

# POLITECNICO DI TORINO

## Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile



Tesi di Laurea Magistrale

# Fire Safety Engineering: Applicazioni per la gestione delle emergenze e studio del comportamento umano in una stazione metropolitana

**Relatori**

*Prof. Roberto Vancetti*  
*Prof.ssa Anna Osello*  
*Ing. Emiliano Cereda*

**Candidato**

*Francesco Saverio Troiano*

Anno Accademico 2019/2020

## **ABSTRACT**

The paper deals with the issue of users' excess in places of transit, with particular attention to the occupants who have a form of disability.

In this context, “Decreto Ministeriale 3 agosto 2015”, also known as “Codice di prevenzione incendi”, speak for the first time about the topic of inclusion.

The work begins with the study of the places of transit and in particular with the identification of the users who daily frequent these places.

The data derive from the study of the legislation and from a statistical analysis conducted in 2 metropolitan stations at various times of the day.

Starting from the case study of the underground station of Turin “Italia 61 – Regione Piemonte” the main peculiarities of the occupants are identified, in particular the characteristics of individuals with disabilities.

Each category is characterized by the geometry and behavior of each occupant following the occurrence of an emergency situation.

The use of the exodus simulation software Pathfinder subsequently allowed the modeling of the various emergency scenarios identified, characterized by a different combination of types of occupants inside the metro station.

The final analysis of the simulation results has the purpose of verifying the effectiveness of the protection measures present in the place under study, with particular reference to the exodus system which must be able to guarantee safe evacuation of all types of occupants.

# INDICE

ABSTRACT .....	I
INDICE DELLE FIGURE .....	IV
INDICE DELLE TABELLE.....	VI
INTRODUZIONE.....	1
Capitolo 1: METODOLOGIA .....	2
Capitolo 2: L'APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO .....	4
Capitolo 3: IL COMPORTAMENTO UMANO IN CASO DI INCENDIO.....	8
3.1 Le caratteristiche principali.....	8
3.2 Individuazione dei profili degli occupanti nei luoghi di transito .....	9
3.2.1 Categoria senza disabilità .....	10
3.2.2 Categoria con disabilità .....	14
3.3 Tempi di pre-movimento .....	20
3.4 Velocità .....	23
3.5 Tecnologie per la comunicazione dell'allarme .....	26
Capitolo 4: LA MODELLAZIONE DELL'ESODO .....	28
4.1 Aspetti generali dei modelli di esodo .....	28
4.2 Classificazione dei software esistenti .....	30
4.3 Pathfinder: modellazione dell'esodo basata sul movimento.....	31
Capitolo 5: IL CASO STUDIO: LA STAZIONE METROPOLITANA ITALIA 61'- REGIONE PIEMONTE.....	33
5.1 Descrizione e inquadramento generale.....	33
5.2 Ricerca e analisi dati: statistiche ingressi in stazione metropolitana.....	36
5.3 Modellazione d'incendio .....	44
5.3.1 Creazione del modello d'incendio.....	44
5.3.2 Individuazione dello scenario di progetto.....	46
5.3.3 Dati di input per la modellazione .....	46
5.4 Modellazione dell'esodo.....	49
5.4.1 Creazione del modello d'esodo .....	49
5.4.2 La modellazione dei profili degli occupanti.....	51
5.4.3 Il comportamento degli occupanti .....	56

5.4.4	Tempo di rivelazione, allarme e pre-movimento .....	57
5.4.5	Affollamento .....	60
5.4.6	Risultati delle simulazioni d'esodo .....	63
5.5	Verifica della salvaguardia della vita umana .....	73
5.5.1	Calcolo di ASET .....	74
5.5.2	Calcolo di RSET.....	80
5.5.3	Verifica del criterio $ASET > RSET$ .....	81
5.5.4	Sovrapposizione dei risultati .....	82
5.6	Valutazioni nel caso di simulazione d'esodo in condizioni standard.....	86
5.7	Valutazioni sull'inserimento di un ascensore antincendio.....	89
Capitolo 6: CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI.....		93
Capitolo 7: SITOGRAFIA E BIBLIOGRAFIA .....		95

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1: Workflow .....	3
Figura 2.1: Schema rappresentativo del tempo RSET e ASET .....	6
Figura 3.1: Dati antropometrici di utente con passeggino fonte “Barriere architettoniche” di M. di Sivo, E. Schiavone, M. Tambasco .....	12
Figura 3.2: Dati antropometrici di utente con valigia fonte “Barriere architettoniche” di M. di Sivo, E. Schiavone, M. Tambasco.....	14
Figura 3.3: Disabilità .....	14
Figura 3.4: Dati antropometrici di un utente in sedia a rotelle fonte “Barriere architettoniche” di M. di Sivo, E. Schiavone, M. Tambasco.....	16
Figura 3.5: Dati antropometrici di utenti con bastone e con stampelle fonte “Barriere architettoniche” di M. di Sivo, E. Schiavone, M. Tambasco.....	17
Figura 3.6: Dati antropometrici di un utente con bastone e con cane guida fonte “Barriere architettoniche” di M. di Sivo, E. Schiavone, M. Tambasco.....	18
Figura 3.7: Rappresentazione grafica dell'equazione.....	23
Figura 4.1: Visualizzazione delle mesh triangolari presenti in un modello.....	32
Figura 5.1: Rappresentazione grafica della Linea 1 della metropolitana di Torino .....	33
Figura 5.2: Planimetria della stazione Italia 61' – Regione Piemonte.....	34
Figura 5.3: Render con vista sulla banchina .....	35
Figura 5.4: Spaccato assonometrico della stazione metropolitana Italia 61' .....	35
Figura 5.5: Treno VAL 208 fonte Infra.TO.....	36
Figura 5.6: Orari con il maggior numero di visite nella stazione Vinzaglio .....	37
Figura 5.7: Orari con il maggior numero di visite nella stazione Dante fonte Google .....	37
Figura 5.8: Ubicazione fermata Vinzaglio fonte Google Maps.....	37
Figura 5.9: Campionamento Martedì 14/01/2020.....	38
Figura 5.10: Campionamento Giovedì 16/01/2020.....	39
Figura 5.11: Campionamento Sabato 18/01/2020.....	39
Figura 5.12: Ubicazione fermata Dante fonte Google Maps.....	40
Figura 5.13: Campionamento Martedì 17/12/2019.....	41
Figura 5.14: Campionamento Giovedì 19/12/2019.....	41
Figura 5.15: Campionamento Sabato 21/12/2019.....	42
Figura 5.16: Modello importato su Pyrosim.....	45
Figura 5.17: Impostazione dimensioni celle.....	45
Figura 5.18: Curve HRR fonte “Handbook of fire Protection Engineering” 5th Edizione....	47
Figura 5.19: Edit reactions Pyrosim.....	47
Figura 5.20: Inserimento delle slice nel modello .....	48
Figura 5.21: Posizione del focolaio .....	48
Figura 5.22: Icona di Pathfinder .....	49

Figura 5.23: Pianta piano banchina .....	49
Figura 5.24: Pianta esodo piano banchina .....	50
Figura 5.25: Pianta esodo piano atrio .....	50
Figura 5.26: Profili creati su Pathfinder .....	51
Figura 5.27: Profilo utente con valigia.....	52
Figura 5.28: Profilo utente con bastone.....	52
Figura 5.29: Profilo utente in sedia a rotelle con due assistenti.....	53
Figura 5.30: Profilo utente non vedente con un assistente .....	53
Figura 5.31: Impostazioni Movement Group .....	54
Figura 5.32: Gruppi di utenti che si muovono contemporaneamente .....	54
Figura 5.33: Stralcio della tabella E.2 fonte ISO/TR 16738:2009 .....	57
Figura 5.34: Comportamento di un utente con valigia .....	59
Figura 5.35: Inserimento degli occupanti nel modello.....	62
Figura 5.36: Dati di input per la creazione del portale.....	62
Figura 5.37: Scenario ore 8:00 - Grafico occupanti/tempo.....	64
Figura 5.38: Scenario ore 8:00 - Flusso degli occupanti dalle uscite.....	64
Figura 5.39: Scenario ore 14:00 - Grafico occupanti/tempo.....	64
Figura 5.40: Scenario ore 14:00 - Flusso degli occupanti dalle uscite.....	65
Figura 5.41: Scenario ore 17:00 - Grafico occupanti/tempo.....	65
Figura 5.42: Scenario ore 17:00 - Flusso degli occupanti dalle uscite.....	65
Figura 5.43: Posizione dei devices all'interno della metropolitana .....	74
Figura 5.44: Slices visibilità - Istante 365,5 s .....	82
Figura 5.45: Slices visibilità - Istante 409,4 s .....	83
Figura 5.46: Slices visibilità - Istante 460,3 s .....	83
Figura 5.47: Slice visibilità scale - Istante 365,5 s.....	84
Figura 5.48: Slice visibilità scale - Istante 402,5 s.....	84
Figura 5.49: Valori per l'ultimo occupante non assistito.....	85
Figura 5.50: Grafico tempi di esodo ultimi occupanti.....	87
Figura 5.51: Inserimento ascensori antincendio .....	89
Figura 5.52: Pianta piano banchina .....	90
Figura 5.53: Grafico occupanti/tempo per lo scenario con l'ascensore antincendio .....	91
Figura 5.54: Arrivo del Vigile del Fuoco nello spazio calmo .....	92
Figura 5.55: Utilizzo ascensore antincendio.....	92

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 3.1: Dati antropometrici della popolazione mondiale tratti da “Crowd Safety and Risk Analysis” di G. Keith Still .....	11
Tabella 5.1: Percentuali dei profili degli occupanti alle ore 8:00, 14:00 e 17:00.....	43
Tabella 5.2: Tabella riassuntiva delle velocità utilizzate per ogni profilo .....	55
Tabella 5.3: Tempi di pre-movimento calcolati.....	59
Tabella 5.4: Dati dell’affollamento calcolati per il caso studio secondo il D.M. 21/10/2015 .....	60
Tabella 5.5: Dati affollamento distribuiti per ogni occupante in base alle percentuali dei profili presenti alle ore 8:00, 14:00, 17:00 .....	61
Tabella 5.6: Confronto dei tempi di esodo degli ultimi occupanti tra i tre scenari .....	63
Tabella 5.7: Soglie di prestazione .....	73
Tabella 5.8: Valori RSET per diversi devices .....	81
Tabella 5.9: Verifica $ASET > RSET$ .....	81
Tabella 5.10: Tempi di esodo ultimi occupanti per i diversi scenari analizzati .....	87
Tabella 5.11: Differenze tra lo scenario con ascensore antincendio e quello senza ascensore .....	91

## INTRODUZIONE

Il presente elaborato affronta il tema dell'esodo degli utenti nei luoghi di transito, con particolare attenzione agli occupanti che presentano una forma di disabilità. In questo ambito il "Decreto Ministeriale 3 agosto 2015", conosciuto anche come "Codice di prevenzione incendi", rappresenta una svolta in quanto viene per la prima volta affrontato il tema dell'inclusione.

Al fine di realizzare una progettazione inclusiva è necessario innanzitutto studiare i luoghi di transito ed in particolare identificare le tipologie di utenza che quotidianamente frequenta questi luoghi.

A partire dal caso studio della stazione metropolitana "Italia 61' – Regione Piemonte" di Torino, vengono individuate le principali peculiarità degli occupanti, in particolar modo quelle caratterizzanti gli individui con disabilità. La caratterizzazione di ciascun profilo prevede l'individuazione della geometria, del tempo di pre-movimento, della velocità di movimento e l'identificazione del comportamento di ciascuno di essi in seguito all'accadimento di una situazione di emergenza.

L'individuazione degli scenari di emergenza, caratterizzati da una differente combinazione di tipologie di occupanti all'interno della stazione metropolitana, si pone alla base della modellazione d'esodo con lo scopo di verificare che l'evacuazione dell'edificio avvenga nel rispetto della salvaguardia della vita.

A tal fine è necessaria la verifica del criterio  $ASET > RSET$ , ovvero che il tempo richiesto per l'esodo degli occupanti sia maggiore del tempo disponibile, dipendente dalle condizioni ambientali in cui esso avviene. Il rispetto del criterio deve garantire a tutte le tipologie di occupanti l'evacuazione in sicurezza.

L'introduzione del D.M. 21 ottobre 2015, successiva alla redazione del progetto della metropolitana oggetto di studio, ha introdotto l'obbligo dell'inserimento di ascensori antincendio all'interno delle stazioni metropolitane. Si pone quindi l'obiettivo di valutare i vantaggi dell'introduzione degli ascensori sull'esodo degli occupanti assistiti.

## Capitolo 1: METODOLOGIA

I paragrafi seguenti descrivono la metodologia utilizzata per conseguire gli obiettivi fissati nell' introduzione.

Il lavoro ha inizio con lo studio dei luoghi di transito e in particolare con l'identificazione dell'utenza che quotidianamente frequenta questi luoghi. A tal fine vengono utilizzati i dati contenuti nella letteratura e nelle linee guida DARAC. Le tipologie di occupanti individuate vengono innanzitutto distinte in due categorie che includono rispettivamente gli occupanti con disabilità e quelli senza.

La caratterizzazione di ciascun profilo è svolta sulla base del comportamento, dei dati antropometrici, del tempo di pre-movimento e della velocità di movimento di ciascuno di essi. Queste informazioni sono individuate a partire dalla ISO/TR 16738, dal PD 7974 e dalle indicazioni presenti in letteratura.

La valutazione delle criticità riscontrabili in una situazione d'emergenza all'interno della stazione metropolitana oggetto di studio è possibile solo successivamente ad un processo di modellazione che prevede tre fasi:

- modellazione 3D: il modello tridimensionale dell'edificio è modellato grazie alla metodologia BIM ed in particolare mediante il software Autodesk Revit;
- modellazione d'incendio: eseguita mediante il software Pyrosim, ovvero un'interfaccia grafica FDS (fire dynamics simulator), che permette di inserire al suo interno il modello BIM ed arricchirlo con le informazioni relative al focolare e ai prodotti dell'incendio;
- modellazione d'esodo: realizzata attraverso il software Pathfinder che consente di importare il file di esportazione Pyrosim ed inserire le caratteristiche degli occupanti al fine di valutare i tempi d'esodo.

La modellazione d'esodo prevede innanzitutto il reperimento di informazioni relative all'affollamento e alle percentuali dei profili di occupanti da considerare per la valutazione dell'evacuazione.

I dati vengono reperiti dallo studio della normativa in vigore (D.M. 21/10/2015) e da un'analisi statistica condotta di persona in 2 stazioni metropolitane affini a quella del caso studio, a vari orari della giornata.

L'analisi quantitativa dei risultati provenienti dalle simulazioni effettuate con i software d'incendio e d'esodo ha lo scopo di verificare l'efficacia delle misure di protezione presenti all'interno del luogo oggetto di studio, con particolare riferimento al sistema d'esodo che deve essere in grado di garantire a tutte le tipologie di occupanti l'evacuazione in sicurezza. I risultati relativi ai vari scenari d'esodo considerati vengono successivamente comparati per evidenziarne le differenze.

Ulteriori valutazioni quantitative vengono svolte per lo scenario d'esodo in cui è previsto l'inserimento degli ascensori antincendio al fine di valutarne i vantaggi rispetto alle misure previste da progetto.

Il seguente schema riassume le fasi della metodologia utilizzata, precedentemente descritte.

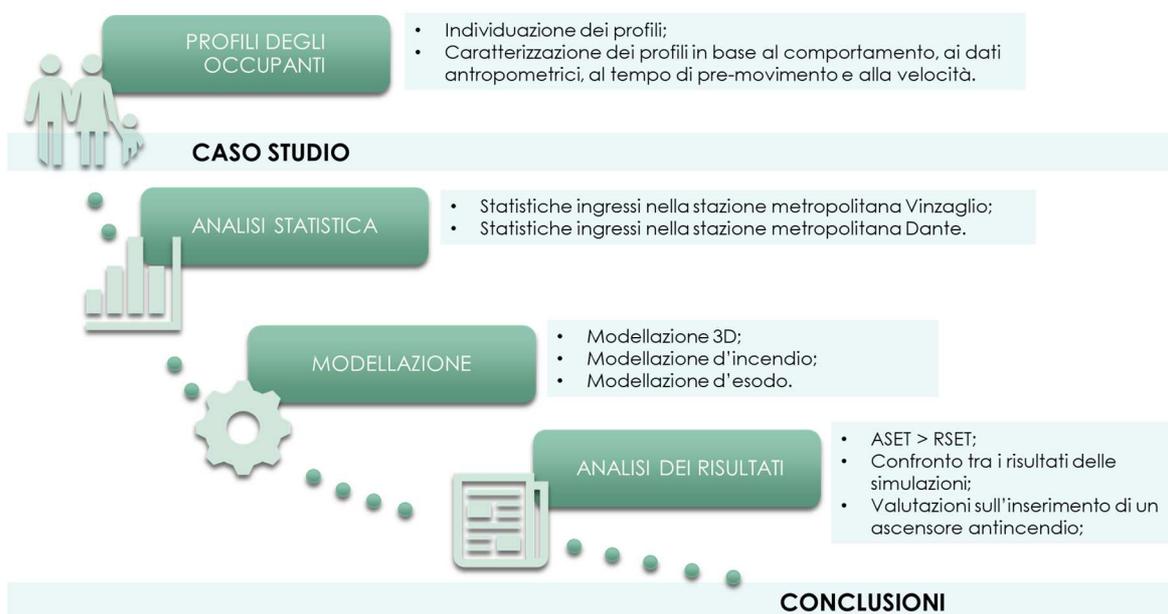


Figura 1.1: Workflow

## Capitolo 2: L'APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO

La Fire Safety Engineering, ovvero la cosiddetta "Ingegneria della sicurezza antincendio", prende piede in Italia con l'entrata in vigore del D.M. 3 agosto 2015, ovvero il testo unico di prevenzione incendi. Nello specifico i concetti e i metodi di tale approccio ingegneristico si trovano nella "sezione M" del codice.

L'innovazione legata a questo nuovo approccio consiste nella possibilità di effettuare simulazioni di incendio con lo scopo di restituire dati utili al progettista per valutare la durabilità della struttura e delle sue funzioni e il tempo a disposizione degli occupanti per fuggire da una struttura.

La "sezione M" del decreto precedentemente citato descrive l'iter progettuale da seguire per la progettazione prestazionale. Essa si compone infatti di due macro fasi che prevedono rispettivamente:

- Analisi preliminare, con lo scopo di individuare gli scenari d'incendio che possono accadere nell'attività in virtù delle caratteristiche del focolare, dell'edificio e degli occupanti e le soglie di prestazione di riferimento;
- Analisi quantitativa che consiste nell'applicazione di modelli di calcolo dai quali risultano dati sull'evoluzione dell'incendio e dei suoi effetti, da confrontare con le soglie di prestazione prima definite.

Una volta concluse queste due fasi, segue la scelta degli scenari d'incendio di progetto che vengono descritti sulla base delle caratteristiche di incendio, attività e occupanti.

Lo scopo finale è la salvaguardia della vita umana che coincide con il raggiungimento di un luogo sicuro da parte di tutti gli occupanti dell'edificio in cui si genera il focolare. A tale fine la norma introduce il criterio  $ASET > RSET$ , ovvero il confronto tra due intervalli di tempo che coincidono con:

- ASET (Available safe escape time), tempo disponibile per l'esodo;
- RSET (Required safe escape time), tempo richiesto per l'esodo.

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

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

Il valore di ASET può essere determinato in funzione di calcoli fluidodinamici che permettono di stimare le concentrazioni di prodotti tossici, le temperature e la densità dei fumi nel tempo. In particolare la norma ISO 13571 propone di assumere il valore di ASET assoluto pari al più piccolo tra gli ASET calcolati secondo i seguenti quattro modelli:

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

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

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

in cui:

- $\Delta t_{det}$ , tempo di rivelazione;
- $\Delta t_a$ , tempo di allarme generale;
- $\Delta t_{pre}$ , tempo di pre-movimento;
- $\Delta t_{tra}$ , tempo di movimento.

L'immagine sottostante mostra la suddivisione del tempo RSET e il confronto con il valore di ASET.



**Figura 2.1: Schema rappresentativo del tempo RSET e ASET**

Il valore di RSET è influenzato da molteplici fattori legati alle caratteristiche di occupanti, alle modalità di rivelazione incendio ed allarme, alle misure di progettazione d’esodo attuate.

La definizione specifica di ciascun tempo di cui è composto l’RSET è fornita dal codice di prevenzione incendi ed è la seguente.

**Tempo di rivelazione**

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

**Tempo di allarme generale**

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

Questo tempo può essere:

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

### **Tempo di pre-movimento**

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

Questo tempo è composto ulteriormente da:

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

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

### **Tempo di movimento**

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

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

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

## Capitolo 3: IL COMPORTAMENTO UMANO IN CASO DI INCENDIO

### 3.1 Le caratteristiche principali

L'esodo in situazioni di emergenza è strettamente legato al comportamento dell'uomo.

Al fine di poter comprendere meglio le dinamiche che lo caratterizzano è quindi necessario definire i fattori che influenzano il comportamento dell'uomo in modo tale da poterli quantificare e considerare all'interno delle simulazioni d'esodo.

Le variabili principali necessarie a discriminare il comportamento degli individui in situazioni di emergenza sono:

- genere;
- capacità fisiche e sensoriali;
- età;
- familiarità con l'edificio;
- attaccamento sociale;
- attaccamento agli oggetti.

Di seguito è fornita una descrizione sintetica di ciascuna caratteristica con lo scopo di giustificare l'influenza di ciascuna di esse sull'esodo.

Numerosi studi hanno dimostrato che uomini e donne si comportano diversamente durante situazioni di emergenza: i primi agiscono cercando di spegnere l'incendio mentre le seconde tendono a raggiungere i familiari e a mettersi in salvo.

Le ridotte capacità fisiche e sensoriali incidono sull'esodo aumentando nella maggior parte dei casi i tempi di evacuazione; un esempio tangibile è rappresentato dagli individui in sedia rotelle.

Un altro fattore che influenza l'esodo è l'età degli individui, infatti un adulto, un bambino e un anziano hanno tempi di evacuazione differenti in ragione delle diverse abilità decisionali, sensoriali e di azione.

Altri aspetti che devono essere presi in considerazione sono l'attaccamento sociale e l'attaccamento agli oggetti che rallentano le procedure di evacuazione. Si osserva infatti che alcune persone con legami sociali e affettivi tendono a cercare ad aiutare i propri cari

durante una situazione di pericolo; altre si preoccupano di recuperare oggetti personali, come avviene negli incendi che si sviluppano nelle proprie abitazioni. In questi casi, la familiarità con l'edificio non porta ad un giovamento poiché l'occupante sentendosi al sicuro potrebbe non percepire la situazione di pericolo.

Un altro fattore da tenere in considerazione è la familiarità con l'edificio. Da numerosi studi si evince che gli occupanti tendono a ripercorrere, durante l'esodo, lo stesso percorso che hanno utilizzato per accedervi, non curandosi della segnaletica d'emergenza.

Le caratteristiche appena enunciate contribuiscono in modo significativo alla realizzazione delle simulazioni d'esodo poiché rappresentano il punto di partenza per l'assegnazione dei tempi di pre-movimento e delle velocità per ciascuna tipologia di occupante.

### **3.2 Individuazione dei profili degli occupanti nei luoghi di transito**

I luoghi di transito sono caratterizzati dalla presenza di un grande e variegato numero di occupanti che durante situazioni di emergenza possono assumere comportamenti variabili. In base alle caratteristiche prima citate è possibile individuare diversi profili di utenti, raggruppati nelle seguenti due principali categorie:

- Categoria senza disabilità;
- Categoria con disabilità.

Il primo riferimento normativo che tratta il tema dell'inclusione, considerandolo parte integrante della progettazione, è il D.M. 03/08/2015, noto anche come "Codice di Prevenzione Incendi".

Il limite di tale norma, come per tutte le altre norme in materia di progettazione, riguarda la definizione di disabilità. Infatti con tale termine ci si riferisce solitamente, in modo errato, alle persone in sedia a rotelle o agli individui che richiedono per camminare il supporto di un bastone. In realtà esistono molteplici e differenti tipologie di disabili, caratterizzati da limiti sia sensoriali che cognitivi, permanenti o transitori, come nel caso di individui che normalmente godono di buona salute ma che temporaneamente risultano limitati nella deambulazione.

Negli ultimi anni la società sta mostrando grande sensibilità rispetto a questo argomento, segno di un cambiamento anche culturale, che deve ancora imporsi.

È importante, al fine di garantire la salvaguardia di tutte le vite umane nelle situazioni critiche, considerare nella fase di progettazione della sicurezza antincendio un'utenza reale nella sua oggettiva e variegata diversità.

### **3.2.1 Categoria senza disabilità**

La categoria di utenti senza disabilità include numerose tipologie di occupanti, elencate di seguito:

- Utenti standard;
- Anziani;
- Bambini;
- Utenti con passeggino;
- Utenti con bambini;
- Utenti con valigie o con biciclette;
- Gruppi di persone.

Di seguito è esplicitata la caratterizzazione di ciascun profilo di occupante senza disabilità sopra elencato, con particolare riferimento ai dati antropometrici e al comportamento che li caratterizzano.

#### **UTENTI STANDARD**

Gli utenti definiti "standard" sono coloro i quali risultano caratterizzati da uno stato di veglia, dall'assenza di familiarità con l'edificio e da condizioni fisiche e cognitive standard.

#### **Dati antropometrici**

I dati antropometrici utilizzati per questi utenti sono ricavati sulla base della media dei valori delle misurazioni effettuate su uomini e donne di nove diversi paesi, come mostrato da G. Keith Still nell'articolo "Crowd Safety and Risk Analysis".

Tali dati vengono utilizzati come valori di input nella maggior parte dei software di simulazione dell'esodo e servono a definire le dimensioni standard di ciascun individuo considerato. Tali dimensioni sono: diametro di 45,58 cm ed altezza di 182 cm.

Di seguito è riportata la tabella da cui sono stati estrapolati i precedenti dati:

<i>Popolazione</i>	<i>Respiro [cm]</i>	<i>Spessore [cm]</i>	<i>Area [m<sup>2</sup>]</i>
<i>Uomini Britannici</i>	51,00	32,5	0,26
<i>Donne Britanniche</i>	43,50	30,50	0,21
<i>Uomini Polacchi</i>	47,50	27,50	0,21
<i>Donne Polacche</i>	41,00	28,50	0,18
<i>Uomini Giapponesi</i>	41,00	28,50	0,18
<i>Donne Giapponesi</i>	42,50	23,50	0,16
<i>Uomini di Hong Kong</i>	47,00	23,50	0,17
<i>Donne di Hong Kong</i>	43,50	27,00	0,18
<i>Uomini anziani</i>	48,00	29,00	0,22
<i>Donne anziane</i>	41,50	30,50	0,20
<i>Uomini Americani</i>	51,50	29,00	0,23
<i>Donne Americane</i>	44,00	30,00	0,21
<i>Uomini Francesi</i>	51,50	28,00	0,23
<i>Donne Francesi</i>	47,00	29,50	0,22
<i>Uomini Svedesi</i>	51,00	25,50	0,20
<i>Donne Svedesi</i>	42,50	30,00	0,20
<i>Uomini Svizzeri</i>	47,50	29,50	0,22
<i>Donne Svizzere</i>	45,50	32,50	0,23
<i>Uomini Indiani</i>	45,50	23,50	0,17
<i>Donne Indiane</i>	39,00	25,50	0,16
<b>Media</b>	<b>45,58</b>	<b>28,20</b>	<b>0,20</b>

**Tabella 3.1: Dati antropometrici della popolazione mondiale tratti da "Crowd Safety and Risk Analysis" di G. Keith Still**

## **ANZIANI**

Le persone con età avanzata potrebbero presentare deficit sensoriali, quali diminuzione dell'acuità visiva, ridotta percezione della profondità e diminuzione dell'udito, nonché deficit di mobilità ed equilibrio a causa dell'invecchiamento.

Tali deficit possono comportare l'aumento dei rischi in presenza di incendio in quanto le persone anziane potrebbero riconoscere il pericolo in ritardo. In situazioni di emergenza questa categoria si muove lentamente, in maniera autonoma, appoggiandosi al parapetto durante la salita o la discesa delle scale.

### **Dati antropometrici:**

Per questa tipologia di utenza valgono i dati antropometrici adoperati precedentemente per gli utenti standard.

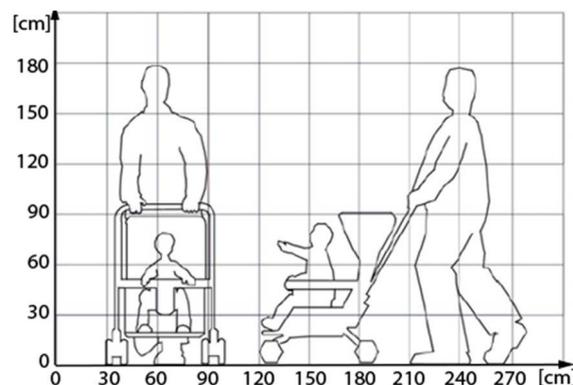
## **UTENTI CON PASSEGGINO**

Nelle situazioni di emergenza questa utenza tende a muoversi insieme al passeggino fino all'incontro di un ostacolo fisico, come delle scale, per poi abbandonare l'oggetto proseguendo l'esodo con il bambino in braccio, fino all'uscita di emergenza.

Nella verifica dell'esodo si deve tenere conto della possibile presenza di passeggini abbandonati lungo i percorsi, costituenti intralcio all'esodo delle persone.

### **Dati antropometrici:**

Gli utenti con passeggino hanno un ingombro complessivo approssimabile con le dimensioni indicate nell'immagine 3.1, ovvero larghezza di 60 cm e lunghezza di 150 cm.



**Figura 3.1: Dati antropometrici di utenze con passeggino fonte "Barriere architettoniche" di M. di Sivo, E. Schiavone, M. Tambasco**

## **UTENTI CON BAMBINI**

In situazioni di pericolo gli utenti con bambini al loro seguito possono assumere due differenti comportamenti:

- gli utenti riescono a raggiungere le uscite con i loro bambini mano nella mano;
- gli utenti non riescono a raggiungere le uscite insieme ai bambini poiché li hanno persi nella folla.

Nella verifica dell'esodo della prima situazione si deve tenere conto dell'ingombro di due persone, un uomo e un bambino, che si muovono contemporaneamente.

Nel secondo caso occorre considerare due ingombri differenti e separati per il bambino e l'utente adulto; occorre inoltre tenere conto del fatto che quest'ultimo impiegherà più tempo per raggiungere un luogo sicuro poiché impegnato nella ricerca del bambino.

### **Dati antropometrici:**

I dati antropometrici adoperati per questi utenti sono i medesimi di quelli utilizzati per gli utenti standard.

## **GRUPPI DI PERSONE**

I luoghi di transito sono spesso affollati da gruppi di persone come amici, scolaresche o parenti aventi legami sociali o affettivi. Le persone appartenenti a ciascun gruppo tendono ad avere lo stesso comportamento e a muoversi contemporaneamente in situazioni di emergenza, ritardando anche la fuga nel caso in cui qualcuno rimanga indietro.

### **Dati antropometrici:**

I gruppi di persone sono concepiti come insiemi di persone caratterizzate dai medesimi dati antropometrici assunti per gli utenti standard.

