



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura

**PROBLEMATICHE DI EVACUAZIONE IN EDIFICI SENSIBILI: NUOVE
STRATEGIE DINAMICHE E COMBinate PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO**

Evacuation problems in sensitive buildings: new dynamic and combined strategies
for risk reduction

Relatore

Prof. Ing. Enrico Quagliarini

Tesi di laurea di

Bastianutto Alessandro

Correlatore

Ing. Gabriele Bernardini

A.A 2019/2020

Sommario

1.	STATO DELL'ARTE.....	5
1.1.	QUADRO GENERALE	5
1.1.1.	IL NUOVO CODICE DI PREVENZIONE INCENDI.....	6
1.1.2.	L'APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA	7
1.1.3.	SICUREZZA ANTINCENDIO E GESTIONE DELL'EMERGENZA NEI LUOGHI DI LAVORO: D.M. 10/03/1998.....	8
1.1.4.	TESTO UNICO SULLA SICUREZZA DLGS 81/08: FIGURE PER LA SICUREZZA E PIANO DI EVACUAZIONE.....	9
1.1.5.	PIANO DI EMERGENZA ED EVACUAZIONE	10
1.2.	IL COMPORTAMENTO UMANO IN CASO DI EMERGENZA	12
1.2.1.	I TEMPI DI EVACUAZIONE.....	13
1.2.2.	VELOCITÀ.....	15
1.2.3.	SCELTA DEL PERCORSO DI USCITA.....	18
1.3.	MODELLI PER LA SIMULAZIONE DEL COMPORTAMENTO UMANO	19
1.3.1.	MODELLO MACROSCOPICO	20
1.3.2.	MODELLO MICROSCOPICO.....	20
2.	FASI E METODI	21
2.1.	DESCRIZIONE SOFTWARE: PATHFINDER THUNDERHEAD.....	21
2.1.1.	MODALITÀ SFPE.....	22
2.1.2.	MODALITÀ STEERING.....	23
2.1.3.	ESTRAZIONE E MODELLAZIONE DEGLI ELEMENTI	24
2.2.	VALIDAZIONE SCENARIO.....	26
2.2.1.	TIPOLOGIA E STRUTTURA SCENARI SCELTI.....	26
2.2.1.1.	SCENARIO 1: MOTO LIBERO.....	27
2.2.1.2.	SCENARIO 2: MOTO CORRISPONDENTE EDIFICIO OGGETTO DI STUDIO	27
2.2.2.	DEFINIZIONE VARIABILI DI INPUT PER IL CONFRONTO CON SIMULATORE OASIS MASSMOTION.....	28
2.2.2.1.	VELOCITÀ DI ESODO	29
2.2.2.2.	NUMERO DI PERSONE	29
2.2.3.	DEFINIZIONE VARIABILI DI OUTPUT.....	30
2.3.	DEFINIZIONE SCENARIO SIMULAZIONE OGGETTO DI STUDIO	30
2.3.1.	CRITERI GENERALI DI DEFINIZIONE DELLO SCENARIO DI EVACUAZIONE.....	32
2.3.1.1.	TIPO DI EMERGENZA	32
2.3.1.2.	GEOMETRIA	33
2.3.1.3.	VIE DI ESODO	34

2.3.1.4.	LUOGHI A POSSIBILE PROLUNGATA PRESENZA	34
2.3.2.	DEFINIZIONE DATI OCCUPAZIONALI: AFFOLLAMENTO.....	34
2.3.2.1.	STIMA AFFOLLAMENTO DATI DI MONITORAGGIO	35
2.3.2.2.	TIPOLOGIA DI OCCUPANTI.....	36
2.4.	PROCESSO DI GESTIONE DELL'EMERGENZA	38
2.4.1.	MODALITÀ DI ESODO	38
2.4.2.	PERCORSI DI USCITA	39
2.5.	PIANO DELLE SIMULAZIONI.....	44
2.5.1.	SIMULAZIONE 1: ESODO SIMULTANEO SECONDO PIANO DI EMERGENZA	46
2.5.1.1.	METODO DI ANALISI DEI RISULTATI DELLA SIMULAZIONE BASE	46
2.5.2.	SIMULAZIONE 2: ESODO CON ADDETTI CHE SVOLGONO FUNZIONI SPECIFICHE	47
2.5.2.1.	METODO DI ANALISI DEI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI A FASI SUCCESSIVE	55
2.5.3.	SIMULAZIONE 3: ESODO CON PERCORSO ALTERNATIVO	55
2.5.3.1.	METODO DI ANALISI DEI RISULTATI DELLA SIMULAZIONE BASE	59
3.	RISULTATI	60
3.1.	STIMA DELL'AFFOLLAMENTO MASSIMO	60
3.2.	RISULTATI DI VALIDAZIONE DEL MODELLO	61
3.2.1.	ANALISI DEGLI OUTPUT IN RELAZIONE AL CONFRONTO DEI RISULTATI TRA MASSMOTION E PATHFINDER	61
3.3.	RISULTATI SIMULAZIONI EVACUAZIONE CASO DI STUDIO: DEFINIZIONE OUTPUT ANALIZZATI.....	73
3.3.1.	ANALISI OUTPUT SIMULAZIONE 1: ESODO COME DA PIANO DI EVACUAZIONE	77
3.3.2.	ANALISI OUTPUT SIMULAZIONE 2: ESODO CON PERSONALE ADDETTO	125
3.3.3.	ANALISI OUTPUT SIMULAZIONE 3: ESODO CON PERCORSO ALTERNATIVO	147
3.4.	DISCUSSIONE RISULTATI	221
4.	CONCLUSIONI	224

INTRODUZIONE

La progettazione della sicurezza in emergenza nello spazio costruito sta affrontando un graduale passaggio da metodi prevalentemente prescrittivi ad approcci di carattere prestazionale, in cui il progettista analizza l'efficacia delle misure da adottare per aumentare la sicurezza degli occupanti e dei beni contenuti nell'edificio sulla base di una valutazione specifica dei rischi che possono manifestarsi. In questo processo, risulta utile l'adozione di strumenti informatici di simulazione, che permettono l'analisi congiunta di più fattori concomitanti nell'emergenza (es.: caratteri dell'emergenza, risposta del costruito, risposta degli occupanti e del sistema di gestione dell'emergenza) in tempi rapidi e tramite una rappresentazione dell'effettiva complessità del sistema innescato dall'emergenza stessa. Precedenti studi e applicazioni nel mondo professionale della progettazione della sicurezza hanno mostrato l'utilità di questi strumenti nel campo della prevenzione incendi, e in particolare per gli aspetti di valutazione del processo di esodo dalle strutture. In queste condizioni, valutare la dinamicità del processo e delle cause correlate è un tassello di fondamentale importanza per proporre strategie efficaci ed efficienti.

La presente tesi di laurea focalizza la propria attenzione su queste tematiche prendendo in esame un edificio sensibile e strategico, a destinazione pubblica, quale il Tribunale di Pesaro. La specificità del caso di studio nasce dall'importanza che esso ricopre per la comunità: l'edificio è caratterizzato da un elevato rischio legato alle attività (inclusi i dati e i documenti contenuti) e all'elevato numero di persone ospitate. In questi spazi, le procedure di gestione nell'emergenza devono tutelare la sicurezza degli occupanti (permettendo loro una rapida uscita) ma ridurre, allo stesso tempo, tutte quelle azioni che possano compromettere la riservatezza dei dati e dei documenti contenuti (principalmente, conservando quanto più possibile ed evitando danni ulteriori ad essi, es. in seguito a trafugamento degli stessi). In questo quadro è essenziale comprendere come l'evento di emergenza evolva in forma dinamica per proporre soluzioni in grado di rispondere effettivamente alle esigenze di sicurezza per i visitatori e gli addetti del Tribunale, in forma quindi combinata.

L'obiettivo della tesi è pertanto quello di valutare come strategie di pianificazione dinamica e combinata possano migliorare la sicurezza in queste strutture, mettendo in campo interventi efficaci volti alla riduzione del rischio ed al miglioramento delle fasi di gestione dell'evacuazione. Tali strategie dovranno essere dinamiche poiché volte ad affrontare attivamente l'evento insorto nell'edificio, e combinate perché devono permettere il controllo della sicurezza di tutti gli elementi presenti nel sistema, e in particolare i visitatori e gli operatori/addetti. In tale ottica il suddetto lavoro di tesi considera l'importanza dell'inserimento dei fattori umani nella progettazione della sicurezza, utilizzando la simulazione a integrazione e supporto ai tradizionali strumenti di studio delle emergenze, e focalizzandosi sulle problematiche di movimento delle persone nell'emergenza (i.e. problematiche di scelta e di utilizzo dei percorsi).

In particolare, le strategie di emergenza e i relativi piani di evacuazione e gestione che possono essere creati su base di un approccio "dinamico" vogliono: 1) superare il semplice determinismo delle soluzioni attuali, solitamente definite a priori sulla base di studi meramente fisici e strutturali, che non differenziano la procedura operativa in emergenza in base all'effettivo disastro in corso, specialmente per quanto riguarda la scelta dei percorsi di evacuazione; 2) introdurre il concetto di controllo delle condizioni di emergenza per migliorare la sicurezza di fronte a specifici andamenti del processo, grazie a strumenti di monitoraggio delle folle e di interazione con le stesse (es.: tramite segnaletica intelligente). Nello studio della dinamica dell'esodo si dovrà migliorare pertanto la gestione dell'emergenza partendo da una progettazione degli spazi di fruizione, inserendo elementi di guida nel corso dell'evacuazione e una configurazione delle vie di esodo che riducano al minimo le conseguenze per gli utilizzatori. Parimenti, il miglioramento delle procedure di gestione da parte degli addetti è il secondo elemento che permette l'efficacia delle loro azioni durante l'emergenza, permettendo ad essi di compiere quanto indicato dal piano e agli occupanti di raggiungere un luogo ritenuto sicuro nei tempi più brevi possibili e nelle condizioni migliori.

La valutazione delle strategie adottate viene valutata tramite confronti per comprendere l'impatto sulle condizioni generali di sicurezza: gli output di simulazione possono essere interpretati per comprendere la variazione dei parametri caratteristici di sicurezza (es.: tempo di esodo, densità lungo le vie di fuga per

correlazione a possibili meccanismi di interazione tra gli evacuanti, quali spinte e schiacciamento) nelle differenti condizioni con l'obiettivo di valutare gli effettivi benefici.

Per raggiungere questo obiettivo, la tesi si articola nelle seguenti fasi. Una prima parte (capitolo 1) traccia lo stato dell'arte partendo dalle norme di prevenzioni incendi (sia prescrittive che prestazionali), con riferimento anche ai fattori di geometria delle vie d'uscita, caratteristiche degli occupanti e modalità di esodo che influenzano la sicurezza in eventi emergenziali e possono essere rappresentati nei modelli di simulazione. La seconda parte (capitolo 2) descrive le fasi di lavoro e le metodologie che sono state utilizzate. In particolare, si descrive il software di simulazione di Pathfinder Thunderead, il simulatore che è utilizzato e validato per l'applicazione all'oggetto della tesi. Quindi, si introduce l'edificio oggetto di studio, con la definizione delle variabili di input e quelle di output, come pure delle condizioni organizzative dell'emergenza, secondo diversi scenari a livello anche comportamentali e di uso dei percorsi di esodo. Infine sono tracciate le modalità di analisi dei risultati di simulazione e di comparazione tra i diversi scenari in termini di efficacia, prendendo in considerazione precipuamente aspetti legati ai tempi e alle densità di evacuazione.

Nella terza parte (capitolo 3), si descrivono i risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate sia nella fase di validazione che in quella di applicazione al caso studio, tracciando infine una discussione degli aspetti di dinamicità delle soluzioni proposte e di loro possibile applicazione condivisa in altri scenari.

Nell'ultima sezione (capitolo 4), le conclusioni del lavoro tracciano gli sviluppi futuri delle metodologie proposte.

1. STATO DELL'ARTE

Nei seguenti capitoli si svolgerà una analisi generale delle problematiche connesse al caso studio in esame facendo riferimento agli aspetti generali, in questa parte del lavoro si definisce lo stato dell'arte relativo agli studi del comportamento umano durante l'evacuazione, la situazione normativa e i più recenti studi che prevedono l'uso di strumenti software per la simulazione dell'esodo. La materia di studio, è una materia di rilevanza in quanto vengono predisposti e sperimentati provvedimenti, accorgimenti e modi di azione intesi a ridurre al minimo le conseguenze per gli occupanti in condizioni di emergenza si andrà ad approfondire una parte della sicurezza legata alle dinamiche dell'evacuazione in caso di emergenza. Le normative a cui si farà riferimento sono il D.M. del 03/08/2015 [1] sulla prevenzione incendi, in particolare il capitolo della normativa che viene preso in considerazione in questo studio è il capitolo S4 che riguarda l'esodo, il D.M del 10/03/1998 [2] definisce i criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza inerente ai luoghi di lavoro ed utilizzata nella progettazione del caso di studio il D.Lgs. 81/08 [3] testo unico sulla sicurezza utilizzato in riferimento alla parte legata alle funzioni svolte dagli addetti in caso di emergenza.

1.1. QUADRO GENERALE

Se si considera la normativa di prevenzione incendi nazionale, questo particolare periodo storico si può considerare come una fase di transizione, caratterizzata dal progressivo superamento della prevenzione incendi tradizionale, legata alle norme di tipo prescrittivo, in favore di una progettazione più avanzata e flessibile, incentrata su un approccio di tipo prestazionale. La nuova prevenzione incendi, per mezzo di criteri e regole di stampo maggiormente ingegneristico e internazionale, fornisce al progettista antincendio un ventaglio di strumenti che richiedono un considerevole sforzo progettuale ma nel contempo permettono di assicurare un livello di sicurezza normalmente superiore a quello raggiunto grazie alle precedenti norme,

spesso accompagnato a notevoli risparmi economici grazie alla flessibilità delle strategie che si possono adottare. Il codice di prevenzione incendi (di cui al D.M. 3 agosto 2015 e s.m.i.), è il veicolo principale di questa transizione e fornisce il necessario appoggio normativo al progettista antincendio di nuova generazione. In generale il codice privilegia, rispetto all'approccio prescrittivo tradizionale, l'approccio prestazionale, in grado di garantire standard di sicurezza antincendio elevati mediante un insieme di soluzioni progettuali, sia conformi che alternative. Nel processo di analisi della normativa si è fatto riferimento ad D.M. del 10/03/1998 che definisce i criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza inerente ai luoghi di lavoro. Tale decreto è il testo di riferimento per la gestione del rischio incendio all'interno delle aziende e in particolare nel nostro caso di studio : stabilisce i requisiti e le regole per una corretta valutazione del rischio, redazione del Piano di Emergenza ed Evacuazione, designazione e formazione degli addetti antincendio, definizione delle attività soggette a rischio di incendio basso, medio alto con relativi obblighi correlati, controlli e manutenzioni dei presidi antincendio, impianti di spegnimento etc. Inoltre si farà riferimento al D.Lgs. 81/08 è Il testo unico è la sicurezza sul lavoro in Italia. La legge sulla sicurezza attualmente in vigore, che ha riassunto e ordinato in sé le normative antecedenti, a volte suddivise per settore, dalla storia e dalla cronologia differenti.

1.1.1. IL NUOVO CODICE DI PREVENZIONE INCENDI

Il D.M. 3 Agosto 2015 [1] fornisce una soluzione alternativa a quelli che sono i vecchi approcci prescrittivi fino a quel momento adottati. Si tratta di una serie di linee guida, raccolte in un unico testo, con l'obiettivo di ridurre la probabilità di insorgenze di un incendio tramite particolari procedure e di limitare le conseguenze prevedendo opportune compartimentazioni, vie di esodo, soluzioni costruttive ecc. I vantaggi consistono in una semplificazione delle direttive da rispettare e una maggiore flessibilità, introducendo l'opportunità di usufruire di diverse soluzioni. Fra le normative a cui fa principalmente riferimento vi sono i decreti sopra citati D.M. 9 Maggio 2007, D.P.R. 151/2011, nonché il testo unico sull'edilizia. Il testo è suddiviso innanzitutto in due parti: una prima parte dispositiva, che identifica il campo di applicazione e le modalità applicative delle norme tecniche di prevenzione incendi, e una seconda parte che consiste nell'allegato, meglio conosciuto anche come Codice di Prevenzione Incendi. Nel caso di studio in merito al D.M. 03/08/2015 si è preso in considerazione la sezione S4-L'esodo. Nella sezione S4 si dice che la finalità del sistema d'esodo è di assicurare che gli occupanti dell'attività possano raggiungere o permanere in un luogo sicuro, a prescindere dall'intervento dei Vigili del fuoco.

Più che in termini di sistema di progettazione, in questo studio ci si è avvalsi del nuovo codice prevenzioni incendi in merito a:

- Definire le possibili vie di esodo che si possono tenere in considerazione, come l'inutilizzo ai fini del calcolo delle vie di esodo gli ascensori e scale mobili non conformi alle indicazioni.
- Definire un coefficiente di affollamento in termini di densità: l'affollamento di ciascun compartimento è determinato moltiplicando la densità di affollamento per la superficie lorda del compartimento. La densità di affollamento è reperita dalla Tabella S.4-6 presente in normativa.
- Definire le tipologie di persone presenti nel caso di studio: persone che conoscono l'edificio e persone che non conoscono l'edificio Tabella G.3-1 nel D.M. 03/08/2015
- Definire processi di gestione dell'emergenza: l'emergenza viene gestita secondo l'esodo simultaneo. Per ogni una di esse definisce dei limiti geometrici e delle caratteristiche delle vie di esodo e delle porte di uscita. (D.M. 03/08/2015, G.1.9).

Viene inoltre considerato l'aspetto definito nel capitolo M che contiene la descrizione delle metodologie progettuali. È in questa sezione che viene introdotta l'ingegneria antincendio. Mediante gli strumenti della Fire Safety Engineering è possibile eseguire una valutazione quantitativa del livello di sicurezza antincendio. Con l'introduzione dell'ultima sezione ovvero la sezione M relativa ai metodi, muta il carattere prescrittivo in una normativa "semi-prescrittiva", in quanto sono previste soluzioni multiple. Questo è un rinnovamento storico nello scenario della Prevenzione incendi, poiché la valutazione del rischio e le relative soluzioni progettuali non sono più a carico del normatore, ma è il progettista che servendosi degli strumenti della Fire Safety Engineering assume un ruolo determinante nella progettazione della sicurezza antincendio in cui si consente l'utilizzo di un approccio diverso, spesso utile in caso di eccessive restrizioni negli altri casi, introducendo il concetto di "ingegneria della sicurezza antincendio" o FSE.

1.1.2. L'APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA

L'ingegneria della sicurezza antincendio è una disciplina molto più giovane rispetto a quelle tradizionali, il suo principale vantaggio risiede nel fatto che costituisce un modo di valutare gli edifici che supera l'approccio empirico storico, che ha connotato fino ad ora la trattazione dei progetti di sicurezza, affiancando alle norme classiche di prevenzione incendi in una serie di conoscenze e di metodi che consentono di valutare con maggiore oggettività i problemi tecnici di molte attività complesse. In questo quadro il decreto 9 maggio 2007 codifica l'uso dell'approccio ingegneristico in Italia. L'applicazione del nuovo approccio sono numerose soprattutto se si confronta il campo di possibilità offerte rispetto a ciò che caratterizza l'approccio tradizionale. Oltre ad aiutare la progettazione è possibile predisporre pianificazioni dell'emergenza più vicine alle effettive necessità degli utenti degli edifici, valutare la sicurezza di edifici già realizzati, ricostruire le criticità di eventi già accaduti. Prima dell'emanazione del decreto 9 maggio 2007, l'applicazione dei principi di prevenzione incendi in riferimento alla progettazione, valutazione e scelta delle misure di sicurezza è stata basata sulla verifica di disposizioni normative, si ha un passaggio da approcci prescrittivo a prestazionale. Con il termine prescrittivo, ci si riferisce al complesso di norme che chiedono di realizzare il rispetto del livello minimo di sicurezza attraverso misure specificamente prescrittive (lunghezza vie di esodo ecc.). Nell'approccio prestazionale, invece, si ritiene più importante verificare il rispetto di prestazioni che l'opera deve garantire. Le misure di sicurezza, di conseguenza, devono essere calibrate e verificate per consentire il raggiungimento dell'obiettivo. L'analisi e le metodologie utilizzate in questa tesi si riferiscono prevalentemente allo studio della salvaguardia della vita e sicurezza delle persone all'interno di un contesto con molte criticità. In particolare affronta lo studio dell'esodo dal punto di vista dell'approccio ingegneristico ovvero la possibilità di un'analisi di soluzioni diverse e dinamiche che considerando scenari emergenziali diversi. Si fa una valutazione che va oltre una applicazione di regole tecniche e disposizioni normative, su una materia che non ha fatto riferimento ad un apparato scientifico consolidato, ma si è appoggiato alla visione della sicurezza che scaturiva dai testi normativi. In breve si può dire che mentre le regole tecniche standard trattano l'esodo in funzione di elementi fisico-geometrici in riferimento ai moduli di uscita, la progettazione prestazionale dell'esodo invece considera gli aspetti comportamentali ed ambientali oltre quelli puramente geometrici. È fondamentale, in questo senso, effettuare una corretta progettazione del sistema di esodo, non solo prevedendo aspetti fisico-geometrici, ma considerando le possibili reazioni, anche imprevedibili, degli individui presenti. Tale approccio prevede "l'applicazione di principi ingegneristici, di regole e di giudizi esperti basati sulla valutazione scientifica del fenomeno della combustione, degli effetti dell'incendio e del comportamento umano, finalizzati alla tutela della vita umana, alla protezione dei beni e dell'ambiente, alla quantificazione dei rischi di incendio e dei relativi effetti ed alla valutazione analitica delle misure antincendio ottimali, necessarie a limitare, entro livelli prestabiliti, le conseguenze dell'incendio dalla definizione di FSE presente in ISO TR 13387-1. Il presente contributo costituisce un'applicazione dei metodi avanzati della FSE ai fini della valutazione della sicurezza di un edificio esistente in condizioni di emergenza differenti, valutando

le condizioni di esodo su percorsi di esodo alternativi applicabili in condizioni emergenziali differenti dall'incendio. Il nuovo Codice di Prevenzione Incendi, di recente approvazione, in definitiva consente infatti l'utilizzo di strumenti di calcolo numerico avanzati da parte del professionista antincendio, con l'obiettivo di verificare il raggiungimento di idonei livelli di sicurezza per la struttura in esame mediante analisi di tipo quantitativo. Modelli di incendio e modelli di esodo, oggetto di sempre maggiore interesse anche da parte della comunità scientifica, possono far emergere criticità che altrimenti non potrebbero essere considerate nella fase di progettazione o di verifica della sicurezza antincendio: dalla rapidità di propagazione dei fumi da un ambiente all'altro, ai ritardi nei tempi di esodo per congestioni e code nelle zone di restringimento o di intersezione di più flussi. D'altro canto, la grande versatilità dei software di simulazione di incendio e del movimento delle persone durante l'esodo deve prevedere un impiego di questi strumenti da effettuarsi con grande cautela, in quanto essi risultano essere fortemente sensibili ad alcuni parametri di input, con la possibilità di restituire risultati non verosimili, in quanto la risposta all'evacuazione molto dipende dai fenomeni comportamentali che si verificano durante una emergenza. Le caratteristiche degli occupanti devono essere definite allo scopo di determinare la capacità di risposta ed evacuare durante un'emergenza. Quindi, sono diversi i punti che dovrebbero essere considerati nello sviluppo di ciascun possibile scenario emergenziale come: numero di occupanti, distribuzione nell'edificio, prontezza (svegli o addormentati), particolari destinazioni (ospedali ecc.) punti focali, capacità fisiche, sensoriali e materiali, ruolo, familiarità con gli ambienti, affiliazione sociale condizioni fisiche e psicologiche.

1.1.3. SICUREZZA ANTINCENDIO E GESTIONE DELL'EMERGENZA NEI LUOGHI DI LAVORO: D.M. 10/03/1998

Questo decreto, D.M. 10/03/1998 [2], stabilisce i criteri per la valutazione dei rischi di incendio nei luoghi di lavoro ed indica le misure preventive e di protezione antincendio da adottare, al fine di ridurre l'insorgenza di un incendio e limitare le conseguenze qualora esso si verifichi. Viene applicato alle attività che si svolgono nei luoghi di lavoro stabiliti. Vengono classificati, sulla base della valutazione dei rischi, il livello di rischio di incendio dell'intero luogo e di ogni sua parte e può essere: basso, medio o elevato. Questa suddivisione viene fatta considerando che tipo di lavoro viene fatto all'interno dell'edificio e che sostanze e materiali si usano. Nell'allegato III del presente decreto vengono definite le misure relative alle vie di uscita in caso di incendio e dice che: "le vie di uscita devono garantire che le persone possano, senza assistenza esterna, utilizzare in sicurezza un percorso senza ostacoli e chiaramente riconoscibile fino ad un luogo sicuro". Rispetto al D.M. 03/08/2015 il presente decreto in merito ai criteri generali di sicurezza per le vie di uscita definisce dei limiti geometrici in relazione al tempo massimo di evacuazione. Nell'Allegato IV del presente decreto si descrivono le misure per la rivelazione e l'allarme in caso di incendio. L'allarme deve dare avvio alla procedura per l'evacuazione del luogo di lavoro nonché l'attivazione delle procedure di intervento. In merito al nostro caso di studio di questa parte è per noi di fondamentale importanza le procedure di allarme che vengono definite e che poi sono riprese nel D.M. 03/08/2015 con delle descrizioni aggiuntive per la progettazione. Nel nostro caso di studio la progettazione delle vie di uscita in caso di incendio, la valutazione dei rischi incendio, misure per la rivelazione e l'allarme è stata effettuata in ottemperanza al decreto sopra citato.

1.1.4. TESTO UNICO SULLA SICUREZZA DLGS 81/08: FIGURE PER LA SICUREZZA E PIANO DI EVACUAZIONE

Il D.Lgs. n. 81 DD. 9/04/2008 [3] e ss.mm. è il testo unico in materia di tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori nei luoghi di lavoro. Prosegue il percorso intrapreso con il D.Lgs. 626/1994 che imponeva un cambio di mentalità e un'attenzione costante ai problemi legati alla sicurezza sul lavoro. La normativa è rivolta a tutte le attività sia pubbliche che private. Il Decreto coinvolge tutte le figure presenti in azienda: dal datore di lavoro ai lavoratori. Nella sistematica del D.Lgs. n. 81/2008 la sezione VI del capo III del titolo I (art. 43-46) è dedicata al tema della «Gestione delle emergenze»; quest'ultimo è affrontato dal legislatore individuando da un lato una serie di obblighi organizzativi in capo al datore di lavoro (e ai dirigenti, secondo le attribuzioni e le competenze a questi ultimi conferite ex art. 18 del decreto n. 81), con specifico riferimento anche alla materia del primo soccorso e della prevenzione incendi, e, dall'altro, esplicitando i diritti dei lavoratori in caso di pericolo «grave e immediato». Questa norma deve leggersi in stretta correlazione con gli obblighi previsti in capo al datore di lavoro e ai dirigenti dall'art. 18, comma primo, lett. b) del medesimo decreto, che impone agli stessi di «(...) designare preventivamente i lavoratori incaricati dell'attuazione delle misure di prevenzione incendi e lotta antincendio, di evacuazione dei luoghi di lavoro in caso di pericolo grave e immediato, di salvataggio, di primo soccorso e, comunque, di gestione dell'emergenza», nonché dall'art. 18, comma primo, lett. t), che obbliga gli stessi soggetti sopra richiamati ad «adottare le misure necessarie ai fini della prevenzione incendi e dell'evacuazione dei luoghi di lavoro, nonché per il caso di pericolo grave e immediato, secondo le disposizioni di cui all'art. 43», precisandosi altresì che tali misure «devono essere adeguate alla natura dell'attività, alle dimensioni dell'azienda o dell'unità produttiva, e al numero delle persone presenti» nel delineare i principi generali in relazione alla gestione delle emergenze l'art. 43 del D. Lgs. n. 81 riprende sostanzialmente i contenuti già presenti nell'art. 12 del 'vecchio' D.Lgs. n. 626/942, contemplando da un lato l'obbligo per il datore di lavoro di organizzare «i necessari rapporti con i servizi pubblici competenti in materia di primo soccorso, salvataggio, lotta antincendio e gestione delle emergenze» (art. 43, c. 1, lett. a) e, dall'altro, quello di assicurarsi che all'interno del luogo di lavoro siano designati preventivamente i lavoratori incaricati delle misure di prevenzione incendi, di evacuazione, di salvataggio, di primo soccorso e, comunque, di gestione dell'emergenza (art. 43, c. 1, lett. b e art. 18, c. 1, lett. b). Quanto ai lavoratori, nell'ottica di una gestione partecipata e condivisa della sicurezza, che informa tutto l'impianto del Testo Unico, essi non solo sono chiamati all'adempimento di un obbligo di segnalazione nei confronti del datore, dei dirigenti o dei preposti, in relazione ad eventuali deficienze dei mezzi e dei dispositivi di sicurezza e di protezione individuale, nonché a qualsiasi eventuale condizione di pericolo di cui vengano a conoscenza (art. 20 D.Lgs. n. 81/2008), ma sono anche coinvolti direttamente nella gestione delle situazioni di emergenza, attraverso le designazioni che il datore è chiamato a fare nelle diverse squadre (prevenzione incendi e lotta antincendio, evacuazione, salvataggio, primo soccorso: v. art. 18, c. 1, lett. b).

La valutazione di strategie di evacuazione dinamiche mediante una valutazione con i strumenti dell'ingegneria della sicurezza può prevedere l'introduzione di personale in grado di assistere gli occupanti nelle condizioni di stress psicologico dovuto alla reazione all'emergenza [4][5]. Tale personale è in grado di prestare assistenza alle persone in caso di evacuazione facendo da guida nei percorsi previsti in caso di emergenza grazie alla conoscenza del layout dell'edificio e alla capacità di orientamento nei percorsi dell'edificio. L'esodo da un edificio interessato da emergenza è un processo complesso che ha avvio quando le persone divengono consapevoli dell'esistenza di una situazione di emergenza e mettono in atto una serie di processi mentali e di azioni prima e durante l'adozione di azioni che li portano verso luoghi sicuri. All'interno di questo processo decisionale il supporto di personale può influire positivamente sui processi comportamentali e decisionale degli occupanti in quanto potrà dare luogo ad una fase di riconoscimento del pericolo e delle scelte delle azioni molto più rapida e più vicina alle effettive necessità di sicurezza. Il tempo di evacuazione è strettamente dipendente dal comportamento umano nel contesto emergenziale, l'azione preventiva del personale in un'ottica di evacuazione può essere di supporto emotivo oltre che al supporto mediante messaggi di tipo fisico. La possibilità di utilizzo di personale addestrato incaricati dell'attuazione di misure di evacuazione mira a ridurre la componente di agitazione nelle fasi di emergenza con atteggiamenti che dimostrano calma, l'obiettivo per gli addetti è essere capaci di essere percepiti come guida[9] e le

persone presenti siano spinte ad assumere un atteggiamento di followship. Al di là degli aspetti relativi al numero massimo di persone, alle vie di esodo, e così via, occorre evidenziare alcune condizioni affinché il personale preposto possa svolgere efficacemente la sua funzione. In primo luogo, dovranno essere facilmente riconoscibile ed identificabile (attraverso abbigliamento che ne indichi la funzione[6]). Il fatto che il personale sia facilmente identificabile ha la conseguenza che le persone presenti osservino in modo particolare i suoi comportamenti, tanto più in caso di emergenza. L'addetto dovrà essere consapevole della sua rilevanza intrinseca, con due implicazioni fondamentali: 1) indossare la "stessa uniforme" determina il fatto che le persone presenti si aspettino da questo personale un comportamento uniforme [6]; 2) gli atteggiamenti e i comportamenti assumono un ruolo importante nella gestione del panico. Questo è apparso evidente nell'evacuazione del teatro Verdi di Pordenone del 2005 [7] e negli studi che sottolineano le ricerche sui neuroni specchio in emergenza[8]. Acquisiscono un valore importante le indicazioni verbali e non degli addetti che non dovranno contraddire le comunicazioni ufficiali così da non creare stati confusionari nelle persone [9] Proprio per questo motivo le competenze comunicative devono essere un altro dei punti di forza di un programma formativo[10].

1.1.5. PIANO DI EMERGENZA ED EVACUAZIONE

In qualunque luogo di lavoro, quando si verifica un'emergenza, è fondamentale che tutti siano in grado di comportarsi in maniera adeguata. E' necessario avere le idee ben chiare sulle procedure da seguire in caso di emergenza. Tali indicazioni sono contenute nel piano di emergenza ed evacuazione (PEE) che è fondamentale per prevenire e affrontare situazioni di rischio. Per salvaguardare la salute e la sicurezza dei lavoratori è fondamentale definire un piano dettagliato, in modo da evitare eventuali criticità in caso di emergenza. Il piano di emergenza e di evacuazione (PEE) è il documento che contiene tutte le indicazioni da seguire in caso di emergenza. E' un elaborato sintetico, al fine di risultare immediatamente comprensibile a tutti i lavoratori. Lo scopo è quello di affrontare in anticipo le situazioni di rischio e consentire ai dipendenti di abbandonare con tempestività il posto di lavoro o la zona pericolosa. Il piano di evacuazione ed emergenza è obbligatorio, come indicato dal testo unico sulla sicurezza (D.Lgs. 81/2008) all' art. 43 e dal D.M. 10 marzo 1998 all'art. 5, per tutte le attività produttive (fabbriche, uffici, impianti, pubblica amministrazione, ecc.) ove sono occupati dieci o più dipendenti ed in quelle ove si esercitano attività soggette al controllo dei Vigili del Fuoco ai sensi del D.P.R. 151/2011. Il piano d' emergenza è l'insieme delle misure da attuare per affrontare la situazione di emergenza in modo da evitare ulteriori incidenti, evitare o limitare i danni per l'integrità e la salute dei lavoratori o delle persone eventualmente coinvolte nell'ambiente di lavoro, arrivando ad attuare, se necessario, il relativo piano d'evacuazione totale dei locali. All'interno del documento saranno prefigurate tutte le possibili scenari emergenziali e per ognuno di essi saranno pianificate le misure gestionali da attuare per fronteggiarle. Il principale obiettivo del piano di emergenza è quello di minimizzare i danni dovuti all'incendio o altra emergenza. L'esame dell'efficacia è valutata da prove realistiche effettuate periodicamente in cui viene valutata l'efficacia di quello che è stato pianificato, in termini di procedure di allarme, tempi di esodo, compiti svolti dagli addetti alla gestione dell'emergenza risponde alle emergenze ipotizzate ed effettivamente riducano i danni seguirebbero. Per quanto riguarda il caso di studio prevede al suo interno lo svolgimento di attività giudiziarie si prevede che nei riguardi di tali strutture le norme contenute nel T.U. siano applicate tenuto conto di particolari esigenze connesse al servizio espletato e alle particolarità organizzate individuate tali esigenze dovranno essere pianificate e valutate all'interno del piano di evacuazione. Il decreto ministeriale D.M. 18 novembre 2014 n. 201 disciplina le attività dirette ad assicurare la tutela della salute e sicurezza del personale operante negli ambienti di lavoro dell'Amministrazione della giustizia. All'art. 2 si definisce le modalità di applicazione "le misure per garantire il fine dell'ordine e della sicurezza nell'ambito dell'attività giudiziaria e penitenziaria sono applicate compatibilmente con la normativa di sicurezza e salute nei luoghi di lavoro. Le particolari esigenze di cui tenere conto sono:

a) la vigilanza e convivenza dei detenuti e internati sottoposti a misura di sicurezza; b) garantire l'ordinato esercizio della funzione giurisdizionale; c) incolumità del personale e utenti contro pericoli di attentati, aggressioni e sabotaggi; d) evitare il rischio di evasioni; e) prevenire atti di autolesionismo o suicidio.

Le peculiarità organizzative di cui tenere conto sono:

a) direzione funzionale delle attività;

b) capacità operativa e prontezza d'impiego del personale dipendente;

c) riservatezza e sicurezza delle telecomunicazioni e dati; d) particolarità costruttive e d'impiego di equipaggiamenti speciali.

Uno dei problemi più grossi è quello di conciliare le attività istituzionali con la gestione dell'emergenza. Infatti il datore di lavoro deve assicurare piani di evacuazione degli ambienti.

Vengono citate tra le peculiarità di cui tenere conto:

a) livello di protezione e tutela del personale operante, impianti e apparecchiature contro il pericolo di attentati, aggressioni, introduzioni di armi ed esplosivi, sabotaggi di sistemi (ad es. bussole per ingresso, telecamere circuito chiuso CC, locali intercettazioni, locali corpi di reato ecc.);

b) la prevenzione della fuga o di aggressioni, [...], nonché la prevenzione di azioni di autolesionismo o di auto-soppressione per mantenere l'ordine e la disciplina.

Il rapporto che ci deve essere tra l'applicazione delle norme di sicurezza e le specifiche esigenze viene chiarito al comma 7: "L'applicazione delle norme in materia di sicurezza non determina la rimozione o riduzione dei sistemi di controllo, anche ai fini della selezione degli accessi al pubblico e dei sistemi di difesa ritenuti necessari". In generale viste e considerate le criticità delle funzioni svolte all'interno di tali strutture risultano insite problematiche che vadano oltre quelle riferite a condizioni di svolgimento di normali attività di ufficio. All'interno possono verificarsi problematiche emergenziali che vadano oltre il pericolo di incendio, visti e considerati gli aspetti relativi all'attività svolte nelle strutture giudiziarie. Sono diversi i pericoli che possono necessitare l'allontanamento delle persone presenti al loro interno, non sono rari in queste strutture episodi di allarme bomba, (nel 2019 sono stati registrati 26 casi in cui nessuna minaccia finora si è rivelata concreta), inoltre può risultare un luogo di minaccia imprevedibile in quanto strutture sensibile come possibile obiettivo di attentati terroristici. A tale scopo assume particolare rilievo l'attività di prevenzione ovvero l'adozione di misure efficaci volte a ridurre i rischi per i presenti. Vista e considerato il ruolo centrale della sicurezza delle persone, sul piano normativo si necessita una valutazione di tutti i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori inteso nel senso più ampio possibile, di considerare non solo i rischi propriamente e direttamente connessi agli aspetti produttivi, ma anche quelli derivanti da eventuali atti criminosi che possono avere impatto sulla salute (fisica e psichica) delle persone presenti, risulta possibile formulare osservazione sulla effettiva necessità di includere aspetti tecnici e metodologici nella valutazione del rischio e percorsi di esodo anche in ambito di azioni ad elevato impatto. Lo scopo principale della valutazione prestazionale è quella di verificare se un edificio nel quale si verifica un'emergenza è in grado di mantenere condizioni che consentono la salvaguardia delle persone con una riduzione al minimo dei rischi anche attraverso una pianificazione dell'esodo che preveda soluzioni dinamiche nella scelta di percorsi in relazione alle problematiche emergenziali che si possono verificare e verificarne l'efficacia mediante i strumenti moderni. I principali contenuti da sviluppare nel piano di emergenza legano l'evento di emergenza alle azioni che i lavoratori dovranno compiere, coinvolgendo le persone presenti, i luoghi interessati, il tipo di attività svolta. Il datore di lavoro dovrà quindi prefigurare gli scenari emergenziali e valutarli considerando gli aspetti particolari che caratterizzano quel luogo di lavoro. Tra i principali vanno considerate le caratteristiche tipologiche e distributive dei luoghi interessati dall'evento ipotizzato che, nella gestione emergenziale, sono direttamente

collegabili all'evacuazione dell'edificio e al contenimento dell'emergenza, risulta a tale scopo valutare le caratteristiche tipiche del luogo di lavoro e del sito, ad esempio, quelle relative alla geometria: altezza, numero di piani fuori terra, aperture e il layout interno. In ogni scenario emergenziale previsto andrà individuata una sequenza di azioni che riguarderà l'allarme, l'evacuazione, i punti di raccolta, l'attivazione degli addetti e il supporto alle squadre vigili del fuoco (V.F.), individuando in numero e dei lavoratori da destinare alla gestione dell'emergenza. Per attuare efficacemente le indicazioni del piano saranno, identificate, individualmente con chiarezza ed inequivocabilmente, le persone alle quali affidare i diversi ruoli delle procedure pianificate dovranno, infine, essere individuate le persone che potrebbero essere presenti durante l'evento emergenziale. Una puntuale organizzazione può far fronte alle situazioni imprevedibili riducendo il rischio di reazioni non controllate che, specialmente in ambito collettivo, possono essere pericolose. Questo comportamento irrazionale è conosciuto con il termine di panico ed è dovuto all'impatto psicologico legato all'evento che si verifica. Il panico si manifesta con varie reazioni emotive: timore e paura, oppressione, ansia fino ad emozioni convulse e manifestazioni isteriche, assieme a particolari reazioni dell'organismo; le persone reagiscono in modo non controllato e irrazionale. In una situazione di pericolo, presunta o reale, con presenza di molte persone, il panico si manifesta principalmente nei seguenti modi: coinvolgimento delle persone nell'ansia generale, con invocazioni d'aiuto, grida, atti di disperazione, istinto all'autodifesa, con tentativi di fuga ai danni degli altri (spinte, corse, affermazione) decadimento di alcune funzioni comportamentali (attenzione, controllo dei movimenti, facoltà di ragionamento). Quindi, la risposta individuale, oltre ad essere immediata, dovrà garantire l'attuazione di azioni corrette, senza panico, ulteriori elementi da considerare sono gli aspetti da considerare in emergenze incendio in cui la probabile formazione di fumo crea impedimento ad attuare le azioni previste dal piano in particolare una insufficiente e casuale distribuzione della segnaletica ostacola l'individuazione delle corrette vie di esodo. Per questo il datore di lavoro dovrà fornire ai lavoratori un'adeguata informazione e formazione su quello che riguarda rischi legati all'attività svolta, misure di prevenzione e protezione adottate nel luogo di lavoro, ubicazione vie di uscita, procedure da adottare in caso di incendio o qualsiasi altra emergenza, nominativi lavoratori incaricati di applicare le misure di sicurezza, nominativo responsabile dell'attività. Nello studio delle dinamiche dell'esodo dall'edificio oggetto di studio si è fatto riferimento al piano di evacuazione e gestione dell'emergenza in merito all'organizzazione della gestione in caso di emergenza in merito alla individuazione del personale addetto nominato dal datore di lavoro (vengono definite univocamente) al quale vengono attribuite delle funzioni specifiche in ambito di gestione dell'emergenza e le mansioni loro affidate durante l'attivazione delle procedure di evacuazione. Per quanto riguarda la pianificazione dei percorsi di esodo si è fatto riferimento alle indicazioni presenti all'interno delle planimetrie facenti parte del documento.

1.2. IL COMPORTAMENTO UMANO IN CASO DI EMERGENZA

L'esodo da un edificio interessato da un'emergenza è un processo complesso, che ha avvio quando le persone divengono consapevoli dell'esistenza di una situazione di emergenza e mettono in atto una serie di processi mentali e di azioni prima e durante l'adozione di azioni che li portano verso luoghi sicuri. Gli indizi possono essere legati alla percezione diretta dell'emergenza o indiretta mediante l'attivazione di segnali di allarme o di comunicazioni da parte di altre persone. Una volta ricevuti questi indizi la persona inizierà un processo di validazione che proseguirà anche durante la fuga. Prima dell'inizio dell'esodo la persona dovrà prendere delle decisioni su cosa fare, se raccogliere degli oggetti, se chiamare altre persone, aiutandole a portarsi in salvo. Una volta che la persona si è portata in un luogo sicuro sarà passato un certo intervallo di tempo definito RSET (Required Safety Escape Time) [s], questo tempo dovrà essere inferiore a quello massimo consentito per consentire le condizioni di sopravvivenza. Lo studio del comportamento umano in caso di incendio come nel caso di una generica emergenza, presenta delle difficoltà non facilmente superabili, poiché molte delle

situazioni di cui sarebbe importante conoscere i dati non possono essere simulate in laboratorio. Inoltre può essere considerata relativa l'attendibilità dei dati tratti a seguito di esercitazioni nelle quali manca l'effetto sorpresa o ansia, lo stress e la possibilità di panico che possono manifestarsi in situazioni reali. Soprattutto la complessità del comportamento umano rende difficile la previsione dei dati che sarebbero utili ai fini della sicurezza antincendio. La valutazione del tempo di esodo non è di facile valutazione in quanto è influenzato da diversi fattori quali per esempio le considerazioni sulle persone e sull'ambiente all'interno del quale si trovano. La valutazione delle caratteristiche da considerare nell'emergenza riguardano il tipo e le dimensioni e utilizzo dell'edificio, la geometria dell'ambiente e la distribuzione delle vie di esodo, le caratteristiche e la complessità architettonica, la segnaletica, l'illuminazione ed il sistema di informazione a disposizione delle persone, le misure di protezione attive. In generale si può avere una risposta diversa all'emergenza in relazione ai fattori sopra citati ad esempio sarà condizionata dall'utenza giovani od anziani o dal tipo di sistemi che indirizzano le persone lungo le vie di uscita. Tra i fattori che influenzano la risposta all'emergenza è l'informazione. Le persone che sono in possesso di informazioni ambigue saranno soggette a informazioni sbagliate degli indizi che incontreranno, il che può implicare azioni contrarie a quelle che si danno per scontate durante la pianificazione dell'emergenza. Una informazione completa, al contrario, potrà dare luogo ad una fase di riconoscimento del pericolo e di scelta delle azioni molto più rapida e più vicina alla effettiva necessità. La percezione dell'emergenza dipende da fattori fisici ovvero informazioni derivanti dall'ambiente fisico all'interno del quale si trova, e da fattori sociali ovvero dall'interazione con altre persone. Anche le caratteristiche delle persone presenti possono essere divise tra fisiche e cognitive, le cui interazioni possono riguardare le capacità fisiche, sociali o entrambe. Il tipo di risposta può essere schematizzata nei tre gruppi: interazione tra le capacità fisiche delle persone e l'ambiente: in questo caso l'interesse è rivolto alle capacità motorie e visive delle persone, anche quando sono compromesse dalla presenza di agenti irritanti o tossici prodotti in un incendio. Interazione tra le capacità cognitive delle persone e l'ambiente: la risposta individuale o collettiva in caso d'incendio può dipendere dalle modalità in cui le persone prendono le decisioni e percepiscono i rischi. Interazioni tra le capacità fisiche e cognitive e l'ambiente: in questo caso si tiene conto della contemporaneità degli effetti ad esempio non riesce a rispondere correttamente ai segnali provenienti dall'ambiente. Il tema del comportamento umano nel processo di analisi prestazionale possono prevedere considerazioni di tipo qualitativo e quantitativo. In generale la valutazione delle caratteristiche degli occupanti prevede un'analisi di tipo qualitativo, la risposta umana agli indizi e il processo decisionali possono desumersi da analisi qualitative, la valutazione può essere quantitativa per questi aspetti facendo riferimento ai tempi di casi studio reali, per quanto riguarda la valutazione del movimento questa prevede un'analisi generale e una valutazione quantitativa.

1.2.1. I TEMPI DI EVACUAZIONE

Nella letteratura tecnica internazionale la ISO TR 16738 [5] e anche nel D.M. 03/08/2015 [1] vengono definiti:

- RSET (Required Safety Escape Time) [s]: intervallo di tempo calcolato tra l'innesco dell'incendio ed il momento in cui gli occupanti dell'attività raggiungono un luogo sicuro.
- ASET (Available Safety Escape Time) [s]: intervallo di tempo calcolato tra l'innesco dell'incendio ed il momento in cui le condizioni ambientali nell'attività diventano tali da rendere gli occupanti incapaci di porsi in salvo raggiungendo o permanendo in un luogo sicuro. Il rapporto tra questi due tempi costituisce il margine di sicurezza ($Aset > Rset$); cioè se il tempo in cui permangono le condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti è superiore al tempo necessario perché essi possano raggiungere un luogo sicuro, allora si è in sicurezza. Per la definizione del tempo massimo disponibile (ASET) dovranno essere valutate le caratteristiche ambientali, in particolar modo, le proprietà fisiche materiali in relazione alla reazione e resistenza al fuoco, alla produzione di fumo e calore rilasciato. Mentre per la valutazione del tempo richiesto (RSET), è necessario

conoscere le caratteristiche delle persone presenti nell'edificio; quali l'età, lo stato di veglia/sonno, le capacità fisiche e motorie, ecc. È definito dalla norma come la sommatoria di più intervalli, ciascuno associato ad una specifica circostanza:

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

Equazione 1: Formula generale calcolo RSET.

Si vede di seguito un confronto definito nel ISO/TR 13387-8 [6] tra i termini ASET e RSET e tutti i vari componenti che definiscono l'Equazione 1.

