

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  
GALLERIA POZZOLO  
SIMULAZIONI ESODO DEI PASSEGGERI IN GALLERIA**

GENERAL CONTRACTOR	ITALFERR S.p.A.
Consorzio Cociv  Project Manager Ing. Giagnozzi 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 A 0 0 0 X	0 0 3	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-GA00-0X-003-F00.DOC
-----------	---

CUP: F81H92000000008

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>Codifica Documento a301-00-d-cv-sx-ga00-0x-003-f00.doc</p> <p>Foglio 2 di 31</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.....		10
5. CONCLUSIONI .....		31

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>Codifica Documento a301-00-d-cv-sx-ga00-0x-003-f00.doc</p>	<p>Foglio 3 di 31</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,
- 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.

## 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**

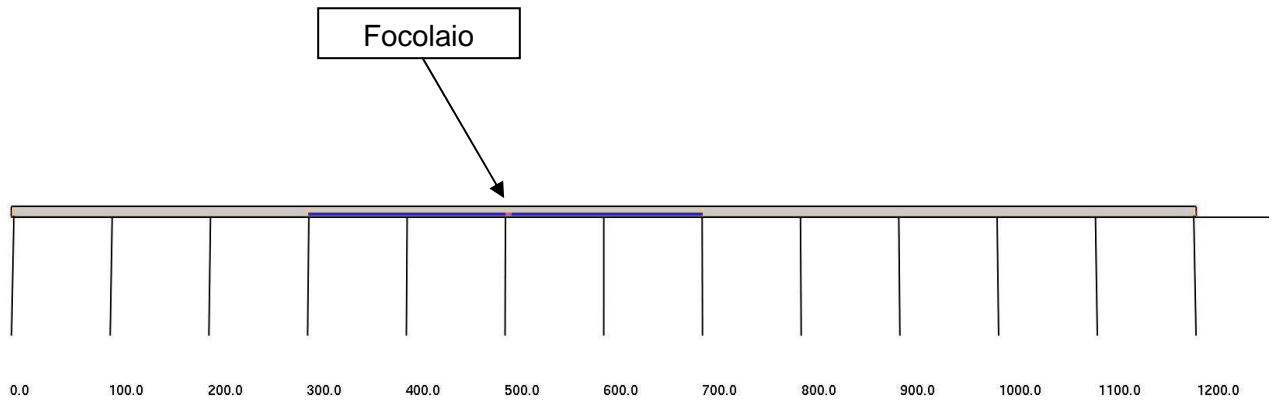
<b>Codice</b>	FDS (Fire Dynamics Simulator)
<b>Cardinalità</b>	3D
<b>Dimensioni cella</b>	0.6x0.6x0.6m
<b>Porzione di galleria simulata</b>	1200m galleria artificiale doppio binario
<b>Numero celle</b>	432.000
<b>Sottomodello di turbolenza</b>	Large Eddy Simulation
<b>Sottomodello di combustione</b>	Mixture fraction
<b>Potenza termica generata</b>	10 MW
<b>Tempo di crescita</b>	10 min
<b>Regime</b>	Transitorio
<b>Durata simulazione</b>	30 min

Le simulazioni effettuate mostrano 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**

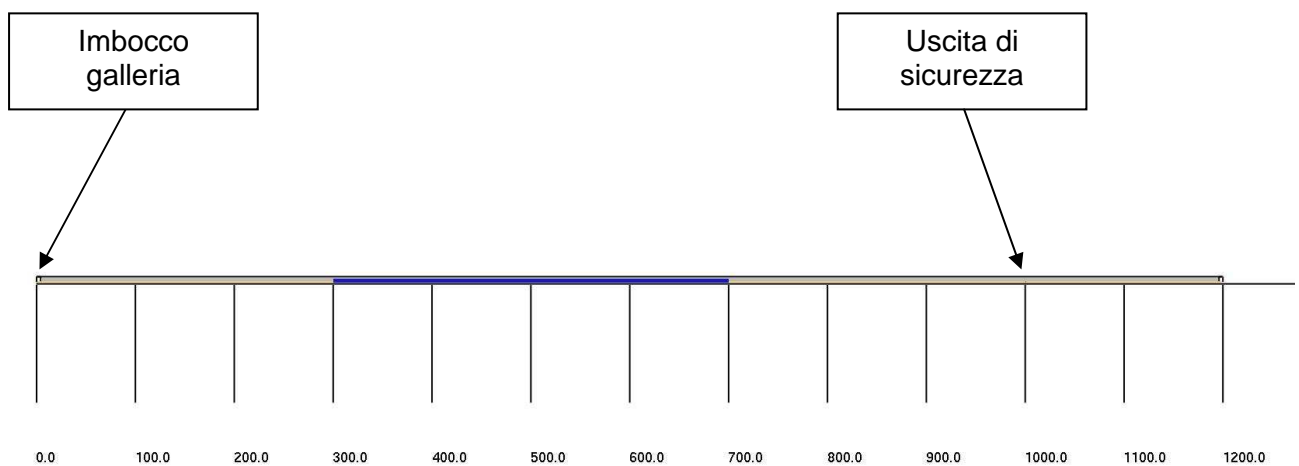
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



mesh: 1

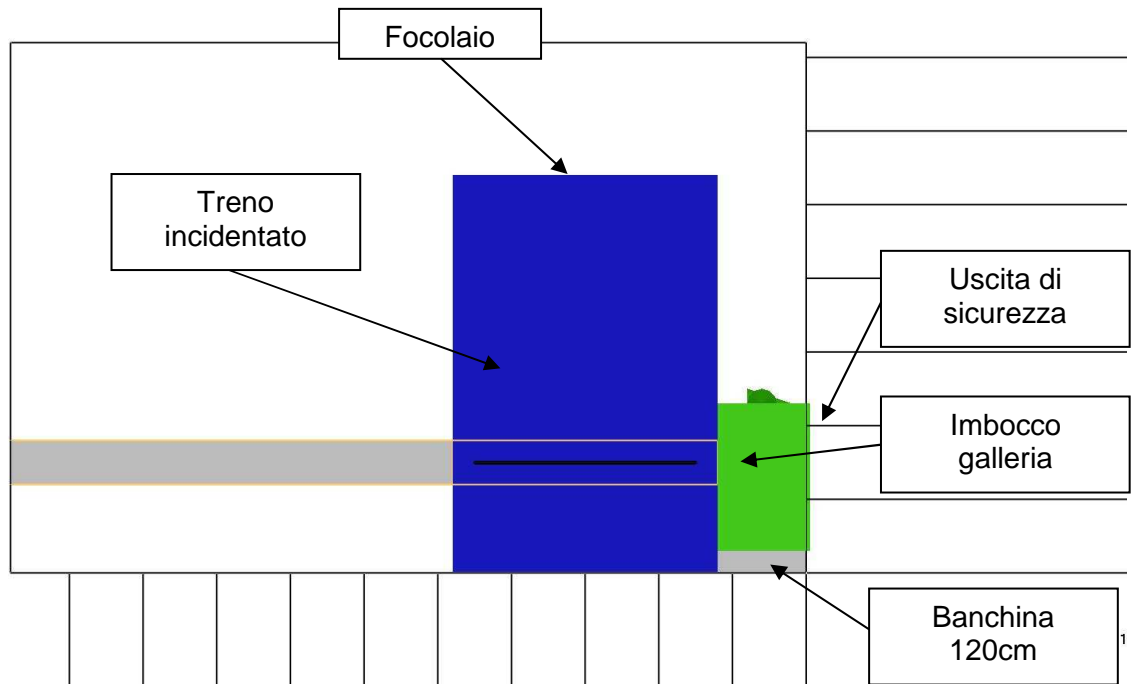
**Prospetto longitudinale**

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



mesh: 1

**Prospetto frontale**  
Smokeview 5.6 - Oct 29 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 galleria Pozzolo. 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**

<b>Codice</b>	FDS+EVAC
<b>Cardinalità</b>	2D
<b>Dimensioni cella</b>	0.6x0.6m
<b>Porzione di galleria simulata</b>	1200m galleria artificiale doppio binario
<b>Numero celle</b>	144.000
<b>Durata simulazione</b>	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  $t$ ,

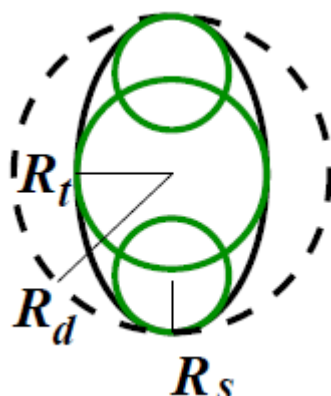
$\mathbf{f}_i(t)$  è la forza esercitata sull'agente  $i$  dall'ambiente circostante,

$m_i$  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	$0.255 \pm 0.035$	0.5882	0.3725	0.6275	$1.25 \pm 0.30$
Male	$0.270 \pm 0.020$	0.5926	0.3704	0.6296	$1.35 \pm 0.20$
Female	$0.240 \pm 0.020$	0.5833	0.3750	0.6250	$1.15 \pm 0.20$
Child	$0.210 \pm 0.015$	0.5714	0.3333	0.6667	$0.90 \pm 0.30$
Elderly	$0.250 \pm 0.020$	0.6000	0.3600	0.6400	$0.80 \pm 0.30$

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 galleria Pozzolo di 1200m.

La posizione del treno è centrale rispetto le n.2 uscite che sono caratterizzate nel modo seguente:



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	Codifica Documento a301-00-d-cv-sx-ga00-0x-003-f00.doc <span style="float: right;">Foglio 9 di 31</span>

Uscita n.	Descrizione	Ampiezza	Posizionamento	Familiarità
1	Imbocco galleria	120cm	X=0m	Si
2	Uscita di emergenza	140cm	X=1000m	Si

La banchina pedonabile di emergenza presente lungo tutto un lato della galleria è ampia 120cm.

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.

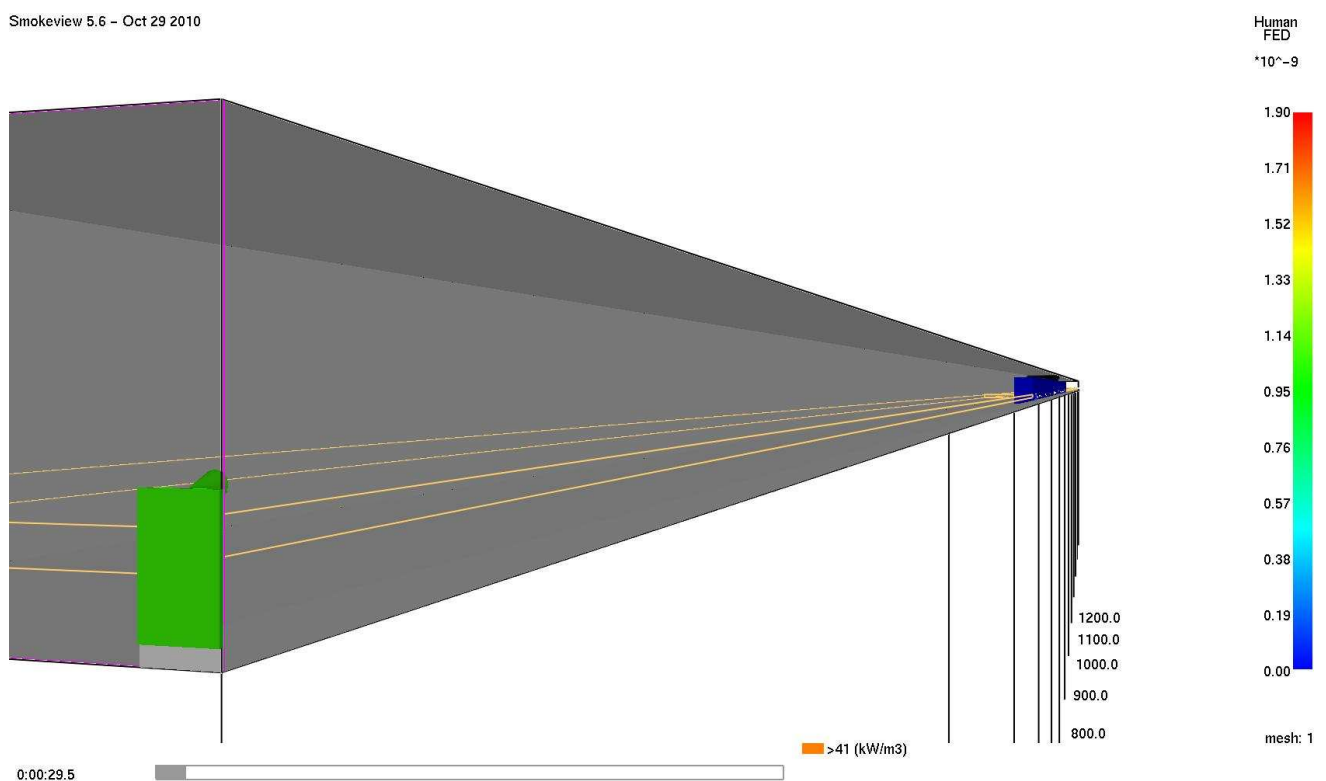
Il tempo di reazione iniziale di ciascun agente è stato ipotizzato al tempo di 60s.

