



È vietata la riproduzione di questo documento senza la preventiva autorizzazione di MM Spa

Milano



Comune di Milano

FSC

Fondo per lo Sviluppo e la Coesione

## PROLUNGAMENTO M5 A MONZA

CUP B94D17000000001

PPM\_CDM-01

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

# Simulazioni dinamiche esodo passeggeri – Stazione tipo

## Verifica ex DM 21/10/2015

 IL DIRETTORE TECNICO DOTT. ING. FRANCESCO VENZA Ordine degli Ingegneri di Milano n° 14647		 IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTERAZIONE FRA LE VARIE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE DOTT. ING. MASSIMILIANO BRANCA Ordine degli Ingegneri di Milano n° A18828		 IL PROGETTISTA RESPONSABILE DOTT. ING. MASSIMILIANO BRANCA Ordine degli Ingegneri di Milano n° A18828		
2	Luglio 2018	Progetto di fattibilità tecnica ed economica				
0	15/06/2018	EMISSIONE				
Aggiorn.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Acquisito	Approvato

COLLABORAZIONE ALLA  
PROGETTAZIONE:



CODIFICA  
DOCUMENTO

Commissa

DM

Lotto

0

Fase

P

Categoria

G

Opera

RE

Progressivo

0083

PAGINE TOTALI 23





## INDICE

1. Premessa .....	4
2. Quadro normativo di riferimento.....	5
2.1. <i>Il D.M. del 21 ottobre 2015</i> .....	5
2.1.1. <i>Capo IV.1: Tempo massimo di percorrenza del percorso di sfollamento</i> .....	6
2.1.2. <i>Capo IV.3: Affollamento</i> .....	6
2.1.3. <i>Capo IV.7: Scale mobili</i> .....	6
2.1.4. <i>Capo IV.9: Tornelli e varchi</i> .....	7
3. Simulazione dinamica dei passeggeri .....	8
3.1. <i>Obiettivi</i> .....	8
3.2. <i>Analisi di processo di evacuazione</i> .....	8
3.3. <i>Il software di simulazione</i> .....	8
3.3.1. <i>Output della simulazione</i> .....	9
4. Scenario di evacuazione .....	11
4.1. <i>Definizione del numero di passeggeri da evacuare (Rif. Capo IV.3)</i> .....	11
4.2. <i>Utilizzo e disponibilità delle connessioni verticali e definizione dello scenario di esodo (Rif. Capo IV.7-8-9)</i> .....	12
4.3. <i>Tempo di esodo (Capo IV.1)</i> .....	14
5. Risultati della simulazione.....	15
5.1. <i>Osservazioni</i> .....	15
5.2. <i>Piano Banchine</i> .....	16
5.3. <i>Piano ammezzato</i> .....	18
5.4. <i>Piano Atrio</i> .....	19
5.5. <i>Video della simulazione</i> .....	20
6. Conclusioni .....	23



## 1. PREMESSA

---

Il presente documento riporta i risultati del lavoro svolto per verificare il funzionamento operativo di una stazione metropolitana tipologica di riferimento della linea di estensione della linea M5 della metropolitana milanese (tratta Testi-Gorki, Monza-Brianza) durante condizioni di emergenza.

La stazione tipologica di riferimento è intesa come una soluzione architettonica tipo, valida per tutte le stazioni della nuova tratta, che mantiene inalterati gli elementi caratteristici (piattaforme, risalite, mezzanino) intervenendo con lievi modifiche per adattare la struttura al contesto di intervento.

Attraverso questo esercizio di verifica su base simulativa è possibile verificare il corretto funzionamento della stazione, valutare i livelli di densità e comfort degli utenti ed evidenziare eventuali inefficienze operative, che potrebbero generare problemi di sicurezza e comfort dei passeggeri.

L'utilizzo di software di simulazione dinamica consente di riprodurre dettagliatamente i flussi pedonali durante le normali condizioni di esercizio e scenari di emergenza e verificare molteplici aspetti quali livelli di densità, utilizzo dello spazio, tempi di processamento ed evacuazione.

Il lavoro si articola in tre fasi principali:

- Una prima fase di raccolta ed analisi dei dati, che include la stima dei livelli di domanda attesi, (matrice di traffico di stazione) e dei parametri della simulazione anche attraverso il recepimento della normativa vigente;
- Una seconda fase di implementazione del modello di simulazione, sviluppato attraverso il software di simulazione STEPS e relative simulazioni;
- Una terza fase finalizzata all'analisi e l'interpretazione dei risultati.



## 2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

---

Come premessa generale occorre precisare che le simulazioni pedonali dinamiche vanno intese come strumenti complementari di verifica delle soluzioni progettuali, per quanto riguarda gli scenari di normale esercizio, e di supporto alle verifiche previste dalla normativa vigente per quanto riguarda gli scenari di esodo.

Difatti, pur non esistendo una normativa che faccia riferimento specifico alle simulazioni pedonali dinamiche come strumento di validazione, al giorno d'oggi risulta essere sempre più necessario avvalersi di tali strumenti in fase di progettazione di grandi opere infrastrutturali. Pertanto l'esecuzione di simulazione pedonali dinamiche non ottempera di per sé ad un requisito normativo ma si configura come esercizio supplementare di verifica e validazione.

La progettazione delle infrastrutture metropolitane afferisce a diverse normative, sia di tipo prescrittivo che di tipo qualitativo, volte a facilitare e rendere più sicura la fruizione delle stazioni metropolitane. Per quanto concerne la progettazione architettonica di stazioni metropolitane, ad oggi la normativa di riferimento rimane la UNI 7744, dove si dichiarano i criteri di dimensionamento dei vari sottosistemi infrastrutturali. Occorre comunque precisare che il presente studio non ha come obiettivo la verifica della corretta applicazione delle norme ma recepisce il progetto architettonico assumendo la sostanziale rispondenza alle stesse.

Per quanto concerne gli scenari di esodo la simulazione recepisce le prescrizioni di verifica normativa immediatamente applicabili, come i livelli di affollamento, l'uso e la disponibilità delle connessioni verticali e direttamente verificabili, come i tempi di evacuazione. Il quadro normativo di riferimento è il Decreto Ministeriale del 21 ottobre 2015 "**Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane**" (15A08046), che definisce la regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane. Questa nuova normativa si basa sulle prescrizioni previste da alcune precedenti norme tecniche anti-incendio, tra cui:

- D. Lgs. - 8 Marzo 2006 (n.139);
- D.P.R. 1° agosto 2011, nr 151;
- D.M. Trasporti 11 gennaio 1988 – specifico sulla prevenzione incendi nelle metropolitane;
- D.M. Interno 9 marzo 2007 - Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni;
- D.M. Interno 9 maggio 2007;
- D.M. Interno 20 dicembre 2012;

Le disposizioni del decreto si applicano alla progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane, definite nella regola tecnica come: "*sistema di trasporto rapido di massa, di elevata portata e frequenza nell'ambito delle conurbazioni, costituito da veicoli automotori o rimorchiati dai medesimi, a guida vincolata con circolazione regolata da segnali e completamente autonoma da qualsiasi altro tipo di traffico*" (norma UNIFER 8379). Il sistema "*comprende anche le metropolitane leggere ed è caratterizzato da una sede propria isolata e da una sede, escluso l'armamento e la linea elettrica di trazione, stazioni, pozzi di intertratta e di ventilazione, opere accessorie ed impianti*".

