



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



PROLUNGAMENTO M5 A MONZA

CUP B94D17000000001

PPM_CDM-01

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

Simulazioni dinamiche transito passeggeri - Stazione tipo

 Dott. Ing. FRANCESCO VENZA IL DIRETTORE TECNICO DOTT. ING. FRANCESCO VENZA Ordine degli Ingegneri di Milano n° 12847		 DOTT. ING. BRANCA MASSIMILIANO Sez. A Sr a) civile e am. IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE FRA LE VARIE PRESTAZIONI SPECIALI ATTICHE DOTT. ING. MASSIMILIANO BRANCA Ordine degli Ingegneri di Milano n° A18828		 DOTT. ING. BRANCA MASSIMILIANO Sez. A Sr a) civile e am. 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

Commessa

DM

Lotto

0

Fase

P

Categoria

G

Opera

RE

Progressivo

0084

PAGINE TOTALI 39





INDICE

1. Premessa	4
2. Quadro normativo di riferimento.....	5
3. Simulazione dinamica dei passeggeri	6
3.1. <i>Obiettivi</i>	6
3.2. <i>Il software di simulazione</i>	6
3.2.1. <i>Output della simulazione</i>	6
4. Soglie di analisi e Livelli di Servizio	9
5. Domanda passeggeri	11
5.1. <i>Matrice di Origine e Destinazione</i>	12
5.2. <i>Profili di domanda</i>	13
5.3. <i>Composizione dei passeggeri</i>	15
6. Il modello di simulazione	17
6.1. <i>Parametri di simulazione</i>	19
7. Risultati della simulazione dinamica	20
7.1. <i>Scenari di simulazione</i>	20
7.2. <i>Scenario dell'ora di punta del Mattino</i>	20
7.2.1. <i>Scenario del mattino - Piano Atrio</i>	21
7.2.2. <i>Scenario del mattino - Piano Ammezzato</i>	23
7.2.3. <i>Scenario del mattino - Piano Banchine</i>	25
7.2.4. <i>Scenario del mattino – video della simulazione</i>	27
7.3. <i>Scenario dell'ora di punta del pomeriggio</i>	29
7.3.1. <i>Scenario del pomeriggio - Piano Atrio</i>	29
7.3.2. <i>Scenario del pomeriggio - Piano Ammezzato</i>	33
7.3.3. <i>Scenario del pomeriggio - Piano Banchine</i>	34
7.3.4. <i>Scenario del mattino – video della simulazione</i>	37
7.4. <i>Conclusioni</i>	39



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 normale esercizio nelle ore di picco del mattino e del pomeriggio tramite simulazione dinamica dei passeggeri.

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.



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 terminali 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. 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.

3.2.1. 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 di 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 densità**, esprimono i livelli di densità media registrata dagli agenti durante l'ora simulata espressa come persone al metro quadro. Come descritto nel capitolo 4 le soglie di densità sono codificate mediante Livelli di Servizio;

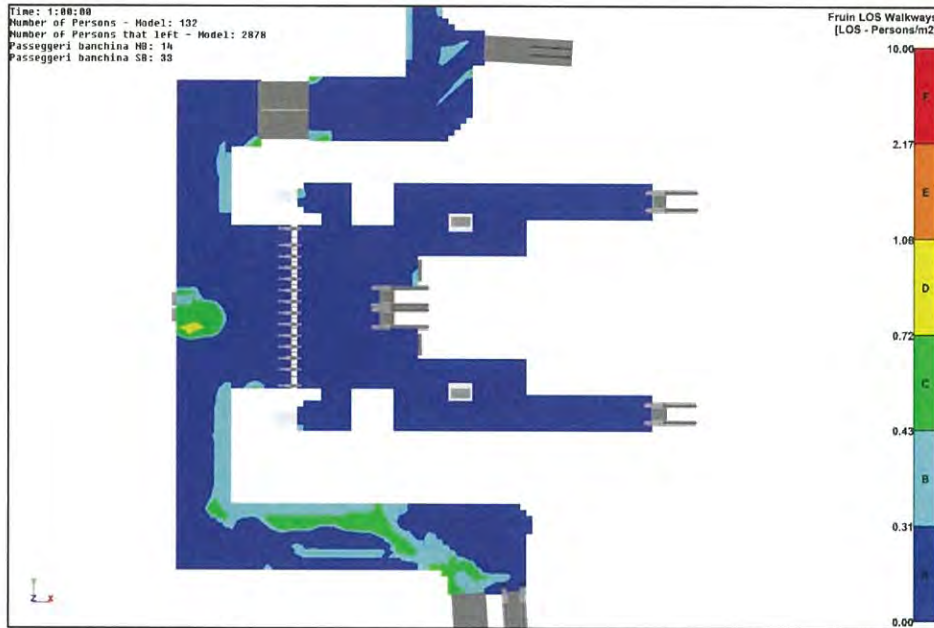


Figura 1 – Esempio: Mappa di densità

- **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;

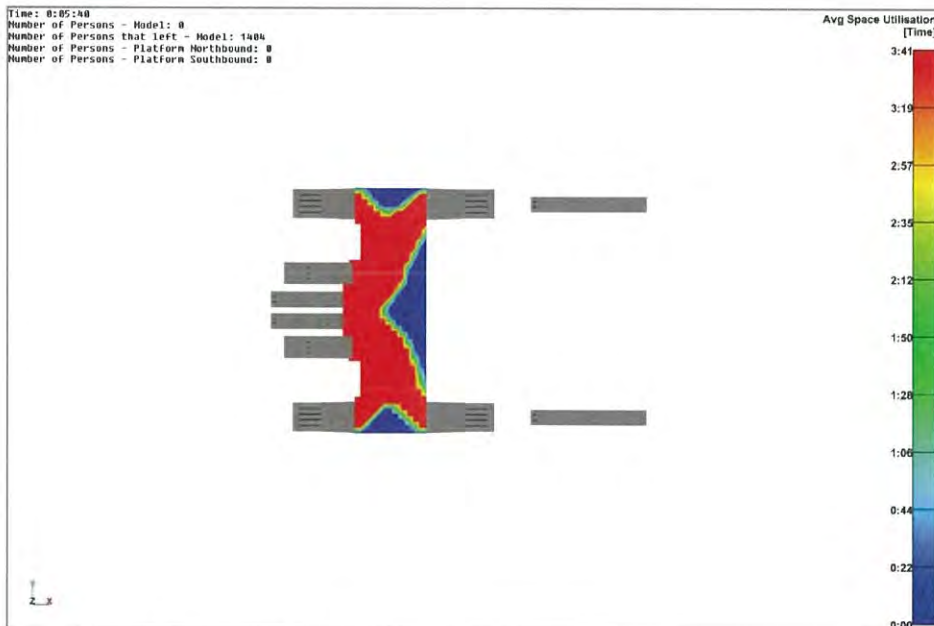


Figura 2 – Esempio: Utilizzazione dello spazio



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

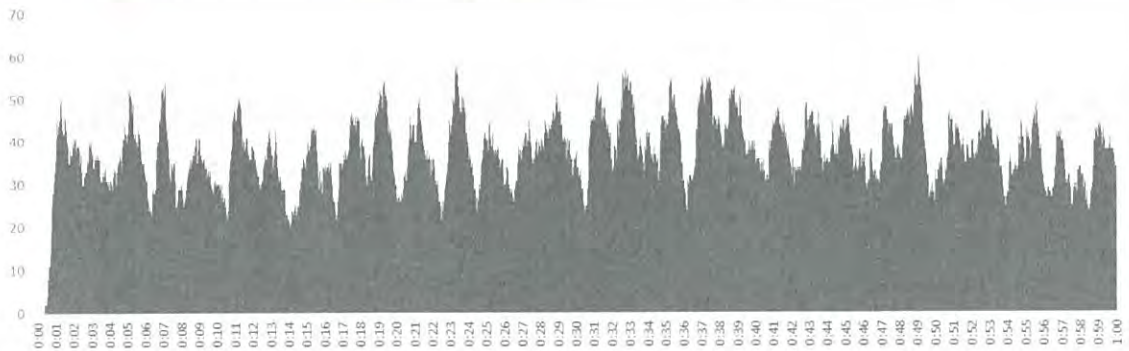


Figura 3 – Esempio: Numero passeggeri registrati al piano ammezzato

- **Grafici di utilizzo di sottosistemi:** individuano in numero di passeggeri che attraversano una determinata soglia durante l'ora simulata (valori medi aggregati 60 secondi).

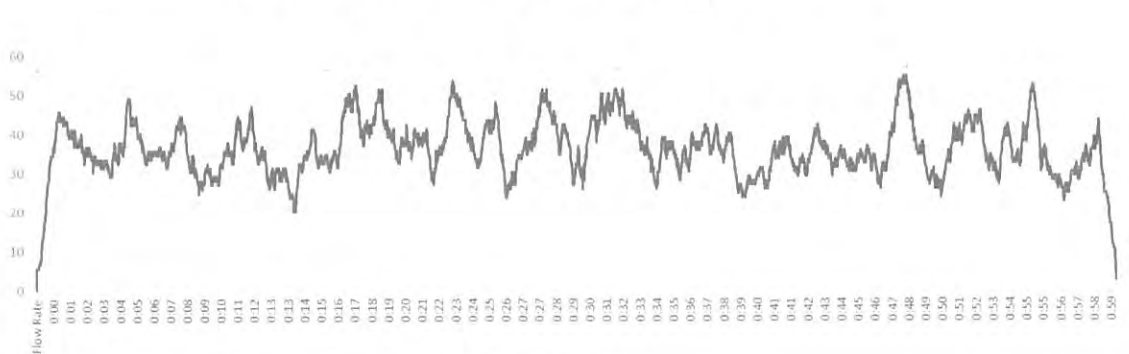


Figura 4 - Esempio: Numero passeggeri registrati in uscita tornelli



4. SOGLIE DI ANALISI E LIVELLI DI SERVIZIO

I risultati delle simulazioni pedonali, in termini di densità e relativo comfort dei passeggeri, sono convenzionalmente misurati e rappresentati attraverso l'approccio per Livelli di Servizio (LOS) teorizzati all'inizio degli anni sessanta da John Fruin.

I Livelli di Servizio nell'ambito pedonale sono degli indicatori che definiscono l'occupazione dello spazio in termini di densità. Questa classificazione definisce degli indicatori sintetici che rappresentano le densità percepite dagli utenti in una determinata superficie, individuando sei soglie (da A ad F) che vanno dal deflusso libero (A) al deflusso in capacità (F).

Le soglie dei Livelli di Servizio (LOS) dipendono dal tipo di superficie analizzata:

- LOS Walkway (circolazione) si riferisce alle aree di circolazione e in generale agli spazi in cui il movimento è il fattore principale;
- LOS Stairways (scale fisse) è calibrato nello specifico per le scale fisse;
- LOS Queuing/Waiting si utilizza nelle aree in cui l'attività prevalente è la stasi. Per tal motivo è indicato anche per l'analisi di scale mobili e banchine.

Lo schema sottostante indica le diverse soglie relative alle diverse superfici per ogni Livello di Servizio.

LOS A	LOS B	LOS C	LOS D	LOS E	LOS F
Libera circolazione senza nessun impedimento	Libera circolazione alternata da circolazione unidirezionale. Leggere frizioni fra flussi bidirezionali	Circolazione leggermente ridotta per difficoltà nel superare altre persone. I flussi incrociati e opposti sono difficoltosi	Circolazione ridotta per molti pedoni. Evidente difficoltà nei flussi incrociati e opposti	Circolazione ridotta per quasi tutti i pedoni. Si registrano temporanei blocchi, con evidenti difficoltà nei flussi incrociati e opposti	La circolazione di tutti i flussi pedonali risulta seriamente compromessa, con blocchi di diversa durata e gravosità.
Livelli di Servizio "Fruin" - Camminamenti					
Densità media (metri quadri/persona)					
∞ - 3.3	2.3 - 3.3	1.4 - 2.3	0.9 - 1.4	0.5 - 0.9	0 - 0.5
Flusso medio (persone/minuto/metro)					
0 - 23	23 - 33	33 - 49	49 - 66	66 - 82	Variable
Livelli di Servizio "Fruin" - Scale fisse					
Densità media (metri quadri/persona)					



$\infty - 1.85$	1.39 – 1.85	0.92 – 1.39	0.65 – 0.92	0.37 – 0.65	0.37 - ∞
Flusso medio (persone/minuto/metro)					
$\infty - 16$	16 - 23	23 - 33	33 - 43	43 - 56	Variable
Livelli di Servizio "Fruin" - Accodamento/Scale mobili					
Densità media (metri quadri/persona)					
$\infty - 1.20$	0.92 – 1.20	0.65 – 0.92	0.27 – 0.62	0.18 – 0.27	$\infty - 0.27$



5. DOMANDA PASSEGGERI

Ai fini dell'individuazione della domanda di passeggeri da utilizzare nella simulazione si è fatto riferimento alle previsioni di traffico relative all'anno 2030 sviluppate da AMAT.