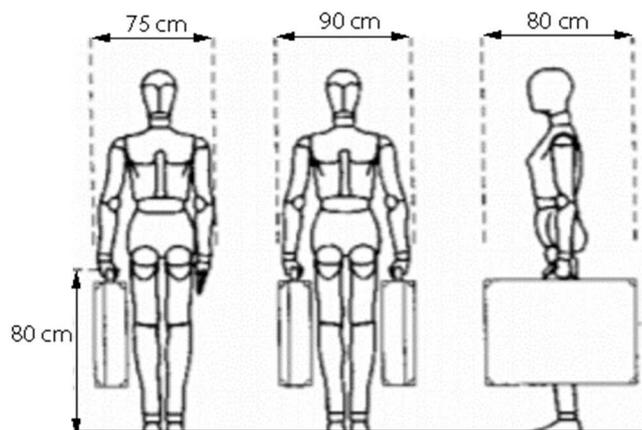
## **UTENTI CON VALIGIE**

Nei luoghi di transito, come la metropolitana, si riscontra spesso la presenza di utenti che portano con sé oggetti ingombranti, come valigie.

Tali soggetti, durante una situazione di emergenza, tendono a portare con sé l'oggetto che impedisce un esodo scorrevole.

### Dati antropometrici:

L'ingombro di tali individui è approssimato con le misure indicate nell'immagine sottostante in cui la larghezza dipende dal quantitativo di bagagli considerati per ciascun utente.



*Figura 3.2: Dati antropometrici di utente con valigia fonte "Barriere architettoniche" di M. di Sivo, E. Schiavone, M. Tambasco*

### **3.2.2 Categoria con disabilità**

La discretizzazione dei profili con disabilità è stata fatta sulla base della guida NFPA "Emergency Evacuation Planning Guide for People with Disabilities".

La guida è stata realizzata in collaborazione con la comunità dei disabili e racchiude tutte le esigenze e le problematiche emergenti nelle diverse disabilità, rappresentate in modo semplificato come nell'immagine sottostante.



*Figura 3.3: Disabilità*

La categoria con disabilità include le seguenti tipologie di occupanti:

- Occupanti con sedia a rotelle: elettrica o manuale;
- Occupanti con bastone o con stampelle;
- Occupanti ciechi o con ridotta visibilità;
- Occupanti non udenti;
- Occupanti con problemi di tipo cognitivo;
- Occupanti con problemi di linguaggio;
- Occupanti con disabilità temporanee e multiple.

Come fatto precedentemente per gli utenti appartenenti alla categoria senza disabilità, di seguito sono riportati i dati antropometrici di ciascun profilo di occupante con disabilità sopra elencato e una breve descrizione del comportamento di ciascuno di essi.

#### **UTENTI CON DISABILITA' MOTORIA**

Le persone con disabilità motoria possono essere classificate in due tipologie differenti a seconda che essi presentano:

- nessuna o ridotta capacità della parte inferiore del corpo;
- nessuna o ridotta capacità della parte superiore del corpo.

Nelle situazioni di emergenza le persone con problemi motori alla parte inferiore del corpo, a differenza di quelle con problemi motori alla parte superiore, riscontrano impedimenti non indifferenti nel raggiungere in maniera autonoma l'uscita di emergenza.

Le alterazioni delle funzioni legate al movimento della parte inferiore del corpo possono influenzare l'equilibrio, la coordinazione, la sensazione e il movimento di una persona.

Pertanto tale utenza è generalmente supportata da ausili quali sedia a rotelle, bastone, stampelle o girello in modo tale da essere agevolati nel movimento.

Gli utenti con nessuna o ridotta capacità motoria della parte superiore del corpo non presentano generalmente difficoltà nel raggiungimento di un luogo sicuro in modo autonomo.

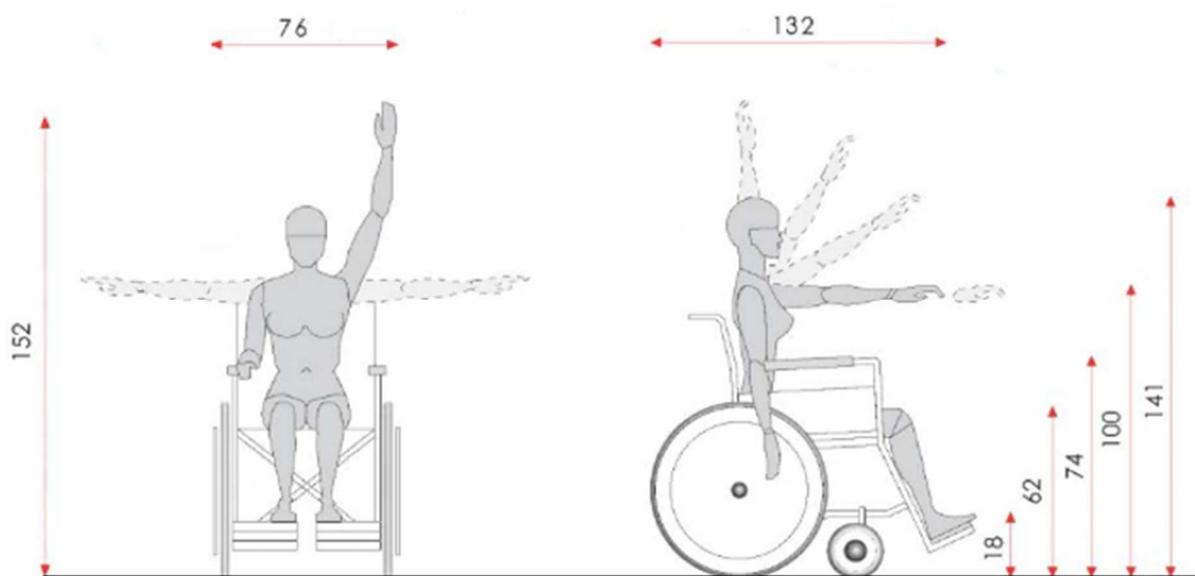
Nei paragrafi successivi vengono ulteriormente distinte e caratterizzate le utenze con disabilità motoria in virtù del supporto utilizzato nel movimento.

### Utenti in sedia a rotelle

Le limitazioni che riscontrano gli utenti in sedia a rotelle durante l'esodo riguardano la ridotta capacità di muoversi, l'impossibilità di salire o scendere le scale e la ristretta visibilità della segnaletica a causa dell'altezza della visuale, molto inferiore rispetto a quella dell'utente normodotato. Questi utenti, dotati di sedia a rotelle manuale o elettrica, possono trovarsi sia da soli, quindi autonomi nel movimento, sia in compagnia di un assistente, in caso di disabilità multipla. In quest'ultimo caso l'assistente assolve ad un ruolo importante nelle situazioni di emergenza.

### Dati antropometrici:

Gli utenti in sedia a rotelle presentano un ingombro le cui dimensioni sono quelle rappresentate nell'immagine sottostante.



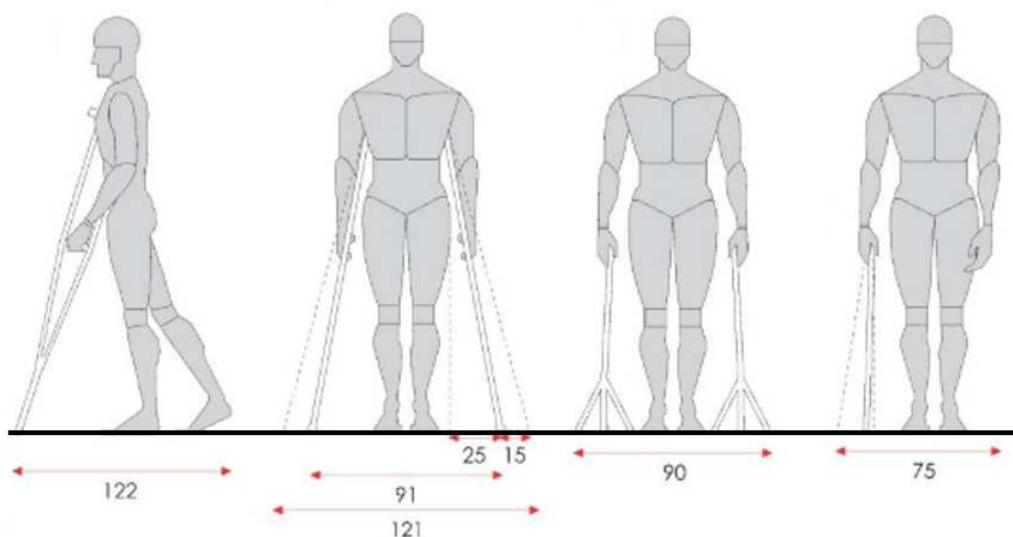
**Figura 3.4: Dati antropometrici di un utente in sedia a rotelle fonte "Barriere architettoniche" di M. di Sivo, E. Schiavone, M. Tambasco**

### Utenti con bastone o stampelle

Gli utenti con bastone o stampelle hanno la capacità di spostarsi, salire e scendere le scale in maniera autonoma ma lentamente a causa del loro equilibrio precario.

#### Dati antropometrici:

L'ingombro degli utenti con bastone e con stampelle ha le dimensioni riportate nell'immagine sottostante, in dipendenza del numero di supporti adoperati.



**Figura 3.5: Dati antropometrici di utenti con bastone e con stampelle fonte "Barriere architettoniche" di M. di Sivo, E. Schiavone, M. Tambasco**

### DISABILITA' SENSORIALE

#### Persone non vedenti o con ridotta visibilità

In questa categoria ricadono tutti quegli individui che presentano limitazioni che possono variare da lievi menomazioni alla vista fino alla completa cecità.

Tali limiti possono coincidere con la ridotta capacità di mettere a fuoco in maniera corretta gli oggetti, la ridotta capacità di distinguere i colori e le immagini e la maggiore sensibilità all'abbagliamento e alle luci lampeggianti.

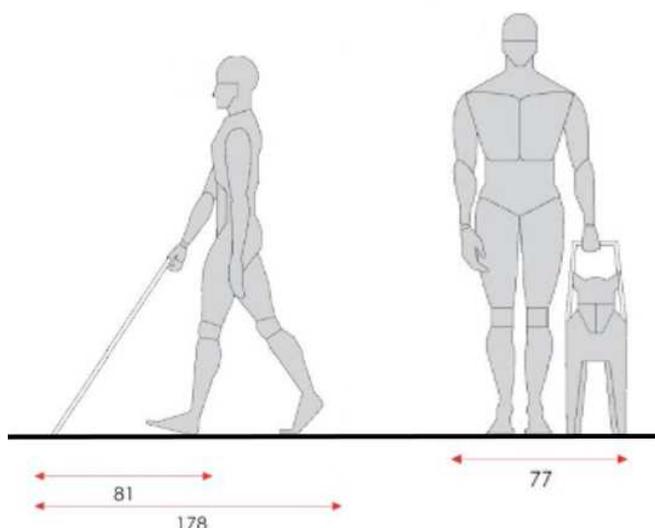
Le persone con disabilità visive fanno affidamento su altre funzioni sensoriali, come l'udito e il tatto, per ottenere informazioni. Pertanto nelle situazioni di emergenza vi è la necessità di predisporre apposita segnaletica, quale ad esempio mappe tattili o sistema loges o

apposito segnale acustico, che permetta di raggiungere autonomamente l'uscita di emergenza più vicina.

L'utenza non vedente può essere agevolata nel movimento grazie all'utilizzo di bastoni o di cani guida.

#### Dati antropometrici:

Le dimensioni dell'ingombro degli utenti non vedenti sono strettamente dipendenti dal tipo di supporto al movimento utilizzato. L'immagine sottostante mostra le dimensioni dell'ingombro dell'utente non vedente nel caso in cui adopera il bastone e in quello in cui è supportato nel movimento da un cane guida.



**Figura 3.6: Dati antropometrici di un utente con bastone e con cane guida fonte "Barriere architettoniche" di M. di Sivo, E. Schiavone, M. Tambasco**

#### Non udenti

In questa categoria ricadono tutti quegli individui che presentano limitazioni che possono variare da lievi danni all'udito a completa sordità. Le limitazioni consistono nella ridotta capacità di localizzare il suono e tollerare alcune frequenze e volumi, nella ristretta capacità di discriminare e seguire un discorso quando due o più persone parlano contemporaneamente.

Le persone con problemi all'udito fanno affidamento su altre funzioni sensoriali, quali la vista e le funzioni tattili, per ottenere informazioni.

In situazioni di emergenza gli utenti tendono a cercare il contatto con gli altri occupanti, per poter poi comunicare attraverso il labiale. Per questi utenti l'emergenza deve essere segnalata attraverso apposito allarme ottico.

Dati antropometrici:

I dati antropometrici relativi a questa tipologia di utenza sono gli stessi utilizzati per gli utenti standard.

**DISABILITA' COGNITIVE**

Questa utenza comprende tutte quelle persone con problemi nell'elaborazione delle informazioni ricevute dai propri sensi. Le limitazioni che riscontra questa tipologia di utenza possono influenzare la capacità di pianificare, avviare, svolgere e portare a termine le attività, la capacità di svolgere più attività, la capacità di concentrarsi su stimoli importanti ignorando le distrazioni, la rapidità nel rispondere in maniera tempestiva a situazioni di emergenza, la capacità di memorizzare informazioni, la capacità di autocontrollo e automotivazione e la capacità di comprendere e/o esprimersi.

Le alterazioni cognitive possono essere causate ad esempio da sclerosi multipla, morbo di Alzheimer, morbo di Parkinson, trauma cranico, sindrome di affaticamento cronico, ictus e alcune condizioni psichiatriche.

Le persone con questa disabilità, in genere, non sono autonome in nessuna fase dell'esodo e manifestano problematiche difficili da valutare a priori.

Dati antropometrici:

Anche per questa tipologia di utenza i dati antropometrici utilizzati sono uguale a quelli degli utenti standard.

### 3.3 Tempi di pre-movimento

Il tempo di pre-movimento, ovvero il tempo necessario agli utenti presenti all'interno di un edificio per svolgere una serie di attività antecedenti al movimento vero e proprio verso il luogo sicuro, dipende dalle caratteristiche dell'edificio e degli occupanti.

Alcune delle caratteristiche che influiscono sul tempo di pre-movimento sono state identificate e descritte nella norma BS 7974 che ha inglobato le informazioni contenute nella norma BS DD240. Esse sono le seguenti:

- **Tipologia di sistema di allarme:** nei luoghi di transito è necessaria l'installazione sia di sistemi acustici che di sistemi ottici atti a garantire la sicurezza di tutti gli individui.
- **Familiarità:** gli occupanti che hanno familiarità con l'edificio e che hanno partecipato a prove di evacuazione riescono a raggiungere l'uscita celermente.
- **Attaccamento sociale:** i gruppi di persone, come le famiglie, tendono a muoversi insieme e a ritardare l'evacuazione se non sono presenti tutti i membri del gruppo a causa dei legami affettivi e sociali che li legano.
- **Accesso visivo:** l'accesso visivo alle dinamiche circostanti durante una situazione di emergenza è una fonte importante di informazione. I luoghi di transito, essendo luoghi aperti, favoriscono tale percezione.
- **Personale addestrato:** gli occupanti rispondono all'allarme antincendio in maniera celere se nell'edificio è presente personale con il compito di fornire istruzioni da eseguire nell'emergenza.
- **Impegno:** le persone impegnate nello svolgere un'attività impiegano più tempo nel riconoscere una situazione di emergenza. Ad esempio le persone in attesa per salire a bordo di un treno appaiono riluttanti a rivolgere la loro attenzione ad un segnale di allarme.
- **Frequenza di falsi allarmi:** è un fattore determinante per l'efficienza del sistema di allarme. Se vi è stato un numero considerevole di falsi allarmi è improbabile che in una situazione di emergenza gli occupanti rispondano prontamente.

L'analisi delle quattro fasi del processo di comunicazione dell'allarme, contenute nella tabella 3 dell'articolo "Alto affollamento e disabili, una sfida per il progettista" di S. Zanut e T. Villani, rappresenta il punto di partenza per la redazione di un'altra tabella dove a ciascun profilo degli occupanti che si trovano nei luoghi di transito è associato un livello di difficoltà di comunicazione dell'allarme.

Le quattro fasi del processo di comunicazione dell'allarme sono così distinte:

- ricevimento del segnale;
- riconoscimento del segnale;
- identificazione della risposta;
- prestazione nella risposta.

La fase del ricevimento del segnale non viene presa in considerazione poiché all'interno dei luoghi di transito sono generalmente previste varie tipologie di allarme; tale misura infatti permette a tutti gli occupanti di ricevere il segnale anche in presenza di disabilità.

La difficoltà di ricevimento dell'allarme viene distinta, per semplicità, in tre diversi livelli:

- Alta: l'occupante ha elevata difficoltà nel processo di comunicazione;
- Trascurabile: l'occupante riesce a recepire l'allarme con un minimo ritardo;
- Nulla: l'occupante non presenta difficoltà di ricezione dell'allarme.

La tabella seguente mostra il livello di difficoltà nella ricezione dell'allarme relativo a ciascuna tipologia di utenza considerata; segue una breve motivazione del livello di difficoltà attribuito a ciascun profilo di occupante.

<i>Profili degli occupanti</i>	<i>Difficoltà nel riconoscimento del segnale</i>	<i>Difficoltà nell'identificazione della risposta</i>	<i>Difficoltà nella prestazione della risposta</i>
<i>Anziani*</i>	Alta	Alta	Alta
<i>Utenti con passeggino</i>	-	-	Alta
<i>Utenti con bambini</i>	-	-	Alta
<i>Utenti con valigie o con biciclette</i>	-	-	Alta
<i>Gruppi di persone</i>	-	Trascurabile	Trascurabile
<i>DISABILITA' MOTORIA: utenti in sedia a rotelle</i>	-	-	Alta
<i>DISABILITA' MOTORIA: utenti con bastone o stampelle</i>	-	-	Alta
<i>DISABILITA' SENSORIALE: non vedenti</i>	Alta	Alta	Alta
<i>DISABILITA' SENSORIALE: non udenti</i>	Trascurabile	-	-
<i>DISABILITA' COGNITIVE</i>	Alta	Alta	-

**Tabella 3.2: Indicazione del livello di difficoltà nella comunicazione dell'allarme per i profili presenti nei luoghi di transito fonte "Alto affollamento e disabili, una sfida per il progettista" di S. Zanut e T. Villani**

\*Estremamente dipendente dall'individuo coinvolto

Il livello di difficoltà da attribuire agli anziani è fortemente dipendente da ciascun individuo considerato; risulta infatti difficile stabile a priori se ciascun anziano presenta o meno gravi difficoltà. Pertanto è preferibile assegnare un tempo di pre-movimento maggiore indipendentemente dal singolo caso.

Gli utenti con passeggino, con bambini, con valigie o con biciclette hanno un comportamento assimilabile a quello di un individuo in presenza di un ostacolo; ad essi è dunque associata una difficoltà alta nella prestazione della risposta.

I gruppi di persone presentano difficoltà trascurabili nelle fasi di identificazione e prestazione della risposta a causa del forte legame affettivo o sociale con i componenti del proprio gruppo.

I disabili in sedia a rotelle che si trovano in una posizione tale da poter raggiungere autonomamente l'uscita di emergenza presentano una difficoltà nell'eseguire la risposta.

I disabili per cui ciò non è possibile devono attendere i soccorsi in un luogo sicuro, pertanto ad essi è associato un tempo di pre-movimento dipendente dai soccorritori.

Gli occupanti non vedenti hanno maggiori difficoltà nel riconoscere l'allarme ed eseguire una risposta, per questo motivo ad essi è associato un tempo di pre-movimento più elevato.

I non udenti hanno una trascurabile difficoltà nel riconoscimento del segnale mentre nelle altre fasi si comportano come gli utenti normodotati.

I disabili cognitivi hanno gravi problemi nel riconoscere e rispondere ad un segnale d'allarme in maniera tempestiva.

### 3.4 Velocità

Numerosi studi ed esperimenti condotti da Fruin, Predtechenskii, Pauls e Milinskii hanno dimostrato che la velocità di un individuo o di un gruppo è funzione della densità della popolazione. Se la densità della popolazione supera il valore di 3,8 pers/m<sup>2</sup> il movimento degli occupanti risulta impedito e potrà riprendere solo se tale valore diminuisce; se la densità è inferiore a 0,54 pers/m<sup>2</sup> le persone si muovono indipendentemente dalla velocità degli altri occupanti. Per valori compresi tra 0,54 e 3,8 pers/m<sup>2</sup> la velocità è legata alla densità attraverso una funzione lineare, espressa dall'equazione:

$$S = k - akD$$

dove:

S = velocità [m/s]

D = densità della popolazione [pers/m<sup>2</sup>]

K = costante

a = 0,266 [m/s]

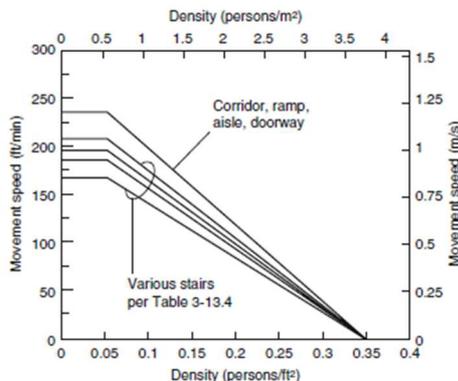


Figura 3.7: Rappresentazione grafica dell'equazione  $S = k - akD$  fonte ISO/TR 16738:2009

A partire dall'equazione sopra riportata è possibile calcolare la velocità su superfici orizzontali, risultante pari a 1,19 m/s, e la velocità su superfici verticali, che assume valori diversi in funzione del rapporto tra alzata e pedata.

Di seguito è riportata la tabella realizzata da Nelson e Mowrer, presente nella ISO TR 16738:2009, in cui sono specificati i valori di velocità su superfici orizzontali e i valori di velocità su superfici verticali in funzione delle dimensioni di alzata e pedata, calcolati con l'equazione sopra riportata.

Exit route element		$k^a$	Travel speed m/s	Maximum specific flow $F_{Smax}$ persons/m/s of effective width
Corridor, aisle, ramp, doorway		1,40	1,19	1,19
Stair riser mm	Stair tread mm	—	—	—
191	254	1,00	0,85	0,94
178	279	1,08	0,95	1,01
165	305	1,16	1,00	1,09
165	330	1,23	1,05	1,16
<sup>a</sup> Constants for Equation (G.1), effects of density on travel speed.				

**Tabella 3.3: Tabella G.2 fonte ISO/TR 16738:2009**

I dati disponibili ad oggi circa la velocità di movimento degli individui risalgono ad alcuni anni fa. Poiché in questi anni si è registrato un aumento della popolazione disabile, della proporzione tra persone anziane con capacità fisiche ridotte e giovani e dell'obesità, si ritiene necessario un rinnovamento dei dati.

Ad oggi i dati più significativi che tengono conto delle diverse tipologie di occupanti sono contenuti nella ISO/TR 16738. Di seguito si riporta la tabella realizzata da Thompson e Marchant che li riassume.

Type of situation		Measured travel speeds m/s (ft/min)				
Population density is reportedly not a factor	Transport terminals <sup>[51]</sup>	1,35 (265) on walkways				
	Average under "normal conditions" <sup>[55]</sup>	1,0				
	Experiment with disabled subjects <sup>[13]</sup>	Min.	1st quartile	3rd quartile	Max.	Mean
	On horizontal surfaces:					
	All disabled subjects	0,10	0,71	1,28	1,77	1,00
	With locomotion disability	0,10	0,57	1,02	1,68	0,80
	No aid	0,24	0,70	1,02	1,68	0,95
	Crutches	0,63	0,67	1,24	1,35	0,94
	Cane	0,26	0,49	1,08	1,60	0,81
	Walker/rollator	0,10	0,34	0,83	1,02	0,57
	Without locomotion disability	0,82	1,05	1,34	1,77	1,25
	Unassisted wheelchair	0,85	—	—	0,93	0,89
	Assisted ambulant	0,21	0,58	0,92	1,40	0,78
Assisted wheelchair	0,84	1,02	1,59	1,98	1,30	
On upward incline:						
All disabled subjects	0,21	0,42	0,74	1,32	0,62	
With locomotion disability	0,21	0,42	0,72	1,08	0,59	
No aid	0,30	0,48	0,87	1,08	0,68	
Crutches	0,35	—	—	0,53	0,46	
Cane	0,21	0,38	0,70	1,05	0,52	
Walker/rollator	0,30	—	—	0,42	0,35	
Without locomotion disability	0,70	—	—	1,32	1,01	
Unassisted wheelchair	0,70	—	—	—	—	
Assisted ambulant	0,23	0,42	0,70	0,72	0,53	
Assisted wheelchair	0,53	0,70	1,05	1,05	0,89	
On downward incline:						
All disabled subjects	0,10	0,42	0,70	1,83	0,60	
With locomotion disability	0,10	0,42	0,70	1,22	0,58	
No aid	0,28	0,45	0,94	1,22	0,68	
Crutches	0,42	—	—	0,53	0,47	
Cane	0,18	0,35	0,70	1,04	0,51	
Walker/rollator	0,10	—	—	0,52	0,36	
Without locomotion disability	0,70	—	—	1,83	1,26	
Unassisted wheelchair	1,05	—	—	—	—	
Assisted ambulant	0,42	0,52	0,86	1,05	0,69	
Assisted wheelchair	0,70	0,96	1,05	1,05	0,96	

Tabella 3.4: Tabella G.4 contenuta nella ISO/TR 16738:2009

### 3.5 Tecnologie per la comunicazione dell'allarme

In un edificio con grande affollamento, come nel caso dei luoghi di transito, è necessario utilizzare un impianto di comunicazione dell'allarme in grado di segnalare a tutte le tipologie di occupanti presenti nell'edificio una situazione di emergenza. A tal fine devono essere predisposti sistemi acustici e ottici.

I sistemi che vengono generalmente utilizzati nei luoghi di transito sono:

- Sistemi acustici a tono;
- Sistemi acustici vocali;
- Sistemi ottici.

I sistemi acustici a tono permettono all'utente di identificare una situazione di pericolo ma, per essere efficaci, devono essere associati ad un sistema vocale in grado di trasmettere le informazioni in maniera appropriata. I vantaggi di un sistema vocale sono innumerevoli come la percezione da parte degli utenti dell'autenticità dell'allarme e della situazione di pericolo, la possibilità di indicare procedure da seguire in base allo scenario di allarme che si sta verificando in quel momento oppure la possibilità di cambiare il messaggio se ci si accorge che non ha l'effetto desiderato.

Queste tecnologie oltre ad essere utili a tutte le utenze sono particolarmente indicate per le persone non vedenti poiché possono essere utilizzate per indicare la direzione da intraprendere verso l'uscita o la direzione di un luogo sicuro temporaneo in cui attendere i soccorsi. Per agevolare persone con problemi uditivi si possono utilizzare fonti di luce con alta intensità associate all'utilizzo di schermi che trasmettono informazioni circa le procedure di emergenza.

La combinazione dei segnali di allarme appena analizzati garantisce la comunicazione dell'allarme a tutte le tipologie di utenze che possono essere presenti nei luoghi con grande affollamento.

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva in cui vengono indicati gli ausili e le tipologie di allarme valide per ciascun profilo con disabilità.

	<b>TIPOLOGIE DI DISABILITÀ</b>	<b>AUSILIO</b>	<b>ATTESA DI ASSISTENZA V.V.F.</b>	<b>TIPOLOGIA DI ALLARME</b>
<b>DISABILITA' MOTORIE</b>	Ridotta mobilità	Sedia a rotelle elettrica o manuale	SI	ACUSTICO
		Stampelle	NO	ACUSTICO
		Bastone	NO	ACUSTICO
<b>DISABILITA' SENSORIALI</b>	Ciechi o con ridotta visibilità	Bastone	SI/NO	ACUSTICO
		Cane guida	SI/NO	ACUSTICO
	Non udenti	-	NO	OTTICO
<b>DISABILITA' COGNITIVE</b>	Sclerosi multipla, morbo di Alzheimer, morbo di Parkinson, trauma cranico, sindrome di affaticamento cronico e alcune condizioni psichiatriche	Vari	NO	ACUSTICO
<b>DISABILITA' MULTIPLE</b>	Varie	Vari	SI/NO	ACUSTICO/ OTTICO
<b>DISABILITA' TEMPORANEE</b>	Varie	Vari	SI/NO	ACUSTICO

*Tabella 3.5: Ausili e tipologia di allarme per gli occupanti con disabilità*

## Capitolo 4: LA MODELLAZIONE DELL'ESODO

### 4.1 Aspetti generali dei modelli di esodo

Nell'ultimo decennio i modelli di evacuazione usati nell'ingegneria antincendio hanno subito un notevole progresso.

Uno dei maggiori vantaggi dei modelli computazionali risiede nella possibilità di reiterare le simulazioni in modo celere, fornendo così al progettista l'opportunità di verificare o, nel caso, modificare le misure adottate e determinare le più efficienti.

Il calcolo del valore di RSET, ovvero il tempo necessario per l'esodo, si basa sull'applicazione di un modello idraulico che considera ogni singolo individuo come una particella di fluido. Il limite di tale metodo risiede nel fatto che non tiene conto degli aspetti comportamentali dell'uomo. È opportuno quindi aggiungere a tale valore un tempo pari alla durata della fase decisionale che precede quella di movimento.

Lo studio di "modelli basati sugli agenti" ha permesso di formulare leggi comportamentali per regolare le relazioni tra gli occupanti e tra questi ultimi e l'ambiente circostante.

Tuttavia l'aleatorietà di numerosi aspetti del comportamento umano comporta grosse difficoltà nella caratterizzazione di tali fenomeni dal punto di vista matematico.

I modelli di esodo possono essere distinti sulla base del modo di rappresentazione degli occupanti in:

- modelli macroscopici;
- modelli microscopici.

Nei modelli macroscopici le persone vengono rappresentate come un unico gruppo omogeneo, rappresentato come un unico flusso di liquido in movimento e non come singoli individui.

Questi modelli, caratterizzati da equazioni basate sulla teoria dei fluidi, sono usati solo da alcuni software di simulazione poiché non sono in grado di caratterizzare la popolazione in modo reale e vario.

Nei modelli microscopici gli occupanti sono concepiti come individui singoli con specifiche proprietà fisiche e comportamentali. Tali peculiarità permettono di descrivere in modo esaustivo il fenomeno dell'esodo e per questo rendono l'approccio microscopico il più diffuso.

### Modelli fluidodinamici

I modelli fluidodinamici assimilano il movimento degli occupanti ad un flusso di fluido il cui movimento è regolato per mezzo delle equazioni di Navier-Stokes.

Questi modelli descrivono il variare della densità e della velocità nel tempo mediante equazioni differenziali.

Esistono diverse tipologie di modelli fluidodinamici, quali:

- agent-based model: il modello basato su agenti (agent-based model) è un modello microscopico in cui il sistema è modellato come un complesso di entità in cui ciascuno ha un comportamento autonomo. All'interno di questi modelli è infatti possibile aggiungere un ampio numero di regole comportamentali e le interazioni tra gli agenti.
- social force model: tali modelli prevedono che il movimento degli occupanti avvenga in virtù di forze sociali.
- cellular automata model: questi modelli si prestano molto bene a rappresentare i comportamenti della popolazione. Questi modelli possono essere ulteriormente classificati in due gruppi, l'uno basato sulle interazioni tra gli occupanti, l'altro basato sull'interazione degli occupanti con l'ambiente.

## 4.2 Classificazione dei software esistenti

L'impiego di software di simulazione d'esodo permette la restituzione di risultati realistici con una conseguente migliore comprensione delle dinamiche del fenomeno.