#### 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.

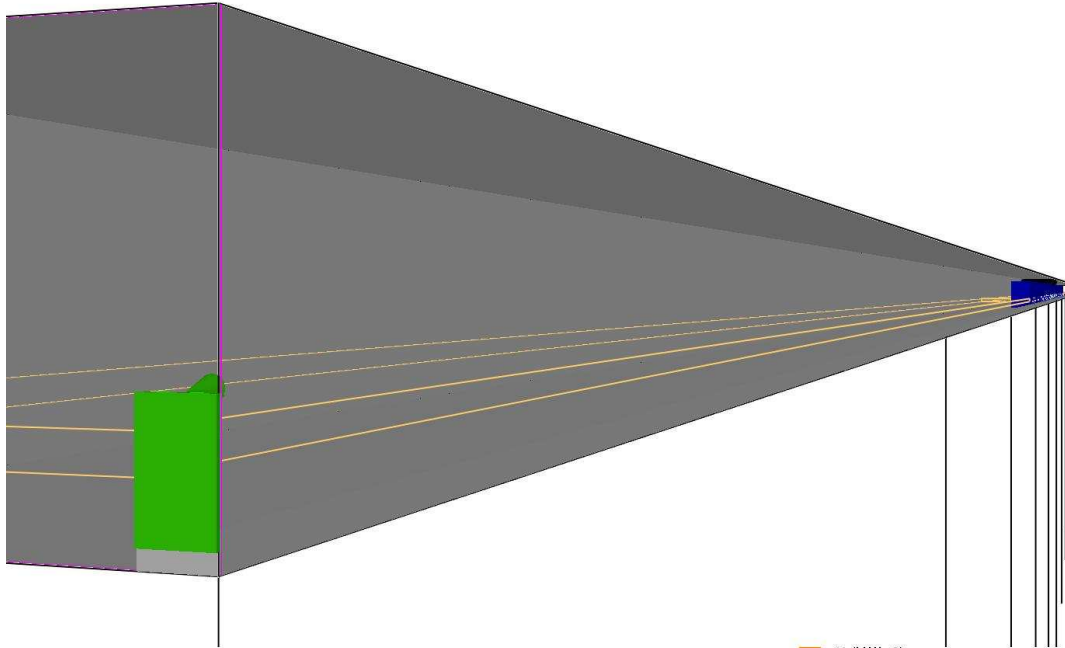
Le successive figure mostrano in prospettiva la propagazione dei fumi e l'esodo dei passeggeri.

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

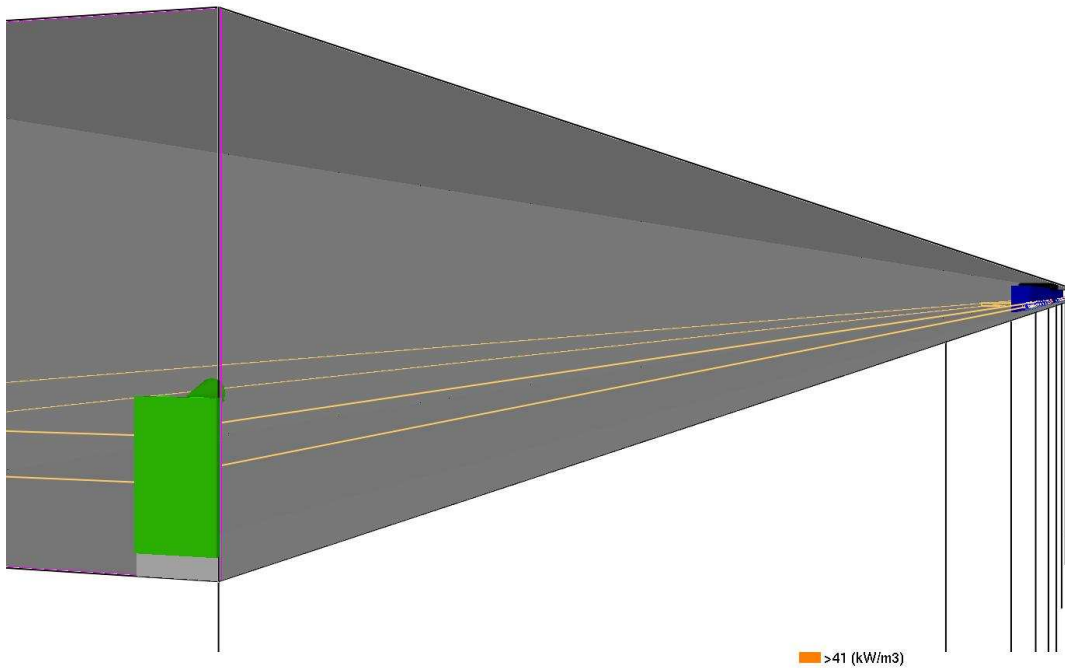
Human  
FED  
 $\cdot 10^{-9}$



0:00:59.5

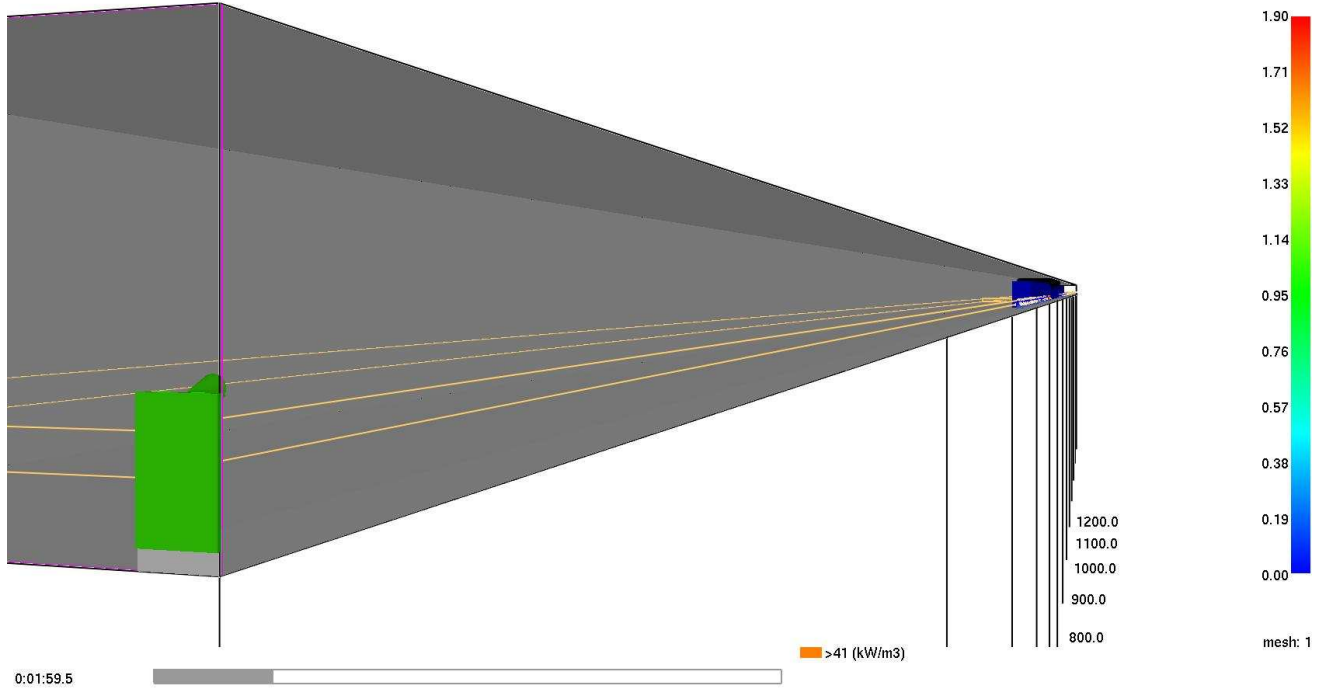
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human  
FED  
 $\cdot 10^{-9}$