Il profilo di domanda passeggeri viene qui riportato in due schemi, il primo relativo ai flussi passeggeri verso San Siro, e il secondo verso Monza. Entrambi considerano già la tratta di espansione verso Monza, che parte dalla stazione di Testi-Gorki ed arriva sino a Monza-Brianza, per un totale di 11 stazioni previste lungo l'estensione della tratta metropolitana.

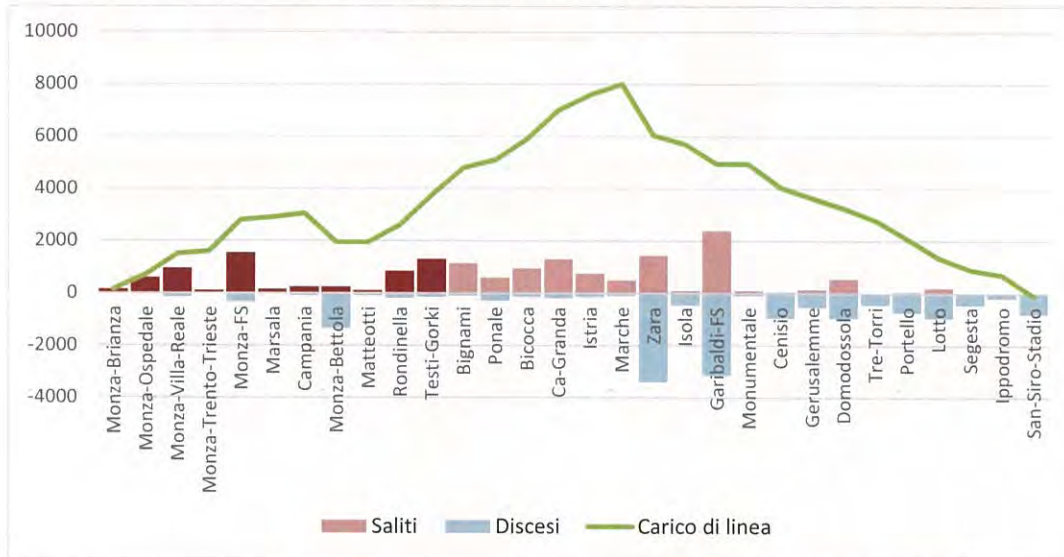


Figura 5 - Numero passeggeri verso San Siro, durante l'ora di picco del mattino

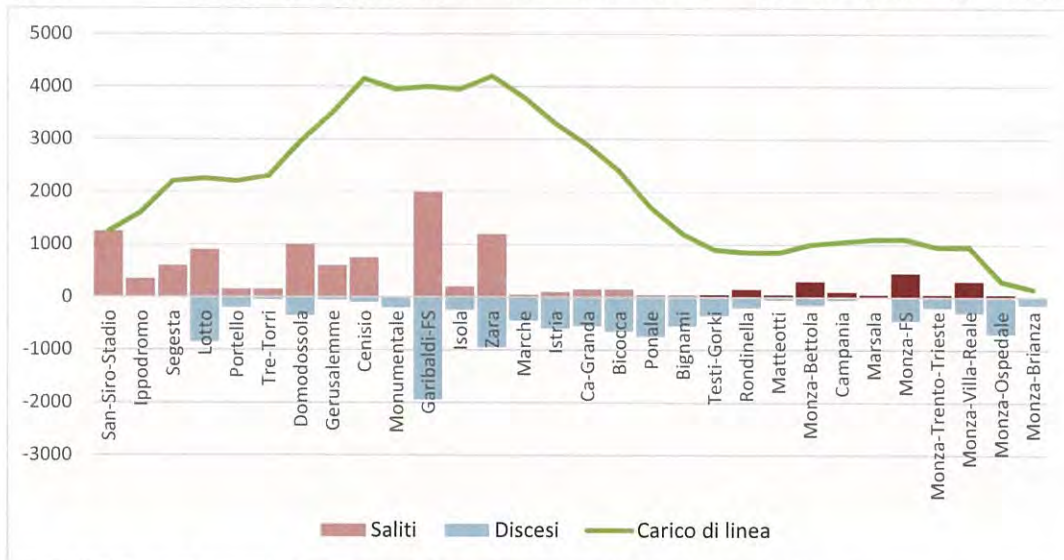


Figura 6 - Numero passeggeri verso Monza-Brianza, durante l'ora di picco del mattino



Per meglio determinare i valori di domanda da utilizzare ai fini della simulazione, si è focalizzata la ricerca alla sola tratta di estensione della linea in maniera tale da individuare i valori più alti fra discesi e saliti a cui la stazione tipologica sarà soggetta. Con questo criterio, la stazione Monza FS risulta essere la più idonea, nella quale si prevedono nell'ora di punta del mattino un totale di 2800 passeggeri, di cui 800 discesi e 2000 saliti.

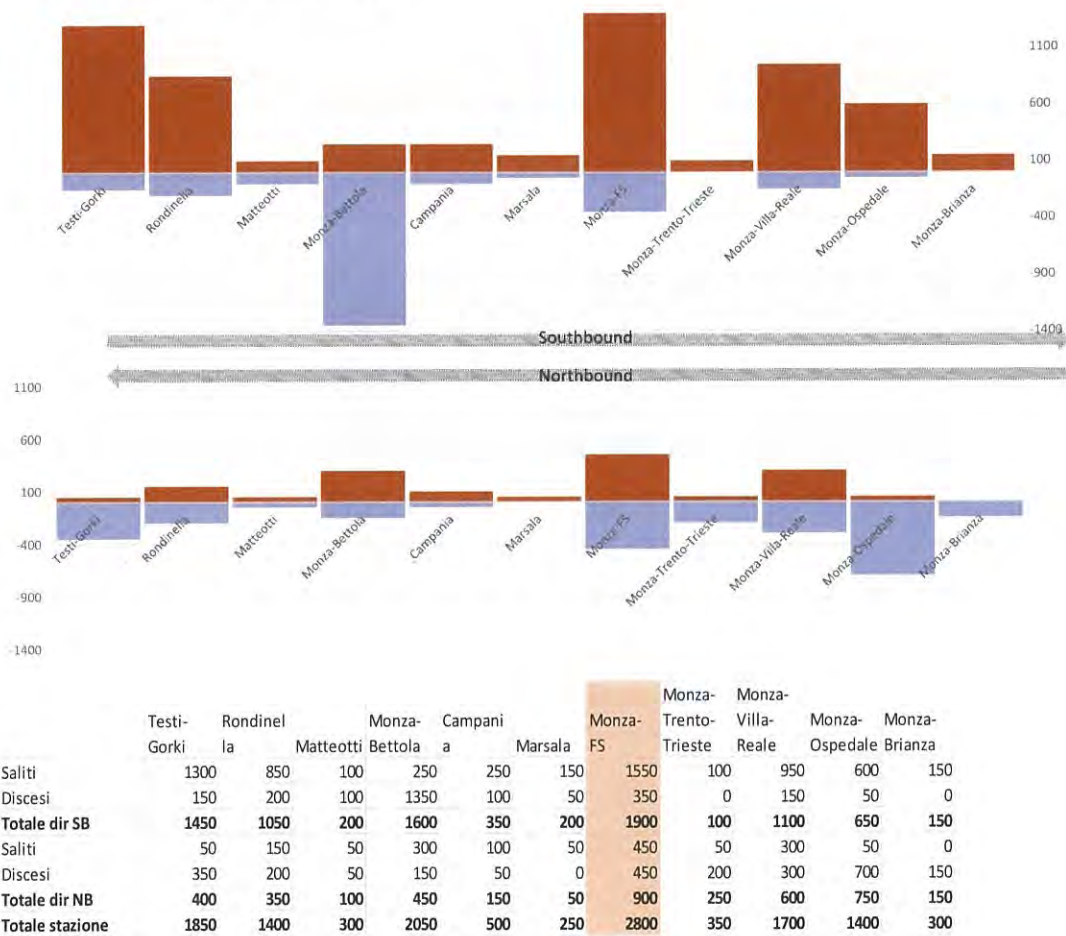


Figura 7 - Numero passeggeri durante l'ora di picco del mattino (tratta di estensione metro)

5.1. MATRICE DI ORIGINE E DESTINAZIONE

Come accennato nel precedente capitolo, le relazioni di origine e destinazione sono state determinate considerando i valori più alti rilevati lungo la tratta di estensione della linea fra la fermata di Testi-Gorki e Monza-Brianza. La stazione di Monza FS, registra i valori più alti della tratta nell'ora di picco del mattino, ovvero 2800 passeggeri, il 71% saliti (2000 persone/ora) e il 29% discesi (800 persone/ora).



Matrice origine/destinazione della stazione di riferimento nell'ora di picco del mattino

Incremento di domanda passeggeri (rif. Stazione Monza FS)					Mattino
OD	STRADA 1	STRADA 2	BANCH SB	BANCH NB	Totale
STRADA 1			620	180	800
STRADA 2			930	270	1200
BANCH SB	140	210			350
BANCH NB	180	270			450
Totale	320	480	1550	450	2800

Sui valori di domanda così determinati, è stato considerato un incremento del 10% complessivo degli stessi, per poter meglio verificare la stazione tipologica in condizioni di particolare intensità. Il risultato di questo passaggio ha portato ad una matrice di origine e destinazione di 3080 passeggeri nell'ora di punta, con relativi incrementi sia per i discesi che per i saliti, mantenendo invece intatta la distribuzione in percentuale dei flussi, fra livello banchine e strada.

Matrice origine/destinazione della simulazione nell'ora di picco del mattino

Incremento di domanda passeggeri (rif. Stazione Monza FS) + 10%					Mattino
OD	STRADA 1	STRADA 2	BANCH SB	BANCH NB	Totale
STRADA 1			682	198	880
STRADA 2			1023	297	1320
BANCH SB	154	231			385
BANCH NB	198	297			495
Totale	352	528	1705	495	3080

Matrice origine/destinazione della simulazione nell'ora di picco del pomeriggio

Incremento di domanda passeggeri (rif. Stazione Monza FS) + 10%					Pomeriggio
OD	STRADA 1	STRADA 2	BANCH SB	BANCH NB	Totale
STRADA 1			198	154	352
STRADA 2			297	231	528
BANCH SB	198	297			495
BANCH NB	682	1023			1705
Totale	880	1320	495	385	3080

5.2. PROFILI DI DOMANDA

A livello metodologico, al fine di ottenere una simulazione quanto più realistica possibile e di verificare la stazione in condizioni di stress, la domanda non viene generata all'interno del modello secondo un andamento costante, bensì attraverso una curva di presentazione dei passeggeri il cui apice corrisponde ad un fattore di picco sulla media di 1,2.



In tal modo i passeggeri vengono generati secondo un profilo crescente nella prima mezzora e decrescente nella seconda mezzora in modo da verificare la resilienza dei sistemi e la capacità di recupero dei picchi di domanda.

Lo stesso coefficiente viene applicato ai treni con la differenza che, mentre i passeggeri in partenza (saliti) vengono generati costantemente durante l'ora di simulazione, i passeggeri in arrivo (discesi) vengono generati impulsivamente secondo la frequenza dei treni.