Alcuni di questi software consentono inoltre l'importazione dei risultati di output delle simulazioni fluidodinamiche dell'incendio e riescono anche a prevedere la risposta di ogni occupante alla sollecitazione dai prodotti della combustione.

I software d'esodo possono essere classificati oltre che in virtù delle loro funzionalità anche in base a numerosi parametri di seguito riportati:

- Metodo di modellazione: il calcolo dei tempi necessari all'esodo dipende dal metodo di modellazione utilizzato. Tali modelli si basano sul comportamento o sul movimento.
- Scopo del modello: ciascun software è specializzato nella simulazione di determinati scenari; per tale motivo è importante sapere gli obiettivi di ciascun modello.
- Modalità di visualizzazione: le modalità di visualizzazione sono due, globale e individuale. La prima si preoccupa di come il modello vede gli occupanti, i secondi di come gli occupanti vedono l'edificio.
- Comportamento degli occupanti: il comportamento degli individui all'interno del modello può essere:
  - a) Implicito, dove il comportamento è implementato con tempi di reazione o con caratteristiche che incidono sul movimento.
  - b) Condizionale, in cui a ciascun individuo o gruppo viene assegnata un'azione.
  - c) Intelligenza artificiale. Si tratta di modelli che tentano di simulare l'intelligenza umana.
  - d) Probabilistico. Questi modelli prevedono comportamenti condizionali basati su modelli probabilistici.
  - e) Nessun comportamento, dove non viene preso in considerazione alcun aspetto comportamentale degli occupanti.

- Tipo di movimento degli occupanti: la diversità della tipologia di movimento influenza numerosi parametri, come la velocità. Questa differenza si percepisce maggiormente nei fenomeni di congestionamento.
- Possibilità di inserire dati sull'incendio: a tal proposito si distinguono modelli che possono importare informazioni sull'incendio da altri modelli, modelli in cui l'utente ha la possibilità di inserire alcuni dati sull'incendio, modelli non capaci di sviluppare dati di incendio.
- Importazione: la maggior parte dei software prevede l'importazione di file con formato FBX, IFC, DWG, DXF, DAE, FDS.
- Modalità di visualizzazione: la maggior parte dei software più conosciuti permettono almeno la visualizzazione 2D e 3D, ma esistono ancora alcuni software che non possiedono un'interfaccia grafica.

### **4.3 Pathfinder: modellazione dell'esodo basata sul movimento**

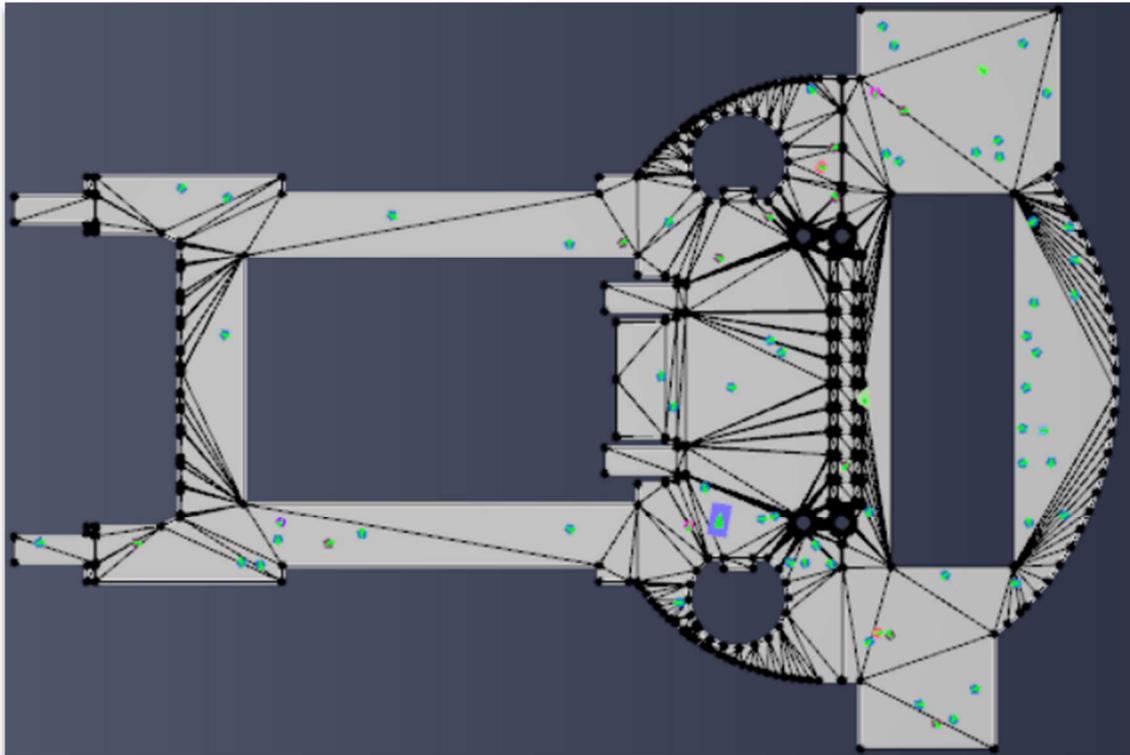
Il software Pathfinder è un simulatore d'esodo basato su un modello agent-based e include al suo interno un'interfaccia grafica, un simulatore e un visualizzatore 3D per i risultati.

Il vantaggio di questo software consiste nella possibilità dei progettisti di valutare il processo d'esodo e le misure di protezione previste e decidere conseguentemente se apportare delle migliorie al sistema.

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

Nonostante il modello geometrico utilizzato sia 3D, le geometrie degli oggetti impiegati al suo interno vengono trasformate automaticamente in 2D al fine di moderare 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, come mostrato in figura, con il vantaggio di discretizzare abbastanza efficacemente le superfici curve e facilitare il movimento continuo delle persone in tutto il modello.



*Figura 4.1: Visualizzazione delle mesh triangolari presenti in un modello*

La modellazione del comportamento degli occupanti viene fatta singolarmente per ciascuno di essi in modo tale che ogni utente sia caratterizzato dal compimento di azioni differenti in base alle proprie peculiarità.

## Capitolo 5: IL CASO STUDIO: LA STAZIONE METROPOLITANA ITALIA 61'- REGIONE PIEMONTE

### 5.1 Descrizione e inquadramento generale

La stazione metropolitana Italia 61' si inserisce nel prolungamento dell'attuale linea 1 della metropolitana di Torino, in particolare funge da collegamento tra la già esistente fermata Lingotto e Piazza Bengasi.

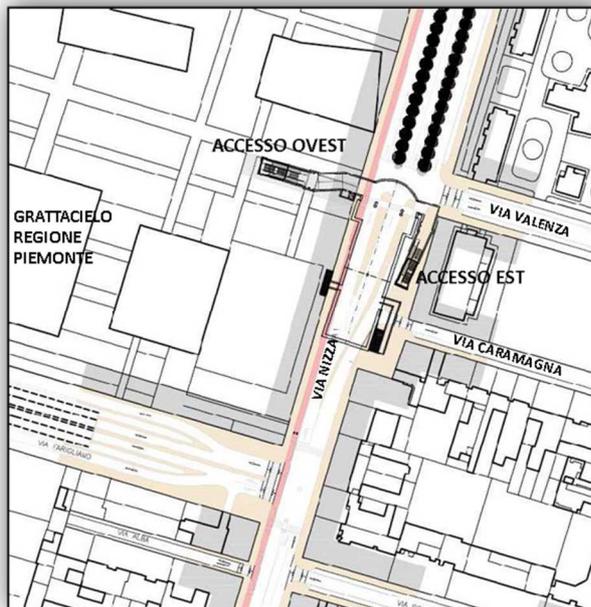


*Figura 5.1: Rappresentazione grafica della Linea 1 della metropolitana di Torino*

La stazione Italia 61' – Regione Piemonte è situata su via Nizza nello slargo tra via Valenza e via Caramagna. L'accesso Est della struttura è diretto verso Sud ed è pressoché parallelo al corpo stazione, mentre l'accesso Ovest è disposto ortogonalmente a via Nizza.

L'ingresso al lato Est è predisposto mediante una scala fissa e una scala mobile nella direzione dell'uscita, mentre l'accesso al lato Ovest è dotato di due scale mobili, una nel verso dell'entrata ed una in quello per l'uscita, una scala fissa e un ascensore.

Le molteplici misure per l'accesso sul lato Ovest sottolineano l'importanza di questo ingresso, utilizzato dagli utenti dell'edificio della Regione Piemonte.



**Figura 5.2: Planimetria della stazione Italia 61' – Regione Piemonte**

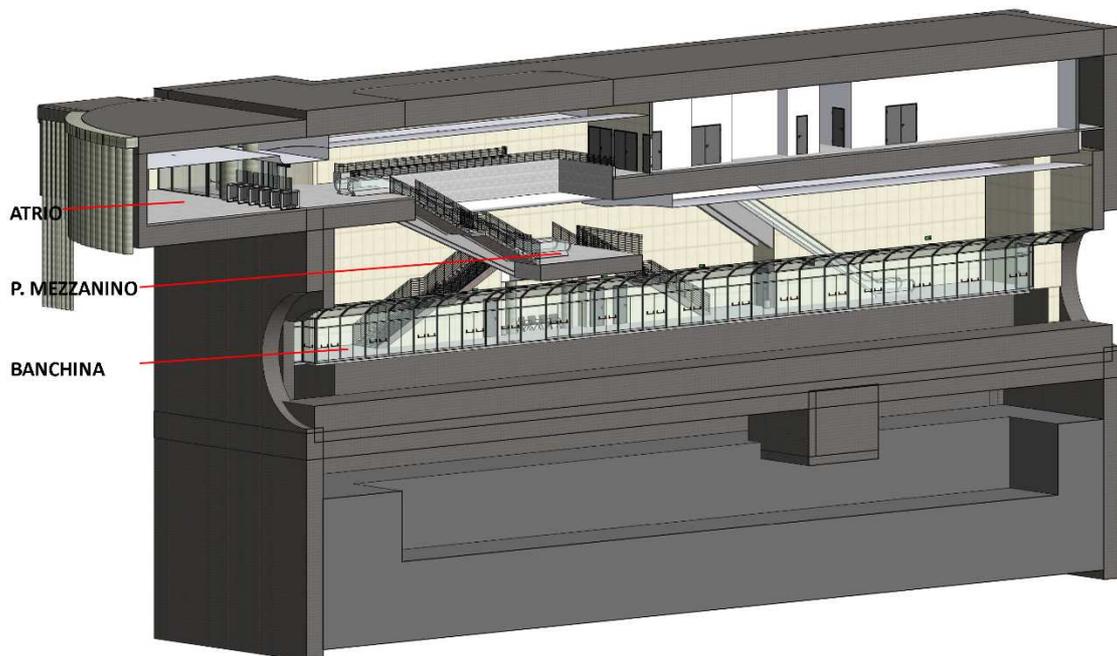
All'interno della stazione metropolitana non è prevista la sorveglianza in loco da parte di idonei addetti alla vigilanza, bensì è predisposto un sistema di telecamere a distanza per esplicare tale funzione. Sono altresì presenti all'interno della struttura una serie di interfonii attraverso i quali è possibile chiedere assistenza.

Una delle caratteristiche peculiari di tutte le stazioni metropolitane di Torino è l'assenza di collegamento tra la banchina e la via di corsa del treno; infatti è possibile accedere ai treni attraverso l'utilizzo di porte automatiche che si aprono in corrispondenza delle porte del treno solo quando quest'ultimo è fermo in stazione.



*Figura 5.3: Render con vista sulla banchina*

La stazione si sviluppa su tre livelli: atrio, piano mezzanino e banchina. Quest'ultima è collegata, tramite una scala mobile ed un ascensore, all'atrio e, attraverso due scale fisse, al piano mezzanino, che a sua volta è collegato all'atrio attraverso due scale fisse e due scale mobili.

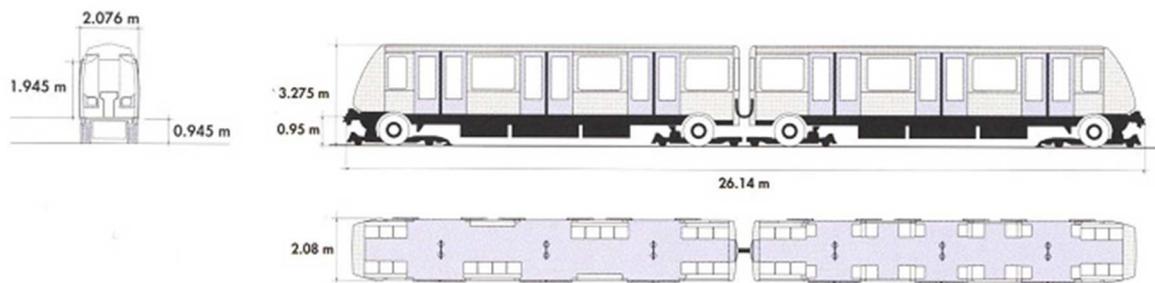


*Figura 5.4: Spaccato assonometrico della stazione metropolitana Italia 61'*

I treni utilizzati nella Metropolitana automatica di Torino sono, del tipo VAL 208, lunghi 52 metri e larghi 2,08 metri, gestiti e controllati in modo completamente automatico.

Questa tipologia di treno può trasportare fino a 440 persone ed è composto da 2 veicoli bidirezionali da 26 metri, formati da altre 2 vetture collegate in modo permanente tra di loro. Ogni vettura è dotata di tre porte su entrambi i lati.

Ciascun convoglio è dotato di ruote di gomma che garantiscono maggiore aderenza e sicurezza nel caso di frenate di emergenza e di un impianto antincendio e di rilevamento dei fumi. Negli orari di punta la linea 1 prevede una frequenza di passaggi dei treni ogni 2 minuti mentre negli altri orari ogni 4/6 minuti.



*Figura 5.5: Treno VAL 208 fonte Infra.TO*

Il progetto della sicurezza antincendio è stato realizzato seguendo le regole del D.M. del 11 Gennaio 1988 poiché realizzato ed approvato prima del nuovo D.M. 21 Ottobre 2015, all'interno del quale è prevista la nuova regola tecnica verticale di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane.

## **5.2 Ricerca e analisi dati: statistiche ingressi in stazione metropolitana**

Al fine di individuare la percentuale dei profili degli occupanti presenti in una stazione metropolitana è stata effettuata un'indagine statistica sulle stazioni Vinzaglio e Dante in tre giorni e in tre orari differenti. La scelta è ricaduta su queste due stazioni metropolitane poiché caratterizzate da un'ampia varietà dei servizi circostanti.

Gli orari in cui sono state eseguite le misurazioni sono stati decisi in base alle statistiche fornite da Google e corrispondono alle ore di maggiore affluenza, ovvero 8:00, 14:00, 17:00.

Di seguito si riportano i dati presi da Google.

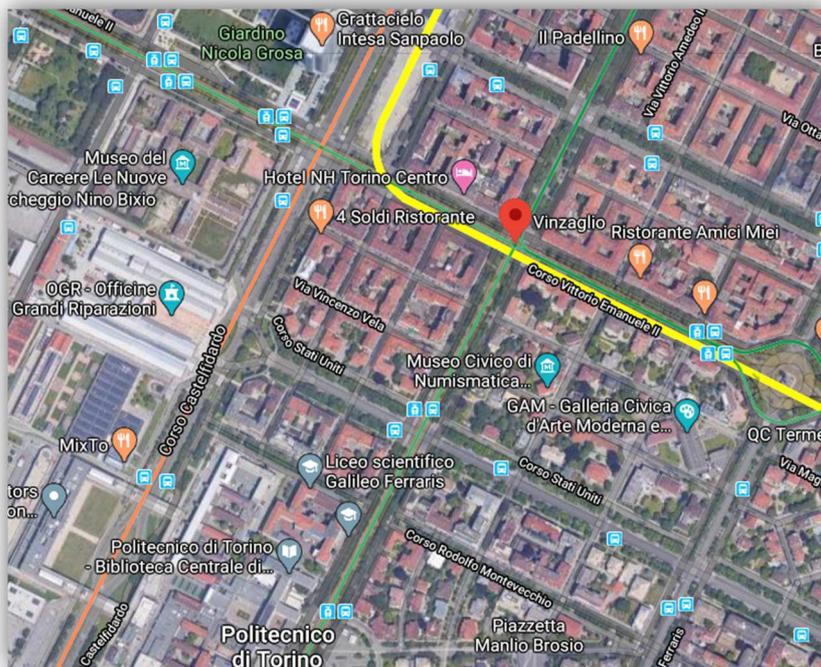


*Figura 5.6: Orari con il maggior numero di visite nella stazione Vinzaglio*



*Figura 5.7: Orari con il maggior numero di visite nella stazione Dante fonte Google*

### **Stazione metropolitana Vinzaglio**

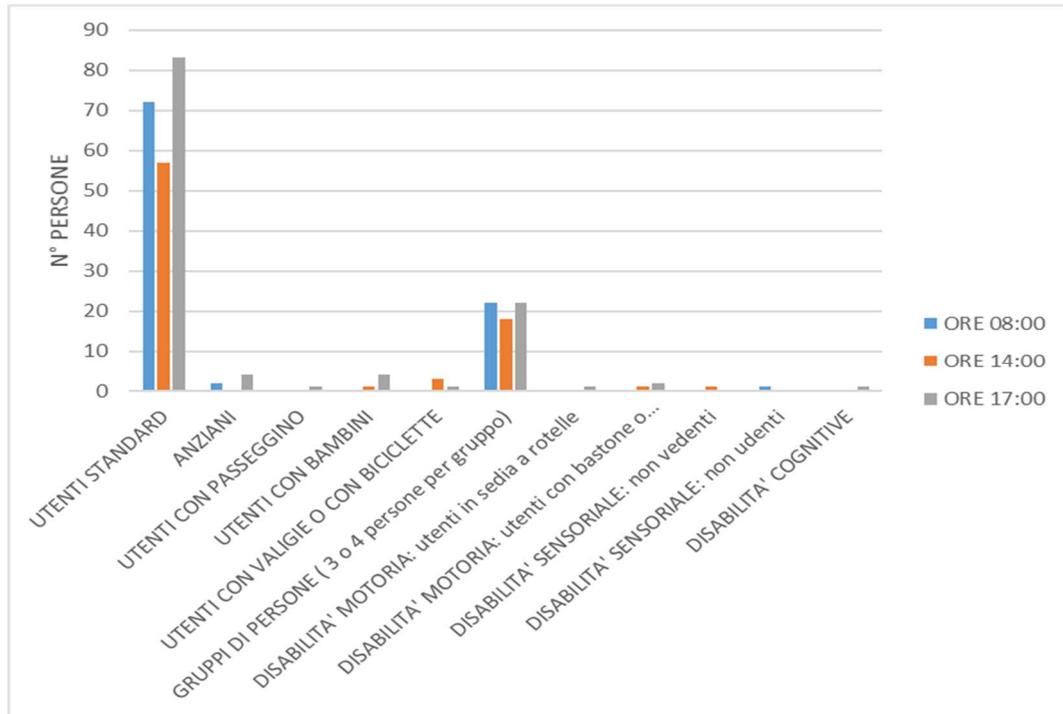


*Figura 5.8: Ubicazione fermata Vinzaglio fonte Google Maps*

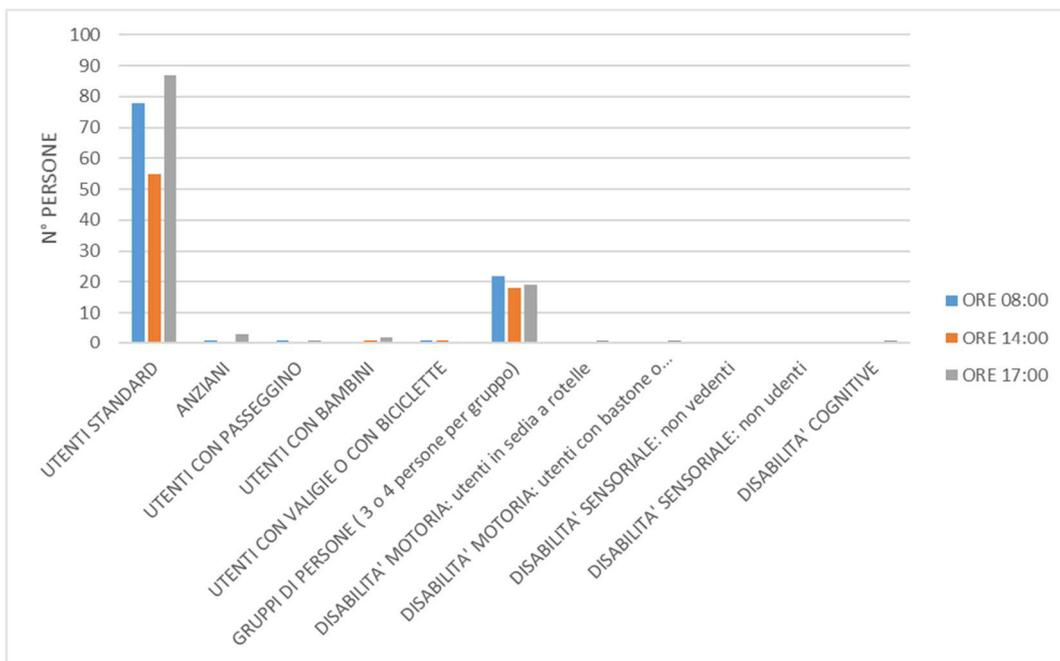
I campionamenti nella stazione di Vinzaglio sono stati eseguiti nei giorni:

- Martedì 14/01/2020;
- Giovedì 16/01/2020;
- Sabato 18/01/2020.

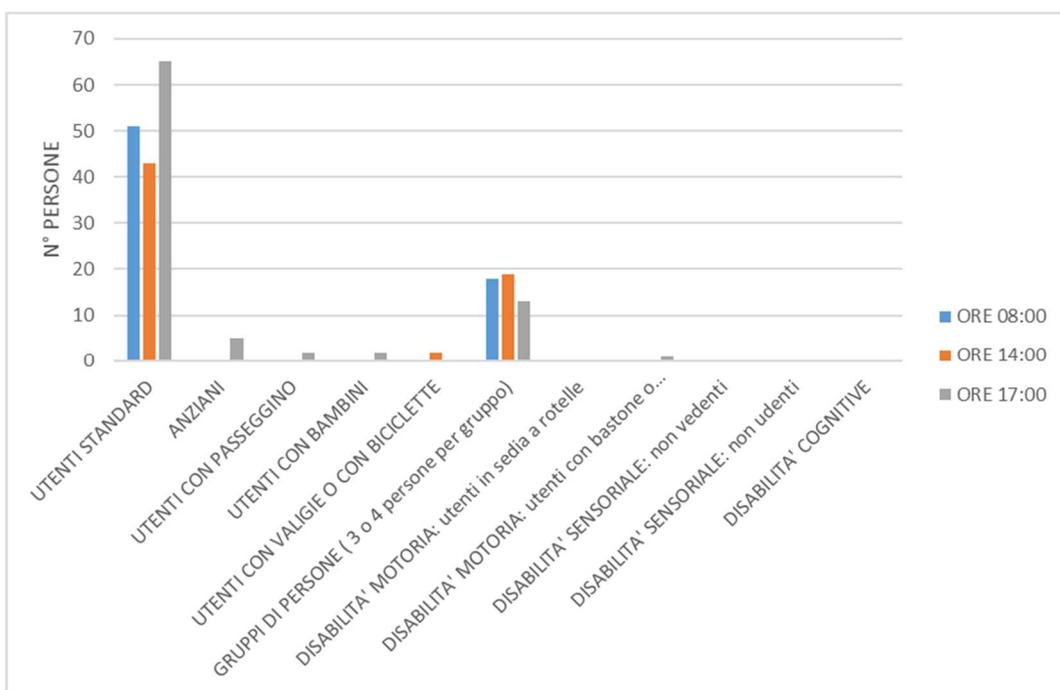
Da questi è emersa una maggiore affluenza di utenti standard e gruppi di persone alle ore 8:00 e alle ore 17:00, che corrispondono agli orari di inizio e fine lezioni del Politecnico di Torino. Il maggior afflusso di persone appartenenti alle restanti tipologie di profilo si è registrato invece verso le ore 17:00. Di seguito sono riportati i risultati del campionamento.



**Figura 5.9: Campionamento Martedì 14/01/2020**

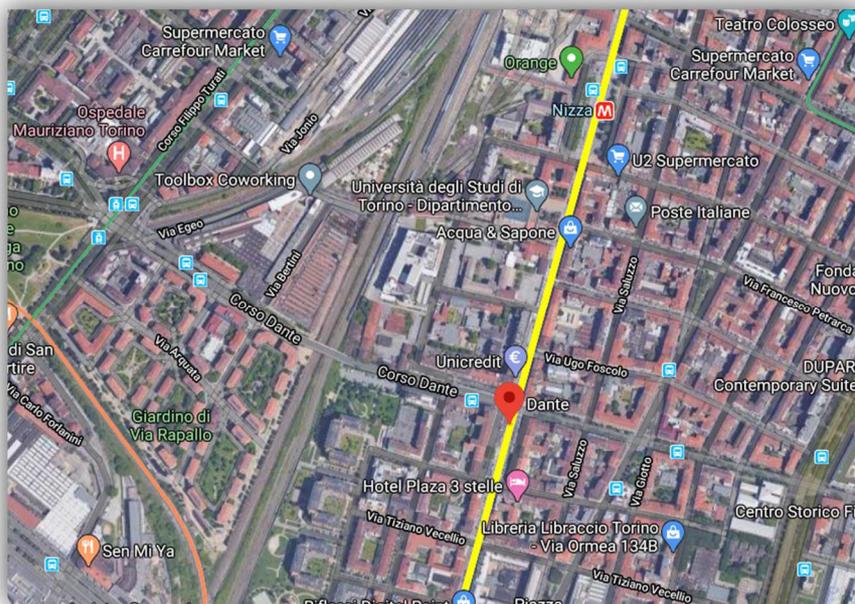


**Figura 5.10: Campionamento Giovedì 16/01/2020**



**Figura 5.11: Campionamento Sabato 18/01/2020**

## Stazione metropolitana Dante



*Figura 5.12: Ubicazione fermata Dante fonte Google Maps*

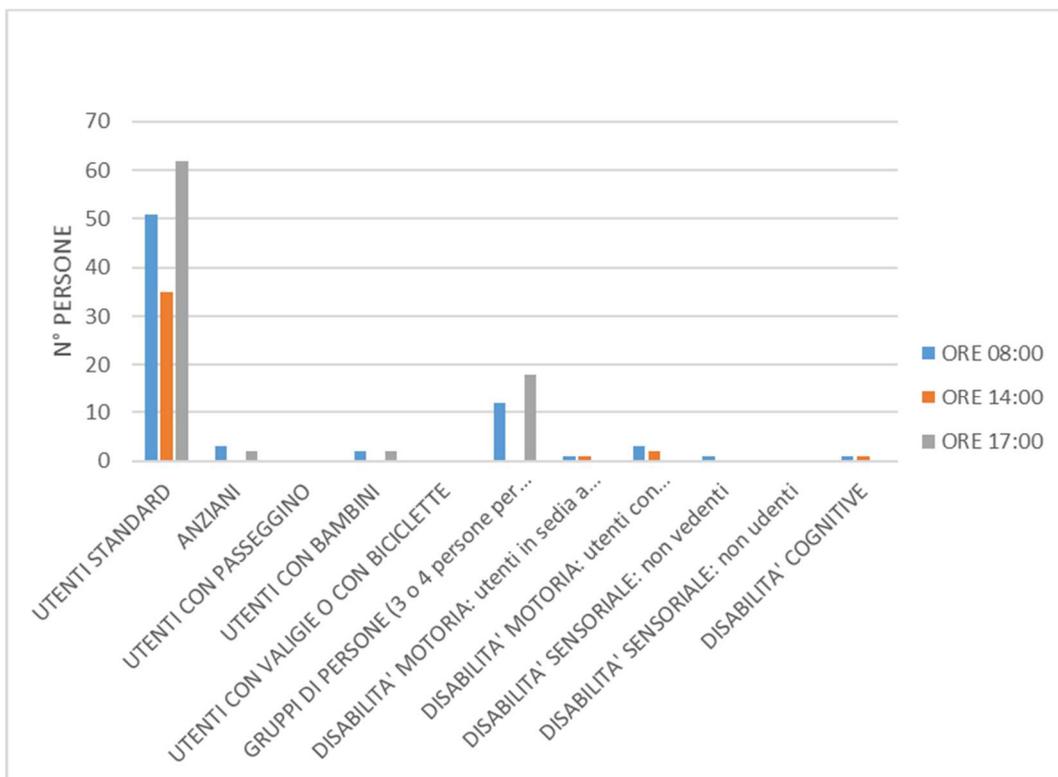
I campionamenti nella stazione metropolitana Dante sono stati eseguiti nelle giornate:

- Martedì 17/12/2019;
- Giovedì 19/12/2019;
- Sabato 21/12/2019.

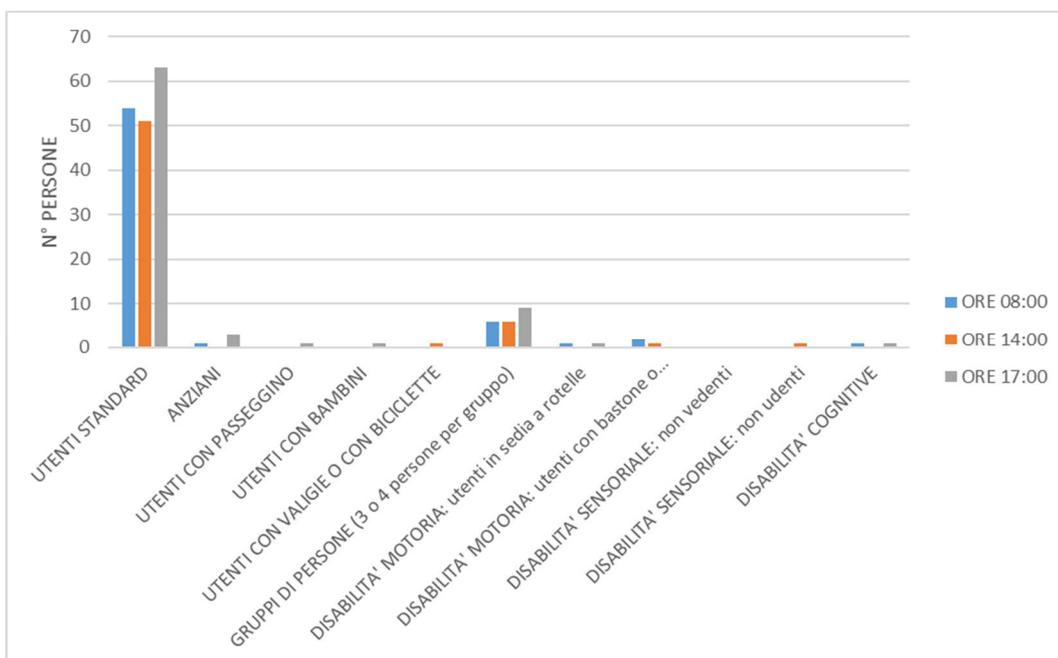
Dai campionamenti effettuati si evince una maggiore affluenza di utenti disabili rispetto alla fermata Vinzaglio dovuta alla presenza, nelle vicinanze, dell'ospedale Mauriziano.

In particolare l'orario caratterizzato da una maggiore affluenza di profili di utenti con disabilità coincide con le ore 8:00, orario di inizio delle visite mediche.

