

POLITECNICO DI TORINO
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile



Tesi di Laurea Magistrale

**Comportamento umano in emergenza:
approfondimenti e analisi per l'ottimizzazione delle
simulazioni in Fire Safety Engineering**

Relatore

Prof. Roberto Vancetti

Correlatore

Arch. Stefano Zanut

Candidata

Serena Contin

Anno Accademico 2021/2022

Indice

Abstract	1
Introduzione	2
1. Prevenzione incendi	4
1.1. Codice di prevenzione incendi	4
2. Fire Safety Engineering	6
2.1. Applicazione approccio prestazionale	7
3. Esodo in emergenza	10
3.1. Salvaguardia della via con la progettazione prestazionale	10
3.2. Tempo di pre-movimento	13
4. Caratteristiche che influenzano l'esodo	17
4.1. Caratteristiche dell'ambiente	17
4.2. Caratteristiche degli occupanti	21
4.2.1. Caratteristiche individuali	21
4.2.2. Caratteristiche sociali	33
4.3. Caratteristiche dell'incendio	36
5. Caso studio	38
5.1. Stazione metropolitana di Torino	40
5.1.1. Stazione metropolitana – Italia 61	41
5.2. Profili degli utenti	46
5.2.1. Tipologia di occupanti	47
5.2.2. Quantificazione degli occupanti	49
5.3. Segnalazione, segnaletica e gestione dell'emergenza	56
5.3.1. Modalità segnalazione allarme	56
5.3.2. Personale formato	64
5.3.3. Segnaletica	67
6. Simulazione dell'esodo	69
6.1. Modello per la simulazione dell'esodo	69
6.1.1. Modello layout	69
6.1.2. Profili utenti	73
6.2. Simulazione 1	83
6.2.1. Aspetti comportamentali	84
6.2.2. Layout	89
6.2.3. Risultati	91
6.3. Simulazione 2	96
6.3.1. Aspetti comportamentali	97

6.3.2. Layout	99
6.3.3. Risultati	101
6.4. Simulazione 3	106
6.4.1. Aspetti comportamentali	106
6.4.2. Layout	109
6.4.3. Risultati	110
6.5. Simulazione 4	116
6.5.1. Aspetti comportamentali	117
6.5.2. Layout	119
6.5.3. Risultati	120
6.6. Simulazione 5	124
6.6.1. Aspetti comportamentali	125
6.6.2. Layout	127
6.6.3. Risultati	127
7. Conclusioni e sviluppi futuri	133
Bibliografia	138

Indice figure

Figura 1: D.M. 3 agosto 2015 Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET e RSET	11
Figura 2: D.M. 3 agosto 2015 Tabella M.3-1: Esempi di valutazione del tempo di pre-movimento	16
Figura 3: modalità di percezione dell'incendio [9]	25
Figura 4: persone con limitazioni gravi nelle attività abitualmente svolte, anno 2017 [10]	27
Figura 5: linea 1 metropolitana di Torino	40
Figura 6: stazione metropolitana oggetto di studio	42
Figura 7: localizzazione stazione metropolitana oggetto di studio	42
Figura 8: 3D stazione metropolitana	43
Figura 9: pianta atrio	43
Figura 10: pianta banchine e binari	44
Figura 11: atrio ad accesso libero, biglietterie automatiche	44
Figura 12: tornelli	45
Figura 13: atrio	45
Figura 14: banchine e binari	46
Figura 15: banchina	46
Figura 16: percentuale dei profili degli occupanti [21]	52
Figura 17: modello tridimensionale Revit	70
Figura 18: modello importato in Pathfinder	70
Figura 19: superfici per il movimento degli occupanti	70
Figura 20: superfici per il movimento degli occupanti.....	71
Figura 21: superficie atrio	72
Figura 22: superficie pianerottolo	72
Figura 23: superfici banchine e treni	73
Figura 24: schermata ricavata dal software per il profilo "Standard uomo"	74
Figura 25: schermata ricavata dal software per il profilo "Standard donna"	75
Figura 26: schermata ricavata dal software per il profilo "Anziano"	76
Figura 27: schermata ricavata dal software per il profilo "Bambino"	76
Figura 28: forma del profilo "Bambino"	77
Figura 29: schermata ricavata dal software per il profilo "Disabilità motoria-sedia a rotelle"	77
Figura 30: forma del profilo "Disabilità motoria-sedia a rotelle"	78
Figura 31: schermata ricavata dal software per il profilo "Disabilità motoria-ausilio"	78
Figura 32: schermata ricavata dal software per il profilo "Valigia"	79
Figura 33: forma del profilo "Valigia"	79
Figura 34: schermata ricavata dal software per il profilo "Bambino"	80
Figura 35: schermata ricavata dal software per il profilo "Limitazione funzionale vista"	81
Figura 36: schermata ricavata dal software per il profilo "Limitazione funzionale udito"	81
Figura 37: schermata ricavata dal software per il profilo "Limitazione cognitiva"	82
Figura 38: forma del profilo " Limitazione cognitiva "	82

Figura 39: schermata ricavata dal software per il profilo "Soccorritore"	83
Figura 40: estratto tabella E.2 della ISO TR 16738	84
Figura 41: tabella tempi medi di arrivo dei soccorritori sul luogo di intervento [24]	89
Figura 42: collocamento occupanti nell'atrio	90
Figura 43: collocamento occupanti nel pianerottolo	90
Figura 44: collocamento occupanti nelle banchine e nei treni	90
Figura 45: visuale 3D collocamento occupanti	91
Figura 46: tempo richiesto per l'esodo degli occupanti nella simulazione 1	92
Figura 47: tempo richiesto per l'esodo degli occupanti nella simulazione 1, distinguendo tra assistiti e non assistiti	92
Figura 48: istante esodo primo occupante	93
Figura 49: istante esodo ultimo occupante non assistito	93
Figura 50: istante in cui vengono soccorsi gli occupanti che necessitano di assistenza	94
Figura 51: posizione occupanti nell'istante iniziale della simulazione	94
Figura 52: posizione occupanti dopo 150 secondi dall'inizio della simulazione	95
Figura 53: posizione occupanti dopo 200 secondi dall'inizio della simulazione	95
Figura 54: posizione occupanti dopo 250 secondi dall'inizio della simulazione	96
Figura 55: posizione occupanti dopo 300 secondi dall'inizio della simulazione	96
Figura 56: collocamento occupanti nell'atrio	100
Figura 57: collocamento occupanti nel pianerottolo	100
Figura 58: collocamento occupanti nelle banchine e nei treni	101
Figura 59: visuale 3D collocamento occupanti	101
Figura 60: tempo richiesto per l'esodo degli occupanti nella simulazione 2	102
Figura 61: istante esodo primo occupante	102
Figura 62: istante in cui vengono soccorsi gli occupanti che necessitano di assistenza	103
Figura 63: posizione occupanti nell'istante iniziale della simulazione	103
Figura 64: posizione occupanti dopo 50 secondi dall'ingresso dei soccorritori	104
Figura 65: posizione occupanti dopo 100 secondi dall'ingresso dei soccorritori	104
Figura 66: posizione occupanti dopo 150 secondi dall'ingresso dei soccorritori	105
Figura 67: posizione occupanti dopo 200 secondi dall'ingresso dei soccorritori	105
Figura 68: collocamento occupanti nell'atrio	109
Figura 69: collocamento occupanti nelle banchine e nei treni	110
Figura 70: visuale 3D collocamento occupanti	110
Figura 71: tempo richiesto per l'esodo degli occupanti nella simulazione 3	111
Figura 72: istante esodo primo occupante	111
Figura 73: posizione occupanti nell'istante iniziale della simulazione	112
Figura 74: posizione occupanti dopo 100 secondi dall'inizio della simulazione	112
Figura 75: posizione occupanti dopo 200 secondi dall'inizio della simulazione	113
Figura 76: posizione occupanti dopo 300 secondi dall'inizio della simulazione	113
Figura 77: posizione occupanti dopo 400 secondi dall'inizio della simulazione	114

Figura 78: posizione occupanti dopo 500 secondi dall'inizio della simulazione	114
Figura 79: posizione occupanti dopo 600 secondi dall'inizio della simulazione	115
Figura 80: posizione occupanti dopo 700 secondi dall'inizio della simulazione	115
Figura 81: posizione occupanti dopo 800 secondi dall'inizio della simulazione	116
Figura 82: posizione occupanti dopo 1000 secondi dall'inizio della simulazione	116
Figura 83: collocamento occupanti nell'atrio	119
Figura 84: visuale 3D collocamento occupanti	120
Figura 85: tempo richiesto per l'esodo degli occupanti nella simulazione 4	120
Figura 86: tempo richiesto per l'esodo degli occupanti nella simulazione 4, distinguendo tra assistiti e non assistiti	121
Figura 87: istante esodo primo occupante	121
Figura 88: posizione occupanti nell'istante iniziale della simulazione	122
Figura 89: posizione occupanti dopo 150 secondi dall'inizio della simulazione	122
Figura 90: posizione occupanti dopo 200 secondi dall'inizio della simulazione	123
Figura 91: posizione occupanti dopo 250 secondi dall'inizio della simulazione	123
Figura 92: posizione occupanti dopo 300 secondi dall'inizio della simulazione	124
Figura 93: collocamento occupanti nelle banchine e nei treni	127
Figura 94: visuale 3D collocamento occupanti	127
Figura 95: tempo richiesto per l'esodo degli occupanti nella simulazione 5	128
Figura 96: tempo richiesto per l'esodo degli occupanti nella simulazione 5, distinguendo tra assistiti e non assistiti	128
Figura 97: posizione occupanti nell'istante iniziale della simulazione	129
Figura 98: istante esodo primo occupante	130
Figura 99: posizione occupanti dopo 150 secondi dall'inizio della simulazione	130
Figura 100: posizione occupanti dopo 200 secondi dall'inizio della simulazione	131
Figura 101: posizione occupanti dopo 250 secondi dall'inizio della simulazione	131
Figura 102: posizione occupanti dopo 890 secondi dall'inizio della simulazione	131
Figura 103: confronto andamenti dell'esodo tra le varie simulazioni	135
Figura 104: confronto tempi di esodo tra le varie simulazioni distinguendo tra occupanti non assistiti e assistiti	135

Abstract

L'esodo in emergenza è un tema che richiede una particolare attenzione in quanto strettamente connesso alla salvaguardia della vita umana, pertanto l'esecuzione di una corretta progettazione risulta essenziale al fine di garantire a tutti gli occupanti all'interno di un ambiente di mettersi in salvo in caso di emergenza. A tal proposito uno degli aspetti più importanti e al contempo critici, riguarda lo studio del comportamento umano ed in particolare l'analisi dei fattori che influenzano la risposta degli occupanti, quando questi si trovano in una situazione di pericolo.

Volendo dunque effettuare uno studio approfondito del comportamento umano, è necessario individuare tutti gli elementi che agiscono sulle scelte degli individui e che sono frutto della costante interazione che vi è tra gli occupanti e l'ambiente che li circonda.

Analizzando poi nello specifico le caratteristiche intrinseche degli occupanti, emerge l'esigenza di considerare non solo le condizioni fisiche di un individuo, ma anche quelle comportamentali e cognitive, che risultano però più difficili da rilevare in quanto affette da un'elevata incertezza. La necessità di porre l'attenzione su questo tema nasce dal fatto che tali aspetti agiscono anche sul tempo richiesto dall'occupante per evacuare, sia considerando le attività di pre-movimento, a cui viene associato un intervallo temporale che identifica il ritardo con cui gli occupanti iniziano a compiere un vero e proprio spostamento verso le uscite dal momento in cui si accorgono del pericolo, sia nelle interazioni che si attivano tra le persone e il contesto in cui si muovono. Per questo una loro attenta valutazione risulta fondamentale ai fini di una progettazione più accurata.

L'obiettivo è dunque quello di tradurre questi concetti, che possono talvolta risultare astratti, in elementi concreti che prendano in considerazione questi fattori comportamentali, in modo da ridurre il divario tra la situazione reale e quella di progetto, che viene simulata. Il procedimento consiste in una prima fase in cui si studia il comportamento umano con un approccio di tipo qualitativo, esaminando con attenzione le caratteristiche che influiscono sulle scelte che un individuo può prendere in una generica situazione di emergenza.

In seguito è stata effettuata l'applicazione ad un caso studio, in particolare ad una stazione metropolitana la cui conformazione geometrica e funzionale si presta in modo ottimale a questa analisi, in cui i risultati di tipo qualitativo sono stati trasformati in elementi misurabili, valutando e quantificando l'effetto di tali fattori sugli occupanti ed estrapolando gli impatti che si sono generati all'interno delle simulazioni di esodo.

Introduzione

La normativa relativa alla prevenzione incendi pone come obiettivi la salvaguardia della vita umana e la tutela dei beni e dell'ambiente, attraverso l'applicazione delle misure volte al raggiungimento di questo scopo.

Volendo seguire un approccio alla progettazione antincendio di tipo prestazionale, poiché risulta essere il metodo più flessibile, che consente di ottimizzare i sistemi di protezione attiva o passiva per la salvaguardia della vita umana e la sicurezza delle strutture, nonostante richieda un maggiore impegno da parte del progettista, è necessaria l'esecuzione di una scrupolosa analisi di tutti gli elementi che contribuiscono ad una corretta progettazione.

Tra questi, lo studio del processo di evacuazione è uno degli aspetti di maggior interesse ed anche uno di quelli più critici nell'utilizzo di questo approccio, in quanto sono presenti numerosi fattori che lo influenzano, agendo sia positivamente che negativamente: l'esodo in caso di emergenza è un tema di elevato interesse proprio perché racchiude in sé tutte le misure volte a consentire la salvaguardia della vita umana. Affrontando il presente studio, i fattori che entrano in gioco sono molteplici e si suddividono tra quelli ambientali e quelli intrinseci degli occupanti e mentre i primi sono connessi a fattori esterni come la configurazione spaziale e gestionale dell'ambiente in cui si esegue l'esodo, quelli legati agli occupanti influiscono puntualmente su ogni singolo individuo nelle diverse fasi del processo.

Questo richiede uno studio approfondito di tutte queste variabili che influenzano un occupante sia nelle scelte, che nei comportamenti durante gli spostamenti all'interno di un edificio, che agiscono sia in condizioni ordinarie, che in situazioni di emergenza. Pertanto al fine di eseguire un'analisi completa del comportamento umano è necessario non fare solo riferimento alle discipline ingegneristiche ma anche a quelle di psicologia.

L'approccio prestazionale alla progettazione antincendio è un mezzo attraverso il quale il progettista può applicare questi elementi realizzando dei modelli di simulazione dell'esodo e ottenere perciò un progetto più attinente alla realtà, rispetto a quanto raggiungibile con un approccio prescrittivo. Questo strumento consente di eseguire una differenziazione degli occupanti sia attraverso le caratteristiche fisiche come ad esempio l'ingombro spaziale e la velocità di camminamento, ma anche mediante l'inserimento di variabili cognitive e sociali, sia individuali che collettive, riuscendo dunque a caratterizzare in modo più preciso e puntuale i diversi occupanti.

La normativa affronta questo tema, nell'ambito della progettazione prestazionale, chiedendo al progettista di valutare il tempo necessario agli occupanti per evacuare una struttura, valore che viene identificato con la sigla RSET (Required Safe Escape Time): tra le fasi che compongono questo tempo, quelle che sono influenzate dagli occupanti e dalle loro caratteristiche, sono la fase di pre-movimento e quella di esodo vero e proprio. La prima prende in considerazione il tempo che impiega l'occupante a riconoscere il pericolo e ad agire per procedere successivamente con l'esodo, mentre la seconda riporta il tempo impiegato dagli occupanti dal momento in cui iniziano l'esodo sino a quando raggiungono un luogo sicuro.

Nonostante entrambe le fasi siano connesse agli occupanti, siccome tengono conto della velocità con cui si procede durante l'esodo, le uscite che vengono scelte e le attività svolte prima di iniziare a muoversi, il

valore temporale per cui è più difficile ottenere una stima accurata è quello di pre-movimento, in quanto affetto da un'elevata incertezza connessa agli occupanti stessi ed all'interazione che hanno con l'ambiente. Il tempo necessario per le attività che vengono generalmente svolte dagli occupanti in questa fase è molto significativo se paragonato al tempo totale richiesto, interessando in alcune circostanze più della metà della durata complessiva dell'esodo.

Se si idealizza una generica situazione di emergenza, gli occupanti una volta sentito l'allarme e riconosciuta l'emergenza, dovrebbero procedere rapidamente verso l'uscita a loro più vicina: nella realtà però le situazioni che sono state osservate nel corso degli anni, sono considerevolmente diverse in quanto gli occupanti prima di evacuare tendono ad eseguire una serie di azioni che aumentano i tempi complessivi di esodo.

In questa fase il comportamento degli occupanti può variare in modo notevole, proprio perché ognuno di loro presenta diverse caratteristiche fisiche, cognitive e sociali che influenzano la capacità di riconoscere una situazione di emergenza, ma anche la fase di risposta una volta compresa l'esigenza di procedere con l'esodo.

L'obiettivo dunque è quello di eseguire uno studio qualitativo del comportamento umano in emergenza, analizzando tutti i fattori che influiscono sulla risposta degli occupanti. Successivamente attraverso la traduzione di questi fattori in elementi misurabili, si vuole dimostrare come questi influiscano sui risultati delle simulazioni dell'esodo. Si vuole dunque richiamare l'attenzione su come il tempo di evacuazione sia correlato al comportamento umano e come per eseguire una corretta progettazione di prevenzione incendi sia essenziale eseguire tali valutazioni.

Per farlo, una volta concluso lo studio di tipo qualitativo, viene eseguita un'applicazione ad un caso studio, nello specifico una stazione della metropolitana, in quanto presenta alcune caratteristiche ottimali per l'obiettivo che si intende raggiungere. Un luogo di transito, oltre a possedere una certa complessità geometrica, vede la presenza al suo interno di un elevato numero di persone che presentano un'ampia varietà di caratteristiche e necessità, risultando quindi il caso studio ottimale per l'applicazione dei fattori che influenzano il comportamento umano in emergenza.

Sono state quindi eseguite alcune simulazioni andando a variare determinate condizioni ambientali e valutando come queste agissero sugli utenti, modificandone la risposta in termini di comportamento e tempistiche.

Nonostante questo metodo sia utile per comprendere l'importanza dello studio del comportamento umano in emergenza, per quanto riportato sino ad ora, è tutt'altro che semplice applicarlo nella progettazione, anche quella di tipo prestazionale. Le criticità correlate all'utilizzo di questo metodo riguardano la fase di ricerca e conoscenza dei fattori da un punto di vista qualitativo, la trasformazione di queste valutazioni in elementi misurabili e la corretta stima di tali variabili.

La causa di tale criticità riguarda il fatto che la maggior parte delle informazioni e dei dati utilizzabili per le simulazioni provengono da testi di letteratura prevalentemente di natura anglosassone, che per quanto possano essere affidabili, contengono comunque una certa quota di aleatorietà. A livello nazionale questo tema purtroppo è poco sviluppato e il deficit maggiore lo si ha riguardo i dati di tipo quantitativo da poter utilizzare da parte del progettista per la realizzazione dei modelli di simulazione dell'esodo.

1. Prevenzione incendi

La normativa italiana in materia di Prevenzione incendi attualmente vede la presenza del Decreto Ministeriale del 03/08/2015 che prende il nome di Codice di prevenzione incendi. Questo decreto è nato con lo scopo di semplificare lo stato esistente delle normative producendo un unico documento che al suo interno riporta sia materia di carattere generale, ovvero norme applicabili a tutte le attività che vengono definite Regole Tecniche Orizzontali, RTO, che norme riferite a specifiche attività definite come Regole Tecniche Verticali, RTV.

Lo scopo del Decreto è dunque quello di sostituire le normative relative alla Prevenzione incendi che sono state emanate prima della sua entrata in vigore, inserendoci all'interno le Regole Tecniche Verticali per tutte le attività soggette alla Prevenzione incendi, in modo tale da consentire al progettista di consultare un solo testo per eseguire la progettazione antincendio.

La situazione attuale però è in evoluzione e sta subendo continue variazioni nel tempo in quanto attualmente non tutte le attività soggette alla prevenzione incendi sono riportate all'interno del Codice, pertanto per ogni caso studio, varia la modalità di approccio.

Per chiarire il tipo di approccio da seguire per la progettazione antincendio, nel 2011 è stato emanato il D.P.R. n.151 del 01/08/2011, il cui Allegato riporta tutte le attività che risultano essere soggette ai controlli di Prevenzione incendi.

Oltre a questo è necessario valutare se l'attività che si sta trattando risulti avere una normativa di riferimento e nel caso in cui ci fosse, l'iter procedurale da seguire sarebbe diverso a seconda della natura della normativa.

In base a questi elementi dunque varia il modo di seguire la progettazione antincendio: nel caso in cui vi sia un'attività soggetta al controllo di prevenzione incendi, inserita pertanto all'interno dell'allegato I del D.P.R. n.151 del 2011, priva però di una Regola Tecnica Verticale, sia all'interno del Codice che antecedente all'emanazione del Decreto, sarà necessario utilizzare la prima parte del Codice di prevenzione incendi in cui vengono riportate le Regole Tecniche Orizzontali.

Nel caso in cui invece si tratti di un'attività soggetta e anche normata, se presente all'interno del codice si ha la possibilità di scegliere se utilizzare il Codice o se applicare la normativa emanata in precedenza mentre, nel caso in cui sia presente solo una normativa antecedente il Codice si dovrà utilizzare quella.

1.1. Codice di prevenzione incendi

Il D.M. 03/08/2015, successivamente modificato dal D.M. 18/10/2019, presenta una struttura composta da quattro sezioni che complessivamente regolamentano la prevenzione incendi.

La prima, la sezione G fornisce un quadro generale della normativa riportando i principi della progettazione della sicurezza antincendio, le definizioni dei termini utilizzati all'interno del codice e fornisce le indicazioni per la determinazione dei profili di rischio delle attività, necessari per l'applicazione delle misure riportate nella seconda sezione.

La sezione S contiene al suo interno le dieci strategie antincendio per ognuna delle quali sono definite le possibili soluzioni da apportare per la progettazione antincendio.

L'insieme di queste prime due sezioni, la G+S compone la Regola Tecnica Orizzontale che è applicabile a tutte le attività che sono soggette al controllo per la prevenzione incendi ma che non possiedono una normativa specifica.

Nella sezione successiva, identificata con la lettera V invece sono presenti le Regole Tecniche Verticali per alcune specifiche attività: attualmente quelle inserite sono dieci, ma la normativa è in continuo aggiornamento, con l'obiettivo di inserire tutte le attività che presentano una RTV antecedente al Codice. Questa sezione va utilizzata ad integrazione delle prime due.

Infine la sezione M descrive le metodologie per la progettazione antincendio, con un approccio che viene definito prestazionale, che consente di eseguire la progettazione anche per casi con specifiche necessità.

Il tema della prevenzione incendi può dunque essere affrontato mediante l'utilizzo di due differenti approcci, entrambi inseriti all'interno del Codice: attualmente ci si trova in una fase di transizione tra un approccio di tipo prescrittivo, sino ad oggi utilizzato e maggiormente diffuso, ed un approccio di tipo prestazionale, che consente al progettista di valutare la risposta di un edificio nel campo della sicurezza antincendio, definendo delle prestazioni che la struttura deve essere in grado di raggiungere.

Il primo approccio, quello prescrittivo, richiede l'utilizzo delle sezioni G, S, V del Codice, in cui sono riportate le prescrizioni che il progettista è tenuto a seguire per la progettazione della sicurezza antincendio. È di facile applicazione in quanto è una progettazione guidata in ogni aspetto, dove il legislatore in precedenza ha eseguito delle valutazioni sui rischi ed ha successivamente definito i livelli di prestazione.

L'aspetto negativo di tale approccio, è che risulta essere estremamente limitato su numerosi aspetti, rendendone difficoltoso, se non del tutto impossibile l'utilizzo. Basti pensare infatti alla complessità geometrica di alcuni edifici di nuova costruzione o anche alla necessità di dover applicare le prescrizioni ad un edificio storico che presenta numerosi vincoli architettonici.

Proprio in virtù di tale limitazione sono state introdotte all'interno della normativa, nella sezione M, le metodologie per un approccio di tipo prestazionale, definito anche approccio ingegneristico, che presenta maggiore flessibilità per i sistemi complessi e consente al progettista di definire soluzioni idonee al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio.

Questo approccio si basa sulla valutazione dello sviluppo dell'incendio e dei relativi effetti, così come del comportamento umano: per il raggiungimento di tale obiettivo, si ricorre all'utilizzo di modelli di calcolo con i quali vengono eseguite delle simulazioni sia dell'incendio che dell'esodo.

2. Fire Safety Engineering

Con l'entrata in vigore del Codice di prevenzione incendi D.M. 03/08/2015 e più nello specifico all'interno della sezione M, sono stati ripresi ed approfonditi alcuni concetti che erano già presenti nel D.M. del 09/05/2007 con il quale in Italia si introduceva il tema dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio.

Con il termine Fire Safety Engineering si identifica proprio l'approccio alla sicurezza antincendio di tipo prestazionale che consiste in un'analisi di tipo quantitativo del livello di sicurezza antincendio. L'innovazione di questo approccio risiede proprio nel concetto di quantitativo poiché rispetto a quello prescrittivo tale sistema consente di eseguire la quantificazione degli effetti dell'incendio, andando a definire valori e soglie dei livelli di sicurezza, che sono dunque valori numerici ed analitici.

Non si tratta quindi di verificare solamente il rispetto di alcune grandezze presenti all'interno di una norma, che sono state valutate dal normatore a seguito di studi condotti in precedenza analizzando i rischi e determinando alcuni valori ritenuti sufficienti al fine di garantire la protezione al fuoco. Al contrario la Fire Safety Engineering cerca di effettuare un'analisi mirata del problema e ricavare una soluzione progettuale idonea, con risultati più aderenti alla realtà: questo, in alcuni casi, consente anche di raggiungere un adeguato livello di sicurezza con costi inferiori per gli interventi.

Per quanto l'approccio tradizionale prima descritto è di più semplice applicazione, grazie proprio al lavoro svolto in precedenza per redigere la norma, questo risulta poco flessibile soprattutto in casi particolari quali edifici storici o edifici in cui vi sono attività innovative o occupanti con particolari caratteristiche. L'approccio ingegneristico risolve pertanto questo problema, in quanto risulta essere meno vincolante e consente di descrivere sistemi complessi.

Lo scopo dell'approccio ingegneristico è dunque quello di determinare e ottimizzare le soluzioni progettuali per poter garantire, per diversi scenari d'incendio, la salvaguardia della vita umana, Life Safety, o la sicurezza delle strutture, Structural Safety, con la verifica del mantenimento della capacità portante. In funzione di quale obiettivo si voglia raggiungere, è necessario valutare, nello sviluppo complessivo dell'incendio, diverse fasi con la conseguente analisi di parametri significativi diversi.

Un incendio può essere descritto attraverso delle curve che ne descrivono lo sviluppo: la prima è la curva HRR (o RHR) che descrive la potenza termica rilasciata nel corso del tempo mentre la seconda è una curva temperatura-tempo.

Queste curve sono caratterizzate da varie fasi, quella di ignizione, propagazione, incendio stazionario e decadimento. In entrambe le curve, è presente un punto critico che prende il nome di flashover e contraddistingue il momento in cui avviene il completo sviluppo dell'incendio.

Nel caso in cui ci si approcci alla progettazione prestazionale con l'intento di salvaguardia della vita umana, si valuta la situazione dell'incendio in una condizione pre-flashover, ossia il tratto temporale che parte dall'innesco e termina prima che si arrivi all'incendio generalizzato: questo è legato ovviamente al tipo di focolare ma anche a tutti i fattori limitanti per l'occupante che possono comprometterne l'esodo in sicurezza, come la presenza dei fumi e di calore. La salvaguardia delle strutture invece, riguarda tutto il periodo di durata dell'incendio, anche post-flashover, poiché è necessario analizzare come si comporta termicamente

la struttura sotto l'azione dell'incendio, come questa reagisce alle elevate temperature causate dall'incendio, per un tempo molto lungo.

2.1. Applicazione approccio prestazionale

Il metodo di applicazione di tale approccio è riportato nella sezione M del codice che si suddivide in tre capitoli i cui contenuti sono di seguito sintetizzati:

- Capitolo M.1: "Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio", in cui sono definite le fasi da seguire per l'applicazione dell'approccio prestazionale;
- Capitolo M.2: "Scenari di incendio per la progettazione prestazionale", in cui è riportato il metodo di identificazione, selezione e quantificazione degli scenari di progetto da impiegare durante l'analisi;
- Capitolo M.3: "Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale" in cui è definito il modo per raggiungere tale obiettivo, utilizzando il metodo della FSE.

Di seguito viene riportata un breve descrizione dei tre capitoli.

Capitolo M.1

Il capitolo M1 approfondisce la metodologia di progettazione dell'ingegneria della sicurezza antincendio e si compone di due parti, la prima che risulta propedeutica per effettuare una successiva analisi quantitativa, che costituisce invece la seconda fase del metodo.

Nella prima fase, quella definita preliminare, si individuano delle condizioni di rischio dell'attività e si definiscono gli obiettivi che è necessario raggiungere, seguendo un iter procedurale ben definito che si compone delle seguenti quattro fasi:

- Definizione dello scopo della progettazione, o definizione del progetto;
- Identificazione e descrizione degli obiettivi di sicurezza antincendio;
- Traduzione degli obiettivi in soglie di prestazione quantitative;
- Identificazione scenari d'incendio di progetto.

La definizione del progetto e lo scopo di tale progettazione è la parte più generale della fase preliminare che consiste in una descrizione delle caratteristiche dell'oggetto, dell'analisi che si sta eseguendo.

Successivamente devono essere stabiliti gli obiettivi in modo qualitativo, che sono comunque strettamente correlati all'edificio in oggetto, alla tipologia di attività ed alla tipologia di occupanti.

Devono poi essere definite delle soglie di prestazione che sono connesse ad effetti termici, come la temperatura massima di esposizione e l'irraggiamento termico ammissibile sulle persone, così come la tossicità, ossia la quantità di gas tossici che sono presenti in ambiente o la visibilità minima che deve essere

garantita durante la fase di esodo. Per ogni parametro si identifica una soglia che verrà utilizzata poi nella fase quantitativa.

Infine l'ultima parte è dedicata all'identificazione, selezione e quantificazione degli scenari di incendio di progetto, ovvero devono essere schematizzati tutti i possibili eventi che si potrebbero verificare per l'ambiente analizzato durante la sua vita utile.

La seconda fase della FSE riguarda l'analisi quantitativa che, come già detto, è l'innovazione del metodo prestazionale rispetto all'approccio prescrittivo e si compone anch'essa in alcune sottofasi:

- "Elaborazioni delle soluzioni progettuali": vengono elaborate dal professionista antincendio più soluzioni progettuali per l'attività studiata;
- "Valutazione delle soluzioni progettuali": sulla base degli scenari e delle soluzioni prima individuate, vengono calcolati gli effetti di ogni scenario per le diverse soluzioni progettuali, utilizzando modelli di calcolo analitici o numerici, grazie ai quali è possibile descrivere l'evoluzione dell'incendio e l'effetto che si ha su strutture, occupanti ed ambiente.
- "Selezione delle soluzioni progettuali idonee": analizzando i risultati ottenuti delle modellazioni è possibile individuare la soluzione finale tra quelle che hanno ottenuto un esito positivo.

Capitolo M.2

Per l'individuazione degli scenari d'incendio di progetto, all'interno della sezione M2 del Codice, viene riportata una procedura per l'identificazione di tutti i possibili scenari mediante la costruzione di un "albero degli eventi": questo agevola il progettista nella selezione e successiva quantificazione degli scenari, i quali dovranno essere descritti mediante la tipologia di attività, le caratteristiche dell'incendio e degli occupanti. Oltre a questa modalità però, vi è anche un'ulteriore possibilità per poter individuare i possibili scenari, che è quella di far riferimento ad eventi realmente avvenuti che hanno interessato edifici o attività simili a quella in esame.

Capitolo M.3

Il capitolo M3, l'ultimo della sezione M, affronta il tema della progettazione del sistema di esodo con l'obiettivo sia di consentire a tutti gli occupanti il raggiungimento di un luogo sicuro, ma anche permettere l'accesso in sicurezza nell'edificio da parte dei soccorritori.

All'interno del capitolo, nel paragrafo M.3.2.1, viene definito il criterio ideale per la progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita: "La progettazione ideale di un sistema d'esodo dovrebbe assicurare agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro in sicurezza o di permanervi, senza mai incontrare gli effetti dell'incendio". Questo criterio non è sempre ottenibile soprattutto per i soggetti che nel compartimento in cui avviene l'insacco dell'incendio.

Questo approccio si allontana dal concetto di esodo così come è definito nella seconda sezione del Codice, al capitolo S.4, nel quale vengono definite per alcuni elementi geometrici quali ad esempio lunghezze, larghezze e altezze dei percorsi, dei valori limite, trascurando invece gli aspetti comportamentali ed ambientali.

Quello che viene proposto dalla normativa per la progettazione prestazionale è la comparazione di due intervalli di tempo indicati con le sigle di ASET e RSET, che sono rispettivamente il tempo disponibile per l'esodo e quello richiesto per l'esodo da parte degli occupanti.

3. Esodo in emergenza

Il sistema d'esodo, dal Codice di prevenzione incendi al paragrafo G.1.9, viene definito come "*insieme delle misure di salvaguardia della vita che consentono agli occupanti di raggiungere un luogo sicuro o permanere al sicuro, autonomamente o con assistenza, prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti negli ambiti dell'attività ove si trovano*".

Lo studio dell'esodo in emergenza è particolarmente articolato e complesso. L'esodo infatti non è univocamente legato all'emergenza causata da un incendio, ma anzi vi sono molteplici situazioni in cui è necessario che vi sia una corretta evacuazione di un edificio, come ad esempio l'avvenimento di terremoti, eventi dolosi o fenomeni atmosferici inattesi. Nonostante questo, la sola disciplina che tratta questo tema è proprio la progettazione antincendio e pertanto viene utilizzata anche quando l'emergenza non è causata dal fuoco: dunque solamente all'interno della normativa relativa alla prevenzione incendi è possibile trovare delle indicazioni per la progettazione e la gestione dell'esodo in emergenza.

Oltre alla tipologia di emergenza, anche la tipologia di edificio, la destinazione d'uso e la caratteristica degli occupanti richiedono una diversa progettazione dell'esodo. Ad esempio, anche se ci si trova a progettare l'esodo per un singolo edificio, potrebbe accadere che, in base ai rischi presenti all'interno dell'edificio connessi a loro volta alle attività coinvolte e in base della presenza di occupanti con differenti caratteristiche e necessità, si individuino emergenze di diverso tipo che richiedano pertanto una progettazione differente dell'esodo.

Così come per le altre strategie antincendio riportate all'interno del D.M. 03/08/2015, la progettazione dell'esodo può avvenire o mediante un approccio di tipo prescrittivo o seguendo quello prestazionale: all'interno del Codice l'esodo viene trattato sia nel capitolo S.4, per la sezione delle strategie antincendio di origine prescrittiva, che nel capitolo M.3 per ciò che riguarda l'approccio di tipo ingegneristico.

Il motivo per cui nell'ambito della prevenzione incendi il tema dell'esodo è così rilevante, è perché risulta essere una delle strategie che più influisce sulla salvaguardia della vita umana, soprattutto se si osservano gli avvenimenti progressivi di incendi avvenuti in edifici e le conseguenze che si sono verificate che in alcuni casi hanno portato alla perdita di numerose vite umane.

Nel codice di prevenzione incendi dunque il tema dell'esodo, così come in generale tutta la progettazione antincendio, oltre ad essere trattato con l'utilizzo dell'approccio prescrittivo seguendo quanto riportato all'interno della prima parte della normativa, viene affrontato dal capitolo M.3 che, come riportato in precedenza, tratta il tema della salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale che a differenza del primo approccio che fornisce soluzioni standard, consente al progettista di individuare soluzioni più attinenti al progetto.

3.1. Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale

La progettazione prestazionale in generale richiede che per qualsiasi soluzione progettuale che si stia adottando, si debba dimostrare che le condizioni di sicurezza siano verificate. In particolare come viene riportato dalla normativa, la condizione ottimale sarebbe quella di consentire agli occupanti la possibilità

di raggiungere un luogo sicuro senza avere conseguenze a causa del contatto con gli effetti dell'incendio, cosa che però non è sempre facilmente realizzabile.

Il codice dunque indica un approccio da seguire basato sulla comparazione di due tempi di seguito descritti:

- ASET (*Available Safe Escape Time*), che identifica il tempo disponibile per l'esodo degli occupanti prima che gli effetti dell'incendio rendano l'ambiente inutilizzabile non consentendo agli occupanti di raggiungere un luogo sicuro;
- RSET (*Required Safe Escape Time*), che identifica il tempo che intercorre tra l'istante in cui si ha l'innescio dell'incendio e il momento in cui tutti gli occupanti raggiungono in luogo sicuro.

Il confronto tra i tempi avviene imponendo la verifica della seguente disequazione: $ASET > RSET$.

Mentre il termine ASET è funzione dell'ambiente analizzato e agli effetti dell'incendio, il valore di RSET è strettamente correlato al progetto dell'esodo: lo studio dell'esodo è molto articolato in quanto è strettamente correlato all'interazione tra incendio, edificio ed occupante. Proprio nell'individuazione di questo valore temporale si tiene conto di tutti gli aspetti che vengono invece trascurati affrontando il tema della progettazione dell'esodo con un approccio di tipo prescrittivo, tra cui le componenti comportamentali e le modalità con cui le persone prendono le decisioni e percepiscono i rischi.

La disequazione prima menzionata è più intuitivamente osservabile all'interno della *Figura 1*: il valore ASET viene indicato come un unico valore temporale mentre il tempo richiesto per l'esodo RSET è composto da diversi fattori: alcuni risultano ancora antecedenti al tempo effettivo di evacuazione, ossia il tempo che intercorre tra l'innescio dell'incendio e l'istante in cui viene avviene la segnalazione, mentre il terzo valore è l'effettivo tempo di evacuazione.

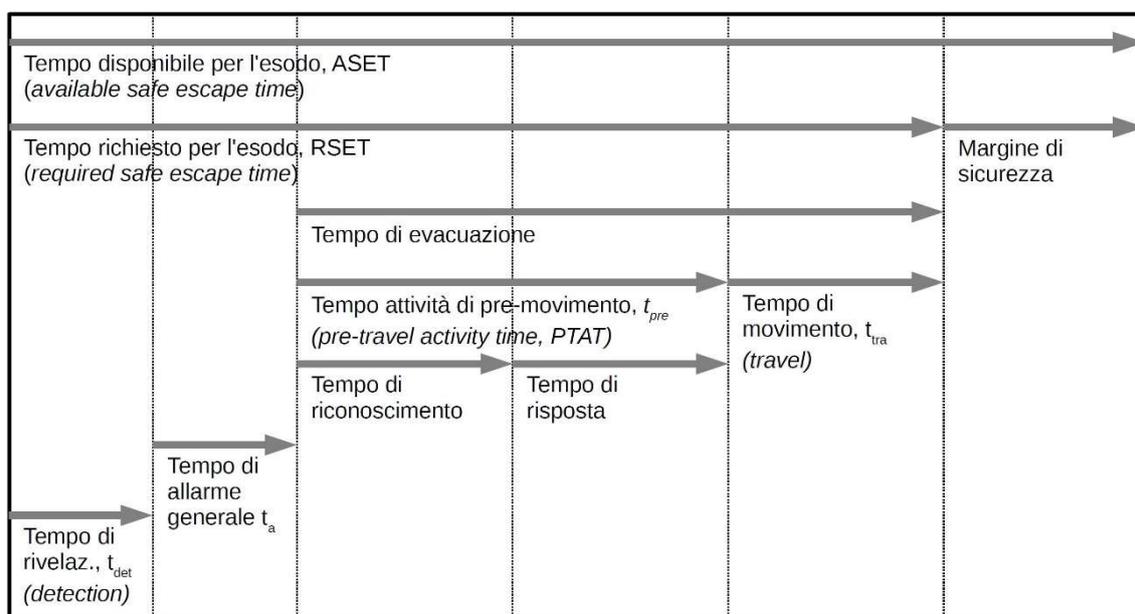


Figura 1: D.M. 3 agosto 2015 Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET e RSET

Il calcolo di ASET può avvenire seguendo due diversi metodi che sono il metodo semplificato e il metodo avanzato. Il primo prende in considerazione solamente due parametri, ossia l'altezza e la temperatura dei

fumi. Nel metodo semplificato è richiesto di verificare che l'altezza dei fumi sia al di sopra dei 2 metri, e che la temperatura sia al di sotto di 200 °C. Il metodo avanzato invece, conosciuto anche come metodo analitico, prende in considerazione la valutazione della concentrazione nel tempo di quattro parametri all'interno dell'ambiente, che sono la concentrazione dei fumi, dei combustibili tossici e del calore: il valore di ASET dunque si individua, valutando quale tra i modelli analizzati riporta il valore temporale più basso. Per la determinazione di RSET invece all'interno della normativa è riportata la seguente equazione:

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

Dove:

- t_{det} è il tempo di rilevazione allarme (*detection*)
- t_a è il tempo di allarme generale
- t_{pre} è il tempo di pre-movimento (*pre-travel activity time PTAT*)
- t_{tra} è il tempo di movimento (*travel*)

Tempo di rilevazione allarme t_{det}

È il tempo che impiega il sistema di rilevazione ipotizzato all'interno dell'ambiente a percepire l'incendio ed è pertanto correlato alla tipologia dell'impianto di rilevazione (automatico o manuale), così come allo scenario di incendio. Questo valore può essere determinato attraverso la modellazione dell'incendio, utilizzato per determinare ASET o in modo analitico.

Tempo di allarme generale t_a

È il tempo che trascorre tra la rilevazione dell'incendio e la segnalazione dell'emergenza agli occupanti. Per la determinazione di questo valore si deve definire il tipo di impianto previsto, in quanto tale valore può risultare pari a zero se la rilevazione attiva direttamente l'allarme, mentre se l'impianto di rilevazione invia un segnale che arriva ad una centralina di controllo dell'emergenza, dalla quale viene diramata la segnalazione solo dopo aver controllato l'effettiva presenza di un incendio, in questo caso la valutazione del tempo è a discrezione del progettista.

Tempo di pre-movimento t_{pre}

È il tempo che intercorre dall'istante in cui viene percepito l'allarme al momento in cui l'occupante si muove verso l'uscita. Questo valore è composto a sua volta da due valori:

- il tempo di riconoscimento, che è pari al tempo impiegato dagli occupanti a riconoscere l'allarme dal momento della sua attivazione, durante il quale generalmente vengono continuate le attività che si stavano svolgendo fino a quel momento.
- il tempo di risposta, fase in cui gli occupanti interrompono le proprie attività e iniziano ad eseguire una serie di attività prima di procedere con l'esodo.

Per entrambi i valori vi è un'elevata difficoltà nella stima dei tempi, in quanto risultano influenzati dalle caratteristiche degli occupanti e dall'interazione che questi hanno con l'ambiente circostante.

Tempo di movimento t_{tra}

È l'effettivo tempo che tutti gli occupanti impiegano per l'esodo, per raggiungere un luogo sicuro: questo valore dipende da numerosi fattori di tipo geometrico, come la posizione dell'occupante all'interno dell'ambiente, e di tipo fisico come l'ingombro degli occupanti e la loro velocità di movimento. Questo componente è l'unico, tra i valori che costituiscono il valore RSET che può essere determinato utilizzando dei modelli di simulazione dell'esodo.

All'interno della Normativa di riferimento viene stabilito in quale modo possono essere ricavati i vari tempi. Il tempo di rilevazione dell'allarme t_{det} , il tempo di allarme generale t_a e il tempo di attività di pre-movimento t_{pre} sono determinati mediante l'utilizzo delle normative, in particolare con l'aiuto della ISO/TR 16738: i primi due tempi poi possono anche essere ricavati mediante l'esecuzione di simulazioni dell'incendio, andando a riprodurre il posizionamento all'interno dell'ambiente di sonde per la rilevazione dei fumi grazie ai quali si ricava l'istante in cui si attivano. Infine il tempo di movimento può essere ricavato con l'utilizzo di modelli di esodo.

Al fine di garantire l'efficacia della progettazione antincendio, e per tenere in considerazione la possibile incertezza dei valori assunti ai fini del calcolo di ASET e RSET, un'ulteriore verifica che deve essere condotta, riguarda l'entità del margine di sicurezza t_{marg} che si determina dalla differenza tra ASET e RSET. Il progettista deve verificare che questo tempo non sia inferiore a dei valori riportati dalla normativa, ma deve anche cercare di massimizzarlo: t_{marg} deve essere almeno pari al doppio del valore di RSET o al 10 % del valore se i dati si possono considerare affidabili: in ogni caso non può scendere al di sotto di 30s.

Per poter rendere massimo il valore di t_{marg} al progettista si presentano due opportunità: si può intervenire direttamente sull'edificio e sui sistemi impiantistici di antincendio andando ad incrementare il valore di ASET e diminuendo il valore di RSET oppure si può agire lavorando sull'affidabilità della stima dei valori di RSET.

3.2. Tempo di pre-movimento

Per quanto detto sino ad ora, è evidente quanto lo studio dell'esodo e la sua corretta progettazione sia un argomento alquanto complesso ed articolato, infatti necessita di uno studio approfondito del comportamento umano in situazioni di emergenza. In particolare questo problema può essere suddiviso in due parti: la prima riguarda l'individuazione qualitativa di tutti i fattori che influenzano gli occupanti durante la fase di esodo, legati sia alle caratteristiche dei singoli occupanti che all'interazione che questi hanno con l'ambiente circostante, mentre la seconda riguarda l'ottenimento dei dati di tipo quantitativo che sono correlati proprio a queste caratteristiche.

Per affrontare dunque questo tema non è possibile sviluppare i due argomenti in modo separato, ma anzi risulta necessario fare uno studio approfondito del comportamento umano in tutti i suoi aspetti, per

osservare dove questo influisce maggiormente e di conseguenza capire dove sia necessario intervenire per poter ricavare dati che siano maggiormente affidabili.

La difficoltà principale che si riscontra nell'utilizzo del metodo prestazionale ed in particolare per quello che riguarda lo studio per la salvaguardia della vita umana è la determinazione dei tempi che compongono il valore di RSET.

Eseguire una corretta stima dei tempi per la determinazione di RSET non è semplice: in particolare il tempo che risulta maggiormente difficile da determinare è quello di pre-movimento t_{pre} , ovvero il tempo che impiegano gli occupanti a svolgere delle attività prima di procedere con l'esodo vero e proprio. Dai risultati di simulazioni reali condotte in alcuni edifici, o da eventi realmente accaduti è possibile osservare come questo valore occupi una buona parte del tempo totale utilizzato per l'esodo: proprio in virtù di tali considerazioni questo valore richiede una stima più accurata, in quanto una errata valutazione potrebbe compromettere l'esito della simulazione, sottostimando il tempo richiesto per l'esodo degli occupanti.

In definitiva, il progettista, durante la valutazione di questi tempi deve necessariamente porre una particolare attenzione al tempo di pre-movimento ed alle sue singole fasi.

I comportamenti che gli occupanti presentano in fase d'esodo, influiscono in entrambe le fasi che compongono questo tempo, sia nella fase di riconoscimento che in quella di risposta, anche se in modo diverso. La fase di riconoscimento è estremamente importante in quanto è quella che condiziona la comprensione della situazione d'emergenza da parte degli occupanti e che consente o meno di procedere in un momento successivo con l'evacuazione. Questa fase è correlata sia alle caratteristiche dell'ambiente, che a quelle degli occupanti che sono coinvolti ed anche all'interazione che vi è appunto tra gli individui, l'edificio e i suoi sistemi. Sarebbe sbagliato pensare che il riconoscimento dipenda univocamente dall'ambiente e dal sistema di segnalazione, nonostante sia uno dei principali aspetti non è corretto valutarlo singolarmente, ma deve essere contestualizzato, valutando da chi deve essere percepito l'allarme. Si immagini ad esempio una stessa tipologia di segnalazione allarme presente sia in un ufficio che in un luogo aperto al pubblico: è evidente che la risposta da parte degli occupanti non sarà la stessa, infatti sarà probabile che gli individui in ufficio riconosceranno in un tempo minore il segnale di allarme in quanto è probabile che abbiano già sentito quel suono a seguito di prove di evacuazione.

È facilmente intuibile dunque come la tipologia di occupanti ed in particolare le caratteristiche di ognuno di loro, influiscano nella fase di riconoscimento e quanto questi fattori possano alterare proprio la capacità di riconoscere un segnale d'allarme.

Anche per la fase di risposta, che viene subito dopo a quella di riconoscimento, viene preso in considerazione sia l'ambiente che la tipologia di occupante. A differenza però della fase precedente, in questo caso ciò che influisce maggiormente è la distribuzione spaziale dell'ambiente, l'accesso visivo alle uscite di emergenza e alla segnaletica presente, ma anche una segnalazione eseguita mediante l'utilizzo di un sistema di diffusione di un messaggio vocale con un adeguato contenuto informativo in grado di indicare agli occupanti come muoversi. Anche in questo caso le caratteristiche degli occupanti influenzano la risposta e dunque il modo con cui i soggetti procedono con l'evacuazione di un determinato ambiente. Tornando all'esempio precedente è probabile che il comportamento osservato nella fase di risposta da parte degli occupanti presenti all'interno di uffici, siccome presentano una certa familiarità con l'ambiente, sia piuttosto tranquillo e che il movimento avvenga con sicurezza conoscendo il percorso da seguire.

Nonostante questo è possibile che proprio per i motivi prima citati i soggetti sottovalutino il rischio e occupino il tempo, che ricade in quello di risposta, nel recuperare i propri beni materiali o eseguire altre attività non utili ai fini dell'esodo. Viceversa degli occupanti saltuari di un posto pubblico, nella fase di risposta è probabile che presentino un comportamento caratterizzato da uno stato di ansia e agitazione che porta l'occupante a compiere azioni e movimenti non consoni.

Ci si pone dunque il problema successivo ossia quello di quantificare questi tempi. Quando ci si approccia alla progettazione prestazionale e si utilizza pertanto la sezione M del Codice di prevenzione incendi, nel capitolo M.3 viene introdotta la necessità di valutare i tempi che compongono RSET, tra cui vi è la fase di pre-movimento. Il Codice consente a tale scopo l'utilizzo di normative, in particolare la ISO TR 16738, ma anche l'utilizzo di altri valori determinati da fonti di letteratura purché affidabili.

Nella ISO TR 16738 per la determinazione del valore di pre-movimento viene richiesto che vi siano informazioni riguardo alle caratteristiche degli occupanti, all'edificio e alla gestione della sicurezza e all'incendio stesso, proprio perché la risposta di un occupante non può essere valutata individualmente ma è influenzata da una serie di variabili connesse a questi parametri.

La tabella a cui si fa riferimento all'interno del Codice è un estratto di quella inserita nella ISO TR 16738: la principale distinzione viene fatta per la condizione degli occupanti, se svegli, addormentati, con o senza conoscenza dell'ambiente, mentre la seconda avviene prendendo in considerazione i seguenti fattori:

- la qualità dei sistemi di allarme
- la complessità dell'edificio
- la qualità della gestione della sicurezza antincendio

La tabella riportata è contenuta all'interno del Codice dove sono inseriti appunto alcuni esempi che si ritrovano in modo più esaustivo all'interno della ISO TR 16738.

Osservando i dati riportati in questa tabella è possibile notare che essi identificano un intervallo di valori, che fanno riferimento al tempo che impiega il primo occupante a muoversi, e quello impiegato dagli ultimi occupanti. Oltre a conoscere questi tempi però è necessario sapere la distribuzione dei valori che sono compresi tra quelli inseriti in tabella. La normativa infatti riporta alcuni andamenti dei tempi di pre-movimento che presentano all'incirca una distribuzione di tipo log-normale, che in funzione di alcune caratteristiche varia, traslando il picco della curva e modificandone l'ampiezza.

Nonostante questi dati siano frutto di numerose indagini e simulazioni, contengono comunque una quantità di incertezza e proprio per questo, come riportato in precedenza, il progettista ha la libertà di decidere di utilizzare dei valori diversi da quelli dati da normativa purché giustificati. Questo però non è semplice da effettuare in quanto la maggior parte dei dati reperibili in letteratura sono di natura anglosassone e pertanto contengono anche loro un certo grado di incertezza se utilizzati nel nostro paese.

Parametri di descrizione dell'attività tratto da ISO/TR 16738	Tempi di attività di pre-movimento ISO/TR 16738	
	$\Delta t_{pre (1st)}$ primi occupanti in fuga	$\Delta t_{pre (99th)}$ ultimi occupanti in fuga
Esempio 1: albergo di media complessità <ul style="list-style-type: none"> ● occupanti: <i>Ciii, sleeping and unfamiliar</i>; ● sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; ● complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout semplice</i>; ● gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>. 	20'	40'
Esempio 2: grande attività produttiva <ul style="list-style-type: none"> ● occupanti: <i>A, awake and familiar</i>; ● sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; ● complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout complesso</i>; ● gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>. 	1' 30"	3' 30"
Esempio 3: residenza sanitaria assistenziale <ul style="list-style-type: none"> ● occupanti: <i>D, sleeping and unfamiliar</i>; ● sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; ● complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout semplice</i>; ● gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>; ● presenza di addetti in quantità sufficiente a gestire l'evacuazione dei diversamente abili. 	5'	10'

Figura 2: D.M. 3 agosto 2015 Tabella M.3-1: Esempi di valutazione del tempo di pre-movimento

4. Caratteristiche che influenzano l'esodo

Volendo eseguire uno studio approfondito del comportamento umano in emergenza è necessario andare ad individuare tutti quei fattori che in qualche modo possono influenzare degli individui all'interno di un ambiente. Per fare questo si vuol partire dallo studio dei fattori che anche nella quotidianità condizionano le scelte intraprese dalla popolazione.

