

**MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI
STRUTTURA TECNICA DI MISSIONE**



COMUNE DI TORINO



**METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO
LINEA 2 – TRATTA POLITECNICO – REBAUDENGO**

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA
Lotto Generale: Politecnico - Rebaudengo**

PROGETTO DEFINITIVO		 INFRA.TO <i>infrastrutture per la mobilità</i>												INFRATRASPORTI S.r.l.			
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA																
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 6038S	Ing. F. Cocito Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 8785X	PREVENZIONE INCENDI LINEA MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA															
		ELABORATO										REV.		SCALA	DATA		
		Int.	Est.														
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		MT	L2	T1	A0	D	VVF	GEN	R	018	-	1	-	31/10/2022			

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMMISSIONE	31/03/22	LSo	FCo	FCo	RCr
1	AGGIORNAMENTO PER ASPETTI FUNZIONALI E DI PREVENZIONE INCENDI	31/10/22	LSo	FCo	FCo	RCr
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 0</td> <td>CARTELLA</td> <td>19.2</td> <td>106</td> <td>MTL2T1A0D</td> <td>VVFGENR018</td> </tr> </table>						LOTTO 0	CARTELLA	19.2	106	MTL2T1A0D	VVFGENR018	<p align="center">STAZIONE APPALTANTE</p> <p align="center">DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p align="center">RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozziro</p>						
LOTTO 0	CARTELLA	19.2	106	MTL2T1A0D	VVFGENR018													

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

INDICE

1.	INTRODUZIONE	7
2.	DESCRIZIONE DELLA LINEA	9
3.	ANALISI REQUISITI DEL DM 21/10/2015 E RELATIVI CONTESTI APPLICATIVI PER LE GALLERIE	12
3.1	ALLEGATO I REGOLA TECNICA DI PREVENZIONE INCENDI PER LA PROGETTAZIONE, COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DELLE METROPOLITANE	12
3.2	APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO	19
4.	ANALISI FLUIDODINAMICA: IL CODICE FDS	25
4.1	MODELLO DI TURBOLENZA	27
4.2	MODELLO DI COMBUSTIONE	27
4.3	STRUMENTO PER LA SIMULAZIONE DI ESODO: PATHFINDER	29
5.	IDENTIFICAZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE	32
5.1	LIVELLI DI VISIBILITÀ	34
5.2	LIVELLI DI TEMPERATURA	34
5.3	LIVELLI DI IRRAGGIAMENTO TERMICO	34
5.4	LIVELLI DELLA FED (FRACTIONAL EFFECTIVE DOSE)	35
6.	DEFINIZIONE DEGLI SCENARI	36
6.1	SCENARIO CON TRENO IN DIREZIONE OPPOSTA AL TRENO INCENDIATO	36
7.	SCENARIO 1: TRENO FERMO IN GALLERIA TRA POZZO VERONA E STAZIONE NOVARA	40
7.1	MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO	40
7.1.1	GEOMETRIA	40
7.1.2	DEFINIZIONE DELLO SCENARIO	43
7.1.3	CURVA D'INCENDIO	43
7.1.4	IMPIANTO DI VENTILAZIONE	45
7.1.5	CONDIZIONI AL CONTORNO	46
7.1.6	CRONOLOGIA DEGLI EVENTI	46

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

7.1.7	ESODO	47
7.2	RISULTATI	47
7.2.1	PROPAGAZIONE DEI FUMI	48
7.2.2	VELOCITÀ DELL'ARIA	50
7.2.3	TEMPERATURA	52
7.2.4	VISIBILITÀ	54
7.2.5	MONOSSIDO DI CARBONIO	56
7.2.6	IRRAGGIAMENTO TERMICO	58
7.2.7	LIVELLO MEDIO FED	60
7.2.8	ESODO	62
7.3	CALCOLO ASET	66
7.4	CALCOLO RSET	67
7.5	CONCLUSIONI	67
8.	SCENARIO 2: TRENO FERMO NEL RETROSTAZIONE BOLOGNA	69
8.1	MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO	69
8.1.1	GEOMETRIA	69
8.1.2	DEFINIZIONE DELLO SCENARIO	72
8.1.3	CURVA D'INCENDIO	72
8.1.4	IMPIANTO DI VENTILAZIONE	74
8.1.5	CONDIZIONI AL CONTORNO	75
8.1.6	CRONOLOGIA DEGLI EVENTI	75
8.1.7	ESODO	76
8.2	RISULTATI	76
8.2.1	PROPAGAZIONE DEI FUMI	77
8.2.2	VELOCITÀ DELL'ARIA	79
8.2.3	TEMPERATURA	81
8.2.4	VISIBILITÀ	83
8.2.5	MONOSSIDO DI CARBONIO	85
8.2.6	IRRAGGIAMENTO TERMICO	87
8.2.7	LIVELLO MEDIO FED	89
8.2.8	ESODO	91
8.3	CALCOLO ASET	94
8.4	CALCOLO RSET	95
8.5	CONCLUSIONI	95
9.	SCENARIO 3: TRENO FERMO TRA STAZIONE BOLOGNA E STAZIONE CIMAROSA	97

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

9.1	MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO	97
9.1.1	GEOMETRIA	97
9.1.2	DEFINIZIONE DELLO SCENARIO	100
9.1.3	CURVA D'INCENDIO	100
9.1.4	IMPIANTO DI VENTILAZIONE	103
9.1.5	CONDIZIONI AL CONTORNO	104
9.1.6	CRONOLOGIA DEGLI EVENTI	104
9.1.7	ESODO	105
9.2	RISULTATI	105
9.2.1	PROPAGAZIONE DEI FUMI	107
9.2.2	VELOCITÀ DELL'ARIA	109
9.2.3	TEMPERATURA	111
9.2.4	VISIBILITÀ	113
9.2.5	MONOSSIDO DI CARBONIO	115
9.2.6	IRRAGGIAMENTO TERMICO	117
9.2.7	LIVELLO MEDIO FED	119
9.2.8	ESODO	121
9.3	CALCOLO ASET	125
9.4	CALCOLO RSET	126
9.5	CONCLUSIONI	126
10.	SCENARIO 4: TRENO FERMO NEL RETROSTAZIONE POLITECNICO	128
10.1	MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO	128
10.1.1	GEOMETRIA	128
10.1.2	DEFINIZIONE DELLO SCENARIO	131
10.1.3	CURVA D'INCENDIO	131
10.1.4	IMPIANTO DI VENTILAZIONE	133
10.1.5	CONDIZIONI AL CONTORNO	133
10.1.6	CRONOLOGIA DEGLI EVENTI	134
10.1.7	ESODO	134
10.2	RISULTATI	135
10.2.1	PROPAGAZIONE DEI FUMI	135
10.2.2	VELOCITÀ DELL'ARIA	137
10.2.3	TEMPERATURA	139
10.2.4	VISIBILITÀ	141
10.2.5	MONOSSIDO DI CARBONIO	143
10.2.6	IRRAGGIAMENTO TERMICO	145
10.2.7	LIVELLO MEDIO FED	147
10.2.8	ESODO	149

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

10.3	CALCOLO ASET	152
10.4	CALCOLO RSET	153
10.5	CONCLUSIONI	153
11.	CONCLUSIONI	155

INDICE DELLE FIGURE E TABELLE

Figura 1 - Key-plan della linea 2 – tratta funzionale Politecnico-Rebaudengo	10
Figura 2 - Differenza tra ASET e RSET	21
Tabella 2 - Modello tridimensionale	40
Figura 3 – Caratterizzazione del modello CFD	41
Figura 4 - Curva d'incendio DM 21.10.2015	43
Tabella 3 – Parametri fase di combustione	44
Tabella 4 – Grandezze focolaio di incendio	45
Tabella 5 – Timing incendio a bordo treno	47
Tabella 6 – Calcolo ASET scenario 1	66
Tabella 7 - Modello tridimensionale	69
Figura 5 – Caratterizzazione del modello CFD	70
Figura 6 - Curva d'incendio DM 21.10.2015	72
Tabella 8 – Parametri fase di combustione	73
Tabella 9 – Grandezze focolaio di incendio	74
Tabella 10 – Timing incendio a bordo treno	76
Tabella 11 – Calcolo ASET scenario 2	94
Tabella 12 - Modello tridimensionale	97
Figura 7 – Caratterizzazione del modello CFD	98
Figura 8 - Curva d'incendio DM 21.10.2015	101
Tabella 13 – Parametri fase di combustione	102
Tabella 14 – Grandezze focolaio di incendio	103
Tabella 15 – Timing incendio a bordo treno	105
Figura 9 – Localizzazione sensori su marciapiede	106
Tabella 16 – Calcolo ASET scenario 3	125
Tabella 17 - Modello tridimensionale	128
Figura 10 – Caratterizzazione del modello CFD	129
Figura 11 - Curva d'incendio DM 21.10.2015	131
Tabella 18 – Parametri fase di combustione	132
Tabella 19 – Grandezze focolaio di incendio	133
Tabella 20 – Timing incendio	134

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

Tabella 21 – Calcolo ASET scenario 4

152

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

1. INTRODUZIONE

Il presente documento è parte della documentazione di prevenzione incendi relativa alla fase di Progetto Definitivo della nuova Linea 2 della Metropolitana Automatica di Torino- tratta funzionale Rebaudengo Politecnico.

Il documento in oggetto costituisce l'analisi degli scenari di emergenza di cui al DM. 21/10/2015: modellazione incendio ed esodo a supporto alla progettazione interna della Metropolitana Automatica di Torino – Linea 2, limitatamente agli studi riguardanti la modellazione CFD (Computational Fluid Dynamics) e la simulazione di esodo delle differenti tipologie delle opere della tratta Rebaudengo-Politecnico.

Acquisita la documentazione del progetto PFTE nella prima parte del documento è riportata in breve l'analisi dei requisiti del DM 21/10/2015, con riferimento al contesto specifico della metropolitana. Dunque, sono stati riportati i punti salienti del suddetto decreto; inoltre vengono riportati i principi normativi adottati coerenti con l'approccio prestazionale ingegneristico.

I risultati dell'analisi monodimensionale, effettuata mediante software SVS6 relativa alla gestione degli incendi nelle intertratte della linea 2 della metropolitana di Torino, sono stati associati ai risultati ottenuti con la modellazione degli scenari previsti per l'analisi in oggetto; quindi, i risultati hanno consentito di poter supportare le scelte progettuali avallando i risultati della modellazione monodimensionale.

In particolare sono stati definiti dei tratti tipologici e tratti caratteristici della linea con la finalità di verificare i risultati della modellazione monodimensionale attraverso i metodi ingegneristici contenuti nel DM 21/10/2015, ovvero accoppiando simulazioni di incendio ed esodo per gli scenari di tipo 2 Incendio di un treno in galleria.

Nello specifico della normativa antincendio il Progetto Definitivo in parola relativamente alla ventilazione della galleria di linea si avvale di soluzioni conformi, pertanto il presente studio si inquadra come approfondimento di quanto richiesto al paragrafo V.1 del DM 21/10/2015 ed in

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

particolare ai punti 1 e 4 di seguito citati per i quali sono richieste verifiche fluidodinamiche relativamente agli scenari di incendio in galleria.

L'approccio di calcolo utilizzato è in conformità al DM 21/10/2015 ed in particolare a quanto riportato nell'appendice tecnica in riferimento al DM 9/5/2007 allegato A relativamente alla documentazione da produrre. Si evidenzia come l'analisi preliminare o qualitativa sia già assolta per le soluzioni conformi dal DM 21/10/2015 stesso che definisce gli scenari di incendio di riferimento da analizzare, mentre l'analisi quantitativa costituisce lo strumento progettuale e di verifica di conformità alla norma stessa.

La prima fase definita al paragrafo 2 dell'allegato A al DM 9/5/2007 comma 1 si ritiene pertanto già assolta dal DM 21/10/2015 e non necessita per le soluzioni conformi di una definizione degli scenari di incendio di progetto.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

2. DESCRIZIONE DELLA LINEA

Di seguito si riporta una descrizione della tratta metropolitana in oggetto utile all'inquadramento territoriale e strategico per l'analisi effettuata.

Il 1° lotto funzionale della Linea 2 della Metropolitana di Torino, incluso tra le stazioni Rebaudengo e Politecnico, si colloca interamente nel territorio comunale di Torino, presenta una lunghezza di circa 9,7 km, e, procedendo da nord verso sud, si sviluppa a partire dalla stazione di corrispondenza con la stazione F.S. Rebaudengo-Fossata, proseguendo poi lungo la ex trincea ferroviaria posta tra via Gottardo e via Sempione. Il tracciato, a partire dalla fermata Corelli passa lungo via Bologna, al fine di servire meglio gli insediamenti dell'area interessata esistenti e futuri con le fermate intermedie Cimarosa-Tabacchi, Bologna e Novara. Dopo la fermata Novara, il tracciato si allontana dall'asse di Via Bologna mediante una curva in direzione sud-est e si immette sotto l'asse di Corso Verona fino alla Stazione Verona ubicata in Largo Verona. Dopo la fermata Verona, sotto attraversato il fiume Dora e Corso Regina Margherita, la linea entra nel centro storico della città con le fermate Mole/Giardini Reali e Carlo Alberto, portandosi poi in corrispondenza di via Lagrange, sino ad arrivare alla stazione Porta Nuova, posta lungo via Nizza, che sarà di corrispondenza sia con la linea F.S. che con la Linea 1 della metropolitana di Torino.

Dalla fermata Porta Nuova il tracciato prosegue lungo l'allineamento di via Pastrengo, per poi portarsi su corso Duca degli Abruzzi fino alla fermata Politecnico.

Il 1° lotto funzionale è costituito dalle seguenti opere:

- 13 stazioni sotterranee,
- 12 pozzi intertratta aventi funzione di ventilazione, uscita di emergenza ed accesso dei soccorsi,
- la galleria di linea costituita da:
 - o Un tratto in galleria naturale realizzato con scavo tradizionale per una lunghezza di 135 m circa, che va dal manufatto di retrostazione Rebaudengo alla Stazione Rebaudengo;

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

- Un tratto in galleria artificiale in Cut&Cover ad uno o due livelli, per una lunghezza complessiva di circa 3,0 km che collega le stazioni Rebaudengo, Giulio Cesare, San Giovanni Bosco, Corelli, Cimarosa/Tabacchi, Bologna fino al manufatto in retrostazione Bologna che include anche il pozzo Novara;
- Un tratto in galleria naturale realizzato con scavo meccanizzato mediante una TBM (Tunnel Borin Machine) avente diametro di circa 10,00 m, che scaverà la galleria di linea dal manufatto in retrostazione Bologna fino al tronchino in retrostazione Politecnico per una lunghezza complessiva di circa 5,6 km;
- un pozzo terminale di fine tratta funzionale per l'estrazione della TBM, posto all'estremità del tronchino in retrostazione Politecnico;
- il manufatto in retrostazione Rebaudengo, avente la funzione di deposito-officina, per la manutenzione ordinaria programmata sui treni, oltre che il parcheggio di 7 treni in stalli predisposti e complessivamente di 10 treni a fine servizio;
- la predisposizione per la realizzazione del manufatto di bivio nella diramazione nord verso San Mauro Torinese.

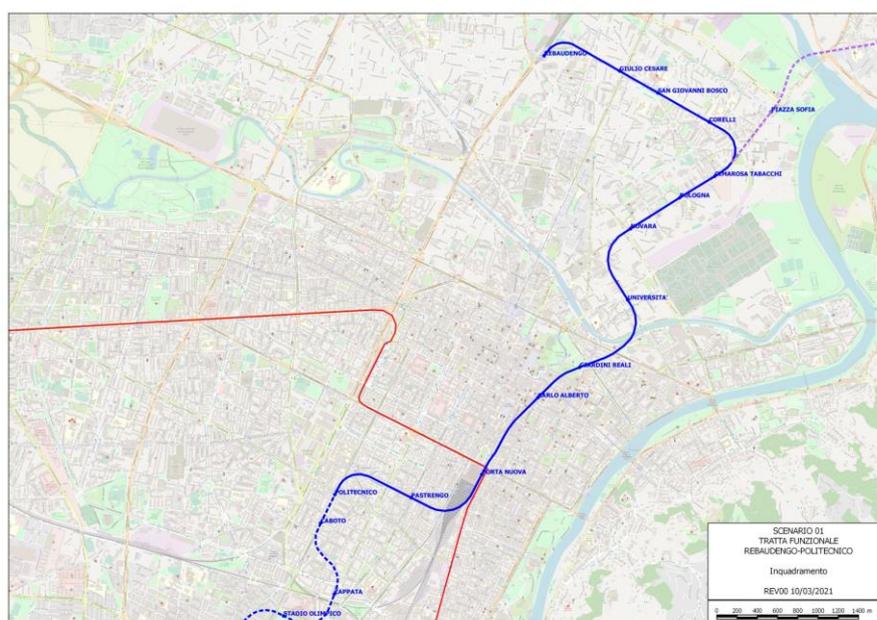


Figura 1 - Key-plan della linea 2 – tratta funzionale Politecnico-Rebaudengo

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

L'interesse della suddetta relazione è la modellazione dello scenario incendio a bordo di un treno fermo in galleria, e precisamente nel tratto compreso tra la stazione Novara ed il pozzo di ventilazione Verona ed in tratte specifiche quali il retrostazione Bologna, il tratto prima della stazione Cimarosa ed il retrostazione Politecnico.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

3. ANALISI REQUISITI DEL DM 21/10/2015 E RELATIVI CONTESTI APPLICATIVI PER LE GALLERIE

3.1 Allegato I Regola Tecnica Di Prevenzione Incendi Per La Progettazione, Costruzione Ed Esercizio Delle Metropolitane

Capo I - Generalità

I.1. Premesse.

1. Lo scopo della presente regola tecnica è quello di fornire i criteri progettuali per la realizzazione di nuove metropolitane al fine di attenuare i livelli di rischio nei confronti dell'evento «incendio». La sicurezza antincendio è infatti fondamentale per la tutela degli utenti che usufruiscono del servizio ed incontra anche la necessità di garantire alle squadre di soccorso le condizioni minime di sicurezza per operare con successo.

2. La regola tecnica è basata su indicazioni tecniche che rappresentano la sintesi di studi ed orientamenti progettuali condivisi a livello internazionale. In tal modo i criteri di progettazione della sicurezza antincendio per le metropolitane risultano definiti, verificati, garantiti da un adeguato margine di sicurezza e, soprattutto, integrati nel più ampio processo di progettazione delle opere. Il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio, in particolare quelli correlati al controllo e alla gestione dei fumi ed alla progettazione dei percorsi di sfollamento in condizioni di emergenza, può essere conseguito mediante un approccio alla progettazione di tipo prestazionale basato sui criteri indicati nel decreto del Ministro dell'interno 9 maggio 2007, recante «Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio», a partire da condizioni di non adeguamento agli obblighi presenti nella regola tecnica D.M. 21.10.2015 che, qualora non applicabili, richiedono ulteriori valutazioni del rischio. In caso di scostamento dai valori prescritti è, infatti, necessario analizzare gli scenari significativi in accordo all'approccio ingegneristico ai sensi del citato decreto; in entrambi i casi, sia in condizioni di adeguamento conforme al D.M. 21.10.2015 che in condizioni di progettazione prestazionale ai sensi del D.M. 9.05.2007, dovrà essere attuato un sistema di gestione della sicurezza antincendio, così come previsto dallo stesso decreto.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

3. L'obiettivo primario della salvaguardia delle persone deve essere perseguito con riferimento a:

- condizioni di sopravvivenza delle persone che si trovino nelle immediate vicinanze di un focolaio d'incendio;
- protezione delle persone durante il percorso che le conduce in uno spazio scoperto o comunque intrinsecamente sicuro.

4. Tenuto conto che, ai fini della sicurezza antincendio, va sempre perseguito l'obiettivo di condurre il treno in stazione, gli scenari d'incendio di riferimento principali, ma non esclusivi, sono:

- scenario 1): incendio a bordo di un treno in stazione;
- scenario 2): incendio a bordo di un treno fermo in galleria;
- scenario 3): incendio di un'eventuale attività commerciale di pertinenza posta nell'atrio della stazione ed avente le caratteristiche geometriche ed impiantistiche riportate nella stessa regola tecnica;
- scenario 4): incendio in un locale tecnico.

5. La potenza d'incendio, e quindi la curva naturale d'incendio, da assumere come base per i calcoli dei parametri dell'incendio (profili di temperatura, altezza delle fiamme e portata dei fumi) è stimata, per gli scenari di incendio 1) e 2), sulla base delle caratteristiche di combustibilità dei materiali che costituiscono i vagoni dei convogli. Nel caso in cui risulti una potenza totale inferiore a 7000 kW è comunque assunto, in coerenza con quanto prescritto e a favore di sicurezza, un incendio di progetto minimo pari a 7000 kW su cui si basa il calcolo dei parametri dell'incendio. La potenza va intesa come potenza totale di picco, espressa con una funzione temporale quadratica con coefficiente α pari a 0,014, corrispondente al raggiungimento della potenza di 1000 kW in 270 secondi.

6. Per lo scenario di incendio 3) è assunto un incendio di progetto minimo pari a 3000 kW da intendersi come potenza totale massima raggiunta espressa con una funzione temporale quadratica di tipo medio e controllata, eventualmente fino allo spegnimento, dall'impianto

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

automatico di spegnimento ad acqua, sempre presente e debitamente progettato per raggiungere tale obiettivo.

7. Per lo scenario di incendio 4) è assunto un incendio di progetto di caratteristiche analoghe a quelle definite per lo scenario di incendio 3) anche non in presenza di impianto automatico di spegnimento.

[...]

16. Stato critico per la sicurezza della vita umana

Ciascuna delle condizioni limite alle quali può essere esposta una persona in metropolitana in caso di incendio. La verifica progettuale consiste nell'impedire che si manifestino, mediante misure di prevenzione e protezione dagli incendi, condizioni più gravose di ciascuno dei limiti sotto indicati:

- l'esposizione delle persone ad un flusso termico radiante pari a 2,5 kW/m² determinato da stratificazioni di fumo caldo;
- l'esposizione delle persone a temperature di 60 °C per tempi superiori a 10 min,
- una visibilità, riferita alla percezione delle uscite dalla galleria di stazione, pari a 15 m misurata ad un'altezza di 1,8 m dal piano di calpestio;
- un livello medio della FED (Fractional Effective Dose) non superiore a 0,3, calcolata considerando solo il contributo dell'ossido di carbonio.

Lo stato critico non deve essere superato almeno per il tempo necessario affinché l'ultima persona presente nel compartimento o nella zona dell'incendio raggiunga un luogo sicuro o un percorso di sfollamento protetto.

Deve essere valutato il margine di sicurezza in termini di tempo disponibile per l'esodo (ASET) rispetto al tempo necessario per l'esodo (RSET).

17. Condizioni sostenibili per la vita umana

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

Condizioni sostenibili per un tempo indefinito alle quali può essere esposta una persona in un percorso di sfollamento protetto. La verifica progettuale consiste nell'impedire che si manifestino, mediante misure di prevenzione e protezione dagli incendi, condizioni più gravose di ciascuno dei limiti sotto indicati:

- una temperatura media dell'aria non superiore a 40 °C;
- una visibilità, riferita alla percezione della segnaletica di emergenza, non inferiore a 30 m misurata ad un'altezza di 1,8 m dal piano di calpestio;
- un livello medio della FED (Fractional Effective Dose) non superiore a 0,1, calcolata considerando solo il contributo dell'ossido di carbonio.

Capo IV - Criteri progettuali per l'esodo dalle metropolitane

[...]

IV.2. Lunghezza massima del percorso di sfollamento.

1. Sono stabilite le seguenti lunghezza massime:

- nella galleria di stazione, dal capo più lontano della banchina all'imbocco del percorso protetto più vicino: **45 m** elevabili a **60 m** nelle condizioni indicate al successivo capo IV.4;
- nei percorsi protetti, fino al luogo sicuro più vicino: **300 m**;
- nelle sedi sotterranee le uscite di sicurezza dovranno essere posizionate ad una distanza reciproca massima di **900 m**, in modo che la lunghezza massima del percorso di sfollamento non sia superiore a 450 m. Sono considerate uscite di sicurezza anche le stazioni.

IV.3. Affollamento.

1. Il massimo affollamento ipotizzabile in banchina è dato dalla somma di due addendi:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

a) il numero dei passeggeri convenzionalmente presenti su un treno, assunto pari alla capacità di un treno di massima composizione, con il carico nominale che è fissato in 4 pers/m² calcolato su una superficie pari a quella lorda interna di ogni vagone diminuita del 10%. Nel caso di banchine ad isola, il numero di passeggeri di un treno va moltiplicato per 1,5 per tener conto dell'eventuale contemporaneità di fermata di un treno sull'altro binario;

[...]

IV.5. Uscite di sicurezza dalle sedi sotterranee.

1. Le uscite di sicurezza dalle sedi sotterranee potranno essere realizzate:

a) mediante scale di sicurezza larghe almeno 1,50 m installate in pozzi verticali che comunicano con la galleria mediante filtri a prova di fumo, con pressurizzazione positiva o altro sistema di ventilazione equivalente. La superficie in pianta del filtro a prova di fumo non dovrà essere inferiore a 25 m²;

b) In caso di gallerie separate a singolo binario, mediante passaggi trasversali di larghezza non inferiore ad 1,80 m ed altezza non inferiore a 2,0 m, delimitati da porte con idonee caratteristiche di resistenza al fuoco.

2. Le porte di accesso alle uscite di sicurezza devono avere caratteristiche di resistenza al fuoco EI 120, una larghezza minima di 1,80 m ed essere dotate di dispositivi di autochiusura e di maniglioni antipánico.

3. Durante l'esercizio ordinario le porte dei filtri dovranno essere assicurate in posizione chiusa.

[...]

Capo V - Impianti di ventilazione di emergenza

V.1. Criteri generali.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

1. Gli impianti di ventilazione di emergenza costituiscono un elemento fondamentale per la sicurezza nelle metropolitane e devono essere progettati e realizzati secondo la regola dell'arte, al fine di raggiungere i seguenti obiettivi:

- In caso di incendio a bordo di un convoglio che perde mobilità all'interno di una galleria (riferimento allo scenario di incendio 2), assicurare che le persone possano evacuare il convoglio usando la galleria come percorso di sfollamento fino alla stazione più vicina o ad una uscita di sicurezza. La velocità dell'aria nella galleria dovrà essere sufficiente a contrastare i fenomeni espansivi dei fumi dell'incendio in senso contrario a quello dell'aria fresca immessa in galleria (backlayering) e comunque non potrà essere inferiore a 1,5 m/s; in ogni caso non si deve verificare, in galleria, lo stato critico per la sicurezza umana per tutto il tempo necessario al raggiungimento delle uscite di sicurezza di cui al capo IV.5, tenendo altresì conto delle difficoltà di sbarco e della ridotta mobilità degli occupanti sulla banchina di servizio;
- In caso di incendio a bordo di un treno che è fermo in stazione (riferimento allo scenario di incendio 1), assicurare che le persone possano evacuare il convoglio percorrendo il tratto di banchina di lunghezza definita al capo IV.2, fino ad entrare nei percorsi protetti; in ogni caso non si deve verificare lo stato critico per la sicurezza umana almeno per i primi dieci minuti dall'apertura delle porte del convoglio;
- Controllare la velocità dell'aria nelle prime fasi dell'incendio (fase di crescita) al fine di agevolare l'evacuazione degli utenti in galleria.

2. Per gallerie di sedi sotterranee di lunghezza inferiore o pari a 300 m non è necessario l'impianto di ventilazione di emergenza.

3. La combinazione delle logiche di attuazione degli impianti di ventilazione, intendendo sia quelli di aspirazione che di immissione, con le procedure di emergenza, deve far sì che i fumi seguano percorsi opposti a quelli dell'esodo delle persone considerando la possibilità di avviare la ventilazione meccanica in modo graduale e differenziato in funzione della posizione del treno rispetto alle uscite di emergenza e del focolaio all'interno del treno medesimo.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

4. Gli impianti di ventilazione di emergenza dovranno essere progettati secondo i metodi della tecnica aeraulica e l'efficacia globale degli impianti nel raggiungimento degli obiettivi di cui al capo I.1, sarà verificata tramite analisi fluidodinamiche.

5. La verifica fluidodinamica dell'impianto dovrà essere effettuata anche su uno scenario che preveda l'attivazione degli impianti di ventilazione in condizioni di emergenza, ma senza incendio, in modo da costituire un riferimento progettuale per i successivi collaudi funzionali.

V.2. Pozzi di estrazione fumi.

1. Ogni tratto di galleria di lunghezza superiore ai 300 m, fra due stazioni successive, dovrà essere attrezzato con un impianto meccanico di estrazione dei fumi la cui tipologia deve essere valutata nell'ambito delle scelte progettuali con l'obiettivo di ottenere le migliori prestazioni in relazione al tipo di galleria.

2. I pozzi di ventilazione saranno posizionati, in linea generale, a circa metà tratta della galleria; la loro collocazione potrà essere anche diversa, ad esempio in testa alle stazioni, in relazione al cadenzamento dei treni ed all'interdistanza tra le stazioni stesse.

3. In caso di gallerie separate a singolo binario servite da un unico pozzo, questo deve essere completamente diaframmato in senso verticale in modo da non avere circuitazione dei fumi.

4. Qualora i pozzi siano utilizzati anche come accesso di emergenza, essi devono essere realizzati in modo che il percorso destinato ai soccorritori sia completamente indipendente e separato dai percorsi di estrazione/immissione dell'aria e dei fumi. In questo caso lo sbarco dal pozzo alla galleria deve avvenire attraverso filtro a prova di fumo.

5. I grigliati dei pozzi di ventilazione e di aerazione, posizionati sul piano di riferimento, devono essere collocati in modo da evitare l'introduzione accidentale di sostanze pericolose nella galleria.

6. I grigliati dei pozzi di aerazione e ventilazione non devono, preferibilmente, essere collocati nella sede stradale o in zone facilmente accessibili al pubblico.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

7. I grigliati dei pozzi di aerazione e ventilazione, le uscite di sicurezza ed in genere gli accessi di emergenza per le squadre di soccorso dei vigili del fuoco devono essere delimitati in modo che non possa essere inibita la loro immediata e sicura fruibilità.

[...]

V.4. Tipologia dei ventilatori.

1. La scelta dei ventilatori di estrazione degli impianti di ventilazione dovrà essere effettuata con riferimento alla temperatura dei fumi, corrette in funzione delle perdite e delle eventuali miscele con aria ambiente, che possono svilupparsi nello scenario di incendio preso a riferimento. Per gli impianti dedicati all'estrazione di fumi da incendio la classe dei ventilatori non dovrà essere inferiore ad F400/90 minuti

V.5. Gestione centralizzata degli impianti di ventilazione.

1. La gestione degli impianti di ventilazione dovrà essere gestita da un apposito centro di controllo, a cui devono pervenire tutte le informazioni sia in esercizio ordinario che in condizioni di emergenza.

3.2 Approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio

Nel Decreto emerge l'importanza dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio che viene applicato. Difatti lo scopo della Fire Safety Engineering, l'ingegneria della sicurezza antincendio, è la realizzazione di una progettazione prestazionale basata su specifici criteri di garanzia per la sopravvivenza delle persone e per la resistenza delle strutture. Tale approccio comporta la possibilità di effettuare simulazioni di incendio degli scenari rappresentativi con lo scopo di restituire dati utili al progettista per valutare la durabilità della struttura e delle sue funzioni e il tempo disponibile agli occupanti per fuggire da una struttura.

I requisiti richiesti dal decreto, dunque, mirano agli obiettivi di salvabilità delle persone e resistenza delle strutture tramite condizioni minime prescritte che assicurano l'efficacia dei

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

sistemi meccanici¹. Il sistema di ventilazione progettato deve essere validato tramite un modello fluidodinamico che consenta di verificarne il funzionamento in condizioni di emergenza.

L'approccio ingegneristico-prestazionale utilizzato valuta le condizioni di sicurezza dell'esodo basandosi sulla stima di due tempi fondamentali:

- **ASET** (Available Safe Egress Time – Tempo disponibile per l'esodo):

intervallo di tempo che intercorre fra l'istante di innesco dell'incendio e il momento in cui le condizioni ambientali sono tali da non permettere alle persone occupanti l'edificio di porsi in salvo; è dunque il tempo disponibile per raggiungere un luogo sicuro.

- **RSET** (Required Safe Egress Time – Tempo richiesto per l'esodo):

intervallo di tempo che intercorre fra l'istante di innesco dell'incendio e il momento in cui le persone occupanti l'edificio raggiungono un luogo sicuro: è dunque il tempo impiegato per mettersi in salvo.

Nella progettazione antincendio che si avvale dell'approccio prestazionale, la sicurezza delle persone viene raggiunta quando è soddisfatto il criterio

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

Il sistema d'esodo risulta efficace solo se il criterio sopra citato risulta verificato, ovvero quando il tempo necessario agli occupanti per raggiungere un luogo sicuro è inferiore al tempo in cui le condizioni ambientali rimangono non incapacitanti per questi ultimi.

La differenza tra i due valori di tempo rappresenta il margine di sicurezza della progettazione per la salvaguardia della vita. Il valore di ASET può derivare da analisi fluidodinamiche di dispersione dei prodotti della combustione che permettono di stimare le concentrazioni dei prodotti tossici, le temperature e la densità dei fumi nel tempo, attraverso l'utilizzo di modelli consolidati per i gas tossici, i gas irritanti, il calore e la diminuzione della visibilità dovuta al

¹ e, più in generale, la **disponibilità** dei sistemi meccanici



fumo. Il valore di RSET è invece determinato impiegando specifici software di simulazione d'esodo per simulare le condizioni di evacuazione in caso di emergenza e si compone del contributo di: tempo di rivelazione, tempo di allarme generale, tempo di pre-movimento, tempo di movimento. In figura 1 viene mostrata la suddivisione del tempo RSET e il confronto con il valore di ASET.

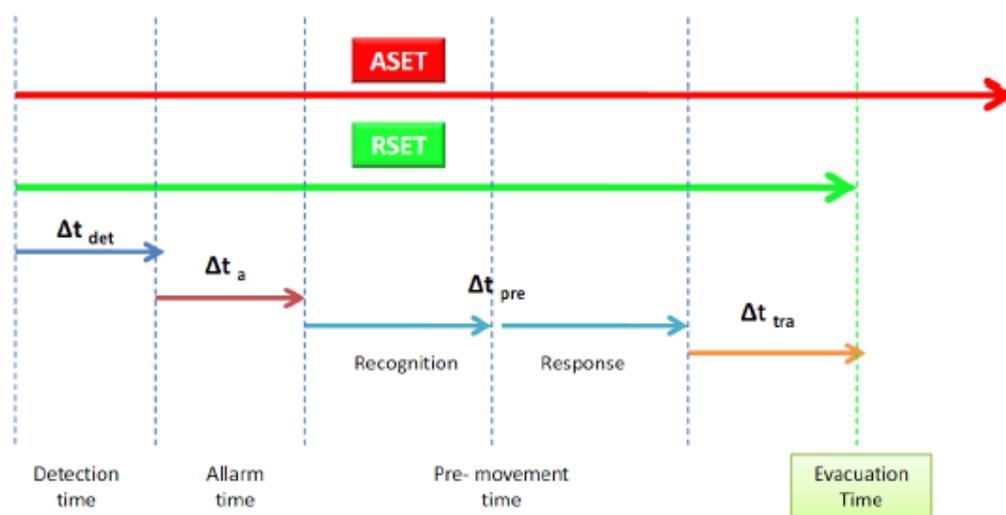


Figura 2 - Differenza tra ASET e RSET

Il sistema d'esodo risulta efficace solo se il criterio sopracitato risulta verificato, ovvero quando il tempo necessario agli occupanti per raggiungere un luogo sicuro è inferiore al tempo in cui le condizioni ambientali rimangono non incapacitanti per questi ultimi.