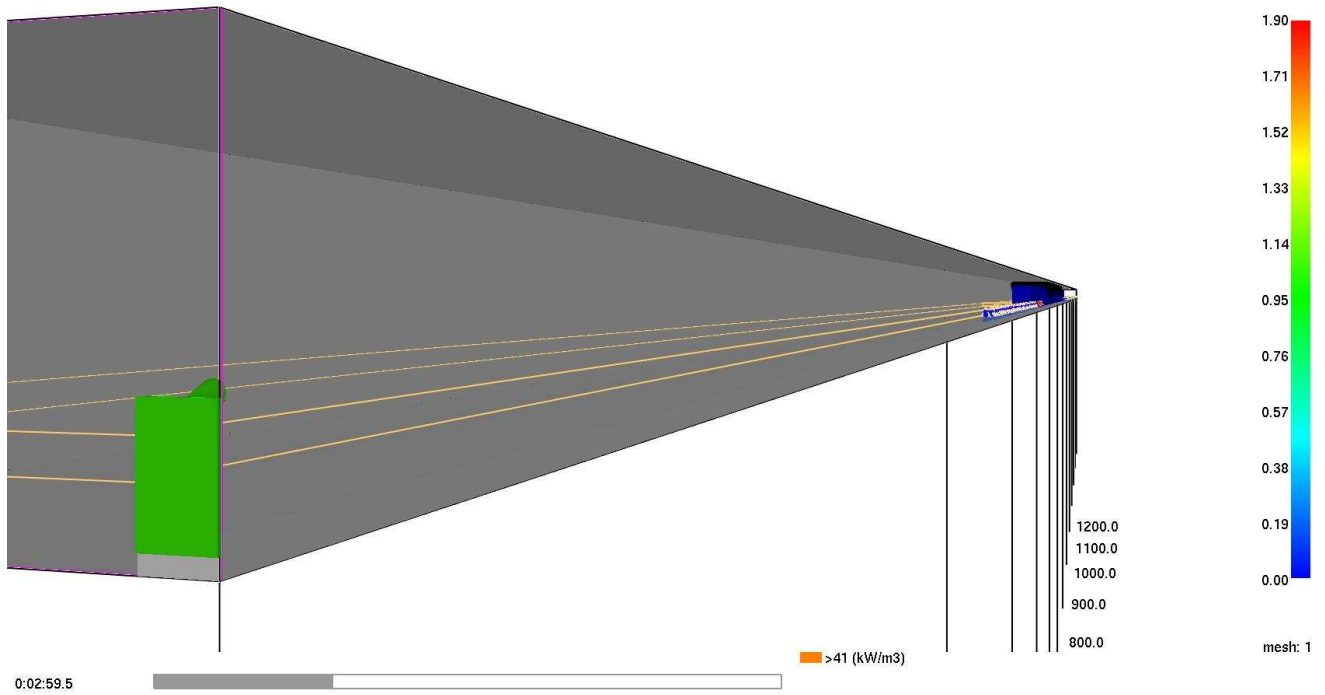


0:01:29.5

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

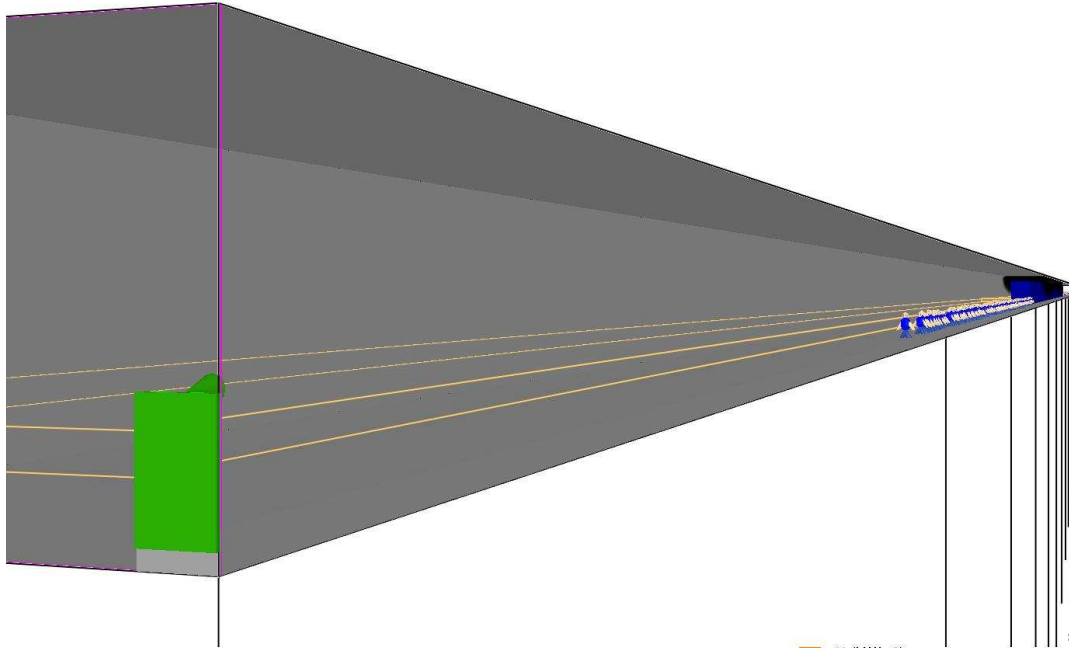


Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

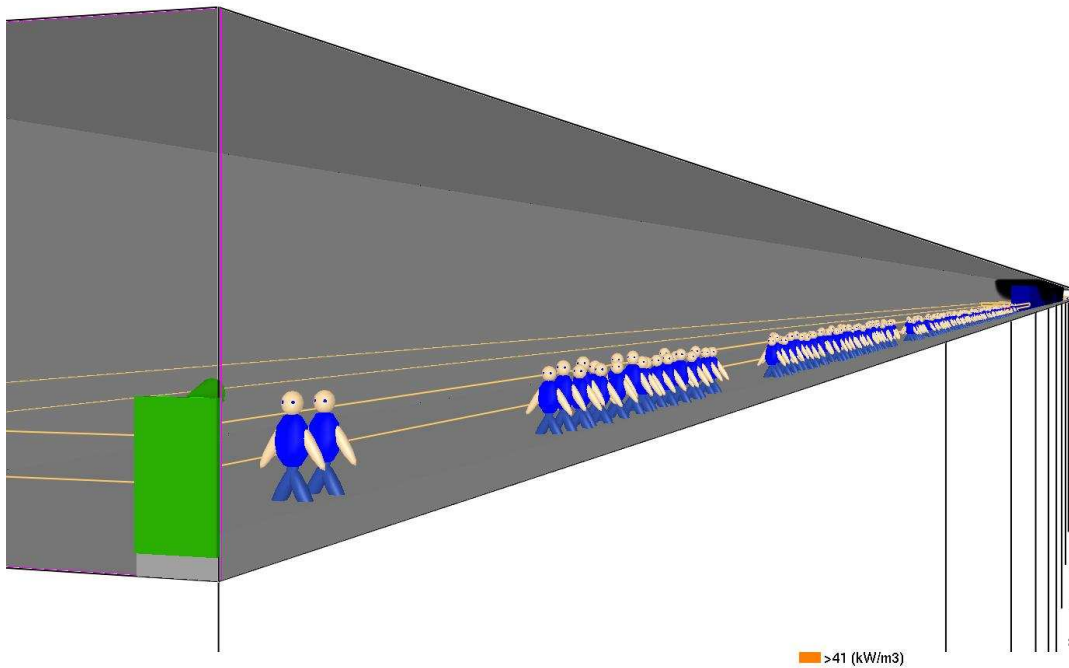
Human  
FED  
\*10^-9



0:03:59.5

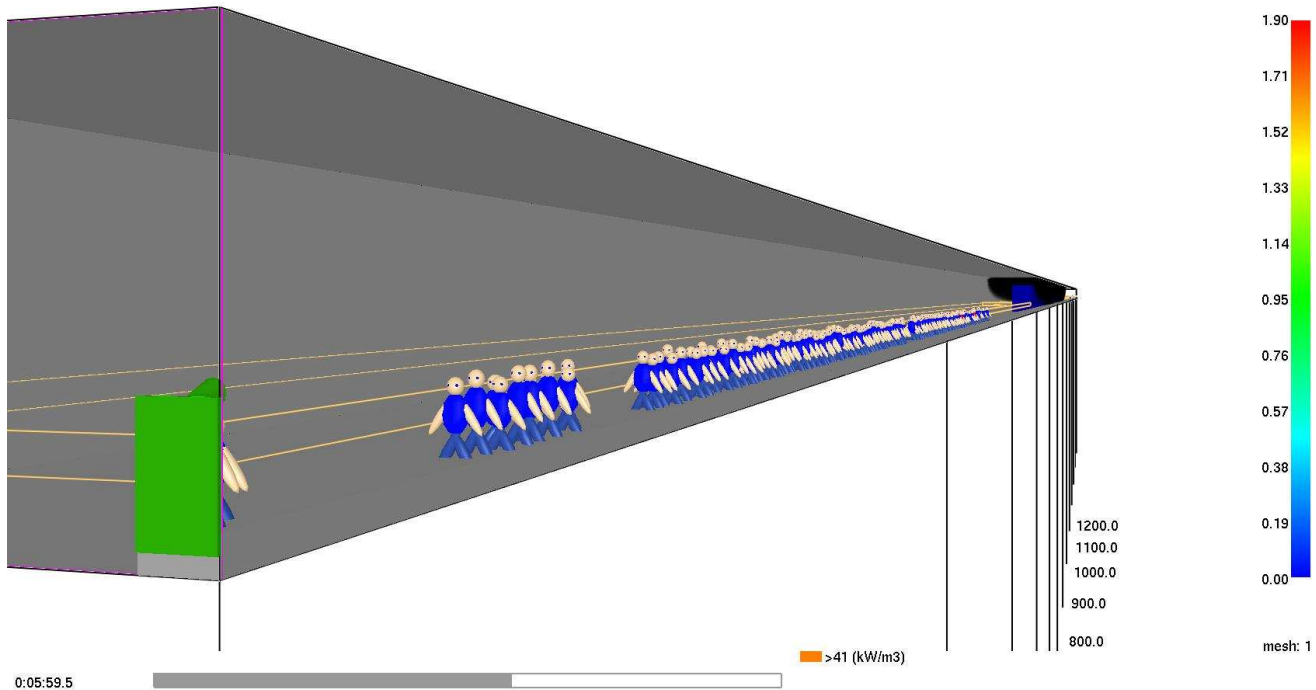
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Human  
FED  
\*10^-9

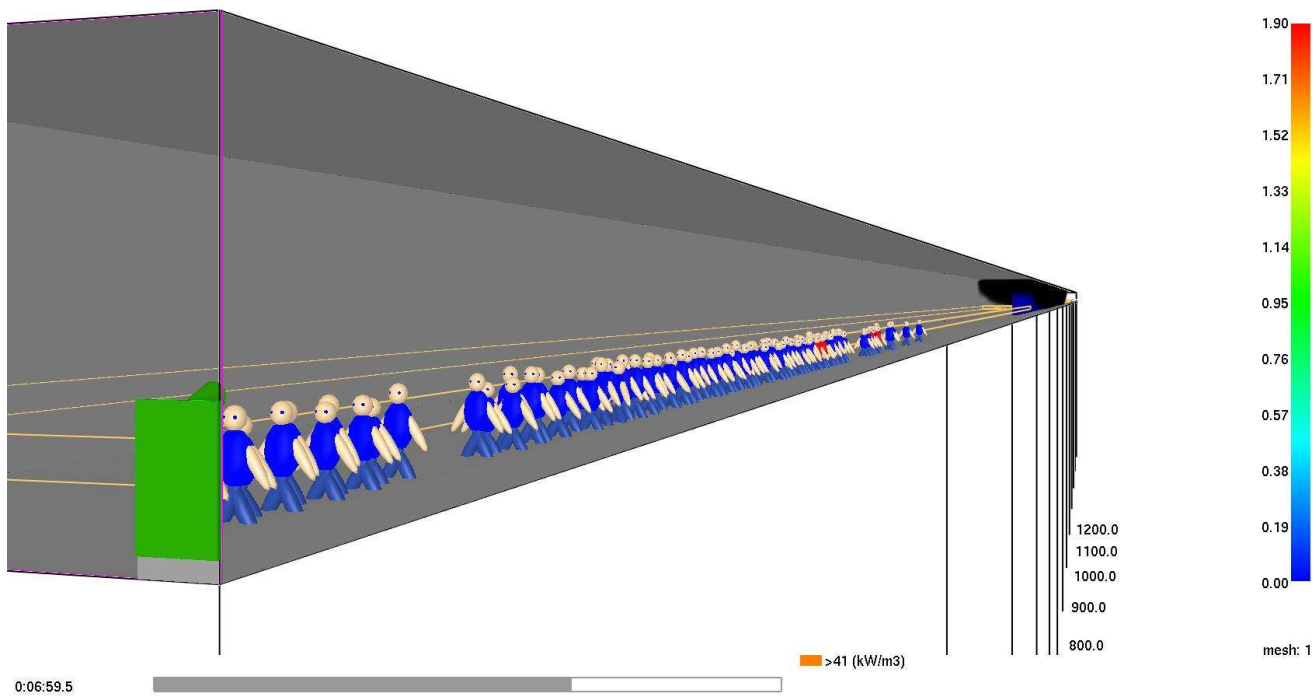


0:04:59.5

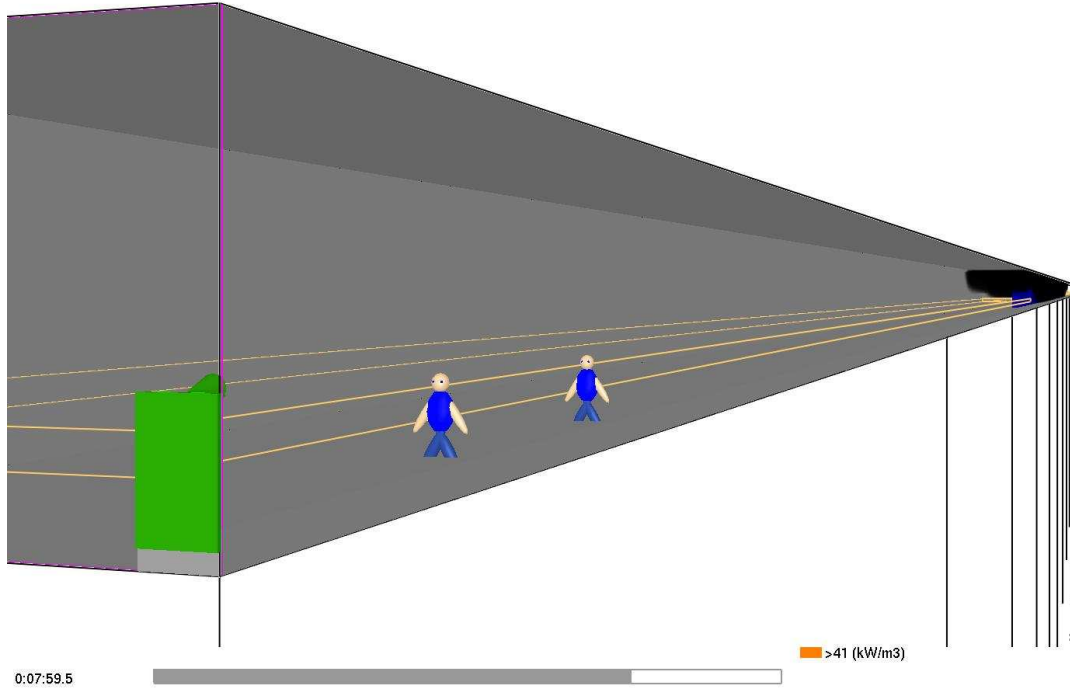
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



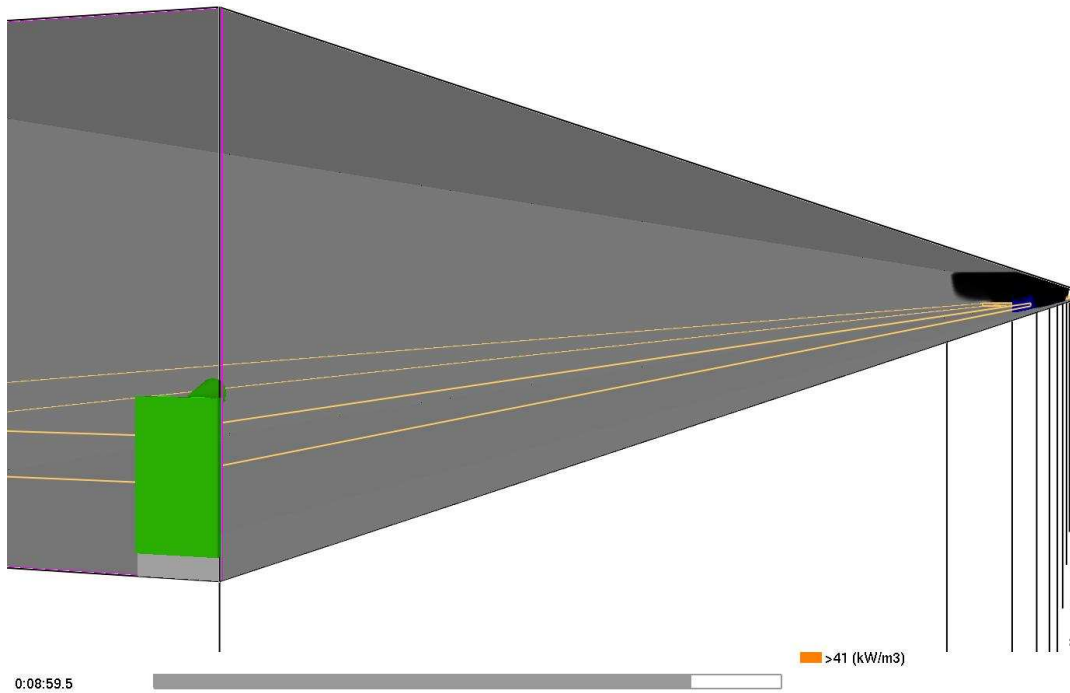
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



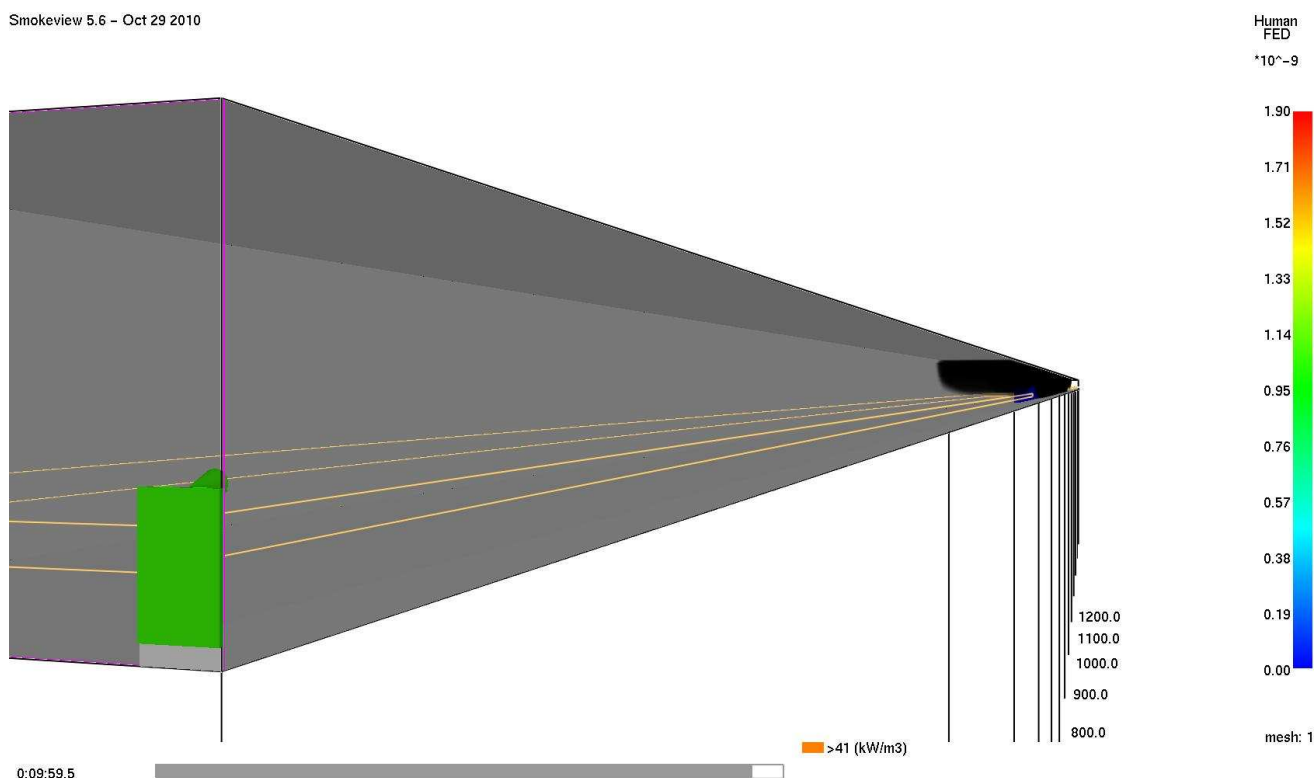
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