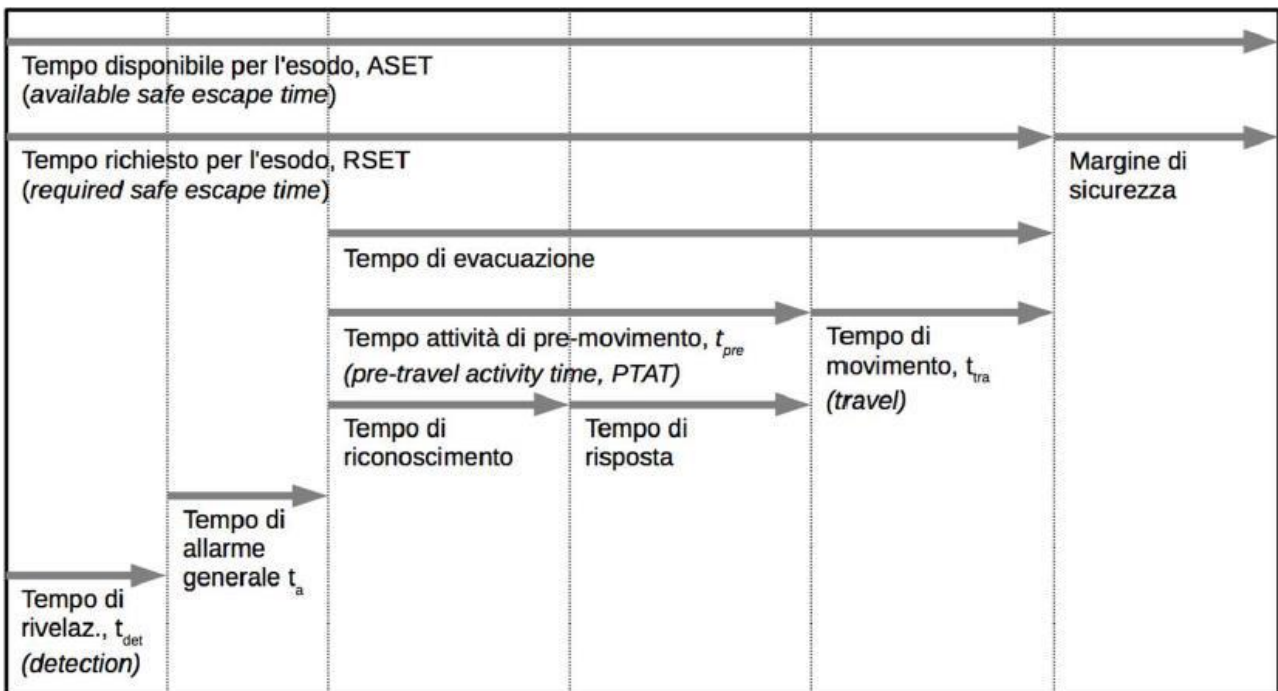


Figura 1-1: Confronto tra ASET e RSET nel ISO/TR 13387-8 [11].

I vari componenti vengono definiti ISO TR 16738 [12] come segue:

Tempo di rilevazione (Δt_{det}) [s]: questo parametro è determinato dalla tipologia di sistema di rilevazione e dallo scenario di incendio. È il tempo necessario al sistema di rilevazione automatico per accorgersi dell'incendio. Viene calcolato analiticamente o con modelli numerici degli scenari d'incendio e dei fumi, può diversificarsi a seconda del sistema che si adopera.

Tempo di allarme generale (Δt_a) [s]: è il tempo che intercorre tra la rilevazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti. Sarà dunque:

- Pari a zero, quando la rilevazione attiva direttamente l'allarme generale dell'edificio;
- Pari al ritardo valutato dal progettista, se la rilevazione allerta una centrale di gestione dell'emergenza che verifica l'evento ed attiva poi l'allarme manuale.

Negli edifici grandi e complessi si deve tener conto della modalità di allarme che può essere diversificata, ad esempio nel caso di evacuazioni per fasi multiple.

Tempo di pre-movimento (Δt_{pre}) [s]: fa parte del vero e proprio tempo di evacuazione, il tempo di pre-movimento è oggetto di valutazione più complessa, perché si tratta del tempo necessario agli occupanti per

svolgere una serie di attività che precedono il movimento vero e proprio verso il luogo sicuro. Il tempo t -pre è composto da un tempo di riconoscimento (recognition) e da uno di risposta (response); durante il tempo di riconoscimento gli occupanti continuano le attività che stavano svolgendo prima dell'allarme generale, finché riconoscono l'esigenza di rispondere all'allarme. Nel tempo di risposta, gli occupanti cessano le loro attività per compierne altre: raccolta di informazioni sull'evento, arresto e messa in sicurezza delle apparecchiature, raggruppamento del proprio gruppo (lavorativo o familiare), lotta all'incendio, ricerca e determinazione della via di esodo appropriata (wayfinding) ed altre attività a volte anche errate ed inappropriate. A seconda dello scenario comportamentale di progetto, questi tempi possono durare anche alcune decine di minuti, genericamente il tempo di pre-movimento occupa la maggior parte del tempo di evacuazione.

Tempo di movimento (Δt_{trav}) [s]: è l'intervallo che intercorre tra il termine delle attività di pre-movimento e il raggiungimento di un luogo sicuro da parte degli occupanti. Il t_{trav} è calcolato in riferimento ad alcune variabili:

- La distanza degli occupanti o gruppi di essi dalle vie di esodo;
- Le velocità di esodo, che dipendono dalla tipologia degli occupanti e dalle loro interazioni con l'ambiente costruito e gli effetti dell'incendio. È dimostrato, come vedremo in seguito, che la presenza di fumi e calore rallenta notevolmente la velocità di esodo;
- La portata delle vie di esodo, dovuta a geometria, dimensioni, dislivelli ed ostacoli.

1.2.2. VELOCITÀ

La difficoltà di reperire in letteratura dati univoci circa le velocità d'esodo, individuali e di gruppo, risiede nel numero variabili che subentrano nell'ambiente (illuminazione, fumo, macerie, scale, folla, ecc.) e nel campione (sesso, età, disturbi visivi, abbigliamento, prestanza fisica ecc.). La velocità di esodo di un individuo o di un gruppo di persone dipende da una serie di fattori e quindi risulta molto complicato trovare in letteratura un'unica definizione. Per definizione una popolazione di individui è eterogenea quindi ogni specifica tipologia di pedone sarà caratterizzata da velocità pedonali differenti. Molti sono i studi interessati alla definizione di velocità Fahy *et al.* [13] ci ricorda che la velocità dell'agente dipende da una lunga serie di fattori: come la propria velocità, il sesso, il tipo di abbigliamento, l'attitudine all'attività fisica, ma anche le condizioni ambientali, legate sia alla densità della folla, che alla presenza di elementi disturbanti (es.: il fumo per movimento in ambienti sottoposti ad incendio) o agevolanti (l'illuminazione di emergenza delle vie di fuga), nonché al design spaziale; inoltre la velocità di un nucleo familiare, solitamente, è legata alla velocità del componente più lento. Secondo Helbing [14] la velocità effettiva di movimento della persona è data dalla variazione della sua velocità ideale, che considera il pedone in condizioni isolate e di non pericolo, in funzione di questi fenomeni di interazione di tipo sociale. In letteratura la velocità indisturbata è tipicamente considerata pari a 1,2 m/s. Per esempio, Pauls [15] considerando sperimentazioni empiriche su edifici per uffici, fissa tale valore a 1,25 m/s. Nelson e Mowrer [16] considera 1,16 m/s. La loro metodologia deriva dagli studi di Fruin [17], Pauls, con la revisione di Proulx [18] e Predtechenskii e Milinskii [19]. Per Weidmann la velocità del pedone isolato è di circa 1.34 m/s ma questo valore trascura il tipo di agente e per questo non è molto significativo per la risoluzione del problema. Tuttavia lo studio risulta interessante in quanto sottolinea come, nel normale camminare, l'accelerazione istantanea del pedone non tenda a superare il valore di 0.2g (ovvero 1.96 m/s²). Questo valore viene confermato dagli studi proposti da Lakoba *et al.* [20] nei quali viene dimostrato che l'accelerazione istantanea nel camminare si mantiene costantemente sotto la soglia di 0.3g (ovvero 2.94 m/s²). Sempre Lakoba *et al.* nel proporre una correzione al modello alle forze sociali di Helbing fornisce valori limite per la velocità preferita dell'agente isolato, distinguendo tre valori, ovvero 1.5, 3 e 4.5 m/s: il primo valore si riferisce a pedoni che si muovono "normalmente", mentre gli altri due corrispondono ad agenti che fuggono da un ambiente mantenendo un grado sempre maggiore di eccitazione. Altre osservazioni e prove sperimentali hanno dimostrato che la velocità di evacuazione di un gruppo è funzione della sua densità di individui. Gli studi di Nelson e Mowrer [16] indicano l'effetto della densità del gruppo

sulla velocità: se tale valore è minore di 0,54 persone/m² gli individui si muovono indipendentemente dagli altri. Il movimento è considerato nullo se il valore della densità eccede 3,8 persone/m². Per introdurre la velocità in relazione alla tipologia di agente, ed in particolare all'età, si fanno riferimento agli studi condotti da Gates *et al.* [21], l'ing. Gabriele Bernardini nella sua tesi [22] riassume i risultati della ricerca nella Tabella sotto riportata.

Classe	Classe Velocità m/s
Bambini condotti a mano da adulto	1.22
Adulto under 30	1.48
Adulto under 65	1.44
Over 65	1.16
Individuo con disabilità motoria	1.18

Tabella 1-1: Valori di velocità media per classi di età del pedone [12](ISO TR 16738).

In conclusione la normativa interazione sembra aver recepito i risultati delle sperimentazioni sopra riportate e nella ISO 16738 [23], tabella G7 (travel speeds reported in referenced literature) vengono riportati, tra altri valori, i seguenti:

Persone senza disabilità	Persone senza disabilità 1,25m/s
Persone disabili in generale	Persone disabili in
Persone con disabilità nella locomozione	0,8m/s
Persone con le stampelle	0,94m/s
Persone su sedia a rotelle senza assistenza	0,89m/s
Persone su sedia a rotelle con assistenza	1,3m/s
Persone in luoghi pubblici	0,51-1,27 m/s
Persone in spazi pubblici	0,36-0,76 m/s
Persone nei teatri	0,25-0,33 m/s
Persone in edifici industriali	0,42-0,56 m/s
Persone su scale in discesa	0,33-0,42 m/s

Tabella 1-2: valori di velocità indicati in normativa ISO [12] 16738.

La stessa norma (smoke tenability limits) riporta le seguenti velocità in presenza di fumo:

Assenza di fumo	visibilità libera	1,2 m/s
Coefficiente di estinzione 1,15	visibilità 2m	0,3 m/s
Fumo non irritante		

Coefficiente di estinzione 0,5 Fumo irritante	visibilità ridotta	0,3 m/s
Coefficiente di estinzione 0,76 Fumo misto	visibilità 3 m	30% delle persone tornano indietro

Tabella 1-3: valori di velocità in relazione alla presenza di fumo ISO 16738.

Nel caso di studio in esame si è fatto riferimento allo studio L. Shi *et al.* (2009) che forniscono una base di dati di velocità associati alle condizioni al contorno che caratterizzano i diversi edifici (tipo e layout dell'ambiente, tipologia del sistema d'allarme, età e sesso degli occupanti, grado di disabilità degli occupanti, scale, ecc.). I dati riportati nella *Figura 1-2*, *Figura 1-3* *Figura 1-4*. risultano di fondamentale importanza per effettuare una modellazione accurata di ogni tipo di agente.

Walking speed according to influencing factors.

Influencing factors		Speed (m/s)	Range (m/s)	References
Walking type	Free move		1.2-1.8	[17]
	Exit move		0.8-1.5	
Walking conditions for corridors, doorway on ship	Low	1.4		[6]
	Optimum	0.70		
	Moderate	0.39		
	crush	0.10		
Place type	Public place		0.51-1.27	[19]
	High-rise apartment	1.05	0.57-1.20	
		0.95	0.56-1.12	
Occupant type ^a	Children	1.08		[18]
	Female elderly	1.04		
	Male elderly	1.05		
	Elderly	1.04		
	Female adult	1.24		
	Male adult	1.30		
	Adult	1.27		

Figura 1-2: Valori di velocità in relazione a fattori influenzati durante la camminata [24].

Pre-evacuation time according to building type.

Building type		Mean pre-movement time (s)	Range	Count	References
Offices		113.4	0-540	19 ^a	[13]
Shops and commercial places		108.6	0-420	16 ^a	
Public entertainment places		120	0-540	28 ^a	
Large retail stores	Foodhall	37.1	22.1-45.0	410	[5]
	Lingerie	22.3	18.0-29.0		
	Childrenswear	29.6	22.4-37.0		
	Household	27.1	19.3-34.8		
	Menswear	24.7	22.3-26.6		
	Ladies shoes	29.5	23.0-36.0		
	Ladieswear	29.3	18.2-45.6		
	Customer services	21.1	19.0-23.1		
School	Staff	70.8	0-246	17	[14]
	Student	73.7	8-200	228	
Hospital	Pathology and physiotherapy	Staff	52	26.0-91.0	9
		Patients	37.3	30.0-45.0	3
		All	48.3	26.0-91.0	12
	Waiting room	Staff	26.0	16.0-43.0	4
		Patients	36.3	34.0-40.0	4
		All	31.1	16.0-43.0	8
	Treatment	Staff	45.0	45.0-45.0	1
		Patients	59.1	46.0-66.0	12
		All	58.0	45.0-66.0	13
	All areas	Staff	44.1	16.0-19.0	14
		Patients	50.8	30.0-66.0	19
		All	48.0	16.0-91.0	33

Figura 1-3: Valori del tempo di pre-movimento in relazione alla tipologia di edificio [24].

Walking speed for disabled occupants.

Factors		Speed (m/s)	Range (m/s)	References
Wheelchair	Man	1.06		[11]
	Woman	1.06		
High-rise building	Electric wheelchair	0.89		[20]
	Manual wheelchair	0.69		
	Crutches	0.94		
	Walking stick	0.81		
	No disability	1.24		
Disabled subjects	All disabled subjects	1.00	0.10-1.77	[21]
	With locomotion	0.80	0.10-1.68	
	No aid	0.95	0.24-1.68	
	Crutches	0.94	0.63-1.35	
	Cane	0.81	0.26-1.60	
	Walker/Rollator	0.57	0.10-1.02	
	Without locomotion disability	1.25	0.82-1.77	
	Unassisted wheelchair	0.89	0.85-0.83	
	Assisted ambulant	0.78	0.21-1.40	
	Assisted wheelchair	1.30	0.84-1.98	

Figura 1-4: Valori di velocità in relazione al grado di disabilità degli occupanti [24].

1.2.3. SCELTA DEL PERCORSO DI USCITA

Spostando l'attenzione sul momento in cui i soggetti rompono gli indugi e danno il via all'evacuazione, possiamo sottolineare come esso sia caratterizzato da diverse situazioni possibili e strettamente legate alla sfera cognitivo-comportamentale dell'essere umano, in particolare nel processo evacuativo il soggetto richiama inconsciamente due capacità innate: orientamento e wayfinding. Mentre l'orientamento, capacità di una persona a localizzare la propria posizione all'interno di un ambiente, è un processo statico, il

wayfinding e un'attività dinamica. Il termine wayfinding indica l'insieme dei modi con cui le persone si orientano all'interno dello spazio fisico allo scopo di spostarsi da un luogo a un altro (Arthur, Passini, 1992) [25]. Individuare il percorso da seguire per raggiungere una destinazione, presuppone l'acquisizione, l'interpretazione e l'impiego della conoscenza dell'ambiente fisico che circonda le persone. Tutto ciò avviene a livello inconscio. Nella scelta della via di fuga, si riscontrano molti tipi di comportamenti si sottolinea l'esistenza del cosiddetto "effetto memoria", per il quale la probabilità di scegliere la via più nota (come quella dalla quale si è entrati) è maggiore rispetto a quella di optare per un più opportuno percorso d'emergenza anche se chiaramente segnalato. Tale aspetto risulta documentato sia in casi di evacuazione da aerei che in caso di incendio. Va inoltre aggiunto che i fenomeni di scelta possono essere legati anche alla fonte di provenienza dell'informazione, che è più autorevole e credibile se proveniente da un leader o da un responsabile di sicurezza. In questo senso, nel recente studio di è stato studiato, attraverso opportuni strumenti di simulazione, un processo evacuativo durante l'insorgere di un incendio. Viene mostrato come il numero e la posizione di agenti preposti a regolare il processo evacuativo dovrebbe essere commisurato alla posizione e al relativo numero di uscite presenti nell'ambiente. In particolare la simulazione mette in evidenza il forte impatto, in termini di tempo e di capacità, che la presenza di una leadership preposta potrebbe avere sull'intero processo evacuativo, anche in condizioni di scarsa visibilità dovute ai fumi causati dall'incendio. Volgendo lo sguardo alle interazioni reciproche tra gli individui nel corso di un emergenza, sottolineiamo l'esistenza di studi come quello condotto da Turner *et al.* [26] nel quale si afferma come sia essenziale lo scambio di informazioni tra gli individui che condividono il comune obiettivo della fuga, confermato successivamente da. Tali interazioni hanno l'ovvio intento di colmare l'incertezza del momento e non dipendono in maniera esclusiva dalle relazioni interpersonali che intercorrono: si formano reti di comunicazione tra persone che non si conoscono, anche se con una serie di azioni che tende ad aiutare in primis i familiari ed i conoscenti. I soggetti coinvolti hanno la capacità di leadership spontanea e non è rara l'attivazione di sentimenti di solidarietà sociale ed azioni di mutua assistenza come esito di un processo intenzionale di altruismo. Nelle folle evacuanti, si possono quindi manifestare comportamenti di tipo pro-sociale che interferiscono con le scelte dei singoli. A tal proposito, [27] hanno studiato il processo evacuativo nel corso di un incendio in un hotel. È emerso come l'evacuazione non sia stata di tipo individualistico ma che, al contrario, sia stata caratterizzata da evidenti comportamenti di gruppo, come l'attesa dei propri compagni. Si precisa inoltre come le persone che non avevano legami sociali siano state più rapide nella risposta agli stimoli del pericolo (es.: fumo).

1.3. MODELLI PER LA SIMULAZIONE DEL COMPORTAMENTO UMANO

Nel corso dell'ultimo decennio si è assistito ad un'evoluzione dei modelli di evacuazione per comprendere meglio le dinamiche e le caratteristiche degli attuali modelli di evacuazione ed i principi ad essi annessi, occorre prima analizzare il processo evolutivo che questi hanno subito con l'avanzamento degli studi sul comportamento umano durante situazioni di emergenza. I primi approcci in materia di esodo erano fondati sul calcolo per mezzo di semplici equazioni in cui il comportamento umano non era ancora considerato e il movimento degli occupanti era approssimato a quello di un fluido, questi principi assimilano il singolo individuo ad una particella di fluido e tratta l'argomento con le leggi della fluidodinamica. Nacque così il modello idraulico che tutt'ora sta alla base di numerose tecniche che cercano di simulare il movimento delle persone ed è basato sulla risoluzione delle equazioni sulla regolazione dei fluidi di Navier-Stokes. Il vero limite del calcolo è rappresentato dal fatto che questo non tiene conto degli aspetti comportamentali. Ad oggi si sta attraversando una fase di abbandono degli strumenti che si basavano solamente su equazioni e calcoli manuali, e si stanno concentrando tutte le energie verso lo studio di modelli basati sugli agenti. Questi ultimi permettono al progettista di imporre determinate leggi comportamentali per regolare le relazioni tra occupanti e tra occupanti ed ambiente circostante. Molti comportamenti non sono ancora stati inclusi nei

modelli in quanto molti aspetti sono del tutto probabilistici ed irrazionali, perciò difficili da prevedere. In letteratura si possono trovare alcuni studi scientifici con l'obiettivo di facilitare la scelta del modello che meglio si adatta alle esigenze del progetto oggetto di studio. Questi cercano di classificare i modelli di evacuazione in funzione delle loro caratteristiche principali. Uno di questi studi in merito sono rappresentati da Kuligowski nel 2010 [28]; in cui si discutono vari aspetti caratterizzanti questi modelli e si cerca di fornire delle classificazioni in funzione di essi. Altre ricerche in merito sono state effettuate in [29] e nei quali si desidera classificare gli approcci metodologici sui quali i modelli si basano e discutere delle eventuali ottimizzazioni.

Esistono due modi per rappresentare gli occupanti all'interno del modello:

- modelli macroscopici;
- modelli microscopici.

1.3.1. MODELLO MACROSCOPICO

In questo approccio, i modelli rappresentano le persone come un unico gruppo omogeneo. Gli occupanti non sono considerati in modo individuale, ma vengono rappresentate come un flusso di un fluido in movimento, omettendo quindi ogni distinzione per singolo individuo. La descrizione avviene mediante parametri globali come la velocità media (m/s), la densità media (pp/m²) e la direzione principale del flusso. Questi modelli si basano su correlazioni tra la velocità di movimento e la densità, dove ad esempio vi sono restringimenti del percorso di esodo vi saranno decrementi del flusso. Tuttavia ad oggi questo tipo di modelli risulta adottato solamente da alcuni software di simulazione. Uno dei motivi principali per cui non è largamente diffuso risiede nel fatto che non è in grado di descrivere la popolazione in modo reale ed eterogeneo ma hanno buona rappresentazione per spazi ampi come spazi urbani e risultano efficienti nelle simulazioni a larga scala e ad alta densità.

1.3.2. MODELLO MICROSCOPICO

Nel modello microscopico gli occupanti sono considerati come singoli individui con delle ben specifiche proprietà fisiche e comportamentali, ciò comporta la possibilità di rappresentare al meglio le peculiarità della popolazione e le interazioni che avvengono tra i pedoni durante l'evacuazione in quanto le persone possono eseguire delle azioni impartite per mezzo di regole comportamentali. Questo approccio prevede la possibilità di caratterizzare gli individui secondo caratteristiche proprie come l'età, il sesso le dimensioni de corpo, la velocità preferita ed eventuali disabilità. Questo approccio di modellazione è denominato "Agent-Based Modeling" (ABM), e rappresentano in modo più completo la realtà, essendo legati agli aspetti di tipo comportamentale dei singoli individui descrivendo in modo esaustivo il fenomeno dell'esodo, ogni entità è modellata in modo in modo tale da comportarsi autonomamente secondo regole ben precise. Attraverso il controllo delle azioni dei singoli agenti si perviene alla definizione del comportamento globale, diversamente da quanto avveniva nei modelli macroscopici in cui il comportamento del singolo era mediato dal comportamento del gruppo.

2. FASI E METODI

La tesi fa riferimento ad un caso di studio in particolare al Tribunale di Pesaro, si valuterà la gestione dell'evacuazione in caso di emergenza e la valutazione di strategie dinamiche di scelta dei percorsi. Per la simulazione della gestione dell'emergenza e dell'esodo del caso di studio si utilizza il software di simulazione "Pathfinder Thunderhead".

Le fasi che si articolano in questo capitolo sono principalmente:

1. Validazione del simulatore utilizzato in relazione al caso di studio;
2. Comparazione dei risultati di validazione del simulatore Pathfinder Thunderhead con un altro simulatore di tipo microscopico "Oasys MassMotion (oggetto di studio della Tesi di Casarola Martina);
3. applicazione ad un caso di studio, con valutazione delle condizioni di sicurezza in emergenza secondo il piano di evacuazione e di soluzioni alternative circa l'organizzazione delle vie di fuga.

2.1. DESCRIZIONE SOFTWARE: PATHFINDER THUNDERHEAD.

Pathfinder, della software house Thunderhead è un simulatore di evacuazione che utilizza un modello agent-based (ABM).

È costituito principalmente da tre moduli: un'interfaccia grafica, un simulatore e un visualizzatore tridimensionale per gli output. Con il software è possibile simulare il movimento degli occupanti con due modalità differenti: la SFPE mode e la steering mode. Il programma è stato progettato per soddisfare le necessità dell'ingegneria antincendio, la quale spesso si deve interfacciare con modelli di edifici sempre più complessi. Il modello basato su agenti su cui il simulatore si basa, permette di catturare comportamenti complessi e interazioni tra gli occupanti. A differenza della maggior parte degli altri software del settore, inoltre Pathfinder fornisce strumenti che semplificano la fase di input delle informazioni da modellare e permette di restituire i risultati per mezzo di tecniche di visualizzazione di alta qualità. Il software è impiegato come strumento di pianificazione delle dinamiche di evacuazione di un ambiente e permettere di valutare la progettazione dell'esodo tramite i tempi di uscita nei diversi scenari ipotizzati. Il software utilizza modelli geometrici tridimensionali, tuttavia al fine della simulazione gli elementi considerati sono solamente di tipo bidimensionale. L'ambiente di movimento di Pathfinder è un modello di spazio continuo tridimensionale caratterizzato da una mesh triangolare sulla quale gli occupanti sono liberi di muoversi. L'impiego delle mesh triangolari per la rappresentazione geometrica permette al software di discretizzare in modo abbastanza efficace anche superfici curve. Come detto, qualsiasi tipo di oggetto tridimensionale all'interno dell'ambiente di modellazione è riconosciuto dal software come uno spazio vuoto all'interno della mesh di navigazione. Questa tecnica quindi impedisce agli occupanti di poter muoversi in tali spazi ospitanti le ostruzioni (muri, arredi, oggetti, ecc.). La decisione di impiegare solamente oggetti 2D è stata adottata dagli sviluppatori al fine di ridurre la complessità di calcolo durante la simulazione. Pathfinder offre due opzioni

principali per simulare il movimento degli occupanti e tramite l'interfaccia utente è possibile passare dall'una all'altra: una "modalità SFPE" ed una "modalità steering".

2.1.1. MODALITÀ SFPE

La modalità SFPE Mode implementa i concetti contenuti nel manuale SFPE di Fire Protection Engineering (Nelson and Mowrer, 2002). È una modalità che considera un modello fluido dinamico, già validato in cui le velocità di evacuazione sono determinate sulla base della densità degli occupanti all'interno di ogni stanza, mentre il flusso attraverso le porte è funzione di densità larghezza delle porte. I risultati SFPE forniscono una base utile per il confronto con altri risultati, essendo basati su curve sperimentali consolidate. Tuttavia, in tale modalità gli occupanti non fanno alcun tentativo di evitarsi a vicenda e possono pertanto scontrarsi (e "compenetrarsi"), sebbene esistano limiti fisici architettonici nello spazio (incluse le porte) combinate a limiti di flusso e di densità (la densità di default vale 3,55 pp/m²). È bene evidenziare che con questa modalità più occupanti possono occupare la stessa posizione all'interno dello spazio di navigazione e quindi sovrapporsi. Di seguito vengono riportati i principali parametri utilizzati in questa modalità.

Densità massima per la stanza: il software utilizza la densità per regolare le velocità ed il flusso dalle porte. Tramite l'imposizione di una densità massima è possibile controllare il numero di occupanti ai quali viene data la possibilità di entrare in una data stanza tramite porte e scalinate. La densità massima deve essere maggiore di zero e l'utente può modificare tale parametro a seconda del caso analizzato, tuttavia il programma fornisce dei valori standard di default per eseguire i calcoli in cui fissa il valore di densità massima pari a 3,55 persone/m².

Boundary Layer: con questo termine si indica lo strato limite, ovvero la effettiva larghezza delle porte. L'effettiva larghezza delle porte influisce sulla determinazione della velocità di attraversamento di queste ultime da parte degli occupanti. tale valore controlla la larghezza effettiva delle porte (Width – W) nella simulazione, da cui dipende la velocità con cui gli occupanti possono defluire attraverso di esse. La larghezza effettiva della porta è: $W - 2BL$.

Portate delle porte ad alta densità - questo parametro controlla il calcolo del flusso specifico di una porta rispetto alla densità. Se è settato su ON, il flusso specifico attraverso le porte è calcolato in base alla densità degli occupanti nelle stanze adiacenti.

Portate delle porte ad alta densità - utilizzano sempre il massimo flusso: anche questo parametro controlla il calcolo del flusso specifico di una porta rispetto alla densità. Se è settato su ON, le porte utilizzano il flusso specifico massimo.

Velocità di movimento di un occupante (v) – dipende da: velocità massima (Vmax) dell'occupante, specificata nell'interfaccia utente; tipo di terreno da percorrere, costanti e modificatori di velocità ad esso associate; densità degli occupanti nella stanza attuale.

Velocità di base dell'occupante (vb) – è definita in funzione di densità, tipo di terreno e una curva di frazione di velocità basata sul diagramma fondamentale SFPE. Non tiene conto di costanti e modificatori di velocità associati al terreno.

La velocità base si calcola come:

$$vb = vb_{max} \cdot vf(D) \cdot vft$$

Come si evince dalla formula, la velocità di base è funzione della densità (D) e della velocità massima (Vmax).

I valori vf e vft si riferiscono a due frazioni di velocità, e sono definite come segue:

$v_f(D)$ rappresenta la frazione di velocità in funzione della densità di occupanti della stanza.

$$v_f(D)=1 \text{ se } D < 0,55 \text{ pers/m}^2 \quad v_f(D)=\max[v_{fmin}, 1/85(1-0,266.D)] \text{ se } D \geq 0,55 \text{ pers/m}^2$$

Dove:

v_{fmin} è la frazione di velocità minima, essa è preimpostata ad un valore di 0,15.

v_{ft} la quota parte di velocità che tiene conto del tipo di terreno percorso dagli occupanti, esso è definito come: $v_{ft} = k/1,4$ in cui il tipo di terreno è preso in considerazione tramite la costante k e vale 1,4 m/s nel caso di superfici piane o rampe, mentre assume valori differenti per le scale in funzione della pedata e dell'alzata (e della pendenza) dei gradini. La modalità alternativa alla SFPE mode, con la quale vengono affrontate le dinamiche di movimento secondo delle vie di fuga lineari, è la steering mode. Questa, a differenza della modalità precedentemente descritta prevede la concezione di vie di fuga curve. Infatti ad ogni occupante è permesso di procedere verso il suo obiettivo evitando altri occupanti ed ostacoli durante il percorso. In questa modalità non vengono specificate le portate per ciascuna porta, bensì vengono determinate dall'interazione tra gli occupanti.

2.1.2. MODALITÀ STEERING

La modalità Steering Mode si basa su comportamenti presentati per la prima volta nel documento [Reynolds, 1999] [30], e successivamente perfezionati nel documento Heni Ben Amor [31]. La modalità Steering mode che verrà usata nelle simulazioni del presente caso di studio utilizza una combinazione di meccanismi di guida e gestione delle collisioni per controllare il modo in cui l'occupante segue la curva di ricerca. Tali meccanismi consentono all'occupante di deviare dal percorso mentre sta ancora seguendo la direzione corretta verso l'obiettivo. Questo sistema di guida muove gli occupanti in modo che seguano la loro attuale curva di ricerca e possano rispondere ad un ambiente che cambia. In Pathfinder la modalità steering si basa su comportamenti guida inversi ovvero su processi di valutazione di una serie di direzioni di movimento per l'occupante e di scelta della direzione che minimizza la funzione di costo. Tale funzione viene valutata combinando diversi tipi di comportamenti di guida per generare un costo. Una volta determinata la direzione con il minore costo, vengono calcolate la velocità e l'accelerazione.

- Velocità: la velocità attribuita a ciascun occupante è frutto di considerazioni e successive elaborazioni sulla velocità calcolata con i metodi della SFPE mode. In particolare viene introdotta una velocità massima corretta (V_{max}), la quale dipende dalla superficie attraversata, dalle distanze rispetto agli altri occupanti, e naturalmente dalla conseguente velocità massima (V_{max}). Il valore della V_{max} deriva dai termini v_{ft} e $v_f(D)$ esplicitati precedentemente. Le velocità possono essere quelle di default dalla modalità SFPE oppure essere impostate in modo manuale nel profilo degli occupanti. Come per la modalità SFPE $v_f(D)$ dipende dalla densità di occupanti della stanza e la v_{ft} dal tipo di superficie attraversata.
- Accelerazione: La steering mode tratta l'accelerazione come combinazione delle sue componenti tangenziale e radiale. Nello specifico il sistema calcola una accelerazione tangenziale diretta ed una inversa che si esprimono come segue:

$$a_{fmax} = V_{max}/t_{accel}; \quad a_{bmax} = 2 a_{fmax}$$

L'accelerazione radiale invece ha la seguente forma: $a_{rmax} = 1,5 a_{fmax}$.

- Densità: è stimata utilizzando la distanza di un occupante rispetto agli altri vicini e la densità spaziale media laterale e longitudinale. Quindi per calcolare la densità per un occupante, si considera un

sistema di coordinate locali avente origine coincidente alla posizione dell'occupante stesso e l'asse X allineato con la sua velocità corrente. Di conseguenza anche la posizione di ogni altro occupante vicino viene trasposta in questo sistema di coordinate locali. Se la coordinata locale dell'occupante vicino ha un valore $x < 0$, questo viene ignorato in quanto non influenza la velocità dell'occupante considerato. Se la coordinata ha invece un valore $x \geq 0$, la densità viene dedotta in base ai contorni delle curve o per interpolazione tra esse *Figura 2-1*. Il Massimo di queste densità viene così utilizzato come densità per l'occupante.

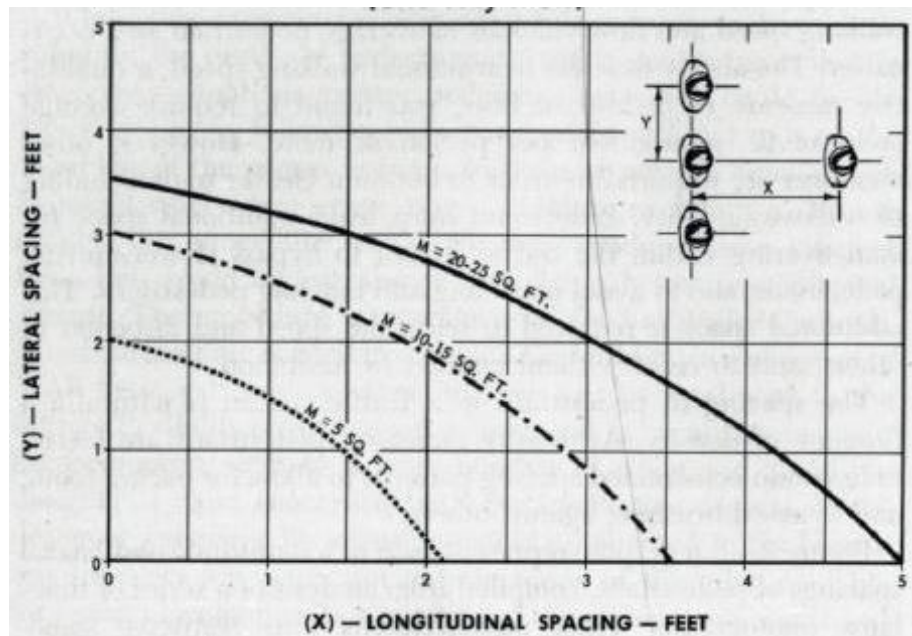


Figura 2-1: Distanza media longitudinale e laterale di pedoni in un flusso di traffico [28].

Nella modalità steering gli occupanti si muovono verso il loro obiettivo seguendo una certa approssimazione una determinata curva di ricerca. Durante il percorso essi sono in grado di rispondere ad eventuali stimolazioni legate all'ambiente circostante. Pathfinder usa la tecnica "dell'inverse steering" che è un processo di valutazione di una serie di movimenti in diverse direzioni possibili che termina con la determinazione di una funzione di costo. Sulla base di essa il software seleziona qual è la direzione che minimizza la funzione. La valutazione della funzione viene elaborata nel seguente modo: la funzione si compone di diversi fattori, i quali, possono assumere un valore pari a 0 o 1 a seconda della direzione analizzata. Il costo totale è dato dalla somma dei valori di ogni fattore e viene fornito un valore di costo totale per ogni direzione possibile.

2.1.3. ESTRAZIONE E MODELLAZIONE DEGLI ELEMENTI

Gli elementi modellati dal programma sono i seguenti:

- pavimenti;
- scale;
- rampe;
- ascensori;
- porte.

Dalla lista sopra descritta si evince come il software non consideri elementi verticali quali muri di separazione, pilastri, ecc., questi oggetti vengono trattati come ostruzioni, ovvero come elementi di estrazione dalle aree di pavimento. Dopo aver generato le geometrie occorre collocare gli occupanti con i relativi comportamenti

e dimensioni fisiche. Come detto il software, non utilizza direttamente l'intero modello importato. Bensì seppur consenta di rappresentare le geometrie tridimensionali, il programma lavora sostanzialmente con elementi bidimensionali. Avendo importato un progetto precedentemente sviluppato il software consente di convertire alcune geometrie in elementi che il software è in grado di elaborare.

- **Rooms:** il primo step nella realizzazione di un modello è quello di estrarre le superfici orizzontali sulle quali in un secondo momento posizionare gli occupanti. Mediante il comando "Extract Room from Imported Geometry" è possibile convertire gli elementi selezionati in stanze. È bene sottolineare che il software, durante la fase di estrapolazione delle superfici, tratta gli eventuali ostacoli quali ad esempio arredi e pareti divisorie, come dei vuoti, sottraendo gli spazi occupanti da questi elementi dalle geometrie generate.
- **Door:** dopo aver generato tutte le "rooms" si procede all'inserimento degli elementi di connessione orizzontali ("Door"). In funzione della loro ubicazione possono assumere due ruoli differenti, si possono distinguere due tipologie di "Doors", la prima ha la funzione di connessione tra due "Rooms", rappresentano la connessione tra due stanze mentre possono rappresentare un'uscita di emergenza nel caso in cui vengano poste in adiacenza di una sola "Room". Le Door fungono da meccanismo di controllo del flusso, registrano semplicemente il flusso tra le stanze per la visualizzazione dei risultati. Gli occupanti normalmente possono attraversare le porte in entrambe le direzioni, ma nell'interfaccia utente è possibile imporre che la porta sia a senso unico in modo che gli occupanti la attraversino solo nella direzione indicata, a meno che il loro profilo non gli imponga di agire diversamente (es. soccorritori) è possibile inoltre imporre il passaggio attraverso la porta solo a specifici profili.
- **Stair:** rappresentano la connessione verticali tra 2 piani, lascale, che collegano stanze situate su diversi livelli, corrispondono ad aree in cui la velocità massima degli occupanti è controllata da calcoli specifici per ogni modalità del software. All'inizio e alla fine di ogni scala, c'è una porta, queste porte, che dipendono per l'appunto dalle scale e non possono essere spostate o cancellate indipendentemente da esse, hanno la funzione di collegare la rete delle scale alla rete delle stanze adiacenti e funzionano come normali porte di collegamento. Come le porte, le scale possono essere attraversate in entrambe le direzioni oppure si può imporre che vengano percorse in un unico senso, nel nostro caso le scale solo percorse in una sola direzione quella per raggiungere l'uscita
- **Elevator:** il software permette inoltre di valutare gli elevatori come opzioni di evacuazione, ogni ascensore ha un elenco prioritario di piani di pick-up e un piano di scarico, gli occupanti possono passare direttamente all'ascensore più vicino o essere indirizzati verso un piano di rifugio e attendere fino all'evacuazione con l'ascensore, nel nostro caso non verrà utilizzata questa funzione.
- **Occupanti:** dopo aver ultimato il modello dal punto di vista geometrico e funzionale, si prosegue nel collocare e caratterizzare gli occupanti in termini di tempi di pre-movimento, livello di autonomia, velocità e azioni da intraprendere durante l'esodo. Il software permette di collocare gli occupanti in modo puntuale oppure secondo una certa distribuzione all'interno della superficie in funzione del rapporto persone/m² o indicando il numero di agenti, inoltre l'inserimento può essere fatto in modalità randomica all'interno della room o con una distribuzione uniforme.

Pathfinder suddivide la caratterizzazione degli occupanti in due categorie: il profilo ed il comportamento. La prima categoria definisce quelle caratteristiche che sono fisse per ciascun occupante, come le dimensioni, la velocità massima, l'avatar ed il colore identificativo. Il comportamento invece viene imposto tramite il comando "Behavior" e definisce una sequenza di azioni che l'individuo intraprenderà durante la simulazione.

2.2. VALIDAZIONE SCENARIO

Il software Pathfinder utilizzato nel caso di studio è un simulatore utilizzato per verificare il comportamento delle persone in ambienti indoor e outdoor, sia in condizioni di esercizio che in condizioni di emergenza. Il software risulta già validato secondo le "IMO" in relazione alla normativa internazionale MSC/CIRC. 1238 [32] che viene usata nel caso di edifici per validare e verificare dei modelli di simulazioni usati per l'evacuazione di essi. La validazione e verifica che dobbiamo fare è per quanto riguarda il nostro scenario base secondo la IMO1 come descritto nella normativa internazionale. Questa verifica e validazione dello scenario base viene svolta sia con il simulatore di Pathfinder che Oasys MassMotion (utilizzato come simulatore nel caso di studio di un'altra tesi), per comparare i risultati e verificare in relazione ai dati di output, devono essere utilizzate nella simulazione del caso di studio del tribunale di Pesaro, in particolare ci si riferirà alla velocità che verrà scelta in relazione alla convergenza dei risultati sullo scenario definiti per la valutazione.

2.2.1. TIPOLOGIA E STRUTTURA SCENARI SCELTI

La validazione e la verifica come già specificato vengono svolti in conformità alla IMO1 secondo la normativa internazionale MSC/CIRC. 1238. La IMO Test 1 è un test di verifica per collaudare la velocità di deambulazione degli occupanti senza ostacoli. Definisce che una persona in un corridoio di 2 m di larghezza e 40 m di lunghezza, con una velocità di 1 m/s, copre questa distanza in 40s [33]. Sulla base di questi dati sono stati definiti gli scenari conformi al nostro caso di studio. In particolare in questo caso sono stati definiti due scenari per la validazione (*Figura 2-2, Figura 2-3*) in cui le variabili di input vengono definite nel § 2.2.2 .

Di seguito si espone la metodologia che si propone per la validazione. Si analizza il metodo in fasi, per maggiore semplicità.

- Fase 1. definizione degli scenari, avvio delle simulazioni ed estrapolazione dei dati da file CSV generato dal software a simulazione completata
- Fase 2. organizzazione dei risultati e confronto con i dati dei 2 software utilizzati in modo tale da ricavare il valore di velocità che porta alla convergenza i risultati per poi effettuare la simulazione del caso di studio.

2.2.1.1. SCENARIO 1: MOTO LIBERO

Lo scenario scelto come Scenario 1 ha una dimensione del piano di 85m di lunghezza e una larghezza di 8 m come si vede in *Figura 2–2*.

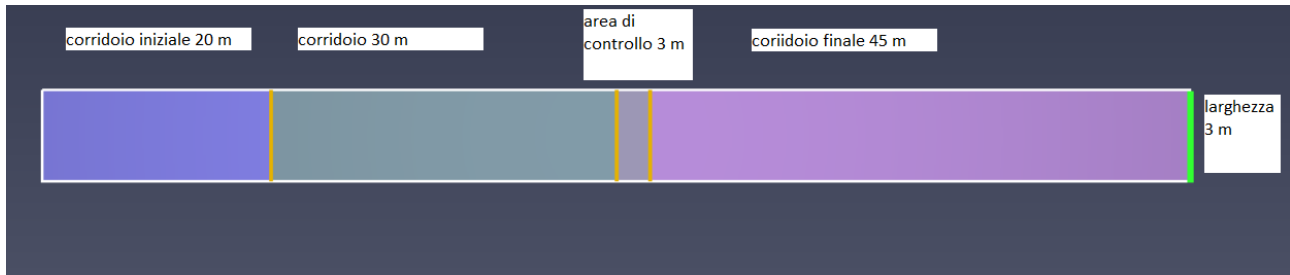


Figura 2–2: 1° scenario di validazione: spazio di movimento ampio, paragonabile a quelli del livello -1 del Tribunale.

La larghezza di 8 m del corridoio può rappresentare uno spazio abbastanza largo da consentire un moto “libero” per gli evacuanti [34]. La geometria dello scenario è divisa in quattro parti:

- Corridoio iniziale di 20 m di lunghezza dove vengono posizionati gli agenti all’inizio e da dove partono per la simulazione tutti insieme;
- Corridoio centrale di 30 m di lunghezza dove gli agenti arrivano a sviluppare la propria velocità in funzione delle condizioni al contorno al moto;
- Area di controllo di 3m di lunghezza dove si verificano le variabili del moto che sono state considerate;
- Corridoio finale di 45m di lunghezza dove gli agenti trovano la porta di uscita dalla simulazione.

Sono state inserite nello scenario tre door di collegamento e una exit door:

- Door tra corridoio iniziale e corridoio centrale (porta iniziale)
- Door tra corridoio centrale e area di controllo (entrata flusso)
- Door tra area di controllo e corridoio finale (uscita flusso)
- porta di uscita exit room (uscita)

- Disposizione degli agenti è stata fatta in maniera randomica all’interno della room.

La simulazione è stata iniziata al tempo 0 sec dove allo stesso tempo tutti gli agenti hanno avanzato con la velocità impostata.

Per quanto riguarda il numero di utenti e le loro caratteristiche utilizzate sono descritte di seguito nella sezione 2.2.4 dove vengono descritte tutte le variabili di input.

2.2.1.2. SCENARIO 2: MOTO CORRISPONDENTE EDIFICIO OGGETTO DI STUDIO

Lo scenario definito come Scenario 2 *Figura 2–3* è stato scelto geometricamente per rappresentare la dimensione caratteristica media del corridoio di tutti i piani del caso di studio del Tribunale di Pesaro, dal livello 0 al livello 3.

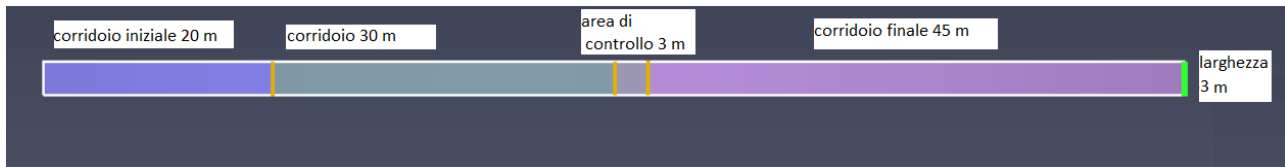


Figura 2–3: 2° scenario di validazione: spazio di movimento ampio, paragonabile a quelli di un corridoio tipo del Tribunale.

I corridoi dell'edificio, specialmente di quelli che si sviluppano attorno all'affaccio centrale, hanno una larghezza di 4,30 e 2,5 m. Quindi in relazione a quelle larghezze si è preso una dimensione media di 3 m.

La lunghezza del corridoio è la stessa dello Scenario 1 *Figura 2–2* di 85 m e largo come abbiamo spiegato 3 m.

Le distinzioni delle varie aree nel corridoio sono le stesse e con le stesse caratteristiche spiegate nello Scenario 1:

- Corridoio iniziale
- Corridoio centrale
- Area di controllo
- Corridoio finale

Le porte di collegamento risultano le stesse allo scenario precedente.

I dati di input come detto in precedenza sono definiti di seguito.

La differenza che si potrà riscontrare in questo Scenario 2 differente dallo Scenario 1 è che ci sono più interazioni tra le persone a causa delle dimensioni del layout di movimento.

2.2.2. DEFINIZIONE VARIABILI DI INPUT PER IL CONFRONTO CON SIMULATORE OASIS MASSMOTION

Il modello di simulazione del moto è un modello deterministico in quanto le nostre variabili di input assumono dei valori fissi nel tempo e a queste variabili non è associata alcuna incertezza. Quindi per ogni scenario viene effettuata una simulazione, i cui input definiti sono fissi e vengono definiti volta per volta per verificare i valori di output che ne conseguono. I dati di input sono definiti in base a:

- Velocità preferita di esodo delle persone;
- Densità o numero di persone simulate.

2.2.2.1. VELOCITÀ DI ESODO

Per definire la velocità di esodo per la validazione e la verifica ci siamo basati sugli studi condotti in letteratura per edifici e spazi pubblici [20][35][13][36][24][37] come spiegato nel § 1.2.2. VELOCITÀ. Queste velocità di esodo sono definite essenzialmente secondo:

- Posizione della persona sul piano (su scale o in corridoio);
- Tipo di edificio (secondo la destinazione d'uso);
- Tipo di occupante (genere, attività svolte, autonomia nel moto ed eventuali disabilità).

Le velocità di esodo scelte sono state applicate uguali per tutti gli occupanti relativi a movimento in piano (i.e. corridoi):

- 1.4 m/s, come valore preferito di movimento comunemente utilizzato in modelli di tipo microscopico [20][35];
- 0.7 m/s, per considerare la velocità media di movimento di persone in edifici pubblici [24][37][13].

In accordo alla letteratura di riferimento per la validazione, [33] tale scelta è stata fatta a prescindere dalla tipologia di occupante, nonostante l'edificio in questione sia aperto al pubblico.

2.2.2.2. NUMERO DI PERSONE

Per la densità di persone, esprimibile anche in termini di numero di persone da inserire nelle simulazioni, si sono scelte 4 configurazioni diverse in accordo alla IMO 1 [33] espresse anche in termini di densità relative e quindi di caratteri schematici del moto in accordo alla teoria dei Level of Service – LOS [36][38][39].

La teoria prevede 6 livelli (da A a F) crescenti, di condizioni di iterazione (i.e. collisioni) tra pedoni, caratterizzati da diverse densità della folla in movimento nello spazio. Di seguito si definiscono i gruppi di persone inserite in termini di numero e densità:

- 1 persona, ovvero con moto libero dei pedoni. Qui la velocità finale del pedone dipende solo dall'interazione con gli ostacoli e dovrebbe tendere alla velocità preferita imposta;
- 10 persone, ovvero una densità nell'area di generazione di 0.17 persone/m² con un corridoio largo 3m e 0.06 persone/m² con un corridoio largo 8m (essenzialmente, LOS A, con moto poco disturbato ancora essenzialmente libero da interazioni);
- 50 persone, ovvero una densità nella stanza di generazione di 0.83 persone/m² con un corridoio largo 3m (condizioni di limite al LOS B, con deboli interazioni tra le persone) e 0.31 persone /m² con un corridoio largo 8 m;
- 100 persone, ovvero una densità nella stanza di generazione di 1.67 persone/m² con corridoio largo 3 m (condizioni di limite al LOS D, con significative interazioni tra le persone e possibili contatti fisici che rallentano potenzialmente l'esodo) e 0.63 persone/m² con un corridoio largo 8 m;
- infine, una densità di 2 persone/m² per entrambe gli scenari, risultati in LOS D (120 persone per corridoio largo 3 m persone e 320 persone per corridoio largo 8 m).