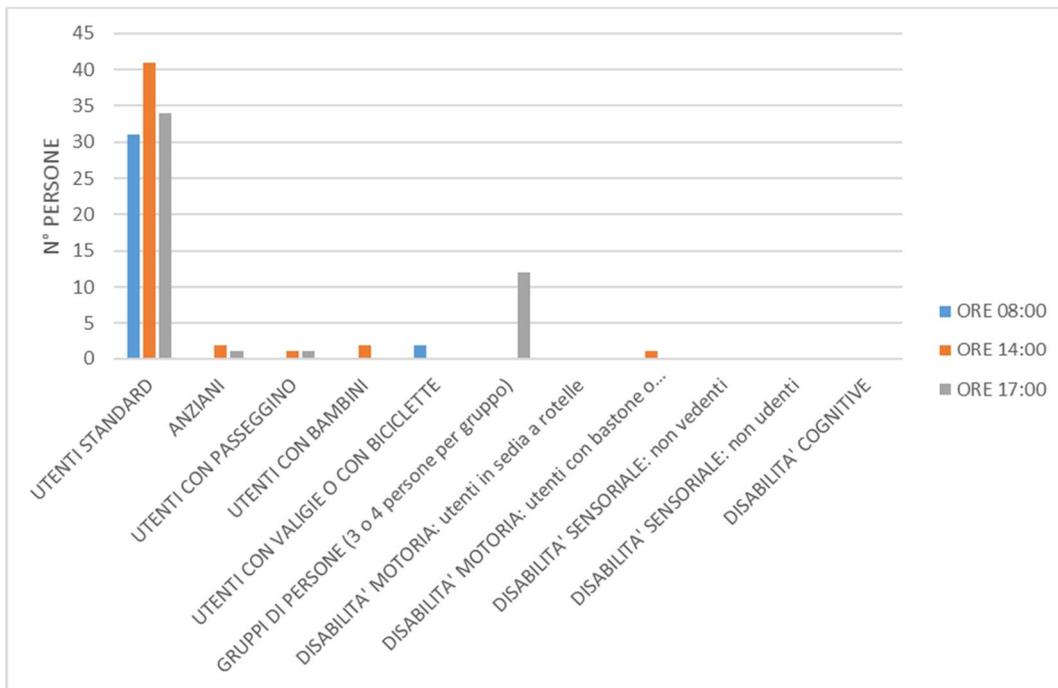
Gli utenti standard e i gruppi di persone affollano maggiormente la stazione verso le ore 17:00, orario di inizio delle visite ai parenti nell'ospedale. Di seguito sono riportati i dati del campionamento.



**Figura 5.13: Campionamento Martedì 17/12/2019**



**Figura 5.14: Campionamento Giovedì 19/12/2019**



**Figura 5.15: Campionamento Sabato 21/12/2019**

## Analisi dei dati

I dati ottenuti dai campionamenti effettuati nelle due stazioni metropolitane rappresentano il punto di partenza per la caratterizzazione degli occupanti da considerare nel caso studio. A tale fine la prima operazione è stata quella di mediare i dati raccolti nei tre diversi giorni per ciascuna stazione metropolitana in modo da ottenere le percentuali sulle tipologie di affollamento caratteristiche di ciascuna di esse.

Successivamente è stata eseguita una media dei dati relativi alle due strutture alle diverse ore della giornata al fine di ottenere un dato unico della percentuale dei profili degli occupanti alle diverse ore della giornata da utilizzare nel caso studio.

Di seguito è riportata la tabella riassuntiva delle percentuali ottenute per ciascun profilo di utenza alle ore 8:00, 14:00 e 17:00 di una giornata tipica.

PROFILO DEGLI OCCUPANTI	MEDIA DEI GIORNI					
	ORE 08:00		ORE 14:00		ORE 17:00	
<b>UTENTI STANDARD</b>	56,17	76,4%	47,00	77,0%	65,67	73,9%
<b>ANZIANI</b>	1,17	1,6%	0,33	0,5%	3,00	3,4%
<b>UTENTI CON PASSEGGINO</b>	0,17	0,2%	0,17	0,3%	1,00	1,1%
<b>UTENTI CON BAMBINI</b>	0,33	0,5%	0,67	1,1%	1,83	2,1%
<b>UTENTI CON VALIGIE O CON BICICLETTE</b>	0,50	0,7%	1,17	1,9%	0,17	0,2%
<b>GRUPPI DI PERSONE</b>	13,33	18,1%	10,17	16,7%	15,50	17,4%
<b>DISABILITA' MOTORIA: utenti in sedia a rotelle</b>	0,33	0,5%	0,17	0,3%	0,50	0,6%
<b>DISABILITA' MOTORIA: utenti con bastone o stampelle</b>	0,83	1,1%	0,83	1,4%	0,67	0,8%
<b>DISABILITA' SENSORIALE: non vedenti</b>	0,17	0,2%	0,17	0,3%	0,00	0,0%
<b>DISABILITA' SENSORIALE: non udenti</b>	0,17	0,2%	0,17	0,3%	0,00	0,0%
<b>DISABILITA' COGNITIVE</b>	0,33	0,5%	0,17	0,3%	0,50	0,6%
<b>TOT.</b>	73,50	100%	61,00	100%	88,83	100%

*Tabella 5.1: Percentuali dei profili degli occupanti alle ore 8:00, 14:00 e 17:00*

Dalla tabella si evince che alle ore 17:00 l'affollamento è caratterizzato principalmente da un profilo standard degli occupanti.

L'utenza appartenente ad un qualunque profilo con disabilità affolla invece maggiormente le stazioni metropolitane nella fascia oraria delle 8:00.

La fascia oraria che comprende le ore 14:00 è invece caratterizzata da un affollamento misto in cui sono presenti i diversi profili di occupanti in numero proporzionale.

I dati sulle tipologie di occupanti, ricavati dall'analisi statistica effettuata sulle stazioni metropolitane di riferimento, si pongono alla base della successiva modellazione d'esodo svolta nel capitolo 5.4.

## 5.3 Modellazione d'incendio

### 5.3.1 Creazione del modello d'incendio

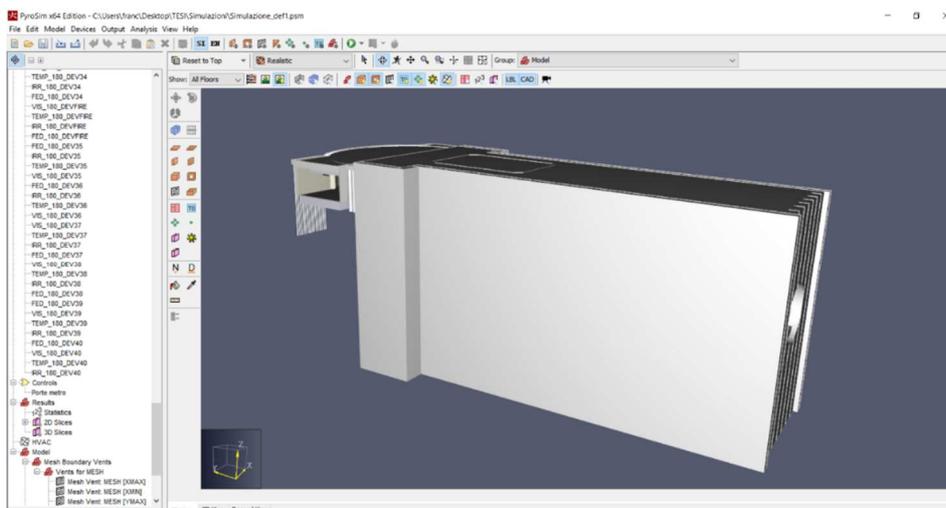
Per la modellazione dell'incendio è stato utilizzato il software della Thunderhead Engineering, Pyrosim. Questo software è un'interfaccia grafica per i modelli Fire Dynamics Simulator (FDS) e consente la simulazione degli effetti dell'incendio quali fumo, monossido di carbonio, temperatura e altre sostanze che si propagano a partire da un focolare.

Il progetto architettonico del caso studio è stato realizzato con metodologia BIM per mezzo del software Autodesk Revit® che consente l'esportazione del modello tridimensionale in formato FBX, successivamente importabile all'interno del software Pyrosim.

Al fine di ottenere un file d'importazione del modello ottimale da inserire nel software Pyrosim è stato impiegato il plugin SimLab. Da circa 1 anno è prevista anche la possibilità di importare file in formato IFC e riconoscere automaticamente le superfici e le ostruzioni, ma la prova effettuata con questo formato non è andata a buon fine a causa degli errori riscontrati nel riconoscimento dei materiali.



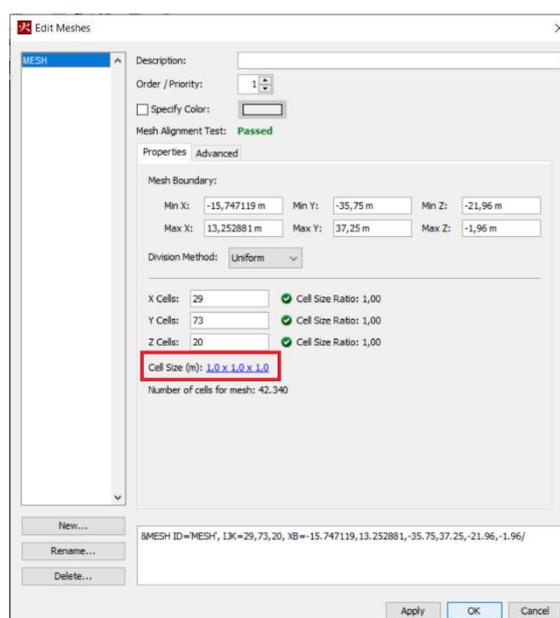
L'immagine seguente mostra l'interfaccia del software Pyrosim in cui è stato importato il file del modello tridimensionale della stazione metropolitana Italia 61'.



**Figura 5.16: Modello importato su PyroSim**

Una volta importato il modello, l'ambiente viene suddiviso in celle, al cui interno vengono risolte le equazioni di conservazione di massa, energia e quantità di moto, attraverso il metodo degli elementi finiti. Per ottenere risultati più accurati le celle devono avere dimensioni ridotte (30 – 50 cm) ed essere in numero elevato anche se questo comporta tempi di calcolo maggiori.

A causa dell'elevate dimensioni della stazione metropolitana sono state utilizzate celle di dimensione pari ad 1 m in modo tale da ottenere tempi di simulazione congrui agli obiettivi prefissati nella tesi.



**Figura 5.17: Impostazione dimensioni celle**

### **5.3.2 Individuazione dello scenario di progetto**

L'individuazione dello scenario di progetto è stata fatta sulla base delle informazioni contenute nel D.M. 21 Ottobre 2015 che descrive gli scenari d'incendio di riferimento.

Gli scenari d'incendio da considerare secondo tale decreto al fine di poter garantire la salvaguardia della vita umana sono:

- Scenario 1: incendio a bordo di un treno in stazione;
- Scenario 2: incendio a bordo di un treno in galleria;
- Scenario 3: incendio di un'eventuale attività commerciale presente in stazione;
- Scenario 4: incendio in un locale tecnico.

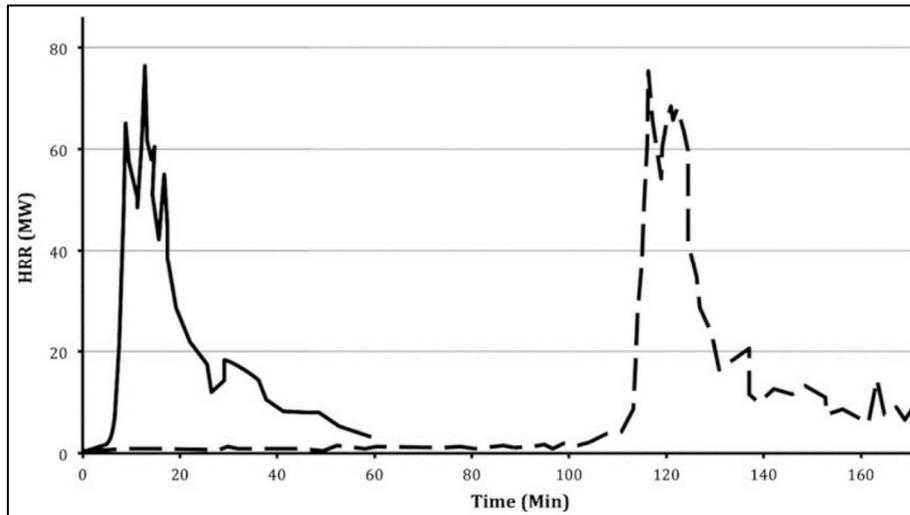
Tra i quattro scenari sopra elencati la scelta è ricaduta sul primo, in cui è previsto l'incendio a bordo di un treno in stazione. Questo poiché:

- lo scenario 2 non si può verificare in quanto il treno in caso d'incendio deve essere condotto fino alla fermata della stazione metropolitana più vicina;
- lo scenario 3 non si può verificare poiché all'interno della stazione oggetto di studio non sono presenti attività commerciali;
- lo scenario 4 è possibile ma l'incendio rimarrebbe localizzato nel locale tecnico, essendo realizzato con muratura REI, per il tempo necessario a garantire la salvaguardia della vita umana.

### **5.3.3 Dati di input per la modellazione**

Il focolare considerato per il caso studio prevede l'innesco di un vagone del treno della metropolitana.

A partire dal manuale "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering" è stata individuata la curva HRR relativa all'incendio di un vagone di un treno moderno. Nel test, descritto sull'Handbook, il focolaio è rimasto piccolo e localizzato per oltre 100 minuti per poi raggiungere condizioni simili al flashover. Di seguito, con la linea tratteggiata, viene indicata la curva HRR utilizzata.

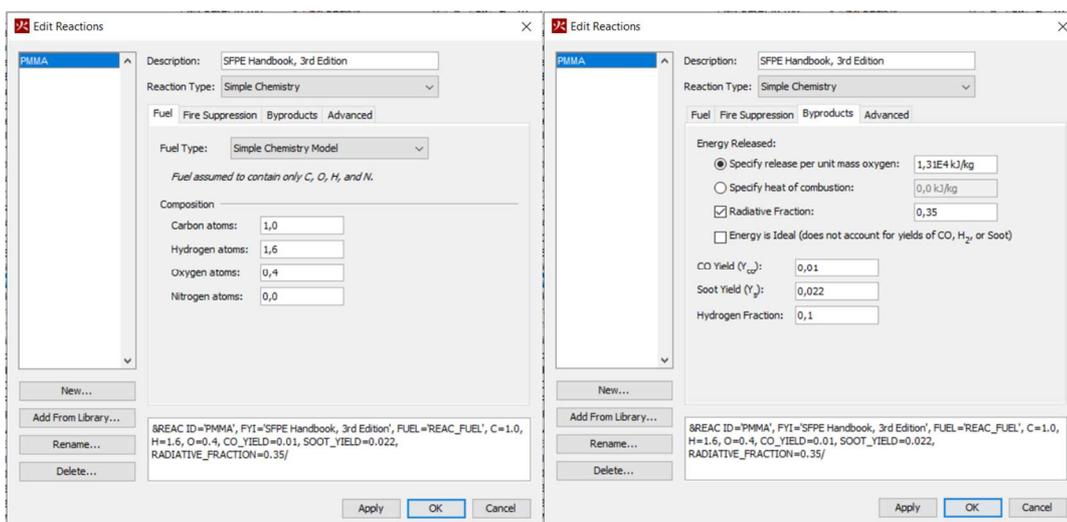


**Figura 5.18:** Curve HRR fonte “Handbook of fire Protection Engineering” 5th Edizione

La superficie del focolare inserita nel software Pyrosim a cui è stata associata la curva ha le medesime dimensioni di quella di un vagone del treno utilizzato nella metropolitana di Torino.

Una volta individuata la curva HRR relativa all’incendio, i dati relativi al suo andamento nel tempo sono stati inseriti all’interno del software Pyrosim come primo dato d’input della modellazione d’incendio. Il passo successivo è stato quello di definire la reazione caratteristica dell’incendio. Nel caso in esame è stata scelta la reazione del PMMA, i cui dati sono stati estrapolati dall’ “Handbook of fire Protection Engineering”.

L’immagine seguente mostra l’interfaccia del programma Pyrosim in cui vengono inseriti i dati per la modellazione dell’incendio.

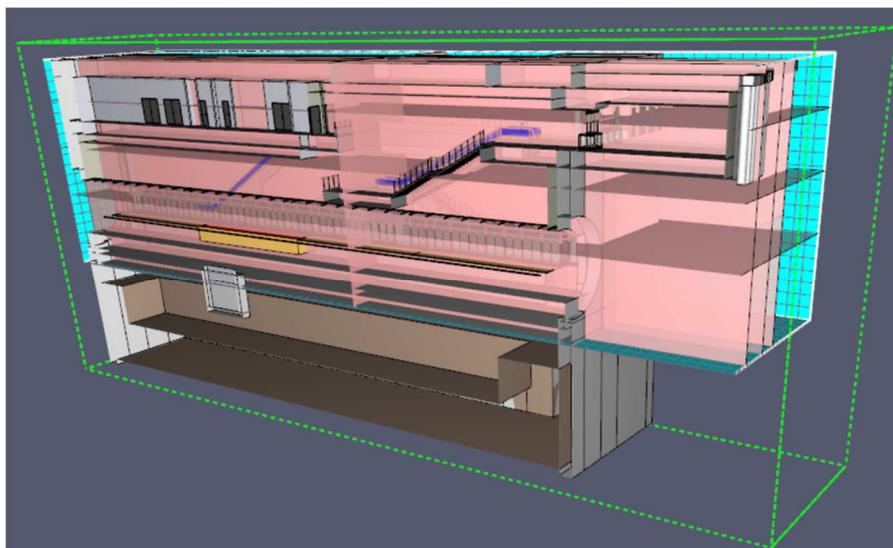


**Figura 5.19:** Edit reactions Pyrosim

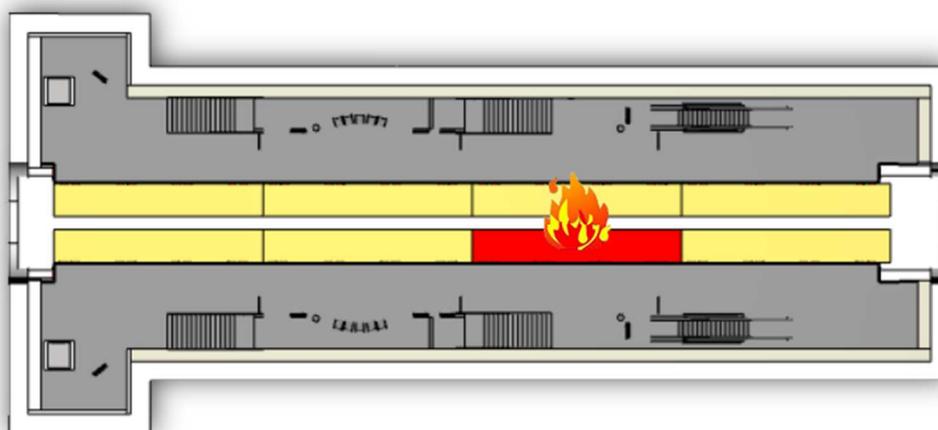
La modellazione d'incendio ha richiesto l'inserimento di sonde (device) e di slices 2d opportunamente posizionate, in grado di valutare l'andamento nel tempo dei modelli di visibilità, temperatura, FED e irraggiamento.

I device sono stati posizionati in vari punti del modello, all'altezza di 1,8 m dal piano di riferimento, in modo da coprire tutta la superficie dell'edificio.

Le slices verticali per la valutazione della visibilità e della temperatura sono state posizionate lungo le vie d'esodo ed in particolare lungo le scale fisse e mobili mentre le slices orizzontali, anch'esse per la valutazione dei medesimi parametri, sono state posizionate ad un'altezza di 1,8 m dal piano di calpestio.



*Figura 5.20: Inserimento delle slice nel modello*



*Figura 5.21: Posizione del focolaio*

## 5.4 Modellazione dell'esodo

### 5.4.1 Creazione del modello d'esodo

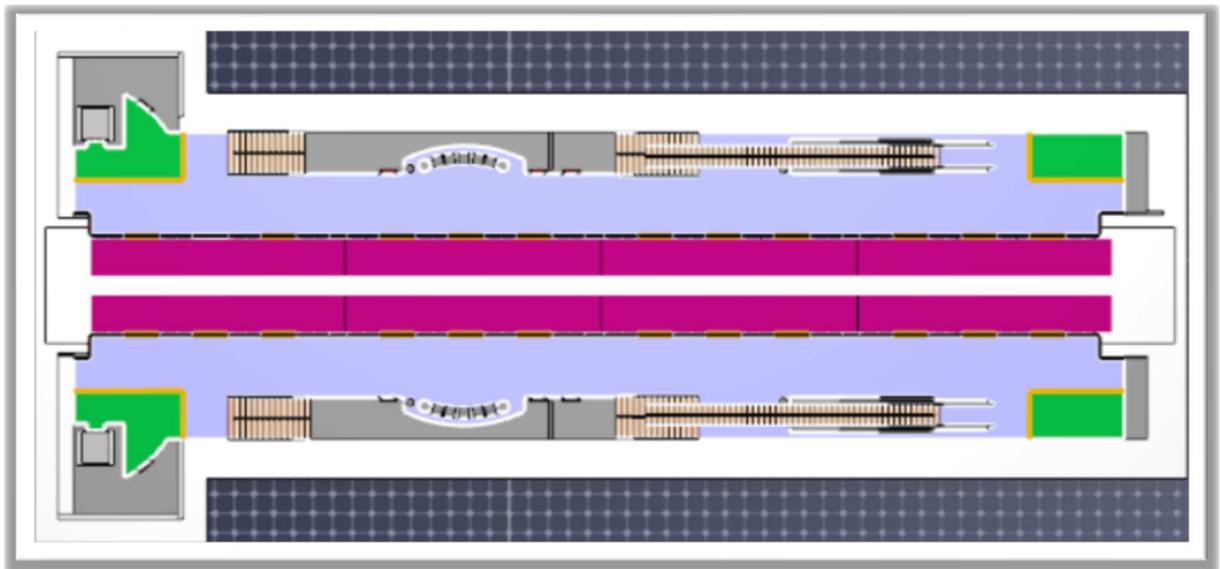
La modellazione dell'esodo è stata fatta attraverso il software Pathfinder in cui è stato importato il modello tridimensionale della stazione metropolitana nel medesimo formato utilizzato per il software Pyrosim.



*Figura 5.22: Icona di Pathfinder*

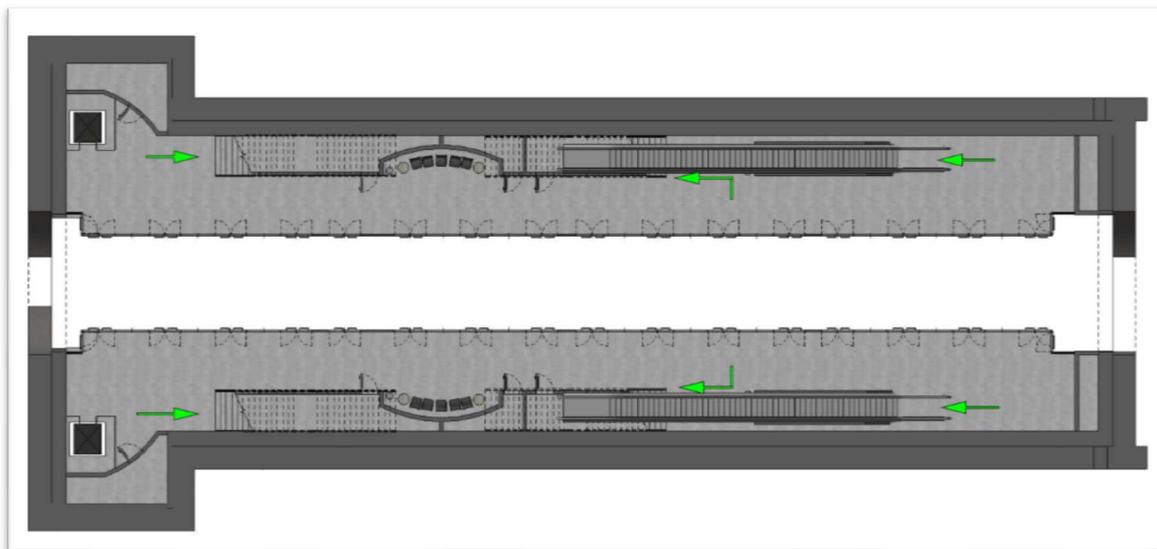
Nella modellazione dell'esodo si è tenuto conto della necessità da parte degli utenti in sedia a rotelle e degli utenti non vedenti di avere a disposizione almeno un luogo sicuro temporaneo sulle banchine, dove attendere l'arrivo dei vigili del fuoco.

Nel caso studio sono predisposti due luoghi sicuri temporanei, agli estremi delle banchine, in modo tale da averne a disposizione almeno uno nel caso in cui l'altro sia caratterizzato da condizioni incapacitanti per gli occupanti. Di seguito viene mostrata un'immagine del piano banchina in cui i luoghi sicuri temporanei sono colorati di verde.

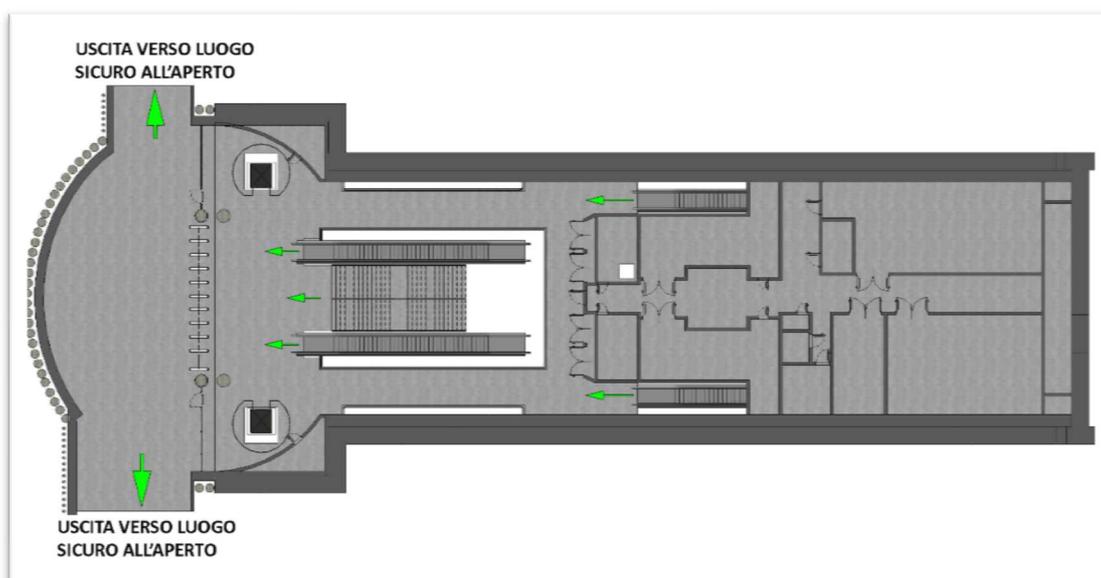


*Figura 5.23: Pianta piano banchina*

Le vie d'esodo a disposizione degli occupanti per passare dal piano banchina all'atrio principale della stazione metropolitana sono due scale fisse e una scala mobile, per ogni banchina. L'uscita dalla stazione metropolitana è predisposta invece attraverso due aperture opposte presenti in prossimità dell'atrio. All'interno della stazione sono altresì presenti due ascensori che non possono però essere usati durante l'esodo in quanto non sono ascensori di emergenza.



*Figura 5.24: Pianta esodo piano banchina*



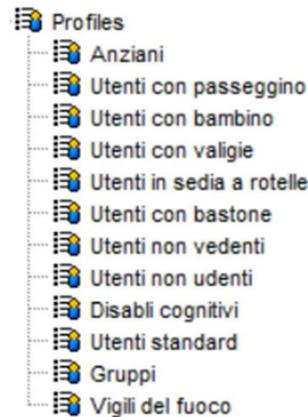
*Figura 5.25: Pianta esodo piano atrio*

## 5.4.2 La modellazione dei profili degli occupanti

Sulla base delle analisi effettuate nel capitolo 3, riguardo il comportamento degli utenti, sono stati definiti i profili degli occupanti da utilizzare nella simulazione dell'esodo.

I profili presi in esame sono:

- anziani;
- utenti con passeggino;
- utenti con bambino;
- utenti con valigie;
- utenti con valigie;
- utenti in sedia a rotelle;
- utenti con bastone;
- utenti non vedenti;
- utenti non udenti;
- disabili cognitivi;
- utenti standard;
- gruppi di persone;
- vigili del fuoco.



*Figura 5.26: Profili creati su Pathfinder*

Una volta individuati i profili, essi sono stati creati all'interno del software Pathfinder. Attualmente non è possibile tenere conto di tutte le diversità degli occupanti presenti nei luoghi di transito, ad esempio il software considera solo i profili dei disabili in sedia a rotelle e allettati; tuttavia è possibile, attraverso un'interfaccia grafica, creare con alcune limitazioni i profili sopra citati.

Il software permette la richiesta di assistenza solo ai profili con forma di poligono poiché considera come possibili profili non autonomi solo queste categorie.

La geometria dell'utente non vedente è stata modellata con un ottagono, in modo tale da ottenere la forma più simile al cilindro dell'utente standard. Questo espediente permette l'aggiunta di un assistente.

All'utente in sedia a rotelle, già presente su Pathfinder, è stato aggiunto un altro assistente poiché nella stazione metropolitana il disabile motorio viene assistito da due vigili del fuoco.

Gli utenti con valigia e con bastone sono stati modellati nello stesso modo usato per l'utente non vedente tenendo conto delle dimensioni descritte nel capitolo 3, ma a differenza di quest'ultimo ad essi non è stato aggiunto l'assistente poiché in grado di muoversi autonomamente.

