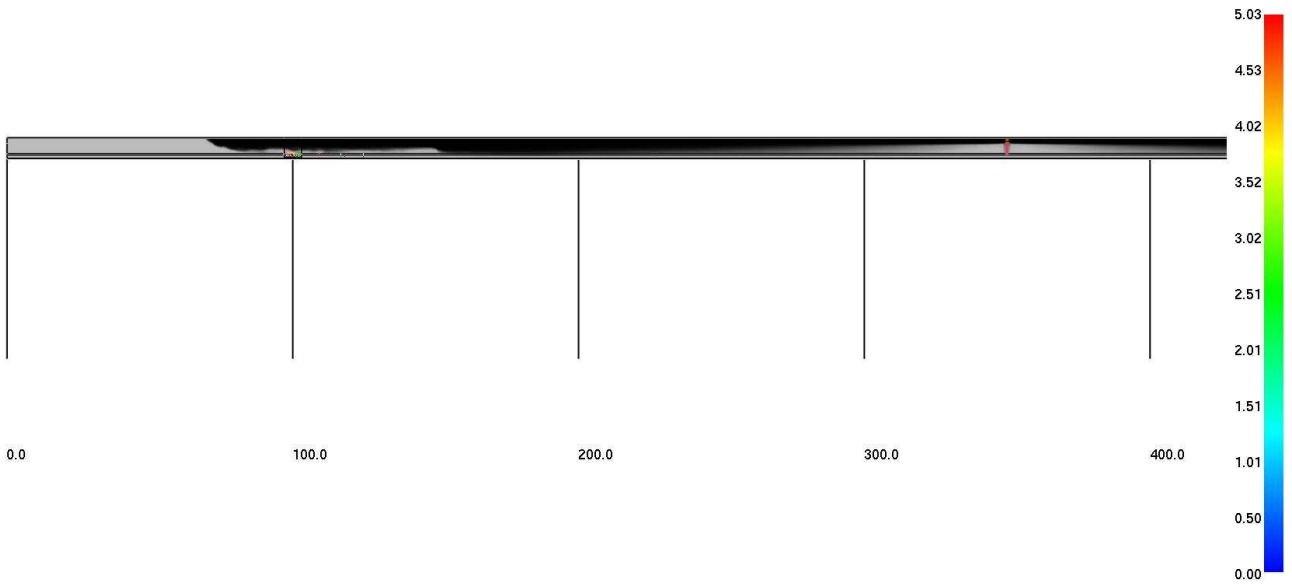


>63 (kW/m3)

mesh: 1

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



HRR: 6.5 MW
0:06:59.5



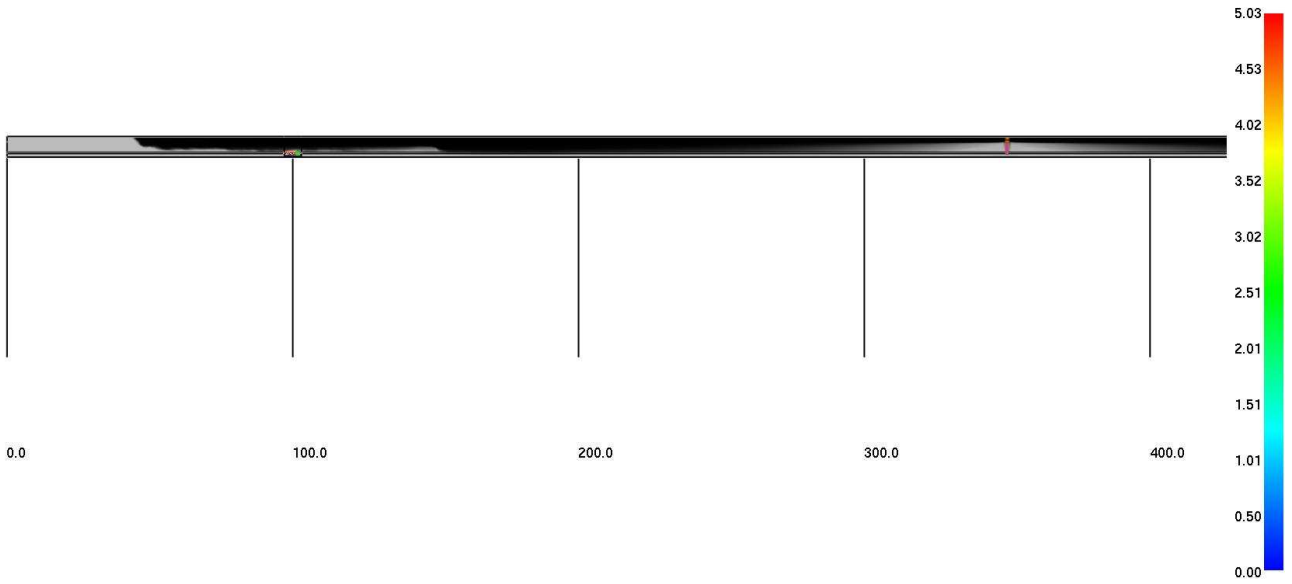
>63 (kW/m3)

mesh: 1



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4



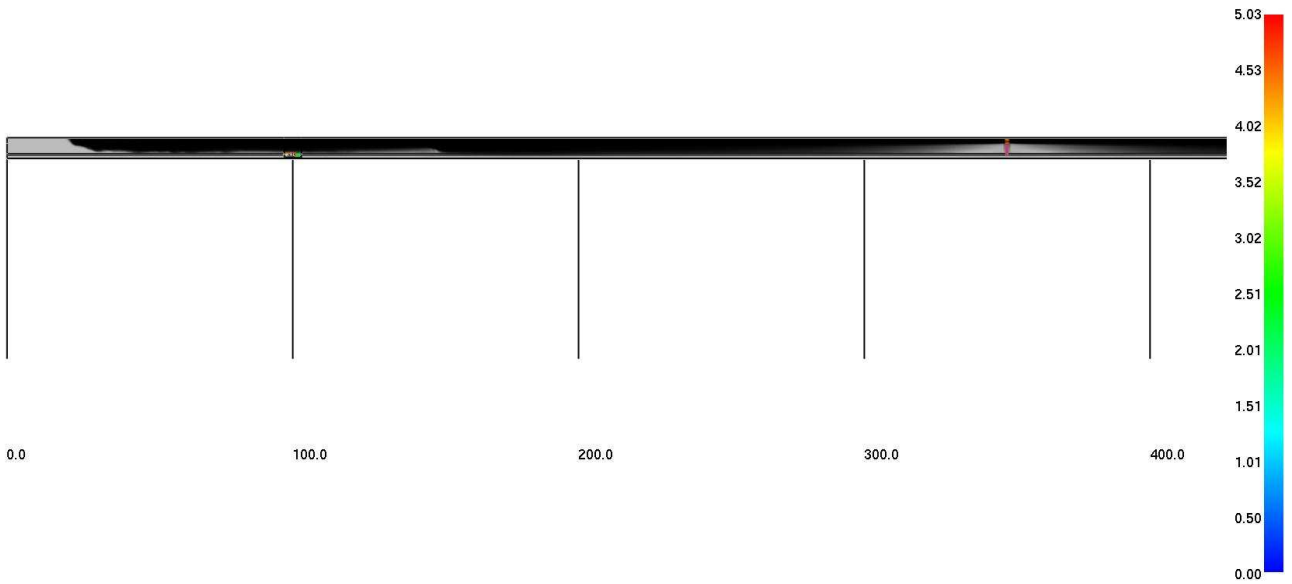
HRR: 7.1 MW
0:07:59.5

>63 (kW/m3)