La differenza tra i due valori di tempo rappresenta il margine di sicurezza della progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita e deve assumere un valore sempre maggiore di 30 s e pari ad almeno il 10 % del valore di RSET.

Il valore di ASET può essere determinato in funzione di calcoli fluidodinamici che permettono di stimare le concentrazioni di prodotti tossici, le temperature e la densità dei fumi nel tempo. In

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

particolare, la norma ISO 13571 propone di assumere il valore di ASET assoluto pari al più piccolo tra gli ASET calcolati secondo i seguenti quattro modelli:

- modello dei gas tossici;
- modello dei gas irritanti;
- modello del calore;
- modello dell'oscuramento della visibilità da fumo.

RSET è invece individuato per mezzo di specifici software di simulazione d'esodo; per tale motivo è scomposto, secondo la ISO/TR 16738:2009, nei seguenti sotto tempi:

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

in cui:

- Δt_{det} , tempo di rivelazione;
- Δt_a , tempo di allarme generale;
- Δt_{pre} , tempo di pre-movimento;
- Δt_{tra} , tempo di movimento.

La definizione specifica di ciascun tempo di cui è composto l'RSET è fornita dal codice di prevenzione incendi e riportata di seguito per completezza.

Tempo di rivelazione

Il tempo di rivelazione t_{det} è il tempo indispensabile al sistema di rivelazione per avvertire l'incendio. Esso può essere determinato analiticamente o mediante modellazione numerica degli scenari d'incendio e del sistema di rivelazione, che può essere automatico o manuale.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

Tempo di allarme generale

Il tempo di allarme generale t_a è il tempo che sussiste tra il momento in cui viene rivelato l'incendio e quello in cui gli occupanti vengono informati dell'allarme.

Questo tempo può essere:

- nullo, quando l'allarme generale è attivato direttamente dalla rivelazione;
- pari al ritardo necessario all'attivazione dell'allarme manuale da parte di un addetto, opportunamente valutato dal professionista antincendio.

Tempo di pre-movimento

Il tempo di pre-movimento t_{pre} coincide con il tempo che impiegano gli occupanti nello svolgimento di una serie di attività che precedono l'esodo verso un luogo sicuro.

Questo tempo è composto ulteriormente da:

- tempo di riconoscimento, nel corso del quale gli occupanti continuano le attività che stavano svolgendo prima dell'allarme generale fin quando riconoscono la necessità di rispondere a quest'ultimo;
- tempo di risposta, in cui gli occupanti terminano lo svolgimento delle proprie attività e si preparano all'esodo.

Il valore del tempo di pre-movimento è definito a partire dalla letteratura.

Tempo di movimento

Il tempo di movimento t_{tra} è il tempo necessario agli occupanti per raggiungere un luogo sicuro dal momento in cui prendono coscienza di dover iniziare l'esodo.

Il suo valore è determinato attraverso modelli di calcolo che tengono conto delle seguenti variabili:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

- distanza degli occupanti dalle vie d'esodo;
- velocità d'esodo, influenzata dalla tipologia di occupanti e dal loro comportamento in virtù dell'ambiente in cui si trovano e degli effetti dell'incendio;
- geometria, dimensioni, dislivelli ed ostacoli delle vie d'esodo utilizzate.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

4. ANALISI FLUIDODINAMICA: IL CODICE FDS

L'analisi fluidodinamica è stata condotta utilizzando un software di fluidodinamica computazionale (CFD – Computational Fluid Dynamics) che offre una accurata possibilità di simulazione di incendio attualmente disponibile. Attraverso la fluidodinamica computazionale è possibile pervenire al calcolo dei campi vettoriali di velocità e scalari di temperatura e concentrazione tramite l'integrazione numerica delle equazioni differenziali rappresentative dei bilanci accoppiati di quantità di moto, energia e materia.

Tramite un codice CFD si può modellare uno scenario fluidodinamico attraverso le seguenti fasi:

- Definizione del dominio di calcolo nel quale si sviluppa il fenomeno oggetto di studio e la sua discretizzazione;
- Definizione del modello fisico e di quello numerico;
- Definizione delle condizioni al contorno, specificando le proprietà termo – chimiche ai confini del dominio di calcolo;
- Risoluzione delle equazioni in maniera iterativa, fino al raggiungimento di un predefinito grado di accuratezza controllato con verifiche continue sugli esiti risultanti dalla soluzione approssimata delle equazioni esatte;
- Resa grafica dei risultati ottenuti, con rappresentazione di campi e variabili nel tempo;
- Analisi dei risultati ottenuti.

Lo strumento utilizzato è il software Fire Dynamics Simulator (FDS), basato su CFD sviluppato da Building and Fire Research Laboratory, affiliato al NIST (National Institute of Standards and Technology).

Il software è scritto in linguaggio Fortran ed è finalizzato a risolvere problemi applicativi di incendio a supporto dell'ingegneria prestazionale antincendio e fornire uno strumento per studiare le dinamiche fondamentali del fuoco e la combustione. Il visualizzatore grafico dei risultati è Smokeview che consente di interpretare gli output dell'FDS costruiti.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

Le equazioni di conservazione di massa, quantità di moto ed energia vengono risolte utilizzando volumi finiti e la soluzione viene aggiornata nel tempo su una griglia rettilinea 3D. La radiazione termica è modellata con il metodo dei volumi finiti utilizzando la stessa griglia. Il movimento del fumo e l'effetto sprinkler sono modellati utilizzando particelle lagrangiane.

Fire Dynamics Simulator è costituito dai seguenti componenti:

- Geometria: FDS risolve le equazioni su griglie rettilinee. L'utente definisce la geometria utilizzando blocchi rettangolari.
- Condizioni al contorno: a tutte le superfici vengono assegnate condizioni al contorno termiche e/o informazioni sulla caratteristica di combustione del materiale. Il trasferimento di calore e massa da superfici solide è calcolato da correlazioni empiriche.
- Modello idrodinamico: FDS risolve una forma di equazioni di Navier-Stokes per flussi a bassa velocità, guidati termicamente, con un'enfasi sul trasporto di fumo e calore dagli incendi. La turbolenza è modellata con il metodo LES. L'idea di base di LES è di risolvere i più grandi moti turbolenti e di filtrare i moti su piccola scala.
- Modello di combustione: FDS utilizza un modello di combustione basato sulla miscelazione e sulla reazione infinitamente veloce di specie concentrate. Le specie raggruppate stanno reagendo a quantità scalari che rappresentano una miscela di specie.
- Trasporto di radiazione: la radiazione è considerata nelle simulazioni dalla soluzione dell'equazione di trasporto di radiazione per un gas grigio. L'equazione della radiazione viene risolta utilizzando il metodo dei volumi finiti. I coefficienti di assorbimento e scattering si basano sulla teoria di Mie. La dispersione delle specie gassose e della fuliggine non è incluso nel modello.

FDS rappresenta lo strumento all'avanguardia per la modellazione CFD dei flussi indotti dal fuoco, è stato ampiamente convalidato dalla comunità internazionale in un ampio numero di scenari di incendio, inclusi tunnel, atri grandi e piccoli. Un'ampia serie di esperimenti di convalida può essere trovata anche in Fire Dynamics Simulator – Technical Reference Guide - Validation.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

4.1 Modello di turbolenza

La modellazione della turbolenza è di complessa previsione nelle simulazioni di flusso e la complessità è superiore per i casi con propagazione di fuoco e fumo. L'approccio Large Eddy Simulation utilizza il filtraggio passa basso per ignorare le scale più piccole associate alle alte frequenze. I grandi vortici vengono mantenuti e risolti utilizzando direttamente il calcolo transitorio. Pertanto, le equazioni di massa, quantità di moto e conservazione dell'energia non possono essere utilizzate direttamente ma devono essere semplificate in modo che possano essere risolte in modo efficiente.

Le equazioni di Navier Stokes vengono filtrate e si ottiene una soluzione computazionalmente più efficace sacrificando in modo accettabile la precisione. Il filtro passa basso è riportato nell'equazione seguente.

$$\bar{\Phi}(x, y, z) = \frac{1}{V_c} \int_{x-\frac{\Delta x}{2}}^{x+\frac{\Delta x}{2}} \int_{y-\frac{\Delta y}{2}}^{y+\frac{\Delta y}{2}} \int_{z-\frac{\Delta z}{2}}^{z+\frac{\Delta z}{2}} \Phi(x', y', z')$$

4.2 Modello di combustione

La modellazione della combustione è estremamente difficile a causa della necessità di livelli estremi di risoluzione spaziale e temporale. In generale lo spessore della fiamma è dell'ordine dei millimetri, i vortici causati dall'immissione di aria nell'incendio sono dell'ordine dei centimetri e il campo di flusso generato da un incendio all'interno della galleria è dell'ordine dei metri. Pertanto, è troppo oneroso costruire una griglia sufficientemente fine per risolvere i fogli di fiamma, tranne nei casi in cui il dominio è piccolo. Inoltre, gli effettivi processi chimici che controllano la combustione sono spesso sconosciuti negli scenari di incendio a causa della combustione parziale dei combustibili in reazioni multifase. Anche se fossero conosciuti, la risoluzione temporale e spaziale richiesta per modellare direttamente una combustione risulterebbe computazionalmente molto costosa. Pertanto, è necessario utilizzare alcune

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

semplificazioni per modellare con successo la combustione. Il metodo più semplice consiste nel rappresentare la zona del fuoco con il flusso di calore volumetrico, evitando così la complessità che deriva dalla modellazione del processo di combustione con qualche sacrificio di accuratezza.

Per aumentare la precisione e ottenere risultati più realistici, in FDS viene utilizzato il metodo della frazione di miscela. Il metodo della frazione di miscela presuppone una reazione a stadio singolo infinitamente veloce. Questo metodo traccia le frazioni di carburante e ossigeno per trovare la posizione del foglio di fiamma.

Il modello di combustione della frazione di miscela si basa sul presupposto che i fenomeni di trasporto convettivo e radiativo su larga scala possono essere simulati direttamente, ma i processi fisici che si verificano a piccole lunghezze e scale temporali devono essere rappresentati approssimativamente.

Utilizzando l'approccio della frazione di miscela, le equazioni di trasporto per le principali specie di gas vengono combinate in un'unica equazione per uno scalare conservato noto come frazione di miscela $Z(x; t)$.

Pertanto, tutte le specie di interesse possono essere descritte in termini di una frazione di miscela, che rappresenta la frazione di materiale in un dato punto che si trova nel sistema di alimentazione. Questa quantità è definita come la frazione della massa fluida che si origina come combustibile. Da questa quantità, le frazioni di massa per tutte le altre specie possono essere derivate sulla base di relazioni di stato semi-empiriche. Usando la relazione di stato per la frazione di massa di ossigeno, si ottiene il tasso di consumo di massa di ossigeno locale.

Equazioni correlate al modello di irraggiamento

Le radiazioni hanno un ruolo importante negli scenari di incendio a causa dell'elevata differenza di temperatura tra la sorgente del fuoco e le superfici circostanti. È anche un problema complesso per i contributi derivanti da molte specie (fuliggine, CO₂ e H₂O).

Il processo di irraggiamento è caratterizzato da assorbimento, emissione e dispersione di energia radiante. La radiazione di intensità spettrale, $I_\lambda(\hat{r}; \hat{s}; \hat{t})$, alla lunghezza d'onda λ si

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

determina dall'equazione del trasporto radiativo che descrive l'aggiunta di assorbimento, emissione e scattering. L'equazione di trasporto delle radiazioni per l'equazione di assorbimento/emissione e diffusione è:

$$s \cdot \nabla I_{\lambda}(x, s) = -[\kappa(x, \lambda) + \sigma_s(x, \lambda)]I(x, s) + B(x, \lambda) + \frac{\sigma_s(x, \lambda)}{4\pi} \int_{4\pi} \phi(s, s') I_{\lambda}(x, s') d\Omega'$$

dove $I_{\lambda}(x; s)$ è l'intensità della radiazione alla lunghezza d'onda λ , s è il vettore di direzione dell'intensità $\kappa(x; \lambda)$ e $\sigma_s(x; \lambda)$ sono rispettivamente i coefficienti di assorbimento e di dispersione locali e $B(x; \lambda)$ è il termine della sorgente di emissione.

L'integrale sul lato destro descrive l'in-scattering da altre direzioni. Nel caso di un gas non disperdente, l'equazione di trasporto della radiazione diventa:

$$s \cdot \nabla I_{\lambda}(x, s) = \kappa(x, \lambda) + \sigma_s(x, \lambda) [I_b(x) - I_{\lambda}(x, s)]$$

dove I_b è definito come il termine sorgente dato dalla funzione di Planck. Questa sezione descrive il trasporto di radiazione nella fase gassosa.

4.3 Strumento per la simulazione di esodo: PATHFINDER

Il software Pathfinder è un simulatore d'esodo che sviluppa un modello agent-based e include al suo interno un'interfaccia grafica, un simulatore e un visualizzatore 3D per la rappresentazione dei risultati. Il vantaggio di questo software consiste nella possibilità di valutare il processo d'esodo e le misure di protezione previste e decidere conseguentemente se apportare delle migliorie al sistema.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

Il software consente l'importazione di file DXF, DWG, FBX, IFC, FDS, DAE, OBJ e di simulazioni di incendio eseguite con il software Pyrosim (software con interfaccia grafica basato su FDS).

Nonostante il modello geometrico utilizzato sia 3D, le geometrie degli oggetti impiegati al suo interno vengono trasformate automaticamente in 2D al fine di ridurre la complessità di calcolo durante la simulazione. Inoltre le ostruzioni, ovvero qualsiasi ostacolo posizionato sul pavimento, vengono rappresentate come spazi vuoti.

Lo spazio all'interno del modello è caratterizzato da mesh triangolari con il vantaggio di discretizzare abbastanza efficacemente le superfici curve e facilitare il movimento continuo delle persone in tutto il modello.

Questo strumento permette di ottenere una visualizzazione 3D e di poter estrarre in forma grafica (file.xls) i parametri di interesse.

La **geometria** dunque può essere derivata direttamente dalla modellazione costruita su FDS.

Dove sono rappresentati spazi vuoti nella mesh di navigazione, si specifica che gli occupanti non possono entrare nei luoghi in cui non è stata creata alcuna mesh di navigazione.

Le **porte** sono rappresentate come speciali bordi della mesh di navigazione. In tutte le simulazioni, le porte forniscono un meccanismo per unire le stanze e monitorare il flusso degli occupanti. A seconda della selezione specifica delle opzioni di simulazione, le porte possono anche essere utilizzate per controllare esplicitamente il flusso degli occupanti.

La **scala** definisce implicitamente due porte. Queste porte funzionano proprio come qualsiasi altra porta nel simulatore ma sono controllate tramite l'editor delle scale nell'interfaccia utente per garantire che non ne derivi alcun errore geometrico o una mancata corrispondenza tra le scale e le porte di collegamento.

Gli **ascensori** sono chiamati a un piano quando gli occupanti arrivano alla porta dell'ascensore. Il modello di ascensore include capacità, piani di prelievo e scarico e la possibilità di raggruppare gli ascensori nelle banchine.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

Ogni **occupante** è definito dalla posizione, un profilo che specifica le dimensioni, la velocità, ecc. e un comportamento che definisce "obiettivi" per l'occupante. Il comportamento consente la creazione di script in modo che, ad esempio, un occupante possa attendere una posizione per un tempo specificato e poi procedere verso un ascensore. Ogni occupante calcola i movimenti in maniera indipendente.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

5. IDENTIFICAZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE

Sono descritti di seguito i livelli di prestazione desunti a titolo esemplificativo e non esaustivo da norme quali ISO/TR 13387, BS 7974, EN 1991 1-2, dal decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 9/05/2001, dal Decreto Interministeriale 21/10/2015 dal decreto del Ministero dell'Interno 03/08/2015, dal decreto del Ministero delle Infrastrutture 14/1/2008 etc..

Il livello di prestazione minimo è lo stato critico per la vita umana come definito dal DM 21/10/2015

16. Stato critico per la sicurezza della vita umana

Ciascuna delle condizioni limite alle quali può essere esposta una persona in metropolitana in caso di incendio. La verifica progettuale consiste nell'impedire che si manifestino, mediante misure di prevenzione e protezione dagli incendi, condizioni più gravose di ciascuno dei limiti sotto indicati:

- *l'esposizione delle persone ad un flusso termico radiante pari a 2,5 kW/m² determinato da stratificazioni di fumo caldo;*
- *l'esposizione delle persone a temperature di 60 °C per tempi superiori a 10 min,*
- *una visibilità, riferita alla percezione delle uscite dalla galleria di stazione, pari a 15 m misurata ad un'altezza di 1,8 m dal piano di calpestio;*
- *un livello medio della FED (Fractional Effective Dose) non superiore a 0,3, calcolata considerando solo il contributo dell'ossido di carbonio.*

Lo stato critico non deve essere superato almeno per il tempo necessario affinché l'ultima persona presente nel compartimento o nella zona dell'incendio raggiunga un luogo sicuro o un percorso di sfollamento protetto.

Deve essere valutato il margine di sicurezza in termini di tempo disponibile per l'esodo (ASET) rispetto al tempo necessario per l'esodo (RSET).

Il livello di riferimento sono le condizioni sostenibili per la vita umana come definito dal DM 21/10/2015.

17. Condizioni sostenibili per la vita umana

Condizioni sostenibili per un tempo indefinito alle quali può essere esposta una persona in un percorso di sfollamento protetto. La verifica progettuale consiste nell'impedire che si manifestino, mediante misure di prevenzione e protezione dagli incendi, condizioni più gravose di ciascuno dei limiti sotto indicati:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

- una temperatura media dell'aria non superiore a 40 °C;
- una visibilità, riferita alla percezione della segnaletica di emergenza, non inferiore a 30 m misurata ad un'altezza di 1,8 m dal piano di calpestio;
- un livello medio della FED (Fractional Effective Dose) non superiore a 0,1, calcolata considerando solo il contributo dell'ossido di carbonio.

Per quanto attiene i soccorritori si farà riferimento alla tabella 3.2 della sezione M del codice di prevenzione incendi di seguito riportata.

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

Tabella 5-1: Soglie di prestazione del codice di prevenzione incendi

Si noti che alcuni valori per gli occupanti possono discostarsi dai valori fissati dal DM 21/10/2015 specifico per le metropolitane che sarà in ogni caso adottato come riferimento.

Sulla base di quanto sopra si riportano i valori di riferimento che saranno adottati per le verifiche.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

5.1 Livelli di visibilità

Il livello di visibilità ammissibile per i passeggeri per tutto il tempo dell'esodo è pari a 15 m a 1,8 m dal piano di calpestio con possibilità scendere a 10 m per zone limitate.

Il livello di visibilità ammissibile per i soccorritori per tutto il tempo dell'esodo è pari a 5 m a 1,8 m dal piano di calpestio.

5.2 Livelli di temperatura

Il livello di temperatura ammissibile per i passeggeri per tutto il tempo dell'esodo è pari a 40°C.

Qualora i tempi di esodo siano inferiori a 10 min per i passeggeri sono tollerabili temperature massime inferiori a 60°C.

Per i soccorritori sono tollerabili temperature massime pari a 80 °C.

5.3 Livelli di irraggiamento termico

Il livello di irraggiamento termico ammissibile per i passeggeri per tutto il tempo dell'esodo è pari a 2,5 kW/m².

Per i soccorritori sono tollerabili valori di irraggiamento massimo da tutte le sorgenti non superiori a 3 kW/m².

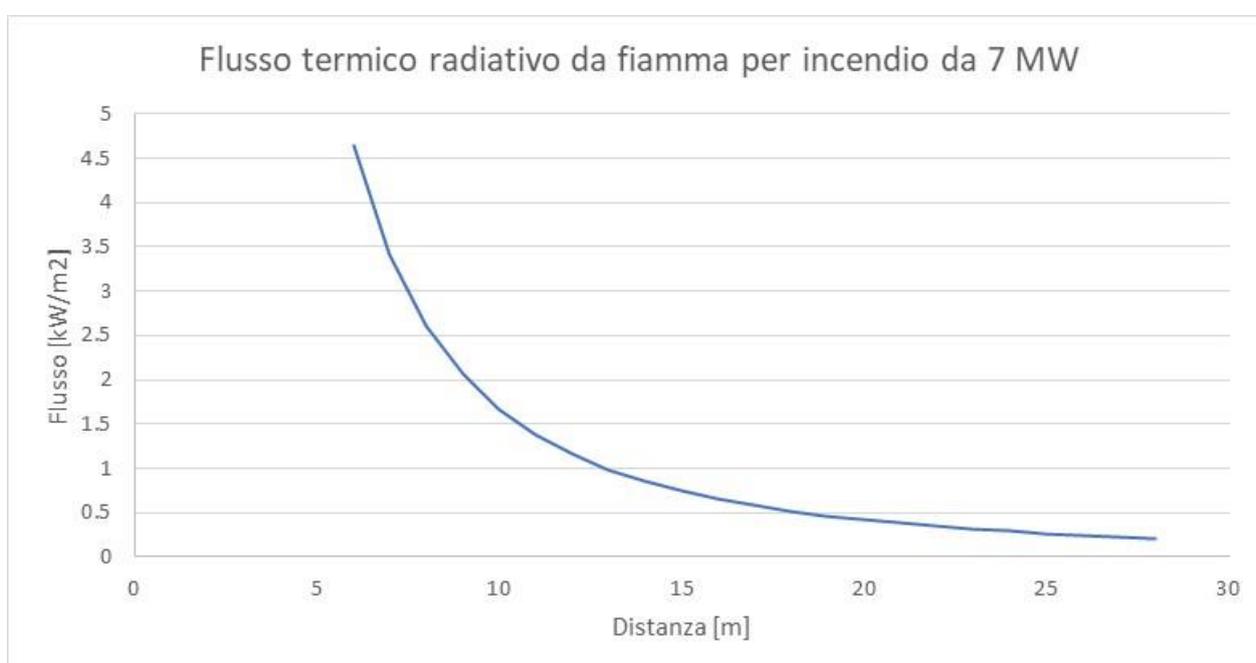
Per quanto attiene il flusso termico, la variabile assunta come riferimento è il valore dell'integrated intensity che si riferisce ad una sfera, essendo che l'esposizione del corpo umano è relativa in media ad un solo lato, il valore utilizzato è da intendersi come cautelativo.

Il valore dell'integrated intensity si riferisce all'integrale del flusso sull'intero angolo solido, e tiene conto del solo scambio dalla sorgente verso il ricevitore. Il valore integrale per un ambiente a 20°C si deriva dalla relazione $Q = 4\sigma T^4$ e risulta pari a circa 1600 W/m². Tale contributo va pertanto sottratto al valore riportato nei grafici per avere l'equilibrio in condizioni normali. Oltre a tale contributo, l'effettivo flusso dipende dai fattori di vista che cautelativamente assumeremo pari ad 1.



La norma fissa il valore del flusso relativamente al solo contributo dei fumi, pertanto il valore riportato nei grafici in prossimità del focolaio non è confrontabile.

La successiva figura riporta il valore del flusso generato da un focolaio di potenza pari a 7 MW ipotizzando una frazione radiativa pari al 30% (2,1 MW) in funzione della distanza.



Per quanto sopra il valore del flusso generato dai fumi si ritiene ragionevolmente assumibile come il valore a 15 m dal focolaio.

5.4 Livelli della FED (Fractional Effective Dose)

Il livello di FED ammissibile per la componente Monossido di Carbonio per i passeggeri per tutto il tempo dell'esodo è pari a 0,3.

Per quanto attiene i soccorritori dotati di autoprotettore non sono fissati valori di riferimento.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

6. DEFINIZIONE DEGLI SCENARI

Il presente documento ha lo scopo di approfondire gli scenari di incendio di un treno lungo la linea con i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio, che nella fattispecie costituisce lo scenario 2 previsto dal DM 21/10/2015.

Gli approfondimenti ritenuti significativi riguardano:

1. tratto tipologico della linea,
2. retrostazione Bologna - pozzo Novara,
3. tratto tra stazione Bologna e stazione Cimarosa con sdoppiamento delle gallerie,
4. retrostazione Politecnico.

La successiva tabella sintetizza le peculiarità dei tratti interessati.

Scenario	Caratteristiche	Ventilazione	Esodo
1	Galleria a doppio binario tipologica	Push-pull	In direzione opposta alla ventilazione
2	Manufatto con tre binari di cui uno di ricovero	Push-Pull -Estrazione Pozzo Novara	Verso stazione Bologna
3	Sdoppiamento della linea per giungere ai binari sovrapposti della stazione Cimarosa	Push-Pull	Verso stazione Cimarosa
4	Retrostazione Politecnico	Estrazione Pozzo Caboto	Esodo del solo personale di servizio

Le verifiche sono mirate a supportare i risultati delle analisi monodimensionali confermando il dimensionamento dell'impianto di ventilazione di linea.

Nei successivi paragrafi sono riportati i risultati delle analisi svolte.

6.1 Scenario con treno in direzione opposta al treno incendiato

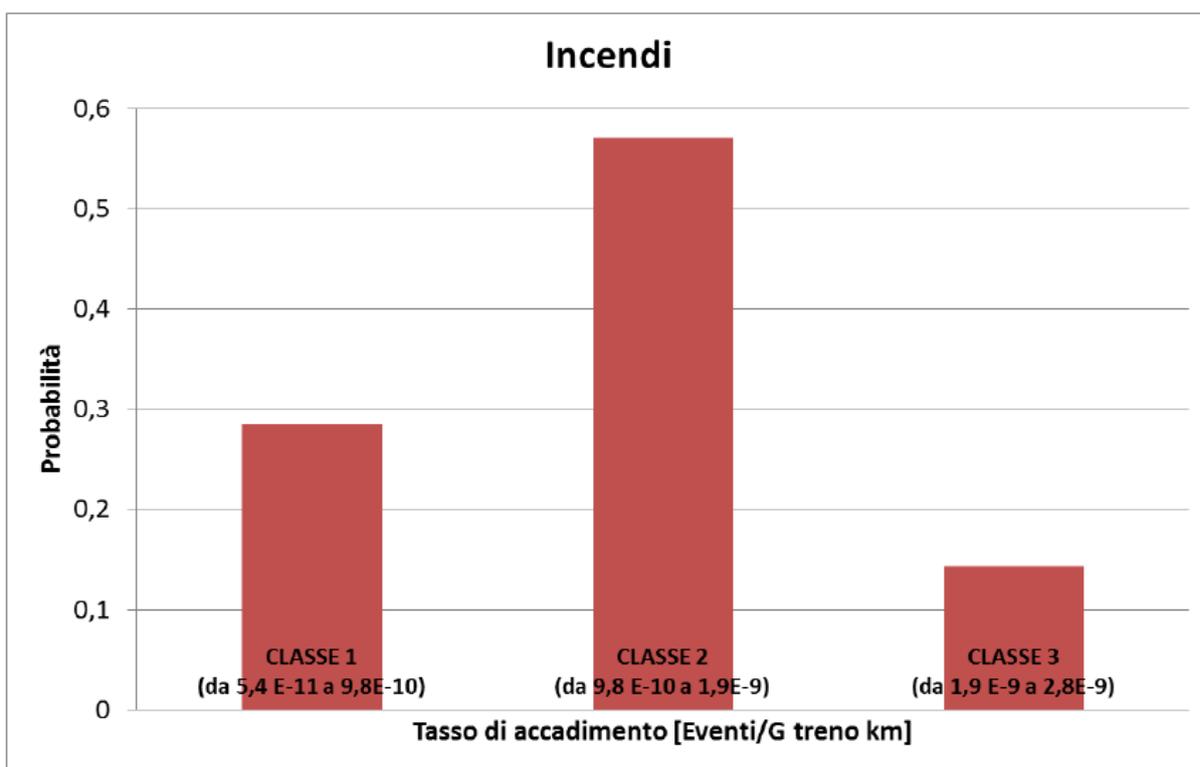
Lo scenario che prevede un treno incendiato fermo in galleria e la presenza di un secondo treno nella direzione opposta nella stessa intertratta che transita o si arresta è stato ritenuto a probabilità trascurabile per le seguenti motivazioni:



- il sistema, caratterizzato da elevata affidabilità, gestisce il traffico in modo tale che in caso di emergenza i treni non incidentati che hanno mobilità sono portati sempre verso la stazione successiva,
- la probabilità di avere un incendio in galleria è ridotta in assoluto e rispetto al caso di treno in stazione,
- in caso di arresto di un in treno in galleria la probabilità di avere un secondo treno che incrocia varia con il cadenzamento e con la lunghezza della tratta,
- l'incrocio tra i due treni si ipotizza al massimo dopo 2 minuti dall'inizio dell'evento per cui la potenza di incendio è dell'ordine di 200 kW.

Successivamente si riportano i dettagli delle analisi a supporto delle valutazioni.

Il tasso di accadimento degli incendi in metropolitana, derivato dall'analisi degli eventi incidentali nelle metropolitane di tutto il mondo avvenuti tra il 1990 ed il 2011 è riportato in figura.

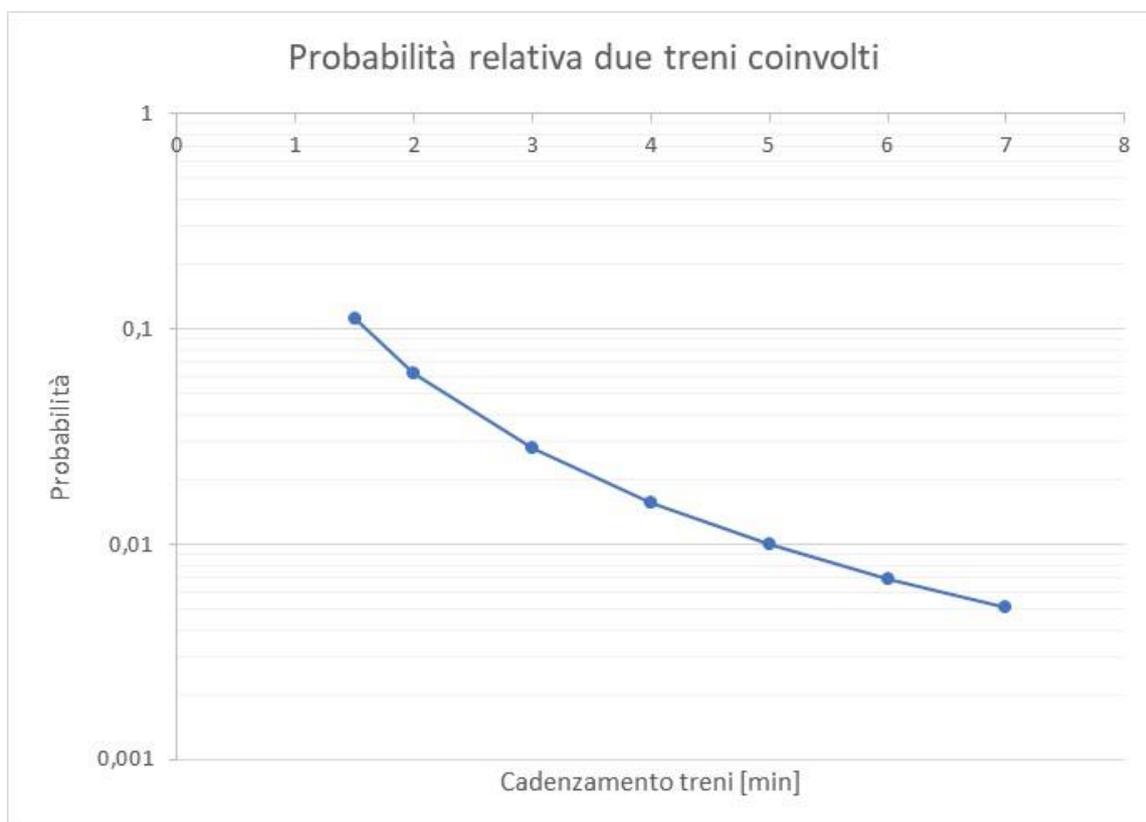


Ipotizzando un tasso di $2 \cdot 10^{-9}$ Eventi G treno km, un numero di treni giorno pari a 500 su un tratto di 1 km si ha una frequenza di accadimento pari a 0,000365 eventi/anno ovvero un



tempo di ritorno pari a 2739 anni, se si considera che nel 90% dei casi è possibile portare il treno in stazione, la frequenza risulta pari a 0,0000365 ed il tempo di ritorno pari a 27000 anni.

La probabilità di avere un secondo treno che attraversa il punto di un treno fermo in galleria è riportata nella successiva figura in funzione del cadenzamento dei treni e si riferisce ad un'intertratta di 500 m, per l'intertratta massima di 1000 m il valore va raddoppiato.



Si assume un tempo di riferimento medio pari a 3 minuti per cui la probabilità media di avere due treni di cui uno fermo e l'altro che deve attraversare il punto del treno fermo è pari a 0,027 ovvero 1:37.

La probabilità di avere un incendio in galleria con un secondo treno che deve attraversare la zona dell'incendio è data dal prodotto dei due valori calcolati in precedenza ovvero: $0,0000365 \times 0,027 = 0,00000099$ ovvero dell'ordine di 10^{-7} eventi/anno.

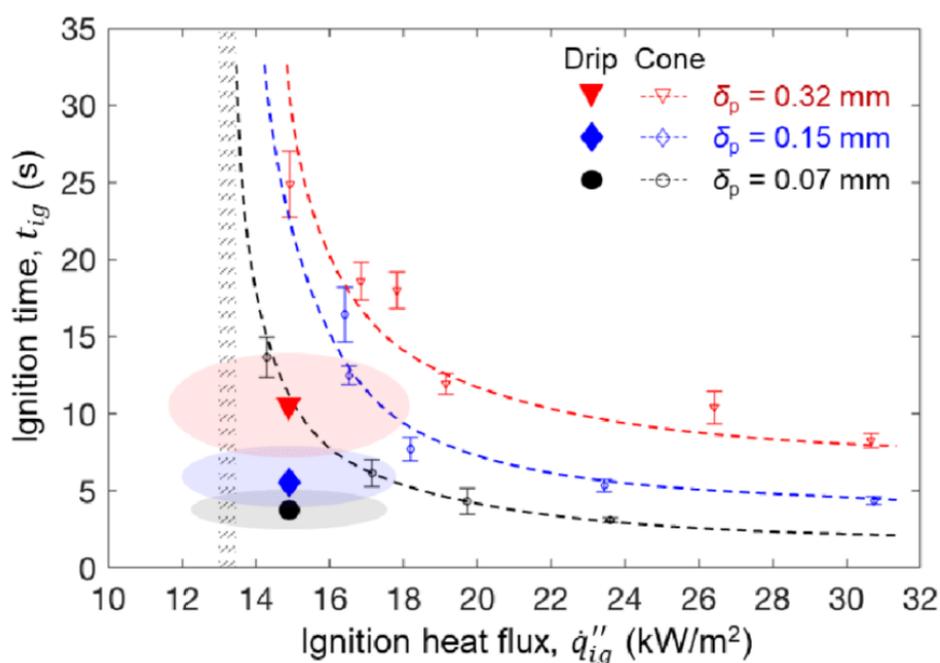
Per quanto attiene la possibilità che nell'attraversamento della zona di incendio si abbia una propagazione dello stesso tra un treno e l'altro si espongono le seguenti valutazioni numeriche:

la potenza termica per irraggiamento si può ipotizzare pari al 30% della potenza totale ovvero 200 kW, da cui deriva il valore di 60 kW,



il flusso termico per irraggiamento è pari alla potenza irradiata divisa per la superficie della sfera di propagazione ($S=4\pi r^2$), da cui ipotizzando una distanza tra i due treni pari a 0,5 m il flusso termico risulta pari a 19 kW/m².