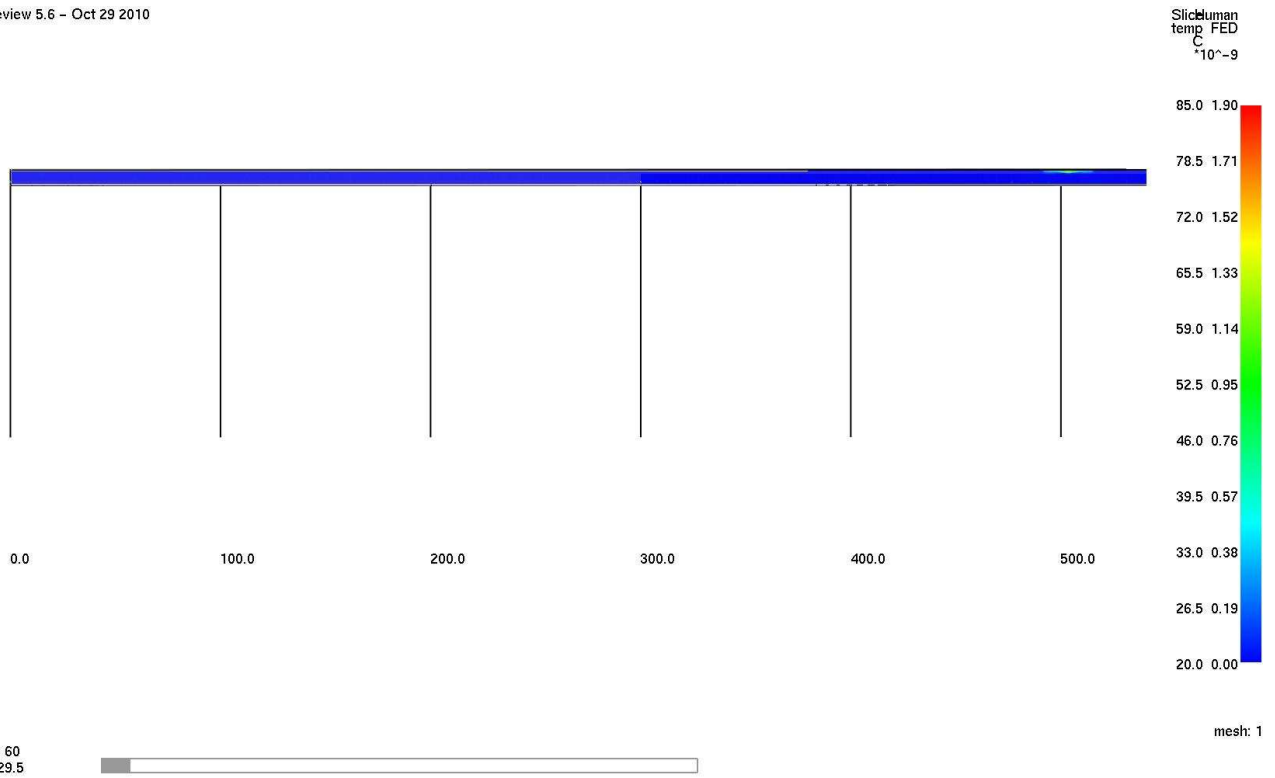
Dalle figure precedenti si evince che il tempo totale necessario affinché tutti i passeggeri raggiungano le uscite di emergenza è pari a un tempo complessivo di 8 minuti e 15 secondi e che la stratificazione dei fumi nella parte alta della galleria, nonché la velocità di avanzamento del fronte, consentono 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  $1,9 \times 10^{-9}$  a fronte di un valore massimo di riferimento di 0,3.



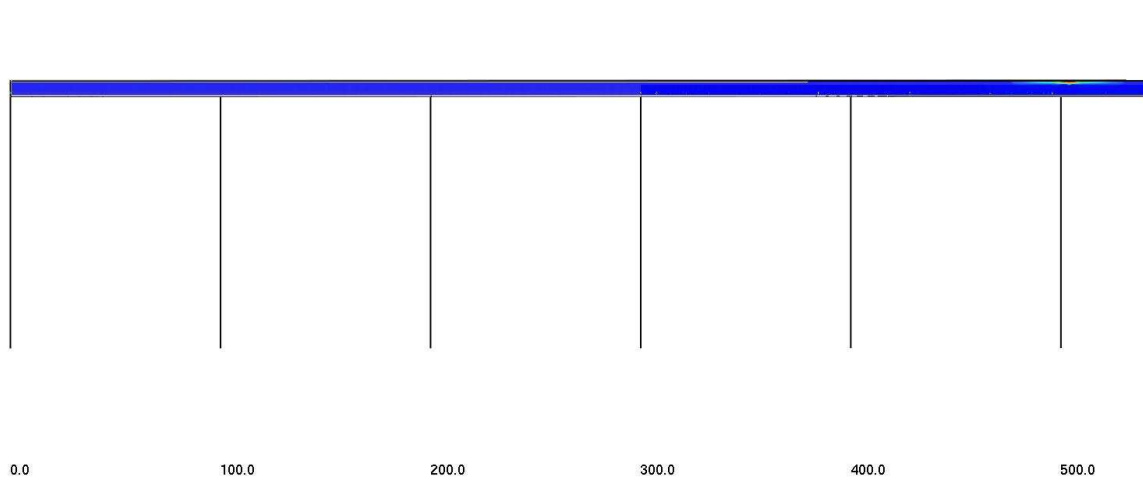
Le successive figure mostrano in prospettiva la mappa di concentrazione di temperatura sul piano  $y=0.6$  in corrispondenza della banchina e l'esodo dei passeggeri, in una porzione di galleria significativa di 600m, in quanto l'altra metà della simulazione riporta pressoché risultati speculari.

Smokeyview 5.6 - Oct 29 2010





Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice human temp FED C \*10^-9

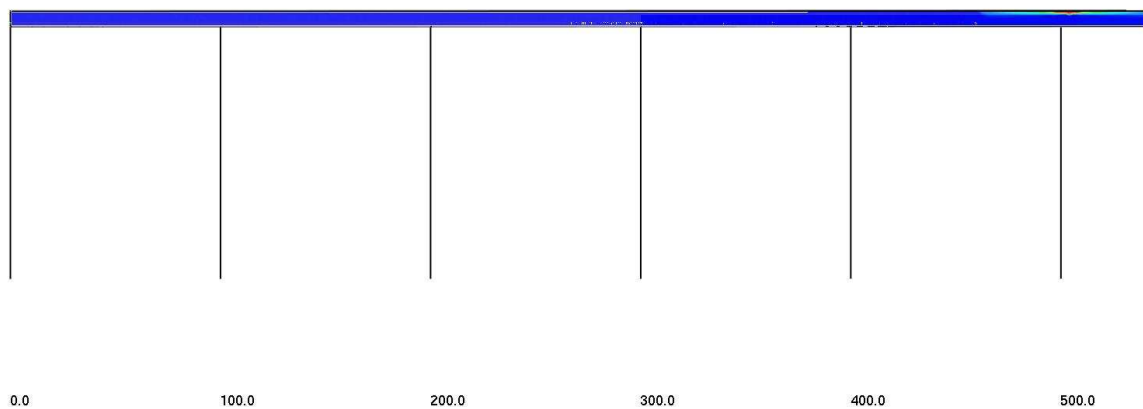


mesh: 1

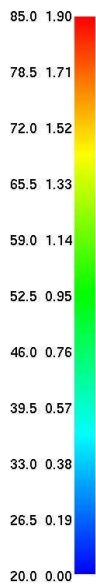
Frame: 120  
0:00:59.5



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice human temp FED C \*10^-9

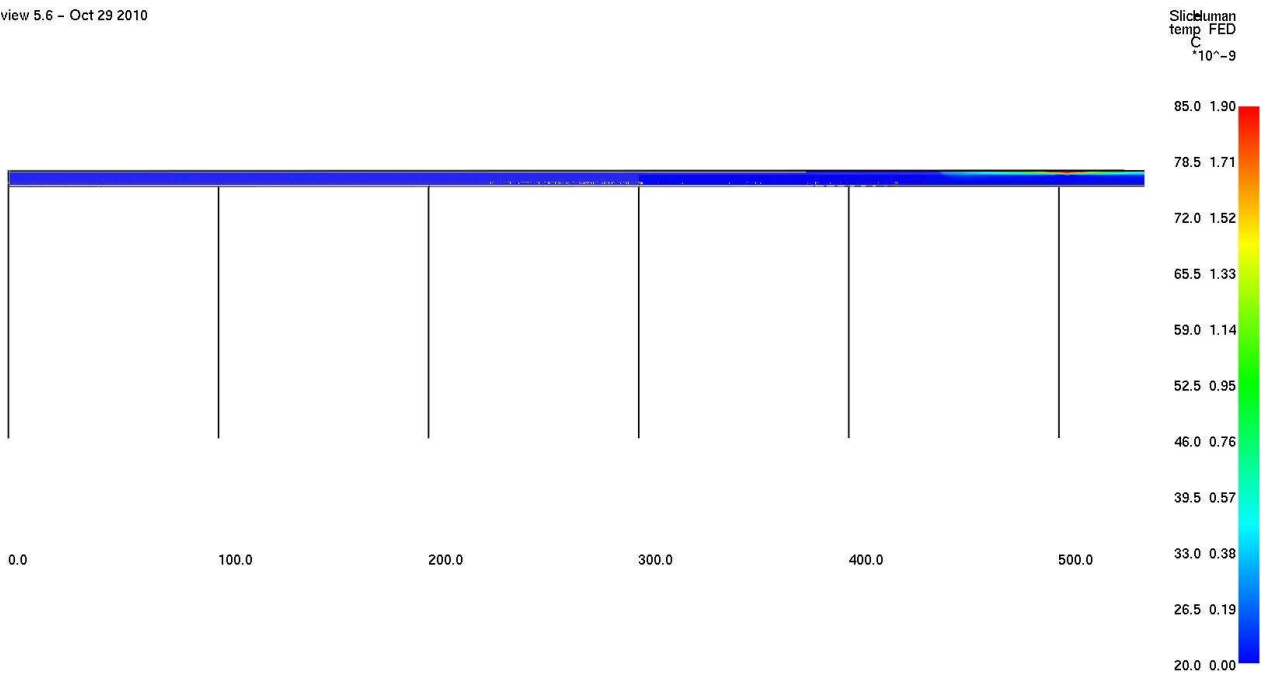


mesh: 1


Frame: 180  
0:01:29.5



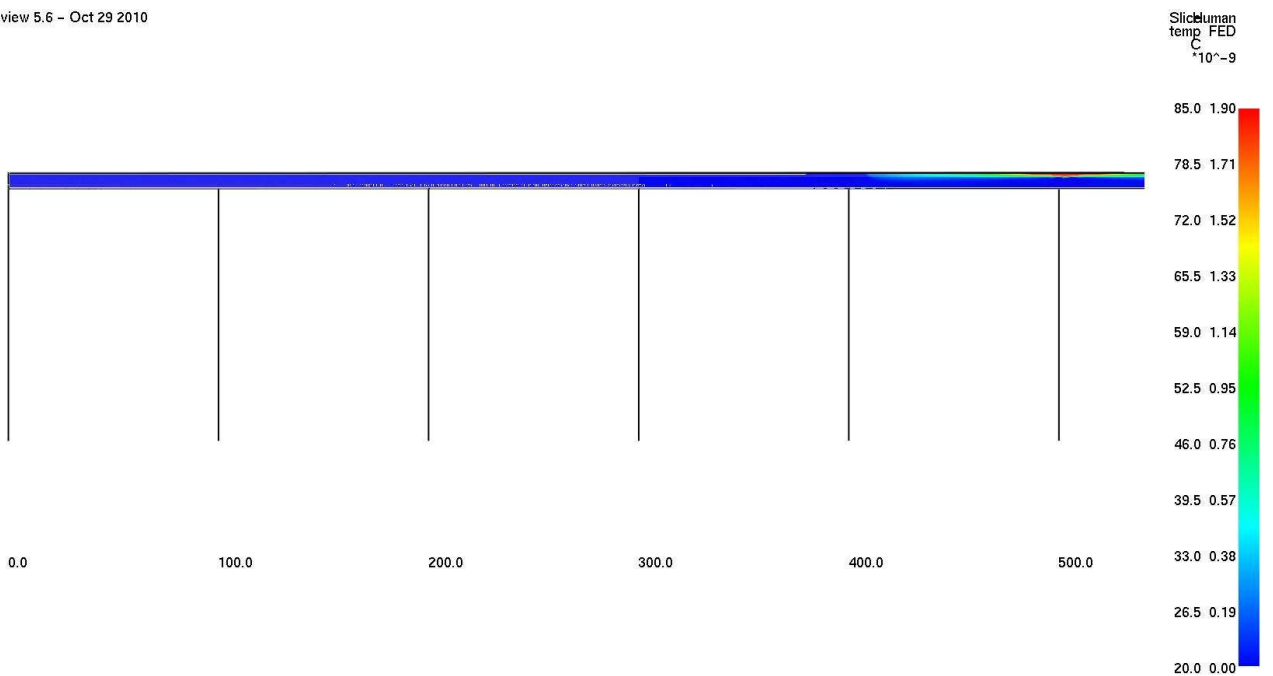
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 240  
0:01:59.5