Le variabili di input come definite, velocità di esodo e numero di persone, vengono inserite nella simulazione nelle impostazioni del programma di simulazione. Una volta fatto questo si avvia la simulazione stessa.

2.2.3. DEFINIZIONE VARIABILI DI OUTPUT

Per ogni tipo di scenario, e per ogni gruppo di persone e per ogni una delle velocità (quindi per ogni variabile di input) si sono eseguite le simulazioni con i due software: MassMotion e Pathfinder. Una volta eseguite le simulazioni i valori di output comparati riguardano in primis i temi di evacuazione (s), e in particolare:

- Tin,c': ingresso nel corridoio da parte della prima persona;
- Tin,c: ingresso nel corridoio dell'ultima persona;
- Tin,a': ingresso nell'area di controllo da parte della prima persona entrata;
- Tin,a: ingresso nell'area di controllo da parte dell'ultima persona entrata;
- Tout,a': uscita dall'area di controllo da parte della prima persona entrata;
- Tout,a: uscita dall'area di controllo da parte dell'ultima persona;
- Tout,f': uscita dalla stanza finale da parte della prima persona entrata;
- Tout,f: uscita dalla stanza finale da parte dell'ultima persona.

Sono poi elaborati e confrontati, per ogni simulazione, considerando i due software usati, il grafico densità istantanea-flusso normalizzato $F(t)$ [persone/(s*m)], calcolata in accordo al metodo di letteratura descritto in [40] ed il grafico persone uscite-tempo. In particolare, la densità è stata calcolata come il rapporto tra il numero di persone presenti contemporaneamente in ogni istante di tempo nell'area di controllo e l'area della stessa. Il flusso normalizzato è stato calcolato come il rapporto tra il numero di persone che hanno attraversato la porta di uscita dell'area di controllo ad ogni istante e la larghezza della porta stessa. Sono inoltre calcolate le differenze dA [%] percentuali tra i risultati prodotti tra i due software, secondo la equazione 2:

$$dA = \frac{A_{MassMotion} - A_{Pathfinder}}{A_{MassMotion}} \cdot 100[\%]$$

Equazione 2: calcolo differenze percentuali.

dove $A_{MassMotion}$ è il valore del risultato conseguito con la simulazione in MassMotion e dove $A_{Pathfinder}$ è il valore del risultato conseguito con la simulazione in Pathfinder. Le differenze dA sono commentate per evidenziare la causa probabile delle stesse e l'influenza delle condizioni al contorno nell'input di simulazione (geometria del percorso tramite la larghezza del corridoio, velocità delle persone, densità/numero di persone). Variazioni fino al 10% dei valori elaborati dai due software non sono state ritenute significative, in accordo alle differenze nel comportamento simulato anche rispetto all'evidenza sperimentale [37][41].

2.3. DEFINIZIONE SCENARIO SIMULAZIONE OGGETTO DI STUDIO

L'oggetto di studio in questione è Il tribunale di Pesaro, che si trova nella zona centrale di Pesaro. Da uno stralcio preso dalla mappa satellitare si vede la posizione dello stesso in relazione a ciò che lo circonda, ed evidenziato in un cerchio nero si può vedere la Piazza di Giosuè Carducci che si trova di fronte all'uscita principale del tribunale e ne costituisce il luogo sicuro all'aperto in caso di evacuazione *Figura 2-4*.



Figura 2-4: Stralcio della mappa satellitare per localizzare il Tribunale di Pesaro. (fonte: Google maps).



Figura 2-5: Immagine esterna del tribunale di Pesaro. (fonte www.ilmessaggero.it)

L'edificio del caso di si trova in un'area caratterizzata principalmente da insediamenti a destinazione pubblica, terziaria e residenziale. L'edificio presenta una conformazione planimetrica regolare. La struttura del tribunale, si sviluppa su più piani; è composta da 6 livelli, due livelli interrati, il livello -2 e (quota piano strada -6 m) interrato dove è presente l'autorimessa e i locali impianti il livello -1 seminterrato (quota al piano strada -2,6) in cui le stanze sono destinate ad uffici in parte aperti al pubblico e c'è la presenza di 4 aule per udienze il livello 0 (quota al piano strada +1,8m) in questo livello le stanze sono adibite ad uffici aperti al pubblico inoltre c'è un bar con annesso magazzino, il livello 1 (quota piano strada +6 m) sono presenti stanze destinate a segreteria e uffici private non aperti al pubblico, il livello 2 (quota piano strada +10,2 m) in cui le stanze sono destinate prevalentemente ad uffici aperti al pubblico e sono presenti 3 aule civili per udienze, il livello 3 (quota piano strada +14,6 m) in cui le stanze sono destinate ad uffici a varia destinazione tutti aperti al pubblico. Dal piano -1 e per l'intera altezza dell'edificio è presente al centro della struttura un vano aperto sul quale è possibile affacciarsi dalle balaustre dei vari livelli, al piano -1 lo spazio di distribuzione è limitato in quanto è presente un giardino posto al centro che si può ammirare dagli affacci dei vari livelli. Dal livello 3 si accede ad una torre centrale composta da due piani dove è presente la biblioteca del tribunale. Nell'edificio è presente al livello 1 la Procura della Repubblica che svolge i propri compiti all'interno del tribunale. I collegamenti verticali sono disposti su tre lati dell'edificio: sui due lati laterali troviamo un ascensore e un vano scala che dal piano -2 collega tutti i livelli fino al piano 3; nel lato opposto all'ingresso c'è un ascensore e un vano scala che dal livello -1 arriva al livello 3. Le uscite principali dall'edificio sono due, ma solo quella principale che viene usata come ingresso può essere usata da tutti in quanto uscita presidiata in cui si effettua il controllo all'ingresso. L'uscita che si trova nel retro dell'edificio è aperta solo per l'uscita eventuale dei lavoratori del Tribunale e solo fino ad un certo orario, ma non può essere utilizzata come uscita in caso di emergenza. *Figura 2-5*

La definizione dello scenario per la simulazione riguardano;

1. Criteri generali che includono tipo di emergenza e geometria dello scenario;
2. Caratteristiche di occupazione in termini di affollamento e di comportamento delle persone all'interno dei simulatori di evacuazione;
3. Caratteristiche del processo di gestione dell'emergenza.

2.3.1. CRITERI GENERALI DI DEFINIZIONE DELLO SCENARIO DI EVACUAZIONE

Lo scenario di evacuazione comprende l'esodo da tutti i piani dell'edificio ospitante il tribunale di Pesaro, ad eccezione degli spazi biblioteca al sottotetto nella torre centrale come descritto in precedenza. Per la definizione dei criteri generali i fattori che si sono considerati [42][43][44][45] sono:

- Tipo di emergenza, poiché essa può condizionare il comportamento degli occupanti e l'interazione con le condizioni di emergenza;
- Geometria dell'edificio.

2.3.1.1. TIPO DI EMERGENZA

E' stata considerata, come causa di evacuazione una generica emergenza, secondo cui un evento improvviso colpisce una parte qualsiasi dell'edificio senza che vi sia interferenza tra gli effetti dell'evento e il moto delle

persone. Secondo tali condizioni, è possibile disaccoppiare l'analisi del moto degli occupanti in evacuazione e lo sviluppo dell'evento nel tempo. Inoltre, l'uso degli spazi non dipende nel tempo dall'evento stesso (Esempi: incendio in cui i fumi non incidono sul movimento delle persone perché, ad esempio avviene una tempestiva allerta degli occupanti; terremoto che non comporta danni all'edificio; procurato allarme nella struttura). Secondo questo schema si considera che l'evacuazione dall'edificio avvenga dopo un segnale di allarme (es.: acustico), e che le persone presenti si dirigano verso il "luogo sicuro" a seguito dell'allarme stesso.

2.3.1.2. GEOMETRIA

Per definire la geometria del caso di studio e la dimensione di tutti gli spazi ci si è avvalsi dai disegni forniti dal Tribunale di Pesaro. Quello che abbiamo preso in considerazione sono state le piante in CAD dei vari piani costituenti l'edificio e per semplificazione le geometrie curvilinee sono state semplificate nella spezzata di involuppo inscritta al fine di consentire l'inserimento nel modello in accordo con i software scelti. I vari piani sono stati inseriti alle quote originali tra uno e l'altro e collegati dallo sviluppo dei collegamenti verticali quali le scale, seguendo in maniera dettagliata la composizione definita negli elaborati in merito al numero dei gradini, alzata, pedata e larghezza. Di seguito si riporta in *Figura 2-6* un'immagine presa dallo sviluppo dell'edificio finito dal software di Pathfinder.

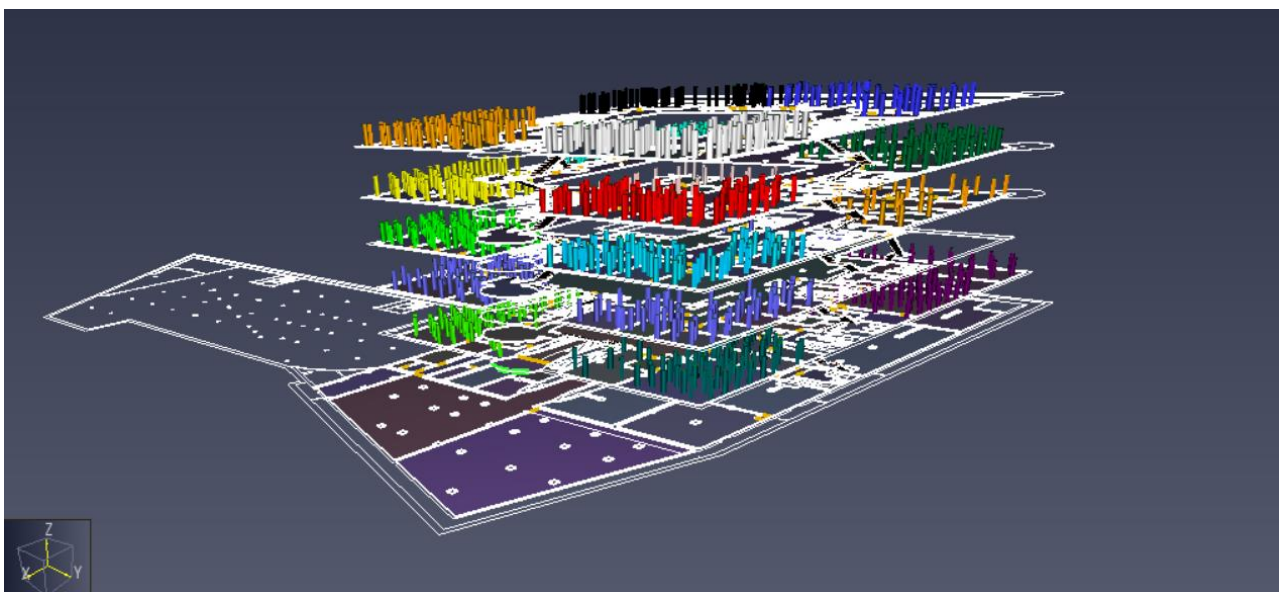


Figura 2-6: Rappresentazione edificio sul software Pathfinder.

I percorsi di esodo che dovranno seguire gli occupanti all'interno del modello, sono stati organizzati in relazione al piano di emergenza ed evacuazione che viene fornito dal tribunale. In relazione a quello ci si è attenuti anche per quanto riguarda l'uscita di evacuazione principale (quale sola uscita disponibile dell'edificio in caso di emergenza).

2.3.1.3. VIE DI ESODO

Riguardo alle vie di esodo, nel livello -2, ai fini della simulazione, l'autorimessa non è stata inclusa nell'analisi, in via semplificata, in quanto ritenuta non utilizzabile preferenzialmente come via di fuga. Gli ascensori sono stati considerati non utilizzabili in caso di emergenza, in accordo ai requisiti degli stessi in funzione delle disposizioni generali del DM 03/08/2015 [1]. I collegamenti verticali utilizzati per l'esodo sono esclusivamente i corpi scala laterali, quella che si trova nel lato opposto all'ingresso della struttura non è utilizzata nel caso di applicazione del piano di emergenza del tribunale. In riferimento all'applicazione del piano l'unica uscita utilizzabile è quella posta all'ingresso principale dell'edificio. Il punto di raccolta considerato per l'evacuazione è quello della piazza antistante l'edificio, sita nel Piazzale Giosuè Carducci, come da piano di emergenza ed evacuazione coordinato fornito dal tribunale stesso.

2.3.1.4. LUOGHI A POSSIBILE PROLUNGATA PRESENZA

Infine, l'affollamento è stato considerato solo per i luoghi con possibile prolungata presenza da parte di occupanti, pertanto si sono esclusi i bagni in tutti i piani dell'edificio e i locali impianti e archivio (i.e. quelli del livello -2).

2.3.2. DEFINIZIONE DATI OCCUPAZIONALI: AFFOLLAMENTO

Per definire i dati occupazionali dell'edificio in esame, si sono usati i valori di densità definiti come da D.M. 03/08/2015 *Figura 2-7*.

Tipologia di attività	Densità di affollamento o criteri
Luoghi di pubblico spettacolo senza posti a sedere	1,2 persone/m ²
Aree per mostre, esposizioni, manifestazioni varie di intrattenimento a carattere temporaneo	
Aree adibite a ristorazione	0,7 persone/m ²
Aree adibite ad attività scolastica e laboratori (senza posti a sedere)	0,4 persone/m ²
Sale d'attesa	
Uffici aperti al pubblico	
Aree di vendita di <i>piccole</i> attività commerciali al dettaglio con settore alimentare o misto	
Aree di vendita di <i>medie</i> e <i>grandi</i> attività commerciali al dettaglio con settore alimentare o misto	0,2 persone/m ²
Aree di vendita di attività commerciali al dettaglio senza settore alimentare	
Sale di lettura di biblioteche, archivi	
Ambulatori	0,1 persone/m ²
Uffici non aperti al pubblico	
Aree di vendita di attività commerciali all'ingrosso	
Aree di vendita di <i>piccole</i> attività commerciali al dettaglio con specifica gamma merceologica non alimentare	
Civile abitazione	0,05 persone/m ²
Autorimesse	2 persone per veicolo parchato
Degenza	1 degente e 2 accompagnatori per posto letto
Aree con posti a sedere o posti letto (es. sale riunioni, aule scolastiche, dormitori, ...)	Numero posti
Altre attività	Numero massimo presenti (addetti + pubblico)

Figura 2-7: Affollamento specifico e criteri per tipologia di attività-Tabella S.4-6 [1].

Vengono scelti i valori di densità da assegnare a seconda della tipologia di attività svolta all'interno dell'edificio. In particolare nel nostro caso di studio le densità assegnate sono differenti a seconda dei diversi uffici presenti nel Tribunale in quanto alcuni sono aperti al pubblico e altri no. Per ogni piano, classificato in livello (livello -2, livello -1, livello 0, livello 1, livello 2, livello 3), sono state individuate le singole stanze, come mostrato in Figure 22-23-24-25-26-27, e sono state identificate tramite codice relativo, in cui il primo numero intero (da -2 a + 3) rappresenta il livello e il secondo numero rappresenta il numero della stanza (es.: stanza 2 al livello 1: codice 1.2). Ad ogni stanza è stata associata la sua funzione (es: aula processo "penale", aula processo "civile"). Per ogni specifica funzione è stato assegnato un coefficiente di affollamento in termini di densità in accordo al D.M. 03/08/2015-sezione S capitolo S.4.6.2 tabella S.4-6, (affollamento specifico o criteri per tipologia di attività): 0.4 p/m² per gli uffici aperti al pubblico; 0.1 p/m² per gli uffici non aperti al pubblico; 0.01 p/m² per il locale archivio al livello -2, considerandolo come spazio non aperto al pubblico accessibile solo saltuariamente e per breve tempo, in funzione della necessità di recuperare materiale(in accordo anche al piano di emergenza del tribunale, affollamento ≤10 persone); 0.2 p/m² per il locale archivio al livello -1 (valore di riferimento per gli archivi in normativa). Considerando le aree delle stanze e il relativo coefficiente assegnato, si è ricavato l'affollamento in termini di persone presenti, indicato all'interno di ogni stanza con la dicitura P.n°, tale rappresentazione è omessa per la sensibilità della struttura. Tale affollamento è da considerarsi come massimo, poiché tiene in considerazione densità standard di normativa e valori delle superfici delle diverse aree. Inoltre, per differenziare gli addetti che lavorano all'interno della struttura dai visitatori esterni nei locali aperti al pubblico che hanno coefficiente 0.4 p/m², si è scorporata la parte degli operatori del tribunale considerando un coefficiente pari a 0.1 p/m² e 0.3 p/m² per i visitatori esterni. Gli operatori del tribunale sono stati quindi definiti sommando gli uffici effettivamente chiusi al pubblico e la porzione di quelli aperti al pubblico. Sono riassunti i valori ottenuti dei dati occupazionali nella *Tabella 2-1*

LIVELLO	TOTALE AFFOLLAMENTO	TOTALE AFFOLLAMENTO DIPENDENTI	TOTALE OSPITI
Livello -2	13	13	0
Livello -1	289	122	167
Livello 0	131	34	97
Livello 1	193	77	116
Livello 2	353	86	267
Livello 3	245	57	184
TOTALE	1220	389	831

Tabella 2-1: Valori sperimentali di affollamento secondo D.M. 03/08/2015.

Si è effettuato un controllo tra l'affollamento massimo, calcolato in accordo ai fattori di densità sopra stabiliti, e la stima dell'affollamento reale tramite un controllo degli ingressi nell'arco di un periodo di una settimana.

2.3.2.1. STIMA AFFOLLAMENTO DATI DI MONITORAGGIO

I dati di stima da monitoraggio hanno riguardato il monitoraggio di una settimana significativa del mese di febbraio 2019, partendo da mercoledì fino al martedì successivo, secondo l'uso del Tribunale e gli orari di apertura relativi (i.e. apertura solo mattutina per il sabato e chiusura domenicale). I dati sono riassunti in *Tabella 2-2*. I dati riguardano tutti gli accessi (solo ingressi) effettuati nel periodo di riferimento. Per effettuare il confronto, si è considerato che il numero massimo di operatori del tribunale siano 250, come definito nella stima presente nel piano di evacuazione, e si è ipotizzato che questi abbiano effettuato un doppio ingresso nell'arco delle giornate monitorate (all'inizio della giornata e dopo la pausa pranzo; per il

sabato, solo un ingresso). Pertanto, sono state sottratte 500 unità al numero monitorato degli ingressi giornalieri ed è stato considerato che la restante parte corrisponda ai visitatori, come da *Tabella 2-2*. I dati relativi ai visitatori sono stati mediati per il periodo di osservazione.

Giorno	Ingresso dx	Ingresso sx	Totale	Ingressi dipendenti stimati	Ingressi ospiti stimati	Stima max contemporanea
Mercoledì	210	1040	1250	500	750	1000
Giovedì	315	1089	1404	500	904	1154
Venerdì	166	754	920	500	420	670
Sabato	49	102	151	250	-99	151
Domenica						
Lunedì	144	765	909	500	409	659
Martedì	186	867	1053	500	553	803
MEDIA	178	770	948	458	490	740

Tabella 2-2: Valori stimati di massimo affollamento. Periodo di riferimento: una settimana a febbraio 2019; dati forniti dal tribunale.

2.3.2.2. TIPOLOGIA DI OCCUPANTI

I simulatori di evacuazione considerati permettono di considerare comportamenti diversi per diverse tipologie di persone, in termini di velocità di spostamento come pure di scelta del percorso (i.e. per considerare la conoscenza o meno del piano di evacuazione e quindi delle direzioni di esodo e della collocazione delle uscite) [42][33][29][46].

In accordo al D.M. 03/08/2015, in accordo a quanto indicato nella tabella G.3-1 *Figura 2-8* che elenca le caratteristiche prevalenti degli occupanti, nel caso di studio si possono differenziare due tipologie di gruppi di persone differenti:

- un gruppo che conosce la struttura (addetti alla squadra di emergenza e dipendenti), con caratteristica prevalente di tipo A (occupanti in stato di veglie e con familiarità con l'edificio);
- un gruppo che con conoscenza limitata (o assente) della struttura (visitatori ospiti, ivi inclusi partecipanti ai processi anche quali imputati), on caratteristica prevalente di tipo B (occupanti in stato di veglie e senza familiarità con l'edificio).

Caratteristiche prevalenti degli occupanti δ_{occ}		Esempi
A	Gli occupanti sono in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio	Ufficio non aperto al pubblico, scuola, autorimessa privata, attività produttive in genere, depositi, capannoni industriali
B	Gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio	Attività commerciale, autorimessa pubblica, attività espositiva e di pubblico spettacolo, centro congressi, ufficio aperto al pubblico, ristorante, studio medico, ambulatorio medico, centro sportivo
C [1]	Gli occupanti possono essere addormentati:	
Ci	• in attività individuale di lunga durata	Civile abitazione
Cii	• in attività gestita di lunga durata	Dormitorio, residence, studentato, residenza per persone autosufficienti
Ciii	• in attività gestita di breve durata	Albergo, rifugio alpino
D	Gli occupanti ricevono cure mediche	Degenza ospedaliera, terapia intensiva, sala operatoria, residenza per persone non autosufficienti e con assistenza sanitaria
E	Occupanti in transito	Stazione ferroviaria, aeroporto, stazione metropolitana
[1] Quando nel presente documento si usa C la relativa indicazione è valida per Ci, Cii, Ciii		

Figura 2–8 Caratteristiche prevalenti degli occupanti secondo tabella G.3-1 nel D.M. 03/08/2015.

Si può considerare, visto il tipo di edificio (Tribunale), che gli occupanti siano persone tutte al di sopra della maggiore età (18 anni) e quindi escludere, in mancanza di ulteriori indicazioni specifiche (es.: da rilievo sul campo) e considerando il livello di indagine per l'applicazione del simulatore, la presenza di bambini (essenzialmente, minori non indipendenti nel movimento). Inoltre, in questa prima applicazione di simulazione, non si considera la presenza di occupanti che devono essere condotti all'esterno anche in condizioni di emergenza, quali particolari categorie di imputati. La letteratura [42][33][29][46] mostra che la velocità di esodo (a meno di fattori al contorno quali presenza di fumi e densità di persone) dipende da fattori quali: tipo di camminata (range generale in movimento di uscita tra 0.8 e 1.5m/s), tipo di occupanti (per adulti, in generale 1.27m/s; femmine 1.24 e maschi 1.30; se anziani 1.04), tipi di luogo (in generale, per edifici pubblici, un range tra 0.51 e 1.27 m/s). In considerazione di tali valori, è possibile ulteriormente distinguere due velocità tipiche a seconda del livello di eccitamento della folla [24][20]: 0.7 m/s ("range basso") per rappresentare un movimento secondo un uso non emergenziale della struttura; e 1.4 m/s ("range alto") per rappresentare il movimento tipico in evacuazione secondo modelli di rappresentazione individuale del moto quelli usati nel presente lavoro. La velocità scelta nelle simulazioni del caso di studio è conseguente al processo di validazione dei due software utilizzati § 3.2 al fine di minimizzare gli errori di stima tra i due modelli. In particolare, come riportato dettagliatamente in § 3.2.1, la velocità scelta è di 1.4 m/s.

Per quanto riguarda la scelta di percorso di uscita in caso di evacuazione per i singoli occupanti, possono essere indicate le seguenti modalità le seguenti modalità [20][36][47][48][49][50]:

1. percorso più breve in termini di lunghezza (uscita più vicina), utile a rappresentare il comportamento di persone che conoscono perfettamente l'edificio (es.: addetti e dipendenti) e/o un perfetto uso della segnaletica di emergenza da parte degli occupanti (condizioni ideali generalmente incluse nell'approccio normativo, es.: secondo D.M. 03/08/2015);
2. percorso imposto dal piano di emergenza (indicato tramite segnaletica e/o azioni degli addetti della squadra di emergenza) se non combacia con il percorso più breve. In questa condizione, si assume la massima interazione tra gli evacuanti e la squadra/il sistema di guida, potendo considerare diverse

condizioni anche di tipo dinamico nel tempo e nello spazio per la gestione del movimento delle persone;

3. percorso più breve in termini di tempo, secondo cui l'occupante può variare il percorso scelto in base alle condizioni al contorno (es.: tempo stimato di uscita in funzione delle condizioni di affollamento);
4. percorso noto, generalmente legato al percorso fatto in ingresso. In questa condizione, si prefigura un percorso di accesso nell'edificio che sarà considerato come il più probabile anche nell'evacuazione. In tale maniera, i percorsi secondari vedono un minor uso da parte degli occupanti. Tale condizione è tipica dei visitatori, che si muovono secondo "l'effetto memoria" (Gli occupanti non familiari tendono ad utilizzare il percorso fatto in ingresso nella struttura per abbandonare l'edificio anche in condizioni di emergenza, senza quindi usare attivamente i dispositivi di guida [20]).

Dal sopralluogo, si conferma che tutte le indicazioni delle vie di uscita e le indicazioni dei punti di dove si trovano i dispositivi anti-incendio siano chiare e visibili a qualunque visitatore, data la loro posizione e la loro dimensione e tipologia (anche in accordo alle vigenti leggi sulla salute e sicurezza sui luoghi di lavoro). Pertanto, si può affermare che le condizioni di percorso più breve e di percorso imposto dal piano possono essere ragionevolmente oggetto di simulazione. Infine, il presente studio si basa sull'esclusione dei comportamenti di pre-movimento [51], focalizzando solo sul processo di esodo ovvero di movimento vero e proprio. Pertanto, non sono introdotte differenze di comportamento tra persone in relazione ad azioni preliminari all'esodo quali, ad esempio, raccogliere oggetti e dispositivi personali, attendere altre persone prima di muoversi, scambiarsi informazioni prima di muoversi). Al momento dell'avvio del segnale di evacuazione, quindi, tutte le persone risponderanno immediatamente a seconda del protocollo seguito dal processo di gestione dell'emergenza.

2.4. PROCESSO DI GESTIONE DELL'EMERGENZA

Il processo di gestione dell'emergenza prevede come punti nevralgici:

1. Le modalità di esodo § 2.4.1
2. I percorsi di uscita dall'edificio § 2.4.2

2.4.1. MODALITÀ DI ESODO

Nel caso di studio considerato, il Tribunale di Pesaro, si evince nel piano di emergenza ed evacuazione un'organizzazione del processo di gestione dell'emergenza dell'utilizzo di un esodo simultaneo: come descritto nel D.M. 10/03/98 e normalmente applicato in edifici pubblici, tale scelta prevede che, al suono dell'allarme, tutti gli occupanti abbandonino immediatamente l'edificio. Tuttavia, in alcuni luoghi più complessi risulta più appropriato un sistema di allarme a più fasi per consentire l'evacuazione in due fasi o più fasi successive (es.: ospedali, in cui sono presenti evacuanti non autonomi che devono essere soccorsi e portati fuori dalle squadre di emergenza; luoghi con notevole presenza di pubblico, in cui si possono verificare congestioni e sovraffollamenti nel processo di esodo, specialmente in caso di layout geometricamente non adeguato seppur conforme). Nel caso di studio, come detto in precedenza, è presente un piano di evacuazione con esodo simultaneo, testato nelle simulazioni di evacuazione in situ. La stima del tempo di

evacuazione fatta eseguendo le prove di evacuazione dal Tribunale vede un tempo di esodo totale pari a 3 minuti per esodo simultaneo, secondo la documentazione fornita dal tribunale. La struttura del tribunale è progettata secondo il D.M. 10/03/98 e quindi non prevede ad esempio scale a prova di fumo, ma solo protette, avendo comunque una struttura a norma. Nel caso del rilevatore di allarme nella sezione S.7.1 del D.M. 03/08/2015 si descrivono i tipi di impianti di segnalazione e rilevazione incendi. Nel nostro caso è presente un impianto di allarme ottico/acustico che verrà attivato in caso di emergenza.

2.4.2. PERCORSI DI USCITA

Il piano di emergenza del presente caso di studio individua tutti i percorsi, preferenziali ed alternativi, che da ciascun posto di lavoro devono essere seguiti per raggiungere i luoghi sicuri o i centri di raccolta. I percorsi di esodo sono individuate tramite le planimetrie a corredo del piano di evacuazione del Tribunale. I centri di raccolta sono zone in cui devono confluire inizialmente le persone per poi essere allontanate definitivamente ed in modo ordinato per evitare intralcio agli eventuali mezzi di soccorso. Il centro di raccolta può essere utilizzato anche per censire le persone evacuate nel nostro caso di studio tale luogo è individuate nell'antistante piazza Carducci capace di ospitare tutti I prevedibili occupanti del tribunale, la piazza è posta di fronte l'ingresso del tribunale. Al fine, comunque, di garantire una sicura evacuazione è predisposta la relativa segnaletica di salvataggio lungo I percorsi interni. Questa, costituita da cartelli di forma quadrata o rettangolare con simbolo bianco su fondo verde, segnala le vie di esodo, le uscite di emergenza e la presenza in un punto ben definito di mezzi o sistemi di soccorso che possono essere utilizzati in caso di necessità. Tali segnali sono predisposti in modo organico e tale da rendere facilmente identificabili i percorsi, anche da luoghi relativamente distanti. Tutti i segnali hanno la dimensione minima del pittogramma di forma quadrata di 230 mm x 230 mm in modo da essere visibili da una distanza di almeno 10 m e collocati tenendo conto che si deve garantire la loro migliore visibilità. L'altezza di collocazione è compresa fra i 2.10 m e 2.20 m dal pavimento cioè con la base in linea con lo stipite delle porte in conformità al D.Lgs. 81/2008 [3] negli allegati XXIV e successivi in cui vengono definite le prescrizioni generali per la segnaletica di sicurezza. Con obiettivo di armonizzate a livello internazionale le norme tecniche in grado di favorire la prevenzione di incidenti e tutelare la salute nei luoghi di lavoro è entrata in vigore la norma UNI EN ISO 7010:2012, una norma che prescrive i segnali di sicurezza da utilizzare nella prevenzione degli infortuni, nella protezione dal fuoco, per l'informazione sui pericoli alla salute e nelle evacuazioni di emergenza. La norma contiene una raccolta di simboli armonizzati riconosciuti universalmente. I percorsi che seguiranno gli utenti in tutte le simulazioni svolte di seguito, da ogni stanza fino alle uscite di piano e quindi fino all'uscita generale dell'edificio, sono svolti in relazione al piano di emergenza ed evacuazione del Tribunale. Di seguito si riportano le *Figura 2-9**Figura 2-10* *Figura 2-11* *Figura 2-12* *Figura 2-13* *Figura 2-14* dove sono definiti tramite delle frecce i percorsi impostati ed eseguiti dagli agenti.

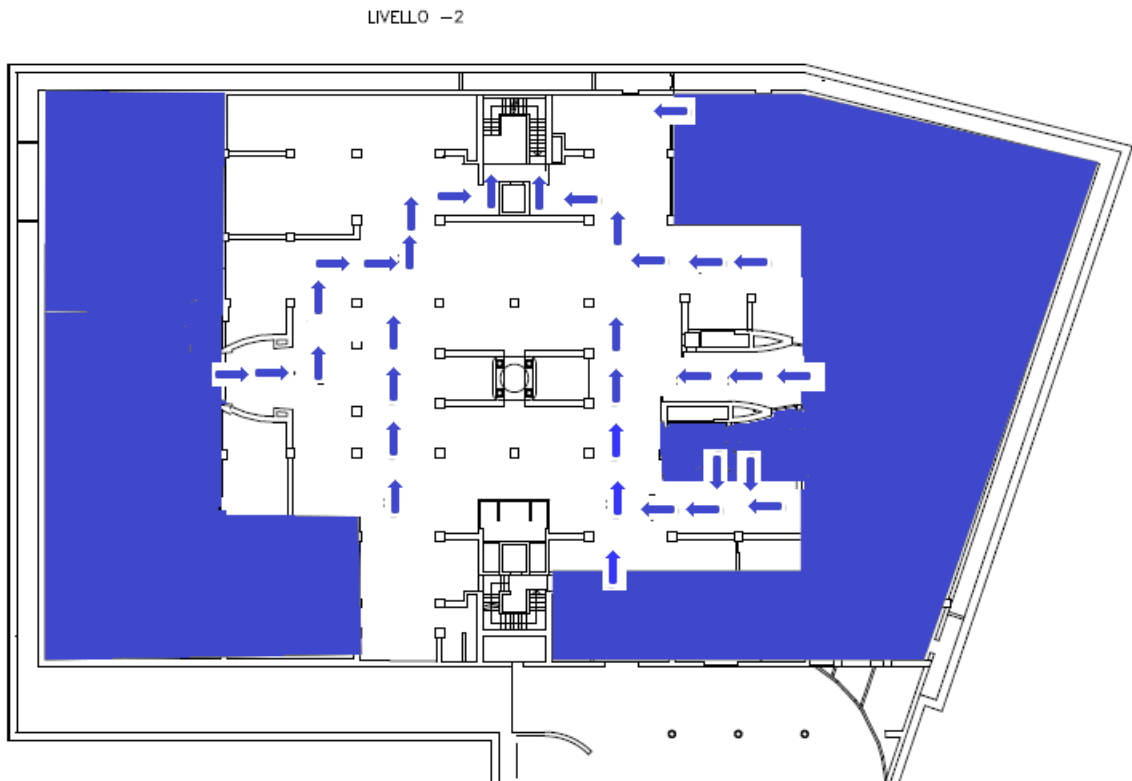


Figura 2-9: Percorsi svolti dagli utenti nel livello -2.

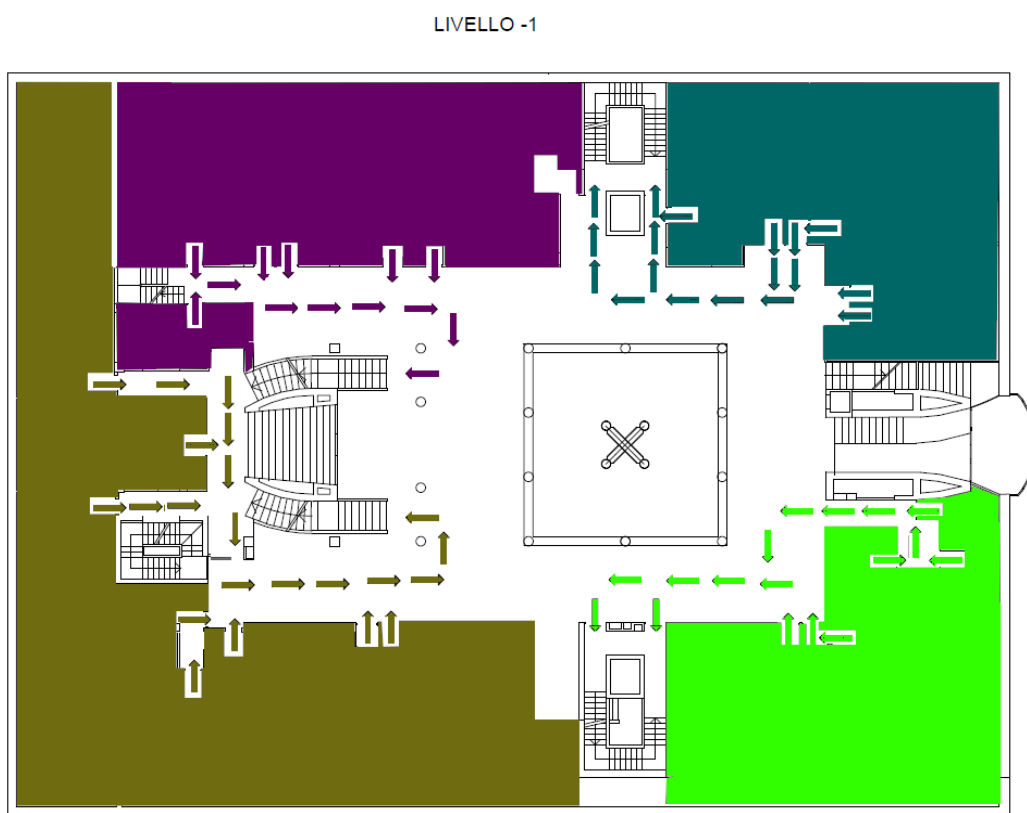


Figura 2-10: Percorsi svolti dagli utenti nel livello -1.

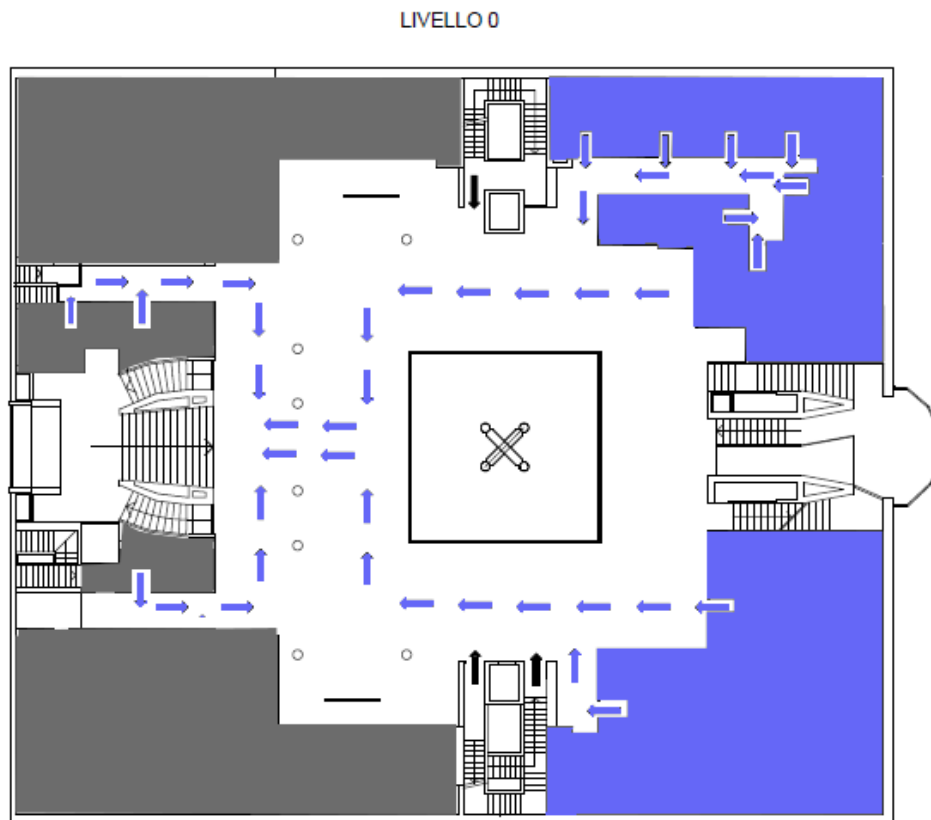


Figura 2-11: Percorsi svolti dagli utenti nel livello 0.

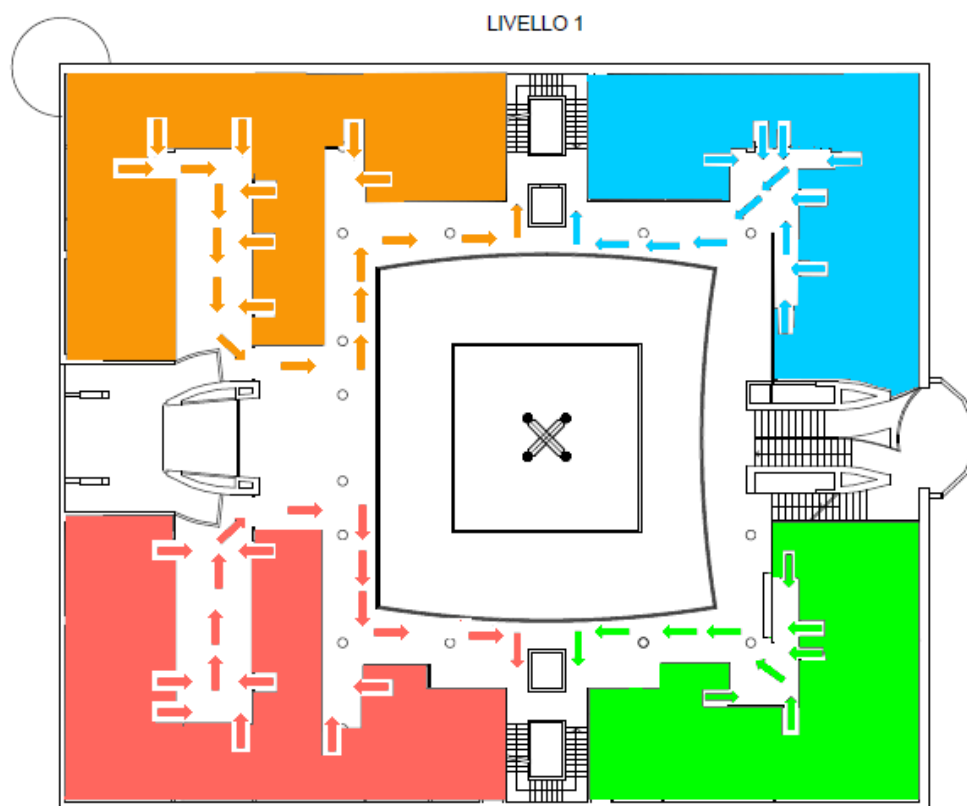


Figura 2-12: Percorsi svolti dagli utenti nel livello 1.

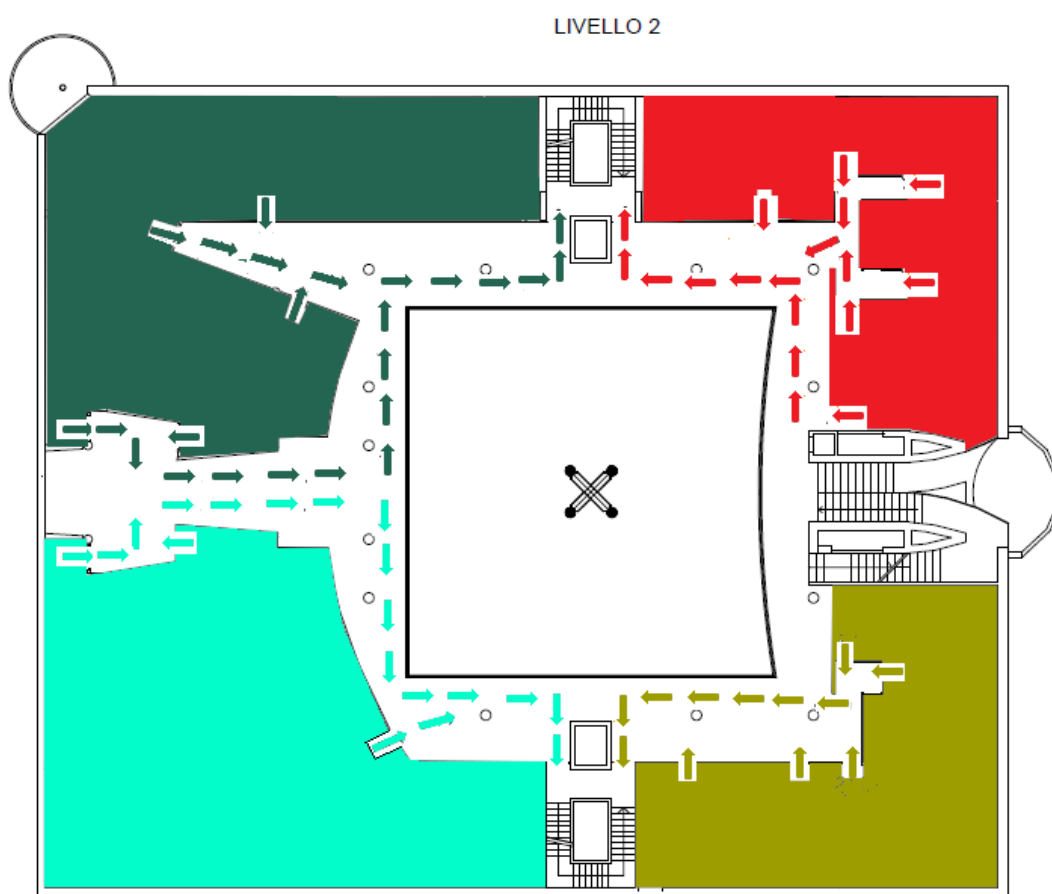


Figura 2-13: Percorsi svolti dagli utenti nel livello 2.



Figura 2-14: Percorsi svolti dagli utenti nel livello 3.

Nel piano di evacuazione del caso di studio sono presenti le funzioni demandate al personale in caso di emergenza. Vengono definiti i compiti e le specifiche funzioni da svolgere nel momento in cui si viene a verificare una emergenza in accordo al decreto legislativo sulla sicurezza nei luoghi di lavoro. Di seguito sono indicate le funzioni delle singole figure:

- **Coordinatore dell'emergenza del fabbricato:** Ha il compito di decidere l'evacuazione dell'edificio in relazione alla gravità dell'emergenza, l'intervento della squadra di emergenza e coordina l'esodo. Si prevederà che tale figura svolgerà le funzioni all'interno del proprio ufficio dove deciderà le azioni più opportune per affrontare l'emergenza e comunque all'interno dell'edificio per controllare l'esodo;
- **Coordinatore dei contatti esterni:** Provvede a segnalare l'emergenza a tutte le autorità, enti, organismi interessate secondo il tipo di emergenza. Si prevede che tale figura svolgerà la propria funzione tra l'interno e l'esterno dell'edificio;
- **Addetto che effettua l'appello in luogo sicuro:** Nel limite delle possibilità e delle conoscenze acquisite in passato e nel momento dell'evacuazione gestisce l'identificazione dei presenti e la stima delle possibili persone presenti all'interno dell'edificio oggetto di valutazione. E' autorizzato a chiedere a tutti i presenti le informazioni necessarie al fine di identificare possibili persone in pericolo all'interno dell'edificio. Svolgerà la sua funzione all'esterno dell'edificio nell'area di zona sicura;
- **Addetto che aziona l'allarme antincendio:** Provvede, autorizzato dal coordinatore dell'emergenza o da persona da lui incaricata, all'azionamento del sistema di allarme antincendio. Deve essere a conoscenza delle corrette modalità di azionamento del sistema di allarme preventivamente identificato per l'edificio. Tale addetto una volta autorizzato si recherà ad azionare manualmente l'allarme nel punto più vicino;
- **Addetto che toglie la tensione dalle linee elettriche:** Provvede, una volta udito il sistema di allarme, all'interruzione delle linee elettriche tramite apposito dispositivo previsto. Deve essere a conoscenza delle corrette modalità di interruzione delle linee elettriche dell'edificio. L'addetto raggiungerà il livello -2 dove sono presenti i locali tecnici;
- **Addetto che sospende l'erogazione di sostanze infiammabili:** Provvede, una volta udito il sistema di allarme, alla sospensione dell'erogazione delle sostanze infiammabili tramite apposito dispositivo (valvola di intercettazione metano). Deve essere a conoscenza delle corrette modalità di sospensione delle sostanze infiammabili/combustibili dell'edificio. L'addetto raggiungerà il livello -2 dove sono presenti i locali tecnici;
- **Addetto all'assistenza a persone disabili:** Provvede all'assistenza a persone disabili durante l'evacuazione. Collabora preventivamente per la riduzione delle difficoltà all'evacuazione di tali lavoratori e/o utenti. Deve essere a conoscenza delle corrette modalità di evacuazione in virtù delle possibili disabilità (motorie, sensoriali psichiche). Svolge la sua funzione all'interno dell'edificio. Raggiunge le persone con disabilità per assisterle e condurle all'esterno.

2.5. PIANO DELLE SIMULAZIONI

Le simulazioni saranno eseguite con le seguenti condizioni principali:

SIMULAZIONE 1

1. Il massimo degli occupanti, distribuiti nello spazio in funzione della destinazione d'uso § 3.1.
2. Addetti in numero come definito pari a 389 persone
 - Compiti: non hanno funzioni specifiche nel caso di evacuazione.
 - Criteri di scelta del percorso e di movimento: raggiungono il luogo sicuro dal luogo in cui si trovano secondo quanto previsto dal piano di evacuazione § 2.4.2.
 - Velocità impostata: 1.4 m/s in accordo alla validazione § 3.2
3. Visitatori in numero definito pari a 831 persone
 - Compiti: non hanno funzioni specifiche nel caso di evacuazione.
 - Criteri di scelta del percorso e di movimento: i visitatori presenti all'interno del tribunale evacuano il luogo sicuro dopo l'emissione del segnale acustico secondo i percorsi previsti del piano di evacuazione § 2.4.2.
 - Velocità impostata: 1.4 m/s in accordo alla validazione § 3.2.