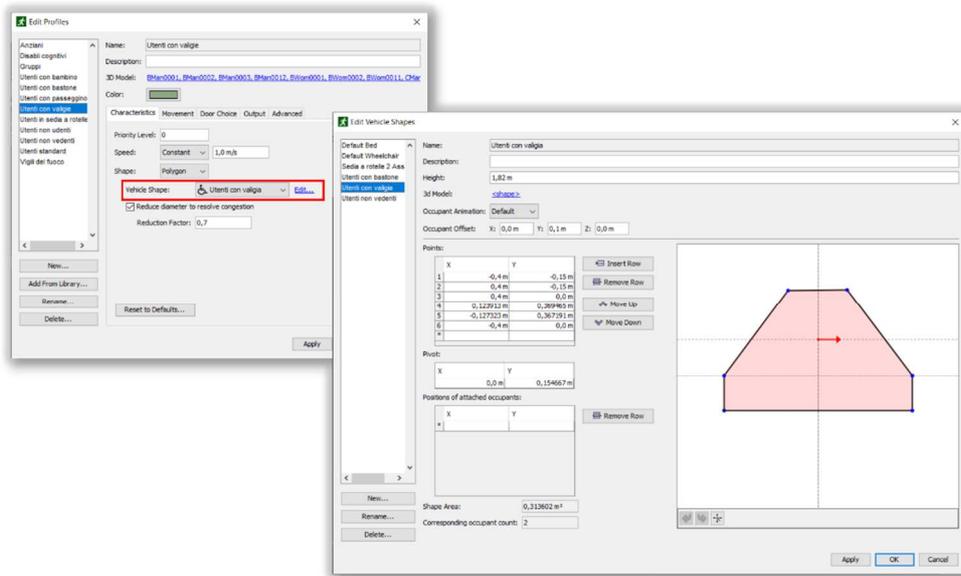


Figura 5.27: Profilo utente con valigia

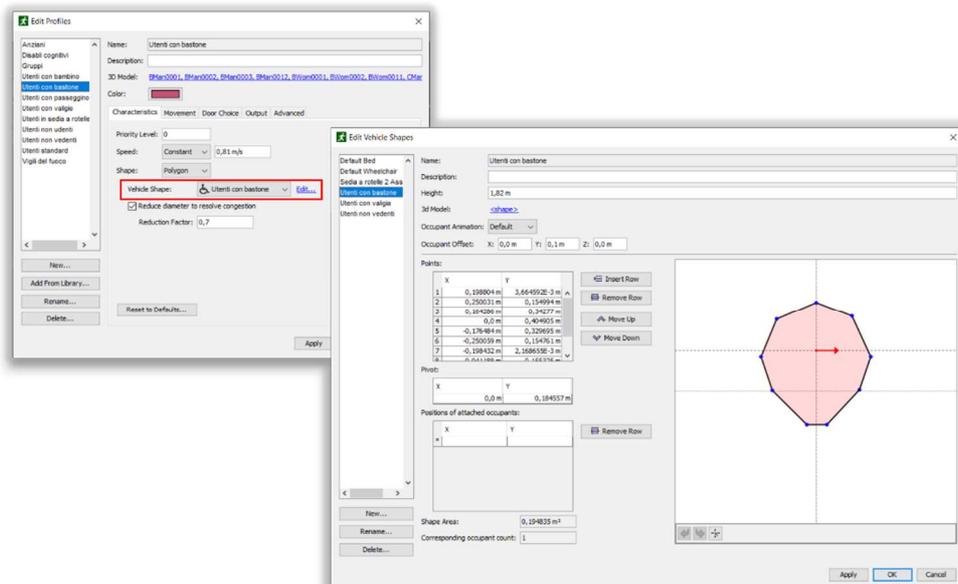


Figura 5.28: Profilo utente con bastone

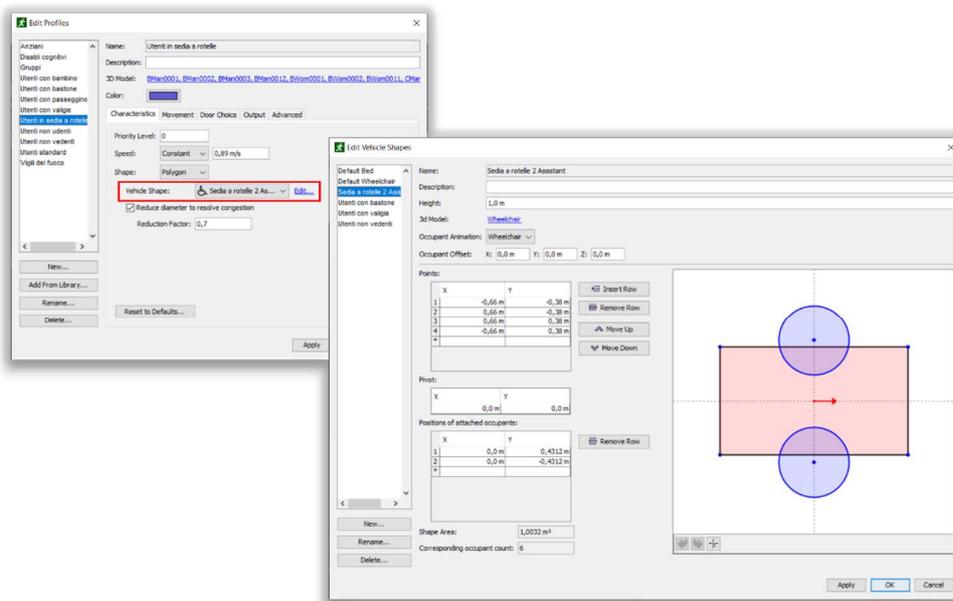


Figura 5.29: Profilo utente in sedia a rotelle con due assistenti

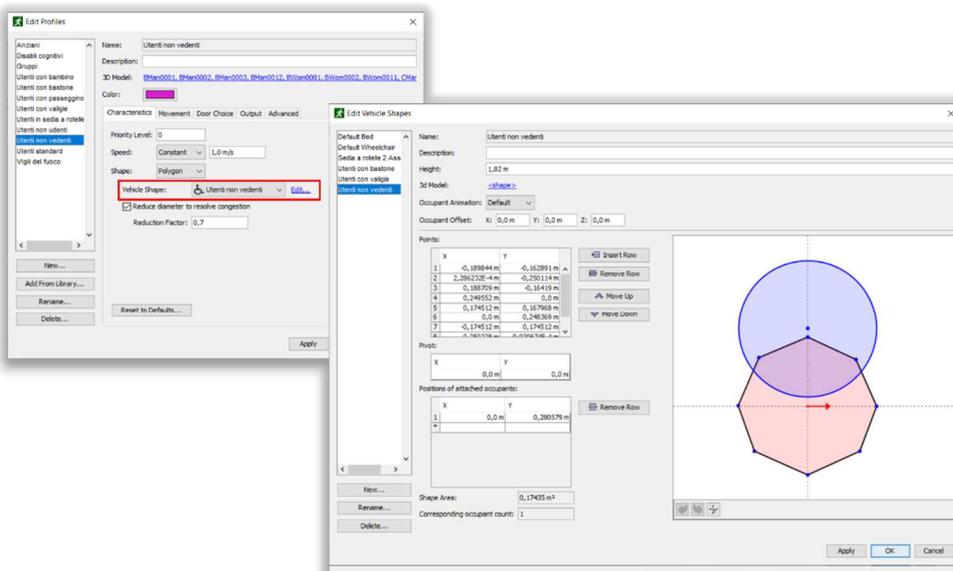
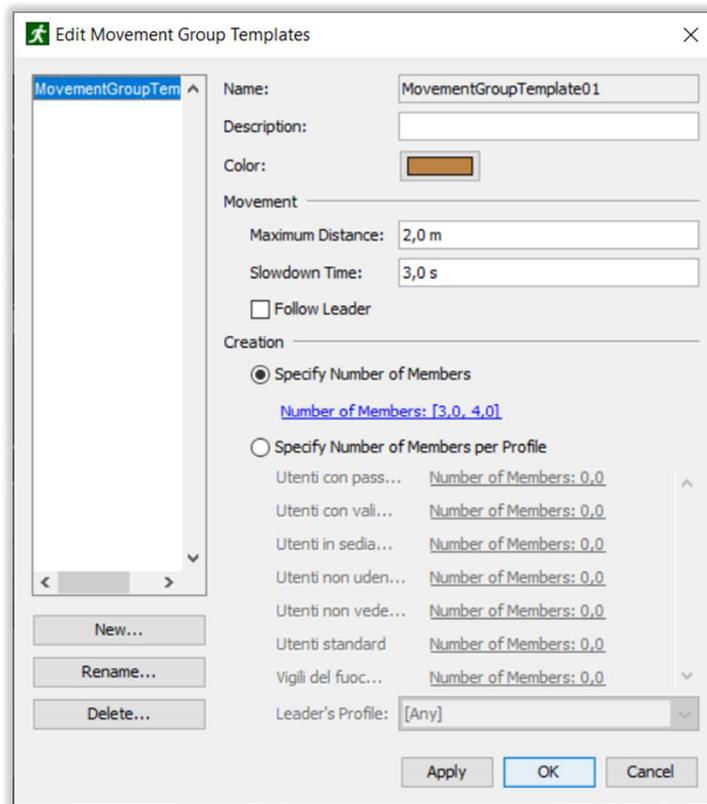
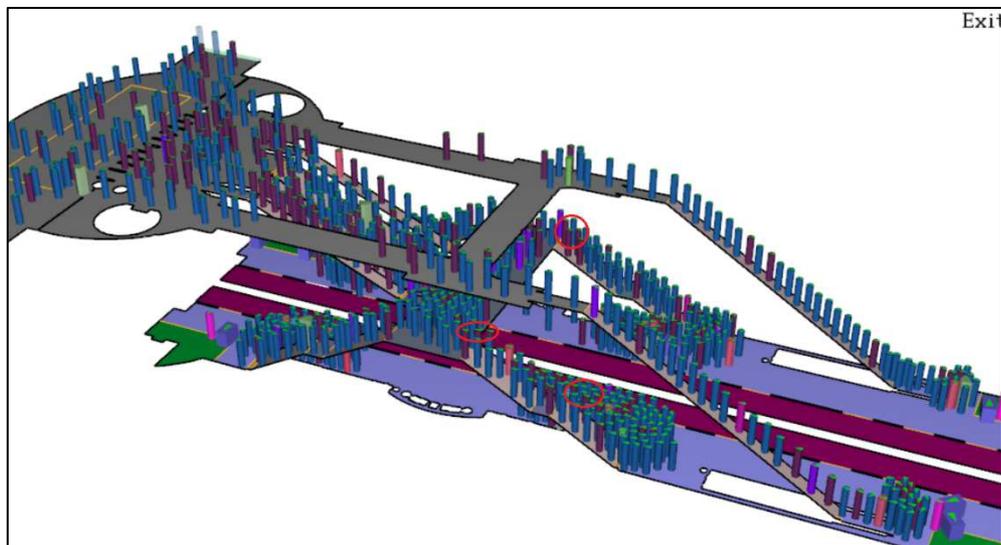


Figura 5.30: Profilo utente non vedente con un assistente

I legami sociali e affettivi che caratterizzano alcuni occupanti sono stati realizzati attraverso la funzione “Movement Groups” che permette di associare lo stesso comportamento a più occupanti con lo stesso profilo. Sono stati creati gruppi di tre o quattro persone i cui gli occupanti possono avere una distanza massima di 2 metri durante l’esodo.



*Figura 5.31: Impostazioni Movement Group*



*Figura 5.32: Gruppi di utenti che si muovono contemporaneamente*

Una volta definiti i profili, è stata inserita per ognuno di essi la velocità di movimento in accordo con quanto descritto nel capitolo 3.4.

In particolare sono stati utilizzati i valori medi di velocità per tutti i profili tranne che per i profili degli anziani, degli utenti con bambini, degli utenti con passeggino, degli utenti con valigia e degli utenti non udenti. Per questi utenti sono stati utilizzati i valori minimi previsti per gli utenti standard a causa dei rallentamenti causati da oggetti o da persone.

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva dei valori utilizzati.

<i>PROFILO DEGLI OCCUPANTI</i>	<i>VELOCITA' [m/s]</i>
<i>UTENTI STANDARD</i>	1,19
<i>ANZIANI</i>	1
<i>UTENTI CON PASSEGGINO</i>	1
<i>UTENTI CON BAMBINO</i>	1
<i>UTENTI CON VALIGIE</i>	1
<i>GRUPPI DI PERSONE</i>	1
<i>UTENTI IN SEDIA A ROTELLE</i>	0,89
<i>UTENTI CON BASTONE</i>	0,81
<i>UTENTI NON VEDENTI</i>	1
<i>UTENTI NON UDENTI</i>	1
<i>DISABILI COGNITIVI</i>	1
<i>VIGILI DEL FUOCO</i>	1,19

**Tabella 5.2: Tabella riassuntiva delle velocità utilizzate per ogni profilo**

### 5.4.3 Il comportamento degli occupanti

Pathfinder considera il comportamento come una sequenza di azioni che l'occupante compie durante una simulazione. Al termine di tutte le azioni essi vengono rimossi dalla simulazione. Le azioni attribuibili agli occupanti all'interno del software sono:

- Go to way point: l'occupante si dirige verso un punto specificato;
- Go to rooms: l'occupante si dirige verso una o più stanze specificate;
- Go to Elevators: l'occupante deve utilizzare l'ascensore;
- Wait: l'occupante deve attendere per un determinato periodo di tempo nella stessa posizione;
- Assist occupants: l'occupante deve prestare assistenza agli utenti che necessitano di assistenza;
- Wait for Assistance: l'occupante deve attendere l'assistenza di altri utenti;
- Detach from Assistants: l'occupante deve staccarsi dal proprio assistente, in modo tale che quest'ultimo possa aiutare altri utenti;
- Go to Refuge Rooms: l'occupante deve recarsi nelle stanze contrassegnate come luoghi sicuri;
- Go to Exits: l'occupante deve recarsi all'uscita più vicina;
- Change Behavior: l'occupante modifica il proprio comportamento in uno nuovo scelto casualmente secondo una distribuzione scelta manualmente;
- Change Profile: l'occupante cambia profilo secondo una distribuzione casuale.

Ad ogni profilo è stato assegnato un comportamento diverso che tiene conto dei diversi tempi di pre-movimento. In particolare è stato assegnato a tutti i profili il comportamento Go to Exits, mentre agli utenti in sedia a rotelle e agli utenti non vedenti presenti sulla banchina e sul treno è stato imposto di dirigersi nei luoghi sicuri temporanei predisposti agli estremi della banchina e attendere l'assistenza.

Al profilo dei vigili del fuoco è stata imposta l'assistenza di tutti gli utenti che aspettano nei luoghi sicuri temporanei. In particolare, alle squadre dei vigili del fuoco, composte da 4 persone, è stato imposto un ritardo di 20 minuti a partire dalla rivelazione dell'allarme prima di procedere con l'ingresso nell'edificio.

## 5.4.4 Tempo di rivelazione, allarme e pre-movimento

### Tempo di rivelazione e allarme

Nel caso di incendio a bordo treno, mentre il treno si trova in galleria, il D.M. 21 Ottobre 2015 fissa il tempo di rivelazione e allarme a 60 s a cui vanno aggiunti altri 60 s per fermare il treno nella stazione più vicina. Il D.M. appena citato non è la regola tecnica da dover applicare al caso studio poiché successiva alla progettazione di questo, ma viene utilizzata come linea guida poiché più restrittiva.

### Tempo di pre-movimento

Il tempo di pre-movimento è stato assegnato a partire dalla tabella 3.2 contenuta nel capitolo 3 della presente tesi e dalla tabella E.2 del rapporto tecnico ISO/TR 16738:2009 della quale se ne riporta uno stralcio di seguito.

Scenario category and modifier levels <sup>a</sup>	First occupants <i>t</i> <sub>pre</sub> (1st percentile)	Occupant distribution <i>t</i> <sub>pre</sub> (99th percentile)
E: Transportation: Awake and unfamiliar (e.g. railway or bus station or airport)		
M1 B3 A1 – A2	—	—
<b>M2 B3 A1 – A2</b>	<b>1,5</b>	<b>4</b>
M3 B3 A1 – A3	2,0	5
M1 and M2 normally require a voice alarm/PA.	> 15	> 15

*Figura 5.33: Stralcio della tabella E.2 fonte ISO/TR 16738:2009*

Gli occupanti presenti nei luoghi di transito fanno parte della categoria E. In particolare, la stazione metropolitana Italia 61' ricade nel caso **M2 B3 A1-A2** in base all' Appendice D della ISO/TR 16738. Le lettere A, B e M indicano rispettivamente:

- A: la qualità del sistema di allarme (suddiviso in livelli da A1 a A3);
- B: il grado di complessità dell'edificio (suddiviso in livelli da B1 a B3);
- M: la qualità della gestione della sicurezza antincendio (suddiviso in livelli da M1 ad M3).

A partire dal capitolo D.3.2, al parametro A è assegnato il livello A1 poiché nella stazione metropolitana è presente un sistema di allarme automatico attivato immediatamente in caso di incendio.

Per il parametro B, il rapporto tecnico associa ai luoghi di transito il livello B3 essendo luoghi con grado di complessità elevato.

In virtù del capitolo D.3.4, al parametro M è attribuito il livello M2, simile al livello M1 ma con un rapporto tra personale qualificato e numero di visitatori inferiore.

Lo stralcio della tabella E.2 sopra riportato suggerisce l'assunzione di un tempo di pre-movimento che non tiene conto dei diversi profili degli occupanti e che varia all'interno del seguente intervallo:

$$t_{pre} = 90 \div 240 [s]$$

A partire da questo tempo di pre-movimento e dalla tabella 3.2 contenuta nel capitolo 3 del presente lavoro, dove sono definite le difficoltà degli occupanti nelle fasi del processo di comunicazione dell'allarme, viene ricavato il tempo di pre-movimento per tutti i profili degli occupanti. La semplificazione proposta prevede l'attribuzione di una percentuale che varia dallo 0 % al 100 % a ciascun profilo di occupante in virtù delle difficoltà che caratterizzano il suo tempo di pre-movimento, tradotto successivamente in un tempo aggiuntivo da sommare al valore minimo dell'intervallo sopracitato. Si ottiene quindi:

- agli utenti normodotati è assegnato lo 0%, pertanto il tempo di pre-movimento assegnatogli varia nell'intervallo tra 90 s ÷ 240 s;
- agli utenti che presentano un livello di difficoltà elevata in tutte le fasi viene associata una percentuale del 100 %, corrispondente quindi ad un tempo di pre-movimento fissato a 240 s;
- agli utenti che presentano livelli di difficoltà intermedia, il valore inferiore dell'intervallo di tempo sopra considerato, pari a 90 s, viene maggiorato in virtù delle peculiarità di ciascun profilo.

La tabella seguente contiene i valori di tempo di pre-movimento ricavati con la semplificazione sopra indicata per tutti i profili presi in considerazione.

<i>PROFILI DEGLI OCCUPANTI</i>	<i>FIRST OCCUPANTS</i>	<i>OCCUPANT DISTRIBUTION</i>
	$T_{pre}$ (1st percentile) [s]	$T_{pre}$ (99th percentile) [s]
ANZIANI*	204	240
UTENTI CON PASSEGGINO	128	240
UTENTI CON BAMBINI	128	240
UTENTI CON VALIGIE O CON BICICLETTE	128	240
GRUPPI DI PERSONE	128	240
UTENTI IN SEDIA A ROTELLE	128	240
UTENTI CON BASTONE O STAMPELLE	128	240
UTENTI NON VEDENTI	204	240
UTENTI NON UIDENTI	109	240
DISABILITA' COGNITIVE	166	240
UTENTI STANDARD	90	240

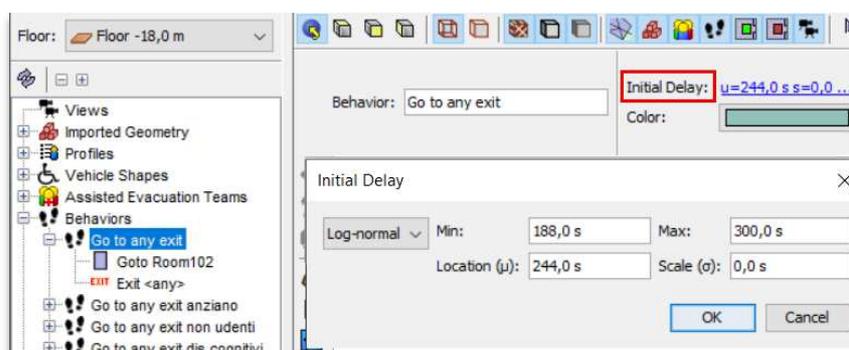
**Tabella 5.3: Tempi di pre-movimento calcolati**

\*Estremamente dipendente dall'individuo coinvolto

In questo modo è possibile associare a ciascun profilo degli occupanti un tempo di pre-movimento che tenga conto delle loro caratteristiche.

Nel caso studio, ai disabili motori in sedia rotelle e ai disabili non vedenti viene assegnato un tempo di ritardo prestabilito, anche se devono attendere l'assistenza per poter evacuare, per poter verificare se il tempo necessario a dirigersi nei luoghi sicuri temporanei permette la salvaguardia della vita umana.

Il tempo di rivelazione, allarme e pre-movimento sono stati sommati e inseriti all'interno del software tramite il comando "Initial Delay" presente nella barra delle proprietà di ogni comportamento.



**Figura 5.34: Comportamento di un utente con valigia**

### 5.4.5 Affollamento

Il massimo affollamento ipotizzabile è stato calcolato in base al D.M. 21 Ottobre 2015 preso come linea guida alla progettazione della Fire Safety Engineering. Tale 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/m<sup>2</sup>;
- il numero dei passeggeri presenti sulla banchina di una stazione di transito 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 1,0 pers/m<sup>2</sup>;
- 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/m<sup>2</sup>.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei dati dell'affollamento calcolati.

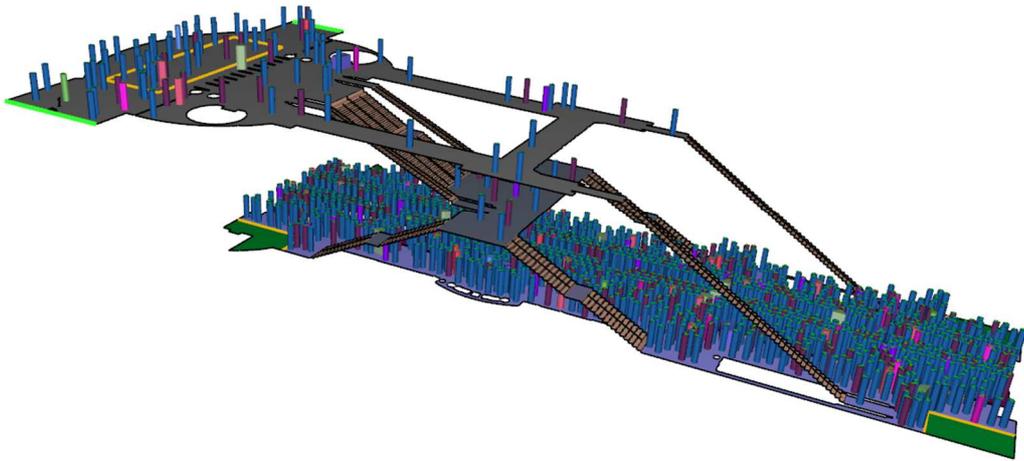
	<i>SUPERFICIE [m<sup>2</sup>]</i>	<i>DENSITA' [pers/m<sup>2</sup>]</i>	<i>N° PASSEGGERI [-]</i>
<i>TRENO</i>	82,8	4	332
<i>BANCHINA</i>	270	1	270
<i>ATRIO</i>	1000	0,1	100

**Tabella 5.4: Dati dell'affollamento calcolati per il caso studio secondo il D.M. 21/10/2015**

In base alle percentuali dei profili degli occupanti descritte nel capitolo 5.2 e all'affollamento appena calcolato è stato individuato il numero dei passeggeri, arrotondato per eccesso all'unità più vicina, per ogni profilo. Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei dati calcolati.

*Tabella 5.5: Dati affollamento distribuiti per ogni occupante in base alle percentuali dei profili presenti alle ore 8:00, 14:00, 17:00*

PROFILO DEGLI OCCUPANTI	AFFOLLAMENTO IN BASE AL D.M. 21/10/2015																	
	ORE 08:00						ORE 14:00						ORE 17:00					
	TRENO	BANCHINA	ATRIO	TRENO	BANCHINA	ATRIO	TRENO	BANCHINA	ATRIO	TRENO	BANCHINA	ATRIO	TRENO	BANCHINA	ATRIO	TRENO	BANCHINA	ATRIO
UTENTI STANDARD	254	75,37%	207	75,00%	77	71,96%	256	76,42%	209	76,28%	78	72,90%	246	73,43%	200	72,46%	74	70,48%
ANZIANI	6	1,78%	5	1,81%	2	1,87%	2	0,60%	2	0,73%	1	0,93%	12	3,58%	10	3,62%	4	3,81%
UTENTI CON PASSEGGINO	1	0,30%	1	0,36%	1	0,93%	1	0,30%	1	0,36%	1	0,93%	4	1,19%	4	1,45%	2	1,90%
UTENTI CON BAMBINI	2	0,59%	2	0,72%	1	0,93%	4	1,19%	3	1,09%	2	1,87%	7	2,09%	6	2,17%	3	2,86%
UTENTI CON VALIGIE O CON BICICLETTE	3	0,89%	2	0,72%	1	0,93%	7	2,09%	6	2,19%	2	1,87%	1	0,30%	1	0,36%	1	0,95%
GRUPPI DI PERSONE	61	18,10%	49	17,75%	19	17,76%	56	16,72%	45	16,42%	17	15,89%	58	17,31%	48	17,39%	18	17,14%
DISABILITA' MOTORIA: utenti in sedia a rotelle	2	0,59%	2	0,72%	1	0,93%	1	0,30%	1	0,36%	1	0,93%	2	0,60%	2	0,72%	1	0,95%
DISABILITA' MOTORIA: utenti con bastone o stampelle	4	1,19%	4	1,45%	2	1,87%	5	1,49%	4	1,46%	2	1,87%	3	0,90%	3	1,09%	1	0,95%
DISABILITA' SENSORIALE: non vedenti	1	0,30%	1	0,36%	1	0,93%	1	0,30%	1	0,36%	1	0,93%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
DISABILITA' SENSORIALE: non udenti	1	0,30%	1	0,36%	1	0,93%	1	0,30%	1	0,36%	1	0,93%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
DISABILITA' COGNITIVE	2	0,59%	2	0,72%	1	0,93%	1	0,30%	1	0,36%	1	0,93%	2	0,60%	2	0,72%	1	0,95%
<b>TOT.</b>	<b>337</b>	<b>100%</b>	<b>276</b>	<b>100%</b>	<b>107</b>	<b>100%</b>	<b>335</b>	<b>100%</b>	<b>274</b>	<b>100%</b>	<b>107</b>	<b>100,00%</b>	<b>335</b>	<b>100%</b>	<b>276</b>	<b>100%</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>



**Figura 5.35: Inserimento degli occupanti nel modello**

L'inserimento della squadra dei vigili del fuoco è stato gestito tramite la funzione portali; i portali sono posti all'ingresso della stazione metropolitana e permettono l'ingresso di una squadra composta da 4 persone 20 minuti dopo l'inizio della simulazione.

Pathfinder 2020 x64 - \*Esodo\_ore8.pth

File Edit Model View Simulation Results Help

SI EN

Floor: Floor -18,0 m

X Bounds: -15,74 m, -15,74 m  
Y Bounds: 25,81 m, 33,47 m  
Z Bounds: -7,52 m, -7,52 m

Flow Rate: From Table <edit>  
Enforce Flow Rate: No

Profile: VVF  
Behavior: Soccorritori  
Component: Door46

Views  
Imported Geometry  
Profiles  
Vehicle Shapes  
Assisted Evacuation Team  
Behaviors  
Occupant Sources  
VVF  
Occupants

Flow Rate

Time	Flow Rate
1	1199,999 s 0,0 pers/s
2	1200,0 s 4,0 pers/s
3	1200,999 s 4,0 pers/s
4	1201,0 s 0,0 pers/s
*	

Insert Row  
Remove Row  
Move Up  
Move Down  
Copy  
Paste  
Cut

Step Function

Flow Rate

Flow Rate (pers/s)

Time (s)

Previous Values  
New Values

OK Cancel

**Figura 5.36: Dati di input per la creazione del portale**

#### 5.4.6 Risultati delle simulazioni d'esodo

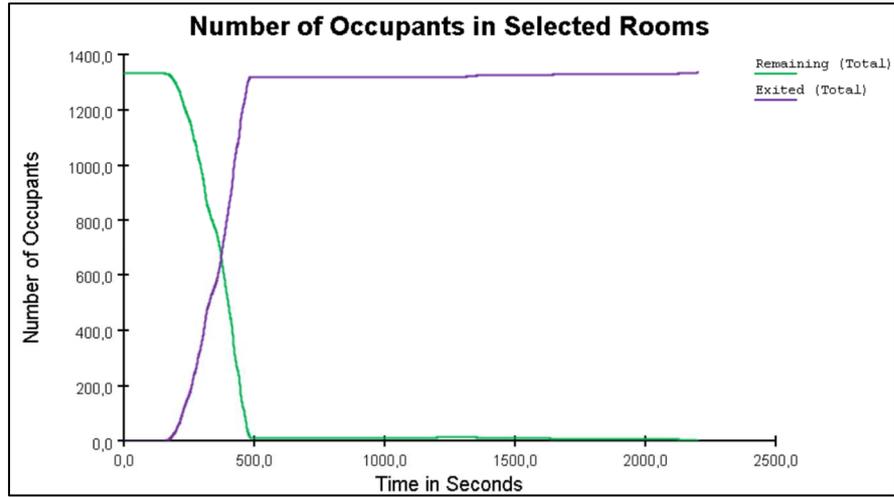
Al fine di poter individuare la situazione d'esodo più critica all'interno della stazione metropolitana è stato necessario realizzare tre simulazioni a orari differenti (ore 8:00, 14:00, 17:00), caratterizzate ciascuna da una differente percentuale dei profili degli occupanti presenti ma dallo stesso numero totale di occupanti presenti all'interno della struttura. Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti dalle simulazioni d'esodo.

	Tempo di esodo ultimo occupante non assistito [s]	Tempo di esodo ultimo occupante assistito dai V.V.F [s]
SCENARIO ORE 8:00	484	2201
SCENARIO ORE 14:00	477	1866
SCENARIO ORE 17:00	500	2145

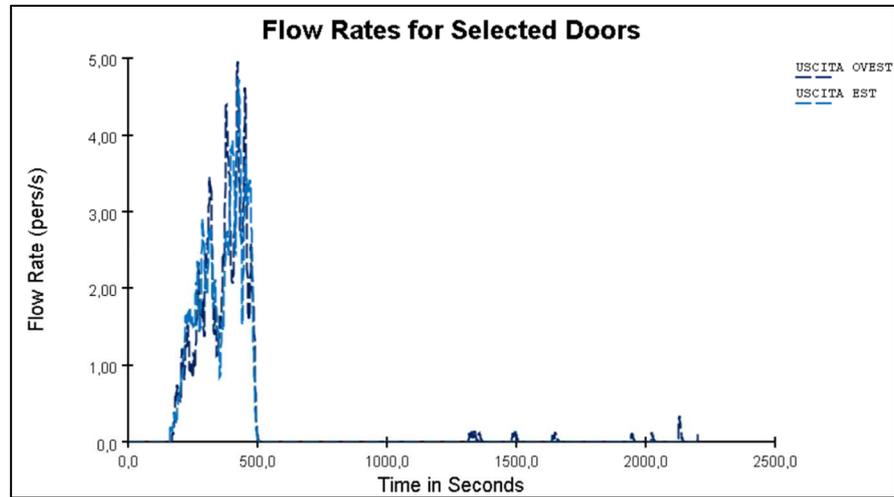
*Tabella 5.6: Confronto dei tempi di esodo degli ultimi occupanti tra i tre scenari*

Ciò che si evince dalla tabella è che lo scenario delle 8:00 è quello in cui il tempo di evacuazione dell'occupante assistito risulta più gravoso rispetto ai restanti scenari, mentre lo scenario delle 17:00 è quello più gravoso tra i tre per l'occupante non assistito.