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

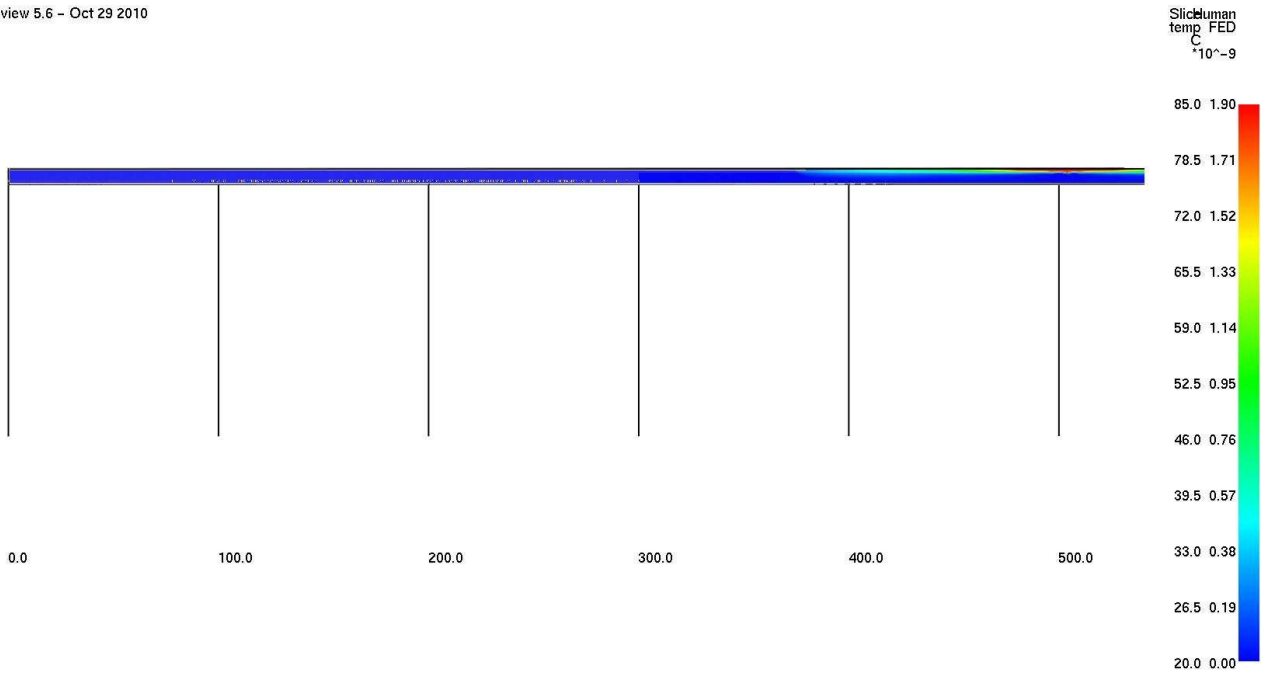


Frame: 360  
0:02:59.5





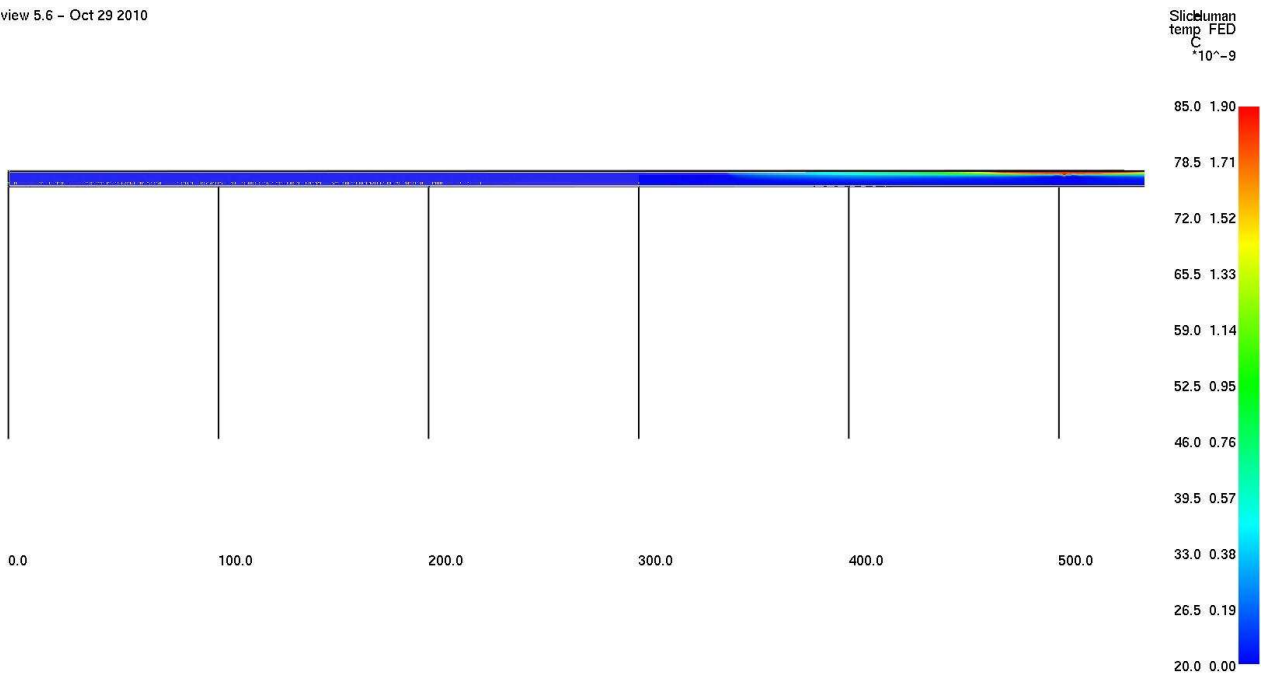
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 480  
0:03:59.5