La successiva figura riporta i tempi di ignizione della carta in funzione del flusso termico, per il caso in esame il tempo corrispondente a 19 kW è dell'ordine dei 5 secondi.



Considerato che il tempo di attraversamento del punto dell'incendio che non può essere più esteso di un metro e che può avvenire anche a passo d'uomo pari ad 1 m/s è dell'ordine di 1 s, la probabilità di propagazione dell'incendio si ritiene trascurabile.

Per quanto sopra esposto lo scenario di incendio analizzato si riferisce ad un solo treno presente in galleria.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

7. SCENARIO 1: TRENO FERMO IN GALLERIA TRA POZZO VERONA E STAZIONE NOVARA

7.1 Modellazione incendio ed esodo

7.1.1 Geometria

Il modello tridimensionale costruito con il software FDS ha le caratteristiche riportate nella tabella seguente.

CODICE	FDS
CARDINALITÀ	3D
DIMENSIONI CELLA	0.25 x 0.25 x 0.25
PORZIONE DELLA GALLERIA SIMULATA	723 m
TEMPO DI SIMULAZIONE	1200 s

Tabella 2 - Modello tridimensionale

Al modello 3D, vengono accoppiate porzioni 1D per la modellazione di ulteriori tratti di galleria. Le successive figure mostrano le caratteristiche geometriche e dimensionali del modello formulato.



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

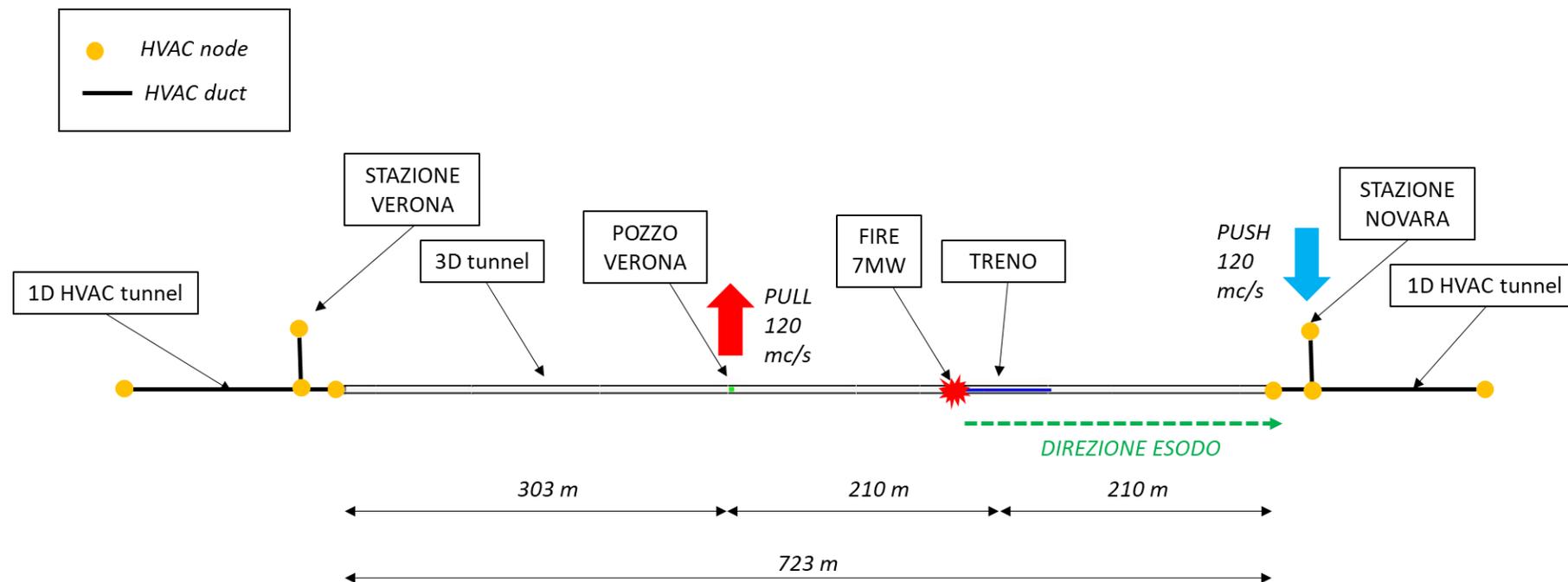


Figura 3 – Caratterizzazione del modello CFD



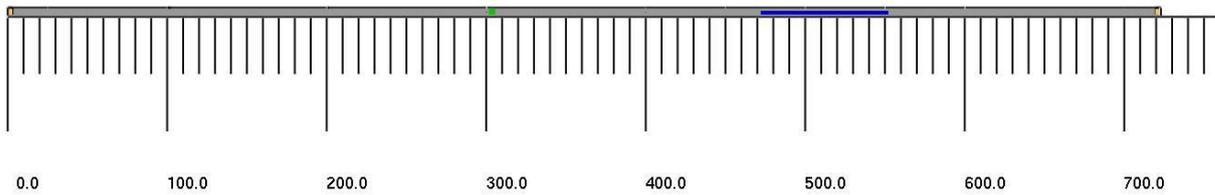
CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

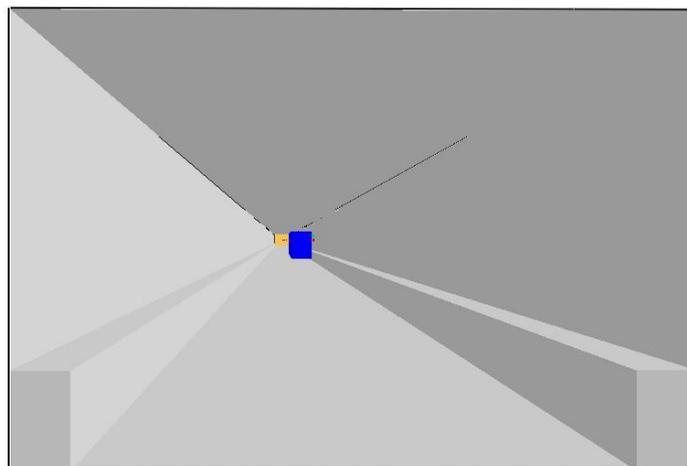
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

VISTA LONGITUDINALE



VISTA SEZIONE TRASVERSALE



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

7.1.2 Definizione dello scenario

Secondo il DM 21 ottobre 2015 "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane", Allegato I, Capo I.I.4, tra gli scenari d'incendio di riferimento più importanti viene elencato al secondo punto, **l'incendio a bordo di un treno fermo in galleria.**

7.1.3 Curva d'incendio

La curva di incendio del treno per le verifiche fluidodinamiche è ricavata in accordo con le indicazioni presenti nel DM 21 ottobre 2015 "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane" e di seguito riportata in forma grafica.

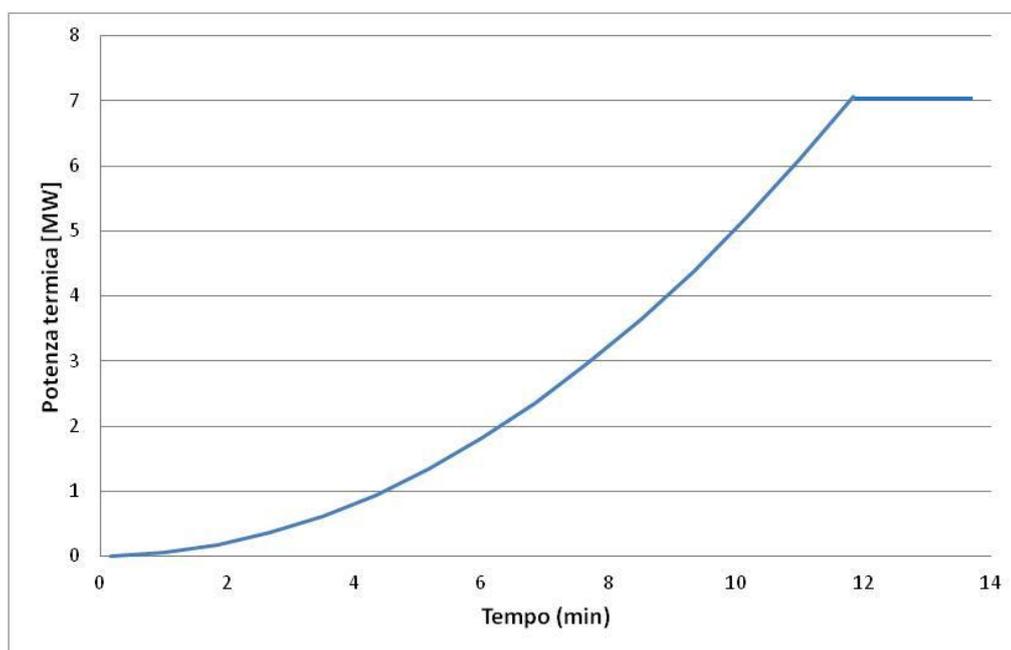


Figura 4 - Curva d'incendio DM 21.10.2015

Il decreto specifica che la **potenza d'incendio**, e quindi la curva naturale d'incendio, fa riferimento alle caratteristiche di combustibilità dei materiali che costituiscono i vagoni dei

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

convogli. Nel caso in cui risulti una potenza termica inferiore ai 7000 kW viene comunque assunta una potenza di progetto pari a **7000 kW**.

Il valore di 7000 kW è riferito ad una potenza di picco. Essa, infatti, è espressa come funzione temporale quadratica con un coefficiente α pari a **0,014**, corrispondente al raggiungimento della potenza di 1000 kW in 270 secondi.

Fase di combustione dei gas

I parametri utilizzati per la reazione della fase di combustione dei gas sono di seguito sintetizzati.

SOOT_YIELD	frazione della massa di combustibile convertito in particolato di fumo	0.104
CO_YIELD	frazione della massa di combustibile convertito in monossido di carbonio	0.025
C	numero di atomi di carbonio presenti nella formula chimica del combustibile	6.3
H	numero di atomi di idrogeno presenti nella formula chimica del combustibile	7.1
N	numero di atomi di azoto presenti nella formula chimica del combustibile	1
HEAT_OF_COMBUSTION	quantità di energia rilasciata per unità di massa di combustibile consumato espressa in kJ/kg	24800

Tabella 3 – Parametri fase di combustione

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

Caratteristiche focolaio

GRANDEZZA	VALORE
AREA LASTRA	13.75 m ²
HRRPUA	510 kW/m ²
ALTEZZA QUOTA	+0.5 m

Tabella 4 – Grandezze focolaio di incendio

7.1.4 Impianto di ventilazione

In generale la strategia di ventilazione può essere determinata dalla posizione dell'incendio sul treno e dalla direzione di evacuazione. Per gli scenari di incendio in galleria, al fine di realizzare quanto sopra viene utilizzata la modalità di ventilazione di galleria di tipo push-pull.

L'analisi di emergenza si concentra sulla capacità raccomandata dei ventilatori e sulle modalità operative al fine di soddisfare i criteri adottati per la progettazione e i requisiti delle normative applicabili.

In caso di incendio in galleria si assume la seguente procedura:

- il treno prende fuoco lungo la linea e si ferma in galleria;
- inizia l'evacuazione del treno;
- si attiva il sistema di ventilazione (t =120 secondi);
- il sistema di ventilazione raggiunge la portata di regime (t =180 secondi).

Nel caso specifico, mediante analisi SES, si è stabilita una portata di immissione dalla stazione Novara pari a **120 m³/s** ed una portata di estrazione dal pozzo di Verona pari a **120 m³/s**.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

Per quanto concerne le modalità di attivazione, in caso di incendio a bordo treno fermo in galleria, il sistema di ventilazione è attivato dall'impianto di rivelazione incendi presente sul materiale rotabile o dal sistema centrale di controllo.

7.1.5 Condizioni al contorno

Definire le condizioni al contorno per le modellazioni termofluidodinamiche è di fondamentale importanza. Nel caso specifico si riportano le condizioni iniziali stabilite:

- Velocità dell'aria iniziale pari a $v=0$ m/s;
- Temperatura dell'aria iniziale pari a $T=15$ ° C;
- umidità al 50%;
- pendenza longitudinale galleria come da progetto mediante interpolazione della gravità.

7.1.6 Cronologia degli eventi

La caratterizzazione dell'impianto di ventilazione e delle strategie da adottare necessita la definizione di una sequenza di eventi da considerare nell'analisi dell'evoluzione degli scenari di emergenza nello scenario di riferimento analizzato.

Nella tabella seguente si riporta la sequenza dei principali eventi considerati nell'analisi dello scenario di riferimento.

TIME STEP [S]	EVENTO	RIFERIMENTI ED ASSUNTI
0	IL FUOCO SI ACCENDE	Il focolaio è posizionato nella parte inferiore in corrispondenza della testa del treno
120	IL FUOCO VIENE RILEVATO ATTIVAZIONE VENTILAZIONE INIZIO DELL'EVACUAZIONE	
180	LA VENTILAZIONE RAGGIUNGE LA PORTATA MASSIMA	

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

720	IL FUOCO ARRIVA ALLA POTENZA MASSIMA	La potenza è pari a 7 MW
-----	--------------------------------------	--------------------------

Tabella 5 – Timing incendio a bordo treno

7.1.7 Esodo

Il massimo affollamento ipotizzabile è stato calcolato in riferimento al D.M. 21 Ottobre 2015 assunto come linea guida alla progettazione della Fire Safety Engineering. Il Decreto (cfr. capitolo 1 riportato) stabilisce che:

- il numero dei passeggeri su un treno deve essere calcolato su una superficie pari a quella lorda interna di ogni vagone diminuita del 10% considerando una densità pari a 4 pers/m²;

[...]

Per quanto riguarda le specifiche inserite per l'esodo, si è assunto che l'affollamento del treno è pari a **418 persone** come da scheda tecnica (treno con 2 porte preso come riferimento).

Nel caso specifico il tempo di esodo lungo il marciapiede e fino a luogo sicuro (stazione Novara) risulta pari a 18 minuti e 30 secondi dall'innesco del focolaio.

7.2 RISULTATI

Si riporta una sintesi dei risultati della simulazione attraverso immagini che mostrano i risultati grafici più significativi della simulazione fluidodinamica in termini di irraggiamento, temperature, visibilità e concentrazioni di monossido di carbonio. Le unità di misura assunte per le grandezze sono le seguenti:

- spazio [m]
- tempo [s]
- velocità dell'aria [m/s]

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

- temperatura [°C]
- visibilità [m]
- irraggiamento termico [kW/m²]
- concentrazione di monossido di carbonio [mol/mol]
- livello medio FED [%]

Il D.M. 21/10/2015 definisce le condizioni di sostenibilità per la vita umana che devono essere rispettate in situazioni di emergenza.

Tutte le condizioni di sostenibilità imposte dal Decreto risultano rispettate in galleria nella direzione dell'esodo.

7.2.1 Propagazione dei fumi

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche relative alla propagazione dei fumi.

Il piano rappresentativo è orizzontale.



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

t=2 min	
t=4 min	
t=8 min	
t=12 min	
t=16 min	
t=20 min	

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

7.2.2 Velocità dell'aria

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche di velocità dell'aria.

Il piano rappresentativo è verticale in asse galleria.

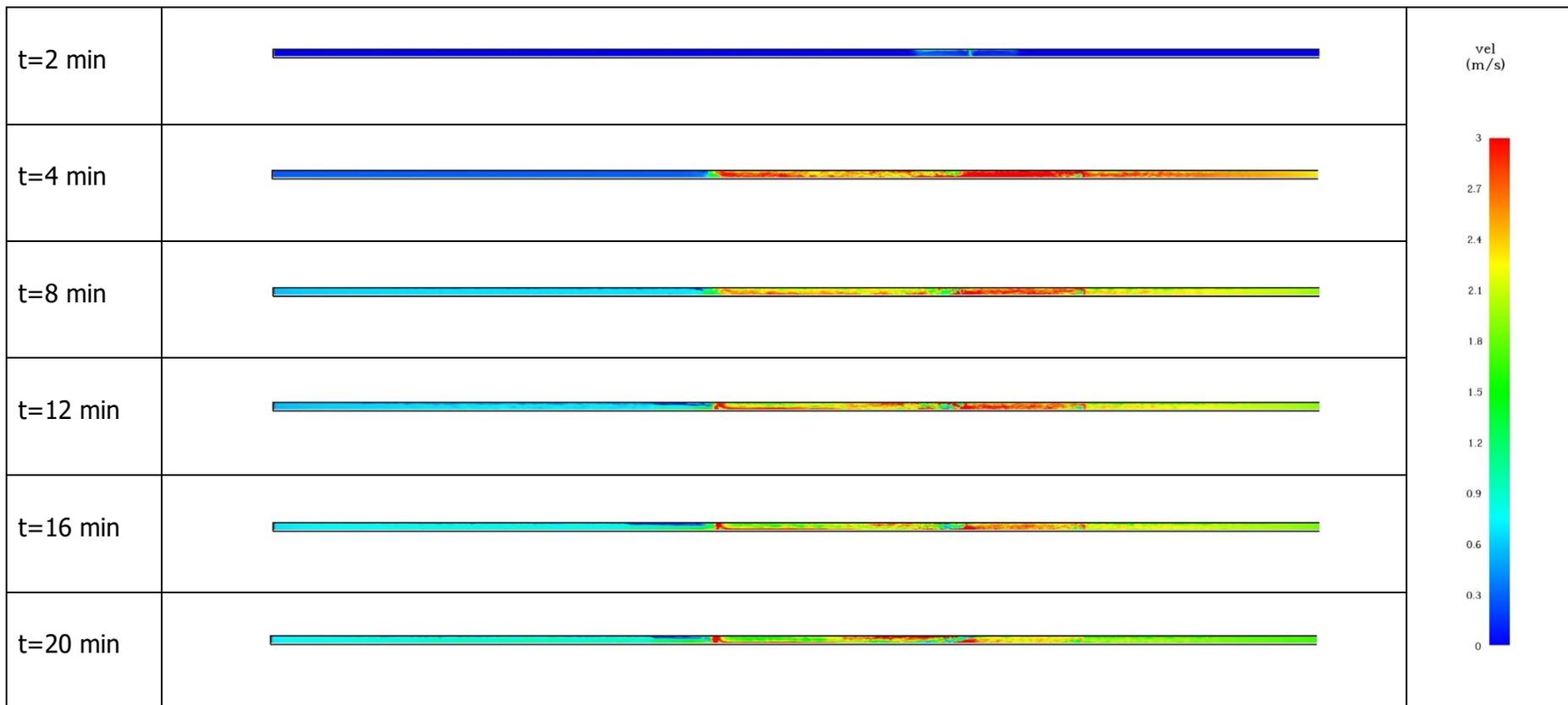


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

7.2.3 Temperatura

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche relative all'andamento della temperatura.

Il piano rappresentativo è orizzontale ad 1,8 m di altezza rispetto il piano di calpestio livello marciapiede.

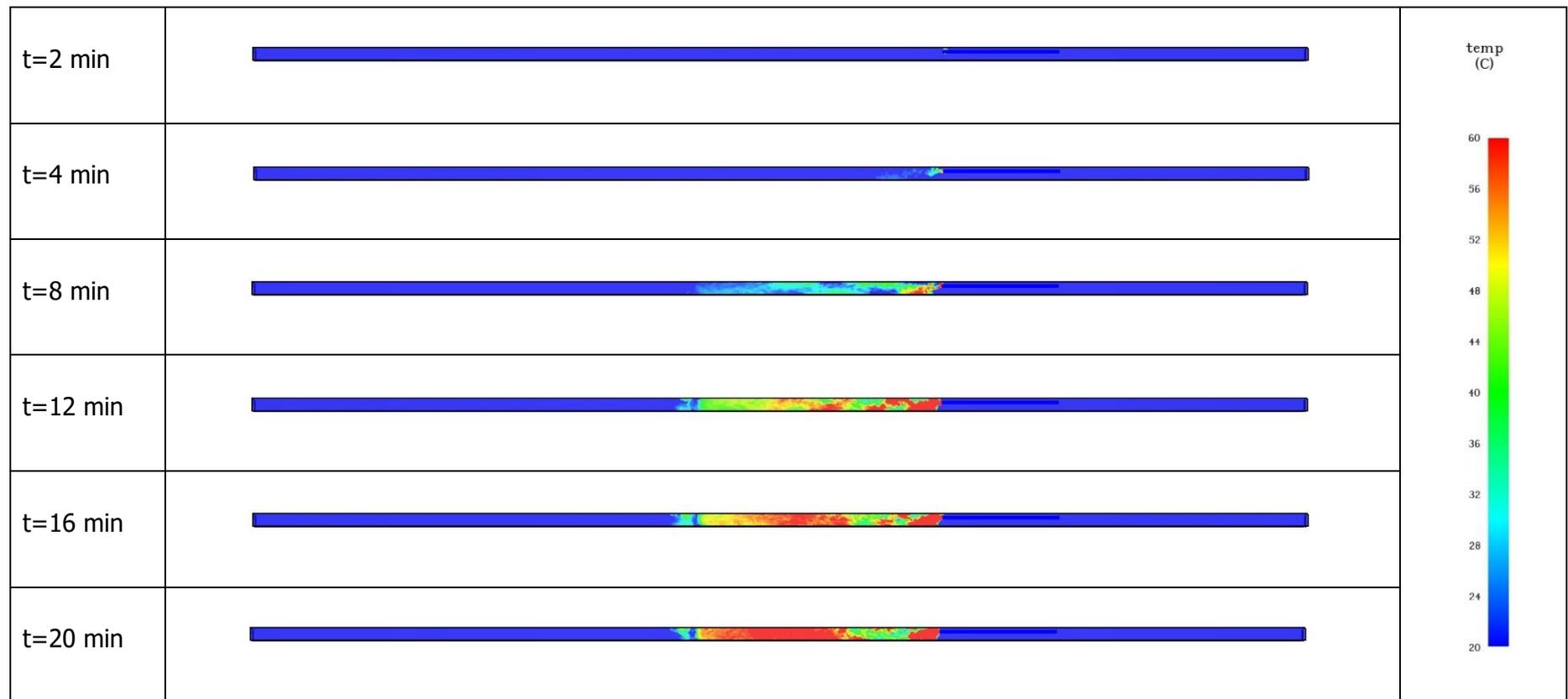


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

7.2.4 Visibilità

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche di visibilità.

Il piano rappresentativo è orizzontale ad 1,8 m di altezza rispetto il piano di calpestio livello marciapiede.

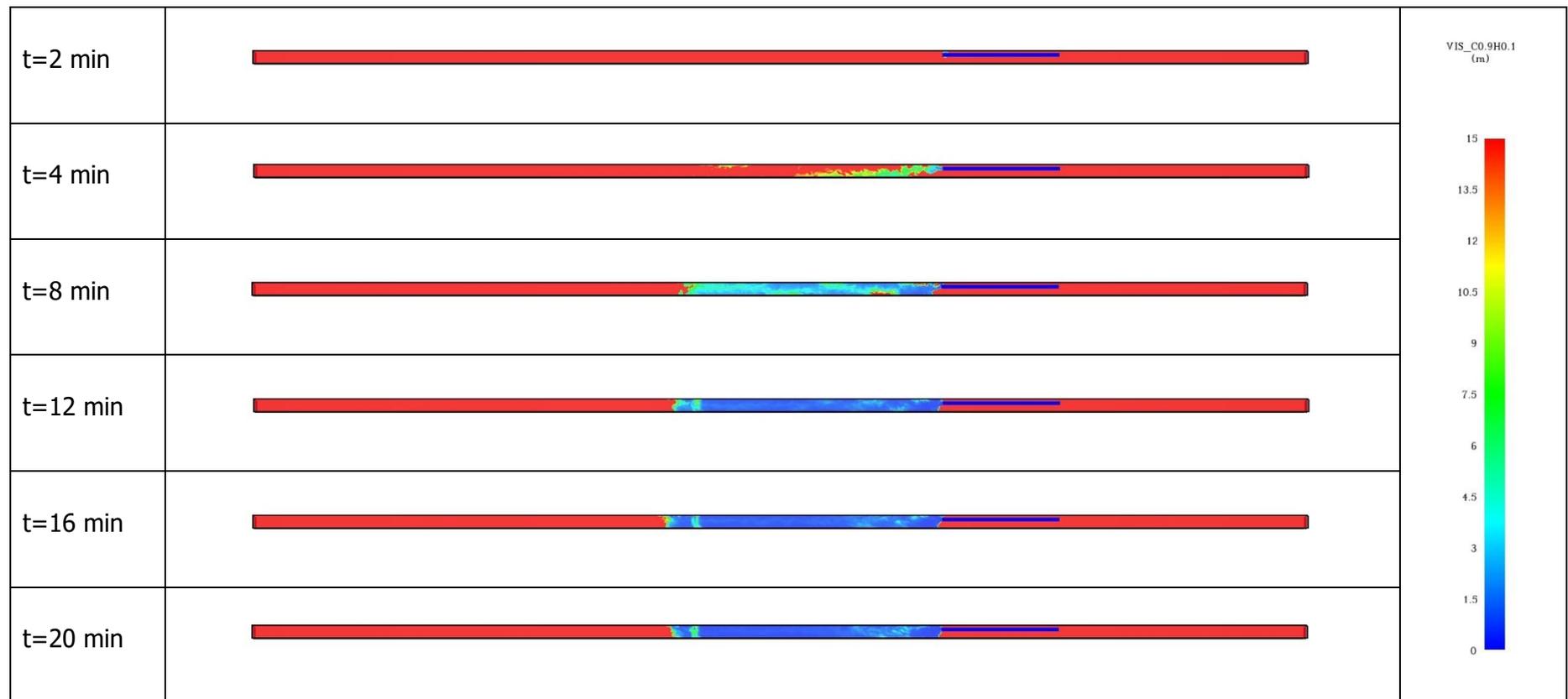


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

7.2.5 Monossido di Carbonio

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche relative all'andamento della concentrazione di monossido di carbonio (CO).

Il piano rappresentativo è orizzontale ad 1,8 m di altezza rispetto il piano di calpestio livello marciapiede.

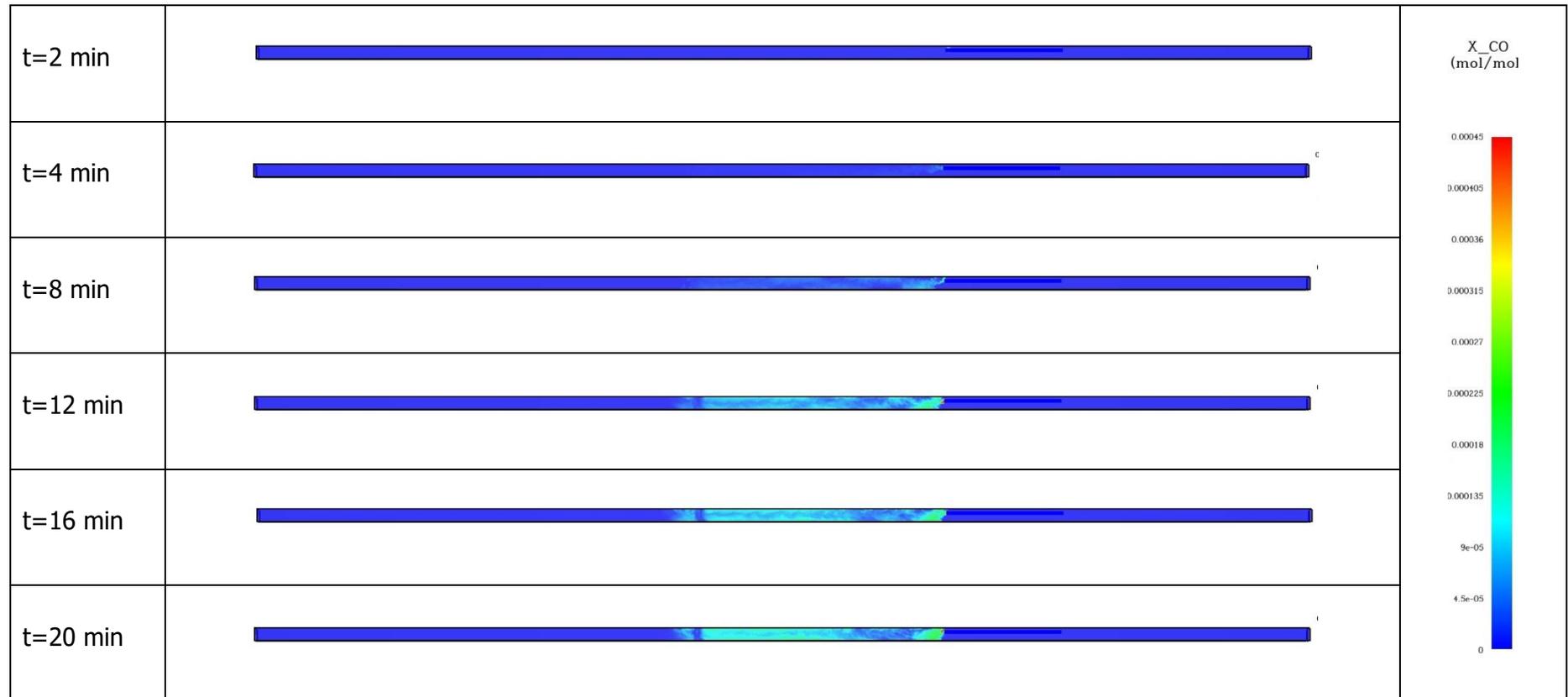


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

7.2.6 Irraggiamento termico

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche relative a irraggiamento.

Il piano rappresentativo è orizzontale ad 1,8 m di altezza rispetto il piano di calpestio livello marciapiede.

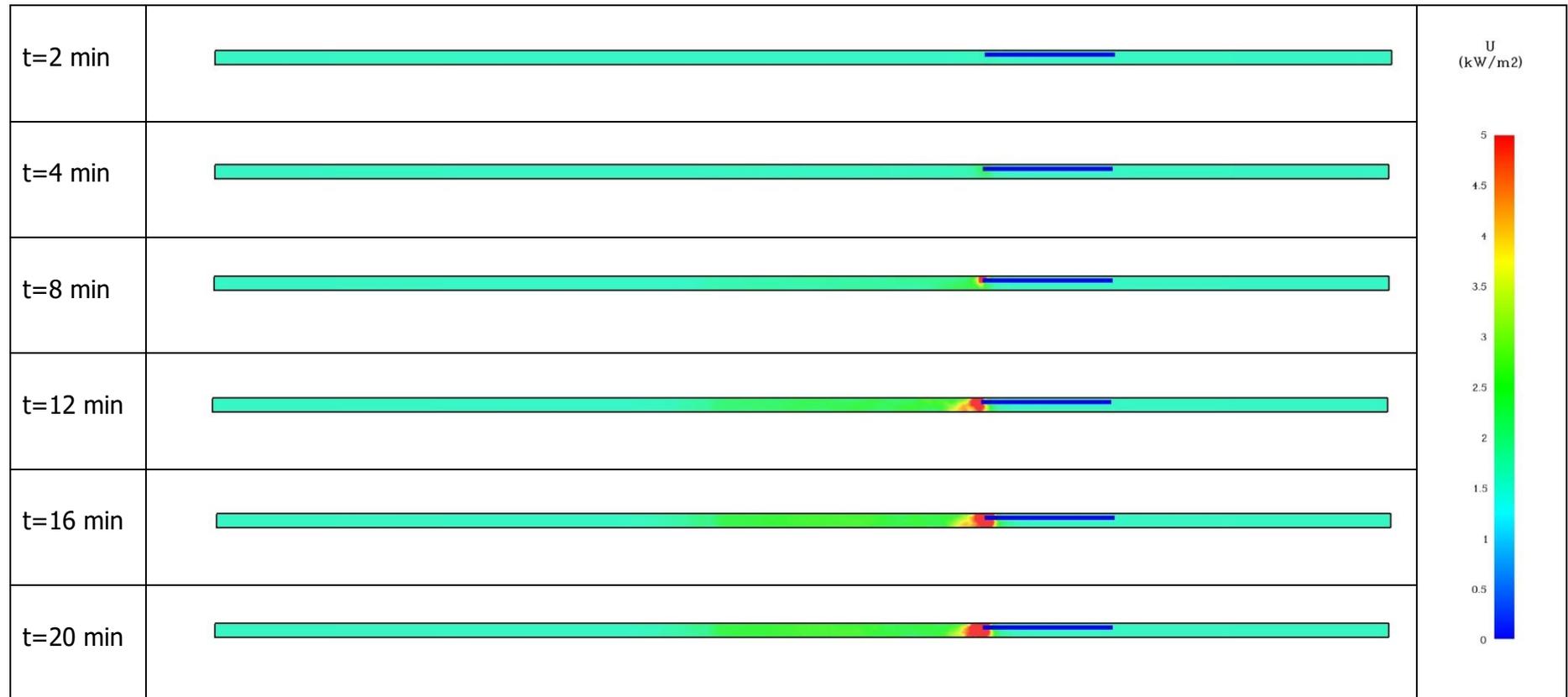


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

7.2.7 Livello medio FED

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche del livello medio FED.

Il piano rappresentativo è orizzontale ad 1,8 m di altezza rispetto il piano di calpestio livello marciapiede.

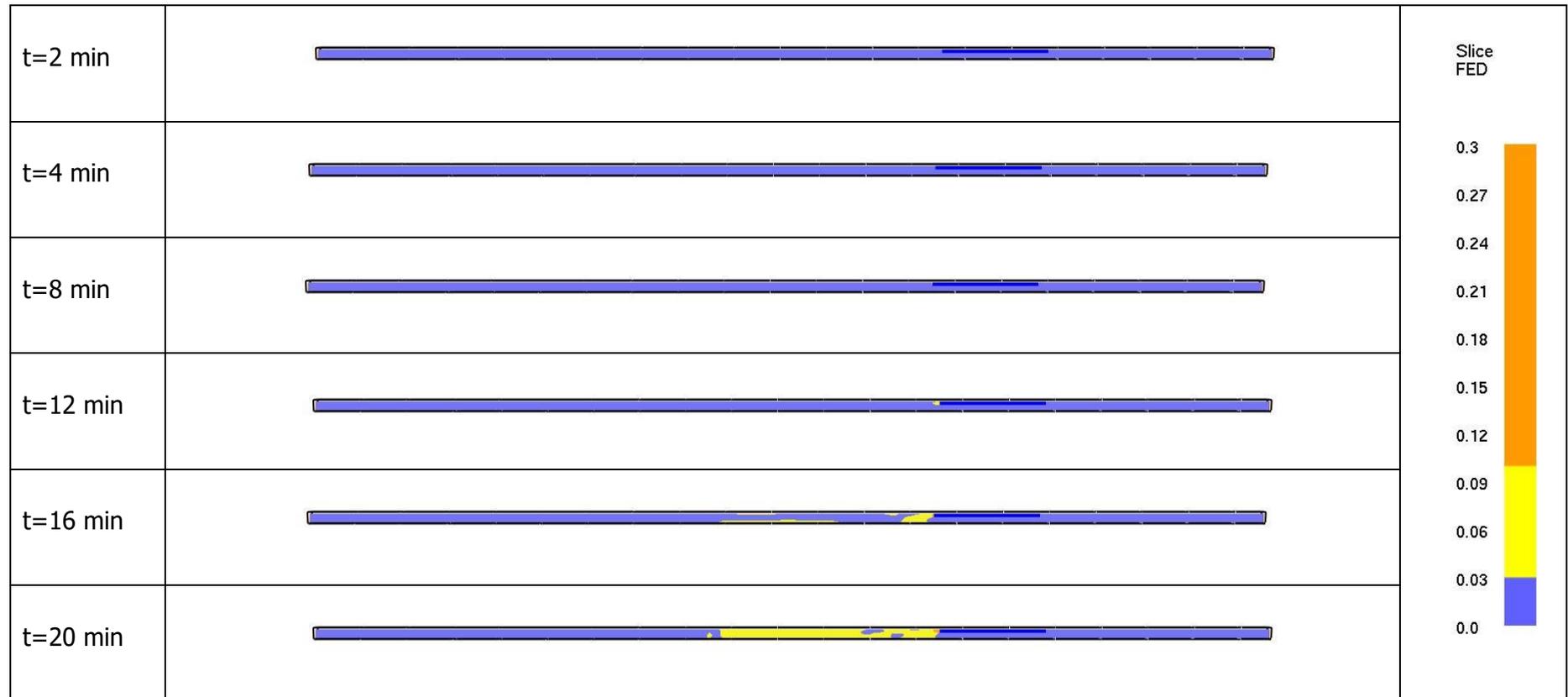


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

7.2.8 Esodo

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche di propagazione fumi associate ad esodo con vista prospettica.



