

**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 STAZIONE TIPOLOGICA S4L MODELLAZIONE INCENDIO ED ESODO RELAZIONE DI SINTESI – PREMESSA E RISULTATI													
		ELABORATO									REV.		SCALA	DATA	
		Int.	Est.										-	31/03/2022	
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		MT	L2	T1	A0	D	VVF	GEN	R	013	0	1	-	31/03/2022	

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 45


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

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 0</td> <td>CARTELLA</td> <td>19.2</td> <td>101</td> <td>MTL2T1A0D</td> <td>VVFGENR013</td> </tr> </table>						LOTTO 0	CARTELLA	19.2	101	MTL2T1A0D	VVFGENR013	STAZIONE APPALTANTE DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozziro						
LOTTO 0	CARTELLA	19.2	101	MTL2T1A0D	VVFGENR013													

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

SOMMARIO

1.	PREMESSA	4
2.	DEFINIZIONE DEGLI SCENARI	8
2.1	ASSUNZIONI	8
2.1.1	INCENDIO A BORDO DI UN TRENO IN STAZIONE (SCENARIO 1)	8
2.1.2	STRATEGIA DI VENTILAZIONE (SCENARIO 1)	10
2.1.3	MODELLAZIONE ESODO (SCENARIO 1)	12
2.1.4	INCENDIO DISTRIBUTORI AUTOMATICI IN ATRIO (SCENARIO 3)	13
2.1.5	STRATEGIA DI VENTILAZIONE (SCENARIO 3)	14
2.1.6	MODELLAZIONE ESODO (SCENARIO 3)	16
3.	TIPOLOGICO S4L – POLITECNICO	16
3.1	CALCOLO AFFOLLAMENTO	17
3.2	CALCOLO PERCORSI DI SFOLLAMENTO	18
3.3	PERCORSO BANCHINA – MEZZANINO 2	19
3.4	PERCORSO DA MEZZANINO 2 – ATRIO	20
3.5	PERCORSO DA ATRIO – PIANO STRADA	20
3.6	TEMPO DI ESODO SCENARIO 1 (N-1 SCALE MOBILI FISSE PER LA VERIFICA DELL'ESODO)	20
3.7	TEMPO DI ESODO SCENARIO 3	21
3.8	RISULTATI	22
3.8.1	OUTPUT SCENARIO (SCENARIO 1 – S4L)	23
3.8.2	<i>PROPAGAZIONE FUMI</i>	23
3.8.3	<i>TEMPERATURE</i>	24
3.8.3.1	VISIBILITÀ	25
3.8.3.2	VELOCITÀ	26
3.8.3.3	CONCENTRAZIONE CO	27
3.8.3.4	LIVELLO MEDIO FED	28
3.8.3.5	ESODO vs PROPAGAZIONE FUMI	29
3.8.3.6	ESODO vs VISIBILITÀ	31
3.8.3.7	Output scenario (SCENARIO 3 – S4L)	32
3.8.3.8	PROPAGAZIONE FUMI	32
3.8.3.9	TEMPERATURE	33
3.8.3.10	VISIBILITÀ	34
3.8.3.11	VELOCITÀ	35
3.8.3.12	CONCENTRAZIONE CO	36

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX


3.8.3.13	LIVELLO MEDIO FED	37
3.8.3.14	ESODO vs PROPAGAZIONE FUMI	39
3.8.3.15	ESODO vs VISIBILITÀ	40
3.9	COMMENTO AI RISULTATI (TIPOLOGICO S4L)	41

INDICE TABELLE

Tabella 1 – Sinottico delle verifiche effettuate sui tipologici delle stazioni	5
Tabella 2 - Timing incendio a bordo treno	10
Tabella 3 - Timing incendio in atrio	14
Tabella 4 – Quantificazione dell'affollamento Scenario 1 in funzione dei criteri del DM 21.10.2015	17
Tabella 5 – Quantificazione dell'affollamento Scenario 3 in funzione dei criteri del DM 21.10.2015	18

INDICE FIGURE

Figura 1 - Curva d'incendio DM 21.10.2015	9
Figura 2 - Timing attivazione ventilazione Impianti e Sistemi (SCENARIO 1)	12
Figura 3 – Curva di incendio distributore automatico	13
Figura 4 – Timing Attivazione ventilazione Impianti e Sistemi (SCENARIO 3)	15

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX


1. PREMESSA

Il documento in oggetto costituisce la sintesi della verifica degli scenari di emergenza di cui al DM. 21/10/2015: modellazione incendio ed esodo quale verifica a supporto alla progettazione interna della Metropolitana Automatica di Torino – Linea 2, con riferimento agli studi riguardanti la modellazione CFD (Computational Fluid Dynamics) e la simulazione di esodo delle differenti tipologie delle opere della tratta Rebaudengo-Politecnico. I risultati estesi e completi di tali valutazioni sono disponibili negli allegati che dettagliano le ipotesi, gli obiettivi e le condizioni di verifica dell'opera.

L'approccio di calcolo utilizzato è in conformità al DM 21/10/2015, 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.

Si ritiene, pertanto, già assolta dal DM 21/10/2015 la prima fase definita al paragrafo 2 dell'allegato A al DM 9/5/2022 comma 1 (*L'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio*) è caratterizzato da una prima fase in cui sono formalizzati i passaggi che conducono ad individuare le condizioni più rappresentative del rischio al quale l'attività è esposta e quali sono i livelli di prestazione cui riferirsi in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire. Al termine della prima fase deve essere redatto un sommario tecnico, firmato congiuntamente dal progettista e dal titolare dell'attività, ove è sintetizzato il processo seguito per individuare gli scenari di incendio di progetto ed i livelli di prestazione) che non necessita, per le soluzioni conformi, della ridefinizione degli scenari di incendio di progetto.


L'analisi degli scenari di emergenza presi a riferimento, condotta in conformità e ottemperanza alle prescrizioni del Decreto, è sintetizzata nella Tabella 1 dove sono stati indicati gli scenari di riferimento adottati per le verifiche dei tipologici rappresentativi delle stazioni realizzande sulla linea:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

TIPOLOGICO	STAZIONE	SCENARIO DI RIFERIMENTO: INCENDIO TRENO FERMO IN STAZIONE	SCENARIO DI RIFERIMENTO: INCENDIO DISTRIBUTORI AUTOMATICI IN STAZIONE	SCENARIO DI RIFERIMENTO: INCENDIO LOCALE TECNICO
S1L	CORELLI SAN GIOVANNI BOSCO GIULIO CESARE	X	X	
S2L	REBAUDENGO BOLOGNA	X	X	
S2L BANCHINE SOVRAPPOSTE	CIMAROSA-TABACCHI	X	X	
S4G	NOVARA, PASTRENGO MOLE/GIARDINI	X	X	
S3L	VERONA	X	X	
S4L	POLITECNICO	X	X	
S4L SPECIALI	CARLO ALBERTO	X	X	
S4L SPECIALE CON INTERCONNESSIONE LINEA1	PORTA NUOVA	X	X	X

Tabella 1 – Sinottico delle verifiche effettuate sui tipologici delle stazioni

Il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio, in particolare quelli condizionati dal controllo e dalla gestione dei fumi ed dalla progettazione dei percorsi di sfollamento, è conseguito mediante progettazione di tipo prestazionale, basata sui criteri richiamati nel decreto

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

del Ministro dell'interno 9 maggio 2007, recante «Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio», a partire da alcuni valori prescritti nel D.M. 21/10/2015 che, qualora rispettati, non richiedono ulteriori valutazioni del rischio.

Tenuto conto che, ai fini della sicurezza antincendio, va perseguito l'obiettivo di condurre il treno in stazione, gli scenari d'incendio di riferimento previsti dal Decreto e compatibili con i tipologici analizzati risultano:

scenario 1): incendio a bordo di un treno in stazione;

scenario 3): incendio di un distributore automatico posto nell'atrio della stazione - incendio di un'area espositiva¹ posta nell'atrio della stazione (per la stazione Carlo Alberto);


scenario 4): incendio in un locale tecnico.

Allo scopo di restituire le condizioni di sviluppo dell'incendio previste dagli scenari indicati, l'analisi fluidodinamica è stata condotta utilizzando un software di fluidodinamica computazionale (CFD – Computational Fluid Dynamics) pervenendo al calcolo dei campi vettoriali di velocità e scalari di temperatura e concentrazione dei prodotti di combustione mediante l'integrazione numerica delle equazioni differenziali rappresentative dei bilanci accoppiati di quantità di moto, energia e materia.

Le fasi di modellazione hanno comportato:

- 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 sui resiti risultanti dalla soluzione approssimata delle equazioni esatte;
- Resa grafica dei risultati ottenuti, con rappresentazione di campi e variabili nel tempo;
- Analisi dei risultati.

¹ non assimilabile ad un locale commerciale

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

Il software Pathfinder è stato impiegato per le simulazioni di esodo. Esso 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.

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.

Ogni occupante è definito dalla posizione, un profilo che specifica le dimensioni, la velocità, ecc. e un comportamento che definisce gli "obiettivi". Il comportamento consente la creazione di script per gestire condizioni specifiche di simulazione (ad esempio, un occupante può attendere in una posizione per un tempo specificato e poi procedere verso un ascensore). Ogni occupante calcola i movimenti in maniera indipendente.

In particolare, la relazione illustra:

- le assunzioni dei parametri tecnico-impiantistici e delle caratteristiche geometrico-strutturali, operate ai fini della verifica degli obiettivi di sicurezza per gli scenari indicati;
- i risultati di sintesi del calcolo dei tempi di esodo negli scenari di **incendio a bordo di un treno in stazione (SCENARIO 1) e incendio in atrio di un distributore**

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

automatico e in area espositiva² (SCENARIO 3), realizzati in conformità al capitolo

IV del Decreto prescrivente i criteri progettuali per l'esodo dalle metropolitane.

La quantificazione del tempo di esodo deriva dal calcolo dell'affollamento, dalle dimensioni dei percorsi di sfollamento e dai vincoli di utilizzo delle scale fisse e mobili.

I suddetti risultati seguenti per ciascun tipologico vengono riportati con riferimento alle stazioni assunte come rappresentative.

2. DEFINIZIONE DEGLI SCENARI

Come specificato in premessa, 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 punto primo, ***l'incendio a bordo di un treno in stazione (SCENARIO 1)*** e ***l'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 3)***. Pertanto, avendo analizzato tipologici in cui non sono presenti attività commerciali nell'atrio, viene analizzato l'incendio che interessa i distributori automatici, viene simulato lo scenario di incendi che origina da uno dei distributori automatici.