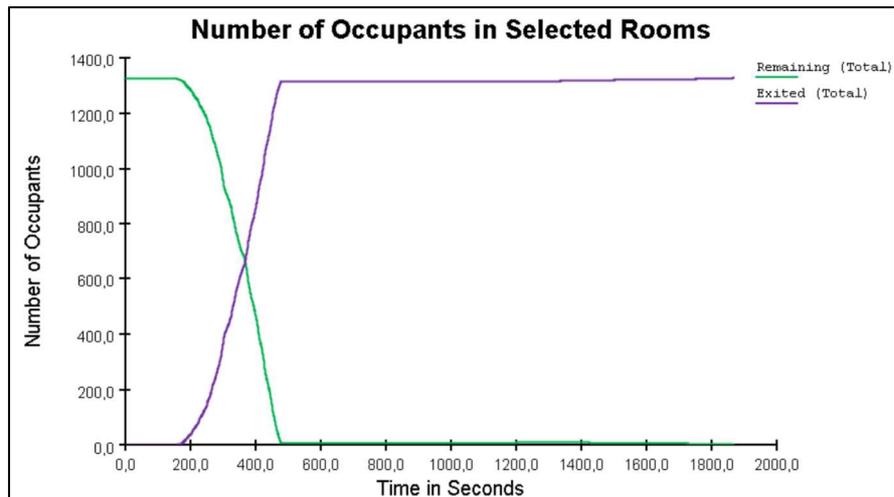
I grafici sottostanti mostrano l'andamento dell'esodo degli occupanti nel tempo. Si osserva in particolare che in tutti e tre gli scenari il primo tratto di curva cresce velocemente nel tempo rappresentando l'esodo degli occupanti non assistiti, mentre il secondo tratto ha un andamento per lo più costante riproducendo l'esodo degli utenti assistiti, che devono attendere l'arrivo dei vigili del fuoco per poter completare l'esodo.



*Figura 5.37: Scenario ore 8:00 - Grafico occupanti/tempo*



*Figura 5.38: Scenario ore 8:00 - Flusso degli occupanti dalle uscite*



*Figura 5.39: Scenario ore 14:00 - Grafico occupanti/tempo*

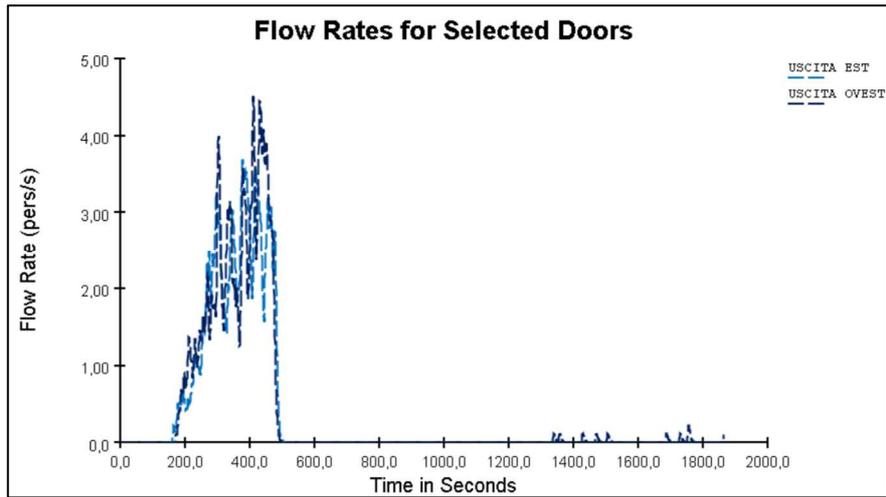


Figura 5.40: Scenario ore 14:00 - Flusso degli occupanti dalle uscite

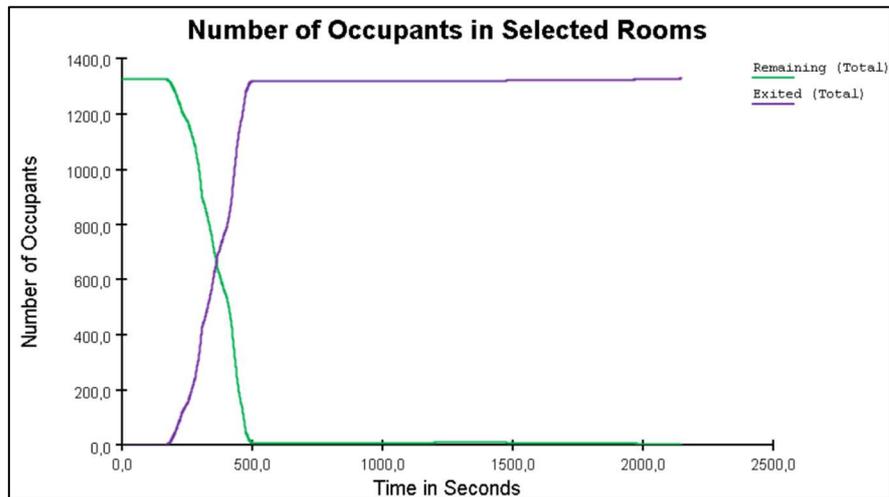


Figura 5.41: Scenario ore 17:00 - Grafico occupanti/tempo

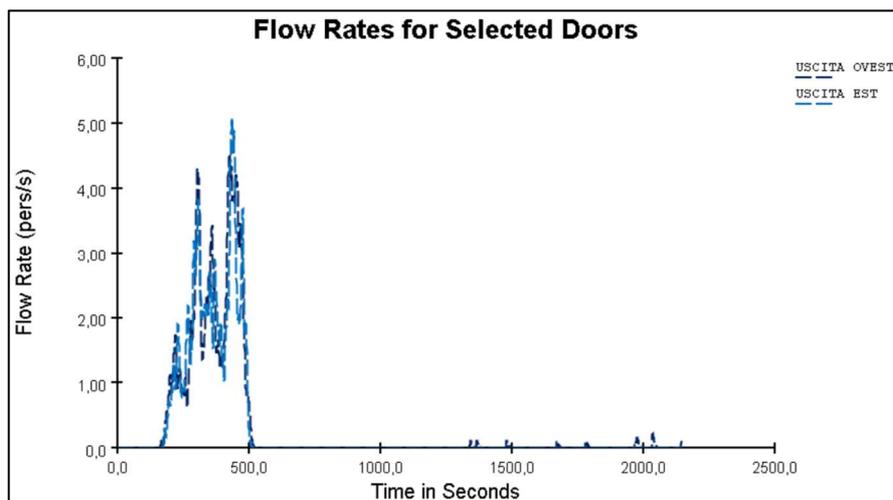
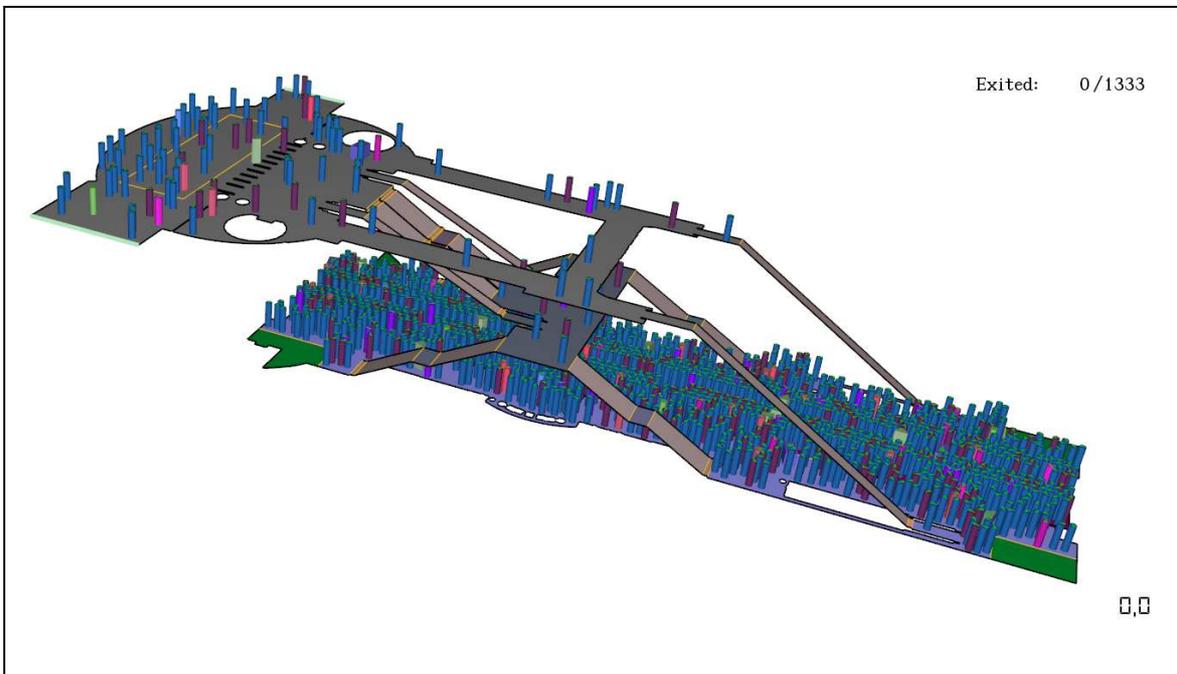


Figura 5.42: Scenario ore 17:00 - Flusso degli occupanti dalle uscite

### Valutazione qualitativa dei 3 scenari

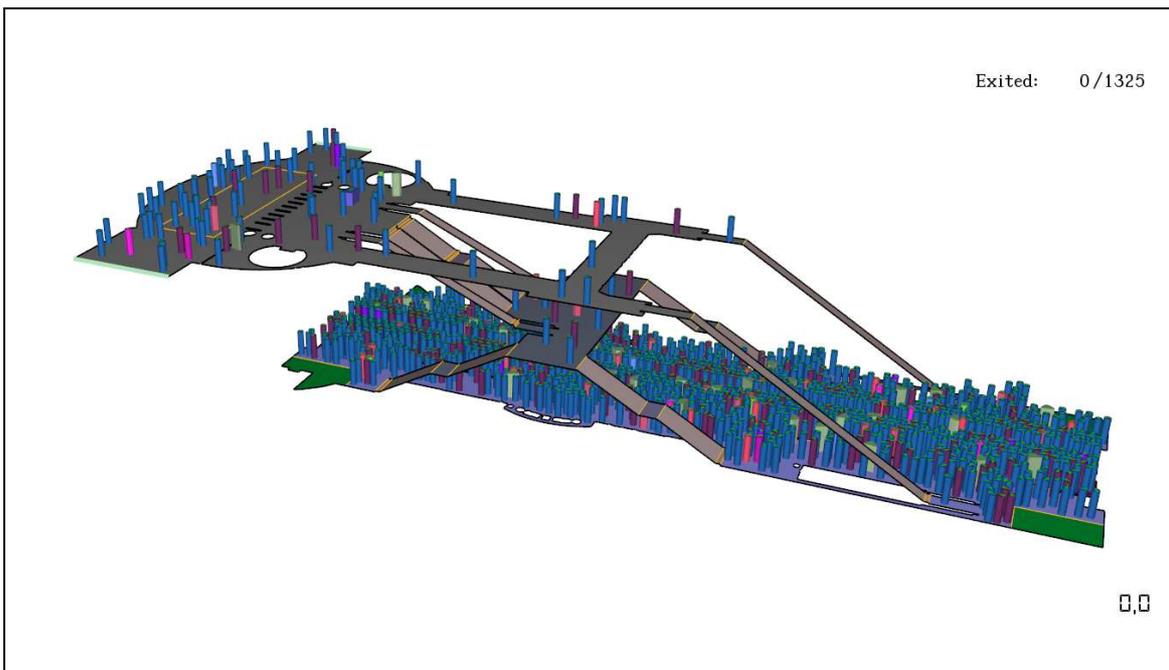
La valutazione qualitativa dei tre scenari d'esodo serve ad evidenziare che:

- all'istante pari a 0 s, l'unica differenza che sussiste tra i tre scenari riguarda la differente composizione percentuale degli occupanti presenti all'interno della struttura;
- all'istante pari a 477 s, momento in cui nello scenario delle ore 14:00 la totalità degli occupanti non assistiti ha abbandonato la stazione metropolitana, gli altri due scenari mostrano la presenza di alcuni occupanti all'interno della struttura.



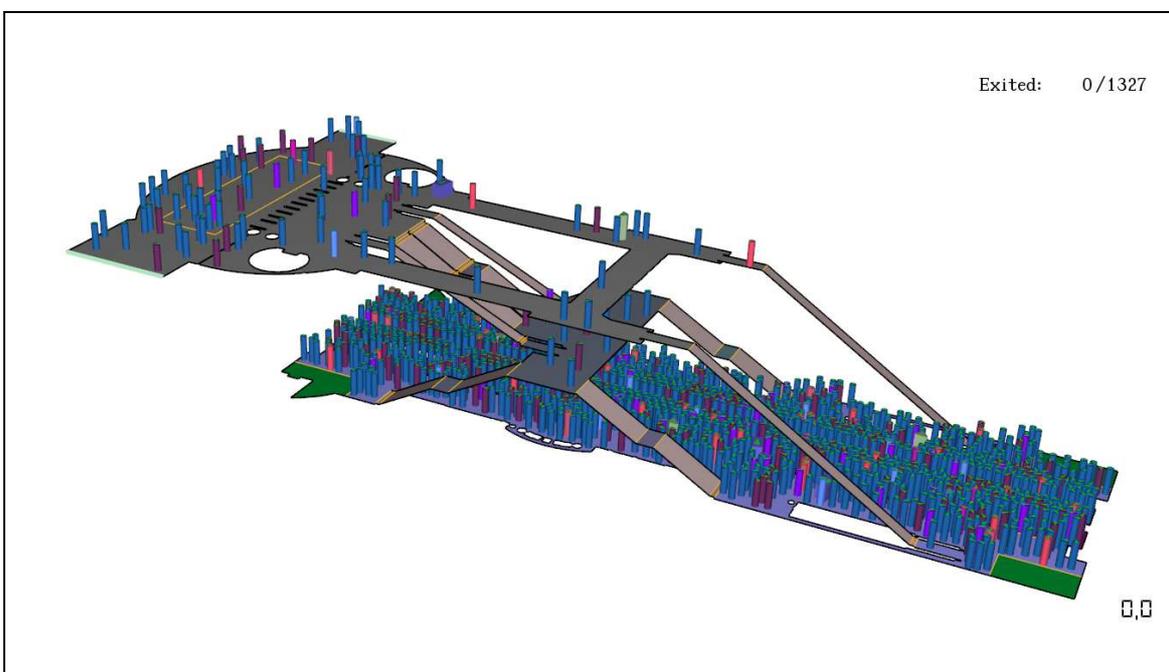
Scenario ore 8:00 – Istante 0 s

Vista laterale – E' stato attribuito un colore differente in base al profilo dell'occupante.



Scenario ore 14:00 – Istante 0 s

Vista laterale – E' stato attribuito un colore differente in base al profilo dell'occupante.



Scenario ore 17:00 – Istante 0 s

Vista laterale – E' stato attribuito un colore differente in base al profilo dell'occupante.

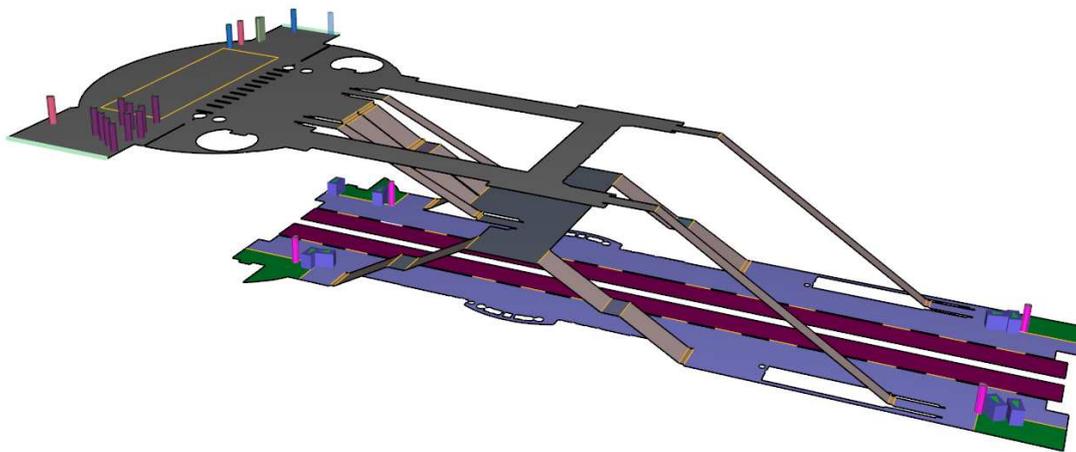
Exited: 0/1327



0,0

Vista frontale

Exited: 1305/1333

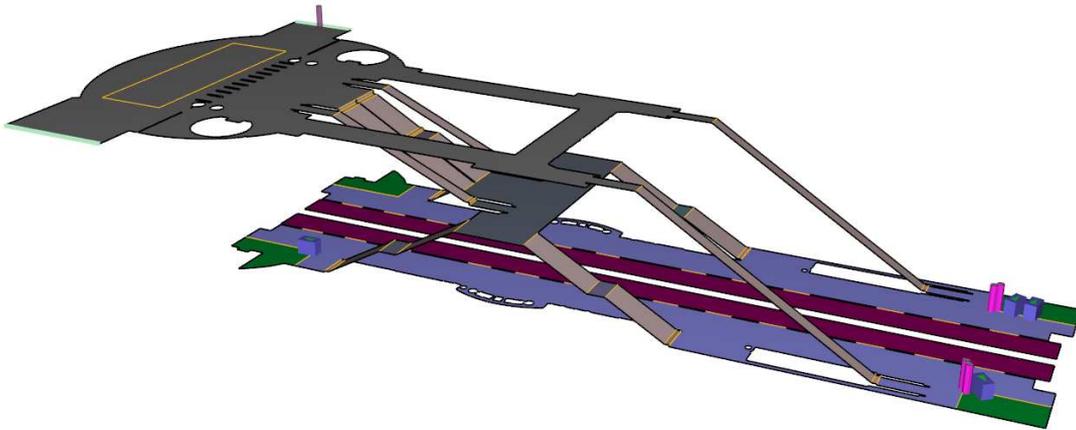


477,0

Scenario ore 8:00 – Istante 477 s

Gli ultimi occupanti non assistiti stanno completando l'esodo; si nota che sono in prevalenza gruppi di persone.

Exited: 1316/1325

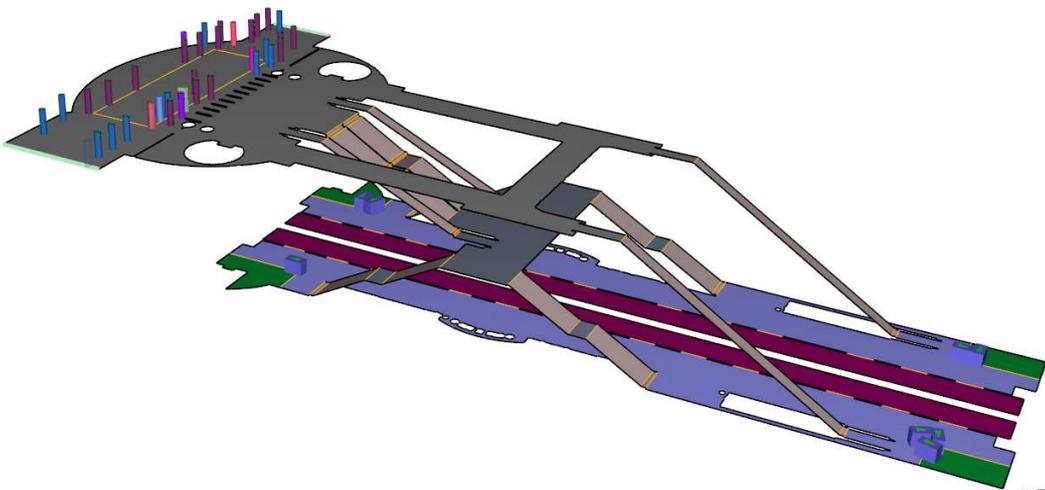


477,0

Scenario ore 14:00 – Istante 477 s

Tutti gli occupanti non assistiti hanno completato l'esodo.

Exited: 1283/1327



477,0

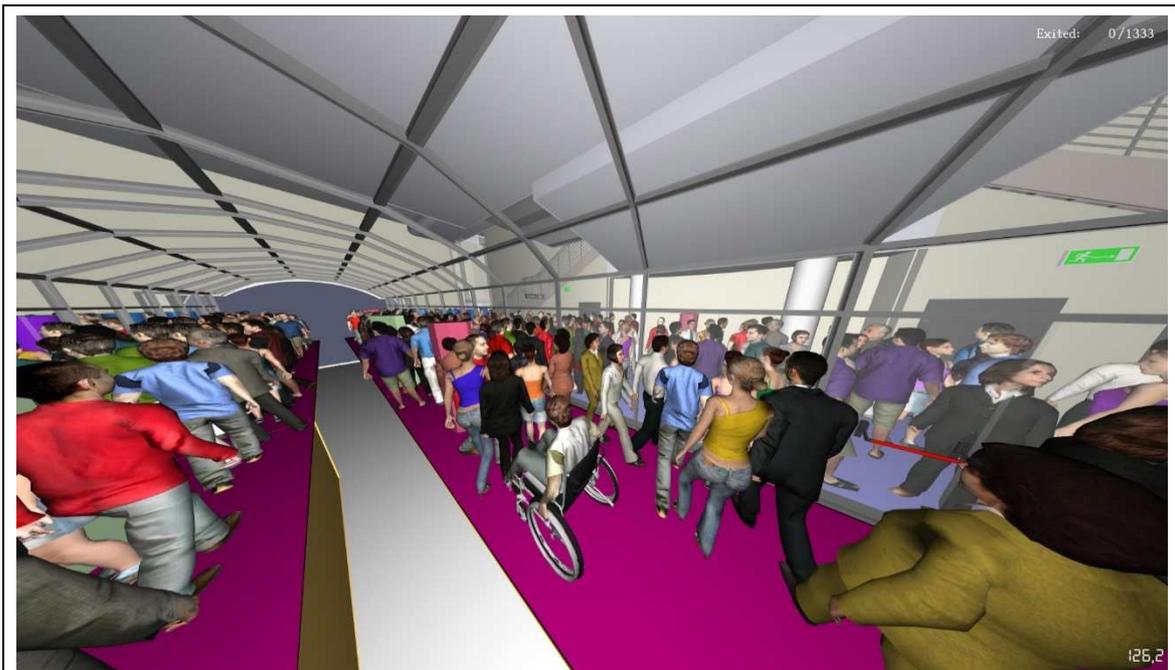
Scenario ore 17:00 – Istante 477 s

Gli ultimi occupanti non assistiti stanno completando l'esodo. Essi sono in prevalenza gruppi di persone.

### Fasi di esodo per un occupante in sedia a rotelle

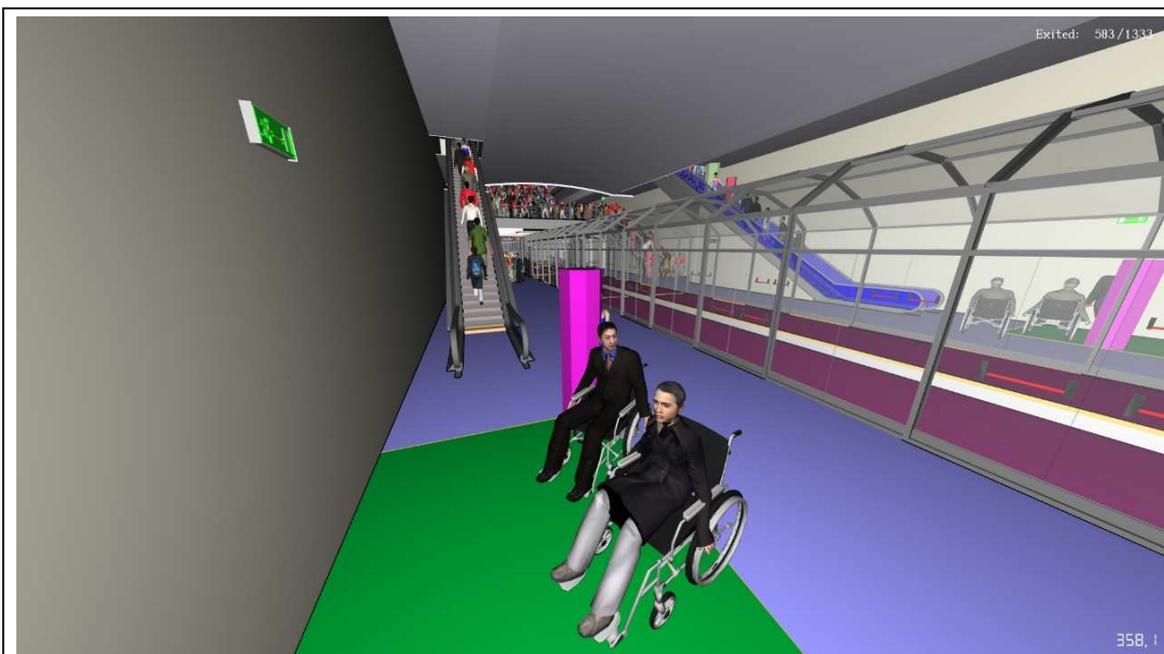
Le immagini sottostanti rappresentano le principali fasi di esodo di un occupante in sedia a rotelle in ciascuno dei tre scenari presi in considerazione.

Si nota che l'utente con disabilità motoria deve attendere nel luogo sicuro temporaneo l'arrivo dei Vigili del fuoco per poter procedere con l'evacuazione.



Scenario ore 8:00

Istante iniziale dell'esodo.



Scenario ore 8:00

Il disabile in sedia a rotelle attende nel luogo sicuro temporaneo l'arrivo dei Vigili del fuoco.



Scenario ore 8:00

La squadra dei Vigili del fuoco composta da 4 persone entra nella stazione metropolitana all'istante 1202 s.



Scenario ore 8:00

I Vigili del fuoco portano in salvo l'utente in sedia a rotelle. Sono necessari 2 uomini per ogni disabile in sedia a rotelle.



Scenario ore 8:00

Il disabile in sedia a rotelle viene lasciato all'uscita Ovest della stazione metropolitana.

## 5.5 Verifica della salvaguardia della vita umana

Il codice di prevenzione incendi prevede che il professionista antincendio debba perseguire i seguenti due obiettivi al fine di poter garantire la salvaguardia della vita umana:

- tutti gli occupanti devono poter raggiungere o permanere in un luogo sicuro senza essere esposti eccessivamente ai prodotti dell'incendio;
- i soccorritori devono poter operare in sicurezza.

Per poter verificare la salvaguardia della vita umana il codice introduce il criterio  $ASET > RSET$  dove:

- ASET (Available safe escape time) è il tempo disponibile per l'esodo;
- RSET (Required safe escape time) è il tempo richiesto per l'esodo.

Di seguito vengono riportate le soglie di prestazione per poter valutare il valore di ASET nel caso di stazioni metropolitane, in particolare per gli occupanti sono state utilizzate le soglie previste dal D.M. 21 Ottobre 2015 che è stato utilizzato come linea guida alla progettazione della FSE, mentre per i soccorritori i valori previsti dal codice di prevenzione incendi.

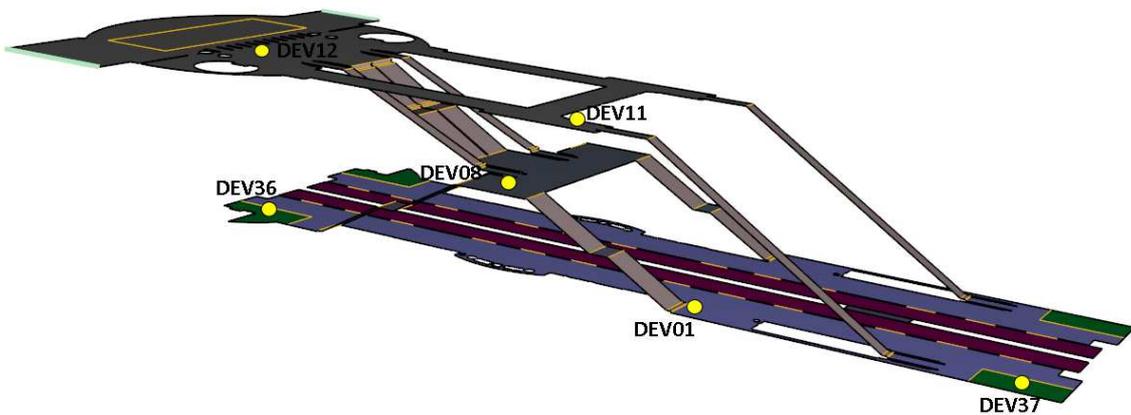
Modello	Prestazione	Soglia di prestazione occupanti	Soglia di prestazione soccorritori
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza di 1,80 m dal piano di calpestio	15 m	5 m
Gas tossici	FED, fractional effective dose e FEC, fractional effective concentration per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	0,3	Nessuna valutazione
Calore	Temperatura massima di esposizione	60°C	80°C
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti di esposizione degli occupanti	2,5 kW/m <sup>2</sup>	3 kW/m <sup>2</sup>

**Tabella 5.7: Soglie di prestazione**

### 5.5.1 Calcolo di ASET

Il tempo disponibile per l'esodo ASET, ovvero il tempo in cui le condizioni ambientali rimangono tali da non risultare incapacitanti per gli occupanti, è determinato a partire dai risultati ottenuti dal software Pyrosim.

In particolare il valore di ASET è calcolato in corrispondenza di alcuni punti del percorso d'esodo in cui vengono registrati i valori più significativi dei parametri ambientali analizzati. I dispositivi di misurazione adoperati a tale fine sono i devices e sono posizionati all'interno della metropolitana come in figura, ad una altezza dal piano di riferimento pari a 1,8 m.



*Figura 5.43: Posizione dei devices all'interno della metropolitana*

I devices sono posizionati lungo le vie d'esodo ad eccezione dei dispositivi n° 36 e n° 37 che sono collocati in corrispondenza dei luoghi sicuri temporanei in cui i disabili devono sostare ed attendere l'arrivo dei soccorritori.

In prossimità di questi ultimi due devices è importante che tutti i parametri si mantengano al di sotto dei valori soglia stabiliti da norma per tutta la durata dell'esodo al fine di non compromettere la salute degli occupanti che devono attendere l'assistenza dei soccorritori. L'unico parametro per cui sono ammessi valori al di sotto di quello soglia è la visibilità che deve essere verificata invece in virtù del valore di riferimento indicato per i soccorritori.

Ciascun device indicato nell'immagine n° 5.43 ha registrato i valori dei quattro parametri ambientali, quali temperatura, FED, visibilità e irraggiamento durante tutta la simulazione dell'incendio.