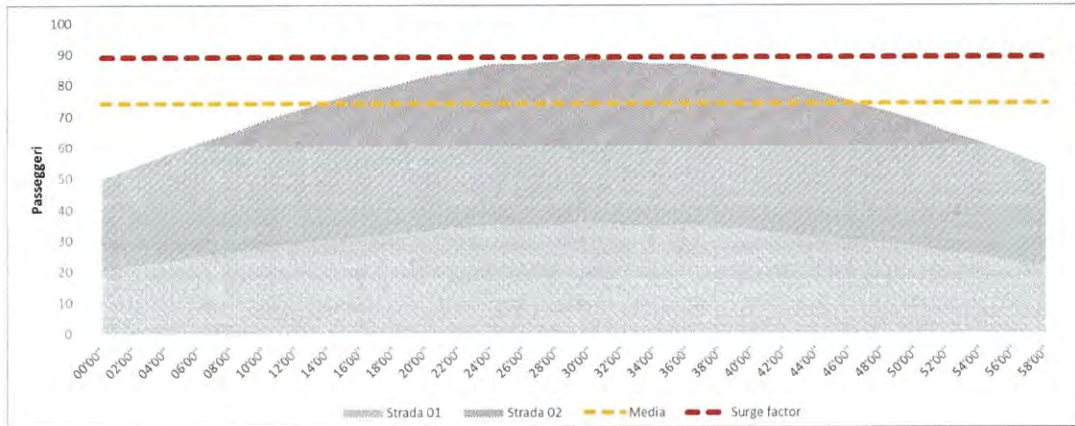


Figura 8 - Passeggeri in ingresso stazione nel mattino, aggregazione 120 secondi

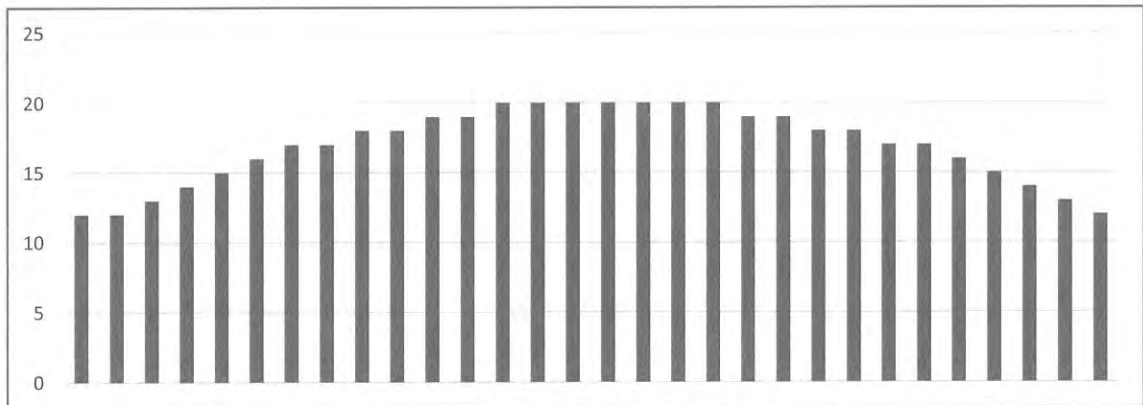


Figura 9 - Passeggeri in uscita dal treno verso Monza (Northbound) – Frequenza di 120s – Ora di picco del mattino

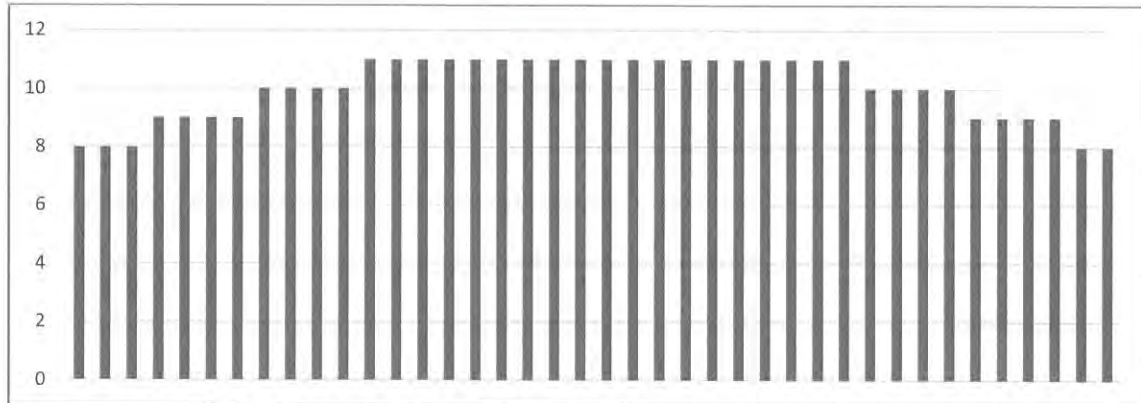


Figura 10 - Passeggeri in uscita dal treno verso San Siro (Southbound) – Frequenza di 90s- Ora di picco del mattino

5.3. COMPOSIZIONE DEI PASSEGGERI

Le simulazioni dinamiche consentono di simulare diversi agenti con diverse caratteristiche attitudinali, in maniera tale da restituire una rappresentazione realistica dei comportamenti dei passeggeri. Ai fini della presente analisi risulta particolarmente importante la scelta delle risalite verticali, parametro controllabile attraverso il cosiddetto livello di pazienza, definito da un numero compreso fra 0 e 1, che indica la propensione di un utente ad accodarsi per raggiungere la propria destinazione. Gli utenti con un livello di pazienza alto, saranno più inclini ad accettare la prima coda che si presenta durante il loro tragitto, gli utenti con poca pazienza invece cercheranno di evitare le code. Sono state individuate le seguenti famiglie di utenti:

Pendolari: Conoscono bene la stazione poiché la utilizzano spesso. Utilizzano sia le scale mobili che le scale fisse e tendenzialmente evitano gli ascensori, a meno che la stazione non sia molto profonda. Hanno generalmente poca pazienza nel gestire l'imprevisto, per cui si è considerato un livello di pazienza pari a 0.5;

Studenti: Camminano con una velocità sostenuta e tendono ad utilizzare le scale fisse quando si verificano accodamenti importanti alle scale mobili. Questo genere di utente ha tendenzialmente una scarsa pazienza nel gestire l'imprevisto, per cui si è considerato un livello di pazienza pari a 0.3;

Anziani: si muovono con velocità ridotta, prediligono le scale mobili e gli ascensori. Hanno generalmente discreta pazienza nel gestire l'imprevisto, per cui si è considerato un livello di pazienza pari a 0.6

Disabili (in carrozzina): si muovono esclusivamente attraverso gli ascensori. Utilizzano i varchi loro dedicati ai tornelli ed hanno una velocità molto ridotta con un livello pazienza pari a 0.8.

La seguente tabella riporta le caratteristiche principali utilizzate nella costruzione del modello di simulazione per ogni famiglia di utente.



Famiglie di utenti simulati						
Utente	Ripartizione	Maschi / Femmine	Acquisto biglietto in stazione	Utilizzo risalite verticali		
				Scale fisse	Scale mobili	Ascensori
Pendolare	95%	50% / 50%	15%	Probabile	Alta prob.	Bassa prob.
Studente	2.5%			Probabile	Alta prob.	Bassa prob.
Anziano	3%			Bassa prob.	Alta prob.	Alta prob.
Disabile	0.5%			No	No	Si

Relativamente alla quota di passeggeri che acquistano il biglietto in stazione è stato fissato un valore pari al 15% del totale. Tale valore è stato valutato anche sulla base di ricerche empiriche effettuate sulle stazioni metropolitane di Milano, in particolare nella stazione di Cenisio M5.

In questa stazione, nella fascia oraria 8-9 della mattina di un giorno feriale di novembre 2017, sono stati registrati 720 passeggeri in uscita e 716 in ingresso, di cui 98 con biglietti acquistati alle emettitrici automatiche in stazione (circa 1 passeggero su 7 hanno acquistato il biglietto in stazione, mentre i restanti avevano già con se il biglietto magnetico).



6. IL MODELLO DI SIMULAZIONE

Il modello di simulazione riproduce nel dettaglio le aree accessibili al pubblico, di cui viene di seguito proposto uno schema semplificato. La stazione si articola in un doppio accesso al piano atrio che confluisce nel banco tornelli che delimitano l'area di libera circolazione (arancione) e quella di circolazione a pagamento (rosso).

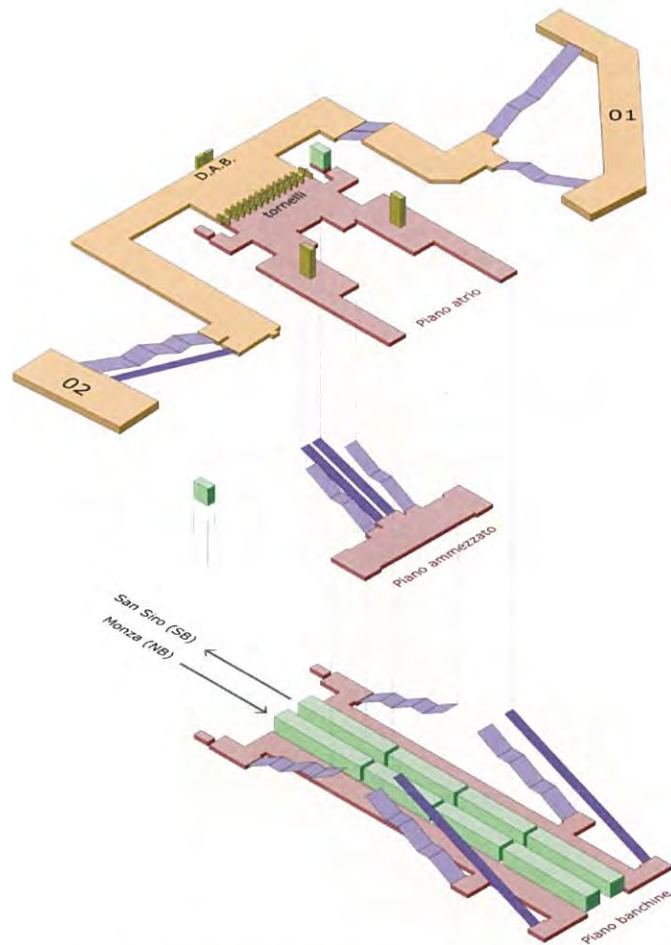






Figura 11 - Rappresentazione semplificata della stazione tipologica

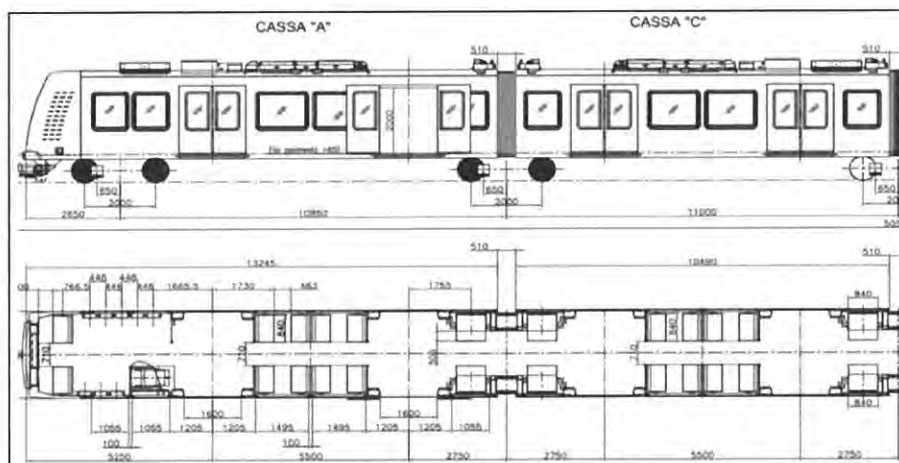
-  Circolazione libera
-  Circolazione con biglietto
-  Scale fisse
-  Scale mobile (orientamento verso le uscite)



Il piano banchine ha il corpo treni centrale e le banchine laterali che si estendono per 50 metri di lunghezza e circa 3.3 metri di larghezza, con una superficie di circa 165 metri quadrati ciascuna. Oltre agli spazi di circolazione, la simulazione riproduce i seguenti sistemi e dotazioni:

- Nr. 13 tornelli, così suddivisi nella configurazione del mattino:
 - Nr. 1 tornello largo orientato in ingresso (passaggio da 1 metro di larghezza)
 - Nr. 6 tornelli orientati in ingresso
 - Nr. 1 tornello largo orientato in uscita
 - Nr. 5 tornelli orientati in uscita
- Nr. 13 tornelli, così suddivisi nella configurazione del pomeriggio:
 - Nr. 1 tornello largo orientato in ingresso (passaggio da 1 metro di larghezza)
 - Nr. 5 tornelli orientati in ingresso
 - Nr. 1 tornello largo orientato in uscita
 - Nr. 6 tornelli orientati in uscita
- Nr. 2 Macchine distributrici per biglietti (D.A.B.);
- Nr. 2 banchi di scale fra livello banchine e piano ammezzato, aventi ciascuno:
 - Nr. 2 scale fisse da 2.4 metri di larghezza;
 - Nr. 1 scala mobile da 1 metro di larghezza (calpestabile).
- Nr. 1 banco di scale fra livello ammezzato e piano atrio, avente:
 - Nr. 2 scale fisse da 1.8 metri di larghezza;
 - Nr. 2 scala mobile da 1 metro di larghezza (calpestabile).
- Nr. 1 banco di scale fra piano atrio e uscita 01, avente:
 - Nr. 2 scale fisse da 2.1 metri di larghezza;
- Nr. 1 banco di scale fra piano atrio e uscita 02, avente:
 - Nr. 1 scale fisse da 2.8 metri di larghezza;
 - Nr. 1 scala mobile da 1 metro di larghezza (calpestabile).
- Nr. 2 ascensori complessivi fra il piano banchine e il piano atrio, uno per banchina.