mesh: 1

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human
FED
*10^-4

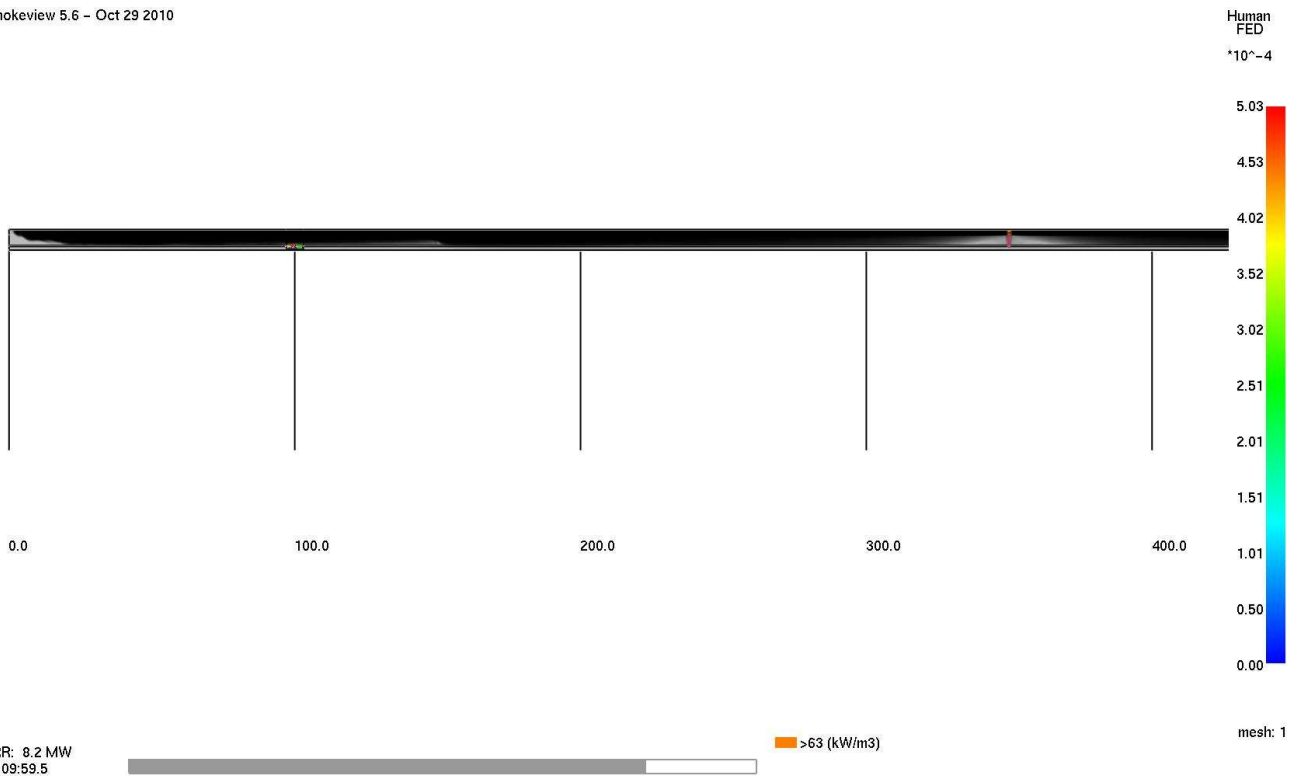


HRR: 7.7 MW
0:08:59.5

>63 (kW/m3)

mesh: 1

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



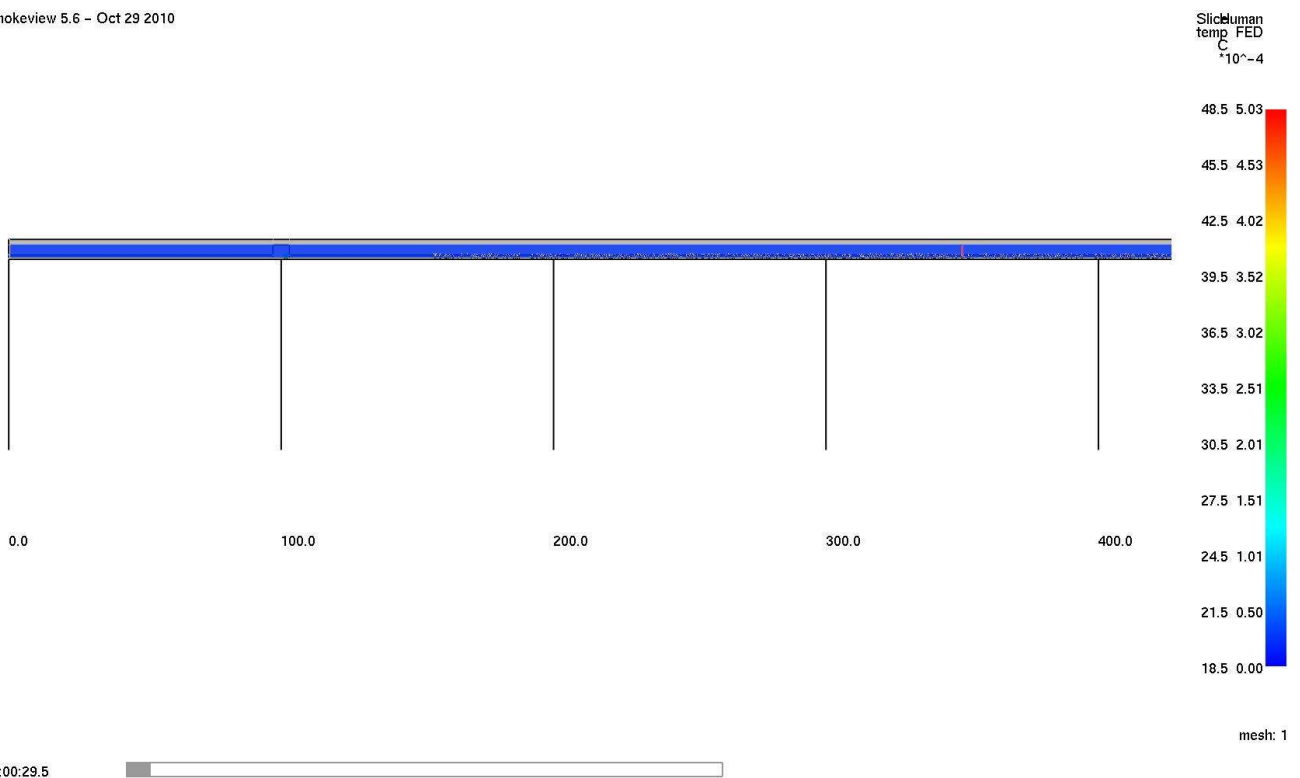
Dalle figure precedenti si evince che il tempo totale necessario affinché tutti i passeggeri raggiungano le uscite di emergenza è pari a un tempo complessivo di 7 minuti e 10 secondi e che la stratificazione dei fumi nella parte alta della galleria, nonché la velocità di avanzamento del fronte, consentono un mantenimento di condizioni tollerabili ai fini dell'esodo dei passeggeri.

La FED (Fractional Effective Dose), ovvero la dose frazionaria efficace necessaria a portare un organismo umano all'inabilitazione, assume un valore massimo di $5,3 \times 10^{-4}$ a fronte di un valore massimo di riferimento di 0,3.

Le simulazioni effettuate mostrano il dettaglio dell'evoluzione del flusso del pericolo per i primi 10 minuti dall'inizio dell'evento, con scansione temporale pari a intervalli di 30s per i primi 2 minuti ed intervalli di 1min per i successivi 6 min.

Le successive figure mostrano in prospetto la mappa di concentrazione di temperatura sul piano $y=7m$ in corrispondenza della banchina e l'esodo dei passeggeri in una porzione di galleria significativa di 400m, in quanto l'altra metà della simulazione riporta pressoché risultati speculari. Gli ostacoli sono nascosti per agevolare la lettura dei risultati stessi.