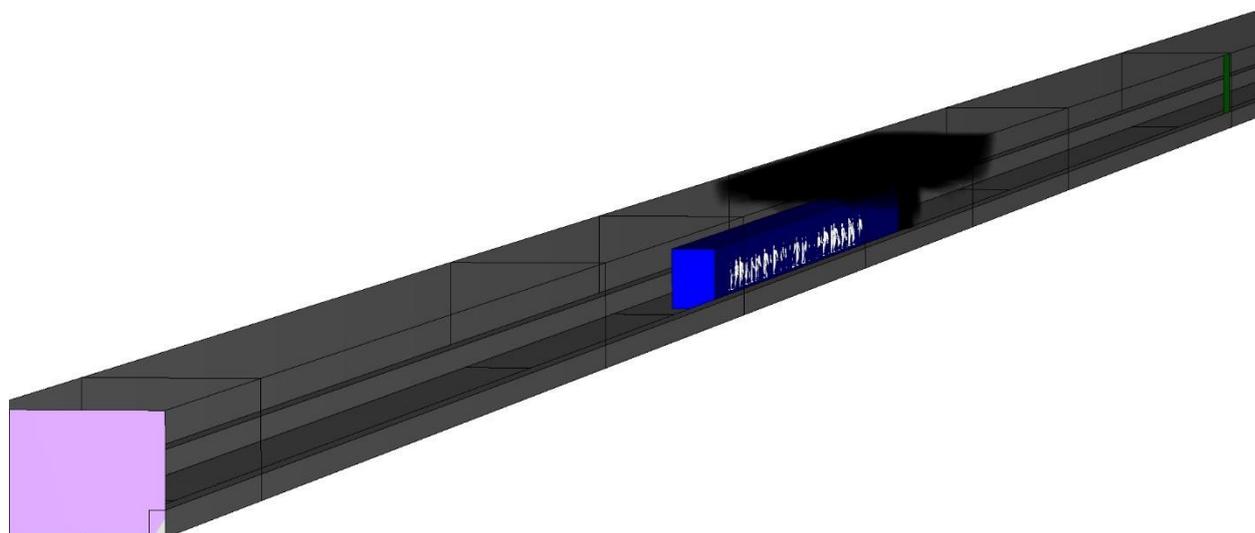
CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:
Politecnico – Rebaudengo

LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

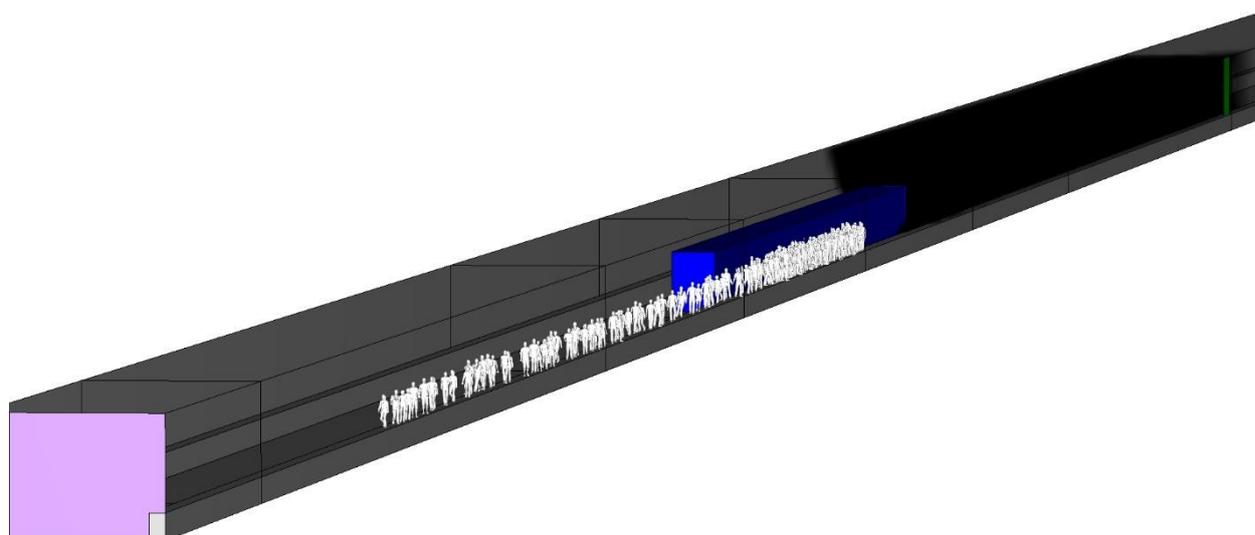
Exited: 0/418



02:00.0

t = 2 minuti

Exited: 0/418



04:00.0

t = 4 minuti



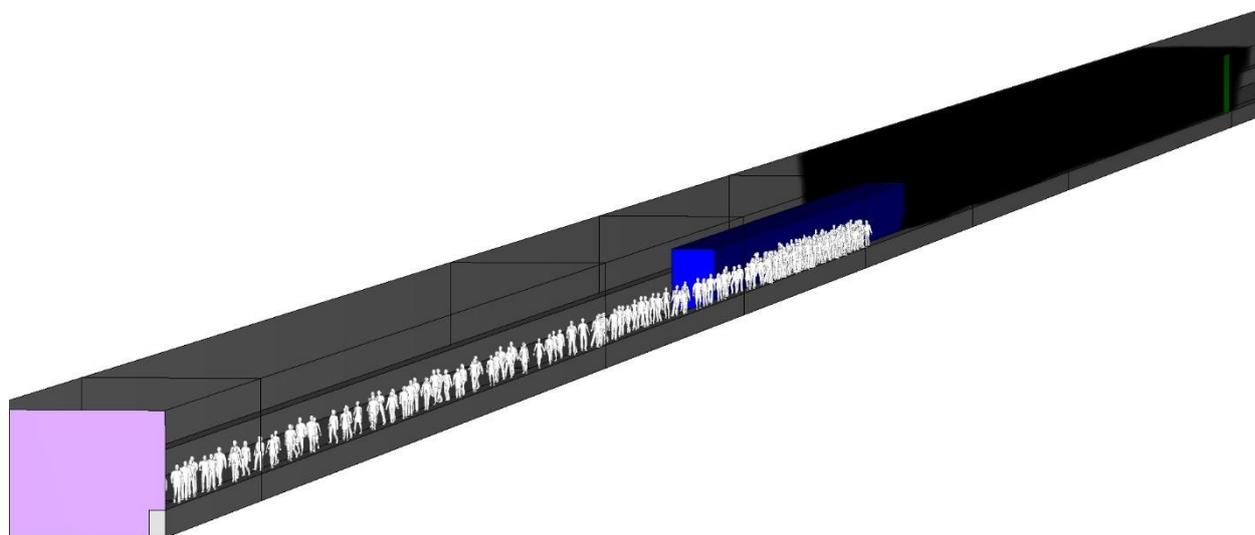
CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:
Politecnico – Rebaudengo

LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

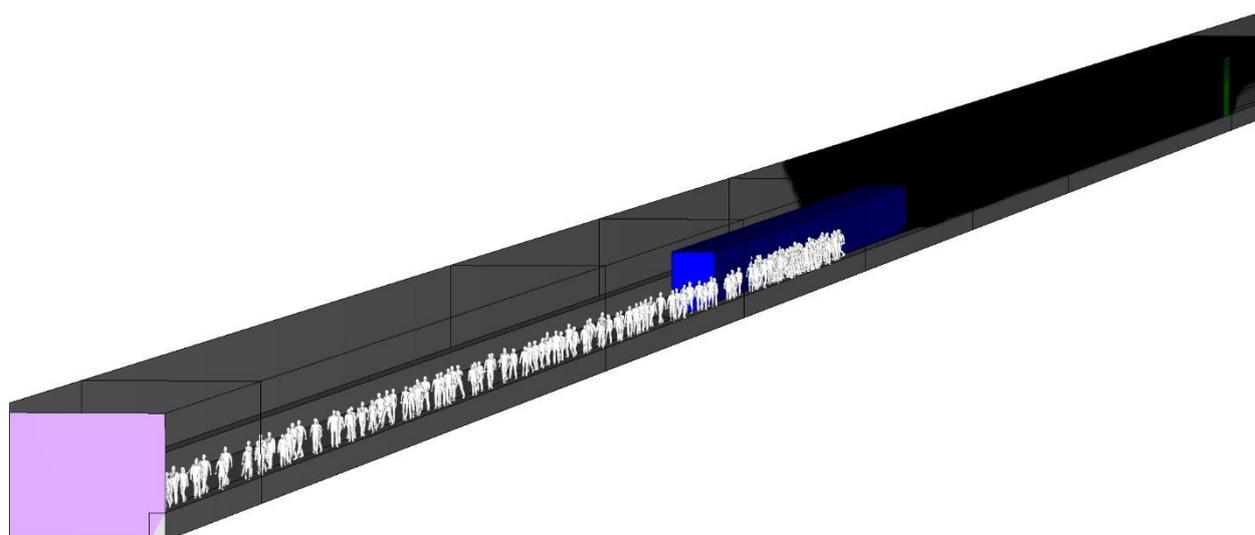
Exited: 97 / 418



08:00.0

t = 8 minuti

Exited: 215 / 418

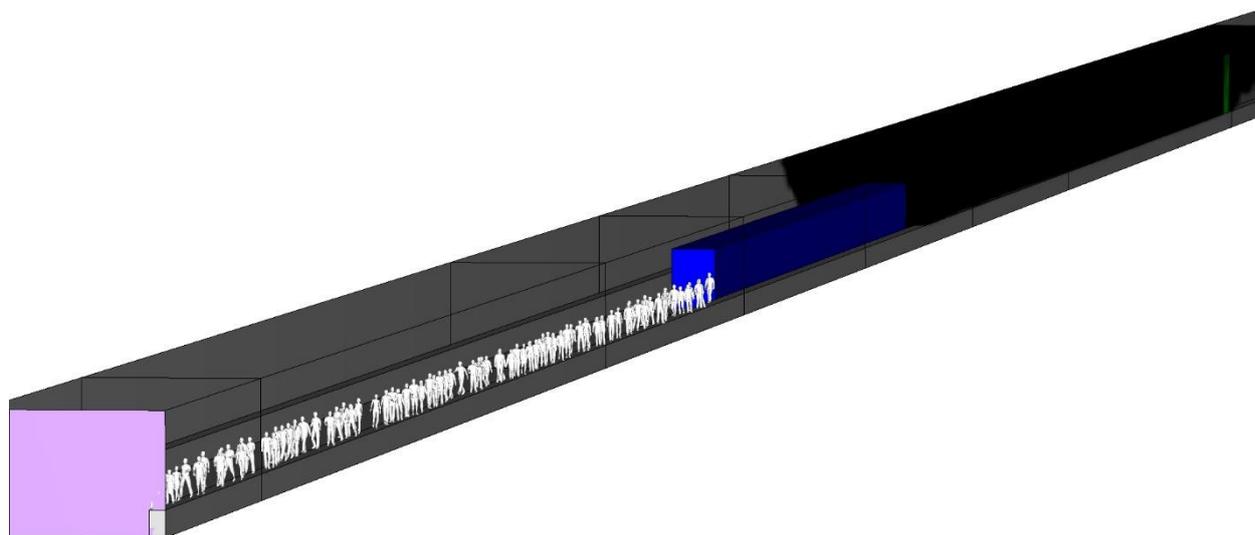


12:00.0

t = 12 minuti



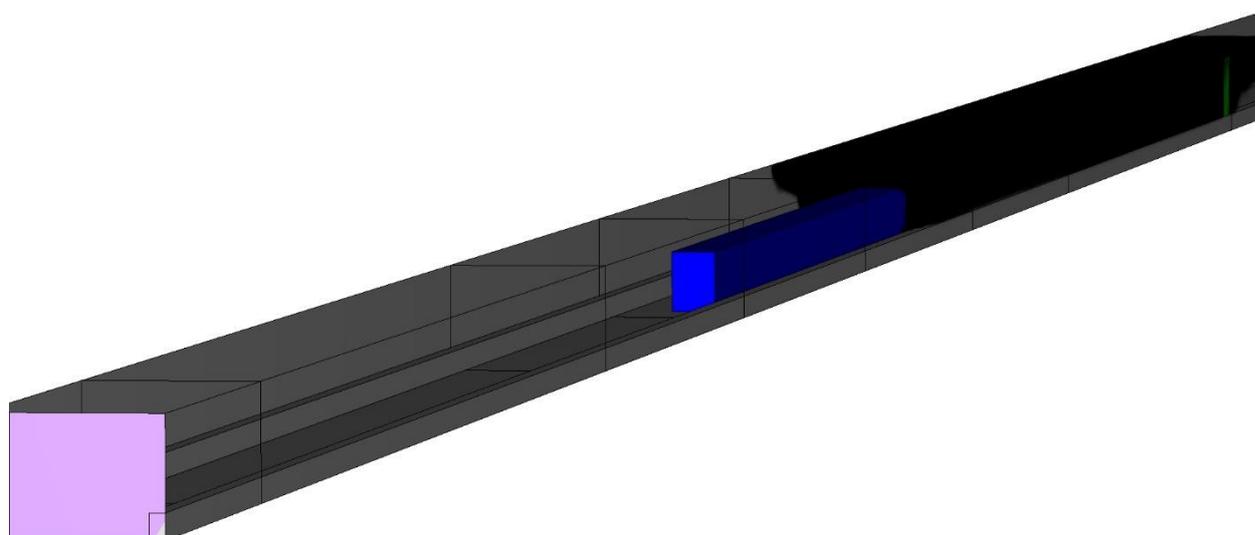
Exited: 339/418



16:00.0

t = 16 minuti

Exited: 418/418



20:00.0

t = 20 minuti

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

7.3 Calcolo ASET

Nella tabella successiva è riportata una sintesi dei risultati della simulazione effettuata.

Livello riferito a 1,8 m dal piano di calpestio	Tempo raggiungimento soglia	Note
Temperature 60°C	> 20 minuti	Le temperature sul marciapiede nel verso dell'esodo non raggiungono mai la soglia critica. La soglia critica è raggiunta solo a monte del focolaio a partire da circa 8 minuti.
Irraggiamento termico 2,5 kW/m²	> 20 minuti	Le temperature sul marciapiede nel verso dell'esodo non raggiungono mai la soglia critica. La soglia critica è raggiunta solo a monte del focolaio a partire da circa 8 minuti nei primi 7 m dal focolaio nella componente relativa alla fiamma. Per quanto attiene i fumi non è mai raggiunta.
Visibilità 15 m	> 20 minuti	La visibilità sul marciapiede nel verso dell'esodo è sempre maggiore di 15 m. La visibilità è ridotta solo a monte del focolaio a partire da circa 4 minuti.
FED 0,3	> 20 minuti	Il livello della FED è pari a 0 nel verso dell'esodo. A monte del focolaio la soglia critica è raggiunta solo in corrispondenza del focolaio.

Tabella 6 – Calcolo ASET scenario 1

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

Il tempo disponibile per l'esodo ASET è maggiore di 20 minuti nel verso dell'esodo, eccetto nelle immediate vicinanze del focolaio.

7.4 Calcolo RSET

Nel caso specifico il tempo di esodo lungo il marciapiede e fino a luogo sicuro (stazione Novara) risulta pari a 18 minuti e 30 secondi dall'innesco del focolaio.

7.5 Conclusioni

Il tempo disponibile per l'esodo ASET, superiore ai 20 minuti, è maggiore del tempo necessario per raggiungere un luogo sicuro RSET, pari a circa 18 minuti e 30 secondi.

Le analisi di scenario, ottemperanti le previsioni del DM 21/10/2015, restituiscono una condizione di conformità ed adeguatezza delle ipotesi progettuali in relazione alla richiesta verifica di salvabilità degli esposti in caso di incendio.

Lo scenario di incendio simulato in ottemperanza al Capo I, § 1.1.4 dell'Allegato del DM 21/10/2015, definisce condizioni di sviluppo e propagazione dell'incendio controllate dagli impianti meccanici di sicurezza (ventilazione meccanica strategia di tipo push - pull) le cui modalità di dimensionamento e funzionamento sono richiamate nella tabella seguente:

SCENARIO – Incendio treno in galleria		
Impianto	Portata unitaria [m ³ /s]	Portata totale [m ³ /h]
estrazione pozzo Novara	120	-
immissione stazione Verona	120	-

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

La strategia ed il dimensionamento dell'impianto comporta il raggiungimento dell'obiettivo di sicurezza degli esposti durante la fase di esodo in emergenza, secondo il Timing indicato nella tabella seguente, che è stato adottato per tarare il modello CFD ai fini delle verifiche:

TIME STEP [S]	EVENTO	RIFERIMENTI ED ASSUNTI
0	IL FUOCO SI ACCENDE	Il focolaio è posizionato nella parte inferiore in corrispondenza della testa del treno
120	IL FUOCO VIENE RILEVATO ATTIVAZIONE VENTILAZIONE INIZIO DELL'EVACUAZIONE	
180	LA VENTILAZIONE RAGGIUNGE LA PORTATA MASSIMA	
720	IL FUOCO ARRIVA ALLA POTENZA MASSIMA	La potenza è pari a 7 MW

Per lo scenario analizzato:

- le persone possono evacuare il convoglio usando la galleria come percorso di sfollamento fino alla stazione Novara;
- la velocità dell'aria nella galleria risulta essere sufficiente a contrastare i fenomeni espansivi dei fumi dell'incendio;
- risultano rispettate le condizioni di sostenibilità nel verso di percorrenza dell'esodo.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

8. SCENARIO 2: TRENO FERMO NEL RETROSTAZIONE BOLOGNA

8.1 Modellazione incendio ed esodo

8.1.1 Geometria

Il modello tridimensionale costruito con il software FDS ha le caratteristiche riportate nella tabella seguente.

CODICE	FDS
CARDINALITÀ	3D
DIMENSIONI CELLA	0.2 x 0.2 x 0.2
PORZIONE DELLA GALLERIA SIMULATA	350 m
TEMPO DI SIMULAZIONE	1200 s

Tabella 7 - Modello tridimensionale

Al modello 3D, vengono accoppiate porzioni 1D per la modellazione di ulteriori tratti di galleria. Le successive figure mostrano le caratteristiche geometriche e dimensionali del modello formulato.



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

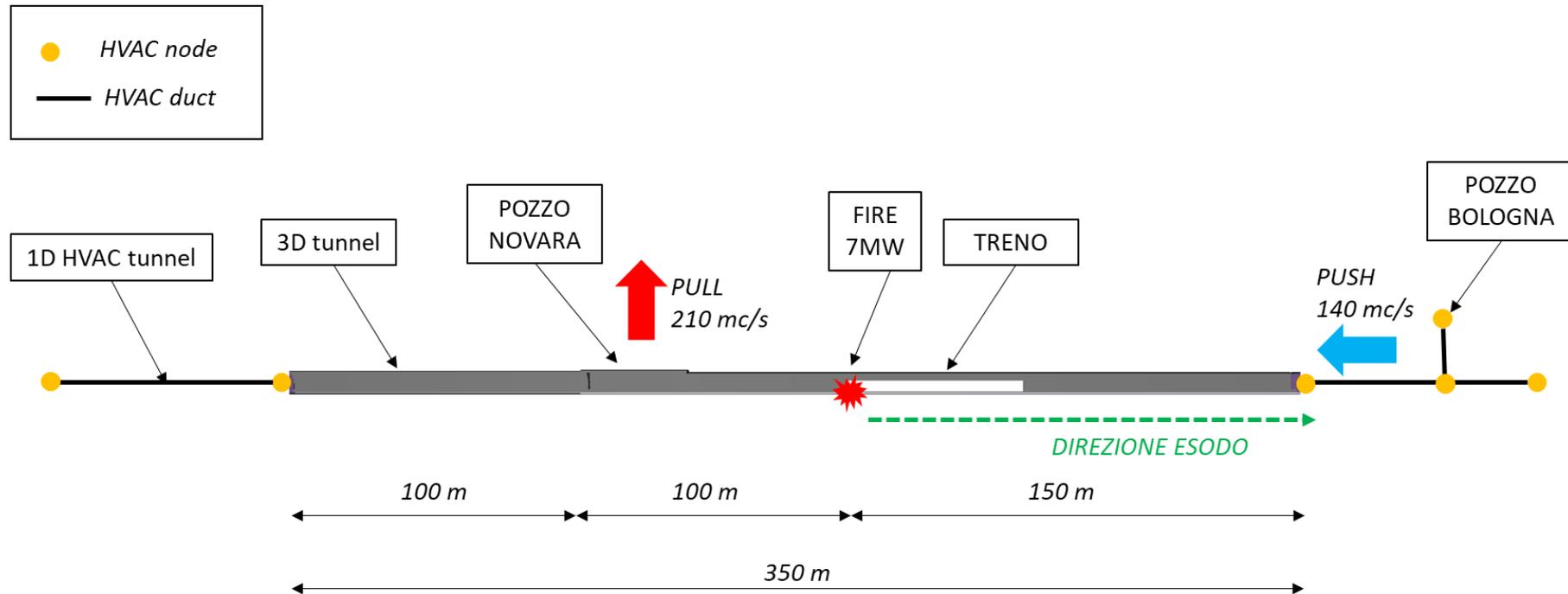


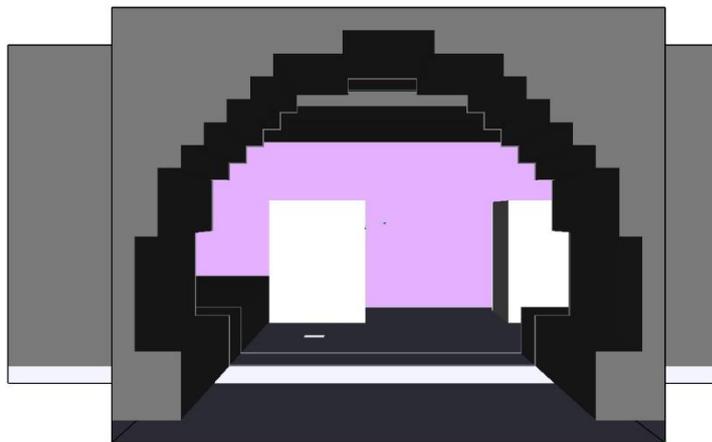
Figura 5 – Caratterizzazione del modello CFD

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

VISTA LONGITUDINALE



VISTA SEZIONE TRASVERSALE



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

8.1.2 Definizione dello scenario

Secondo il DM 21 ottobre 2015 “Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane”, Allegato I, Capo I.I.4, tra gli scenari d’incendio di riferimento più importanti viene elencato al secondo punto, **l’incendio a bordo di un treno fermo in galleria.**

8.1.3 Curva d’incendio

La curva di incendio del treno per le verifiche fluidodinamiche è ricavata in accordo con le indicazioni presenti nel DM 21 ottobre 2015 “Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane” e di seguito riportata in forma grafica.

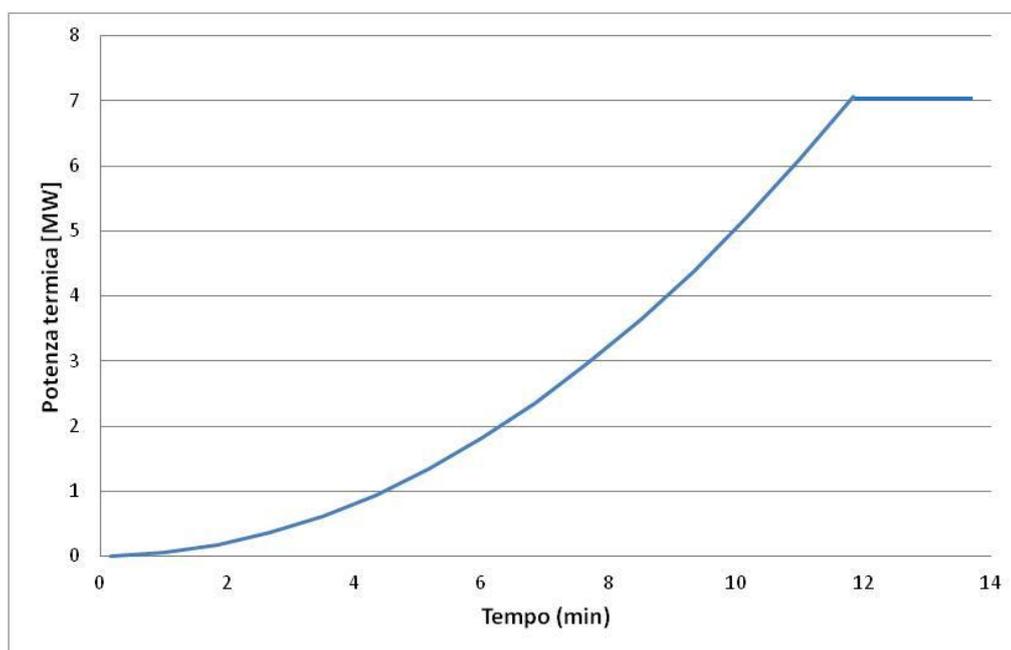


Figura 6 - Curva d’incendio DM 21.10.2015

Il decreto specifica che la **potenza d’incendio**, e quindi la curva naturale d’incendio, fa riferimento alle caratteristiche di combustibilità dei materiali che costituiscono i vagoni dei

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

convogli. Nel caso in cui risulti una potenza termica inferiore ai 7000 kW viene comunque assunta una potenza di progetto pari a **7000 kW**.

Il valore di 7000 kW è riferito ad una potenza di picco. Essa, infatti, è espressa come funzione temporale quadratica con un coefficiente α pari a **0,014**, corrispondente al raggiungimento della potenza di 1000 kW in 270 secondi.

Fase di combustione dei gas

I parametri utilizzati per la reazione della fase di combustione dei gas sono di seguito sintetizzati.

SOOT_YIELD	frazione della massa di combustibile convertito in particolato di fumo	0.104
CO_YIELD	frazione della massa di combustibile convertito in monossido di carbonio	0.025
C	numero di atomi di carbonio presenti nella formula chimica del combustibile	6.3
H	numero di atomi di idrogeno presenti nella formula chimica del combustibile	7.1
N	numero di atomi di azoto presenti nella formula chimica del combustibile	1
HEAT_OF_COMBUSTION	quantità di energia rilasciata per unità di massa di combustibile consumato espressa in kJ/kg	24800

Tabella 8 – Parametri fase di combustione

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

Caratteristiche focolaio

GRANDEZZA	VALORE
AREA LASTRA	10 m ²
HRRPUA	700 kW/m ²
ALTEZZA QUOTA	+0.4 m

Tabella 9 – Grandezze focolaio di incendio

8.1.4 Impianto di ventilazione

In generale la strategia di ventilazione può essere determinata dalla posizione dell'incendio sul treno e dalla direzione di evacuazione. Per gli scenari di incendio in galleria, al fine di realizzare quanto sopra viene utilizzata la modalità di ventilazione di galleria di tipo push-pull.

L'analisi di emergenza si concentra sulla capacità raccomandata dei ventilatori e sulle modalità operative al fine di soddisfare i criteri adottati per la progettazione e i requisiti delle normative applicabili.

In caso di incendio in galleria si assume la seguente procedura:

- il treno prende fuoco lungo la linea e si ferma in galleria;
- inizia l'evacuazione del treno;
- si attiva il sistema di ventilazione (t =120 secondi);
- il sistema di ventilazione raggiunge la portata di regime (t =180 secondi).

Nel caso specifico, mediante analisi SES, si è stabilita una portata di immissione nel retrostazione Bologna, derivante dal pozzo Bologna, pari a **140 m³/s** ed una portata di estrazione dal pozzo Novara pari a **210 m³/s**.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

Per quanto concerne le modalità di attivazione, in caso di incendio a bordo treno fermo in galleria, il sistema di ventilazione è attivato dall'impianto di rivelazione incendi presente sul materiale rotabile o dal sistema centrale di controllo.

8.1.5 Condizioni al contorno

Definire le condizioni al contorno per le modellazioni termofluidodinamiche è di fondamentale importanza. Nel caso specifico si riportano le condizioni iniziali stabilite:

- Velocità dell'aria iniziale pari a $v=0$ m/s;
- Temperatura dell'aria iniziale pari a $T=15$ ° C;
- umidità al 50%;
- pendenza longitudinale galleria come da progetto mediante interpolazione della gravità.

8.1.6 Cronologia degli eventi

La caratterizzazione dell'impianto di ventilazione e delle strategie da adottare necessita la definizione di una sequenza di eventi da considerare nell'analisi dell'evoluzione degli scenari di emergenza nello scenario di riferimento analizzato.

Nella tabella seguente si riporta la sequenza dei principali eventi considerati nell'analisi dello scenario.

TIME STEP [S]	EVENTO	RIFERIMENTI ED ASSUNTI
0	IL FUOCO SI ACCENDE	Il focolaio è posizionato nella parte inferiore in corrispondenza della testa del treno
120	IL FUOCO VIENE RILEVATO ATTIVAZIONE VENTILAZIONE INIZIO DELL'EVACUAZIONE	
180	LA VENTILAZIONE RAGGIUNGE LA PORTATA MASSIMA	

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

720	IL FUOCO ARRIVA ALLA POTENZA MASSIMA	La potenza è pari a 7 MW
-----	--------------------------------------	--------------------------

Tabella 10 – Timing incendio a bordo treno

8.1.7 Esodo

Il massimo affollamento ipotizzabile è stato calcolato in riferimento al D.M. 21 Ottobre 2015 assunto come linea guida alla progettazione della Fire Safety Engineering. Il Decreto (cfr. capitolo 1 riportato) stabilisce che:

- il numero dei passeggeri su un treno deve essere calcolato su una superficie pari a quella lorda interna di ogni vagone diminuita del 10% considerando una densità pari a 4 pers/m²;

[...]

Per quanto riguarda le specifiche inserite per l'esodo, si è assunto che l'affollamento del treno è pari a **418 persone** come da scheda tecnica (treno con 2 porte preso come riferimento).

Nel caso specifico il tempo di esodo lungo il marciapiede e fino a luogo sicuro (stazione Bologna) risulta pari a 548 secondi.

8.2 RISULTATI

Si riporta una sintesi dei risultati della simulazione attraverso immagini che mostrano i risultati grafici più significativi della simulazione fluidodinamica in termini di irraggiamento, temperature, visibilità e concentrazioni di monossido di carbonio. Le unità di misura assunte per le grandezze sono le seguenti:

- spazio [m]
- tempo [s]
- velocità dell'aria [m/s]

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

- temperatura [°C]
- visibilità [m]
- irraggiamento termico [kW/m²]
- concentrazione di monossido di carbonio [mol/mol]
- livello medio FED [%]

Il D.M. 21/10/2015 definisce le condizioni di sostenibilità per la vita umana che devono essere rispettate in situazioni di emergenza.

Tutte le condizioni di sostenibilità imposte dal Decreto risultano rispettate in galleria nella direzione dell'esodo.

8.2.1 Propagazione dei fumi

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche relative alla propagazione dei fumi. Il piano rappresentativo è verticale lungo l'asse longitudinale di galleria.



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

t=2 min	
t=4 min	
t=8 min	
t=12 min	
t=16 min	
t=20 min	

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

8.2.2 Velocità dell'aria

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche di velocità dell'aria.

Il piano rappresentativo è verticale in asse galleria.

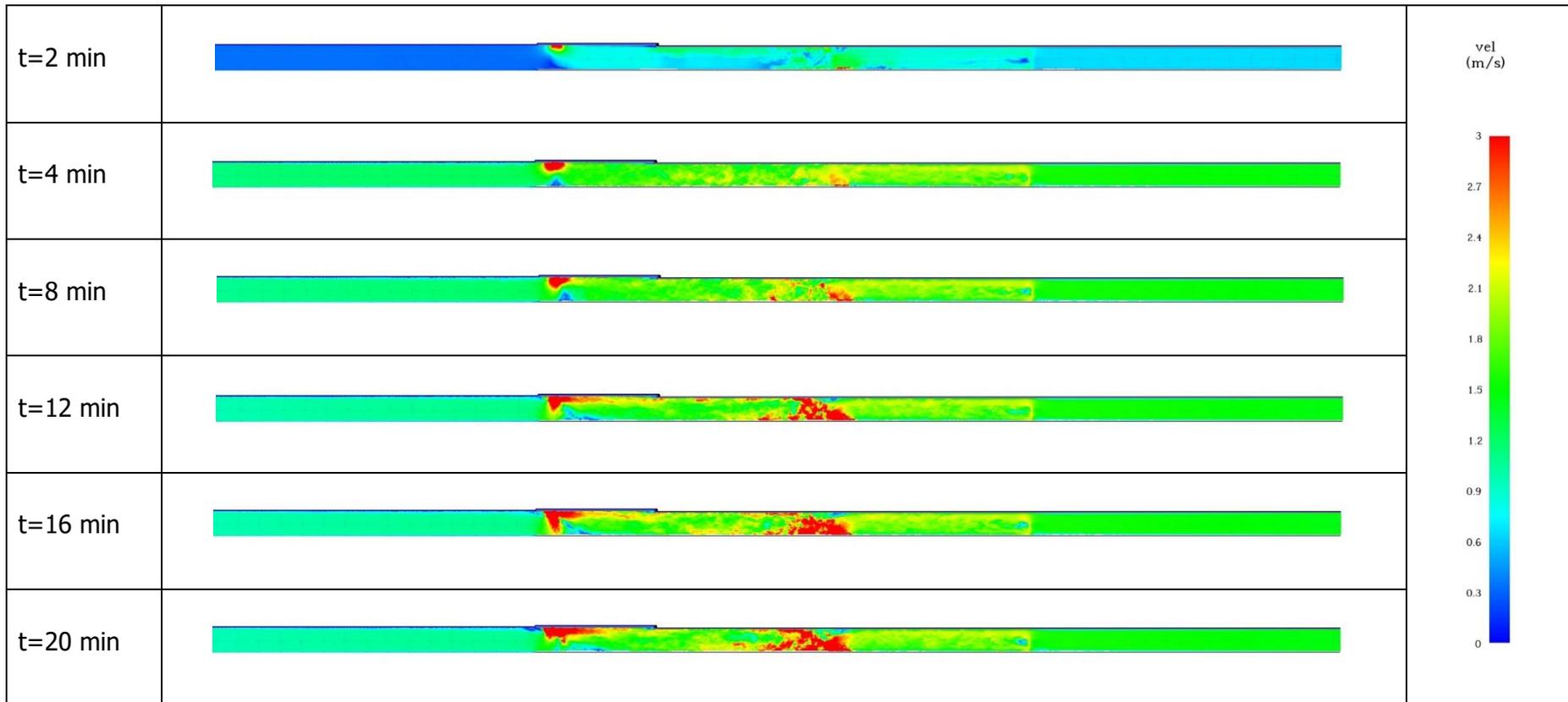


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

8.2.3 Temperatura

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche relative all'andamento della temperatura.