Relativamente al materiale rotabile, la linea Lilla M5 prevede un treno da 50 metri di lunghezza, composto da 4 vagoni da 2.65 metri di larghezza. Il numero complessivo di accessi è 8, 2 per ogni vagone. La capacità teorica del treno è di 536 persone, mentre la superficie lorda interna è di circa 110 m².





6.1. PARAMETRI DI SIMULAZIONE

Per processare correttamente e realisticamente i flussi pedonali all'interno della stazione, la taratura del modello è certamente un passaggio fondamentale. A tal proposito, la tabella che segue riporta i valori principali considerati per la simulazione, dal materiale rotabile della linea Lilla 5, sino ai tempi di processo dei passeggeri ai tornelli.

Dati di processo				
MATERIALE ROTABILE				
Informazione	Unità	Verso San Siro	Verso Monza	Totale
Posti a sedere	Nr	50		385
Posti complessivi (capacità)	Nr	536		495
Posti complessivi (normale eserc.)	Nr	390		390
Velocità commerciale	Km/h	33.2		3080
Frequenza treno	Secondi	90	120	
Passeggeri per km	Pax * km	80000	45000	
Passeggeri per ora	Pax * h	3000	1000	
Lunghezza treno	Metri	48		48
Lunghezza singola carrozza	Metri	11		11
Nr. Porte per treno	Nr	8		8
Larghezza singole porte	Metri	1.8		1.8
Distanza fra singole porte	Metri	3.73		3.73
ASCENSORI				
Informazione	Unità	Valore		
Capacità teorica	Nr.	13		
Velocità nominale	m/s	1		
Dimensioni interne	Lung/larg (m)	2.10/1.40		
TORNELLI & BIGLIETTERIE				
Informazione	Informazione	Informazione		
Biglietteria automatica D.A.B.	Sec	45 ±15		
Validazione tornello in ingresso	Sec	3 ±1		
Validazione tornello in uscita	Sec	3 ±1		

Figura 12 – Dati di processo



7. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE DINAMICA

7.1. SCENARI DI SIMULAZIONE

Nel seguente paragrafo si riportano i risultati delle simulazioni dinamiche svolte. Riassumendo, i due scenari considerati sono:

- Simulazione nell'ora di picco del mattino;
- Simulazione nell'ora di picco del pomeriggio;

Come anticipato nei precedenti paragrafi la lettura dei risultati delle simulazioni è data principalmente da due strumenti di analisi, il primo relativo alle mappe di densità e circolazione, il secondo dai grafici di andamento.

7.2. SCENARIO DELL'ORA DI PUNTA DEL MATTINO

Il seguente grafico riporta il profilo dei passeggeri registrati nell'ora di picco del mattino, in cui si nota una presenza costante di circa 100 passeggeri ed una fluttuazione di analogo valore dovuta ai saliti e ai discesi dai treni di frequenza diversa.

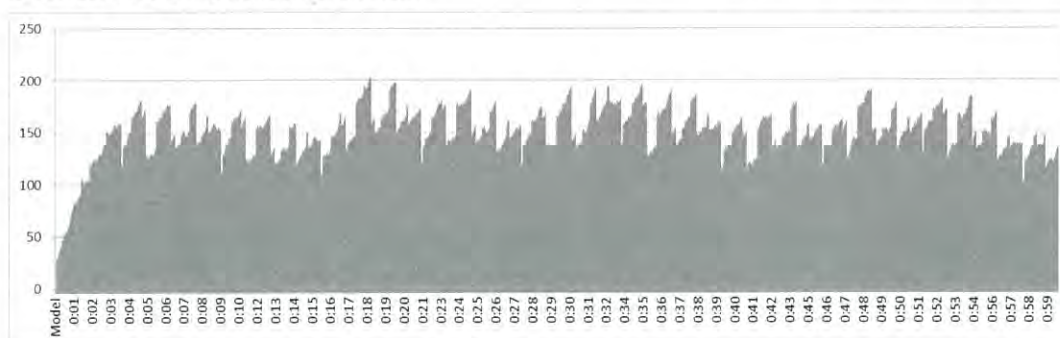


Figura 13 – Numero complessivo di passeggeri simulati

Si riportano di seguito i valori di domanda risultanti dalla simulazione dinamica, durante l'ora di picco del mattino, periodo in cui transitano un totale di 3080 passeggeri. Rispetto alla matrice di domanda inserita, si registra una discrepanza di 106 passeggeri in meno, dovuta al fatto che il software registra i valori al completamento del percorso tra origine e destinazione. La quota mancante è dunque dovuta agli agenti entrati nella simulazione allo scadere dell'ora simulata e non giunti in tempo alla loro destinazione.

Questa simulazione considera il treno verso San Siro con una frequenza di 90 secondi, mentre il treno verso Monza-Brianza con una frequenza di 120 secondi. Questa configurazione sembra essere la più ragionevole, ipotizzando che i flussi maggiori del mattino vadano verso Milano.



Matrice di domanda risultante dalla simulazione dinamica					Mattino
OD	STRADA 1	STRADA 2	BANCH SB	BANCH NB	Totale
STRADA 1			646	182	828
STRADA 2			967	284	1251
BANCH SB	157	234			391
BANCH NB	202	302			504
Totale	359	536	1613	466	2974

Figura 14 - Matrice OD come dato di output della simulazione del mattino

7.2.1. SCENARIO DEL MATTINO - PIANO ATRIO

Al piano atrio si registra un ottimo livello di servizio, in prevalenza LOS A su tutte le aree di transito e di accodamento. Dalla mappa di utilizzo dello spazio, si può notare come esso viene ampiamente utilizzato, in tutte le aree di circolazione, dimostrando un alto grado di permeabilità.

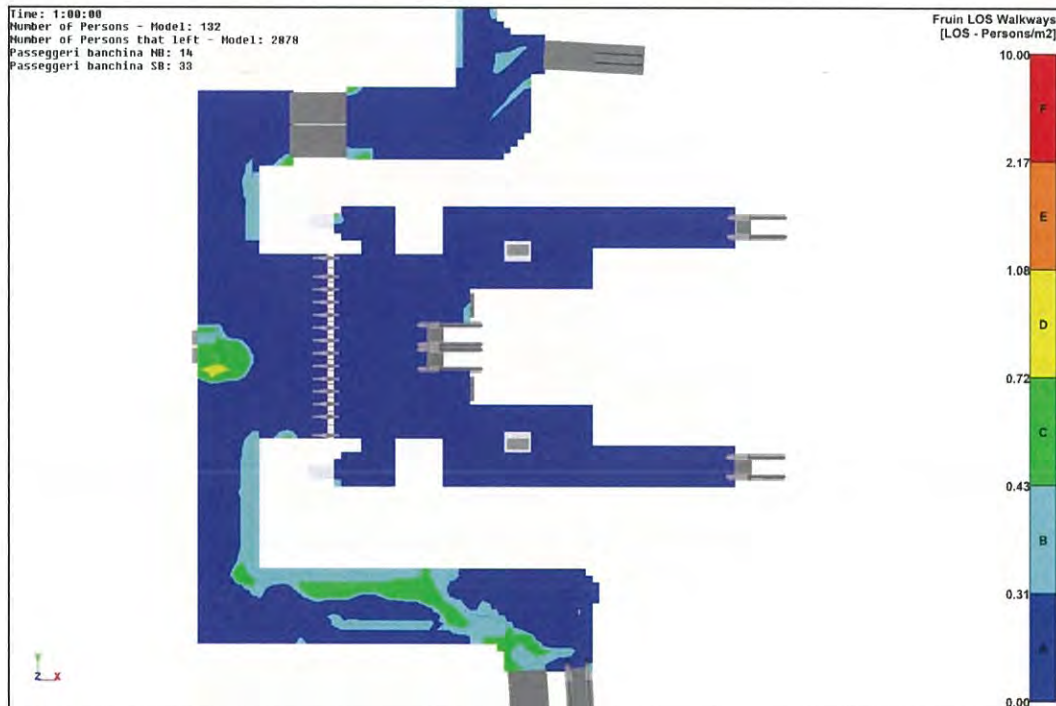


Figura 15 - Livello atrio, Livelli di Servizio Fruin

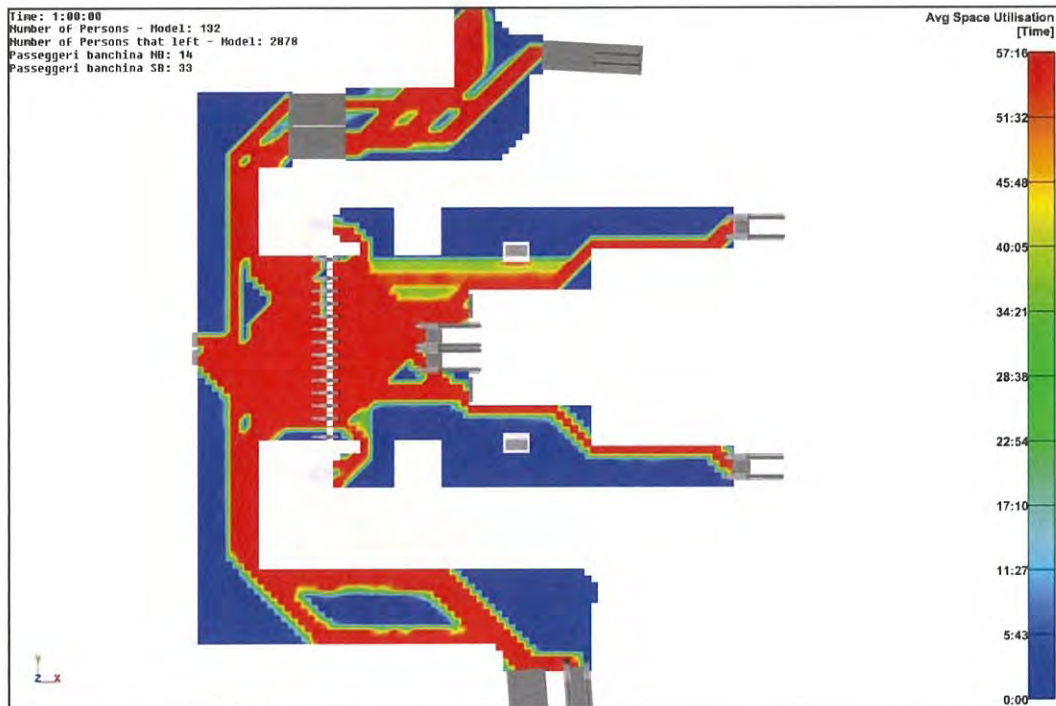


Figura 16 - Livello atrio, Utilizzazione dello spazio

Il numero di persone registrate al piano atrio rimane tendenzialmente stabile, oscillando fra 30 e 50 utenti, lungo tutto il tempo di simulazione.

I grafici riportati sotto non illustrano anomalie o accodamenti. Si registrano un massimo di 50 passeggeri al minuto in ingresso ai tornelli e 28 passeggeri al minuto in uscita dai tornelli.