SIMULAZIONE 2

1. Il massimo degli occupanti, distribuiti nello spazio in funzione della destinazione d'uso § 3.1.
2. Addetti in numero come definito pari a 389 persone
 - Compiti: hanno funzioni specifiche nel caso di evacuazione in particolare saranno assegnate tali funzioni § 2.4.2.
GRUPPO A= 382 addetti che non hanno funzioni specifiche nel caso di evacuazione
GRUPPO B=1 addetto con funzione di coordinatore dell'emergenza del fabbricato
GRUPPO C=1 addetto con funzione di coordinatore dei contatti esterni
GRUPPO D=1 addetto con funzione di effettuare appello in luogo sicuro
GRUPPO E=1 addetto con funzione di azionare l'allarme antincendio
GRUPPO F=1 addetto con funzione di togliere la tensione dalle linee elettriche
GRUPPO G=1 addetto con funzione di sospendere l'erogazione di sostanze infiammabili
 - Criteri di scelta del percorso e di movimento: raggiungono il luogo sicuro dal luogo in cui si trovano secondo quanto previsto dal piano di evacuazione § 2.4.2.
 - Velocità impostata: 1.4 m/s in accordo alla validazione § 3.2.
3. Visitatori in numero definito pari a 831 persone
 - Compiti: non hanno funzioni specifiche nel caso di evacuazione.
 - Criteri di scelta del percorso e di movimento: i visitatori presenti all'interno del tribunale evacuano il luogo sicuro dopo l'emissione del segnale acustico secondo l'istruzione del piano di evacuazione § 2.4.2
 - Velocità impostata: 1.4 m/s in accordo alla validazione § 3.2.

SIMULAZIONE 3

4. Il massimo degli occupanti, distribuiti nello spazio in funzione della destinazione d'uso § 3.1.
5. Addetti in numero come definito pari a 389 persone
 - Compiti: vengono svolte funzioni di supporto per condurre i visitatori nel luogo sicuro nel caso di evacuazione.
 - Criteri di scelta del percorso e di movimento: raggiungono il luogo sicuro dal luogo in cui si trovano secondo un percorso alternative che utilizza la scala opposta all'ingresso principale § 2.5.3
 - Velocità impostata: 1.4 m/s in accordo alla validazione § 3.2.
6. Visitatori in numero definito pari a 831 persone
 - Compiti: non hanno funzioni specifiche nel caso di evacuazione.
 - Criteri di scelta del percorso e di movimento: i visitatori presenti all'interno del tribunale evacuano il luogo sicuro dopo l'emissione del segnale acustico secondo l'istruzione impartite dagli addetti secondo un percorso di uscita alternative al piano di evacuazione § 2.5.3
 - Velocità impostata: 1.4 m/s in accordo alla validazione § 3.2.

Nessun disabile è considerato nelle presenti simulazioni, né tra gli addetti né tra i visitatori. Considerando queste condizioni generiche utilizzate per tutte le simulazioni si definiscono nella *Tabella 2-3* le simulazioni riassunte che vengono svolte. Nell'applicare il software, per ogni scenario, si dovranno replicare le simulazioni almeno 5 volte e comunque un numero significativo per ottenere una divergenza tra le variabili di output inferiore al 10% [25]. In questo caso, nell'applicazione del software Pathfinder le simulazioni sono state svolte una sola volta perché si è evitato che effettuando la simulazione più volte i risultati non cambiano, in quanto la disposizione degli agenti all'interno delle stanze non cambia e quindi le interazioni restano sempre le stesse.

Scenario	Addetti		Visitatori	Tipo di esodo	Dispositivi di assistenza alle persone
	criterio di scelta del percorso	operazioni specifiche	criterio di scelta del percorso		
(1) Simulazione base	percorso imposto dal piano di emergenza	nessuna	percorso imposto dal piano di emergenza	simultaneo	solo allarme
(2) Applicazione piano di emergenza	percorso imposto dal piano di emergenza	Secondo il piano di emergenza	percorso imposto dal piano di emergenza	simultaneo	solo allarme
(3) Gestione dell'emergenza con percorso alternativo	percorso non imposto dal piano di emergenza (uso del corpo scala C e uscita prevista dal piano di emergenza)	nessuna	Percorso non imposto dal piano di emergenza	simultaneo	Allarme e gestione dell'esodo mediante il supporto di personale presente nei singoli uffici

Tabella 2-3: Riepilogo scenari di simulazione svolti in Pathfinder.

2.5.1. SIMULAZIONE 1: ESODO SIMULTANEO SECONDO PIANO DI EMERGENZA

Per definire la simulazione 1 con esodo simultaneo secondo il piano di emergenza del Tribunale si parte dalla definizione di tutti i criteri descritti nei §§ 2.3,2.4 per quanto riguarda la geometria, l'affollamento definito per ogni stanza di ogni piano, la velocità di esodo scelta, percorsi di esodo in caso di emergenza . Per l'esodo simultaneo l'emergenza insorge in una qualsiasi parte della struttura e all'avvio del sistema di allarme tutto l'edificio evacua al tempo 0 sec. Quindi nell'impostazione degli agenti in ogni stanza tutti hanno la partenza all'avvio dell'allarme non sono stati impostati tempi di pre-movimento Il primo scenario è riferito ad una configurazione che si definisce "simulazione 1". Questo scenario prevede da parte degli agenti l'utilizzo di percorsi definiti dal piano di evacuazione dell'edificio in fase di progettazione in condizione di emergenza incendio che prevede l'uso esclusivo delle scale del corpo scala A e B del tipo protette . In questa configurazione gli occupanti sono stati suddivisi in gruppi in funzione della loro ubicazione all'interno dell'edificio, a ciascuno di questi gruppi è stato assegnato un profilo e un comportamento specifico, ad ogni gruppo è stato assegnato Il percorso previsto nel piano di evacuazione. In questa simulazione non vengono simulate le funzioni demandate al personale in caso di emergenza (definiti nei capitoli precedenti come GRUPPO B,C,D,E,F,G). Dal punto di vista comportamentale (behavior), è stato impostato a tutti I gruppi il percorso attraverso l'opzione all'interno del software "Go to Room" per mezzo del quale gli individui effettuano l'evacuazione sulla base del criterio di selezione di una stanza da un insieme e si muovono verso di essa, sono inoltre state impostate anche delle opzioni sulle porte (accepted profile) affinché gli agenti accedessero attraverso una specifica porta come da piano di evacuazione. In questa simulazione e nelle successive gli agenti sono collocati negli spazi in modo coerente a quanto definito nel § 2.3 . I percorsi utilizzati per l'evacuazione sono quelli indicate nel Capitolo 2.4.2.

2.5.1.1. METODO DI ANALISI DEI RISULTATI DELLA SIMULAZIONE BASE

Nel caso della simulazione 1 con esodo simultaneo secondo il piano di emergenza ed evacuazione, sono stati esaminati i seguenti valori di output:

- Confronto tra percorsi imposti secondo il piano di evacuazione del Tribunale e percorsi effettivi che gli utenti hanno svolto;
- tempo di evacuazione massimo, tempo di evacuazione al 95% degli evacuanti totali sull'uscita principale dell'edificio e sulle uscite di piano;
- curve di evacuazione espresse in numero di persone che esce dall'edificio nell'unità di tempo, per l'intero edificio, per ogni piano e per ogni uscita;
- flusso totale degli evacuanti (pp/s) sull'uscita principale e per ogni uscita;
- numero di persone per piano nel tempo;

- Densità espresso come numero di persone all'interno di aree con superfici costanti nel tempo per i pianerottoli antistanti le uscite;
- Densità nei percorsi di esodo evidenziate attraverso mappe di calore, disponibile per ogni istante di tempo.

2.5.2. SIMULAZIONE 2: ESODO CON ADDETTI CHE SVOLGONO FUNZIONI SPECIFICHE

Nella simulazione 2 l'ulteriore valutazione che si andrà a fare per comprendere al meglio le dinamiche di esodo ed ottenere così un quadro completo sull'efficacia dell'evacuazione è andare ad analizzare all'interno dello scenario di simulazione il contributo riferito al personale con funzioni specifiche che gli vengono demandate in caso di emergenza, sono designate preventivamente e incaricati dell'attuazione delle misure di prevenzione incendio, di evacuazione dai luoghi di lavoro, in caso di pericolo. Vengono definiti i compiti e le specifiche funzioni da svolgere ad ognuno di essi nel momento in cui si viene a verificare una emergenza e si andranno a simulare all'interno dello scenario. La simulazione condotta successivamente alla riproduzione dello scenario definito "simulazione 1", è effettuato considerando lo stesso numero di evacuanti § 3.1., ma modificando le condizioni del percorso per alcuni agenti simulati come operatori interni all'edificio § 2.5.2.. Gli addetti che vengono simulati sono quelle riportate in § 2.4.2. Per quanto riguarda la geometria, l'affollamento definito per ogni stanza di ogni piano, la velocità di esodo scelta, percorsi di esodo rimane quello di riferimento esposti §§ 2.3,2.4.. Anche in questo scenario l'emergenza insorge in una qualsiasi parte della struttura e all'avvio del sistema di allarme tutto l'edificio evacua al tempo 0 sec con un evacuazione simultanea § 2.4.. Quindi nell'impostazione degli agenti in ogni stanza tutti hanno la partenza all'avvio dell'allarme.

Di seguito sono indicate per ogni figura prevista dal piano di evacuazione la definizione all'interno del software di tali agenti, la loro posizione nello scenario e il percorso che eseguiranno per concludere l'obiettivo:

- **Coordinatore dell'emergenza del fabbricato:** All'interno del software sarà definito con il profilo B e behavior B. Coerentemente alla funzione svolta da questa persona si è previsto di modellare tale agente all'interno del software con azioni e percorsi specifici che sono riportati nel seguito

Le azioni previste dall'agente "coordinatore dell'emergenza del fabbricato" prevedono un attesa di 60 secondi all'interno del suo ufficio previsto nella stanza 3.14 poi passerà al controllo dell'esodo ed effettuerà un controllo su tutti i piani su una parte dell'edificio, il controllo della restante parte sarà affidata all'agente "coordinatore dei contatti esterni". Nello specifico dopo l'attesa di 60 secondi seguirà le seguenti azioni:

- al livello 3; l'agente si dirige dal suo ufficio previsto nella stanza 3.14 verso i way point 3 e 4 presenti al livello e scende al livello 2 dal pianerottolo scala_B_3_1. In Figura 2-15 viene rappresentata la collocazione dei way point, che si configurano come punti dove l'agente si accerta dell'evacuazione degli uffici al livello 3. La posizione dell'agente non viene indicata per mantenere la riserva sulla distribuzione degli agenti negli uffici;

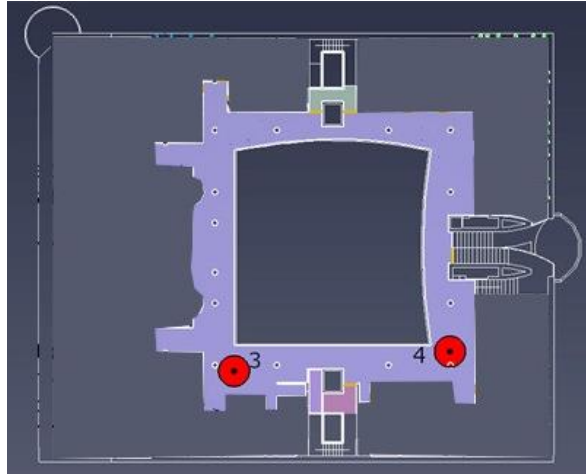


Figura 2–15 collocazione dei way point raggiunti dal coordinatore dell'emergenza del fabbricato per il livello 3.

- al livello 2; l'agente esce dal pianerottolo scala_B_2_1 si dirige verso i way point 8 e 7 presenti sul livello e scende al livello 1 dal pianerottolo scala_B_2_1. In Figura 2–16 vengono riportati i way point utilizzati dall'agente che si configurano come punti dove l'agente si accerta dell'evacuazione degli uffici al livello 2;



Figura 2–16: collocazione dei way point raggiunti dal coordinatore dell'emergenza del fabbricato per il livello 2.

- al livello 1; l'agente esce dal pianerottolo scala_B_1_1 si dirige verso i way point 12 e 11 presenti sul livello e scende al livello 0 passando dal pianerottolo scala_B_1_1. In Figura 2–17 vengono riportati i way point che vengono raggiunti dall'agente che si configurano come punti dove l'agente si accerta dell'evacuazione degli uffici al livello 1.



Figura 2–17: Collocazione dei way point raggiunti coordinatore dell'emergenza del fabbricato per il livello 1.

al livello 0; l'agente esce dal pianerottolo scala_B_0_1 si dirige verso il way point 15 presenti sul livello e scende al livello -1 passando dal pianerottolo scala_B_0_2. In *Figura 2–18* *Figura 2–17* vengono riportati i way point che vengono raggiunti dall'agente che si configurano come punti dove l'agente si accerta dell'evacuazione degli uffici del livello 0 .



Figura 2–18: Collocazione dei way point raggiunti coordinatore dell'emergenza del fabbricato per il livello 0.

- al livello -1; l'agente esce dal pianerottolo scala_B_-1_1 si dirige verso il way point 19 e 18 presenti sul livello e raggiunge l'uscita dell'edificio attraverso la rampa del corpo scala F. In *Figura 2–19* vengono riportati i way point che vengono raggiunti dall'agente che si configurano come punti dove si accerta dell'evacuazione degli uffici del livello -1.



Figura 2–19: Collocazione dei way point raggiunti coordinatore dell'emergenza del fabbricato per il livello -1.

- **Coordinatore dei contatti esterni:** All'interno del software sarà definito con il profilo C e behavior C. Coerentemente alla funzione svolta da questa persona si è previsto di modellare tale agente all'interno del software con azioni e percorsi specifici che verranno riportati nel seguito:

Le azioni previste dall'agente "coordinatore dei contatti esterni" profile C prevedono un attesa di 60 secondi all'interno del suo ufficio previsto nella stanza 3.10 poi passerà al controllo dell'esodo ed effettuerà un controllo su parte dell'edificio. Nello specifico dopo l'attesa di 60 secondi seguirà le seguenti azioni:

- al livello 3; l'agente si dirige verso i way point 1 e 2 presenti allivello e scende al livello 2 attraverso il pianerottolo scala_A_3_1. In Figura 2–20 viene rappresentata la collocazione dell'agente coordinatore dell'emergenza del fabbricato e la posizione dei way point che verranno raggiunti dall'agente, che si configurano come punti dove ci si accerta dell'evacuazione degli uffici.

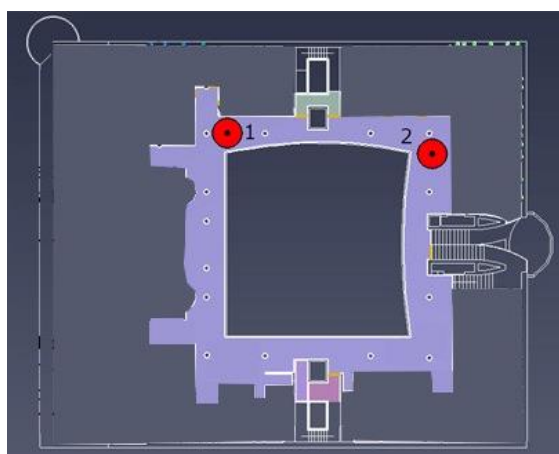


Figura 2–20: Collocazione dei way point raggiunti dal coordinatore dei contatti esterni per il livello 3.

- al livello 2; l'agente esce dal pianerottolo scala_A_2_1 si dirige verso i way point 6 e 5 presenti sul livello e scende al livello 1 dal pianerottolo scala_A_2_1 In Figura 2-21 vengono riportati i way point che vengono raggiunti dall'agente che si configurano come punti dove ci si accerta dell'evacuazione degli uffici del livello 2.

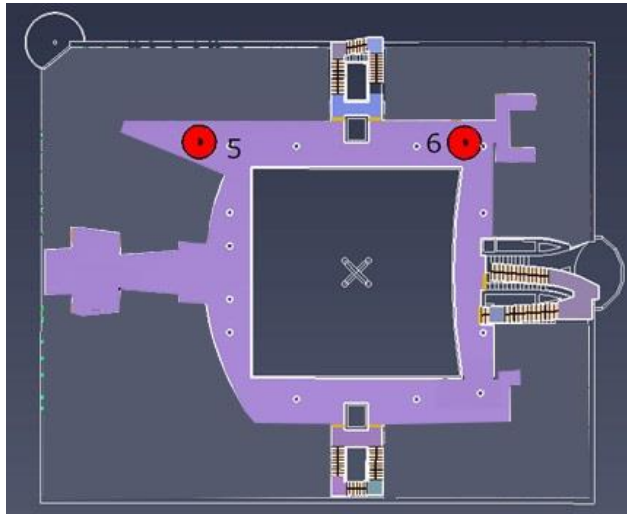


Figura 2-21: Collocazione dei way point raggiunti dal coordinatore dei contatti esterni per il livello 2.

- al livello 1; l'agente esce dal pianerottolo scala_A_1_1 si dirige verso i way point 10 e 9 presenti sul livello e scende al livello 0 passando dal pianerottolo scala_A_1_1. In Figura 2-22 vengono riportati i way point che vengono raggiunti dall'agente che si configurano come punti dove ci si accerta dell'evacuazione degli uffici nel livello 1.

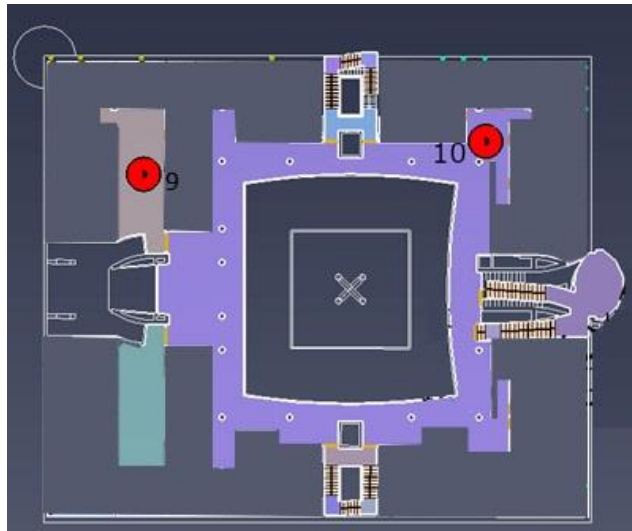


Figura 2-22 Collocazione dei way point raggiunti dal coordinatore dei contatti esterni per il livello 1.

- al livello 0; l'agente esce dal pianerottolo scala_A_0_1 si dirige verso il way point 14 presenti sul livello e scende al livello -1 passando dal pianerottolo scala_A_0_1. In Figura 2-23 viene riportato il way point che viene raggiunto dall'agente che si configura come punto dove si accerta dell'evacuazione degli uffici nel livello 0.



Figura 2–23: Collocazione dei way point raggiunti dal coordinatore dei contatti esterni per il livello 0.

- al livello -1; l'agente esce dal pianerottolo scala_A_-1_1 si dirige verso il way point 17 e 16 presenti sul livello e raggiunge l'uscita dell'edificio attraverso la rampa del corpo scala F. In Figura 2–24 vengono riportati i way point che vengono raggiunti dall'agente che si configurano come punti dove ci si accerta dell'evacuazione degli uffici.



Figura 2–24: Collocazione dei way point raggiunti dal coordinatore dei contatti esterni per il livello -1.

- **Addetto che effettua l'appello in luogo sicuro:** Nel limite delle possibilità e delle conoscenze acquisite in passato e nel momento dell'evacuazione gestisce l'identificazione dei presenti e la stima delle possibili persone presenti all'interno dell'edificio oggetto di valutazione. E' autorizzato a chiedere a tutti i presenti le informazioni necessarie al fine di identificare possibili persone in pericolo all'interno dell'edificio. Svolgerà la sua funzione all'esterno dell'edificio nell'area di zona sicura. All'interno del software sarà definito con il profilo C e behavior C. Coerentemente alla funzione svolta da questa persona si è previsto

di modellare tale agente all'interno del software con azioni e percorsi specifici che verranno riportati nel seguito:

Le azioni previste dall'agente "Addetto che effettua l'appello in luogo sicuro" prevedono che si diriga dal suo ufficio, previsto nella Room 1.28 verso l'uscita dell'edificio per raggiungere l'area sicura. Nello specifico il percorso previsto è quello definito dal piano di evacuazione, si riporta nello specifico il percorso che effettuerà per raggiungere la zona esterna all'edificio dove svolgerà le funzioni che gli sono state assegnate.

- al livello 1; l'agente si dirige dal suo ufficio Room 1.28 verso il corpo scala B , passerà dal pianerottolo scala_B_1_1 e scenderà al livello 0. In vengono riportati i way point che vengono raggiunti dall'agente e la collocazione dell'agente all'interno dello scenario che si configurano come punti dove ci si accerta dell'evacuazione degli uffici.
 - al livello 0; l'agente attraverserà il pianerottolo B_0_1 e andrà verso l'uscita dell'edificio passando per la rampa di accesso principale del corpo scala F.
- **Addetto che aziona l'allarme antincendio:** Provvede, autorizzato dal coordinatore dell'emergenza o da persona da lui incaricata, all'azionamento del sistema di allarme antincendio. Deve essere a conoscenza delle corrette modalità di azionamento del sistema di allarme preventivamente identificato per l'edificio. Tale addetto una volta autorizzato si recherà ad azionare manualmente l'allarme nel punto più vicino. All'interno del software sarà definito con il profilo E e behavior E. Coerentemente alla funzione svolta da questa persona si è previsto di modellare tale agente all'interno del software con azioni e percorsi specifici che verranno riportati nel seguito:

Le azioni previste dall'agente "Addetto che aziona l'allarme antincendio" profile E prevedono che si diriga dal suo ufficio, previsto nella Room 1.29 verso il pulsante di azionamento dell'allarme, successivamente effettuerà l'evacuazione insieme al resto degli agenti dell'edificio nelle modalità specificate nel piano di evacuazione. Nello specifico, si riporta il percorso che effettuerà tale agente.

- al livello 1; l'agente si dirige dal suo ufficio verso la pulsantiera di emergenza che si trova nei pressi del way point 13 dove è previsto un tempo di Wait pari a 2 secondi per svolgere l'obiettivo richiesto. Successivamente l'agente procederà all'evacuazione dirigendosi verso il pianerottolo scala_B_1_1 per raggiungere il livello 0. In Figura 2-25 viene rappresentata la posizione del way point che verrà raggiunto dall'agente per azionare l'allarme antincendio.

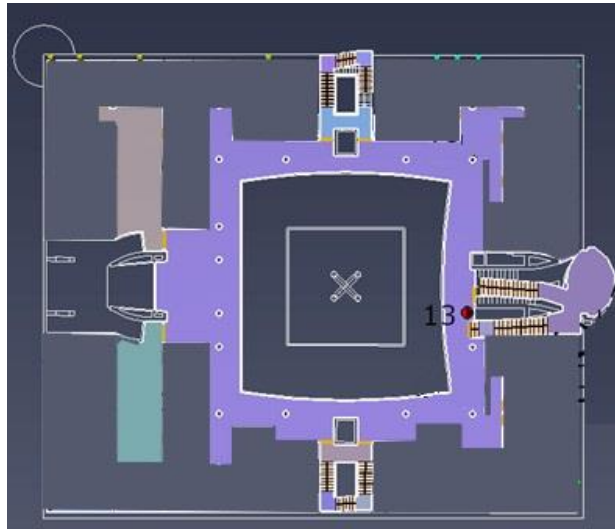


Figura 2–25: posizione way point verso il quale l’agente si dirigerà per azionare l’allarme al livello 1.

- al livello 0 ; l’agente attraverserà il pianerottolo B_0_1 e andrà verso l’uscita dell’ edificio passando per la rampa di accesso principale del corpo scala F.
- **Addetto che toglie la tensione dalle linee elettriche:** All’interno del software sarà definito con il profilo F e behavior F. Coerentemente alla funzione svolta da questa persona si è previsto di modellare tale agente all’interno del software con azioni e percorsi specifici che verranno riportati nel seguito:

Le azioni previste dall’agente “Addetto che toglie la corrente elettrica” profile F prevede che si diriga dal suo ufficio, previsto nella Room 0.9 verso la Room “quadro elettrica” che si colloca nel livello -2, effettuate le azioni richieste procederà all’evacuazione insieme al resto degli agenti dell’edificio nelle modalità specificate nel piano di evacuazione. Nello specifico, si riporta il percorso che effettuerà l’agente.

- al livello -1; l’agente transiterà per il pianerottolo A_-1_1 per raggiungere il livello -2;
- al livello -2; l’agente uscirà dal pianerottolo scala_A_-2_1 per raggiungere il livello la room “quadro elettrico”.

Il percorso di uscita prevede il passaggio dal pianerottolo scala_A_-2_1, l’uscita al pianerottolo scala_A_-1_1 del livello -1 e raggiungerà l’uscita dalla rampa del corpo scala F_-1_1.

- **Addetto che sospende l’erogazione di sostanze infiammabili:** All’interno del software sarà definito con il profilo G e behavior G. Coerentemente alla funzione svolta da questa persona si è previsto di modellare tale agente all’interno del software con azioni e percorsi specifici che verranno riportati nel seguito:

Le azioni previste dall’agente “Addetto che sospende l’erogazione delle sostanze infiammabili ”profile G prevede che si diriga dal suo ufficio, previsto nella Room 0.10 verso la Room “centrale termica” che si colloca nel livello -2, effettuate le azioni richieste procederà all’evacuazione insieme al resto degli agenti dell’edificio

nelle modalità specificate nel piano di evacuazione. Nello specifico, si riporta il percorso che effettuerà l'agente.

- al livello 0; l'agente si dirigerà dal suo ufficio verso il corpo scala A, accederà nel pianerottolo scala_A_0_1 per raggiungere il livello -2;
- al livello -1; l'agente transiterà per il pianerottolo A_-1_1 per raggiungere il livello -2;
- al livello -2; l'agente uscirà dal pianerottolo scala_A_-2_1 per raggiungere il livello la room "centrale termica".

Il percorso di uscita prevede il passaggio dal pianerottolo scala_B_-2_1 l'uscita al pianerottolo scala_B_-1_1 del livello -1 e il raggiungimento dell'uscita dell'edificio attraverso la rampa F*_-1_1.

2.5.2.1. METODO DI ANALISI DEI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI A FASI SUCCESSIVE

Per la simulazione proposta, i dati di output che caratterizzano lo scenario in esame sono:

1. Curva di evacuazione espressa in numero di persone che esce dall'edificio nell'unità di tempo;
2. Tempi di evacuazione dei singoli agenti simulate;
3. Distanze percorse dai singoli agenti modellati per completare l'evacuazione;
4. Densità nei percorsi di esodo evidenziando attraverso mappe di calore, eventuali condizioni critiche.

Una volta definiti i dati descritti sopra si riporta un confronto tra le simulazioni effettuate in particolare il confronto con la simulazione 1. In particolare si esegue:

1. Confronto tra le curve di evacuazione, espresse in numero di persone che esce dall'edificio nell'unità di tempo, in ogni simulazione § 3.3.2.; ;
2. Confronto sui Tempi di evacuazione dei singoli agenti simulati § 3.3.2.;
3. Confronto delle distanze percorse dai singoli agenti modellati per completare l'evacuazione § 3.3.2.;

2.5.3. SIMULAZIONE 3: ESODO CON PERCORSO ALTERNATIVO

Per definire la simulazione tutti i criteri che riguardano la geometria, l'affollamento definito per ogni stanza di ogni piano, la velocità di esodo scelta, rimangono gli stessi § 3.1 3.2.; mentre i percorsi di esodo non sono più quelli previsti dal piano di evacuazione ma vengono previsti percorsi alternativi come in Figura 2-26 Figura 2-27 Figura 2-28 Figura 2-29 Figura 2-30. Per questa simulazione l'emergenza insorge in una qualsiasi parte della struttura e all'avvio del sistema di allarme tutto l'edificio evacua al tempo 0 sec. Quindi nell'impostazione degli agenti in ogni stanza tutti hanno la partenza all'avvio dell'allarme. Questo scenario non prevede da parte degli agenti l'utilizzo di percorsi definiti dal piano di evacuazione dell'edificio. In questa configurazione è stata prevista una divisione della pianta in 3 quadranti effettuando una distribuzione degli agenti sui tre corpi scala presenti, ad ogni Gruppo appartenente ad un quadrante è stata assegnata l'uscita su uno dei corpi scala presenti. All'interno

del software gli occupanti sono stati suddivisi in gruppi in funzione della loro ubicazione all'interno dell'edificio, a ciascuno di questi gruppi è stato assegnato un profilo e un comportamento specifico, ad ogni gruppo è stato assegnato il percorso che li condurrà all'uscita dell'edificio. In questa simulazione non vengono simulate le funzioni demandate al personale in caso di emergenza (definiti nei capitoli precedenti come GRUPPO B, C, D, E, F, G). Dal punto di vista comportamentale (behavior), è stato impostato a tutti i gruppi il percorso attraverso l'opzione "Go to Room" per mezzo del quale gli individui effettuano l'evacuazione sulla base del criterio di selezione di una stanza da un insieme, e si muovono verso di essa, sono inoltre state impostate anche delle opzioni sulle porte (accepted profile) affinché gli agenti accedessero attraverso una specifica porta come da piano di evacuazione. In questa simulazione e gli agenti sono collocati negli spazi in modo coerente a quanto definito § 3.1 .

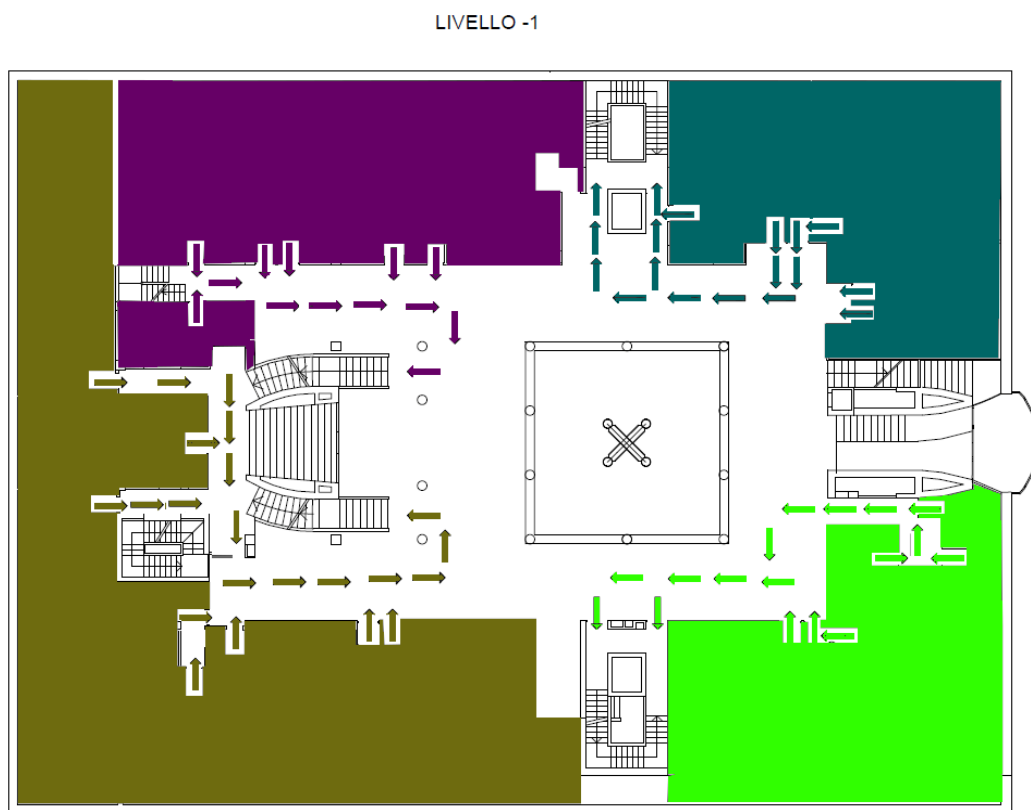


Figura 2-26: Percorsi svolti dagli utenti nel livello -1.

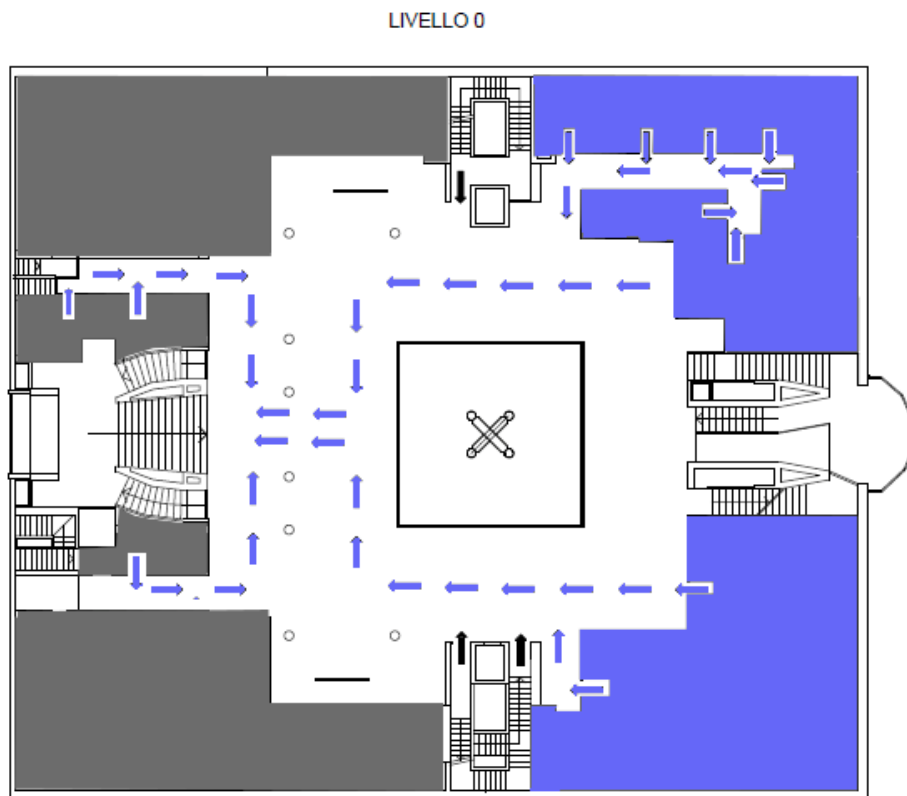


Figura 2–27: Percorsi svolti dagli utenti nel livello 0.

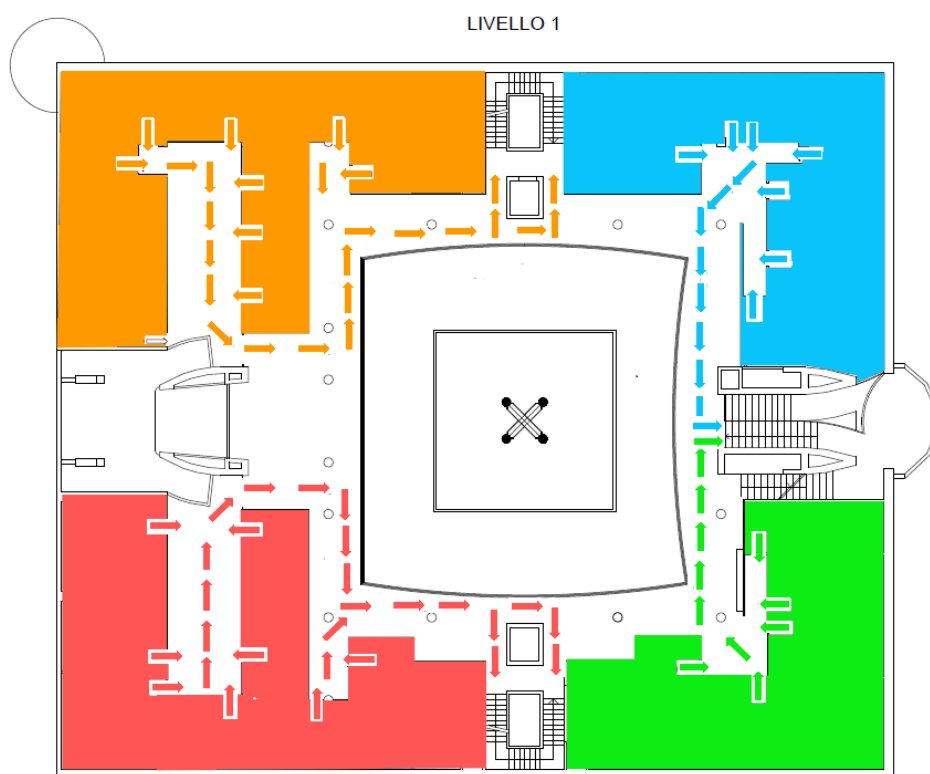


Figura 2–28: Percorsi svolti dagli utenti nel livello 1.



Figura 2-29: Percorsi svolti dagli utenti nel livello 2.

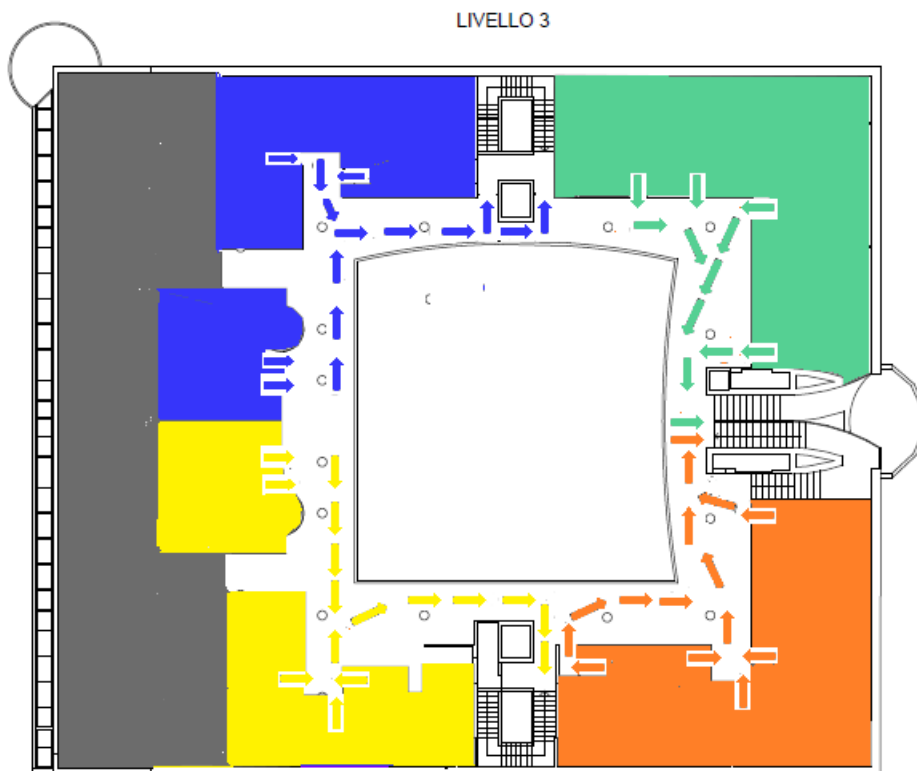


Figura 2-30: Percorsi svolti dagli utenti nel livello 3.

2.5.3.1. METODO DI ANALISI DEI RISULTATI DELLA SIMULAZIONE BASE

Nel caso della simulazione 1 con esodo simultaneo secondo il piano di emergenza ed evacuazione, sono stati esaminati i seguenti valori di output:

- confronto tra percorsi imposti secondo il piano di evacuazione del Tribunale e percorsi effettivi che gli utenti hanno svolto;
- tempo di evacuazione massimo, tempo di evacuazione al 95% degli evacuanti totali sull'uscita principale dell'edificio e sulle uscite di piano;
- curve di evacuazione espresse in numero di persone che esce dall'edificio nell'unità di tempo, per l'intero edificio, per ogni piano e per ogni uscita;
- flusso totale degli evacuanti (pp/s) sull'uscita principale e per ogni uscita;
- numero di persone per piano nel tempo;
- Densità espresso come numero di persone all'interno di aree con superfici costanti nel tempo per i pianerottoli antistanti le uscite;
- Densità nei percorsi di esodo evidenziate attraverso mappe di calore, disponibile per ogni istante di tempo.

Una volta definito per l'evacuazione i dati descritti sopra si riporta un confronto tra le 2 simulazioni considerando quella base descritta con esodo simultaneo (simulazione 1). In particolare si esegue:

1. confronto tra le curve di evacuazione, espresse in numero di persone che esce dall'edificio nell'unità di tempo, in ogni simulazione;

- caratterizzazione di ogni tratto di variazione di pendenza delle curve in base al flusso (pp/s);

- caratterizzazione in base al tempo di uscita totale di ogni simulazione;

2. confronto della variazione della densità, in ogni pianerottolo;

3. confronto curve di evacuazione, espresse in numero di persone che escono dalle uscite totale (porte di piano).

3. RISULTATI

3.1. STIMA DELL’AFFOLLAMENTO MASSIMO

Come mostrato dalla *Tabella 3-1*, il risultato della stima massima contemporanea totale definito sperimentalmente (1220 persone) è diversa dalla media calcolata stimando gli ingressi nell’arco della settimana (740 persone). Tuttavia, se si considera il valore riferito al giorno di maggior affluenza (giovedì-1154 persone) il valore risulta simile al valore del massimo affollamento definito sperimentalmente. Il confronto fatto tra l’affollamento risultante dai dati di normativa e quello pervenuto dai dati di monitoraggio del tribunale verifica come i dati scelti non siano collegati ad eccessive sovrastime, poiché la differenza percentuale tra queste due condizioni critiche è limitata a circa il 5%.

Giorno	Ingresso dx	Ingresso sx	Totale	Ingressi dipendenti stimati	Ingressi ospiti stimati	Stima max contemporanea
Mercoledì	210	1040	1250	500	750	1000
Giovedì	315	1089	1404	500	904	1154
Venerdì	166	754	920	500	420	670
Sabato	49	102	151	250	-99	151
Domenica						
Lunedì	144	765	909	500	409	659
Martedì	186	867	1053	500	553	803
MEDIA	178	770	948	458	490	740
Totale massimo affollamento da applicazione D.M. 03/08/2015	-	-	-	389	831	1220
Differenze percentuali tra D.M. 03/08/2015 e stima max contemporanea	-	-	-	-	+8,52%	+5,89%

Tabella 3-1: Valori stimati di massimo affollamento; le celle contraddistinte da “-” riguardano valori non applicabili. Periodo di riferimento: una settimana a febbraio 2019; dati forniti dal tribunale.

Per popolare lo scenario della simulazione, quindi, si considera il caso più sfavorevole che risulta essere quello derivante dall’analisi da D.M. 03/08/2015 § 2.3.23.3.2.; La distribuzione degli agenti all’interno delle stanze si omette per la sensibilità dell’informazione.

In definitiva si ottiene che per vari livelli si ha seguente numero di agenti presenti:

LIVELLO -2 AFFOLLAMENTO: N°13 PERSONE (di cui 13 dipendenti)

LIVELLO -1 AFFOLLAMENTO: N° 289 PERSONE (di cui 122 dipendenti 167 ospiti)

LIVELLO 0 AFFOLLAMENTO: N° 131 PERSONE (di cui 34 dipendenti 97 ospiti)

LIVELLO 1 AFFOLLAMENTO: N° 193 PERSONE (di cui 77 dipendenti 116 ospiti)

LIVELLO 2 AFFOLLAMENTO: N° 351 PERSONE (di cui 84 dipendenti 267 ospiti)

LIVELLO 3 AFFOLLAMENTO: N° 243 PERSONE (di cui 57 dipendenti 186 ospiti)

3.2. RISULTATI DI VALIDAZIONE DEL MODELLO

La validazione del software in relazione al nostro caso di studio viene eseguita con i due simulatori: Pathfinder e MassMotion. Si sono eseguite le simulazioni dei due scenari con gli input definiti in § 2.2.; e i risultati in output definiti in § 2.2.3.;. Quello che si ricava dai risultati è la velocità di esodo che si utilizza nella simulazione del caso di studio, il Tribunale di Pesaro, che minimizza gli errori e le differenze in termini di percentuali tra i due simulatori.

3.2.1. ANALISI DEGLI OUTPUT IN RELAZIONE AL CONFRONTO DEI RISULTATI TRA MASSMOTION E PATHFINDER

Come primo risultato analizzato una volta eseguite le simulazioni sono tutti i tempi di evacuazione definiti in § 2.2.3. Si riassumono nella *Tabella 3-2* tutti i tempi di evacuazione derivati dai due simulatori. Le varie simulazioni sono state nominate secondo un codice definito con (P) che sta per numero di persone con cui è stata svolta la simulazione (1, 10, 50, 100, 120, 320), (L) che definisce la larghezza del corridoio (8 m, 3 m), e (V) definisce la velocità con cui è stata svolta la simulazione (0,7 m/s e 1,4 m/s). Sono inserite inoltre nella tabella le differenze percentuali, calcolate secondo l'Equazione 2.

	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
P1-L8-V0.7	Tin,a'	63	62	1,59
	Tout,a	63	66	-4,76
	Tout,a'	63	66	-4,76
	Tin,a	60	62	-3,33
	Tout,f	122	133	-9,02
	Tout,f'	122	133	-9,02
	Tin,c'	17	19	-11,76
	Tin,c	17	19	-11,76
	P10-L8-V0.7	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder
Tin,a'		47	45	4,26
Tout,a		73	74	-1,37
Tout,a'		47	47	0
Tin,a		71	69	2,82
Tout,f		134	140	-4,48
Tout,f'		107	116	-8,41
Tin,c'		1	2	-100

	Tin,c	28	26	7,14
P50-L8-V0.7	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	47	45	4,26
	Tout,a	77	76	1,3
	Tout,a'	47	49	-4,26
	Tin,a	75	71	5,33
	Tout,f	138	166	-20,29
	Tout,f'	107	116	-8,41
	Tin,c'	1	2	-100
	Tin,c	30	28	6,67
P100-L8-V0.7	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	46	45	2,17
	Tout,a	83	80	3,61
	Tout,a'	46	49	-6,52
	Tin,a	81	76	6,17
	Tout,f	146	148	-1,37
	Tout,f'	106	117	-10,38
	Tin,c'	1	2	-100
Tin,c	34	32	5,88	
P1-L8-V1.4	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	31	32	-3,23
	Tout,a	31	34	-9,68
	Tout,a'	31	34	-9,68
	Tin,a	30	32	-6,67
	Tout,f	61	67	-9,84
	Tout,f'	61	67	-9,84
	Tin,c'	9	10	-11,11
Tin,c	9	10	-11,11	
P10-L8-V1.4	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	24	23	4,17
	Tout,a	37	37	0
	Tout,a'	24	25	-4,17
	Tin,a	36	35	2,78
	Tout,f	67	71	-5,97
	Tout,f'	54	59	-9,26
	Tin,c'	1	1	0
Tin,c	14	14	0	
P50-L8-V1.4	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale

	Tin,a'	24	23	4,17
	Tout,a	39	38	2,56
	Tout,a'	24	25	-4,17
	Tin,a	37	36	2,7
	Tout,f	69	72	-4,35
	Tout,f'	54	59	-9,26
	Tin,c'	1	1	0
	Tin,c	15	15	0
P100-L8-V1.4	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	24	23	4,17
	Tout,a	42	40	4,76
	Tout,a'	24	25	-4,17
	Tin,a	41	38	7,32
	Tout,f	74	74	0
	Tout,f'	53	59	-11,32
	Tin,c'	0	2	-100
	Tin,c	17	16	5,88

P1-L3-V0.7	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	63	58	7,94
	Tout,a	63	63	0
	Tout,a'	63	63	0
	Tin,a	60	58	3,33
	Tout,f	122	130	-6,56
	Tout,f'	122	130	-6,56
	Tin,c'	17	16	5,88
	Tin,c	17	16	5,88
P10-L3-V0.7	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	46	46	0
	Tout,a	74	74	0
	Tout,a'	46	51	-10,87
	Tin,a	71	70	1,41
	Tout,f	134	141	-5,22
	Tout,f'	106	118	-11,32
	Tin,c'	1	3	-200
	Tin,c	28	27	3,57
P50-L3-V0.7	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	47	44	6,38
	Tout,a	84	84	0

	Tout,a'	47	49	-4,26
	Tin,a	82	80	2,44
	Tout,f	148	152	-2,7
	Tout,f'	106	116	-9,43
	Tin,c'	2	1	50
	Tin,c	35	35	0
P100-L3-V0.7	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	46	44	4,35
	Tout,a	96	112	-16,67
	Tout,a'	46	49	-6,52
	Tin,a	94	106	-12,77
	Tout,f	162	189	-16,67
	Tout,f'	106	116	-9,43
	Tin,c'	1	1	0
	Tin,c	44	47	-6,82
P1-L3-V1.4	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	31	30	3,23
	Tout,a	31	32	-3,23
	Tout,a'	31	32	-3,23
	Tin,a	30	30	0
	Tout,f	61	65	-6,56
	Tout,f'	61	65	-6,56
	Tin,c'	9	8	11,11
	Tin,c	9	8	11,11
P10-L3-V1.4	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	24	24	0
	Tout,a	37	38	-2,7
	Tout,a'	24	26	-8,33
	Tin,a	36	36	0
	Tout,f	67	71	-5,97
	Tout,f'	54	59	-9,26
	Tin,c'	1	2	-100
	Tin,c	14	14	0
P50-L3-V1.4	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	23	23	0
	Tout,a	46	43	6,52
	Tout,a'	23	25	-8,7
	Tin,a	45	41	8,89

	Tout,f	80	77	3,75
	Tout,f	54	58	-7,41
	Tin,c'	1	1	0
	Tin,c	19	18	5,26
P100-L3-V1.4	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	23	23	0
	Tout,a	63	58	7,94
	Tout,a'	23	25	-8,7
	Tin,a	62	55	11,29
	Tout,f	99	95	4,04
	Tout,f'	53	58	-9,43
	Tin,c'	1	1	0
	Tin,c	30	24	20
P120-L8-V0.7	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	46	45	2,17
	Tout,a	85	82	3,53
	Tout,a'	46	49	-6,52
	Tin,a	82	78	4,88
	Tout,f	149	151	-1,34
	Tout,f'	106	116	-9,43
	Tin,c'	1	2	-100
	Tin,c	35	32	8,57
P120-L8-V1.4	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	23	23	0
	Tout,a	44	43	2,27
	Tout,a'	23	25	-8,7
	Tin,a	43	41	4,65
	Tout,f	78	77	1,28
	Tout,f'	53	59	-11,32
	Tin,c'	0	1	0
	Tin,c	18	18	0
P120-L3-V0.7	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	46	44	4,35
	Tout,a	100	59	41
	Tout,a'	46	49	-6,52
	Tin,a	98	53	45,92
	Tout,f	168	202	-20,24
	Tout,f'	106	116	-9,43
	Tin,c'	1	2	-100

	Tin,c	47	52	-10,64
P120-L3-V1.4	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	23	23	0
	Tout,a	70	62	11,43
	Tout,a'	23	25	-8,7
	Tin,a	69	59	14,49
	Tout,f	107	102	4,67
	Tout,f'	53	58	-9,43
	Tin,c'	1	1	0
	Tin,c	34	27	20,59
P320-L8-V0.7	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	46	44	4,35
	Tout,a	103	123	-19,42
	Tout,a'	46	49	-6,52
	Tin,a	100	117	-17
	Tout,f	170	202	-18,82
	Tout,f'	106	116	-9,43
	Tin,c'	1	1	0
	Tin,c	50	53	-6
P320-L8-V1.4	TEMPO (s)	MassMotion	Pathfinder	variazione percentuale
	Tin,a'	23	23	0
	Tout,a	71	62	12,68
	Tout,a'	23	25	-8,7
	Tin,a	69	59	14,49
	Tout,f	109	101	7,34
	Tout,f'	53	58	-9,43
	Tin,c'	0	1	0
	Tin,c	34	27	20,59

Tabella 3-2: Riassunto tempi di evacuazione descritti in output.