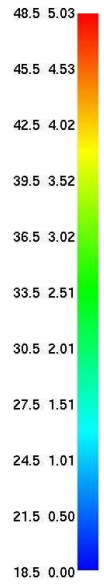
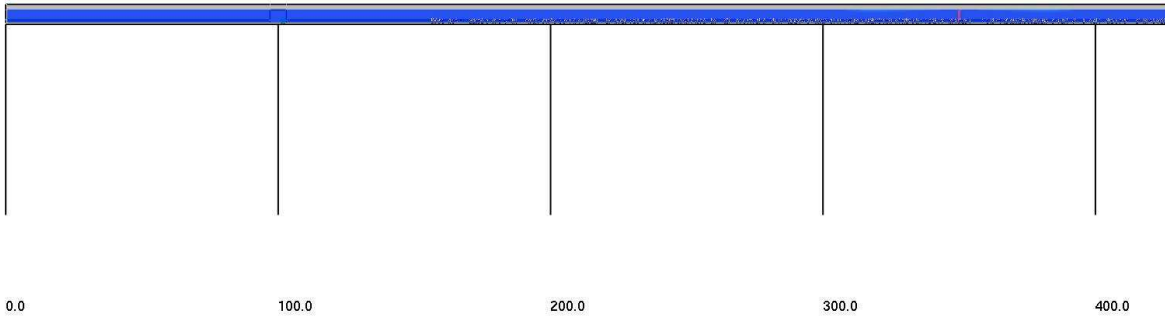
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010





Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Surface
temp
C
FED
10^-4



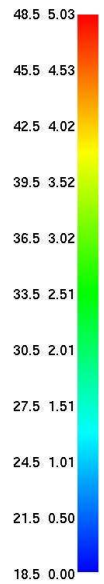
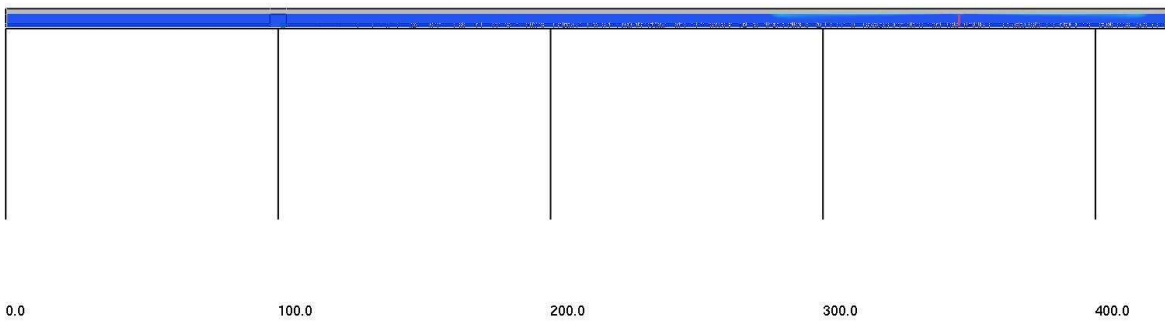
mesh: 1

0:00:59.5



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Surface
temp
C
FED
10^-4



mesh: 1

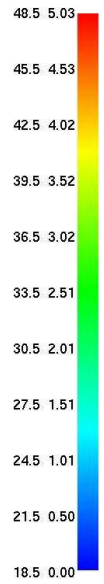
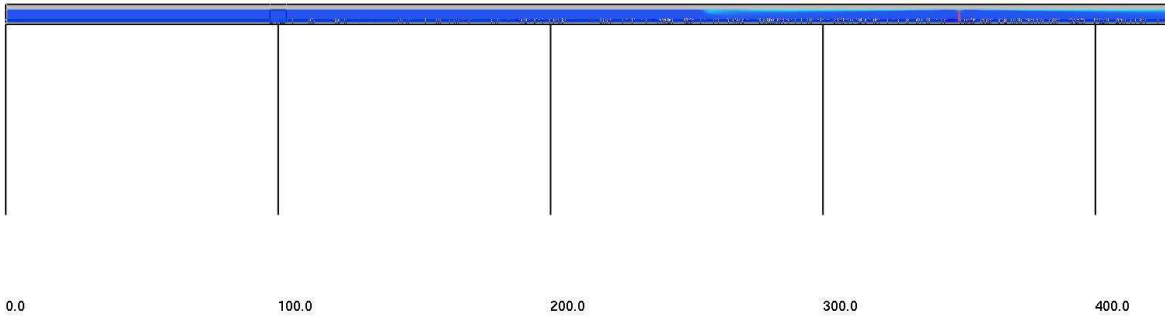
0:01:29.5





Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Slice human
temp FED
C
*10^-4



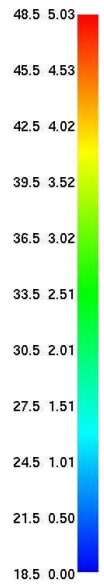
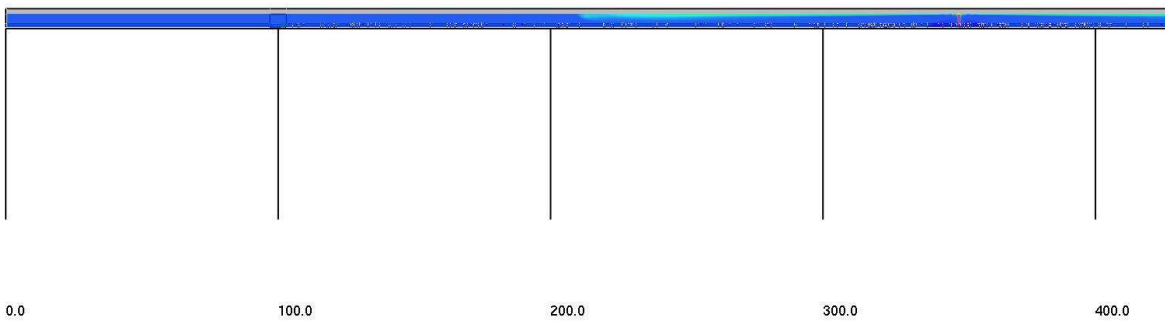
mesh: 1

0:01:59.5



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Slice human
temp FED
C
*10^-4