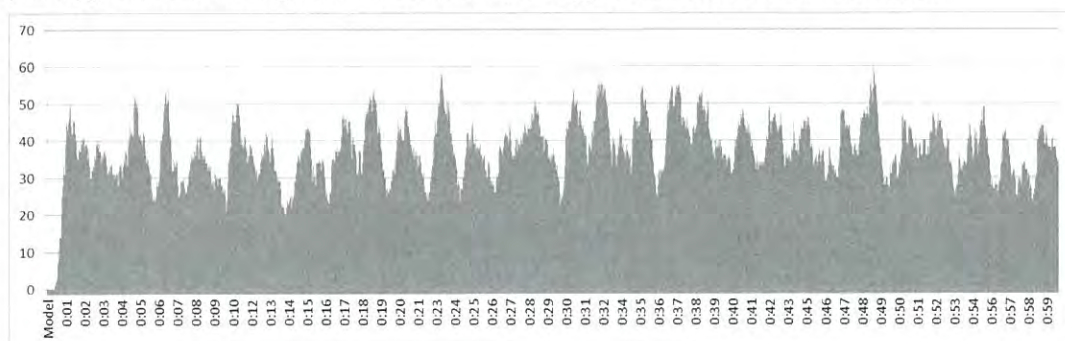


Figura 17 - Numero passeggeri registrati al livello atrio

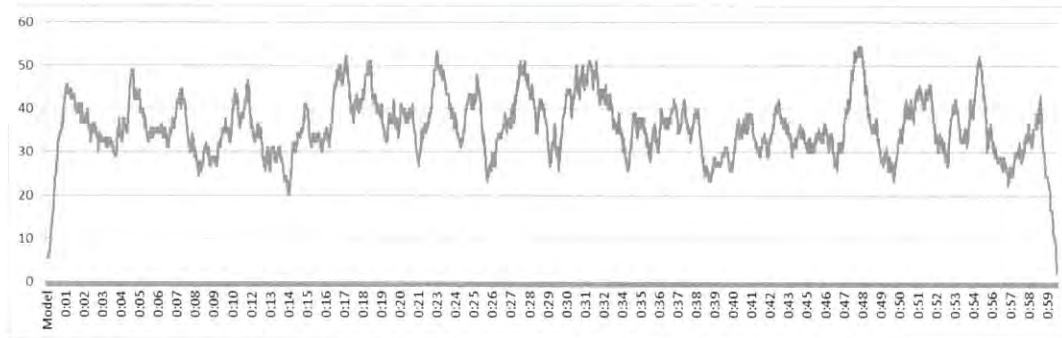


Figura 18 - Numero passeggeri registrati in ingresso tornelli (valori mediati per ogni secondo, non arrotondati)

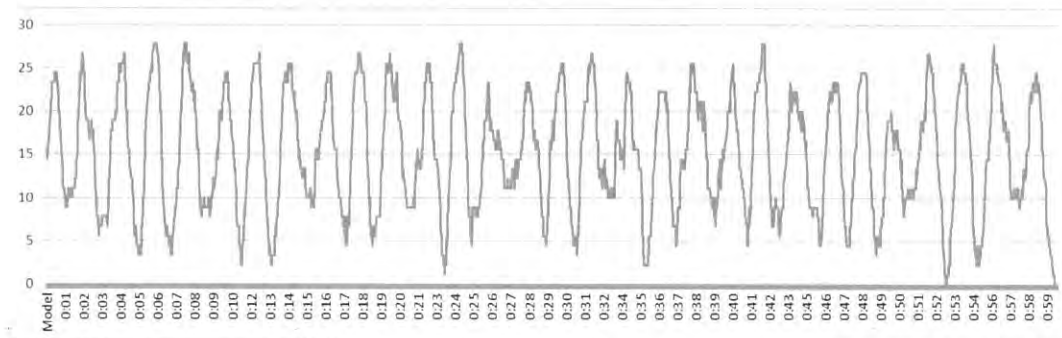


Figura 19 - Numero passeggeri registrati in uscita tornelli (valori mediati per ogni secondo, non arrotondati)

7.2.2. SCENARIO DEL MATTINO - PIANO AMMEZZATO

Il piano ammezzato permette una corretta distribuzione dei flussi pedonali e non ci sono particolari inefficienze registrate. Il banco di scale centrale che connette il piano atrio, gioca un ruolo fondamentale nel minimizzare ogni attrito fra chi viene dalle banchine e chi dal piano atrio, distribuendo i flussi omogeneamente su tutte le scale.

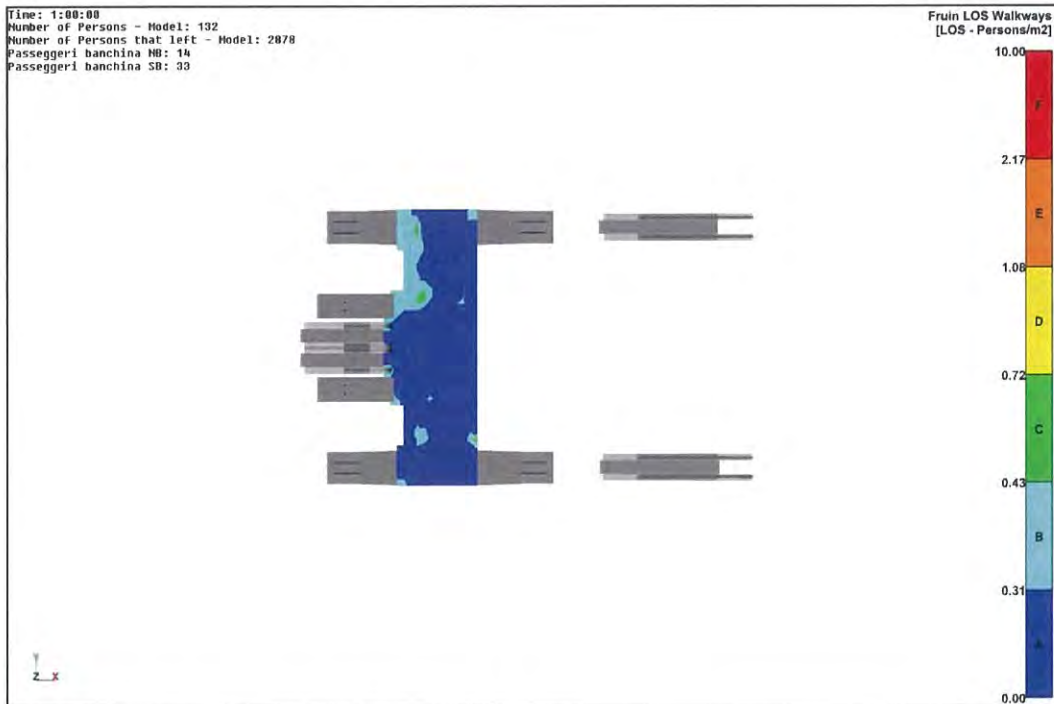


Figura 20 – Piano ammezzato, Livelli di Servizio Fruin

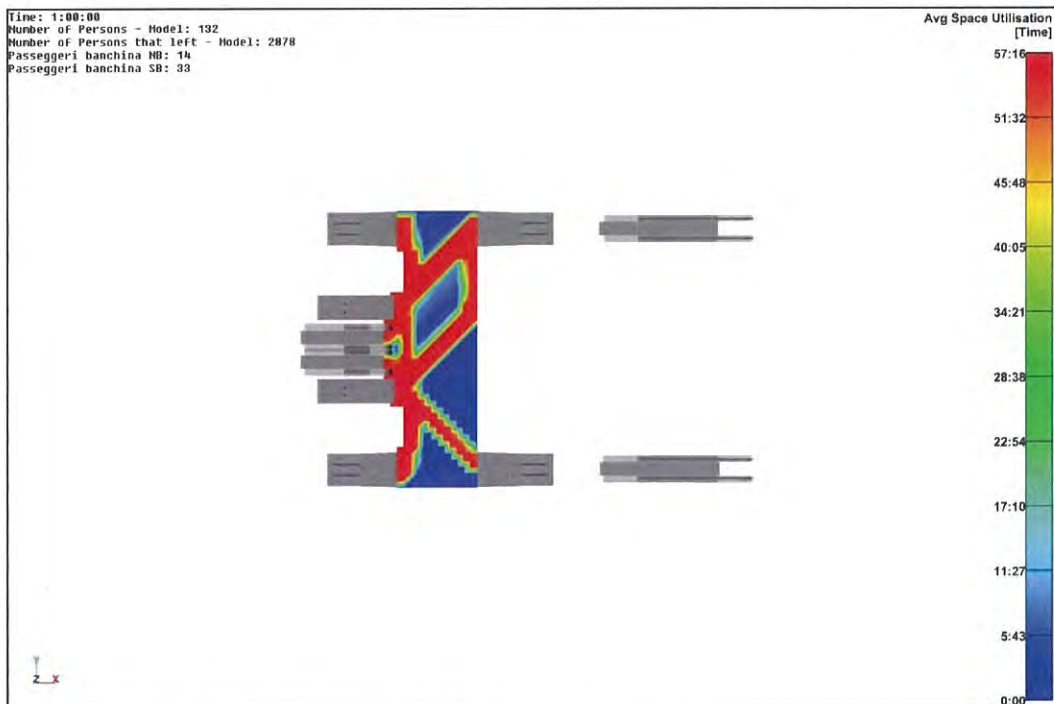


Figura 21 – Piano ammezzato, Utilizzazione dello spazio



7.2.3. SCENARIO DEL MATTINO - PIANO BANCHINE

Entrambe le banchine mantengono un ottimo livello di servizio per tutto il periodo di simulazione, dunque non ci sono particolari inefficienze da sollevare. Nello scenario del mattino, i flussi maggiori tendono a prendere il treno verso Milano/San Siro, stressando maggiormente l'area della banchina in direzione sud, per cui si possono vedere piccole aree di LOS B e C (Fruin Walkway). Sempre in questa banchina, si registrano picchi di 58 passeggeri (attorno al minuto 00:20), mentre nella banchina opposta il valore massimo registrato si attesta sui 28 passeggeri (attorno al minuto 00:34).