Dalla tabella, quindi dai risultati nei diversi scenari, sono emerse le differenze descritte di seguito tra i due simulatori. Nello specifico, il tempo di ingresso nel corridoio della prima persona (Tin,c') ha variazione massima pari al 5.88% (P1-L3-V-0.7): tale differenza è più accentuata nei casi in cui ci sono meno agenti, ed è dovuta ad una disposizione differente degli agenti nel corridoio iniziale dove vengono generati in maniera randomica e differente nei due software. Rispettando il limite del 10%, tali differenze risultano scarsamente significative. Nei casi in cui c'è una maggiore densità di occupanti, la differenza tra i tempi di ingresso nel corridoio si riduce in via generale: all'aumentare della densità, infatti, diminuiscono le differenze legate alla disposizione randomica del punto di partenza. Per quanto riguarda i tempi di ingresso nel corridoio dell'ultima persona (Tin,c) sono poco significativi, perché anch'essi sono influenzati dalla disposizione all'interno dell'area degli agenti. Se si considera i tempi di ingresso dall'area di controllo (Tin,a' e Tin,a) si registrano delle differenze percentuali tra i tempi dei due software soprattutto nelle condizioni di alta densità e condizioni di velocità maggiori con un massimo della differenza percentuale del 41% nella simulazione P-120-L3-V0.7; Tale condizione fa presupporre che nella zona dell'area di controllo si verificano delle interazione

che vanno a rallentare il flusso degli agenti. Per quanto riguarda i tempi di uscita dal corridoio finale la variazione dei tempi di uscita della prima persona si riduce rispetto alla differenza degli altri tempi di tutto il corridoio e pari ad un massimo di differenza percentuale dell'11,32% nella simulazione P120-L8-V1.4. Come per le simulazioni descritte sopra e riassunte in *Tabella 3-3*, si sono eseguite di conseguenza le simulazioni con la densità di 2 p/m² e confrontate i tempi di uscita considerando sempre le differenze percentuali tra i risultati dei due software, calcolata sempre secondo l'equazione 2.

	Tratto considerato	Tempo di uscita MassMotion	Tempo di uscita Pathfinder	Differenza percentuale
P100-L8-V0.7	Corridoio iniziale	32	31	3,12
	Corridoio	78	75	3,85
	Area di controllo	83	79	4,82
	Corridoio finale	146	148	-1,37
P100-L8-V1.4	Tratto considerato	Tempo di uscita MassMotion	Tempo di uscita Pathfinder	Differenza percentuale
	Corridoio iniziale	16	15	6,25
	Corridoio	40	37	7,5
	Area di controllo	42	39	7,14
P100-L3-V0.7	Tratto considerato	Tempo di uscita MassMotion	Tempo di uscita Pathfinder	Differenza percentuale
	Corridoio iniziale	42	46	-9,52
	Corridoio	92	105	-14,13
	Area di controllo	96	111	-15,63
P100-L3-V1.4	Tratto considerato	Tempo di uscita MassMotion	Tempo di uscita Pathfinder	Differenza percentuale
	Corridoio iniziale	28	23	17,86
	Corridoio	61	54	11,48
	Area di controllo	63	57	9,52
P100-L3-V1.4	Corridoio finale	99	94	5,05

	Tratto considerato	Tempo di uscita MassMotion	Tempo di uscita Pathfinder	Differenza percentuale
P120-L3-V0.7	Corridoio iniziale	45	51	-13,33
	Corridoio	96	112	-16,67
	Area di controllo	100	118	-18
	Corridoio finale	167	201	-20,36
P120-L3-V1.4	Tratto considerato	Tempo di uscita MassMotion	Tempo di uscita Pathfinder	Differenza percentuale
	Corridoio iniziale	32	26	18,75
	Corridoio	68	58	14,71
	Area di controllo	70	61	12,86
	Corridoio finale	106	101	4,72
P320-L8-V0.7	Tratto considerato	Tempo di uscita MassMotion	Tempo di uscita Pathfinder	Differenza percentuale
	Corridoio iniziale	48	52	-8,33
	Corridoio	98	116	-18,37
	Area di controllo	103	122	-18,45
	Corridoio finale	170	201	-18,24
P320-L8-V1.4	Tratto considerato	Tempo di uscita MassMotion	Tempo di uscita Pathfinder	Differenza percentuale
	Corridoio iniziale	32	26	18,75
	Corridoio	68	58	14,71
	Area di controllo	71	61	14,08
	Corridoio finale	108	100	7,41

Tabella 3-3: Differenze percentuali tempi di uscita.

Si è ulteriormente verificata la differenza dei risultati tra MassMotion e Pathfinder. I software discostano sui tempi di uscita dai vari tratti del corridoio. Dall'analisi effettuata se si considerano le simulazioni con una presenza di persone superiore a cento risulta che la variazione percentuale dei tempi di uscita per le simulazioni P100-L8-V0.7 e P100-L8-V1.4, in condizioni non disturbate è simile (corridoio largo e bassa densità) e variano al massimo del 7.50 % nel tratto definito corridoio. Nelle simulazioni P100-L3-V0.7 gli agenti, con il software Pathfinder raggiungono l'uscita più velocemente rispetto a MassMotion con una differenza massima percentuale pari al 16,67% nel corridoio finale. La variazione è pressoché costante lungo

tutto il tratto di simulazione. Nella stessa simulazione descritta sopra la variazione percentuale tra l'uscita dal corridoio iniziale e l'uscita del corridoio finale è del 6%. Nella simulazione con P100-L3-V1.4 l'uscita degli agenti è più veloce con MassMotion ma si verifica un processo in cui la variazione percentuale sui tempi di uscita decresce lungo l'intero tratto del corridoio fino ad una differenza percentuale pari al 5% nel corridoio finale. Nella simulazione P120-L3-V0.7 e P120-L3-V1.4 si verifica lo stesso fenomeno: a velocità bassa gli agenti che escono prima sono quelli simulati con Pathfinder con una differenza percentuale massima del 20% registrata sul corridoio finale e la differenza rispetto al corridoio iniziale sempre considerando Pathfinder è del 7%. Nella simulazione P120_L3_V1.4 gli agenti escono prima con MassMotion. Si registra nei casi di simulazione con velocità maggiore un decremento delle differenze percentuali partendo dal corridoio iniziale fino al corridoio finale (nella simulazione P-120-L3-V1.4 si ha una differenza percentuale che varia da 18,75% corridoio iniziale al 4.72% corridoio finale). Nelle condizioni di velocità più alta le variazioni percentuali sui tempi di uscita registrati nel corridoio finale hanno i valori più simili nei due software. Lo stesso risultato descritto nelle precedenti simulazioni si presentano nelle simulazioni con 320 persone. In conclusione si verificano differenze tra i due software dovute da processi di smaltimento delle code differenti. Con le simulazioni di Pathfinder a velocità basse e densità alte gli agenti escono più velocemente con una variazione sui tratti pressoché costante ma con variazione percentuale alte; Mentre con MassMotion escono più velocemente a velocità maggiore e densità alta ma con differenze percentuali che decrescono lungo il tratto e assumono valori che sono confrontabili con quelli di Pathfinder nel corridoio finale. Le differenze minori tra i due software si hanno nelle simulazioni con velocità maggiori (1.4 m/s). Il confronto in termini di densità istantanea (p/m^2) e flusso normalizzato ($p/s*m$) nell'area di controllo mostra la differenza, tra i due simulatori, circa la distribuzione della densità istantanea e del flusso normalizzato. Tale differenza è evidente specialmente in riferimento alle simulazioni con densità maggiori e velocità minori Figura 3–1. Le stesse condizioni di occupazione e velocità sono le più critiche in tutte le comparazioni, lungo tutto il percorso.

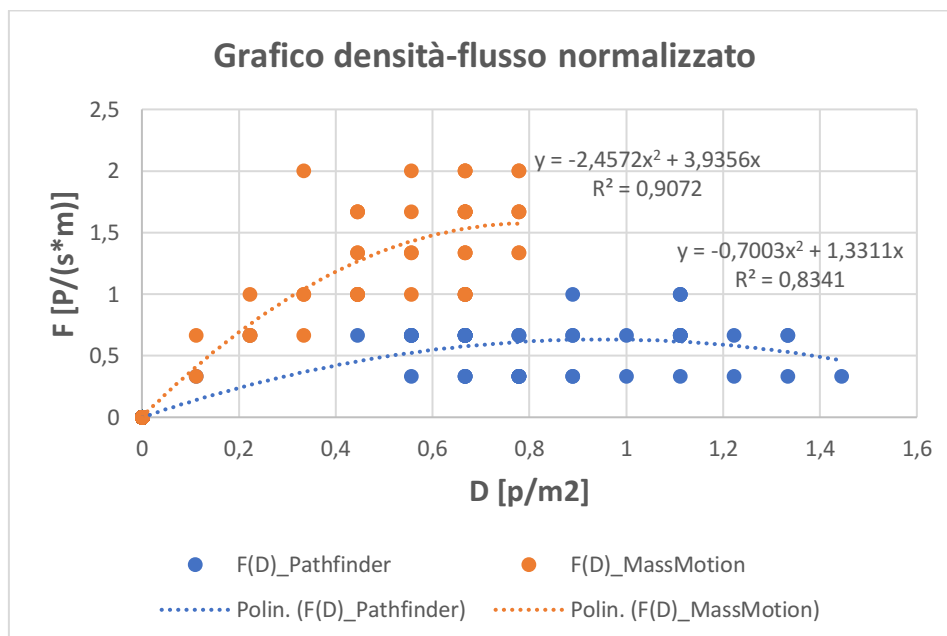


Figura 3–1: Grafico densità-flusso normalizzato della simulazione P100-L3-V0.7 (grafica blu, viene indicato il risultato di Pathfinder e con la grafica arancione, viene indicato il risultato di MassMotion).

Una divergenza sostanziale si evince anche da un'ulteriore analisi fatta considerando solo la densità ad ogni secondo relativa all'area di controllo. Si vede che con Massmotion la densità nell'area di controllo, dopo un primo tratto approssimativamente costante, segue un decremento lineare e lo smaltimento della coda avviene in maniera più ordinata. Nel caso di Pathfinder invece, ad un primo tratto approssimativamente

costante e coincidente con MassMotion, segue un aumento di densità nell'area sempre più grande all'aumentare del tempo e risulta una congestione nell'area dovuta ad uno smaltimento della coda come riportato in Figura 3–2).

Grafico Tempo-Densità

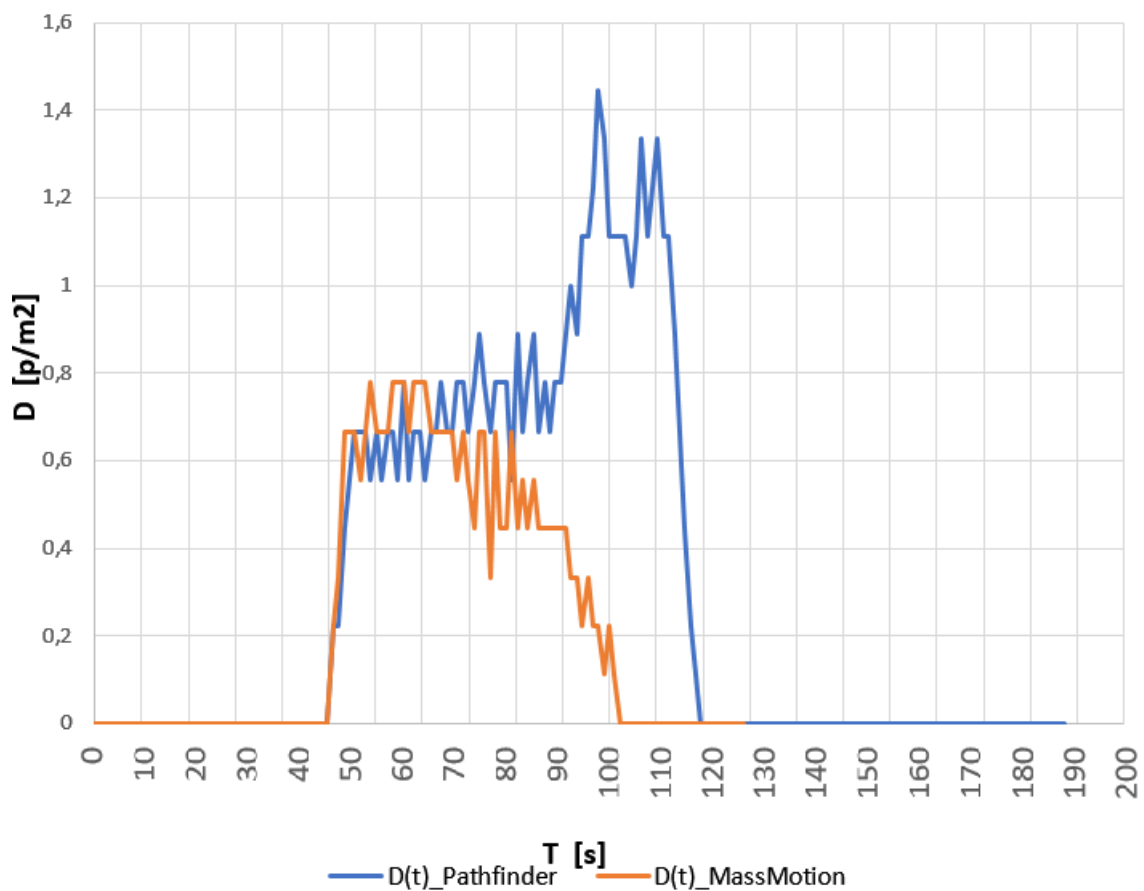


Figura 3–2: Grafico tempo-densità della simulazione P100-L3-V0.7 all'interno della stanza di controllo. (con la grafica blu si indica il risultato di Pathfinder e con la grafica arancione si indica il risultato di MassMotion).

Lo stesso risultato si nota confrontando il flusso ad ogni istante alla porta di uscita dell'area di controllo: nella simulazione con MassMotion, il valore di flusso normalizzato per ogni istante è più alto e costante rispetto a quello di Pathfinder, dove l'andamento è invece pressoché costante per tutto il tempo, ed ha un valore minore. Il tempo di smaltimento risulta più breve con MassMotion rispetto a Pathfnider, che ha un tempo più lungo di deflusso più ordinato Figura 3–3 (in altre parole, possibili limitazioni di densità e flusso lungo la sezione di uscita portano ad una più lenta risoluzione della congestione).

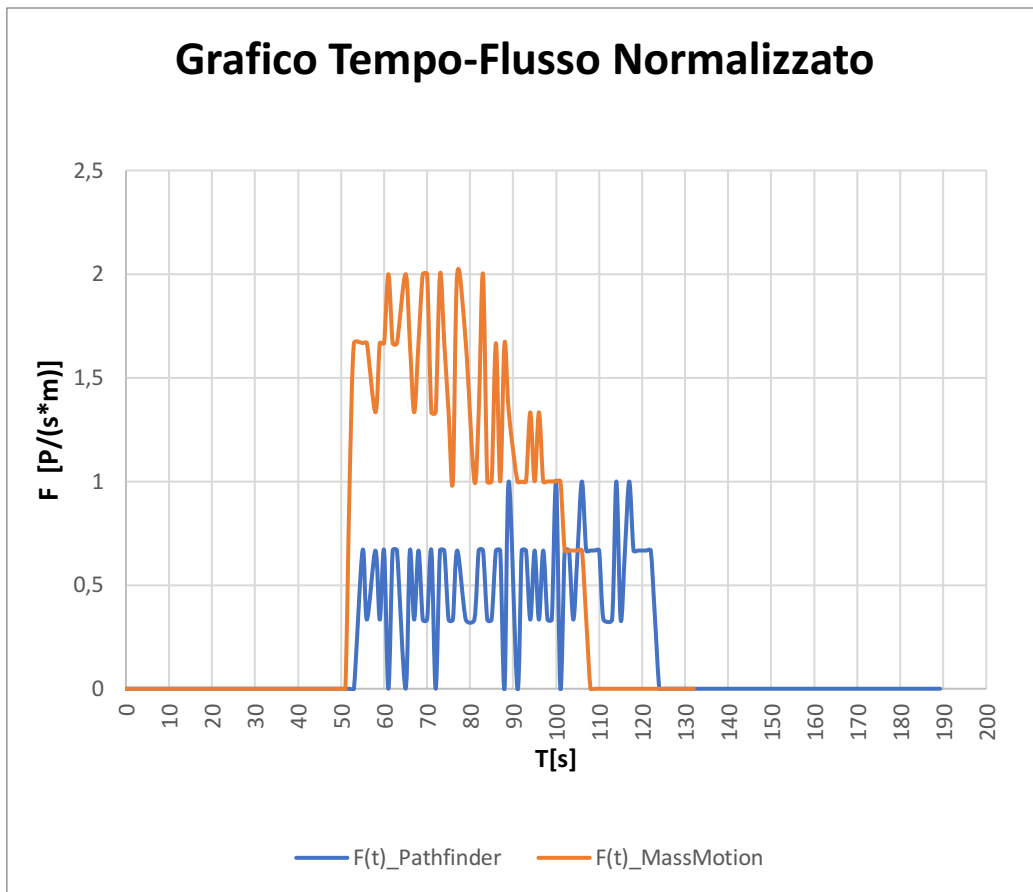


Figura 3–3: Grafico tempo-flusso normalizzato della simulazione P100-L3-0.7 della porta di uscita dell'area di controllo (con la grafica blu viene indicato il risultato di Pathfinder e con la grafica arancione viene indicato il risultato di MassMotion).

Per valutare dove si verifica la congestione si sono messi a confronto i tempi di percorrenza delle persone nei vari tratti del corridoio e ne è uscito che localmente (nell'area di controllo e nel corridoio finale) i comportamenti sono diversi perché diverse sono le logiche di smaltimento delle code § 2.1. tra i due simulatori (vedi Figura 3–4, Figura 3–5, Figura 3–6, Figura 3–7).

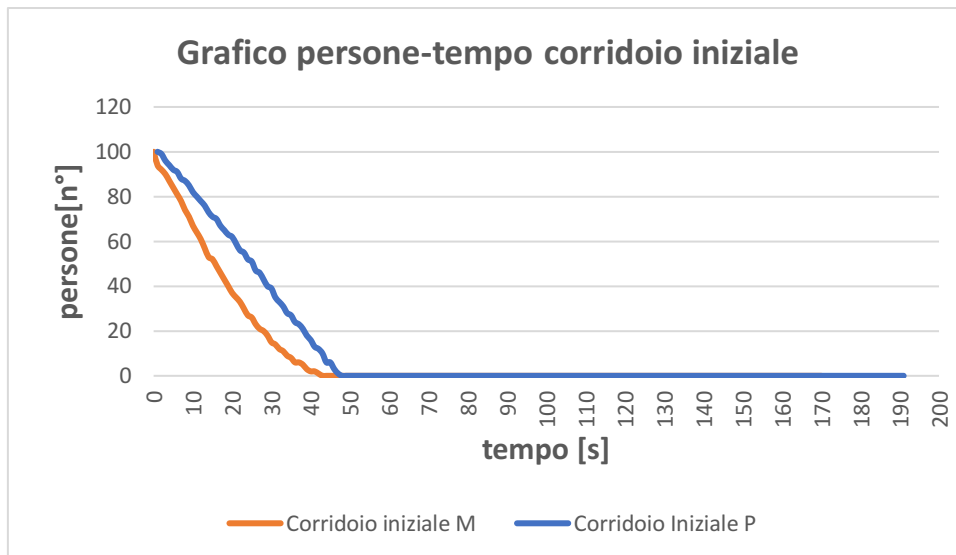


Figura 3-4: Confronto grafico persone-tempo corridoio iniziale simulazione P100-L3-V0.7 8 (con la grafica blu viene indicato il risultato di Patfinder e con la grafica arancione viene indicato il risultato di MassMotion).

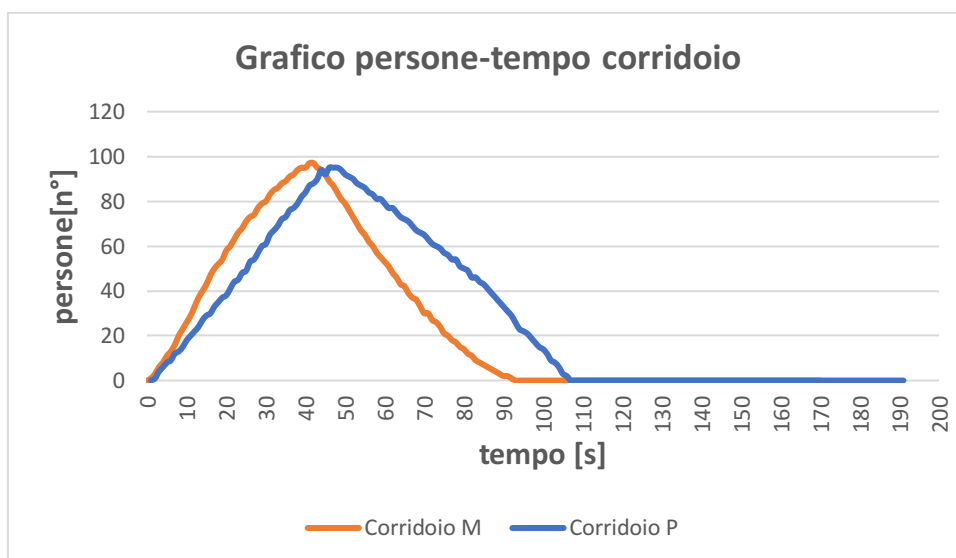


Figura 3-5: Confronto grafico persone-tempo corridoio simulazione P100-L3-V0.7 (con la grafica blu viene indicato il risultato di Patfinder e con la grafica arancione viene indicato il risultato di MassMotion).

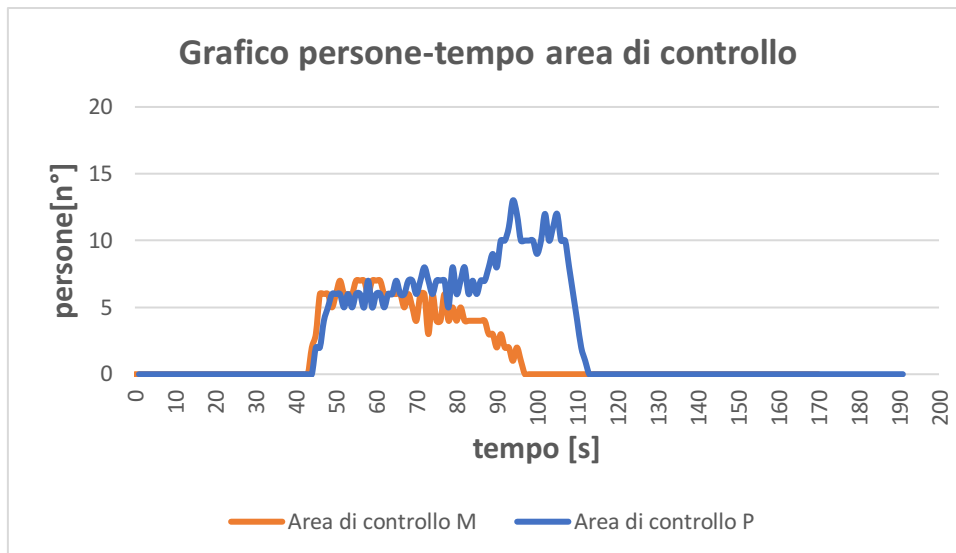


Figura 3-6: Confronto grafico persone-tempo corridoio iniziale simulazione P100-L3-V0.7 (con la grafica blu viene indicato il risultato di Pathfinder e con la grafica arancione viene indicato il risultato di MassMotion).

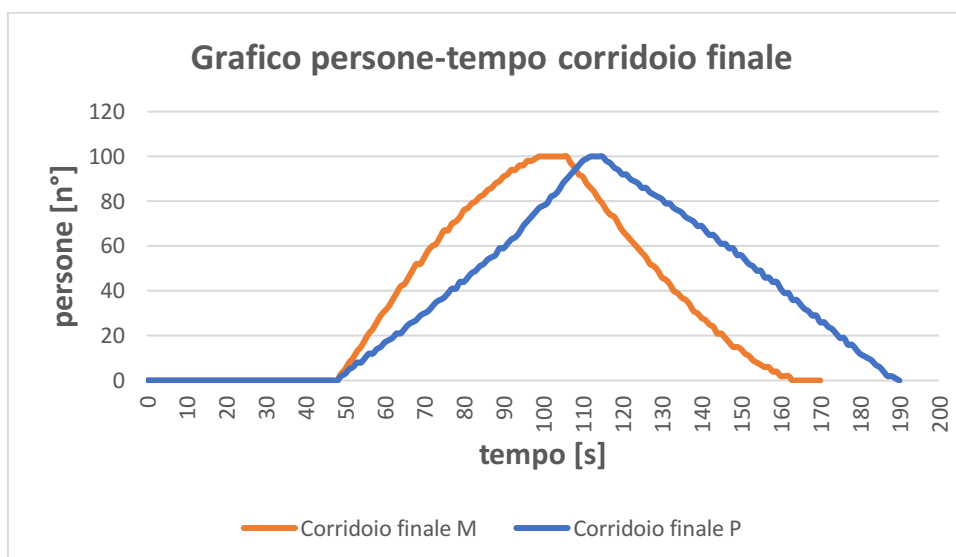


Figura 3-7: Confronto grafico persone-tempo corridoio finale simulazione P100-L3-V0.7 (con la grafica blu viene indicato il risultato di Pathfinder e con la grafica arancione viene indicato il risultato di MassMotion).

Anche nelle simulazioni con densità di 2 persone/m² (i tempi sono inseriti nella tabella 7 e nella tabella 8), gli andamenti delle persone nelle diverse parti del corridoio con il grafico persone-tempo, conferma quanto descritto dai grafici precedenti. Si ripota come risultato essenziali quelli derivati dalla simulazione nel corridoio di larghezza 3 m, come visto simile al caso di studio. Alla luce di tutto quello descritto sopra come già detto per le simulazioni del caso di studio si userà come dato di input la velocità di 1.4 m/s.

3.3. RISULTATI SIMULAZIONI EVACUAZIONE CASO DI STUDIO: DEFINIZIONE OUTPUT ANALIZZATI

Terminata la simulazione, il software restituisce diverse tipologie di output che permettono di fare delle valutazioni sul modello analizzandolo sotto differenti aspetti. L'output principale previsto dal programma è un visualizzatore di risultati 3D, che consiste in un lettore video che permette di riprodurre lo svolgimento dell'esodo simultaneamente alla navigazione dentro il modello stesso da parte dell'utente, altro tipo di risultato sono file da cui è possibile estrarre informazioni in termini di tempi su gli elementi chiamati door e sulle room e occupanti. Per eseguire un'analisi comparativa si elaboreranno i dati output ottenuti così da avere una valutazione più leggibile e comprensibile dei fenomeni che si vengono a creare nei punti significativi dei vari piani. La nomenclatura delle porte e dei pianerottoli viene indicata nelle Figura 3-8, Figura 3-9, Figura 3-10, Figura 3-11, Figura 3-12, Figura 3-13 e varranno per tutte le simulazioni. In particolare le porte analizzate saranno identificate da una lettera che individua il corpo scala (A,B,C,F) un secondo numero che ne indica il livello (-2,-1,0,1,2,3), e un terzo numero che distingue l'ingresso al corpo scala visto e considerato che c'è la presenza di due ingressi per ogni corpo scala (1,2).

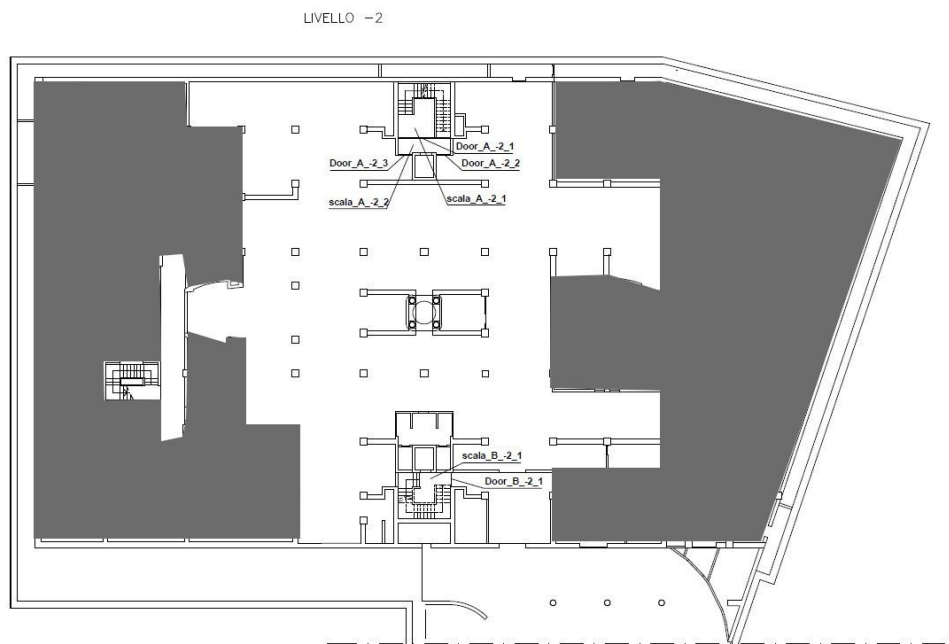


Figura 3-8: Nomenclatura delle porte e dei pianerottoli sul quale verranno estrapolati i dati per il livello -2.

LIVELLO -1

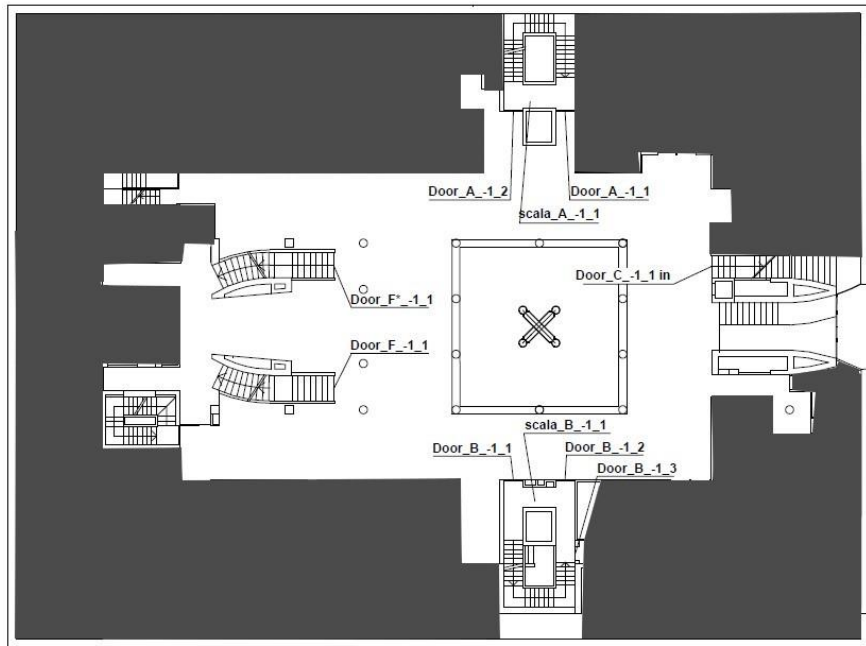


Figura 3-9: Nomenclatura delle porte e dei pianerottoli sul quale verranno estrapolati i dati per il livello -1.

LIVELLO 0

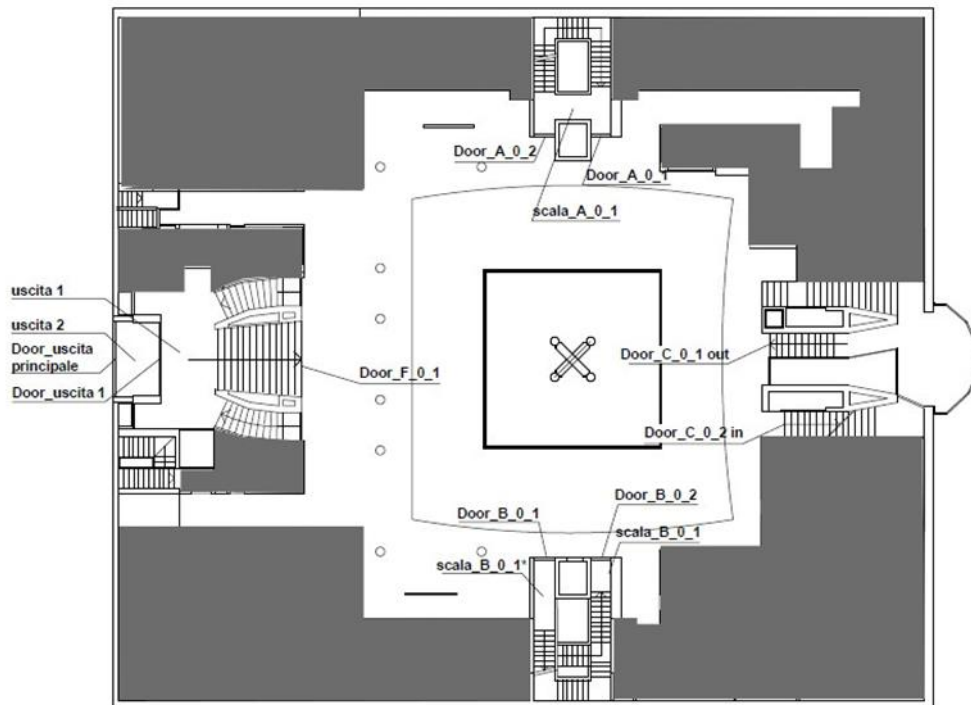


Figura 3-10: Nomenclatura delle porte e dei pianerottoli sul quale verranno estrapolati i dati.

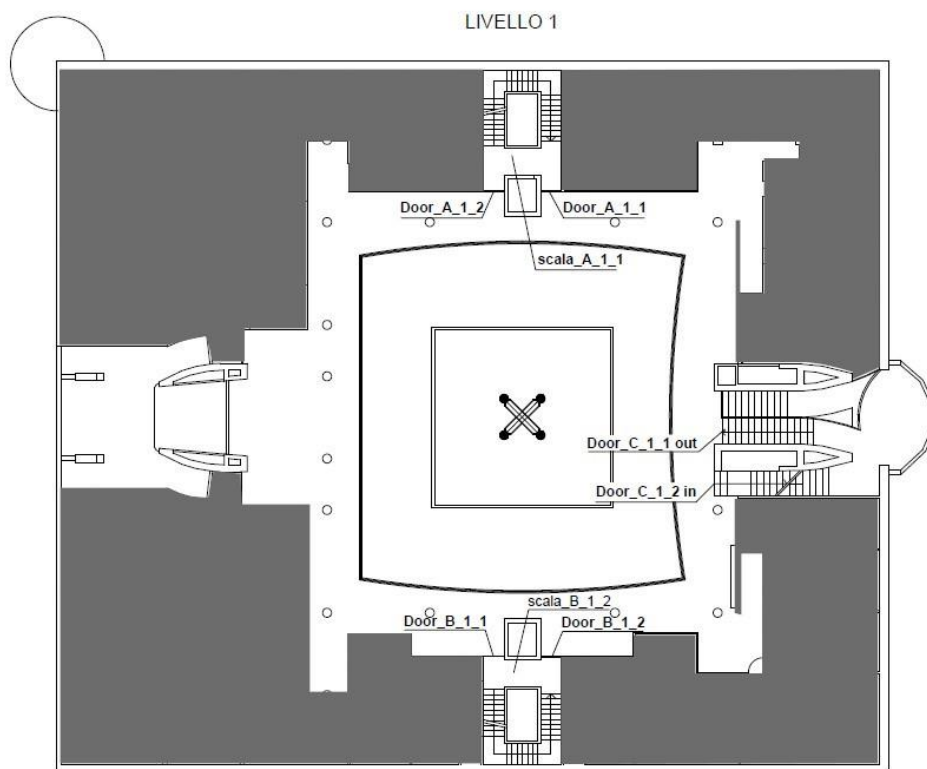


Figura 3–11: Nomenclatura delle porte e dei pianerottoli sul quale verranno estrapolati i dati per il livello 1.

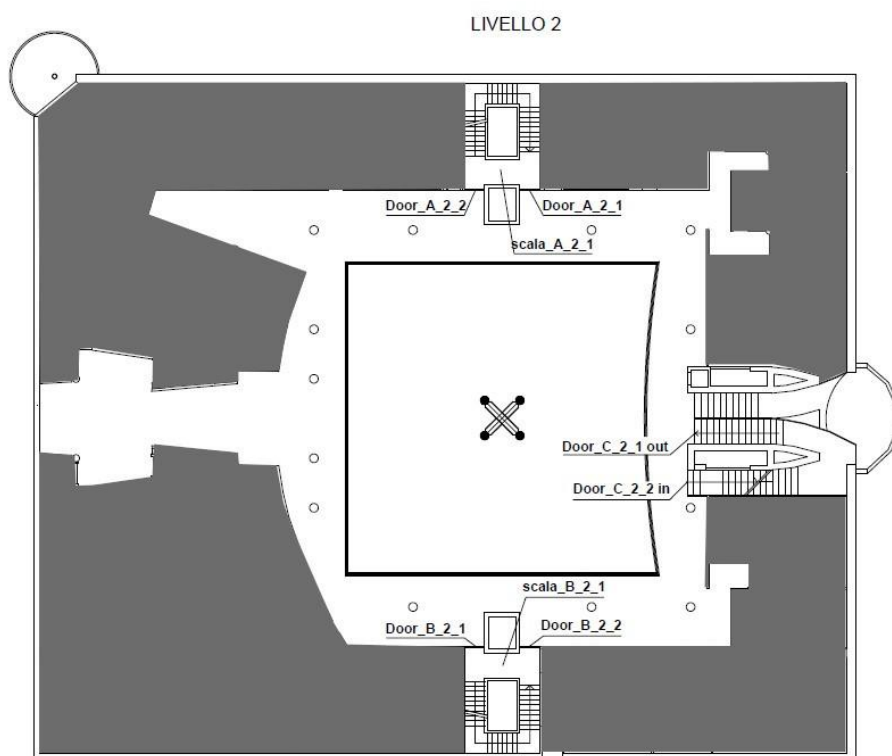


Figura 3–12: Nomenclatura delle porte e dei pianerottoli sul quale verranno estrapolati i dati per il livello 2.

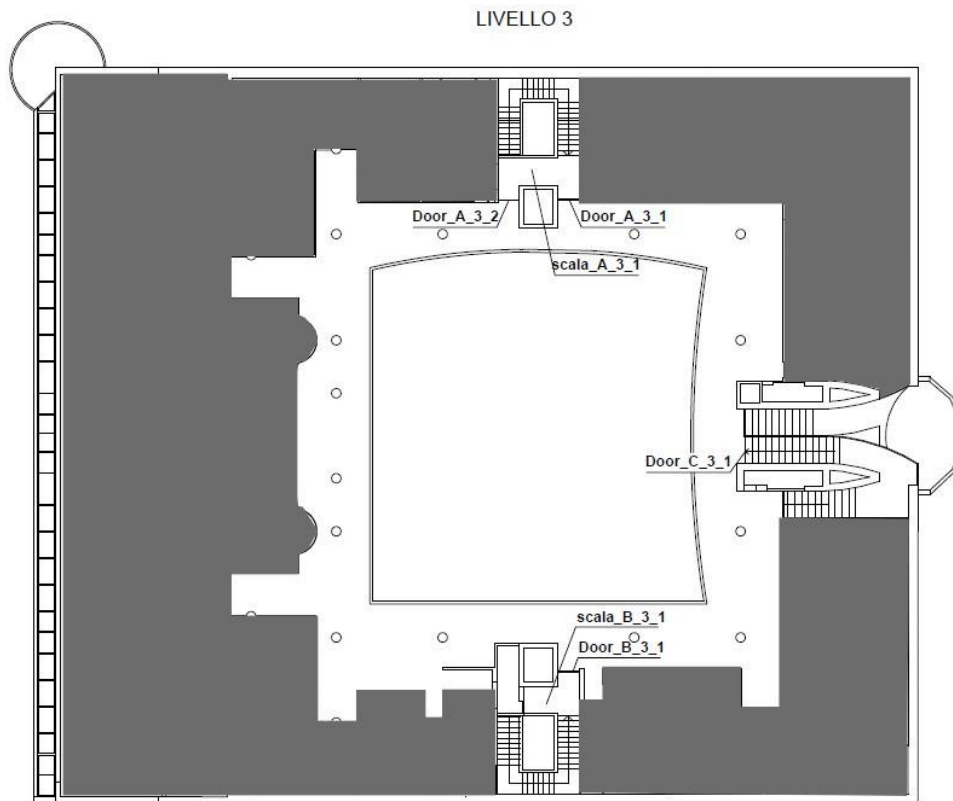


Figura 3–13: Nomenclatura delle porte e dei pianerottoli sul quale verranno estrapolati i dati per il livello 3.

3.3.1. ANALISI OUTPUT SIMULAZIONE 1: ESODO COME DA PIANO DI EVACUAZIONE

La simulazione 1 prevede l'evacuazione secondo le condizioni previste dal piano di evacuazione, con i dati di input come già definiti § 2.3 2.4.; viene eseguita la simulazione e analizzati piano per piano i dati di output definiti. Nei grafici riportati di seguito vengono valutati i dati di output sulle uscite di ogni piano e sui pianerottoli l'analisi sarà strutturata analizzando ogni piano dell'edificio.

Nella simulazione 1 si farà riferimento a percorsi definiti in § 2.3 2.4.; In particolare nel caso dei percorsi di esodo sono stati impostati i percorsi che ogni agente deve svolgere con quella determinata velocità da dove si trovano fino all'uscita principale come definito I primi risultati ottenuti una volta effettuata la simulazione permettono di fare valutazione in merito ai percorsi effettivamente eseguiti dagli agenti all'interno dello scenario ,è possibile verificare I percorsi che ogni agente effettua dal loro punto di partenza fino all'uscita dell'edificio ,nelle figure successive vengono rappresentati I percorsi nei vari livelli dell'edificio. Figura 3–14, Figura 3–15, Figura 3–16, Figura 3–17, Figura 3–18.

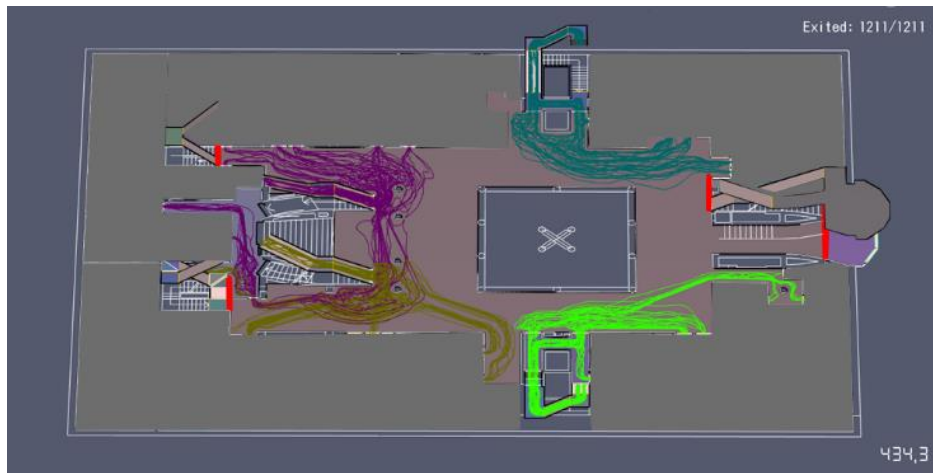


Figura 3–14: Percorsi estrapolati da Pathfinder degli agenti del piano -1.

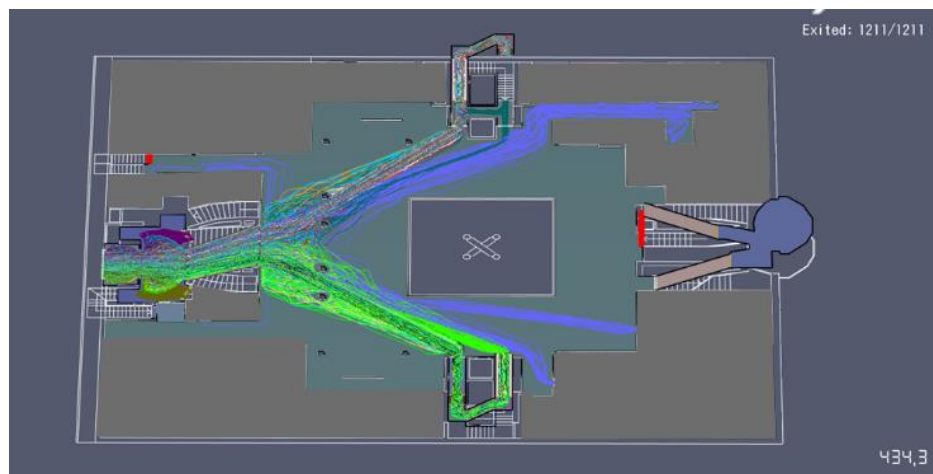


Figura 3–15: Percorsi estrapolati da Pathfinder degli agenti del piano 0.

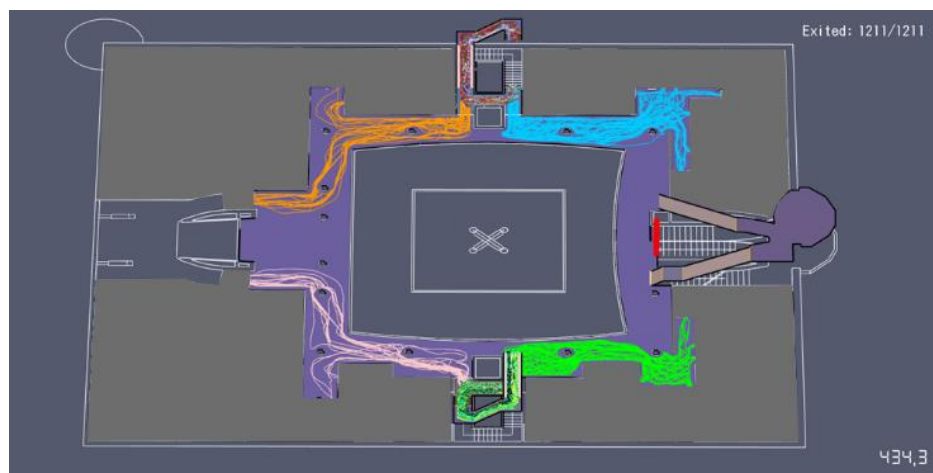


Figura 3–16: Percorsi estrapolati da Pathfinder degli agenti del piano 1.