Siccome il comportamento di un individuo che si trova all'interno di un ambiente è frutto dell'interazione tra l'occupante e l'ambiente circostante, gli elementi che devono essere analizzati sono sia le caratteristiche intrinseche degli occupanti ma anche i fattori ambientali con cui questi devono interagire.

Questi elementi, se già giocano un ruolo fondamentale nella quotidianità delle persone non dando però alcun problema, nel momento in cui si trova coinvolti in una situazione di emergenza, di qualunque entità essa sia, potrebbero diventare vincolanti e potrebbero ostacolare e mettere in difficoltà i soggetti coinvolti nell'emergenza durante la fase d'esodo, compromettendo dunque la salvaguardia della propria vita.

Inoltre se si considera nello specifico il caso in cui vi sia una situazione di emergenza causata da un incendio i fattori che influenzano il comportamento umano aumentano in quanto vi sono anche gli effetti dell'incendio che condizionano gli occupanti nella fase di riconoscimento e risposta. In tal caso dunque la caratterizzazione del comportamento umano in emergenza sarà frutto dell'interazione tra occupante, ambiente e incendio.

Di seguito viene dunque riportato un approfondimento di tutti questi fattori suddivisi appunto in tre categorie:

- Caratteristiche dell'ambiente
- Caratteristiche degli occupanti
- Caratteristiche dell'incendio

4.1. Caratteristiche dell'ambiente

Le caratteristiche di un edificio costituiscono uno dei tre elementi essenziali per l'analisi del comportamento umano in emergenza: le persone infatti nella quotidianità interagiscono con l'ambiente che li circonda e sono influenzate dalle caratteristiche sia di tipo distributivo che funzionale dell'edificio.

Quando si tratta lo studio del movimento delle persone all'interno di un ambiente questo può essere idealmente scomposto in due processi: il primo è l'orientamento legato alla capacità che la persona ha nel sapere in che punto si trova all'interno di un ambiente, mentre il secondo è il wayfinding che è l'abilità di un soggetto nel muoversi in un ambiente riuscendo a raggiungere una determinata destinazione.

Il processo di wayfinding inoltre è funzione degli stimoli sensoriali che provengono dall'ambiente e che l'occupante è in grado di percepire e di utilizzare al fine di muoversi nello spazio [20].

Ci sono dunque una serie di processi che un soggetto è chiamato a compiere nel momento in cui deve muoversi all'interno di un ambiente. Oltre ai fattori ambientali infatti e al grado di familiarità che si ha con l'ambiente, quando vi è una situazione di emergenza anche le aspettative cognitive influenzano la fase di

evacuazione: con il termine aspettative cognitive si intende ciò che gli occupanti si aspettano di trovare in una situazione di emergenza, come ad esempio il posizionamento delle uscite o delle scale [20].

Si evince pertanto come in una situazione di emergenza, l'approfondita analisi degli elementi critici che influenzano il comportamento degli occupanti è necessaria, in quanto l'interazione con l'ambiente svolge un ruolo fondamentale nella salvaguardia della vita umana e le caratteristiche fisiche di un edificio possono costituire un elemento di criticità ed un ostacolo per chi sta evacuando.

Prima ancora di analizzare tutti i fattori che contribuiscono alla caratterizzazione del comportamento umano in caso di emergenza, è importante approfondire la questione relativa alla familiarità con l'edificio. È stato infatti osservato che, una conoscenza pregressa della struttura influenza la fase relativa alla scelta del percorso da intraprendere per evacuare, in quanto gli individui tendono a dirigersi verso luoghi a loro conosciuti piuttosto che verso aree dell'edificio che non sono a loro familiari. Proprio per questo molto spesso gli occupanti per uscire da un edificio in una situazione emergenziale, tendono a ripercorrere la strada fatta per entrare, poiché è quella a loro più familiare e che pertanto viene percepita come la più sicura anche se magari risulta essere la più lunga e quindi mette in maggior pericolo l'individuo.

Si è inoltre riscontrato che le persone in situazioni di emergenza tendono ad osservare il comportamento di chi li circonda e soprattutto per coloro che non hanno familiarità con l'ambiente, vi è un'elevata probabilità che seguano gli spostamenti delle persone nelle loro vicinanze anziché intraprendere un percorso diverso.

Dopo questa introduzione generale di seguito vengono elencati e successivamente approfonditi i fattori ambientali che possono influenzare il comportamento umano sia nella quotidianità che in situazioni di emergenza:

- Destinazione d'uso
- Affollamento
- Layout
- Personale formato
- Segnaletica
- Segnalazione allarme

Destinazione d'uso

La destinazione d'uso è un elemento che è alla base dello studio del comportamento umano: le attività presenti all'interno di un edificio condizionano sia le caratteristiche dell'ambiente stesso, come l'affollamento massimo, ma anche la tipologia di utenti che possono essere presenti. Di conseguenza anche il comportamento tenuto dagli occupanti sarà influenzato dalle caratteristiche degli occupanti stessi e dall'ambiente.

Affollamento

L'affollamento di un ambiente riguarda il numero massimo di occupanti per unità di superficie lorda, che, come appena riportato, è correlato alla destinazione d'uso dell'edificio e dell'ambiente stesso. Questo fattore può influire sulle azioni intraprese dagli occupanti durante l'esodo poiché nel momento in cui in un ambiente

vi è una situazione di emergenza che richieda l'evacuazione, la quantità di persone presenti all'interno dell'ambiente potrebbe condizionare le scelte del singolo individuo. Ad esempio se si ipotizza un ambiente con una densità di affollamento elevata, è probabile che in prossimità delle uscite si formino degli ingorghi e che per questo motivo un occupante decida di procedere verso un'uscita differente anche se magari più lontana o viceversa segua il flusso di gente ignorando percorsi alternativi.

Layout

È un elemento che prende in considerazione la modalità con cui è gestito lo spazio, in quanto questo influenza la possibilità da parte dell'occupante di accedere alle informazioni presenti nell'ambiente. I fattori che caratterizzano questo parametro sono sia la distribuzione degli spazi che può agevolare o ostacolare il movimento all'interno dell'ambiente da parte di un occupante, sia l'accesso alle informazioni ambientali, che sia anche inclusivo. Tutto questo condiziona la fase di risposta da parte degli occupanti, influenzando le scelte fatte per procedere con l'esodo e agendo di conseguenza sui tempi, ed in particolare sul tempo di pre-movimento.

Personale formato

All'interno di un ambiente è possibile che vi sia la presenza di personale con familiarità con l'edificio, avente il compito di assistere gli occupanti fornendo indicazioni sulla situazione e sulle azioni da intraprendere per l'esodo. Il personale dovrà dunque essere adeguatamente formato su come intervenire in caso di emergenza e ben riconoscibile da parte degli occupanti.

Come è già stato detto in precedenza gli occupanti, in particolar modo quelli che non hanno familiarità con l'ambiente in cui si trovano, prima di procedere con l'esodo tendono a guardarsi attorno e ad osservare gli occupanti che li circondano: per tale motivo la presenza di personale può influire sulle scelte che gli occupanti fanno in quanto possono fornire loro informazioni su come procedere per l'esodo riducendo i tempi di evacuazione.

Segnaletica

È un elemento necessario che viene utilizzato dall'occupante per orientarsi e muoversi all'interno di un ambiente per poter raggiungere un'uscita o un luogo sicuro.

La presenza ed il corretto collocamento delle informazioni influiscono sulle scelte dei percorsi per procedere con l'esodo e consentono ad un occupante di individuare il miglior percorso da seguire o l'uscita da utilizzare. La segnaletica deve dunque essere situata in aree in cui risulta visibile e riconoscibile soprattutto in luoghi dove vi sono elementi che forniscono altre informazioni come può avvenire ad esempio nei supermercati o in generale nei luoghi aperti al pubblico. Nonostante l'importanza della presenza della segnaletica, diversi studi ([2], [20]) hanno confermato che durante la fase d'esodo, anche in ambienti con una segnaletica idonea, meno del 10 % delle persone ne ha notato la presenza. Una conseguenza della mancata osservazione della segnaletica, può essere il non utilizzo delle uscite di emergenza disponibili. Volendosi collegare al concetto di familiarità con l'ambiente, è possibile osservare come in molte circostanze prevalga l'abitudine e pertanto si scelga di seguire un percorso conosciuto, ignorando

completamente le indicazioni fornite dalla segnaletica presente. È anche importante osservare che la segnaletica non possa diventare controproducente ostacolando l'evacuazione, come può accadere quando su una porta è riportata l'indicazione di porta allarmata e non viene pertanto utilizzata per uscire.

Affrontando poi il tema dell'inclusività è importante osservare anche che le informazioni, oltre ad essere accessibili, siano adeguate per consentirne la fruibilità da parte di tutti gli occupanti. Devono essere quindi presenti segnali con un contenuto informativo accessibile attraverso l'utilizzo di diversi canali sensoriali. Ad esempio è possibile prevedere la cartellonistica con elevato contrasto cromatico, con un adeguata dimensione del testo e con un contenuto in diverse lingue ma anche mappe dell'ambiente chiare e leggibili, magari anche in braille per persone non vedenti, così come la presenza di elementi a pavimento e a parete anche con riconoscimento tattile per l'orientamento.

Segnalazione allarme

Così come per la segnaletica, anche la modalità di segnalazione dell'allarme di un'emergenza influenza il comportamento degli occupanti coinvolti principalmente nella fase di riconoscimento dell'allarme ma anche in quella di risposta. Nella fase di pre-movimento la capacità da parte degli occupanti di riconoscere l'allarme è un aspetto fondamentale ed è necessario pertanto che la segnalazione dell'emergenza sia progettata in modo da rendere gli occupanti in grado di percepire il segnale. Per rispondere alle esigenze della popolazione, è richiesto che il segnale sia percepibile da tutti gli occupanti e che sia distinguibile da altri tipi di allarmi: è utile a tal fine adottare una modalità che utilizzi più canali sensoriali e che sia presente una comunicazione vocale contenente messaggi informativi.

Il fatto che la segnalazione sia riconoscibile da un ampio numero di utenti, anche per coloro che presentano limitazioni funzionali, consente una risposta più rapida alla situazione in quanto gli occupanti percepiscono velocemente il pericolo e li rendono consapevoli della situazione che è in corso.

La comunicazione vocale contenente messaggi informativi è uno strumento utile sia nella fase di riconoscimento che in quella di risposta: la diffusione di un messaggio che segnala la presenza di un'emergenza fa in modo che anche chi non ha riconosciuto l'allarme possa avere chiara la situazione. Inoltre i messaggi informativi possono dare indicazioni in merito a comportamento corretto da tenere e i percorsi da seguire al fine di procedere con l'esodo.

Tutto questo incide dunque sul comportamento degli occupanti che avendo maggior consapevolezza dell'emergenza tendono a fare scelte ragionate impiegando meno tempo sia nella fase di pre-movimento che in quello vero e proprio dell'esodo.

Uno studio condotto in una stazione metropolitana [19] ha analizzato in modo approfondito questo argomento valutando alcuni dei fattori prima descritti, eseguendo delle simulazioni in cui sono state variate le modalità di segnalazione allarme e la presenza di personale formato: i risultati che si sono ottenuti hanno confermato le teorie appena riportate in quanto i tempi per l'esodo sono variati in funzione della presenza e della tipologia di annuncio informativo e della presenza di personale formato. Inoltre durante le diverse esercitazioni sono variate anche le scelte che gli occupanti hanno preso prima di procedere con l'esodo e le azioni intraprese in quel lasso di tempo.

Quello che si è potuto osservare dai risultati ottenuti dalle simulazioni è che con la presenza di una segnalazione priva o con scarso contenuto informativo e senza la presenza di addetti che potessero fornire indicazioni puntuali, la percentuale di popolazione che ha pensato che si trattasse di un falso allarme è stata elevata.

4.2. Caratteristiche degli occupanti

Tra i fattori che influenzano il comportamento umano in caso di esodo, oltre alle caratteristiche dell'ambiente in cui questo avviene e nel caso in cui si tratti di un incendio anche in base al fattore scatenante dell'emergenza, le caratteristiche degli occupanti sono quelle più difficili da determinare.

Il comportamento umano è un elemento alquanto complicato da analizzare soprattutto quando si affronta il tema legato all'emergenza: i fattori che lo caratterizzano sono molteplici e di difficile determinazione poiché sono connessi all'individualità del soggetto, alle proprie peculiarità ma anche all'interazione con gli altri occupanti e con gli oggetti materiali.

Per cercare di semplificare lo studio di questi elementi può essere utile raggruppare questi elementi sotto tre principali categorie:

- le caratteristiche individuali, sono legate al soggetto singolo e sono di tipo intrinseco, possono essere sia di tipo fisico, che cognitivo e pertanto possono variare per ogni individuo
- le caratteristiche sociali, sono frutto dell'interazione tra un individuo e il resto degli occupanti, dipende dal modo in cui i soggetti si influenzano reciprocamente se si trovano in una stessa situazione

Inoltre sono presenti delle caratteristiche del singolo individuo che sono però connesse alla situazione, all'ambiente che non sono dunque legate alla persona ma al ruolo che ricopre all'interno dell'edificio dove vi è l'emergenza.

4.2.1. Caratteristiche individuali

Tra le caratteristiche intrinseche dell'occupante che possono essere di tipo fisico, psichico e comportamentale, ce ne sono alcune che sono già inserite all'interno del codice e che sono utilizzate anche per l'approccio prescrittivo al fine di individuare alcuni valori utili alla progettazione. Anche nell'approccio di tipo prestazionale alcuni di questi fattori vengono tenuti in considerazione ai fini della progettazione e sono utilizzati sia per individuare ad esempio ingombro e velocità di movimento ma anche per determinare i tempi. Nonostante questo l'esecuzione di uno studio più approfondito di queste caratteristiche è importante al fine di ottenere una migliore progettazione.

Si riportano di seguito tutte le caratteristiche intrinseche degli occupanti, sia analizzando sia il fattore in sé, che individuando il modo in cui questo influenza gli occupanti e le loro scelte:

- Genere

- Età
- Nazionalità e cultura
- Attaccamento ad oggetti materiali
- Percezione
- Disabilità (motorie, funzionali)
- Attitudine
- Panico
- Curiosità
- Conoscenza dell'ambiente
- Stato dell'occupante
- Mansione
- Impegno

Genere

La conoscenza del genere degli occupanti può essere più o meno rilevante in funzione del caso che si analizza ed influenza sia gli aspetti di tipo fisico che quelli comportamentali.

Durante un'emergenza, è probabile che una donna tenda ad impegnarsi in attività volte ad allertare altri occupanti prima di procedere per l'esodo, presentando così un comportamento di tipo altruistico che può avvenire sia nei confronti della propria famiglia ma anche verso altre persone, in particolare quelle in difficoltà. L'uomo invece è possibile che presenti un atteggiamento attivo, impegnandosi in attività utili all'estinzione dell'incendio e procedendo in un momento successivo con l'esodo. Questo atteggiamento però si osserva in particolar modo nell'ambito del residenziale, dove vi è anche un grande attaccamento agli oggetti materiali, come l'abitazione e tutto il suo contenuto, che fa emergere pertanto questo lato protettivo nei confronti dei propri beni. Viceversa il fenomeno è meno presente in luoghi pubblici, in cui l'attaccamento materiale è minimo pertanto possibile che uomo e donna si comportino in modo analogo. Questo dunque ritarda l'esodo e induce ad un maggior rischio per la persona, che permanendo per un maggior tempo all'interno dell'edificio, potrebbe mettere in pericolo la propria incolumità.

Età

L'età di un individuo gioca un ruolo fondamentale nella variazione del comportamento umano, non solo in situazioni di emergenza ma anche nella vita quotidiana: non sarebbe realistico infatti pensare che la reazione di un individuo ad uno stimolo esterno sia il medesimo tra persone di diverse età.

La variazione del comportamento umano in funzione dell'età si può suddividere in tre principali categorie che sono bambini, adulti e anziani. Come si può immaginare queste non corrispondono ad una netta identificazione di intervalli di età, con valori ben precisi, ma sono delle suddivisioni approssimative.

In generale con l'avanzare dell'età avvengono diversi cambiamenti che interessano oltre le funzioni fisiche anche quelle cognitive e comportamentali riducendo in generale l'attenzione, la percezione e la capacità di elaborare velocemente le informazioni che consentono di prendere le decisioni.

Se tutti questi elementi nella quotidianità possono essere un aspetto più o meno risolvibile, quando si analizza una situazione di emergenza questi possono trasformarsi in vere e proprie problematiche che influiscono negativamente sul processo di esodo, sia sulle scelte che sui tempi.

Gli aspetti maggiormente evidenti correlati all'età, sono quelli che coinvolgono il fisico ed in particolare la deambulazione, in quanto tutto il corpo umano funzionale alla mobilità subisce modificazioni degenerative che compromettono la normale mobilità. La conseguenza di questo fenomeno comporta una riduzione della velocità di camminamento e può presentare la necessità di far uso di strumenti di sostegno come ad esempio bastoni.

Altri organi che con il tempo subiscono una riduzione della funzionalità sono quelli della vista e dell'udito che in una situazione d'emergenza possono diventare un ostacolo per il riconoscimento dell'allarme e la risposta da parte dell'occupante in modo autonomo.

Infine anche l'apparato respiratorio con l'avanzare dell'età comporta una difficoltà per l'occupante in quanto può presentare difficoltà durante l'esodo comportando dei ritardi dovuti ad affanno o ad altre patologie. Oltre a questo se si considera una situazione di emergenza causata da un incendio, può accadere che la persona presenti maggiori difficoltà a sostenere gli effetti dell'incendio, come fumo e gas tossici.

La necessità di tenere in considerazione questi aspetti legati all'età degli individui nasce dall'osservazione dei dati statistici. In Italia nel 2019 la percentuale di persone con un'età maggiore di 75 anni era l'11,7 % (7.058.755 persone) e da un'intervista del 2018 si evidenzia che il 9% di over 65 intervistati in quella circostanza presentava difficoltà visive, il 19 % difficoltà di udito e il 35% di movimento per tratti superiori di 500 metri [9]. Siccome la percentuale di persone con un'età superiore ai 65 anni è in costante aumento, questo aspetto non è può essere trascurato ma anzi deve essere analizzato in modo scrupoloso al fine di consentire una corretta progettazione che tenga conto di queste problematiche.

In seguito all'osservazione di tutti questi fattori, è utile definire come, durante una situazione di emergenza, vadano ad agire gli elementi appena descritti sull'occupante. Oltre ad una questione fisica, l'età può influire sulle scelte che vengono prese prima di procedere con l'esodo, in particolare sul percorso da seguire e le uscite da utilizzare, ed è possibile che in tali circostanze questi occupanti tendano a seguire altri individui o che vengano direttamente aiutati per procedere con l'esodo. Oltre a questo vi è anche la possibilità che un soggetto anziano, anche se apparentemente in salute, a causa di un eccessivo stress dato dalla circostanza, vada in uno stato confusionale e di disorientamento.

Il fattore dell'età oltre ad avere conseguenze per persone con un'età elevata, agisce anche sui bambini, in quanto variano sia le capacità che le conoscenze. Oltre ad una questione fisica, che comporta una ridotta velocità di movimento per i soggetti in grado di muoversi autonomamente, a livello cognitivo, sempre in funzione all'età del soggetto, vi è più o meno la capacità di comprendere la situazione e quindi di riconoscere l'allarme anche se è verosimile che i bambini si trovino con un adulto e che vengano quindi guidati nell'esodo.

Il comportamento tenuto dai bambini varia poi a seconda del luogo in cui avviene l'emergenza: se si analizza una situazione di alunni a scuola o in occasioni analoghe, siccome vengono solitamente eseguite delle prove di evacuazione, con molta probabilità gli alunni tenderanno a procedere nel modo che gli è stato indicato durante le prove. Al contrario, se ci si trova in un altro luogo sia esso aperto al pubblico o meno, con molta probabilità, questi saranno in presenza di un adulto che quindi li guiderà per l'esodo.

Nazionalità e cultura

All'interno di una nazione vi è sempre un numero maggiore di individui con cittadinanza straniera, in particolare in Italia nell'anno 2021 il numero era pari all'8,7% della popolazione totale [28].

Il fatto che quasi il 10 % della popolazione è composta da soggetti di origine straniera, mette in risalto la necessità di non sottovalutare questo elemento quando si tratta di esodo in emergenza. Le difficoltà che possono emergere in questa fase riguardano sia il riconoscimento dell'allarme o delle informazioni fornite tramite messaggi pre-registrati o dal personale addetto, sia sulla risposta che potrebbe differire rispetto a quanto ci si aspetterebbe.

Per la fase di riconoscimento la maggior difficoltà si ha per il segnale d'allarme utilizzato, ma anche per la lingua in cui vengono fornite le informazioni e questo vale anche per i luoghi aperti al pubblico, dove generalmente i messaggi vengono diffusi in due lingue, italiano e inglese: per questo motivo non è sicuro che tutti gli occupanti stranieri comprendano la reale situazione e di conseguenza questo ha un'influenza sulla fase di risposta.

Superato l'ostacolo del riconoscimento, la risposta potrebbe invece essere condizionata dalla cultura dell'occupante proprio in relazione al vissuto o alle abitudini del proprio paese d'origine: per tale motivo questi soggetti potrebbero mostrare atteggiamenti anomali non sapendo come procedere per l'esodo, potrebbero sottovalutare il pericolo in quanto non in grado di comprendere chiaramente la situazione ed è inoltre probabile che tendano a seguire gli individui attorno a loro.

Si ribadisce pertanto l'importanza di avere una segnalazione dell'allarme multi canale e multi sensoriale in modo tale da riuscire in qualche modo a far comprendere al maggior numero di occupanti l'emergenza e informarli su come procedere per l'esodo.

Oltre alla presenza di residenti stranieri in Italia, vi è anche la questione del turismo che avviene maggiormente nelle stagioni estive e nei periodi di vacanza: fonti Istat asseriscono che per l'anno 2019 il turismo in Italia è arrivato a 436,7 milioni di presenze con 131,4 milioni di turisti dei quali circa la metà provenienti dall'estero [29].

Attaccamento ad oggetti materiali

È noto che quando ci si trova in una situazione di emergenza, in particolar modo se questa avviene all'interno di luoghi in cui gli occupanti si recano abitualmente o in cui vivono, vi è a tendenza prima di procedere con l'evacuazione, a recuperare alcuni dei propri beni.

L'attaccamento agli oggetti personali, anche se nel tempo è stato uno degli aspetti maggiormente sottovalutati, attualmente viene preso in considerazione nella progettazione antincendio e fa parte di quella serie di attività che vengono svolte prima di procedere con l'esodo. Oltre ad influire sul tempo che i soggetti impiegano per l'esodo, questo comportamento influisce anche sulle scelte del percorso che vengono prese, anche se nella progettazione prestazionale in generale è difficile replicare tali movimenti. Vi è la possibilità infatti che i beni che un soggetto vuole prendere con sé prima di procedere con l'esodo non si trovino nello stesso luogo in cui si trova l'occupante e per tale motivo potrebbe accadere che il soggetto si muova in direzione diversa o contraria rispetto a quella che dovrebbe prendere.

I comportamenti osservabili in questa circostanza sono principalmente tre e sono i seguenti: se l'occupante si trova in un luogo lontano dai propri beni, egli procede prima recandosi a prelevare gli oggetti e solo successivamente procede con l'esodo, oppure inizia il suo percorso per uscire dall'edificio ma improvvisamente cambia direzione per raggiungere i propri beni e solo in seguito riprende il percorso per uscire ed infine può accadere che l'occupante procede con l'esodo ma durante questo si accorge di voler recuperare qualcosa, tornando indietro sui propri passi per poi ripercorrere il medesimo percorso per uscire. Il fatto di cambiare percorso o di tornare indietro comporta sia un incremento dei tempi richiesti per l'esodo ma anche un maggior rischio per l'individuo che rimane esposto per maggior tempo agli effetti del fumo e che attraversa aree ormai compromesse dagli effetti dell'incendio.

Da numerosi studi è emerso che proprio quando l'incendio avviene in un'abitazione privata a causa dell'attaccamento alla proprietà o al senso di sicurezza che si ha nella propria abitazione le persone tendono a ritardare la propria fuga. Oltre a questo però, l'attaccamento agli oggetti personali interessa anche gli occupanti che si trovano in luoghi di studio o di lavoro: da alcune simulazioni condotte in un ambiente universitario è emerso che più della metà degli studenti presenti in una classe ha utilizzato del tempo per spegnere il proprio computer, per poi portarlo con sé fuori dall'edificio.

Percezione

Con il termine percezione si intende la capacità di un individuo di riconoscere una situazione attraverso l'uso dei sensi, e quindi la capacità di vedere, sentire, odorare per avere la possibilità, percepire e stimare il pericolo.

La fase decisionale di un'evacuazione è strettamente connessa alla percezione dei segnali da parte degli occupanti, siano essi quelli di segnalazione o effetti dell'incendio.

Nella *Figura 3* sono riportati i risultati di un'indagine condotta su un campione di circa 570 persone coinvolte in incendi domestici, eseguita per determinare proprio la modalità con cui è stato percepito l'incendio.

Modalità di percezione dell'incendio	Persone coinvolte	%
Odore di fumo	148	26.0
Avvisati da altri	121	21.3
Rumori	106	18.6
Avvisati dalla famiglia	76	13.4
Vista del fumo	52	9.1
Visione del fuoco	46	8.1
Esplosione	6	1.1
Calore percepito	4	0.7
Interruzione dell'elettricità	4	0.7
Animali	2	0.3
N = 11	569	100.0

Figura 3: modalità di percezione dell'incendio [9]

L'elemento che da questa indagine emerge come quello maggiormente percepito dagli occupanti è l'odore di fumo ma oltre a quello anche altri elementi quali i rumori, la vista del fumo o l'essere avvisati da altre persone sono risultati importanti nella modalità di percezione dell'incendio.

Alla questione della percezione di un'emergenza si collega la difficoltà generale degli individui di stimare il pericolo di un incendio: la mente difficilmente riesce a prevedere rischi con andamento esponenziale, come quello della propagazione dell'incendio, ma al contrario è più facile che preveda quelli con andamento lineare. Le convinzioni delle persone e le ipotesi sulla velocità di crescita del fuoco e del fumo molte volte non sono corrette, infatti non si tiene conto che la situazione causata da un incendio peggiora maggiormente con il passare del tempo.

Per questo motivo, riuscire a comprendere la situazione e avere la capacità di percepire il pericolo è un aspetto fondamentale ai fini della salvaguardia della vita degli occupanti.

Disabilità

Il tema della disabilità è particolarmente delicato in quanto è molto ampio e coinvolge numerosi aspetti dell'essere umano. Oltre ad essere un concetto in continua evoluzione, quando si parla di disabilità non si trattano solo le patologie che sono riconosciute e che sono permanenti, ma anche tutta quella sezione di limitazioni funzionali che riducono o eliminano l'autonomia di un soggetto per un tempo limitato. Si pensi infatti agli anziani che hanno difficoltà di deambulazione ma anche a persone che hanno subito un intervento, persone con bambini, passeggini e donne in gravidanza, più in generale a tutti coloro che, nonostante il fatto che in condizioni ordinarie risulterebbero autosufficienti, per un motivo e per un determinato lasso temporale presentano delle difficoltà.

Vista la necessità di eseguire in generale una progettazione che prende in considerazione il più vasto numero di utenti con le proprie caratteristiche e i propri bisogni, anche la progettazione antincendio ha il compito di garantire un esodo in sicurezza a tutti gli occupanti di un edificio.

Risulta pertanto fondamentale andare ad individuare tutte le limitazioni funzionali che possono presentare i soggetti che si trovano in un edificio, ponendo particolare attenzione a come queste possano influire nel momento in cui si presenti una situazione di emergenza. Questo deve essere fatto poiché se già nella vita quotidiana una qualsiasi disabilità provoca dei disagi e delle limitazioni, durante un'emergenza queste possono dare ancora più problemi e possono l'evacuazione dell'occupante.

Tale concetto per quanto possa sembrare semplice, è frutto di anni di studi che hanno portato a definire un modello bio-psico-sociale, dove si definisce che lo stato di salute di un individuo è correlato sia alle abilità personali ma anche all'ambiente fisico e sociale e all'interazione tra questi elementi, che condizionano pertanto la prestazione dell'individuo.

L'ambiente in cui vivono le persone può avere un'influenza sia negativa che positiva sul soggetto con limitazioni funzionali, tant'è vero che esistono elementi che vengono definiti "barriere", che ostacolano la vita dell'individuo ma anche elementi definiti "facilitatori", che come indica la parola stessa aiutano l'individuo ad interagire con l'ambiente e la società.

Da questo si deduce che per ridurre la quantità di persone che in un determinato contesto presentano una certa difficoltà è necessario agire anche sulle condizioni ambientali, aumentando gli elementi facilitatori e riducendo le barriere.

Quanto sino ad ora detto è anche riportato all'interno dell'articolo 11 della legge n. 18 del 2009 che tratta le situazioni di rischio ed emergenze umanitarie, secondo il quale vi è l'obbligo di adottare *"tutte le misure necessarie per garantire protezione e sicurezza alle persone con disabilità in situazioni di rischio, incluse le situazioni di conflitto armato, le emergenze umanitarie e le catastrofi naturali"*.

Proprio per questo nella progettazione dell'esodo è necessario individuare tutte le problematiche che emergono dall'interazione tra persone e i fattori ambientali al fine di eseguire una progettazione inclusiva. Di seguito vengono riportati alcuni dati di tipo quantitativo ricavati da fonti ISTAT ed in particolare sono stati analizzati i Report dell'anno 2013 [12] e del 2019 [10] in cui è riportato il numero di persone con limitazioni funzionali e viene valutato quali di queste limitazioni trovano disagio nei contesti di vita come scuola, lavoro, mobilità e tempo libero.

Dal report del 2019 emerge che nel nostro Paese le persone con disabilità di qualunque tipo, ovvero con limitazioni che impediscono lo svolgimento delle abituali attività quotidiane, sono circa il 5,2 % della popolazione ossia 3 milioni e 150 mila persone. Di questi circa un milione e 150 mila superano l'età di 75 anni, pari a più del 20% della popolazione in quella fascia di età, dei quali 1 milione sono donne.

La maggior concentrazione di persone con disabilità in Italia si ha in Umbria e in Sardegna con l'8,7% e il 7,3%, mentre le regioni con l'incidenza più bassa sono il Veneto la Lombardia e la Valle d'Aosta con il 4,4%.

REGIONI	Maschi	Femmine
Piemonte	4,9	5,9
Valle d'Aosta / Vallée d'Aoste	3,4	5,3
Liguria	4,5	6,3
Lombardia	3,5	5,1
Trentino Alto Adige / Südtirol	4,3	5,1
Veneto	3,2	5,6
Friuli-Venezia Giulia	3,6	5,3
Emilia-Romagna	4,3	6,2
Toscana	4,1	6,1
Umbria	6,9	10,5
Marche	4,5	6,4
Lazio	4,1	6,2
Abruzzo	4,5	6,4
Molise	3,8	6,4
Campania	4,2	5,3
Puglia	4,4	6,0
Basilicata	4,5	7,0
Calabria	5,1	6,4
Sicilia	5,3	6,6
Sardegna	6,1	8,5
Italia	4,3	6,0

Figura 4: persone con limitazioni gravi nelle attività abitualmente svolte, anno 2017 [10]

Oltre al numero di persone che presentano limitazioni funzionali è necessario conoscere il tipo di disabilità a cui corrispondono delle specifiche necessità, la cui conoscenza risulta fondamentale per una corretta valutazione in fase progettuale. Si possono pertanto trovare: disabilità motorie, che riguardano l'efficacia delle parti del corpo che servono per il movimento, disabilità sensoriali, che interessano i sensi

principalmente vista ed udito ma anche gusto olfatto e tatto, disabilità intellettive che riguardano le abilità intellettive e le insufficienze mentali e le disabilità psichiche in cui ricadono problemi psichici e psicologici. Sono poi presenti delle realtà in cui queste disabilità coesistono ed è dunque possibile che in uno stesso soggetto vi sia una disabilità principale e una associata: proprio per questo motivo è difficile quantificare le persone con una specifica disabilità.

Dei pochi dati a disposizione è emerso che nella popolazione con più di 15 anni, circa il 2% presenta limitazioni di tipo visivo, 4,1 % uditivo e il 7,2% di tipo motorio.

Per quanto riguarda altre problematiche, quali ad esempio il disturbo dello spettro autistico purtroppo i dati sono incerti poiché in Italia non sono state condotte ricerche accurate: la sola cosa che è possibile dire è che in base ai dati del resto del mondo si può ipotizzare che circa l'1% della popolazione è interessata direttamente dall'autismo.

Trattando il tema della disabilità inoltre, non si può evitare di analizzare il concetto di autonomia, proprio per il fatto che la limitazione funzionale è frutto di una riduzione o totale mancanza di autonomia, che già normalmente limita i soggetti e che pertanto in una situazione di emergenza influenza ancor di più il loro comportamento. Sempre in riferimento al report del 2013 dell'Istat [12], circa un terzo delle persone con limitazioni funzionali dichiara di non essere totalmente autonomo nello svolgimento di attività quotidiane, di cui una buona parte ha un'età superiore a 75 anni.

Inoltre esistono patologie, come ad esempio problemi respiratori, cardiaci ed altri, che anche se in situazioni ordinarie consentono l'autonomia, in una situazione diversa, dove si crea una condizione di stress, questa può venire a mancare rendendo il soggetto vulnerabile con la necessità di essere soccorso.

Tra questi vi è anche il tema dell'obesità [9], che rappresenta insieme alle altre una condizione che se nella quotidianità non crea alcun problema, in situazioni di emergenza può causare difficoltà nel movimento e di conseguenza nell'esodo. In Italia vi sono 24 milioni e 700 mila persone che sono in eccesso di peso di cui il 46% sono adulti e il 24,2% bambini e adolescenti con età compresa tra 6 e 17 anni. Questo fattore influisce sulla velocità con cui l'occupante procede per evacuare l'edificio, ma ci può essere anche un maggiore affaticamento che può trasformarsi in una difficoltà respiratoria compromettendo la salute dell'occupante.

Oltre a quanto sino ad ora menzionato è importante anche osservare che tutti i dati che sono stati riportati, fanno riferimento a condizioni ordinarie in quanto non esistono indagini svolte in contesti emergenziali: proprio per il fatto che la limitazione funzionale è connessa anche al contesto, in una situazione di emergenza uno stesso problema che nella quotidianità potrebbe essere facilmente gestito, potrebbe diventare un problema più grave e difficilmente gestibile. Per tale motivo una persona che nella vita quotidiana può considerarsi autonoma, in una certa condizione potrebbe non esserlo più.

Disabilità motoria

Come riportato precedentemente, la disabilità motoria riguarda la funzionalità delle parti del corpo destinate al movimento, in particolare quelle necessarie per eseguire gli spostamenti che consentono di raggiungere un luogo sicuro in caso di necessità. Alcuni studi hanno indicato che la funzionalità motoria può presentarsi sotto quattro diverse forme:

- Mobilità elevata, ossia quando un soggetto è in grado di muoversi liberamente senza la necessità di utilizzare alcun ausilio;
- Mobilità ridotta temporaneamente, quando un soggetto a causa di un evento (operazione medica, trauma, altre situazioni) si ritrova in una condizione diversa dalla normalità e presenta pertanto una riduzione della mobilità per un tempo definito;
- Mobilità ridotta permanentemente: quando un soggetto è limitato nei movimenti a causa di un deficit, che può richiedere l'ausilio di strumenti quali la sedia a rotelle, bastoni, stampelle;
- Mobilità dipendente, simile al precedente ma con la differenza che in un caso è comunque possibile procedere in autonomia con l'esodo mentre in questo caso no, avendo bisogno di assistenza.

Queste limitazioni, aggiunte alle problematiche presenti nel contesto, possono portare ad una difficoltà dell'esodo o alla difficoltà del superamento di livelli come scale e ascensori. Oltre a questo, anche per quanto riguarda le scelte da effettuare prima di procedere con l'esodo, vi possono essere delle problematiche: si pensi all'occupante con mobilità ridotta sia temporaneamente che in modo permanente, che procede in una direzione ma si trova impossibilitato a proseguire a causa di ostacoli che magari in condizioni ordinarie non erano presenti.

Disabilità sensoriale

Le disabilità di tipo sensoriale compromettono uno o più canali percettivi tra i quali vista, udito, tatto, gusto ed olfatto, anche se quelle che influiscono maggiormente in situazioni di emergenza sono vista e udito in quanto consentono il riconoscimento dell'emergenza e la risposta. Anche in questo caso non è possibile scindere tali limitazioni dal contesto ambientale pertanto al fine di limitare l'impatto negativo di queste disabilità, è necessario procedere all'inserimento di una serie di elementi che consentano all'occupante di agire il più possibile in modo autonomo.

Si parla dunque di comunicazione multicanale, multisensoriale, in modo tale da rendere accessibile la segnalazione dell'emergenza consentendone il riconoscimento, ed è anche necessario prevedere l'utilizzo di elementi che agevolino gli occupanti in fase di risposta, consentendo loro di procedere con l'esodo. Per fare un esempio per una persona ipovedente o non vedente, potrebbe essere utile la presenza di piani di evacuazione in braille o il collocamento a terra di apposite strisce tattili che determinano il percorso da intraprendere per l'esodo.

Disabilità intellettiva e psichica

Questo tipo di disabilità è quella più difficile da trattare poiché articolata e complessa, tanto che anche l'OMS in un rapporto del 2010 ha definito le persone con disabilità mentali uno dei gruppi più vulnerabili. Infatti per la disabilità cognitiva è difficile prevedere i comportamenti, in quanto vi sono numerosi aspetti che possono influenzarlo, come la natura e la gravità della disabilità. In una situazione di emergenza può accadere che il soggetto non riconosca la situazione, la pericolosità ma anche che abbia una reazione di

rifiuto nell'affrontare l'emergenza o ancor peggio che adotti atteggiamenti aggressivi nei confronti di altre persone o dei soccorritori.

Risulta pertanto impossibile immaginare di studiare una soluzione univoca che possa soddisfare tutte le esigenze delle persone con questa limitazione, poiché presentano caratteristiche ed esigenze diverse.

Nonostante questo, al fine di eseguire una progettazione che cerchi di agevolare il maggior numero di utenti, si deve lavorare sulla fase di riconoscimento e di risposta.

Per la fase di riconoscimento, così come si è detto in precedenza, è fondamentale che vi sia la presenza di diverse tipologie di allarme che consentano al maggior numero di individui di riconoscere lo stato di emergenza ma anche la presenza di personale formato e soccorritori che possono interagire direttamente con l'utente.

Per la fase di risposta invece può risultare fondamentale l'intervento da parte di personale formato e soccorritori che, se correttamente formati, possono intervenire al fine di gestire eventuali comportamenti non collaborativi o di totale rifiuto da parte di persone che presentano queste difficoltà.

Nonostante l'importanza di questi elementi è utile osservare però che difficilmente persone con queste limitazioni si troveranno da sole all'interno di un ambiente, ma al contrario saranno accompagnate da un conoscente che non presenterà le stesse difficoltà nel riconoscimento del segnale d'allarme e pertanto sarà in grado di condurre in un luogo sicuro la persona in difficoltà.

Attitudine

Alcuni studi hanno osservato come all'interno di un gruppo di persone presenti in uno stesso ambiente, è possibile osservare comportamenti differenti ed in particolare possono essere presenti dei soggetti aventi un comportamento attivo che prendono decisioni indipendentemente da quello che fanno le altre persone oppure utenti che vengono definiti seguaci e che simulano le azioni delle persone nelle vicinanze presentando un atteggiamento gregario [1], [3]. Questi comportamenti possono condurre sia ad un risultato negativo, nel caso in cui ad esempio chi agisce si reca nella direzione sbagliata mettendo a rischio tutti coloro che seguono, ma può esserci anche un risultato positivo se coloro che vengono seguiti compiono un esodo nella maniera corretta in quanto conducono tutti il gruppo nella giusta direzione.

Panico

Esistono dei fattori che sono correlati all'individuo ed alla situazione e che non rientrano in nessuna delle categorie sino ad ora descritte tra i quali vi è il concetto di panico.

Quando vi sono di eventi catastrofici, che ha richiesto l'evacuazione degli occupanti di un edificio e dove può esserci stato un elevato numero di morti o di feriti, molto spesso viene definita con il termine panico la causa di quanto accaduto, ipotizzando che se gli utenti avessero tenuto un comportamento razionale e calmo non ci sarebbe stato lo stesso esito.

Con il termine panico si identifica " *Senso di forte ansia e paura che un individuo può provare di fronte a un pericolo inaspettato, e che determina uno stato di confusione ideomotoria, caratterizzata per lo più da comportamenti irrazionali. In particolari situazioni, tale reazione può diffondersi rapidamente tra più individui di una folla, dando luogo a fenomeni di panico collettivo.*"

Il termine però molto spesso viene utilizzato in modo improprio, per identificare un semplice stato di agitazione, anche se poi effettivamente, osservando a posteriori l'accaduto, non vi è stato alcun comportamento irrazionale.

Questo tema rientra all'interno degli studi di psicologia sociale e anche tra gli stessi psicologi ci sono opinioni contrastanti in merito pertanto si evince quanto risulti difficile affrontare questo tema anche nella progettazione dell'esodo.

Ci si chiede infatti se sia necessario prendere in considerazione questo fenomeno in quanto è un comportamento che si osserva frequentemente, oppure se può essere trascurato perché nella realtà non è così presente.

In molti casi di eventi reali che sono stati analizzati, grazie anche alle dichiarazioni rilasciate dai superstiti, si è visto come la risposta da parte degli occupanti è stata controllata e le scelte che sono state prese erano del tutto razionali anche se i singoli occupanti erano in uno stato di agitazione [17], [18].

Non esiste dunque una risposta corretta quando ci si chiede se è necessario prendere in considerazione il panico nella progettazione dell'esodo, ma è giusto che il progettista sia a conoscenza di questo fenomeno ed anche della sua diffusione in modo da prendere una scelta in modo consapevole.

Curiosità

Un elemento che difficilmente si tiene in considerazione ma che può condizionare il comportamento di un occupante durante un'emergenza è la curiosità. Questo porta gli occupanti che si trovano in un edificio ad utilizzare del tempo, prima di procedere con l'esodo, per osservare quando accade e a chiedere informazioni su quanto sia successo, ritardando l'inizio dell'evacuazione. Oggigiorno forse questo fenomeno è ancora più presente in quanto la società tende a riprendere e fotografare tutto ciò che accade ed in particolare quando vi sono eventi eccezionali.

Tutto questo comporta un ritardo nell'esodo che si unisce alla mancanza di conoscenza da parte degli occupanti degli effetti del fumo e della velocità di sviluppo dell'incendio, rendendo elevato il rischio di mettere in pericolo la vita dell'occupante.

Una situazione ancor più grave riguarda la possibilità che un determinato evento, oltre a destare curiosità nelle persone coinvolte, richiami persone provenienti da altre aree o esterne all'edificio procedendo in maniera opposta a quanto si dovrebbe.

Conoscenza dell'ambiente

Il grado di familiarità che un occupante ha con l'edificio è uno dei principali fattori che si analizzano quando si tratta la progettazione dell'esodo in quanto si valuta la conoscenza che gli occupanti hanno con l'ambiente in cui si trovano. Questo dunque si correla all'interazione tra il soggetto in una situazione di emergenza e tutte le caratteristiche ambientali, in particolare con quelle relative all'esodo. Un'elevata familiarità dell'ambiente può portare l'occupante non solo a impiegare meno tempo per l'esodo, ma anche a fare un utilizzo più consapevole delle uscite presenti ottimizzando i percorsi. Il fatto di conoscere la struttura può anche avere un effetto negativo legato alla troppa sicurezza dell'occupante, che quindi potrebbe sottovalutare il pericolo o avere un comportamento che influenza in modo negativo gli altri occupanti.

Stato dell'occupante

È una caratteristica correlata alla posizione spaziale di un occupante all'interno dell'ambiente in cui avviene l'emergenza, in quanto questo influisce sui tempi di risposta, sia quello utilizzato prima muoversi dal proprio posto che quello per l'esodo effettivo. Questo fattore è correlato al comportamento umano poiché in base alla posizione e allo stato dell'occupante questo avrà una risposta differente all'emergenza: sarebbe infatti una semplificazione pensare che delle persone in luoghi diversi dello stesso edificio, rispondano in modo analogo all'emergenza. La questione si complica ulteriormente quando oltre alla posizione spaziale si aggiunge il fattore relativo alla situazione in cui si trova, se l'occupante è in stato di veglia o meno, se è seduto, coricato, o in piedi, fermo o in movimento. Sulla base di questi elementi varia il percorso che viene preso, l'uscita che viene utilizzata ai quali si unisce infine il tempo impiegato.

Mansione

In molti casi, se si analizza un ambiente è altamente probabile che siano presenti occupanti aventi diverse mansioni: questo avviene in particolare per gli edifici aperti al pubblico e per luoghi di lavoro in cui sono presenti persone che lavorano al suo interno e persone che lo frequentano in maniera saltuaria. Il primo modo in cui questo influenza l'andamento dell'esodo in una situazione emergenziale è se vi è la presenza di personale formato che nel momento del bisogno da informazioni e guida gli altri occupanti per l'esodo: la presenza di personale formato consente agli occupanti di seguire indicazioni specifiche procedendo in modo più ordinato. Nel caso in cui non vi sia la presenza di addetti preposti, vi è comunque un'influenza a causa della posizione che gli occupanti ricoprono all'interno dell'ambiente connessa al senso di responsabilità: è dunque probabile che chi è caratterizzato da una posizione più elevata tenda ad influenzare il comportamento degli altri. Un semplice esempio di questo fenomeno è relativo ad una scuola, dove gli studenti tendono a seguire i professori, così come anche un luogo aperto al pubblico, poiché vi è l'idea che chi lavora all'interno di un ambiente conosca le uscite di sicurezza e i percorsi corretti da intraprendere.

Impegno

Questo fattore prende in considerazione l'attività svolta dagli occupanti che si trovano in una situazione di emergenza. È infatti riconosciuto che se le persone stanno compiendo una certa attività, anche una volta che è avvenuta la segnalazione con l'allarme, questi tenderanno a continuare la loro attività impiegando diverso tempo per interromperla. Questo comportamento si evidenzia maggiormente in alcune circostanze particolari come ad esempio nel caso in cui vi sia da lasciare un museo in cui si era entrati per effettuare una visita per la quale si era comprato un biglietto: alcuni occupanti potrebbero essere riluttanti a procedere con l'esodo e potrebbero pertanto continuare la loro attività noncuranti dell'allarme. Per quanto questo comportamento possa sembrare insensato è molto più comune di quanto ci si aspetti, proprio perché si tende a continuare la propria attività almeno per i primi istanti che seguono la segnalazione di un'emergenza. Ne è un esempio anche quanto accaduto in una metropolitana di Tokyo nell'ora di punta dove, anche a causa dell'assenza di fumo che non ha consentito agli occupanti di percepire l'emergenza, nonostante il messaggio

registrato indicasse la necessità di evacuare l'ambiente, i passeggeri non hanno lasciato il treno poiché in quel momento sembrava più importante mantenere il posto [3].

4.2.2. Caratteristiche sociali

Oltre alle caratteristiche intrinseche degli individui, quando si studiano i fattori che influenzano il comportamento umano non si può non prendere in considerazione ciò che riguarda le interazioni che avvengono tra le persone. Queste variano poi in funzione delle situazioni in cui gli occupanti si trovano e al numero di individui presenti all'interno di uno stesso ambiente, in quanto in una condizione ordinaria l'interazione può risultare minima ma ciò cambia quando in emergenza tutti gli occupanti hanno lo stesso obiettivo ossia quello di raggiungere un luogo sicuro.

In quest'ultimo caso generalmente ci si può immaginare che tra gli occupanti si manifestino dei comportamenti di tipo competitivo, in quanto è a rischio la salvezza del singolo individuo: la valutazione di casi reali però ha dimostrato che in situazione di emergenza le persone sono portate ad assumere un atteggiamento collaborativo ed altruistico, anziché agire in modo individuale [1].

I fattori che spiegano questa risposta e che vengono ritrovati tra le caratteristiche sociali, sono la tendenza ad avere un comportamento gregario, la presenza di legami sociali ma anche l'attitudine ad aiutare altri occupanti in difficoltà.

Comportamento gregario

Uno degli aspetti comportamentali più semplici da individuare riguarda quello che viene definito comportamento gregario o effetto gregge, che si verifica soprattutto in presenza di un elevato numero di persone. Questo fattore è indipendente dal tipo di persona e dal grado di conoscenza che vi è tra gli occupanti, infatti che essi siano conoscenti o meno, in una situazione di emergenza la maggior parte di loro tenderà a comportarsi come le altre persone che si trovano in vicinanza.

Se si osserva una situazione quotidiana in un ambiente in cui sono presenti un elevato numero di persone all'interno di uno stesso ambiente, è possibile vedere come il movimento del singolo è comunque in qualche modo influenzato dall'interazione che vi è tra le persone, pertanto gli spostamenti che si osservano non sono individuali, ma avvengono in gruppo. Proprio a fronte di ciò, in una situazione di emergenza questo fattore incide maggiormente, influenzando sia nelle scelte degli individui che nei loro spostamenti, che non saranno del singolo individuo ma saranno frutto dell'interazione di più persone.

Ci si interroga pertanto in che modo questo possa influire sulle scelte in relazione al movimento ed i percorsi da prendere. L'analisi di documenti presenti in letteratura, che riportano quanto accaduto in situazioni reali, ha consentito di individuare i comportamenti ricorrenti in tali circostanze e che possono riassumersi come di seguito riportato:

- l'individuo attende che le persone attorno a lui decidano cosa fare o inizino a procedere con l'esodo adeguandosi pertanto alle scelte prese dal gruppo. Il flusso di persone che si forma procede in modo automatico in una stessa direzione e con circa la medesima velocità, a meno di possibili interferenze lungo il percorso;

- l'individuo inizia a muoversi in modo autonomo per uscire dall'edificio, ma durante l'esodo incontra un gruppo di persone che procede in direzione diversa e a causa di questo cambia il proprio percorso, procedendo con il gruppo.

In entrambi i casi ciò che ne consegue è un aumento nei tempi di esodo anche se in fasi diverse. Il primo influisce sulla risposta dell'occupante, ossia sul tempo che impiega per iniziare a muoversi e procedere con l'esodo, il secondo invece influenza il vero e proprio tempo di movimento ed è correlato alla scelta del percorso.

Questi comportamenti sono frutto dell'influenza sociale e del fatto che l'essere umano difficilmente si distingue dalla norma, ma è molto più probabile che ci si adegui.

Per tale motivo una persona che si trova da sola in una situazione di emergenza tende ad agire e ad assumersi delle responsabilità molto prima rispetto ad un gruppo, dove appunto avviene l'influenza reciproca e di conseguenza anche la divisione delle responsabilità delle scelte che vengono prese.

A tal proposito, risulta interessante analizzare un esperimento eseguito proprio al fine di dimostrare questa teoria.

L'esperimento è stato effettuato in una sala conferenze in cui, con il pretesto di tenere un seminario, sono stati fatti entrare i soggetti sotto osservazione. All'interno della sala erano state inserite telecamere e microfoni. L'esperimento vedeva la partecipazione di un gruppo di persone a conoscenza di quanto sarebbe accaduto all'interno della sala, ed erano perciò complici, più una persona non al corrente dell'esperimento e che costituiva perciò l'oggetto dell'osservazione.

Dietro una porta è stata installata una macchina del fumo che simulava un incendio nella stanza adiacente e al fine di rendere la simulazione ancora più credibile, è stato predisposto un effetto sonoro che simulava l'attivazione dell'allarme.

L'esperimento si sviluppava in due fasi in quanto si voleva osservare la variazione del comportamento tra un individuo che si trovava da solo nella stanza ed uno che era con un gruppo di persone, ossia i complici, ai quali era stato indicato di non agire alla vista del fumo.

L'esperimento è stato ripetuto diverse volte con differenti soggetti e si è osservato quanto segue:

- nei casi in cui le persone si trovavano sole all'interno della stanza tendevano a uscire in tempi molto brevi dopo la comparsa del fumo e, in alcuni casi, anche lasciando nella stanza, i propri effetti personali;
- quando invece erano presenti anche i complici, il soggetto tendeva ad assumere un comportamento gregario: infatti alla vista del fumo e all'attivazione dell'allarme il soggetto, dopo aver osservato l'atteggiamento delle altre persone che restavano impassibili, tendeva di conseguenza a rimanere seduto in attesa. Il tempo di permanenza medio nella stanza da parte dei soggetti osservati è stato di 13 minuti.