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 600  
0:04:59.5



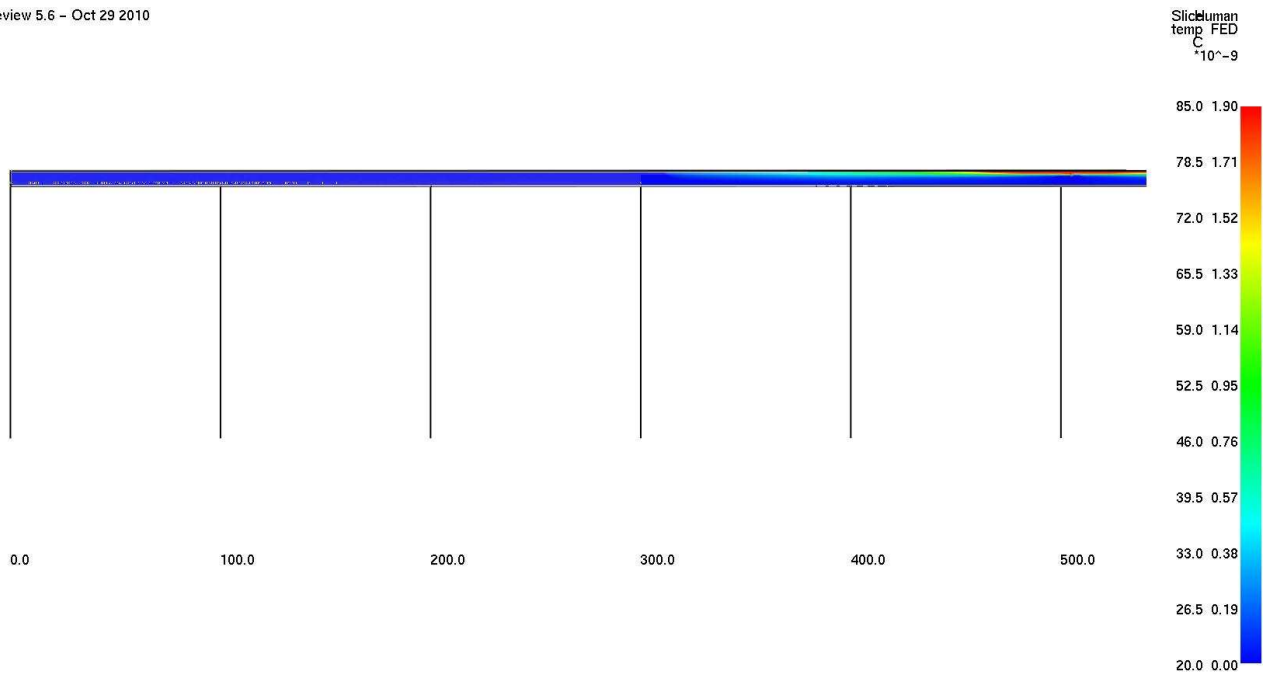
Simulation  
temp FED  
C  
\*10^-9

mesh: 1

Simulation  
temp FED  
C  
\*10^-9

mesh: 1

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

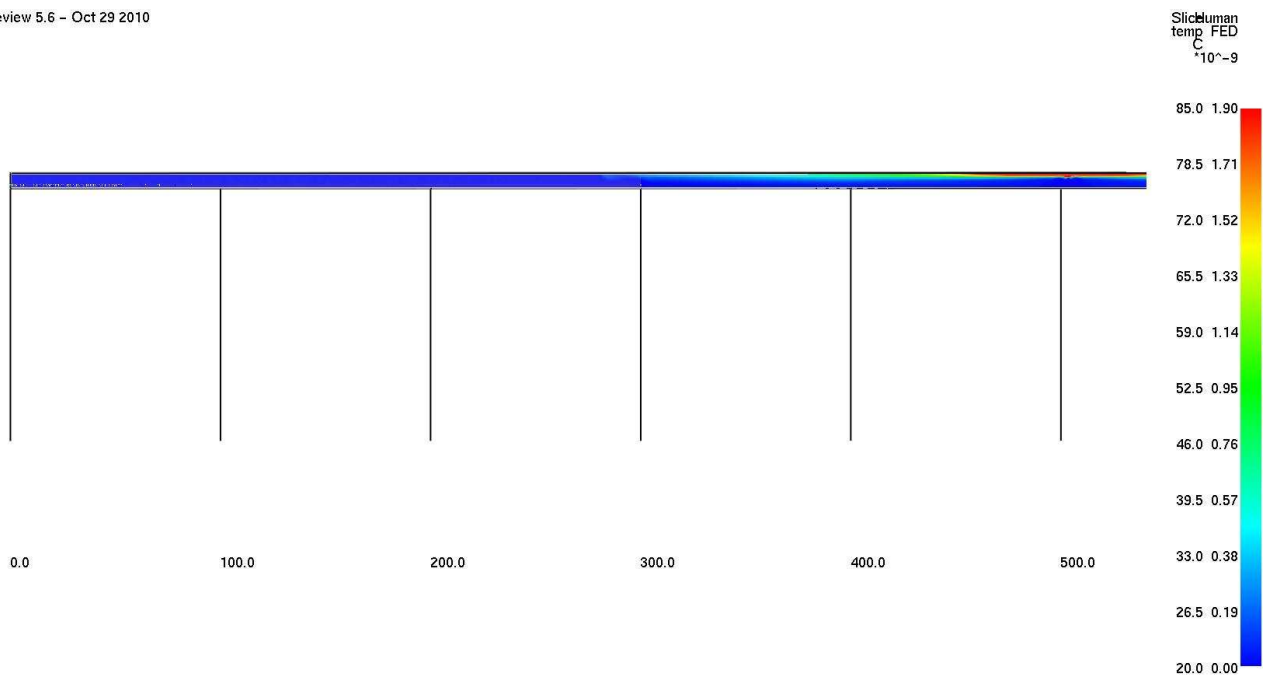


Frame: 720  
0:05:59.5



mesh: 1

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



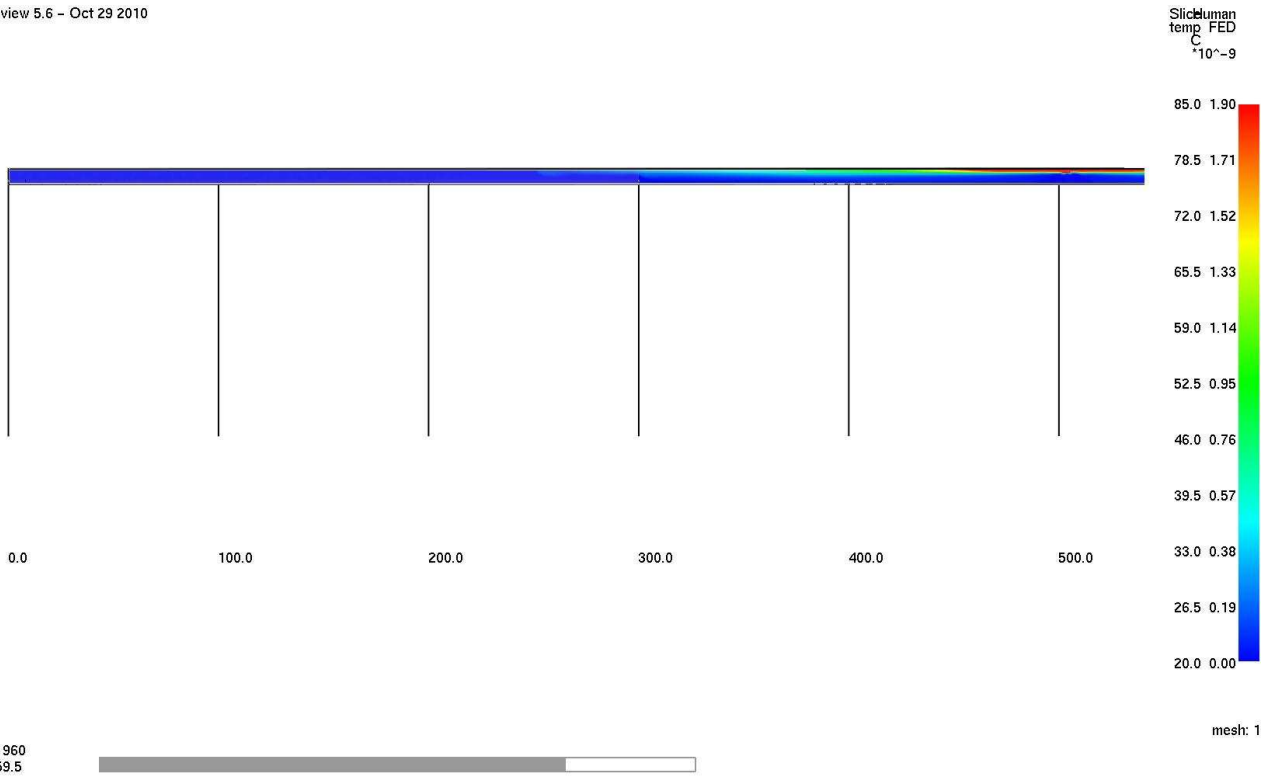
Frame: 840  
0:06:59.5



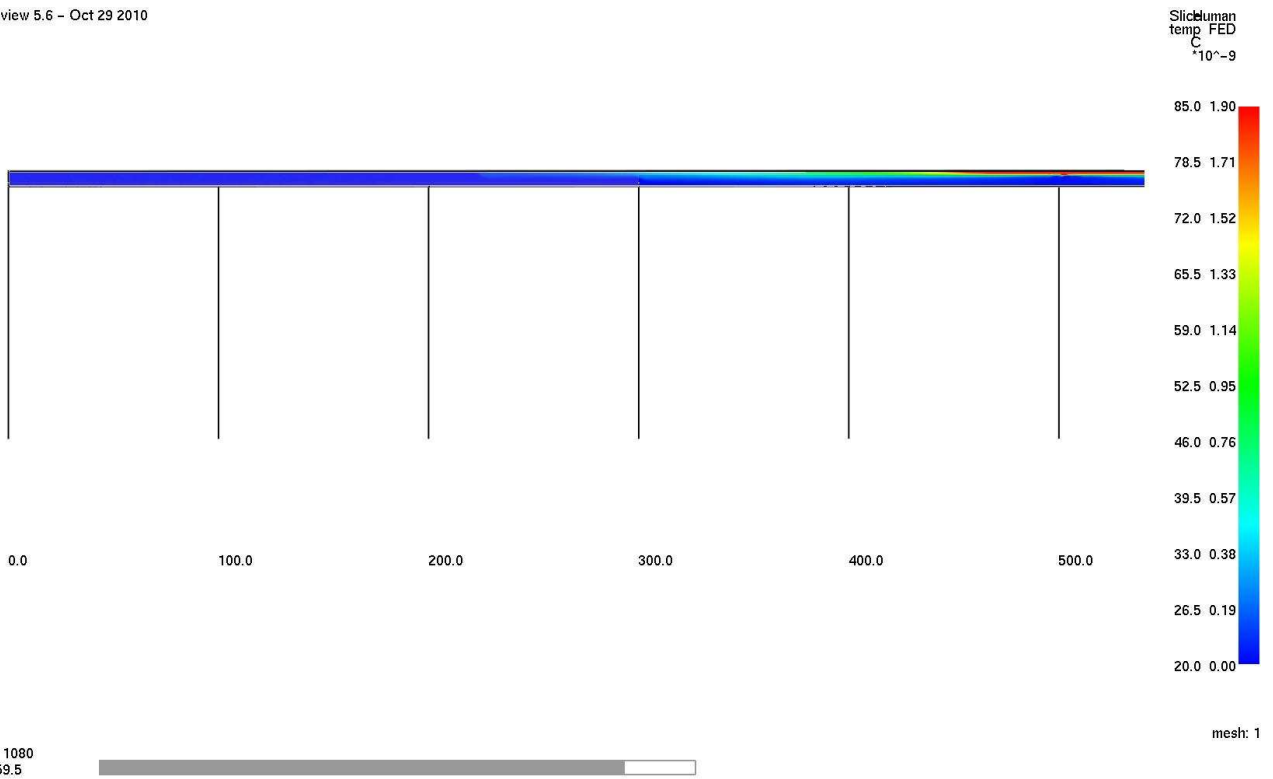
mesh: 1



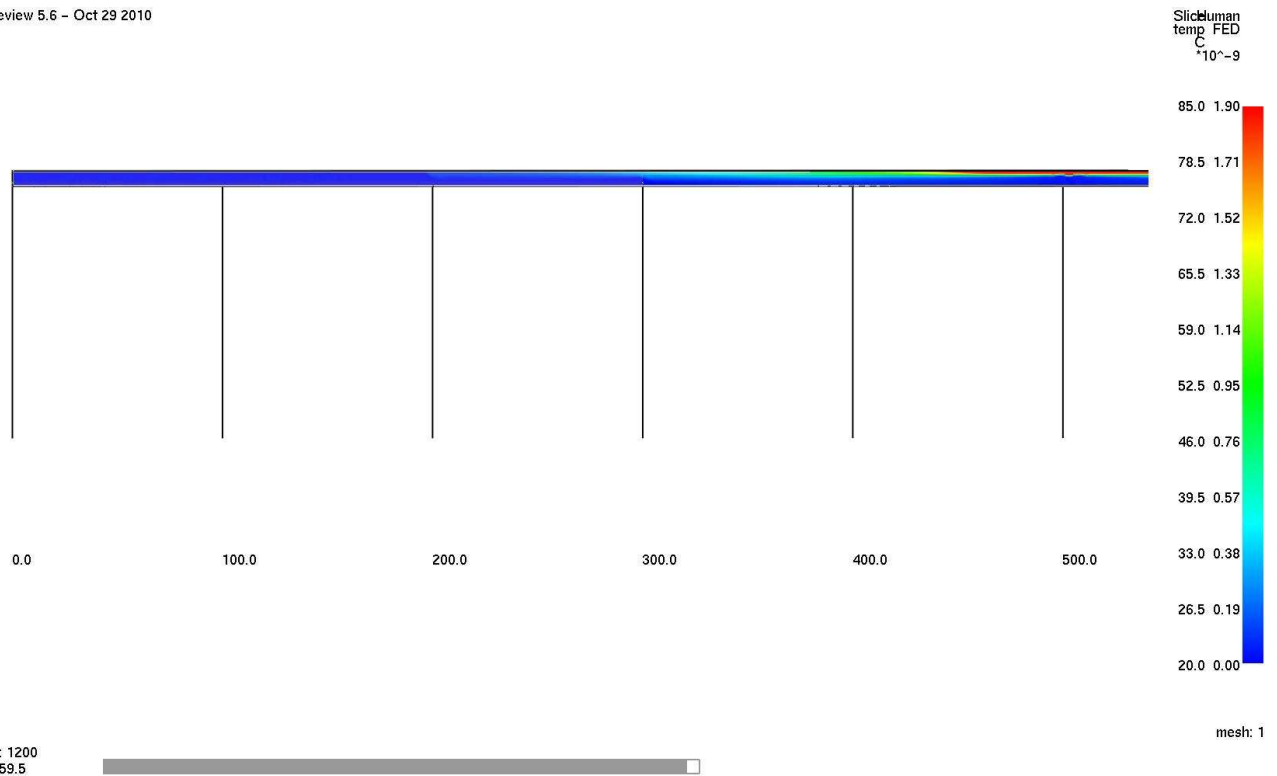
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

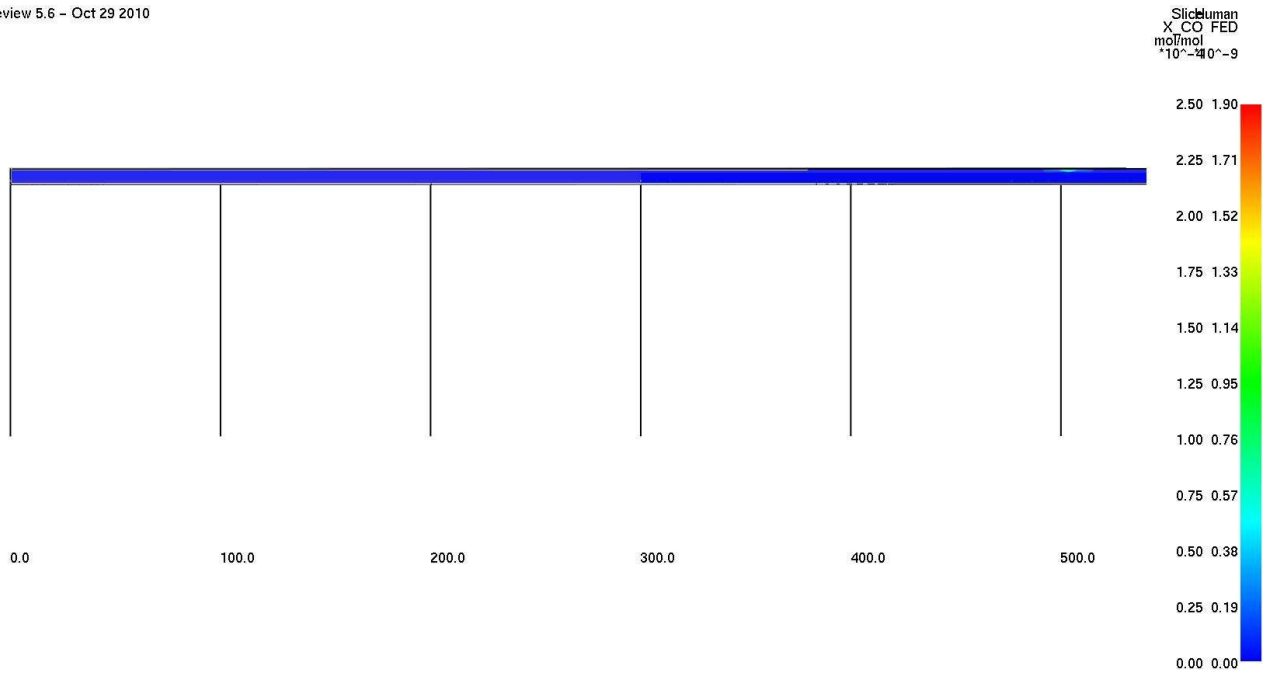


Dalle figure precedenti si evince che, dopo 10 minuti dall'inizio dell'evento di incendio (tenendo presente che il tempo totale necessario affinché tutti i passeggeri raggiungano le uscite di emergenza è pari a un tempo complessivo di 8 minuti e 15 secondi), le temperature lungo la galleria ad altezza uomo non superano i 30°C, in quanto i fu mi stratificano nella parte alta della galleria stessa.

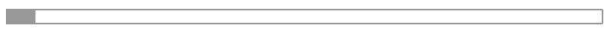
Assumendo come criterio di valutazione un parametro indicativo di 50°C, valore secondo cui il tempo di resistenza del passeggero è assunto pari a 60 min, si evince un mantenimento di condizioni tollerabili ai fini dell'esodo dei passeggeri.

Le successive figure mostrano in prospettiva la mappa di concentrazione di monossido di carbonio sul piano  $y=0.6$  in corrispondenza della banchina e l'esodo dei passeggeri, in una porzione di galleria significativa di 600m, in quanto l'altra metà della simulazione riporta pressoché risultati speculari.

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 60  
0:00:29.5

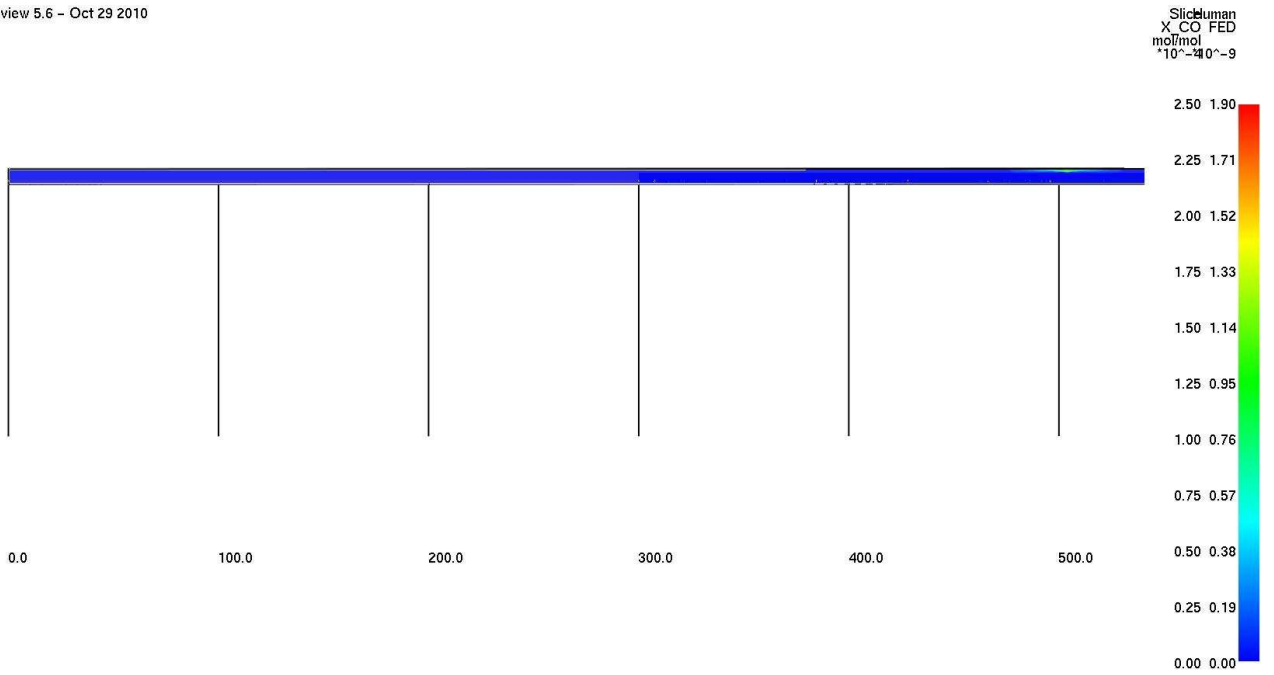


mesh: 1

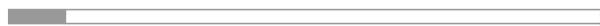




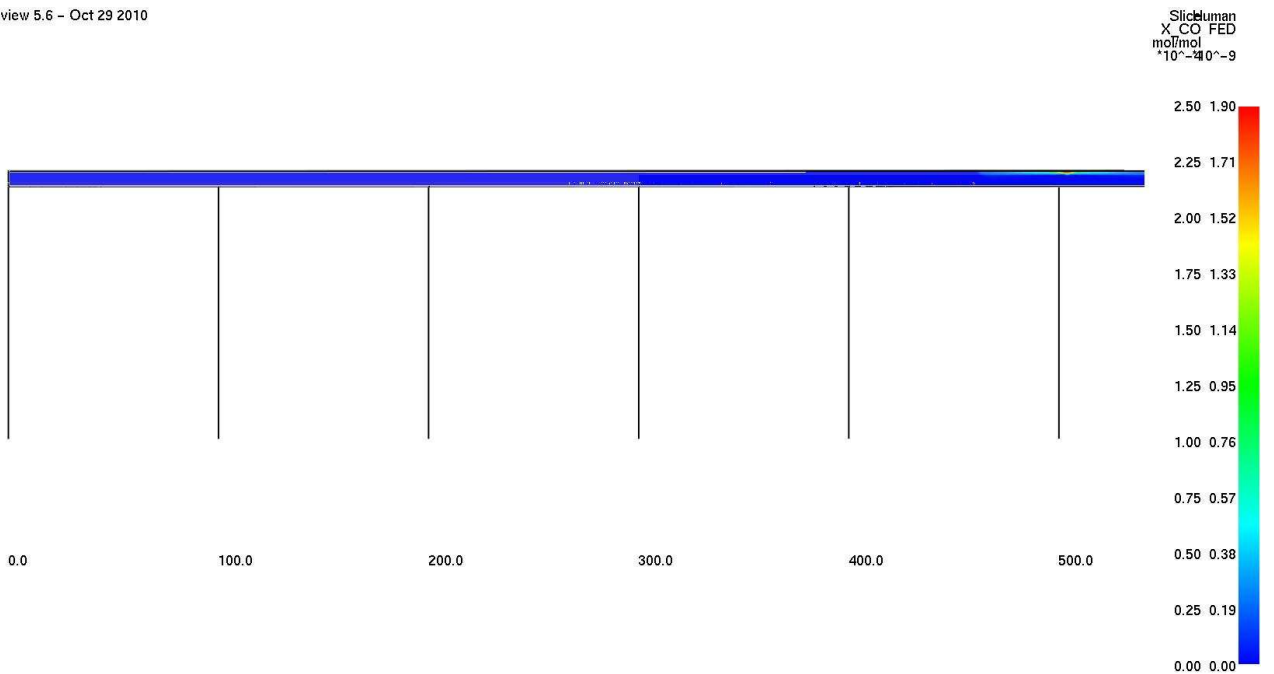
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 120  
0:00:59.5