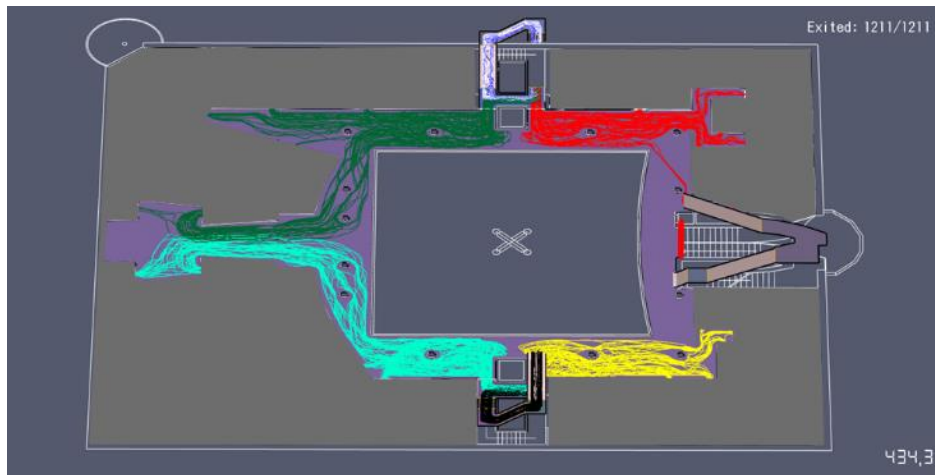


Figura 3–17: Percorsi estrapolati da Pathfinder degli agenti del piano 2.

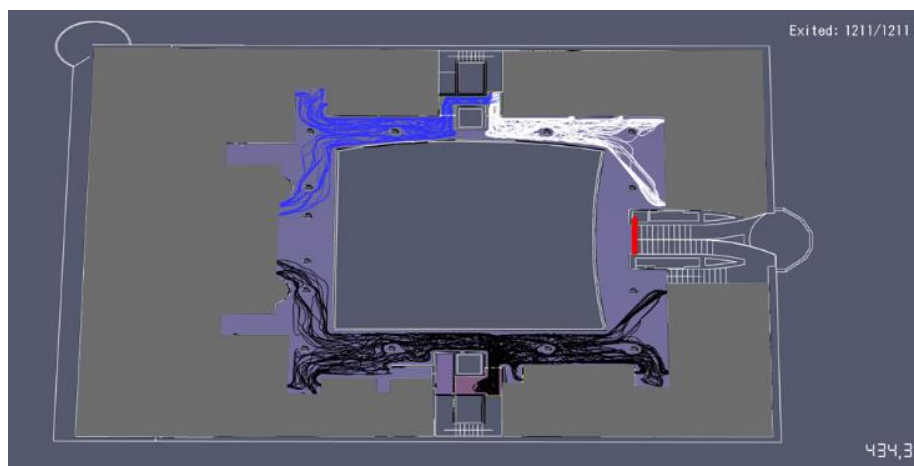


Figura 3–18: Percorsi estrapolati da Pathfinder degli agenti del piano 3.

La simulazione 1 prevede l'evacuazione secondo le condizioni previste dal piano di evacuazione, con i dati di input come già definiti § 2.3 2.4.; viene eseguita la simulazione e analizzati piano per piano i dati di output definiti. Nei grafici riportati di seguito vengono valutati i dati di output sulle uscite di ogni piano e sui pianerottoli l'analisi sarà strutturata analizzando ogni piano dell'edificio.

LIVELLO -1

Per il livello – 1 si farà riferimento a alle porte: Door_A_-1_2, Door_A_-1_1, Door_B_-1_2, Door_B_-1_1, Door_F_-1_1, Door_F_-1_2 e alle Room: scala_A_-1_1 e scala_B_-1_1 che rappresentano i pianerottoli antistanti gli ingressi per il corpo A e B al livello -1.

Nelle seguenti figure si riporta l'analisi effettuata al livello -1 nello specifico si analizzerà l'andamento di uscita delle persone nel tempo relativo alle porte del corpo scala "A" "B" e relativo alle rampe "F" e "F*". Nel seguito Figura 3–19 si riporta il grafico relativo agli ingressi nel tempo per le "Door_A_-1_1" "Door_A_-1_1" e la loro somma tali ingressi fanno parte del corpo scala A e condurranno gli agenti al livello 0. Nella Figura 3–20 si riporta i dati relativi alle porte Door_B_-1_1, Door_B_-1_2, Door_B_-1_3 e la loro somma, tali ingressi fanno parte del corpo scala B e condurranno gli agenti al livello 0. Nella Figura 3–21 si riporta i dati relativi alle porte Door_F*_-1_1, Door_F_-1_1 e la loro somma, tali ingressi fanno parte del corpo scala F tali ingressi

condurranno gli agenti al livello di uscita. Nella Figura 3–22 si confronta il flusso su tutte le porte del piano. Nella discussione dei risultati che segue si farà riferimento ai valori del percentile al 95%.

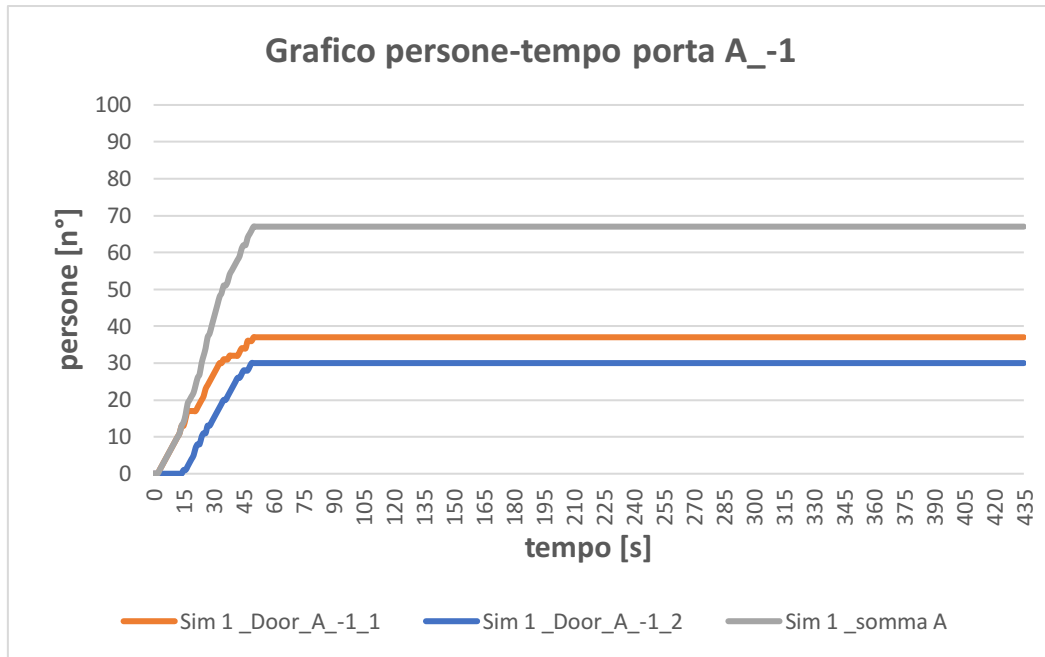


Figura 3–19: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alle porte del corpo scala A al livello -1.

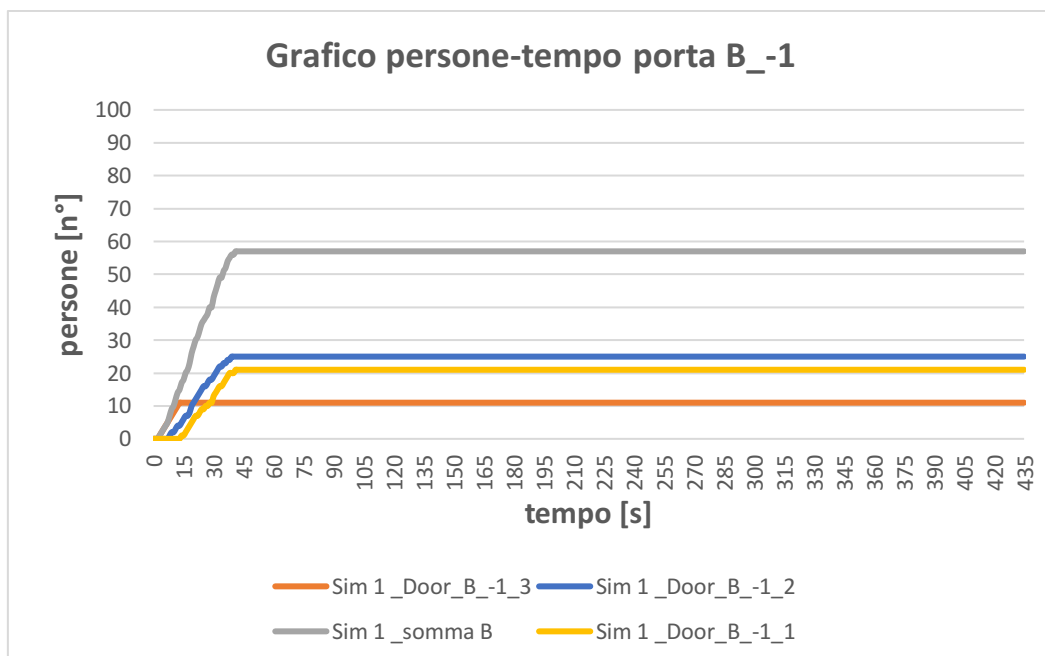


Figura 3–20: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alle porte del corpo scala B al livello -1.

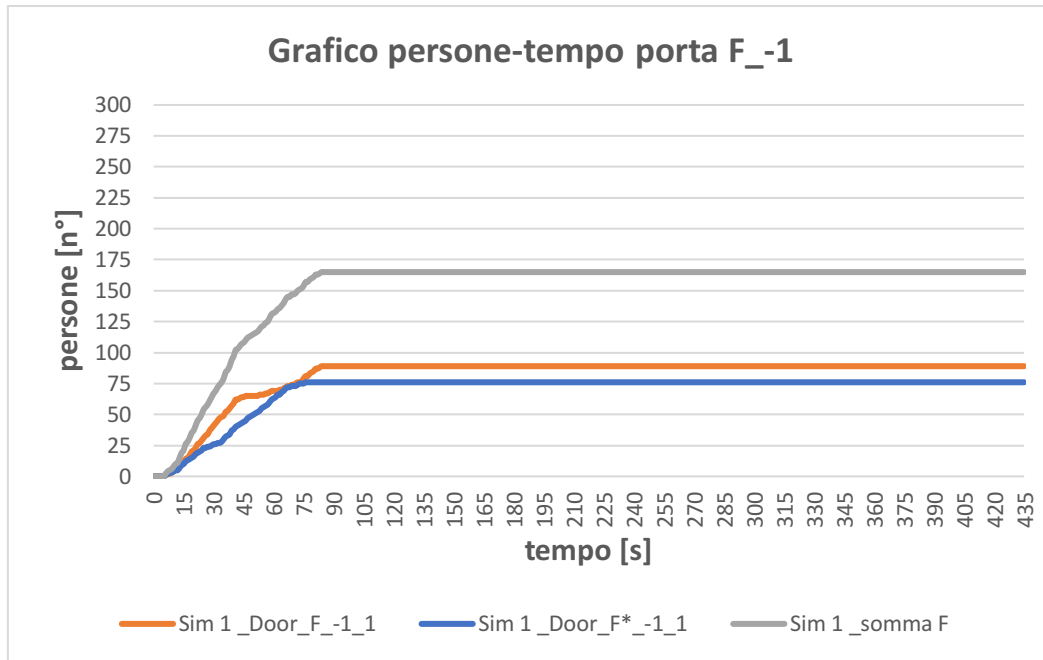


Figura 3–21: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alle porte del corpo scala F al livello -1.

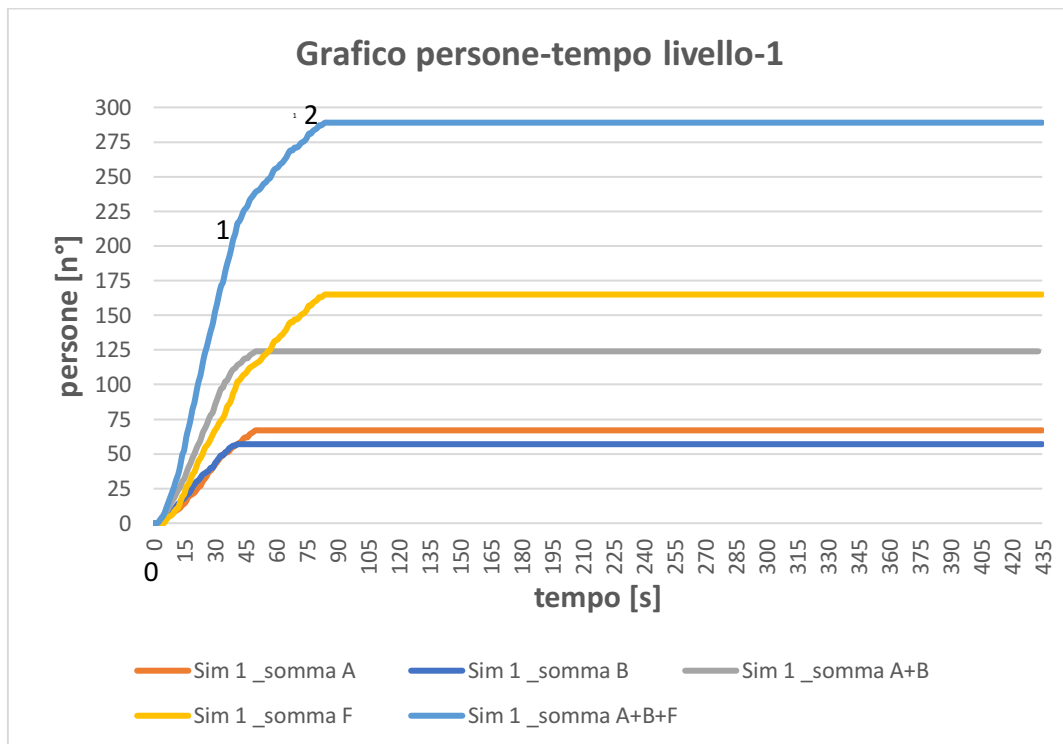


Figura 3–22: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alle porte del livello -1.

Dai grafici risulta che per quanto riguarda le porte afferenti al corpo scala A la Door_A_-1_1 viene attraversata da 37 agenti il tempo minimo impiegato per attraversarla è di 2,5 sec mentre il massimo è di 47 sec, per il tempo minimo e massimo di attraversamento della porta Door_A_-1_2 è di 14,8 sec. e 46,7 sec. e viene

attraversata da 30 agenti. Per quanto riguarda le porte del corpo scala B la Door_B_-1_1 viene attraversata da 21 agenti il tempo minimo e massimo impiegato per attraversarla è di 13,4 e 38 sec, la Door_B_-1_2 viene attraversata da 25 agenti e il tempo di attraversamento minimo e massimo è di 7,2 e 36,6, la Door_B_-1_3 viene attraversata da 11 agenti, il tempo minimo e massimo impiegato per attraversarla è di 2,8 sec e 12,5 sec. Nel livello -1 c'è la presenza di 2 di scale che conducono le persone sul livello di uscita dell'edificio che appartengono al corpo scala definito "F", per definire il flusso degli agenti attraverso queste due scale sono state introdotte due porte fittizie definite Door_F_-1_1 e Door F*_-1_1. La Door_F_-1_1 viene attraversata da 89 agenti, il tempo minimo e massimo impiegato per attraversarla è di 5,7 e 79,6 sec. La Door_F*_-1_1 viene attraversata da 76 agenti, il tempo minimo e massimo impiegato per attraversarla è di 5,4 e 67,5 sec. Dalla rappresentazione grafica riferita al confronto della somma degli agenti delle uscite per i 2 corpi scala si evince che l'andamento all'ingresso dai 2 corpi scala presenta una simmetria in termini di agenti che attraversano le porte (67 per la porta in A 57 per la porta in B) e in termini di tempi minimi e massimi di attraversamento (2,5 sec e 47 per il corpo scala A e 2,8 e 38 per il corpo scala B). Se si considera i grafici alle uscite prese singolarmente per ogni corpo scala la distribuzione è simile tra gli ingressi, nella Door_A_-1_1 vi accedono 37 agenti nella Door_A_-1_2 vi accedono 30 agenti con una differenza di 7 agenti per il corpo scala B nelle 3 porte vi accedono rispettivamente 21, 25 e 11 agenti. Per quanto riguarda le scale del corpo scala F attraverso la Door_F_-1_1 accedono 89 agenti e attraverso la Door_F*_-1_1 accedono 76 agenti, la differenza risulta di 13 agenti anche in questo caso la distribuzione tra le due uscite è simile sia in termini di numero di agenti sia in termini di tempi di attraversamento minimo e massimo delle porte (5,7 e 79,6 per la F_-1_1 e 5,4 e 67,5 per la Door_F*_-1_1). Nel confronto dei 3 corpi scala si ottiene che il tempo massimo di uscita per i corpi scala A e B è di 47 sec mentre il tempo massimo di uscita dal corpo scala F è 79,6, con una differenza di 32,6 sec. dovuta alla presenza di un numero maggiore di agenti che vi accedono (67 corpo scala A, 57 corpo scala B, 89 scala F e 76 scala F*). Con riferimento ai flussi considerati sempre in riferimento al valore 95% percentile, sugli ingressi A e B i valori oscillano tra 0,55 e 0,88 (pers/s) ovvero l'ingresso alle porte è simile sui due corpi scala. Negli ingressi del corpo scala F i valori sono 1,12 e 1,13 (pers/s) i valori raggiungono l'unità sinonimo del fatto che il processo non subisce grossi rallentamenti, se si considera le porte A e B ((somma degli ingressi) i valori sono rispettivamente 1,43 (pers/s), 1,50 (pers/s) e 2,07 (pers/s) si evince che per gli ingressi A e B i valori sono simili considerando un numero di agenti che vi accedono simile e una larghezza delle porte uguale mentre per F il valore ha una differenza di 0,57 con l'ingresso B e 0,64 con A. Risulta che il flusso nell'ingresso F è più veloce rispetto ad A e B. Andando ad analizzare il flusso normalizzato rispetto alle larghezze degli ingressi i valori oscillano tra 0,47 (pers/s*I) e 0,63 (pers/s*I) ovvero il processo avviene in maniera regolare su tutto il piano. In generale risulta che la scala F è più efficiente per la posizione e la dimensione degli ingressi. In sintesi è possibile riassumere i risultati tramite nella Tabella 3-4 in cui vengono espressi per ogni porta quante persone utilizzano l'uscita, il tempo minimo e massimo che impiega il primo e l'ultimo agente del gruppo di riferimento a passare attraverso la porta presa in considerazione, il flusso definito come persone/secondi e il percentile al 95%. Ulteriore valutazione è possibile farla in riferimento alla pendenza dei due tratti sulla curva che ingloba tutte le uscite dal piano (tratto ciano Figura 3-22). Il tratto 0-1 ha un coefficiente angolare pari a 5,1 (alfa=79), (rapporto tra 218-0(n°p)/ 42-0(sec.) mentre il tratto 1-2 ha un coefficiente angolare pari a 1,51 (alfa=56,5) (rapporto tra (289-218)/(83-42)), tale condizione sta a significare che per i primi 42 sec. il processo di esodo è più veloce pendenza della curva più alta, in tale arco di tempo 218 agenti escono dal livello, mentre per i restanti 47 sec evacuano dal piano un numero di agenti pari a 71 ovvero nei primi istanti dell'evacuazione gli agenti non trovano particolari difficoltà ed ostacoli nel raggiungere le uscite cosa che non avviene da 42 secondi fino a 83 secondi che corrisponde all'uscita dell'ultimo agente.

Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Percentile 0,95 (s)	Total_Use (n °persone)	Flow (ogni ingresso) (pers/s)		Flow normalizzato (ogni ingresso) (pers/s*I)		Flow (sulla porta) (pers/s)		Flow normalizzato (sulla porta) (pers/s*I)	
					Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%
Door_A_-1_1	2,5	50,7	47	37	0,73	0,79	0,61	0,66	1,32	1,43	0,55	0,59
Door_A_-1_2	14,8	48,1	46,65	30	0,62	0,64	0,52	0,54				
Door_B_-1_1	13,4	40,9	38	21	0,51	0,55	0,43	0,48	1,39	1,50	0,58	0,47
Door_B_-1_2	7,2	38,4	36,6	25	0,65	0,68	0,54	0,59				
Door_B_-1_3	2,8	12,6	12,5	11	0,87	0,88	0,97	0,98				
Door_F_-1_1	5,7	83,4	79,6	89	1,07	1,12	0,65	0,68	1,97	1,13	0,63	0,34
Door_F*_-1_1	5,4	75,9	67,5	76	1	1,13	0,61	0,69				

Tabella 3-4: Tempi di evacuazione alle porte per il livello -1.

Nella Tabella 3-5 vengono riportati per il livello -1 i vari gruppi di persone distinti per profilo e comportamento e il tempo impiegato per ciascun gruppo a raggiungere l'uscita dell'edificio distinti per tempo minimo e massimo. Si evince che l'ultimo agente facente parte del livello -1 riesce ad uscire dall'edificio in 140,4 sec. mentre il primo a raggiungere l'uscita impiega 17,1 sec.

	Behavior	Profile	Count	Min	Max
livello -1	scala A_-1	A_-1	67	46,4	141,3
livello -1	scala B_-1	B_-1	57	61,1	140,4
livello -1	scala F*_-1	F*_-1	76	16,8	109
livello -1	scala F_-1	F_-1	89	17,1	120,3

Tabella 3-5: Tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello -1.

Dai risultati in output del software è stato possibile esportare una mappa definita "usage accumulated" in cui viene espresso in secondi quanto tempo vengono usati gli spazi riferito al tempo totale della simulazione Figura 3-23 da cui si evince che a livello qualitativo gli spazi utilizzati per l'evacuazione vengono utilizzati per un tempo relativamente breve a riprova del fatto che in questo livello il deflusso avviene senza grosse code agli ingressi e lo smaltimento delle code è veloce con tempi di attesa brevi.

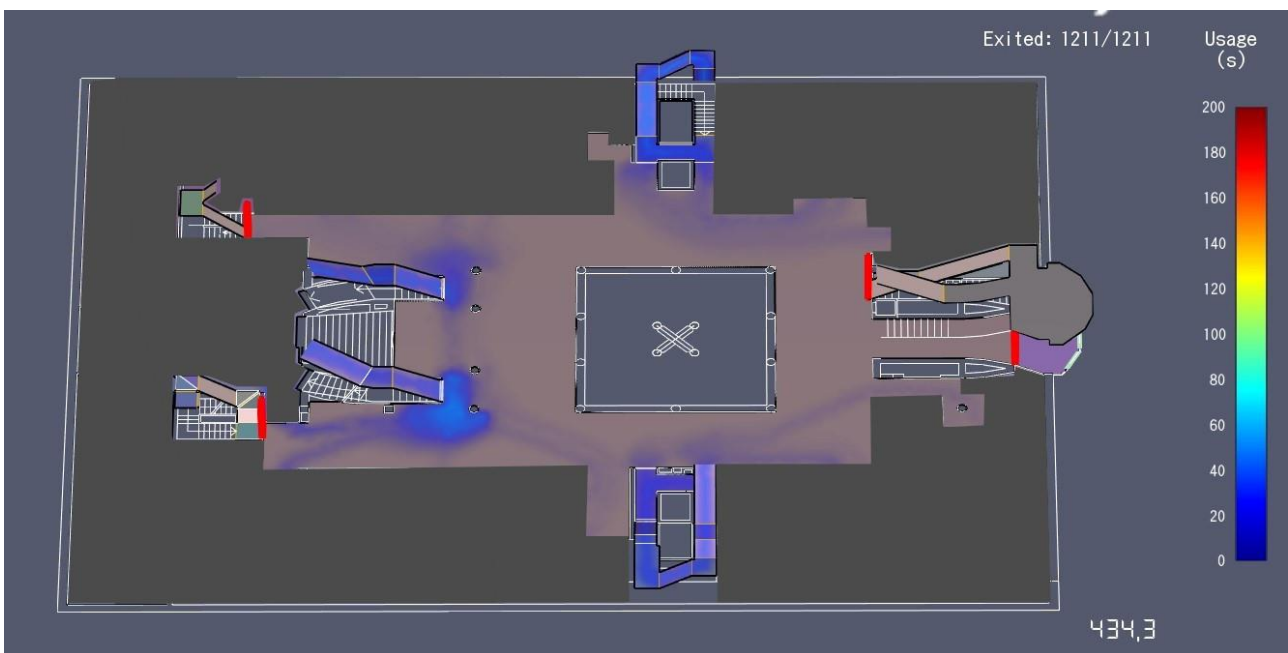


Figura 3-23 :Scenario 1. Mappa di uso degli spazi per lo scenario di simulazione del livello -1.

L'ulteriore analisi svolta prende in considerazione i pianerottoli antistanti le uscite prese in esame definiti come scala_B_-1_1 relativo al pianerottolo al piano -1 per il corpo scala B e scala_A_-1_1 relativo al pianerottolo al piano -1 per il corpo scala A Figura 3-24. Dal grafico si evince che l'andamento sui pianerottoli è pressoché simile, possiamo dire in maniera generale che l'evacuazione avviene in maniera simmetrica tra i due corpi scala dovuto anche al fatto che il numero degli agenti che vi accedono sono simili. La curve presentano un andamento lineare per i primi 20 secondi per il pianerottolo scala B_-1_1 e 30 secondi per il pianerottolo scala A_-1_1 ovvero il flusso attraverso tali pianerottoli non subisce rallentamenti poi presenta un tratto costante. Dal grafico Figura 3-24 si evince che l'andamento sul pianerottolo scala_B_0_1 raggiunge un picco dopo 20 secondi con la presenza contemporanea di un numero di agente che varia tra 19 e 21 per

circa 10 secondi ,il deflusso da questo pianerottolo è di 61 secondi. Il tempo impiegato è relativamente contenuto in quanto gli agenti che utilizzano questo pianerottolo sono 57. Per quanto riguarda il pianerottolo scala_A_-1_1 si verificano differenze sull'altezza del picco rispetto al precedente, in questo caso la presenza di agenti oscilla tra 16 e 18. La presenza di un tratto costante sul pianerottolo implica un rallentamento dell'esodo per la presenza di interazione tra gli agenti. La condizione più critica nel livello -1 si verifica nell'area afferente alla Door_F*_ -1_1 dove si crea una zona a densità critica dovuta al percorso degli agenti simulati nella Room -1.11 e Room -1.12 che per raggiungere la porta Door_ F_-1_1 vanno a creare un'interazione ed interferenza con gli agenti in attesa di accedere nella porta Door_ F*_ -1_1. Nella Figura 3-21 tratto arancione è possibile notare come nel flusso della porta Door_ F_-1_1 il deflusso subisca un rallentamento proprio dovuto all'ostacolo che si crea tra i 2 profili che devono accedere alle 2 rampe. Nelle figure Figura 3-25, Figura 3-26, Figura 3-27, Figura 3-28 viene rappresentata attraverso mappe di calore la densità nei secondi 20,30, 40,50. Questo parametro indica istantaneamente il livello di densità presente in ogni spazio. Mediante questa rappresentazione è possibile visualizzare lo stato degli occupanti su tutto il piano, in particolare si farà riferimento ai punti significativi del grafico di deflusso sui pianerottoli antistanti le uscite, valutando le condizioni critiche che emergono dalla simulazione. Dalle analisi emerge come il limite massimo di densità nelle rappresentazioni è di 3pp/m² tale limite è il massimo che il solutore ammette (non ammette mai densità superiori), condizioni inferiori a questo limite sono già critiche. Nelle condizioni critiche si configurano situazioni nelle quali la densità elevata di persone vengono a verificare fenomeni di spinta, schiacciamenti dovuto alla calca, cadute, in generale condizioni di pericolo per gli utilizzatori.

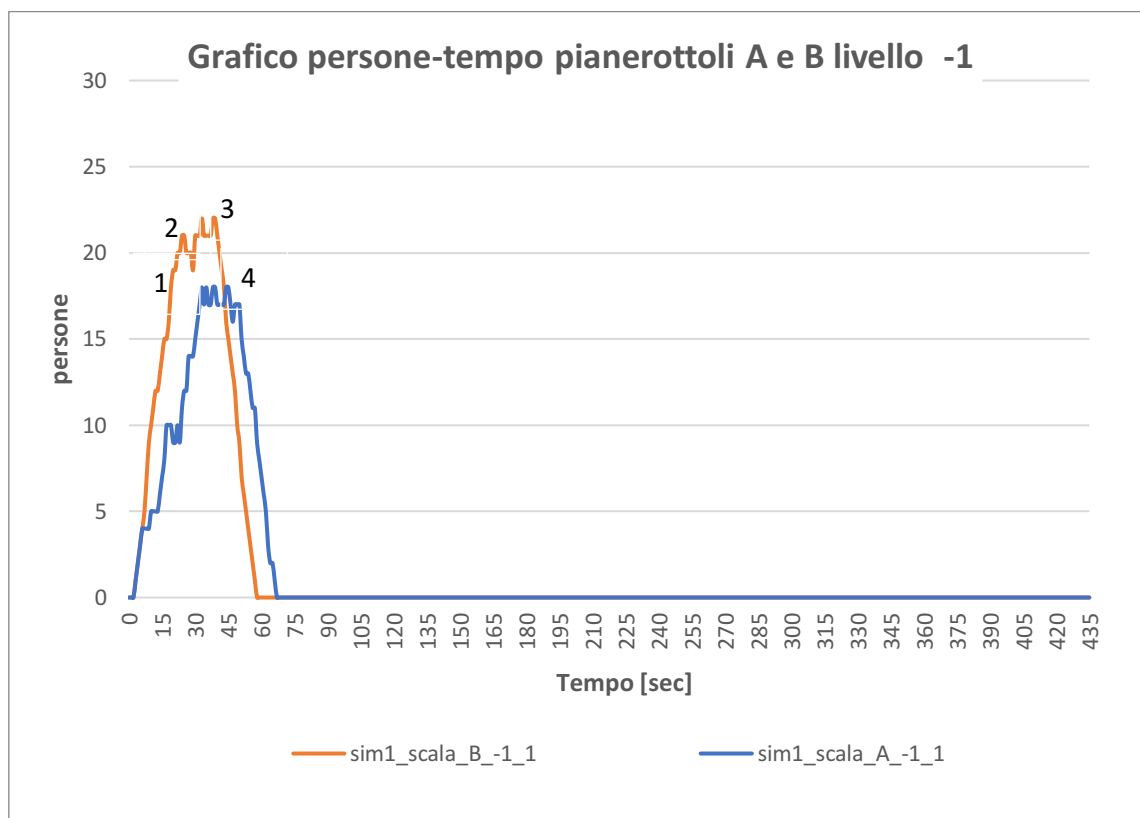


Figura 3-24: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti le porte del corpo scala A al livello -1.

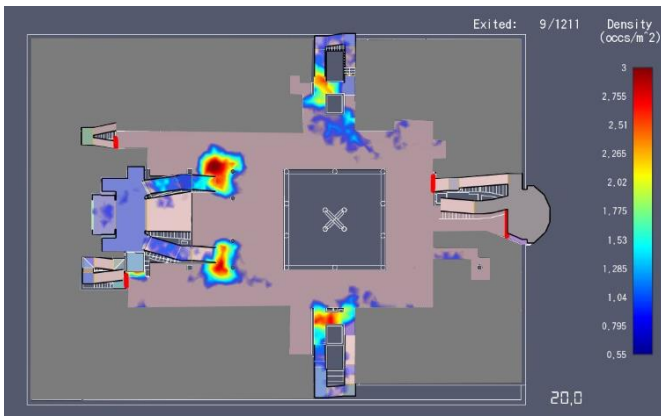


Figura 3–25: Scenario 1. Mappa di densità a 20 sec.



Figura 3–26: Scenario 1. Mappa di densità a 30 sec.



Figura 3–27: Scenario 1. Mappa di densità a 40 sec.

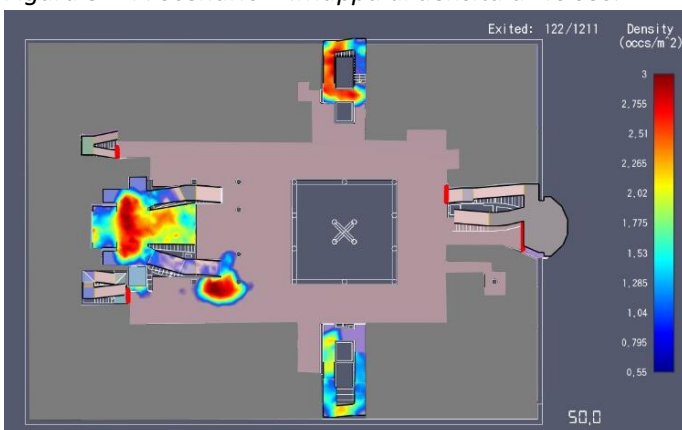


Figura 3–28: Scenario 1. Mappa di densità a 50 sec.

Le figure a fianco rappresentano un fermo immagine della mappa di densità estrapolata dal software nei punti 1, 2, 3, 4 del grafico occupanti/tempo Figura 3–24 relativo ai pianerottoli antistanti le porte dei corpi scala al livello -1 e fanno riferimento ai secondi 20,30,40,50. In particolare all'istante di 20 sec c'è l'inizio del tratto costante che si protrae per 10 secondi per il corpo scala B, all'istante di 30 secondi si ha la fine del tratto a densità costante mentre per il corpo scala A il tratto di costante si ha tra i punti 2 e 4 la differenza tra le due curve sta sulla presenza contemporanea di occupanti minori in A rispetto al corpo scala B. In entrambi i casi si raggiungono densità elevate nei pianerottoli e la scala stessa ma comunque questa condizione è temporanea e non prolungata nel tempo. Al raggiungimento delle densità maggiori si verificano condizioni critiche per il deflusso degli agenti, si vengono a creare code in prossimità delle vie di esodo verticali, ma viste le condizioni di distribuzione degli agenti tra i corpi scala A e B il deflusso viene smaltito nell'arco di 70 secondi. Le condizioni più critiche per il livello -1 si registrano all'accesso della porta F_-1_1 dove il deflusso termina dopo 89 secondi, si viene a creare una zona ad alta densità in prossimità della scala in cui si creano interazioni tra agenti che impediscono un deflusso veloce. La condizione può essere accettabile perché il tempo massimo impiegato da un generico agente presente in questo livello ad uscire dall'edificio è di 141,4 secondi.

Nella *Tabella 3-6* si riportano in breve i tempi di utilizzo per ogni pianerottolo inteso come il tempo impiegato ad un generico agente ad entrare in tale pianerottolo e il tempo massimo che impiega un agente ad uscire dallo stesso. Si nota che il tempo minimo è di 15,5 sec. e il massimo è di 404,8 sec.

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Total_Use
scala_A_-1_1	2,5	66,3	67
scala_B_-1_1	2,8	57,4	57
scala_F_-1_1	5,7	83,6	89
scala_F*_1_1	5,4	76	76

Tabella 3-6: Tempi di evacuazione dai pianerottoli per il livello -1.

LIVELLO 0

Per il livello si farà riferimento alle porte: Door_A_0_2, Door_A_0_1, sono le porte appartenenti al corpo scala A dalle quali arrivano gli agenti provenienti dai livelli superiori, Door_B_0_1 è la porta da cui accedono gli agenti che arrivano dal livello -1, Door_B_0_2 è la porta da cui escono gli agenti che arrivano dai piani superiori e Door_F_0_1 è una porta fittizia introdotta prima della rampa che conduce all'uscita per inglobale nell'analisi persone/tempo sia gli agenti del livello 0 sia quelli provenienti dai corpi scala A e B. Si analizzerà i dati di output sulle Room: scala_A_0_1 scala_B_0_1 e scala B*_0_1 che rappresentano i pianerottoli antistanti le porte sul livello 0 rispettivamente per il corpo scala A e B. Nel seguito si riporta l'analisi effettuata al livello 0 nello specifico si analizzerà l'andamento di uscita delle persone nel tempo relativo alle porte del corpo scala "A" "B" e "F". In Figura 3-29 si riporta il grafico relativo alle uscite sul livello 0 nel tempo per le "Door_A_0_1" "Door_A_0_2" e la loro somma tali ingressi fanno parte del corpo scala A e condurranno gli agenti provenienti dai piani superiori e dal piano inferiore al livello 0. Nella Figura 3-30 si riporta i dati relativi alle porte Door_B_0_1 dal quale arriveranno gli agenti proveniente dai piani superiori, Door_B_0_2 dal quale usciranno gli agenti provenienti dal piano inferiore tali ingressi fanno parte del corpo scala B e condurranno gli agenti al livello 0. Nella Figura 3-31 si confronta il flusso su tutte le porte del piano. Nella discussione dei risultati che segue si farà riferimento ai valori del percentile al 95%.

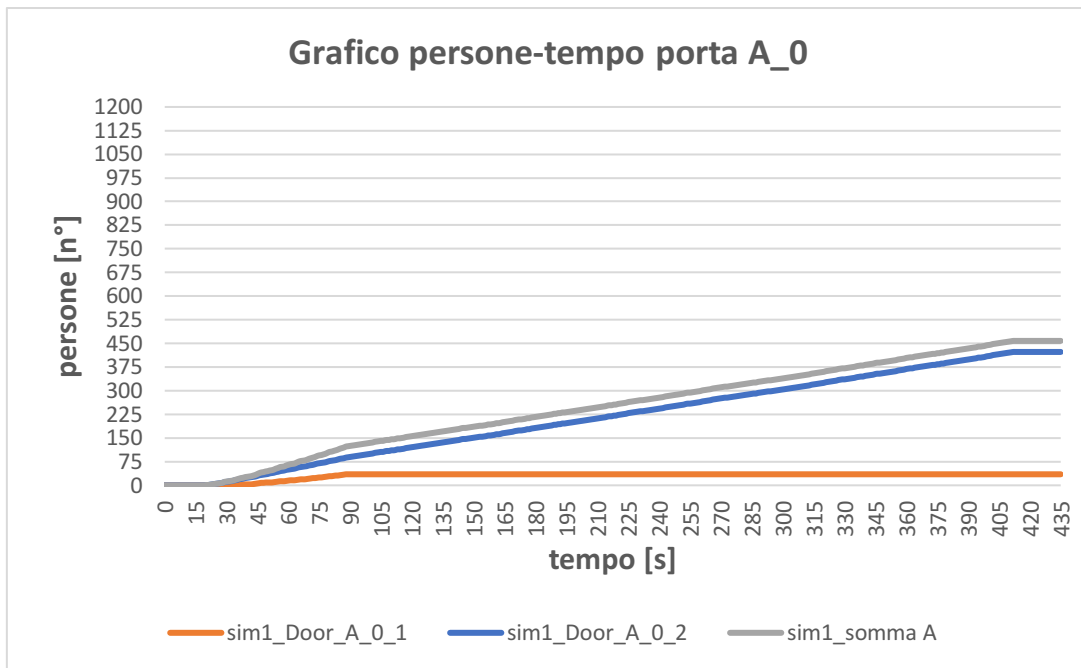


Figura 3–29: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alle porte del corpo scala A al livello 0.

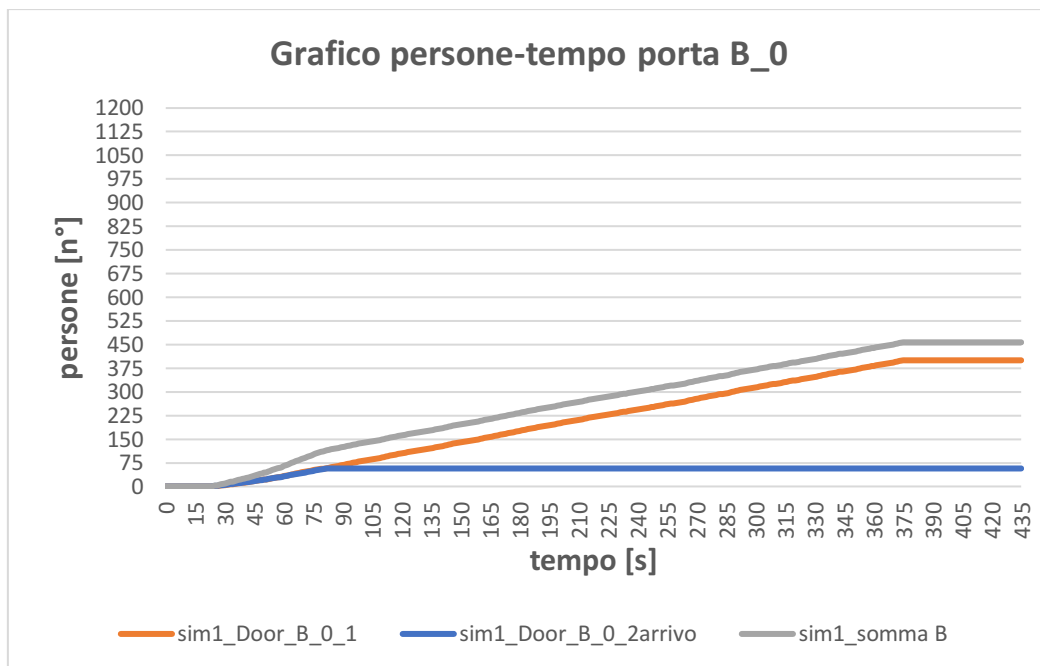


Figura 3–30: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alle porte del corpo scala B al livello 0.

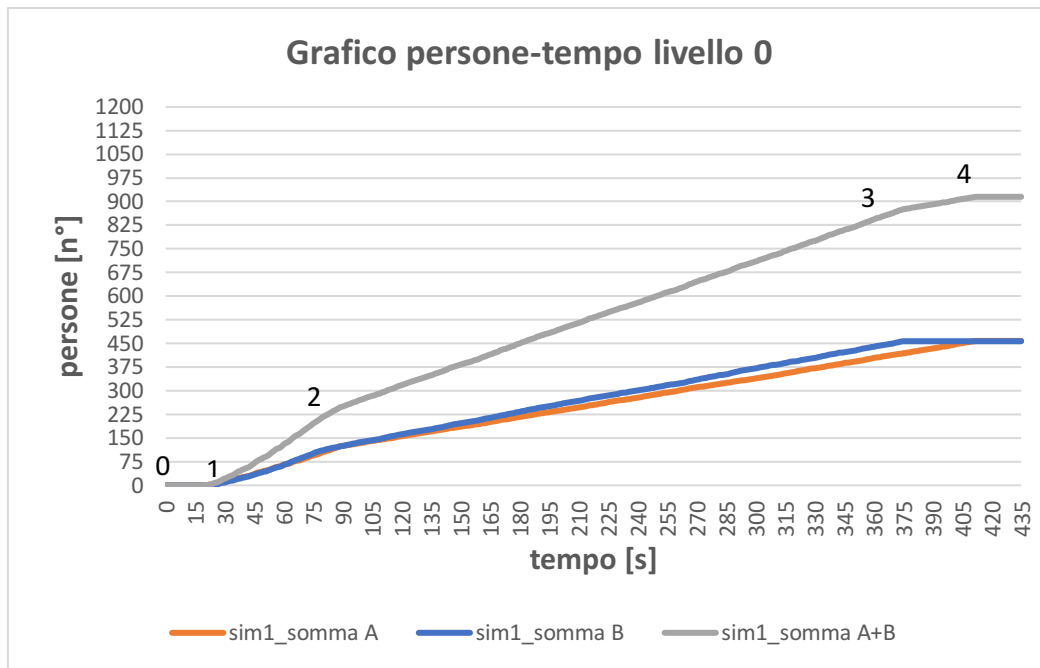


Figura 3–31: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alle porte del livello 0.

Dai grafici risulta che per quanto riguarda le porte afferenti al corpo scala A la Door_A_0_1 viene attraversata da 35 agenti il tempo minimo impiegato per attraversarla è di 28,9 sec. mentre il massimo è di 86,3 mentre per il tempo minimo e massimo di attraversamento della porta Door_A_0_2 che viene attraversata da 423 agenti è di 19,7 e 392,9. Per quanto riguarda le porte del corpo scala B la Door_B_0_2 viene attraversata da 57 agenti che sono quelli provenienti dal piano inferiore e il tempo minimo e massimo impiegato per attraversarla è di 23,5 e 79,2 sec., la Door_B_0_1 viene attraversata da 400 agenti proveniente dai piani superiori e il tempo di attraversamento minimo e massimo è di 24,4 e 358,1 sec. Dalla rappresentazione grafica riferita al confronto della somma degli agenti delle uscite per ogni corpo scala si evince che l'andamento di entrata al livello 0 dai 2 corpi scala presenta una simmetria in termini di agenti che attraversano le porte (458 per la porta in A 457 per la porta in B) in termini di tempi massimi di attraversamento c'è una differenza di (19,7 392,9 sec. per il corpo scala A e 23,5 e 358,1 per il corpo scala B). Se si considera i grafici alle uscite prese singolarmente per ogni corpo scala la distribuzione è differente tra gli ingressi, nella Door_A_0_1 viene utilizzata da 35 agenti in linea generale utilizzano questa uscita gli agenti provenienti dal piano inferiore, la Door_A_0_2 viene utilizzata da 423 agenti con una differenza sostanziale di utilizzo per il corpo scala B la Door_B_0_1 viene utilizzata da 400 agenti che sono solo quelli che provengono dai piani superiori, la Door_B_0_2 viene utilizzata da 57 agenti che viene usata esclusivamente dagli agenti del piano inferiore. Tale divisione dipende dal fatto che le 2 uscite fanno parte di due pianerottoli differenti. Con riferimento ai flussi considerati sempre in riferimento al valore 95% percentile, sugli ingressi A e B i valori oscillano tra 0,41 (pp/s) e 1,12 (pp/s) i valori maggiori si hanno per la porta A_0_2, B_0_1 che sono le porte che raccolgono il maggior numero di agenti, sulla porta fittizia F che raccoglie tutti gli agenti dei piani superiori inferiori e del livello 0 il valore assume 2,73 (pp/s) ma riferendosi al valore normalizzato per la larghezza della porta sui 3 corpi scala i valori sono rispettivamente A=0,49 (pp/s*I) B=0,53 (pp/s*I) e F=0,61 (pers/s*I), si evince che il flusso è costante e il processo avviene in modo regolare su tutti gli ingressi presi in esame. In generale il valore in F è maggiore in quanto è il maggiore il numero di agenti che l'attraversano. In sintesi è possibile riassumere i risultati tramite la Tabella 3-7 in cui vengono espressi per ogni porta quante persone utilizzano l'uscita, il tempo minimo e massimo che impiega il primo e l'ultimo agente del gruppo di riferimento a passare attraverso la porta presa in considerazione, il flusso definito come persone/secondi e il percentile al 95%. Ulteriore valutazione è possibile farla in riferimento alla pendenza dei tratti sulla curva di evacuazione che ingloba tutte le uscite sul piano (tratto grigio Figura 3–31). Si

possono individuare 4 tratti, il tratto 0-1 ha un coefficiente angolare pari a 0 (alfa=0) (rapporto tra $0-0(n^{\circ}p)/25-0(\text{sec})$) il tratto 1-2 ha un coefficiente angolare pari a 3,8 (alfa=75,2) (rapporto tra $(248)/(90-25)$), il tratto 2-3 ha un coefficiente angolare pari a 2,21 (alfa=65,6) (rapporto tra $(869-248)/(370-90)$), il tratto 3-4 ha un coefficiente angolare pari a 0,70 (alfa=34,9) (rapporto tra $(915-869)/(435-370)$), tale condizione sta a significare che per il primo tratto fino a 25 sec. la pendenza è nulla perché non arriva nessuno per via della distanza tra l'uscita e le persone nell'edificio il secondo tratto da 25 sec. a 90 sec. la pendenza è maggiore che nel resto dell'esodo perché le condizioni idealmente sono migliori in termini di densità (in 65 sec. escono 248 persone), il terzo tratto tra 90 sec. e 370 sec. la pendenza diminuisce perché ci sono densità più elevate lungo i percorsi (in 280 sec escono 681 agenti nell' ultimo tratto la pendenza diminuisce (in 65 secondi escono 46 agenti) in questo arco di tempo raggiungono l'uscita i "ritardatari" ovvero gli agenti che erano in coda con i tempi di attesa più alti e comunque che si trovavano a distanze maggiori dall'uscita.

Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Percentile 0,95	Total_Use (n° persone)	Flow (ogni ingresso) (pers/s)		Flow normalizzato (ogni ingresso) (pers/s*I)		Flusso (sulla porta) (pers/s)		Flusso normalizzato (sulla porta) (pers/s*I)	
					Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%
Door_A_0_1	28,9	87,8	86,3	35	0,4	0,41	0,33	0,34	1,11	1,17	0,46	0,49
Door_A_0_2	19,7	411,5	392,9	423	1,03	1,08	0,86	0,90				
Door_B_0_1	24,4	374,8	358,05	400	1,07	1,12	0,89	0,93	1,22	1,28	0,51	0,53
Door_B_0_2	23,5	81,1	79,2	57	0,7	0,72	0,58	0,60				
Door_F_0_1	10,1	425,4	383	1045	2,46	2,73	0,55	0,61	2,46	2,73	0,55	0,61

Tabella 3-7: Tempi di evacuazione alle porte per il livello 0.

Nella *Figura 3–32* si riporta i dati relativi alla porta fittizia Door_F_0_1 posta prima di accedere alla rampa che conduce all’uscita, introdotta in modo tale da considerare gli agenti presenti al livello 0 oltre quelli che arrivano dai piani superiori e inferiori. In tale porta si va a sommare oltre gli agenti provenienti dal corpo scala A quelli provenienti dal corpo scala B e quelli presenti nel livello stesso. Si riscontra che attraverso tale porta passano 1045 agenti e il tempo minimo e massimo che impiegano ad attraversarla è di 10,1 e 383 secondi. In *Figura 3–32* è possibile notare come la curva arancione sia traslata parallelamente rispetto a quella blu dopo circa 120 secondi dopo tale arco di tempo la differenza tra persone che arrivano sul livello 0 attraverso i corpi scala A e B ed escono dalla porta F_0_1 diventa costante.