### 2.1. IL D.M. DEL 21 OTTOBRE 2015

Come anticipato nel precedente paragrafo ai fini della costruzione e validazione della simulazione pedonale relativa allo scenario di evacuazione si fa riferimento ai contenuti del D.M. 21/10/2015 e



l'allegato 1 ("Regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane in condizioni di sicurezza"). Si riportano di seguito gli stralci più significativi della normativa relativamente al tempo massimo di esodo consentito, livelli di affollamento e gestione delle dotazioni.

### **2.1.1. CAPO IV.1: TEMPO MASSIMO DI PERCORRENZA DEL PERCORSO DI SFOLLAMENTO**

*(...) Il tempo massimo di sfollamento verso un luogo sicuro sia di massimo 10 minuti, così costituiti:*

*Galleria di stazione: non oltre 4 minuti dal capo più lontano dalla all'imbocco del percorso protetto più vicino;*

*Percorsi protetti: non oltre 6 minuti ad un luogo sicuro.*

- *I tempi sono calcolati dal momento in cui il primo passeggero sbarca sulla banchina fino a quando l'ultima persona presente nel percorso di sfollamento raggiunge un luogo sicuro.*
- *Nell'ipotesi di sfollamento dalla banchina in tempi inferiori a 4min, è ammesso sommare il tempo residuo ai 6 min. previsti per la concorrenza dei percorsi protetti, per un tempo totale comunque non superiore ai 10 min. prescritti*

### **2.1.2. CAPO IV.3: AFFOLLAMENTO**

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

*a) Il numero di 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/m<sup>2</sup>, 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.*

- *Il numero di passeggeri presenti in banchina, assunto pari a: 1,5 pers/m<sup>2</sup> per stazioni di corrispondenza o interscambio modale; 1,0 pers/m<sup>2</sup> per stazioni di transito o terminali.*

*2. L'area di banchina da prendere a riferimento per i passeggeri presenti in banchina è costituita dal prodotto della lunghezza della banchina per la larghezza utile, da intendersi come definita dalla norma UNI 7508, diminuita di un franco pari a 20cm, per tener conto del naturale comportamento delle persone a distanziarsi dalle pareti.*

*5. Per il calcolo dell'affollamento durante l'emergenza, deve essere presa in considerazione anche una quota di persone potenzialmente presenti nei percorsi di sfollamento, tra la linea dei tornelli e le banchine, pari a 0,1 pers/m<sup>2</sup>.*

### **2.1.3. CAPO IV.7: SCALE MOBILI**

*1. Le scale mobili a servizio di ciascun dislivello da superare, possono essere considerate nel dimensionamento dei percorsi di sfollamento, con le modalità indicate al successivo punto 2.*

*2. Ai fini del dimensionamento dei percorsi di sfollamento, sono ammessi due tipi di gestione delle scale mobili, in caso di emergenza, che devono essere oggetto di specifica valutazione e definizione nel piano di emergenza di cui al capo VIII:*

- *blocco delle n scale mobili all'attivazione del sistema di allarme: le n-1 scale mobili per ciascun dislivello potranno essere dimensionate come scale ordinarie, secondo i parametri riportati nell'appendice tecnica, tenendo presente che quelle aventi larghezza pari o superiore a 100 cm possono considerarsi portatrici di un flusso doppio rispetto a quelle di dimensioni minori. Le scale mobili da considerare ai fini del computo, devono essere quelle che creano le condizioni più sfavorevoli ai fini dello sfollamento;*



- *all'attivazione dell'allarme le scale continuano a funzionare e quelle che hanno un verso contrario alla direzione dell'esodo invertono il senso di marcia, dopo fermata con apposita segnalazione e ripartenza graduale fino alla velocità di marcia, tenendo conto dell'incolumità delle persone: i flussi di esodo sono posti pari alla portata massima prevista dalle scale mobili. In questo caso le scale mobili devono essere alimentate da almeno due fonti di energia elettrica alternative, commutabili automaticamente. Con questo tipo di gestione i flussi di esodo saranno posti pari alla portata massima prevista dalle scale mobili.*

*3. Il vano motore delle scale mobili deve essere protetto con impianto automatico di spegnimento.*

#### **2.1.4. CAPO IV.9: TORNELLI E VARCHI**

*(..) In caso di incendio, deve essere garantita l'apertura automatica e permanente delle linee di controllo, al fine di consentire l'esodo delle persone presenti all'interno della stazione.*



### **3. SIMULAZIONE DINAMICA DEI PASSEGGERI**

---

#### **3.1. OBIETTIVI**

La simulazione pedonale è un strumento di valutazione predittiva utile alla comprensione di fenomeni complessi relativi alle dinamiche pedonali, in diversi contesti ed in particolare nei terminal di trasporto. Una simulazione dinamica permette un'analisi verosimile dei movimenti dei passeggeri all'interno di una stazione consentendo di valutare gli effetti dei flussi all'interno dell'infrastruttura di transito.

In particolare, le simulazioni consentono di:

- comprendere gli effettivi percorsi dei flussi pedonali;
- migliorare l'analisi dell'efficienza funzionale del layout di stazione;
- comprendere gli effetti della congestione dei flussi;
- verificare la capacità ed il corretto dimensionamento delle risalite verticali;
- verificare i tempi di ritardo, colli di bottiglia ed altri fenomeni che possono peggiorare l'esperienza dei passeggeri;

#### **3.2. ANALISI DI PROCESSO DI EVACUAZIONE**

La simulazione multi-agente considera ogni entità autonoma nelle scelte e consente di registrare i fenomeni percepiti a livello individuale. In particolare, l'utilità di una simulazione dinamica in caso di esodo, permette di verificare le seguenti dinamiche:

- verifica dell'efficienza e rapidità di esodo in caso di emergenza
- indicazione visiva (rendering video) dei flussi passeggeri stazione
- stato di congestione della stazione
- analisi delle condizioni di efficienza e comfort (code, colli di bottiglie)
- valutare se particolari elementi architettonici e/o adeguamenti geometrici possano agevolare o intralciare il deflusso
- misurare la densità di affollamento in zone sensibili della stazione
- verificare gli effetti di incrementi di velocità dei sistemi di traslazione meccanici (scale mobili, ascensori, tappeti mobili)

#### **3.3. IL SOFTWARE DI SIMULAZIONE**

Il software di simulazione adottato per questo esercizio è STEPS (Simulation of Transient Evacuation and Pedestrian movements), sviluppato da Mott MacDonald UK.

Il software utilizza sistemi di ultima generazione che consentono di prevedere il movimento di individui (persone virtuali), sia in condizioni di normale esercizio che in scenari di emergenza, in ambiente 3D, permettendo una rappresentazione realistica e dunque una verifica di dettaglio dei contesti analizzati.

Ogni utente, concepito quindi come singolo individuo, si muove nello spazio simulato con delle specifiche caratteristiche che riguardano velocità, scelta del percorso e familiarità con l'ambiente.





La validità del software è stata certificata attraverso numerosi test di verifica, comparazione con normative standard internazionali (NFPA 130 and IMO 1033) e validazioni in contesti reali.

STEPS è infatti utilizzato da numerose aziende ed enti pubblici nell'analisi e validazione di grandi opere infrastrutturali. I principali lavori sviluppati con STEPS sono il London Heathrow Terminal 5 (UK), il New Yankee Stadium (USA), l'aeroporto di Delhi (India) e molti altri.