Il piano rappresentativo è orizzontale ad 1,8 m di altezza rispetto il piano di calpestio livello marciapiede.

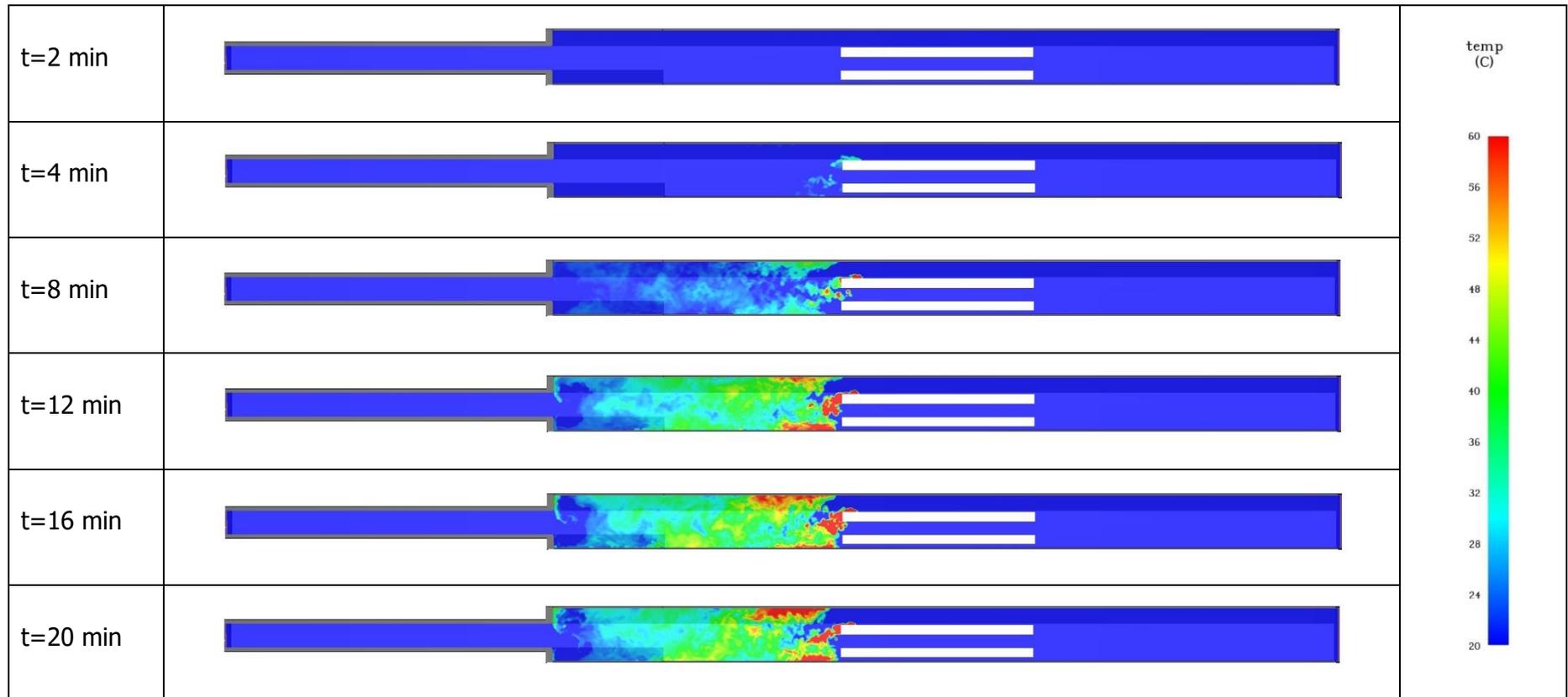


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

8.2.4 Visibilità

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche di visibilità.

Il piano rappresentativo è orizzontale ad 1,8 m di altezza rispetto il piano di calpestio livello marciapiede.

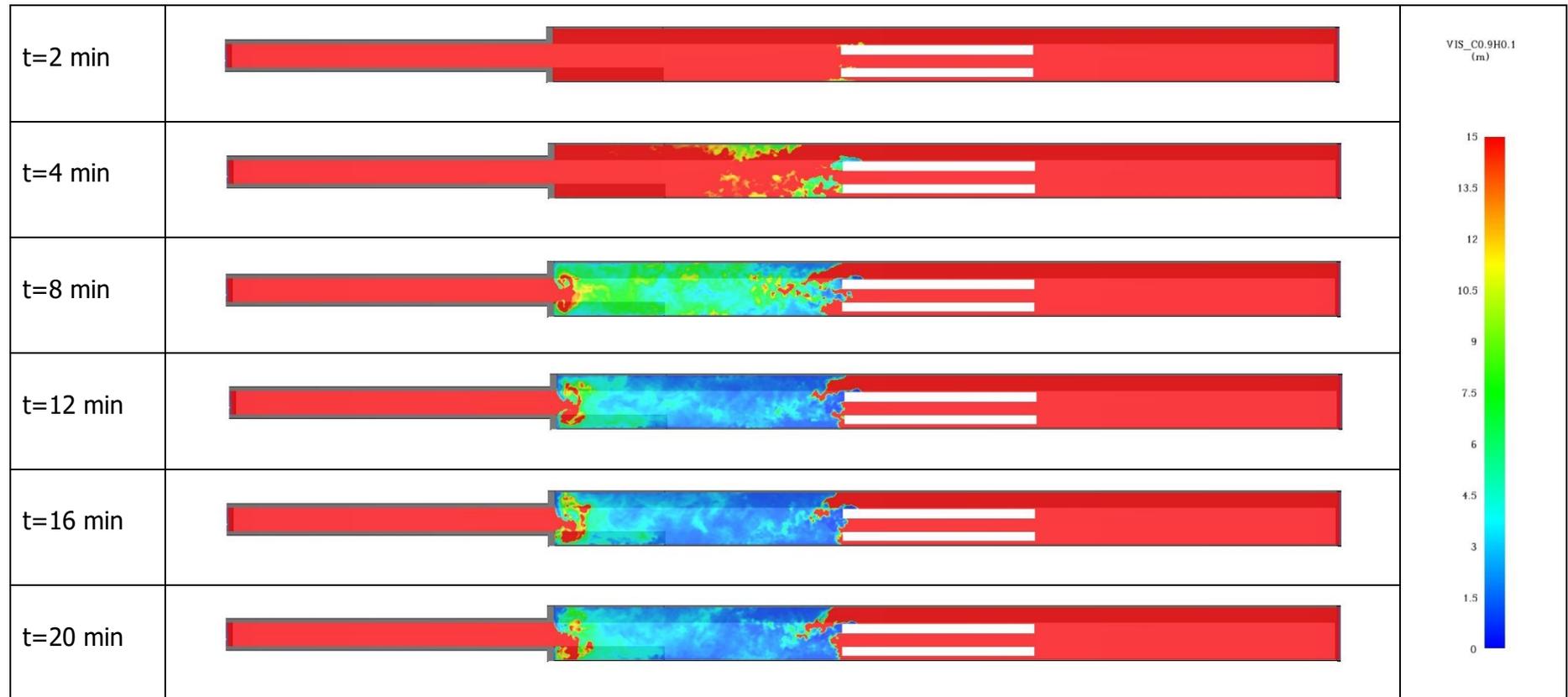


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

8.2.5 Monossido di Carbonio

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche relative all'andamento della concentrazione di monossido di carbonio (CO).

Il piano rappresentativo è orizzontale ad 1,8 m di altezza rispetto il piano di calpestio livello marciapiede.

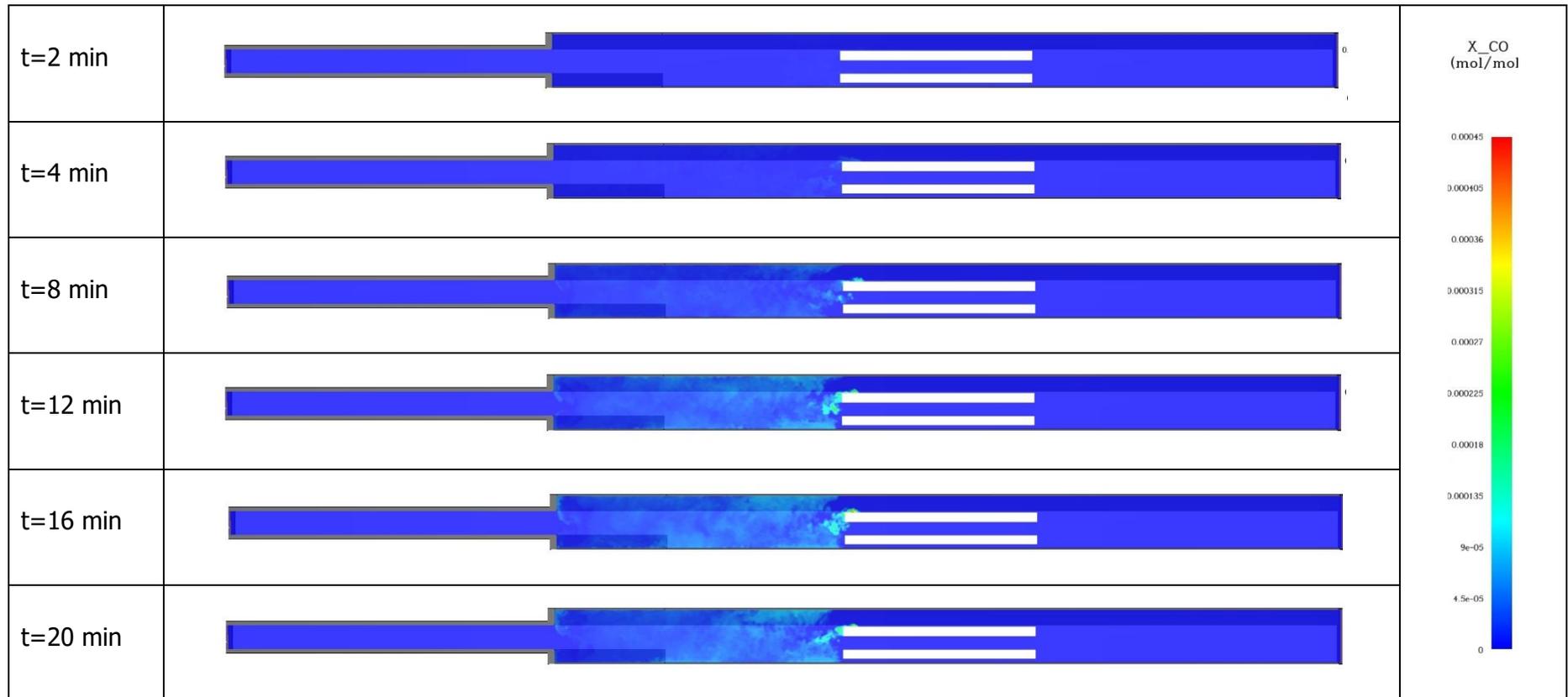


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

8.2.6 Irraggiamento termico

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche relative a irraggiamento.

Il piano rappresentativo è orizzontale ad 1,8 m di altezza rispetto il piano di calpestio livello marciapiede.

Il valore dell'integrated intensity si riferisce all'integrale del flusso sull'intero angolo solido, e tiene conto del solo scambio dalla sorgente verso il ricevitore. Il valore integrale per un ambiente a 20°C si deriva dalla relazione $Q = 4\sigma T^4$ e risulta pari a circa 1600 W/m². Tale contributo va pertanto sottratto al valore riportato nei grafici. Oltre a tale contributo, l'effettivo flusso dipende dai fattori di vista che cautelativamente assumeremo pari ad 1.

La norma inoltre fissa il valore del flusso relativamente al solo contributo dei fumi, pertanto il valore riportato nei grafici in prossimità del focolaio non è confrontabile.

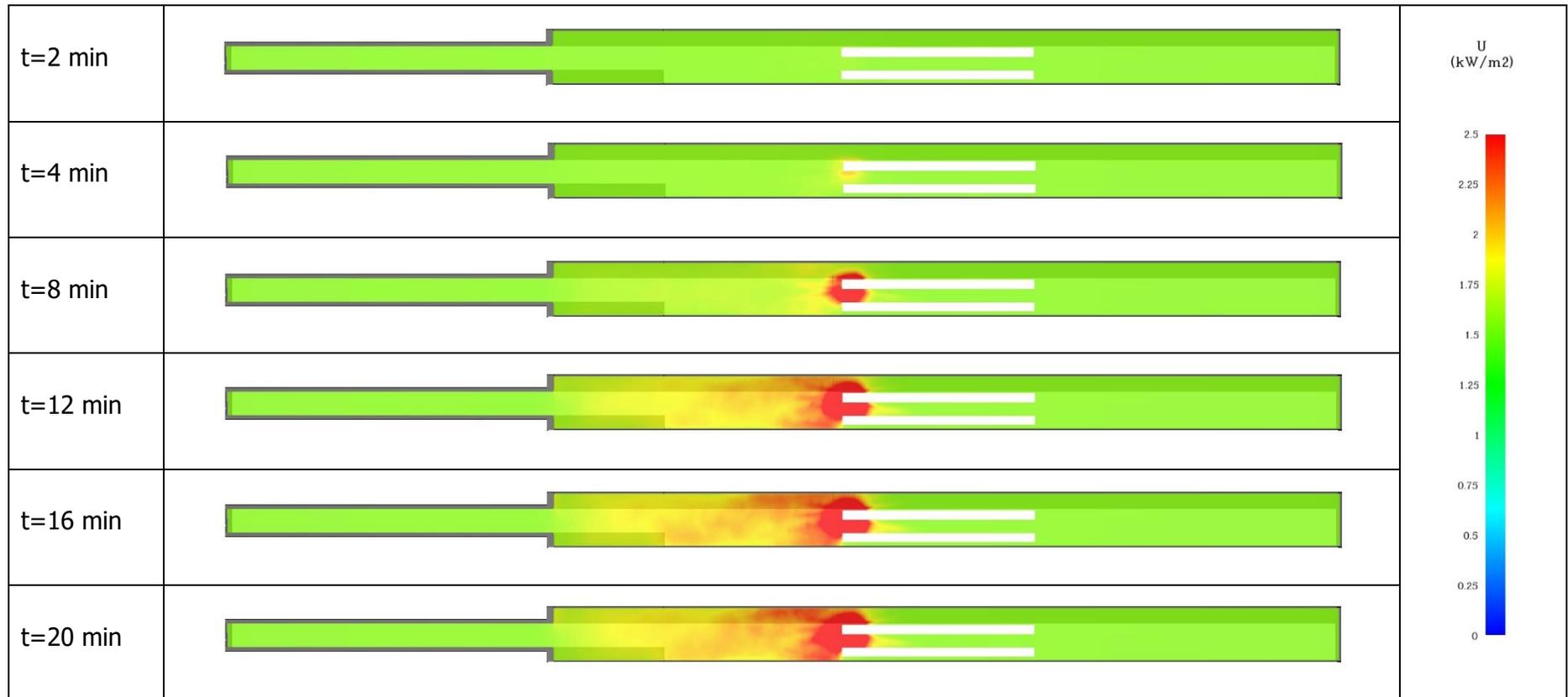


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

8.2.7 Livello medio FED

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche del livello medio FED.

Il piano rappresentativo è orizzontale ad 1,8 m di altezza rispetto il piano di calpestio livello marciapiede.

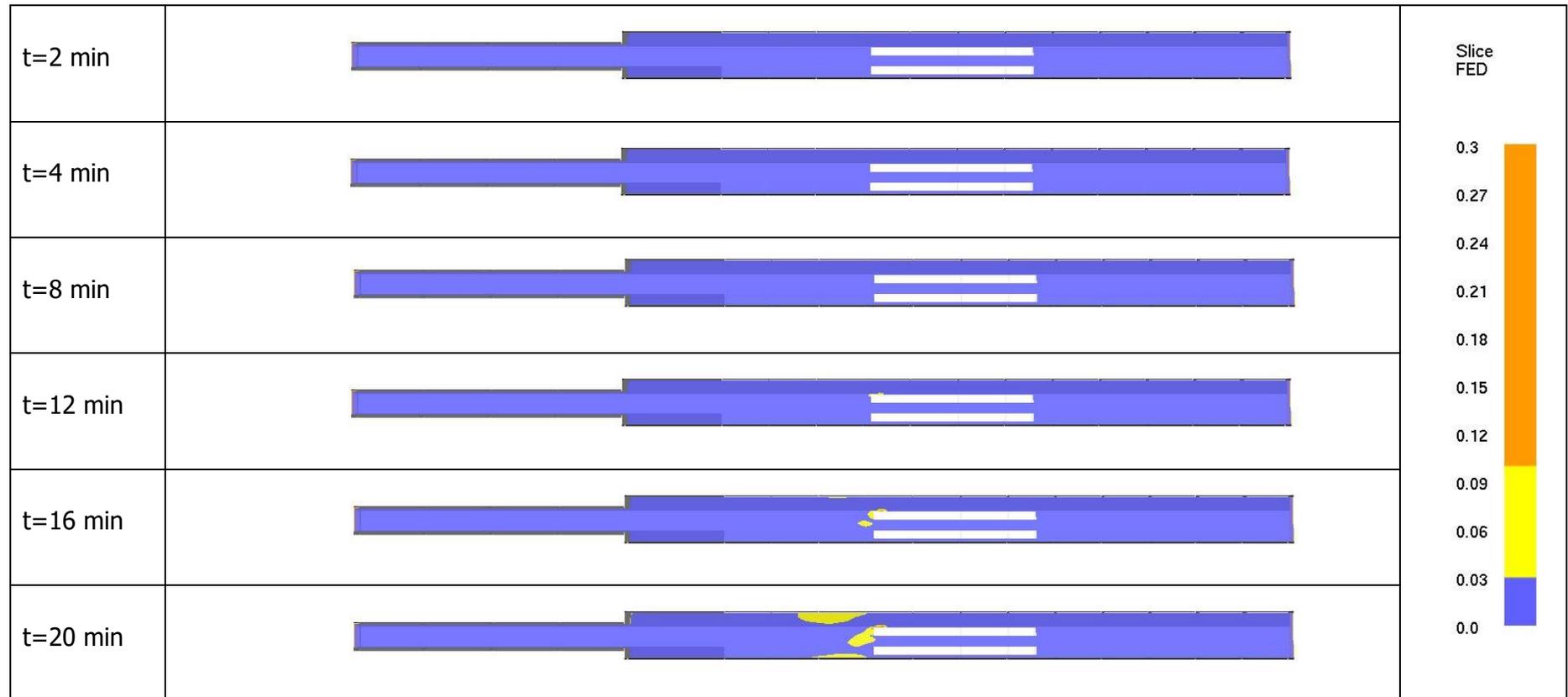


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

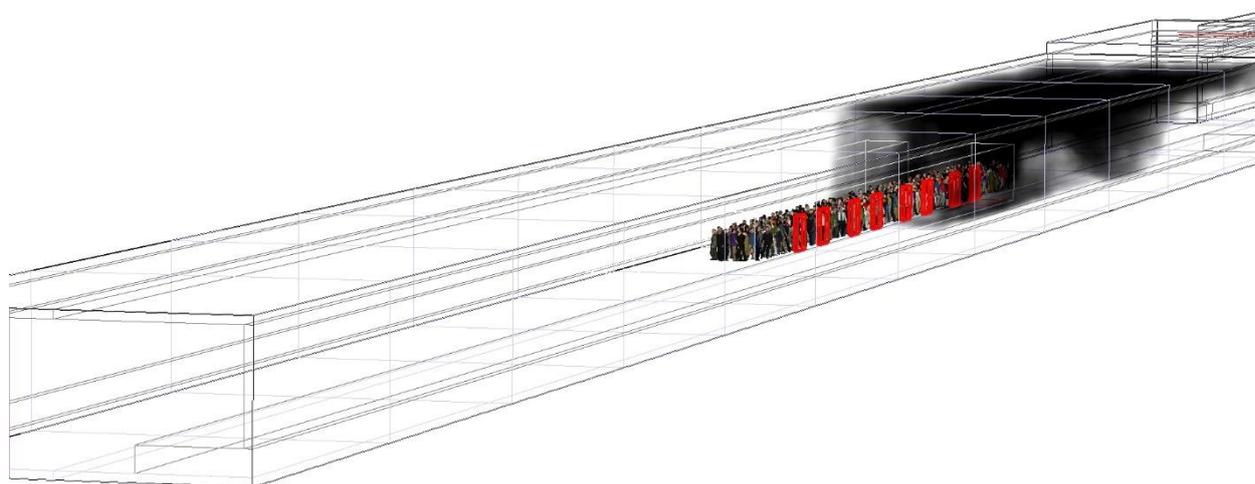




8.2.8 Esodo

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche di propagazione fumi associate ad esodo con vista prospettica.

Exited: 0/418



120.0

t = 2 minuti



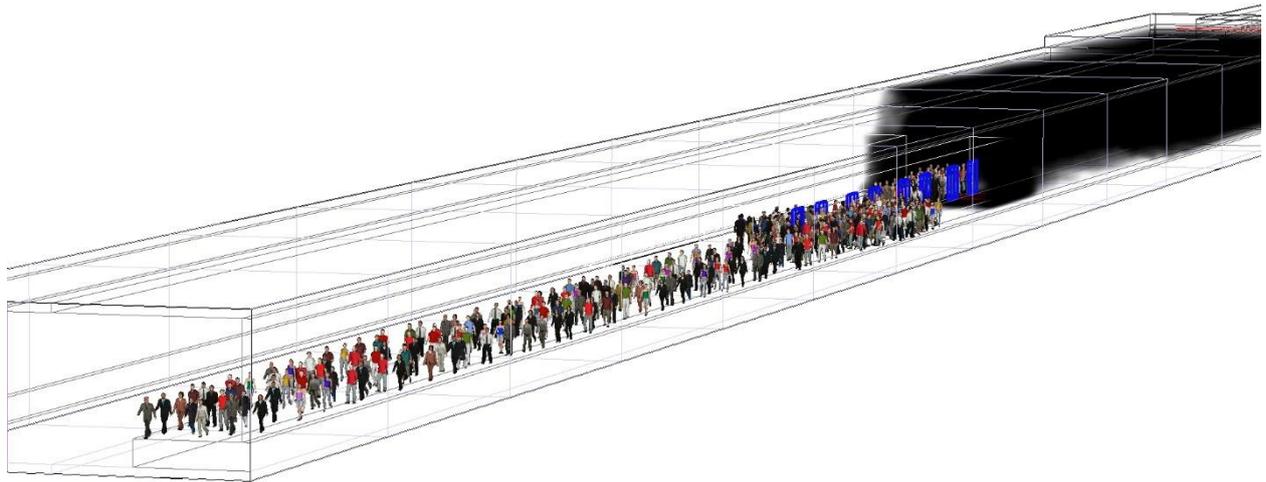
CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:
Politecnico – Rebaudengo

LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

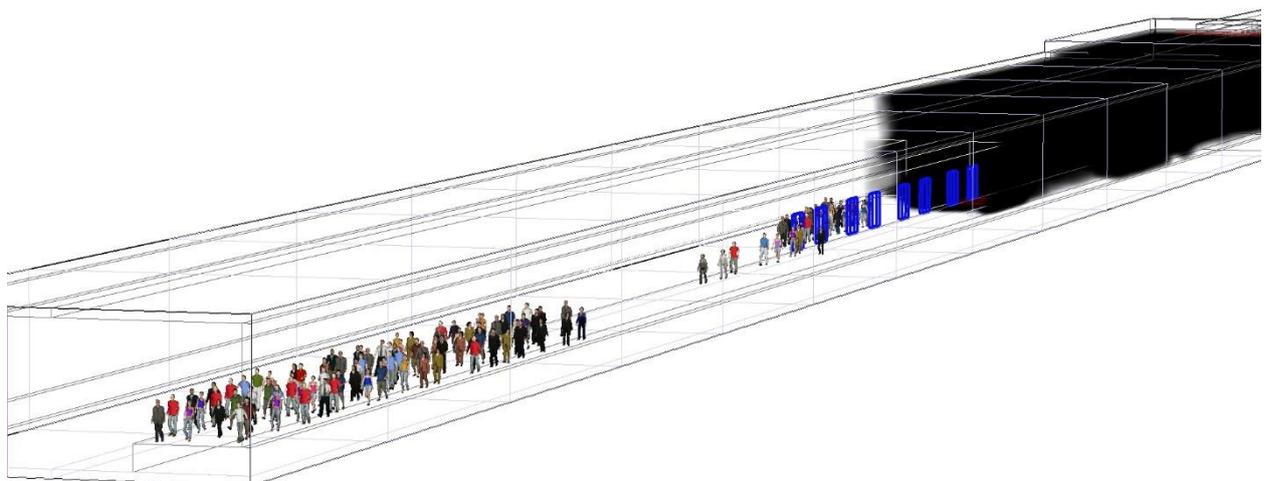
Exited: 40/418



240.0

t = 4 minuti

Exited: 289/418

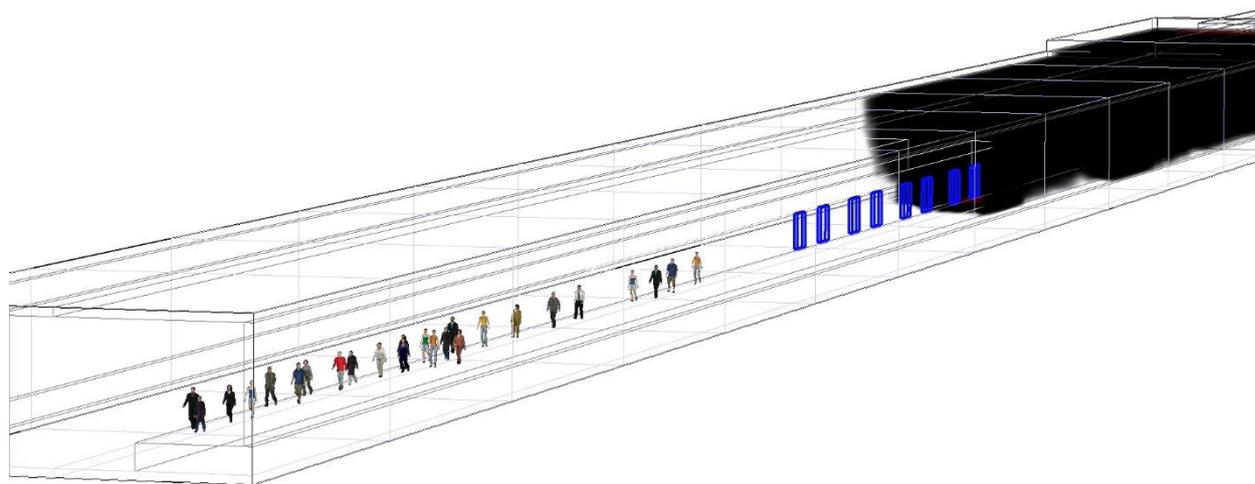


360.0

t = 6 minuti



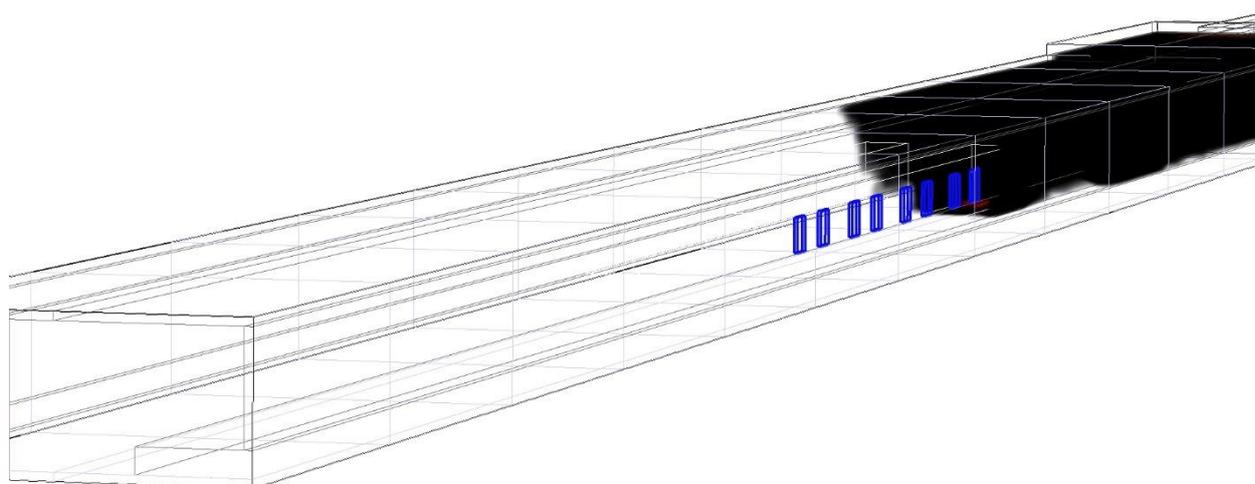
Exited: 393/418



480.0

t = 8 minuti

Exited: 418/418



600.0

t = 10 minuti

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

8.3 Calcolo ASET

Nella tabella successiva è riportata una sintesi dei risultati della simulazione effettuata.

Livello riferito a 1,8 m dal piano di calpestio	Tempo raggiungimento soglia	Note
Temperature 60°C	> 20 minuti	Le temperature sul marciapiede nel verso dell'esodo non raggiungono mai la soglia critica. La soglia critica è raggiunta solo a monte del focolaio a partire da circa 8 minuti.
Irraggiamento termico 2,5 kW/m ²	> 20 minuti	La soglia critica è raggiunta solo a monte del focolaio a partire da circa 8 minuti nei primi 7 m dal focolaio nella componente relativa alla fiamma. Per quanto attiene i fumi non è mai raggiunta.
Visibilità 15 m	> 20 minuti	La visibilità sul marciapiede nel verso dell'esodo è sempre maggiore di 15 m. La visibilità è ridotta solo a monte del focolaio a partire da circa 4 minuti.
FED 0,3	> 20 minuti	Il livello della FED è pari a 0 nel verso dell'esodo. A monte del focolaio la soglia critica è raggiunta solo in corrispondenza del focolaio.

Tabella 11 – Calcolo ASET scenario 2

Il tempo disponibile per l'esodo ASET è maggiore di 20 minuti nel verso dell'esodo, eccetto nelle immediate vicinanze del focolaio.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

8.4 Calcolo RSET

Nel caso specifico il tempo di esodo lungo il marciapiede e fino a luogo sicuro (stazione Bologna) risulta pari a 548 secondi.

8.5 Conclusioni

Il tempo disponibile per l'esodo ASET, superiore ai 20 minuti, è maggiore del tempo necessario per raggiungere un luogo sicuro RSET, pari a circa 548 secondi ovvero circa 10 minuti.

Le analisi di scenario, ottemperanti le previsioni del DM 21/10/2015, restituiscono una condizione di conformità ed adeguatezza delle ipotesi progettuali in relazione alla richiesta verifica di salvabilità degli esposti in caso di incendio.

Lo scenario di incendio simulato in ottemperanza al Capo I, § 1.1.4 dell'Allegato del DM 21/10/2015, definisce condizioni di sviluppo e propagazione dell'incendio controllate dagli impianti meccanici di sicurezza (ventilazione meccanica strategia di tipo push - pull) le cui modalità di dimensionamento e funzionamento sono richiamate nella tabella seguente:

SCENARIO – Incendio treno in retrostazione Bologna		
Impianto	Portata unitaria [m³/s]	Portata totale [m³/h]
estrazione pozzo Novara	210	-
immissione retrostazione da pozzo Bologna	140	-

La strategia ed il dimensionamento dell'impianto comporta il raggiungimento dell'obiettivo di sicurezza degli esposti durante la fase di esodo in emergenza, secondo il Timing indicato nella tabella seguente, che è stato adottato per tarare il modello CFD ai fini delle verifiche:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

TIME STEP [S]	EVENTO	RIFERIMENTI ED ASSUNTI
0	IL FUOCO SI ACCENDE	Il focolaio è posizionato nella parte inferiore in corrispondenza della testa del treno
120	IL FUOCO VIENE RILEVATO ATTIVAZIONE VENTILAZIONE INIZIO DELL'EVACUAZIONE	
180	LA VENTILAZIONE RAGGIUNGE LA PORTATA MASSIMA	
720	IL FUOCO ARRIVA ALLA POTENZA MASSIMA	La potenza è pari a 7 MW

Per lo scenario analizzato:

- le persone possono evacuare il convoglio usando la galleria come percorso di sfollamento fino alla stazione Bologna;
- la velocità dell'aria nella galleria risulta essere sufficiente a contrastare i fenomeni espansivi dei fumi dell'incendio;
- risultano rispettate le condizioni di sostenibilità nel verso di percorrenza dell'esodo.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

9. SCENARIO 3: TRENO FERMO TRA STAZIONE BOLOGNA E STAZIONE CIMAROSA

9.1 Modellazione incendio ed esodo

9.1.1 Geometria

Il modello tridimensionale costruito con il software FDS ha le caratteristiche riportate nella tabella seguente.

CODICE	FDS
CARDINALITÀ	3D
DIMENSIONI CELLA	0.2 x 0.2 x 0.2
PORZIONE DELLA GALLERIA SIMULATA	314 m
TEMPO DI SIMULAZIONE	1200 s

Tabella 12 - Modello tridimensionale

Al modello 3D, vengono accoppiate porzioni 1D per la modellazione di ulteriori tratti di galleria. Le successive figure mostrano le caratteristiche geometriche e dimensionali del modello formulato.