mesh: 1

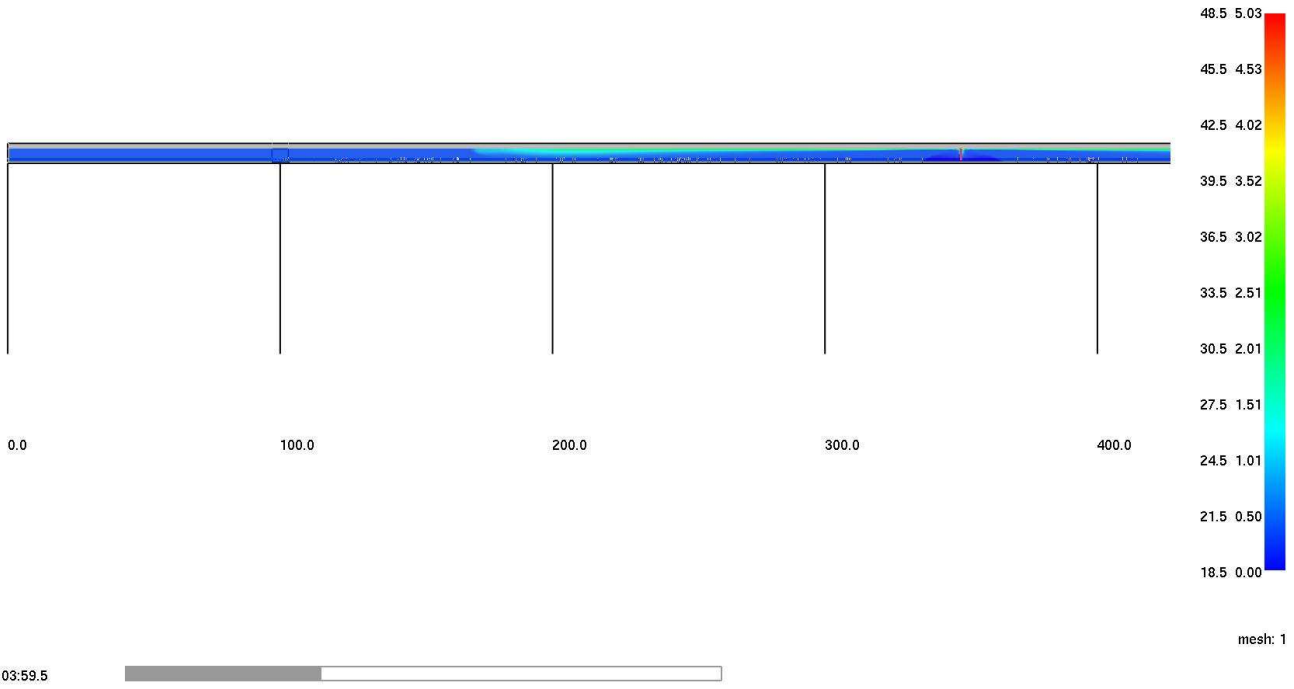
0:02:59.5





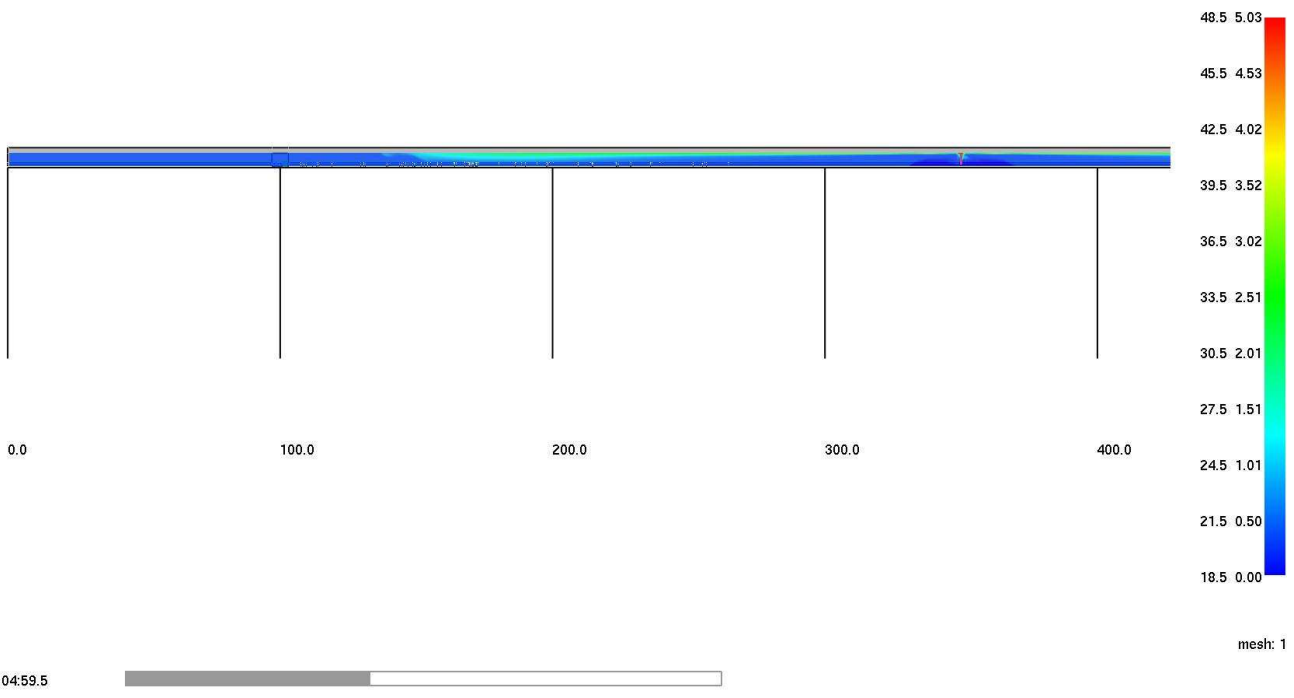
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Slideman
temp FED
C
*10^-4



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

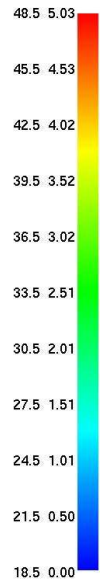
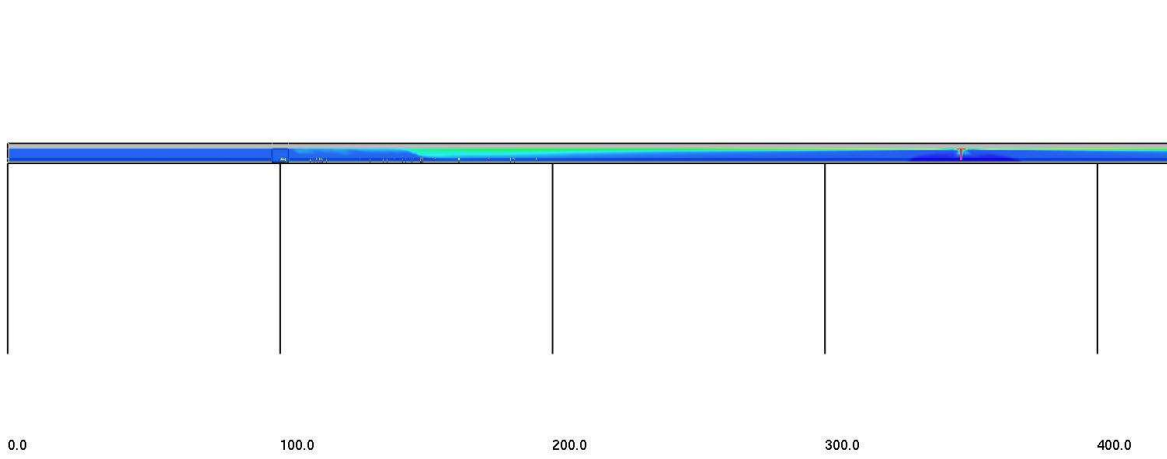
Slideman
temp FED
C
*10^-4





Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Slideman
temp FED
C
*10^-4



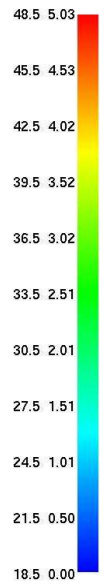
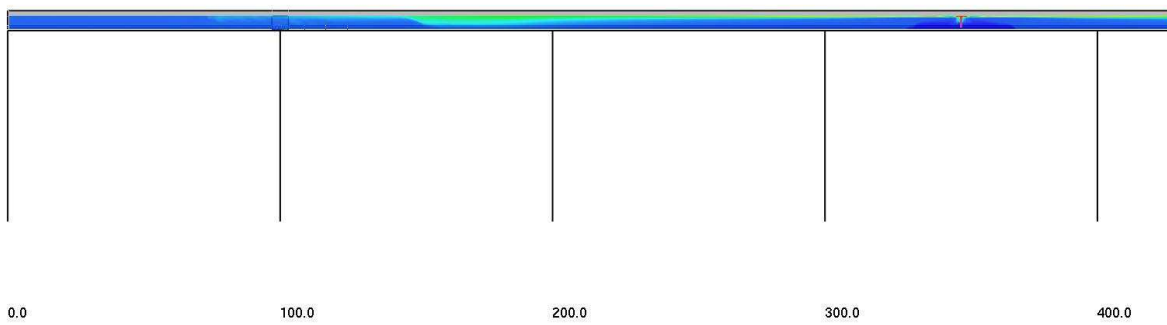
mesh: 1