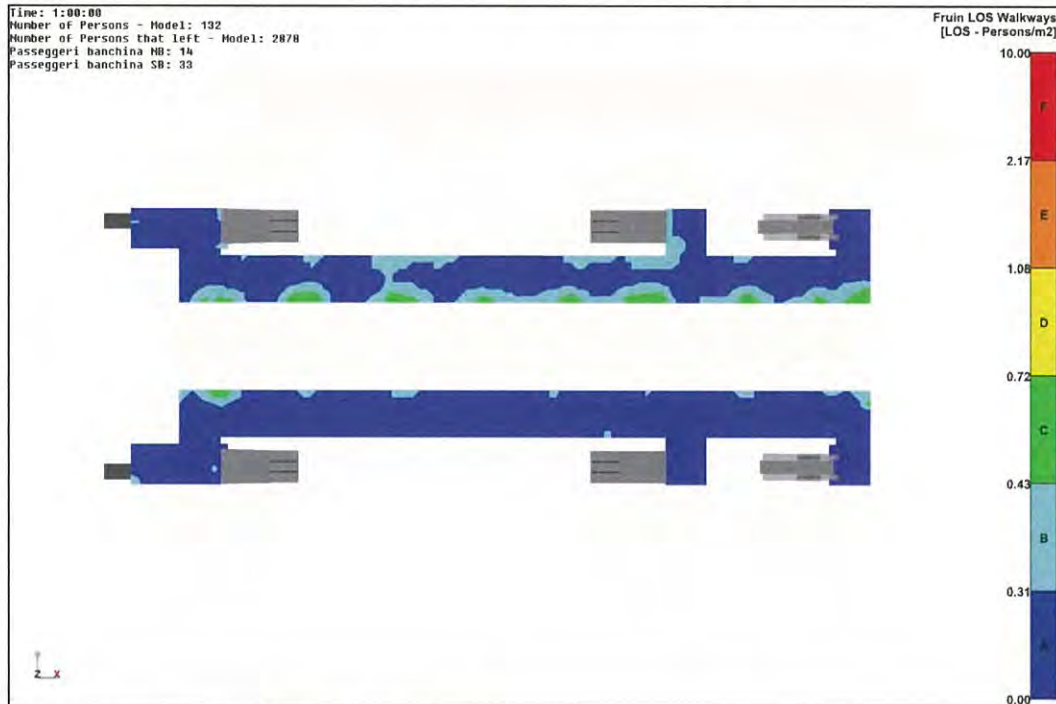


Figura 22 – Piano banchine, Livelli di Servizio Fruin

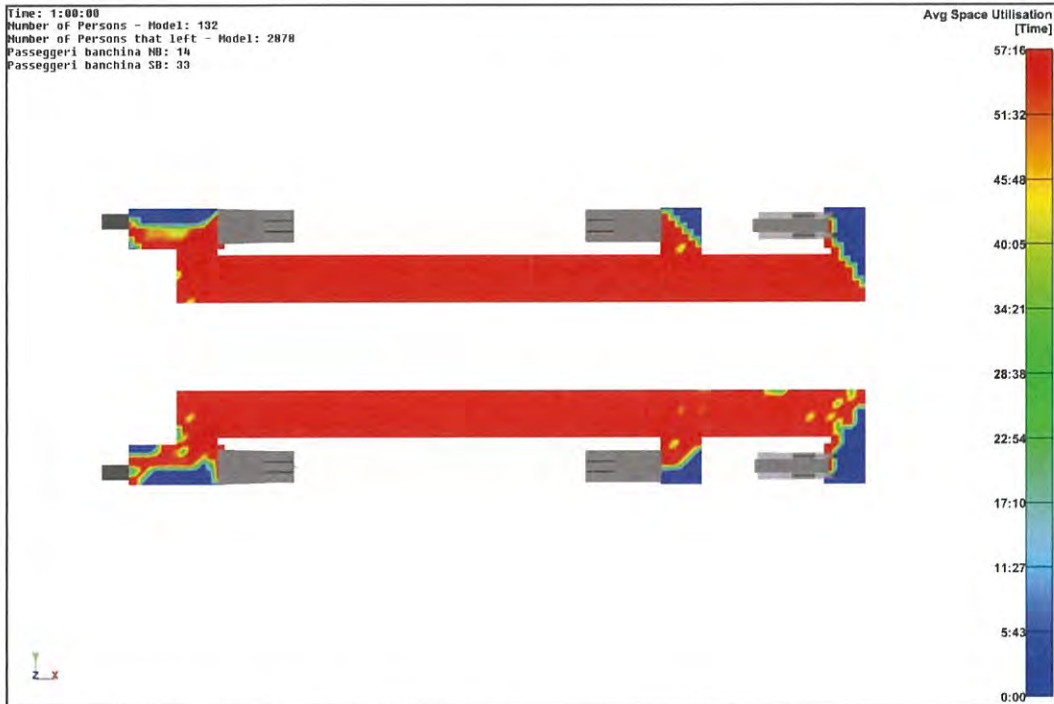


Figura 23 - Piano banchine, Utilizzazione dello spazio

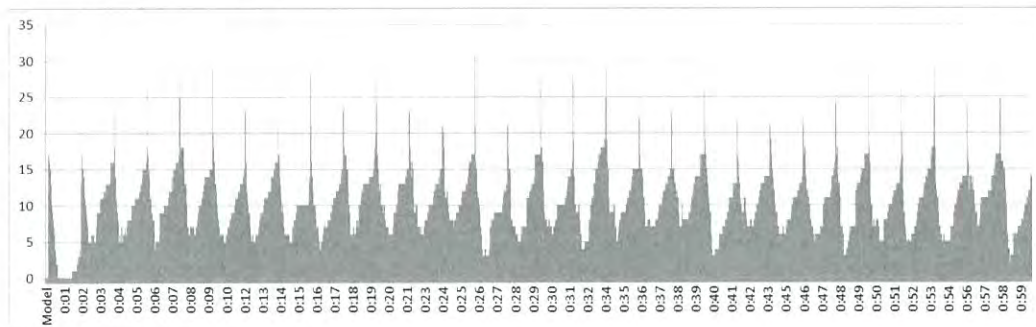


Figura 24 - Numero passeggeri registrati in banchina verso Monza (northbound)

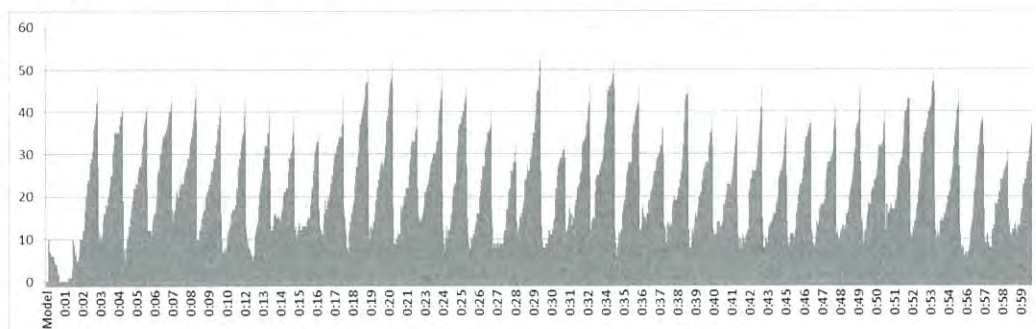


Figura 25 - Numero passeggeri registrati in banchina verso San Siro (southbound)

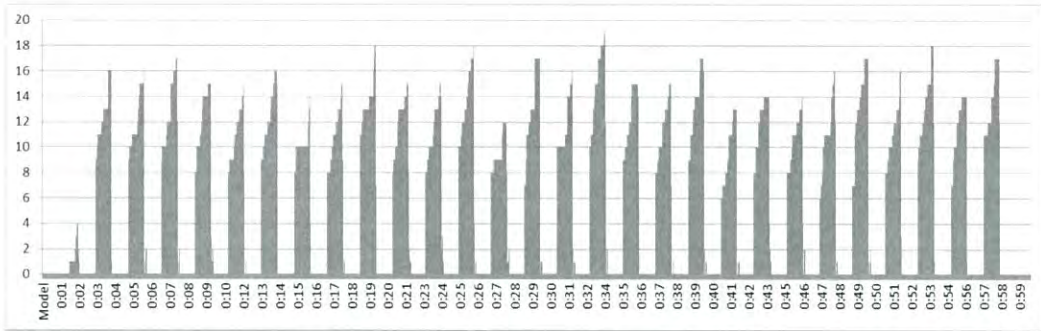


Figura 26 - Numero passeggeri saliti nel treno verso Monza (northbound)

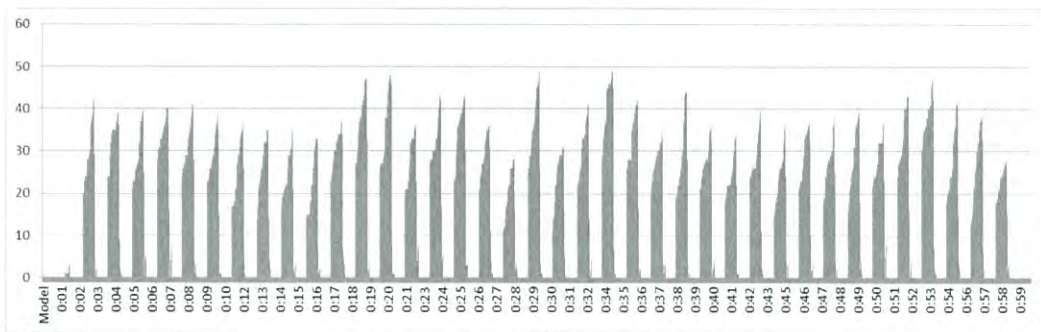


Figura 27 - Numero passeggeri saliti nel treno verso San Siro (southbound)

7.2.4. SCENARIO DEL MATTINO – VIDEO DELLA SIMULAZIONE

Le seguenti immagini rappresentano i frame più significativi del video della simulazione dell'ora di punta del mattino.

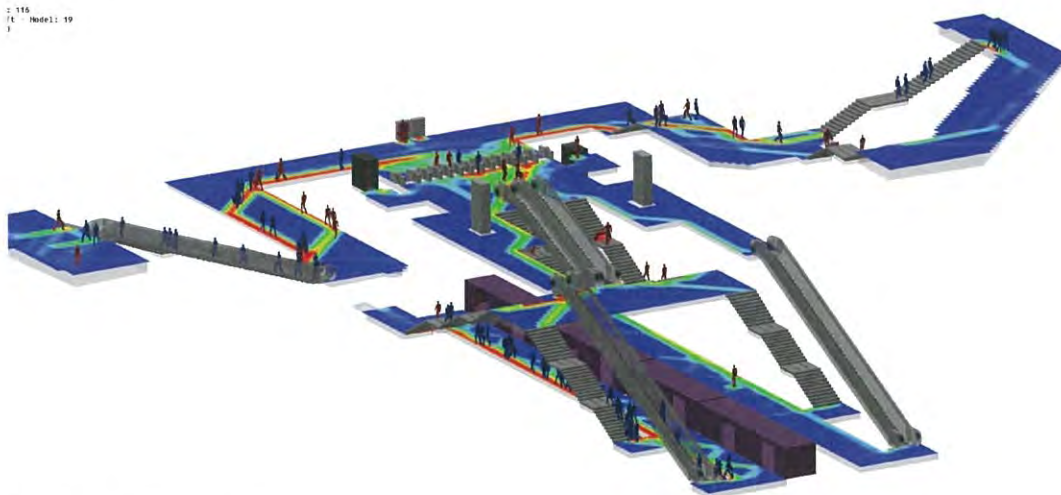


Figura 28 - Time 00:15:00



7.3. SCENARIO DELL'ORA DI PUNTA DEL POMERIGGIO

Analogamente a quanto registrato nello scenario del mattino, come mostrato nel seguente grafico, durante lo scenario di picco del pomeriggio, si registra una presenza costante di circa 100 passeggeri con una fluttuazione legata ai saliti e discesi dai treni.

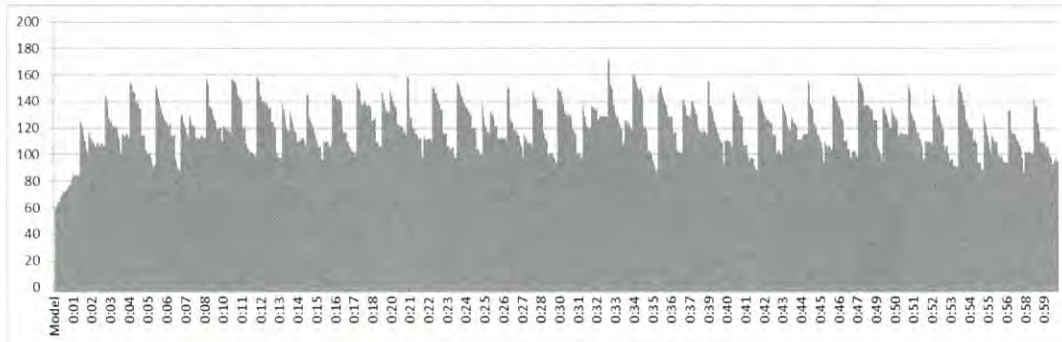


Figura 31 – Numero complessivo di passeggeri simulati

Nella seguente tabella si riportano i valori di domanda risultanti dalla simulazione dinamica, durante l'ora di picco del pomeriggio, periodo in cui transitano un totale di 3080 passeggeri.

Anche in questo caso si registra una discrepanza di 66 passeggeri in meno, dovuta al fatto che i passeggeri vengono registrati una volta completato il loro percorso tra origine e destinazione. La quota mancante è quindi dovuta agli agenti entrati nella simulazione allo scadere dell'ora simulata e non giunti in tempo alla loro destinazione.

Questa simulazione considera il treno verso San Siro con una frequenza di 120 secondi, mentre il treno verso Monza-Brianza con una frequenza di 90 secondi.

Matrice di domanda risultante dalla simulazione dinamica					Pomeriggio
OD	STRADA 1	STRADA 2	BANCH SB	BANCH NB	Totale
STRADA 1			187	137	324
STRADA 2			278	226	504
BANCH SB	202	303			505
BANCH NB	673	1008			1681
Totale	875	1311	465	363	3014

Figura 32 - Matrice OD come dato di output della simulazione del pomeriggio

7.3.1. SCENARIO DEL POMERIGGIO - PIANO ATRIO

Complessivamente il piano atrio registra un ottimo livello di servizio, in prevalenza LOS A su tutte le aree di transito e di accodamento, con alcune aree di LOS B all'imbocco delle connessioni verticali e in prossimità dei tornelli in uscita. Questo effetto è generato dai flussi di passeggeri discesi dai treni che generano delle normali code ai tornelli che si risolvono molto prima dell'arrivo del treno successivo. Il dimensionamento dei tornelli risulta dunque adeguato al volume di domanda prevista.