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

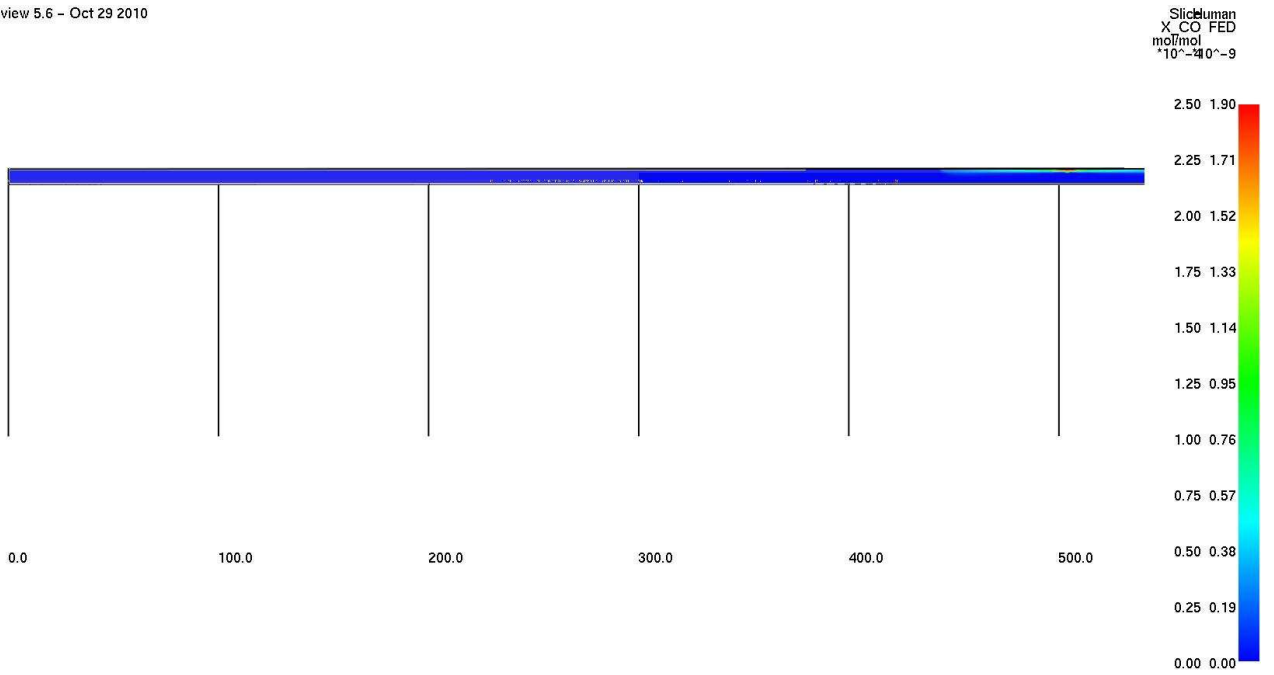


Frame: 180  
0:01:29.5





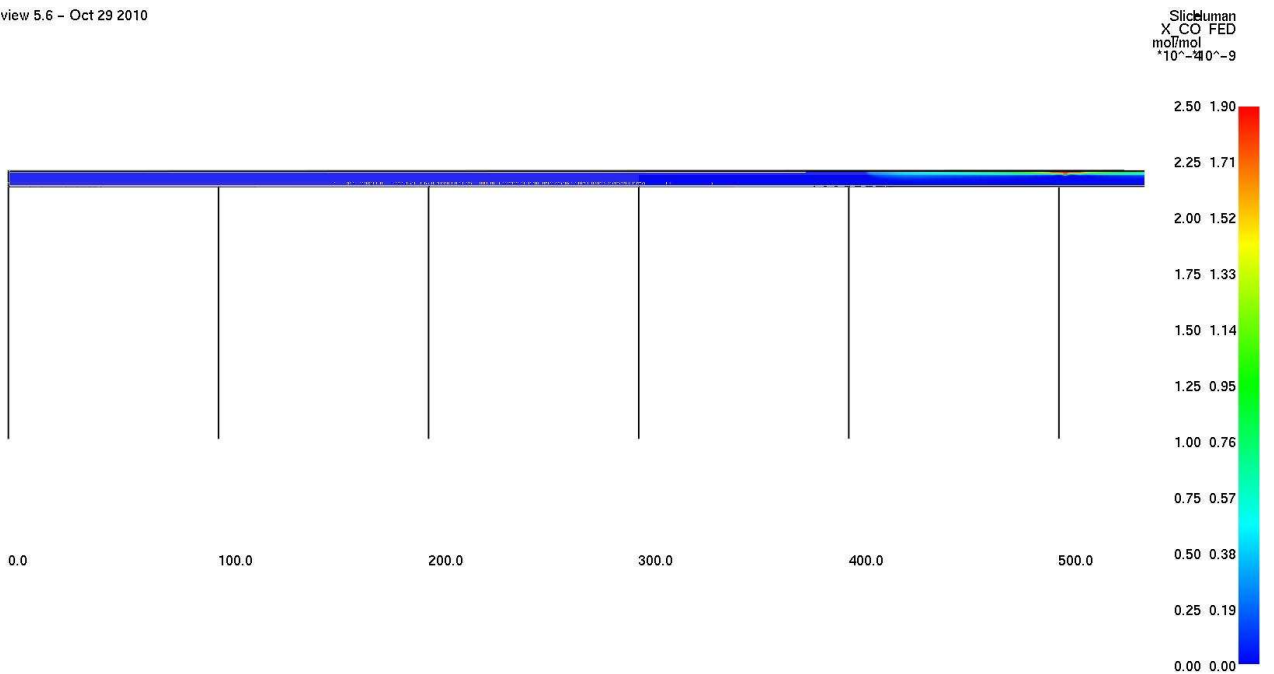
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 240  
0:01:59.5



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

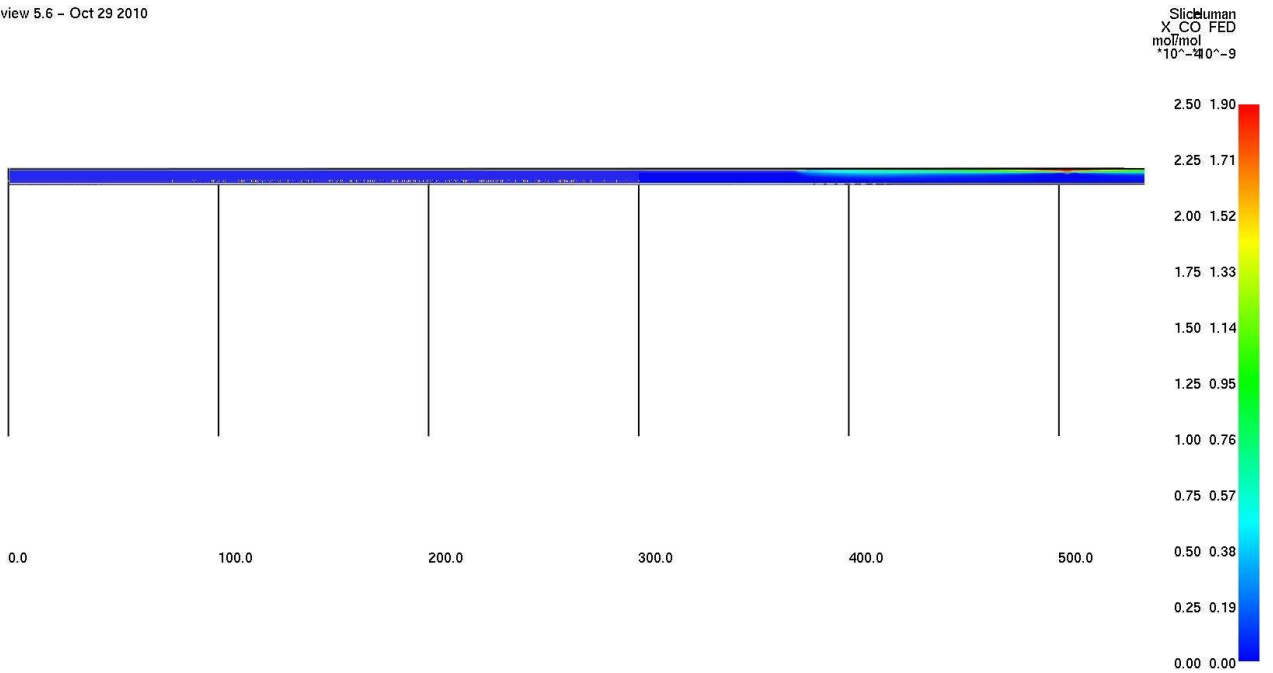


Frame: 360  
0:02:59.5





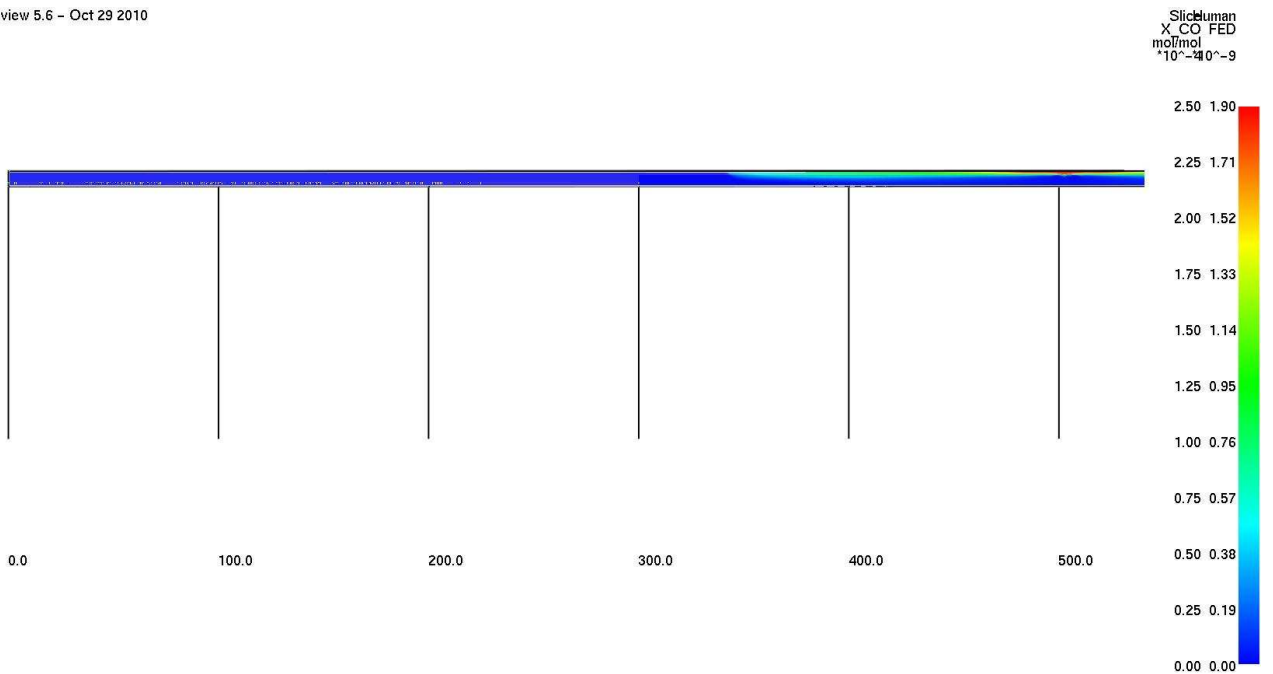
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 480  
0:03:59.5