2.1 Assunzioni

2.1.1 Incendio a bordo di un treno in stazione (SCENARIO 1)

Ai fini delle verifiche fluidodinamiche la curva di incendio del treno 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.

² Con le ipotesi e le condizioni dettagliate nella relazione analitica allegata.

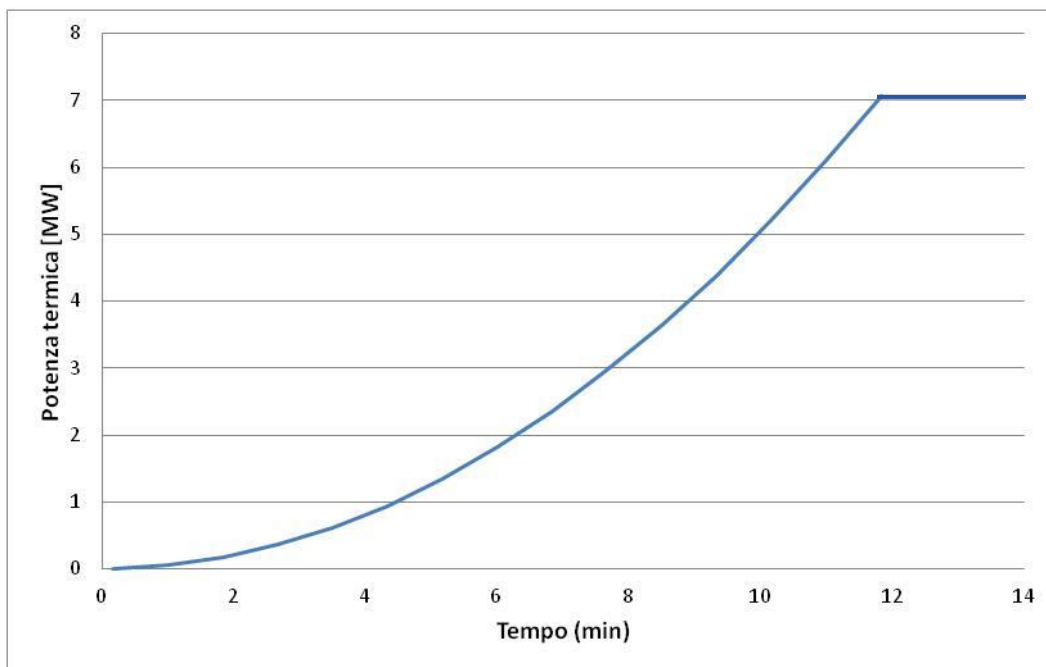



Figura 1 - Curva d'incendio DM 21.10.2015

Il decreto inoltre 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 fa riferimento 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.

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 "incendio a bordo di un treno fermo in stazione".

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

TIME STEP [s]	EVENTO	RIFERIMENTI ED ASSUNTI
0	IL FUOCO SI ACCENDE	Il focolaio è posizionato nella parte inferiore del treno
120	IL FUOCO VIENE RILEVATO	
180	ATTIVAZIONE DELLA VENTILAZIONE INIZIO DELL'EVACUAZIONE	La ventilazione è a regime
720	IL FUOCO ARRIVA ALLA POTENZA MASSIMA	La potenza è pari a 7 MW

Tabella 2 - Timing incendio a bordo treno

2.1.2 Strategia di ventilazione (SCENARIO 1)

In generale la strategia di ventilazione è determinata dalla posizione dell'incendio sul treno e dalla direzione di evacuazione.


Per gli scenari di incendio in banchina, viene utilizzata la modalità di ventilazione pull-pull. Nessun treno viene spostato durante l'analisi della ventilazione di emergenza ma il treno incendiato riguarda la stazione di arrivo più prossima.

I binari della stazione sono isolati dal fumo il più possibile mediante un impianto di ventilazione realizzato in corrispondenza delle porte di banchina e attivato in estrazione.

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 stazione si assume la seguente procedura:

- il treno prende fuoco lungo la linea e l'incendio viene rilevato all'interno del treno;
- il treno viene fermato dal centro di controllo in una stazione predefinita;
- inizia l'evacuazione del treno;
- l'indirizzo pubblico della stazione annuncia l'evacuazione della stazione;
- si attiva il sistema di estrazione fumi della stazione (t =180 secondi);


 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

- il sistema di ventilazione raggiunge la portata di regime.

Le caratteristiche del sistema di ventilazione sono specificate per ogni tipologico nelle relazioni allegate e tengono conto delle specifiche modalità di interazione ed evoluzione dell'incendio con la geometria.

Per quanto concerne le modalità di attivazione, in caso di incendio a bordo treno fermo in stazione, il sistema di ventilazione, attivato dall'impianto di rivelazione incendi di stazione o dall'impianto di allarme presente sul materiale rotabile o dal sistema centrale di controllo, comporta la seguente evoluzione di scenario:

- **Step 0:** Attivazione sistema di rivelazione – $t_0 = 120$ s
- **Step 1:** Attivazione del sistema di separazione aerea mediante barriere d'aria (cfr. D.M. 21/10/2015 – Capo V.3.2) disposte in corrispondenza delle risalite da banchina verso il piano atrio - $t_1 = 180$ s
- **Step 2:** Attivazione del sistema di aspirazione lineare posto in corrispondenza del controsoffitto, longitudinalmente alle porte di banchina, per la captazione dei fumi prodotti dall'incendio a bordo treno, fermo in corrispondenza della banchina (a porte aperte) - $t_2 = t_1 = 180$ s;
- **Step 3:** Attivazione dell'impianto di ventilazione di emergenza di galleria (configurazione pull-pull) secondo lo scenario corrispondente (scenario 1, D.M. 21/10/2015) - $t_3 = t_2 = t_1 = 180$ s.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

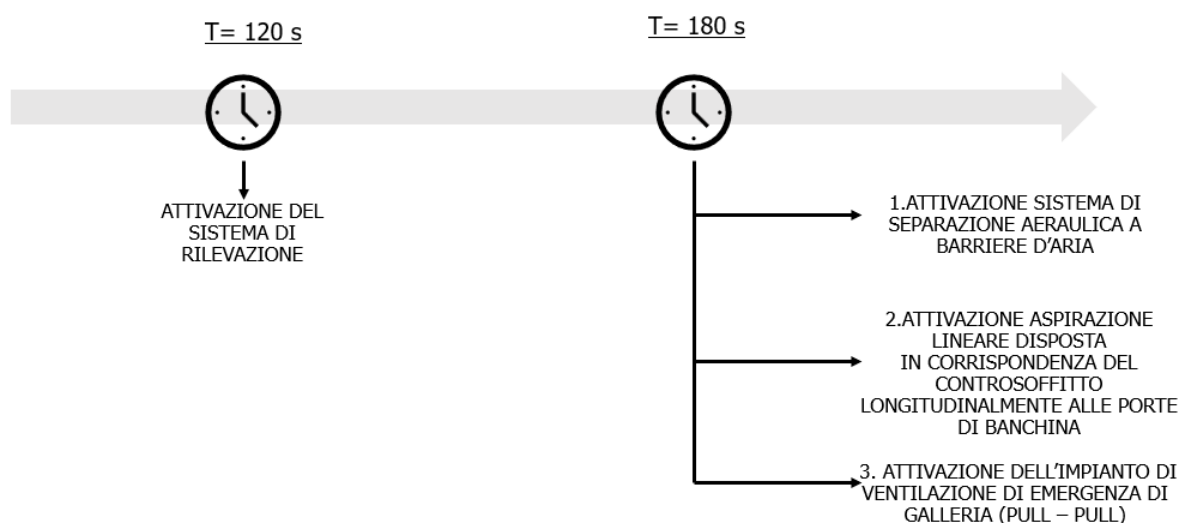



Figura 2 - Timing attivazione ventilazione Impianti e Sistemi (SCENARIO 1)

2.1.3 Modellazione esodo (SCENARIO 1)

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 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;
- il numero dei passeggeri presenti sulla banchina di una stazione di interscambio deve essere calcolato su una superficie costituita dal prodotto della lunghezza per larghezza utile della banchina, diminuita di un franco di 20 cm, per tenere conto del fatto che le persone tendono a distanziarsi dalle pareti, considerando una densità di 1.5 pers/m²;
- il numero di passeggeri presenti nei percorsi di sfollamento, tra i tornelli e la banchina, deve essere calcolato considerando una densità pari a 0.1 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). Nella banchina, sui percorsi di sfollamento e in atrio l'affollamento è determinato sulla base delle

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

caratteristiche geometriche riferibili al tipologico (cfr. le singole relazioni allegate), assunte le densità di affollamento conformi a quanto specificato nel Decreto.

2.1.4 Incendio distributori automatici in atrio (SCENARIO 3)

La curva di incendio utilizzata per la simulazione incendio nei distributori automatici è riportata nel grafico seguente (cfr. Figura 3).

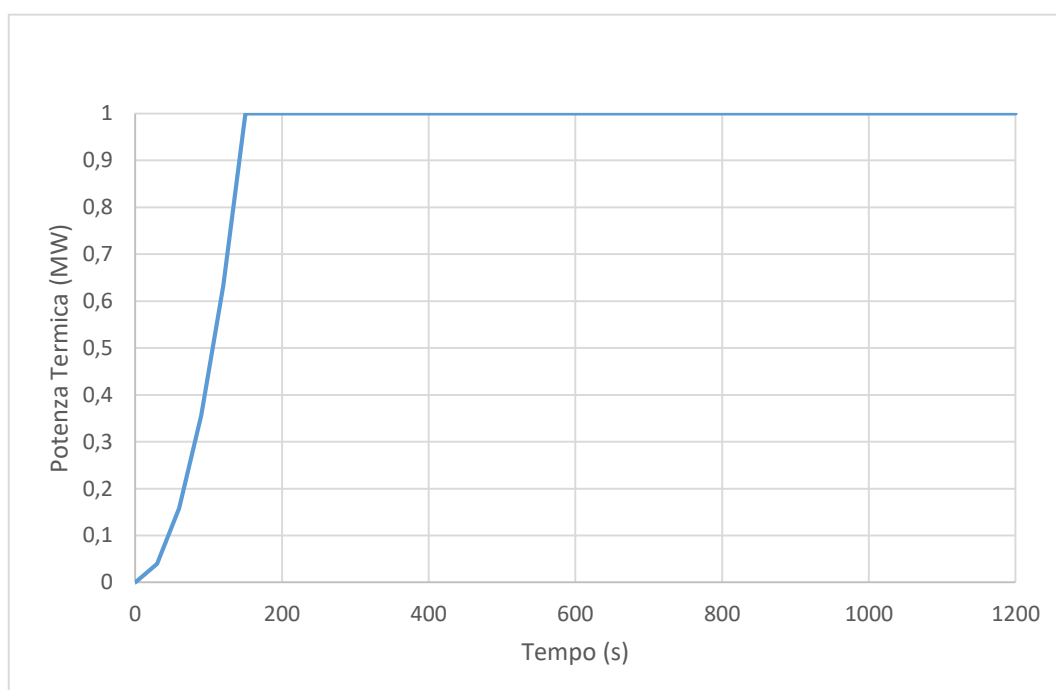



Figura 3 – Curva di incendio distributore automatico

Si assume come riferimento una potenza di picco pari a 1 MW, come da bibliografia tecnico-scientifica di riferimento³. La curva 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.