### 3.3.1. OUTPUT DELLA SIMULAZIONE

Il software consente di analizzare i risultati delle simulazioni per mezzo di video dinamici della simulazione stessa, mappe per la visualizzazione dei livelli densità e uso dello spazio e infine dati numerici sotto forma di grafici o tabellari.

In particolare, per l'analisi dei risultati negli scenari di normale esercizio si fa riferimento ai seguenti output:

- **Mappe di utilizzo dello spazio**, registrano il tempo cumulativo di utilizzo (per analogia si intenda il livello di "usura" delle superfici calpestabili) dei passeggeri in una determinata superficie, espresso in minuti e secondi, il blu rappresenta il tempo minimo, il rosso il tempo massimo;

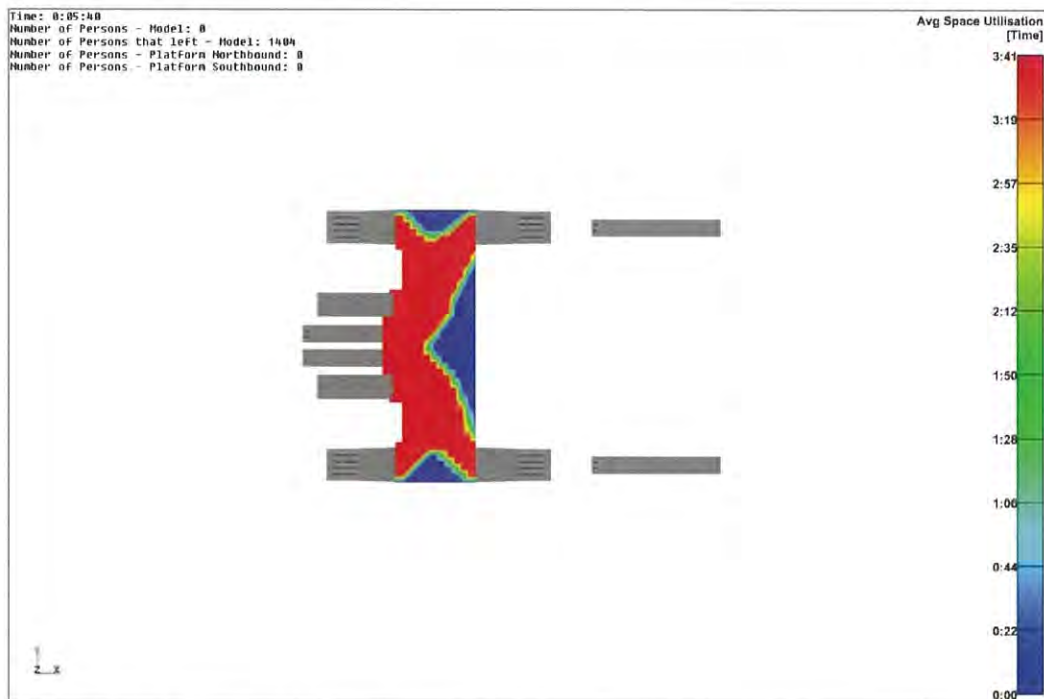


Figura 1 - Livello atrio, Utilizzazione dello spazio

- **Grafici dei livelli di affollamento**: individuano il numero di passeggeri presenti in una determinata area durante la simulazione;

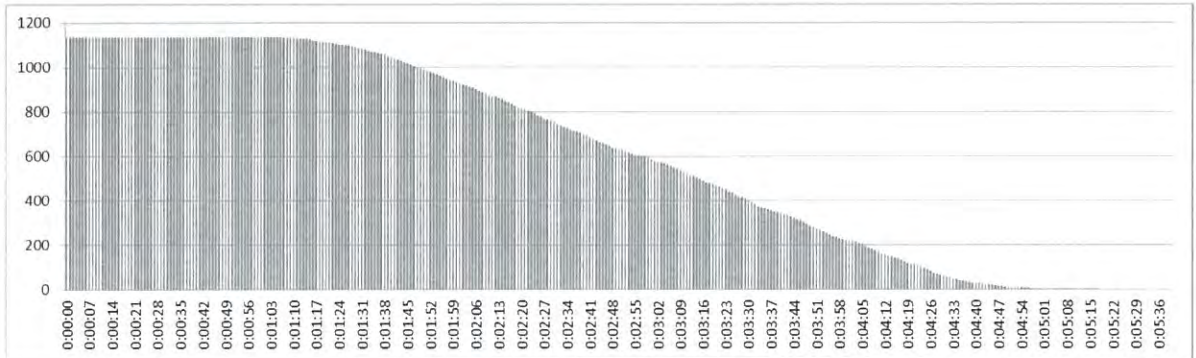


Figura 2 - Numero passeggeri registrati in banchina verso Monza



## 4. SCENARIO DI EVACUAZIONE

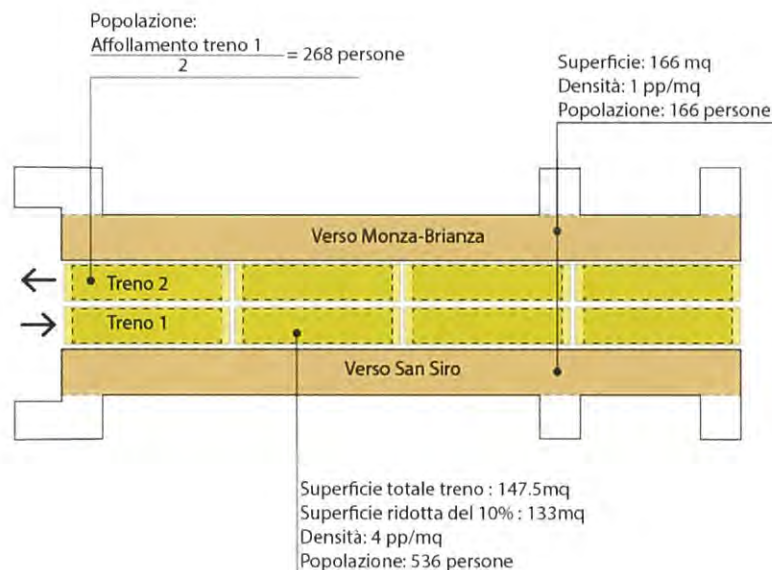
Nella definizione dello scenario di evacuazione oggetto della simulazione dinamica sono state prese in considerazione le prescrizioni del Decreto Ministeriale 21/10/2015 " **Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane**" e relativi allegati come espressi nel capitolo 2 del presente documento.

Tali prescrizioni sono state utilizzate nella definizione delle assunzioni necessarie allo sviluppo della simulazione, in particolare hanno consentito di determinare: il numero di passeggeri da evacuare, l'utilizzo e la disponibilità delle connessioni verticali e dei tornelli presenti nella stazione e il tempo di esodo dei passeggeri ai fini della validazione.

### 4.1. DEFINIZIONE DEL NUMERO DI PASSEGGERI DA EVACUARE (RIF. CAPO IV.3)

Il numero di passeggeri da evacuare è stato determinato facendo riferimento al capo IV.3 dell'allegato 1 del DM 21/10/2015 che, nel definire i criteri progettuali per l'esodo delle metropolitane, indica che i livelli di affollamento siano determinati come segue:

- Un treno sia popolato a massima capacità, determinata considerando una densità di 4 pp/mq su una superficie pari a quella lorda del treno diminuita del 10%;
- Nel caso di banchine a isola o con tratti di esodo in comune con l'altra banchina, il livello di affollamento del treno va incrementato di un fattore moltiplicativo pari a 1,5;
- Le banchine delle stazioni di transito siano popolate considerando una densità di 1pp/mq.