0:05:59.5



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Slideman
temp FED
C
*10^-4



mesh: 1

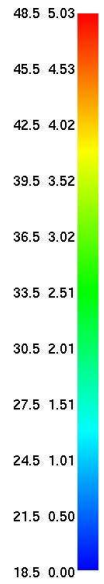
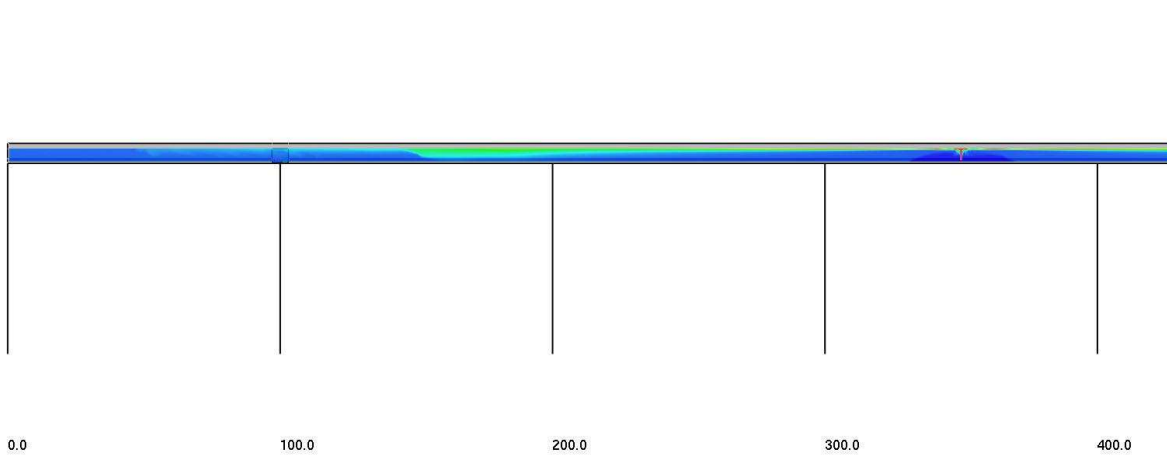
0:06:59.5





Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Slideman
temp FED
C
*10^-4

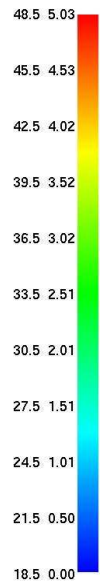
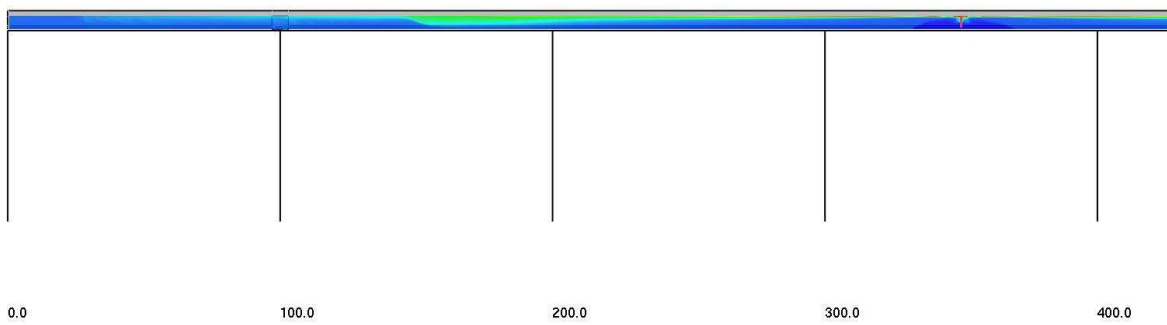