Solo in un caso una persona ha assunto un comportamento differente: nonostante la presenza dei complici, che come sempre mostravano un comportamento impassibile, il soggetto alla vista del fumo dopo circa 1 minuto si è diretto all'uscita della stanza. Nonostante ciò i complici hanno iniziato a motivare il proprio

comportamento minimizzando la situazione e il soggetto è rientrato, rimanendo all'interno della stanza per ulteriori 10 minuti.

I risultati ottenuti da questo esperimento sono esplicativi di quanto ipotizzato inizialmente, e mostrano come in fase di esodo le caratteristiche di tipo collettivo, che sono state prima definite, giocano un ruolo fondamentale.

Questo dunque influisce sia sulle scelte ma anche sui percorsi intrapresi dagli occupanti, agendo di conseguenza sui tempi di esodo. Tornando all'esperimento effettuato, è fondamentale sottolineare il fatto che se quello fosse stato un reale incendio, con molta probabilità le persone all'interno della stanza non si sarebbero salvate a causa dei prodotti della combustione, pertanto tenere in considerazione questo fattore risulta essenziale.

Appartenenza sociale

Quando ci si trova in una situazione di emergenza gli individui tendono a rivolgersi alle persone con cui hanno un legame che può essere sia di tipo affettivo ma anche semplicemente connesso alla situazione.

Diversi studi hanno dimostrato che quando è presente un legame tra le persone, soprattutto durante un'emergenza, questo tende ad essere ancora più influente sui singoli soggetti: questa teoria inoltre non si applica solamente a coloro che hanno un legame di tipo affettivo come ad esempio una famiglia o degli amici, ma influenza anche coloro che non hanno alcun legame apparente ma si trovano nella stessa situazione. Si parla pertanto di folla psicologica in cui anche se non vi è un evidente legame tra una persona e chi lo circonda, quando ci si ritrova in una situazione di emergenza si ha uno stesso obiettivo che porta gli occupanti ad assumere un atteggiamento collaborativo ed altruistico.

Se da un lato questo aspetto è positivo, in quanto le persone si aiuteranno reciprocamente, dall'altro lato proprio tali legami tendono sia a ridurre la percezione del pericolo, compromettendo la risposta dell'individuo all'emergenza, che a rallentare la fase di evacuazione, poiché il gruppo procede alla velocità del componente più lento, che nel caso di un anziano, un bambino o un disabile sarà inferiore a quella standard. La conseguenza di ciò è un aumento della probabilità che gli individui non riescano a raggiungere un luogo sicuro e che subiscano le conseguenze dell'emergenza che nel caso di un incendio sarebbero l'inalazione dei fumi o ad un'eccessiva esposizione a sostanze tossiche.

Come detto in precedenza in una situazione di emergenza il comportamento che prevale tra gli individui è quello cooperativo ed altruistico: per tale motivo emerge anche una tendenza definita pro-sociale secondo la quale vi è una maggior propensione ad aiutare le altre persone, soprattutto quelle in difficoltà, in presenza o meno di un legame.

Per completezza di seguito vengono suddivisi in tre categorie le varie aggregazioni di persone che è possibile trovare quando si osserva una folla e che sono frutto del tipo di legame instaurato:

- individui che si trovano nello stesso luogo ma che oltre a quello non presentano altri tipi di legami e possono avere o meno un obiettivo comune;
- individui che hanno un legame in termini di abitudini e cultura;
- individui che presentano un legame maggiore, come ad esempio una famiglia o un gruppo di amici.

4.3. Caratteristiche dell'incendio

Come è stato introdotto in precedenza, tra gli elementi che incidono sulla prestazione di risposta di un occupante coinvolto in una situazione di emergenza vi sono sia le caratteristiche individuali che quelle dell'ambiente che non possono essere valutate separatamente perché tra le due vi è un'interazione che regola appunto la risposta degli occupanti. Nel caso in cui poi l'emergenza sia causata da un incendio, il comportamento di un occupante è influenzato anche dalle caratteristiche dell'incendio stesso, dalla natura del focolare e i suoi effetti. Tra i fattori critici che è utile osservare, vi è lo sviluppo dell'incendio e la velocità di combustione, legata alla potenza termica che l'incendio è in grado di sprigionare nella fase iniziale, ma anche i prodotti della combustione che sono i fumi, i gas tossici ed il calore, il tutto correlato al tipo di incendio e al materiale coinvolto.

Questi poi possono essere ulteriormente suddivisi tra fattori che sono percepibili attraverso l'uso dei sensi quali vista, udito e olfatto e quelli non percepibili, entrambi pericolosi ma che influenzano in modo differente la risposta dell'occupante.

Volendo analizzare dunque tutti i fattori che incidono sul comportamento tenuto dai soggetti durante l'esodo, è necessario tenere conto anche degli effetti che un incendio ha sugli spazi architettonici e sui componenti dell'edificio e quelli insistenti sull'essere umano e i relativi comportamenti.

Le principali conseguenze che si hanno in un ambiente in cui si sviluppa un incendio, riguardano:

- i danni ad elementi della struttura dell'edificio interessato, con la possibilità di un collasso;
- l'impossibilità di poter utilizzare alcune vie di esodo e uscite di sicurezza;
- la riduzione della visibilità negli ambienti a causa della presenza di fumo che può comportare anche la difficoltà di visione della segnaletica e dei percorsi per l'esodo.

Gli effetti che riguardano l'occupante invece, si distinguono tra quelli che interessano e compromettono l'incolumità degli utenti, in termini di salute e quelli che influiscono sulle reazioni a livello psichico e comportamentale.

Tra gli effetti legati all'azione di un incendio sul corpo umano si trovano:

- l'irritazione agli occhi;
- l'irritazione alle vie respiratorie;
- l'ustione a causa dell'azione termica;
- la perdita di conoscenza e morte per la riduzione di ossigeno nell'aria o per intossicazione dovuta all'azione di gas nocivi e tossici;

Gli effetti che incidono sulle reazioni di tipo psichico e comportamentale sono di difficile determinazione in quanto legati ai molteplici fattori individuali che influenzano la risposta del singolo occupante in situazioni di emergenza. In generale però si possono presentare stati di agitazione, ansia, paura con conseguenti effetti di tipo fisiologico ma anche limitazioni a livello psicologico nei confronti dell'esodo a

causa della variazione della percezione del pericolo da parte dell'individuo: tutti questi fattori hanno dunque un impatto negativo sulla performance di esodo degli occupanti.

La valutazione di questi effetti nello studio del comportamento umano in caso di emergenza è dunque fondamentale in quanto questi incidono su tutta la fase di riconoscimento dell'incendio, di risposta degli occupanti prima di procedere con l'esodo e sull'esodo vero e proprio: questo di conseguenza influisce sul tempo globale che è richiesto dall'occupante per il raggiungimento di un luogo sicuro.

Per tale motivo, analizzando dati ricavati dalla letteratura che fanno riferimento ad esperimenti eseguiti in anni passati, è possibile individuare alcuni comportamenti tenuti dagli occupanti in quelle circostanze, connesse proprio all'incendio e i suoi effetti.

Uno degli aspetti più interessanti riguarda lo studio degli ambienti in cui è presente del fumo: idealmente infatti si pensa che generalmente le persone non si muovano nel fumo a causa della scarsa o inesistente visibilità. Nella realtà diversi studi [3] hanno dimostrato che, nel caso in cui durante il percorso intrapreso per l'esodo ci si trovi di fronte a del fumo, si tende ad attuare una delle seguenti azioni:

- continuare il percorso attraverso il fumo anche se la condizione ambientale tende a peggiorare: in questo caso la velocità di esodo si riduce rispetto alle condizioni normali, si tende a camminare più vicini ai muri dell'edificio in modo da avere una direzione corretta;
- cambiare direzione ricercando un nuovo percorso per l'esodo anche se più lungo del precedente;
- tornare indietro rispetto alla strada appena percorsa avendo la certezza di raggiungere in un luogo poco interessato dall'incendio.

Il proseguimento del percorso intrapreso nonostante la presenza di fumo, potrebbe sembrare una scelta dettata da un comportamento irrazionale, ma tale decisione può essere dettata da fattori individuali o sociali: in particolare può essere dovuta ad un'elevata conoscenza dell'ambiente circostante, dalla volontà di soccorrere o di avvertire altri occupanti, dalla necessità di recuperare beni materiali, così come dalla volontà di intervenire attivamente per estinguere l'incendio.

La decisione di cambiare percorso durante l'esodo o quella di tornare indietro da dove si è arrivati invece è principalmente legata alla ridotta visibilità nell'ambiente ed ai problemi causati all'occupante degli effetti dell'incendio, come difficoltà respiratoria e bruciore agli occhi.

La scelta di intraprendere o meno un percorso attraverso il fumo può essere anche dettata dalla non conoscenza della pericolosità degli effetti delle componenti dell'incendio sull'uomo. A differenza di quanto comunemente si pensa, i gas tossici dei fumi costituiscono il maggior pericolo per la vita umana in caso d'incendio: fonti ufficiali riportano che il numero di decessi causati da incendi, sono per il 65% a causa di intossicazioni, il 25% per ustioni e un altro 10% per altre cause [2].

5. Caso studio

Dopo aver eseguito un'analisi qualitativa di tutti i fattori che interessano la risposta degli occupanti durante un'evacuazione, volendo dimostrare che tali elementi influiscono sul tempo complessivo richiesto per l'esodo e che pertanto devono esser presi in considerazione per poter eseguire una corretta progettazione, è necessario eseguire un'applicazione pratica facendo uso di modelli di simulazione dell'esodo.

Osservando quanto riportato all'interno del paragrafo 4.1., è possibile comprendere l'importanza delle caratteristiche ambientali quando si studia il comportamento umano in emergenza. I fattori esterni che influenzano gli occupanti durante l'esodo sono molteplici e riguardano sia l'ambiente stesso ma anche tutti gli elementi che sono presenti al suo interno.

Pertanto la scelta del caso studio da utilizzare per l'esecuzione di tali simulazioni deve essere fatta in modo tale da riuscire a inserire all'interno del modello quanti più elementi che consentano di mostrare in modo concreto come questi fattori influiscano sull'esodo, sia sui tempi sia sulle scelte prese dai soggetti coinvolti. L'edificio che viene scelto per l'esecuzione delle simulazioni è importante in quanto oltre a presentare diverse condizioni ambientali, varia la tipologia di occupanti che vi è all'interno e di conseguenza sarà possibile prendere in considerazione diversi elementi tra quelli analizzati qualitativamente, relativi alle caratteristiche degli occupanti. Non è possibile pensare infatti che la progettazione di un sistema d'esodo possa essere univoca e che possa funzionare in diverse circostanze o per edifici diversi, anche se aventi la stessa destinazione d'uso.

A livello normativo questo aspetto in parte viene preso in considerazione poiché all'interno del Codice di Prevenzione Incendi D.M. 03/08/2015 nella sezione S.4, che riguarda lo studio dell'esodo con un approccio alla progettazione antincendio di tipo prescrittivo tra i dati di ingresso che servono per la progettazione del sistema d'esodo vi è anche l'affollamento che è correlato al tipo di ambiente che si analizza e dunque alla tipologia di attività che vi è al suo interno, a cui è associata una densità di affollamento. Anche con l'applicazione di un approccio di tipo prestazionale, quando si studia la progettazione di un sistema d'esodo, l'importanza della scelta dell'ambiente con la propria destinazione d'uso la si ritrova nella stima del tempo che impiegano gli occupanti a raggiungere un luogo sicuro (RSET) che, affidandosi ai valori a cui fa riferimento il Codice, dipende sia dalla complessità dell'edificio, dai sistemi di gestione e segnalazione dell'emergenza ma anche dalla tipologia di occupanti.

Alla luce di quanto riportato, si è scelto di prendere in analisi un luogo di transito e nello specifico una stazione metropolitana. Il motivo di tale scelta è da attribuirsi all'elevato utilizzo di questi sistemi poiché parte integrante della vita delle persone ed utilizzata quotidianamente nelle principali città: tali sistemi in generale presentano un'elevata complessità architettonica, siano essi in superficie o sotterranei infatti consentono lo spostamento in contemporanea di un elevato numero di persone, aventi diverse caratteristiche e necessità.

Le stazioni metropolitane in generale si sviluppano su diversi livelli e sono collegati da un sistema di scale fisse, ascensori e scale mobili. Sono suddivise tra una zona a cui si può accedere liberamente che è collegata alla strada, nella quale è possibile trovare le biglietterie automatiche o manuali ed anche zone di commercio, soprattutto per le stazioni di grandi dimensioni. Dall'area appena descritta si accede attraverso dei tornelli ad una zona che conduce ai treni, raggiungibile appunto solo per i possessori di un biglietto. L'accesso alla

stazione dalla strada avviene sempre mediante scale, scale mobili e ascensori e vi può essere anche un sistema di gallerie pedonali principalmente nelle stazioni più grandi. In base a quanto imposto dalla legge, le stazioni devono consentire alle persone con disabilità un accesso ed un uso senza avere la necessità di assistenza.

In una struttura di questo tipo, già nella quotidianità, al variare della dimensione e del numero di piani della stazione, può risultare difficoltoso muoversi ed orientarsi soprattutto per persone che non conoscono l'ambiente, a causa della complessità ambientale, dell'elevato numero di persone presenti contemporaneamente in determinati orari, anche se è presente un'elevata quantità di informazioni che indicano i percorsi da seguire e le direzioni da prendere per muoversi all'interno. Se già questo risulta difficoltoso in condizioni ordinarie, in caso di emergenza possono presentarsi ancora più difficoltà, proprio perché gli occupanti che possono trovarsi all'interno dell'ambiente e che possono essere coinvolte in una situazione di emergenza, sono numerose e presentano un'elevato numero di caratteristiche e necessità differenti che inoltre variano a seconda della tipologia di stazione, dei giorni e in base agli orari. Ogni stazione metropolitana, oltre a presentare una struttura spaziale differente che può ostacolare o agevolare il movimento degli occupanti al suo interno, in funzione della sua collocazione all'interno della città, vede la presenza di diverse tipologie di individui: si pensi ad esempio ad una stazione situata in prossimità di un ospedale e di una vicina ad un'università, gli individui presenti all'interno di quegli ambienti saranno diversi, con differenti caratteristiche e necessità. Questo varia ulteriormente considerando diverse giornate, come ad esempio giorni festivi o feriali, ma anche periodi dell'anno: inoltre è presente un'ulteriore diversificazione della tipologia di occupanti in una stessa stazione nella medesima giornata, in base ai vari orari.

La necessità di dover evacuare una stazione metropolitana sotterranea può avvenire per molteplici ragioni come ad esempio a causa di un incendio oppure a causa di un guasto elettrico su un treno. Anche se si potrebbe pensare che vi possa essere un'analogia con l'evacuazione di altri edifici così non è, proprio a causa dell'elevata complessità spaziale a cui possono essere associati percorsi d'esodo più lunghi rispetto ad edifici fuori terra ed inoltre anche la gestione della sicurezza antincendio può essere differente.

Un altro motivo per cui questo caso studio risulta interessante riguarda il rapporto che vi è tra persone con disabilità e trasporto pubblico: con l'aggiornamento del 2020 dell'ICF (International Classification of Functioning, Disability and Health), l'ambiente fisico e sociale viene considerato negli aspetti che definiscono la condizione dell'essere umano, insieme allo stato di salute, pertanto la prestazione di un soggetto è funzione della relazione tra l'individuo, con le proprie abilità e stato di salute e l'ambiente in cui vive. Volendo dunque soddisfare tale indicazione è necessario osservare diversi ambiti in cui il soggetto che presenta una limitazione può trovarsi tra cui vi è l'accessibilità dei trasporti pubblici.

In generale le stazioni metropolitane, come già accennato in precedenza, sono progettate al fine di consentirne l'accesso e l'utilizzo in autonomia da parte di persone con disabilità motoria, uditiva e visiva risultando dunque prive di barriere. Se quanto detto è vero per un utilizzo quotidiano della struttura, questo può non esserlo nel caso in cui ci si ritrovi in una situazione di emergenza in cui l'ambiente può trasformarsi sino a diventare incompatibile con le necessità di alcuni utenti.

Alcuni studi [10] dimostrano che in generale, nella vita quotidiana, il 19,7% delle persone con limitazioni funzionali gravi riferiscono di avere difficoltà nell'utilizzo di mezzi di trasporto pubblici e un numero

maggiore di utenti dichiara che la causa di tale difficoltà è da attribuirsi alle barriere ambientali più che ai motivi di salute.

È facilmente intuibile quindi l'importanza di stabilire la possibile la risposta che un utente con tali limitazioni può avere in caso di emergenza, in particolar modo in un ambiente che già normalmente può presentare degli ostacoli e delle difficoltà.

5.1. Stazione metropolitana di Torino

La Metropolitana di Torino è una metropolitana leggera composta da una sola linea che attualmente collega la città di Collegno sino a Piazza Bengasi a Torino. Con il termine metropolitana leggera si identifica un mezzo di trasporto veloce che si contraddistingue rispetto ad una metropolitana, poiché ha una capacità inferiore a causa della dimensione dei convogli, così come indicato all'interno della normativa di riferimento UNI 8379-2000.



Figura 5: linea 1 metropolitana di Torino

La linea è stata inaugurata nel 2006 in occasione dei Giochi olimpici invernali tenuti proprio nella Città di Torino. Si tratta di una metropolitana su gomma a guida automatica, costruita sulla tecnologia del sistema VAL (Veicolo Automatico Leggero).

Attualmente il percorso della linea è lungo 15,1 km e si compone di 23 stazioni di cui i due capolinea sono la stazione Fermo di Collegno e la Stazione Bengasi di Torino, ma vi sarà un prolungamento della linea di 3,4 km con un'aggiunta di 4 stazioni. La costruzione è avvenuta in fasi successive: il primo tratto che andava

da Fermi a Porta Nuova con un percorso di 9,6 km e 15 stazioni, il secondo da Porta Nuova a Lingotto per un totale di 6 stazioni e un percorso di 3,6 km aperta nel 2011 ed infine il prolungamento da Lingotto a Bengasi con l'aggiunta di due stazioni e 1,9 km di linea aperta nel mese di aprile 2021.

Il tempo necessario per percorrere tutta la linea è di circa 25 minuti con una frequenza di 2 minuti nell'orario di punta e circa 5 minuti negli altri orari, inoltre la distanza media tra ogni stazione è di circa mezzo chilometro pertanto il tempo di percorrenza tra una fermata e l'altra è di circa 60 secondi mentre il tempo stimato di fermata alle stazioni è di 15 secondi.

I treni in totale sono 29, ognuno composto da due veicoli bidirezionali VAL 208, lunghi ognuno 26 metri e larghi 2,08 metri costituiti da due vetture tra loro collegate. La lunghezza totale dei treni di 52 metri e ogni vettura presenta tre porte su ogni lato, per un totale di 12. Può ospitare un massimo di 440 persone per treno, anche se attualmente la capienza è ridotta di circa l'80% a causa dell'emergenza Covid-19.

Tutte le stazioni ad eccezione di quella di Porta Nuova e quella di Porta Susa – XVIII Dicembre presentano una composizione spaziale analoga. Si accede dal piano stradale esterno mediante due ingressi che presentano scale fissi e mobili e un ascensore che consente l'ingresso in autonomia a persone con limitazioni fisiche. Dall'esterno si raggiunge un atrio ad accesso libero in cui sono presenti le biglietterie automatiche e i tornelli superati i quali, attraverso i quali mediante un sistema di scale, scale mobili e ascensori si raggiungono le due banchine, dalle quali si accede ai treni. L'accesso ai treni avviene mediante delle porte automatiche che si aprono in corrispondenza delle porte dei treni quando questi sono fermi in stazione. All'interno della stazione non sono presenti esercizi commerciali e bagni, pertanto oltre alle banchine e all'atrio di ingresso non vi sono aree in cui può esserci il rischio di trovare un numero elevato di persone ferme intente a eseguire qualche altra attività.

Tutte le stazioni presentano elementi necessari al fine di rendere accessibile gli ambienti a persone con disabilità, anche in autonomia. Per farlo all'interno della stazione sono presenti i seguenti elementi: ascensori con pulsantiera dedicata che collegano tutti i piani della stazione dal piano strada, tornelli per l'accesso e l'uscita per persone con disabilità motorie e visive, segnaletica tattile a pavimento per l'identificazione dei percorsi da seguire da parte di persone non vedenti e ipovedenti, indicazioni in Braille su diversi elementi, sistema di altoparlanti per la diffusione di messaggi e pulsanti per la richiesta di assistenza.

5.1.1 Stazione metropolitana – Italia 61

Il caso studio in oggetto è la stazione metropolitana Italia '61 collocata nella parte sud-est della città, nello specifico in via Nizza in prossimità dell'area in cui vi è la costruzione del palazzo della Regione Piemonte, la cui apertura è avvenuta nel mese di aprile del 2021. Attualmente la zona in cui si trova la stazione è prevalentemente di tipo residenziale ma sta subendo un processo di riqualificazione che vede la conclusione dei lavori al grattacielo e la realizzazione del Parco della salute con il possibile futuro collegamento con la rete ferroviaria e nello specifico con la stazione Torino-Lingotto.



Figura 6: stazione metropolitana oggetto di studio

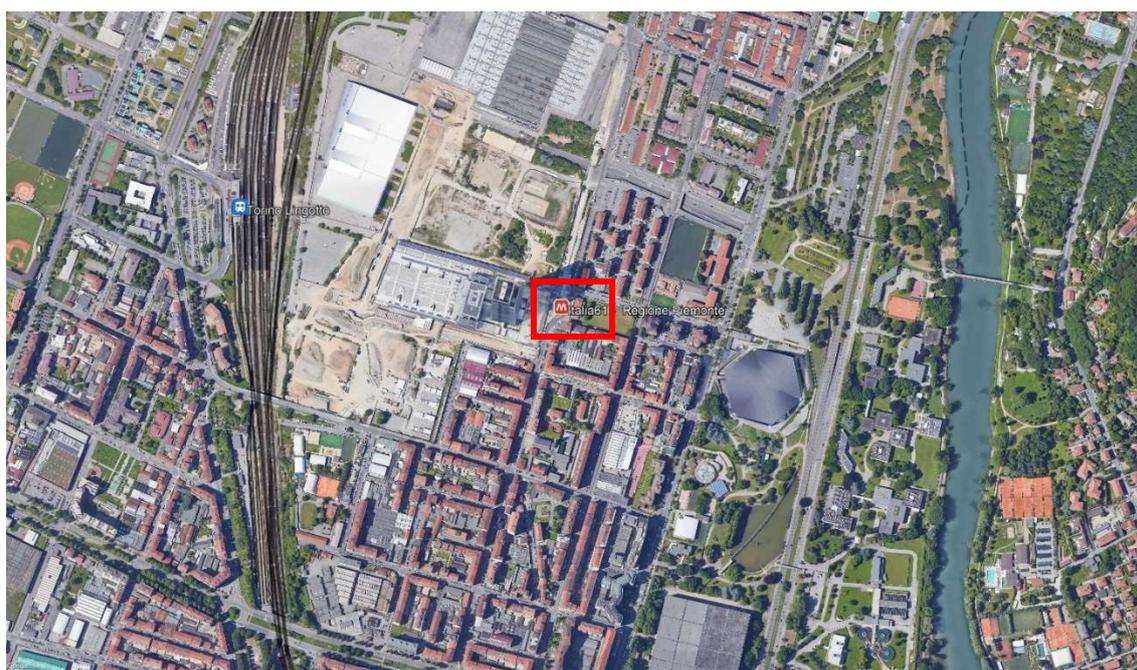


Figura 7: localizzazione stazione metropolitana oggetto di studio

La stazione metropolitana Italia 61 presenta una composizione spaziale analoga alle altre stazioni della linea.

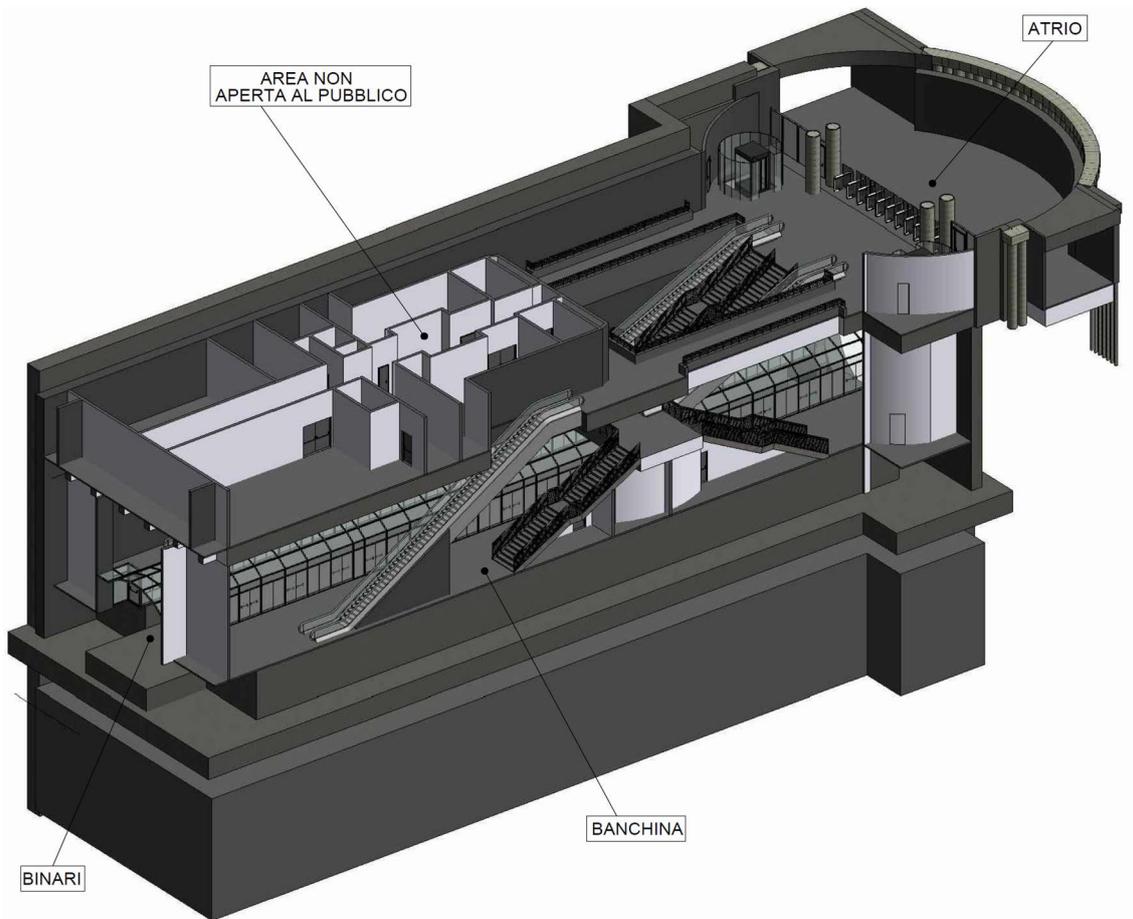


Figura 8: 3D stazione metropolitana

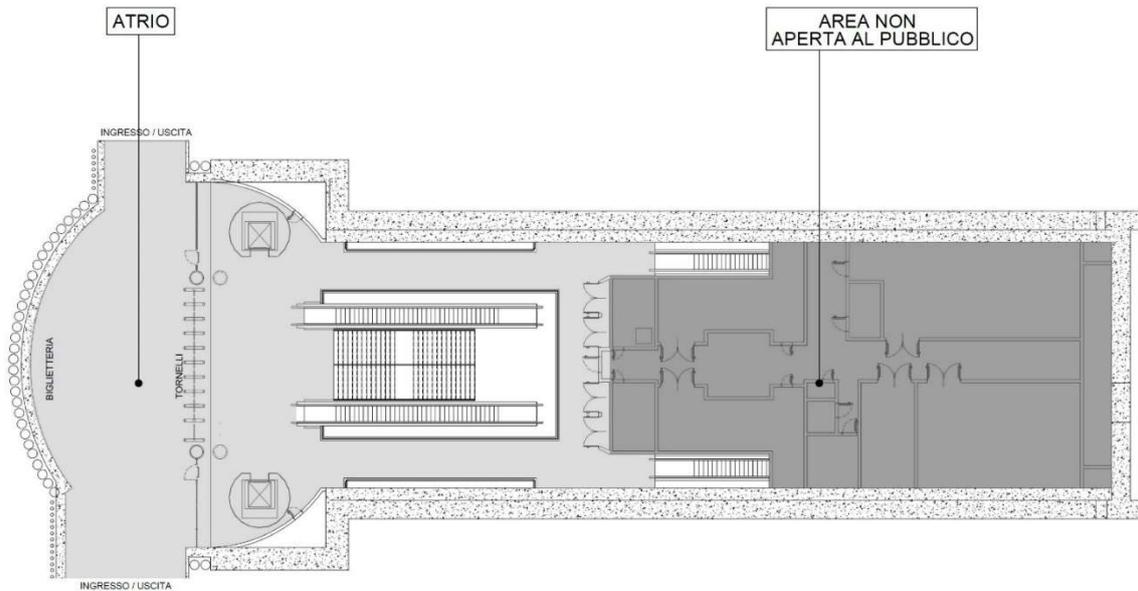


Figura 9: pianta atrio

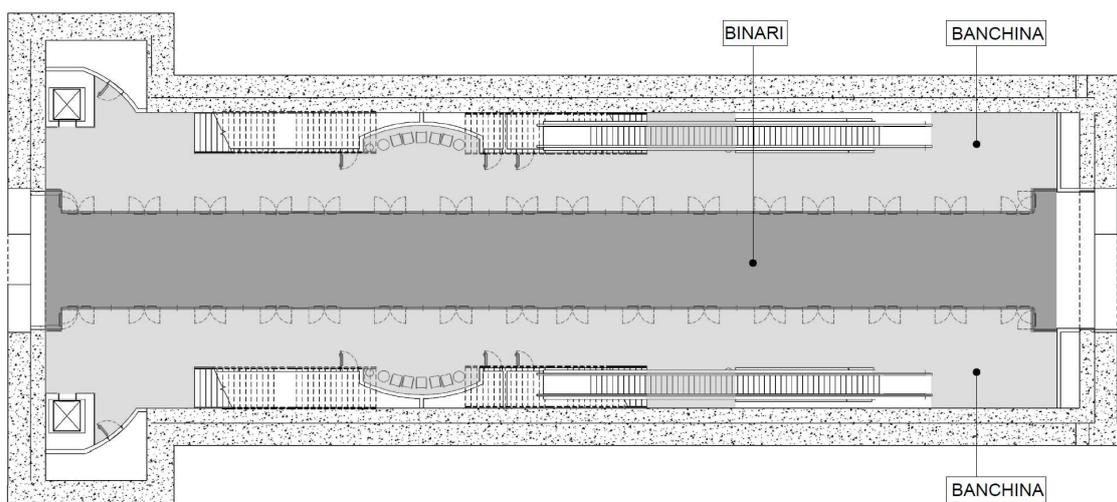


Figura 10: pianta banchine e binari

Presenta un atrio da cui si accede liberamente mediante l'utilizzo di due rampe di scale, delle scale mobili che in condizioni ordinarie hanno due sensi di percorrenza e un ascensore: all'interno di questa area si trovano le biglietterie automatiche e il varco di accesso/uscita all'area per il raggiungimento dei binari con i tornelli automatici, di cui due riservati a persone con disabilità motorie e visive.

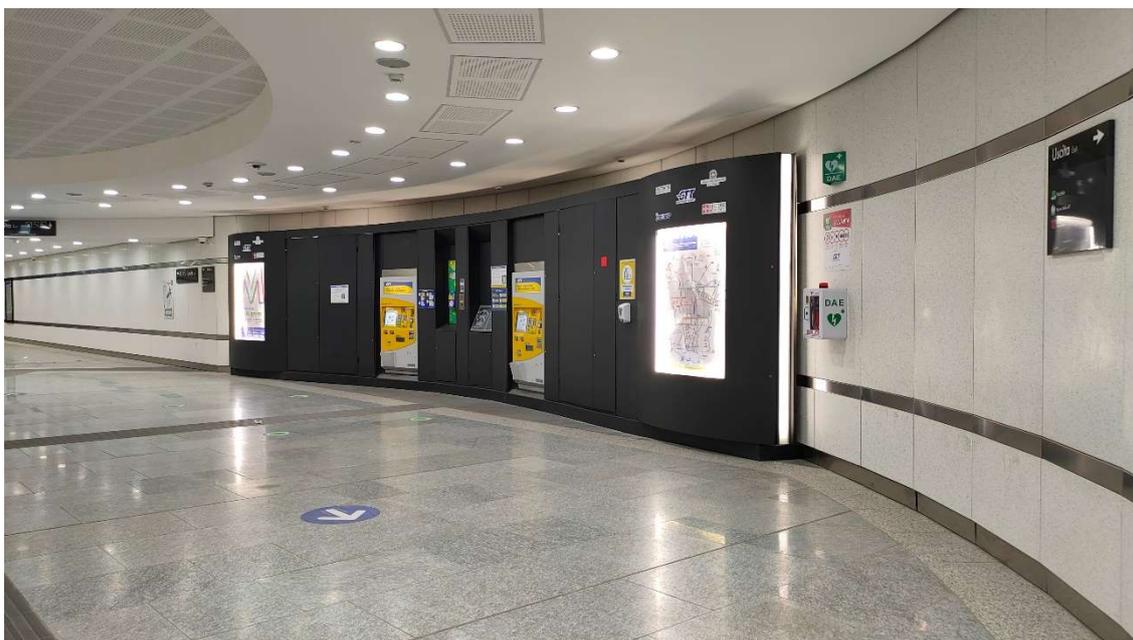


Figura 11: atrio ad accesso libero, biglietterie automatiche

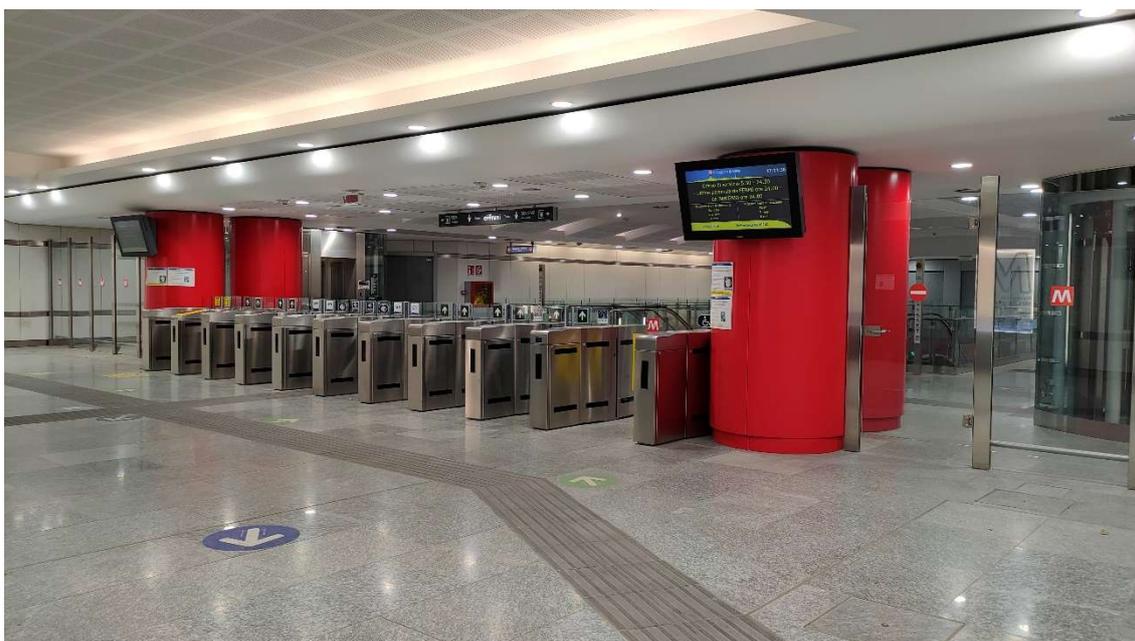


Figura 12: tornelli

Superati i tornelli vi è un'area composta da percorsi che consentono il raggiungimento delle banchine che si trovano due piani sotto quello dell'atrio. Anche in questo caso ci sono diverse rampe di scale, alcune scale mobili e due ascensori.

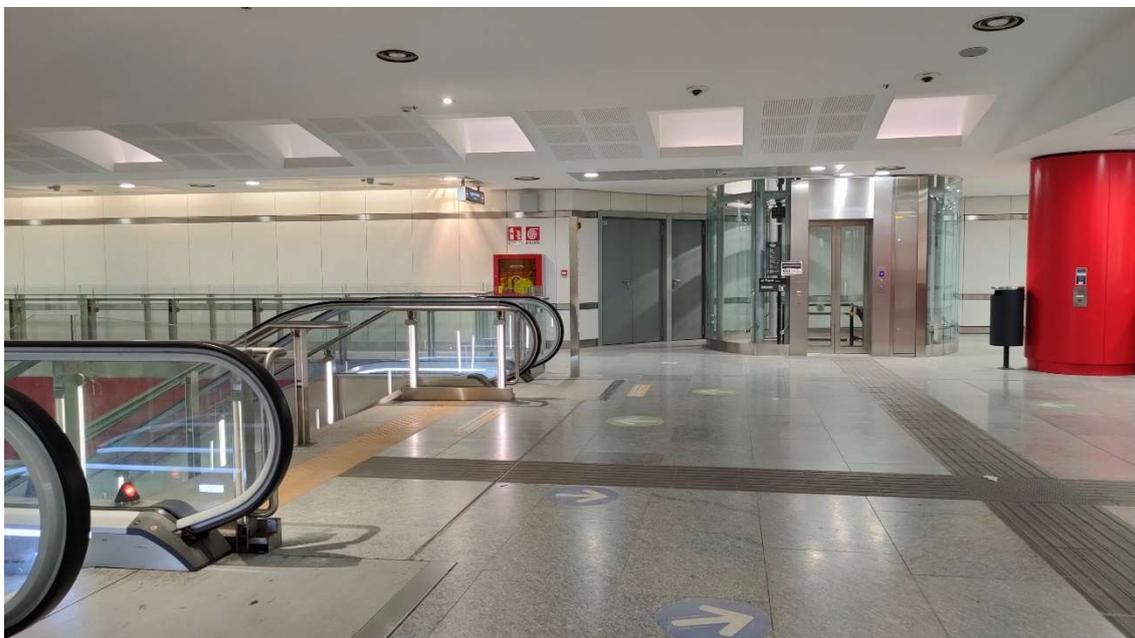


Figura 13: atrio

Le banchine da cui si accede ai treni sono due, una per ogni senso di marcia del treno. Queste sono separate dai binari da una parete con porte automatiche che si aprono nel momento in cui il treno è fermo in stazione.

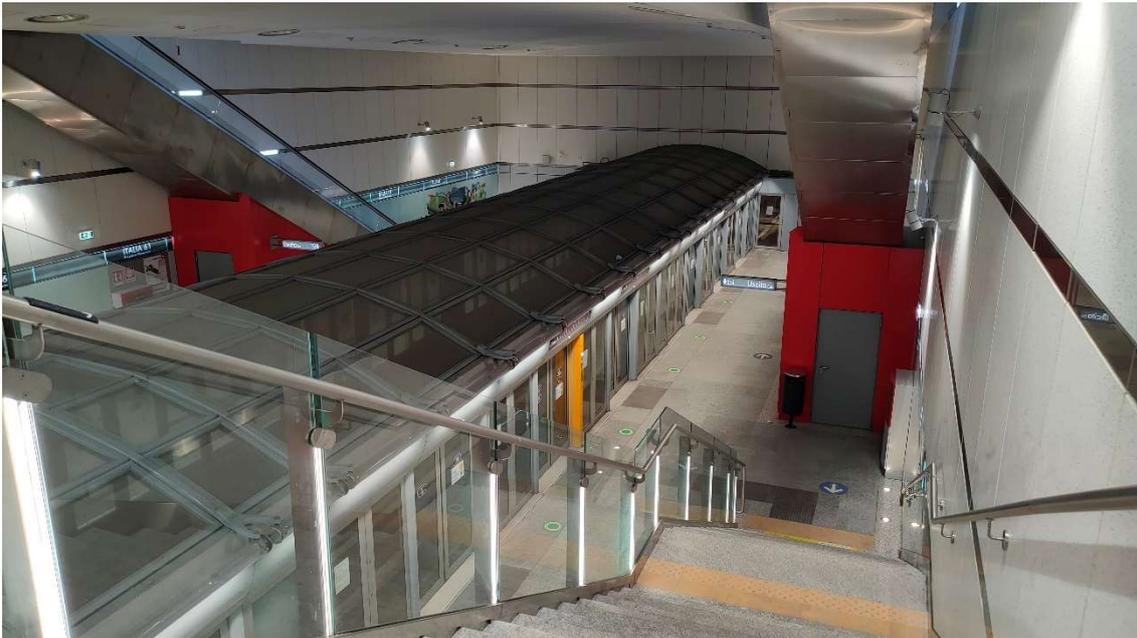


Figura 14: banchine e binari

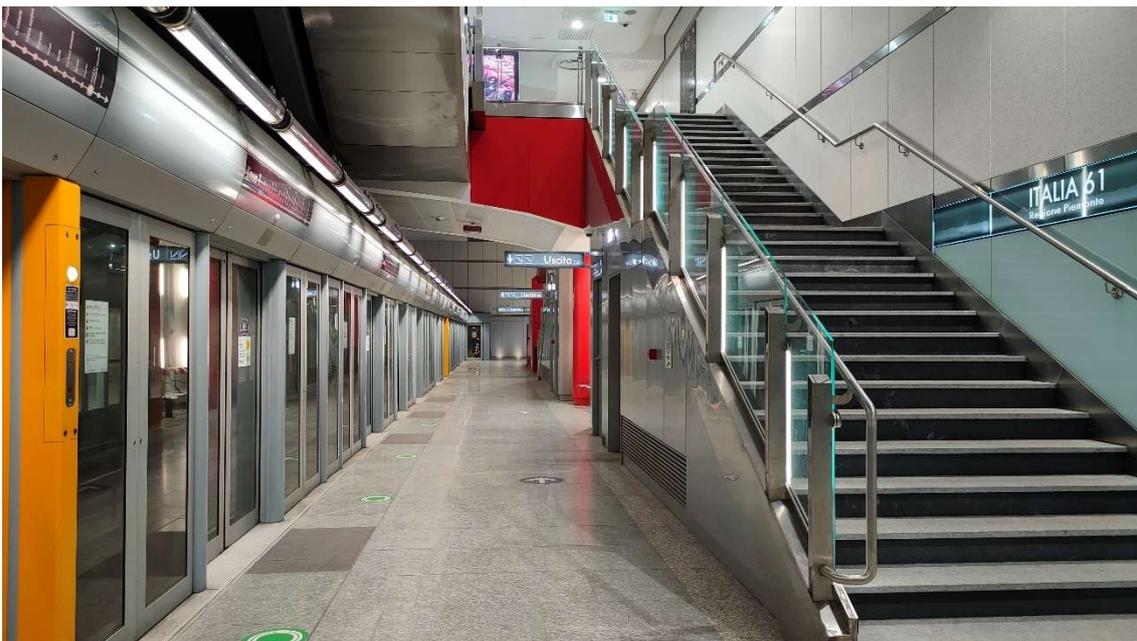


Figura 15: banchina

5.2. Profili degli utenti

Al fine di poter realizzare delle simulazioni quanto più vicine alla realtà, il primo passo, dopo aver determinato l'edificio da analizzare, riguarda l'individuazione degli occupanti che è possibile trovare all'interno dell'ambiente.

Questo procedimento si compone di due fasi:

- la definizione della tipologia di occupanti da un punto di vista qualitativo, eseguendo una distinzione in base alle caratteristiche degli occupanti siano esse di tipo fisico, culturale o comportamentale;
- la definizione quantitativa di ogni tipologia individuata al punto precedente.

5.2.1 Tipologia di occupanti

Prendendo come caso studio un luogo di transito, nello specifico una stazione metropolitana, la profilazione degli utenti è una fase che richiede molta attenzione. Poiché l'obiettivo è rendere misurabili i fattori che sono stati analizzati in modo qualitativo e che influiscono sul comportamento tenuto dagli occupanti in una situazione di emergenza, valutare nel modo più completo possibile le tipologie di occupanti che usufruiscono degli spazi della metropolitana ed effettuare una stima delle quantità, è essenziale per l'esecuzione delle simulazioni.

Pertanto per rappresentare nel migliore dei modi l'eterogeneità della popolazione all'interno dell'ambiente preso in analisi, è importante indicare per le varie tipologie di utenti e la quantità in percentuale sul totale degli occupanti.

Questa fase di ricerca è condotta analizzando articoli che a loro volta sono frutto di dati raccolti da simulazioni reali o dalla diretta osservazione degli utenti presenti in stazioni metropolitane, mentre per i profili che non erano individuabili, si è fatto riferimento a indagini statistiche.

È stata eseguita una prima distinzione separando gli utenti privi di disabilità dagli utenti con limitazioni funzionali: in seguito i primi sono stati differenziati in base a fasce d'età mentre gli utenti con disabilità sono stati distinti in base al tipo di limitazione, se motoria, uditiva, visiva o cognitiva.

Ognuna di queste tipologie presenta poi una serie di caratteristiche che in base alla loro presenza possono influire sul singolo occupante: nonostante questo sono elementi che possono esserci in ogni tipologia di utenti e pertanto sono inseriti come fattori in comune a tutti.

La difficoltà in questa fase risiede nell'individuare tutte le possibili tipologie di occupanti e di comprendere quali caratteristiche influiscano maggiormente sul comportamento tenuto, in quanto ogni tipologia può presentare molteplici caratteristiche che possono influire durante la fase di esodo. A titolo esemplificativo si può ipotizzare la presenza di un occupante straniero con una disabilità visiva, il quale, anche in presenza di un sistema di diffusione di messaggi di emergenza con altoparlante, avrà difficoltà nella comprensione del messaggio poiché sarà in una lingua a lui non nota.

Si sono dunque ricavati le seguenti tipologie di utenti:

- Utente standard
- Anziano
- Bambino
- Utente con disabilità motoria
- Utente con limitazione funzionale della vista
- Utente con limitazione funzionale dell'udito
- Utente con limitazioni cognitive

Per ogni tipologia sono state individuate le seguenti caratteristiche:

Utenti privi di disabilità		
Tipologia	Caratteristiche	
<i>Utente standard</i>	età compresa tra 15 e 64 anni	<ul style="list-style-type: none"> • uomo / donna • con o senza conoscenza della lingua • stato di veglia • con/senza familiarità • da solo, in famiglia, in gruppo • con oggetto (valigia, passeggino, ecc..)
<i>Anziano</i>	età superiore a 65 anni	
<i>Bambino</i>	età inferiore a 14 anni	

Tabella 1: tipologie di utenti privi di disabilità

All'interno della *Tabella 1* è stata fatta una differenziazione in base all'età poiché a questo corrispondono delle distinzioni di tipo fisico come le dimensioni o la velocità di movimento, mentre nella terza colonna sono state inserite tutte le caratteristiche che hanno in comune le tre tipologie di utenti, al variare delle quali si può avere un differente comportamento dell'occupante.

Il genere, ossia il fatto che l'occupante sia donna o uomo, è un fattore che può influire sul comportamento durante un'emergenza, anche se accade principalmente quando si osservano casi di edifici residenziali dove può accadere che si cerchi di intervenire per estinguere l'incendio, cosa che tende a fare l'uomo, mentre la donna ha la propensione a mettersi in salvo insieme alla famiglia. Oltre a questo a livello fisico è riconosciuta una variazione nella velocità di movimento, che interessa maggiormente i tempi impiegati l'esodo in sé.

La conoscenza della lingua è collegata alla nazionalità dell'occupante, che sia residente in Italia o che si trovi in modo temporaneo nel paese: trattandosi di una stazione metropolitana è molto probabile che questa venga utilizzata anche da turisti per spostarsi all'interno della città, anche se la stazione presa come caso studio è collocata in un'area residenziale attualmente poco turistica. Questo dunque incide sulla capacità di comprensione dei sistemi di segnalazione di un'emergenza e della segnaletica presente, agendo sia nella fase di riconoscimento che in quella di risposta.

Lo stato di veglia è una condizione che si ipotizza per tutte le categorie poiché si tratta di un luogo di transito, anche se questo potrebbe non essere vero per bambini di una certa età all'interno di passeggini, cosa che però non influirebbe in quanto accompagnati da almeno un adulto.

Con riferimento ai bambini vi è un'elevata possibilità che questi siano accompagnati da un genitore o in generale un adulto che ne è responsabile, come ad esempio un insegnante. Vi è anche la possibilità però che vi siano ragazzini di età compresa tra gli 11 e i 14 anni che utilizzino la metropolitana da soli o in gruppo. Inoltre, anche il paese di origine può influire su questo aspetto in quanto i bambini provenienti da paesi di diversa nazionalità, in base anche a loro vissuto, potrebbero muoversi maggiormente in autonomia.

La presenza o meno di familiarità è uno dei fattori maggiormente noti quando si tratta questo tema, in quanto influisce notevolmente sul comportamento degli occupanti, sia in modo positivo che negativo: ad esempio un individuo che non frequenta abitualmente il luogo potrebbe avere una maggiore tendenza a seguire il percorso utilizzato per entrare all'interno dell'ambiente poiché sarebbe l'unico a lui noto.

Per ogni tipologia di utente si ha poi la possibilità che questi si trovino da solo, con la famiglia o con un gruppo di persone, conosciute o meno. In base a questo il comportamento tenuto potrà variare, proprio a causa delle caratteristiche sociali.

Utenti con disabilità		
Tipologia	Caratteristiche	
<i>Difficoltà motoria</i>	<ul style="list-style-type: none"> • con carrozzina o altro ausilio • con/senza accompagnatore 	<ul style="list-style-type: none"> • età • uomo / donna • con o senza conoscenza della lingua • stato di veglia • con/senza familiarità • da solo, in famiglia, in gruppo • con oggetto (valigia, passeggino, ecc...)
<i>Limitazioni funzionali (vista)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • con/senza bastone • con/senza cane guida • con senza accompagnatore 	
<i>Limitazioni funzionali (udito)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • con/senza apparecchio acustico 	
<i>Cognitive</i>		

Tabella 2: tipologie di utenti con disabilità

All'interno della *Tabella 2*, come in quella prima, sono state distinte le tipologie di utenti riportando le caratteristiche delle singole tipologie e quelle in comune tra tutte, anche se in questo caso la distinzione non è stata fatta in base all'età ma al tipo di disabilità, in quanto tra tutte è indubbiamente la caratteristica che influisce maggiormente sugli occupanti, sia da un punto di vista fisico, legato alla geometria dell'occupante e alla velocità di movimento, sia sul comportamento tenuto durante l'emergenza.

Per ogni disabilità sono state riportate all'interno della tabella sia gli elementi che caratterizzano ogni tipologia sia quelli che sono in comune.

Un discorso a parte deve essere fatto per quanto riguarda le disabilità cognitive poiché si tratta di una tipologia di utenti che presentano una limitazione a livello cognitivo e pertanto possono avere difficoltà nel riconoscimento di una situazione di emergenza e nel capire come agire. Questi utenti possono presentare anche attacchi di panico, comportamenti aggressivi o irrazionali, con un atteggiamento non collaborativo nei confronti di chi tenta di prestargli soccorso: proprio per tale motivo in molti testi si analizza la formazione dei soccorritori, al fine di dare gli strumenti adatti per affrontare correttamente queste situazioni. È anche importante osservare che questo tipo di disabilità alcune volte non è visibile in quanto non vi sono elementi fisici che evidenzino tale disabilità, per questo può risultare difficile riconoscerla.

5.2.2 Quantificazione degli occupanti

Una volta definita le tipologie di utenti che possono trovarsi all'interno di una stazione metropolitana, deve essere valutata la quantità di occupanti presenti, per ogni tipologia individuata.

Trattandosi di un luogo di transito è facilmente intuibile che la quantità di persone all'interno dell'ambiente non è costante ma varia notevolmente a seconda del luogo in cui si trova, dei giorni e delle ore della giornata che si analizzano. È molto probabile infatti che una stazione che si trova nel centro della città o nelle

vicinanze di un ospedale o di un'università, analizzando ad esempio una giornata feriale, presenti un affollamento maggiore rispetto ad altre stazioni, cosa che potrebbe variare osservando una giornata festiva o un diverso periodo dell'anno.

Per poter valutare la quantità di occupanti distinguendoli sulla base delle caratteristiche utilizzate per definirne le varie tipologie, si è fatto uso di dati statistici e valutazioni il loco.

Il numero di passeggeri che ogni giorno utilizza la metropolitana di Torino è pari a circa 155.000 in un giorno feriale e 66.000 per uno festivo, ma le stazioni che risultano maggiormente frequentate sono Porta nuova e XVIII dicembre.

Dai dati Istat [10] è stato possibile ricavare la ripartizione della popolazione di Torino tra uomini e donne, nelle diverse fasce d'età per l'anno 2020: in totale il 47,7% della popolazione della città di Torino è di genere maschile, mentre la restante parte di genere femminile.

In quel documento è inoltre possibile osservare che la percentuale di occupanti con un'età inferiore ai 14 anni è pari all'11,8% della popolazione mentre il 26% ha un'età superiore ai 65 anni. Osservando i dati riportati sul Geoportale del territorio è possibile trovare una conferma della percentuale di uomini e di donne anche per la zona in cui si trova la stazione presa in esame, ossia Millefonti-Nizza, dove per l'anno 2020 si sono contati 7071 donne e 6391 uomini.