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

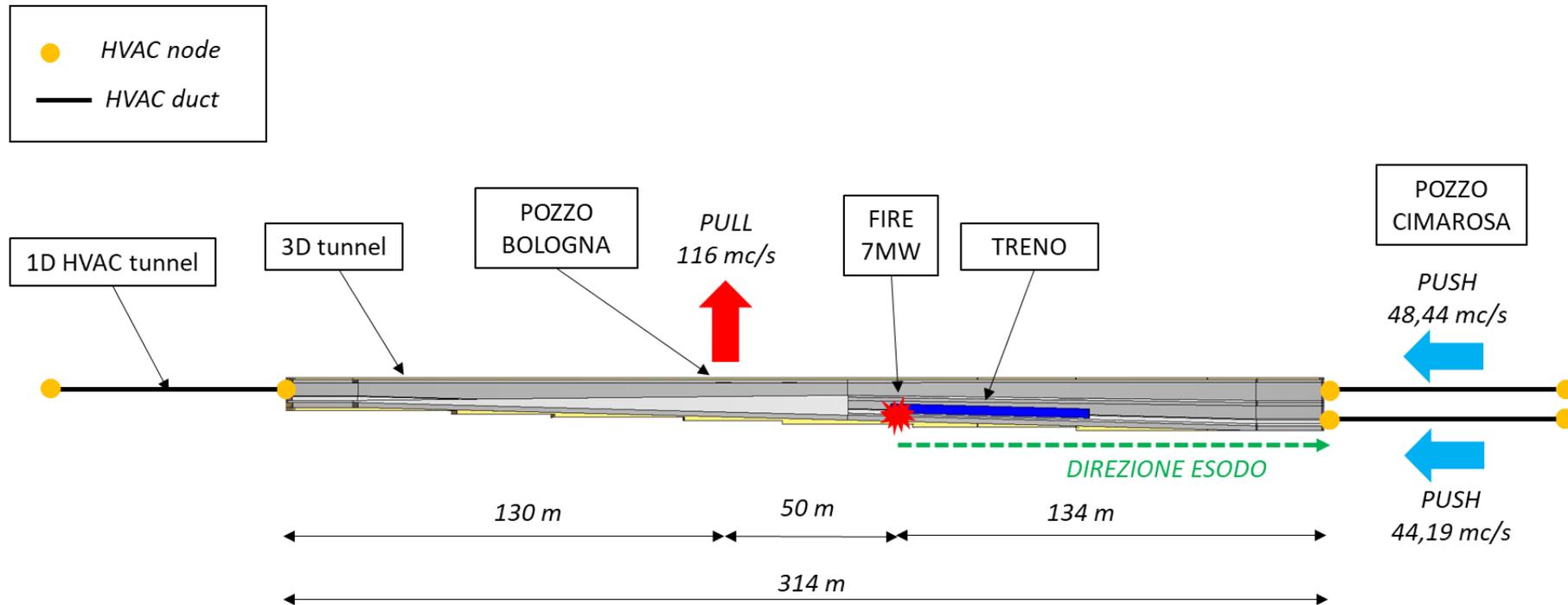
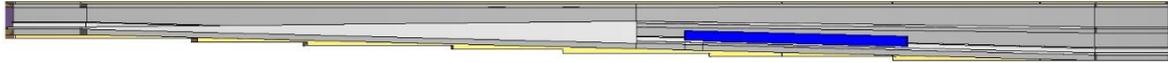


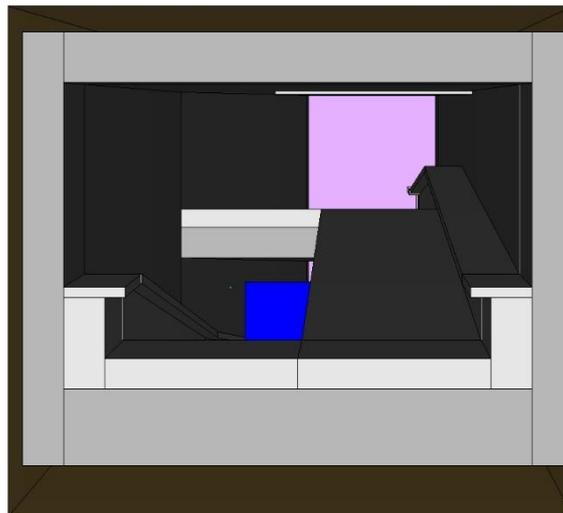
Figura 7 – Caratterizzazione del modello CFD

 <p>CITTA' DI TORINO</p>	<p>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo</p>
<p>LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA</p>	<p>106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX</p>

SEZIONE LONGITUDINALE

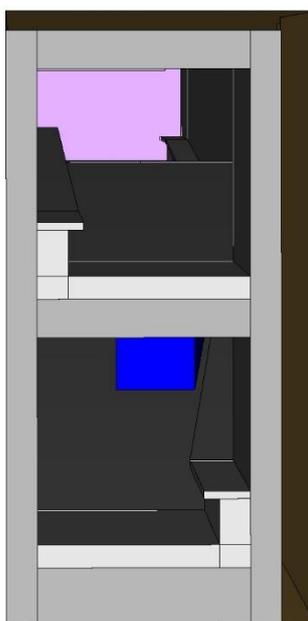


PROSPETTO LATO STAZIONE BOLOGNA



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

PROSPETTO LATO STAZIONE CIMAROSA



9.1.2 Definizione dello scenario

Secondo il DM 21 ottobre 2015 "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane", Allegato I, Capo I.I.4, tra gli scenari d'incendio di riferimento più importanti viene elencato al secondo punto, ***l'incendio a bordo di un treno fermo in galleria.***

9.1.3 Curva d'incendio

La curva di incendio del treno per le verifiche fluidodinamiche è ricavata in accordo con le indicazioni presenti nel DM 21 ottobre 2015 "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane" e di seguito riportata in forma grafica.

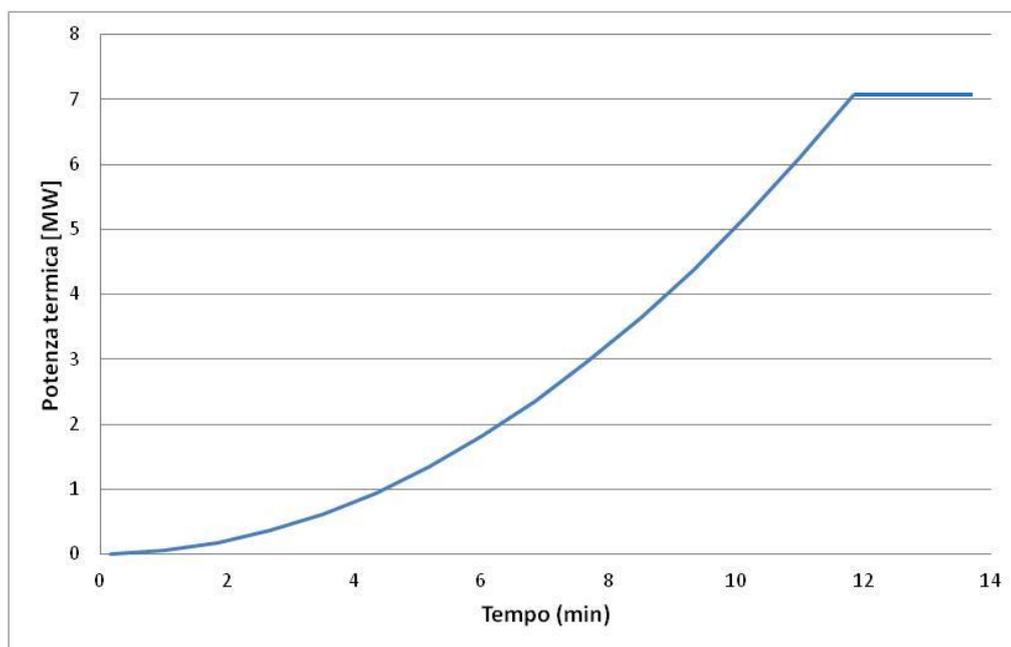


Figura 8 - Curva d'incendio DM 21.10.2015

Il decreto specifica che la **potenza d'incendio**, e quindi la curva naturale d'incendio, fa riferimento alle caratteristiche di combustibilità dei materiali che costituiscono i vagoni dei convogli. Nel caso in cui risulti una potenza termica inferiore ai 7000 kW viene comunque assunta una potenza di progetto pari a **7000 kW**.

Il valore di 7000 kW è riferito ad una potenza di picco. Essa, infatti, è espressa come funzione temporale quadratica con un coefficiente α pari a **0,014**, corrispondente al raggiungimento della potenza di 1000 kW in 270 secondi.

Fase di combustione dei gas

I parametri utilizzati per la reazione della fase di combustione dei gas sono di seguito sintetizzati.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

SOOT_YIELD	frazione della massa di combustibile convertito in particolato di fumo	0.104
CO_YIELD	frazione della massa di combustibile convertito in monossido di carbonio	0.025
C	numero di atomi di carbonio presenti nella formula chimica del combustibile	6.3
H	numero di atomi di idrogeno presenti nella formula chimica del combustibile	7.1
N	numero di atomi di azoto presenti nella formula chimica del combustibile	1
HEAT_OF_COMBUSTION	quantità di energia rilasciata per unità di massa di combustibile consumato espressa in kJ/kg	24800

Tabella 13 – Parametri fase di combustione

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

Caratteristiche focolaio

GRANDEZZA	VALORE
AREA LASTRA	10 m ²
HRRPUA	700 kW/m ²
ALTEZZA QUOTA	+0.4 m

Tabella 14 – Grandezze focolaio di incendio

9.1.4 Impianto di ventilazione

In generale la strategia di ventilazione può essere determinata dalla posizione dell'incendio sul treno e dalla direzione di evacuazione. Per gli scenari di incendio in galleria, al fine di realizzare quanto sopra viene utilizzata la modalità di ventilazione di galleria di tipo push-pull.

L'analisi di emergenza si concentra sulla capacità raccomandata dei ventilatori e sulle modalità operative al fine di soddisfare i criteri adottati per la progettazione e i requisiti delle normative applicabili.

In caso di incendio in galleria si assume la seguente procedura:

- il treno prende fuoco lungo la linea e si ferma in galleria;
- inizia l'evacuazione del treno;
- si attiva il sistema di ventilazione (t =120 secondi);
- il sistema di ventilazione raggiunge la portata di regime (t =180 secondi).

Nel caso specifico, mediante analisi SES, si è stabilita:

- una portata di immissione nel binario superiore, derivante dal pozzo Cimarosa, pari a **48,44 m³/s**

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

- una portata di immissione nel binario inferiore, derivante dal pozzo Cimarosa, pari a **44,19 m³/s**
- una portata di estrazione dal pozzo Bologna pari a **116 m³/s**.

Per quanto concerne le modalità di attivazione, in caso di incendio a bordo treno fermo in galleria, il sistema di ventilazione è attivato dall'impianto di rivelazione incendi presente sul materiale rotabile o dal sistema centrale di controllo.

9.1.5 Condizioni al contorno

Definire le condizioni al contorno per le modellazioni termofluidodinamiche è di fondamentale importanza. Nel caso specifico si riportano le condizioni iniziali stabilite:

- Velocità dell'aria iniziale pari a $v=0$ m/s;
- Temperatura dell'aria iniziale pari a $T=15$ ° C;
- umidità al 50%.

9.1.6 Cronologia degli eventi

La caratterizzazione dell'impianto di ventilazione e delle strategie da adottare necessita la definizione di una sequenza di eventi da considerare nell'analisi dell'evoluzione degli scenari di emergenza nello scenario di riferimento analizzato.

Nella tabella seguente si riporta la sequenza dei principali eventi considerati nell'analisi dello scenario.

TIME STEP [S]	EVENTO	RIFERIMENTI ED ASSUNTI
0	IL FUOCO SI ACCENDE	Il focolaio è posizionato nella parte inferiore in corrispondenza della testa del treno

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

120	IL FUOCO VIENE RILEVATO ATTIVAZIONE VENTILAZIONE INIZIO DELL'EVACUAZIONE	
180	LA VENTILAZIONE RAGGIUNGE LA PORTATA MASSIMA	
720	IL FUOCO ARRIVA ALLA POTENZA MASSIMA	La potenza è pari a 7 MW

Tabella 15 – Timing incendio a bordo treno

9.1.7 Esodo

Il massimo affollamento ipotizzabile è stato calcolato in riferimento al D.M. 21 Ottobre 2015 assunto come linea guida alla progettazione della Fire Safety Engineering. Il Decreto (cfr. capitolo 1 riportato) stabilisce che:

- il numero dei passeggeri su un treno deve essere calcolato su una superficie pari a quella lorda interna di ogni vagone diminuita del 10% considerando una densità pari a 4 pers/m²;

[...]

Per quanto riguarda le specifiche inserite per l'esodo, si è assunto che l'affollamento del treno è pari a **418 persone** come da scheda tecnica (treno con 2 porte preso come riferimento).

Nel caso specifico il tempo di esodo lungo il marciapiede e fino a luogo sicuro (stazione Bologna) risulta pari a 824 secondi.

9.2 RISULTATI

Si riporta una sintesi dei risultati della simulazione attraverso:



- i valori rilevati dai sensori posti ad 1,8 m di altezza rispetto il piano di marciapiede in corrispondenza del treno incendiato;
- immagini che mostrano i risultati grafici più significativi della simulazione fluidodinamica in termini di irraggiamento, temperature, visibilità e concentrazioni di monossido di carbonio.

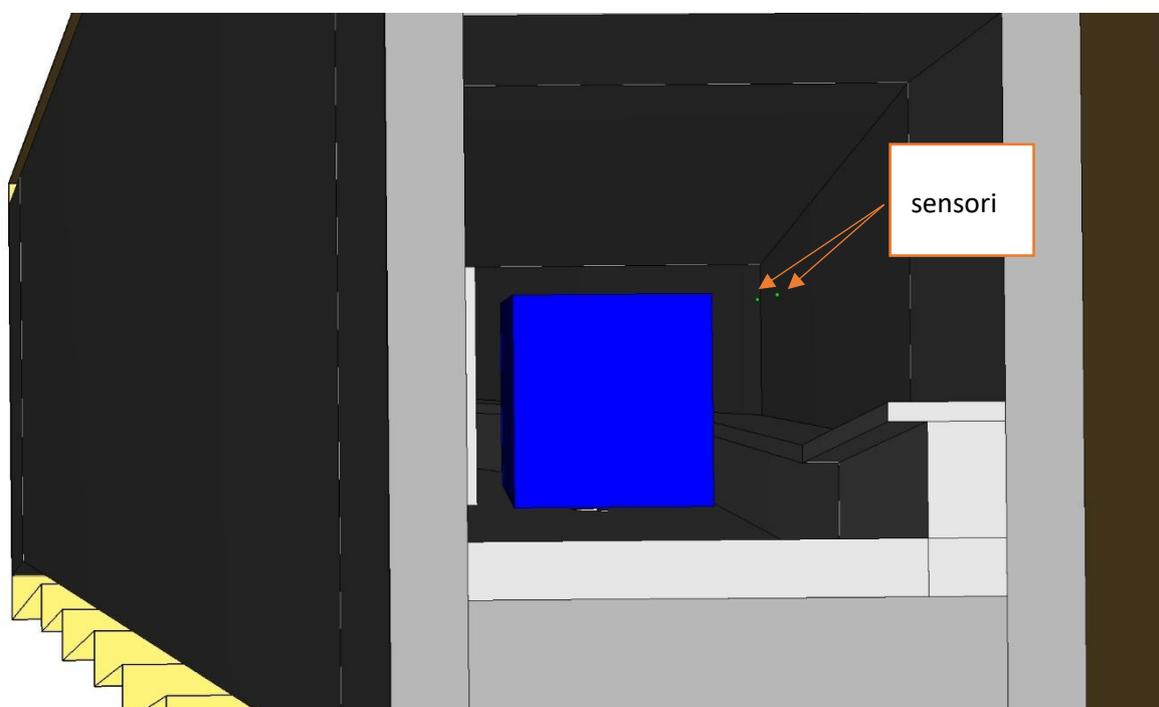


Figura 9 – Localizzazione sensori su marciapiede

Le unità di misura assunte per le grandezze sono le seguenti:

- spazio [m]
- tempo [s]
- velocità dell'aria [m/s]
- temperatura [°C]

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

- visibilità [m]
- irraggiamento termico [kW/m²]
- concentrazione di monossido di carbonio [mol/mol]
- livello medio FED [%]

Il D.M. 21/10/2015 definisce le condizioni di sostenibilità per la vita umana che devono essere rispettate in situazioni di emergenza.

Tutte le condizioni di sostenibilità imposte dal Decreto risultano rispettate in galleria nella direzione dell'esodo.

9.2.1 Propagazione dei fumi

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche relative alla propagazione dei fumi.

Il piano rappresentativo è verticale in asse al binario del treno incendiato.



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

t=2 min	
t=4 min	
t=8 min	
t=12 min	
t=16 min	
t=20 min	

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

9.2.2 Velocità dell'aria

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche di velocità dell'aria.

Il piano rappresentativo è verticale in asse al binario del treno incendiato.

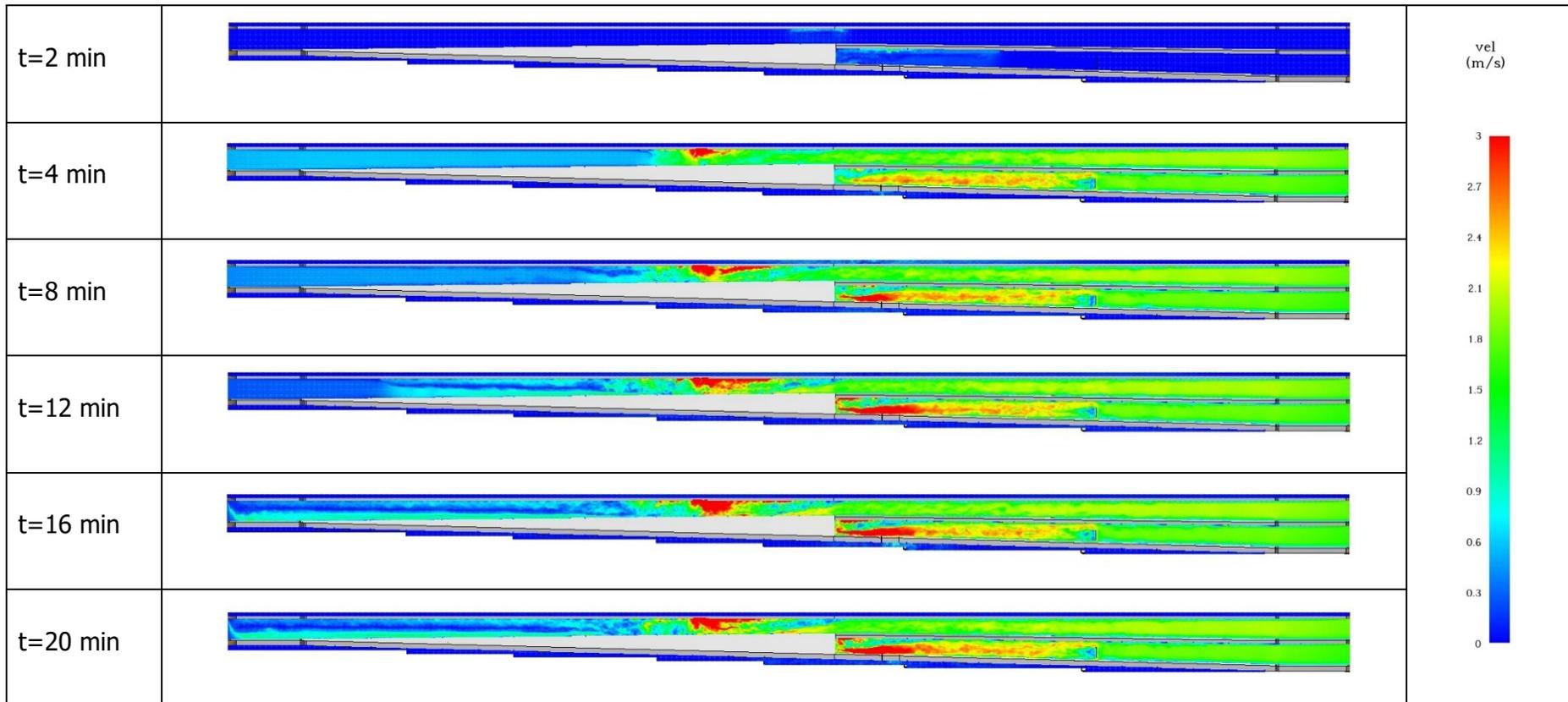


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

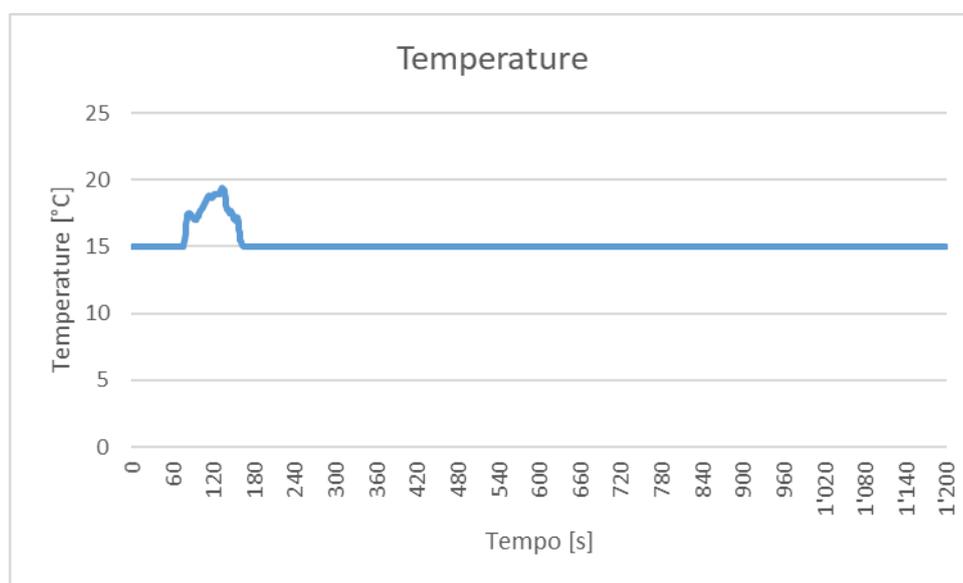
106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX





9.2.3 Temperatura

Il grafico successivo riporta le misurazioni rilevate dal sensore in prossimità del focolaio posto ad 1,8 m dal piano marciapiede.



Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche relative all'andamento della temperatura.

Il piano rappresentativo è orizzontale alla quota Z=7 m.

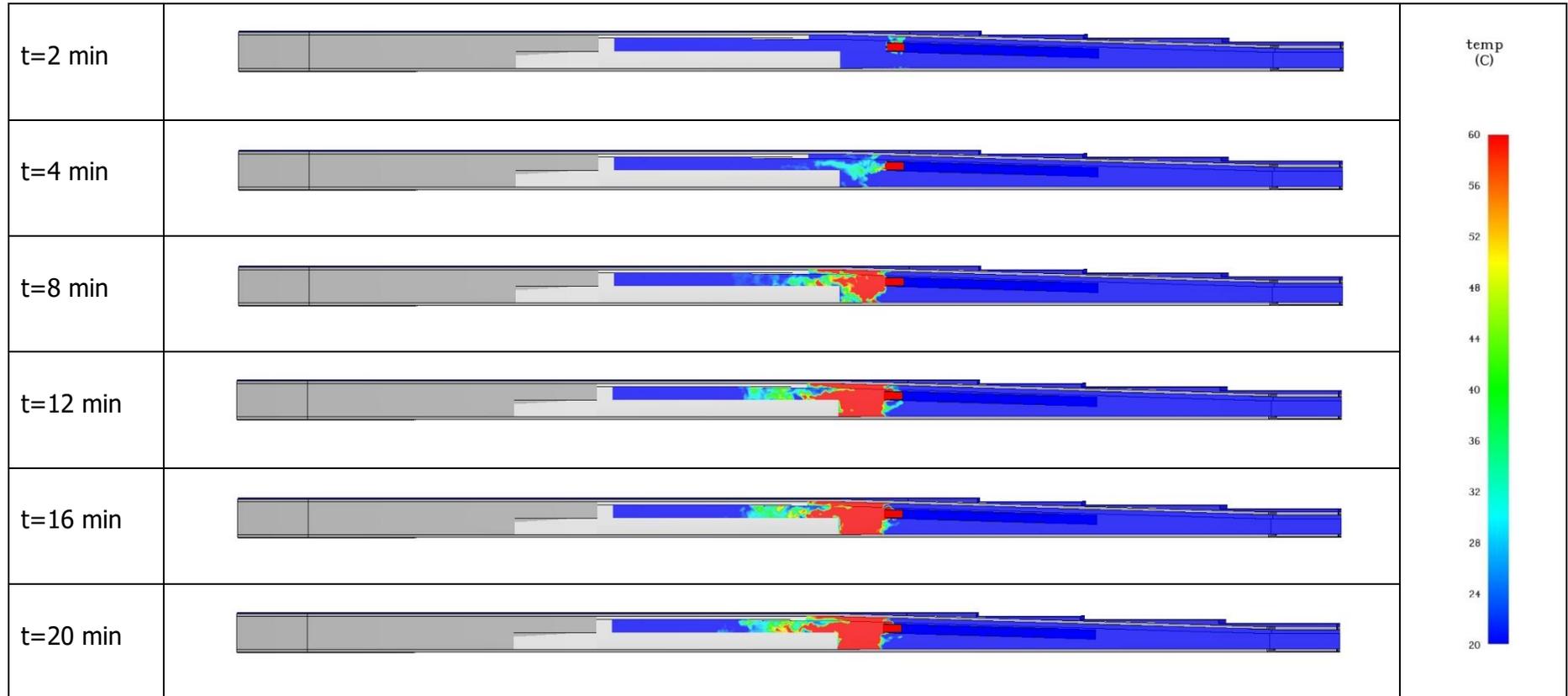


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX





9.2.4 Visibilità

Il grafico successivo riporta le misurazioni rilevate dal sensore in prossimità del focolaio posto ad 1,8 m dal piano marciapiede.



Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche di visibilità.

Il piano rappresentativo è orizzontale alla quota Z=7 m.

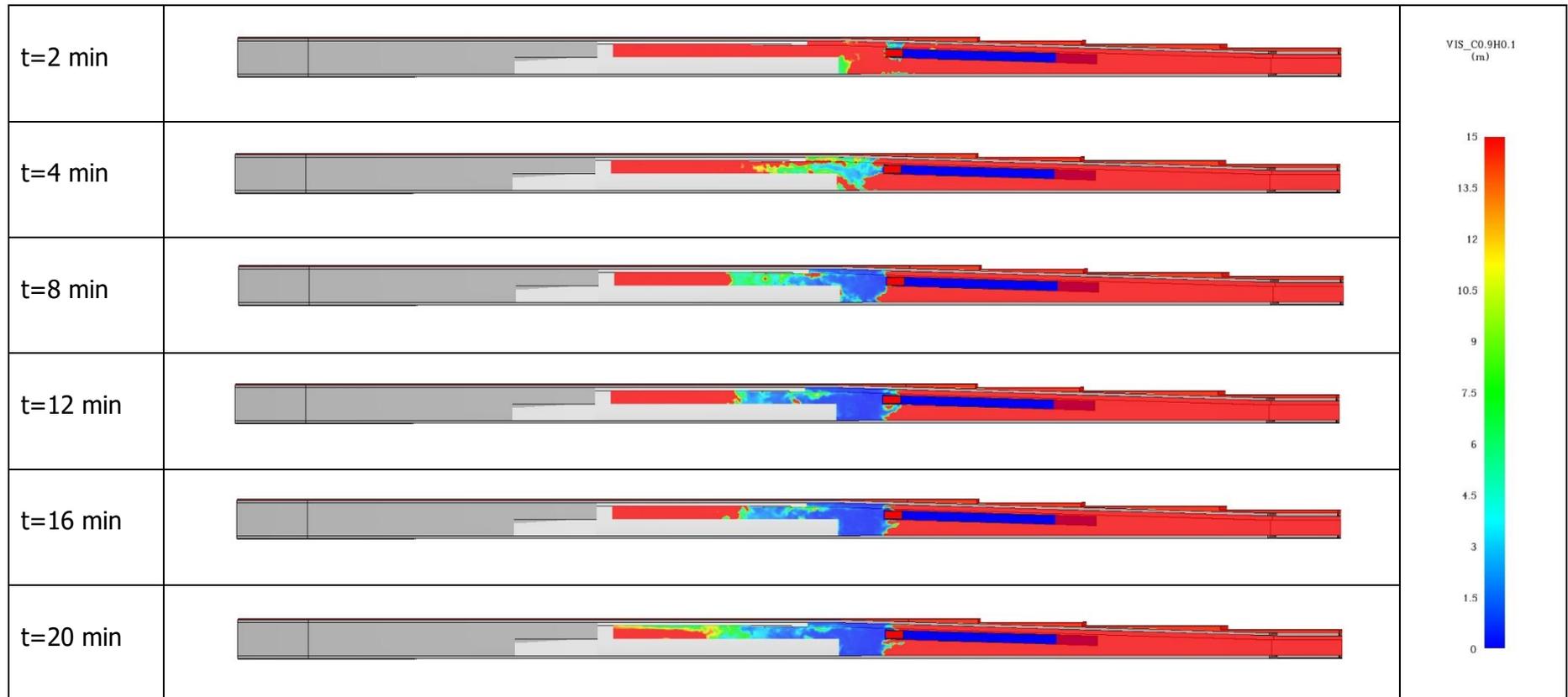


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

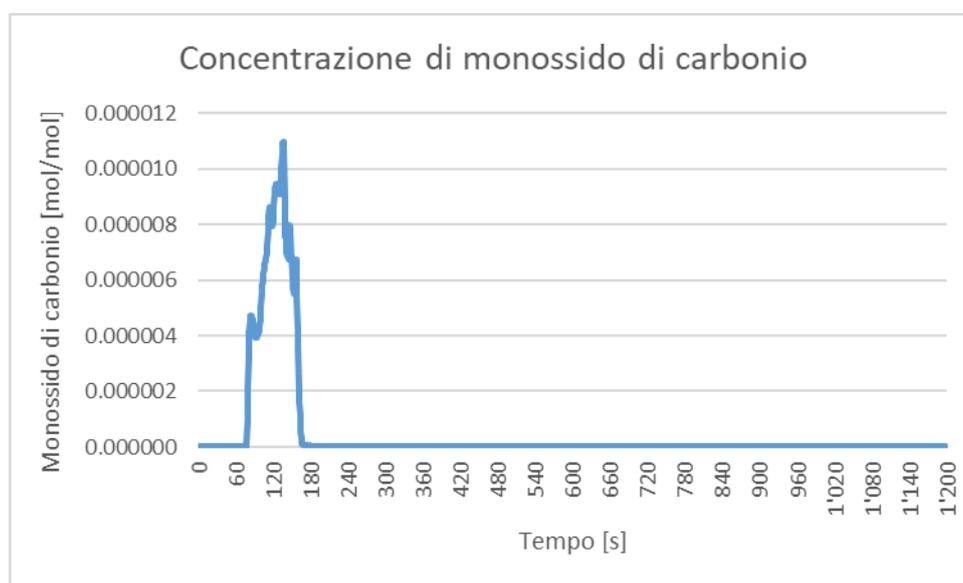
106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX





9.2.5 Monossido di Carbonio

Il grafico successivo riporta le misurazioni rilevate dal sensore in prossimità del focolaio posto ad 1,8 m dal piano marciapiede.



Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche relative all'andamento della concentrazione di monossido di carbonio (CO).

Il piano rappresentativo è orizzontale alla quota Z=7 m.

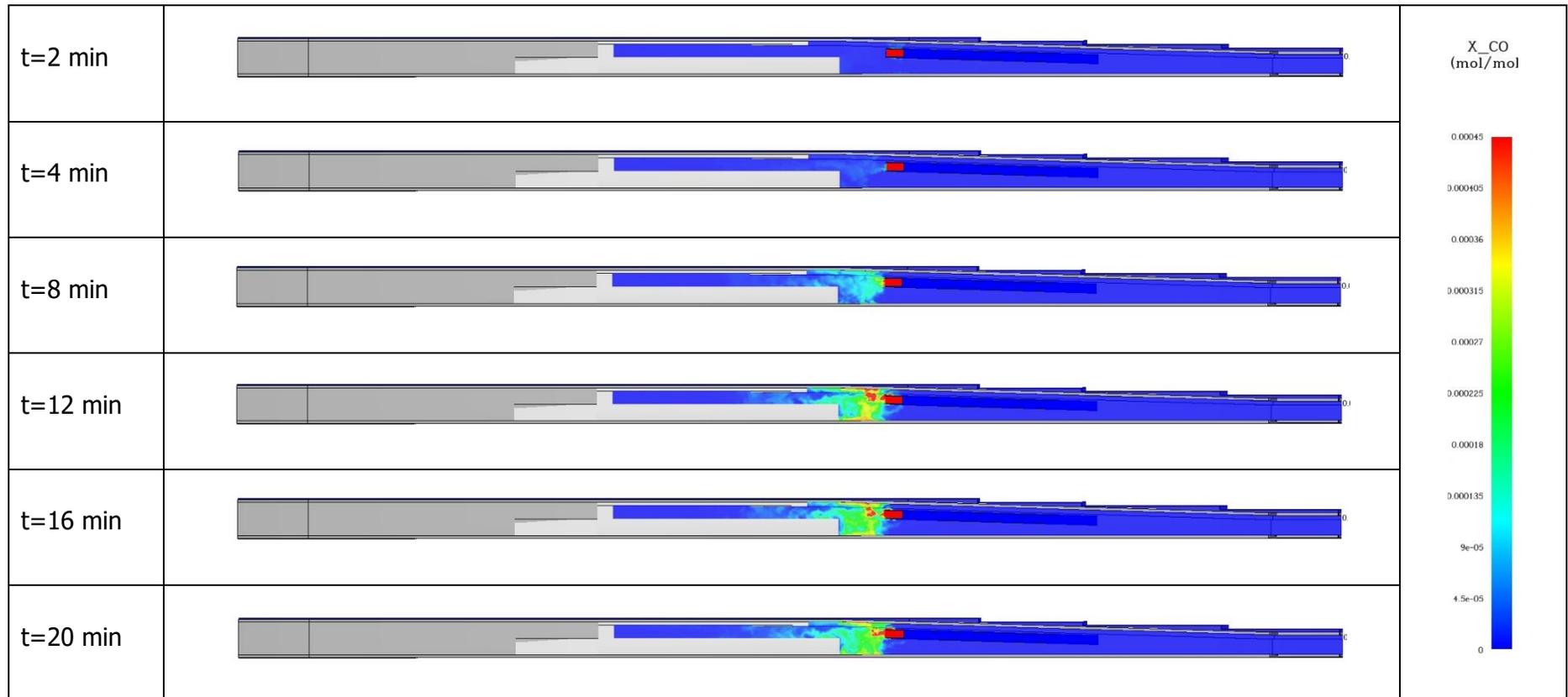


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

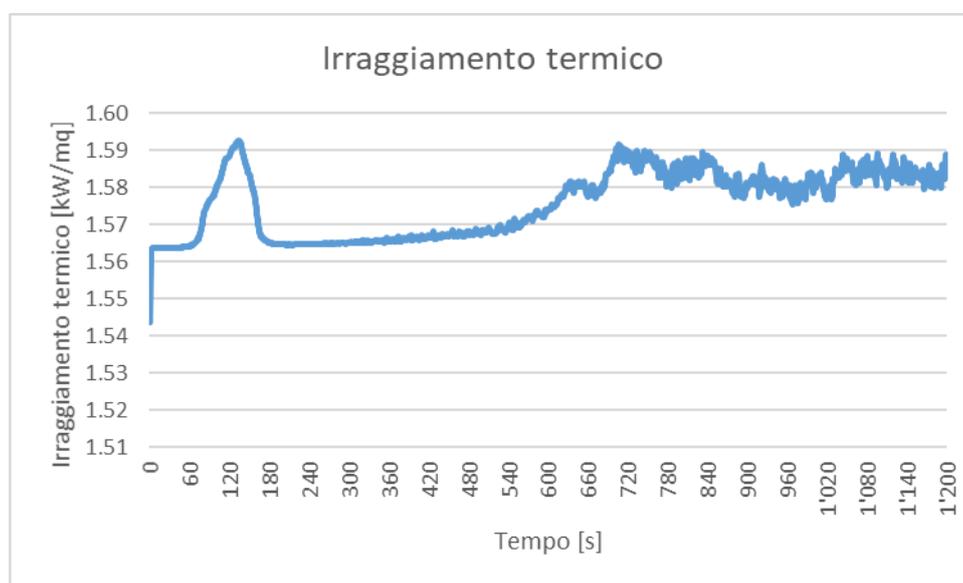
106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX





9.2.6 Irraggiamento termico

Il grafico successivo riporta le misurazioni rilevate dal sensore in prossimità del focolaio posto ad 1,8 m dal piano marciapiede.



Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche relative a irraggiamento.

Il piano rappresentativo è orizzontale alla quota Z=7 m.