mesh: 1

0:07:59.5

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

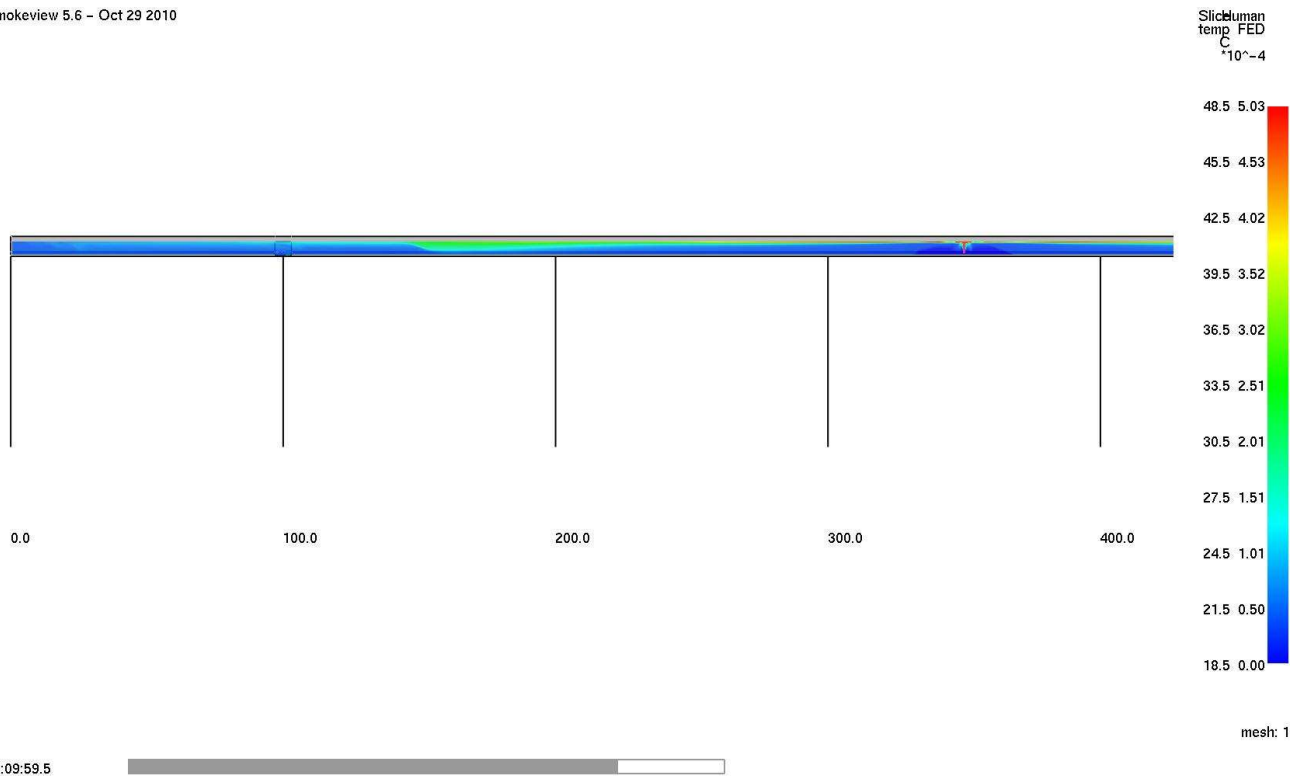
Slideman
temp FED
C
*10^-4



mesh: 1

0:08:59.5

Smokeyview 5.6 - Oct 29 2010



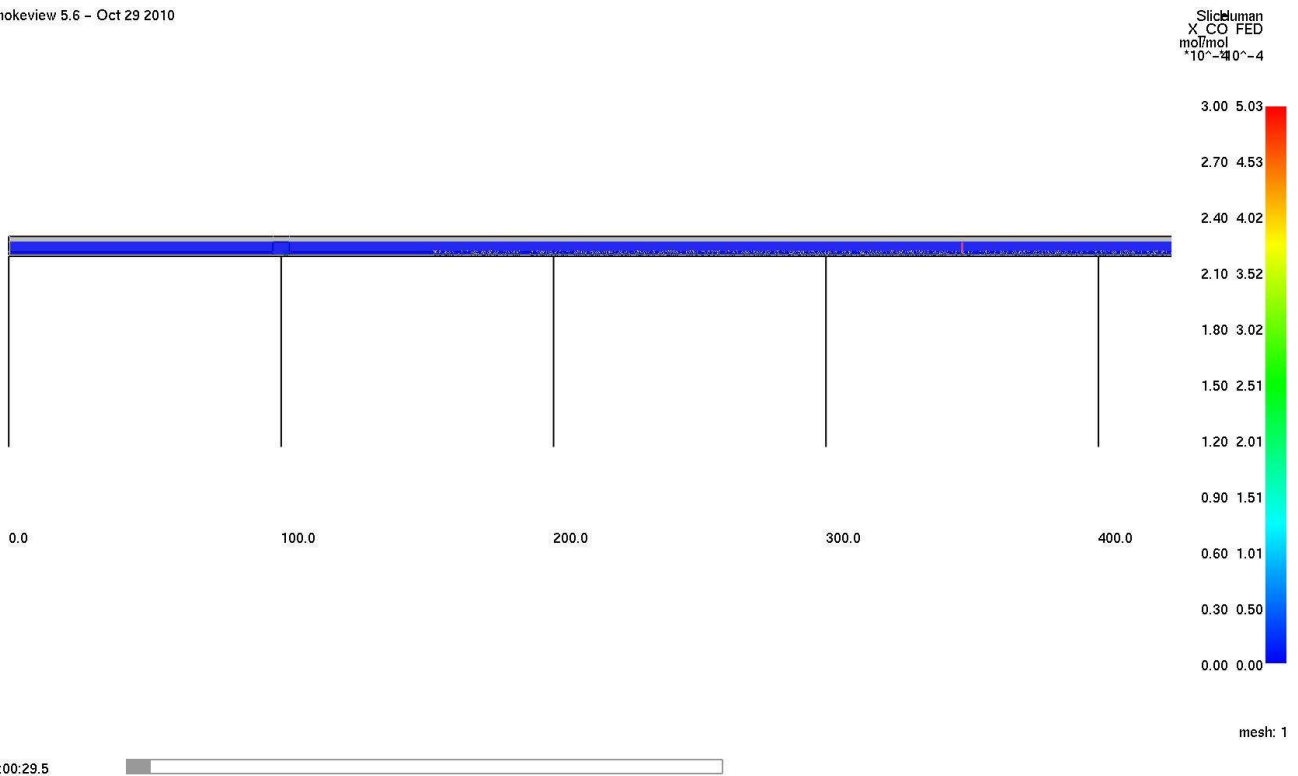
Dalle figure precedenti si evince che, dopo 10 minuti dall'inizio dell'evento di incendio (tenendo presente che il tempo totale necessario affinché tutti i passeggeri raggiungano le uscite di emergenza è pari a un tempo complessivo di 7 minuti e 10 secondi), le temperature lungo la galleria ad altezza uomo non superano i 30°C, in quanto i fu mi stratificano nella parte alta della galleria stessa.

Assumendo come criterio di valutazione un parametro indicativo di 50°C, valore secondo cui il tempo di resistenza del passeggero è assunto pari a 60 min, si evince un mantenimento di condizioni tollerabili ai fini dell'esodo dei passeggeri.

Le simulazioni effettuate mostrano il dettaglio dell'evoluzione del flusso del pericolo per i primi 10 minuti dall'inizio dell'evento, con scansione temporale pari a intervalli di 30s per i primi 2 minuti ed intervalli di 1min per i successivi 6 min.

Le successive figure mostrano in prospettiva la mappa di concentrazione di monossido di carbonio sul piano $y=7m$ in corrispondenza della banchina e l'esodo dei passeggeri in una porzione di galleria significativa di 400m, in quanto l'altra metà della simulazione riporta pressoché risultati speculari. Gli ostacoli sono nascosti per agevolare la lettura dei risultati stessi.

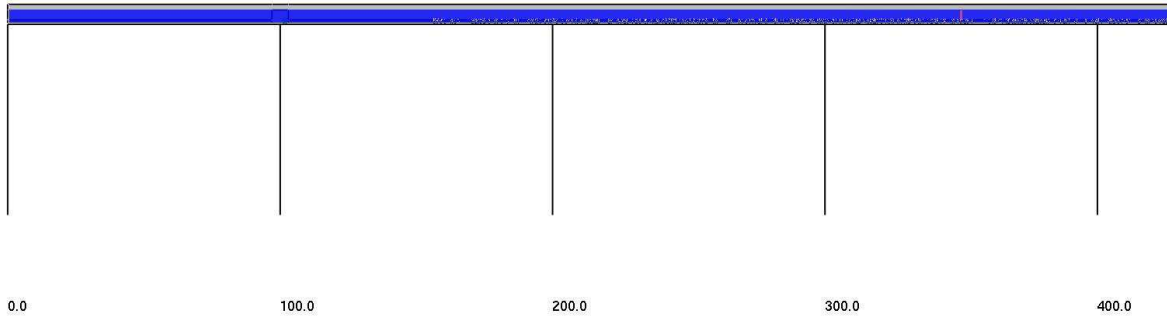
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010





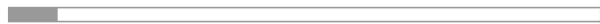
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Species
X_CO FED
mol/mol
10^-4



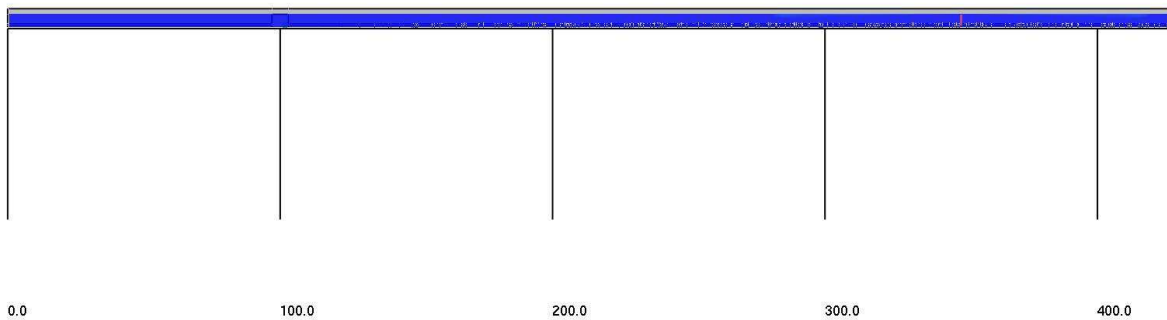
mesh: 1

0:00:59.5



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Species
X_CO FED
mol/mol
10^-4



mesh: 1

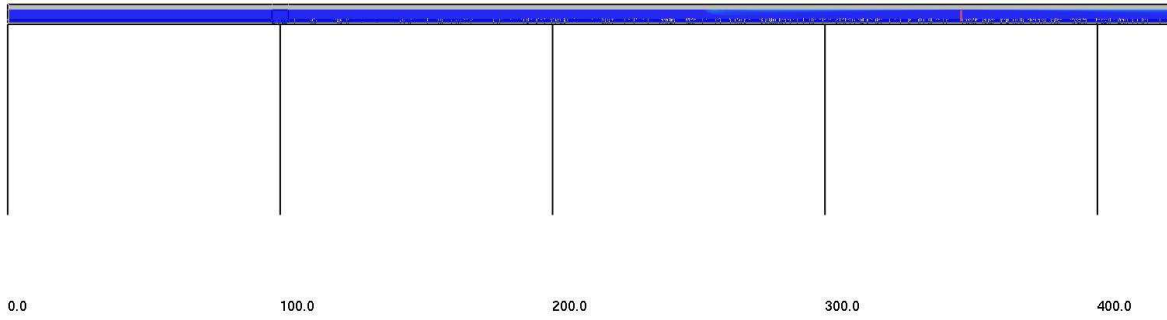
0:01:29.5





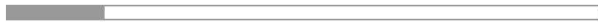
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Species
X_CO FED
mol/mol
10^-4