In definitiva quindi su una delle due banchine i passeggeri da evacuare saranno 536 (treno)+166(banchina), mentre sull'altra saranno  $536/2=268$  (treno)+166(banchina), per un totale di  $702+434=1136$  passeggeri presenti in stazione da evacuare.

Valori di domanda nello scenario di esodo			
Origine esodo	Destinazione esodo	Superficie (mq)	Totale
Banchina verso Monza-Brianza	Strada	166	166
Banchina verso San Siro	Strada	166	166
Treno verso San Siro	Strada	134	536
Treno verso Monza-Brianza	Strada	134	268
Totale			1136

Figura 3– Passeggeri da evacuare nello scenario di esodo

#### 4.2. UTILIZZO E DISPONIBILITÀ DELLE CONNESSIONI VERTICALI E DEFINIZIONE DELLO SCENARIO DI ESODO (RIF. CAPO IV.7-8-9)

Ai capi IV.7-8-9 dell'allegato 1 del DM 21/10/2015 si definiscono i criteri da utilizzare nella progettazione per l'esodo delle metropolitane relativi all'utilizzo di scale mobili, ascensori e tornelli.

In particolare ai fini della simulazione sono state considerate le seguenti assunzioni:

- **Scale mobili:** tra le due opzioni di gestione delle stesse descritte al capo IV.7 si considera la prima, risultando inoltre la più conservativa, che prevede una scala mobile per piano fuori uso (inibita) e tutte le altre considerate ferme quindi utilizzabili come scale fisse;
- **Gli ascensori:** benché a progetto gli ascensori previsti sono utilizzabili anche in condizioni di emergenza, nella presente simulazione si è preferito, come ulteriore fattore di sicurezza, considerarli interdetti;
- **Tornelli:** apertura automatica e permanente durante l'evacuazione.

Si specifica che la scelta di quali scale uso considerare fuori uso ricade su quelle in servizio o più prossime alla banchina maggiormente caricata ossia quella su cui il treno presente in stazione scarica.

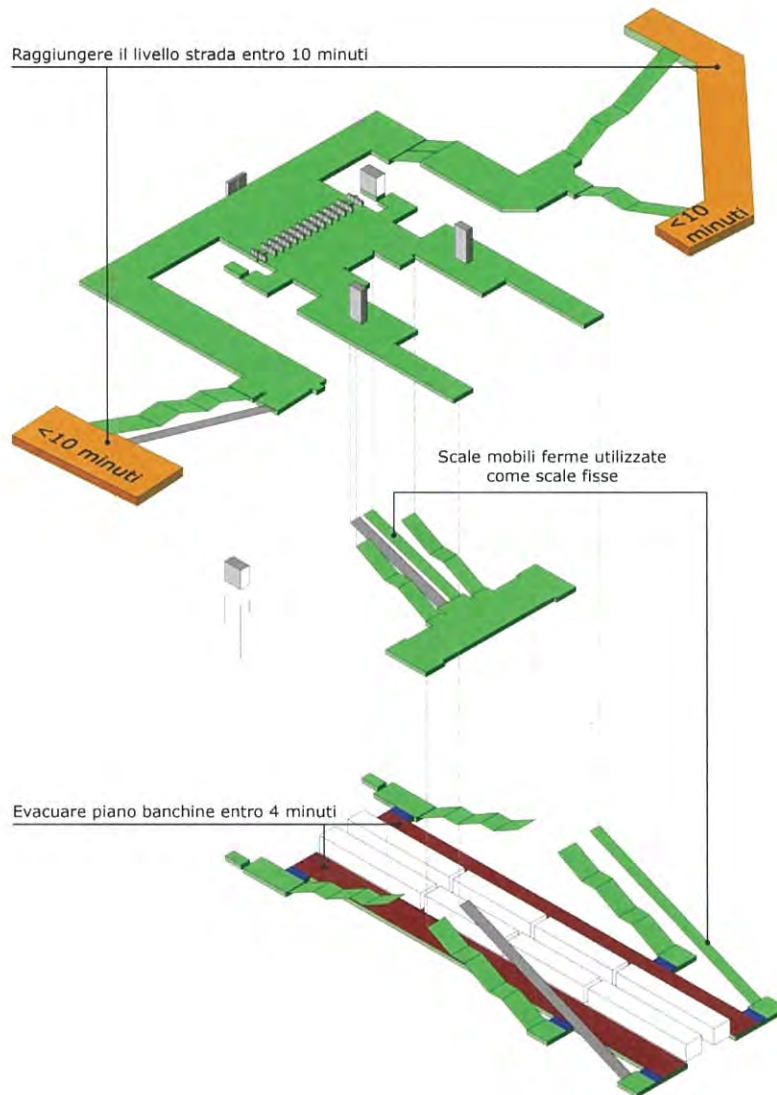







Figura 4 - Rappresentazione semplificata della stazione tipologica, configurazione in caso di emergenza

-  Aree banchine da evacuare entro massimo 4 minuti
-  Aree protette
-  Area da evacuare entro i 10 minuti
-  Area protetta
-  Scale mobili considerate fuori servizio durante la simulazione di esodo

Analizzando il layout della stazione, relativamente alla configurazione di esodo passeggeri, si possono evidenziare due macro-aree funzionali, la prima relativa alle zone delle banchine (rosso) e il percorso protetto, che garantisce una continuità sino alle uscite della stazione (arancio). Le aree illustrate in blu delimitano le aree protette dal sistema di compartimentazione dinamica previsto per il contenimento di eventuali fumi causati da incendi.



### 4.3. TEMPO DI ESODO (CAPO IV.1)

Per quanto concerne i criteri di validazione della stazione, analogamente a quanto espresso al capo IV.1 dell'allegato 1 del DM 21/10/2015, la stazione risulta conforme alla normativa se:

- Al piano banchine tutti i passeggeri imboccano l'area protetta entro 4 minuti
- Tutti i passeggeri raggiungono un luogo sicuro entro 10 minuti

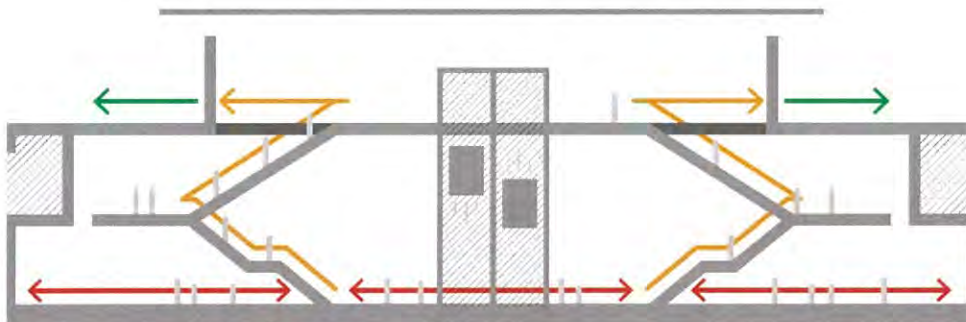


Figura 5 - Sezione di una stazione metropolitana esemplificativa, volta ad illustrare le due tempistiche di esodo in caso di emergenza, come previste dalla normativa di riferimento. In rosso i percorsi a livello banchine da evacuare entro 4 minuti, mentre in arancio i percorsi da evacuare entro 10 minuti. Riproduzione propria.