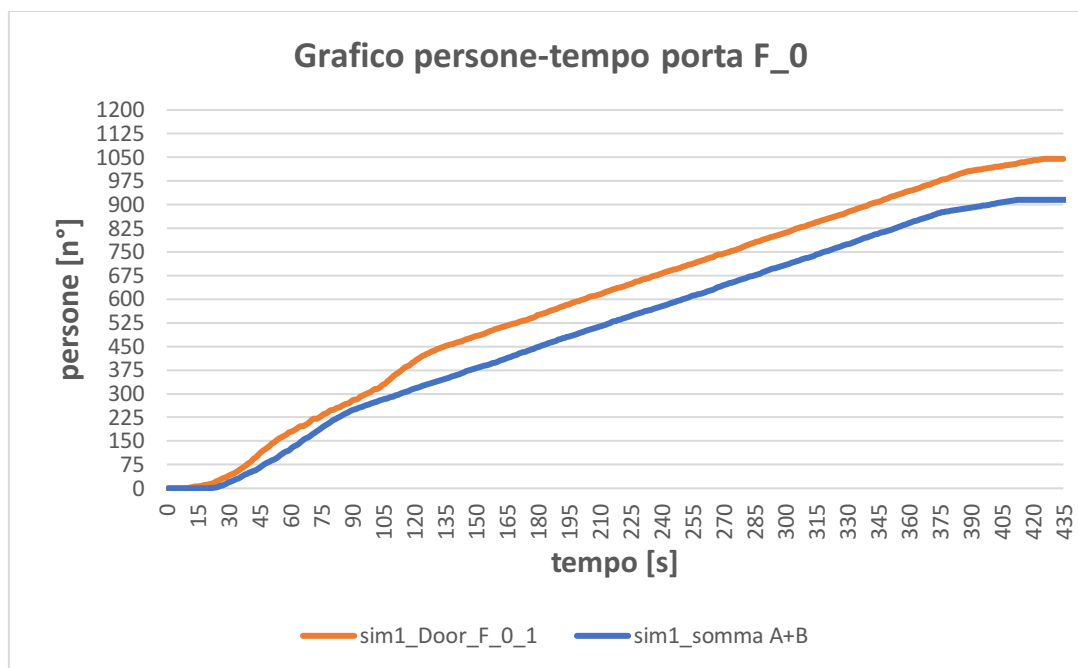


Figura 3–32: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alla porta fittizia del corpo scala F al livello 0.

Nella *Tabella 3-8* vengono riportati per il livello 0 i gruppo che appartengono a tale livello distinti per profilo e comportamento e il tempo impiegato per ciascun gruppo a raggiungere l’uscita dell’edificio distinti per tempo minimo e massimo. Si evince che il gruppo con profilo F_0_1 è costituito 130 agenti e raggiungono l’uscita in un tempo minimo di 18,9 sec. e un tempo massimo di 112,2 sec. Il profilo definito uscita è costituito da un solo agente ed è posto all’uscita dell’ edificio ed è l’addetto al controllo degli ingressi.

	Behavior	Profile	Count	Min	Max
livello 0	scala F_0	F_0_1	130	18,9	112,2
Livello0	uscita	uscita	1	5,8	5,8

Tabella 3-8: Tempi di evacuazione dall’edificio per gli agenti del livello 0 (il profilo “uscita” è stato assegnato ad un unico agente che è posto all’ingresso dell’edificio).

Dai risultati in output del software è stato possibile esportare una mappa definita “usage cumulated” in cui viene espresso in secondi quanto tempo vengono usati gli spazi riferito al tempo totale di simulazione *Figura 3–33* da cui si evince che a livello qualitativo gli spazi utilizzati per l’evacuazione dagli agenti del livello 0 vengono utilizzati per un tempo relativamente breve fino a dove i percorsi di tutti gli agenti presenti ai piani

superiori si incanalano per raggiungere la rampa principale che conduce verso l'uscita, ovvero dall'uscita dei corpi scala sul livello 0.

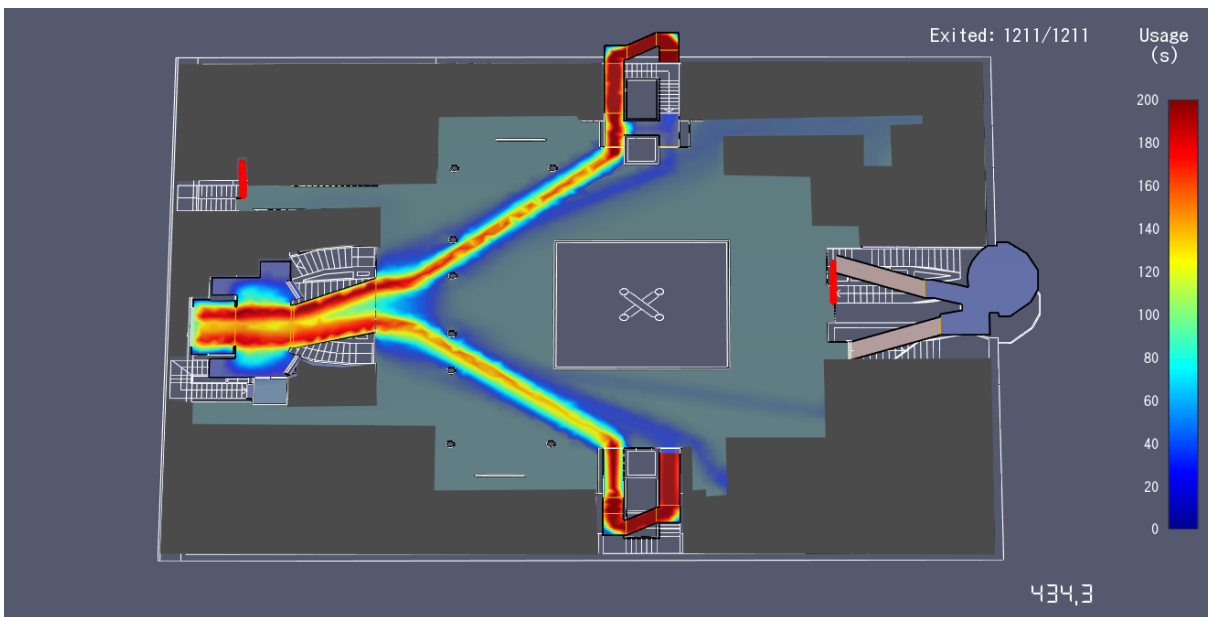


Figura 3–33: Scenario 1. Mappa di uso degli spazi per lo scenario di simulazione del livello 0.

L'ulteriore analisi svolta prende in considerazione i pianerottoli antistanti le uscite prese in esame Figura 3–34 definiti come scala_B_0_1 relativo al pianerottolo al piano 0 per il corpo scala B da cui defluiscono gli agenti provenienti dal piano inferiore, scala_B*_0_1 relativo al pianerottolo al piano 0 per il corpo scala B da cui defluiscono gli agenti provenienti del piano superiore e scala_A_0_1 relativo al pianerottolo al piano 0 per il corpo scala A da cui defluiscono gli agenti dei piani superiori e inferiori. Dal grafico si evince che l'andamento sul pianerottolo scala_B_0_1 raggiunge il tratto costante dopo circa 50 secondi con una presenza contemporanea di agenti che oscilla tra 2 e 3, il deflusso da questo pianerottolo si conclude in 81,1 secondi. Il tempo impiegato è relativamente contenuto in quanto gli agenti che utilizzano questo pianerottolo sono 57 e sono quelli provenienti dal piano inferiore appartenenti al profilo B_-1, per quanto riguarda i pianerottolo scala B*_0_1 si ha un tratto pressoché costante dopo 50 sec con una presenza di agenti compresi tra 3 e 6 sul pianerottolo e rimane tale fino a 375 secondi quando si libera il pianerottolo in tale condizione il deflusso procede in maniera costante durante tutto l'arco del tempo senza venirsi a creare zone ad alta densità che ostacolerebbero il deflusso. Nel pianerottolo scala_A_0_1 si ha un andamento costante sul grafico a partire da 50 secondi con la presenza contemporanea di agenti compresi tra un range di 6 e 9 che si protrae per 50 secondi dopo tale arco di tempo la presenza contemporanea di agente si riduce fino ad un valore che oscilla tra 2 e 5 agenti. La presenza del picco è dovuta a rallentamenti solo in una fase iniziale. In tutti i pianerottoli non si raggiungono livelli di densità elevati non creando pericoli per gli agenti che transitano in quelle zone. Nelle Figura 3–35, Figura 3–36, Figura 3–37, Figura 3–38 viene rappresentata attraverso mappe di calore la densità nei secondi. Questo parametro indica istantaneamente il livello di densità presente in ogni spazio. Mediante questa rappresentazione è possibile visualizzare lo stato degli occupanti su tutto il piano, in particolare si farà riferimento ai punti significativi del grafico di deflusso sui pianerottoli antistanti le uscite, valutando le condizioni critiche che emergono dalla simulazione. Dalle analisi emerge come il limite massimo di densità nelle rappresentazioni è di $3\text{pp}/\text{m}^2$ tale limite è il massimo che il solutore ammette (non ammette mai densità superiori), condizioni inferiori a questo limite sono già critiche. Nelle condizioni critiche si configurano situazioni nelle quali la densità elevata di persone vengono a verificare fenomeni di spinta, schiacciamenti dovuto alla calca, cadute, in generale condizioni di pericolo per gli utilizzatori.

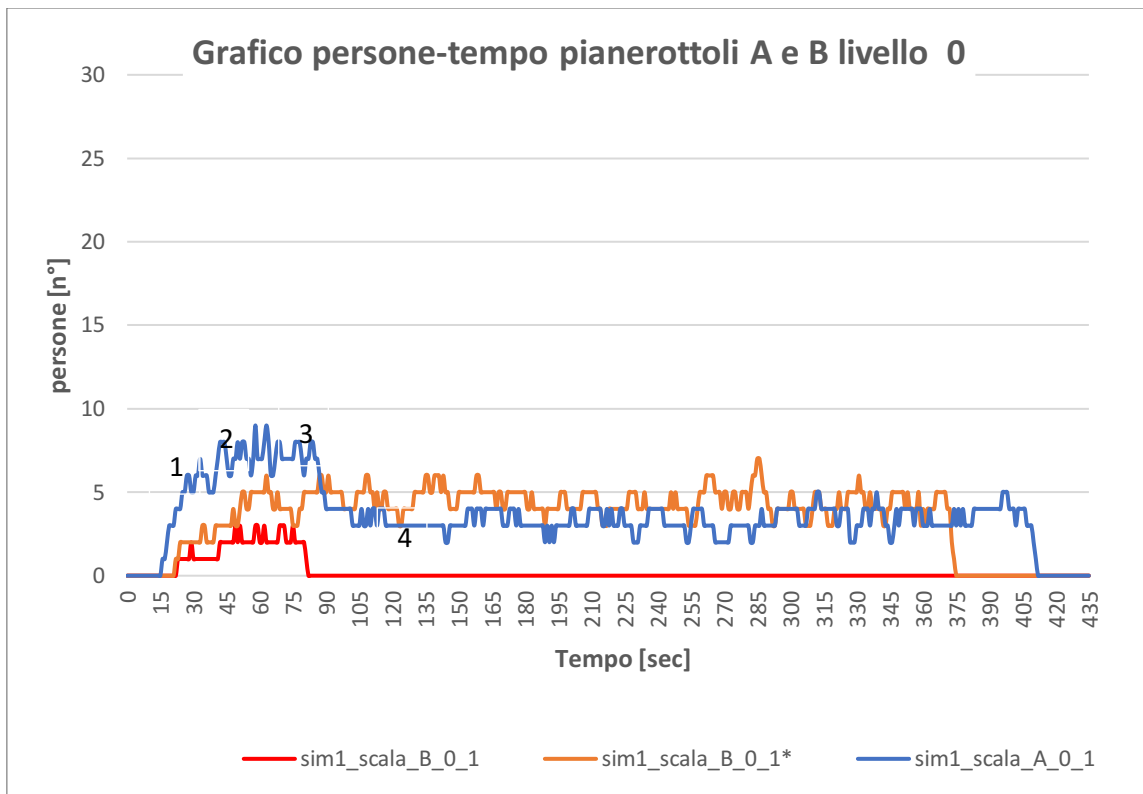


Figura 3–34: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti le porte del corpo scala A e B al livello 0.



Figura 3–35: Scenario 1. Mappa di densità a 30 sec.



Figura 3–36: Scenario 1. Mappa di densità a 50 sec.



Figura 3–37: Scenario 1 mappa di densità a 85 sec.



Figura 3–38: Scenario 1 mappa di densità a 130 sec.

Le figure a fianco rappresentano un fermo immagine della mappa di densità estrapolata dal software nei punti 1, 2, 3, 4 del grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti le porte dei corpi scala al livello 0 e fanno riferimento ai secondi 30, 50, 85, 130. In particolare all'istante di 30 sec. si ha un tratto costante e raggiunge il suo valore massimo che all'istante di 85 secondi si ha la fine del tratto costante (corpo scala B), per il corpo scala A il tratto costante si ha a partire dal punto 2 (30 sec) con una presenza contemporanea di agenti minori rispetto al corpo scala B. In questo livello nelle zone dei pianerottoli in esame non si raggiungono condizioni critiche in termini di densità per il deflusso degli agenti, non si vengono a creare code in prossimità delle uscite delle vie di esodo verticali e orizzontali, il deflusso procede in maniera costante, la condizione è presso che simmetrica tra i 2 corpi scala. Dalle figure si evince che le densità critiche si verificano lungo la parte alta delle scale di entrambi i corpi scala, altra condizioni critiche per il livello 0 si registrano all'accesso della porta fittizia F_0_1 in prossimità della scala che conduce all'uscita dell'edificio dove si viene a creare una zona ad alta densità in cui si creano interazioni tra agenti che impediscono un deflusso veloce, in questa zona si vengono a sommare la presenza di tutti gli agenti provenienti dai piani superiori e inferiori. Gli agenti si trovano a percorrere dopo l'uscita dalla scala uno spazio che possiamo definire libero e trovano un restringimento del percorso all'ingresso della rampa che conduce all'uscita creando un "collo di bottiglia". Dopo circa 130 viene smaltita la coda all'ingresso della scala.

Nella Tabella 3-9 seguente si riportano in breve i tempi di utilizzo per ogni pianerottolo inteso come il tempo impiegato ad un generico agente ad entrare in tale pianerottolo e il tempo massimo che impiega un agente ad uscire dallo stesso. Si nota che il tempo minimo è di 15,5 sec. e il massimo è di 404,8 sec.

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Total_Use
scala_A_0_1	15,5	411,5	458
scala_B_0_1	22	81,1	57
scala_B_0_1*	21,6	374,8	400

Tabella 3-9: Tempi di evacuazione dai pianerottoli per il livello 0.

LIVELLO 1

Per il livello 1 si farà riferimento alle porte: Door_A_1_1, Door_A_1_2, sono le porte appartenenti al corpo scala A dalle quali accederanno gli agenti presenti nel livello 1, Door_B_1_1 e Door_B_1_2 sono le porte appartenenti al corpo scala B da cui accederanno gli agenti nel del livello 1, inoltre si analizzerà i dati di output sulle Room: scala_A_1_1 scala_B_1_1 che rappresentano i pianerottoli antistanti le porte sul livello 1. Nei seguenti grafici si riporta l'analisi effettuata al livello 1 nello specifico si analizzerà l'andamento di uscita delle persone nel tempo relativo alle porte del corpo scala "A" "B". In Figura 3-39 si riporta il grafico relativo agli ingressi sul livello 1 nel tempo per le "Door_A_1_1" "Door_A_1_2" e la loro somma, tali ingressi fanno parte del corpo scala A e condurranno gli agenti del piano al piano inferiore per poi raggiungere l'uscita generale dell' edificio, nella Figura 3-40 si riporta i dati relativi alle porte Door_B_1_1 e Door_B_1_2 e la loro somma, tali ingressi fanno parte del corpo scala B e condurranno gli agenti presenti nel piano al livello 0. Nella Figura 3-41 si confronta il flusso su tutte le porte del piano.

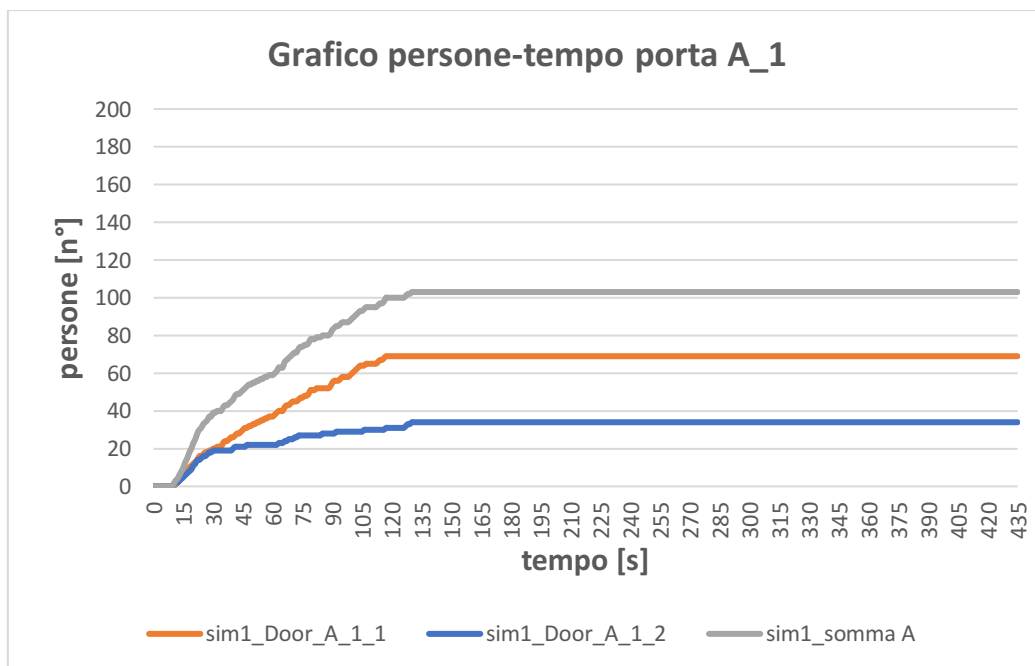


Figura 3-39: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alle porte del corpo scala A al livello 1.

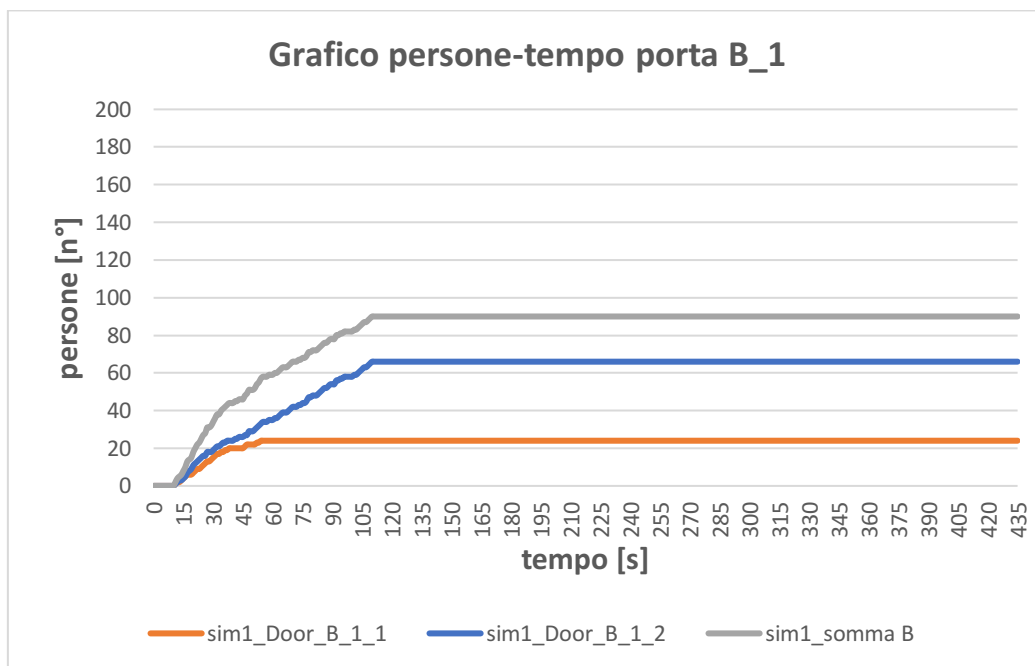


Figura 3–40: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alle porte del corpo scala B al livello 1.

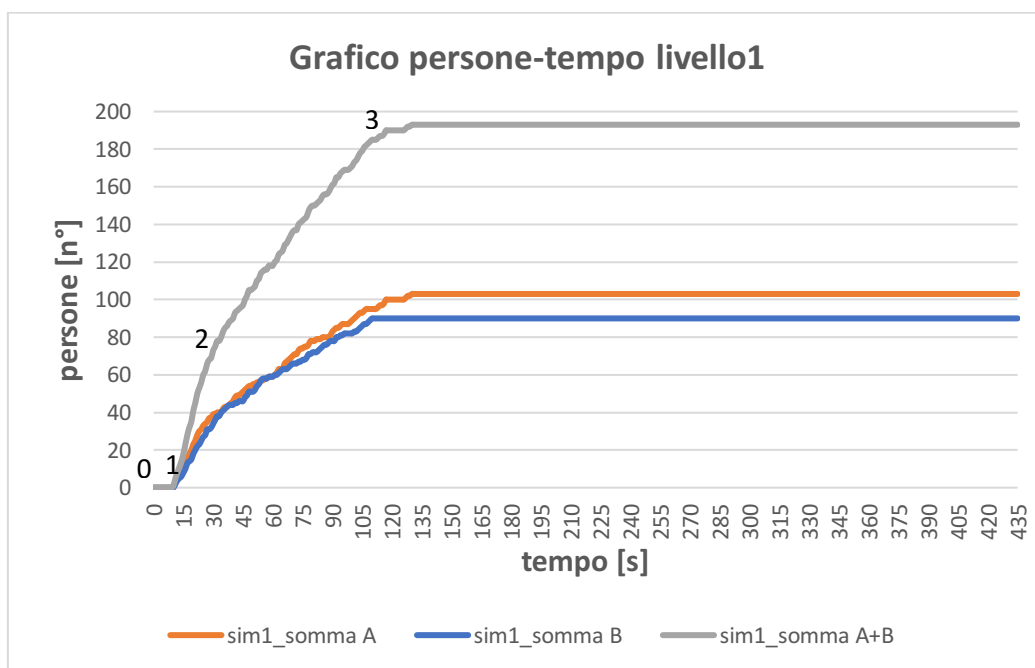


Figura 3–41: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alle porte del corpo scala A e B al livello 1.

Dai grafici risulta che per quanto riguarda le porte afferenti al corpo scala A la Door_A_1_1 viene attraversata da 69 agenti il tempo minimo impiegato per attraversarla è di 10,4 sec. mentre il massimo è di 110,6 sec. mentre per il tempo minimo e massimo di attraversamento della porta Door_A_1_2 che viene attraversata da 34 agenti è di 9 e 127,6 sec. Per quanto riguarda le porte del corpo scala B la Door_B_1_1 viene

attraversata da 24 agenti il tempo minimo e massimo impiegato per attraversarla è di 10,2 e 51,25 sec., la Door_B_1_2 viene attraversata da 66 agenti e il tempo di attraversamento minimo e massimo è di 10,6 e 105,8 sec. Dalla rappresentazione grafica riferita al confronto della somma degli agenti dalle uscite per ogni corpo scala si evince che l'andamento all'ingresso dai 2 corpi scala presenta una simmetria in termini di agenti che attraversano le porte (103 per la porta in A 90 per la porta in B) e in termini di tempi minimi e massimi di attraversamento (9sec. e 127,35 sec. per il corpo scala A e 10,2 e 105,8, per il corpo scala B). Se si considera i grafici alle uscite prese singolarmente per ogni corpo scala non c'è una distribuzione omogenea tra i due ingressi, nella Door_A_1_1 vi accedono 69 agenti nell'ingresso Door_A_1_2 vi accedono 34 agenti con una differenza di 35 agenti per il corpo scala B si ha una differenza tra i due ingressi di 42 agenti. In generale si ottiene che il tempo necessario a liberare il piano è di 127,4 secondi. Con riferimento ai flussi considerati sempre in riferimento al valore 95% percentile sugli ingressi A e B i valori oscillano tra 0,27 (pp/s) e 0,62 (pp/s) i valori maggiori di flusso si hanno per la porta Door_A_1_1 (0,62pp/s) e Door_B_1_2(0,62pp/s) che risultano essere le porte più utilizzate il flusso sulle restanti 2 porte risulta inferiore e senza grandi differenze. Se si considera il flusso normalizzato rispetto alle larghezze sulle porte A B ((somma degli ingressi)) i valori sono rispettivamente 0,34 (pp/s*I) per l'ingresso al corpo scala A e 0,35(pp/s*I) per il corpo scala B ovvero il processo avviene in maniera simile sul piano ma il processo di esodo non risulta veloce visti i coefficienti bassi, si creano attese all'ingresso delle porte che ostacolano il deflusso oltre alla prevedibile presenza di agenti all'interno dei corpi scala provenienti dai piani superiori. In sintesi è possibile riassumere i risultati tramite la Tabella 3-10 in cui vengono espressi per ogni porta quante persone utilizzano l'uscita, il tempo minimo e massimo che impiega il primo e l'ultimo agente del gruppo di riferimento a passare attraverso la porta presa in considerazione, il flusso definito come persone/secondi e il percentile al 95%. Ulteriore valutazione è possibile farla in riferimento alla pendenza dei tratti sulla curva di evacuazione che ingloba tutte le uscite sul piano (tratto grigio Figura 3-41). Si possono individuare 3 tratti, il tratto 0-1 ha un coefficiente angolare pari a 0 (alfa=0) (rapporto tra 0-0 (n°p)/ 10-0(sec) il tratto 1-2 ha un coefficiente angolare pari a 3,75 (alfa=75,0) (rapporto tra (75)/(30-10)), il tratto 2-3 ha un coefficiente angolare pari a 1,18 (alfa=49,7) (rapporto tra (193-75)/(130-30)), tale condizione sta a significare che per il primo tratto fino a 10 sec la pendenza è nulla perché non arriva nessuno per via della distanza tra l'uscita e le persone nell'edificio il secondo tratto da 10 sec. a 30 sec. la pendenza è maggiore che nel resto dell'esodo perché le condizioni idealmente sono migliori in termini di densità (in 20 sec. escono 75 agenti), il terzo tratto tra 30sec e 130 sec. la pendenza diminuisce perché ci sono densità più elevate lungo i percorsi (in 100 sec escono 118 agenti).

Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Percentile 0,95	Total_Use (n°persone)	Flow (ogni ingresso) (pers/s)		Flow normalizzato (ogni ingresso) (pers/s*I)		Flusso (sulla porta) (pers/s)		Flusso normalizzato (sulla porta) (pers/s*I)	
					Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%
Door_A_1_1	10,4	116	110,6	69	0,59	0,62	0,49	0,52	0,79	0,81	0,33	0,34
Door_A_1_2	9	129,6	127,35	34	0,26	0,27	0,22	0,22				
Door_B_1_1	10,2	57,4	51,25	24	0,42	0,47	0,53	0,39	0,82	0,85	0,34	0,35
Door_B_1_2	10,6	110	105,75	66	0,60	0,62	0,50	0,52				

Tabella 3-10: Tempi di evacuazione alle porte per il livello 1.

Nella tabella successiva Tabella 3-11 vengono riportati per il livello 1 i vari agenti distinti per gruppi e il tempo impiegato per uscire dall'edificio. Si deduce che il tempo affinché l'ultimo agente presente nel piano raggiunge l'uscita in un tempo di 168,5 sec.

	Behavior	Profile	Count	Min	Max
livello 1	scala A_1	A_1_1	69	51,7	175,6
livello 1	scala A_1	A_1_2	34	61,6	194,7
livello 1	scala B_1	B_1_1	24	65,6	155,4
livello 1	scala B_1	B_1_2	66	54,3	165,1

Tabella 3-11: Tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello 1.

Dai risultati in output del software è stato possibile esportare una mappa definita "usage accumulated" in cui viene espresso in secondi quanto tempo vengono usati gli spazi in riferimento al tempo totale di simulazione Figura 3-42, da cui si evince che a livello qualitativo gli spazi più utilizzati per l'evacuazione sono quelli nelle zone afferenti alle porte di ingresso ai corpi scala. I tempi in cui gli agenti sostano raggiungono i 100 secondi.

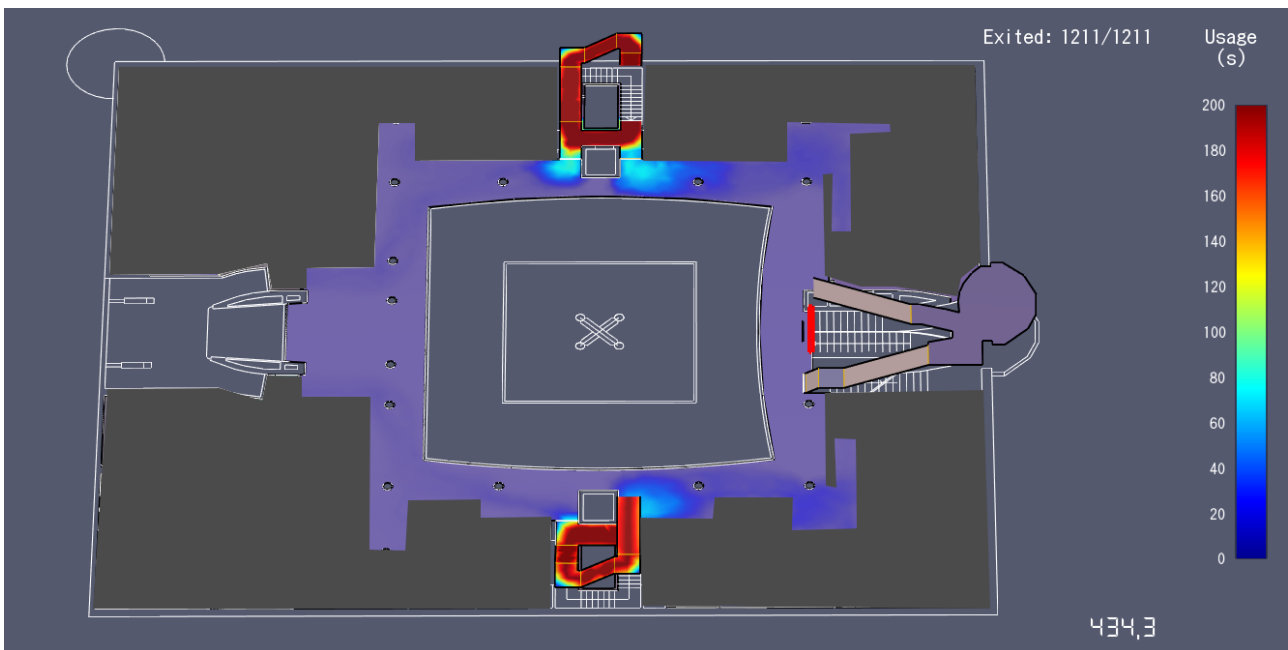


Figura 3-42: Scenario 1. Mappa di uso degli spazi per lo scenario di simulazione del livello 1.

L'ulteriore analisi svolta prende in considerazione i pianerottoli antistanti le porte prese in esame Figura 3-43 definiti come scala_B_1_1 relativo al pianerottolo del piano 1 per il corpo scala B da cui defluiscono gli agenti provenienti dai livelli superiori e scala_A_1_1 relativo al pianerottolo al livello 1 per il corpo scala A da cui defluiscono gli agenti dei piani superiori. Dal grafico si evince che le due curve seguono un andamento simile a meno del un valore del primo tratto costante più alto, per il pianerottolo scala_A_1_1 si raggiunge il tratto costante a circa 30 secondi con la presenza di agenti che oscilla in un range compreso tra 24 a 29 agenti il tratto costante si protrae per circa 90 secondi mentre sul pianerottolo B_1_1 si raggiunge il tratto costante a partire da 30 secondi con una presenza di agenti che oscilla tra 19 agenti a 23 agenti per un periodo

di 80 secondi. Da circa 120 sec. i tratti si sovrappongono ed hanno un valore costante che oscilla tra 11 e 16 agenti presenti sul pianerottolo contemporaneamente. Il valore del tratto costante più alto si giustifica da una densità maggiore nelle aree antistante il pianerottolo e il pianerottolo stesso e la presenza di agenti provenienti dai piani superiori che creano un ostacolo al deflusso. Nelle figure Figura 3–44, Figura 3–45, Figura 3–46, Figura 3–47 viene rappresentata attraverso mappe di calore la densità nei secondi 30, 110, 120, 150 sec. Questo parametro indica istantaneamente il livello di densità presente in ogni spazio. Mediante questa rappresentazione è possibile visualizzare lo stato degli occupanti su tutto il piano, in particolare si farà riferimento ai punti significativi del grafico di deflusso sui pianerottoli antistanti le uscite, valutando le condizioni critiche che emergono dalla simulazione. Dalle analisi emerge come il limite massimo di densità nelle rappresentazioni è di 3pp/m2 tale limite è il massimo che il solutore ammette (non ammette mai densità superiori), condizioni inferiori a questo limite sono già critiche. Nelle condizioni critiche si configurano situazioni nelle quali la densità elevata di persone vengono a verificare fenomeni di spinta, schiacciamenti dovuto alla calca, cadute, in generale condizioni di pericolo per gli utilizzatori.

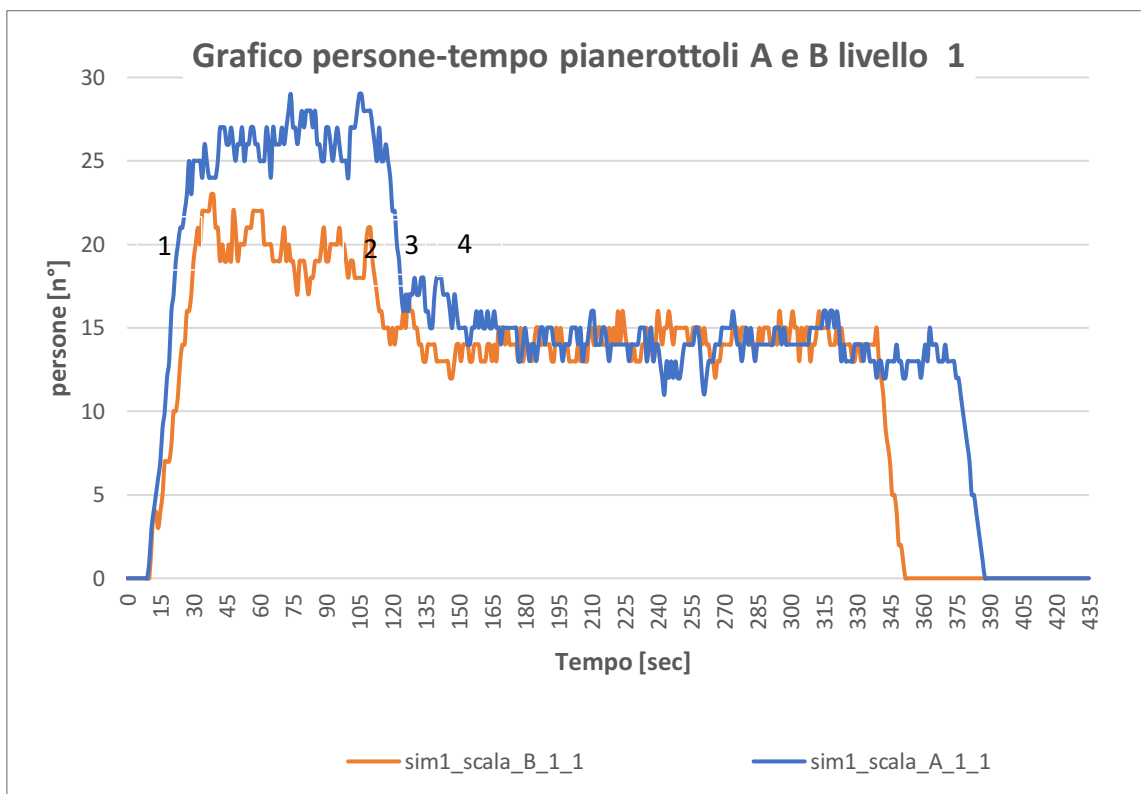


Figura 3–43: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti le porte del corpo scala A e B al livello 1.

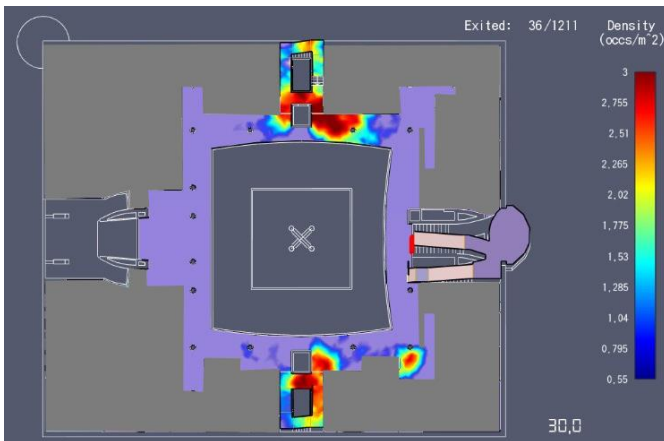


Figura 3–44: Scenario 1 mappa di densità a 30 sec.

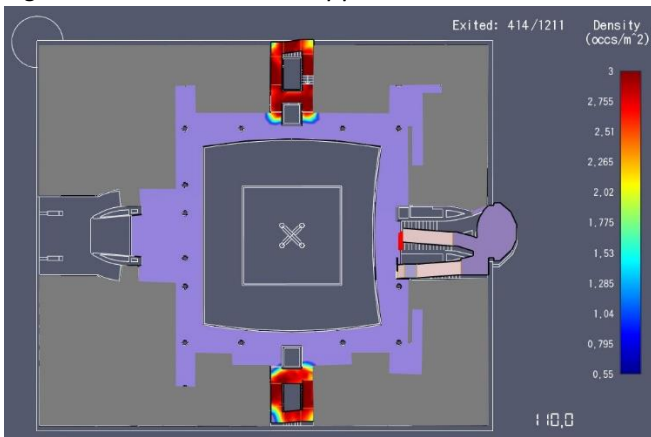


Figura 3–45: Scenario 1 mappa di densità a 110 sec.

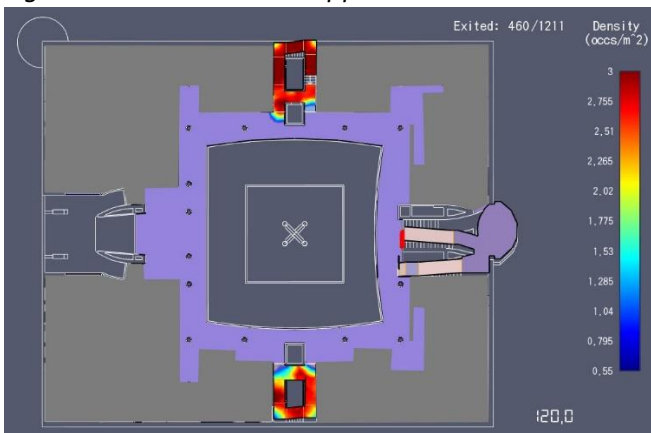


Figura 3–46: Scenario 1 mappa di densità a 120 sec.

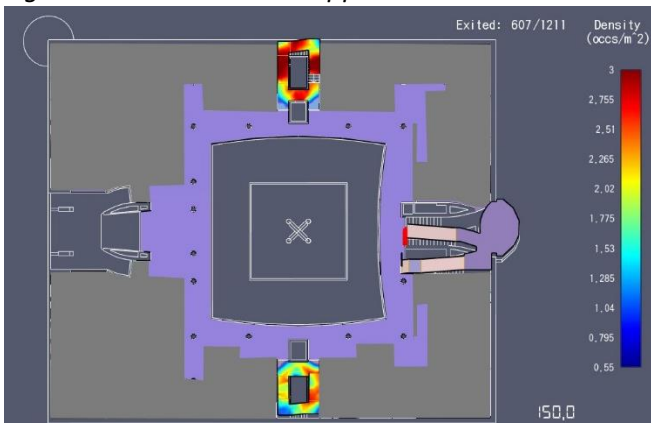


Figura 3–47: Scenario 1 mappa di densità a 150 sec.

Le figure a fianco rappresentano un fermo immagine della mappa di densità estrapolata dal software nei punti 1, 2, 3, 4 del grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti le porte dei corpi scala al livello 1 e fanno riferimento ai secondi 30, 110, 120, 150. In particolare all'istante di 30 sec. (punto 1) si ha l'inizio del tratto costante sia per il pianerottolo in A che in B che si protrae per 90sec, all'istante di 110 secondi (punto 2) si ha la fine del tratto a pendenza costante per il corpo scala B mentre a 110 sec. (punto 3) rappresenta la fine del tratto costante per il corpo scala B. Nei punti 1, 2, 3 si ha i livelli di maggior densità nei rispettivi pianerottoli, gli spazi antistanti gli ingressi e lungo le rampe delle scale, si verificano condizioni critiche per il deflusso degli agenti, si vengono a creare code in prossimità degli accessi alle scale e sulle vie di esodo verticali. Le condizioni più critiche si verificano nelle fasi iniziali dell'evacuazione quando si crea un assemblamento di agenti davanti gli ingressi che vanno a defluire progressivamente con il procedere dell'evacuazione. La condizione di criticità è temporanea sul piano in quanto l'ultimo agente ad uscire dal piano impiega 116 secondi che è un arco di tempo accettabile inoltre il tempo impiegato dall'ultimo agente del livello in esame a raggiunge l'uscita dell'edificio è in 194,7 sec.

Nella tabella seguente si Tabella 3-12 riportano in breve i tempi di utilizzo per ogni pianerottolo inteso come il tempo impiegato ad un generico agente ad entrare in tale pianerottolo e il tempo massimo che impiega un agente ad uscire dallo stesso. Si nota che il tempo minimo è di 9 sec. e il massimo è di 380,9 sec. che rappresenta il tempo impiegato dagli agenti dei piani superiori ad uscire da questa Room.

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Total_Use
scala_A_1_1	9	387,4	391
scala_B_1_1	10,2	351,5	400

Tabella 3-12: Tempi di evacuazione dai pianerottoli per il livello 1.

LIVELLO 2

Per il livello 2 si farà riferimento alle porte: Door_A_2_1, Door_A_2_2, sono le porte appartenenti al corpo scala A dalle quali accederanno gli agenti presenti nel livello 2, Door_B_2_1, Door_B_2_2 sono le porta da cui accederanno gli agenti che del livello 2, inoltre si analizzerà i dati di output sulle Room: scala_A_2_1 scala_B_2_1 che rappresentano i pianerottoli antistanti le porte del livello 2. Nei seguenti grafici si riporta l'analisi effettuata al livello 2 nello specifico si analizzerà l'andamento di uscita delle persone nel tempo relativo alle porte del corpo scala "A" e "B". In Figura 3-48 si riporta il grafico relativo agli ingressi sul livello 2 nel tempo per le "Door_A_2_1" "Door_A_2_2" e la loro somma, tali ingressi fanno parte del corpo scala A e condurranno gli agenti del piano al piano inferiore per poi raggiungere l'uscita generale dell'edificio. Nella Figura 3-49 si riporta i dati relativi alle porte Door_B_2_1 e Door_B_2_2 e la loro somma, tali ingressi fanno parte del corpo scala B e condurranno gli agenti presenti nel piano al livello 0. Nella Figura 3-50 si confronta il flusso su tutte le porte del piano. Nella discussione dei risultati che segue si farà riferimento ai valori del percentile al 95%.

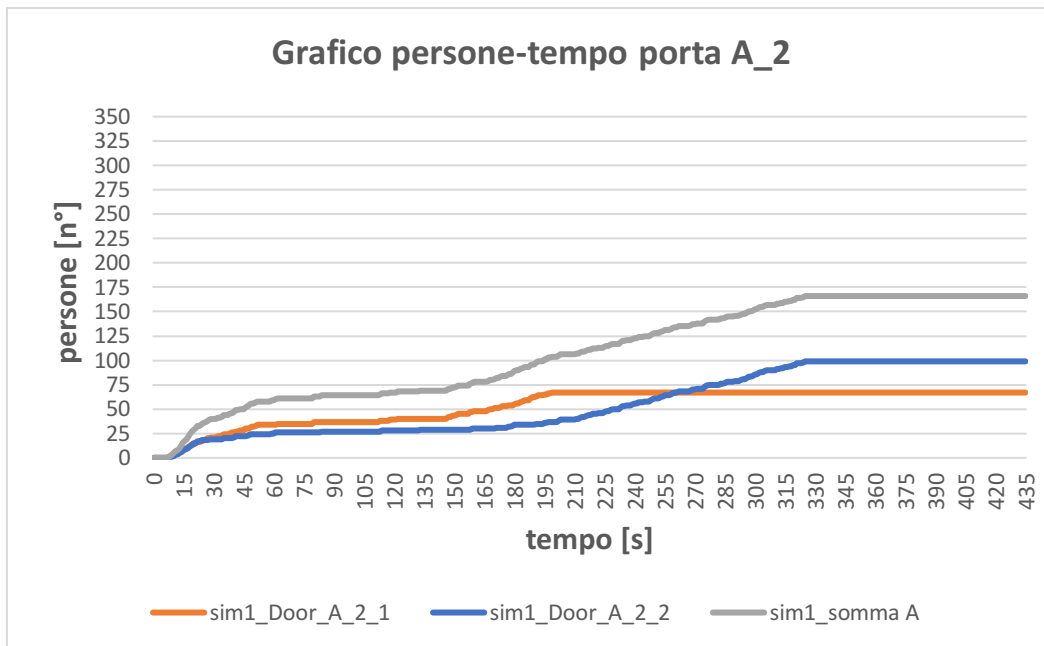


Figura 3-48: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alle porte del corpo scala A al livello 2.

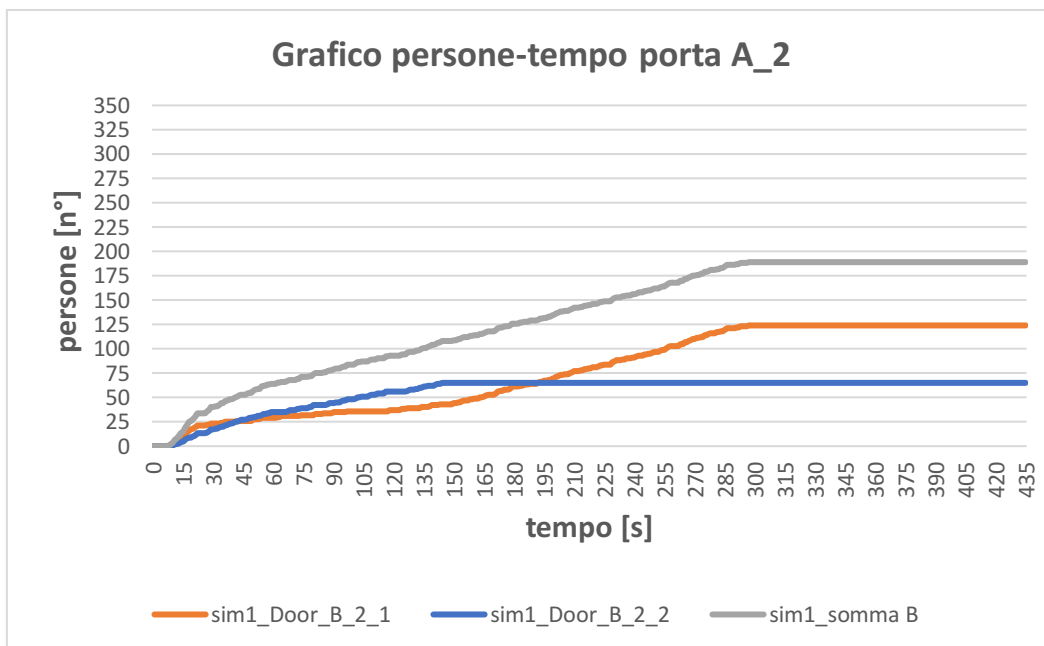


Figura 3-49: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alle porte del corpo scala B al livello 2.

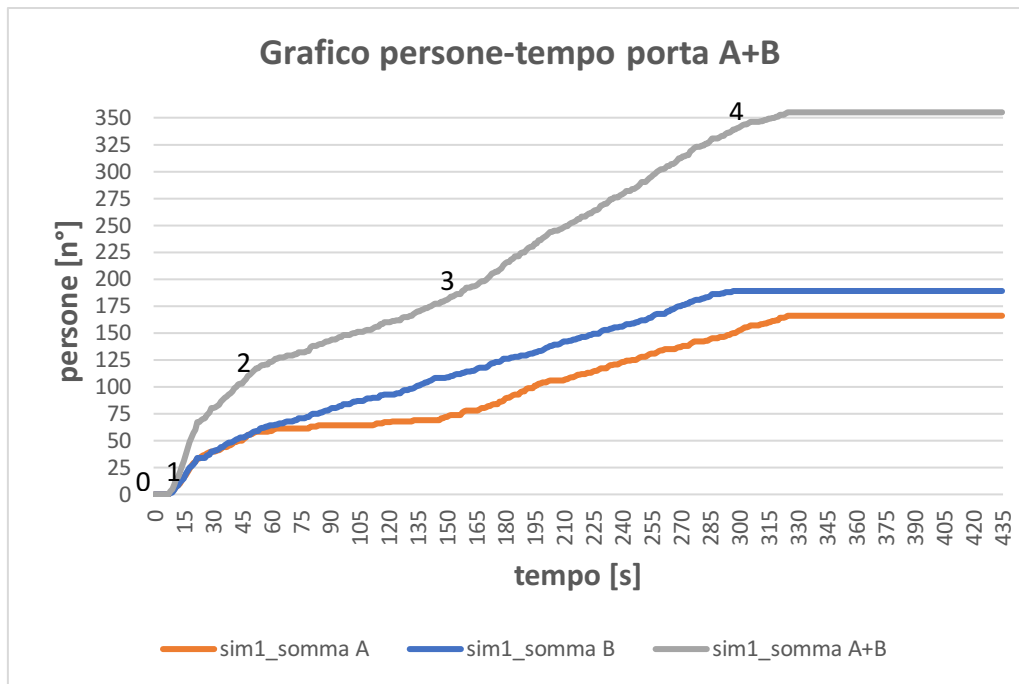


Figura 3–50: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alle porte dei corpi scala A e B al livello 2.