³ cfr.

- Meacham, B., Park, H., Engelhardt, M., Kirk, A., Kodur, V., & van Straalen, I. (2010, January). Fire and collapse, faculty of architecture building, Delft University of Technology: Data collection and preliminary analyses. In Proc. 8th Int. conf. performance-based codes fire saf. des. methods, Lund, Sweden.
- Paolo Palmisano. Simulazione fluidodinamica di incendio in una stazione metropolitana mediante Firefoam e FDS = Fluid dynamics simulation of a fire in a subway station using Firefoam and FDS. Rel. Marco Carlo Masoero. Politecnico di Torino, Corso di laurea magistrale in Ingegneria Energetica E Nucleare, 2018

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

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 (cfr. Tabella 3) si riporta la sequenza dei principali eventi considerati nell'analisi dello scenario di riferimento "incendio di un distributore automatico in stazione".

TIME STEP [s]	EVENTO	RIFERIMENTI ED ASSUNTI
0	IL FUOCO SI ACCENDE	Il focolaio è posizionato nell'area atrio in corrispondenza nell'atrio in corrispondenza di un distributore automatico.
120	IL FUOCO VIENE RILEVATO ATTIVAZIONE DELLA VENTILAZIONE INIZIO DELL'EVACUAZIONE	
270	IL FUOCO ARRIVA ALLA POTENZA MASSIMA	La potenza è di 1 MW

Tabella 3 - Timing incendio in atrio

2.1.5 Strategia di ventilazione (SCENARIO 3)

In caso di incendio in atrio 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.

Si assume la seguente procedura:

- l'incendio in atrio viene rilevato;

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

- la ventilazione sulle porte di banchina lavora in immissione con un valore di portata definito per ogni tipologico in funzione dell'analisi di ottimizzazione condotta sull'efficacia dell'impianto (cfr. relazioni specifiche allegate);
- la ventilazione in atrio lavora in estrazione mediante un sistema di estrazione (portata unitaria definita nelle relazioni specifiche allegate);
- inizia l'evacuazione che comporta il raggiungimento del luogo sicuro (esterno alla stazione).

In caso di incendio in atrio il sistema di ventilazione, attivato dall'impianto di rivelazione incendi di stazione o dal sistema centrale di controllo $t_0 = 120$ s, avvia il seguente scenario (cfr. Figura 4):

- **Step 1:** Attivazione dell'impianto di ventilazione di banchina in immissione mediante le bocchette lineari disposte in corrispondenza del controsoffitto longitudinalmente alle porte di banchina al fine di consolidare la sovrappressione in banchina $t_2 = t_1 = t_0 = 120$ s.
- **Step 2:** Attivazione dell'impianto di ventilazione di atrio in estrazione al fine di segmentare l'atrio e gestire in sicurezza l'accesso dei soccorritori. $t_2 = t_1 = t_0 = 120$ s.

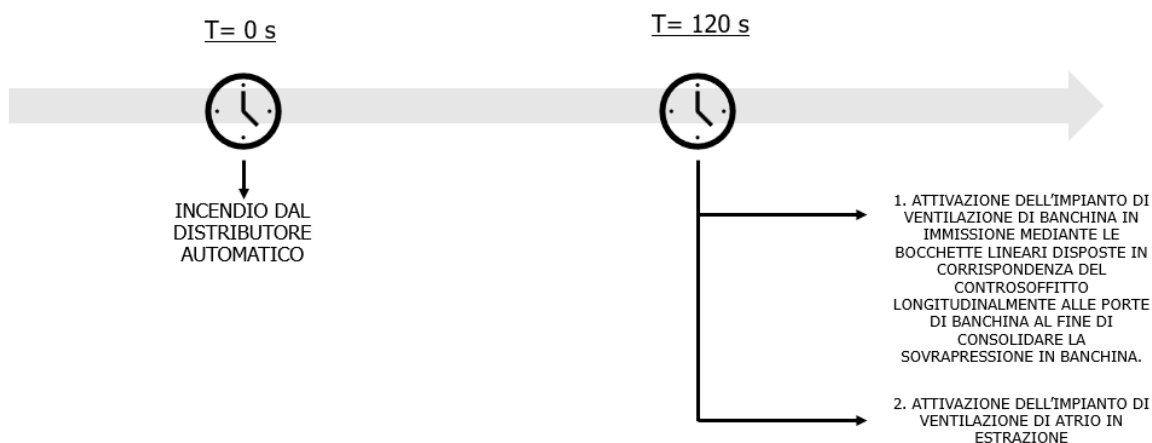



Figura 4 – Timing Attivazione ventilazione Impianti e Sistemi (SCENARIO 3)

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

2.1.6 Modellazione esodo (SCENARIO 3)


Il massimo affollamento ipotizzabile è stato calcolato in conformità alle indicazioni del Decreto:

- 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;
- il numero dei passeggeri presenti sulla banchina di una stazione di interscambio deve essere calcolato su una superficie costituita dal prodotto della lunghezza per larghezza utile della banchina, diminuita di un franco di 20 cm, per tenere conto del fatto che le persone tendono a distanziarsi dalle pareti, considerando una densità di 1.5 pers/m²;
- il numero di passeggeri presenti nei percorsi di sfollamento, tra i tornelli e la banchina, deve essere calcolato considerando una densità pari a **0.1 pers/m²**.

Per quanto riguarda, quindi, le specifiche inserite per l'esodo in atrio, si è assunto che l'affollamento è determinato adottando la densità di affollamento conforme a quanto previsto (0.1 pers/m²) e tenuto conto della geometria specifica dei tipologici assunti a riferimento (cfr. singole relazioni allegate). Al piano banchine e sui percorsi di sfollamento l'affollamento è determinato sulla base delle caratteristiche geometriche riferibili al tipologico (cfr. singole relazioni allegate), assunte le densità di affollamento conformi a quanto specificato nel Decreto.

3. TIPOLOGICO S4L – POLITECNICO

Si riporta la sintesi dei risultati principali ottenuti per la verifica di conformità agli obiettivi di sicurezza previsti nel Decreto con riferimento al tipologico S4L. L'analisi è stata effettuata adottando le caratteristiche geometriche e architettoniche della stazione Politecnico, rappresentativa del tipologico. Le conclusioni sono, quindi, valide anche per le altre stazioni afferenti al medesimo tipologico, fatta salva la validità delle assunzioni dichiarate nella relazione allegata.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

Per l'analisi approfondita delle assunzioni, la caratterizzazione dei modelli analitici, la descrizione dei risultati completi si rinvia alla relazione completa di dettaglio allegata.

3.1 CALCOLO AFFOLLAMENTO

Ai fini delle verifiche, le assunzioni riguardano i parametri di seguito indicati:

- Densità affollamento banchina (D_p) = 1 pers/m² (rif. IV.3.1b)
- Densità affollamento percorsi di sfollamento (D_s) = 0.1 pers/m² (rif. IV.3.5)
- Lunghezza banchina (L_p) = 60 m

La quantificazione degli affollamenti, valutati ai sensi del Decreto, è sintetizzata nella tabella seguente (cfr. Tabella 4).

SUPERIFICIE DI RIFERIMENTO	CRITERIO	NUMERO OCCUPANTI	RIFERIMENTO DM 21.10.2015
Banchina lato incendio	$N_p = D_p[L_p(B_p - 0.20\text{cm})]$	231	IV.3.2
Banchina direzione opposta	$N_p = D_p[L_p(B_p - 0.20\text{cm})]$	231	IV.3.2
Treno lato incendio	$N_t =$ affollamento Scheda tecnica modello treno	418	-
Treno direzione opposta	$N_{top} = 0.5 N_t$	209	IV.4.7
Percorsi di sfollamento	$D_s = 0.1 \text{ pers/m}^2$	12	IV.3.5
Atrio	$D_s = 0.1 \text{ pers/m}^2$	109	IV.3.5
Mezzanino 2	$D_s = 0.1 \text{ pers/m}^2$	68	IV.3.5
<i>TOTALE OCCUPANTI</i>		1278	

Tabella 4 – Quantificazione dell'affollamento Scenario 1 in funzione dei criteri del DM 21.10.2015

SUPERIFICIE DI RIFERIMENTO	CRITERIO	NUMERO OCCUPANTI	RIFERIMENTO DM 21.10.2015
Banchina lato incendio	$N_p = D_p[L_p(B_p - 0.20\text{cm})]$	231	IV.3.2

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

Banchina direzione opposta	$N_p = D_p [L_p (B_p - 0.20 \text{cm})]$	231	IV.3.2
Percorsi di sfollamento	$D_s = 0.1 \text{ pers/m}^2$	12	IV.3.5
Atrio	$D_s = 0.1 \text{ pers/m}^2$	109	IV.3.5
Mezzanino 2	$D_s = 0.1 \text{ pers/m}^2$	68	IV.3.5
TOTALE OCCUPANTI		651	

Tabella 5 – Quantificazione dell’affollamento Scenario 3 in funzione dei criteri del DM 21.10.2015

3.2 CALCOLO PERCORSI DI SFOLLAMENTO

Nell’appendice tecnica A3. *Calcolo delle velocità di sfollamento* del Decreto viene definita la velocità di sfollamento

$$V = k - 0.266 k D$$

con


$$0.54 \text{ pass/m}^2 \leq D \text{ (densità di affollamento)} \leq 3.8 \text{ pass/m}^2$$

e **k - parametro di inclinazione dei percorsi** assunto come indicato:

- $k = 1.40$ percorsi orizzontali
- valori di k indicati nella tabella seguente per i percorsi inclinati in funzione della tipologia dei gradini (geometria).