## 5. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE

### 5.1. OSSERVAZIONI

La stazione presa in esame, considerando i valori di domanda così come definiti nel presente documento, non presenta nessuna criticità. Come indicato nelle a figura 4 la stazione risulta evacuata quando tutti i passeggeri raggiungono il limite fisico corrispondente all'ultimo gradino delle rampe di scale che portano al piano campagna. L'ultimo passeggero evacua la stazione al minuto 5:18, largamente sotto la soglia dei 10:00 minuti prevista dal Decreto Ministeriale del 2015.

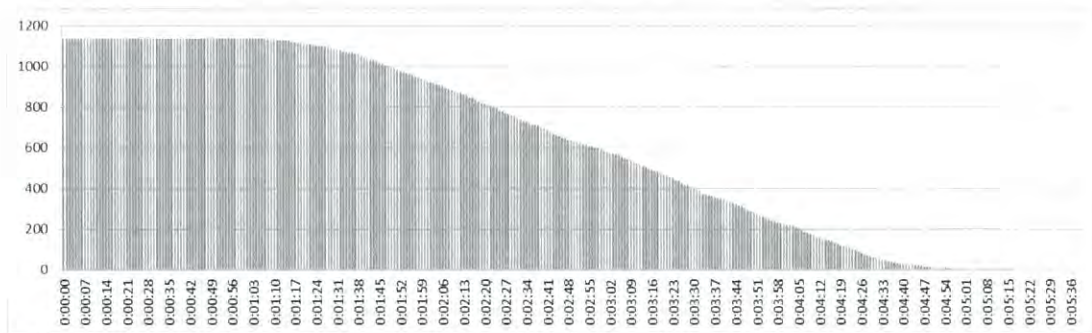


Figura 6 - Passeggeri complessivi registrati durante il processo di esodo (passeggeri nell'asse delle ordinate, tempo della simulazione nell'asse delle ascisse)

I seguenti grafici mostrano i livelli di utilizzo delle due uscite in strada. Lo sbilanciamento nella scelta delle uscite, come riportato nei seguenti grafici, è dovuto sia a potenziali comportamenti delle persone in condizioni di emergenza, che tendono a seguirsi l'un l'altro, che agli algoritmi del software, che guidano gli utenti verso l'uscita più vicina.

Occorre precisare che i grafici relativi alle uscite registrano agenti anche qualche secondo dopo il tempo registrato per l'evacuazione. Questo scostamento temporale è dovuto al tempo necessario tra il raggiungimento della soglia del luogo e sicuro e l'estrazione dell'ultimo agente dal modello.

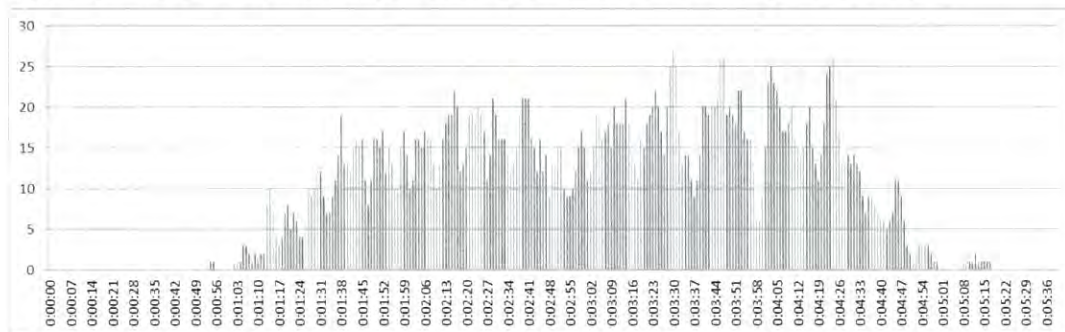


Figura 7 - Passeggeri registrati che evacuano la stazione verso l'uscita 01 (passeggeri nell'asse delle ordinate, tempo della simulazione nell'asse delle ascisse)

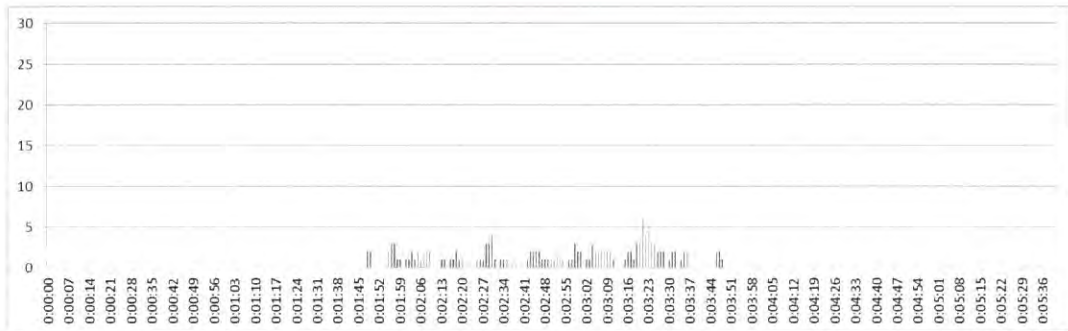


Figura 8 - Passeggeri registrati che evacuano la stazione verso l'uscita 02 (passeggeri nell'asse delle ordinate, tempo della simulazione nell'asse delle ascisse)

## 5.2. PIANO BANCHINE

Il sistema di compartimentazione dinamica, garantita dalla ventilazione di emergenza prevista, consente di considerare già area protetta la superficie compresa tra l'imbocco della scale e il perimetro dell'area di attesa della piattaforma (come indicato nella figura 4). Tutti i passeggeri devono varcare questa soglia, quindi evacuare le banchine, entro 4 minuti, soglia temporale ampiamente rispettata in entrambe le banchine.

In particolare, si registrano 1:01 minuti per evacuare la banchina verso Monza e 2:52 minuti per la banchina verso San Siro.