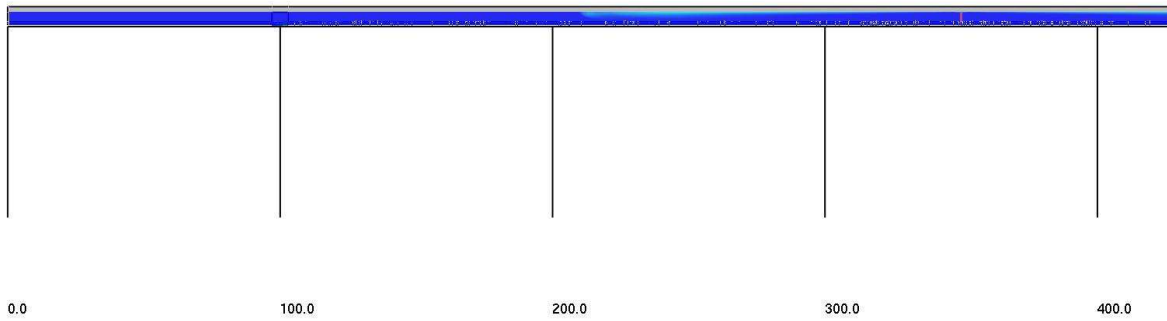
mesh: 1

0:01:59.5



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Species
X_CO FED
mol/mol
10^-4



mesh: 1

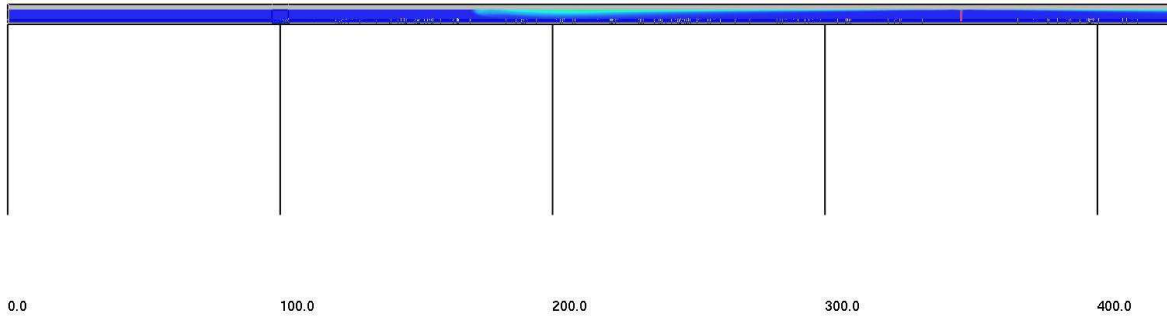
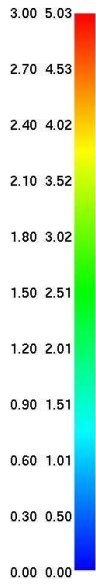
0:02:59.5





Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Species
X_CO FED
mol/mol
10^-4



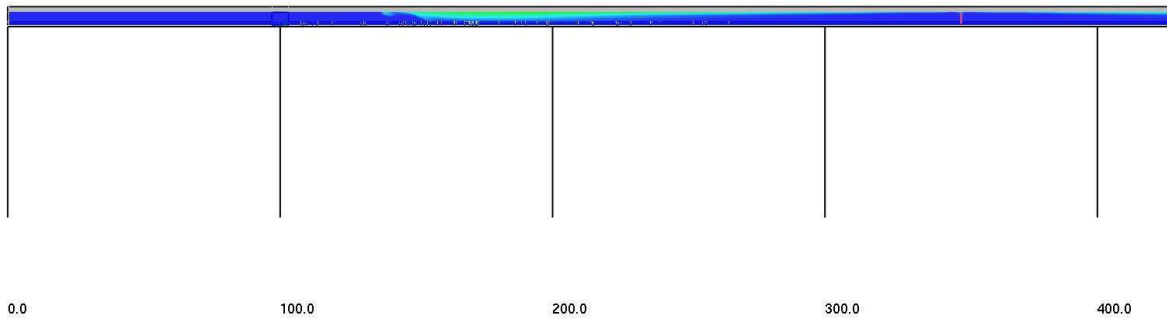
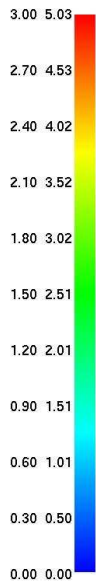
mesh: 1

0:03:59.5



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Species
X_CO FED
mol/mol
10^-4



mesh: 1

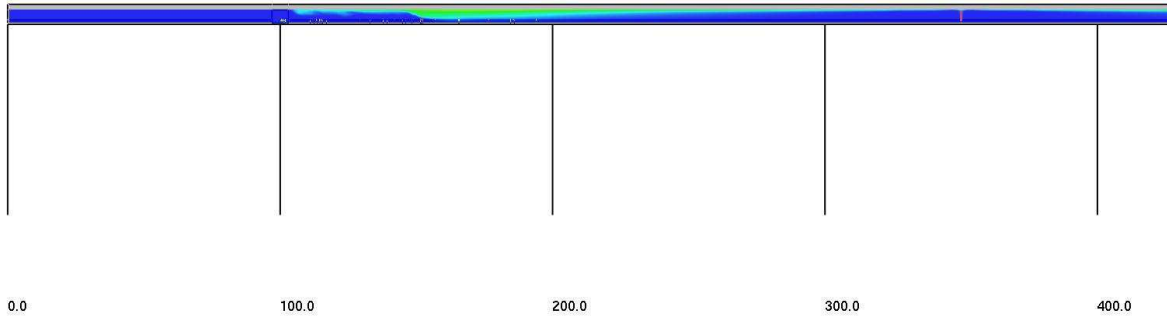
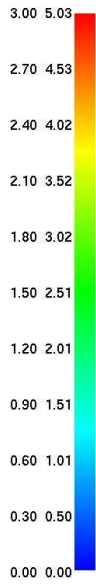
0:04:59.5





Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Species
X_CO FED
mol/mol
10^-4



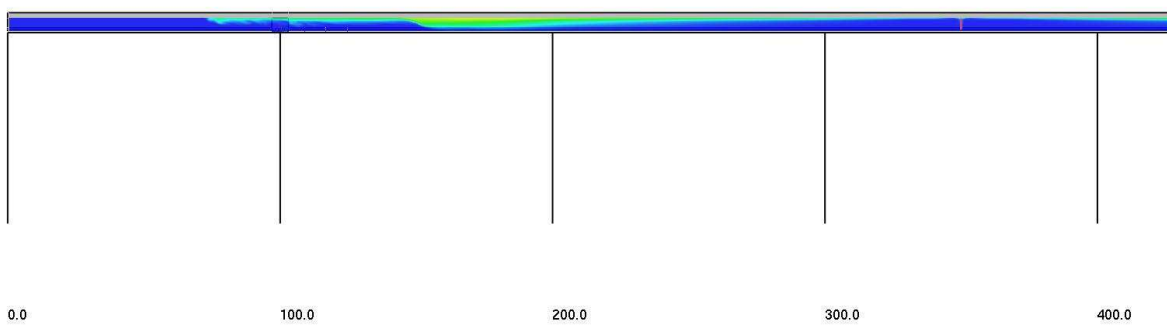
mesh: 1

0:05:59.5



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Species
X_CO FED
mol/mol
10^-4