Altri dati che sono stati ricavati riguardano la nazionalità dei residenti nella città, ed in particolare il numero di stranieri residenti e la relativa nazionalità.

Nell'anno 2020 il numero di cittadini stranieri residenti a Torino era pari a 123.659, ossia il 14,4% della popolazione totale. I paesi di provenienza sono molteplici, tuttavia la comunità più numerosa proviene dalla Romania, con il 37,7%, seguita dal Marocco e dalla Repubblica Popolare Cinese [30].

Sempre analizzando i dati del Geoportale è stato osservato che per l'area Millefonti-Nizza, il numero di residenti stranieri nell'anno 2020 era pari a 2567, che se confrontato con il numero totale di residenti risulta essere una percentuale maggiore rispetto a quella della città, ovvero pari al 16% della popolazione.

Un dato che sarebbe interessante conoscere ma di difficile determinazione è relativo alla percentuale di residenti stranieri in grado di riconoscere un segnale d'allarme o una comunicazione vocale poiché in grado di capire la lingua italiana o quella inglese.

Oltre agli stranieri residenti a Torino, un'altra categoria di persone che non si può trascurare principalmente se si tratta il tema di luoghi di transito come le stazioni metropolitane sono i turisti stranieri in quanto vi è l'elevata possibilità che non conoscano la lingua e le modalità di gestione di un'emergenza, in quanto potrebbero differire dalle loro abitudini.

Non sono state trovate informazioni relative al numero di turisti stranieri per la città di Torino, ma la sola informazione che si è riuscita a ricavare è che su 436,7 milioni di presenze totali in Italia, circa 3,63 milioni di presenze sono state a Torino (con il termine presenze si indicano il numero di notti trascorse e non il numero di turisti) [29]. Inoltre ogni anno sul numero totale di turisti in Italia circa la metà provengono da un altro paese: per tale motivo facendo una proporzione sulla base dei dati Italiani si può ipotizzare che i turisti stranieri che visitano la città di Torino ogni anno sono approssimativamente 540 mila. Nonostante la conoscenza di questo dato, non vi è un riscontro sul numero di turisti che utilizzano mezzi pubblici ed in particolare la metropolitana.

Per quanto riguarda i dati relativi a soggetti che presentano delle disabilità, siano esse motorie, funzionali, o cognitive, è difficile trovare informazioni ufficiali per le singole città che riportino delle quantità attendibili e non sommarie, ed è ancora più difficile effettuare uno studio incentrandosi sulle stazioni metropolitane. Nonostante questo è fondamentale riuscire a determinare dei dati quanto più vicini alla realtà poiché le situazioni in cui vi è un'emergenza comportano dei rischi in generale per tutti i soggetti, ma in particolar modo per le persone con disabilità che possono avere difficoltà a rispondere in modo efficace a tali situazioni: da alcuni studi è emerso che il tasso di mortalità per persone con disabilità è più del doppio rispetto al resto della popolazione.

Proprio per la difficoltà nella determinazione di questi dati, le uniche informazioni che si sono riuscite a ricavare risalgono a diversi anni tra il 2013 e il 2017 [10], che prendono in analisi tutto il contesto nazionale. Inoltre, siccome la disabilità non riguarda solamente le limitazioni personali, ma anche come queste si interfacciano con l'ambiente in cui si vive, sarebbe errato prendere in considerazione delle stime relative alle sole limitazioni della persona siano esse motorie, visive, uditive o cognitive. Si sono pertanto analizzati i dati relativi all'utilizzo dei trasporti urbani da parte di persone con e senza limitazioni funzionali, emergono importanti differenze: solamente il 13% della popolazione che presenta disabilità si sposta con mezzi pubblici urbani a fronte del 25% per persone senza alcuna limitazione.

Questi valori considerano in generale il trasporto pubblico e volendo dettagliare maggiormente questi valori, oltre ai mezzi di trasporto privati come l'automobile, utilizzata dal 67,2%, il treno, il tram e bus, la metropolitana vengono utilizzate rispettivamente da circa il 5,2%, il 5,1% e il 2,4% della popolazione che presenta gravi limitazioni funzionali per raggiungere quotidianamente il luogo di lavoro.

Al fine di un'analisi più completa sarebbe stato utile trovare informazioni anche relative alle diverse tipologie di disabilità correlate al trasporto pubblico, ma per quanto detto in precedenza non sono stati trovati dati così specifici.

Per sopperire alle mancanze dei dati ricavati da indagini statistiche, si è ricorso all'utilizzo di un articolo dell'anno 2020 [21], in cui sono stati riportati i dati relativi ad uno studio condotto in alcune stazioni metropolitane, in diverse ore della giornata con lo scopo di registrare l'affluenza all'interno della stazione, facendo una distinzione in base alla tipologia di occupanti.

Di seguito si riportano i dati ricavati dalle osservazioni eseguite in diversi giorni in tre fasce orarie, dove sono stati inseriti i valori assoluti, ossia il reale numero di persone presenti, e la percentuale ad essi associata.

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

Figura 16: percentuale dei profili degli occupanti [21]

Dai dati ricavati in modo statistico sono state estrapolate le seguenti considerazioni:

- il 62,2% della popolazione di Torino presenta un'età compresa tra i 15 e i 64 anni di cui il 47,7% sono uomini e il 52,3% sono donne, percentuale che risulta rispettata anche considerando l'area in cui è collocata la stazione
- il 26% della popolazione ha un'età superiore ai 64 anni
- l'11,8% della popolazione ha un'età inferiore ai 14 anni, di cui il 3,6% è compreso tra 0 e 4 anni
- il 14,4% dei residenti a Torino sono stranieri, di cui circa il 96% ha meno di 65 anni, mentre nella zona interessata la percentuale sale a circa il 16%
- il 46% degli adulti presenta uno stato di obesità
- il 13% della popolazione che presenta disabilità si sposta con mezzi pubblici urbani, ma solo il 2,4% utilizza la metropolitana

Dalle osservazioni condotte nelle stazioni metropolitane invece si sono ricavati in media i seguenti valori:

- il 93,8% delle persone all'interno della stazione sono stati classificati come utenti standard, di cui il 17,4% erano utenti che si trovavano in gruppi minimo di 4 persone, lo 0,9% erano utenti che avevano una valigia
- l'1,8% era composto da utenti anziani
- l'1,9% erano utenti con bambini, di cui lo 0,6% avevano un passeggino
- il 2,5% erano gli utenti con disabilità di cui 0,5% su sedia a rotelle, l'1,1% con l'utilizzo di ausili per il movimento, lo 0,2% erano non vedenti o ipovedenti, lo 0,2% erano utenti non udenti e lo 0,5% utenti con disabilità cognitive

Questi valori sono stati considerati come media di diversi giorni in vari orari, in quanto ai fini delle simulazioni era necessario avere una profilazione degli utenti ed una quantificazione: nonostante questo dalla *Figura 16* si conferma quanto asserito in precedenza, ovvero che il giorno e l'orario sono dei fattori che non possono essere trascurati perché influiscono sulla tipologia e la quantità di occupanti e di conseguenza sul loro comportamento.

È possibile osservare che dalle rilevazioni condotte nelle stazioni metropolitane [21] i valori variano rispetto a quanto riportato a livello statistico e grazie a questo possono essere fatte le seguenti considerazioni: la percentuale di utenti anziani che utilizzano la metropolitana è molto bassa a fronte del numero di persone sopra i 65 anni di età che risiedono nella città, anche il numero di utenti con bambini è ridotto rispetto alla quantità di persone con un'età inferiore ai 14 anni mentre è stata confermata la percentuale di utenti con disabilità. Quindi è possibile dire che il mezzo di trasporto è frequentato per la maggior parte da utenti con età compresa tra i 15 e i 65 anni, di cui una piccola percentuale con bambini, mentre la percentuale di utenti anziani e con limitazioni funzionali e motorie è molto bassa.

I valori ricavati da indagini statistiche sono stati quindi confrontati con le osservazioni eseguite nelle stazioni metropolitane, ricavandone quanto segue:

UTENTI	Valori percentuale	
<i>Standard uomo</i>	95,7%	29%
<i>Standard donna</i>		32,4%
<i>Utenti in gruppo</i>		17,4%
<i>Utenti stranieri</i>		13,5%
<i>Utenti con bambini</i>		1,9%
<i>Utente con passeggino</i>		0,6%
<i>Utente con valigia</i>		0,9%
<i>Utente anziano</i>	1,8%	
<i>Utente in sedia a rotelle</i>	0,5%	
<i>Utente con bastone o altri ausili</i>	1,1%	
<i>Utente non vedente</i>	0,2%	
<i>Utente non udente</i>	0,2%	
<i>Utente con disabilità cognitive</i>	0,5%	
<i>Totale</i>	100%	

Tabella 3: percentuale profili occupanti

Non avendo eseguito osservazioni dirette in questa stazione metropolitana non è possibile indicare con certezza l'affollamento effettivo dell'ambiente in vari giorni e in diversi orari, la sola cosa che si può osservare riguarda l'andamento dell'affollamento per le diverse giornate, che però non risulta necessario ai fini di questo studio.

Pertanto per l'esecuzione delle simulazioni d'esodo mediante software, anziché prendere i valori assoluti ricavati dalle osservazioni in quanto si riferiscono ad altre stazioni metropolitane, ci si riferisce all'affollamento massimo che viene riportato all'interno della normativa di riferimento per le metropolitane. Il D.M. 21 ottobre 2015 riporta la "*Regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane*". All'interno della normativa al Capo IV ed in particolare al paragrafo IV.3, viene riportato l'affollamento ipotizzabile per ciascuna area della stazione metropolitana, per cui risulta:

- per i treni è pari a 4 persone/m² calcolato sulla superficie lorda interna di ogni vagone diminuita del 10 %;
- per la banchina è pari a 1 persona/m², per stazioni di transito;
- nell'atrio e nelle aree tra i tornelli e le banchine è pari a 0,1 persone/m².

L'affollamento massimo in una banchina è dunque pari alla somma dei primi due valori riportati. L'area da prendere in considerazione per il calcolo dell'affollamento è pari al prodotto della lunghezza della banchina per la larghezza utile ridotta di 20 cm.

Nella seguente tabella si riportano le superfici utilizzate per il calcolo del numero massimo di occupanti presenti nelle rispettive aree, in base all'affollamento prima riportato.

Luogo	Superficie [m ²]
<i>Atrio</i>	780
<i>Banchina</i>	148
<i>Treno</i>	82,8

Tabella 4: dimensione delle aree accessibili

La superficie dell'atrio e delle aree che collegano l'atrio alla banchina è pari a circa 780 m².

La larghezza utile della banchina è invece pari a 3,1 m che deve essere ridotta di 20 cm ed è lunga circa 51 m, pertanto l'area di una banchina è pari a 148 m².

I treni della stazione metropolitana di Torino sono composti da 4 vagoni per un totale di 52 metri di lunghezza e una larghezza di 2,08, con una superficie utile di 92 m², che ridotta del 10 % risulta pari a 82,8 m² per treno.

In funzione dell'affollamento ricavato da normativa sono stati determinati il numero di utenti.

Luogo	Numero utenti
<i>Atrio</i>	78

<i>Banchina</i>	148
<i>Treno</i>	332

Tabella 5: numero occupanti per ogni area

Una volta determinato il numero di individui per ogni area della stazione metropolitana, utilizzando le percentuali della *Tabella 3*, viene ricavata la quantità di occupanti per ogni tipologia di utenti.

UTENTI	Atrio	Banchine	Treni
<i>Standard uomo</i>	24	96	212
<i>Standard donna</i>	27	104	234
<i>Utenti in gruppo</i>	14	51	116
<i>Utenti stranieri</i>	8	25	56
<i>Utenti con bambini</i>	1	4	8
<i>Utente con passeggino</i>	1	2	4
<i>Utente con valigia</i>	1	2	6
<i>Utente anziano</i>	2	5	12
<i>Utente in sedia a rotelle</i>	1	2	4
<i>Utente con bastone o altri ausili</i>	1	3	8
<i>Utente non vedente</i>	1	1	2
<i>Utente non udente</i>	1	1	2
<i>Utente con disabilità cognitive</i>	1	2	4
<i>Totale</i>	83	297	668

Tabella 6: numero utenti nelle diverse aree della stazione

All'interno della *Tabella 6* sono stati determinati il numero di occupanti considerando la superficie dell'atrio e delle aree di passaggio che conducono alle banchine, l'area delle due banchine e due treni. Nonostante questo all'interno delle simulazioni che verranno eseguite come numero di occupanti nelle aree dei treni e delle banchine verrà considerato l'affollamento di un solo treno: questa scelta è stata fatta in quanto la probabilità che vi sia in contemporanea la presenza di due treni nella stazione, con massimo affollamento è bassa ed inoltre ai fini di quanto vuole essere dimostrato mediante l'esecuzione di tali simulazioni, non risulta necessario l'inserimento del massimo numero di utenti.

5.3. Segnalazione, segnaletica e gestione dell'emergenza

Volendo dimostrare come la corretta valutazione del comportamento degli occupanti di un ambiente in una situazione di emergenza, influisca sulle simulazioni condotte per la progettazione dell'esodo, è necessario riuscire a tradurre in elementi quantificabili tutte le valutazioni fatte in una prima fase in modo qualitativo. Tra gli elementi che concorrono alla definizione della risposta di un singolo occupante vi sono i fattori di tipo ambientale, quelli individuali e sociali ed è ormai ben chiaro che non è possibile valutarli individualmente ma sono tutti connessi tra loro.

Per eseguire le simulazioni dunque è necessario ipotizzare di variare almeno un elemento tra quelli descritti in precedenza, consentendo di stabilire come varia la risposta degli occupanti, in base alle valutazioni precedenti.

Pertanto si è scelto di modificare per ogni simulazione la tipologia di segnalazione dell'allarme, la gestione dell'emergenza con la presenza o l'assenza di personale formato all'interno dell'ambiente e la segnaletica, prevedendo una serie di configurazioni.

Lo step successivo consiste nel comprendere come la variazione di questi elementi influisca sulle varie tipologie di occupanti, nello specifico sulla fase di riconoscimento dell'emergenza e della fase di risposta, proprio perché ogni elemento è in grado di agire sul comportamento dell'occupante in queste fasi.

Il modo migliore per individuare l'influenza che hanno questi sistemi e la gestione dell'emergenza su ogni tipologia di occupante, è quella di definire il grado di difficoltà che presenta ciascun profilo di utenti nel riconoscimento o nella risposta, indicandone la motivazione.

5.3.1 Modalità segnalazione allarme

La segnalazione dell'allarme ha lo scopo di avvisare l'occupante di una situazione di pericolo in modo tale che si possa procedere con l'esodo. Questo fattore dunque, in generale agisce sulla fase di riconoscimento, ma se si tratta di sistemi più complessi, comprensivi di altoparlante per la diffusione di messaggi vocali, questo può avere un'influenza anche nella fase di risposta in quanto è possibile che vengano fornite indicazioni su come procedere per l'esodo.

Inoltre il sistema di segnalazione ha una rilevante importanza per gli occupanti che presentano una condizione di disabilità: un sistema più completo con diverse modalità di segnalazione risulta maggiormente inclusivo consentendo a tutti di riconoscere l'emergenza.

Vi sono numerosi sistemi di segnalazione, ma quelli che si ritrovano più frequentemente e che è anche possibile trovare all'interno del caso studio sono i seguenti:

- sistema acustico a tono
- sistema acustico vocale
- sistema visivo

Sono inoltre presenti dei sistemi a vibrazione che consentono la percezione da parte di persone non udenti che magari non hanno la possibilità di vedere un segnale luminoso o di essere assistite da addetti preposti:

in questo caso questi sistemi non vengono tenuti in considerazione in quanto è altamente improbabile che si trovino in una stazione metropolitana.

Sistema con dispositivo acustico a tono

Si tratta di un sistema di segnalazione che avviene mediante la diffusione nell'ambiente di un segnale acustico, che consente all'occupante di identificare una situazione di pericolo solamente attraverso la percezione uditiva.

Questo sistema deve possedere alcune caratteristiche tra cui un elevato livello sonoro che sia superiore al rumore presente all'interno dell'ambiente in condizioni ordinarie, in particolare se si tratta di un luogo rumoroso ed affollato e deve essere facilmente riconoscibile rispetto ad altri tipi di segnali che possono essere emessi frequentemente nell'ambiente.

Questa tipologia di segnalazione, possedendo solamente un elemento di diffusione sonora, influisce univocamente nella fase di riconoscimento dell'emergenza mentre non apporta alcun tipo di contributo nella fase di risposta, pertanto se nella fase di riconoscimento questo influisce in modo variabile a seconda della tipologia di utenti, mentre la difficoltà nella risposta può essere elevata anche per un grande numero di occupanti, con la possibilità che vengano presi percorsi d'esodo non idonei, incrementando il tempo complessivo per l'esodo.

È una tipologia di segnalazione fortemente limitante in quanto non fornendo alcun tipo di informazione vi è la possibilità che venga scambiato per qualche altra segnalazione, che si pensi ad un falso allarme o ad una prova di evacuazione. Oltre a questo un aspetto ancora più importante è che non risulta inclusivo in quanto ci può essere la probabilità che da parte di persone con qualche limitazione funzionale o di diversa nazionalità non venga proprio riconosciuto.

Di seguito si riporta dunque una tabella contenente le varie tipologie di utenti a cui è associata l'ipotesi fatta sulla difficoltà nel riconoscimento della situazione di emergenza con una segnalazione effettuata con un dispositivo acustico a tono.

Tipologia di occupante	Difficoltà di riconoscimento	Descrizione
<i>Standard</i>	Minima	In generale sono in grado di riconoscere la segnalazione, anche se è sempre presente una quota di aleatorietà data dai fattori individuali che non sono individuabili
<i>Anziano (senza disabilità)</i>	Elevata	Dipende dall'età dell'individuo e dallo stato di salute, anche se in generale può risultare difficile il riconoscimento a causa delle condizioni fisiche e cognitive

<i>Bambino (senza disabilità)</i>	Moderata	Dipende dall'età dell'individuo, ma in generale i bambini non sono in grado di riconoscere la segnalazione: nonostante questo è possibile ipotizzare che al di sotto dei 12 anni siano sempre accompagnati da un adulto e che perciò non vi siano bambini che si muovono in autonomia
<i>Straniero con limitata o assente conoscenza della lingua</i>	Elevata	È funzione del grado di conoscenza della segnalazione dell'allarme, ma è possibile che non venga riconosciuto in quanto potrebbero essere abituati a una segnalazione differente nel paese di origine
<i>Difficoltà motorie</i>	Minima	Come per gli utenti standard, si può ipotizzare che in generale siano in grado di riconoscere la segnalazione, anche se è sempre presente una quota di aleatorietà data dai fattori individuali che non sono rilevabili
<i>Limitazioni funzionali visive</i>	Minima	Trattandosi di un segnale acustico gli utenti sono in grado di sentire l'allarme e pertanto presentano la stessa capacità di riconoscimento degli utenti standard
<i>Limitazioni funzionali uditive</i>	Elevata	Non sono in grado di udire e di conseguenza riconoscere il segnale dell'allarme, se non attraverso la presenza di altra segnalazione, osservando il comportamento degli altri utenti o ricevendo informazioni che utilizzino gli altri canali sensoriali
<i>Limitazioni funzionali cognitive</i>	Elevata	Dipende dalla tipologia di limitazione, ma in generale è difficile che solo attraverso il segnale acustico comprendano il pericolo: nonostante questo è molto probabile, soprattutto per soggetti con gravi limitazioni, che tali utenti non siano da soli ma siano in presenza di un accompagnatore

Tabella 7: difficoltà riconoscimento segnalazione allarme con segnale acustico

La difficoltà nella fase di risposta invece può essere supposta per tutti gli occupanti elevata in quanto se realmente fosse solo presente la segnalazione acustica, ma l'ambiente fosse privo di segnaletica di qualunque tipologia, la maggior parte degli occupanti avrebbe maggiore difficoltà a rispondere alla situazione e a procedere con l'esodo.

Sistema acustico vocale

Questa segnalazione avviene mediante la diffusione di un messaggio vocale tramite altoparlante con lo scopo di avvertire i soggetti coinvolti della presenza di una situazione di pericolo fornendo se necessarie indicazioni per l'evacuazione.

Tale sistema, meglio noto con l'acronimo EVAC (Emergency Voice Alarm Communication) è inserito all'interno del Codice Prevenzione Incendi D.M. 03/08/2015 come strumento di protezione attiva e viene appunto definito come *"impianto destinato principalmente a diffondere informazioni vocali per la salvaguardia della vita durante un'emergenza"*.

Le comunicazioni possono essere eseguite o mediante la diffusione di un messaggio preregistrato oppure mediante messaggi in tempo reale attraverso un microfono collocato in uno o più punti di controllo. Proprio in funzione a questa caratteristica ed alla presenza o meno di personale addetto sul luogo, questo sistema è suddiviso in quattro categorie che vengono scelte in base all'esigenza, come riportato nella normativa di riferimento ISO 7240-19.

Risulta evidente pertanto che l'impatto che il sistema acustico vocale può avere sugli occupanti dipende anche dal tipo di messaggio e in quale modo questo viene diffuso. Ad esempio un sistema EVAC di categoria 1 offre la possibilità di utilizzare messaggi preregistrati in modo univoco secondo quanto stabilito dal piano di emergenza, la categoria 2 consente la diffusione di messaggi dal vivo da postazioni microfoniche, la categoria 3 invece consente di trasmettere messaggi solo in determinate aree controllando in modo più puntuale l'evacuazione, mentre la 4 dà la possibilità di includere o meno la trasmissione dei messaggi diffusi in modo automatico dalla centrale di rilevazione e di utilizzare invece messaggi preregistrati differenziandoli in diverse zone dell'edificio, in modo da fornire delle informazioni più precise e puntuali sull'evacuazione.

La normativa fornisce poi un insieme di indicazioni sulle caratteristiche tecniche e sul corretto utilizzo di tale sistema, in particolare sulla sua realizzazione, sul corretto posizionamento in modo da consentirne la comprensibilità.

Per quanto sino ad ora riportato risulta quindi chiaro che la segnalazione mediante sistema vocale vada ad influire sia sulla fase di riconoscimento dell'emergenza che in quella di risposta, in quanto è in grado di fornire indicazioni sia su quanto sta accadendo che su come devono agire gli occupanti per evacuare l'edificio.

Ciò che può andare a modificare in modo sostanziale il comportamento degli occupanti in queste fasi, come è possibile osservare da documenti che riguardano l'esecuzione di simulazioni reali, è proprio la tipologia del messaggio diffuso ed il suo contenuto informativo. Un messaggio preregistrato solitamente fornisce indicazioni generiche sull'emergenza e su come procedere per l'esodo, prescindendo dalla situazione che si sta verificando. Viceversa un messaggio trasmesso in tempo reale ha il vantaggio di poter guidare in modo

più preciso gli occupanti nell'evacuazione, dando anche informazioni sullo stato di emergenza, come ad esempio la posizione dell'incendio.

In questo modo è probabile che venga ridotto il tempo utilizzato dagli occupanti prima di procedere con l'esodo in quanto ad esempio si riduce la possibilità che si pensi ad un falso allarme oppure che si stia fermi in attesa di comprendere meglio la situazione, proprio grazie al fatto che questo viene direttamente comunicato.

L'utilizzo di questo sistema influisce anche sulla comprensione da parte di occupanti di diversa nazionalità in quanto sia in presenza di messaggi preregistrati che in tempo reale, vi è la possibilità di diffonderli anche in diverse lingue, rendendoli comprensibili ad un maggior numero di utenti.

Come fatto per il sistema acustico a tono nelle tabelle seguenti si riporta il livello di difficoltà nel riconoscimento dell'emergenza da parte delle varie tipologie di occupanti distinguendo tra messaggi preregistrati e messaggi con un contenuto informativo maggiore poiché trasmessi in tempo reale.

Tipologia di occupante	Difficoltà di riconoscimento	Descrizione
<i>Standard</i>	Minima	In generale sono in grado di riconoscere la segnalazione, anche se è sempre presente una quota di aleatorietà data dai fattori individuali che non sono individuabili
<i>Anziano (senza disabilità)</i>	Moderata	Dipende dall'età dell'individuo e dallo stato di salute, anche se in generale può risultare difficile il riconoscimento a causa delle condizioni fisiche e cognitive
<i>Bambino (senza disabilità)</i>	Moderata	Dipende dall'età dell'individuo, ma in generale i bambini non sono in grado di riconoscere la segnalazione: nonostante questo è possibile ipotizzare che al di sotto dei 12 anni siano sempre accompagnati da un adulto e che perciò non vi siano bambini che si muovono in autonomia
<i>Straniero con limitata o assente conoscenza della lingua</i>	Moderata	Dipende della nazionalità dell'occupante, dalle lingue in cui viene diffuso il messaggio e di conseguenza dal livello di conoscenza dell'occupante delle lingue in cui è diffuso il messaggio
<i>Difficoltà motorie</i>	Minima	Come per gli utenti standard, si può ipotizzare che in generale siano in grado di riconoscere la

		segnalazione, anche se è sempre presente una quota di aleatorietà data dai fattori individuali che non sono rilevabili
<i>Limitazioni funzionali visive</i>	Minima	Trattandosi di una segnalazione acustica gli utenti sono in grado di sentire l'allarme e pertanto presentano la stessa capacità di riconoscimento degli utenti standard
<i>Limitazioni funzionali uditive</i>	Elevata	Non sono in grado di udire e di conseguenza riconoscere il pericolo, se non attraverso la presenza di altra segnalazione, osservando il comportamento degli altri utenti o ricevendo informazioni che utilizzino gli altri canali sensoriali
<i>Limitazioni funzionali cognitive</i>	Elevata/ Moderata	Dipende dalla tipologia di limitazione, ma in generale è probabile che non comprendano il pericolo: nonostante questo è molto probabile, soprattutto per soggetti con gravi limitazioni, che tali utenti non siano da soli ma siano in presenza di un accompagnatore

Tabella 8: difficoltà riconoscimento messaggio vocale preregistrato

Tipologia di occupante	Difficoltà di riconoscimento	Descrizione
<i>Standard</i>	Minima	In generale sono in grado di riconoscere la segnalazione, anche se è sempre presente una quota di aleatorietà data dai fattori individuali che non sono individuabili
<i>Anziano (senza disabilità)</i>	Minima	Dipende dall'età dell'individuo e dallo stato di salute, ma in generale è più probabile che riescano a comprendere la situazione
<i>Bambino (senza disabilità)</i>	Minima	Dipende dall'età dell'individuo, ma in generale potrebbero essere in grado di comprendere la situazione grazie al contenuto del messaggio diffuso, nonostante questo si ipotizza che siano sempre accompagnati da un adulto

<i>Straniero con limitata o assente conoscenza della lingua</i>	Moderata/ Minima	Dipende della nazionalità dell'occupante, dalle lingue in cui viene diffuso il messaggio e di conseguenza dal livello di conoscenza dell'occupante delle lingue in cui è diffuso il messaggio
<i>Difficoltà motorie</i>	Minima	Come per gli utenti standard, si può ipotizzare che in generale siano in grado di riconoscere la segnalazione, anche se è sempre presente una quota di aleatorietà data dai fattori individuali che non sono rilevabili
<i>Limitazioni funzionali visive</i>	Minima	Trattandosi di una segnalazione acustica gli utenti sono in grado di sentire l'allarme e pertanto presentano la stessa capacità di riconoscimento degli utenti standard
<i>Limitazioni funzionali uditive</i>	Elevata	Non sono in grado di udire e di conseguenza riconoscere il pericolo, se non attraverso la presenza di altra segnalazione, osservando il comportamento degli altri utenti o ricevendo informazioni che utilizzino gli altri canali sensoriali
<i>Limitazioni funzionali cognitive</i>	Moderata	Dipende dalla tipologia di limitazione, ma in generale potrebbero avere meno difficoltà nel riconoscimento grazie al messaggio diffuso dagli altoparlanti: nonostante questo è molto probabile, soprattutto per soggetti con gravi limitazioni, che tali utenti non siano da soli ma siano in presenza di un accompagnatore

Tabella 9: difficoltà riconoscimento messaggio vocale in diretta

Sistema di segnalazione visiva

Tra i sistemi di segnalazione, oltre a quelli vocali, sono presenti anche quelli visuali che vengono installati generalmente non da soli ma in combinazione con altri dispositivi di allarme, come strumento di segnalazione di un'emergenza. L'utilizzo di questi dispositivi avviene con lo scopo di migliorare il riconoscimento di un'emergenza da parte degli occupanti presenti all'interno dell'edificio, in quanto può

agevolare tutta una categoria di soggetti che avrebbero difficoltà nel riconoscimento con il solo segnale acustico.

Pertanto questo sistema gioca un ruolo fondamentale in alcune situazioni come ad esempio luoghi in cui sono presenti persone non udenti o ipoudenti, ma anche luoghi di lavoro in cui si indossano elementi di protezione per l'udito a causa del forte rumore nell'ambiente.

In ogni caso tali sistemi devono essere ben riconoscibili rispetto ad altre segnalazioni luminose presenti come ci sono ad esempio in luoghi aperti al pubblico come centri commerciali, stazioni, musei dove vi sono numerose sorgenti luminose che forniscono informazioni di altro genere.

Inoltre per quanto questi dispositivi siano utili e necessari in alcune situazioni, se si è in ambienti in cui persone con limitazioni funzionali nell'udito possono rimanere soli per un tempo più o meno prolungato, è fondamentale non fare affidamento solamente a questo sistema in quanto potrebbe non essere sufficiente. Si immagini ad esempio una camera di un hotel in cui un individuo non udente dorme e pertanto non è in grado di ricevere la segnalazione, così come potrebbe capitare in un bagno di un luogo aperto al pubblico. Questa problematica si presenta anche in luoghi di lavoro in cui un lavoratore che indossa le protezioni per l'udito si trova ad eseguire una lavorazione in solitudine.

La normativa fornisce poi un insieme di indicazioni sulla tipologia di dispositivi, sul loro collocamento e sulle caratteristiche tecniche, livello di illuminamento ambientale, volumi di copertura ed altro.

Questo sistema, nonostante risulti necessario per quanto fino ad ora riportato, in altre circostanze, per alcuni occupanti, potrebbe dare solamente un contributo aggiuntivo alla segnalazione già presente, mentre ad esempio per persone straniere potrebbe addirittura non dare alcun aiuto poiché potrebbe non essere compreso.

Anche in questo caso viene riportata una tabella in cui si valuta la difficoltà di riconoscimento da parte delle varie tipologie di utenti, ipotizzando che vi sia solamente questo sistema di segnalazione, anche se, come detto in precedenza, ciò è impossibile che accada infatti questi sistemi vengano utilizzati da soli.

Tipologia di occupante	Difficoltà di riconoscimento	Descrizione
<i>Standard</i>	Moderata	In generale sono in grado di riconoscere la segnalazione, ma potrebbero non avere la possibilità di avere un accesso visivo
<i>Anziano (senza disabilità)</i>	Moderata	In generale sono in grado di riconoscere la segnalazione, ma potrebbero non avere la possibilità di avere un accesso visivo
<i>Bambino (senza disabilità)</i>	Moderata	Dipende dall'età dell'individuo, generalmente non sono in grado di riconoscere la segnalazione ma si ipotizza che siano accompagnati da un adulto

<i>Straniero con limitata o assente conoscenza della lingua</i>	Moderata/Elevata	Dipende della nazionalità dell'occupante, dalle lingue in cui viene diffuso il messaggio e di conseguenza dal livello di conoscenza dell'occupante delle lingue in cui è diffuso il messaggio
<i>Difficoltà motorie</i>	Moderata	In generale sono in grado di riconoscere la segnalazione, ma potrebbero non avere la possibilità di avere un accesso visivo
<i>Limitazioni funzionali visive</i>	Elevata	Non sono in grado di riconoscere la segnalazione dell'emergenza
<i>Limitazioni funzionali uditive</i>	Moderata	In generale sono in grado di riconoscere la segnalazione, ma potrebbero non avere la possibilità di avere un accesso visivo
<i>Limitazioni funzionali cognitive</i>	Elevata	Dipende dalla tipologia di limitazione, ma in generale è difficile che solo attraverso un segnale visivo siano in grado di riconoscere la segnalazione

Tabella 10: difficoltà di riconoscimento segnalazione di tipo visivo

5.3.2. Personale formato

All'interno di un ambiente, nell'istante in cui scatta l'allarme antincendio e vi è la necessità di evacuare l'edificio, la presenza di personale formato, che sia in grado di dare indicazioni e di dirigere gli occupanti verso le uscite, è un elemento in grado di ridurre notevolmente il tempo complessivo dedicato all'esodo. Questo infatti ha un'influenza positiva sia nella fase di riconoscimento, in quanto il personale può fornire indicazioni su l'accaduto, ma soprattutto nella fase di risposta poiché gli occupanti possono essere agevolati nella scelta del percorso da intraprendere e le uscite da utilizzare.

Al variare dell'ambiente e della situazione in cui potrebbe presentarsi un pericolo che richieda la presenza di queste figure, varierà la competenza richiesta agli addetti, poiché vi saranno diversi occupanti con specifiche necessità. Vi sono due scenari che possono presentarsi: da un lato luoghi in cui sono noti gli spazi, le attività svolte ma anche gli occupanti e le loro caratteristiche, dall'altro luoghi in cui sono sempre noti gli spazi e le attività ma non si conoscono gli occupanti. Si pensi ad esempio ad un luogo di lavoro in cui periodicamente vengono svolte prove di evacuazione e gli occupanti, essendo quasi quotidianamente gli stessi, hanno una certa familiarità con l'edificio: in tal caso gli addetti incaricati saranno consapevoli delle persone con cui si dovranno interfacciare e la presenza o meno di persone con maggiori esigenze. Al contrario, in un luogo aperto al pubblico in cui l'afflusso di persone e le loro caratteristiche non sono

costanti, il personale incaricato dovrà avere una formazione tale da poter gestire scenari diversi e individui con esigenze specifiche.

Se la presenza nell'ambiente di personale formato è utile per tutti gli occupanti durante un'emergenza, questo diventa fondamentale quando vi sono persone con delle disabilità.

La difficoltà in questo caso, sia per il personale presente nell'ambiente che per i soccorritori, sta nel riconoscere le specifiche necessità, che non sempre sono evidenti, e nel riuscire a relazionarsi con tali occupanti. In letteratura si trovano vari documenti che affrontano questa tematica ed analizzano il comportamento da tenere da parte degli addetti e dei soccorritori, nei confronti di persone con esigenze specifiche: se nel caso di disabilità motorie vi saranno difficoltà principalmente nel trasporto, soprattutto nel caso in cui non vi siano strumenti che ne consentano l'esodo in autonomia anche in situazione d'emergenza, in presenza di disabilità sensoriali e cognitive la difficoltà riguarderà anche tutta la fase comunicativa oltre a quella operativa.

Ad esempio nel caso di persone con limitazioni funzionali nella vista o nell'udito si dovrà comunicare con loro attraverso l'utilizzo di altri sensi, mentre per persone con disabilità cognitive o disturbi del comportamento, si potrebbe avere difficoltà nella comunicazione in quanto potrebbero essere ostili a ricevere aiuto: tra i soggetti che possono presentare queste problematiche vi sono persone con sindrome dello spettro autistico, malati di Alzheimer, affetti da sindrome di Down, con demenza o altre patologie.

In generale dunque la presenza di personale, purché correttamente formato, consente la riduzione dei tempi richiesti per l'esodo da parte degli occupanti, cosa che si è osservata anche in casi reali di situazioni di emergenza in cui era richiesto l'esodo.

Nella seguente tabella si riporta il livello di difficoltà nel riconoscimento dell'emergenza e nella risposta da parte delle varie tipologie di occupanti a seguito della variazione della gestione dell'emergenza da parte di personale formato, ipotizzando che in un caso non vi sia l'intervento da parte del personale addetto o che questi non siano correttamente formati, mentre nel secondo caso si immagina che gli addetti presenti abbiano le competenze necessarie per intervenire e lo facciano nel modo corretto. Anche in questo caso la presenza di addetti formati non può considerarsi in sostituzione ad un sistema di segnalazione, si vuole evidenziare come la presenza di addetti possa ridurre, in alcune tipologie di utenti, la difficoltà di riconoscere e soprattutto rispondere ad una situazione di emergenza.

Tipologia di occupante	Difficoltà di riconoscimento/ risposta		Descrizione
<i>Standard</i>	Minima	Minima	In generale la difficoltà nel riconoscimento è bassa ma può comunque migliorare in presenza di personale, mentre la fase di risposta può avere un maggiore miglioramento in quanto vengono fornite delle informazioni dettagliate

<i>Anziano (senza disabilità)</i>	Moderata	Minima	Può migliorare sia il riconoscimento dell'emergenza che la risposta, in quanto vengono fornite informazioni sia su quanto accade che su come procedere per l'esodo
<i>Bambino (senza disabilità)</i>	Moderata	Minima	Può migliorare sia il riconoscimento dell'emergenza che la risposta, in quanto gli addetti possono rivolgersi direttamente a loro per dare indicazioni, nonostante ciò sono generalmente accompagnati da un adulto
<i>Straniero con limitata o assente conoscenza della lingua</i>	Moderata	Minima	Può migliorare sia il riconoscimento dell'emergenza che la risposta, in quanto possono essere fornite informazioni sia su quanto accade che su come procedere per l'esodo e possono essere fornite anche in altre lingue in modo tale da essere maggiormente comprensibili
<i>Difficoltà motorie</i>	Moderata	Minima	Può migliorare sia il riconoscimento dell'emergenza ma soprattutto la risposta, in quanto vengono fornite informazioni sia su quanto accade che su come procedere per l'esodo, cosa che può essere determinante ai fini dell'evacuazione
<i>Limitazioni funzionali visive</i>	Moderata	Minima	Può migliorare sia il riconoscimento dell'emergenza ma soprattutto la risposta, in quanto vengono fornite informazioni sia su quanto accade che su come procedere per l'esodo, comunicando attraverso l'udito
<i>Limitazioni funzionali uditive</i>	Elevata	Minima	Può migliorare sia il riconoscimento dell'emergenza che la risposta, in quanto vengono fornite informazioni sia su quanto accade che su come procedere per l'esodo comunicando attraverso la vista

<i>Limitazioni funzionali cognitive</i>	Elevata	Moderata	Può migliorare sia la fase di riconoscimento che quella di risposta in quanto il personale può rivolgersi direttamente al soggetto, anche se è sempre dipendente dalla tipologia di limitazione
---	---------	----------	---

Tabella 11: difficoltà di riconoscimento e risposta in assenza ed in presenza di personale formato per il primo intervento

5.3.3. Segnaletica

Nella fase di risposta degli occupanti ad una situazione di emergenza svolge un ruolo fondamentale riuscire sia ad orientarsi all'interno dell'ambiente, quindi sapere dove ci si trova e sia riuscire a muoversi, raggiungendo un determinato luogo. Per fare ciò l'occupante fa uso di molteplici indizi sensoriali che arrivano dall'ambiente circostante, utilizzandoli successivamente per muoversi e raggiungere una destinazione. Questi processi avvengono in generale quando appunto un soggetto ha la necessità di spostarsi da un luogo ad un altro, ma anche quando in un'emergenza si ha la necessità di evacuare l'edificio, cercando il percorso migliore da utilizzare dal luogo in cui ci si trova.

Eseguire queste operazioni però può risultare difficile, non solo per persone con limitazioni funzionali, ma per qualsiasi individuo: il contributo dato dall'ambiente in queste fasi è fondamentale, proprio perché dagli stimoli presenti l'individuo sarà più o meno capace di scegliere il percorso migliore per evacuare l'edificio. Tra i fattori ambientali in grado di influenzare la risposta di un occupante durante un'emergenza vi è la segnaletica, che deve possedere caratteristiche tali da riuscire a catturare l'attenzione degli individui in modo da indirizzarli verso un'uscita o altri presidi. La difficoltà da parte dell'occupante ad utilizzare le informazioni presenti in ambiente durante un'emergenza, aumenta sia a causa del possibile stato di agitazione, sia se ci si trova in luoghi complessi in cui son presenti molte altre informazioni che non interessano l'esodo. Infatti la segnaletica deve essere collocata in modo tale da essere facilmente raggiungibile alla vista degli occupanti, pertanto non deve essere nascosta da altri elementi o inadeguata per dimensione, colore ed altri fattori

Tra la segnaletica presente in un ambiente ci può essere:

- la segnaletica di tipo visivo
- la segnaletica tattile
- la segnaletica luminosa

Oltre a questo un ulteriore fattore che si deve considerare riguarda la questione dell'inclusività, ossia dell'adeguatezza delle informazioni fornite dalla segnaletica nei confronti di occupanti con esigenze specifiche. Ad esempio per le persone con limitazioni funzionali alla vista sarebbe utile la presenza di segnaletica tattile a pavimento o sulle pareti verticali per segnalare il percorso, ma anche le scritte in braille nella segnaletica e nelle planimetrie dell'edificio.

Anche in questo caso nella tabella si riporta la difficoltà di riconoscimento da parte delle varie tipologie di occupanti nel caso in cui vi sia una segnaletica non adeguata, dove con il termine adeguato si intende una segnaletica correttamente posizionata, illuminata, della giusta dimensione, con elevato contrasto cromatico e con un corretto contenuto informativo.

Tipologia di occupante	Difficoltà di risposta	Descrizione
<i>Standard</i>	Moderata	In generale avviene la comprensione del contenuto ma è possibile che si abbia difficoltà nell'individuare i segnali a causa di un errato collocamento
<i>Anziano (senza disabilità)</i>	Moderata	In generale avviene la comprensione del contenuto ma è possibile che si abbia difficoltà nell'individuare i segnali a causa di un errato collocamento
<i>Bambino (senza disabilità)</i>	Moderata	Dipende dall'età dell'individuo, generalmente non sono in grado di riconoscere la segnaletica, ma si ipotizza che siano accompagnati da un adulto
<i>Straniero con limitata o assente conoscenza della lingua</i>	Elevata	Ci può essere difficoltà nel riconoscimento sia di segnali in quanto diversi da quelli conosciuti, ma anche per la comprensione del contenuto informativo
<i>Difficoltà motorie</i>	Moderata	In generale avviene la comprensione del contenuto ma è possibile che si abbia difficoltà nell'individuare i segnali a causa di un errato collocamento
<i>Limitazioni funzionali visive</i>	Elevata	Potrebbe esserci difficoltà in caso di assenza di mappe tattili e segnaletica tattile a pavimento o a parete
<i>Limitazioni funzionali uditive</i>	Moderata	In generale avviene la comprensione del contenuto ma è possibile che si abbia difficoltà nell'individuare i segnali a causa di un errato collocamento
<i>Limitazioni funzionali cognitive</i>	Elevata	Ci può essere difficoltà nel riconoscimento della segnaletica anche se dipende dal tipo di limitazione, ma in generale si ipotizza che siano accompagnati

Tabella 12: difficoltà di risposta degli occupanti in assenza di una corretta segnaletica

6. Simulazioni dell'esodo

Una volta definito il caso studio, la tipologia di utenti che occupano tale ambiente con la rispettiva quantità e valutato come ogni tipologia di occupante risponde alla variazione di un fattore ambientale, non resta che procedere con le simulazioni, con le quali sarà possibile dimostrare che tutto quello analizzato a livello teorico trova un riscontro anche nella pratica. Per farlo è necessario per prima cosa andare a costruire un unico modello all'interno del software di simulazione, partendo dal modello tridimensionale dell'ambiente preso in analisi, per eseguire successivamente tutte le simulazioni necessarie. Successivamente vengono definiti i profili dei vari utenti, che restano gli stessi per tutte le simulazioni, proprio perché si vuole osservare il comportamento degli occupanti al variare di alcuni fattori mantenendone altri costanti, come per l'appunto la tipologia di occupanti.

Definiti gli aspetti base, si procede con l'esecuzione delle simulazioni, per le quali verranno definiti vari comportamenti da attribuire agli occupanti, in base allo studio svolto in precedenza. Si è deciso di eseguire cinque simulazioni con le seguenti caratteristiche:

- Simulazione 1: realizzata facendo riferimento a quanto riportato all'interno della normativa ISO TR 16738;
- Simulazione 2: si ipotizza una segnalazione attraverso un sistema acustico a tono e l'assenza di personale all'interno della stazione;
- Simulazione 3: si ipotizza una segnalazione mediante sistema acustico e la diffusione di un messaggio vocale preregistrato, assenza di personale all'interno;
- Simulazione 4: la segnalazione è analoga a quella precedente ma all'interno della stazione sono presenti degli addetti che intervengono in seguito all'attivazione dell'allarme;
- Simulazione 5: la segnalazione avviene mediante un sistema acustico e la diffusione di un messaggio vocale con un contenuto informativo migliore, che fornisce maggiori informazioni sull'accaduto e su come procedere per l'esodo.

6.1. Modello per la simulazione dell'esodo

Per la realizzazione delle simulazioni dell'esodo attualmente vengono utilizzati degli strumenti che consentono di eseguire dei modelli basati sugli agenti definendo il comportamento degli occupanti e le interazioni tra gli stessi. Il programma utilizzato in questo lavoro si basa proprio sul modello agent-base, con il quale sono stati simulati i comportamenti e i movimenti degli occupanti attraverso l'inserimento di dati di input, come il ritardo nell'inizio dell'esodo e caratteristiche dei singoli individui.

6.1.1. Modello layout

Partendo dal modello tridimensionale della stazione è stato ricostruito l'ambiente di movimento all'interno del software utilizzato per la modellazione dell'esodo.

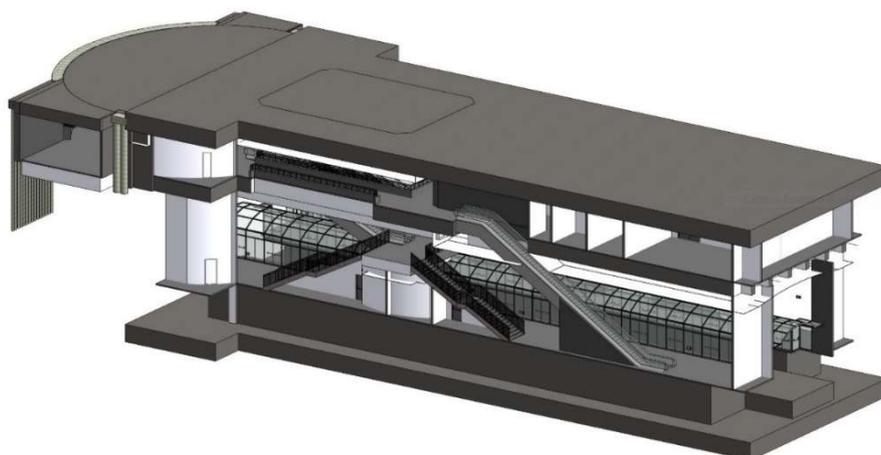


Figura 17: modello tridimensionale Revit

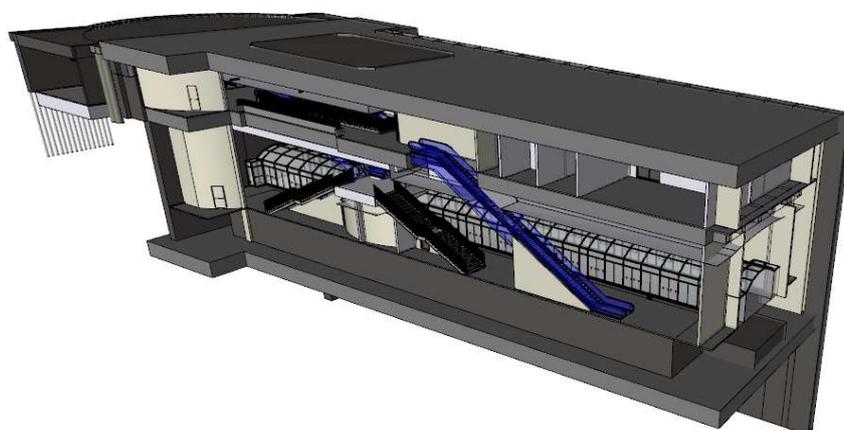


Figura 18: modello importato in Pathfinder

Il modello 3D è stato importato all'interno del programma dal quale sono state generate le superfici per il movimento degli occupanti.

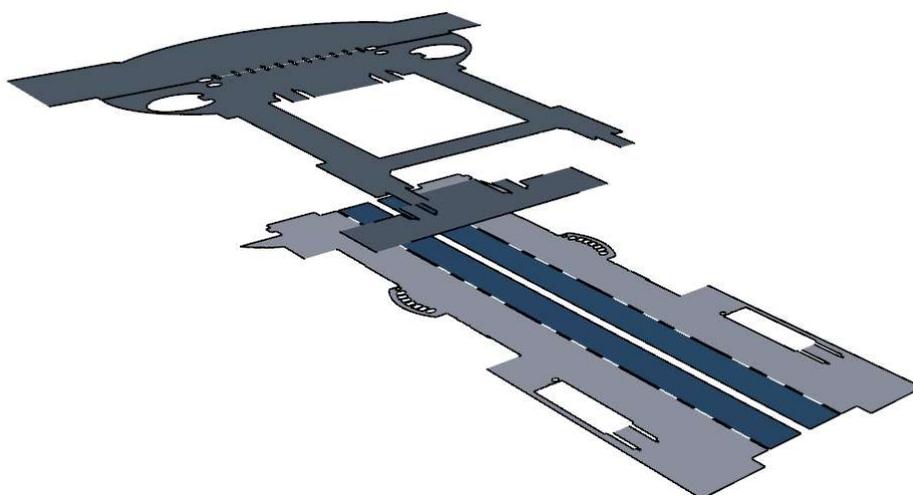


Figura 19: superfici per il movimento degli occupanti

Le superfici realizzate prendono il nome di "Rooms" e sono delle aree delimitate da partizioni verticali o inclinate nelle quali gli occupanti possono muoversi liberamente.

Il movimento degli occupanti tra le diverse superfici collocate alla medesima quota può avvenire solamente se le stanze sono collegate da delle porte, che creano appunto una connessione tra le aree. Le porte devono anche essere collocate in corrispondenza delle uscite, per consentire in fase di simulazione, l'esodo degli occupanti dalla struttura.

I collegamenti verticali invece vengono realizzati mediante l'inserimento di scale ed ascensori qualora possano essere utilizzate in situazione di emergenza. In questo caso sono state inserite le scale, sia quelle fisse che quelle mobili ma non sono stati modellati gli ascensori in quanto non possono essere utilizzati in caso di incendio.

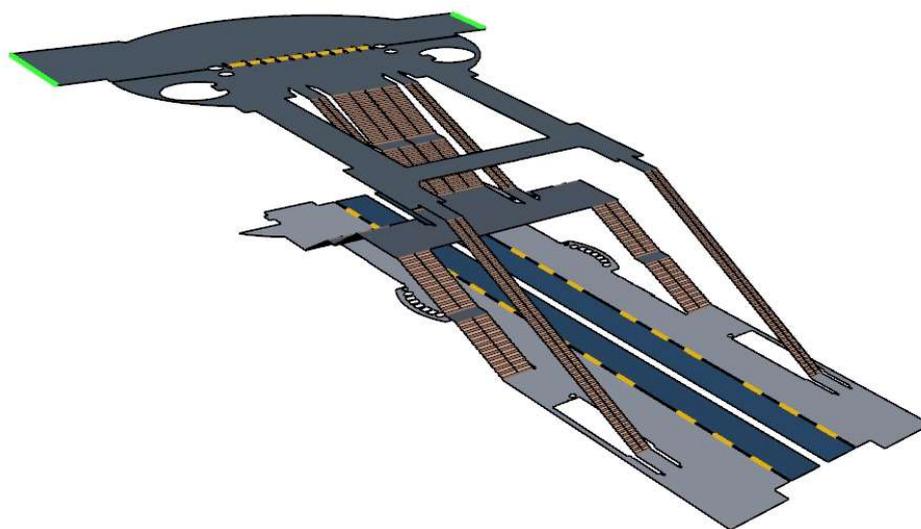


Figura 20: superfici per il movimento degli occupanti

Le superfici realizzate per consentire il movimento degli occupanti sono disposte su tre livelli, tutti sotterranei, i quali si raggiungono dal piano strada attraverso l'utilizzo delle scale, delle scale mobili e un ascensore.

L'atrio è l'area direttamente collegata con l'esterno, è composta da una zona alla quale si può accedere liberamente e una accessibile sollo mediante i tornelli automatici: i tornelli sono 10 e solo uno è accessibile da persone con difficoltà motorie che utilizzano una sedia a ruote per lo spostamento. Da quest'area sono presenti delle scale sia fisse che mobili, che conducono ai piani inferiori. L'area presenta una dimensione di circa 530 m².