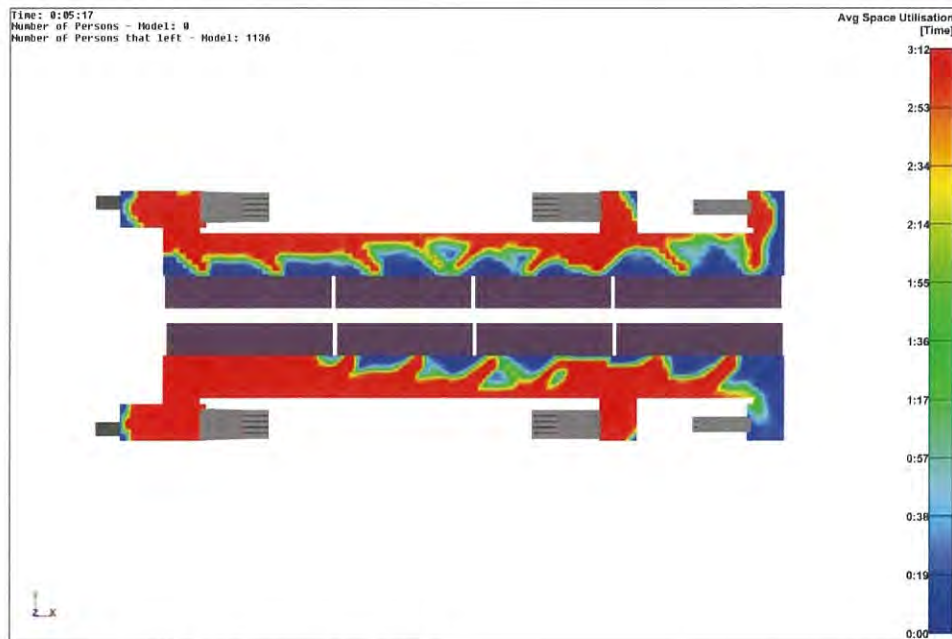


Figura 9 – Piano banchine, Utilizzazione dello spazio



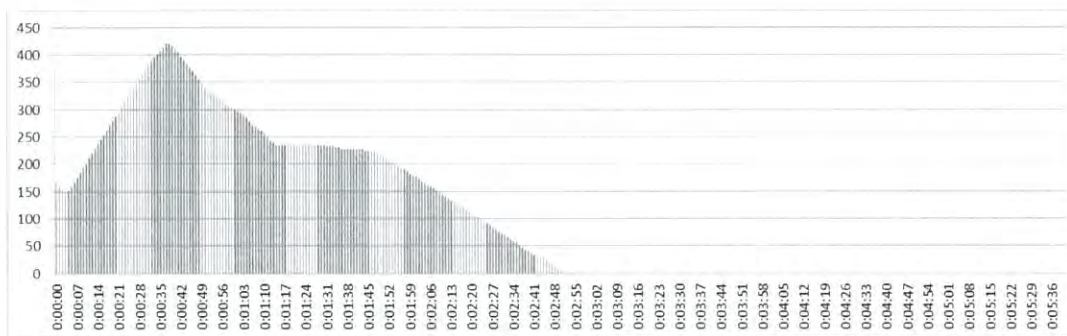


Figura 10 - Numero passeggeri registrati in banchina verso San Siro (passeggeri nell'asse delle ordinate, tempo della simulazione nell'asse delle ascisse)

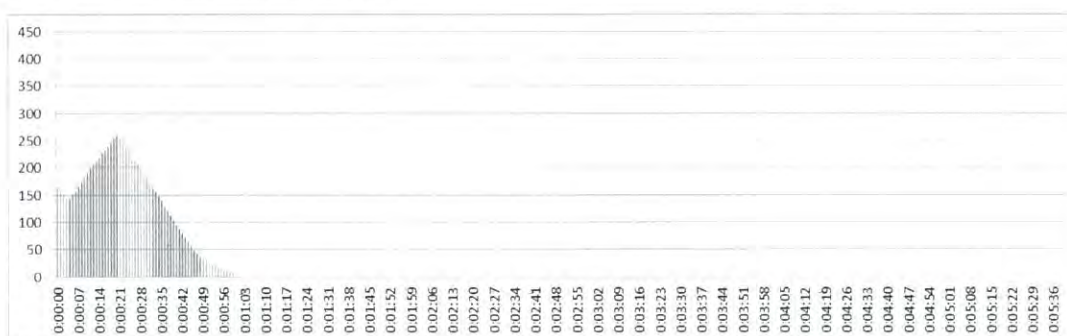


Figura 11 - Numero passeggeri registrati in banchina verso Monza (passeggeri nell'asse delle ordinate, tempo della simulazione nell'asse delle ascisse)



### 5.3. PIANO AMMEZZATO

Il piano ammezzato permette una corretta evacuazione dei flussi pedonali, in quanto il corpo scale centrale di connessione con il livello atrio, risulta ben visibile e ben dimensionato. Anche in questo caso, una delle due scale mobili è fuori servizio, mentre l'altra è utilizzata come scala fissa. L'ultimo passeggero evacua il piano ammezzato al minuto 3:22.

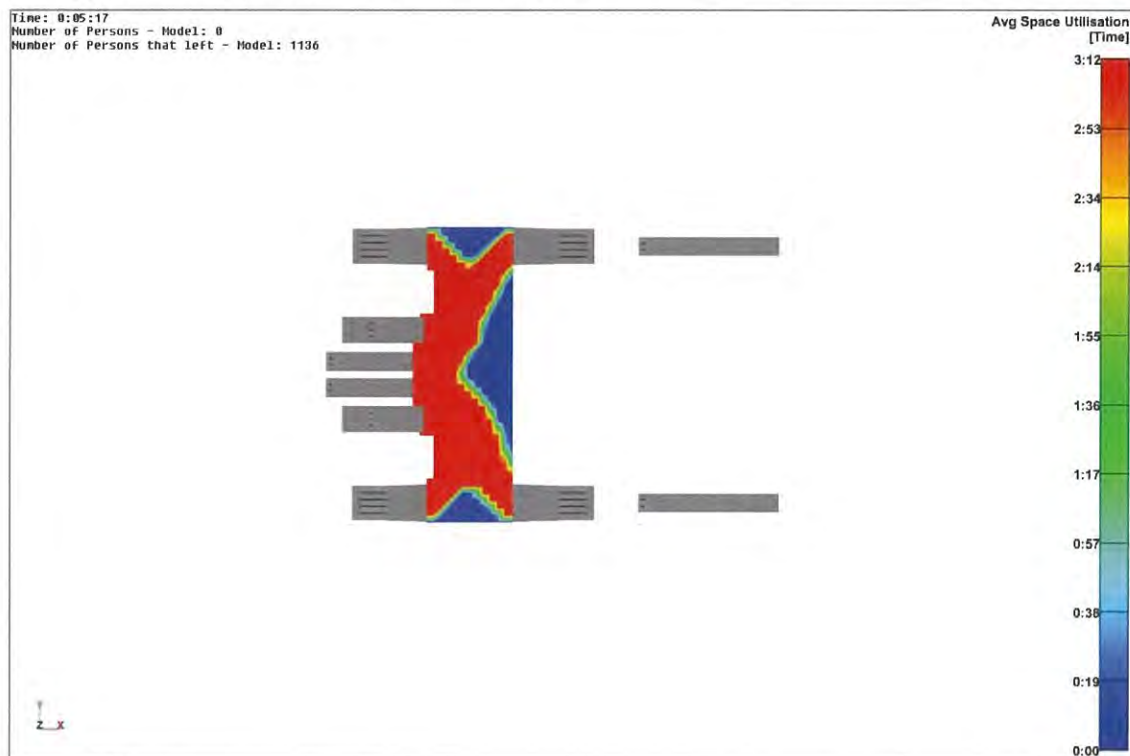


Figura 12 - Livello atrio, Utilizzazione dello spazio

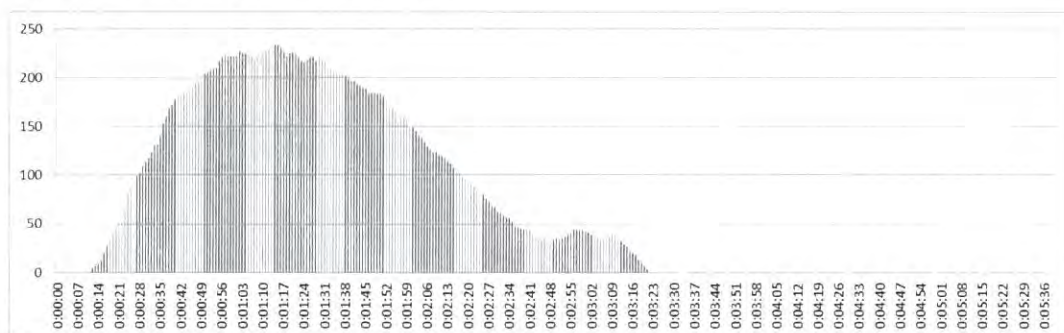


Figura 13 - Numero passeggeri registrati nel piano ammezzato (passeggeri nell'asse delle ordinate, tempo della simulazione nell'asse delle ascisse)



## 5.4. PIANO ATRIO

Anche al piano atrio i flussi di passeggeri si distribuiscono in maniera fluida e senza particolari rallentamenti. Entrambi i corridoi di connessione con il piano campagna (considerato luogo sicuro) hanno una buona capacità di flusso e le risalite verticali sembrano rispondere correttamente anche a elevate concentrazioni di passeggeri. Considerando come limite fisico il primo gradino dei banchi di scale che portano dal piano atrio al piano campagna, l'ultimo passeggero evacua il piano atrio al minuto 04:50.