Va comunque specificato che la simulazione considera solo la metà dei tornelli orientati in uscita, per cui si potrebbe pensare ad una temporanea riconfigurazione degli in caso di necessità.

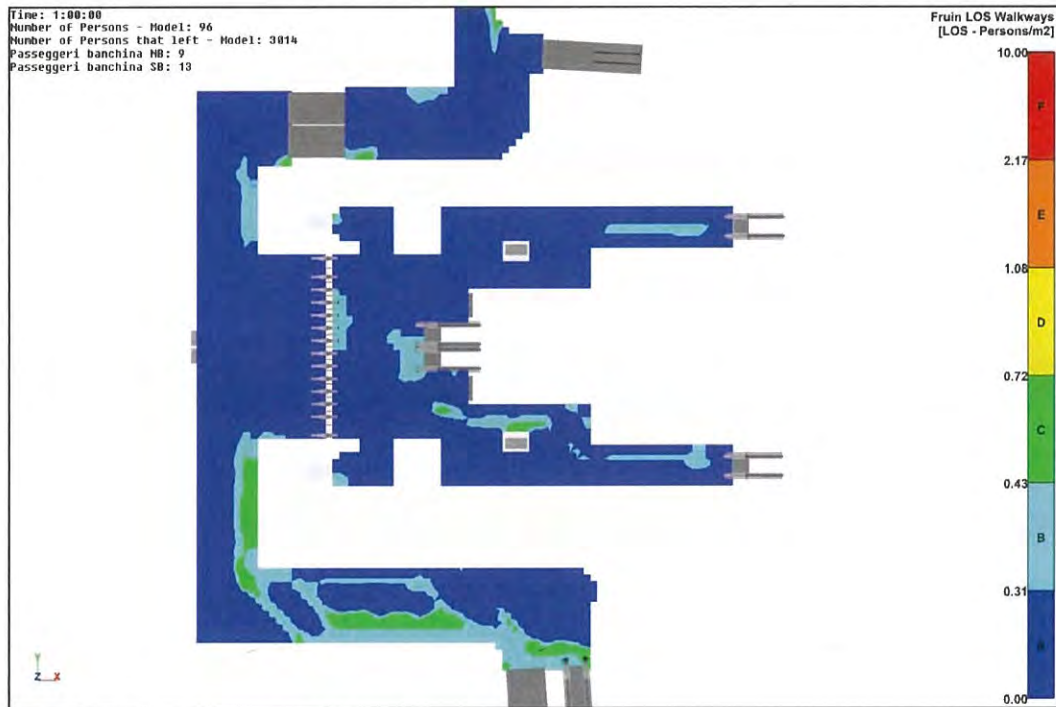


Figura 33 - Livello atrio, Livelli di Servizio Fruin

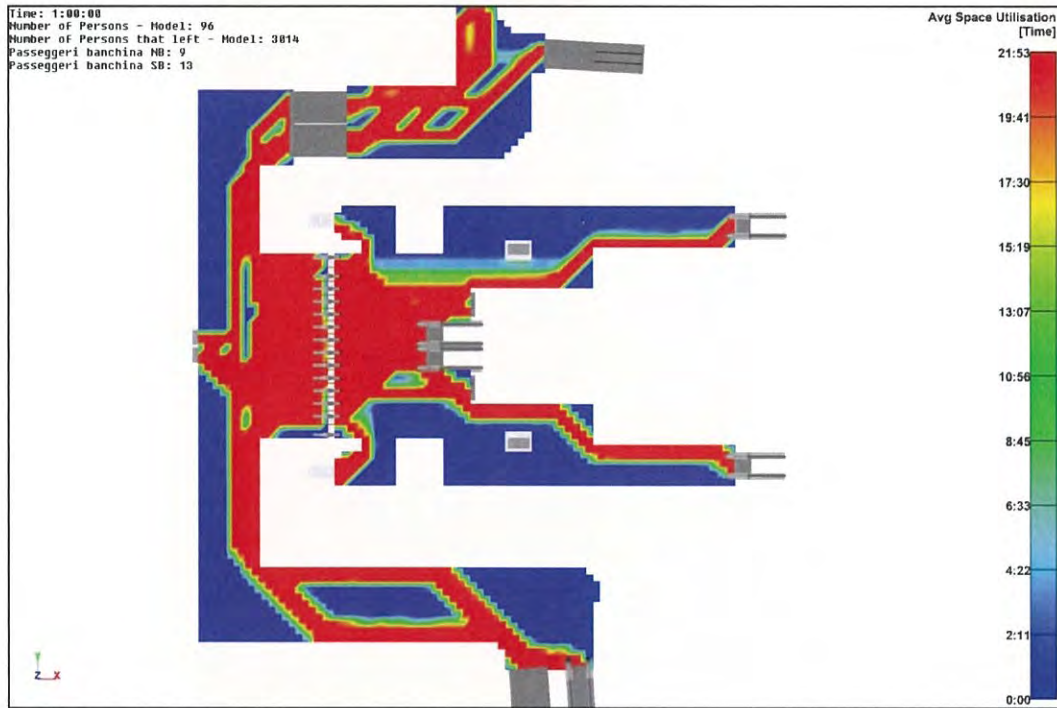


Figura 34 - Livello atrio, Utilizzazione dello spazio

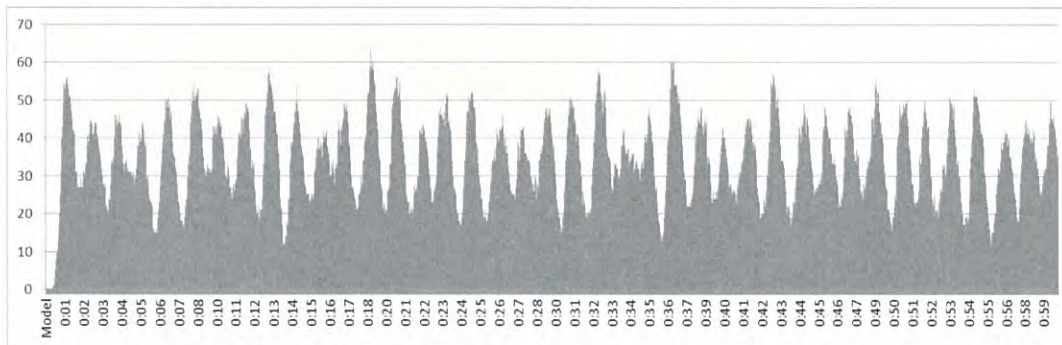


Figura 35 - Numero Passeggeri registrati al livello atrio



7.3.2. SCENARIO DEL POMERIGGIO - PIANO AMMEZZATO

Il piano ammezzato permette una corretta distribuzione dei flussi pedonali e non si registrano particolari inefficienze. Analogamente a quanto si verifica nello scenario de mattino, il banco di scale centrale che connette il piano atrio, gioca un ruolo fondamentale nel minimizzare ogni attrito fra chi viene dalle banchine e chi dal piano atrio, distribuendo i flussi omogeneamente su tutte le scale.

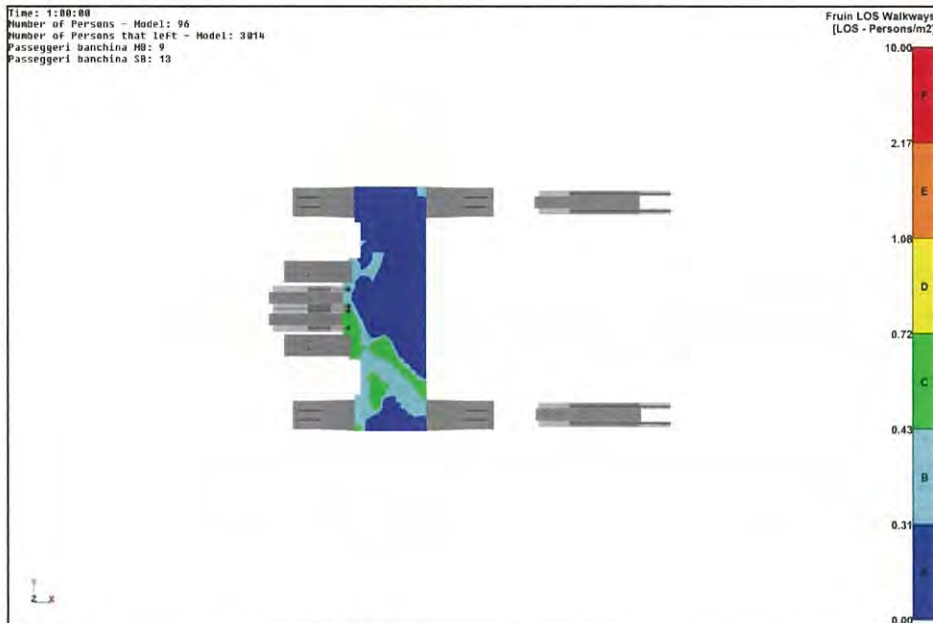


Figura 38 - Piano ammezzato, Livelli di Servizio Fruin

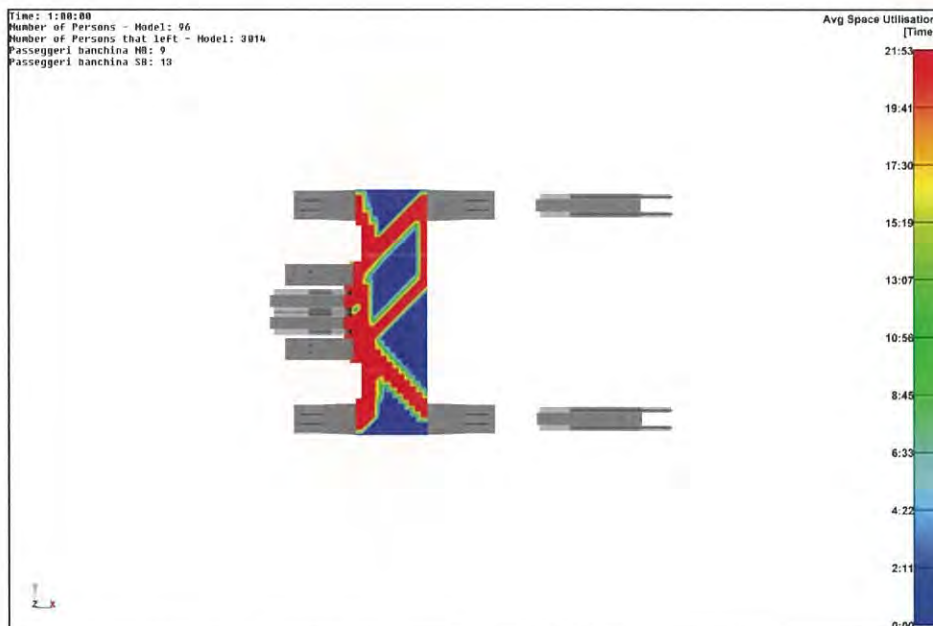


Figura 39 - Piano ammezzato, Utilizzazione dello spazio



7.3.3. SCENARIO DEL POMERIGGIO - PIANO BANCHINE

Entrambe le banchine mantengono un ottimo livello di servizio per tutto il periodo di simulazione, dunque non ci sono particolari inefficienze da sollevare. I flussi maggiori provengono da Milano/San Siro, stressando maggiormente l'area della banchina orientata a nord (northbound), dove si registrano piccole aree di LOS B e C. Sempre in questa banchina, si registrano picchi di 53 passeggeri (attorno al minuto 00:44), mentre nella banchina opposta il valore massimo registrato si attesta sui 33 passeggeri (attorno al minuto 00:20).