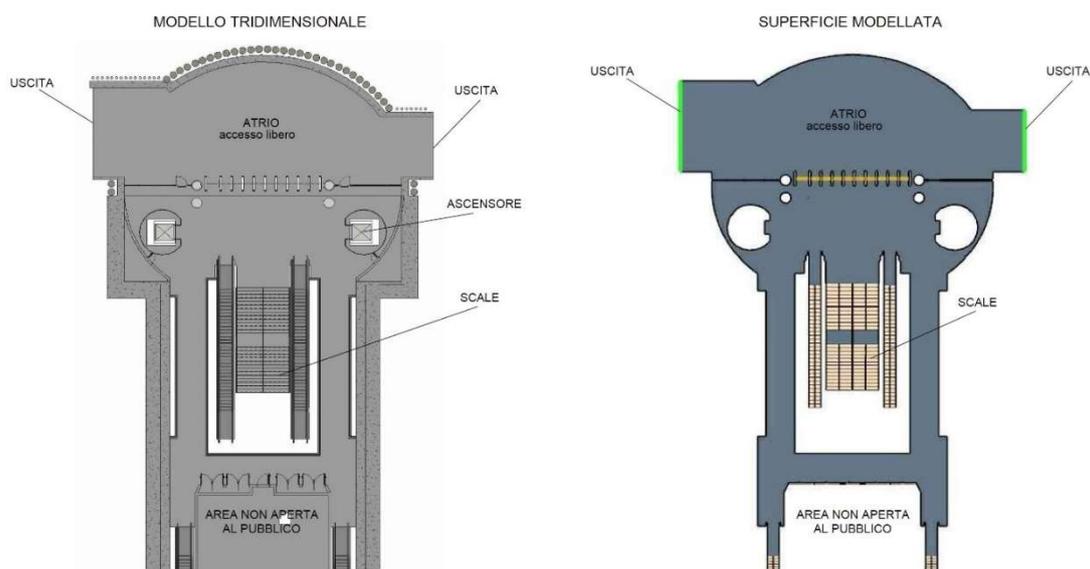


Figura 21: superficie atrio

Dalle scale si giunge ad un pianerottolo intermedio dal quale ripartono altre rampe che conducono alle banchine: l'area presenta una dimensione di circa 85 m².

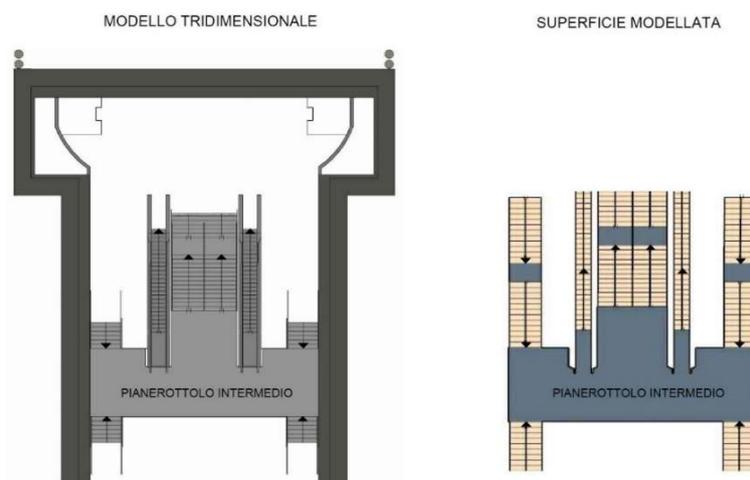


Figura 22: superficie pianerottolo

Al piano inferiore si trovano le due banchine dalle quali si accede ai treni che presentano ognuna una dimensione pari a circa 220 m². Tra l'area delle banchine e i binari sono state inserite delle porte in corrispondenza degli accessi con apertura automatica che consentono l'ingresso e l'uscita dai treni giunti in stazione.

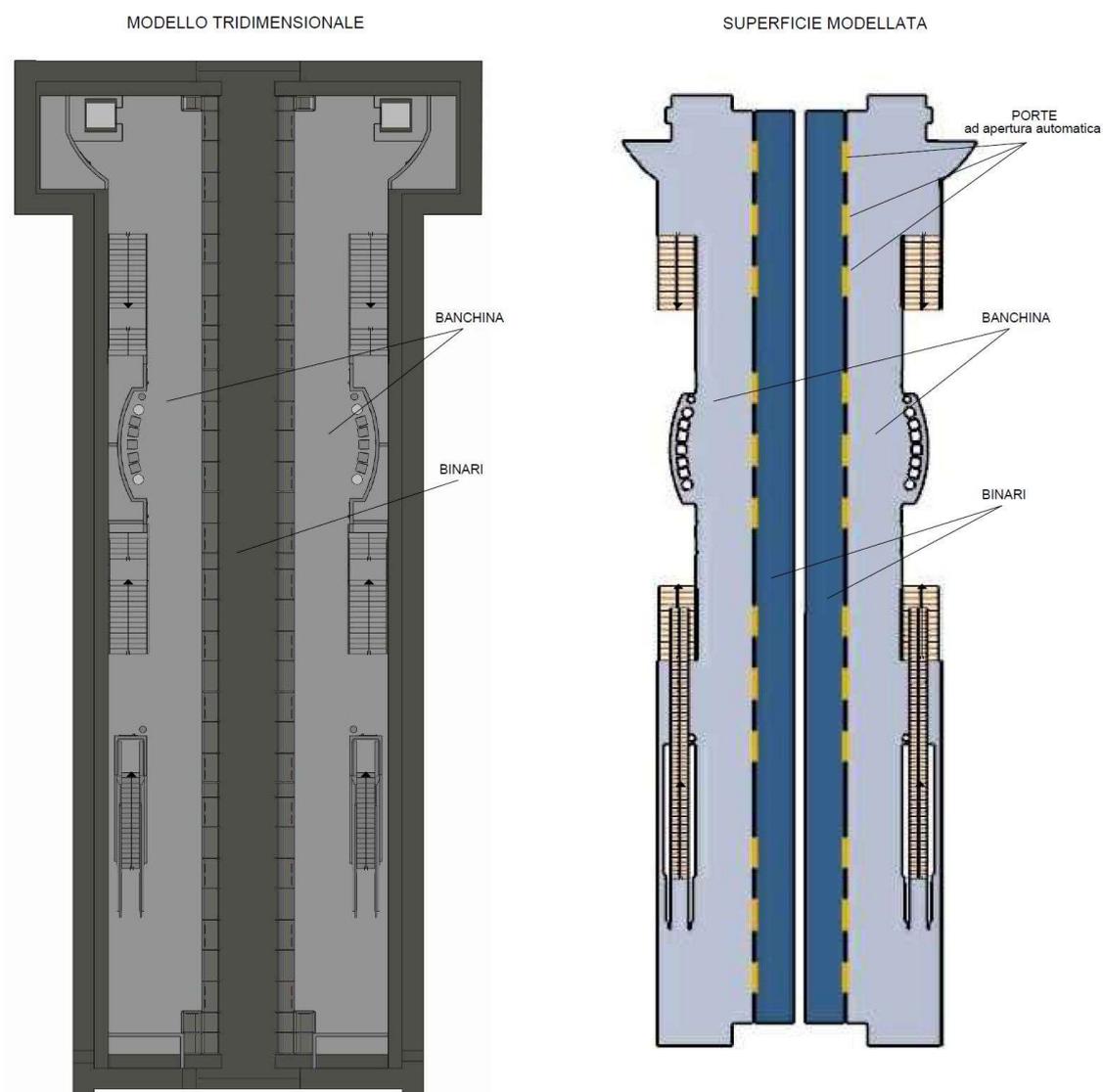


Figura 23: superfici banchine e treni

Dopo aver ricreato l'ambiente per le simulazioni, il passo successivo riguarda il collocamento degli occupanti nei diversi ambienti.

6.1.2. Profili utenti

Dopo la realizzazione del modello di simulazione, sono stati inseriti i profili degli utenti facendo riferimento alla profilazione degli occupanti eseguita in modo qualitativo all'interno paragrafo 5.2.1. di questo documento. In questa fase per ogni occupante sono state definite le caratteristiche di tipo fisico come dimensioni, forma e velocità di movimento, oltre a effettuare delle distinzioni fini a sé stesse, non utili per la simulazione ma per la distinzione visiva degli occupanti.

I profili inseriti nelle simulazioni sono i seguenti:

- *Standard uomo*

- *Standard donna*
- *Anziano*
- *Bambino*
- *Valigia*
- *Passeggino*
- *Utente con disabilità motoria sedia a rotelle*
- *Utente con disabilità motoria con ausilio*
- *Utente con limitazione funzionale della vista*
- *Utente con limitazione funzionale dell'udito*
- *Utente con limitazione cognitiva*
- *Soccorritore*

Standard uomo

Occupante che non ha familiarità con l'ambiente, non presenta limitazioni di alcun tipo, sia fisico che funzionale. Questo profilo è stato utilizzato oltre che come occupante standard, anche come genitore, utente con passeggino, utente con valigia, assistente di occupante con limitazione cognitiva.

- Simbolo
- Forma
- Velocità



Cylinder, con diametro e altezza lasciati di default;

Uniforme tra 1,25 m/s e 1,6 m/s; per questi valori si è fatto riferimento a quanto riportato all'interno della ISO TR 16738, in particolare il primo valore è stato ricavato dalla tabella G.4 per persone senza alcuna disabilità motoria, mentre il secondo è riportato sempre all'interno della normativa per stazioni ferroviarie per uomini di circa 20 anni.

Figura 24: schermata ricavata dal software per il profilo "Standard uomo"

Standard donna

Occupante che non ha familiarità con l'ambiente, non presenta limitazioni di alcun tipo, sia fisico che funzionale. Questo profilo è stato utilizzato oltre che come occupante standard, anche come genitore, utente con passeggino, utente con valigia, assistente di occupante con limitazione cognitiva.

- Simbolo
- Forma
- Velocità



Cylinder, con diametro lasciato di default e altezza ridotta a 1,65 m;

Uniforme tra 1,2 m/s e 1,3 m/s; per questi valori si è fatto riferimento a quanto riportato all'interno della ISO TR 16738, ma il primo valore è stato ridotto, mentre il secondo fa riferimento alle osservazioni fatte per le stazioni ferroviarie per donne di circa 20 anni di età.

Figura 25: schermata ricavata dal software per il profilo "Standard donna"

Anziano

Occupante che non ha familiarità con l'ambiente, non presenta disabilità, ma a causa dell'età può comunque presentare qualche difficoltà negli spostamenti e nel riconoscimento delle situazioni.

- Simbolo
- Forma
- Velocità



Cylinder, con diametro lasciato di default e altezza ridotta a 1,7 m;

Costante pari a 0,95 m/s ridotto rispetto alla media di un utente senza disabilità in quanto è probabile che si muovano più lentamente rispetto agli altri utenti.

Figura 26: schermata ricavata dal software per il profilo "Anziano"

Bambino

Occupante che non ha familiarità con l'ambiente, non presenta limitazioni di alcun tipo ed è accompagnato da un adulto.

- Simbolo
- Forma
- Velocità



Polygon, il bambino presenta una forma di parallelepipedo di altezza 1 metro che per l'esodo necessita dell'assistenza da parte di un genitore che si posiziona a lato del bambino;

Costante pari a 0,9 m/s ridotto in quanto è ipotizzabile che un bambino si muova più lentamente.

Figura 27: schermata ricavata dal software per il profilo "Bambino"

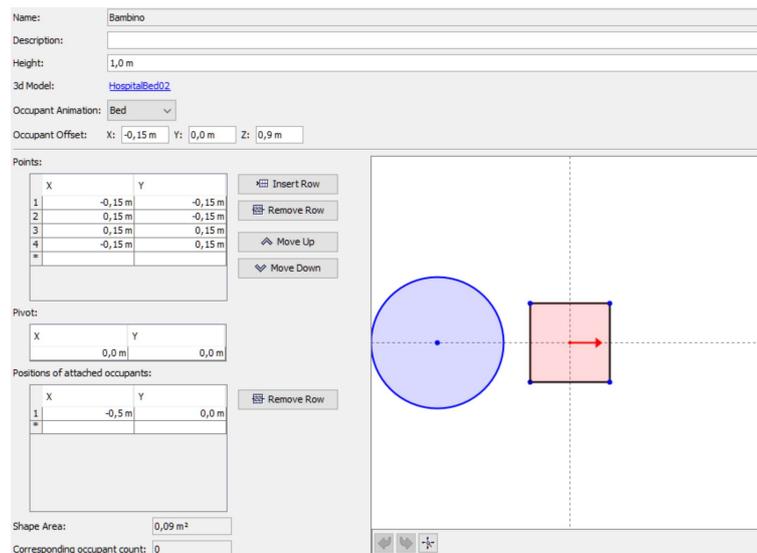
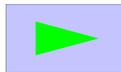


Figura 28: forma del profilo "Bambino"

Disabilità motoria - sedia a rotelle

Occupante che non ha familiarità con l'ambiente, presenta una limitazione fisica che necessita l'utilizzo di una sedia a rotelle. Questo profilo in base a dove si trova all'interno dell'ambiente può essere in grado di spostarsi in autonomia o può aver bisogno di assistenza.

- Simbolo
- Forma
- Velocità



Polygon, presenta una forma di parallelepipedo di altezza 1 metro che per l'esodo può avere o meno necessità di assistenza che nel caso si posiziona dietro per condurre l'occupante in un luogo sicuro;

Costante pari a 0,9 m/s che è un valore medio riportato all'interno della normativa ISO TR 16738 per occupanti su sedia a rotelle non assistiti che viene utilizzato anche per gli occupanti assistiti a favore di sicurezza.

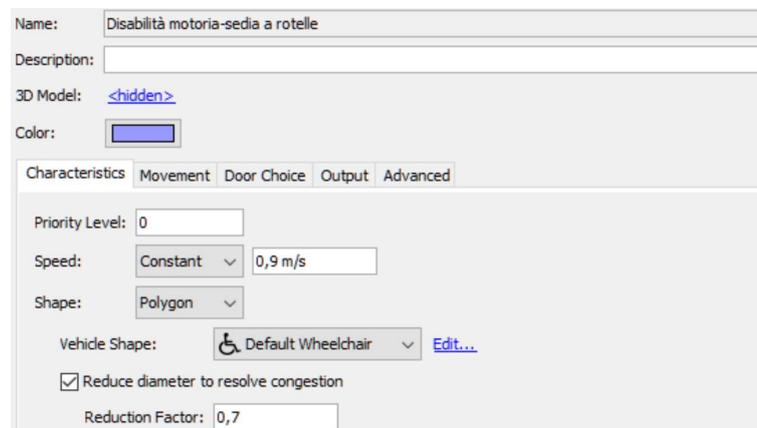


Figura 29: schermata ricavata dal software per il profilo "Disabilità motoria-sedia a rotelle"

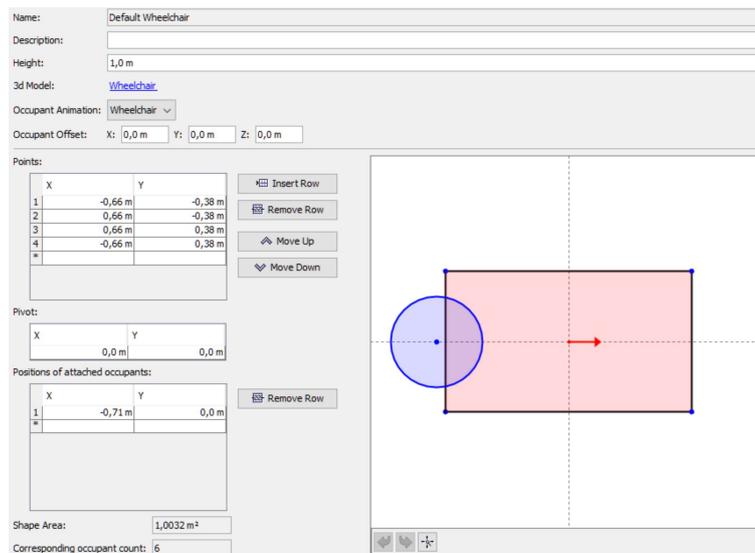


Figura 30: forma del profilo "Disabilità motoria-sedia a rotelle"

Disabilità motoria - ausilio

Occupante che non ha familiarità con l'ambiente, presenta una limitazione fisica che necessita l'utilizzo di un ausilio ma che è in grado di muoversi in autonomia.

- Simbolo
- Forma
- Velocità



Cylinder, con un'altezza di default ma un diametro maggiore in quanto tiene in considerazione che vi sia l'ingombro di un ausilio (un bastone o le stampelle); Costante pari a 0,8 m/s che è un valore medio riportato all'interno della normativa ISO TR 16738 per occupanti con disabilità motoria.

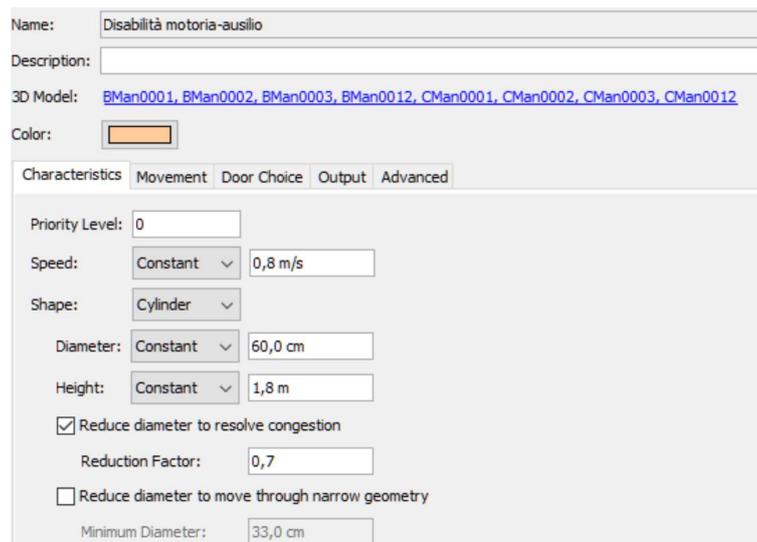


Figura 31: schermata ricavata dal software per il profilo "Disabilità motoria-ausilio"

Utente con valigia

Occupante che non ha familiarità con l'ambiente, non presenta limitazioni di alcun tipo, sia fisico che funzionale ma possiede un elemento (valigia) che nella fase d'esodo può creare un ostacolo.

- Simbolo
- Forma
- Velocità



Polygon, presenta una forma di parallelepipedo di altezza 1 metro che ha bisogno di un utente per potersi spostare, in quanto identifica un oggetto inanimato;

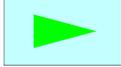
Costante pari a 1,0 m/s che è inferiore alla velocità di un utente standard in quanto potrebbe essere rallentato dalla presenza dell'ingombro.

Figura 32: schermata ricavata dal software per il profilo "Valigia"

Figura 33: forma del profilo "Valigia"

Utente con passeggino

Occupante che non ha familiarità con l'ambiente, non presenta limitazioni di alcun tipo, sia fisico che funzionale ma ha con sé un passeggino.

- Simbolo 
- Forma *Polygon*, presenta una forma di parallelepipedo di altezza 1 metro che ha bisogno di un utente per potersi spostare, in quanto identifica un oggetto inanimato;
- Velocità Costante pari a 1,0 m/s che è inferiore alla velocità di un utente standard in quanto potrebbe essere rallentato dalla presenza del passeggino.

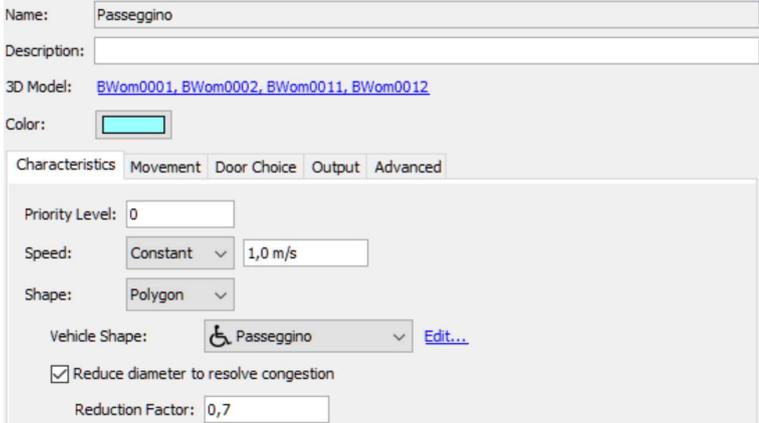


Figura 34: schermata ricavata dal software per il profilo "Bambino"

Il veicolo è analogo a quello per il disabile motorio con sedia a rotelle, con la sola differenza che in questo caso non può muoversi in autonomia ma necessita di un assistente (genitore) per muoversi.

Utente con limitazione funzionale della vista

Occupante che non ha familiarità con l'ambiente, presenta una limitazione funzionale della vista e pertanto necessita di un ausilio per gli spostamenti (bastone, cane guida).

- Simbolo 
- Forma *Polygon*, presenta una forma di parallelepipedo di altezza 1 metro che ha bisogno di un utente per potersi spostare, in quanto identifica un elemento di supporto all'esodo per un utente non vedente o ipovedente;
- Velocità Costante pari a 0,8 m/s come se ci fosse una disabilità motoria.

Name: Limitazione funzionale vista

Description:

3D Model: [BMan0001](#), [BMan0002](#), [BMan0003](#), [BMan0012](#), [CMan0001](#), [CMan0002](#), [CMan0003](#), [CMan0012](#)

Color:

Characteristics Movement Door Choice Output Advanced

Priority Level: 0

Speed: Constant 0,8 m/s

Shape: Polygon

Vehicle Shape: Ausilio [Edit...](#)

Reduce diameter to resolve congestion

Reduction Factor: 0,7

Figura 35: schermata ricavata dal software per il profilo "Limitazione funzionale vista"

La forma è analoga a quella della valigia con la differenza che si colloca davanti all'utente e non dietro, poiché serve per guidare l'occupante durante l'esodo.

Utente con limitazione funzionale dell'udito

Occupante che non ha familiarità con l'ambiente, presenta una limitazione funzionale dell'udito.

- Simbolo 
- Forma *Cylinder*, con diametro e altezza lasciati di default;
- Velocità Costante pari a 1,25 m/s come un utente standard in quanto non vi sono limitazioni tali da rallentare l'occupante durante il movimento.

Name: Limitazione funzionale udito

Description:

3D Model: [BMan0001](#), [BMan0002](#), [BMan0003](#), [BMan0012](#), [CMan0001](#), [CMan0002](#), [CMan0003](#), [CMan0012](#)

Color:

Characteristics Movement Door Choice Output Advanced

Priority Level: 0

Speed: Constant 1,25 m/s

Shape: Cylinder

Diameter: Constant 45,58 cm

Height: Constant 1,8 m

Reduce diameter to resolve congestion

Reduction Factor: 0,7

Reduce diameter to move through narrow geometry

Minimum Diameter: 33,0 cm

Figura 36: schermata ricavata dal software per il profilo "Limitazione funzionale udito"

Utente con limitazione cognitiva

Occupante che non ha familiarità con l'ambiente, presenta una limitazione cognitiva e richiede la presenza di un altro occupante.

- Simbolo
- Forma
- Velocità



Polygon, presenta una forma di parallelepipedo di altezza 1,8 metri che ha bisogno di un utente per poter procedere con l'esodo;

Costante pari a 1,0 m/s in quanto anche se non è presente un deficit motorio il movimento potrebbe essere rallentato.

Figura 37: schermata ricavata dal software per il profilo "Limitazione cognitiva"

Points	X	Y
1	0,0 m	0,2 m
2	0,15 m	0,15 m
3	0,2 m	0,0 m
4	0,15 m	-0,15 m
5	0,0 m	-0,2 m
6	-0,2 m	0,0 m
*		

Positions of attached occupants	X	Y
1	-0,5 m	0,0 m
*		

Figura 38: forma del profilo " Limitazione cognitiva "

Soccorritore

Occupante che interviene a soccorso degli utenti presenti in un ambiente in cui vi è un pericolo e possono assistere soggetti che si trovano in difficoltà.

- Simbolo 
- Forma *Cylinder*, con diametro e altezza lasciati di default;
- Velocità Costante pari a 1,6 m/s in quanto si ipotizza che i soccorritori si muovano ad una velocità media superiore agli altri occupanti.

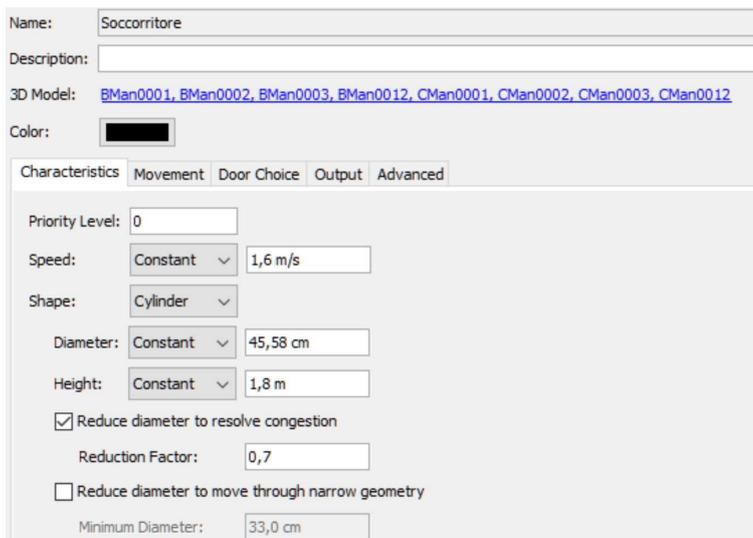


Figura 39: schermata ricavata dal software per il profilo "Soccorritore"

6.2. Simulazione 1

La prima simulazione è stata impostata seguendo quanto riportato da normativa, simulando quello che sarebbe l'approccio di un professionista antincendio che deve eseguire un progetto di una stazione metropolitana con il metodo prestazionale.

Il primo passo è stato quello di definire i profili degli utenti che sono quelli riportati nel paragrafo precedente, che restano invariati per tutte le simulazioni e sono i seguenti:

- *Standard uomo*
- *Standard donna*
- *Anziano*
- *Bambino*
- *Valigia*
- *Passettino*
- *Utente con disabilità motoria sedia a rotelle*
- *Utente con disabilità motoria con ausilio*

- *Utente con limitazione funzionale della vista*
- *Utente con limitazione funzionale dell'udito*
- *Utente con limitazione cognitiva*
- *Soccorritore*

6.2.1. Aspetti comportamentali

Dopo aver definito i diversi profili è necessario procedere con la creazione degli aspetti comportamentali da associare alle varie tipologie di utenti. Per farlo deve essere definito sia il comportamento, quindi le azioni eseguite durante l'esodo, sia il tempo impiegato prima di eseguire tali azioni, che precede pertanto l'evacuazione. All'interno del programma utilizzato, tali aspetti comportamentali vengono creati sotto la voce di "behaviors": per ognuno di essi è appunto possibile definire una serie di azioni che vengono eseguite durante l'esodo ed è possibile assegnare un ritardo iniziale.

Il ritardo iniziale è dato dalla somma di tre elementi che sono stati già descritti nel paragrafo 3.1., ossia il tempo di rilevazione allarme t_{det} , il tempo di allarme generale t_a , e il tempo di pre-movimento t_{pre}

$$Initial\ delay = t_{det} + t_a + t_{pre}$$

In queste simulazioni, che puntano a dimostrare come una corretta analisi del comportamento umano sia essenziale poiché influisce sull'esito di tali simulazioni e di conseguenza sulla progettazione antincendio, si è scelto di valutare come istante iniziale, il momento in cui avviene la segnalazione dell'allarme, pertanto i valori t_{det} e t_a non sono stati considerati. Per il t_{pre} invece, per questa specifica simulazione, sono stati assunti i valori riportati della ISO TR 16738 nella *tabella E.2*: per la determinazione di questi valori, sono state fatte delle valutazioni a monte che riguardano la qualità dell'allarme, la complessità dell'edificio e la gestione della sicurezza antincendio, così come richiesto dalla normativa stessa.

Pertanto i valori ricavati sono i seguenti:

E: Transportation: Awake and unfamiliar (e.g. railway or bus station or airport)		
M1 B3 A1 – A2	—	—
M2 B3 A1 – A2	1,5	4
M3 B3 A1 – A3	2,0	5
M1 and M2 normally require a voice alarm/PA.	> 15	> 15

Figura 40: estratto tabella E.2 della ISO TR 16738

L'intervallo di valori per il caso studio risulta essere 90 – 240 secondi: i due tempi riportati in tabella individuano rispettivamente, il tempo di pre-movimento dei primi occupanti (1° percentile) e il tempo di pre-movimento degli ultimi occupanti (99° percentile).

I "behaviors" che sono stati creati per le simulazioni sono i seguenti:

- *Standard*
- *Anziano*
- *Genitore passeggiatore*
- *Passeggiatore*

- *Utente limitazione udito*
- *Utente limitazione vista*
- *Ausilio limitazione vista*
- *Assistente limitazione cognitiva*
- *Utente limitazione cognitiva*
- *Utente con valigia*
- *Valigia*
- *Disabile motorio ausilio*
- *Genitore*
- *Bambino*
- *Disabile motorio*
- *Soccorso disabile*

Standard

È il comportamento assegnato a tutti gli occupanti che non presentano alcuna particolarità tra i profili *Standard uomo* e *Standard donna*.

- L'azione che viene svolta è dirigersi verso l'uscita più vicina ("*any exit*").
- Il ritardo iniziale che è stato associato a questo comportamento presenta un andamento log-normale dove i tempi determinati dalla ISO TR 16738, sono stati assunti come valori minimi e massimi.

Initial Delay

Log-normal Min: 90,0 s Max: 240,0 s

Location (μ): 140,0 s Scale (σ): 30,0 s

OK Cancel

Anziano

È il comportamento assegnato al profilo *anziano*.

- L'azione che viene svolta è dirigersi verso l'uscita più vicina ("*any exit*").
- Il ritardo iniziale che è stato associato a questo comportamento presenta un andamento log-normale dove i valori sono aumentati di 20 secondi rispetto a quello *standard*.

Initial Delay

Log-normal Min: 110,0 s Max: 260,0 s

Location (μ): 160,0 s Scale (σ): 30,0 s

OK Cancel

Genitore passeggino

È il comportamento assegnato ad un profilo *standard* nel caso in cui si ipotizzi la presenza di un genitore che ha un passeggino con sé.

- Le azioni che vengono svolte sono l'assistenza ad un altro utente ("*Assist occupants*"), in questo caso il passeggino e successivamente il dirigersi verso l'uscita più vicina ("*any exit*").
- Il ritardo iniziale che è stato associato a questo comportamento presenta un andamento log-normale dove i valori sono i medesimi del comportamento *standard*.

Passeggino

È il comportamento assegnato al profilo *Passeggino*.

- Trattandosi di un oggetto non è in grado di muoversi in autonomia, le azioni ad esso associate sono la necessità di assistenza da parte di un altro utente ("*Wait for assistance*"), in questo caso l'utente a cui è associato il comportamento di *Genitore passeggino* e successivamente il dirigersi verso l'uscita più vicina ("*any exit*").
- Il ritardo iniziale che è stato associato a questo comportamento è nulla in quanto è dipendente dal ritardo dell'occupante che assiste.

Utente con limitazione udito

È il comportamento assegnato al profilo *utente con limitazione funzionale dell'udito*.

- L'azione che viene svolta è dirigersi verso l'uscita più vicina ("*any exit*").
- Il ritardo iniziale che è stato associato a questo comportamento presenta un andamento log-normale dove i valori sono i medesimi del comportamento *anziano*.

Utente con limitazione vista

È il comportamento assegnato al profilo di un utente *standard*.

- Le azioni che vengono svolte sono l'assistenza ad un altro utente ("*Assist occupants*"), in questo caso *l'ausilio per la limitazione della vista* e successivamente il dirigersi verso l'uscita più vicina ("*any exit*").
- Il ritardo iniziale che è stato associato a questo comportamento presenta un andamento log-normale dove i valori sono i medesimi del comportamento *anziano*.

Ausilio limitazione vista

È il comportamento assegnato al profilo *utente con limitazione funzionale della vista*.

- Trattandosi di un oggetto non è in grado di muoversi in autonomia, le azioni ad esso associate sono la necessità di assistenza da parte di un altro utente ("*Wait for assistance*"), in questo caso l'utente a cui è associato il comportamento di *utente con limitazione vista* e successivamente il dirigersi verso l'uscita più vicina ("*any exit*").

- Il ritardo iniziale che è stato associato a questo comportamento è nulla in quanto è dipendente dal ritardo dell'occupante che assiste.

Assistente limitazione cognitiva

È il comportamento assegnato al profilo di un utente *standard*.

- Le azioni che vengono svolte sono l'assistenza ad un altro utente ("*Assist occupants*"), in questo caso *utente con limitazione cognitiva* e successivamente il dirigersi verso l'uscita più vicina ("*any exit*").
- Il ritardo iniziale che è stato associato a questo comportamento presenta un andamento log-normale dove i valori sono i medesimi del comportamento *standard*.

Utente limitazione cognitiva

È il comportamento assegnato al profilo *utente con limitazione cognitiva*.

- Le azioni che vengono svolte sono la necessità di assistenza da un altro utente ("*Wait for assistance*"), in questo caso l'utente a cui è associato il comportamento di *assistente limitazione cognitiva* e successivamente il dirigersi verso l'uscita più vicina ("*any exit*").
- Il ritardo iniziale che è stato associato a questo comportamento è nulla in quanto è dipendente dal ritardo dell'occupante che assiste.

Utente con valigia

È il comportamento assegnato ad un profilo *standard* nel caso in cui si ipotizzi la presenza di un utente che possiede un bagaglio con sé, cosa probabile trattandosi di una stazione metropolitana.

- Le azioni che vengono svolte sono l'assistenza ad un occupante ("*Assist occupants*"), in questo caso la *valigia* e successivamente il dirigersi verso l'uscita più vicina ("*any exit*").
- Il ritardo iniziale che è stato associato a questo comportamento presenta un andamento log-normale dove i valori sono i medesimi del comportamento *standard*.

Valigia

È il comportamento assegnato al profilo *valigia*.

- Trattandosi di un oggetto non è in grado di muoversi in autonomia, pertanto le azioni ad esso associate sono la necessità di assistenza da parte di un altro utente ("*Wait for assistance*"), in questo caso l'utente a cui è associato il comportamento di *utente con valigia* e successivamente il dirigersi verso l'uscita più vicina ("*any exit*").
- Il ritardo iniziale che è stato associato a questo comportamento è nulla in quanto è dipendente dal ritardo dell'occupante che assiste.

Disabile motorio ausilio

È il comportamento assegnato al profilo *utente con disabilità motorie ausilio*.

- L'azione che viene svolta è dirigersi verso l'uscita più vicina ("*any exit*").
- Il ritardo iniziale che è stato associato a questo comportamento presenta un andamento log-normale dove i valori sono i medesimi del comportamento standard.

Genitore

È il comportamento assegnato al profilo di un utente *standard*.

- Le azioni che vengono svolte sono l'assistenza ad un altro utente ("*Assist occupants*"), in questo caso l'utente *bambino* e successivamente il dirigersi verso l'uscita più vicina ("*any exit*").
- Il ritardo iniziale che è stato associato a questo comportamento presenta un andamento log-normale dove i valori sono i medesimi del comportamento *standard*.

Bambino

È il comportamento assegnato al profilo *bambino*.

- Le azioni che vengono svolte sono la necessità di assistenza da un altro utente ("*Wait for assistance*"), in questo caso l'utente a cui è associato il comportamento di *genitore* e successivamente il dirigersi verso l'uscita più vicina ("*any exit*").
- Il ritardo iniziale che è stato associato a questo comportamento è nulla in quanto è dipendente dal ritardo dell'occupante che assiste.

Disabile motorio

È il comportamento assegnato al profilo *utente con disabilità motorie sedia a rotelle*.

- Le azioni che vengono svolte sono lo spostamento verso un punto ("*Goto waypoint*"), in quanto all'interno della stazione metropolitana vi sono dei cartelli che indicano il luogo in cui persone con difficoltà devono aspettare per ricevere assistenza da parte dei soccorritori, la necessità di assistenza da un altro utente ("*Wait for assistance*"), in questo caso l'utente a cui è associato il comportamento di *soccorso disabile* e successivamente il dirigersi verso l'uscita più vicina ("*any exit*").
- Il ritardo iniziale che è stato associato a questo comportamento è uniforme tra i 90 e 240 secondi per lo spostamento verso il luogo indicato.

È stata fatta un'eccezione per l'occupante con disabilità motoria con sedia a rotelle nell'atrio in quanto non attende l'arrivo dei soccorsi per uscire, ma come per un utente con comportamento *standard* procede con l'evacuazione dopo un ritardo iniziale.

Soccorso disabile

È il comportamento assegnato al profilo del *soccorritore*.

- Le azioni che vengono svolte sono l'assistenza ad un altro utente ("*Assist occupants*"), in questo caso l'utente con *disabilità motorie con sedia a rotelle* e successivamente il dirigersi verso l'uscita più vicina ("*any exit*").

- Il ritardo iniziale che è stato associato a questo comportamento è 835 secondi, ovvero poco meno di 14 minuti che è il tempo medio impiegato dai soccorritori per raggiungere un luogo in cui eseguire l'intervento, come è possibile osservare nella seguente immagine.

Regione	Tempi medi in minuti di Arrivo sul luogo dell'intervento (uscita sede - arrivo sul luogo)				Durate medie in minuti degli interventi di soccorso (inizio-chiusura operazioni)			
	2018	Media (*)	Var % (**)	Var % (***)	2018	Media (*)	Var % (**)	Var % (***)
ABRUZZO	17,1	16,3	5,3%	-23,0%	44,1	49,3	-10,5%	-40,1%
BASILICATA	20,4	20,6	-1,0%	-15,5%	53,3	61,0	-12,6%	-27,8%
CALABRIA	17,9	15,3	16,6%	-5,6%	61,6	56,7	8,6%	-17,4%
CAMPANIA	17,0	14,8	15,3%	-4,1%	60,1	60,0	0,1%	-10,8%
EMILIA ROM.	17,1	15,0	14,4%	1,5%	40,6	38,7	4,8%	-3,1%
FRIULI V. G.	15,1	13,5	11,8%	1,9%	47,4	44,8	5,9%	2,4%
LAZIO	18,3	15,9	14,8%	-2,9%	41,6	41,0	1,4%	-20,9%
LIGURIA	15,0	12,6	18,9%	-0,9%	49,3	44,0	12,1%	3,3%
LOMBARDIA	15,2	13,9	9,4%	-0,3%	50,0	47,0	6,2%	-1,7%
MARCHE	16,1	14,2	13,5%	1,9%	45,5	45,9	-1,0%	-27,8%
MOLISE	17,6	16,3	8,2%	-2,0%	42,3	46,3	-8,6%	-19,4%
PIEMONTE	16,0	14,1	13,9%	-5,6%	43,8	43,3	1,0%	-13,4%
PUGLIA	17,3	15,5	11,9%	-2,6%	44,7	43,4	2,8%	-7,7%
SARDEGNA	16,7	14,6	14,7%	-0,2%	39,0	38,0	2,8%	-1,4%
SICILIA	16,3	13,2	22,9%	5,0%	54,7	52,4	4,3%	-6,1%
TOSCANA	16,8	15,1	11,0%	2,9%	40,1	39,6	1,3%	-6,4%
UMBRIA	18,7	14,5	29,2%	19,1%	47,4	44,2	7,3%	-11,4%
VENETO	18,5	16,5	12,5%	5,7%	59,1	51,9	14,0%	9,8%
MEDIA NAZ.	16,8	14,7	14,1%	-1,2%	48,3	46,9	3,1%	-10,9%

(*) Valore medio calcolato su 5 anni (dal 2013 al 2017).

(**) Variazione % riscontrata nel 2018 rispetto alla Media dei 5 anni precedenti.

(***) Variazione % riscontrata nel 2018 rispetto all'anno precedente (2017).

Figura 41: tabella tempi medi di arrivo dei soccorritori sul luogo di intervento [24]

I comportamenti appena descritti sono stati poi replicati all'interno della simulazione diverse volte assegnandoli ai vari utenti, qualora ce ne fosse stato bisogno.

6.2.2. Layout

Dopo aver definito profili e comportamenti si è proceduto al posizionamento degli occupanti all'interno dell'ambiente in base alle quantità definite nel paragrafo 5.2.2. per le varie aree, ossia atrio, banchine e treni. Il posizionamento è stato eseguito in modo casuale scelto dal software, come è possibile osservare dalle seguenti immagini. Le aree rosse di forma circolare presenti nelle banchine sono i punti dove si dirigono gli utenti con disabilità motoria per attendere il soccorso. Nell'atrio è possibile osservare quattro occupanti posti vicino all'ingresso che sono i soccorritori che intervengono circa 14 minuti dopo l'avvio della simulazione.

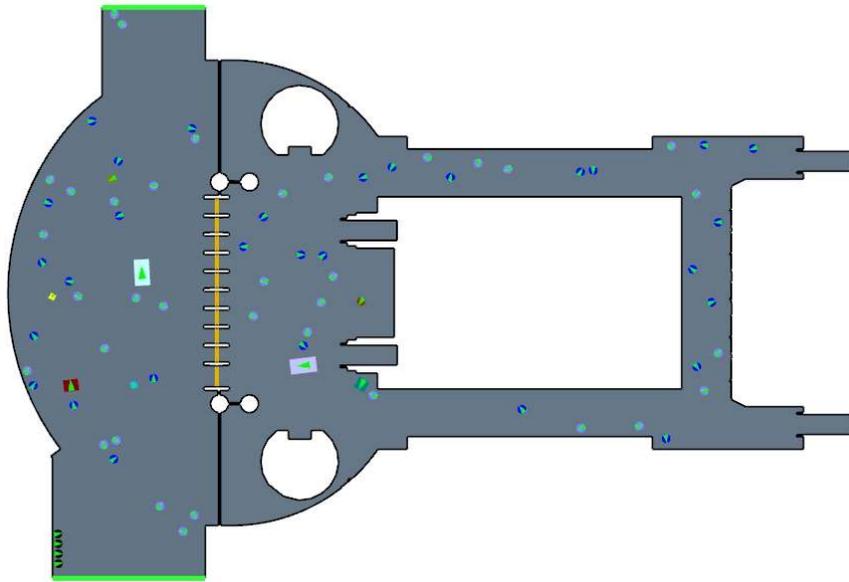


Figura 42: collocamento occupanti nell'atrio

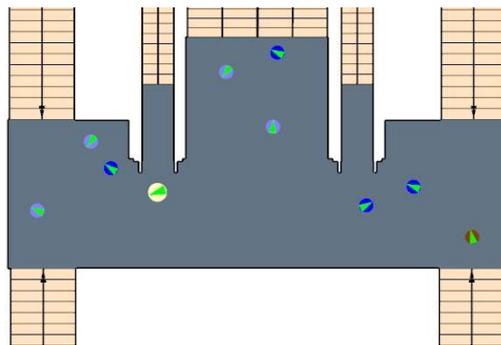


Figura 43: collocamento occupanti nel pianerottolo

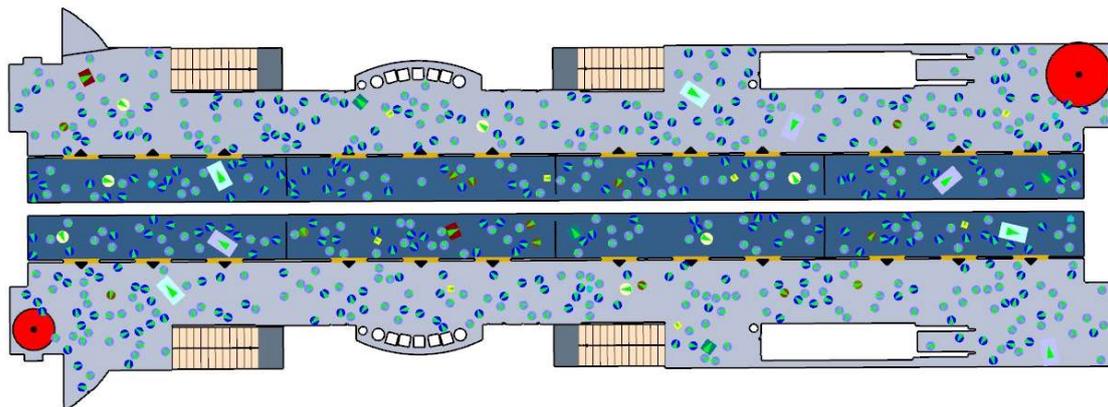


Figura 44: collocamento occupanti nelle banchine e nei treni

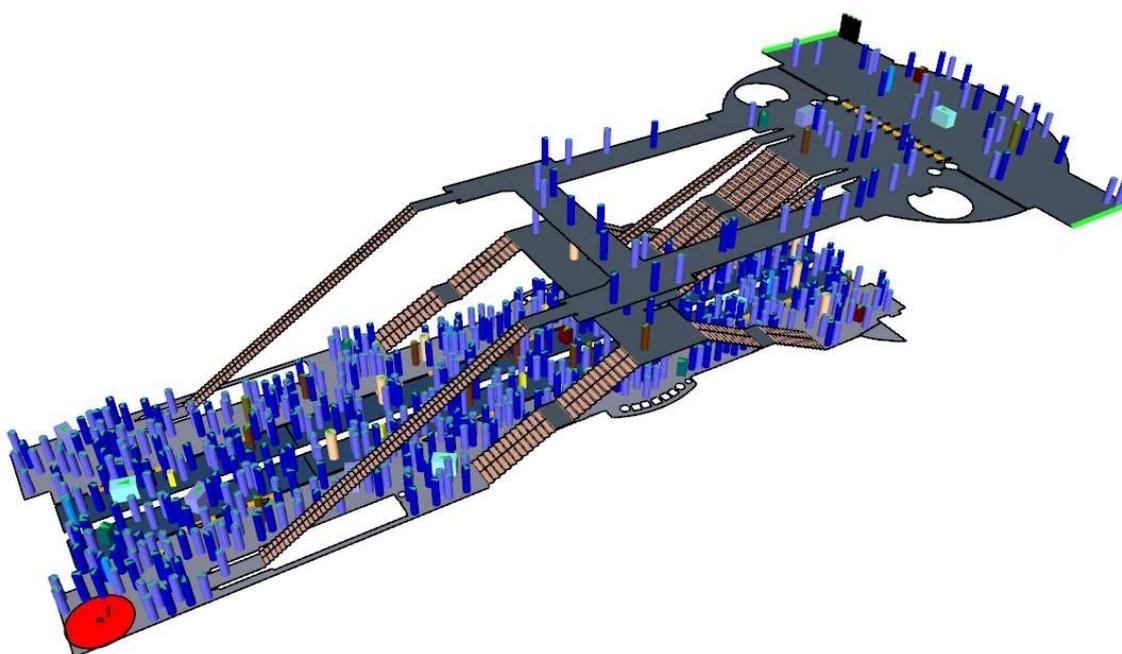


Figura 45: visuale 3D collocamento occupanti

A livello di layout sono stati anche inseriti degli elementi che separano la stanza che identifica il treno in quattro ambienti simulando i vagoni in cui è composto il treno nella realtà.

Le porte che consentono gli accessi ai treni invece sono state impostate in modo che consentano solo l'uscita dai treni verso le banchine.

I tornelli che separano l'atrio con libero accesso al resto della stazione, nell'istante in cui inizia la segnalazione dell'allarme si aprono: nonostante questo solo uno è accessibile per persone su sedia a rotelle, per passeggini o per qualsiasi altro ingombro in quanto presenta una larghezza di 1 metro a fronte degli altri che sono larghi 75 cm circa. Inoltre solo un tornello, collocato centralmente rispetto agli altri, consente l'esodo da parte di un utente con limitazione funzionale della vista poiché è presente la segnaletica tattile a terra.

6.2.3 Risultati

Per riportare i risultati ottenuti dalla simulazione è necessario distinguere le osservazioni tra gli occupanti che si muovono in autonomia e quelli che necessitano di assistenza da parte dei soccorritori.

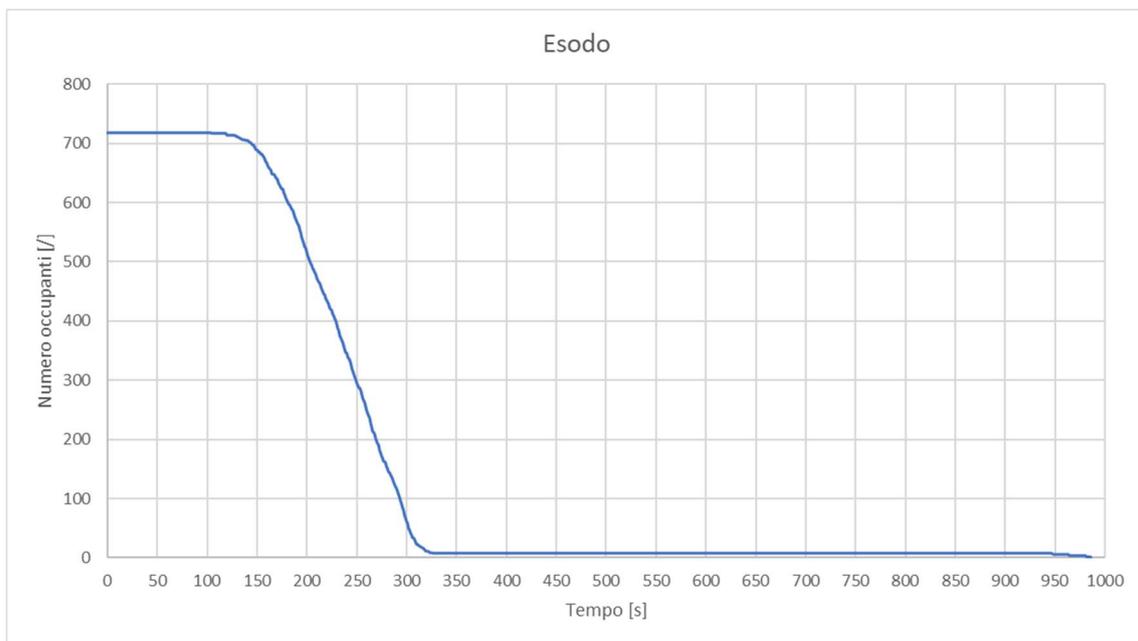


Figura 46: tempo richiesto per l'esodo degli occupanti nella simulazione 1

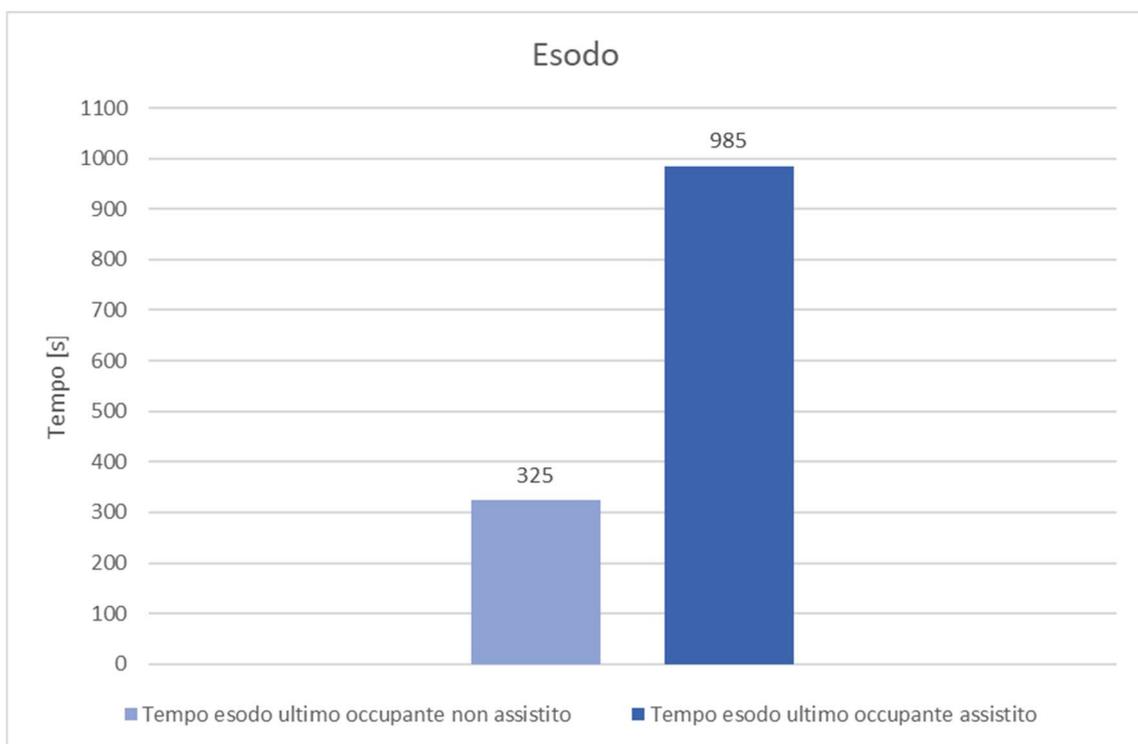


Figura 47: tempo richiesto per l'esodo degli occupanti nella simulazione 1, distinguendo tra assistiti e non assistiti

Pertanto analizzando i risultati rispetto agli occupanti in grado di procedere con l'esodo autonomamente si osserva quanto segue: avendo ipotizzato come ritardo dell'esodo un tempo minimo di 90 secondi, dopo tale momento si osserva l'inizio del movimento dei primi occupanti nell'ambiente, in particolare il primo utente che inizia l'esodo è caratterizzato dal profilo *Standard donna* e si trova in una delle due banchine.