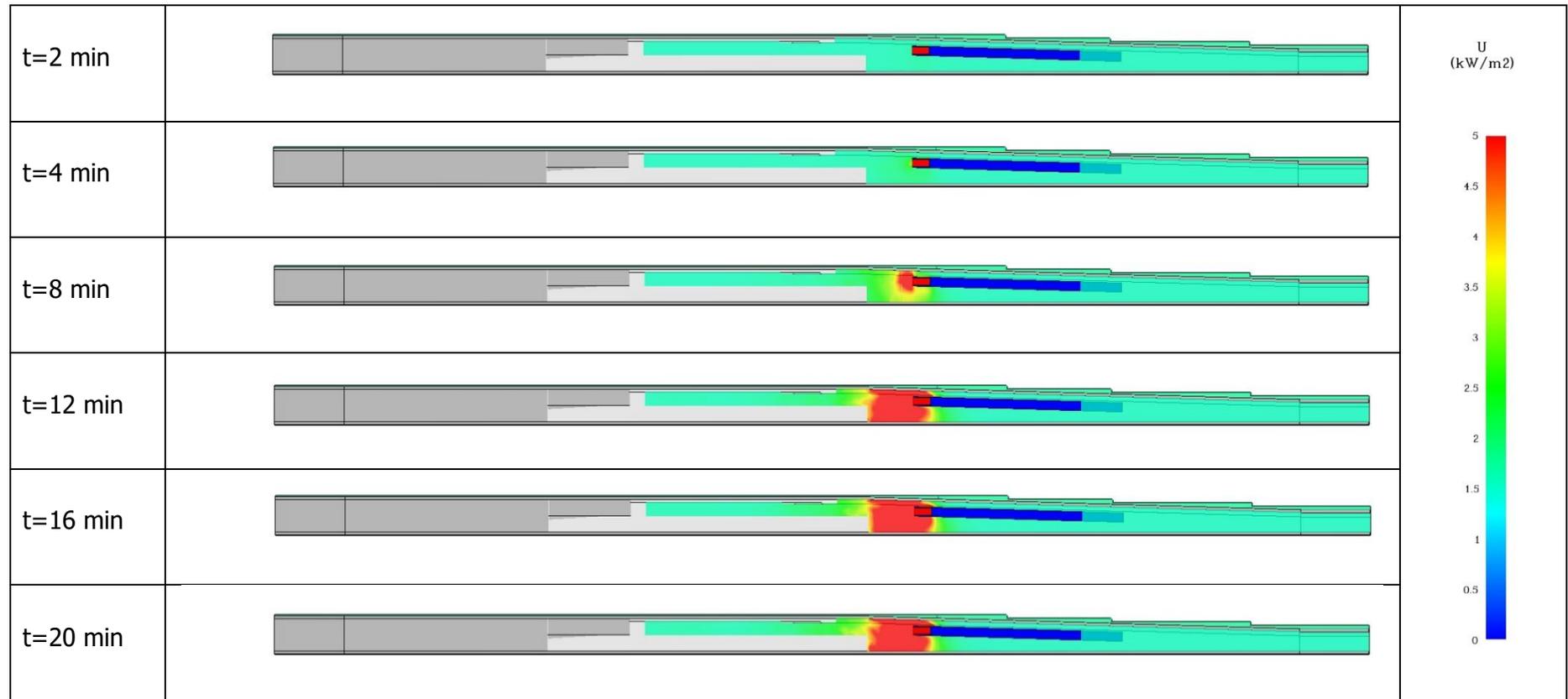


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

9.2.7 Livello medio FED

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche del livello medio FED.

Il piano rappresentativo è orizzontale alla quota $Z=7$ m.

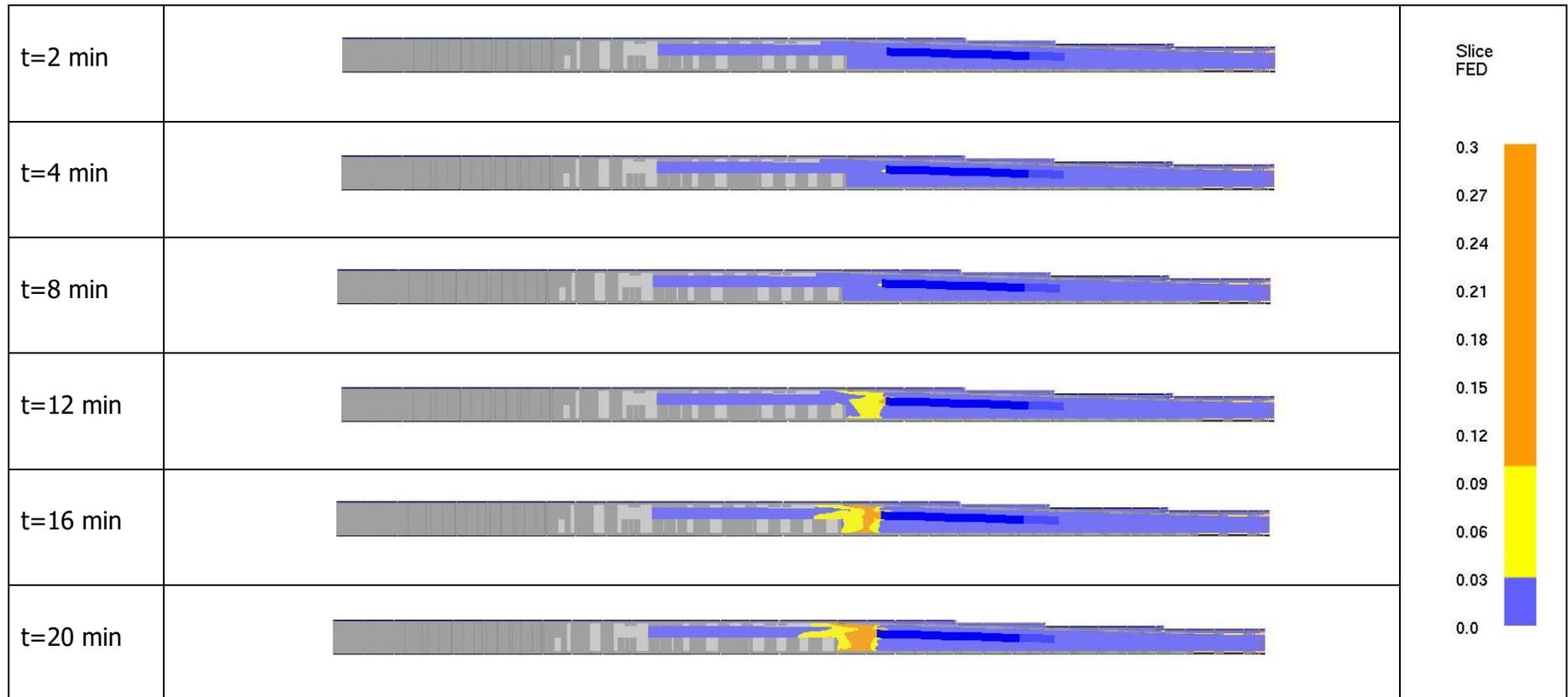


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX





CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

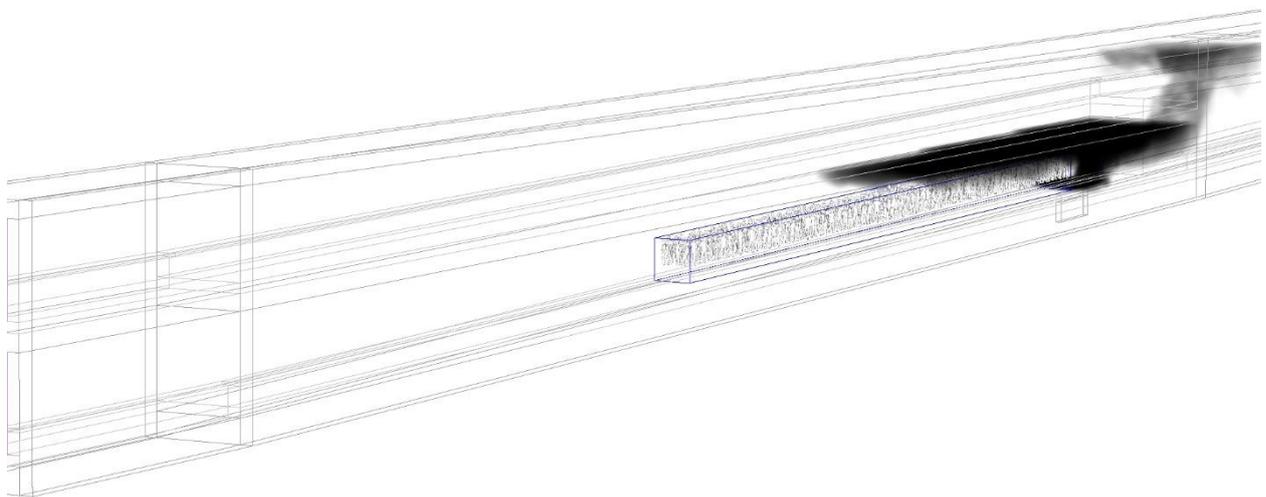
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

9.2.8 Esodo

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche di propagazione fumi associate ad esodo con vista prospettica.

Exited: 0/418



120.0

t = 2 minuti



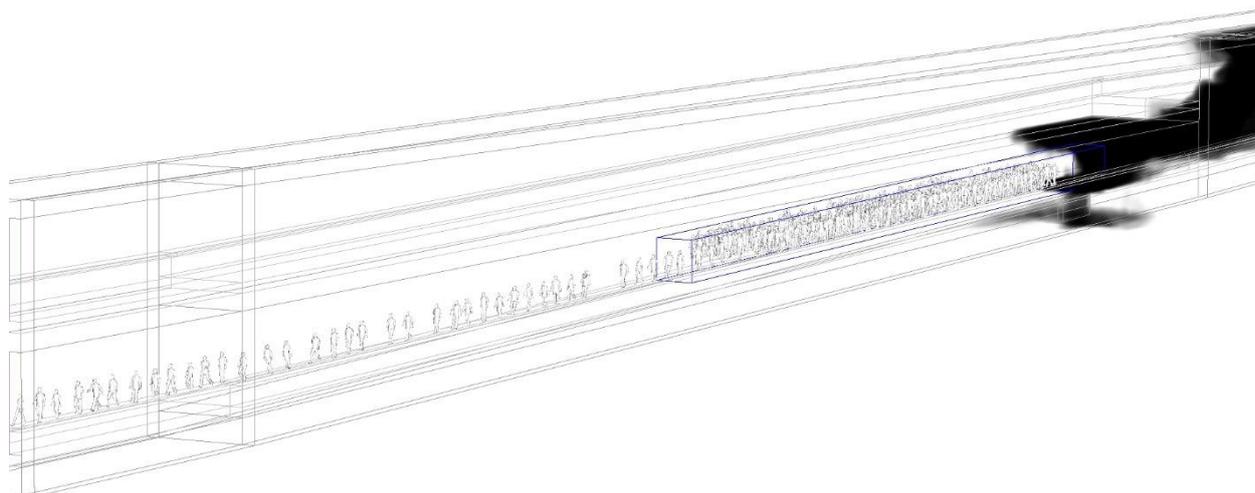
CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:
Politecnico – Rebaudengo

LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

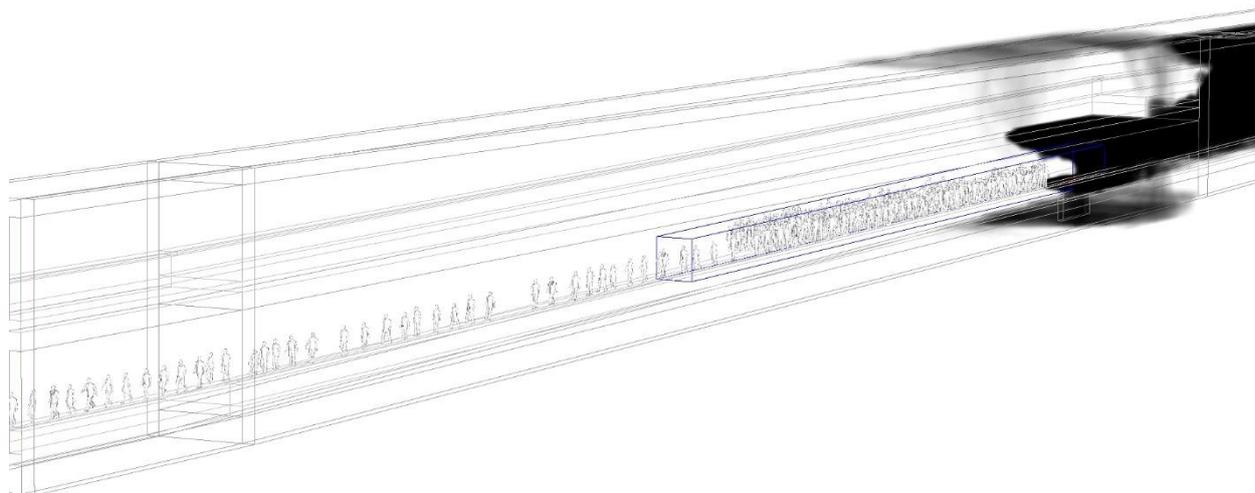
Exited: 33/418



240.0

t = 4 minuti

Exited: 112/418



360.0

t = 6 minuti



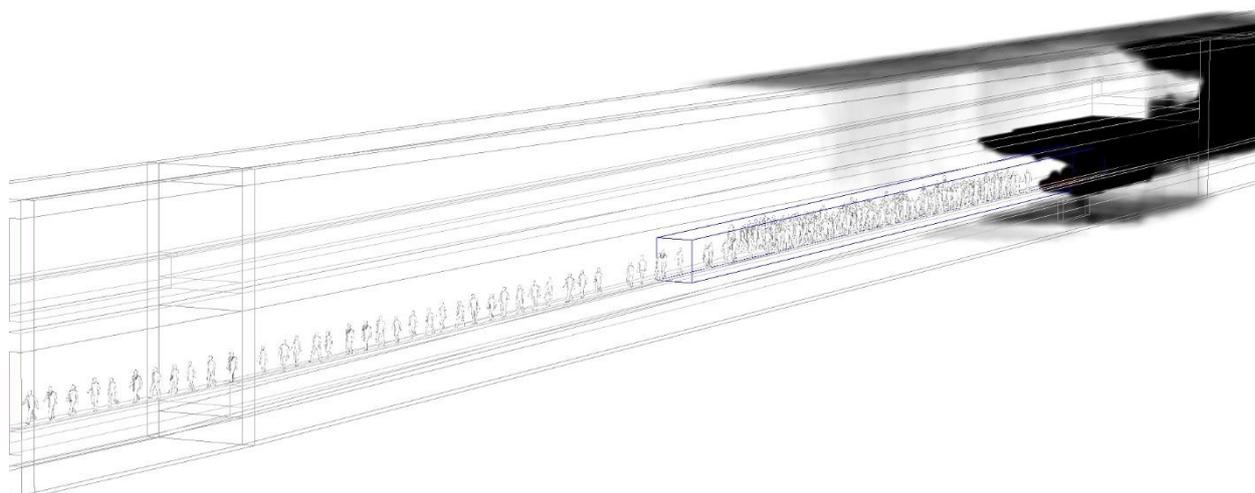
CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:
Politecnico – Rebaudengo

LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

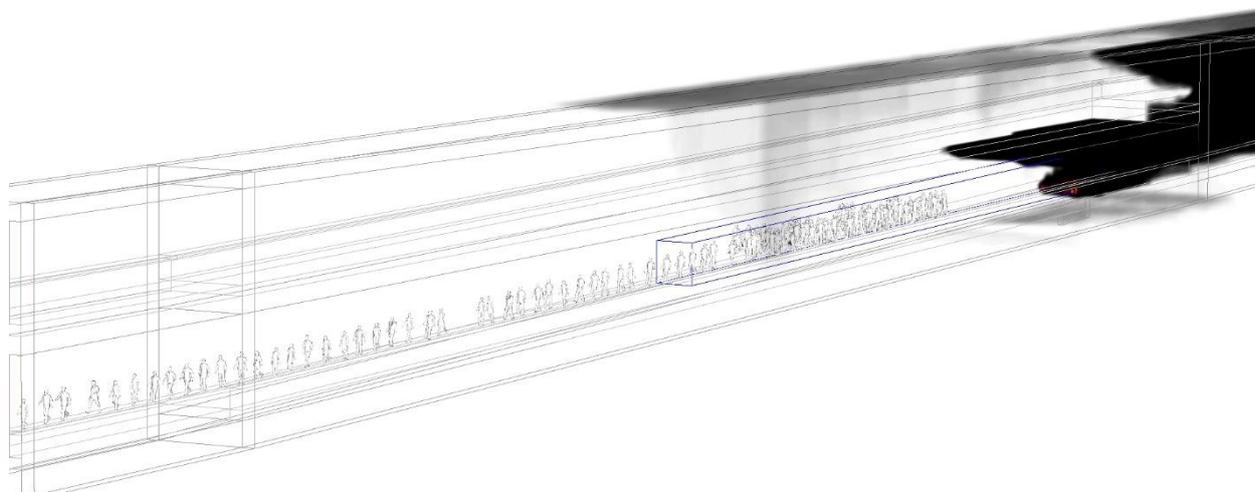
Exited: 189/418



480.0

t = 8 minuti

Exited: 270/418



600.0

t = 10 minuti



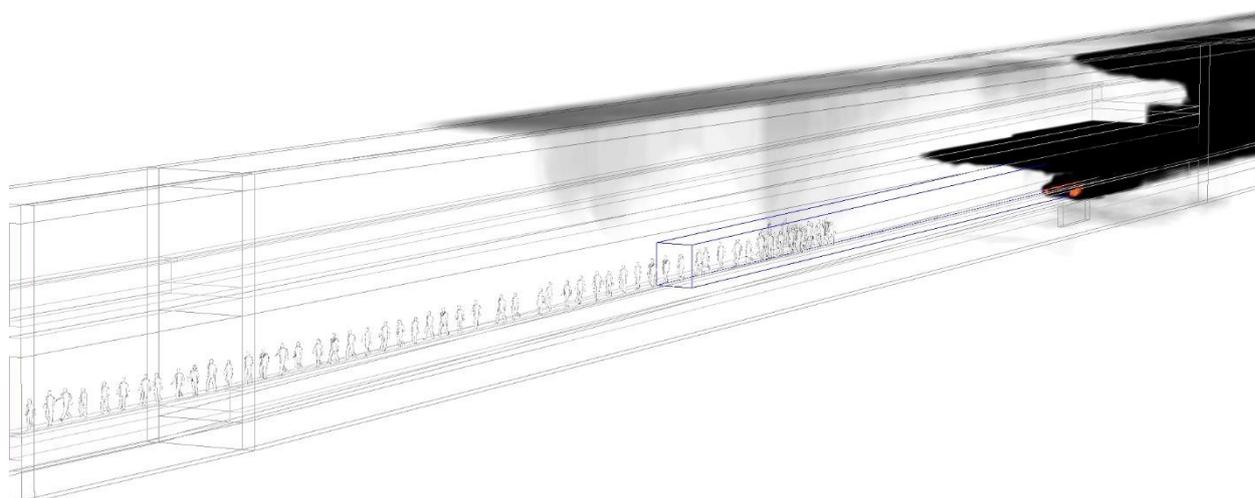
CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:
Politecnico – Rebaudengo

LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

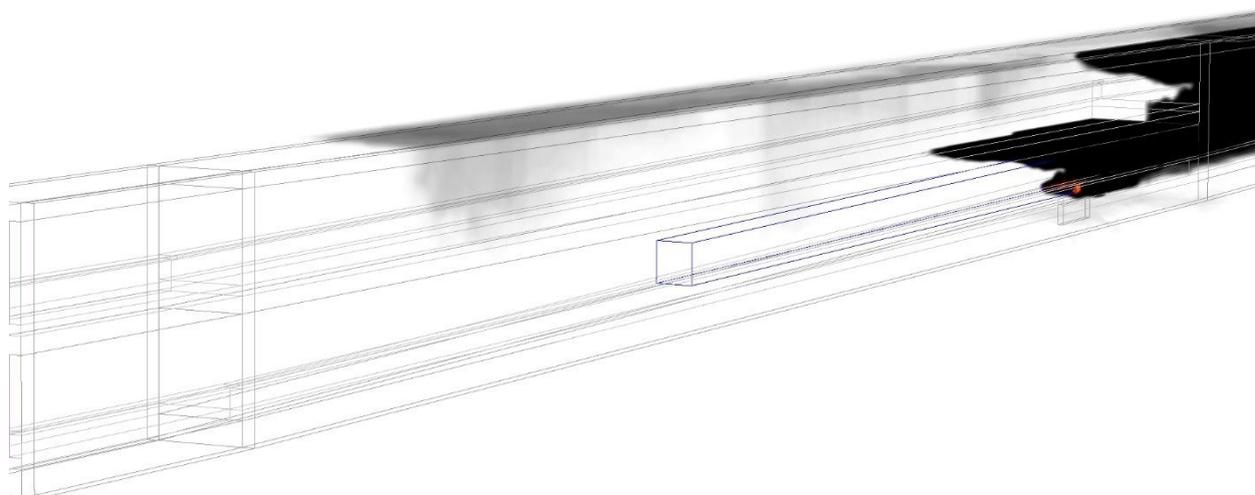
Exited: 350/418



720.0

t = 12 minuti

Exited: 418/418



840.0

t = 14 minuti

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

9.3 Calcolo ASET

Nella tabella successiva è riportata una sintesi dei risultati della simulazione effettuata.

Livello riferito a 1,8 m dal piano di calpestio	Tempo raggiungimento soglia	Note
Temperature 60°C	> 20 minuti	Le temperature sul marciapiede nel verso dell'esodo non raggiungono mai la soglia critica. La soglia critica è raggiunta solo a monte del focolaio a partire da circa 8 minuti.
Irraggiamento termico 2,5 kW/m ²	> 20 minuti	La soglia critica è raggiunta solo a monte del focolaio a partire da circa 8 minuti nei primi 7 m dal focolaio nella componente relativa alla fiamma. Per quanto attiene i fumi non è mai raggiunta.
Visibilità 15 m	> 20 minuti	La visibilità sul marciapiede nel verso dell'esodo è sempre maggiore di 15 m. La visibilità è ridotta solo a monte del focolaio a partire da circa 4 minuti.
FED 0,3	> 20 minuti	Il livello della FED è pari a 0 nel verso dell'esodo. A monte del focolaio la soglia critica è raggiunta solo in corrispondenza del focolaio dopo circa 15 minuti.

Tabella 16 – Calcolo ASET scenario 3

Il tempo disponibile per l'esodo ASET è maggiore di 20 minuti nel verso dell'esodo, eccetto nelle immediate vicinanze del focolaio.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

9.4 Calcolo RSET

Nel caso specifico il tempo di esodo lungo il marciapiede e fino a luogo sicuro (stazione Bologna) risulta pari a 824 secondi ovvero circa 15 minuti.

9.5 Conclusioni

Il tempo disponibile per l'esodo ASET, superiore ai 20 minuti, è maggiore del tempo necessario per raggiungere un luogo sicuro RSET, pari a circa 824 secondi ovvero circa 15 minuti.

Le analisi di scenario, ottemperanti le previsioni del DM 21/10/2015, restituiscono una condizione di conformità ed adeguatezza delle ipotesi progettuali in relazione alla richiesta verifica di salvabilità degli esposti in caso di incendio.

Lo scenario di incendio simulato in ottemperanza al Capo I, § 1.1.4 dell'Allegato del DM 21/10/2015, definisce condizioni di sviluppo e propagazione dell'incendio controllate dagli impianti meccanici di sicurezza (ventilazione meccanica strategia di tipo push - pull) le cui modalità di dimensionamento e funzionamento sono richiamate nella tabella seguente:

SCENARIO – Incendio treno fermo tra pozzo Bologna e stazione Cimarosa		
Impianto	Portata unitaria [m³/s]	Portata totale [m³/h]
estrazione pozzo Bologna	116	-
immissione binario superiore da pozzo Cimarosa	48,44	-
immissione binario inferiore da pozzo Cimarosa	44,19	-

La strategia ed il dimensionamento dell'impianto comporta il raggiungimento dell'obiettivo di sicurezza degli esposti durante la fase di esodo in emergenza, secondo il Timing indicato nella tabella seguente, che è stato adottato per tarare il modello CFD ai fini delle verifiche:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

TIME STEP [S]	EVENTO	RIFERIMENTI ED ASSUNTI
0	IL FUOCO SI ACCENDE	Il focolaio è posizionato nella parte inferiore in corrispondenza della testa del treno
120	IL FUOCO VIENE RILEVATO ATTIVAZIONE VENTILAZIONE INIZIO DELL'EVACUAZIONE	
180	LA VENTILAZIONE RAGGIUNGE LA PORTATA MASSIMA	
720	IL FUOCO ARRIVA ALLA POTENZA MASSIMA	La potenza è pari a 7 MW

Per lo scenario analizzato:

- le persone possano evacuare il convoglio usando la galleria come percorso di sfollamento fino alla stazione Cimarosa;
- la velocità dell'aria nella galleria risulta essere sufficiente a contrastare i fenomeni espansivi dei fumi dell'incendio;
- risultano rispettate le condizioni di sostenibilità nel verso di percorrenza dell'esodo.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

10. SCENARIO 4: TRENO FERMO NEL RETROSTAZIONE POLITECNICO

10.1 Modellazione incendio ed esodo

10.1.1 Geometria

Il modello tridimensionale costruito con il software FDS ha le caratteristiche riportate nella tabella seguente.

CODICE	FDS
CARDINALITÀ	3D
DIMENSIONI CELLA	0.2 x 0.2 x 0.2
PORZIONE DELLA GALLERIA SIMULATA	223 m
TEMPO DI SIMULAZIONE	1200 s

Tabella 17 - Modello tridimensionale

Al modello 3D, vengono accoppiate porzioni 1D per la modellazione di ulteriori tratti di galleria. Le successive figure mostrano le caratteristiche geometriche e dimensionali del modello formulato.



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

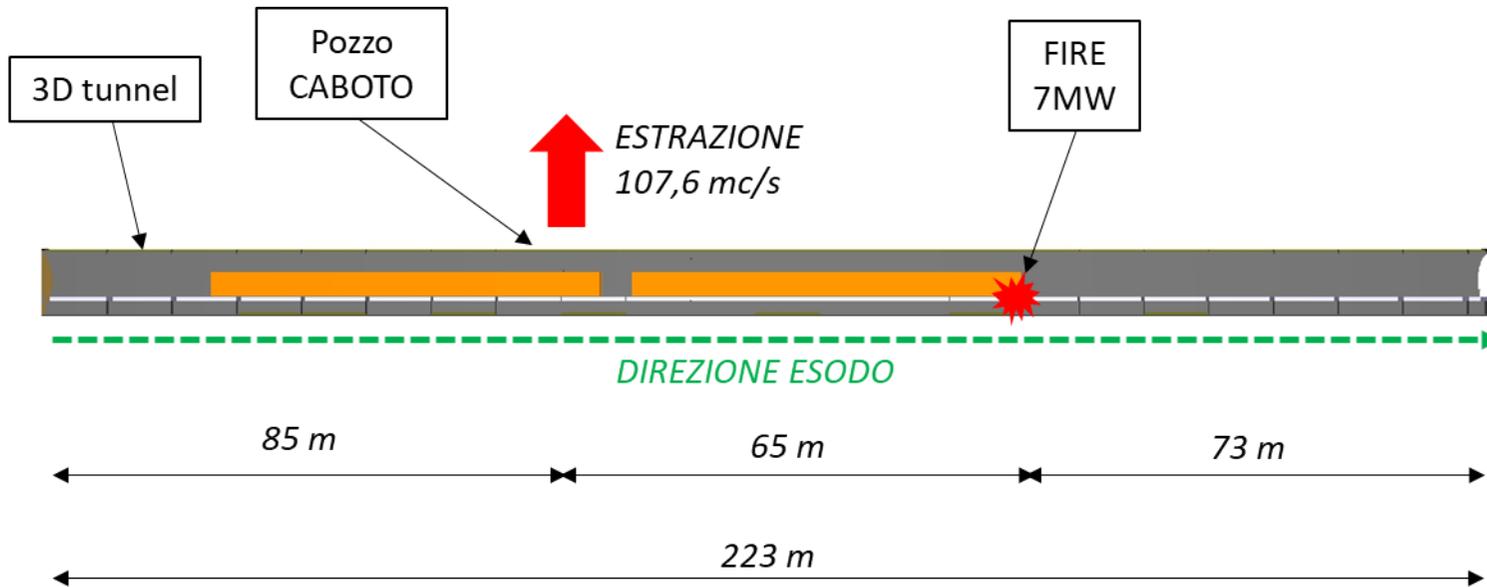


Figura 10 – Caratterizzazione del modello CFD



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

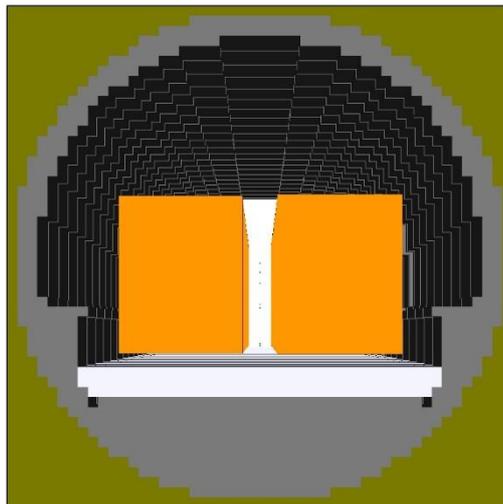
SEZIONE LONGITUDINALE



PIANTA



PROSPETTO LATERALE



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

10.1.2 Definizione dello scenario

Secondo il DM 21 ottobre 2015 “Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane”, Allegato I, Capo I.I.4, tra gli scenari d’incendio di riferimento più importanti viene elencato al secondo punto, **l’incendio a bordo di un treno fermo in galleria.**

10.1.3 Curva d’incendio

La curva di incendio del treno per le verifiche fluidodinamiche è ricavata in accordo con le indicazioni presenti nel DM 21 ottobre 2015 “Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane” e di seguito riportata in forma grafica.

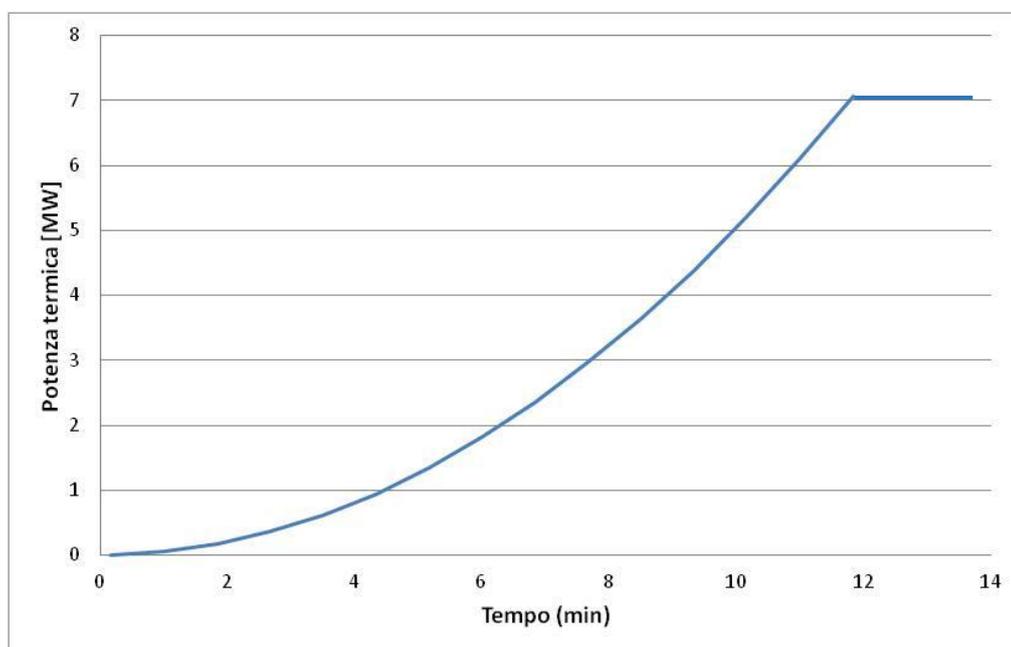


Figura 11 - Curva d’incendio DM 21.10.2015

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

Il decreto specifica che la **potenza d'incendio**, e quindi la curva naturale d'incendio, fa riferimento alle caratteristiche di combustibilità dei materiali che costituiscono i vagoni dei convogli. Nel caso in cui risulti una potenza termica inferiore ai 7000 kW viene comunque assunta una potenza di progetto pari a **7000 kW**.

Il valore di 7000 kW è riferito ad una potenza di picco. Essa, infatti, è espressa come funzione temporale quadratica con un coefficiente α pari a **0,014**, corrispondente al raggiungimento della potenza di 1000 kW in 270 secondi.

Fase di combustione dei gas

I parametri utilizzati per la reazione della fase di combustione dei gas sono di seguito sintetizzati.

SOOT_YIELD	frazione della massa di combustibile convertito in particolato di fumo	0.104
CO_YIELD	frazione della massa di combustibile convertito in monossido di carbonio	0.025
C	numero di atomi di carbonio presenti nella formula chimica del combustibile	6.3
H	numero di atomi di idrogeno presenti nella formula chimica del combustibile	7.1
N	numero di atomi di azoto presenti nella formula chimica del combustibile	1
HEAT_OF_COMBUSTION	quantità di energia rilasciata per unità di massa di combustibile consumato espressa in kJ/kg	24800

Tabella 18 – Parametri fase di combustione

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

Caratteristiche focolaio

GRANDEZZA	VALORE
AREA LASTRA	7 m ²
HRRPUA	1000 kW/m ²
ALTEZZA QUOTA	3.0 m

Tabella 19 – Grandezze focolaio di incendio

10.1.4 Impianto di ventilazione

In caso di incendio si assume la seguente procedura:

- il treno prende fuoco all'interno del fabbricato;
- inizia l'evacuazione delle persone (t=120 secondi);
- si attiva il sistema di ventilazione (t =180 secondi);
- il sistema di ventilazione raggiunge la portata di regime (t =210 secondi).

Nel caso specifico, mediante analisi SES, si è stabilita:

- una portata di estrazione dal pozzo Caboto pari a **107,6 m³/s**.

10.1.5 Condizioni al contorno

Definire le condizioni al contorno per le modellazioni termofluidodinamiche è di fondamentale importanza. Nel caso specifico si riportano le condizioni iniziali stabilite:

- Velocità dell'aria iniziale pari a v=0 m/s;
- Temperatura dell'aria iniziale pari a T=15 ° C;
- umidità al 50%;

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

- pendenza longitudinale galleria come da progetto mediante interpolazione della gravità.

10.1.6 Cronologia degli eventi

La caratterizzazione dell'impianto di ventilazione e delle strategie da adottare necessita la definizione di una sequenza di eventi da considerare nell'analisi dell'evoluzione degli scenari di emergenza nello scenario di riferimento analizzato.

Nella tabella seguente si riporta la sequenza dei principali eventi considerati nell'analisi dello scenario.

TIME STEP [S]	EVENTO	RIFERIMENTI ED ASSUNTI
0	IL FUOCO SI ACCENDE	
120	IL FUOCO VIENE RILEVATO INIZIO DELL'EVACUAZIONE	
180	ATTIVAZIONE VENTILAZIONE	
210	LA VENTILAZIONE RAGGIUNGE LA PORTATA MASSIMA	
720	IL FUOCO ARRIVA ALLA POTENZA MASSIMA	La potenza è pari a 7 MW

Tabella 20 – Timing incendio

10.1.7 Esodo

Il numero di persone presenti all'interno del fabbricato è ipotizzato pari a n.3 persone, localizzate rispettivamente agli estremi ed al centro del retrostazione.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

Nel caso specifico il tempo di esodo fino a luogo sicuro (stazione Politecnico) della persona più lontana risulta pari a 320 secondi.