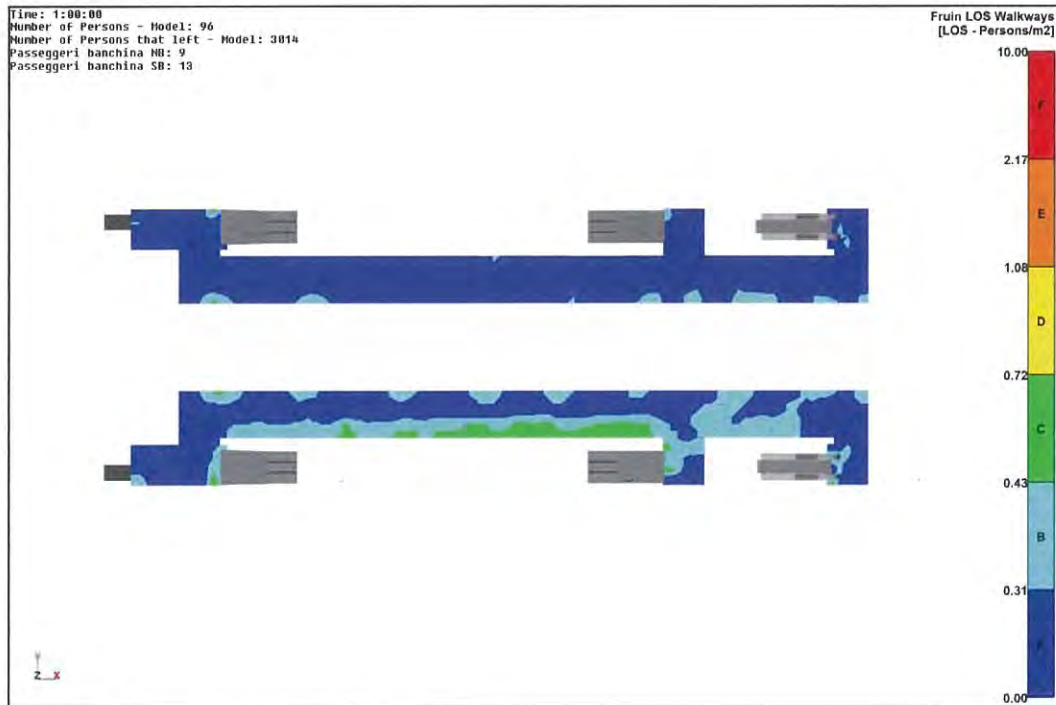


Figura 40 - Piano banchine, Livelli di Servizio Fruin

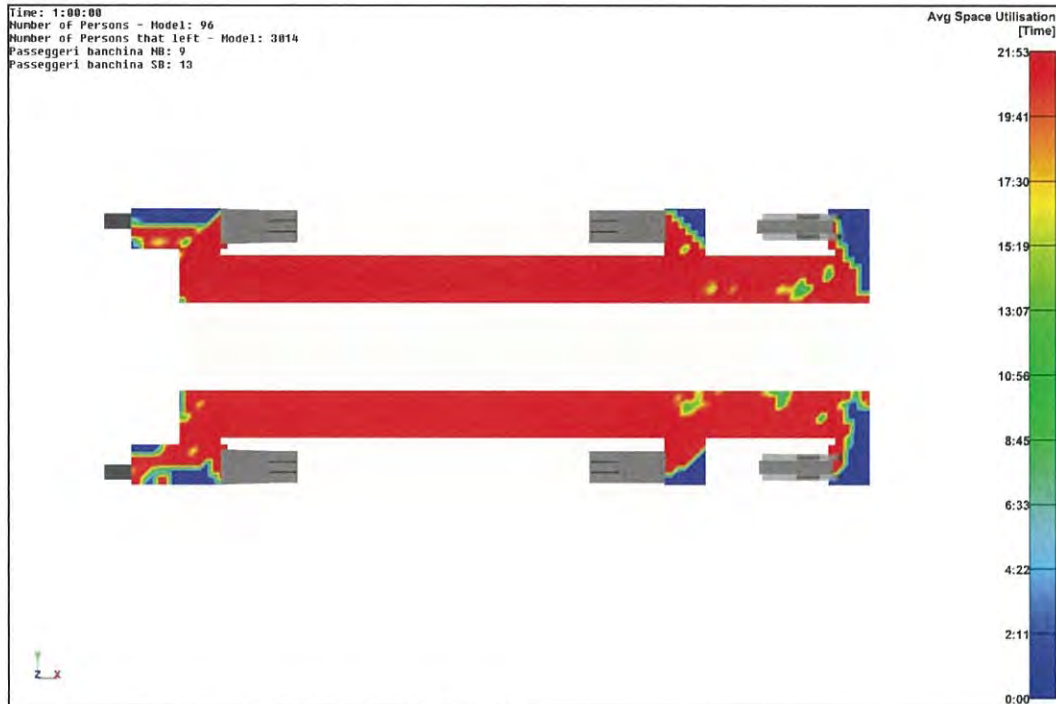


Figura 41 - Piano banchine, Utilizzazione dello spazio

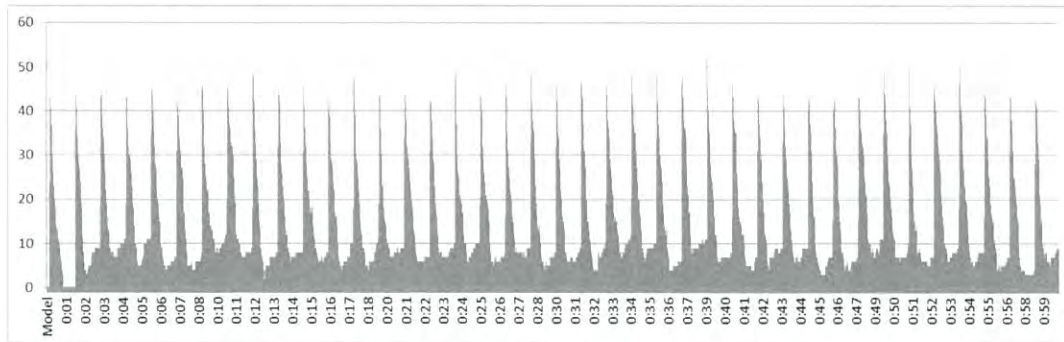


Figura 42 - Numero passeggeri registrati in banchina verso Monza (northbound)

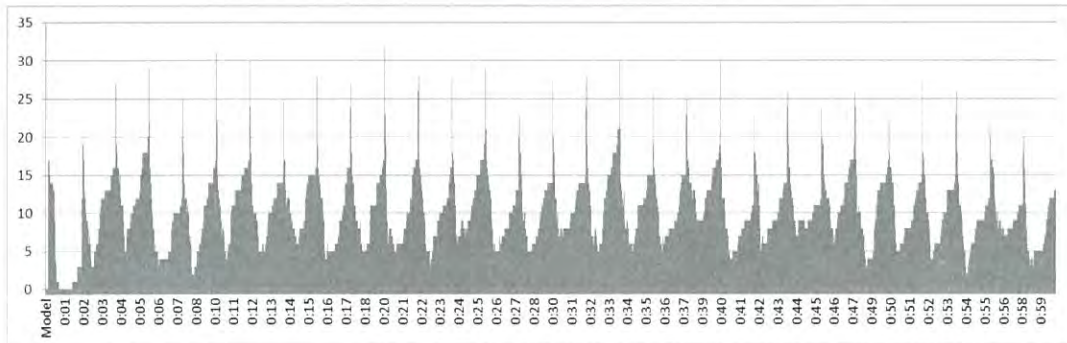


Figura 43 - Numero passeggeri registrati in banchina verso San Siro (southbound)

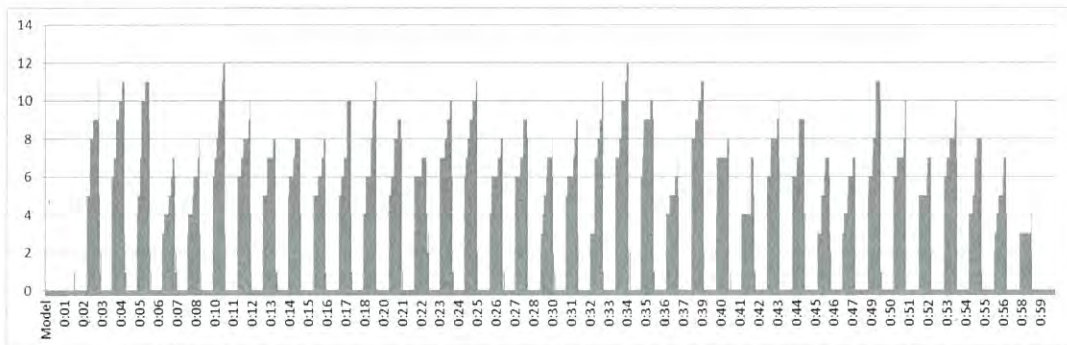


Figura 44 - Numero passeggeri registrati nel treno verso Monza (northbound)

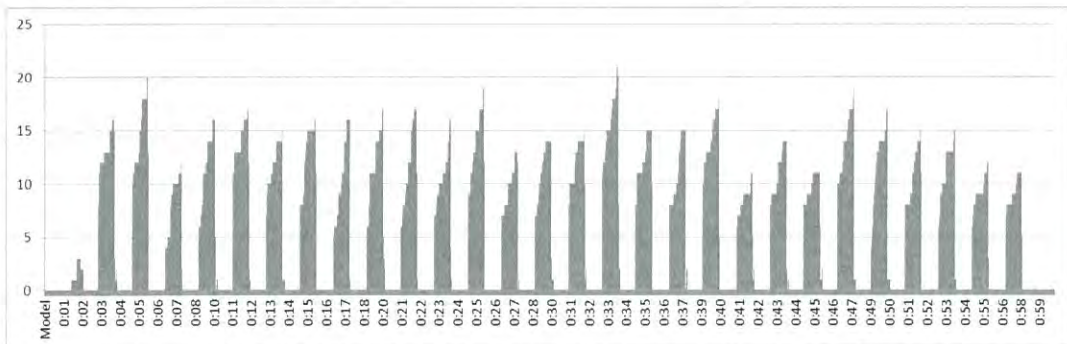


Figura 45 - Numero passeggeri registrati nel treno verso San Siro (southbound)



7.3.4. SCENARIO DEL MATTINO – VIDEO DELLA SIMULAZIONE

Le seguenti immagini rappresentano i frame più significativi del video della simulazione dell'ora di punta del pomeriggio.



Figura 46 – Time 00:10:00



Figura 47 – Time 00:25:00

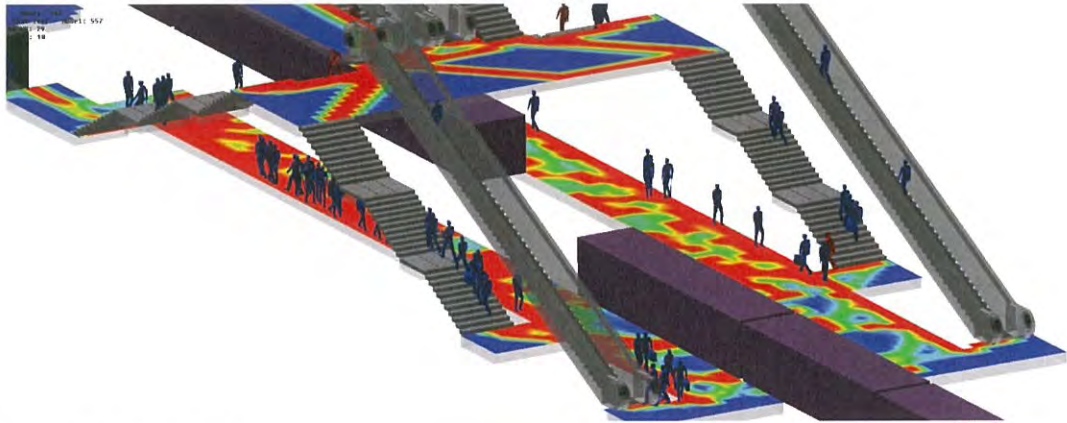


Figura 48 – Time 00:33:00



7.4. CONCLUSIONI

La stazione tipologica presa in esame non evidenzia nessuna particolare criticità, sia nello scenario di picco del mattino che nello scenario di picco del pomeriggio. I Livelli di Servizio registrati sono ottimali in tutti i livelli con valori di LOS mai inferiori a C, garantendo quindi un elevato livello di comfort ai passeggeri.

Non si evidenziano particolari frizioni tra i flussi pedonali in entrata ed uscita e non si registrano accodamenti alle tornellerie in entrambe le configurazioni.

Le piattaforme risultano opportunamente dimensionate e la configurazione delle risalite verticali permette un uniforme utilizzo delle stesse.