mesh: 1

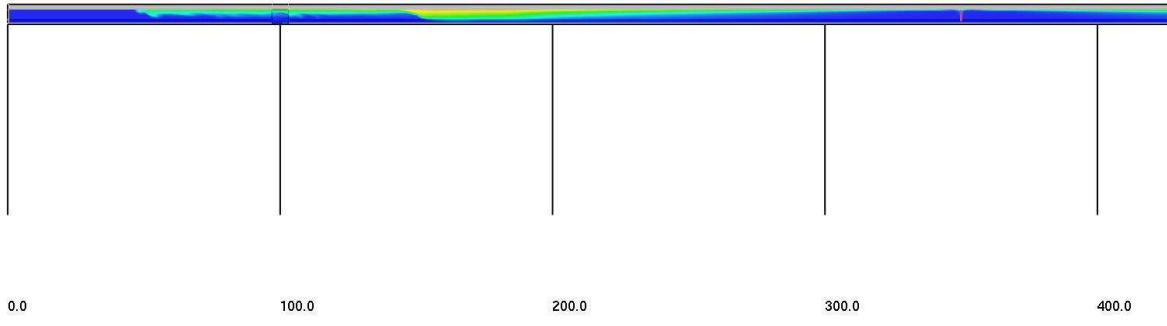
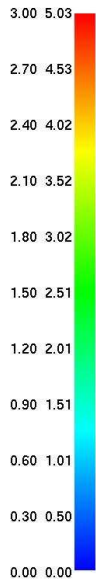
0:06:59.5





Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Species
X_CO FED
mol/mol
10^-4



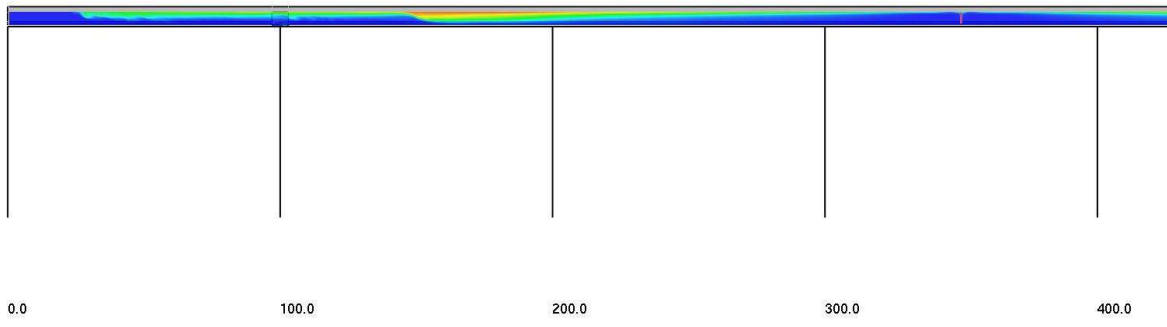
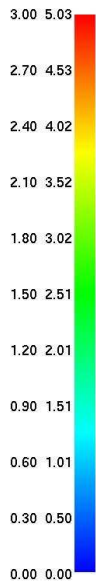
mesh: 1

0:07:59.5



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Species
X_CO FED
mol/mol
10^-4

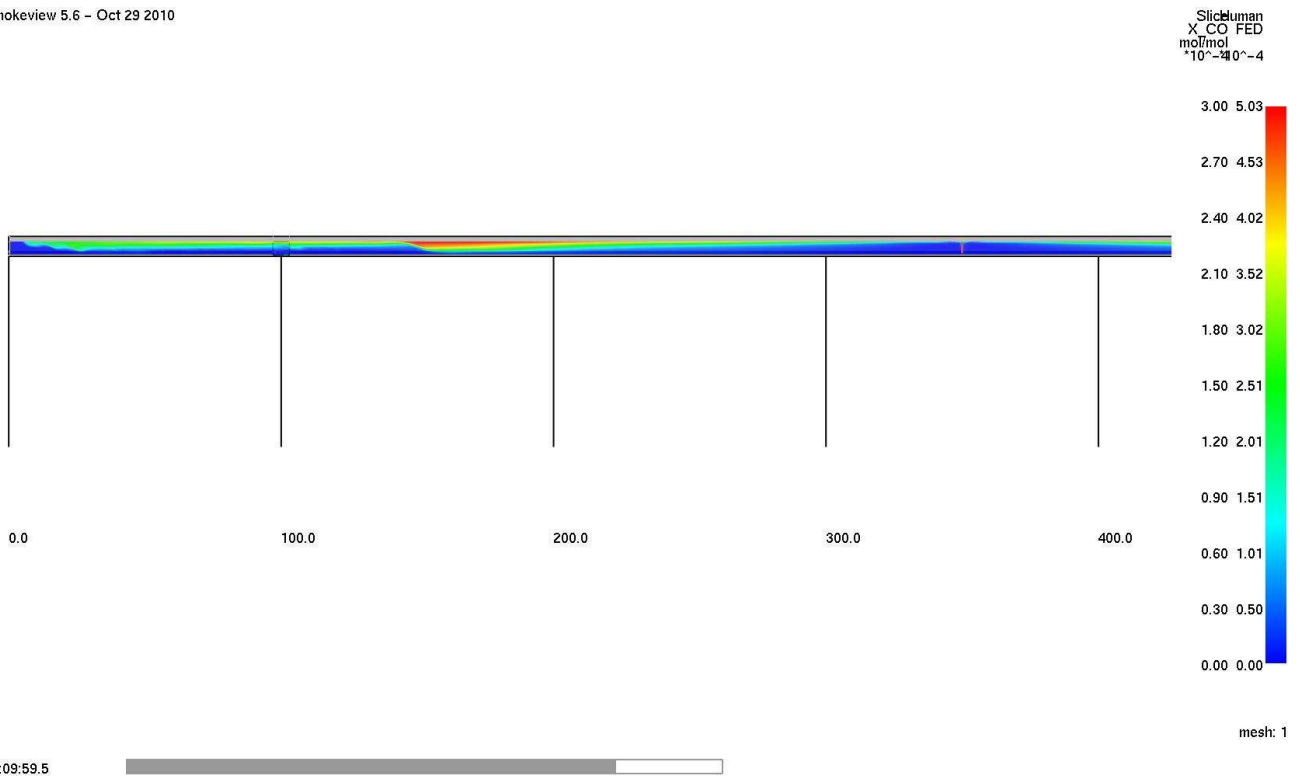


mesh: 1

0:08:59.5



Smokeyview 5.6 - Oct 29 2010



Dalle figure precedenti si evince che, dopo 10 minuti dall'inizio dell'evento di incendio (tenendo presente che il tempo totale necessario affinché tutti i passeggeri raggiungano le uscite di emergenza è pari a un tempo complessivo di 7 minuti e 10 secondi), le concentrazioni di monossido di carbonio lungo la galleria ad altezza uomo non supera il valore di circa 180ppm, in quanto i fumi stratificano nella parte alta della galleria stessa.

Assumendo come criterio di valutazione un parametro indicativo di 800ppm, valore secondo cui il tempo di resistenza del passeggero è assunto pari a 30 min, si evince un mantenimento di condizioni tollerabili ai fini dell'esodo dei passeggeri.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>Codifica Documento a301-00-d-cv-sx-gn00-0x-007-f00.doc</p>	<p>Foglio 39 di 39</p>

5. Conclusioni

L'analisi di scenari incidentali è stata condotta mediante la simulazione della propagazione dei fumi di un evento di incendio generato da un treno passeggeri fermo in galleria, tramite il codice di calcolo tridimensionale Fire Dynamics Simulator, accoppiata alla simulazione del processo di esodo, condotta tramite il codice EVAC.

La presente simulazione del processo di esodo di n.500 persone a bordo di un treno passeggeri fermo in un tratto di 700m della Interconnessione di Voltri a doppia canna, condotta sulla base del modello ipotizzato e descritto nei paragrafi precedenti, mostra che il tempo totale necessario affinché tutti i passeggeri raggiungono le uscite di emergenza rappresentate dalle porte di ingresso dei bypass in un tempo complessivo pari a 7 minuti e 10 secondi.