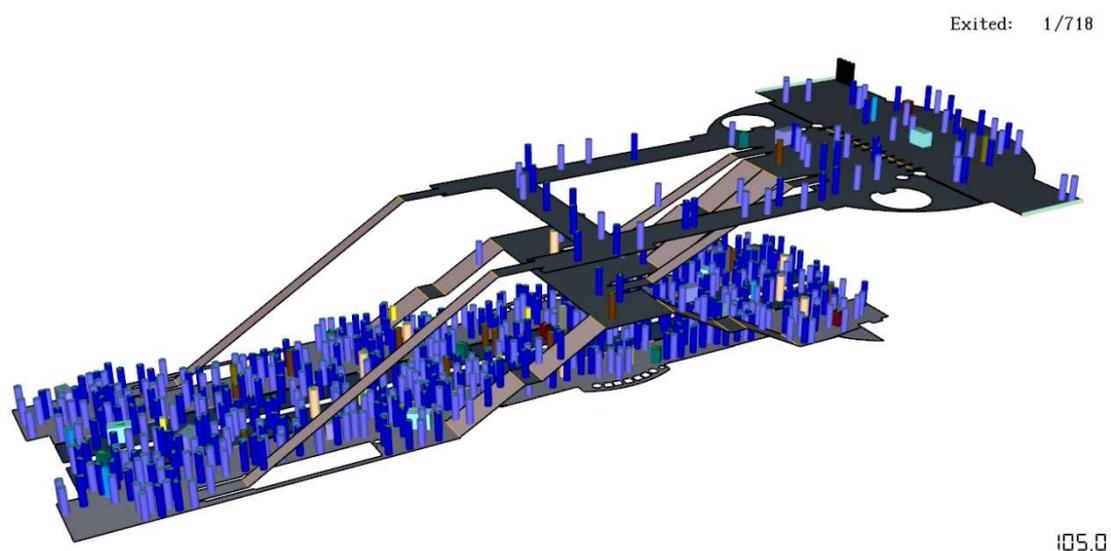


Figura 48: istante esodo primo occupante

Dopo 105 secondi invece si osserva l'uscita del primo occupante, con il profilo di *Standard uomo*, che si trova all'interno dell'atrio ad accesso libero.

L'ultimo occupante che lascia l'ambiente invece, è caratterizzato dal profilo *Anziano* e lo fa dopo 325 secondi, che è anche l'ultimo occupante che inizia il movimento dopo circa 252 secondi.

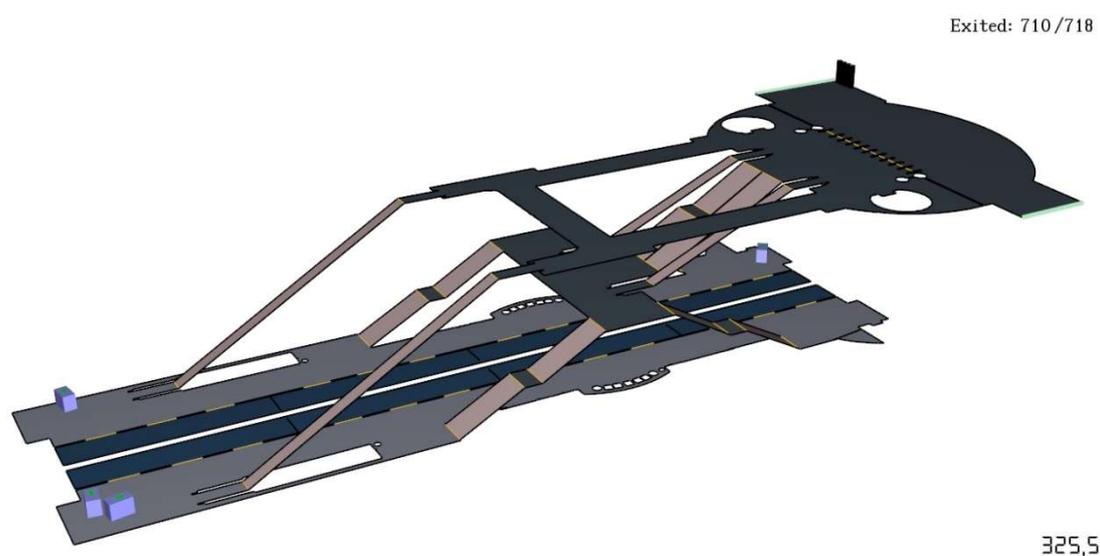


Figura 49: istante esodo ultimo occupante non assistito

L'occupante che impiega il maggior tempo per l'esodo è un utente con limitazione funzionale della vista che si trova sul treno e che impiega circa 120 secondi per lasciare l'ambiente.

Gli utenti con disabilità motoria che si trovano nelle banchine in un tempo compreso tra i 90 e 240 secondi si muovono per recarsi nel luogo indicato per attendere l'assistenza da parte dei soccorritori.

A 835 secondi entrano nella struttura i soccorritori che raggiungono gli utenti con disabilità motoria che si trovano agli estremi delle banchine.

Exited: 710/718

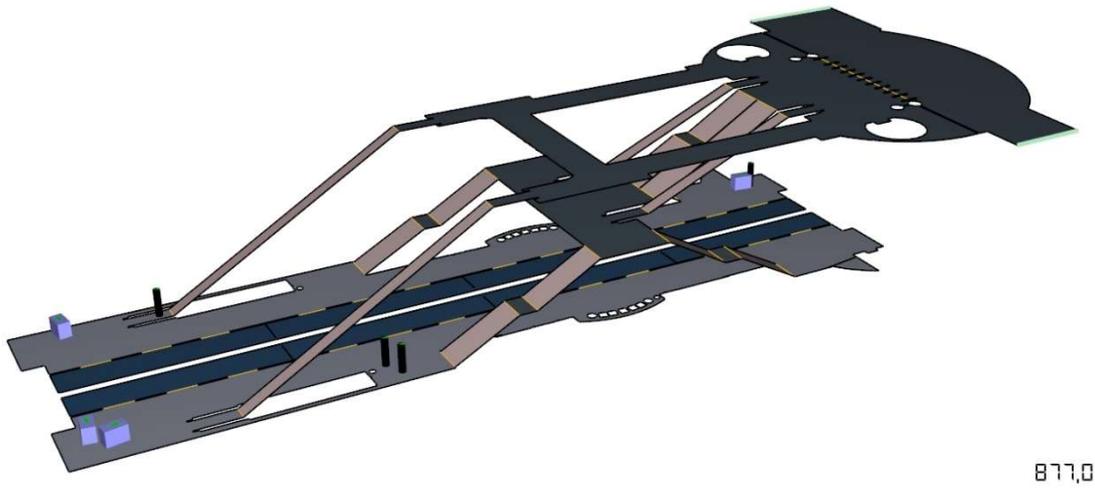


Figura 50: istante in cui vengono soccorsi gli occupanti che necessitano di assistenza

La simulazione termina con l'uscita dell'ultimo occupante assistito dopo 16,25 minuti (985,5 secondi). Di seguito si riportano una serie di schermate ad intervalli di 50 secondi per osservare il processo d'esodo (non sono state riportate a 50 e 100 secondi perché poco interessanti in quanto rimane pressoché tutto invariato).

Exited: 0/718

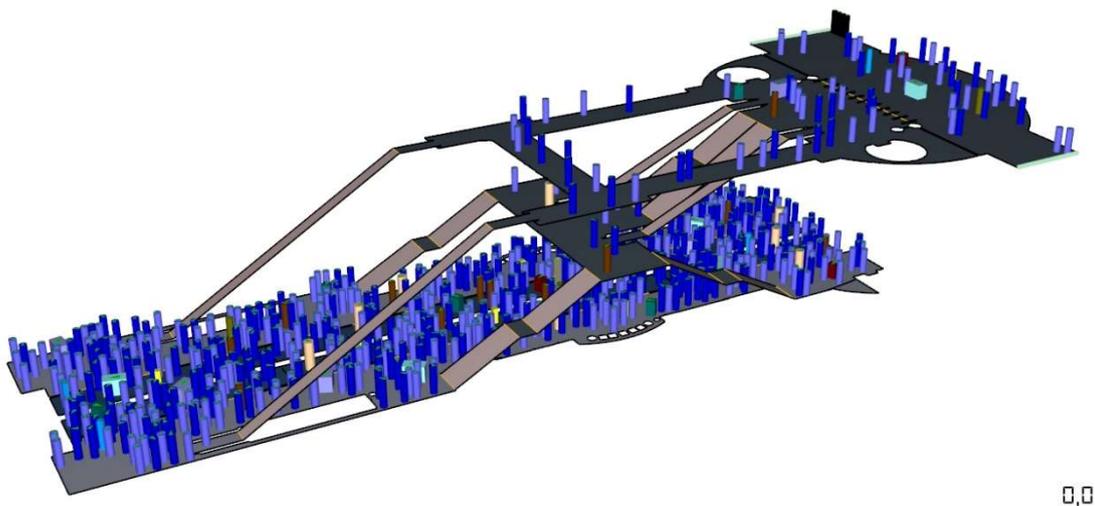
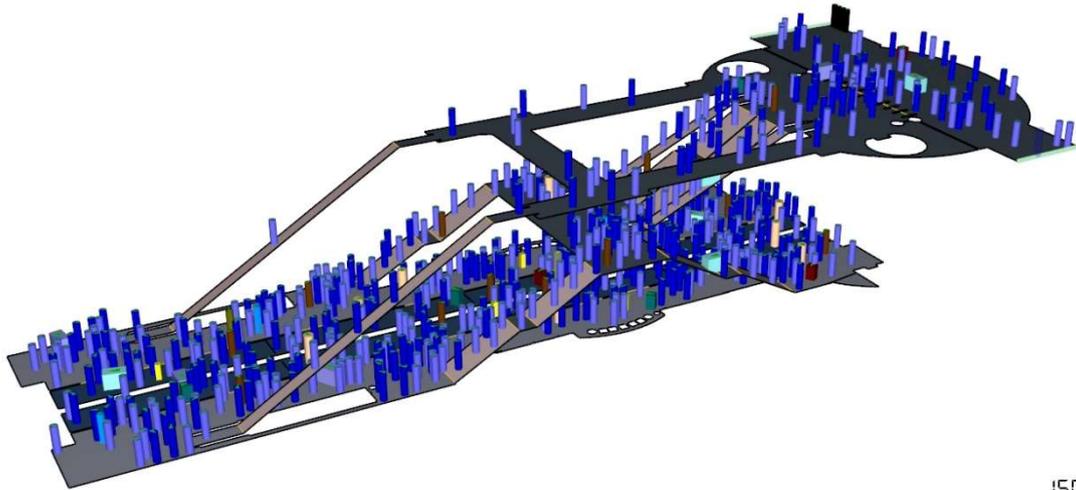


Figura 51: posizione occupanti nell'istante iniziale della simulazione

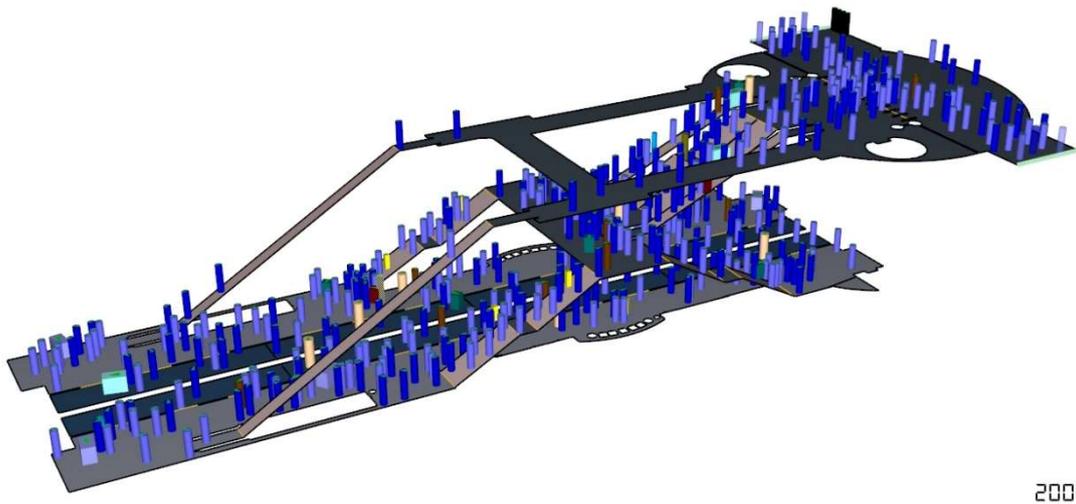
Exited: 29/718



150,0

Figura 52: posizione occupanti dopo 150 secondi dall'inizio della simulazione

Exited: 202/718



200,0

Figura 53: posizione occupanti dopo 200 secondi dall'inizio della simulazione

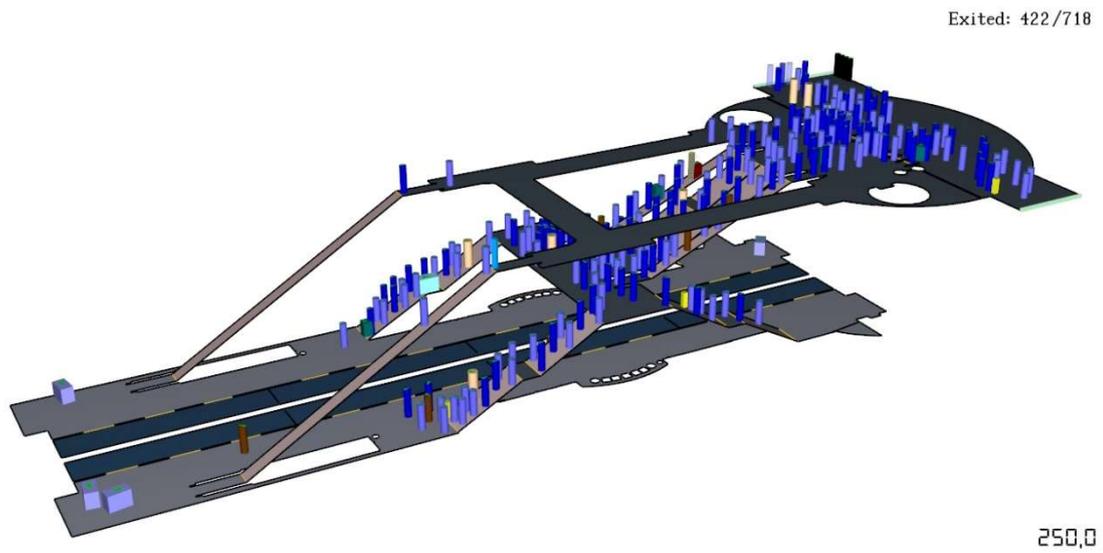


Figura 54: posizione occupanti dopo 250 secondi dall'inizio della simulazione

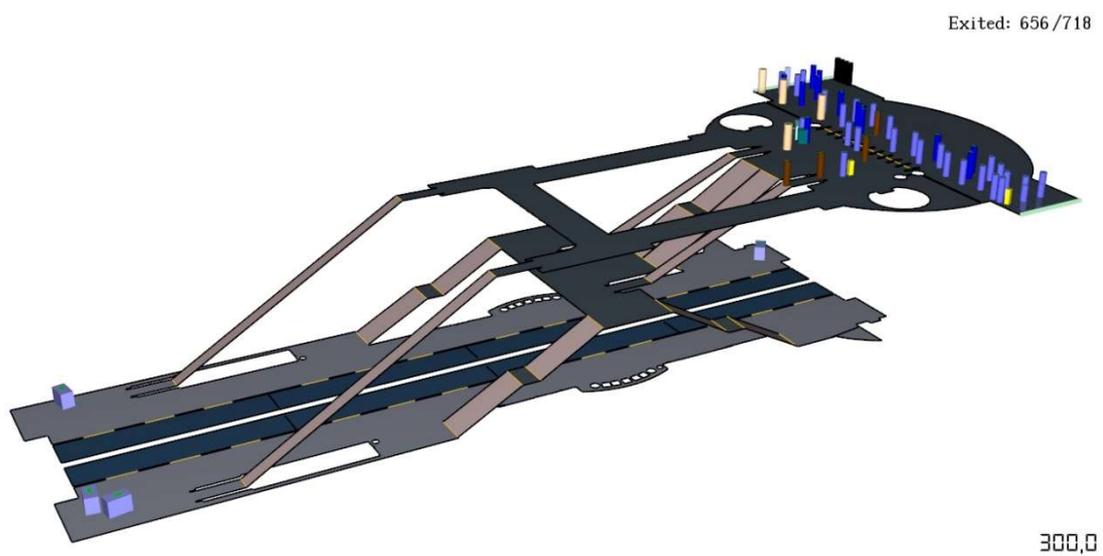


Figura 55: posizione occupanti dopo 300 secondi dall'inizio della simulazione

6.3. Simulazione 2

La seguente simulazione è stata impostata ipotizzando una situazione peggiorativa rispetto a quella presente nella realtà ed anche rispetto alla simulazione precedente.

In questo caso è stata prevista:

- una segnalazione dell'allarme univocamente mediante allarme acustico a tono;
- assenza di personale formato in grado di assistere tempestivamente gli occupanti;

- segnaletica correttamente collocata, illuminata, con corretto contrasto cromatico, non solo visiva ma anche tattile.

Come per la precedente simulazione sono stati inseriti i profili degli occupanti che risultano essere gli stessi proprio per le ipotesi fatte rispetto all'esecuzione delle simulazioni.

I profili inseriti nella simulazione sono i seguenti, la cui descrizione è riportata al paragrafo 6.2.1.:

- *Standard uomo*
- *Standard donna*
- *Anziano*
- *Bambino*
- *Valigia*
- *Passeggino*
- *Utente con disabilità motoria sedia a rotelle*
- *Utente con disabilità motoria con ausilio*
- *Utente con limitazione funzionale della vista*
- *Utente con limitazione funzionale dell'udito*
- *Utente con limitazione cognitiva*
- *Soccorritore*

6.3.1. Aspetti comportamentali

Anche in questo caso, come la simulazione precedente sono stati definiti gli aspetti comportamentali e deve essere pertanto descritto sia il comportamento, quindi le azioni eseguite durante l'esodo, sia il tempo impiegato prima di procedere con l'evacuazione.

Da uno studio condotto all'interno di una stazione metropolitana in cui sono state realizzate delle simulazioni reali dell'esodo [19], è emerso che nel caso in cui vi sia solamente la segnalazione dell'allarme mediante un allarme acustico, gli occupanti tendono a sottovalutare il pericolo e a continuare ad eseguire le proprie attività fino all'arrivo dei soccorsi, momento in cui si ha l'effettivo inizio dell'esodo. Questo avviene poiché, solo con la segnalazione mediante l'allarme acustico, gli occupanti in generale potrebbero non essere in grado di riconoscere il pericolo, si pensi ad esempio al caso in cui sia presente qualche limitazione funzionale, ma potrebbero anche pensare ad un falso allarme o potrebbero utilizzare del tempo per comprendere meglio l'accaduto. Sempre lo stesso studio [19], attraverso la compilazione di alcuni questionari dopo la simulazione ha mostrato come del 93% della popolazione che ha dichiarato di aver sentito l'allarme, il 76% ha riferito di aver pensato ad un falso allarme, inoltre il 24% delle persone che hanno compilato il questionario ha detto di aver utilizzato del tempo per chiedere informazioni su quanto stesse realmente accadendo.

Pertanto nella definizione degli aspetti comportamentali da inserire all'interno della simulazione sono state tenute in considerazione tutte le analisi appena riportate.

La prima variazione rispetto alla precedente simulazione è stata quella di distinguere i comportamenti tra gli utenti dell'atrio con accesso libero, utenti nell'atrio dopo i tornelli, nel pianerottolo e nell'area delle banchine e dei treni.

Per tutti gli occupanti nella stazione sono stati attribuiti dei ritardi in funzione dei tempi impiegati dai soccorritori per raggiungere il luogo di intervento (vedi *Figura 41*). Per la scelta dell'intervallo del ritardo iniziale sono stati presi come riferimento i tempi osservati in casi reali avvenuti in altri luoghi aperti al pubblico in cui, con la presenza di personale, tale ritardo è stato tra i 30 e i 60 secondi [5].

I "behaviours" inseriti per la simulazione sono i seguenti:

- *Standard atrio libero*
- *Standard atrio*
- *Anziano atrio*
- *Genitore passeggiato atrio*
- *Passeggiato atrio*
- *Utente limitazione udito atrio*
- *Utente limitazione vista atrio*
- *Ausilio limitazione vista atrio*
- *Assistente limitazione cognitiva atrio*
- *Utente limitazione cognitiva atrio*
- *Utente con valigia atrio*
- *Valigia atrio*
- *Disabile motorio ausilio atrio*
- *Genitore atrio*
- *Bambino atrio*
- *Disabile motorio atrio*
- *Soccorso atrio libero*
- *Soccorso atrio*
- *Gruppo atrio*
- *Straniero atrio*
- *Gruppo pianerottolo*
- *Standard*
- *Anziano*
- *Genitore passeggiato*
- *Passeggiato*
- *Utente limitazione udito*
- *Utente limitazione vista*
- *Ausilio limitazione vista*
- *Assistente limitazione cognitiva*
- *Utente limitazione cognitiva*

- *Utente con valigia*
- *Valigia*
- *Disabile motorio ausilio*
- *Genitore*
- *Bambino*
- *Disabile motorio*
- *Soccorso disabili*
- *Straniero*
- *Gruppo*

In generale i comportamenti osservati nell'atrio sono tutti influenzati dalla presenza dei soccorritori, quindi l'intervallo dei tempi di risposta sarà ridotto ma successivo all'arrivo del personale, che avviene dopo circa 840 secondi. Per gli utenti standard, senza particolari difficoltà il ritardo si è considerato uniformemente distribuito per un intervallo di circa 30 secondi mentre è stato considerato maggiore per utenti in difficoltà, come anziani, utenti con delle limitazioni. I comportamenti sono generalmente analoghi alla simulazione precedente tranne per i soccorritori che hanno il compito di restare all'interno per aiutare gli occupanti durante l'esodo fino a quando escono tutti. Inoltre a differenza di prima si ipotizza la presenza di stranieri che impiegano un maggior tempo a comprendere la situazione, anche in presenza dei soccorritori, e di gruppi di occupanti che sono stati pensati al fine di simulare il comportamento gregario.

Tutti i "behaviours" sono stati poi replicati per le aree delle banchine e dei treni, in funzione alle quantità descritte nel paragrafo 5.2.2.

In questo caso il ritardo d'inizio dell'esodo ha un valore pari all'istante in cui i soccorritori raggiungono le banchine, ossia dopo 880 secondi circa, e un intervallo supposto di 60 secondi, questo perché è possibile che a causa dell'elevato affollamento ci si impieghi più tempo rispetto a quanto stimato per l'atrio.

Per gli utenti standard senza particolari difficoltà è stata utilizzata una distribuzione log-normale in modo tale da tenere in conto dei fattori che non è possibile conoscere con certezza.

Per gli occupanti con difficoltà nel riconoscimento, quali anziani e stranieri, sono stati supposti dei tempi di poco superiori agli utenti standard con distribuzione uniforme, così come per occupanti con limitazioni funzionali.

Inoltre siccome dalle rilevazioni eseguite nella stazione metropolitana è emersa la presenza di un elevato numero di occupanti formati da gruppi di quattro o più persone, sono stati ipotizzati dei comportamenti tenuti da utenti collocati nella medesima area e che pertanto si influenzano sia nelle azioni, seguendo lo stesso percorso durante l'uscita, sia nei tempi precedenti all'esodo.

6.3.2. Layout

Dopo aver definito profili e comportamenti si è proceduto al posizionamento degli occupanti all'interno dell'ambiente, in base alle quantità definite nel paragrafo 5.2.2. per le varie aree, ossia atrio, banchine e treni.

Il posizionamento è stato eseguito in modo casuale scelto dal software, come è possibile osservare dalle seguenti immagini. Come per la simulazione precedente, le aree rosse di forma circolare presenti nelle banchine sono i punti dove si posizionano i soccorritori una volta raggiunte le banchine.

Nell'atrio sono presenti i sei soccorritori che intervengono dopo 14 minuti, mentre gli occupanti di colore verde che nella simulazione precedente non erano presenti, sono gli occupanti stranieri.

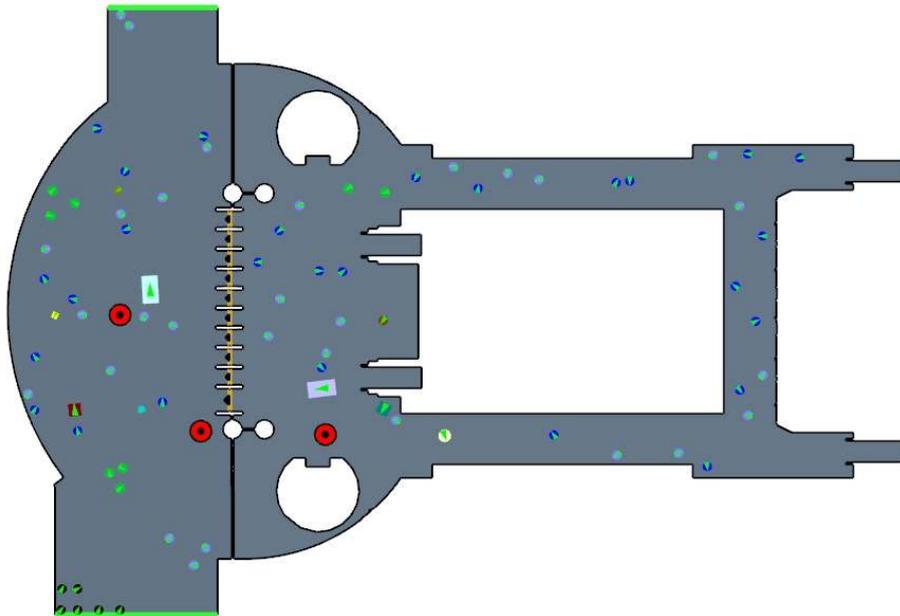


Figura 56: collocamento occupanti nell'atrio

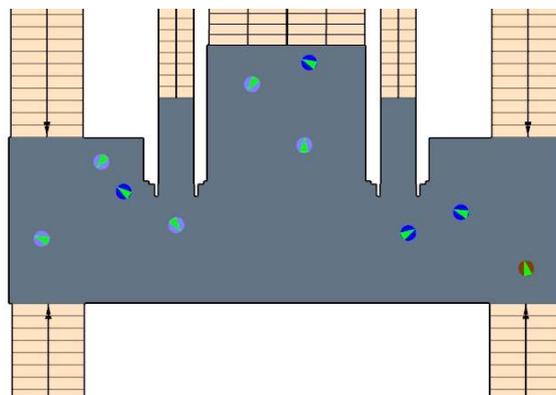


Figura 57: collocamento occupanti nel pianerottolo

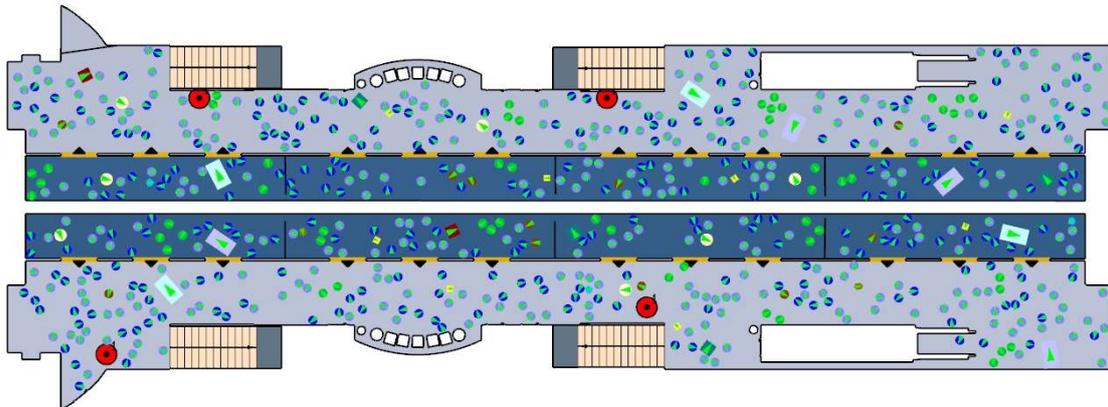


Figura 58: collocamento occupanti nelle banchine e nei treni

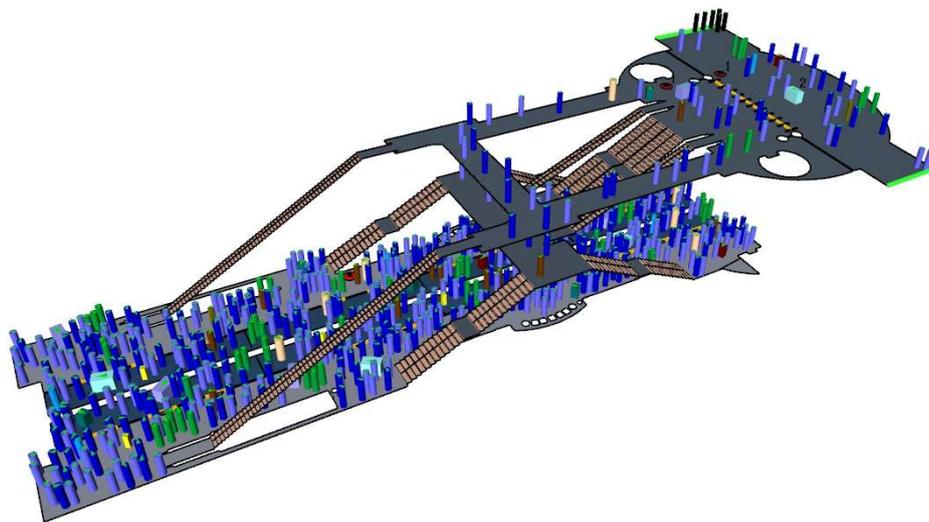


Figura 59: visuale 3D collocamento occupanti

6.3.3. Risultati

Di seguito vengono riportati i risultati della simulazione.

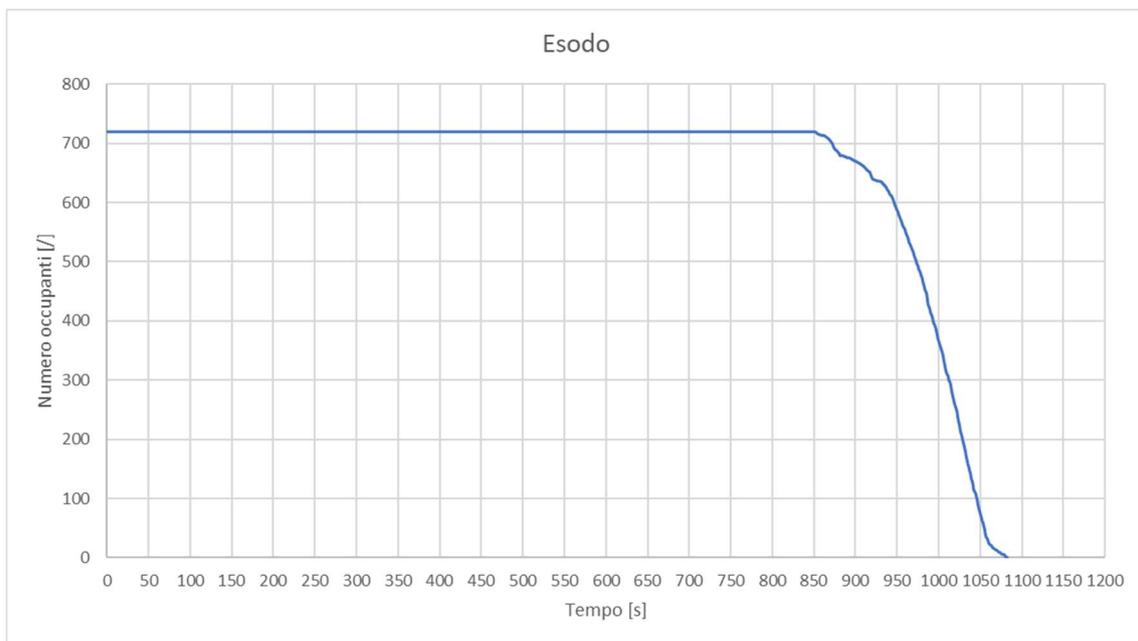


Figura 60: tempo richiesto per l'esodo degli occupanti nella simulazione 2

Come anticipato l'esodo degli occupanti inizia dopo l'arrivo dei soccorritori, pertanto il primo occupante a muoversi lo fa a 842 secondi, è caratterizzato dal profilo *Standard donna* e si trova nell'atrio ad eccesso libero.

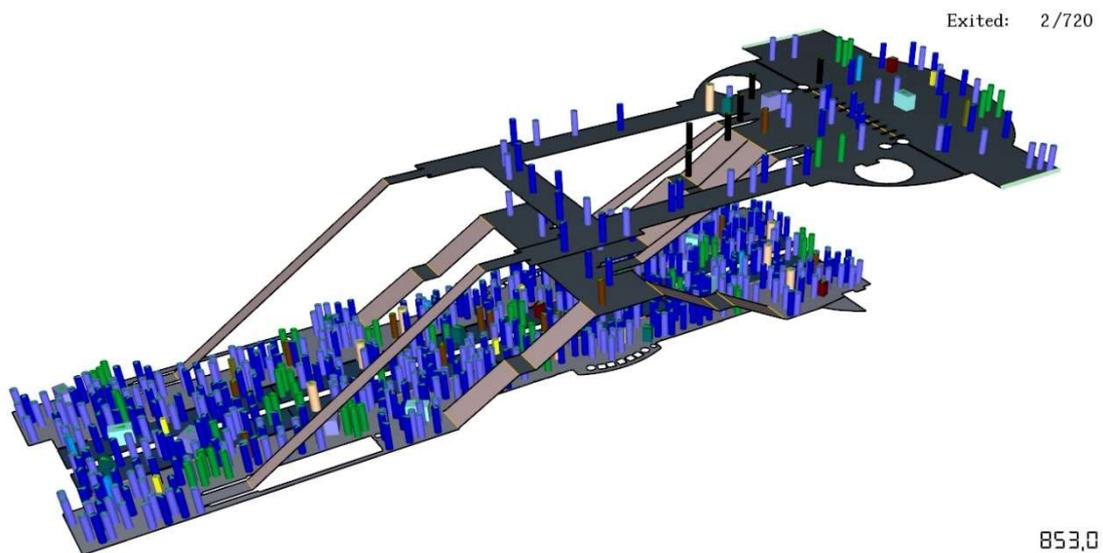


Figura 61: istante esodo primo occupante

A 852 secondi circa avviene l'esodo del primo occupante mentre l'ultimo esce dopo 1082 secondi dopo l'avvio della simulazione ed è un utente con disabilità motoria su sedia a rotelle assistito dal soccorritore. Escludendo i soccorritori, l'utente che impiega più tempo per evacuare l'edificio è caratterizzato dal profilo *Standard donna* che si trova in una delle due banchine e che impiega 160 secondi circa per l'esodo. Questo accade in quanto gli occupanti iniziano l'esodo in un intervallo di tempo piuttosto ristretto per quanto

riportato in precedenza, pertanto durante l'evacuazione si tendono a formare folle di utenti in corrispondenza di alcuni punti come le scale, il pianerottolo intermedio e il varco dei tornelli.

In questo caso, a differenza della simulazione precedente, si è ipotizzato che gli occupanti con disabilità motorie non raggiungono gli estremi delle banchine come invece dovrebbe avvenire proprio perché, essendoci solamente una segnalazione acustica che non fornisce alcun tipo di indicazione, a causa dell'elevato affollamento delle banchine è probabile che gli occupanti con disabilità non vedano la segnaletica presente.

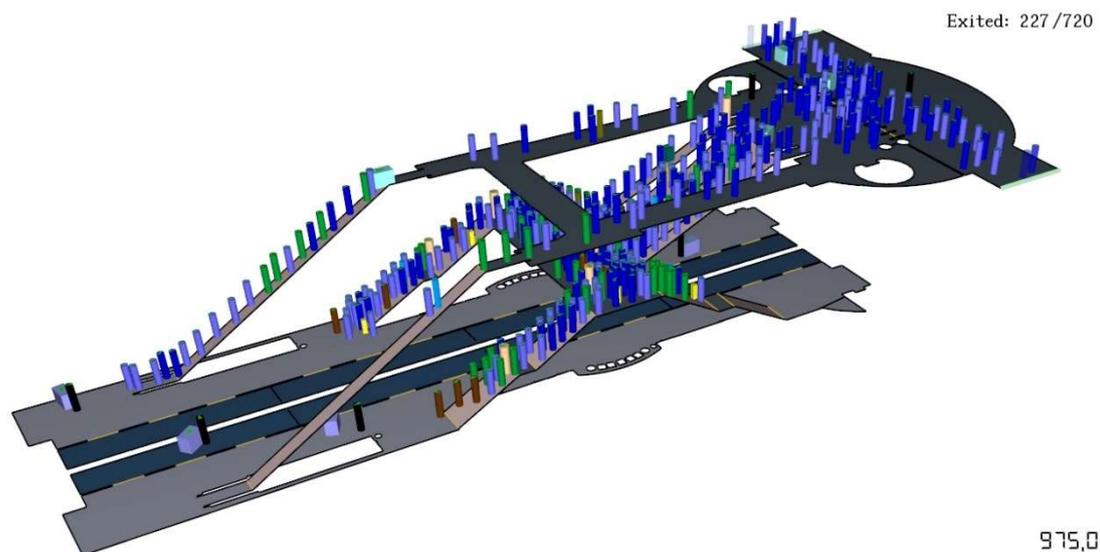


Figura 62: istante in cui vengono soccorsi gli occupanti che necessitano di assistenza

La simulazione termina con l'uscita dell'ultimo occupante assistito dopo circa 18 minuti (1082 secondi). Di seguito si riportano una serie di schermate ad intervalli di 50 secondi per osservare il processo d'esodo dall'istante in cui avviene l'ingresso dei soccorritori, fino al termine della simulazione.

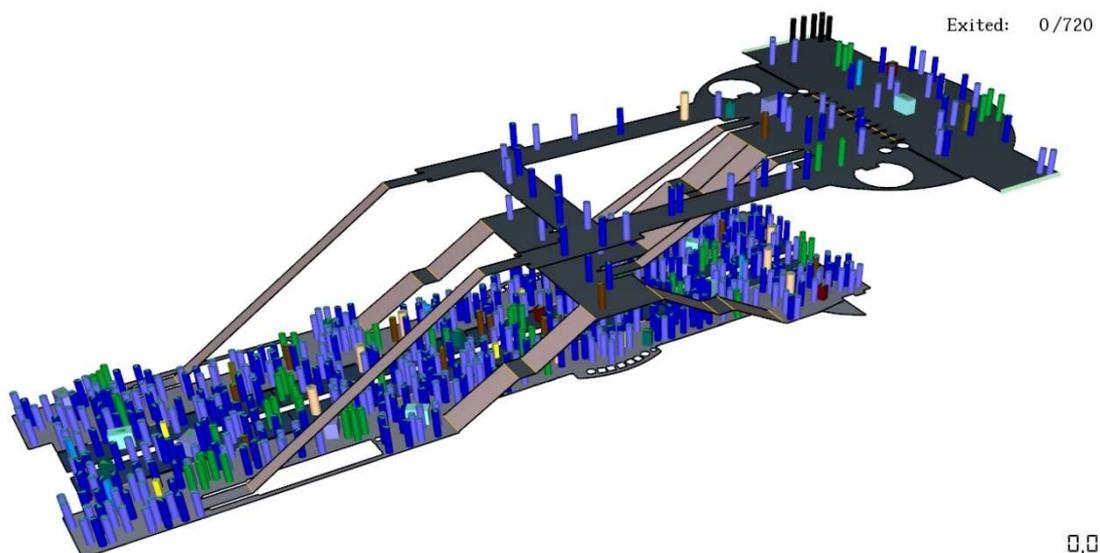


Figura 63: posizione occupanti nell'istante iniziale della simulazione

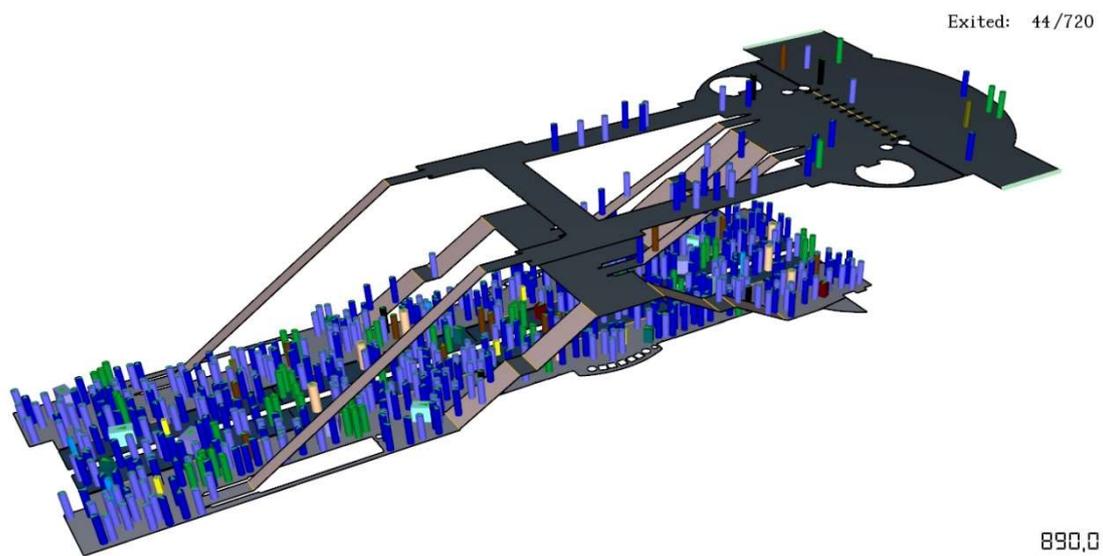


Figura 64: posizione occupanti dopo 50 secondi dall'ingresso dei soccorritori

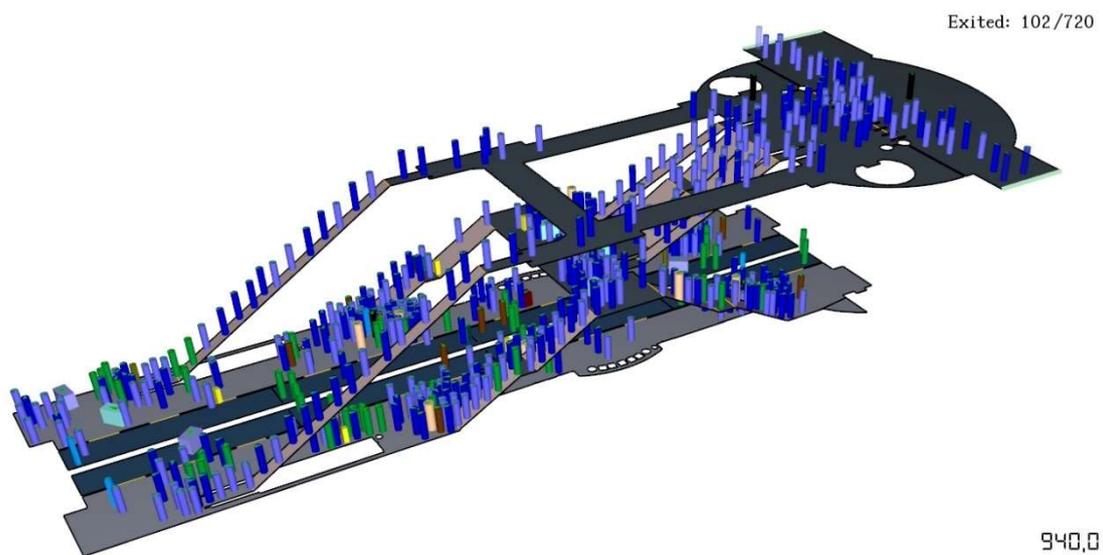


Figura 65: posizione occupanti dopo 100 secondi dall'ingresso dei soccorritori

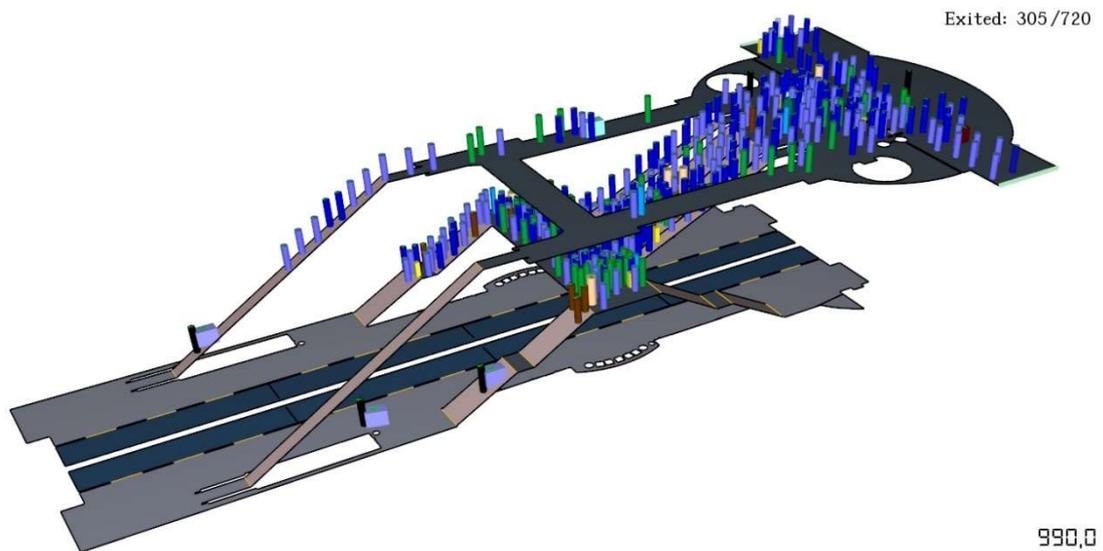


Figura 66: posizione occupanti dopo 150 secondi dall'ingresso dei soccorritori

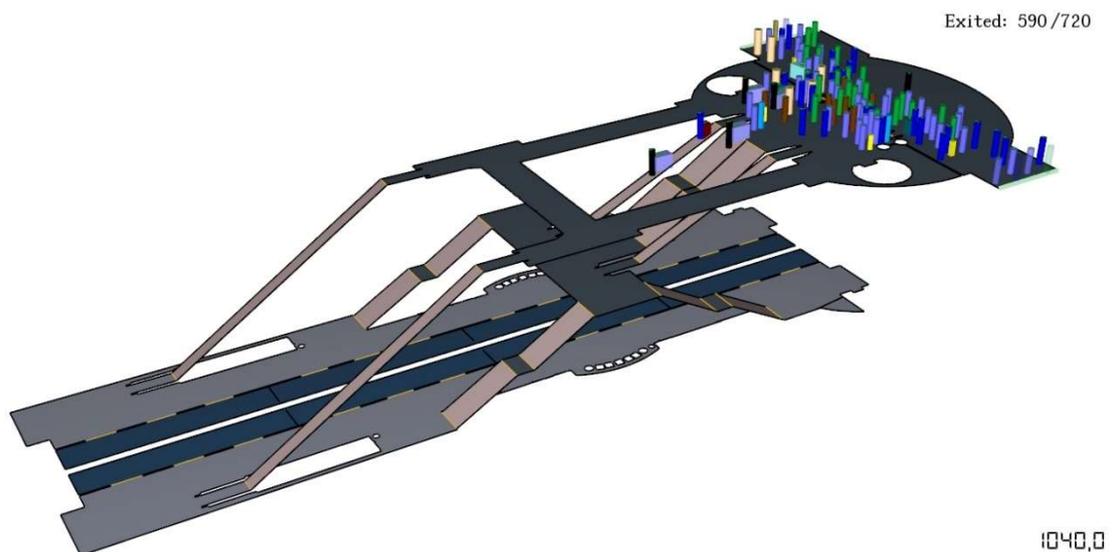


Figura 67: posizione occupanti dopo 200 secondi dall'ingresso dei soccorritori

Un'ulteriore osservazione da fare riguarda il tempo trascorso dall'inizio della simulazione sino all'arrivo dei soccorritori dopo 14 minuti: in questo intervallo di tempo gli occupanti tendono a continuare le proprie attività, pertanto si muovono all'interno della stazione, entrano ed escono dai treni ma soprattutto è possibile che continuino ad entrare persone nella stazione dagli ingressi/uscite. Questo fenomeno non è possibile modellarlo all'interno della simulazione, pertanto quello che si vede nella fase precedente all'esodo, dove gli occupanti sono fermi al proprio posto, nella realtà non è così.

6.4. Simulazione 3

La seguente simulazione è stata eseguita ipotizzando:

- la presenza di una segnalazione mediante allarme acustico e diffusione di messaggio preregistrato che invita gli occupanti a evacuare l'edificio;
- assenza all'interno della struttura di personale formato in grado di agire per il primo intervento;
- segnaletica correttamente collocata, illuminata, con corretto contrasto cromatico, non solo visiva ma anche tattile.

Anche in questo caso come per la precedente simulazione sono stati inseriti i profili degli occupanti:

- *Standard uomo*
- *Standard donna*
- *Anziano*
- *Bambino*
- *Valigia*
- *Passeggino*
- *Utente con disabilità motoria sedia a rotelle*
- *Utente con disabilità motoria con ausilio*
- *Utente con limitazione funzionale della vista*
- *Utente con limitazione funzionale dell'udito*
- *Utente con limitazione cognitiva*
- *Soccorritore*

6.4.1. Aspetti comportamentali

Così come per la simulazione precedente i comportamenti degli occupanti sono stati distinti in base alla collocazione, quindi gli utenti che si trovano nell'atrio ad accesso libero, quelli nell'atrio dopo i tornelli, nel pianerottolo, nella banchina e nei treni.

Dalle simulazioni reali condotte nella stazione metropolitana [19] si è osservato che in presenza di una segnalazione di questo tipo gli occupanti hanno assunto i seguenti comportamenti:

- coloro che si trovavano nell'atrio ad accesso libero hanno iniziato l'esodo in autonomia;
- gli utenti nelle banchine invece hanno atteso l'arrivo dei soccorritori prima di procedere con l'esodo.

I tempi rilevati dalle simulazioni reali condotte sono stati poco più di un minuto per gli occupanti dell'atrio e circa 7:40 minuti per quelli nelle banchine, poiché è il tempo impiegato dai soccorritori in quel caso per raggiungere il luogo di intervento.

Questo comportamento è possibile osservarlo per diversi motivi: il primo riguarda il fatto che gli occupanti che si trovano nella parte ad accesso libero della stazione sono maggiormente propensi a lasciare l'area una volta sentito l'allarme, mentre coloro che hanno pagato il biglietto ed hanno pertanto superato i tornelli tendono ad aspettare di comprendere meglio la situazione.

Per tale motivo siccome la segnalazione avviene mediante un allarme acustico e un annuncio pubblico preregistrato in cui viene solamente detto di evacuare la stazione, è possibile che vi sia una certa quantità di utenti che sottovalutino la situazione, soprattutto tra coloro che si trovano nelle banchine.

Sempre dallo studio eseguito [19] si è osservato che di tutti gli occupanti intervistati dopo l'evacuazione l'84% ha riportato di aver sentito l'allarme e il 68% di aver sentito e compreso il messaggio preregistrato che è stato diffuso. Il 56% ha dichiarato di aver creduto non ci fosse una reale emergenza, che si trattasse pertanto di un falso allarme e il 13% ha atteso per chiedere informazioni circa la situazione.

I "behaviours" inseriti per la simulazione sono dunque i seguenti, gli stessi della simulazione precedente:

- *Standard atrio libero*
- *Standard atrio*
- *Anziano atrio*
- *Genitore passeggiato atrio*
- *Passeggiato atrio*
- *Utente limitazione udito atrio*
- *Utente limitazione vista atrio*
- *Ausilio limitazione vista atrio*
- *Assistente limitazione cognitiva atrio*
- *Utente limitazione cognitiva atrio*
- *Utente con valigia atrio*
- *Valigia atrio*
- *Disabile motorio ausilio atrio*
- *Genitore atrio*
- *Bambino atrio*
- *Disabile motorio atrio*
- *Soccorso atrio libero*
- *Soccorso atrio*
- *Gruppo atrio*
- *Straniero atrio*
- *Gruppo pianerottolo*
- *Standard*
- *Anziano*
- *Genitore passeggiato*
- *Passeggiato*
- *Utente limitazione udito*

- *Utente limitazione vista*
- *Ausilio limitazione vista*
- *Assistente limitazione cognitiva*
- *Utente limitazione cognitiva*
- *Utente con valigia*
- *Valigia*
- *Disabile motorio ausilio*
- *Genitore*
- *Bambino*
- *Disabile motorio*
- *Soccorso disabili*
- *Straniero*
- *Gruppo*

Per l'attribuzione dei valori temporali ai vari utenti si sono prese in considerazione le valutazioni fatte nel paragrafo 5.3. dove per ogni tipologia di segnalazione e gestione dell'emergenza, ad ogni tipologia di occupante è stata assegnata una difficoltà nel riconoscimento e nella risposta

Per gli utenti nell'atrio libero l'intervallo di valori utilizzato per il ritardo dell'esodo partiva da 75 secondi fino a 225 secondi, è stato pertanto traslato il range di valori ricavato dalla normativa in base ai tempi osservati nelle simulazioni, con distribuzioni log normali o uniformi, per tutti gli utenti senza particolari difficoltà.

Sempre per gli utenti privi di difficoltà ma collocati tra l'atrio ad accesso libero e le banchine, è stato tenuto sempre lo stesso intervallo di valori ma traslato di circa 30 secondi, per quanto riportato in precedenza sulla risposta di questi occupanti.