10.2 RISULTATI

Si riporta una sintesi dei risultati della simulazione attraverso immagini che mostrano i risultati grafici più significativi della simulazione fluidodinamica in termini di irraggiamento, temperature, visibilità e concentrazioni di monossido di carbonio.

Le unità di misura assunte per le grandezze sono le seguenti:

- spazio [m]
- tempo [s]
- velocità dell'aria [m/s]
- temperatura [°C]
- visibilità [m]
- irraggiamento termico [kW/m²]
- concentrazione di monossido di carbonio [mol/mol]
- livello medio FED [%]

Il D.M. 21/10/2015 definisce le condizioni di sostenibilità per la vita umana che devono essere rispettate in situazioni di emergenza.

Tutte le condizioni di sostenibilità imposte dal Decreto risultano rispettate.

10.2.1 Propagazione dei fumi

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche relative alla propagazione dei fumi.

Il piano rappresentativo è verticale in asse retrostazione.



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

t=2 min	
t=4 min	
t=8 min	
t=12 min	
t=16 min	
t=20 min	

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

10.2.2 Velocità dell'aria

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche di velocità dell'aria.

Il piano rappresentativo è verticale in asse retrostazione.

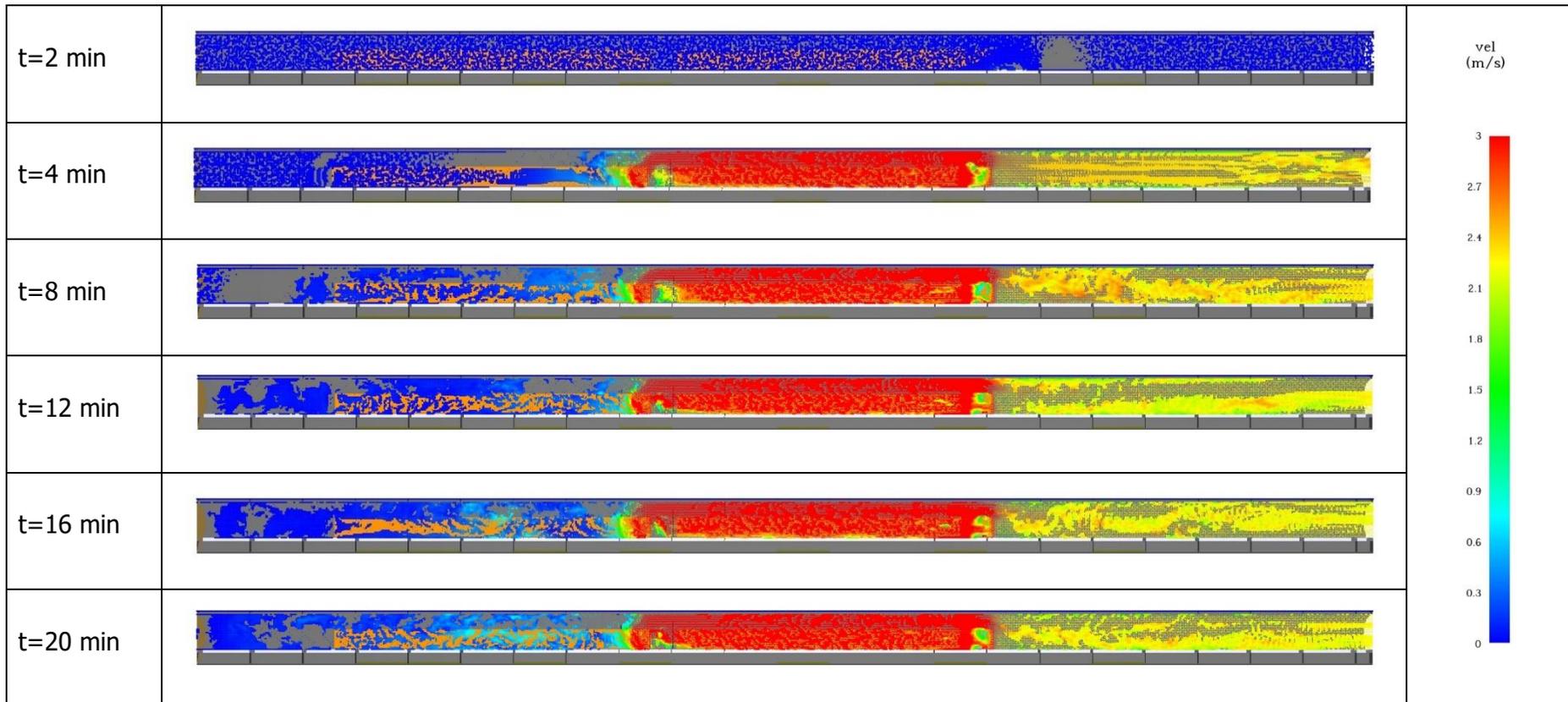


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

10.2.3 Temperatura

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche relative all'andamento della temperatura.

Il piano rappresentativo è orizzontale ad 1,8 m di altezza rispetto il piano di calpestio.

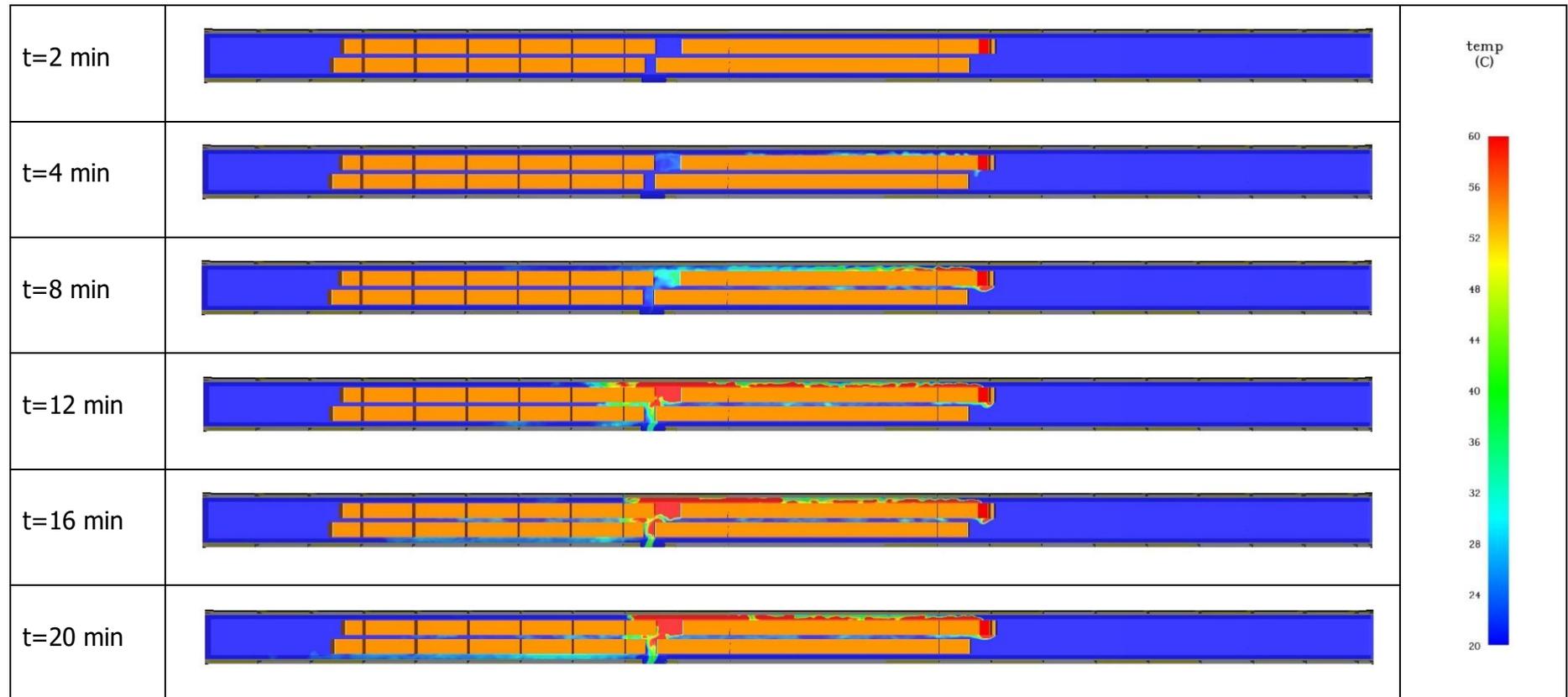


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

10.2.4 Visibilità

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche di visibilità.

Il piano rappresentativo è orizzontale ad 1,8 m di altezza rispetto il piano di calpestio.

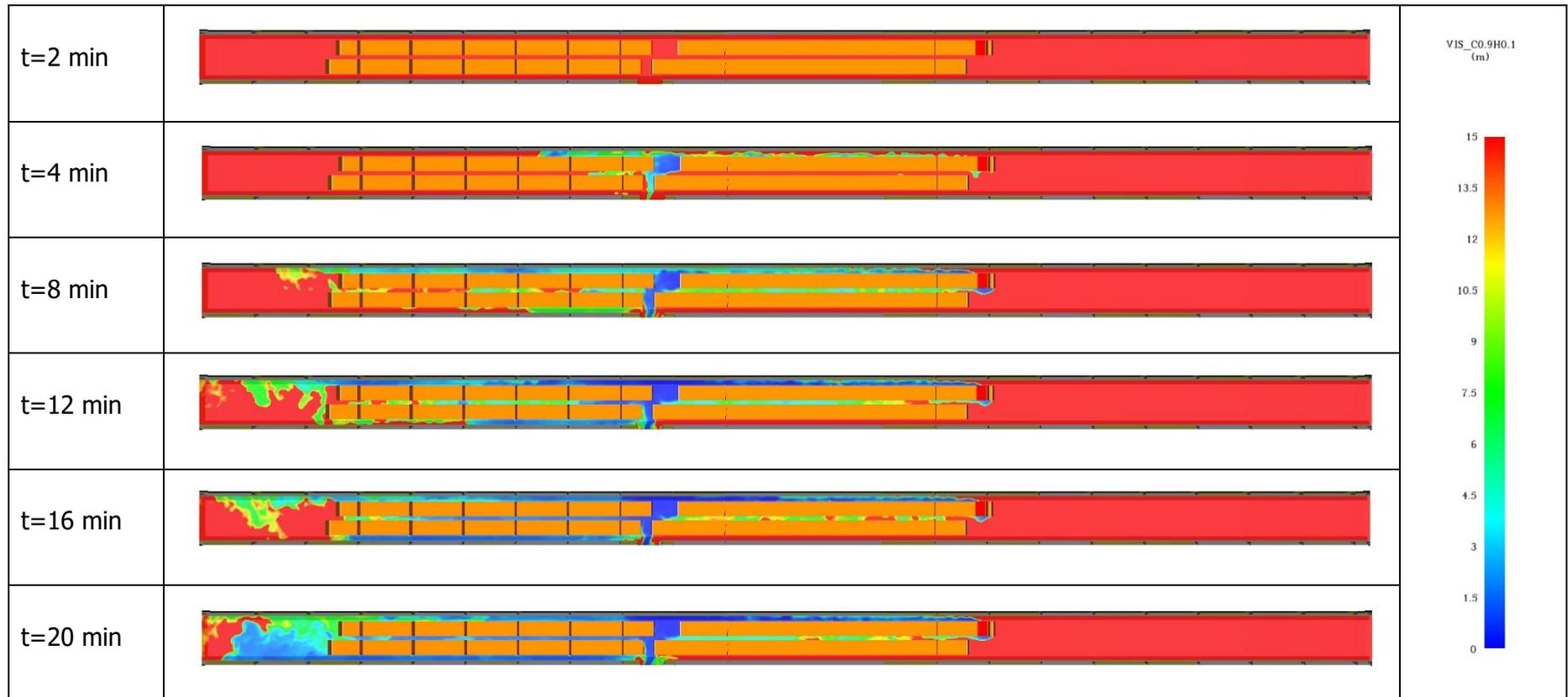


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

10.2.5 Monossido di Carbonio

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche relative all'andamento della concentrazione di monossido di carbonio (CO).

Il piano rappresentativo è orizzontale ad 1,8 m di altezza rispetto il piano di calpestio.

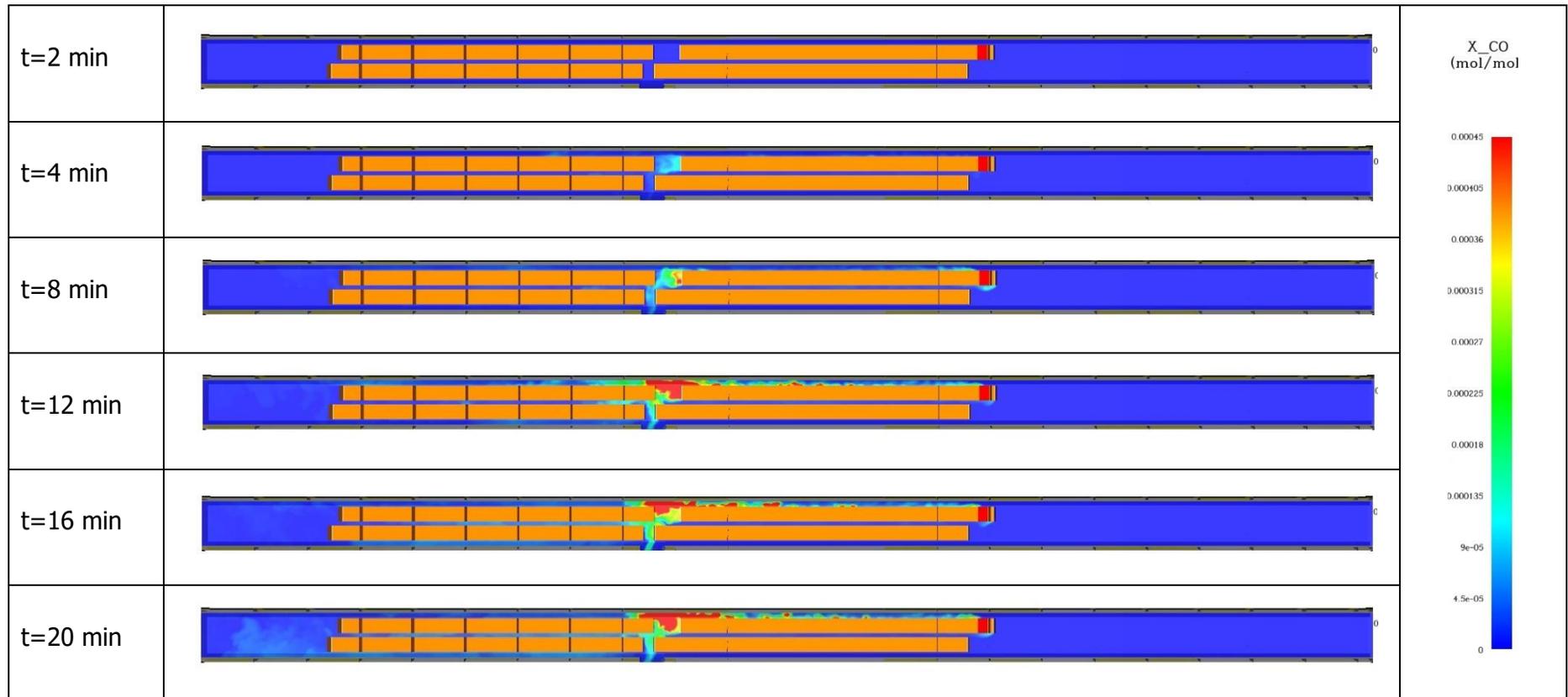


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

10.2.6 Irraggiamento termico

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche relative a irraggiamento.

Il piano rappresentativo è orizzontale ad 1,8 m di altezza rispetto il piano di calpestio.

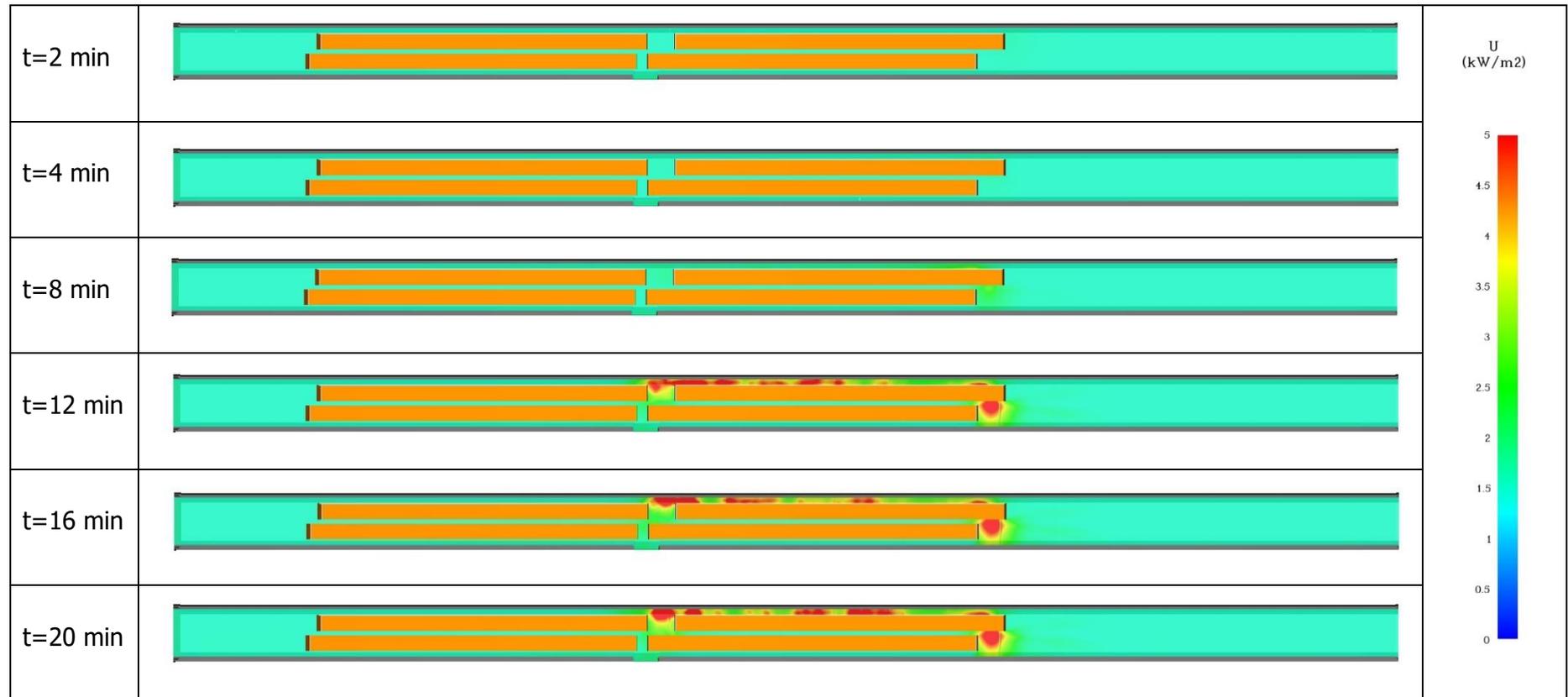


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

10.2.7 Livello medio FED

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche del livello medio FED.

Il piano rappresentativo è orizzontale ad 1,8 m di altezza rispetto il piano di calpestio.

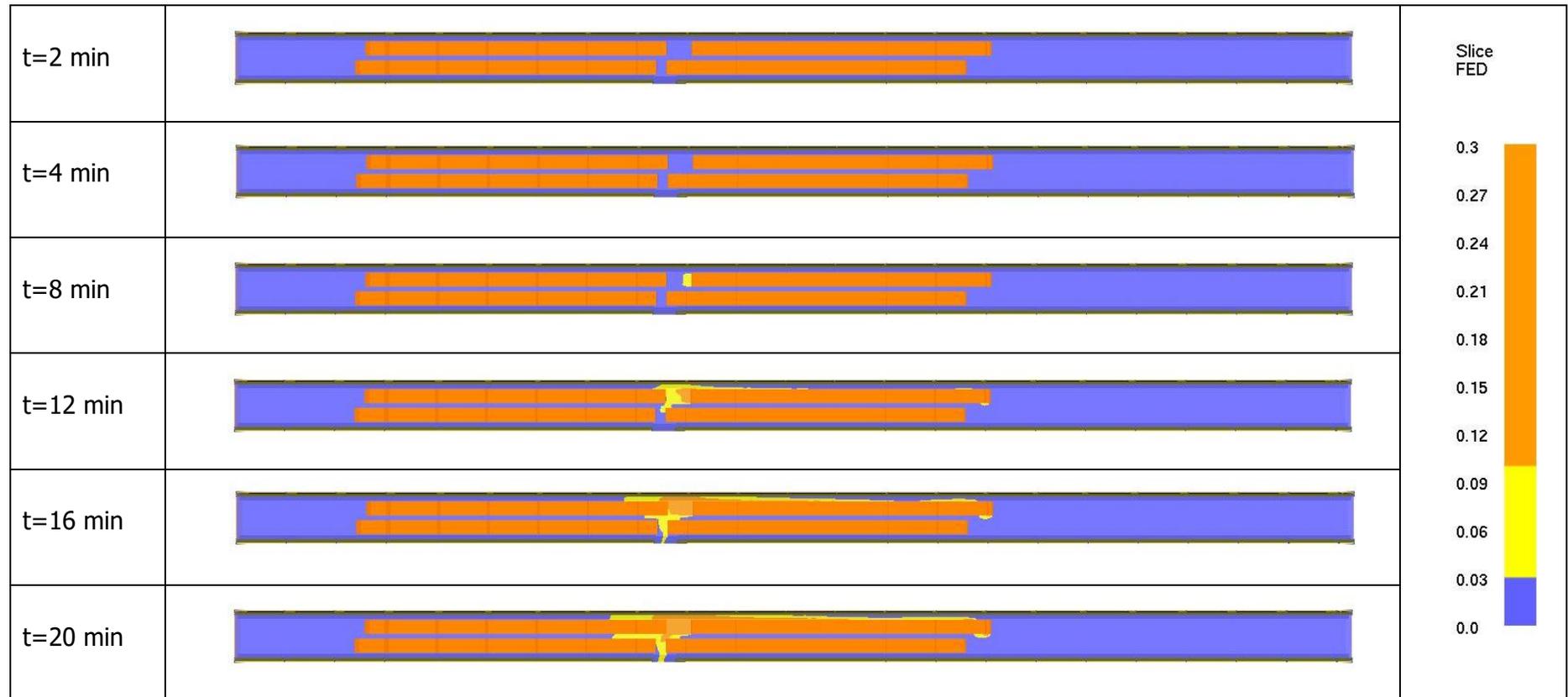


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta
funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo

LINEA-MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

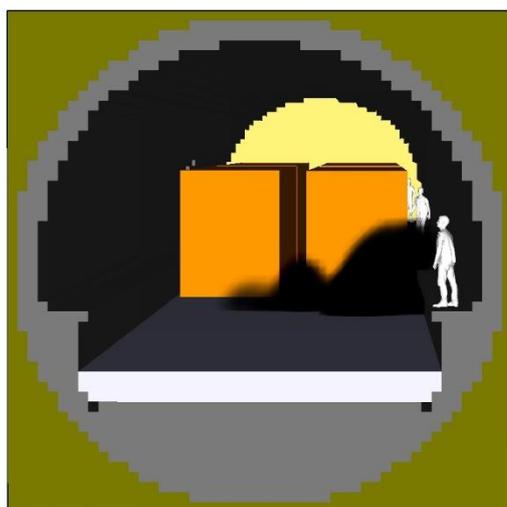
106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX





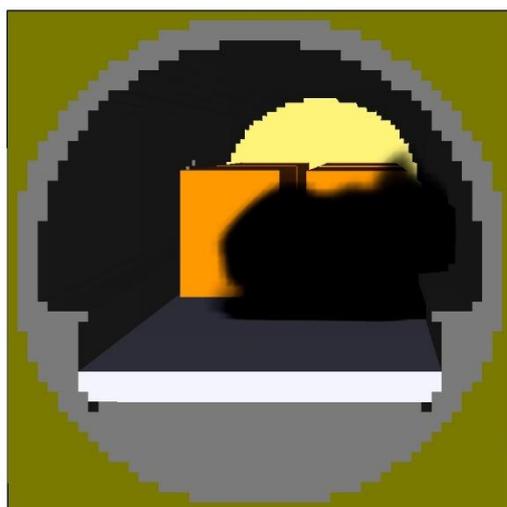
10.2.8 Esodo

Le successive immagini riportano le illustrazioni grafiche di propagazione fumi associate ad esodo con vista prospettica.



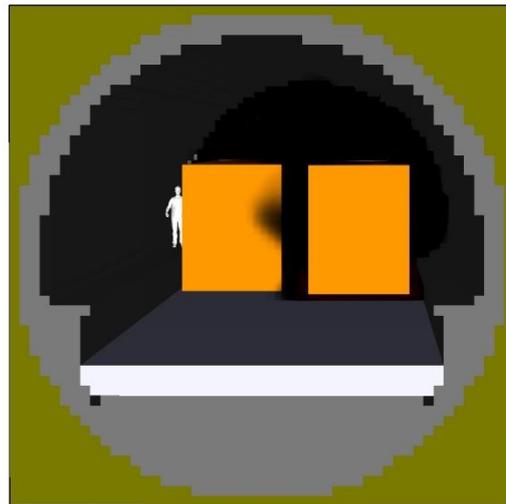
120.0

t = 2 minuti



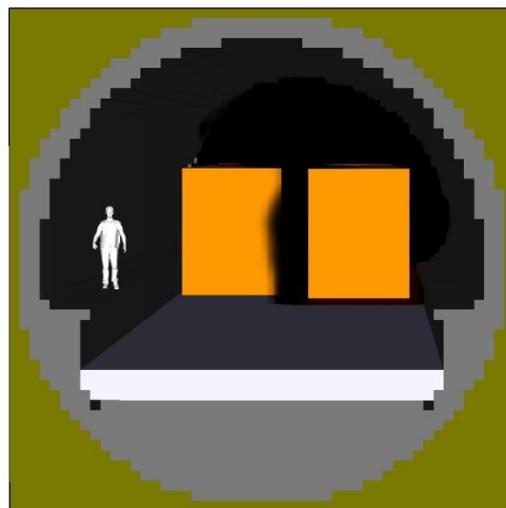
180.0

t = 3 minuti



240.0

t = 4 minuti



300.0

t = 5 minuti

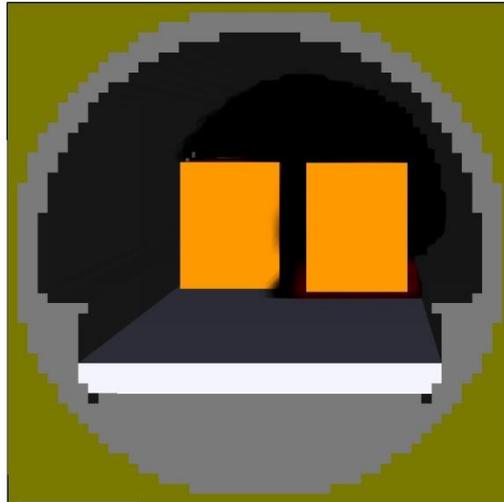


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:
Politecnico – Rebaudengo

LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO -
RELAZIONE COMPLETA

106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX



360.0

t = 6 minuti

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

10.3 Calcolo ASET

Nella tabella successiva è riportata una sintesi dei risultati della simulazione effettuata.

Livello riferito a 1,8 m dal piano di calpestio	Tempo raggiungimento soglia	Note
Temperature 60°C	> 8 minuti	La soglia critica è raggiunta a partire da circa 8 minuti inizialmente solo corrispondenza del focolaio.
Irraggiamento termico 2,5 kW/m ²	> 8 minuti	La soglia critica è raggiunta solo a monte del focolaio a partire da circa 8 minuti nei primi 7 m dal focolaio nella componente relativa alla fiamma. Per quanto attiene i fumi non è mai raggiunta.
Visibilità 15 m	< 8 minuti	La visibilità è ridotta in corrispondenza del focolaio a partire da circa 4 minuti lato focolaio e 8 minuti lato opposto.
FED 0,3	> 12 minuti	La soglia critica è raggiunta dopo circa 12 minuti.

Tabella 21 – Calcolo ASET scenario 4

Il tempo disponibile per l'esodo ASET è di circa 4 minuti nelle immediate vicinanze del focolaio e di circa 8 minuti per il resto del dominio.

Per quanto attiene l'eventuale personale presente verso la fine della galleria può anche raggiungere l'uscita passando sul binario opposto rispetto al binario in cui è presente il treno incendiato, dove troverà condizioni di visibilità migliori rispetto al lato dell'incendio.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

10.4 Calcolo RSET

Nel caso specifico il tempo di esodo fino a luogo sicuro (stazione Politecnico) della persona più lontana risulta pari a 322 secondi.

10.5 Conclusioni

Il tempo disponibile per l'esodo ASET, dell'ordine di 8 minuti, è superiore al tempo necessario per raggiungere un luogo sicuro RSET, pari a circa 322 secondi ovvero 5' e 22"

Le analisi di scenario, ottemperanti le previsioni del DM 21/10/2015, restituiscono una condizione di conformità ed adeguatezza delle ipotesi progettuali in relazione alla richiesta verifica di salvabilità degli esposti in caso di incendio.

Lo scenario di incendio simulato in ottemperanza al Capo I, § 1.1.4 dell'Allegato del DM 21/10/2015, definisce condizioni di sviluppo e propagazione dell'incendio controllate dagli impianti meccanici di sicurezza (ventilazione meccanica) le cui modalità di dimensionamento e funzionamento sono richiamate nella tabella seguente:

SCENARIO – Incendio treno fermo tra pozzo Bologna e stazione Cimarosa		
Impianto	Portata unitaria [m³/s]	Portata totale [m³/h]
estrazione pozzo Caboto	107,6	-

La strategia ed il dimensionamento dell'impianto comporta il raggiungimento dell'obiettivo di sicurezza degli esposti durante la fase di esodo in emergenza, secondo il Timing indicato nella tabella seguente, che è stato adottato per tarare il modello CFD ai fini delle verifiche:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

TIME STEP [S]	EVENTO	RIFERIMENTI ED ASSUNTI
0	IL FUOCO SI ACCENDE	
120	IL FUOCO VIENE RILEVATO INIZIO DELL'EVACUAZIONE	
180	ATTIVAZIONE VENTILAZIONE	
210	LA VENTILAZIONE RAGGIUNGE LA PORTATA MASSIMA	
720	IL FUOCO ARRIVA ALLA POTENZA MASSIMA	La potenza è pari a 7 MW

Per lo scenario analizzato:

- le persone possano evacuare il retrostazione usando il marciapiede di galleria come percorso di sfollamento fino alla stazione Politecnico;
- il pozzo Caboto consente il raggiungimento delle condizioni critiche per il tempo necessario all'esodo;
- risultano rispettate le condizioni di sostenibilità durante l'esodo.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

11. CONCLUSIONI

Il presente documento riporta i risultati degli approfondimenti mediante modelli tridimensionali per gli scenari di incendio in linea individuati dal DM 21/10/2015 come scenario 2.

Nel corso dello studio sono stati analizzati tratti tipologici e singolari della linea mediante simulazioni di incendio tridimensionali accoppiate a modelli di esodo al fine di supportare il dimensionamento dell'impianto di ventilazione effettuato con modelli monodimensionali.

Gli obiettivi di sicurezza possono essere così sintetizzati rispetto a quanto previsto dalla norma:

- In caso di incendio a bordo di un convoglio che perde mobilità all'interno di una galleria (riferimento allo scenario di incendio 2), assicurare che le persone possano evacuare il convoglio usando la galleria come percorso di sfollamento fino alla stazione più vicina o ad una uscita di sicurezza. La velocità dell'aria nella galleria dovrà essere sufficiente a contrastare i fenomeni espansivi dei fumi dell'incendio in senso contrario a quello dell'aria fresca immessa in galleria (backlayering) e comunque non potrà essere inferiore a 1,5 m/s; in ogni caso non si deve verificare, in galleria, lo stato critico per la sicurezza umana per tutto il tempo necessario al raggiungimento delle uscite di sicurezza [...];
- La combinazione delle logiche di attuazione degli impianti di ventilazione, intendendo sia quelli di aspirazione che di immissione, con le procedure di emergenza, deve far sì che i fumi seguano percorsi opposti a quelli dell'esodo delle persone considerando la possibilità di avviare la ventilazione meccanica in modo graduale e differenziato in funzione della posizione del treno rispetto alle uscite di emergenza e del focolaio all'interno del treno medesimo.
- Gli impianti di ventilazione di emergenza dovranno essere progettati secondo i metodi della tecnica aeraulica e l'efficacia globale degli impianti nel raggiungimento degli obiettivi di cui al capo I.1, sarà verificata tramite analisi fluidodinamiche.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

Le verifiche sono state mirate principalmente alla conferma che il processo di esodo non fosse compromesso dal moto dei fumi ovvero che i valori delle soglie di prestazione non siano superati nella fase di autosavattaggio degli utenti.

La successiva tabella riporta in sintesi i risultati relativi ai diversi scenari analizzati:

1. tratto tipologico della linea,
2. retrostazione Bologna - pozzo Novara,
3. tratto tra stazione Bologna e stazione Cimarosa con sdoppiamento delle gallerie,
4. retrostazione Politecnico.

Scenario	Caratteristiche	Ventilazione	Esodo
1	Galleria a doppio binario tipologica	I fumi sono correttamente indirizzati nella direzione opposta all'esodo e non si verificano fenomeni di backlayering significativi.	I tempi di esodo sono dell'ordine dei 20 minuti in condizioni di sostenibilità della vita umana. ASET > 20 min RSET: 18' 30"
2	Manufatto con tre binari di cui uno di ricovero	I fumi sono correttamente indirizzati nella direzione opposta all'esodo e non si verificano fenomeni di backlayering significativi; il pozzo Novara, potenziato rispetto al resto della tratta risulta sufficiente alla gestione dell'evento.	I tempi di esodo sono dell'ordine dei 10 minuti in condizioni di sostenibilità della vita umana anche grazie ad una maggiore larghezza della banchina rispetto al resto della linea. ASET > 20 min RSET: 9' 48"
3	Sdoppiamento della linea per giungere ai binari sovrapposti della stazione Cimarosa	I fumi sono correttamente indirizzati nella direzione opposta all'esodo e non si verificano fenomeni di backlayering significativi. La presenza dei binari sovrapposti determina una prestazione inferiore della ventilazione ma comunque sufficiente garantire l'esodo.	I tempi di esodo sono dell'ordine dei 13 minuti in condizioni di sostenibilità della vita umana. ASET > 20 min RSET: 14' 24"
4	Retrostazione	Il pozzo Caboto attivato da solo consente il	Si prevede l'esodo del solo personale di servizio, quindi

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
LINEA - MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO - RELAZIONE COMPLETA	106_MTL2T1A0DVVFGENR018-0-1.DOCX

	Politecnico	mantenimento di condizioni non critiche per la vita umana per il tempo di esodo, esso inoltre impedisce ai fumi di raggiungere la stazione Politecnico.	poche unità, i tempi di esodo sono dell'ordine di 5 minuti. ASET:8 min RSET: 5' 20"
--	-------------	---	---

Per quanto sopra esposto, considerato che la gestione degli scenari di incendio in linea avviene con soluzioni conformi al DM 21/10/2015, il dimensionamento degli impianti di ventilazione di linea consente il soddisfacimento degli obiettivi di sicurezza prestazionali fissati dalla norma.

In caso l'incendio si sviluppasse al centro del treno gli utenti potranno passare all'interno delle carrozze in quanto non esistono separazioni tra i treni.