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 600  
0:04:59.5



Smokeview  
X CO FED  
mol/mol  
10^-9

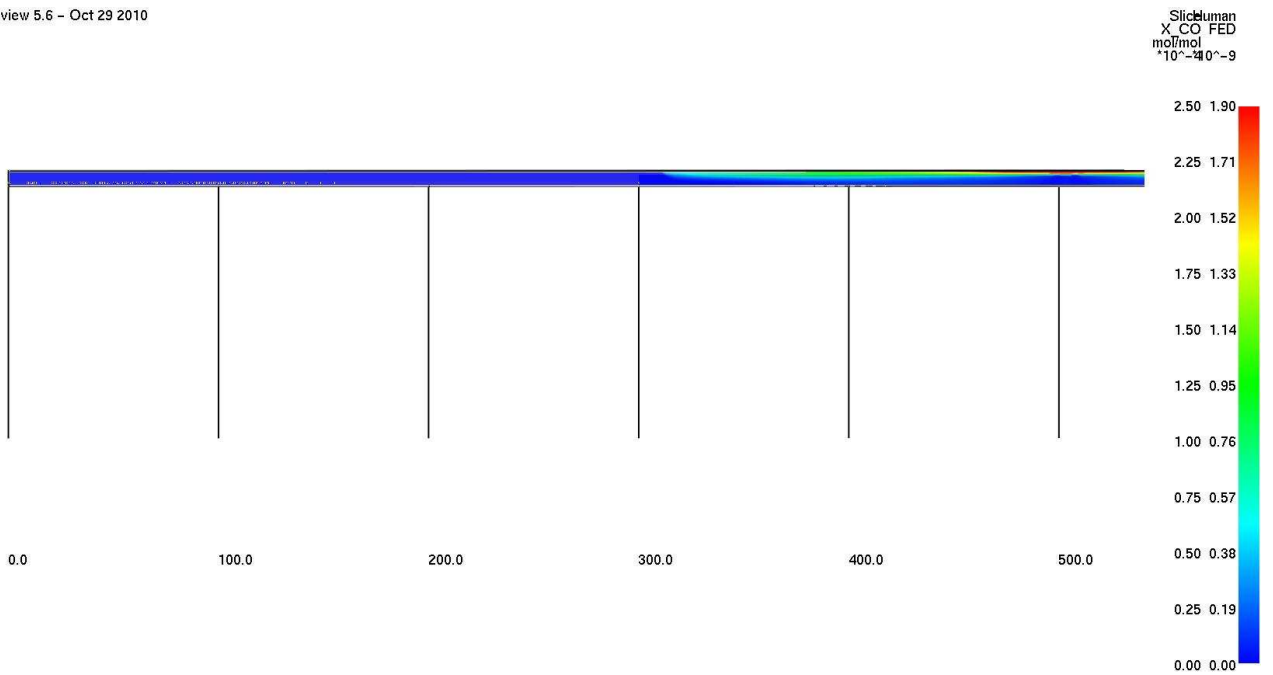
mesh: 1

Smokeview  
X CO FED  
mol/mol  
10^-9

mesh: 1



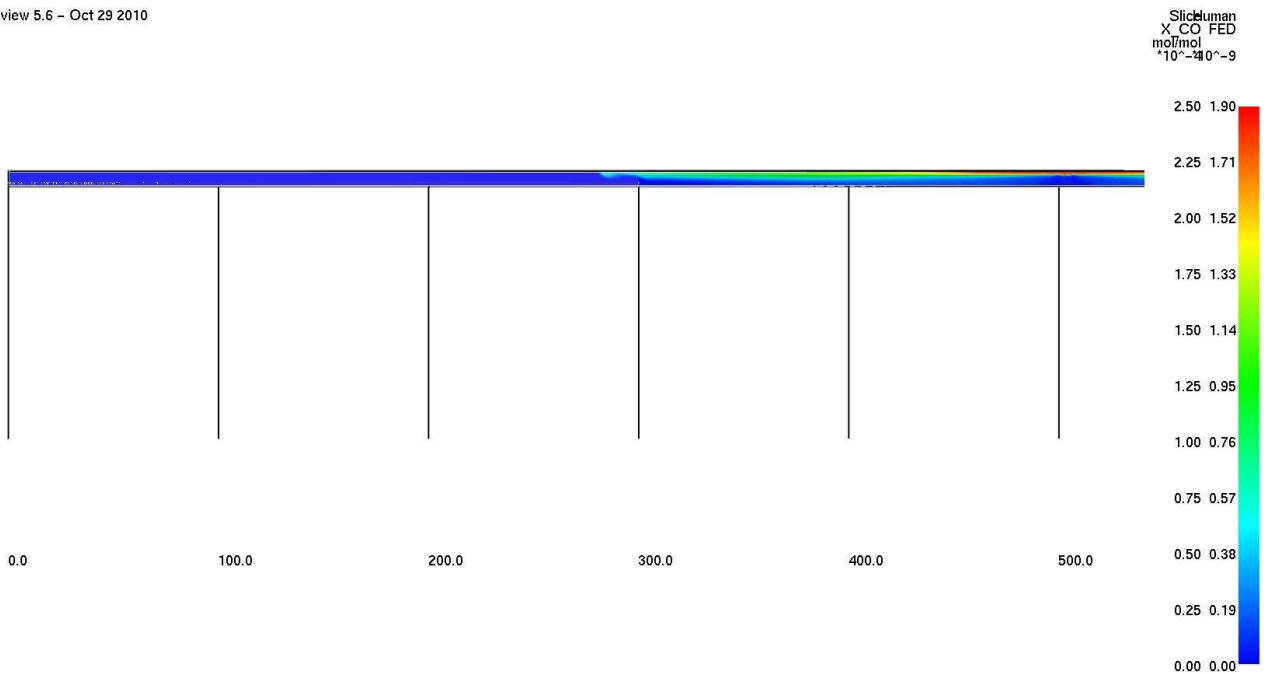
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 720  
0:05:59.5



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 840  
0:06:59.5



Smokeview  
X CO FED  
mol/mol  
10^-9

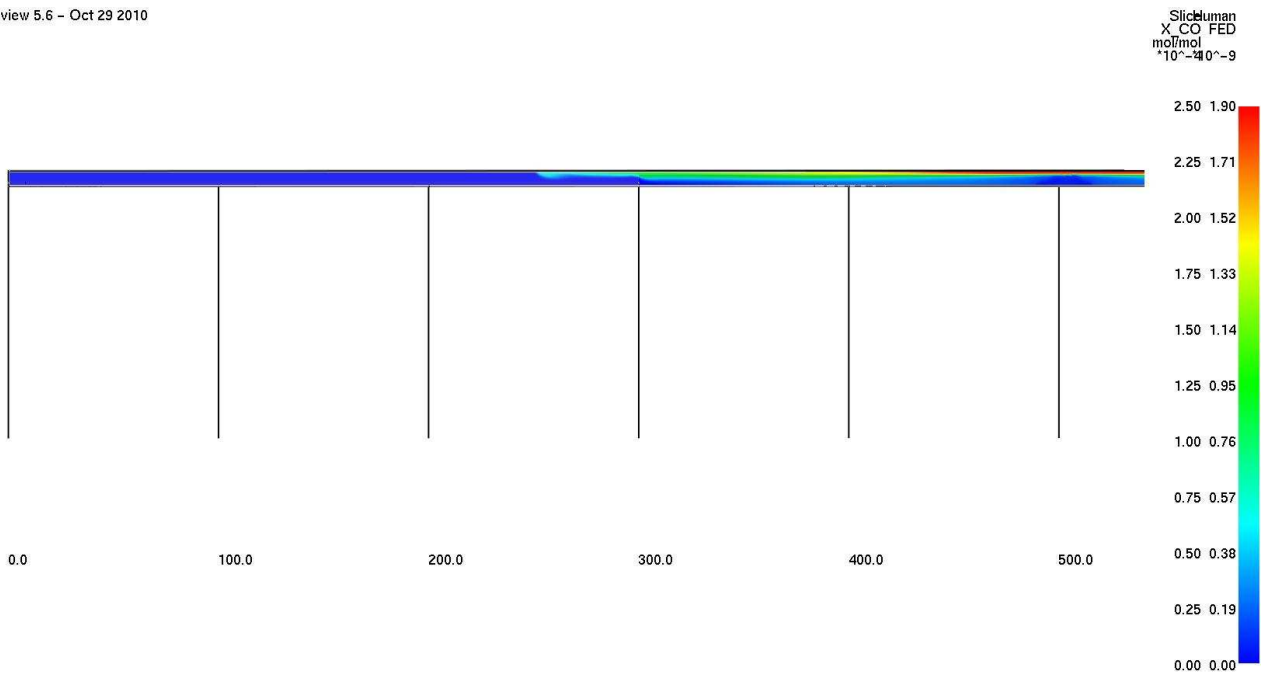
mesh: 1

Smokeview  
X CO FED  
mol/mol  
10^-9

mesh: 1



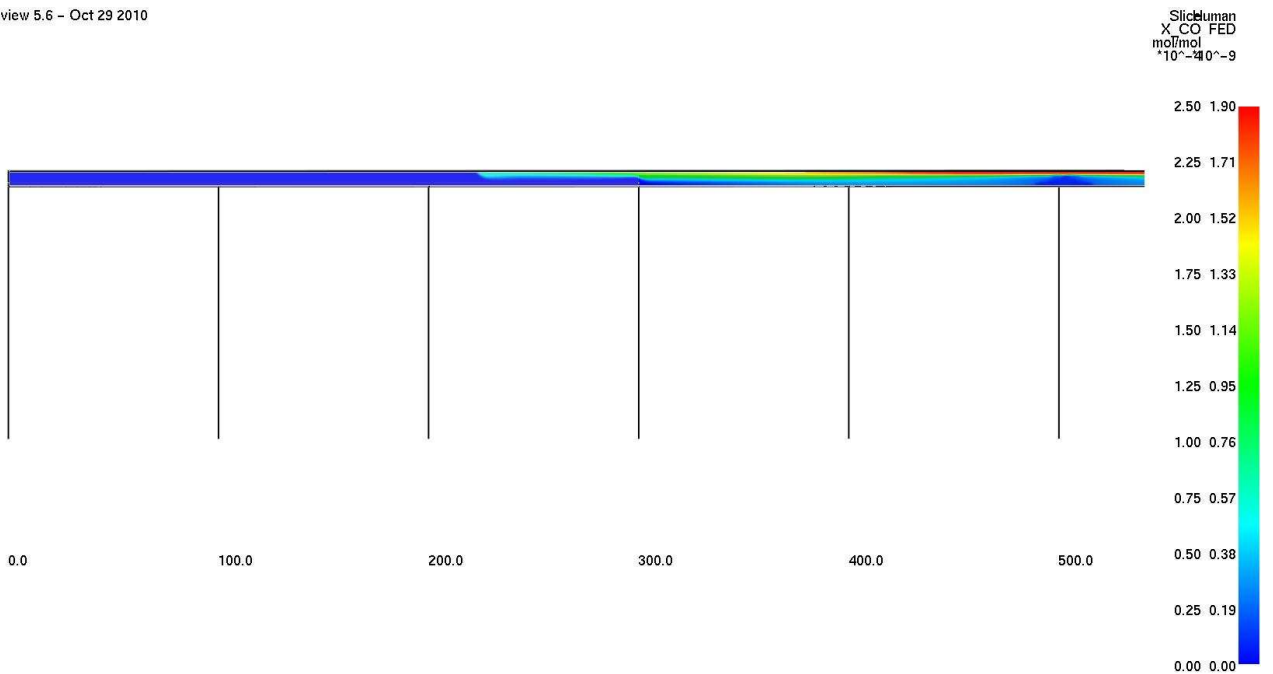
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 960  
0:07:59.5



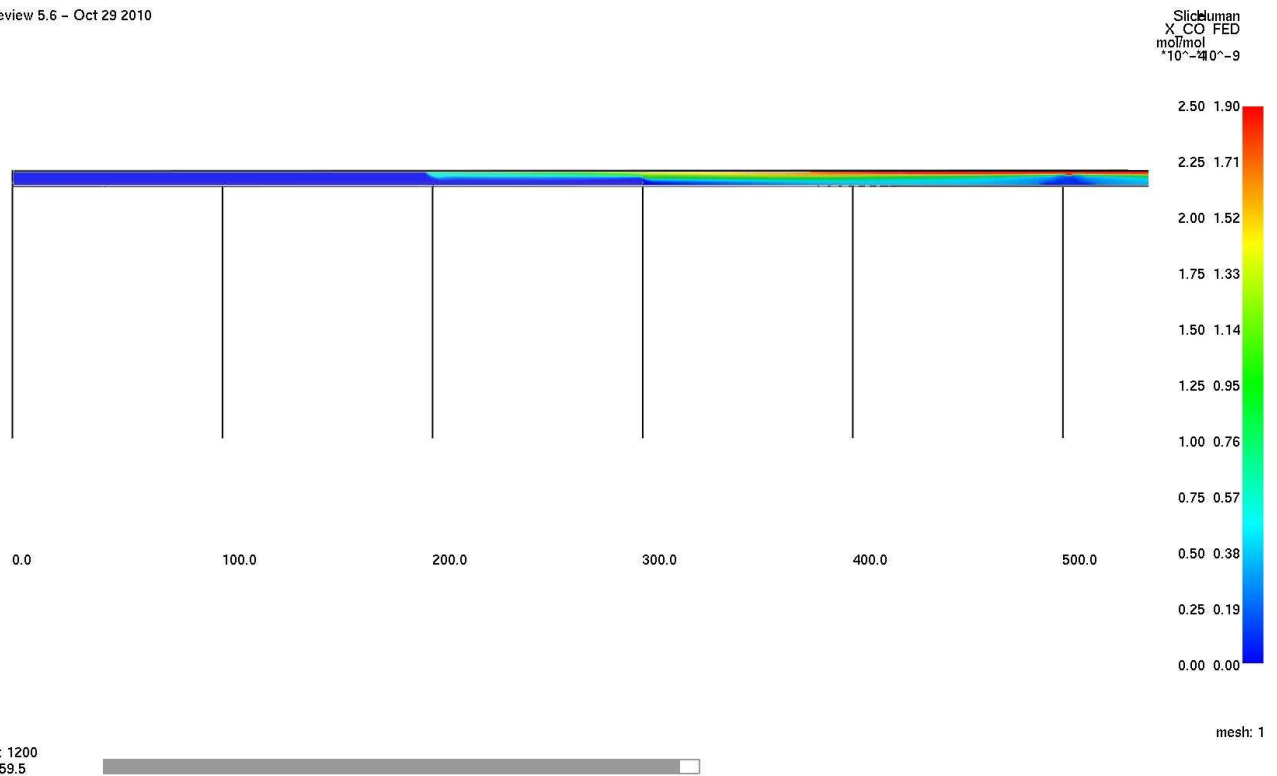
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 1080  
0:08:59.5



Smokeview 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 8 minuti e 15 secondi), le concentrazioni di monossido di carbonio lungo la galleria ad altezza uomo non supera il valore di circa 150ppm, 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-ga00-0x-003-f00.doc</p>	<p>Foglio 31 di 31</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 1200m della galleria Pozzolo, 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 o l'esterno della galleria in un tempo complessivo pari a 8 minuti e 15 secondi.