Nel caso analizzato le caratteristiche geometriche dei percorsi di esodo consentono di determinare il valore di k :

ALZATA [cm]	PEDATA [cm]	K -
17	30	1.16
20	40	1.00

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

Dunque, il calcolo della densità di affollamento implica che la velocità di sfollamento sia pari a:

DENSITÀ AFFOLLAMENTO [pass/m ²]	K [m/s]	VELOCITÀ SFOLLAMENTO ORIZZONTALE [m/s]	NORMALIZZAZIONE
0.54	1.4	1.199	1.007
3.50	1.4	0.970	0.810


DENSITÀ AFFOLLAMENTO [pass/m ²]	K [m/s]	VELOCITÀ SFOLLAMENTO ORIZZONTALE [m/s]	NORMALIZZAZIONE
0.54	1.16	0.993	1.003
3.50	1.16	0.800	0.810

DENSITÀ AFFOLLAMENTO [pass/m ²]	K [m/s]	VELOCITÀ SFOLLAMENTO SCALE MOBILI [m/s]	NORMALIZZAZIONE
0.54	1	0.856	1.007
3.50	1	0.690	0.810

Il computo delle scale utilizzate come vie di esodo deriva dal paragrafo IV.7.2. del DM 21.10.2015.

3.3 PERCORSO BANCHINA – MEZZANINO 2

SCALE	Numero scale	Larghezza geometrica [cm]	Larghezza effettiva [cm]
Scale fisse	2	200	180
Scale mobili ferme utilizzate	5	100	80
Scale di emergenza	-	-	-

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

Porte treno	160	140
Varco sx	490	470
Varco destra	500	480

3.4 PERCORSO DA MEZZANINO 2 – ATRIO


SCALE	Numero scale	Larghezza geometrica [cm]	Larghezza effettiva [cm]
Scale fisse	1	200	180
Scale mobili ferme utilizzate	4	100	80
Scale di emergenza	-	-	-

3.5 PERCORSO DA ATRIO – PIANO STRADA

SCALE	Numero scale	Larghezza geometrica [cm]	Larghezza effettiva [cm]
Scale fisse	2	240	220
Scale mobili ferme utilizzate	1	100	80
Scale di emergenza	-	-	-

3.6 TEMPO DI ESODO SCENARIO 1 (n-1 SCALE MOBILI FISSE PER LA VERIFICA DELL'ESODO)

- Tempo di pre-movimento: **120 secondi** (criterio D.M. 21/10/2015 verificato).
- Tempo totale di esodo: **370 secondi** inferiore a 600 secondi (criterio D.M. 21/10/2015 verificato).


 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

- Tempo di esodo in banchina: **197 secondi** inferiore a 240 secondi (criterio D.M. 21/10/2015 verificato)
- Tempo di esodo da percorso protetto: **173 secondi** inferiore a 360 secondi (criterio D.M. 21/10/2015 verificato)

3.7 TEMPO DI ESODO SCENARIO 3

- Tempo di pre-movimento: **120 secondi** (criterio D.M. 21/10/2015 verificato).
- Tempo totale di esodo: **316 secondi** inferiore a 1200⁴ secondi

⁴ ASET

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

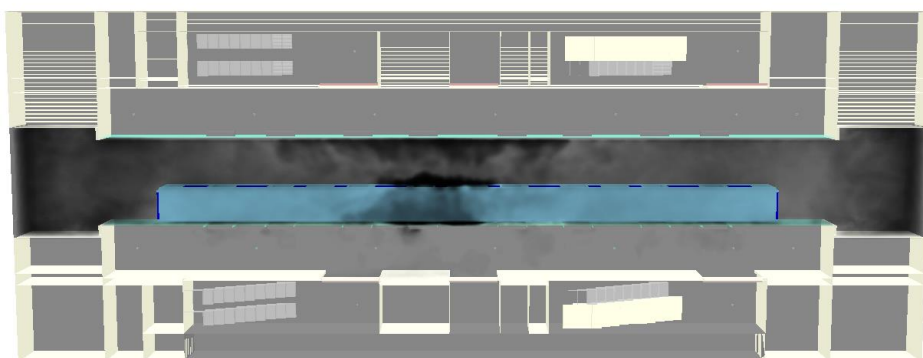
3.8 RISULTATI

Si riporta, di seguito, una selezione dei risultati grafici, output delle simulazioni di incendio ed esodo, che hanno consentito la verifica delle condizioni di conformità al Decreto. I risultati completi sono disponibili nella relazione completa allegata.

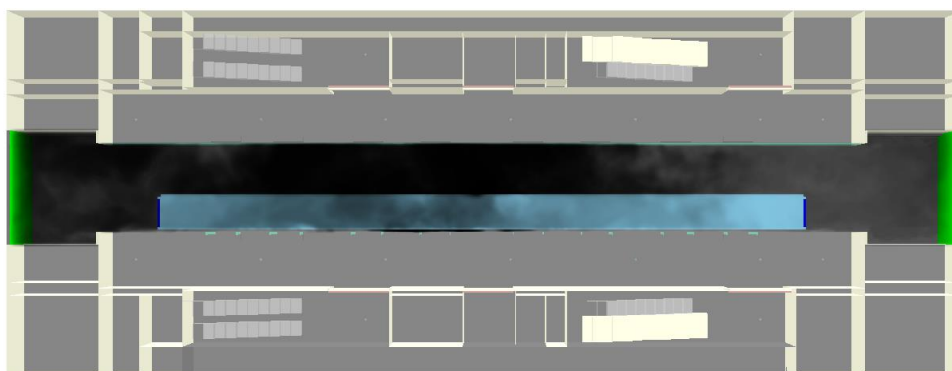


3.8.1 Output scenario (SCENARIO 1 – S4L)

3.8.2 PROPAGAZIONE FUMI



t = 3 minuti



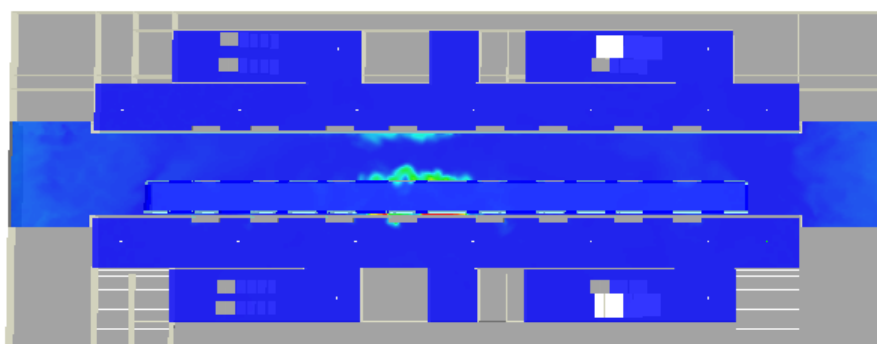
t = 4 minuti





t = 10 minuti

3.8.3 TEMPERATURE



Slice
temp
°C

60.0

55.5

51.0

46.5

42.0

37.5

33.0

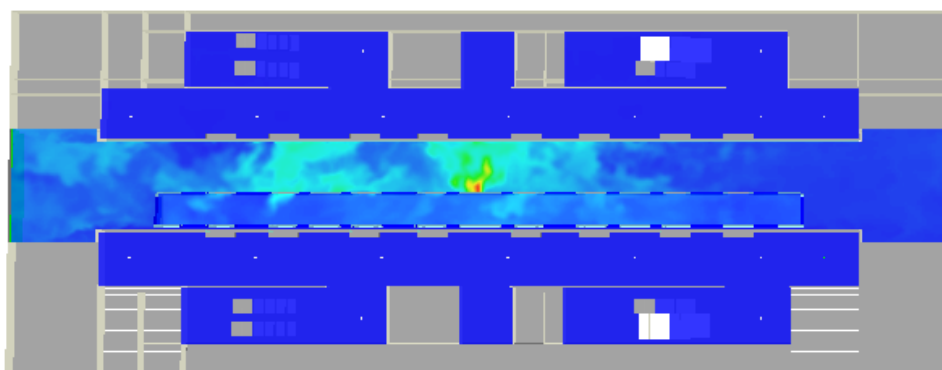
28.5

24.0

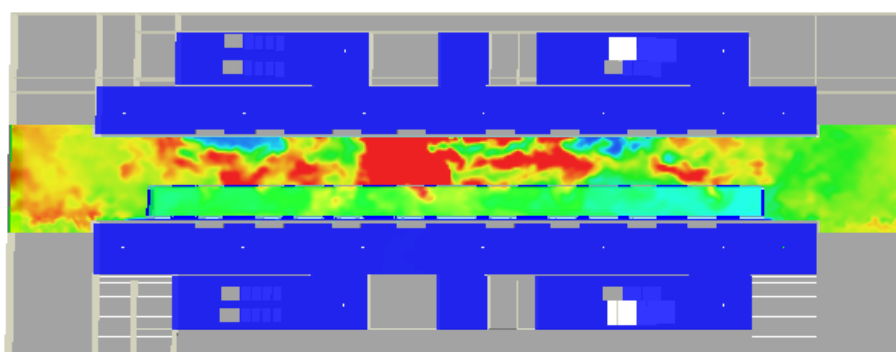
19.5

15.0

t = 3 minuti



t = 4 minuti





CITTA' DI TORINO

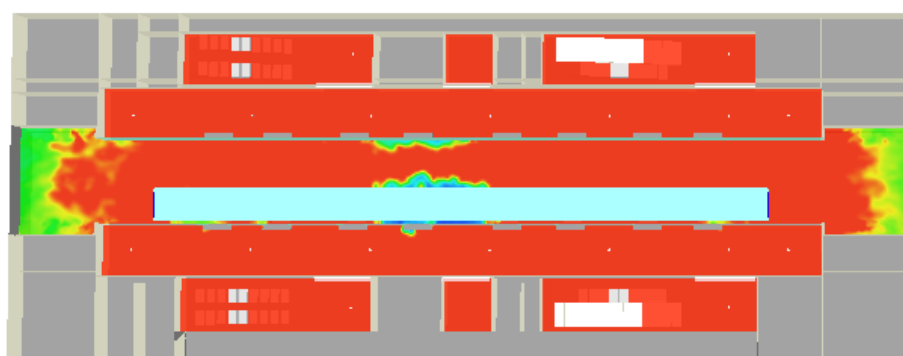
Metropolitana di Torino – Linea 2
Tratta: Politecnico – Rebaudengo

STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione
Incendio ed Esodo

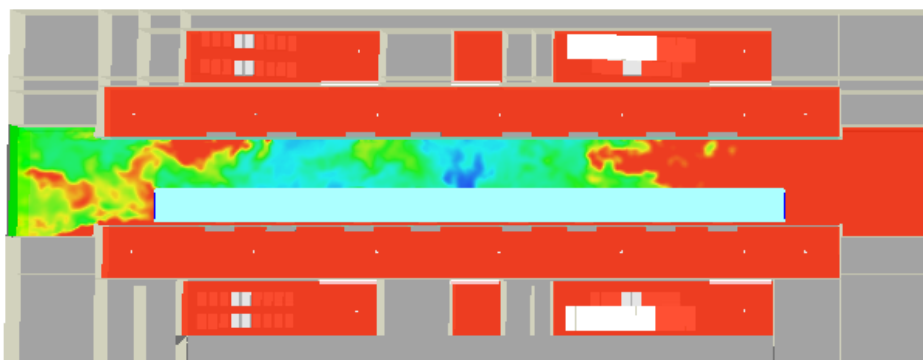
101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

t = 10 minuti

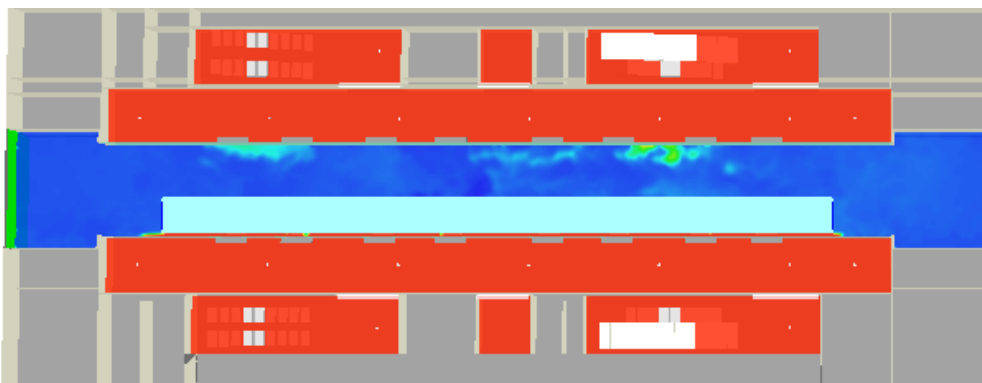
3.8.3.1 VISIBILITÀ



t = 3 minuti

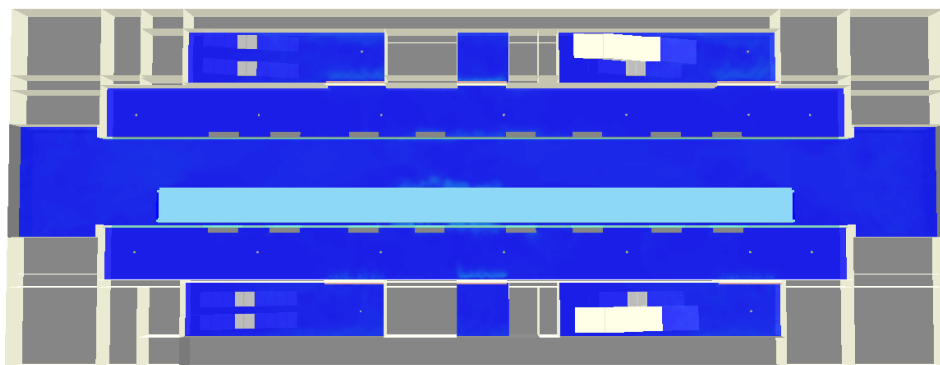


t = 4 minuti

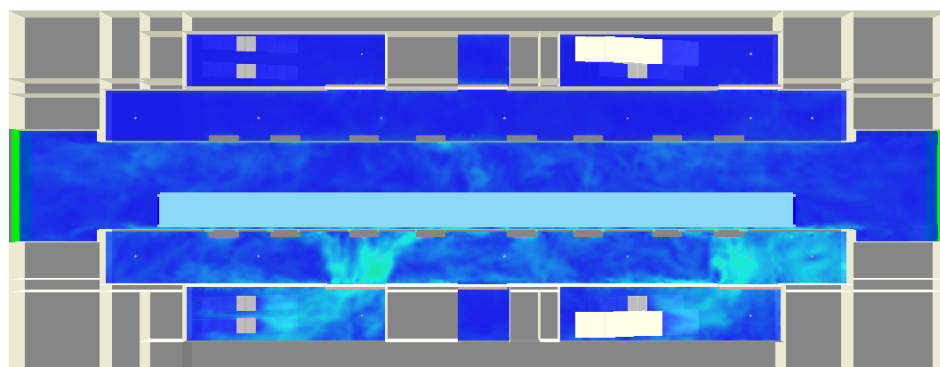


t = 10 minuti

3.8.3.2 VELOCITÀ



t = 3 minuti



Slice
vel
m/s

20.0
18.0
16.0
14.0
12.0
10.0
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00



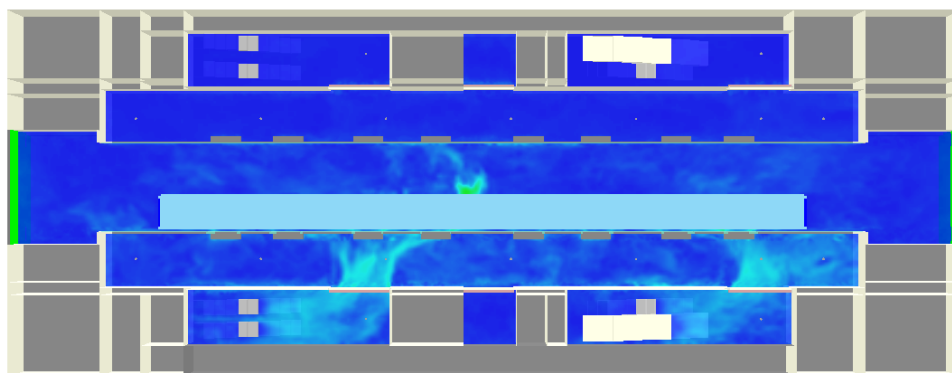
CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2
Tratta: Politecnico – Rebaudengo

STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione
Incendio ed Esodo

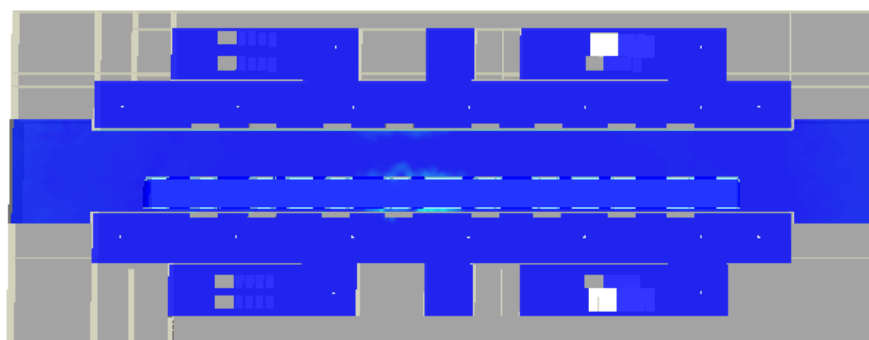
101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

t = 4 minuti

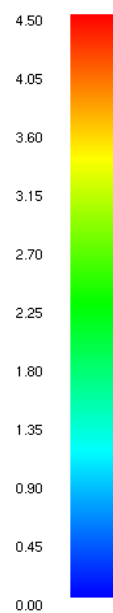


t = 10 minuti

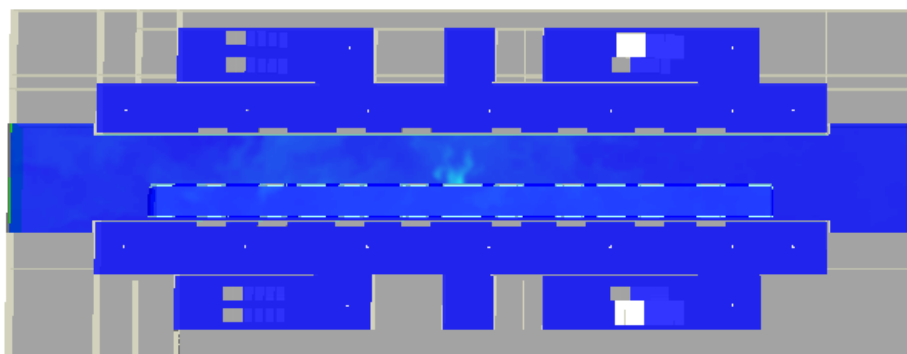
3.8.3.3 CONCENTRAZIONE CO



Slice
X_CO
mol/mol
*10⁻⁴



t = 3 minuti





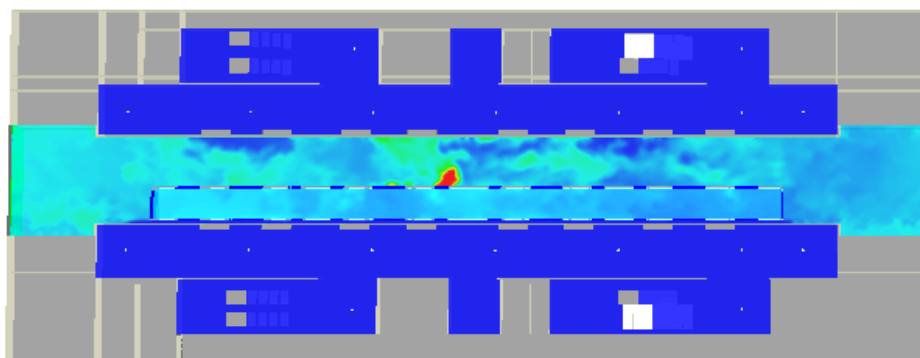
CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2
Tratta: Politecnico – Rebaudengo

STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione
Incendio ed Esodo

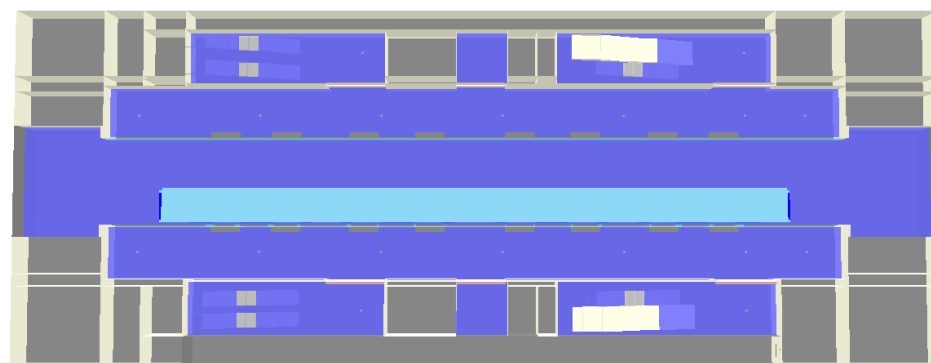
101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

t = 4 minuti



t = 10 minuti

3.8.3.4 LIVELLO MEDIO FED



Slice
FED

3.00

0%

0%

t = 3 minuti

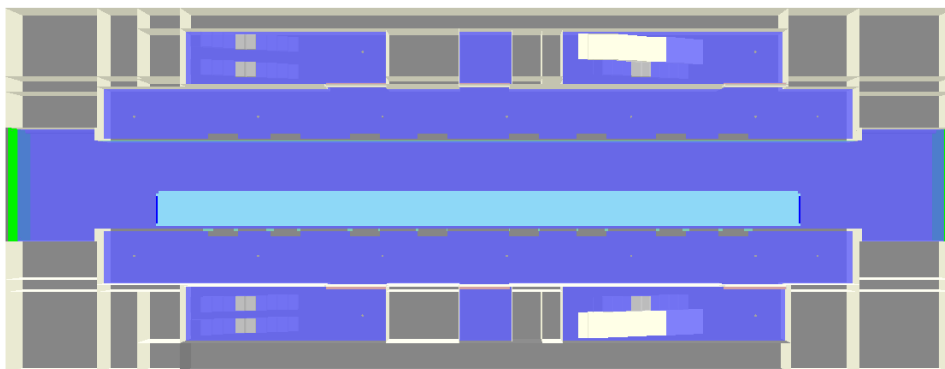


CITTA' DI TORINO

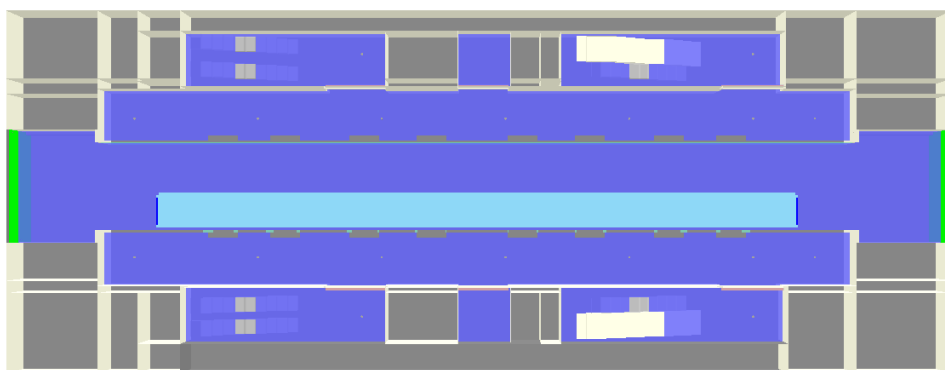
Metropolitana di Torino – Linea 2
Tratta: Politecnico – Rebaudengo

STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione
Incendio ed Esodo

101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

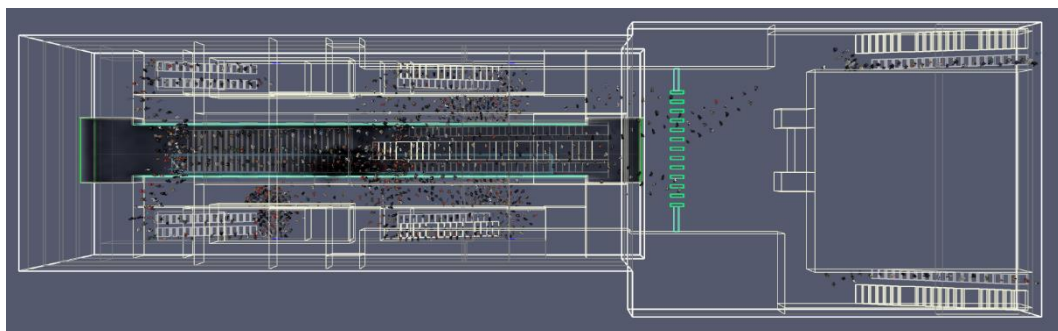


t = 4 minuti



t = 10 minuti

3.8.3.5 ESODO vs PROPAGAZIONE FUMI



t = 3 minuti

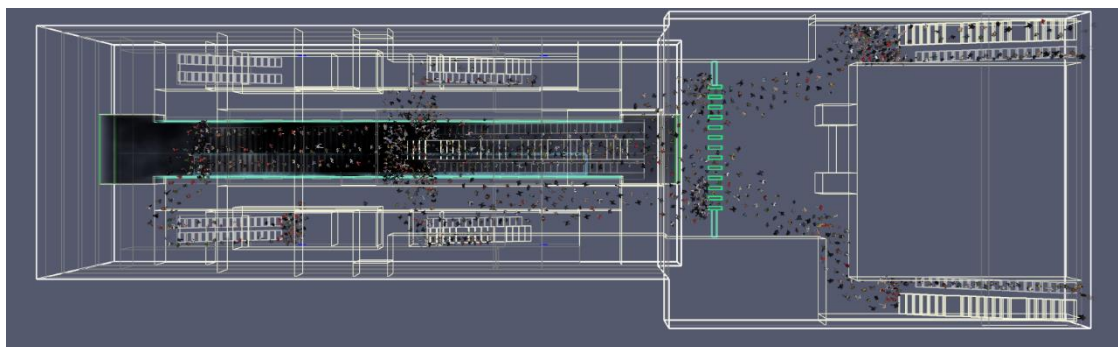


CITTA' DI TORINO

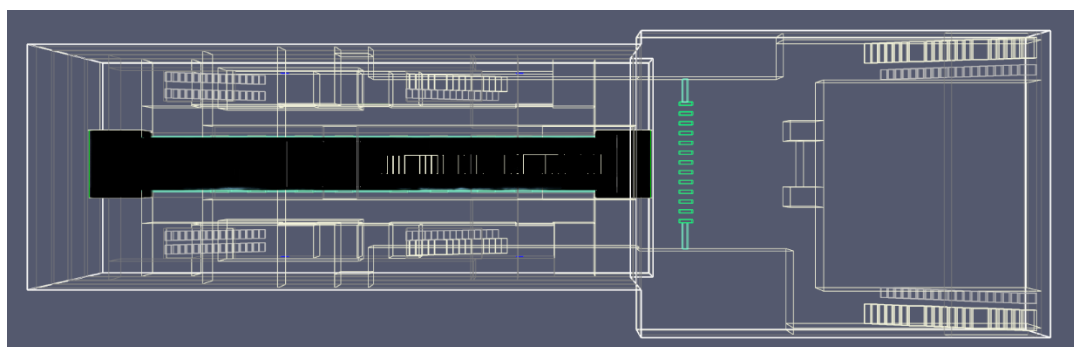
Metropolitana di Torino – Linea 2
Tratta: Politecnico – Rebaudengo

STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione
Incendio ed Esodo

101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX



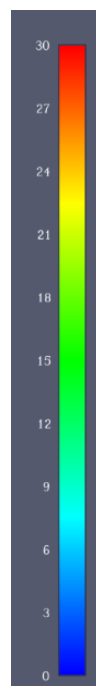
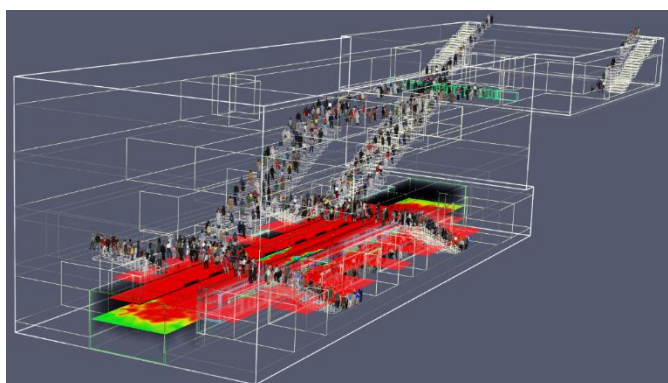
t = 4 minuti