Per gli utenti con limitazioni funzionali, o difficoltà nel riconoscimento, l'intervallo di valori è stato traslato ulteriormente andando ad incrementare entrambi i valori.

Al gruppo presente nell'atrio è stato attribuito un ritardo iniziale superiore, però con la partenza di tutti gli utenti in pochi secondi l'uno dall'altro.

Un approccio diverso si è avuto invece per quanto riguarda gli utenti che sono al livello delle banchine: come già accennato prima uno studio ha dimostrato che gli occupanti tendono ad attendere sino all'intervento dei soccorritori.

Siccome però in questo caso a differenza della precedente simulazione, la segnalazione non avviene solo mediante allarme acustico, l'intervallo di valori temporali che identificano il ritardo dell'esodo per occupanti senza alcun tipo di difficoltà si è ipotizzato tra 180 secondi (pari alla media tra i 90 e 240 dati da normativa) e 940 secondi, ovvero 60 secondi dopo l'arrivo dei soccorritori nelle banchine (ipotesi fatta sulla base della simulazione precedente), con una distribuzione log-normale che vede il picco più verso la fine dell'intervallo di valori. Questo viene fatto proprio perché è probabile che la maggior parte degli occupanti incominci l'esodo una volta arrivato il personale.

Per gli utenti con difficoltà e limitazioni sono stati utilizzati dei tempi superiori, in alcuni casi mantenendo lo stesso intervallo, in altri riducendolo e ipotizzando la stessa situazione della simulazione precedente.

Ai gruppi infine sono stati assegnati dei ritardi differenti in modo da simulare l'azione dell'influenza sociale, ipotizzando sempre che ogni gruppo si muova insieme e segua pertanto gli stessi percorsi.

Come prima, i soccorritori, che in questo caso sono cinque, entrano nell'ambiente dopo circa 14 minuti, dove uno di loro soccorre un utente con limitazione funzionale dell'udito rimasto nell'atrio e successivamente torna dentro e si ferma nell'atrio per indicare la direzione agli utenti, mentre gli altri quattro scendono nelle banchine e dopo aver fornito le indicazioni soccorrono gli utenti con disabilità motorie.

6.4.2. Layout

Per quanto riguarda la disposizione degli occupanti dell'ambiente è stata mantenuta la stessa della precedente simulazione, ossia casuale.

Diversamente da prima invece la posizione iniziale dei soccorritori varia solamente per evitare di interferire con l'esodo degli occupanti.

Le aree rosse di forma circolare presenti nell'atrio e nelle banchine sono i punti dove si posizionano i soccorritori dopo essere entrati nella stazione.

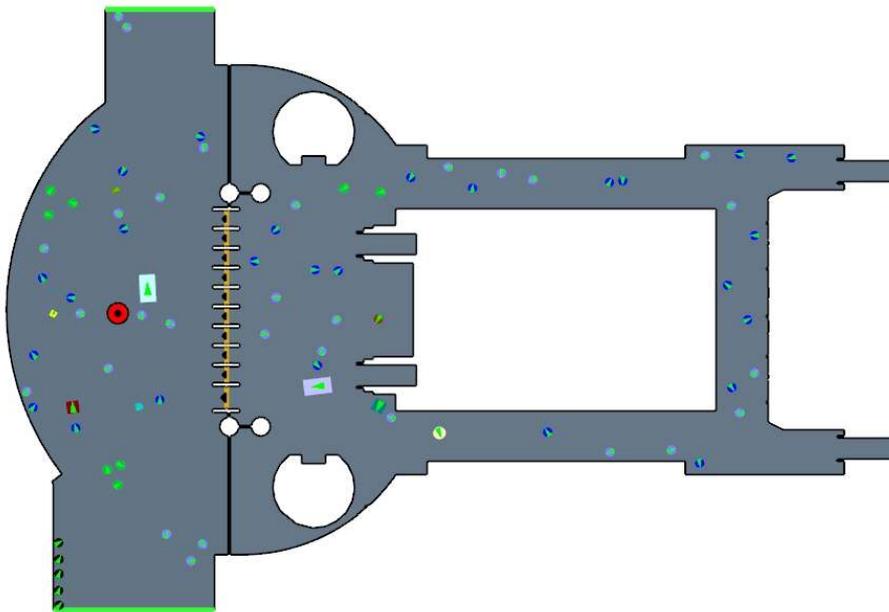


Figura 68: collocamento occupanti nell'atrio

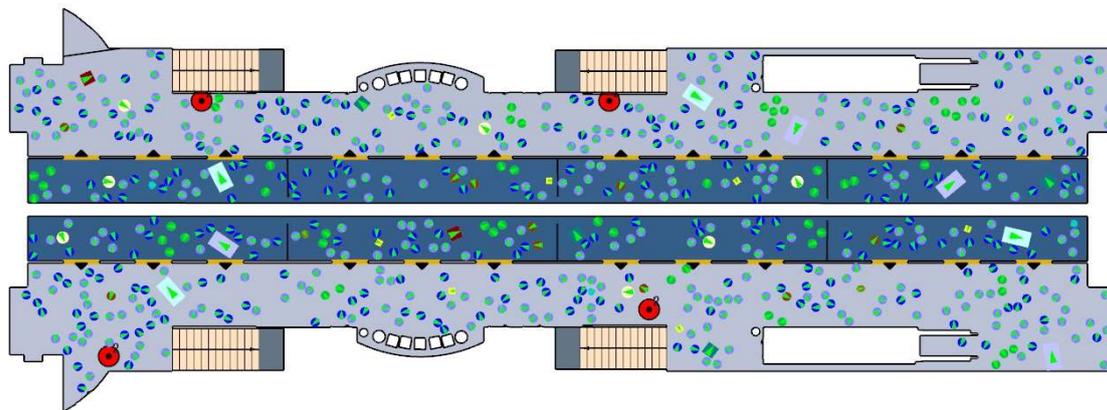


Figura 69: collocamento occupanti nelle banchine e nei treni

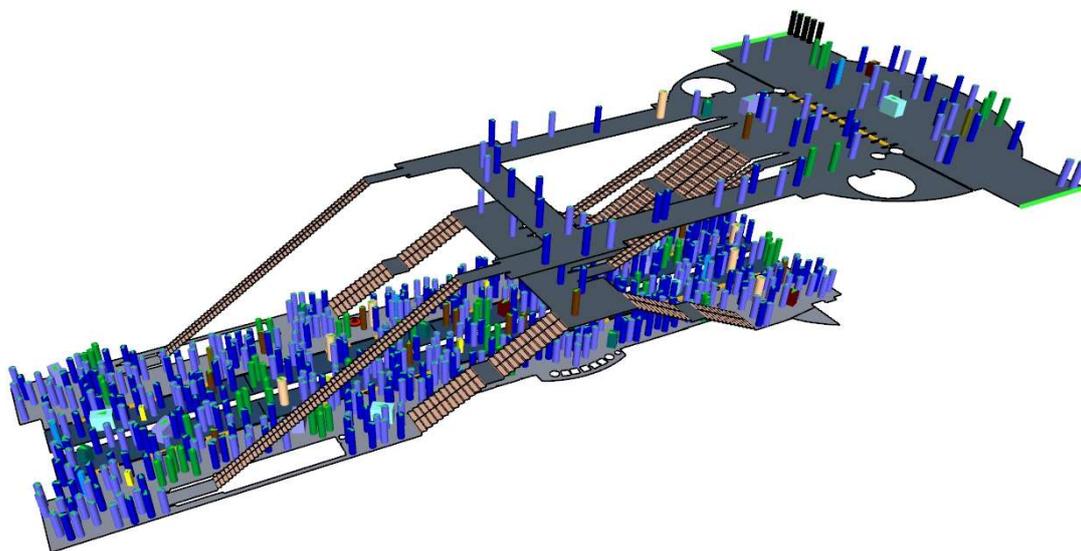


Figura 70: visuale 3D collocamento occupanti

6.4.3. Risultati

Di seguito vengono riportati i risultati della simulazione.

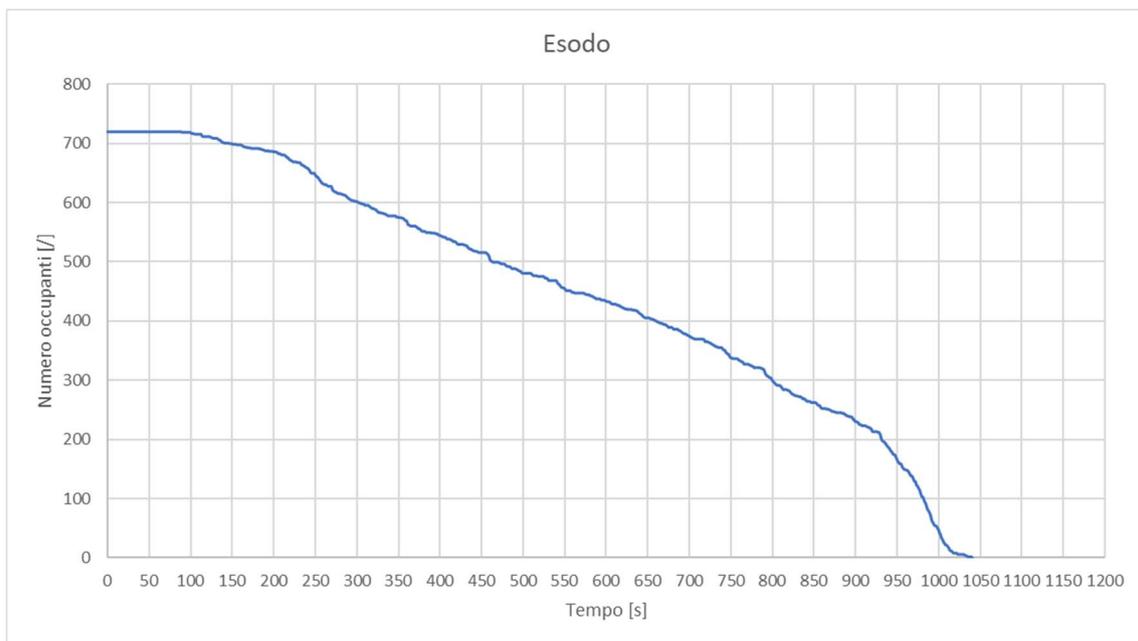


Figura 71: tempo richiesto per l'esodo degli occupanti nella simulazione 3

L'occupante che inizia a muoversi per primo si trova nell'atrio a accesso libero e lo fa dopo 84 secondi circa ed è lo stesso che esce per primo dopo 90 secondi dall'inizio della simulazione.

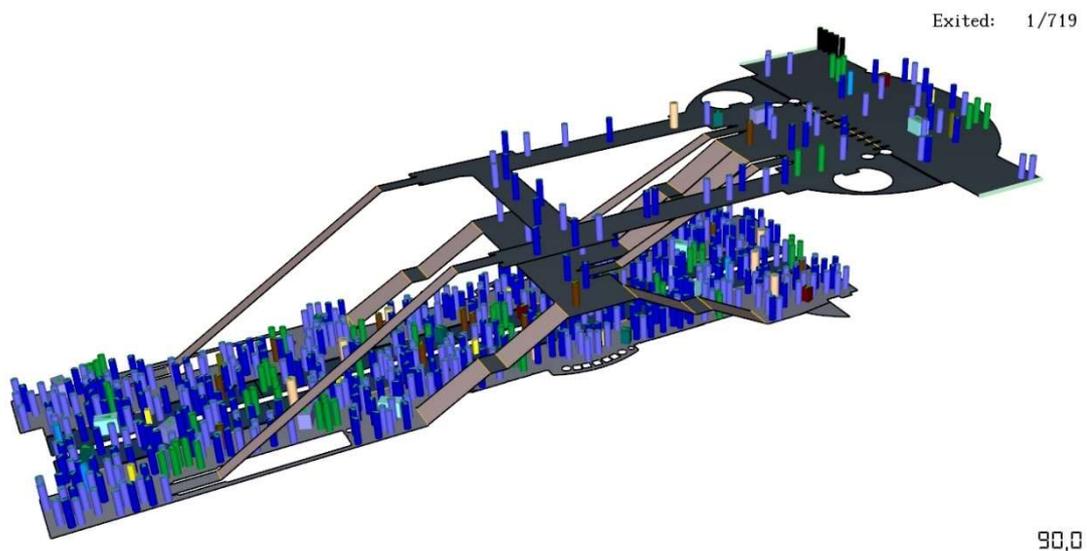


Figura 72: istante esodo primo occupante

Dopo 180 secondi inizia l'esodo anche per le persone al livello delle banchine.

Esclusi i soccorritori e gli occupanti con disabilità motorie che necessitano di assistenza, l'ultimo occupante che lascia l'ambiente lo fa dopo circa 1017 secondi mentre la simulazione termina con l'esodo di un soccorritore dopo 1040 secondi, pari a 17,20 minuti.

Escludendo i soccorritori, l'utente che impiega più tempo per evacuare l'edificio è caratterizzato dal profilo Standard donna che assiste un occupante con disabilità cognitiva, che si trova in una delle due banchine e che impiega 90 secondi circa per l'esodo.

Di seguito si riportano una serie di schermate ad intervalli di 100 secondi per osservare il processo d'esodo.

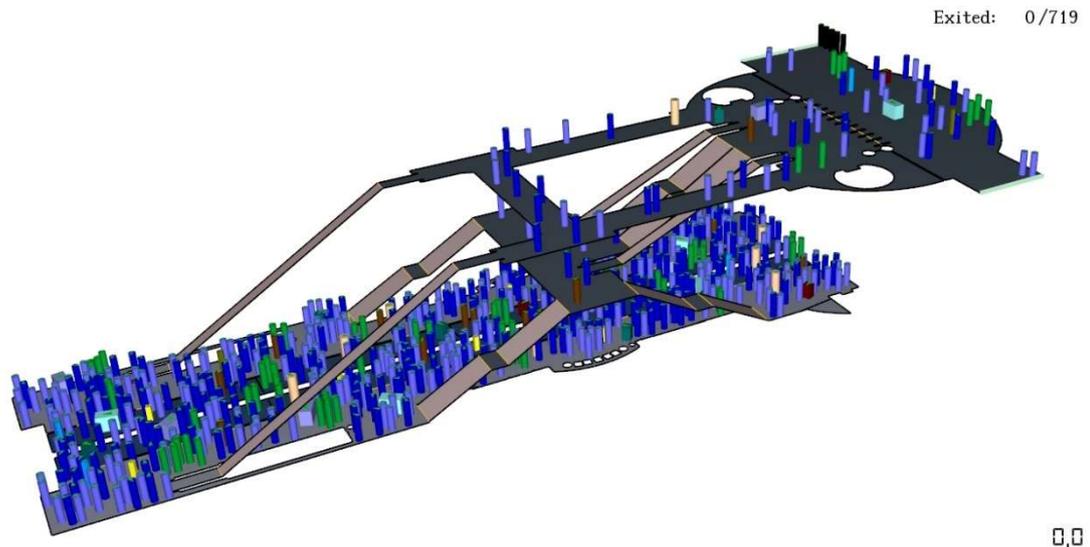


Figura 73: posizione occupanti nell'istante iniziale della simulazione

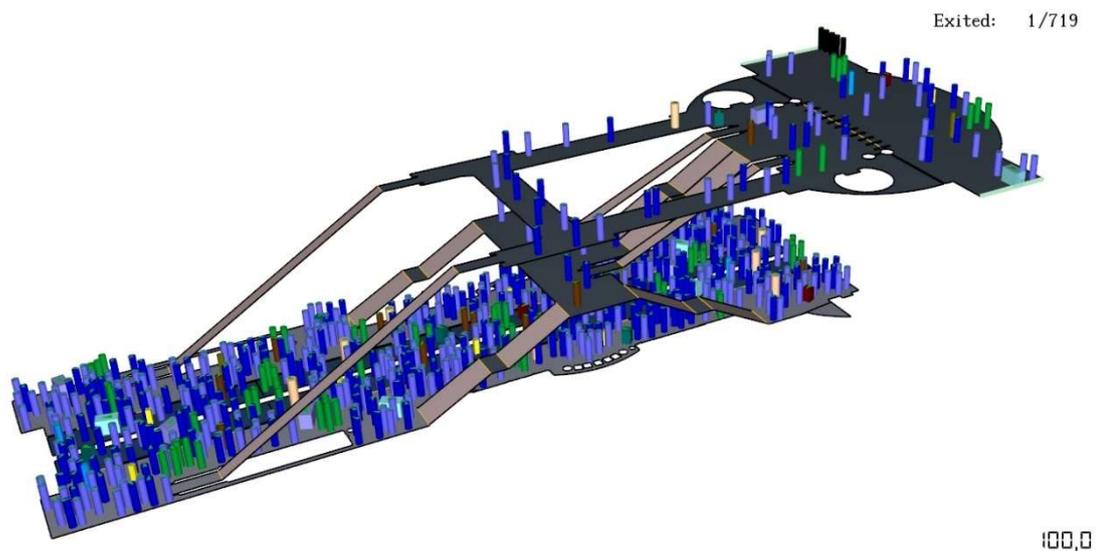


Figura 74: posizione occupanti dopo 100 secondi dall'inizio della simulazione

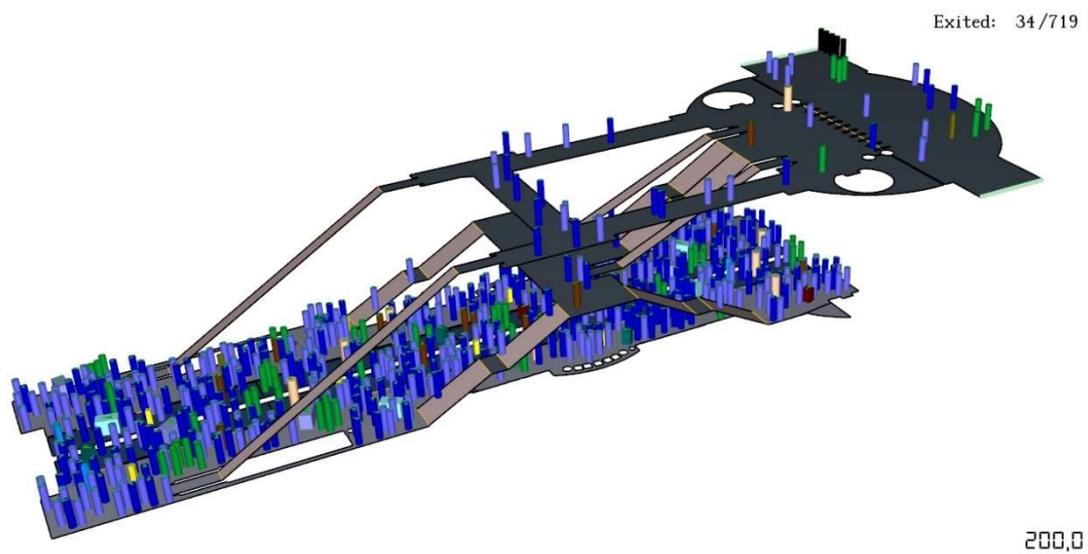


Figura 75: posizione occupanti dopo 200 secondi dall'inizio della simulazione

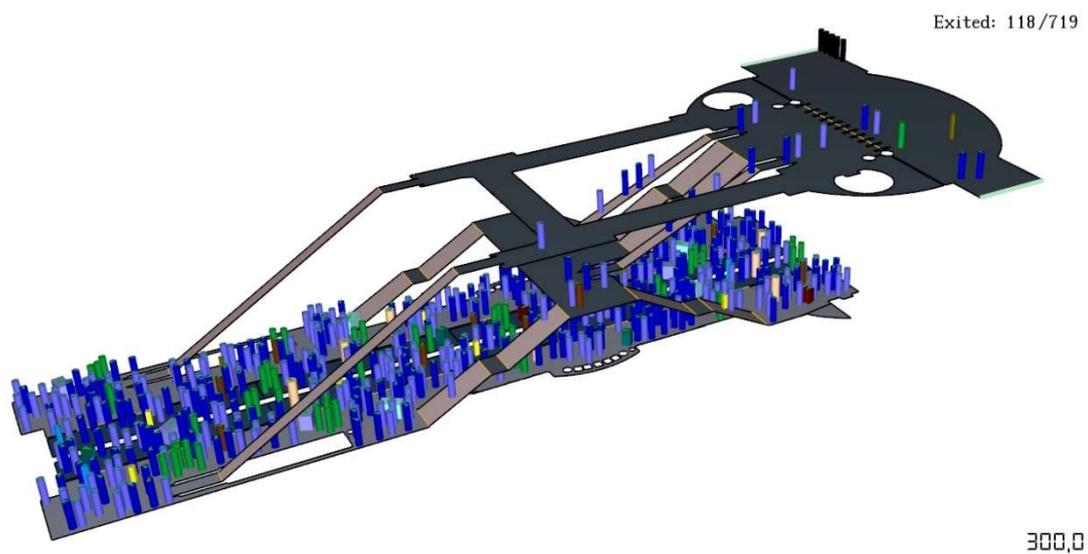


Figura 76: posizione occupanti dopo 300 secondi dall'inizio della simulazione

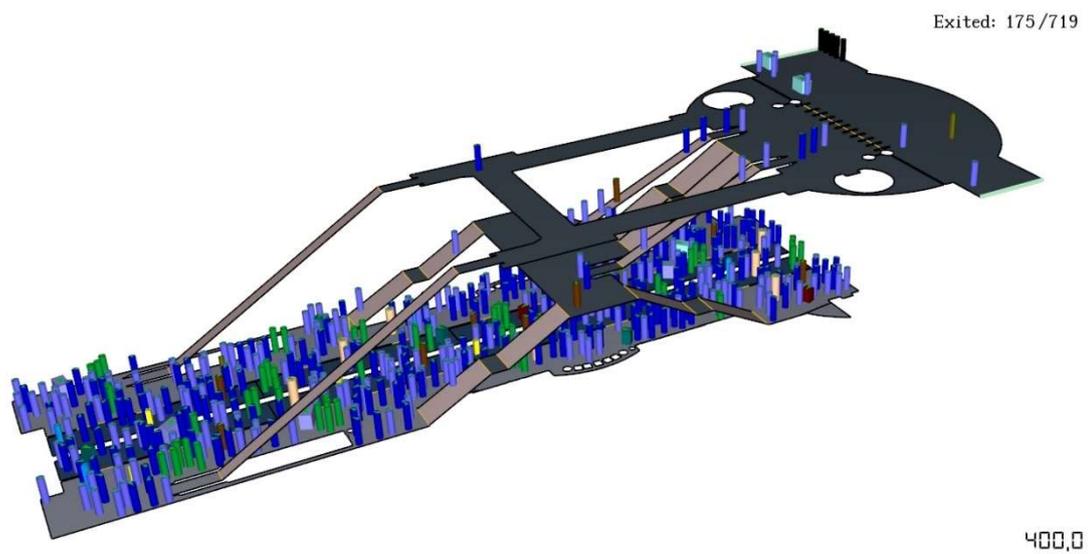


Figura 77: posizione occupanti dopo 400 secondi dall'inizio della simulazione

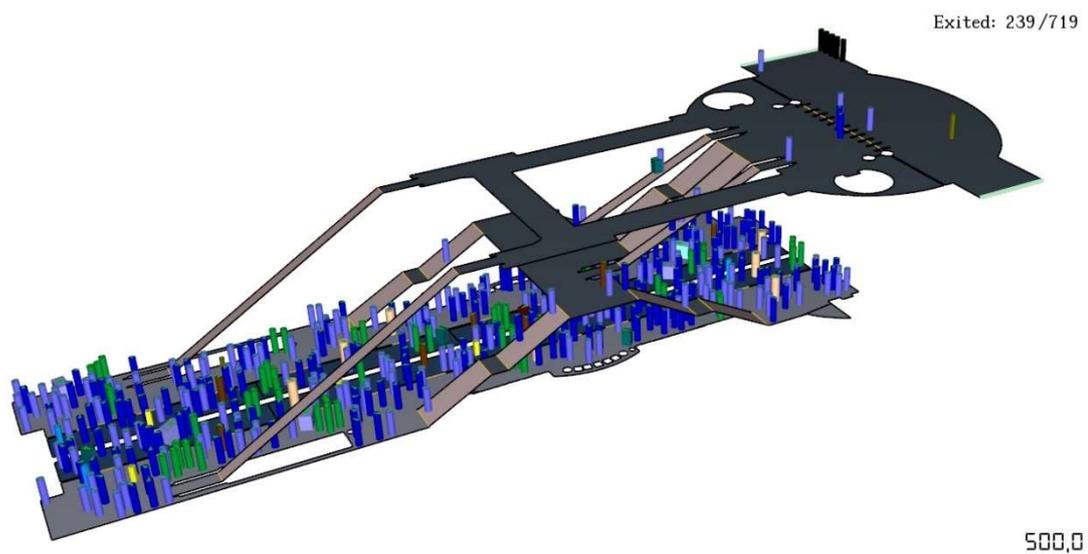


Figura 78: posizione occupanti dopo 500 secondi dall'inizio della simulazione

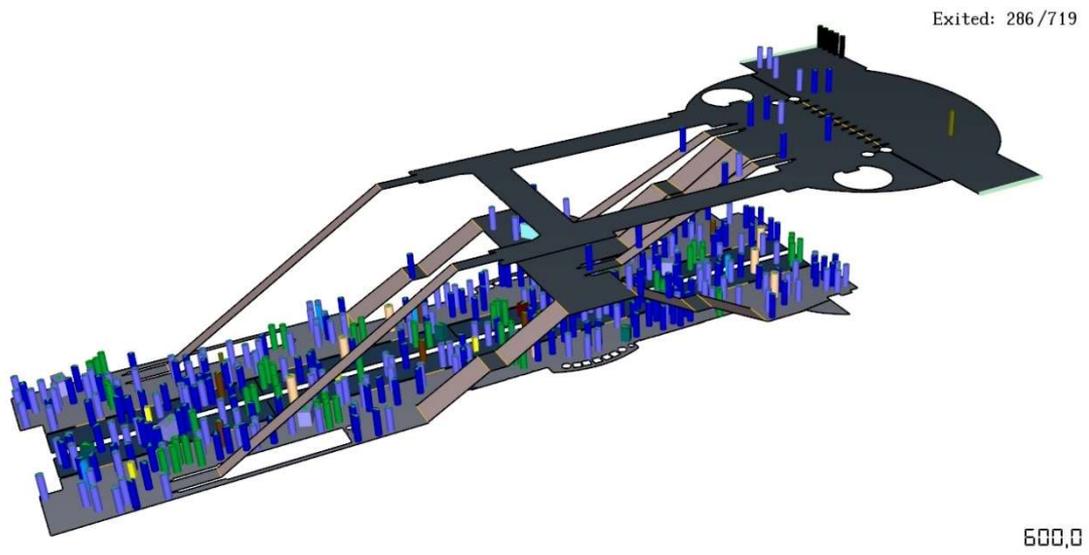


Figura 79: posizione occupanti dopo 600 secondi dall'inizio della simulazione

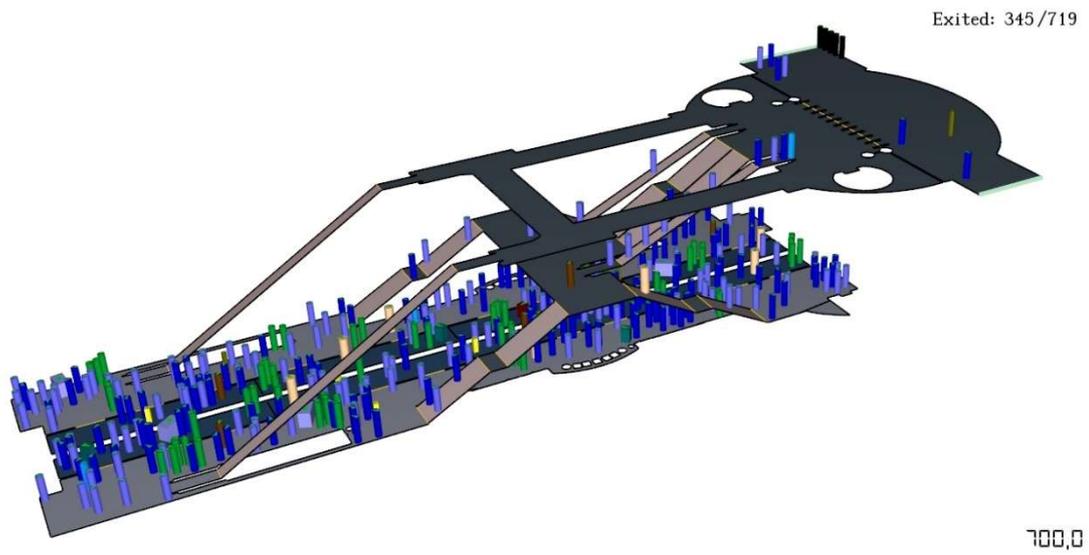


Figura 80: posizione occupanti dopo 700 secondi dall'inizio della simulazione

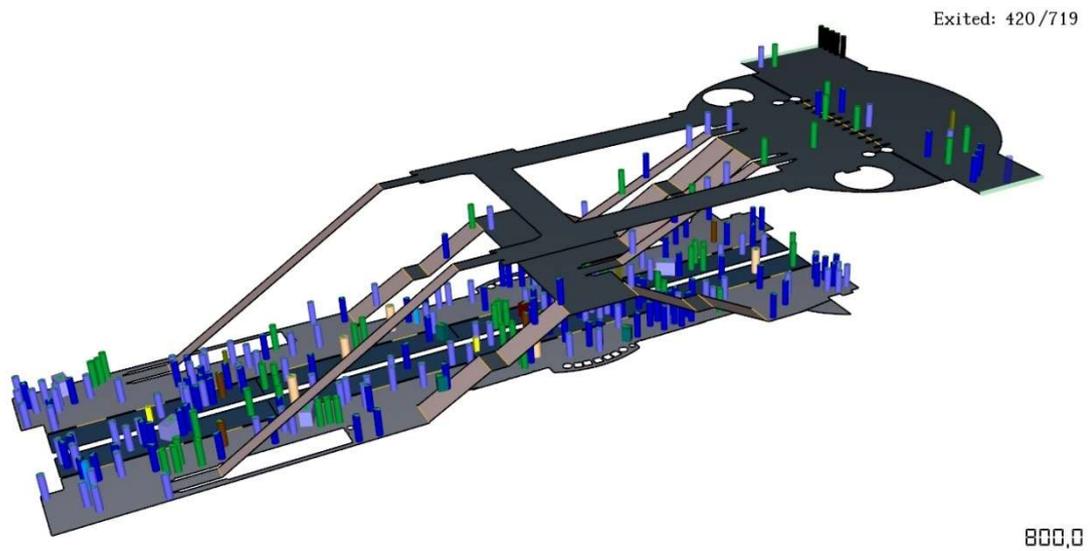


Figura 81: posizione occupanti dopo 800 secondi dall'inizio della simulazione

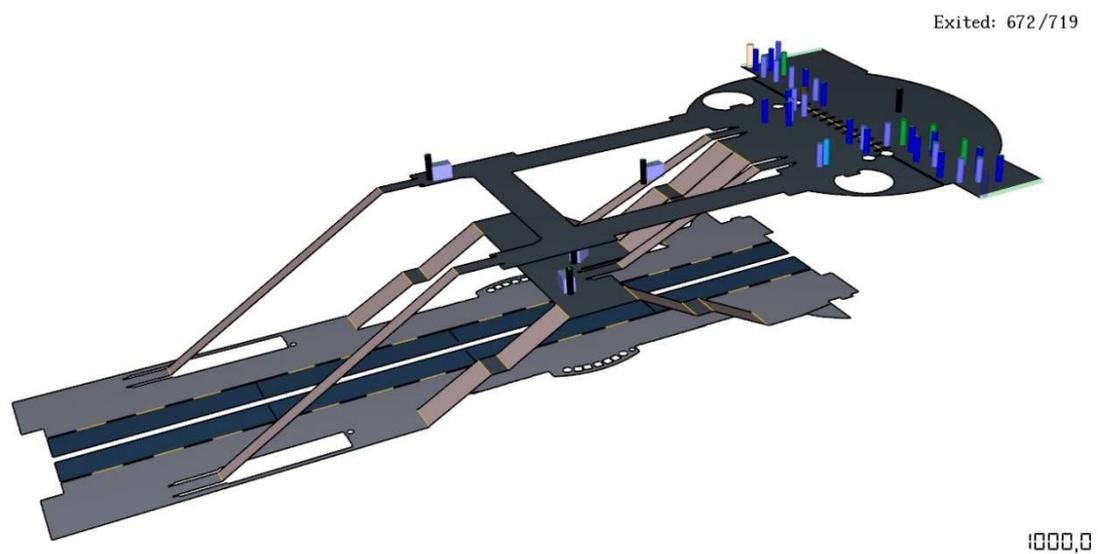


Figura 82: posizione occupanti dopo 1000 secondi dall'inizio della simulazione

6.5. Simulazione 4

La seguente simulazione è stata eseguita ipotizzando:

- una segnalazione attraverso un allarme acustico e diffusione di un messaggio vocale preregistrato;
- la presenza di personale formato all'interno della struttura;
- la segnaletica correttamente collocata, illuminata, con corretto contrasto cromatico, non solo visiva ma anche tattile.

Sono stati inseriti i profili degli occupanti, che sono gli stessi delle altre simulazioni, e sono:

- *Standard uomo*
- *Standard donna*
- *Anziano*
- *Bambino*
- *Valigia*
- *Passeggino*
- *Utente con disabilità motoria sedia a rotelle*
- *Utente con disabilità motoria con ausilio*
- *Utente con limitazione funzionale della vista*
- *Utente con limitazione funzionale dell'udito*
- *Utente con limitazione cognitiva*
- *Soccorritore*

6.5.1. Aspetti comportamentali

La differenza maggiore rispetto alle precedenti simulazioni riguarda la presenza di personale formato all'interno della stazione che interviene dopo che inizia la segnalazione dell'allarme: in questo caso, la presenza di addetti che intervengono in modo tempestivo riduce drasticamente i tempi di risposta.

Osservando i risultati ottenuti dalle simulazioni nella stazione metropolitana [19] si vede come gli occupanti hanno iniziato l'esodo solo dopo l'intervento del personale che ha fornito loro l'indicazione di lasciare l'edificio.

Con la presenza costante di addetti all'interno della stazione migliora sia la fase di riconoscimento che quella di risposta, proprio perché il personale può fornire indicazioni sull'accaduto, su come procedere per l'esodo e può intervenire per mettere in salvo utenti con difficoltà.

Sempre in relazione alle simulazioni effettuate nella metropolitana [19], si è osservato che il 90% degli intervistati ha dichiarato di aver sentito l'allarme, di cui il 70% ha sentito anche il messaggio vocale. Di questi il 57% ha riferito di aver creduto in un falso allarme e il 26% ha affermato di aver dedicato del tempo a chiedere informazioni anziché procedere con l'esodo.

Inoltre i tempi ricavati sono di circa 2 minuti per gli occupanti che si trovano nell'atrio e di 3 minuti per quelli nelle banchine.

I "behaviours" inseriti per la simulazione sono sempre gli stessi e sono i seguenti:

- *Standard atrio libero*
- *Standard atrio*
- *Anziano atrio*
- *Genitore passeggino atrio*
- *Passeggino atrio*
- *Utente limitazione udito atrio*

- *Utente limitazione vista atrio*
- *Ausilio limitazione vista atrio*
- *Assistente limitazione cognitiva atrio*
- *Utente limitazione cognitiva atrio*
- *Utente con valigia atrio*
- *Valigia atrio*
- *Disabile motorio ausilio atrio*
- *Genitore atrio*
- *Bambino atrio*
- *Disabile motorio atrio*
- *Soccorso atrio libero*
- *Soccorso atrio*
- *Gruppo atrio*
- *Straniero atrio*
- *Gruppo pianerottolo*
- *Standard*
- *Anziano*
- *Genitore passeggiato*
- *Passeggino*
- *Utente limitazione udito*
- *Utente limitazione vista*
- *Ausilio limitazione vista*
- *Assistente limitazione cognitiva*
- *Utente limitazione cognitiva*
- *Utente con valigia*
- *Valigia*
- *Disabile motorio ausilio*
- *Genitore*
- *Bambino*
- *Disabile motorio*
- *Soccorso disabili*
- *Straniero*
- *Gruppo*

Noto quindi il tempo impiegato dagli occupanti in quelle situazioni, il ritardo dell'inizio dell'esodo associato agli occupanti oscilla tra i valori ricavati da normativa e quelli determinati dalle simulazioni. Pertanto agli utenti dell'atrio senza particolari difficoltà è stato attribuito un intervallo tra i 90 e i 150 secondi mentre gli altri utenti è stato inserito un valore maggiore, tra i 135 e i 195 secondi.

Tutto questo è associato all'intervento del personale presente che si ipotizza che inizi dopo 60 secondi.

Per gli utenti nelle banchine che non presentano alcuna difficoltà invece l'intervallo è stato posto pari a quello dato da normativa, tra i 90 e i 150 secondi, mentre per tutti gli altri si è posto con un minimo di 180 secondi, con un intervallo di 60 secondi vista la presenza del personale.

6.5.2. Layout

Per quanto riguarda la disposizione degli occupanti dell'ambiente è stata mantenuta la stessa della precedente simulazione, ossia casuale.

Varia invece la posizione dei soccorritori in quanto non sono più collocati in prossimità delle uscite ma sono vicini alle porte per l'accesso all'area non aperta al pubblico.

Le aree rosse di forma circolare presenti nell'atrio e nelle banchine sono i punti dove si posizionano i soccorritori dopo essere entrati nella stazione.

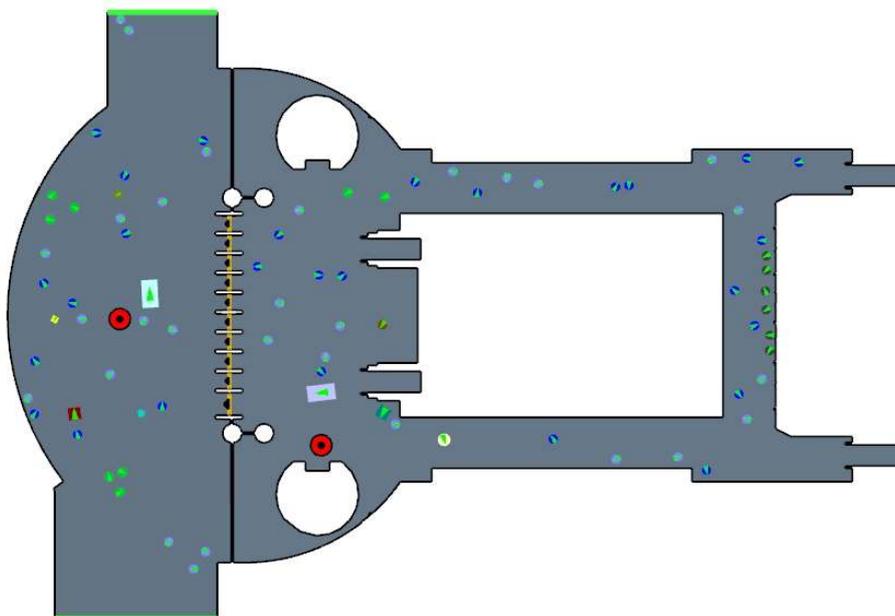


Figura 83: collocamento occupanti nell'atrio

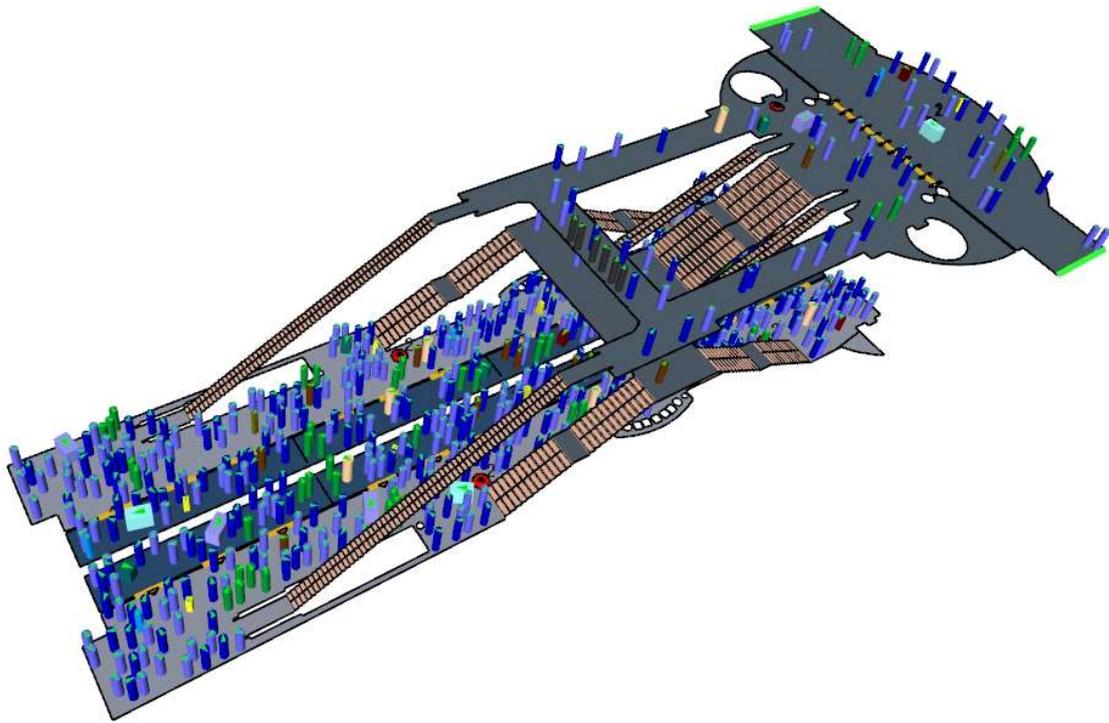


Figura 84: visuale 3D collocamento occupanti

6.5.3. Risultati

Di seguito vengono riportati i risultati della simulazione.

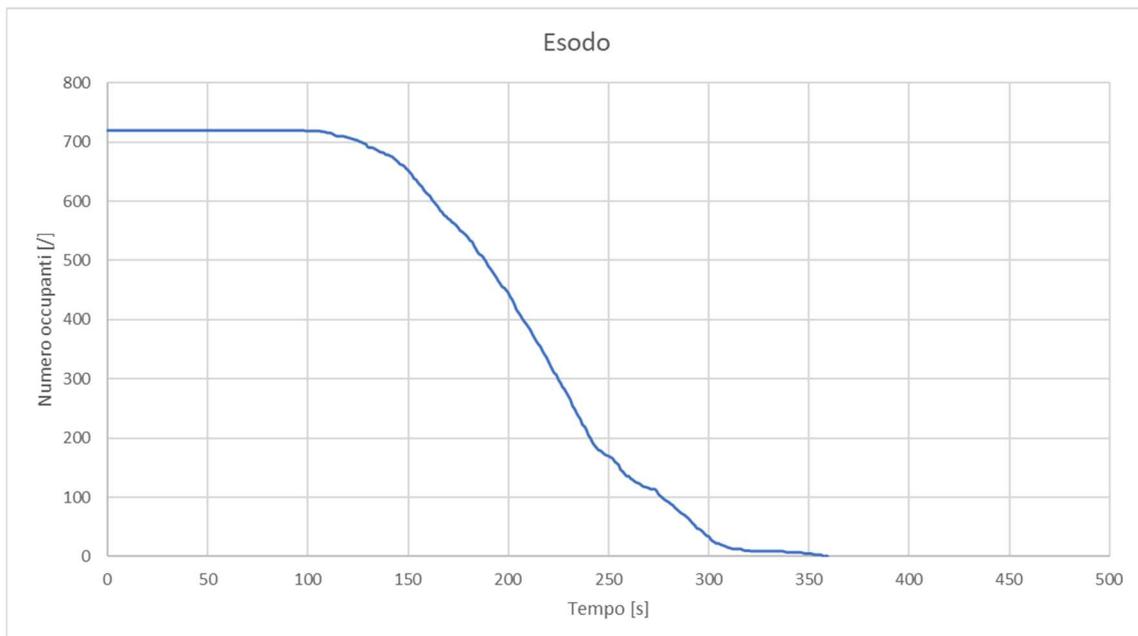


Figura 85: tempo richiesto per l'esodo degli occupanti nella simulazione 4

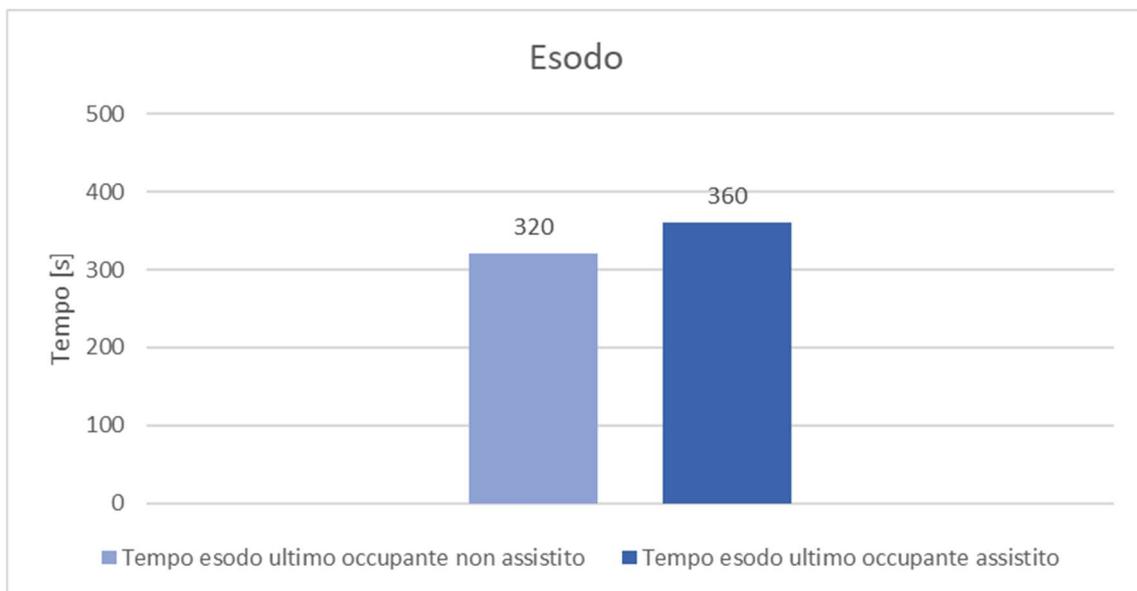


Figura 86: tempo richiesto per l'esodo degli occupanti nella simulazione 4, distinguendo tra assistiti e non assistiti

I primi occupanti iniziano a muoversi dopo 90 secondi, com'era prevedibile visti i ritardi assegnati, mentre il primo occupante esce dall'ambiente dopo 100 secondi circa.

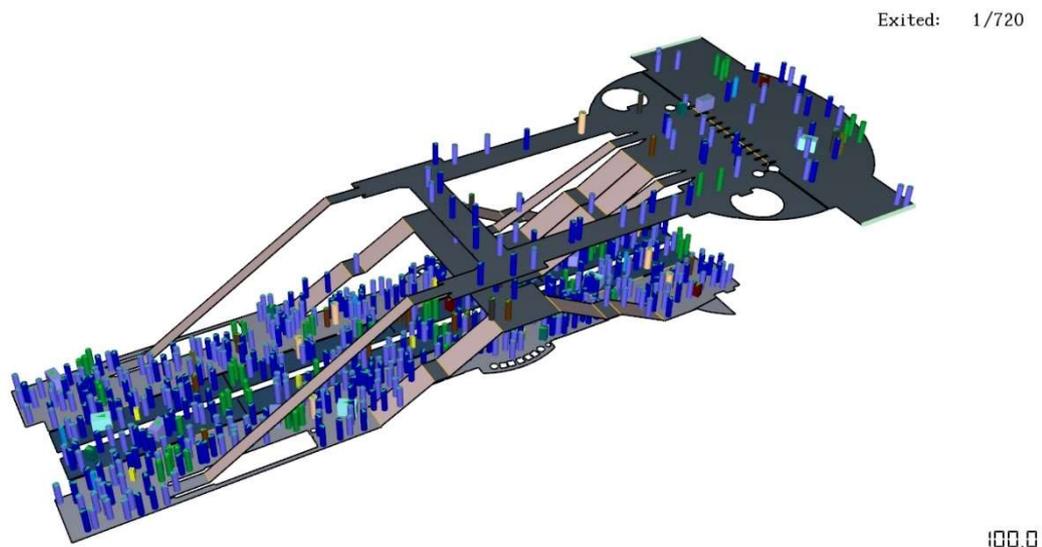


Figura 87: istante esodo primo occupante

L'ultimo occupante che lascia l'ambiente in modo autonomi è un utente caratterizzato dal profilo *Anziano*, e lo fa dopo circa 320 secondi, mentre la simulazione termina con l'uscita dell'ultimo soccorritore dopo 360 secondi.

L'utente che impiega invece il maggior tempo a uscire è caratterizzato dal "behaviours" *genitore passeggiato*, si trova nelle banchine e ci mette un tempo pari a 150 secondi circa.

Di seguito si riportano una serie di schermate caratterizzanti il processo d'esodo, ad intervalli di 50 secondi l'uno.