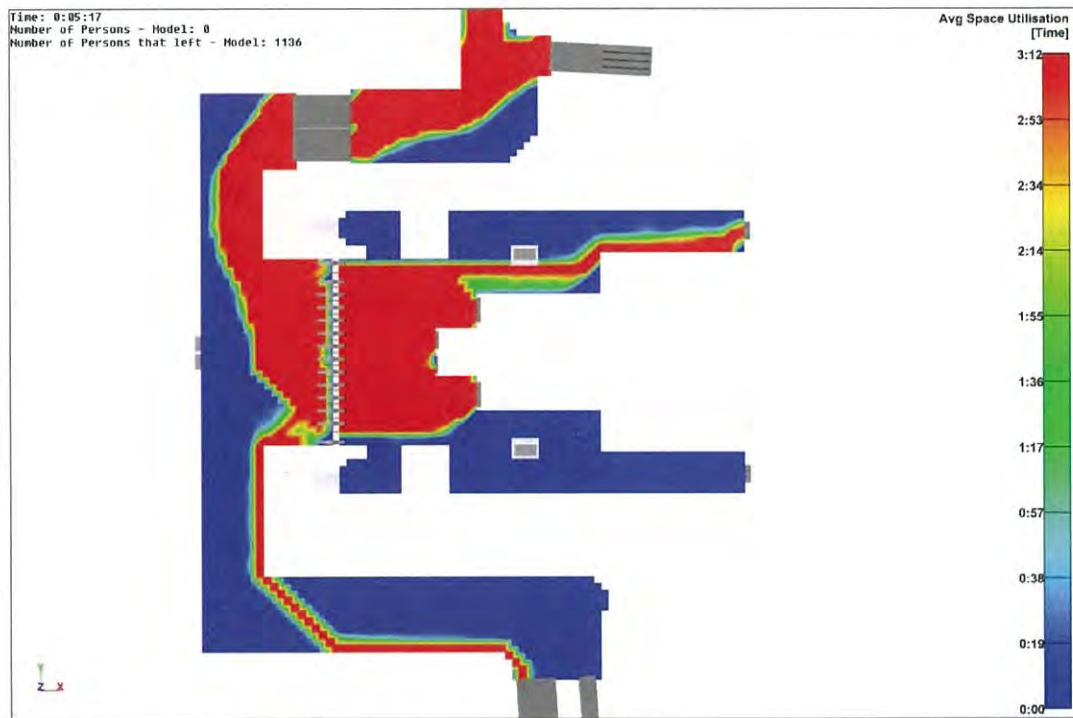


Figura 14 - Livello atrio, Utilizzazione dello spazio

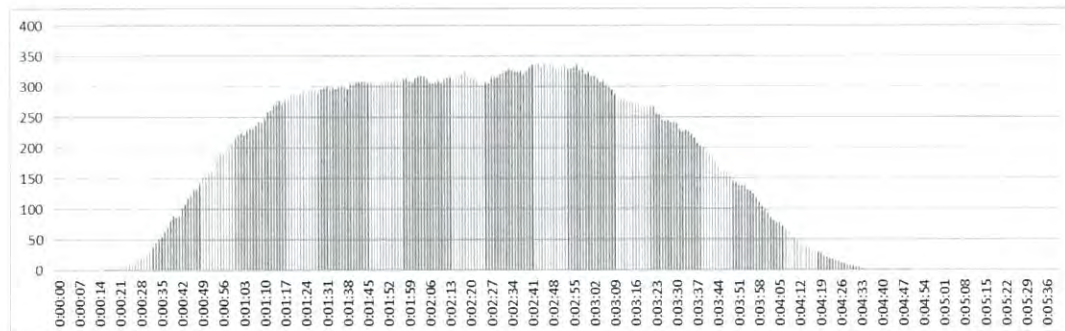


Figura 15 - Numero Passeggeri registrati al livello atrio (passeggeri nell'asse delle ordinate, tempo della simulazione nell'asse delle ascisse)



## 5.5. VIDEO DELLA SIMULAZIONE

Le seguenti immagini rappresentano i frame più significativi del video della simulazione che descrive dinamicamente l'esodo dei passeggeri provenienti dalle banchine e diretti verso le uscite.

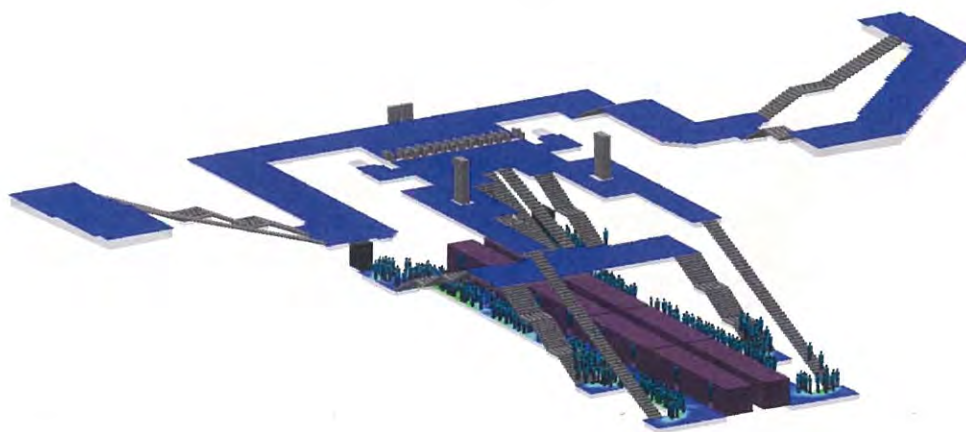


Figura 16 – Time 00:00:00 | Inizio simulazione | Passeggeri rimanenti: 1136

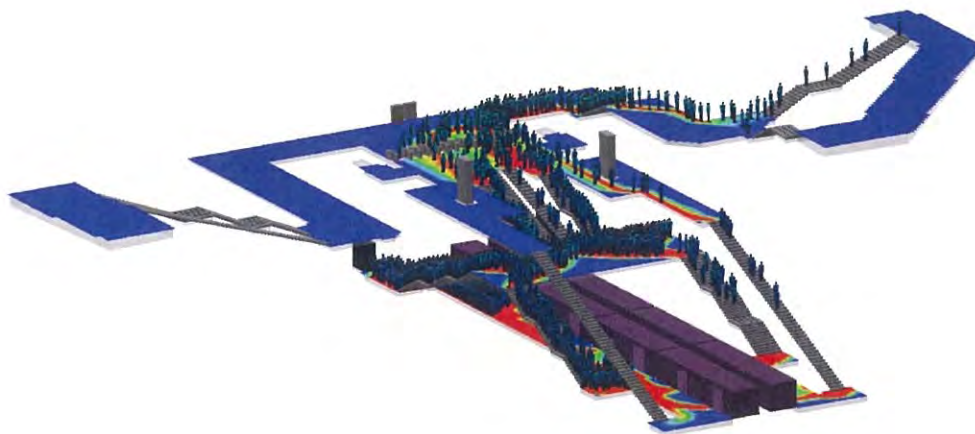


Figura 17 – Time 00:01:01 | Banchina verso Monza evacuata | Passeggeri rimanenti: 1135