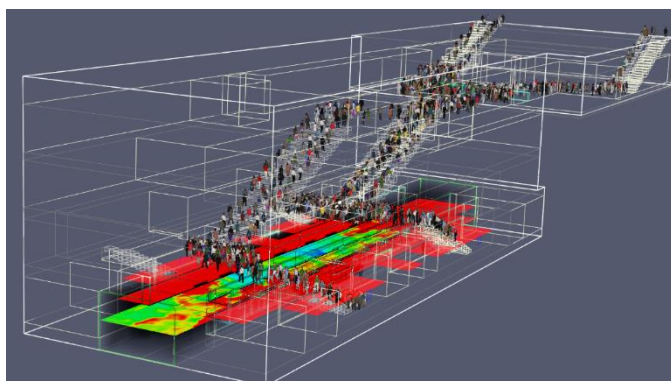
t = 10 minuti



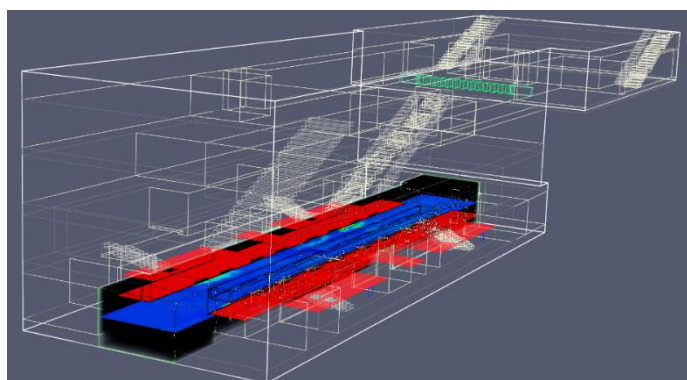
3.8.3.6 ESODO vs VISIBILITÀ



t = 3 minuti



t = 4 minuti



t = 10 minuti

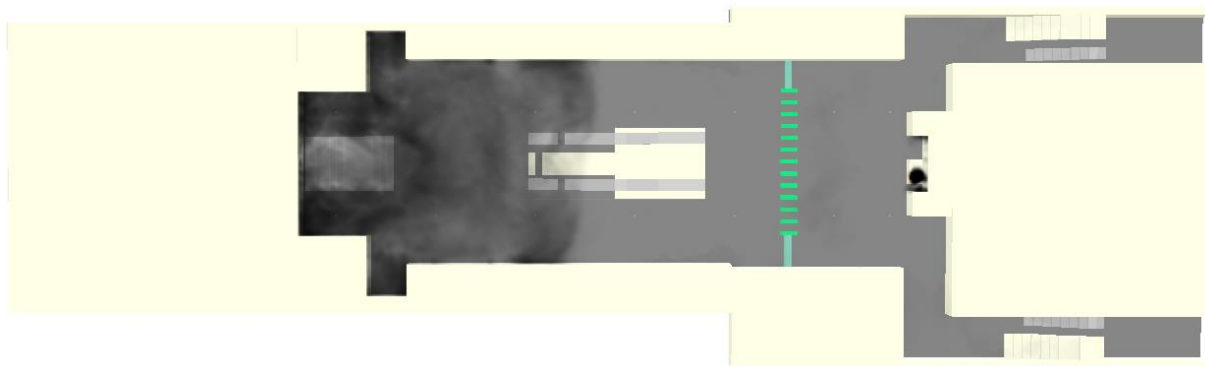


3.8.3.7 Output scenario (SCENARIO 3 – S4L)

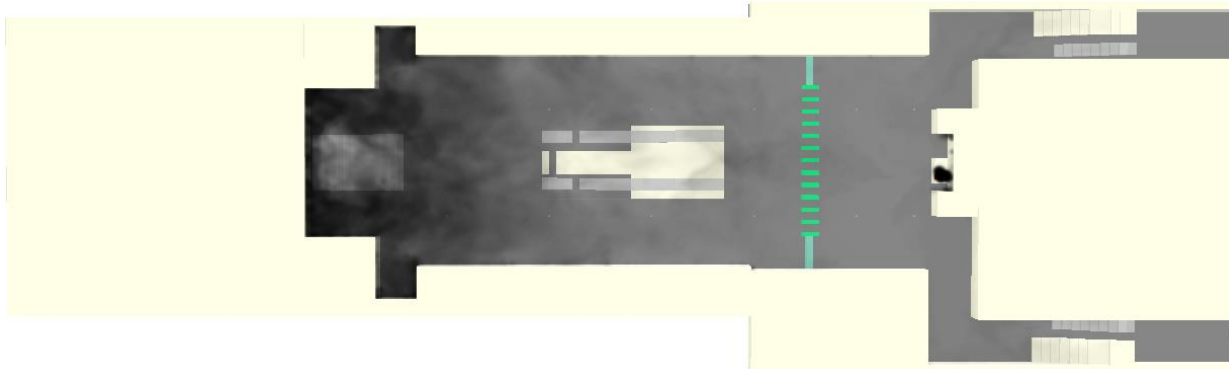
3.8.3.8 PROPAGAZIONE FUMI



t = 3 minuti



t = 4 minuti





t = 10 minuti

3.8.3.9 TEMPERATURE



t = 3 minuti



t = 4 minuti



t = 10 minuti



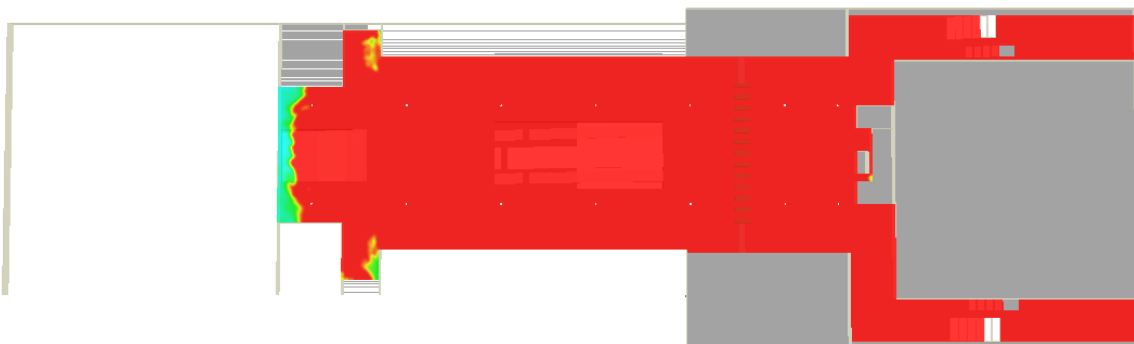
CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2
Tratta: Politecnico – Rebaudengo

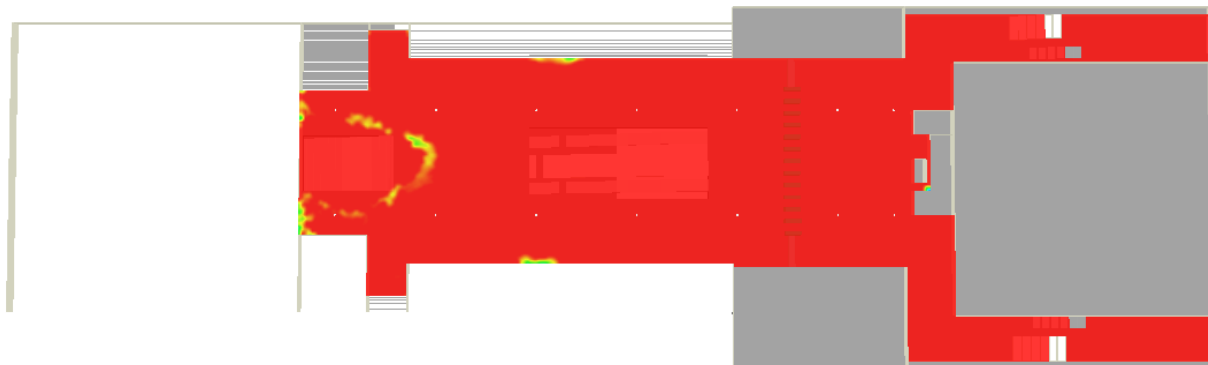
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione
Incendio ed Esodo

101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

3.8.3.10 VISIBILITÀ



t = 3 minuti



t = 4 minuti



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2
Tratta: Politecnico – Rebaudengo

STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione
Incendio ed Esodo

101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX



t = 10 minuti

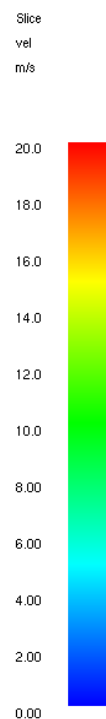
3.8.3.11 VELOCITÀ



t = 3 minuti



t = 4 minuti





CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2
Tratta: Politecnico – Rebaudengo

STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione
Incendio ed Esodo

101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX



t = 10 minuti

3.8.3.12 CONCENTRAZIONE CO



t = 3 minuti



t = 4 minuti





CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2
Tratta: Politecnico – Rebaudengo

STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione
Incendio ed Esodo

101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX



t = 10 minuti

3.8.3.13 LIVELLO MEDIO FED



Slice
FED



t = 3 minuti



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2
Tratta: Politecnico – Rebaudengo

STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione
Incendio ed Esodo

101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX



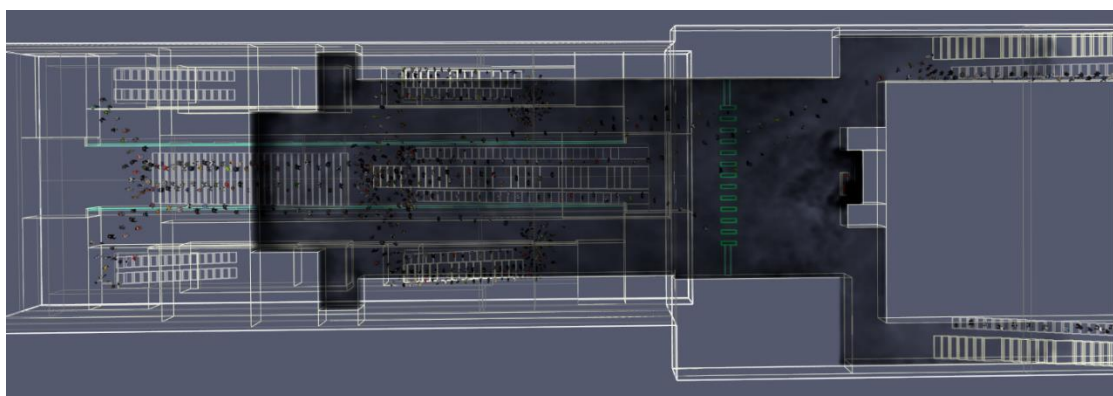
t = 4 minuti



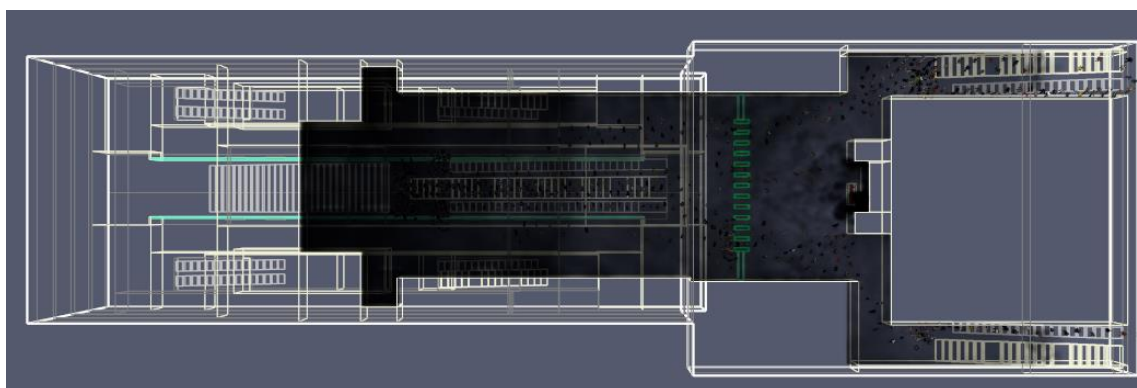
t = 10 minuti



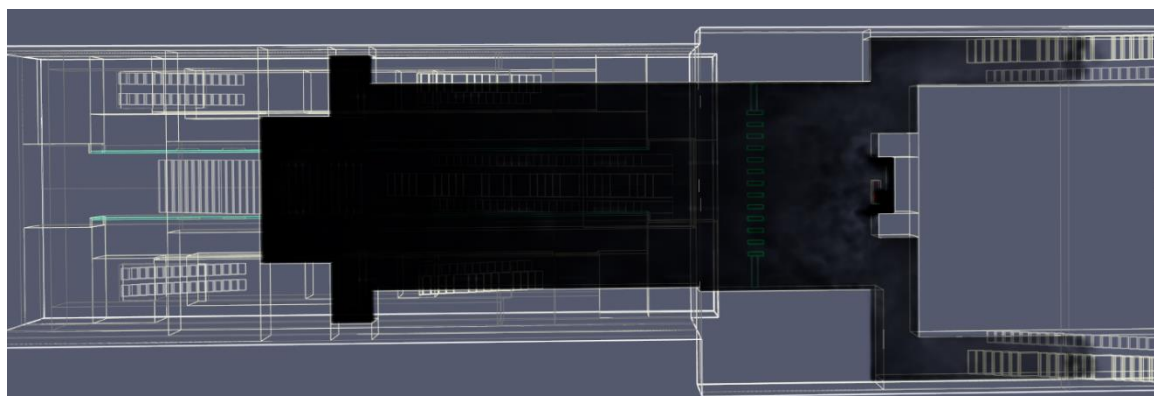
3.8.3.14 *ESODO vs PROPAGAZIONE FUMI*



t = 3 minuti



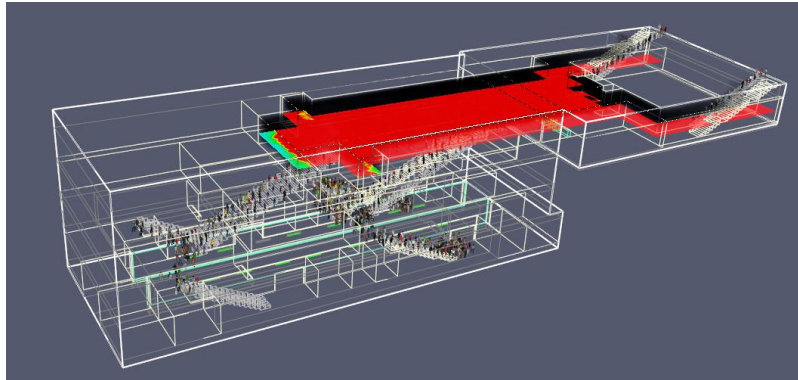
t = 4 minuti



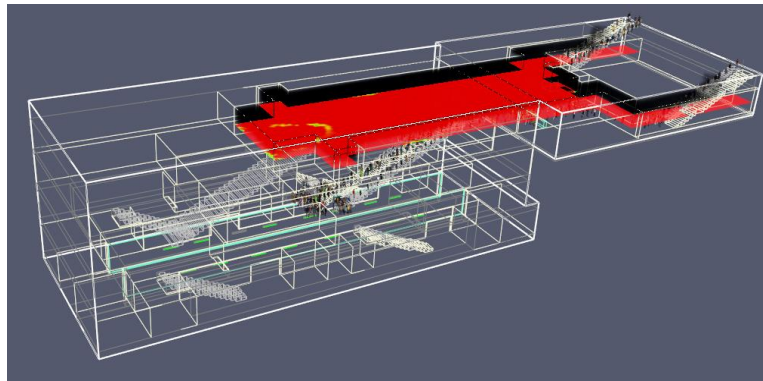
t = 10 minuti



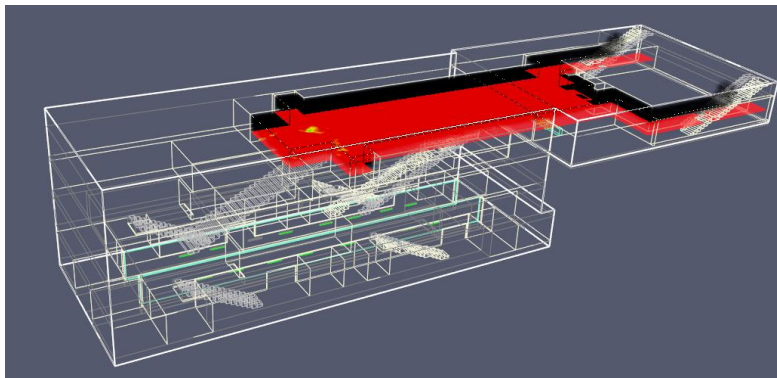
3.8.3.15 ESODO vs VISIBILITÀ




t = 3 minuti



t = 4 minuti



t = 10 minuti

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

3.9 Commento ai risultati (Tipologico S4L)


Per il tipologico S4L (stazione a quattro livelli interrati) 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 che comporta:

- la realizzazione del processo di esodo in un tempo limite pari a 10 minuti come dettagliato nel Decreto (cfr. § 4.1.1 DM 21/10/2015)
- la garanzia di non propagazione dei fumi lungo i percorsi di esodo (cfr. § 5.1.1 DM 21/10/2015)

Gli scenari di incendio 1, 3 e 4, simulati in ottemperanza al Capo I, § 1.1.4 dell'Allegato del DM 21/10/2015, definiscono condizioni di sviluppo e propagazione dell'incendio controllate dagli impianti meccanici di sicurezza (estrazione, ventilazione e spegnimento⁵) le cui modalità di dimensionamento e funzionamento sono richiamate nelle tabelle seguenti:

SCENARIO 1 – Incendio treno in stazione	
Impianto banchina	Portata [m ³ /s]
estrazione pozzi	30
estrazione porte di banchina	1.5 per ciascuna porta
immissione piano secondo mezzanino	0.91 per ciascuna bocchetta
immissione piano primo mezzanino	0.51 per ciascuna bocchetta
immissione piano atrio	0.91 per ciascuna bocchetta

⁵ con riferimento al solo Scenario 4

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

lame d'aria (varchi di accesso scale)	0.462 ⁶ per ciascun varco
---------------------------------------	--------------------------------------


SCENARIO 3 – Incendio in atrio	
Impianto atrio	Portata [m ³ /h]
estrazione	85500
Caratteristiche geometriche bocchette	
dimensioni [m]	2.8 x 0.4
dimensioni vie di esodo [m]	3.4 x 0.4

e, in entrambi i casi, comportano il raggiungimento dell'obiettivo di sicurezza degli esposti durante la fase di esodo in emergenza nel tempo richiesto, secondo il Timing specifico indicato nelle tabelle seguenti, che è stato adottato per tarare il modello CFD ai fini delle verifiche:

SCENARIO 1:

TIME STEP [s]	EVENTO	RIFERIMENTI ED ASSUNTI
0	IL FUOCO SI ACCENDE	Il focolaio è posizionato nella parte inferiore del treno
120	IL FUOCO VIENE RILEVATO	
180	ATTIVAZIONE DELLA VENTILAZIONE INIZIO DELL'EVACUAZIONE	

⁶ cfr. Nota dimensionamento Lame d'aria per verificare portata di progetto.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

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

SCENARIO 3:


TIME STEP [s]	EVENTO	RIFERIMENTI ED ASSUNTI
0	IL FUOCO SI ACCENDE	Il focolaio è posizionato nell'area atrio in corrispondenza nell'atrio in corrispondenza di un distributore automatico.
120	IL FUOCO VIENE RILEVATO ATTIVAZIONE DELLA VENTILAZIONE INIZIO DELL'EVACUAZIONE	
270	IL FUOCO ARRIVA ALLA POTENZA MASSIMA	La potenza è di 1 MW

Per gli scenari analizzati risultano rispettati i limiti di temperatura dell'aria, visibilità e concentrazione di CO coerenti con le prescrizioni del Decreto:

- la **massima temperatura di bulbo secco** non eccede i **60 °C** per tempi superiori a 10 minuti (la condizione è verificata per un tempo di simulazione pari a 20 minuti);
- la **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);
- il **livello medio della FED** (Fractional Effective Dose) non superiore a **0.3**, calcolata considerando il solo contributo equivalente del monossido di carbonio.

Si richiamano i risultati sintetici delle verifiche effettuate per le condizioni di esodo:

SCENARIO 1

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

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); nella banchina l'affollamento è pari a **671 persone**, di cui **209** rappresentano la metà della capienza di un treno posizionato in banchina (criterio ex D.M. 21/10/2015) ed aggiuntivi 12 sui percorsi di sfollamento; nel piano secondo mezzanino l'affollamento è pari a **68 persone**. Infine, nel piano atrio l'affollamento è pari a **109 persone**.

In totale il numero di occupanti è pari a **1278 persone**.

Nel caso specifico la verifica è stata condotta attivando la scala mobile ferma (nel numero di n-1 cfr. IV.7 decreto), utilizzandola come via di esodo.


In particolare, risulta:

- Tempo di pre-movimento: **120 secondi** (criterio ex D.M. 21/10/2015 verificato).
- Tempo totale di esodo: **403 secondi** inferiore a 600 secondi (criterio ex D.M. 21/10/2015 verificato).
- Tempo di esodo in banchina: **219 secondi** superiore a 240 secondi (criterio ex D.M. 21/10/2015 verificato)
- Tempo di esodo lungo il percorso protetto e fino a luogo sicuro: **184 secondi** inferiore a 360 secondi (criterio ex D.M. 21/10/2015 verificato).

SCENARIO 3

Per quanto riguarda, quindi, le specifiche inserite per l'esodo in atrio, si è assunto che l'affollamento è determinato adottando la densità di affollamento conforme a quanto previsto (0.1 pers/m²) ed è pari a **109 persone**. Al piano banchina l'affollamento è pari a **462** persone, ed aggiuntive **12** sui percorsi di sfollamento. Al piano secondo mezzanino l'affollamento è pari a **68 persone**.

In totale il numero di occupanti è pari a **651 persone**.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 Tratta: Politecnico – Rebaudengo
STAZIONE TIPOLOGICA S4L – Modellazione Incendio ed Esodo	101_MTL2T1A0DVVFGENR013-0-1.DOCX

In particolare, risulta:

- Tempo totale di esodo: **316 secondi** (ASET – RSET > 0 verificato)
- Tempo di esodo in banchina: **280 secondi**
- Tempo di esodo in secondo mezzanino: **143 secondi**
- Tempo di esodo in atrio: **84 secondi**