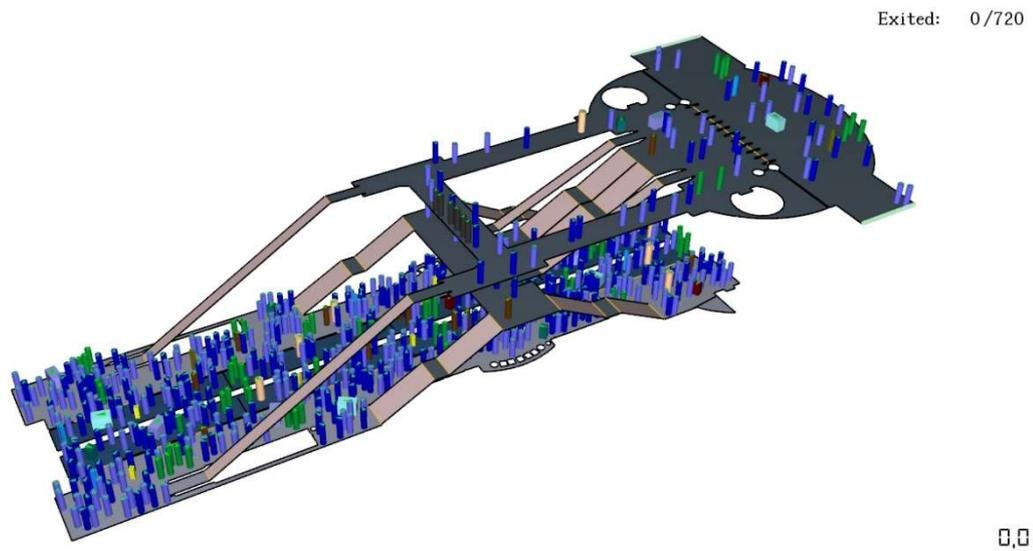


Figura 88: posizione occupanti nell'istante iniziale della simulazione

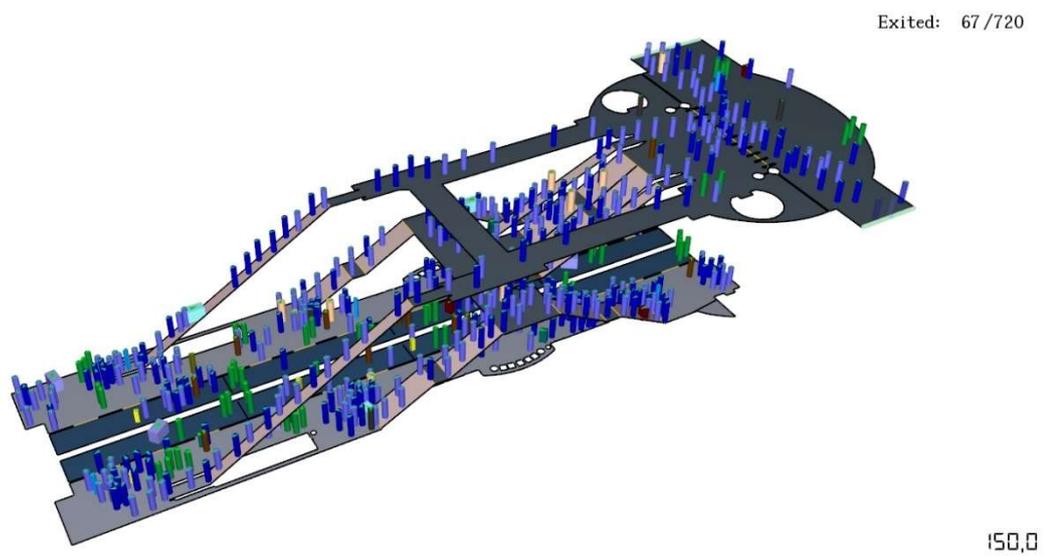


Figura 89: posizione occupanti dopo 150 secondi dall'inizio della simulazione

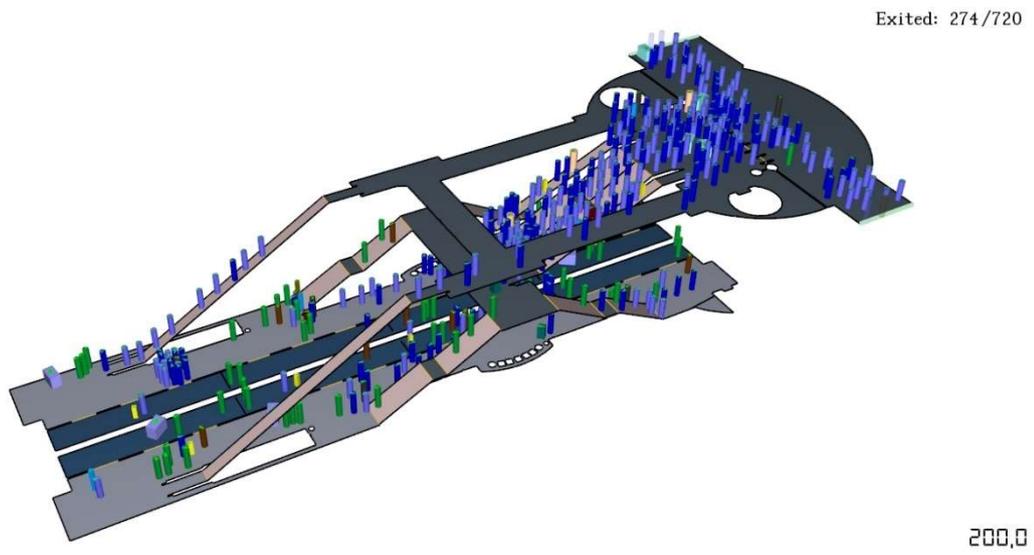


Figura 90: posizione occupanti dopo 200 secondi dall'inizio della simulazione

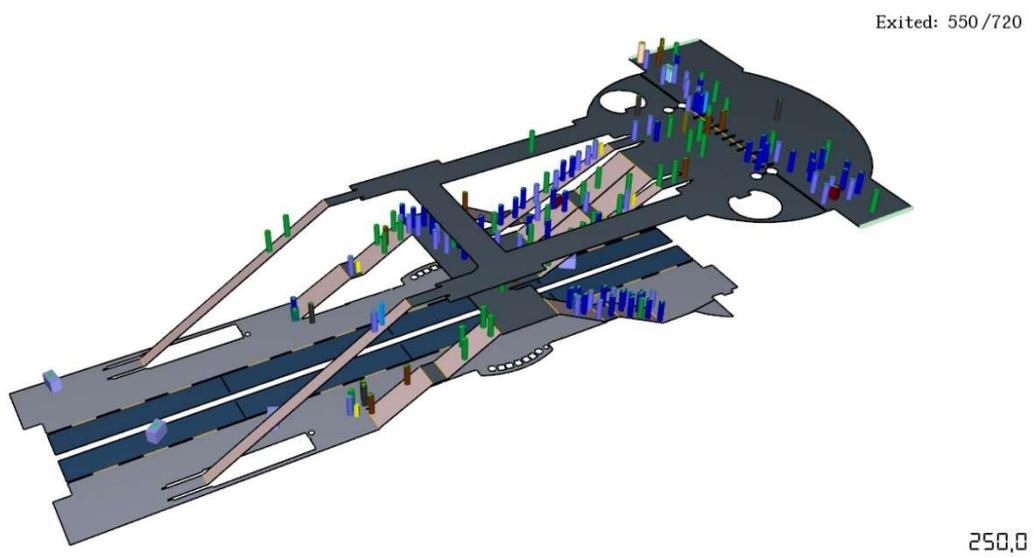


Figura 91: posizione occupanti dopo 250 secondi dall'inizio della simulazione

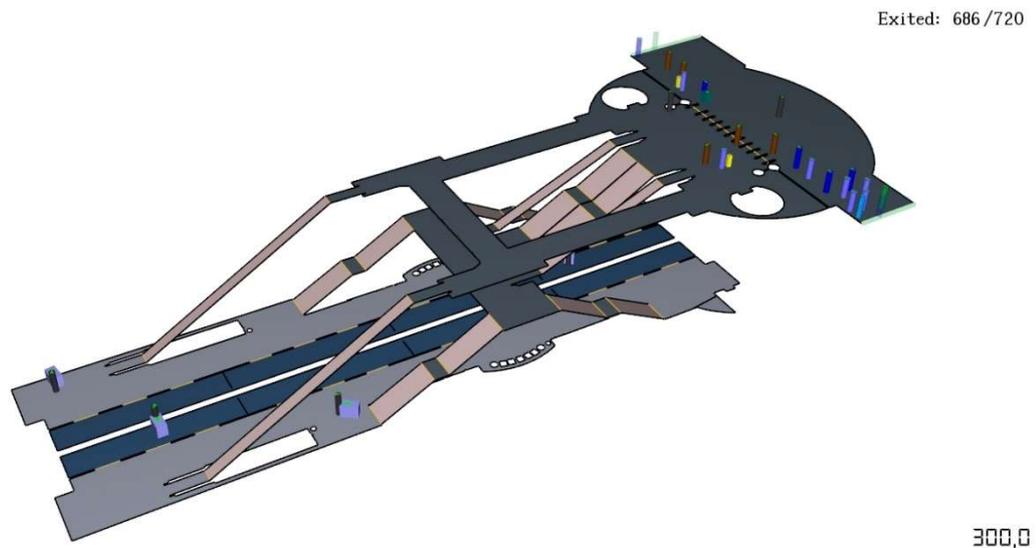


Figura 92: posizione occupanti dopo 300 secondi dall'inizio della simulazione

6.6. Simulazione 5

Questa simulazione è stata condotta ipotizzando che vi siano le seguenti condizioni:

- segnalazione mediante allarme e diffusione messaggio vocale che fornisce informazioni più dettagliate sul pericolo in corso e sulle azioni da intraprendere per l'esodo;
- segnalazione luminosa, per consentire anche a persone con limitazioni uditive di comprendere l'emergenza
- segnaletica correttamente collocata, illuminata, con corretto contrasto cromatico, non solo visiva ma anche tattile;
- assenza di personale formato sul luogo, ma intervento da parte dei soccorritori.

All'interno della simulazione sono stati inseriti i profili degli occupanti:

- *Standard uomo*
- *Standard donna*
- *Anziano*
- *Bambino*
- *Valigia*
- *Passeggino*
- *Utente con disabilità motoria sedia a rotelle*
- *Utente con disabilità motoria con ausilio*
- *Utente con limitazione funzionale della vista*
- *Utente con limitazione funzionale dell'udito*

- *Utente con limitazione cognitiva*
- *Soccorritore*

6.6.1. Aspetti comportamentali

In relazione alle caratteristiche ambientali ipotizzate per la presente simulazione gli occupanti in generale avranno minori difficoltà a riconoscere la segnalazione e ad agire di conseguenza.

Infatti, la presenza di una segnalazione con la diffusione di un messaggio vocale con un maggior contenuto informativo rispetto ad un semplice messaggio preregistrato che invita a lasciare l'edificio, consente agli occupanti di percepire e non sottovalutare la situazione di pericolo. Inoltre, anche a fase di risposta può essere agevolata da tale segnalazione, in quanto nel messaggio possono essere riportate le modalità per l'esodo, quali percorsi seguire, quali uscite usare ma anche i luoghi da raggiungere per persone con difficoltà. Questo agevola anche gli occupanti stranieri con limitata conoscenza della lingua.

La presenza poi di segnaletica luminosa, rende possibile il riconoscimento anche per persone con limitazione funzionale dell'udito, riducendo dunque il tempo richiesto per comprendere la situazione ed evitando in alcuni casi la necessità di essere soccorsi.

La presenza di una segnaletica idonea al contesto, con le caratteristiche prima elencate, consentono una risposta inclusiva da parte degli occupanti, permettendo loro di trovare il percorso migliore da seguire e le uscite da utilizzare.

In questo caso l'assenza di personale formato influisce solamente sugli occupanti con disabilità motorie che si trovano nelle banchine o nei treni: essendoci infatti i sistemi di segnalazione sopra indicati, tutti gli occupanti saranno in grado di evacuare gli ambienti e lo faranno anche in tempi brevi, a meno di coloro che per la presenza di ostacoli ambientali non possono fisicamente procedere in autonomia. Nonostante questo anche la fase di soccorso da parte dei soccorritori sarà comunque agevolata in quanto gli occupanti, grazie alle indicazioni fornite dal messaggio vocale, si posizioneranno nei punti indicati, ovvero alle estremità delle banchine.

Osservando poi quanto ricavato dalle simulazioni condotte nella stazione metropolitana [19] in questo caso si evince che il ritardo con cui hanno iniziato a muoversi gli occupanti è pari a 1:30 minuti nell'atrio e a 1 minuto per il resto della stazione.

Pertanto i tempi attribuiti agli occupanti all'interno di questa simulazione partono dai valori osservati nella realtà per poi essere incrementati, anche se di poco per le motivazioni appena descritte, per gli occupanti con difficoltà e limitazioni.

L'intervallo dei valori assunti è stato ipotizzato nella maggior parte dei casi pari a 60 secondi proprio perché grazie alla qualità delle informazioni diffuse mediante messaggio vocale ed alla segnalazione luminosa i tempi si riducono notevolmente.

I "behaviours" inseriti in questo caso sono gli stessi delle altre simulazioni e vengono di seguito riportati:

- *Standard atrio libero*
- *Standard atrio*
- *Anziano atrio*

- *Genitore passeggino atrio*
- *Passeggino atrio*
- *Utente limitazione udito atrio*
- *Utente limitazione vista atrio*
- *Ausilio limitazione vista atrio*
- *Assistente limitazione cognitiva atrio*
- *Utente limitazione cognitiva atrio*
- *Utente con valigia atrio*
- *Valigia atrio*
- *Disabile motorio ausilio atrio*
- *Genitore atrio*
- *Bambino atrio*
- *Disabile motorio atrio*
- *Soccorso atrio libero*
- *Soccorso atrio*
- *Gruppo atrio*
- *Straniero atrio*
- *Gruppo pianerottolo*
- *Standard*
- *Anziano*
- *Genitore passeggino*
- *Passeggino*
- *Utente limitazione udito*
- *Utente limitazione vista*
- *Ausilio limitazione vista*
- *Assistente limitazione cognitiva*
- *Utente limitazione cognitiva*
- *Utente con valigia*
- *Valigia*
- *Disabile motorio ausilio*
- *Genitore*
- *Bambino*
- *Disabile motorio*
- *Soccorso disabile*
- *Straniero*
- *Gruppo*

6.6.2 Layout

Per quanto riguarda la disposizione degli occupanti all'interno degli ambienti è rimasta invariata rispetto alle precedenti simulazioni. La sola differenza che è possibile osservare riguarda la presenza di due aree di colore rosso che erano presenti solamente nella prima simulazione e che identificano l'area dove si devono dirigere gli occupanti che necessitano di assistenza da parte dei soccorritori.

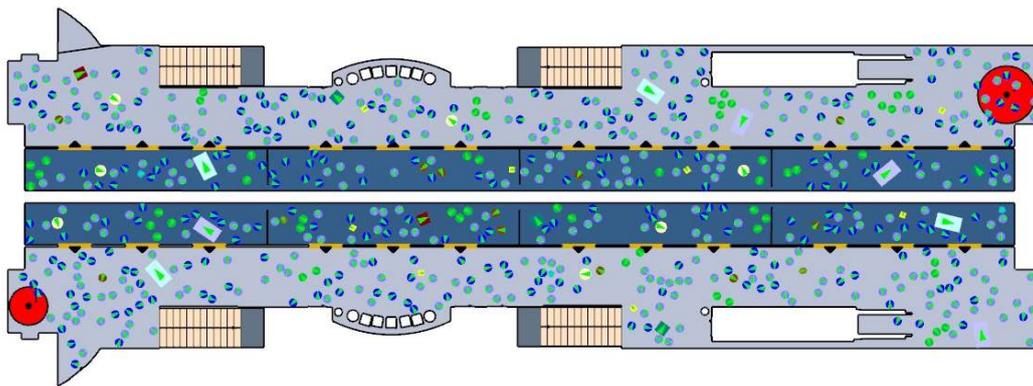


Figura 93: collocamento occupanti nelle banchine e nei treni

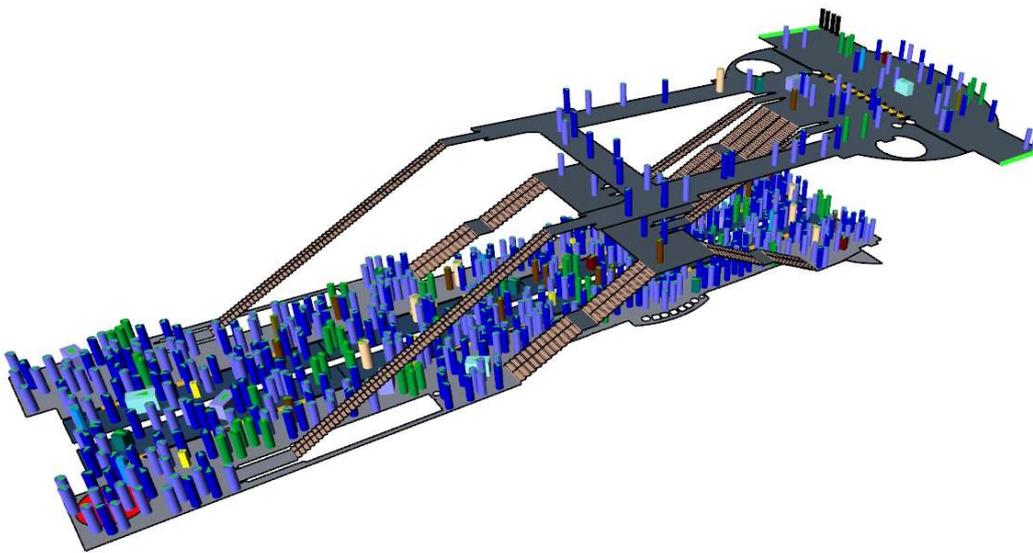


Figura 94: visuale 3D collocamento occupanti

6.6.3. Risultati

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti dalla simulazione.

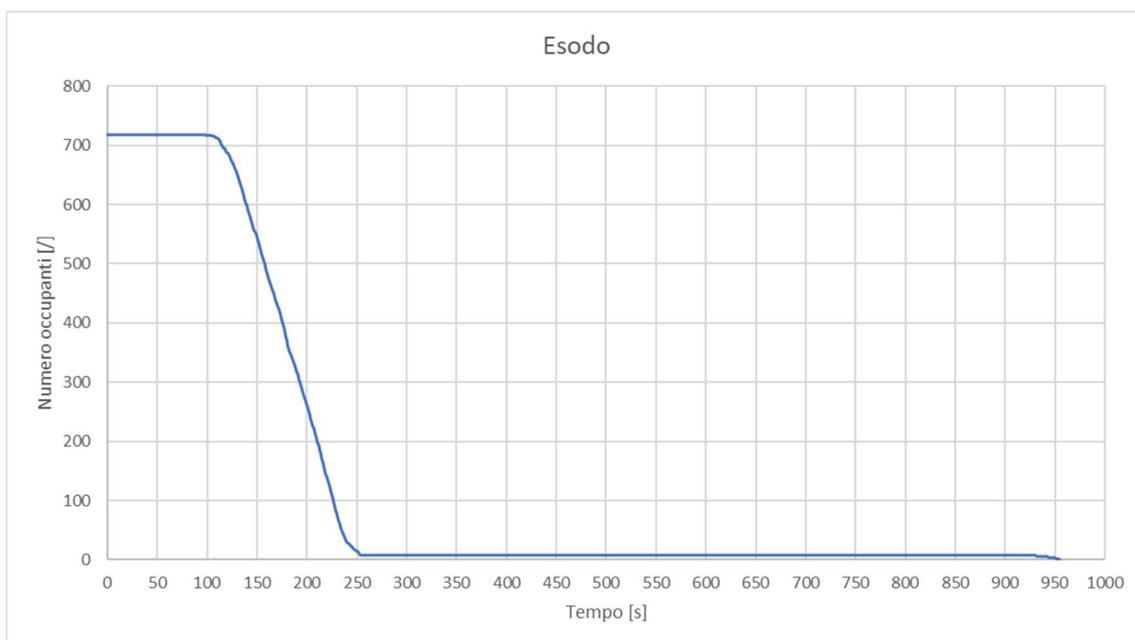


Figura 95: tempo richiesto per l'esodo degli occupanti nella simulazione 5

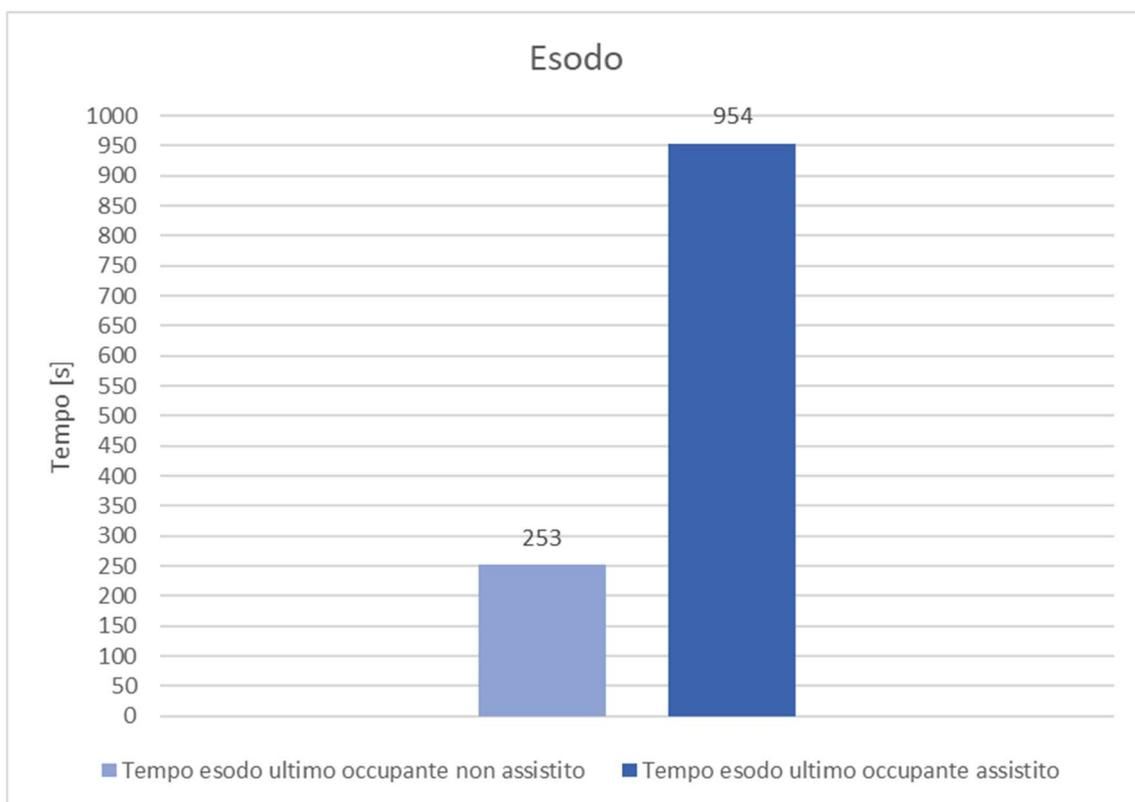


Figura 96: tempo richiesto per l'esodo degli occupanti nella simulazione 5, distinguendo tra assistiti e non assistiti

Come prevedibile, osservando i tempi inseriti come dati di input, il primo occupante che inizia a muoversi è un utente standard che si trova al livello delle banchine e lo fa dopo 60 secondi. Il primo occupante ad uscire invece è un utente standard che si trova nell'atrio e lo fa dopo 98 secondi.

L'utente che impiega il maggior tempo a uscire è caratterizzato dal "behaviours" *genitore passeggiato*, si trova nelle banchine e ci mette un tempo pari a 180 secondi circa: questo accade in quanto il movimento degli occupanti avviene in un intervallo di tempo ristretto e pertanto si formano delle code di utenti durante l'esodo che rallenta l'evacuazione di tutti gli occupanti.

Gli ultimi occupanti in grado di uscire in autonomia sono un genitore con il passeggiato e un utente con limitazione funzionale della vista e avviene dopo 253 secondi dall'inizio della simulazione.

Come in tutti gli altri casi i soccorritori arrivano dopo un tempo stimato di 14 minuti circa, che consente l'esodo da parte degli occupanti con disabilità motorie non in grado di uscire in autonomia, dopo 950 secondi circa.

Di seguito si riportano delle immagini relative alla simulazione eseguite ad intervalli di 50 secondi per la prima parte dell'esodo e dopo 50 secondi dall'arrivo dei soccorritori.

Si osserva che in questo caso a differenza delle altre simulazioni i tempi minori di risposta sono per gli occupanti che si trovano nelle banchine, mentre sono superiori a livello dell'atrio.

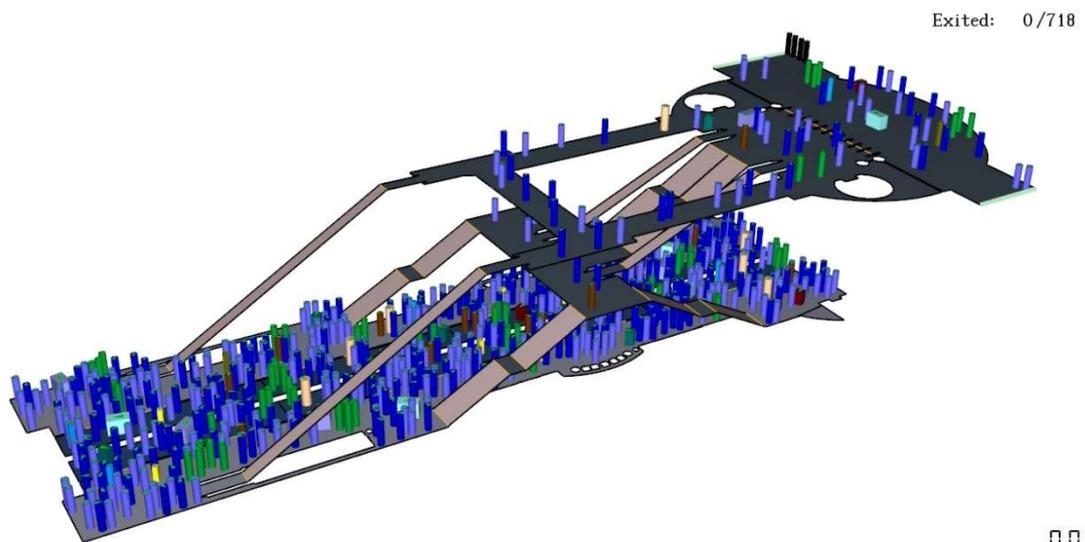


Figura 97: posizione occupanti nell'istante iniziale della simulazione

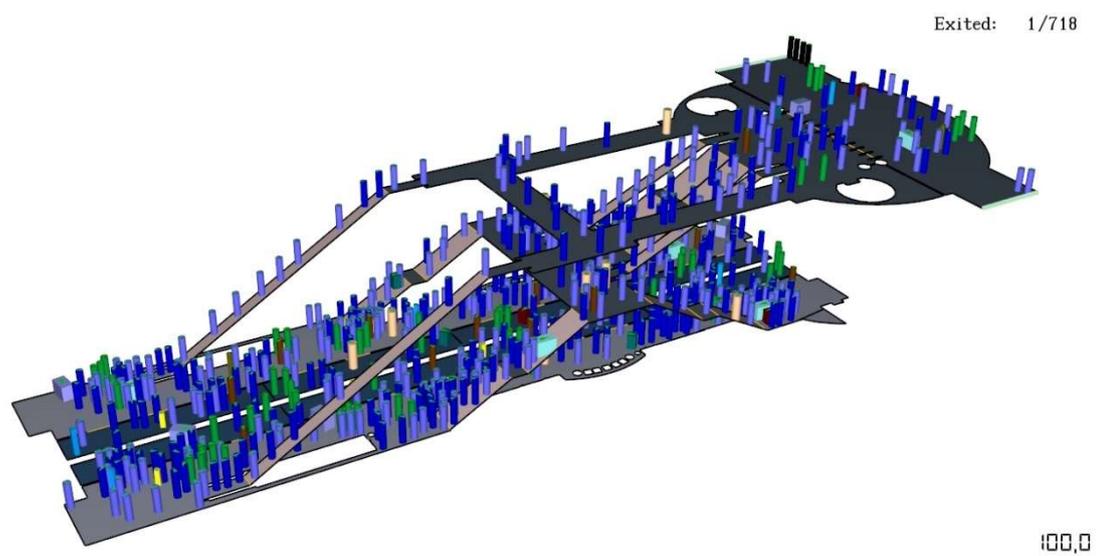


Figura 98: istante esodo primo occupante

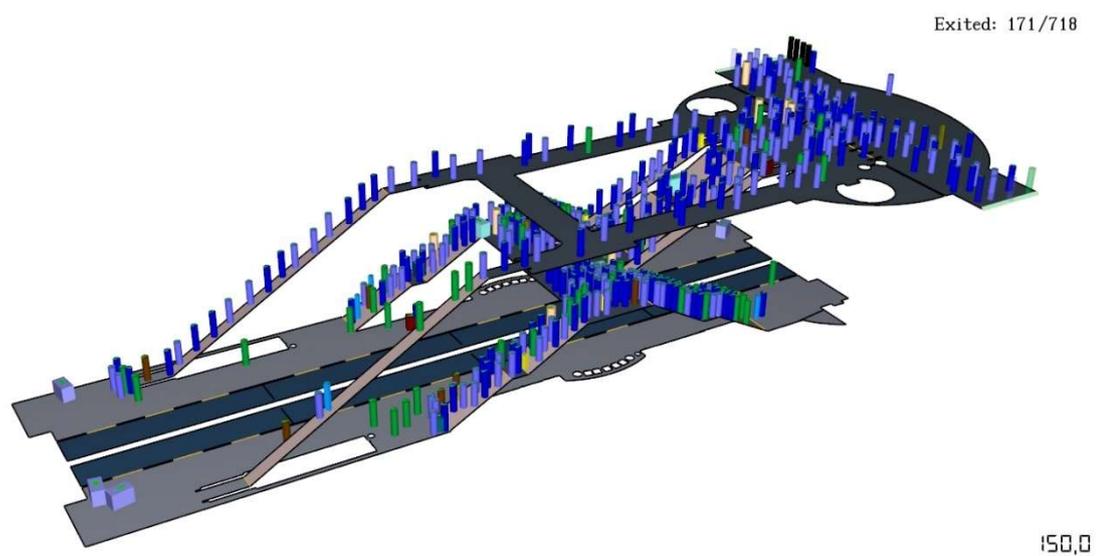


Figura 99: posizione occupanti dopo 150 secondi dall'inizio della simulazione

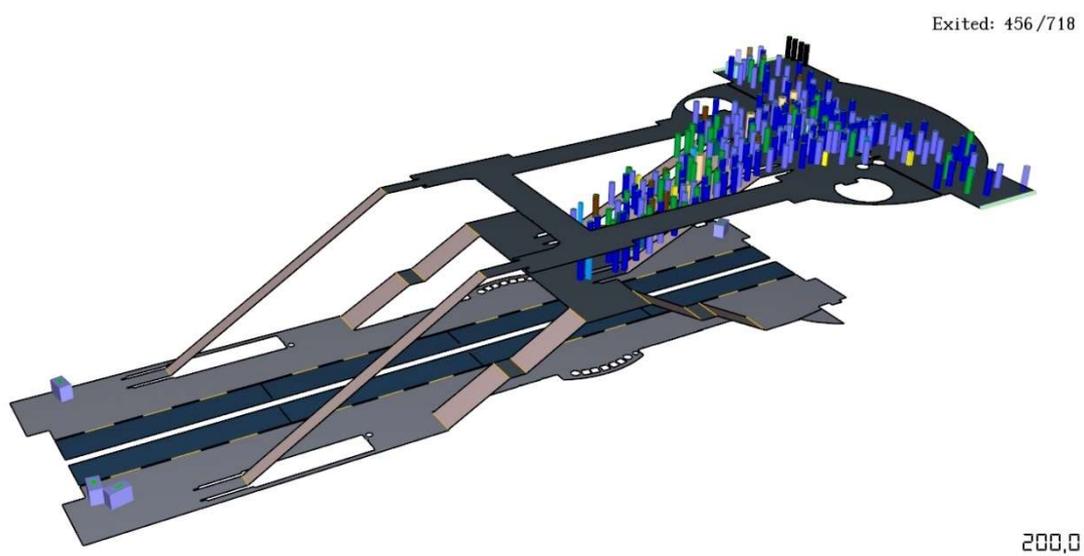


Figura 100: posizione occupanti dopo 200 secondi dall'inizio della simulazione

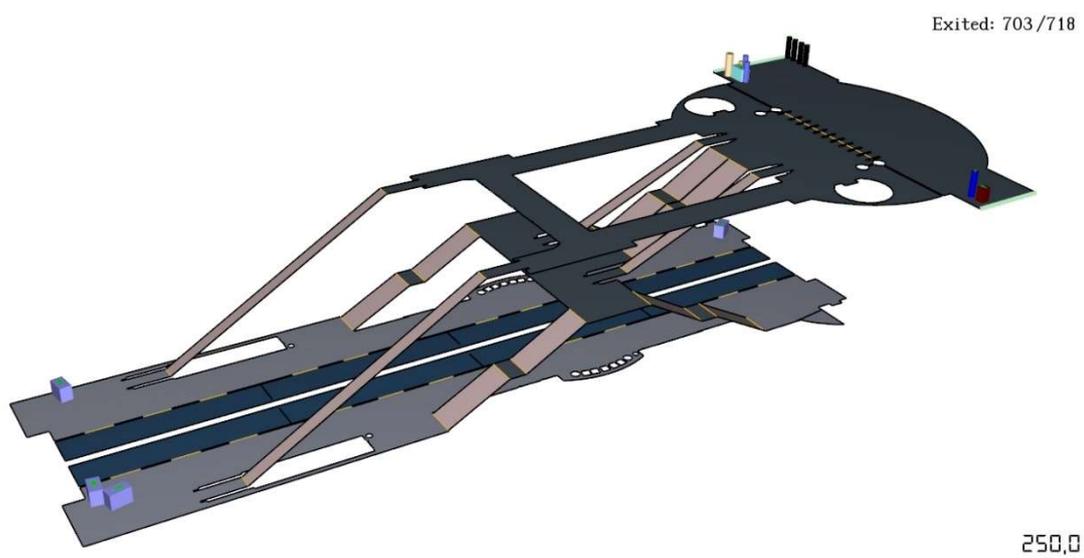


Figura 101: posizione occupanti dopo 250 secondi dall'inizio della simulazione

Exited: 710/718

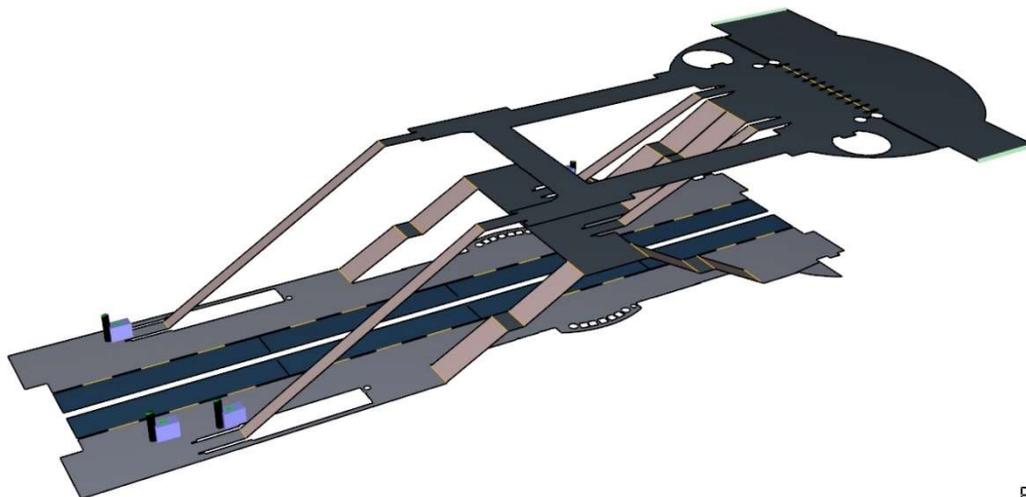


Figura 102: posizione occupanti dopo 890 secondi dall'inizio della simulazione

7. Conclusioni e sviluppi futuri

Gli obiettivi prefissati all'inizio di questo lavoro riguardavano la valutazione dell'impatto del comportamento umano in emergenza sulla progettazione della sicurezza antincendio, per l'ottimizzazione delle simulazioni dell'esodo.

In una prima fase sono stati analizzati ed approfonditi tutti i fattori che sia nel quotidiano, ma soprattutto in caso di emergenza possono influenzare il comportamento tenuto dagli occupanti durante la fase di risposta ad una determinata situazione. Dopo questo è stato scelto un caso studio in grado di dimostrare come tali fattori agiscano sulle simulazioni dell'esodo quando si effettua una progettazione antincendio di tipo prestazionale. In particolare si è scelta una stazione metropolitana poiché trattandosi di un luogo di transito presenta una conformazione geometrica e funzionale tale per cui è possibile eseguire le analisi, principalmente grazie alla varietà di tipologie di utenti che possono essere presenti all'interno e all'elevato affollamento degli spazi. Le simulazioni sono state condotte ipotizzando di modificare per ognuna il sistema di segnalazione e gestione dell'emergenza, variando di conseguenza la risposta degli occupanti, tenendo conto di tutte le osservazioni fatte nella prima fase.

Dagli studi condotti nella prima fase è emerso che il comportamento umano non dipende univocamente dalle caratteristiche intrinseche degli occupanti presenti, ma è frutto dell'interazione tra l'ambiente, gli occupanti e l'incendio. I fattori che influenzano tale comportamento sono molteplici e non sempre sono di facile determinazione proprio perché non è immediato comprendere quali siano gli elementi che incidono sulle scelte prese dagli occupanti in una situazione d'emergenza, quali siano le loro sensazioni e il loro stato d'animo. Per fare questo studio è stato analizzato quanto riportato su casi realmente accaduti, su simulazioni condotte in luoghi reali con veri occupanti e valutazioni riportate in letteratura.

Successivamente si è proceduto con le simulazioni, che in totale sono state cinque nelle quali sono state inserite e modificate le risposte degli occupanti sia in termini di comportamento che di tempi di pre-movimento. Di seguito si riportano i risultati ottenuti:

- la prima è stata eseguita utilizzando come valori temporali per le attività di pre-movimento, i dati determinati dalla normativa ISO TR 16738, così come verrebbe fatto da un professionista che voglia eseguire la progettazione antincendio seguendo un approccio di tipo prestazionale. Dai risultati ottenuti si osserva che l'esodo avviene contemporaneamente in tutte le parti dell'ambiente, con un ritardo maggiore per coloro che possono presentare alcune difficoltà. Il tempo richiesto dagli occupanti per lasciare l'edificio in questo caso risulta essere pari a 5,25 minuti (per gli utenti in grado di muoversi autonomamente) mentre è di 16,25 minuti per chi attende i soccorsi.
- nella seconda simulazione si è ipotizzato di essere in presenza di un caso peggiorativo rispetto alla realtà, con una segnalazione mediante un allarme acustico a tono, ossia un allarme che emette un suono e non fornisce alcun tipo di informazione. Si immagina pure che vi sia una segnaletica idonea alla stazione metropolitana. Da indagini condotte in precedenza [19] è emerso che in presenza di una segnaletica di questo tipo gli occupanti tendono a sottovalutare la situazione ipotizzando un falso allarme e continuando le proprie attività. Pertanto l'esodo è iniziato quasi in contemporanea all'interno di tutto l'ambiente, nel momento in cui sono giunti sul luogo i soccorsi, quindi dopo circa 14 minuti. In questo caso dunque la differenza del tempo richiesto per l'esodo

da persone in grado di muoversi in autonomia o che necessitano di assistenza è il medesimo ed è pari a circa 18 minuti. È importante notare che nella simulazione, per tutto il tempo che precede l'arrivo dei soccorsi, gli occupanti stanno fermi al loro posto: nella realtà questo non accade ma anzi le persone continueranno ad entrare ed uscire dalla stazione e dai treni.

- la terza simulazione è stata condotta immaginando una segnalazione mediante allarme acustico e messaggio vocale pre-registrato, con segnaletica idonea. In questo caso l'esodo non è avvenuto in contemporanea e mentre per gli occupanti dell'atrio è avvenuto dopo pochi minuti, per le persone nelle banchine, come dimostrato da alcune simulazioni condotte nella realtà, si sono attesi i soccorsi. Pertanto l'esodo è avvenuto in modo graduale, con difficoltà maggiori per persone con limitazioni funzionali e motorie: il tempo richiesto per l'esodo risulta pari a 17,20 minuti, sia per persone autonome che non.
- un risultato notevolmente diverso lo si è ottenuto per la quarta simulazione in cui la segnalazione è la stessa di quella precedente ma è presente all'interno dell'ambiente il personale formato che è intervenuto a pochi minuti dall'inizio della segnalazione. La presenza di addetti consente agli occupanti di non sottovalutare la situazione e nel caso di persone con limitazioni funzionali, consente di comprendere il pericolo e la necessità di abbandonare l'edificio, cosa che altrimenti con la sola segnalazione non è detto che avverrebbe, visto il limitato contenuto informativo del messaggio vocale. Anche in questo caso la differenza tra il tempo utilizzato dall'ultimo occupante non assistito e quello assistito per lasciare l'edificio varia di 40 secondi circa, proprio grazie alla presenza del personale che è in grado di consentire l'evacuazione anche a persone con difficoltà motorie, che altrimenti, come negli altri casi, avrebbero dovuto attendere l'intervento dei soccorritori. Il tempo totale richiesto per l'esodo risulta quindi essere pari a 5,20 minuti per le persone in grado di muoversi autonomamente e di circa 6 minuti per chi necessita di assistenza.
- l'ultima simulazione eseguita, analizza una situazione in cui la segnalazione dell'allarme avviene mediante sistema acustico e la diffusione di un messaggio vocale con un contenuto informativo migliore rispetto alle precedenti simulazioni. Questo influisce in modo positivo sui tempi di risposta degli occupanti in quanto consente loro di riconoscere efficacemente la segnalazione e procedere con l'esodo in modo consapevole, rapido e ordinato. Non essendo presente del personale formato che può intervenire in caso di emergenza, le persone non in grado di procedere con l'esodo in modo autonomo devono attendere l'intervento dei soccorritori che come per tutte le altre situazioni intervengono dopo 14 minuti. Pertanto i tempi registrati per l'esodo complessivo sono diversi per utenti autonomi e quelli che necessitano di assistenza, e sono pari a 4,15 minuti nel primo caso e 15,55 minuti nel secondo.

Dal confronto dei risultati ottenuti (*Figura 103* e *Figura 104*) è possibile osservare che, quanto ipotizzato all'inizio di questo studio, è effettivamente verificato: eseguire una corretta analisi dei fattori che influenzano il comportamento umano in emergenza, risulta necessario in quanto influisce sui risultati delle simulazioni dell'esodo. Pertanto trascurare questi elementi, nel peggiore dei casi, potrebbe comportare degli errori nella progettazione della sicurezza antincendio in quanto si andrebbe a sottovalutare il tempo richiesto dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro.

Inoltre dalle simulazioni condotte è emerso quanto il sistema di segnalazione e gestione presente all'interno di un'ambiente sia vincolante e influente sulla risposta degli occupanti che si trovano in una situazione di emergenza. La presenza di un buon sistema informativo fornisce agli utenti la possibilità di prendere decisioni in modo più razionale, in quanto garantisce il riconoscimento della segnalazione e la comprensione delle informazioni fornite, in modo tale da avere un quadro completo sulla situazione.

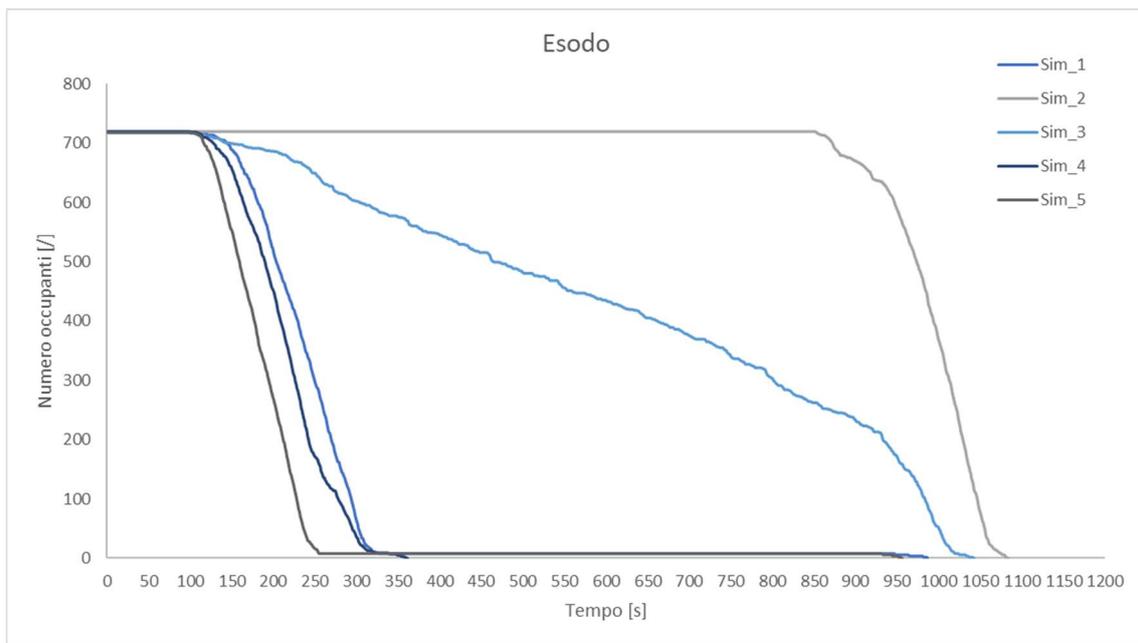


Figura 103: confronto andamenti dell'esodo tra le varie simulazioni

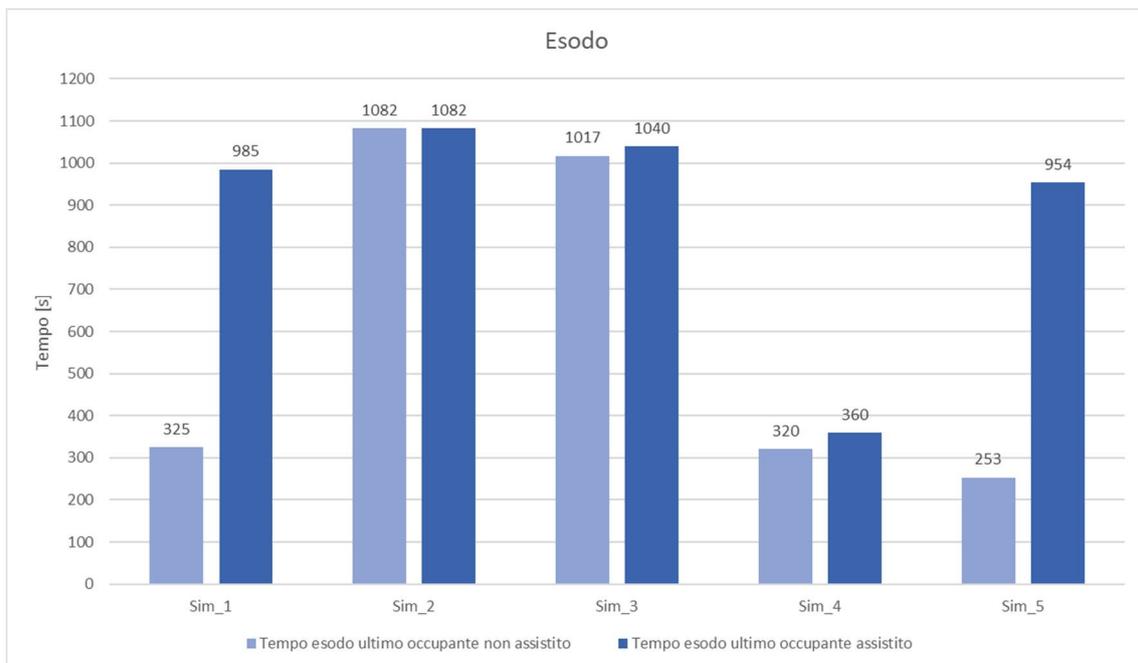


Figura 104: confronto tempi di esodo tra le varie simulazioni distinguendo tra occupanti non assistiti e assistiti

Oltre a questo, dal confronto tra i risultati della prima simulazione con le successive, è possibile notare come in fase progettuale sia importante prevedere ed analizzare molteplici scenari. Nonostante il fatto che la normativa in vigore relativa alle stazioni metropolitane richieda specifiche caratteristiche per il sistema di segnalazione dell'allarme, questo studio dimostra come nel caso di un guasto a tale sistema il tempo richiesto per l'esodo sia notevolmente superiore a quanto ricavato utilizzando i dati da normativa e pertanto potrebbe non essere soddisfatta la verifica della disequazione $ASET > RSET$, da cui si deduce la necessità di non trascurare questo aspetto. Come per il sistema di segnalazione, anche la presenza o meno di personale formato conduce a risultati molto diversi, così come la tipologia di segnaletica, il suo contenuto informativo, il collocamento ed altre caratteristiche. Purtroppo in quest'ultimo caso non sono stati ricavati dati che consentissero di eseguire simulazioni modificando questi elementi e valutando la variazione della risposta degli utenti: la sola cosa che è stata fatta riguarda la definizione del grado di difficoltà da parte degli utenti proprio nella fase di risposta.

Questa riflessione è stata resa possibile proprio grazie allo studio dei fattori che influiscono sul comportamento umano in una situazione di emergenza e all'applicazione di tali concetti ad un caso studio eseguendo la simulazione dell'esodo.

Lo studio effettuato ha consentito anche di mettere in luce le difficoltà riscontrate nell'affrontare questo argomento, infatti il principale limite lo si ritrova nella mancanza di informazioni disponibili in letteratura che consentano di individuare gli elementi che influenzano il comportamento umano in emergenza. La maggior parte della letteratura tecnico-scientifica che è possibile consultare, oltre ad essere poco divulgata nel nostro Paese, è prevalentemente di provenienza straniera e ed in particolare di natura anglosassone. Per quanto attendibili, questi valori non possono considerarsi sempre affidabili in tutte le situazioni poiché, per quanto riportato anche all'interno di questo studio, la differenza sociale e culturale influisce sulla popolazione e sui modi di agire e comportarsi in un qualsiasi contesto.

Anche il reperimento di dati numerici relativi appunto ai tempi richiesti dagli occupanti per evacuare in diverse situazioni non è semplice e si ritrova principalmente all'interno di normative e letteratura di origine straniera, che riportano valori ricavati da fatti realmente accaduti o simulazioni realizzate nella realtà.

L'utilizzo di questi dati però può compromettere l'esito delle valutazioni propedeutiche alle simulazioni d'esodo, alterando in modo inappropriato la stima dell'effettivo tempo necessario agli occupanti per evacuare, comportando di conseguenza o una progettazione non consona alle esigenze dell'edificio interessato e degli occupanti o introducendo misure non necessarie con un conseguente aumento dei costi. Nonostante ciò, l'utilizzo di queste informazioni e dei dati risulta imprescindibile ai fini della progettazione in quanto attualmente sono quelli maggiormente disponibili: in Italia attualmente gli studi condotti in merito a questo tema sono limitati e poco approfonditi in quanto mancano studi e ricerche.

Infine un'ulteriore difficoltà ha riguardato proprio la modellazione dei comportamenti analizzati in modo qualitativo all'interno delle simulazioni: infatti se per alcuni fattori è stato possibile modellarli, per altri, come ad esempio il panico, non è stato possibile farlo. Questa difficoltà è stata tenuta in considerazione andando ad attribuire come tempi di ritardo nell'inizio dell'esodo valori variabili all'interno di specifici intervalli.

Per superare queste difficoltà la sola soluzione risulta essere l'esecuzione di simulazioni d'esodo, in contesti reali con veri occupanti, simulando una situazione di emergenza a causa di un incendio, in modo tale da

ottenere dei dati contestualizzati e pertinenti sia al contesto sociale che culturale. Le simulazioni reali dell'esodo sono infatti un valido strumento che consente di analizzare da vicino, mediante appositi strumenti, ciò che accade nel momento in cui ci si trova in una situazione di emergenza. Per farlo si dovrebbe dunque cercare di riprodurre le condizioni di emergenza sia mediante prove di evacuazione non preannunciate sia ricreando delle situazioni apposite, al termine delle quali è possibile ricavare dei risultati, mediante l'utilizzo di strumenti quali riprese, questionari ed altro. L'esecuzione di tali prove è però complicata in quanto richiede un grande sforzo da un punto di vista organizzativo ed inoltre vi è una certa probabilità che i dati ottenuti non siano totalmente realistici, in quanto una simulazione non rappresenta la realtà ma solamente una buona approssimazione.

Questi studi, oltre a consentire una migliore progettazione, presentano almeno anche altri due fini: infatti mediante il confronto con quanto riportato in letteratura, permettono di valutare la validità di tali dati anche nel nostro Paese, ed inoltre pongono le basi per la creazione di una banca dati a livello nazionale da cui i vari progettisti potranno attingere per l'esecuzione delle simulazioni d'esodo.

In futuro dunque si potrà provare a strutturare una modalità di rilevazione per l'esecuzione delle simulazioni realistiche composta da sistemi video, osservazioni dirette e questionari, che potrà essere utilizzata successivamente per ampliare le indagini svolte sia di tipo qualitativo sia quantitativo, per lo studio del comportamento umano in emergenza.

Bibliografia

1. Bontempi F., Caira L., Mangione M. – *Comportamento umano in caso di incendio: modelli di evacuazione*
2. Bernardini G., D'orazio M. – *Il processo di evacuazione nel Codice di Prevenzione Incendi: riflessioni sul tempo di pre-movimento* (2016)
3. Hofinger G., Zinke R., Zunker L. – *Human factors in evacuation simulation, planning, and guidance* (2014)
4. Kobes M., Helsloot I., De Vries B., Post J. – *Building safety and human behaviour in fire: a literature review* (2010)
5. Zanut S. – *L'analisi del comportamento umano durante l'allarme antincendio* (2014)
6. Fortunati L., Farinosi M., Sarrica M., Ferrin G., Minisini D., Zanut S. – *In caso di emergenza, strategie di comunicazione per la riduzione del rischio a 40 anni dal terremoto del Friuli* (2018)
7. Zanut S., Ronchi E., Cosi F. – *Fuori tutti, c'è un incendio a scuola ma è solo una simulazione* (2017)
8. Ronchi E. – *Nuove modalità di approccio alla sicurezza inclusiva con il metodo della Fire Engineering*, Antincendio (2019)
9. Schiavone E., Zanut S. – *Persone reali e sicurezza inclusiva: Il contributo della progettazione inclusiva alla sicurezza di tutti*, Antincendio (2021)
10. ISTAT – *Conoscere il mondo della disabilità* (2019)
11. ISTAT – *Audizione dell'Istat presso il Comitato Tecnico Scientifico dell'Osservatorio Nazionale sulla condizione delle persone con disabilità* (2021)
12. ISTAT – *Inclusione sociale delle persone con limitazioni funzionali, invalidità o cronicità gravi* (2013)
13. *Sicurezza accessibile – la sicurezza tra salute mentale e disabilità intellettive* (2015)
14. Romano G., Schiavone E., Zanut S. – *Aspetti connessi con la disabilità nella gestione di situazioni di emergenza*
15. Zanut S., Villani T. – *Alto affollamento e disabili, una sfida per il progettista*, Antincendio (2008)

16. Villani T. – *Autismo e interpretazione dell'allarme: il sistema di comunicazione*, Antincendio (2013)
17. Tan Z., Othman, Wahab and S.S.N Alhady – *Crowd dynamics analysis: simulating heterogeneous crowds with panic effect stochastic behaviour* (2019)
18. Fahy R.F., Prolux G., Aiman L. – *Panic and human behaviour in fire* (2009)
19. Sime J. D., Prolux G. – *To prevent 'Panic' in an Underground Emergency: why not tell people the truth?*
20. Carattin E. Zanut S. – *I principi del wayfinding, l'orientamento in emergenza*, Antincendio (2009)
21. Vancetti R., Cerenda E. – *Stazioni metropolitane: la caratterizzazione degli occupanti per le verifiche di esodo ed inclusione con i metodi della FSE*, Antincendio 2020
22. Kuligowski E. – *The process of human behavior in fires*, NIST Technical note 1632 (2009)
23. Fridolf, Karl - *Fire evacuation in underground transportation systems: a review of accidents and research* (2010)
24. Ministero dell'interno – *Annuario statistico del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco* (2020)
25. Ministero dell'interno – *D.M. 3 agosto 2015 Codice di prevenzione incendi*
26. ISO TR 16738 *Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people* (2009)
27. Ministero dell'interno – *D.M. 21 ottobre 2015 Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle metropolitane*
28. Tuttitalia.it. "Cittadini stranieri in Italia-2020". www.tuttitalia.it/statistiche/cittadini-stranieri-2021.
29. ISTAT. *Annuario statistico Italiano, 19 Turismo* (2020)
30. Tuttitalia.it. "Cittadini stranieri in Italia-2020". www.tuttitalia.it/piemonte/torino/statistiche/cittadini-stranieri-2020.