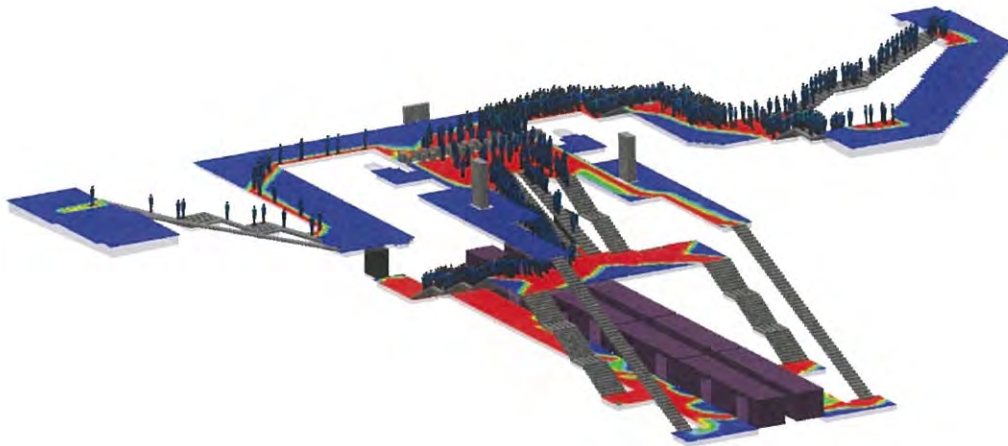


Figura 18 – Time 00:02:52 | Piattaforme evacuate | Passeggeri rimanenti: 613

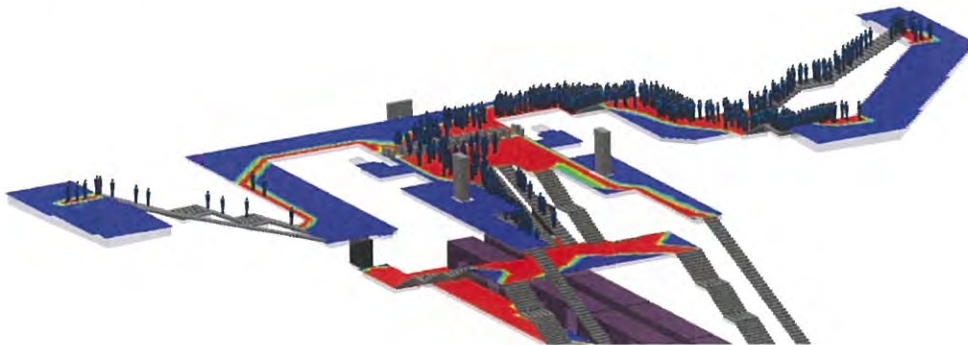


Figura 19 – Time 00:03:22 | Mezzanino evacuato | Passeggeri rimanenti: 452

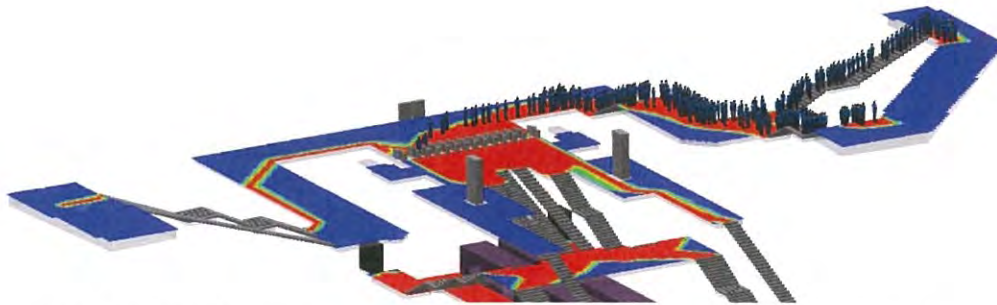


Figura 20 – Time 00:03:40 | Ultimo passeggero varca la linea dei tornelli | Passeggeri rimanenti: 266

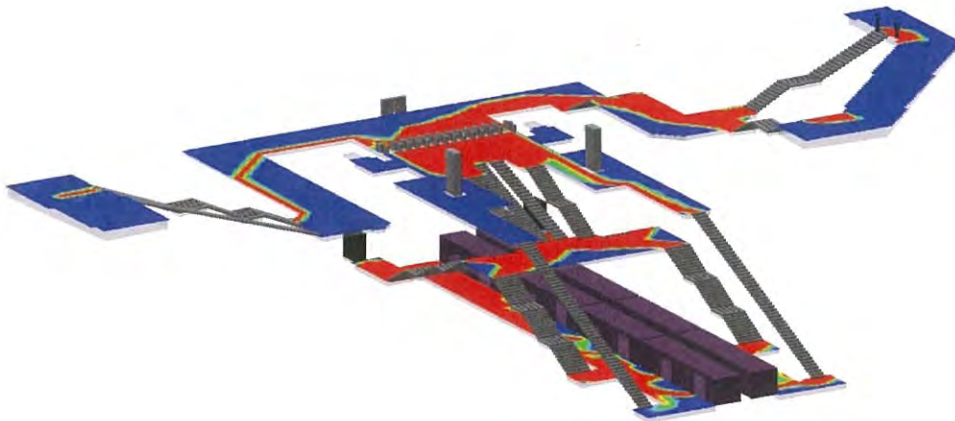


Figura 21 – Time 00:05:18 | Stazione evacuata | Passeggeri rimanenti: 0



## 6. CONCLUSIONI

La stazione tipologica presa in esame durante lo scenario di esodo non evidenzia nessuna particolare criticità. La seguente tabella riassume i valori principali registrati nella simulazione.

Risultati simulazione di esodo passeggeri			
Origine esodo	DM 2015	Tempo registrato	Risultato
Raggiungimento area protetta	4 min	02:52	Validato
Evacuazione della stazione	10 min	05:18	Validato

Figura 22 – Valori temporali registrati per evacuare le aree della stazione

Va inoltre specificato che è stata sviluppata un'analisi integrativa che ha previsto l'implementazione di una simulazione dinamica in uno scenario di esodo così come espresso nell'opzione 2 del capo IV.7 dell'allegato 1 del D.M. 21/10/2015, in cui l'utilizzo delle scale mobili è stato considerato come prescritto: *"all'attivazione dell'allarme le scale continuano a funzionare e quelle che hanno un verso contrario alla direzione dell'esodo invertono il senso di marcia (...)"*.

La simulazione sviluppata su queste assunzioni, meno conservative, risulta ampiamente validata con tempi di evacuazione ancora minori rispetto all'opzione 1.