Il valore di ASET assoluto di ciascun device è assunto pari al più piccolo tra gli ASET calcolati secondo i quattro modelli considerati:

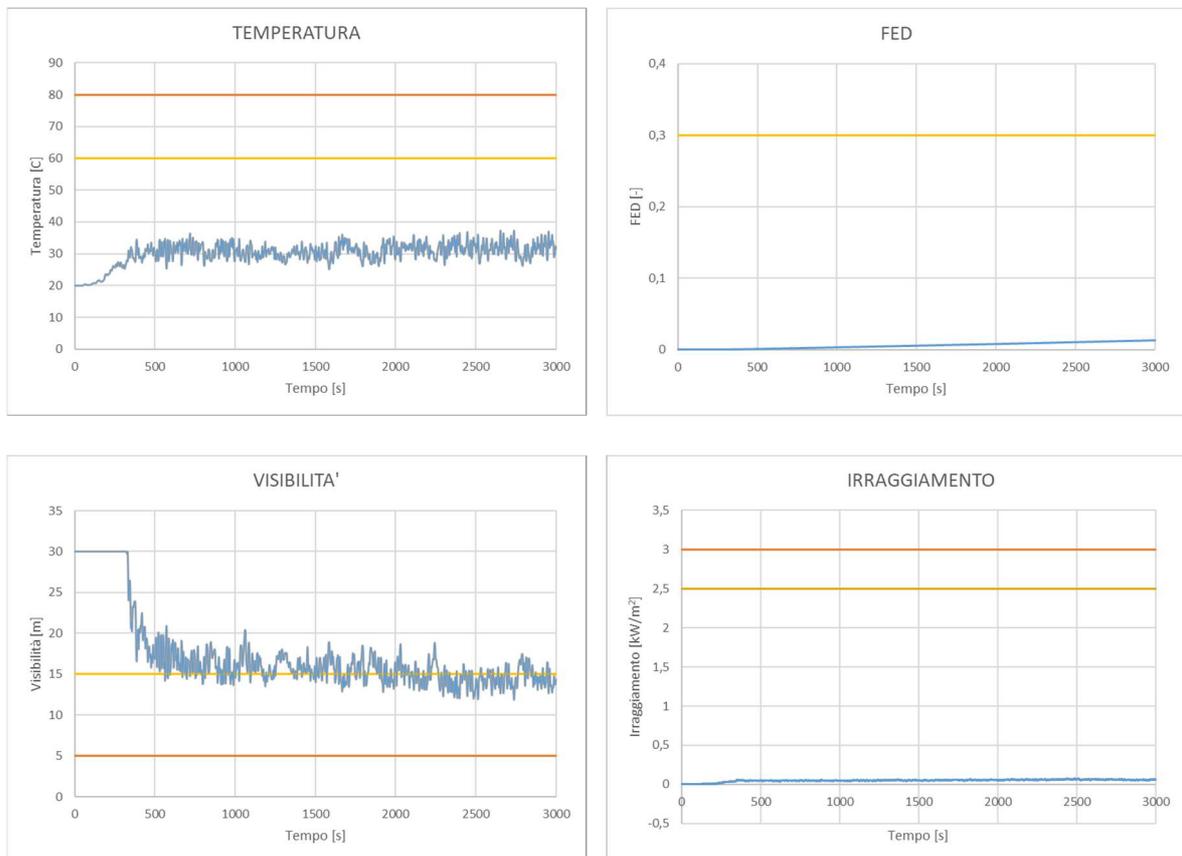
- Modello dei gas tossici, basato sul concetto di dose inalata (exposure dose) e FED (fractional effective dose).
- Modello dei gas irritanti, basato sul concetto di FEC (fractional effective dose);
- Modello del calore;
- Modello dell'oscuramento della visibilità da fumo.

Di seguito sono riportati gli output grafici che mostrano l'andamento dei parametri ambientali nel tempo, in corrispondenza di ciascun dispositivo di misurazione considerato.

In ciascun grafico compaiono due linee che rappresentano i valori soglia imposti da norma per occupanti e soccorritori; in particolare si ha:

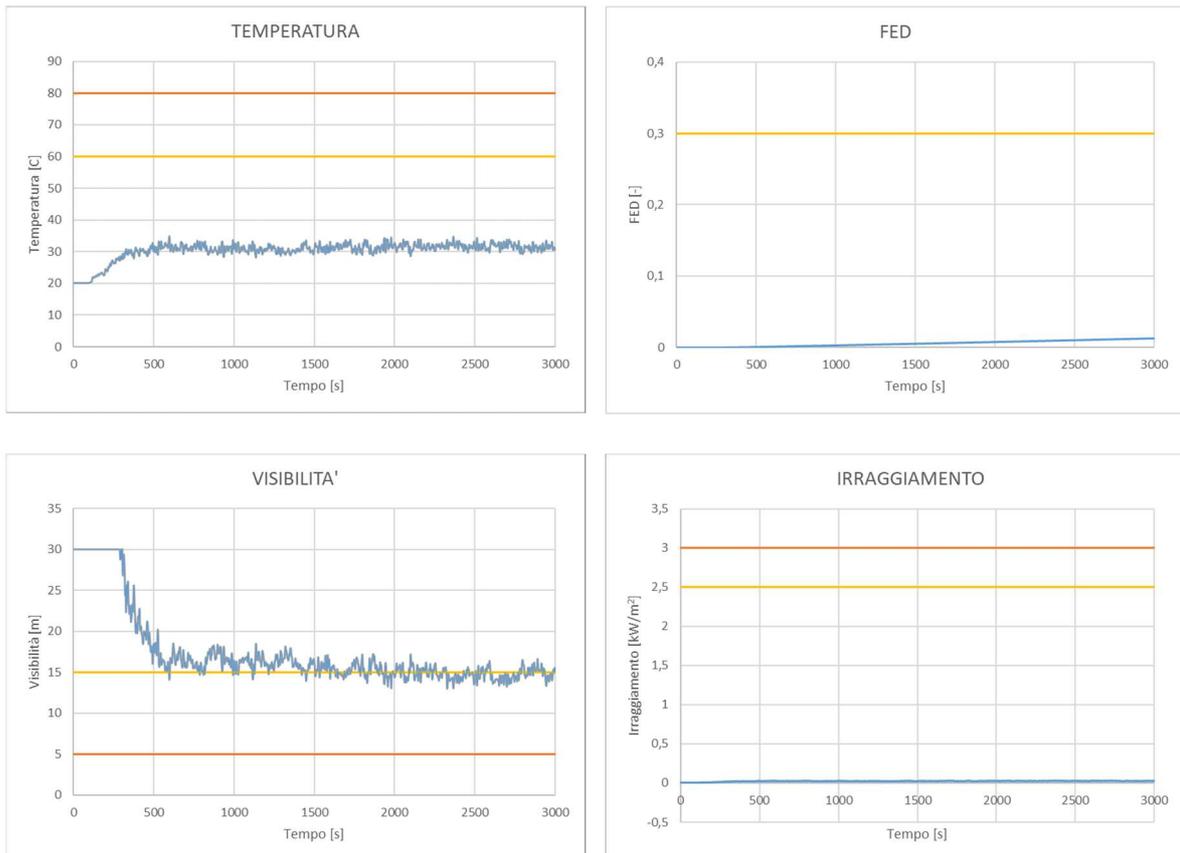
- linea gialla: indica il valore soglia per gli occupanti;
- linea arancione: rappresenta il valore limite per i soccorritori.

### Device 01



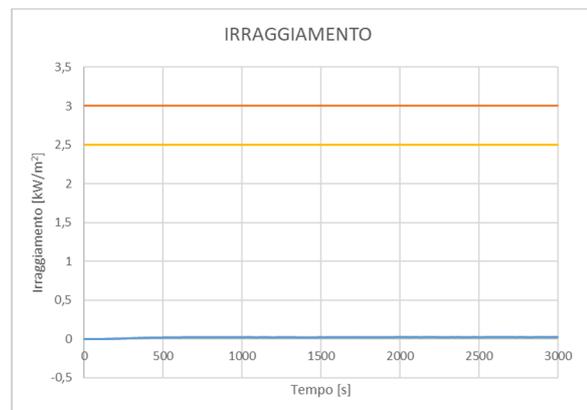
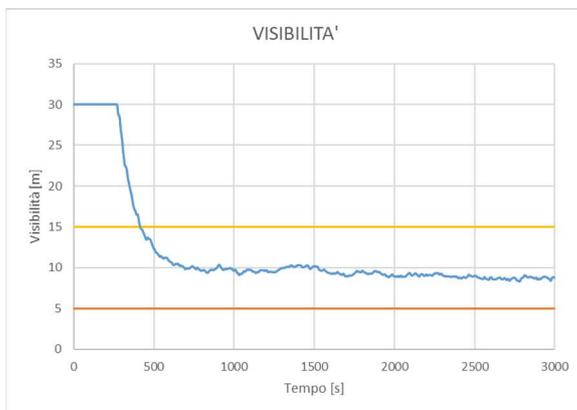
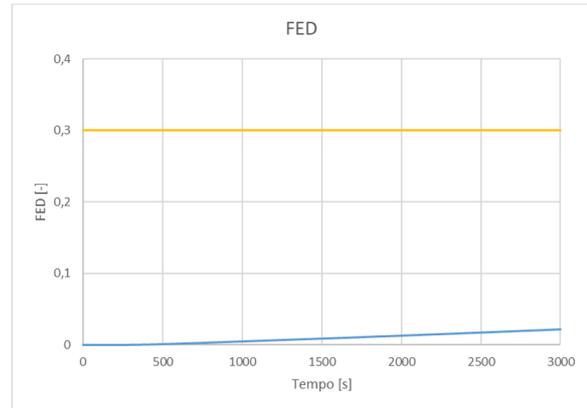
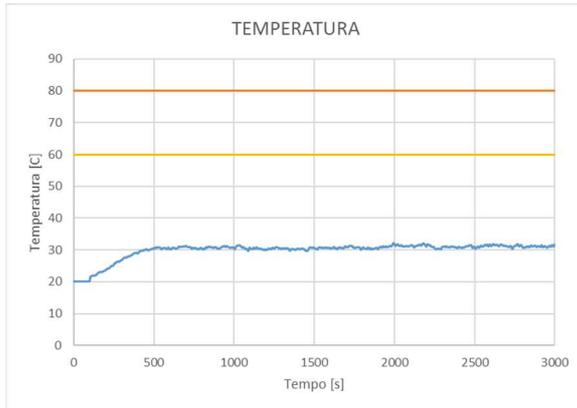
Il device 01 registra valori sempre al di sotto del valore soglia imposto da normativa per i parametri temperatura, FED e irraggiamento. La visibilità si abbassa invece al di sotto del valore soglia per gli occupanti, pari a 15 m, ma mai al di sotto di quello per i soccorritori. Di conseguenza il valore assoluto di ASET è riferito alla visibilità e risulta essere pari a 564 s.

### Device 08



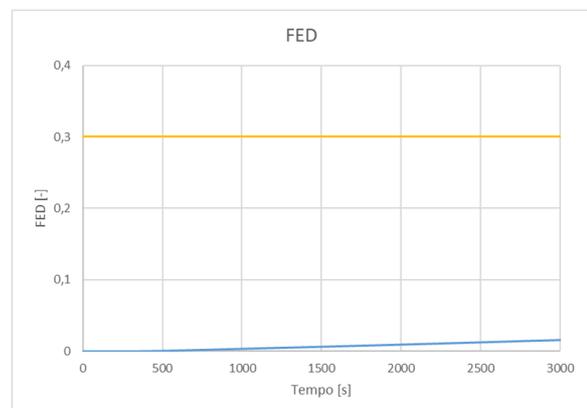
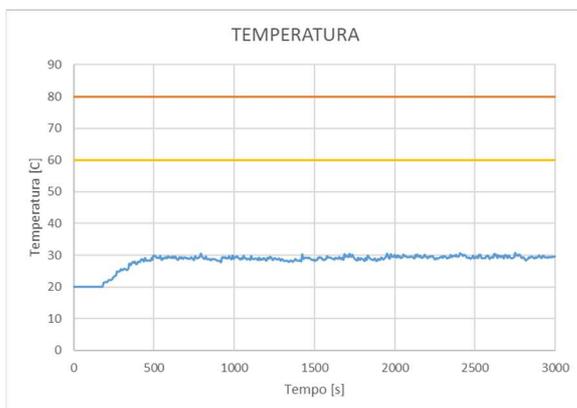
In prossimità del device 08 tutti i parametri registrati, ad eccezione della visibilità, hanno un valore inferiore al limite stabilito da norma per occupanti. La visibilità si mantiene però sempre al di sopra della soglia imposta per i soccorritori, pari a 5 m. Il valore di ASET assoluto è quindi relativo alla visibilità e risulta essere pari a 597 s.

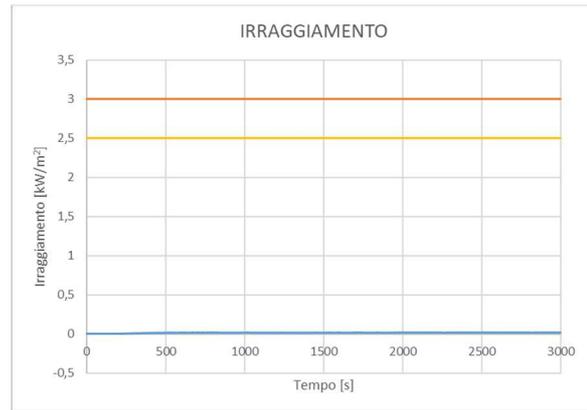
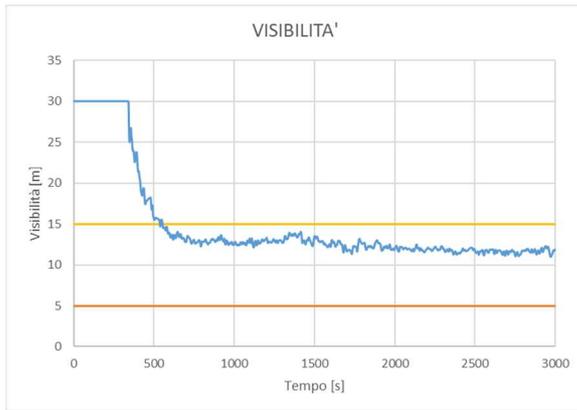
## Device 11



I valori del parametro visibilità in corrispondenza del device 11 si abbassa al di sotto del valore soglia per gli occupanti a partire da 417 s, mentre risulta sempre superiore al limite imposto per i soccorritori. I restanti parametri assumono valori sempre al di sotto del valore soglia imposto, sia per gli occupanti che per i soccorritori. Pertanto il valore di ASET assoluto è relativo al parametro visibilità ed uguale a 417 s.

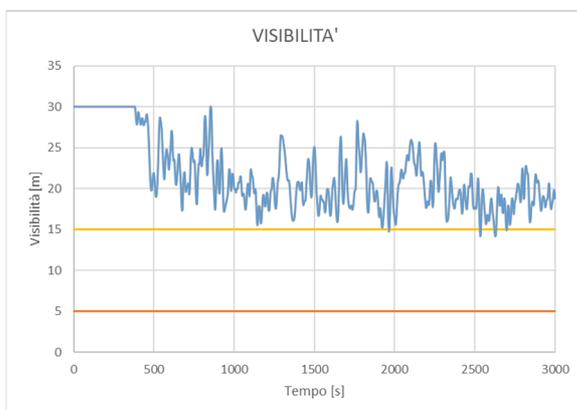
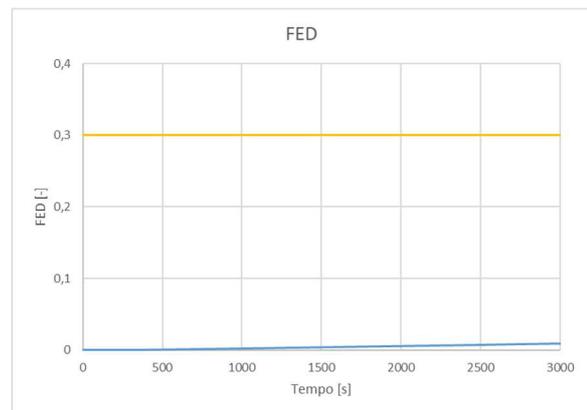
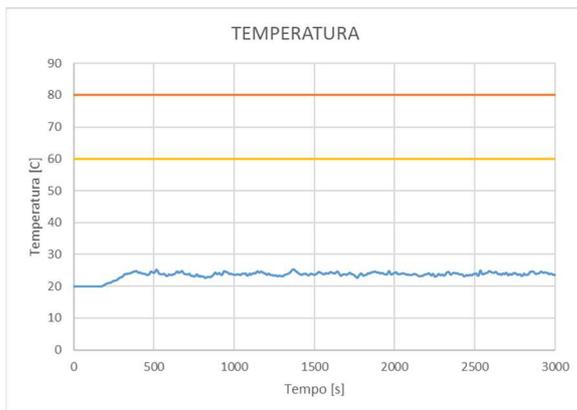
## Device 12





In corrispondenza del device 12 quasi tutti i parametri valutati restano sempre al di sopra del valore soglia imposto da normativa sia per i soccorritori che per gli occupanti. L'unico parametro che scende al di sotto del valore soglia per gli occupanti è la visibilità, pertanto l'ASET assoluto viene posto uguale al tempo in cui essa raggiunge il limite, ovvero pari a 540 s.

### Device 36

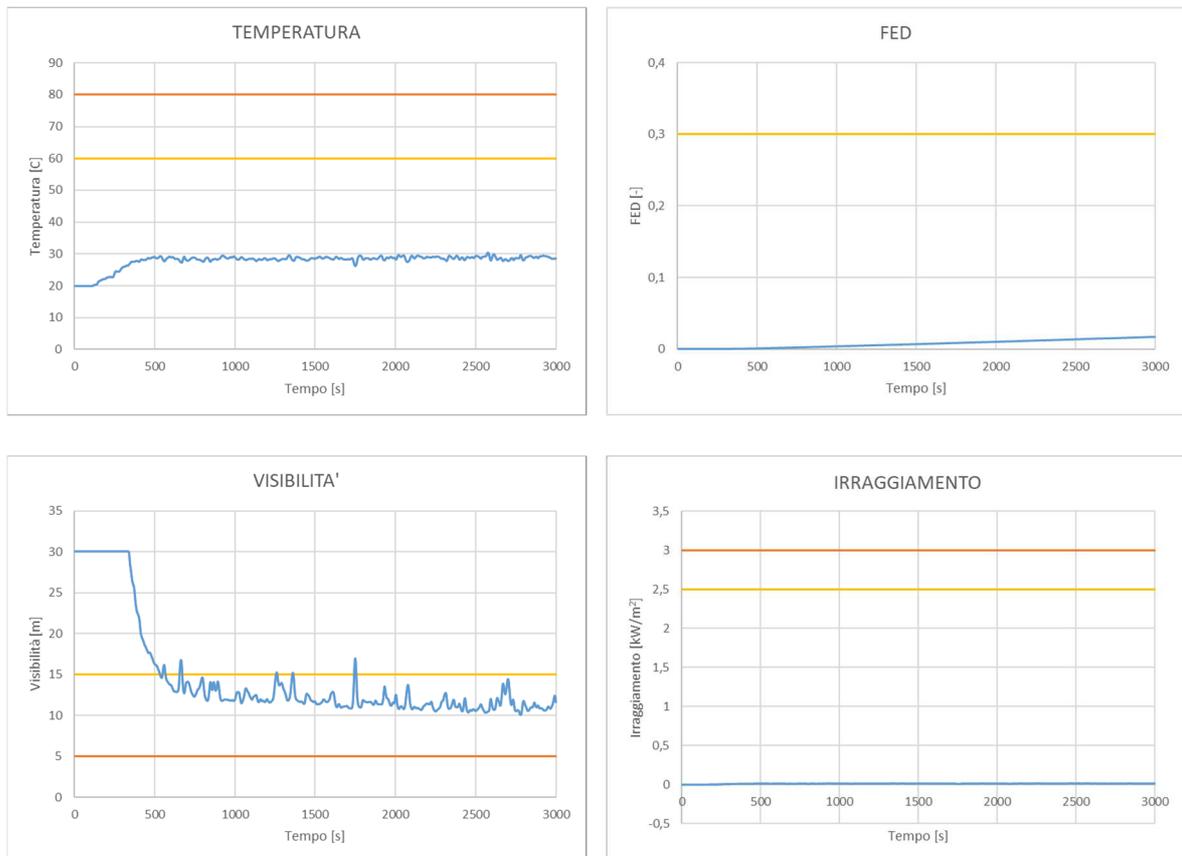


Il device 36 misura valori di temperatura, FED e irraggiamento sempre minori rispetto al valore soglia di riferimento, sia per gli occupanti che per i soccorritori.

Il parametro visibilità assume per la maggior parte della durata della simulazione valori superiori a quello soglia di 15 m, valido per gli occupanti, ad eccezione di qualche istante in cui si abbassa leggermente al di sotto del limite; mentre è sempre superiore al limite fissato per i soccorritori. Questo perché il luogo temporaneo in corrispondenza del quale è posto il device 36 si trova lontano dal focolare.

In questo caso il valore di ASET assoluto per gli occupanti viene posto pari alla durata totale della simulazione, ovvero 3000 s. Questo poiché la verifica in prossimità di questo device è riferita agli utenti assistiti per i quali tutti i valori dei parametri ambientali devono risultare al di sotto del valore soglia affinché non subiscano gli effetti dell'incendio, ad eccezione del parametro visibilità, non ritenuto fondamentale per la salvaguardia della loro vita.

### Device 37



In corrispondenza del device 37, posto in corrispondenza di un luogo sicuro temporaneo in cui gli utenti assistiti possono attendere i soccorsi, i parametri temperatura, FED e irraggiamento non assumono mai valori inferiori alla soglia fissata sia per gli occupanti che per i soccorritori. L'unico parametro che invece scende al di sotto del limite imposto da norma per gli occupanti, ma mai per i soccorritori, è la visibilità.

Nonostante ciò l'ASET assoluto del presente device viene posto uguale a 3000 s poiché l'unico parametro che scende al di sotto del valore soglia per gli occupanti è la visibilità, considerata irrisoria per la salvaguardia della vita degli occupanti assistiti.

Una volta trovato il valore di ASET assoluto in corrispondenza dei punti critici in cui sono posizionati i devices occorre comparare il tempo richiesto per l'esodo RSET con il tempo disponibile per l'esodo ASET trovato. Questo viene fatto al fine di verificare che gli occupanti riescono a raggiungere il luogo sicuro senza subire conseguenze a causa dei prodotti dell'incendio.

### **5.5.2 Calcolo di RSET**

Il tempo richiesto per l'esodo RSET è il risultato del contributo di quattro componenti, quali:

- Tempo di rivelazione;
- Tempo di allarme;
- Tempo di pre-movimento;
- Tempo di movimento.

I primi tre di questi tempi sono stati già definiti e calcolati nei precedenti paragrafi, resta quindi da definire il tempo di movimento.

Il tempo di movimento, definito come il tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro, è determinato in funzione di:

- Distanza degli occupanti dalle vie d'esodo;
- Velocità d'esodo;
- Portata delle vie d'esodo.

Note tutte le componenti, esse vengono inserite all'interno del software Pathfinder al fine di simulare l'esodo di tutti gli occupanti presenti nella struttura e generare gli output delle simulazioni. A partire dai risultati ottenuti viene ricavato il valore di RSET in corrispondenza di ciascun device posto all'interno della metropolitana.

La tabella seguente contiene i tempi in cui l'ultimo occupante standard presente nella struttura passa in prossimità dei device posti lungo le vie d'esodo, come mostra la figura 5.43, e i tempi in cui gli utenti assistiti lasciano il luogo sicuro temporaneo in cui attendono i soccorsi.

TIPOLOGIA UTENTI	DEVICE	RSET [s]
UTENTI NON ASSISTITI	01	370
	08	422
	11	372
	12	457
UTENTI ASSISTITI	36	1533
	37	1710

*Tabella 5.8: Valori RSET per diversi devices*

### 5.5.3 Verifica del criterio ASET > RSET

Noti i valori di RSET e ASET in corrispondenza dei devices, viene verificato il criterio ASET > RSET per ciascuno di essi al fine di accertare che tutti gli occupanti riescano a raggiungere il luogo sicuro in sicurezza.

DEVICE	RSET [s]	ASET [s]	$t_{\text{marg}}$ [s]	ASET > RSET
<b>01</b>	370	564	194	VERIFICATO
<b>08</b>	422	597	175	VERIFICATO
<b>11</b>	372	417	45	VERIFICATO
<b>12</b>	457	540	83	VERIFICATO

*Tabella 5.9: Verifica ASET>RSET*

La tabella mostra valori di ASET maggiori a quelli di RSET in corrispondenza di tutti i dispositivi.

Il parametro  $t_{\text{marg}}$  riportato in tabella, coincidente con la differenza tra ASET e RSET, rappresenta il margine di sicurezza della progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita. Tale valore, espresso in secondi, è introdotto con lo scopo di tenere conto

dell'incertezza nel calcolo dei tempi di ASET e RSET; pertanto  $t_{\text{marg}}$  non deve essere mai inferiore a 30 s e deve essere verificata la seguente disequazione:

$$t_{\text{marg}} \geq 10\% * RSET$$

Si osserva che in prossimità di tutti i devices tale disequazione risulta verificata, inoltre tutti i valori di  $t_{\text{marg}}$  risultano maggiori di 30 s. Si evince quindi che l'esodo della totalità degli occupanti avviene in condizioni ambientali favorevoli, di conseguenza durante tutta la sua durata essi non subiscono le conseguenze degli effetti dell'incendio.

#### 5.5.4 Sovrapposizione dei risultati

La sovrapposizione dei risultati ottenuti dai due software Pyrosim e Pathfinder rappresenta uno strumento di verifica aggiuntivo delle condizioni di visibilità in cui si trovano immersi gli occupanti durante il processo d'esodo. Si tratta di un output che consente di valutare graficamente il livello di visibilità all'altezza degli occupanti.

La visualizzazione delle condizioni di visibilità è effettuata mediante slices orizzontali, all'altezza di 1,8 m da terra, e slices verticali poste lungo le vie d'esodo.

Le tre immagini sottostanti coincidono con le tre fasi principali in cui può essere distinto l'esodo degli occupanti della metropolitana. Infatti la prima immagine mostra attraverso slide orizzontali poste all'altezza di 1,8 m dal piano di riferimento la situazione di visibilità nel momento in cui tutti gli utenti presenti al piano più basso lo hanno completamente abbandonato e si trovano a percorrere le vie d'esodo verticali.

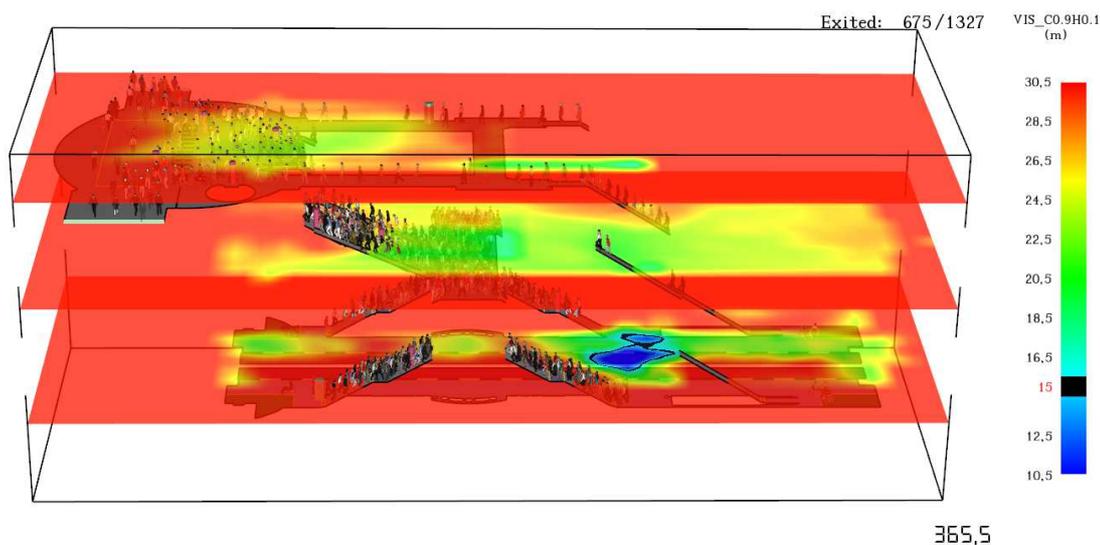
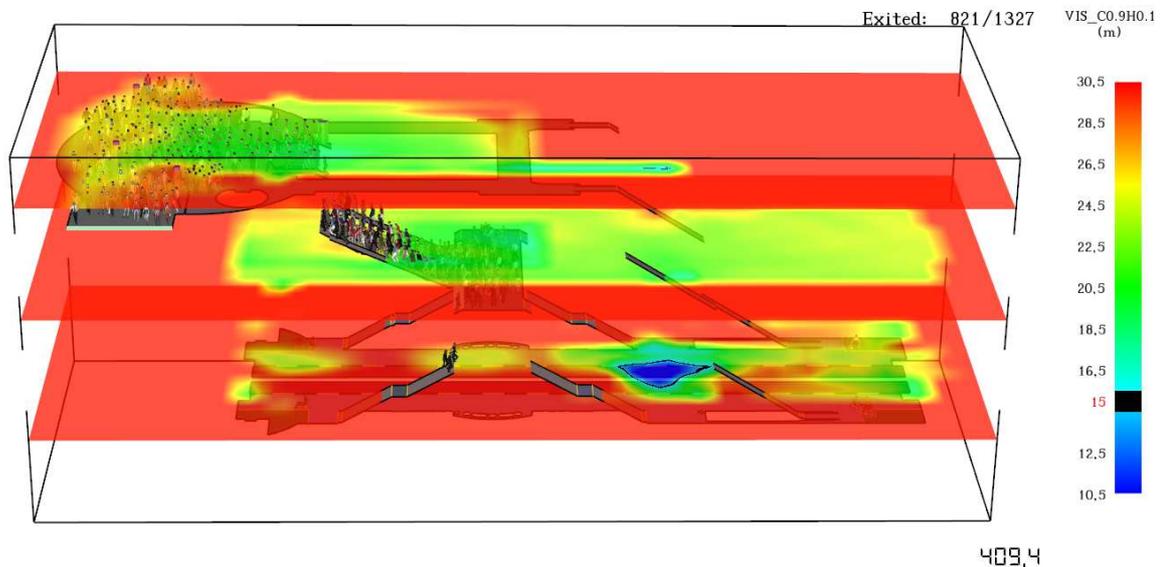


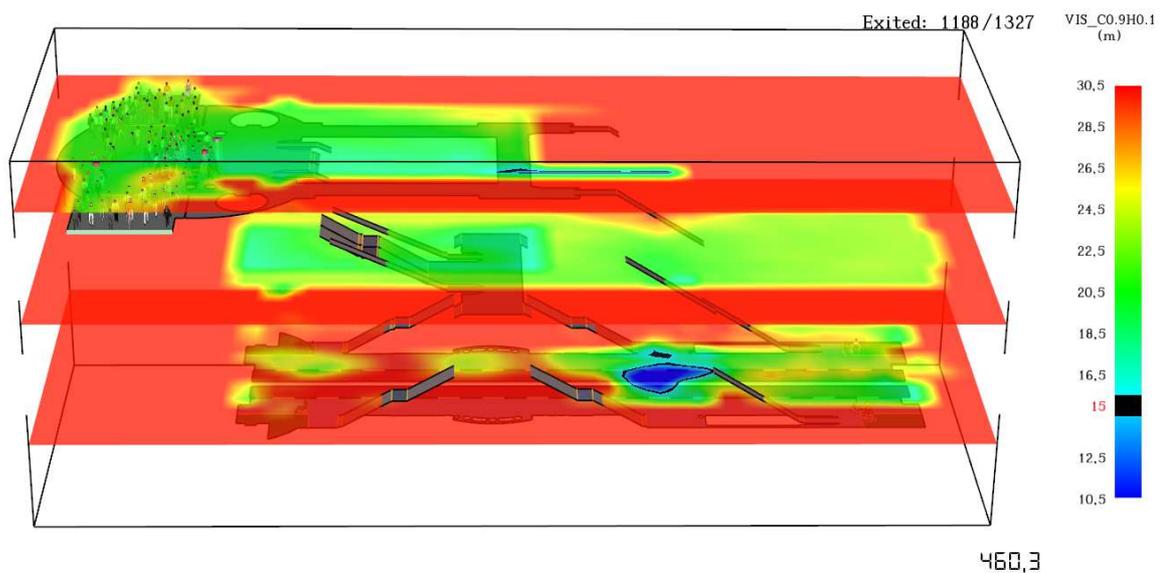
Figura 5.44: Slices visibilità - Istante 365,5 s

La seconda immagine mostra la fase d'esodo in cui gli occupanti hanno completamente abbandonato sia il piano più basso della stazione metropolitana che le vie d'esodo di collegamento tra quest'ultimo e il pianerottolo intermedio.



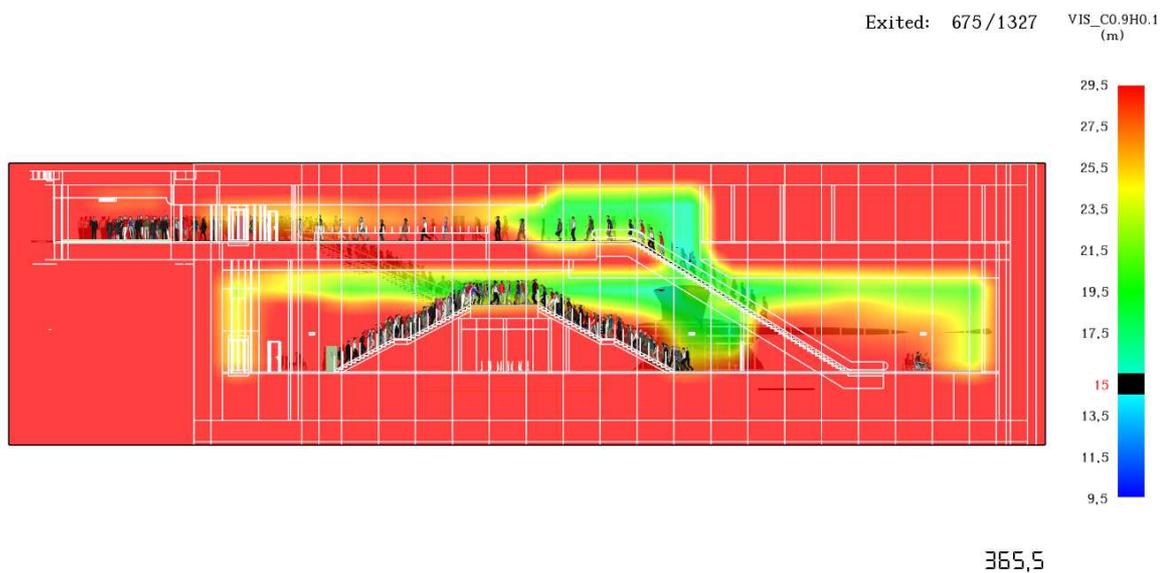
*Figura 5.45: Slices visibilità - Istante 409,4 s*

La terza immagine corrisponde all'ultima fase dell'esodo in cui il primo piano della stazione metropolitana, il pianerottolo intermedio e tutte le vie d'esodo verticali sono completamente liberi; mentre gli occupanti si trovano ad occupare l'atrio dell'ultimo piano, in attesa dell'esodo verso l'esterno.



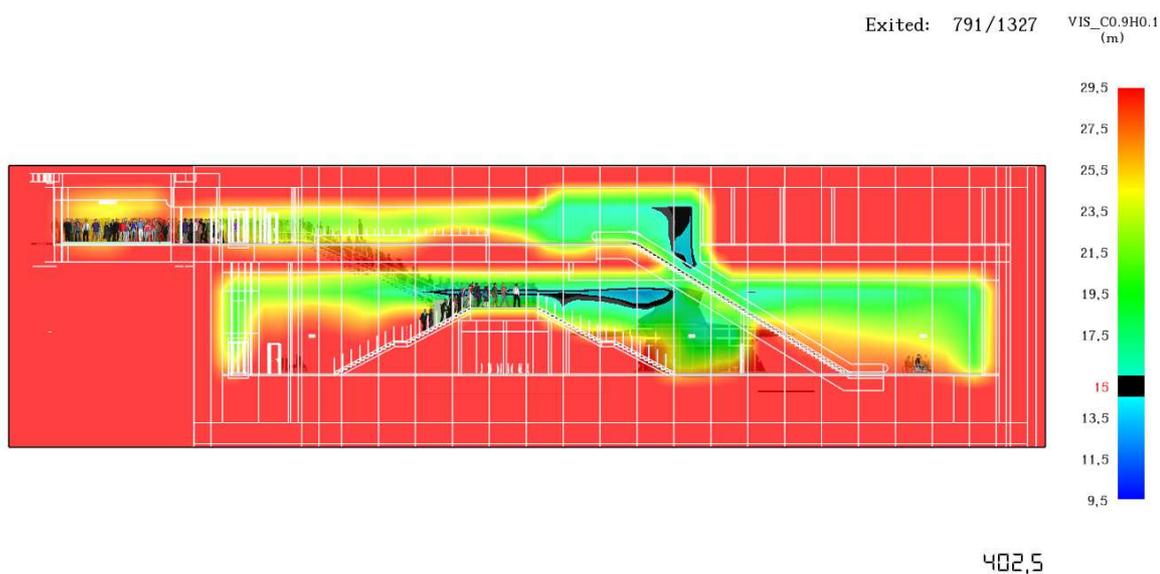
*Figura 5.46: Slices visibilità - Istante 460,3 s*

Le immagini sottostanti mostrano le condizioni di visibilità lungo le vie d'esodo verticali mediante l'uso di slices anch'esse verticali. In particolare la prima immagine mostra come la situazione di visibilità nel momento in cui tutti gli occupanti hanno abbandonato il piano del focolare è ottimale per la prosecuzione dell'esodo.



**Figura 5.47: Slice visibilità scale - Istante 365,5 s**

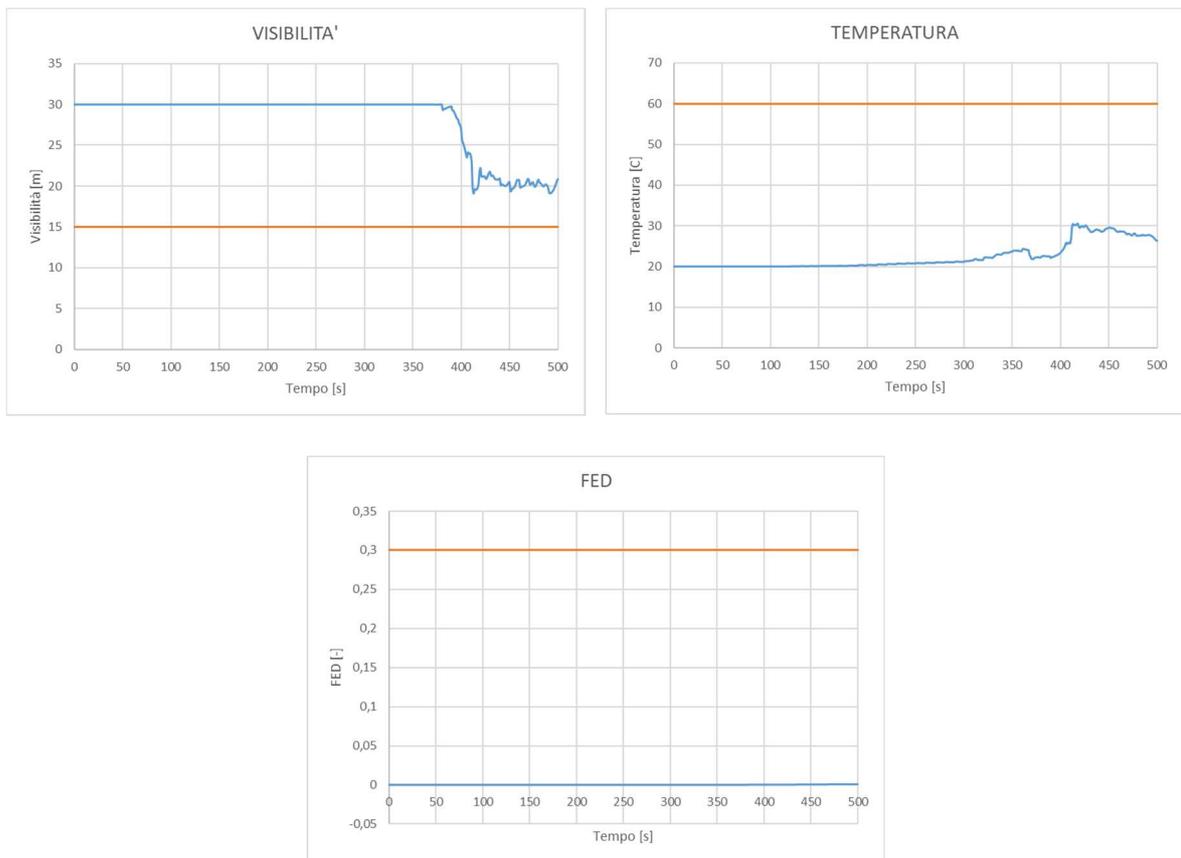
La seconda immagine mostra invece la visibilità che caratterizza la fase d'esodo in cui gli ultimi occupanti si trovano in corrispondenza del pianerottolo intermedio tra i due piani. Si osserva che il livello di visibilità scende al di sotto del valore soglia per gli occupanti ad un'altezza inferiore ad 1,8 m; pertanto l'esodo non risulta compromesso.



**Figura 5.48: Slice visibilità scale - Istante 402,5 s**

I parametri visibilità, temperatura e FED vengono ulteriormente analizzati per tutta la durata dell'esodo dell'occupante non assistito che lascia per ultimo la stazione metropolitana, utilizzando quest'ultimo come sonda per registrare i valori ambientali che caratterizzano il suo percorso.

Gli output ottenuti mediante il software d'esodo Pathfinder per l'utente sonda sono i seguenti.



**Figura 5.49: Valori per l'ultimo occupante non assistito**

Si osserva quindi che per tutta la durata del suo esodo l'ultimo occupante che abbandona la stazione metropolitana non subisce affatto le conseguenze dei prodotti dell'incendio.

## 5.6 Valutazioni nel caso di simulazione d'esodo in condizioni standard

La simulazione svolta utilizzando i parametri standard, che non tengono conto delle molteplici tipologie dei profili degli occupanti presenti nei luoghi di transito, ha lo scopo di identificare, ove presenti, le differenze con le simulazioni effettuate considerando tutti i profili degli utenti possibili. La simulazione è svolta considerando solo i seguenti tre profili di occupanti:

- Utenti standard;
- Vigili del Fuoco;
- Utenti in sedia a rotelle.

Agli utenti standard viene assegnato un tempo di allarme pari a 120 s e un tempo di pre-movimento che varia in virtù della loro posizione, sul treno o all'interno della stazione metropolitana. In particolare, agli utenti sul treno viene assegnato un tempo di pre-movimento pari 0 s, mentre agli utenti nella stazione metropolitana un tempo di pre-movimento che varia tra 90 s e 240 s, secondo una distribuzione log-normale in base alla tabella E.2 della ISO/TR 16738:20009.

I tempi utilizzati per i vigili del fuoco e per gli utenti in sedia a rotelle sono gli stessi di quelli adoperati nelle precedenti simulazioni.

L'affollamento considerato è il medesimo degli scenari d'esodo considerati sino ad ora, ovvero quello calcolato in base al D.M. 21 Ottobre 2015. Il numero degli occupanti in sedia a rotelle da considerare nelle simulazioni non è indicato in nessuna norma, pertanto si ipotizza la presenza di un solo utente per ogni banchina.

La ISO/TR 16738:2009 non indica un valore di velocità ben preciso da assegnare agli occupanti, demandando la scelta al progettista. I valori più significativi individuati per la velocità sono due:

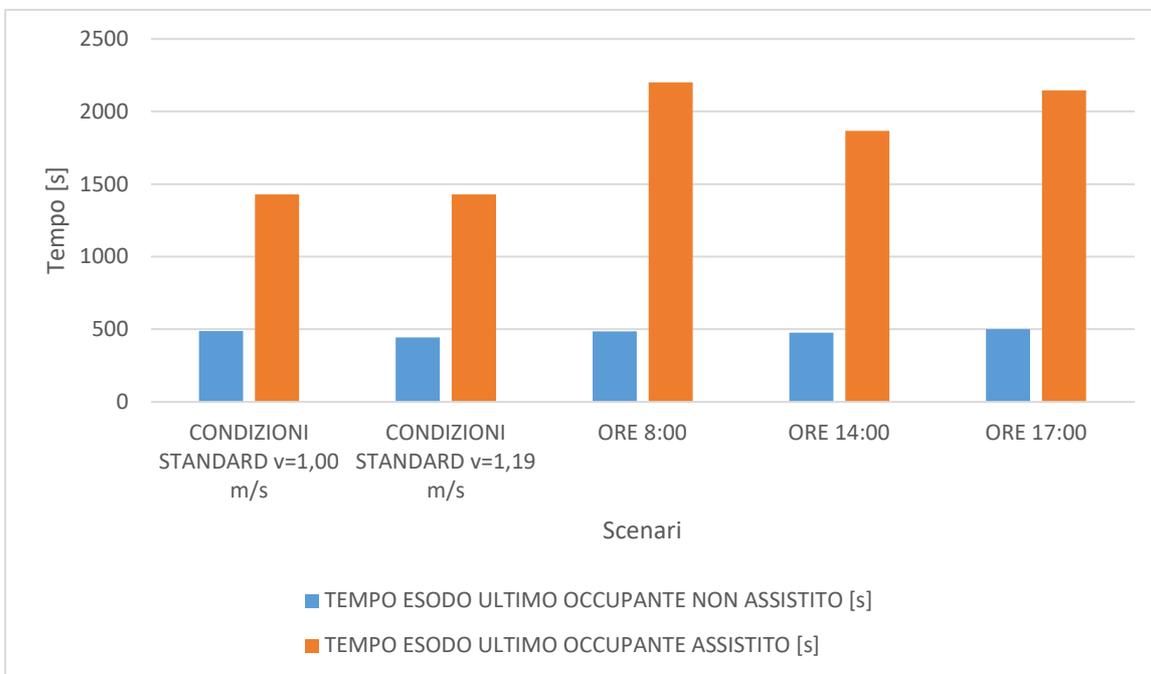
- 1,19 m/s;
- 1,0 m/s.

Al fine di mettere in luce le differenze riscontrabili nell'esodo effettuato considerando un valore del parametro velocità pari prima a 1,9 m/s e poi di 1,0 m/s, vengono svolte due simulazioni differenti.

Di seguito sono riportati una tabella e un grafico riassuntivo che mostrano, per ogni scenario analizzato fin ora, i valori di tempo in cui l'ultimo occupante assistito e non assistito lascia la stazione metropolitana.

SCENARIO	TEMPO ESODO ULTIMO OCCUPANTE NON ASSISTITO [s]	TEMPO ESODO ULTIMO OCCUPANTE ASSISTITO [s]
CONDIZIONI STANDARD v = 1,00 m/s	488	1428
CONDIZIONI STANDARD v = 1,19 m/s	443	1428
ORE 8:00	484	2201
ORE 14:00	477	1866
ORE 17:00	500	2145

**Tabella 5.10: Tempi di esodo ultimi occupanti per i diversi scenari analizzati**



**Figura 5.50: Grafico tempi di esodo ultimi occupanti**

Dalla valutazione dei tempi di esodo degli scenari fin ora analizzati si evince che:

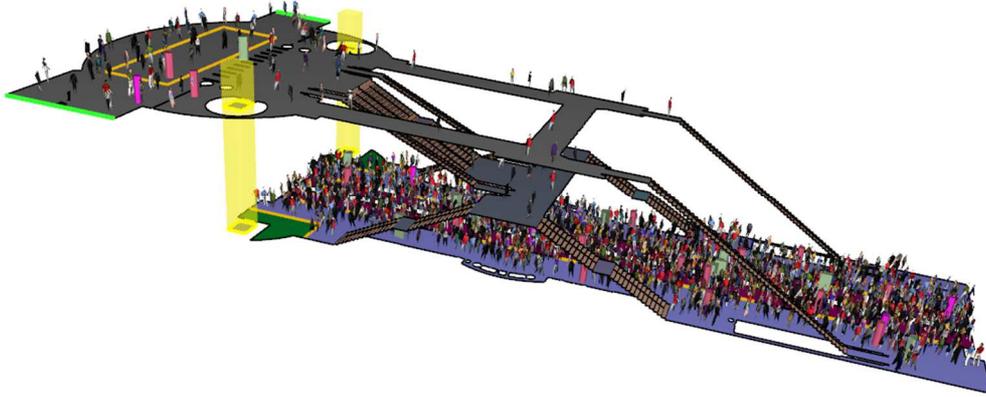
- la differenza tra il tempo impiegato dall'ultimo occupante non assistito per abbandonare l'edificio negli scenari svolti in condizioni standard, ovvero considerando una velocità di camminamento di  $1 \text{ m/s}$  e di  $1,19 \text{ s}$ , è di  $45 \text{ s}$ ;
- la differenza tra il tempo impiegato dall'ultimo occupante non assistito per abbandonare l'edificio nello scenario svolto in condizioni standard, considerando una velocità di camminamento di  $1,19 \text{ m/s}$ , e quello più gravoso ottenuto discriminando i vari profili degli occupanti è di  $57 \text{ s}$ . La differenza di tempo tra quest'ultimo e quello ottenuto considerando condizioni standard con una velocità di camminamento di  $1,0 \text{ m/s}$  è di  $12 \text{ s}$ ;
- la differenza del tempo impiegato dall'ultimo occupante assistito per abbandonare l'edificio nelle due simulazioni effettuate con condizioni standard è nulla; invece la differenza tra questi ultimi e il tempo richiesto per l'esodo dall'ultimo occupante assistito nello scenario più gravoso in cui vengono differenziate le varie tipologie di occupanti è smisurata. Si parla infatti di una differenza di  $773 \text{ s}$ .

Da queste considerazioni ne consegue quindi che l'errore che si compie considerando una velocità di camminamento pari a  $1,0 \text{ m/s}$  piuttosto che una velocità specifica per ogni tipologia di occupante è irrisoria; impostando invece una velocità di  $1,19 \text{ m/s}$  per ciascun occupante si compie un errore non trascurabile.

Si evince inoltre che considerando l'esodo in condizioni standard si attuano delle semplificazioni sulle tipologie di occupanti e sul loro numero all'interno della struttura in oggetto poiché la norma non fornisce indicazioni specifiche su questi due aspetti. Tale semplificazione comporta una grande differenza del tempo di esodo nel caso degli utenti assistiti, rendendo lo scenario a sfavore di sicurezza.

## 5.7 Valutazioni sull'inserimento di un ascensore antincendio

In questo capitolo si vogliono valutare le conseguenze che si avrebbero dall'inserimento di un ascensore antincendio per ogni banchina.



*Figura 5.51: Inserimento ascensori antincendio*

La progettazione della stazione metropolitana, fatta secondo il D.M. 11 Gennaio 1988, non prevede l'inserimento di ascensori antincendio. Il D.M. 21 Ottobre 2015, invece, prevede l'inserimento obbligatorio di un ascensore di emergenza quando il piano banchina si trova ad una profondità superiore a 12 metri. L'ascensore di emergenza deve essere utilizzabile in condizioni di esercizio ordinario e in condizioni di soccorso sotto il controllo dei Vigili del Fuoco, essendo provvisto di protezioni, comandi e segnalazioni.

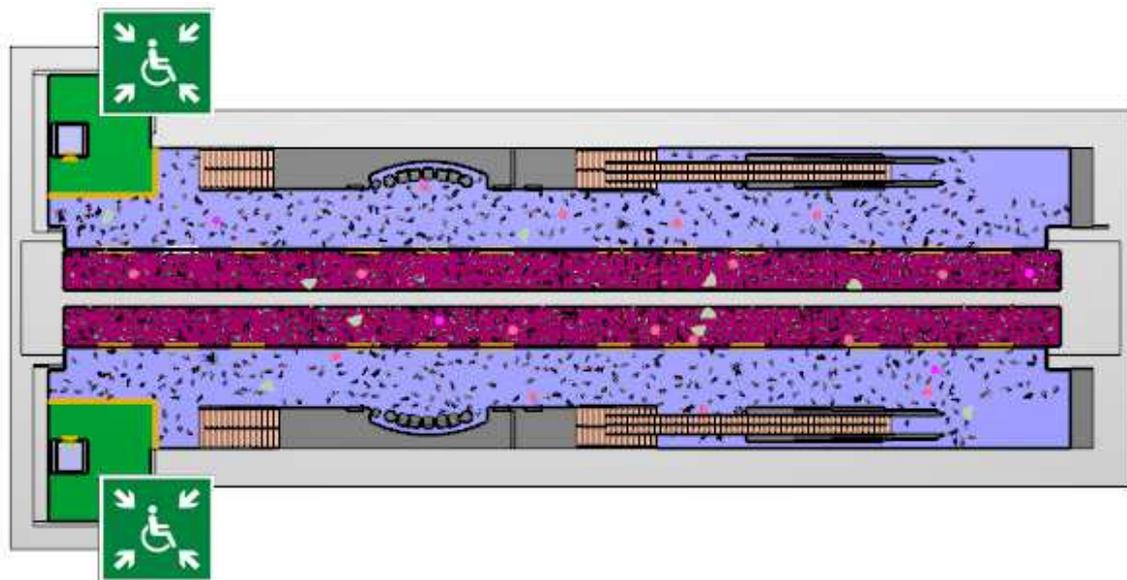
Secondo il D.M. 21 Ottobre 2015 l'ascensore di emergenza deve possedere i seguenti requisiti:

- l'ascensore deve essere accessibile, ad ogni piano inferiore a quello di attestazione, solo attraverso un filtro a prova di fumo le cui caratteristiche devono essere verificate per ogni scenario d'incendio previsto; le dimensioni del filtro devono essere tali da consentire il trasporto di lettighe;
- le minime dimensioni interne della cabina non devono essere inferiori ai seguenti valori: profondità = 2,1 metri, larghezza = 1,10 metri e altezza interna di cabina = 2,15 metri;
- tutte le restanti caratteristiche devono rispettare quanto previsto dalla norma UNI EN 81-72 e nel D.M. 15/09/2005, se non in contrasto con quanto prescritto sopra.

Al fine di valutare le conseguenze sull'esodo derivanti dall'inserimento degli ascensori di emergenza all'interno della stazione metropolitana, gli ascensori già presenti all'interno della struttura vengono utilizzati come se fossero ascensori antincendio per collegare ogni banchina con il piano dell'atrio.

Lo spazio limitrofo all'ascensore è stato invece predisposto come luogo sicuro in cui gli utenti disabili possono attendere i soccorsi.

L'evacuazione assistita è prevista solo per gli utenti in sedia a rotelle e per gli utenti non vedenti che devono attendere l'arrivo dei Vigili del Fuoco nell'apposito spazio calmo.



*Figura 5.52: Pianta piano banchina*

La valutazione di questo scenario è svolta considerando lo stesso numero di occupanti e le medesime tipologie di profili considerate per la simulazione d'esodo delle ore 8:00.

Questo poiché tale configurazione di occupanti risulta essere la più critica tra quelle precedentemente analizzate.

Le principali differenze tra lo scenario con ascensore antincendio e quello senza sono elencate nella tabella seguente.

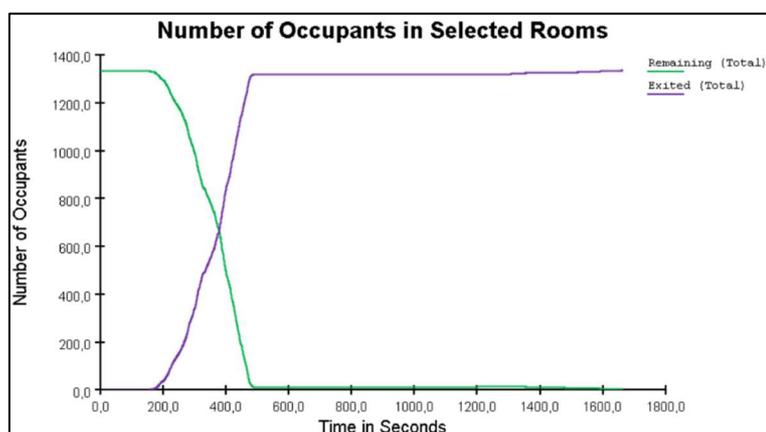
SCENARIO CON ASCENSORE ANTINCENDIO	SCENARIO SENZA ASCENSORE ANTINCENDIO
Gli utenti in sedia a rotelle vengono assistiti da un solo Vigile del Fuoco.	Gli utenti in sedia a rotelle vengono assistiti da due Vigili del Fuoco
Gli utenti con disabilità attendono l'assistenza in uno spazio calmo, ovvero un luogo sicuro statico protetto dal fumo attraverso apposita muratura REI.	Gli utenti con disabilità attendono in luoghi sicuri temporanei in cui vi è, anche se in quantità non incapacitanti, la presenza di fumo.
Il tempo di esodo è pari a 1661 s.	Il tempo di esodo è pari a 2201 s.

**Tabella 5.11: Differenze tra lo scenario con ascensore antincendio e quello senza ascensore**

Un primo vantaggio di prevedere gli ascensori antincendio coincide con la riduzione degli operatori dei vigili del fuoco necessari per assistere ciascun utente in sedia rotelle; di conseguenza in questo modo il carico fisico pendente sugli operatori sarebbe inferiore.

Un secondo vantaggio riguarda il luogo sicuro temporaneo in cui i disabili devono attendere l'assistenza degli operatori. Infatti nel caso in cui venga previsto l'ascensore antincendio, l'utente con disabilità ha la possibilità di attendere i soccorsi all'interno del compartimento in cui è inserito l'ascensore, risultando conseguentemente protetto dagli effetti dell'incendio. In alternativa l'utenza deve attendere i soccorsi in prossimità della banchina, a stretto contatto con i prodotti dell'incendio.

L'ultimo vantaggio consiste nella rapidità dell'esodo dell'utenza con disabilità; infatti in questo modo gli occupanti si troverebbero fuori dall'edificio in un tempo decisamente inferiore rispetto all'esodo senza l'uso di ascensore, pari a circa 540 s in meno.



**Figura 5.53: Grafico occupanti/tempo per lo scenario con l'ascensore antincendio**



*Figura 5.54: Arrivo del Vigile del Fuoco nello spazio calmo*



*Figura 5.55: Utilizzo ascensore antincendio*

## Capitolo 6: CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

L'individuazione di tutti i possibili profili di occupanti presenti nei luoghi di transito, con particolare riferimento a tutte le tipologie di disabilità riscontrabili, si è posta come punto di partenza del lavoro di tesi.

Il reperimento dei dati riguardanti le percentuali dei profili degli occupanti caratterizzanti le stazioni metropolitane di Torino è stato complesso in quanto non esistono indagini statistiche a riguardo. Pertanto si è reso necessario un campionamento in presenza al fine di individuare dati realistici da utilizzare per la modellazione d'esodo. In particolare ciò ha permesso di determinare gli scenari d'esodo più critici per cui effettuare la verifica della salvaguardia della vita.

L'implementazione dei profili degli occupanti individuati all'interno del software d'esodo ha consentito una modellazione più efficiente anche se durante questa fase si sono riscontrati i problemi maggiori. Questo perché i software ad oggi presenti sul mercato non consentono la discriminazione di tutti i profili individuati.

La modellazione dei profili non previsti all'interno del modello è stata creata, riscontrando alcune criticità, a partire da quelli esistenti con un risultato ottimale dal punto di vista del movimento ma con un output grafico essenziale.

Dal confronto degli scenari d'esodo analizzati, tra cui alcuni prevedono la discriminazione dei vari profili di occupanti e altri no, si evince che questi ultimi rappresentano una significativa semplificazione che conduce all'ottenimento di dati poco realistici sui tempi d'esodo degli utenti assistiti, a sfavore di sicurezza.

Gli strumenti di simulazione dell'esodo sono risultati efficaci nella restituzione di un feedback sull'efficacia delle misure adottate per la gestione delle emergenze permettendo quindi al progettista di poter optare per delle migliorie al sistema d'esodo.

Proprio in questo scenario si inserisce la valutazione sulle misure attuate per l'esodo degli occupanti che presentano una disabilità, che impedisce loro di uscire dall'edificio in modo autonomo. Ad essa è seguito il confronto dei risultati dell'esodo svolto con le sole misure previste da progetto e quelli ottenuti in seguito all'introduzione di un ascensore

antincendio, la cui installazione è diventata obbligatoria con la nuova normativa sulle metropolitane.

I risultati hanno mostrato una considerevole differenza nei tempi d'esodo in quanto nella seconda simulazione l'azione dei vigili del fuoco è velocizzata dall'utilizzo dell'ascensore, conseguendone un esodo più rapido e di conseguenza più sicuro per gli occupanti con disabilità.

La predisposizione all'interno dei software di simulazione d'esodo di profili predefiniti che tengono conto degli aspetti inclusivi degli occupanti permetterebbe di velocizzare la modellazione dell'esodo e di renderla più efficiente.

I dati disponibili ad oggi circa la velocità e i tempi di pre-movimento degli utenti con disabilità risalgono ad alcuni anni fa, pertanto si ritiene necessario il loro aggiornamento al fine di ottenere una modellazione d'esodo più realistica.

L'implementazione delle analisi statistiche sulle tipologie di occupanti presenti nei luoghi di transito permetterebbe la determinazione di dati più affidabili da inserire nelle regole tecniche e da utilizzare per la progettazione della sicurezza antincendio.

## Capitolo 7: SITOGRAFIA E BIBLIOGRAFIA

- Comportamento umano in caso di incendio: modelli di evacuazione, Linda Caira, Marcello Mangione, Franco Bontempi;
- Crowd Safety and Risk Analysis, G. Keith Still;
- Thunderhead Engineering, Pathfinder – Technical Reference;
- Guida NFPA – DARAC – Emergency Evacuation Planning Guide for People with Disabilities, Giugno 2016;
- Cenelec guide 6 – Guide for addressing accessibility in standards;
- <http://www.gtt.to.it/cms/linee-e-orari/torino-e-cintura/urbana/251-regolamento-metro>;
- Barriere architettoniche. Guida al progetto di accessibilità e sicurezza dell'ambiente costruito, Michele Di Sivo, Elisabetta Schiavone, Massimo Tambasco;
- Il soccorso alle persone disabili: indicazioni per la gestione dell'emergenza, Dipartimento dei Vigili del Fuoco del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile;
- Affollamento e disabili: una sfida per il progettista, Stefano Zanut, Teresa Villani;
- SFPE Handbook of fire Protection Engineering, 5th Edizione, Morgan J. Hurley;
- SFPE Handbook of fire Protection Engineering, 3th Edizione;
- ISO/TR 16738:2019 – Fire safety engineering – Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people;
- <http://torino.mobilita.org/2017/07/19/metropolitana-linea-1-ecco-dove-saranno-le-nuove-stazioni-in-costruzione>;
- [http://www.comune.torino.it/torinoinstrada/metro/treni\\_val.pdf](http://www.comune.torino.it/torinoinstrada/metro/treni_val.pdf);
- <https://www.infrato.it/il-sistema-val/?fbclid=IwAR2fX-hL7WrRKguCheBoqbzrrHh0si3eUISTzaXs7pcxAtWotmXW013gvvg>;

- D.M. 3 Agosto 2015 – Codice di prevenzione incendi e successiva modifica D.M. 18 Ottobre 2019;
- D.M. 21 Ottobre 2015 – Regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane;
- D.M. 11 Gennaio 1988 – Norme di prevenzione degli incendi nelle metropolitane;
- Technical Note 1680 – A Review of Building Evacuation Models, 2nd Edition, Erica D. Kuligowski, Richard D. Peacock, Bryan L. Hoskins;
- Modeling crowd evacuation of a building based of a seven methodological approaches (2007), Xiaoping, Tingkuan, Mengting;
- A review of optimisation models for pedestrian evacuation and design problems (2016), Vermuyeten, Belien. De Boeck, Reniers, Wauters.