Dai grafici risulta che per quanto riguarda le porte afferenti al corpo scala A la Door_A_2_1 viene attraversata da 67 agenti il tempo minimo impiegato per attraversarla è di 7,4 sec. mentre il massimo è di 191,7 mentre per il tempo minimo e massimo di attraversamento della porta Door_A_2_2 che viene attraversata da 97 agenti è di 7,9 e 317,2. Per quanto riguarda le porte del corpo scala B la Door_B_2_1 viene attraversata da 124 agenti il tempo minimo e massimo impiegato per attraversarla è di 7,6 e 282,7 sec., la Door_B_2_2 viene attraversata da 65 agenti e il tempo di attraversamento minimo e massimo è di 9,7 e 136,6. Dalla rappresentazione grafica riferita al confronto della somma degli agenti delle uscite per ogni corpo scala si evince che l'andamento all'ingresso dai 2 corpi scala presenta delle differenze dovuto ad un numero di agenti diverso che accedono ai due corpi scala (164 per la porta in A 219 per la porta in B con una differenza tra i due corpi scala di 55 unità) in termini di tempi minimi e massimi di attraversamento (7,4 sec. e 317,2 per il corpo scala A e 7,6 e 282,7 per il corpo scala B) la differenza è trascurabile, tra i tempi massimi la differenza è di 20,8 secondi. Se si considera i grafici alle uscite prese singolarmente per ogni corpo scala non c'è una distribuzione omogenea tra i due ingressi. Nella Door_A_2_1 vi accedono 67 agenti e attraversano l'uscita al massimo in 191,7 secondi nell'ingresso Door_A_1_2 vi accedono 97 agenti e attraversano l'uscita al massimo in 317,2 secondi la differenza in termini di agenti è di 30 unità mentre in termini di tempo la differenza è 125,5 secondi. Per il corpo scala B si ha una differenza tra i due ingressi di 59 agenti, nella porta Door_B_2_1 vi accedono 124 agenti e al massimo l'ultimo l'attraversa in 282,7 secondi nella Door_B_2_2 vi accedono 65 agenti e al massimo l'ultimo l'attraversa in 136,6 la differenza tra i due ingressi in termini di tempo è di 146,1 secondi. In generale si ottiene che il tempo necessario a liberare il piano è di 319,9 secondi ovvero il tempo appartenente all'ultimo agente che accede all'ingresso Door_A_2_2. Con riferimento ai flussi considerati sempre in riferimento al valore 95% percentile, sugli ingressi A e B i valori oscillano 0,35 (pp/s) e 0,48 (pp/sec) ovvero l'ingresso alle porte è simile sui due corpi scala, i valori di flusso risultano bassi e senza grandi differenze (lo scarto è di 0,13 tra i valori minimi e massimi del flusso) andando ad analizzare il flusso normalizzato rispetto alle larghezze degli ingressi i valori sono rispettivamente 0,22 (pp/s*I) per l'ingresso al corpo scala A e 0,28 (pp/s*I) per il corpo scala B, il processo avviene in maniera simile sul piano ma il processo di esodo non risulta veloce visti i coefficienti bassi, si creano attese all'ingresso delle porte che ostacolano il deflusso, il tempo di l'ingresso alle porte è lento dovuto alla prevedibile presenza di agenti all'interno della scala provenienti dai piani superiori. In generale si riscontrano indici più bassi rispetto al piano inferiore. In sintesi è possibile riassumere i risultati tramite la Tabella 3-13 in cui vengono espressi per ogni porta quante persone utilizzano l'uscita, il tempo minimo e massimo che impiega il primo e l'ultimo agente del gruppo di

riferimento a passare attraverso la porta presa in considerazione, il flusso definito come persone/secondi e il percentile al 95%. Ulteriore valutazione è possibile farla in riferimento alla pendenza dei tratti sulla curva di evacuazione che ingloba tutte le uscite sul piano (tratto grigio Figura 3-50). Si possono individuare 4 tratti, il tratto 0-1 ha un coefficiente angolare pari a 0 (alfa=0) (rapporto tra 0-0 (n°p)/ 10-0(sec) il tratto 1-2 ha un coefficiente angolare pari a 2,7 (alfa=69,7) (rapporto tra (120)/(55-10)), il tratto 2-3 ha un coefficiente angolare pari a 0,65 (alfa=33,0) (rapporto tra (182-120)/(150-55)), il tratto 3-4 ha un coefficiente angolare pari a 0,99 (alfa=44,7) (rapporto tra (355-182)/(325-150)), tale condizione sta a significare che per il primo tratto fino a 10 sec. la pendenza è nulla perché non arriva nessuno per via della distanza tra l'uscita e le persone nell'edificio il secondo tratto da 10 sec. a 50 sec. la pendenza è maggiore che nel resto dell'esodo perché le condizioni idealmente sono migliori in termini di densità (in 55 sec. escono 120 agenti), il terzo tratto tra 55 sec. e 150 sec. la pendenza diminuisce perché ci sono densità più elevate lungo i percorsi che creano all'ingresso delle porte tempi di attesa alti (in 95 sec. escono 62 agenti) nell'ultimo tratto tra 150 e 325 secondi la pendenza torna a crescere rispetto al tratto precedente ovvero si supera una fase critica per il deflusso in cui l'alta densità impediva il deflusso degli agenti (in 175 secondi escono 173 agenti).

Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Percentile 0,95	Total_Use (n° persone)	Flow (su ogni ingresso) (pers/s)		Flow normalizzato (ogni ingresso) (pers/s*l)		Flow normalizzato (sulla porta) (pers/s)		Flow normalizzato (sulla porta) (pers/s*l)	
					Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%
Door_A_2_1	7,4	198,2	191,7	67	0,34	0,35	0,28	0,29	0,51	0,52	0,21	0,22
Door_A_2_2	7,9	324,6	317,2	97	0,30	0,31	0,25	0,25				
Door_B_2_1	7,6	296,4	282,7	124	0,42	0,44	0,35	0,37	0,64	0,67	0,27	0,28
Door_B_2_2	9,7	143,5	136,6	65	0,45	0,48	0,38	0,40				

Tabella 3-13: Tempi di evacuazione alle porte per il livello 2.

Nella tabella successiva Tabella 3-14 vengono riportati per il livello 2 la distinzione per gruppi e il tempo impiegato massimo e minimo per uscire dall' edificio per ciascun gruppo. Si deduce che il tempo che impiega l'ultimo agente presente nel piano a raggiungere l'uscita è di 417,7 sec.

	Behavior	Profile	Count	Min	Max
livello 2	scala A_2	A_2_1	67	94,4	289,8
livello 2	scala A_2	A_2_2	97	108,5	421,7
livello 2	scala B_2	B_2_1	124	87,1	394,9
livello 2	scala B_2	B_2_2	65	90,3	228,9

Tabella 3-14: Tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello 2.

Dai risultati in output del software è stato possibile esportare una mappa definita "usage accumulated" in cui viene espresso in secondi quanto tempo vengono usati gli spazi con riferimento al tempo totale di simulazione Figura 3-51, da cui si evince che a livello qualitativo gli spazi più utilizzati per l'evacuazione sono quelli nelle zone afferenti alle porte di ingresso ai corpi scala, i tempi di utilizzo delle aree pertinenti alle uscite subisce un incremento rispetto a quanto visto nelle analisi dei piani precedenti tale condizione implica tempi di attesa maggiore per l'attraversamento della porta.

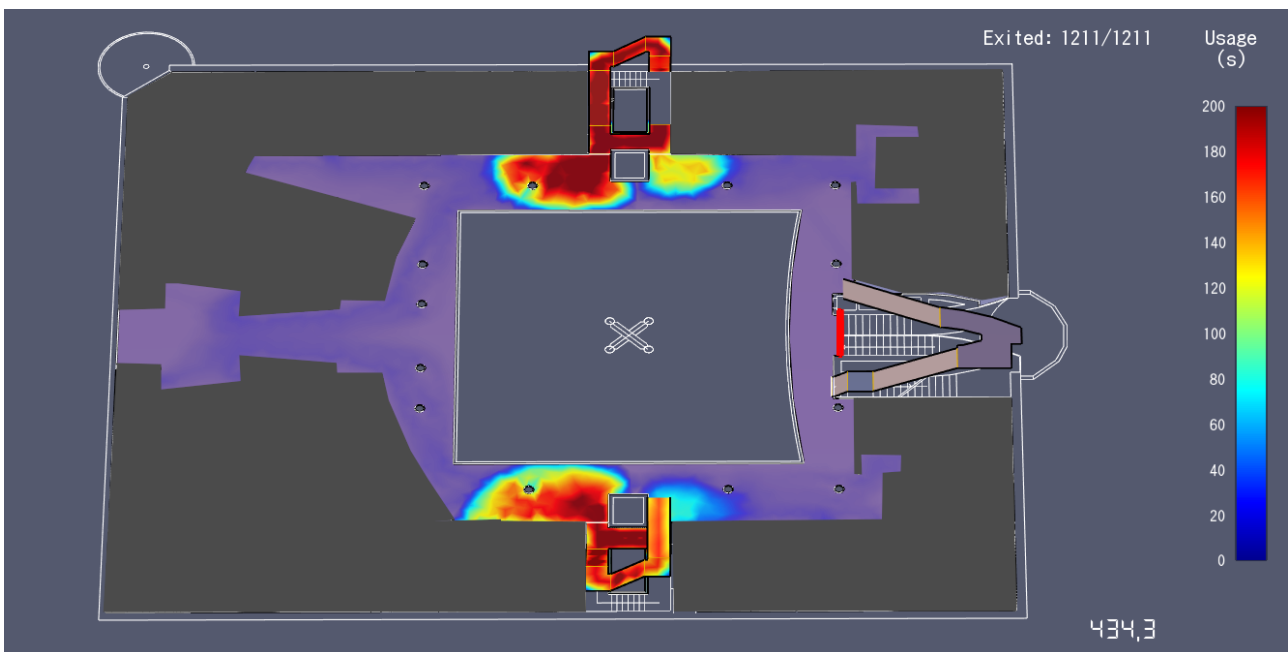


Figura 3-51: Scenario 1. Mappa di uso degli spazi per lo scenario di simulazione del livello 2.

L'ulteriore analisi svolta prende in considerazione i pianerottoli antistanti le porte prese in esame Figura 3-52 definiti come scala_A_2_1 relativo al pianerottolo al livello 2 per il corpo scala A da cui defluiscono gli agenti provenienti dai livelli superiori e scala_B_2_1 relativo al pianerottolo al livello 2 per il corpo scala B da cui defluiscono gli agenti dei piani superiori. Dal grafico si evince che l'andamento della curva sui 2 pianerottoli è sovrapponibile, l'andamento sul pianerottolo scala_B_2_1 raggiunge un tratto costante dopo 25 secondi con la presenza contemporanea di un numero di agente che varia tra 20 e 24 unità per circa 180 secondi, dopo 220 secondi la presenza contemporanea di agenti sul pianerottolo è compresa in un range compreso 14 e 19 agenti. Per quanto riguarda i pianerottolo scala_A_2_1 si raggiunge anche qui un tratto costante dopo 25 secondi con la presenza contemporanea di un numero di agente che varia tra 20 e 27 unità

per circa 120 secondi dopo il quale la presenza contemporanea di agenti sul pianerottolo è compresa in un range compreso 14 e 19 agenti simile al pianerottolo precedente. La presenza di un tratto costante sul pianerottolo implica un rallentamento dell'esodo per la presenza di interazione tra gli agenti. Il valore di picco alto si giustifica da una densità elevata nelle aree antistante il pianerottolo, il pianerottolo stesso e la presenza di agenti provenienti dai piani superiori.

Nelle figure, Figura 3-53, Figura 3-54, Figura 3-55, Figura 3-56 viene rappresentata attraverso mappe di calore la densità nei secondi 25, 145, 205, 220sec. Questo parametro indica istantaneamente il livello di densità presente in ogni spazio. Mediante questa rappresentazione è possibile visualizzare lo stato degli occupanti su tutto il piano, In particolare si farà riferimento ai punti significativi del grafico di deflusso sui pianerottoli antistanti le uscite, valutando le condizioni critiche che emergono dalla simulazione. Dalle analisi emerge come la densità non supera comunque il valore massimo di 3 occupanti al m².

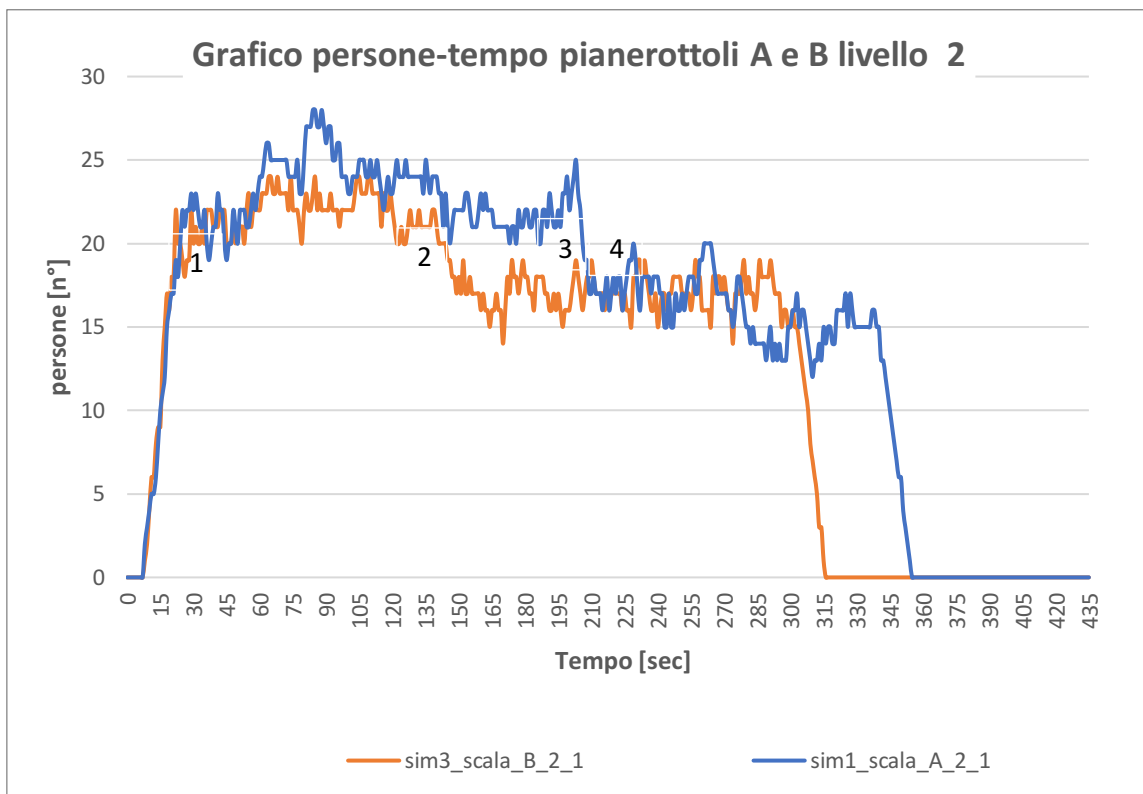


Figura 3-52: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti le porte del corpo scala A al livello 2.

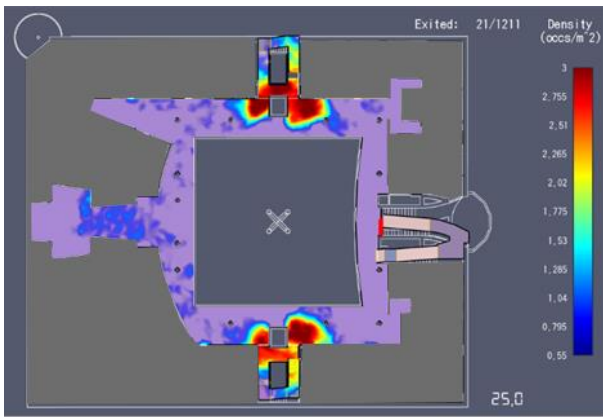


Figura 3-53: Scenario 1 mappa di densità a 25 sec.

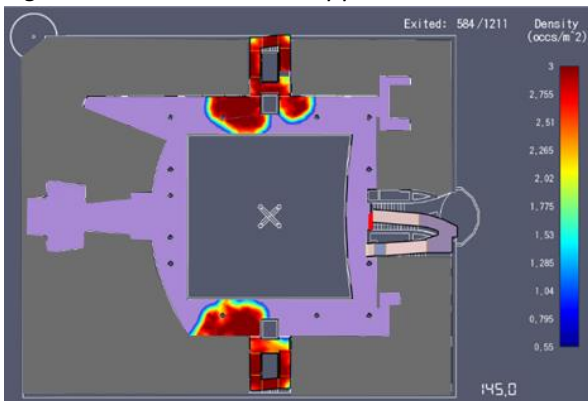


Figura 3-54: Scenario 1 mappa di densità a 145 sec.



Figura 3-55: Scenario 1 mappa di densità a 205 sec.



Figura 3-56: Scenario 1 mappa di densità a 220 sec.

Le figure a fianco rappresentano un fermo immagine della mappa di densità estrapolata dal software nei punti 1, 2, 3, 4 del grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti le porte dei corpi scala al livello -1 e fanno riferimento ai secondi 25, 145, 205, 220. In particolare all'istante di 25 sec si ha l'inizio di un tratto costante per il corpo scala A e B (punto 1) all'istante di 145 secondi si ha la fine del tratto costante per il corpo scala B (punto 2) mentre per il corpo scala A il tratto di a pendenza costante termina a 205 sec. (punto 3), a 220 si rappresenta l'inizio del tratto in cui il livello di agenti presenti contemporaneamente sul pianerottolo si riduce e si stabilizza fino a fine simulazione (punto 4). Al raggiungimento delle densità maggiori si verificano condizioni critiche per il deflusso degli agenti, si vengono a creare code in prossimità delle porte di ingresso ai corpi scala e nelle vie di esodo verticali. Dopo 30 secondi si può vedere come si creano zone a densità critica nelle zone antistanti gli ingressi per entrambe i corpi scala e lungo le rampe delle scale, la densità elevata crea condizioni di congestione che impediscono il movimento agli agenti generando tempi di attesa lunghi per accedere ai vari ingressi, si creano interazioni tra agenti che impediscono un deflusso veloce. Tali condizioni estreme creano pericoli agli utilizzatori in quanto livelli critici di densità andrebbero a creare fenomeni di spinta. Le condizioni critiche si vengono ad attenuare dopo 220 secondi circa. Il processo di esodo per questo livello è condizionato dal numero di agenti del livello e da quelli che provengono dal livello superiori. Il deflusso dell'intero piano termina dopo 317,2 secondi che è il tempo che impiega il generico agente ad attraversare la Door_A_2_2. Il tempo massimo impiegato da un generico agente di questo livello a raggiungere l'uscita è di 421,7 sec.

Nella tabella seguente Tabella 3-15 si riportano in breve i tempi di utilizzo per ogni pianerottolo inteso come il tempo impiegato da un generico agente ad entrare in tale pianerottolo e il tempo massimo che impiega un agente ad uscire dallo stesso. Si nota che il tempo minimo è di 5,8 sec. e il massimo è di 348,8 sec. che rappresenta il tempo impiegato dagli agenti a liberare questa Room.

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Total_Use
scala_A_2_1	7,4	354,2	288
scala_B_2_1	7,6	315,6	310

Tabella 3-15: Tempi di evacuazione dai pianerottoli per il livello 2

LIVELLO 3

Per il livello 3 si farà riferimento alle porte: Door_A_3_1, Door_A_3_2, sono le porte appartenenti al corpo scala A dalle quali accederanno gli agenti presenti nel livello 2, Door_B_3_1, è la porta appartenente al corpo scala B da cui accederanno gli agenti del livello 2, inoltre si analizzerà i dati di output sulle Room: scala_A_3_1 scala_B_3_1 che rappresentano i pianerottoli antistanti le porte del livello 2. Nei seguenti grafici si riporta l'analisi effettuata al livello 3 nello specifico si analizzerà l'andamento di uscita delle persone nel tempo relativo alle porte del corpo scala "A" e "B". in Figura 3-57 si riporta il grafico relativo agli ingressi sul livello 3 nel tempo per le "Door_A_3_1" "Door_A_3_2" e la loro somma, tali ingressi fanno parte del corpo scala A e condurranno gli agenti del piano al piano inferiore per poi raggiungere l'uscita generale dell'edificio. Nella Figura 3-58 si riporta i dati relativi alla porta Door_B_3_1, tale ingresso fa parte del corpo scala B e condurrà gli agenti presenti nel piano al livello 0. Nella Figura 3-59 si confronta il flusso su tutte le porte del piano. Nella discussione dei risultati che segue si farà riferimento ai valori del percentile al 95%.

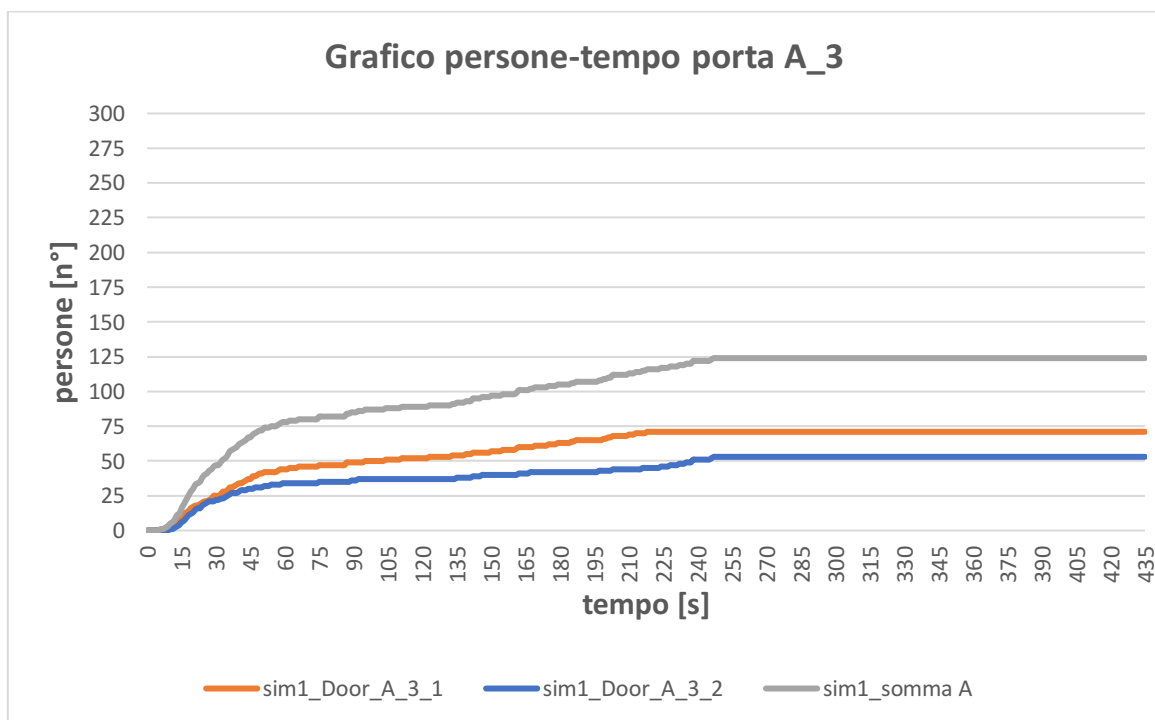


Figura 3-57: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alle porte del corpo scala A al livello 3.

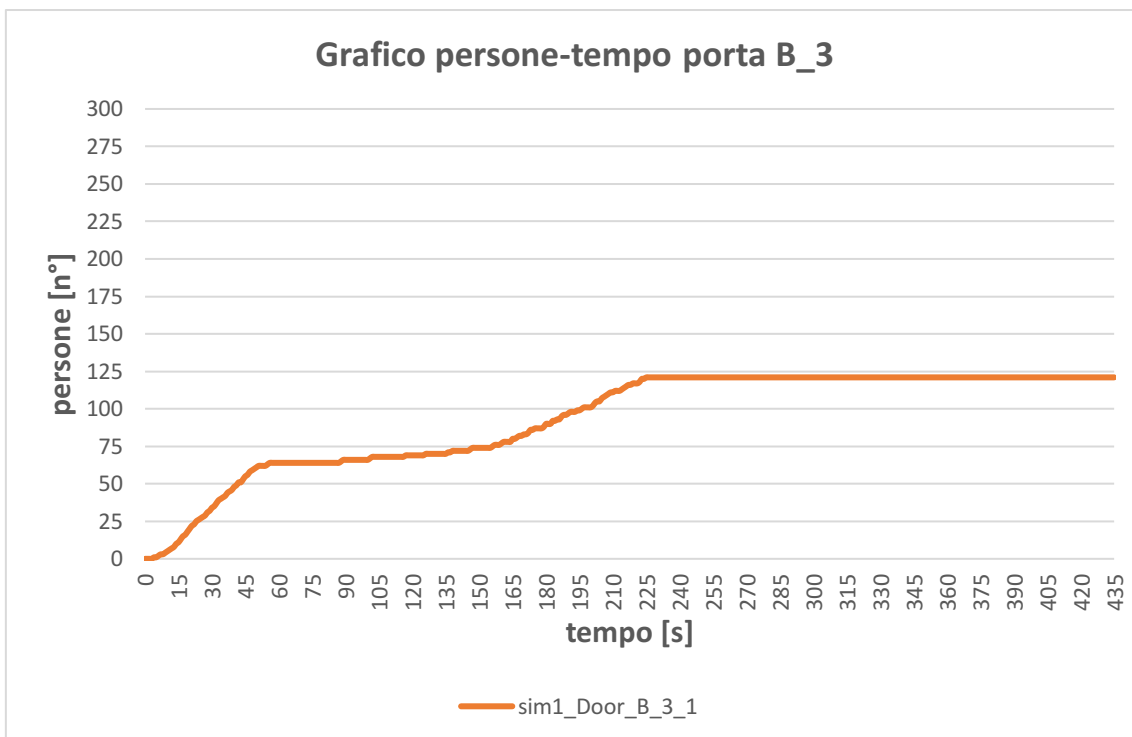


Figura 3–58: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alle porte del corpo scala B al livello 3.

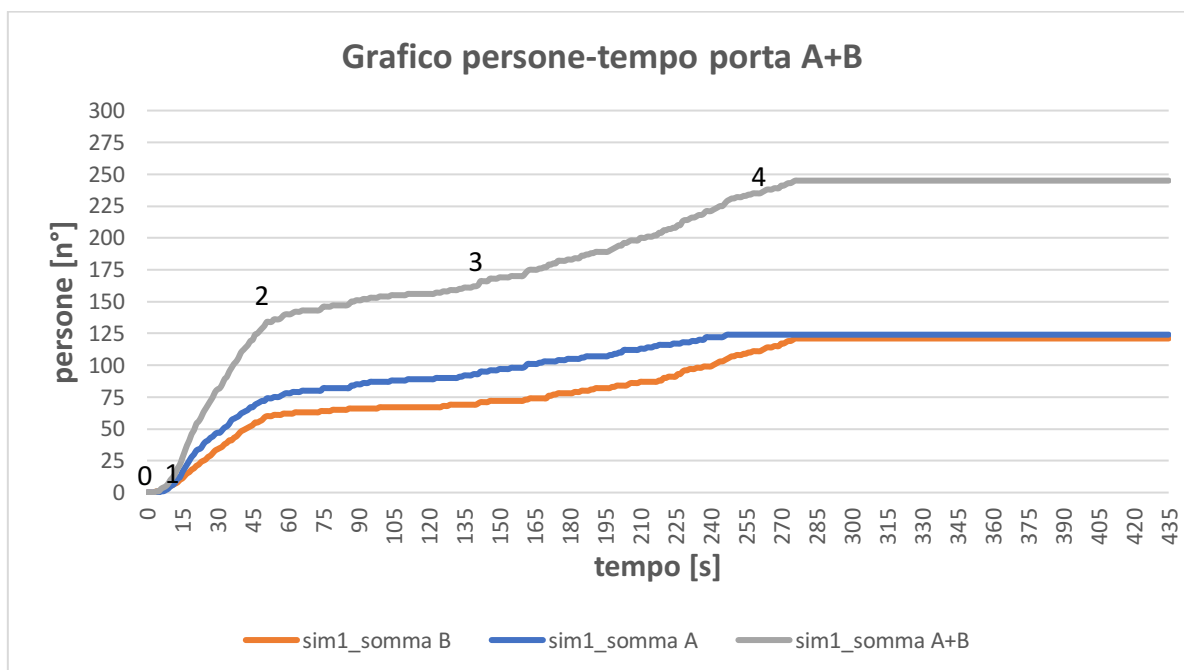


Figura 3–59: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alle porte del corpo scala A e B al livello 3.

Dai grafici risulta che per quanto riguarda le porte afferenti al corpo scala A la Door_A_3_1 viene attraversata da 71 agenti il tempo minimo impiegato per attraversarla è di 5,8 sec. mentre il massimo è di 202,0 sec., il tempo minimo e massimo di attraversamento della porta Door_A_3_2 che viene attraversata da 53 agenti è di 9,5 e 238,0 sec., per quanto riguarda la porta del corpo scala B la Door_B_3_1 viene attraversata da 121 agenti il tempo minimo e massimo impiegato per attraversarla è di 4 e 216 sec. Dalla rappresentazione grafica riferita al confronto della somma degli agenti che attraversano le uscite per ogni corpo scala si evince una differenza anche dovuto alla conformazione dei pianerottoli (il pianerottolo sulla porta B ha un area inferiore di circa il 50% rispetto al pianerottolo A). La differenza di agenti che accedono ai due corpi scala risulta minima

(124 per la porta in A ,121 per la porta in B con una differenza tra i due corpi scala di 3 unità) in termini di tempi minimi e massimi di attraversamento (5,8 sec. e 238,0 per il corpo scala A e 4 e 216 per il corpo scala B) la differenza dei tempi massimi è di 222,0 secondi. Se si considera i grafici alle uscite prese singolarmente per il corpo scala A non c'è una distribuzione omogenea tra i due ingressi, nella Door_A_3_1 vi accedono 71 agenti e attraversano l'uscita al massimo in 202 secondi, nell'ingresso Door_A_3_2 vi accedono 53 agenti e attraversano l'uscita al massimo in 238,0 secondi la differenza in termini di agenti è di 18 unità, mentre in termini di tempo la differenza è di 36 secondi. Il corpo scala B ha un unico ingresso e dal medesimo accedono 121 agenti e al massimo l'ultimo l'attraversa in 216 secondi. In generale si ottiene che il tempo necessario a liberare il piano è di 238 secondi ovvero il tempo appartenente all'ultimo agente che accede all'ingresso Door_A_3_2. Con riferimento ai flussi considerati sempre in riferimento al valore 95% percentile, sugli ingressi A e B i valori oscillano tra 0,35 (pp/s) e 0,56 (pp/s) i valori di flusso risultano bassi e senza grandi differenze (lo scarto è di 0,21 tra i valori minimi e massimi del flusso su ogni ingresso) se si considera il flusso normalizzato rispetto alle larghezze degli ingressi i valori sono rispettivamente 0,22 (pp/s*I) per l'ingresso al corpo scala A e 0,47 (pp/s*I) per il corpo scala B, il valore in B risulta più alto perché la larghezza dell'ingresso è più piccola, il corpo scala B prevede una sola porta al contrario del corpo scala A. In generale il processo avviene in maniera simile sul piano ma il processo di esodo non risulta veloce visti i coefficienti bassi, si creano attese all'ingresso delle porte che ostacolano il deflusso oltre alla prevedibile presenza di agenti all'interno dei corpi scala che rallentano il flusso, si riscontrano indici simili al piano inferiore.

In sintesi è possibile riassumere i risultati tramite la Tabella 3-16 in cui vengono espressi per ogni porta quante persone utilizzano l'uscita, il tempo minimo e massimo che impiega il primo e l'ultimo agente del gruppo di riferimento a passare attraverso la porta presa in considerazione, il flusso definito come persone/secondi e il percentile al 95%. Ulteriore valutazione è possibile farla in riferimento alla pendenza dei tratti sulla curva di evacuazione che ingloba tutte le uscite sul piano (tratto grigio Figura 3-59). Si possono individuare 4 tratti, il tratto 0-1 ha un coefficiente angolare pari a 0 (alfa=0) (rapporto tra $(0-0) / (15-0)$ (sec)) il tratto 1-2 ha un coefficiente angolare pari a 3,4 (alfa=73,6) (rapporto tra $(136)/(55-15)$), il tratto 2-3 ha un coefficiente angolare pari a 0,33 (alfa=18,3) (rapporto tra $(166-136)/(145-55)$), il tratto 3-4 ha un coefficiente angolare pari a 0,78 (alfa=38,0) (rapporto tra $(245-166)/(246-145)$), tale condizione sta a significare che per il primo tratto fino a 15 sec la pendenza è nulla perché non arriva nessuno per via della distanza tra l'uscita e le persone nell'edificio il secondo tratto da 15 sec. a 55 sec. la pendenza della curva è crescente ed è maggiore che nel resto del periodo preso in esame perché le condizioni idealmente sono migliori in termini di densità (in 55 sec escono 136 persone), il terzo tratto tra 55 sec. e 145 sec. la pendenza diminuisce perché ci sono densità più elevate lungo i percorsi il flusso in questo tratto subisce un forte rallentamento tale condizione è stazionaria per circa 90 secondi (in 90 sec. escono 30 agenti) nell'ultimo tratto la pendenza torna a crescere gradualmente ma con un deflusso lento (in 100 secondi escono 79 agenti) in questo arco di tempo attraversano la porta gli agenti che erano in coda con i tempi di attesa più alti.

Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Percentile 0,95	Total_Use (n°persone)	Flow (su ogni ingresso) (pers/s)		Flow (su ogni ingresso) (pers/s*I)		Flow (sulla porta) (pers/s)		Flow (sulla porta) (pers/s*I)	
					Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%
Door_A_3_1	5,8	217,7	202	71	0,33	0,35	0,28	0,29	0,5	0,52	0,21	0,22
Door_A_3_2	9,5	246,3	238	53	0,22	0,22	0,18	0,19				
Door_B_3_1	4	225	216	121	0,54	0,56	0,45	0,47	0,54	0,56	0,45	0,47

Tabella 3-16: Tempi di evacuazione alle porte per il livello 3.

Nella Tabella 3-17 vengono riportati per il livello 3 la distinzione per gruppi e il tempo impiegato massimo e minimo per uscire dall'edificio per ciascun gruppo. Si deduce che il tempo che impiega l'ultimo agente presente nel piano a raggiungere l'uscita è di 434 sec. che corrisponde al tempo necessario ad evacuare tutto l'edificio.

	Behavior	Profile	Count	Min	Max
livello 3	scala A_3	A_3_1	71	153	415,5
livello 3	scala A_3	A_3_2	53	179,9	434
livello 3	scala B_3	B_3_1	121	146,4	397

Tabella 3-17: Tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello 3

Dai risultati in output del software è stato possibile esportare una mappa definita "usage accumulated" in cui viene espresso in secondi quanto tempo vengono usati gli spazi con riferimento al tempo totale di simulazione Figura 3-60, da cui si evince che a livello qualitativo gli spazi più utilizzati per l'evacuazione sono quelli nelle zone afferenti alle porte di ingresso ai corpi scala.

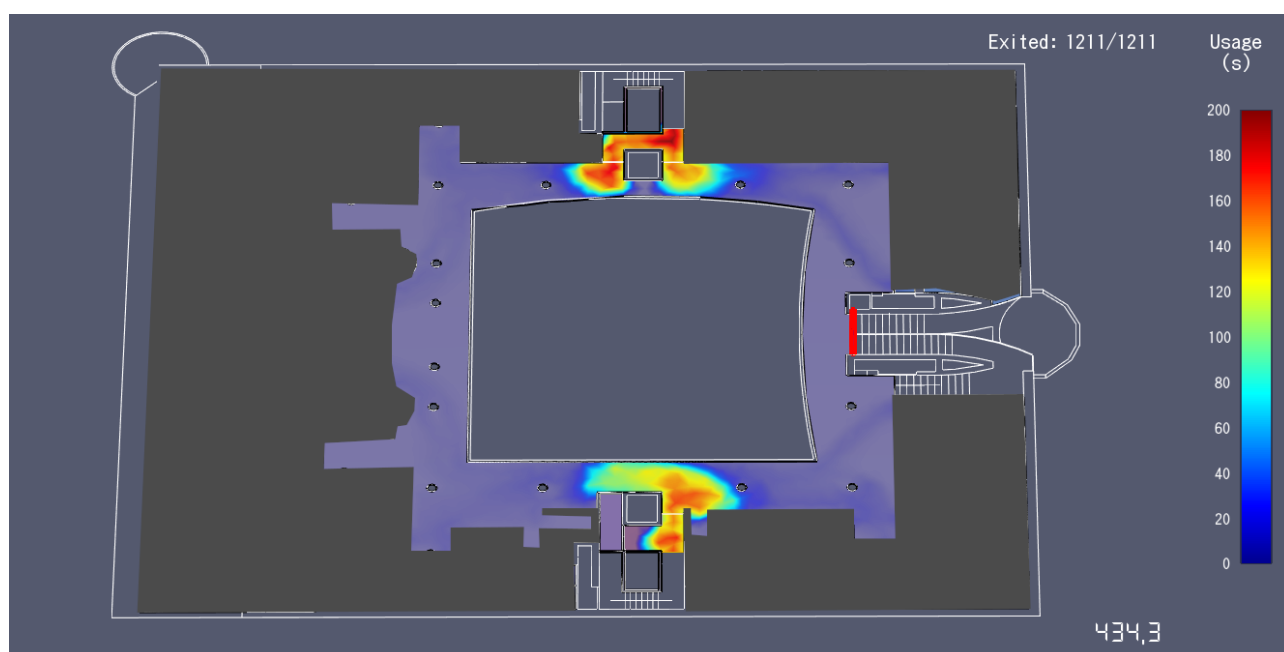


Figura 3-60: Scenario 1. mappa di uso degli spazi per lo scenario di simulazione del livello 3.

L'ulteriore analisi svolta prende in considerazione i pianerottoli antistanti le porte prese in esame, definiti come scala_A_3_1 relativo al pianerottolo al livello 3 per il corpo scala A da cui defluiscono gli agenti del livello in esame e scala_B_3_1 relativo al pianerottolo al livello 3 per il corpo scala B da cui defluiscono gli agenti del piano in esame. Dal grafico in Figura 3-61 si evince che l'andamento della curva è simile ma le grandezze in termini di presenza di agenti sul pianerottolo cambia. Per il pianerottolo A dopo un tratto lineare che dura 25 secondi si raggiunge un tratto costante in cui la presenza contemporanea di agenti oscilla tra 20 e 25 e ha un andamento presso che costante per un tempo di 225 secondi, per il pianerottolo in B si ha che il tratto costante si raggiunge dopo 50 secondi e la presenza contemporanea di agenti è compresa tra 10 e 14 unità, tale comportamento si protrae per 175 secondi. Il valore di picco più alto per il pianerottolo in A si giustifica dalla dimensione del pianerottolo maggiore del 50% rispetto al pianerottolo in B ovvero data l'area più grande del pianerottolo A questo è in grado di accogliere un numero maggiore di agenti contemporaneamente.

Nelle Figura 3–62, Figura 3–63, Figura 3–64, Figura 3–65, viene rappresentata attraverso mappe di calore la densità nei secondi 25, 50, 225, 240 sec. Questo parametro indica istantaneamente il livello di densità presente in ogni spazio. Mediante questa rappresentazione è possibile visualizzare lo stato degli occupanti su tutto il piano, in particolare si farà riferimento ai punti significativi del grafico di deflusso sui pianerottoli antistanti le uscite valutando le condizioni critiche che emergono dalla simulazione. Dalle analisi emerge come il limite massimo di densità nelle rappresentazioni è di 3pp/m² tale limite è il massimo che il solutore ammette (non ammette mai densità superiori), condizioni inferiori a questo limite sono già critiche. Nelle condizioni critiche si configurano situazioni nelle quali la densità elevata di persone vengono a verificare fenomeni di spinta, schiacciamenti dovuto alla calca, cadute, in generale condizioni di pericolo per gli utilizzatori.

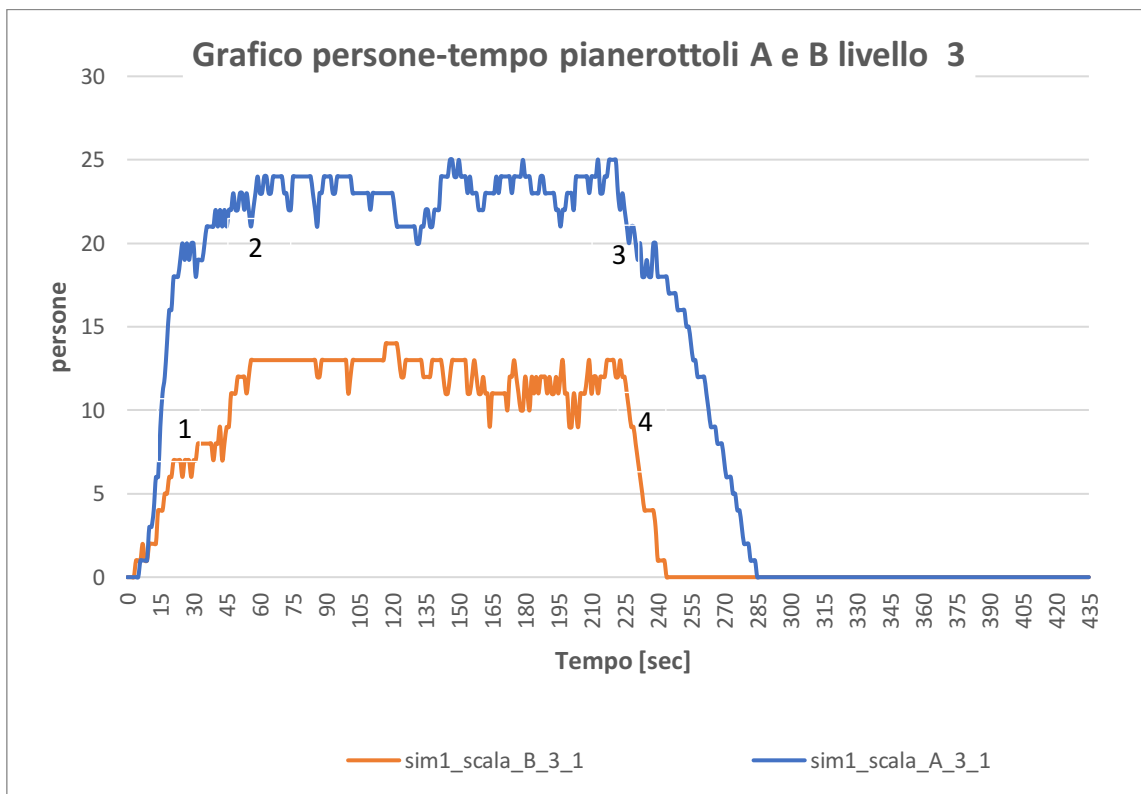


Figura 3–61: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti le porte del corpo scala A e B al livello 3.

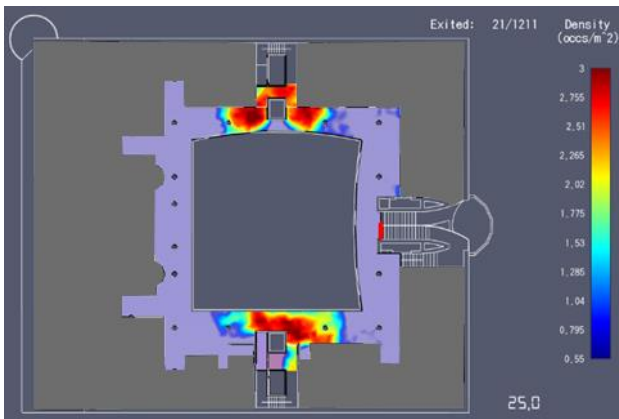


Figura 3–62: Scenario 1 mappa di densità a 25 sec.



Figura 3–63: Scenario 1 mappa di densità a 50 sec.

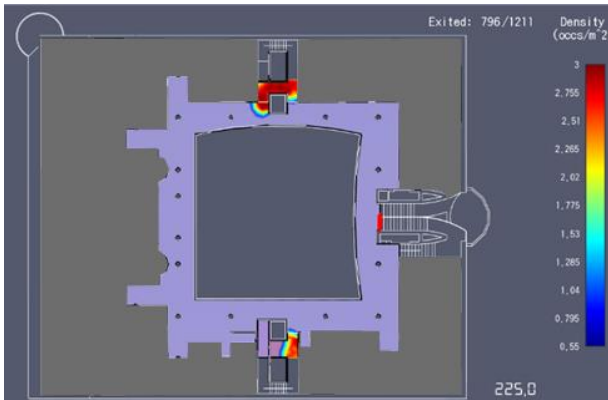


Figura 3–64: Scenario 1 mappa di densità a 225 sec.

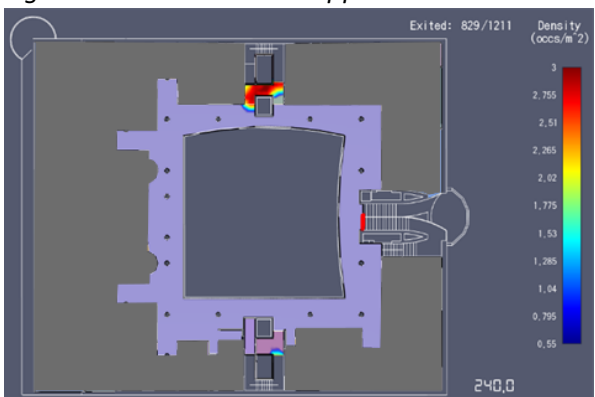


Figura 3–65: Scenario 1 mappa di densità a 240 sec.

Le figure a fianco rappresentano un fermo immagine della mappa di densità estrapolata dal software nei punti 1, 2, 3, 4 del grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti le porte del corpi scala al livello 3 e fanno riferimento ai secondi 25, 50, 225, 240. In particolare all'istante di 25 sec. (punto 1) si ha l'inizio del tratto costante per il corpo scala B, l'istante di 50 secondi (punto 2) rappresenta l'inizio del tratto costante della curva per il corpo scala A i punti 3 e 4 rappresentano la fine del tratto costante della curva rispettivamente per i corpi scala B e A. Dalle immagini delle densità si può notare condizioni critiche per il deflusso degli agenti in entrambi i corpi scala, si vengono a creare code in prossimità degli ingressi alle porte e lungo le vie di esodo verticali. Le condizioni critiche per il livello 3 si registrano dopo i primi 25 secondi per il corpo scala A e dopo 50 secondi per il corpo scala B tali condizioni permangono per i successivi 225 secondi per il corpo scala B e fino a 240 secondi per il corpo scala A quando le code si esauriscono. Tali livelli di densità all'accesso della porta creano interazioni tra agenti che impediscono un deflusso veloce oltre ai pericoli legate alle condizioni di sovraffollamento. Si vengono a creare tempi di attesa lunghi che influiscono sul tempo di evacuazione generale dell'edificio. Il deflusso nei corpi scala A e B è simile, il tempo massimo impiegato per liberare il piano è di 246,3 secondi, il tempo massimo impiegato da un generico agente di questo livello ad uscire dall'edificio è di 434 secondi.

Nella tabella seguente Tabella 3-18 si riportano in breve i tempi di utilizzo per ogni pianerottolo inteso come il tempo impiegato da un generico agente ad entrare in tale pianerottolo e il tempo massimo che impiega un agente ad uscire dallo stesso. Si nota che il tempo minimo è di 4 sec. e il massimo è di 283,9 sec. che rappresenta il tempo impiegato dagli agente per liberare il piano.

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Total_Use
scala_A_3_1	5,8	284,3	124
scala_B_3_1	4	243,9	121

Tabella 3-18: Tempi di evacuazione dai pianerottoli per il livello 3.

LIVELLO DI USCITA

Per quanto riguarda il livello di uscita dell'edificio si farà riferimento alle porte: Door uscita principale, ossia la porta che collega l'edificio all'esterno dello stabile, inoltre si analizzerà i dati di output sulle Room: uscita_1 e uscita_2 che rappresentano i pianerottoli antistanti l'uscita dell'edificio. Nei seguente grafico Figura 3-66 si riporta l'analisi effettuata al livello di uscita dall'edificio, nello specifico si analizzerà l'andamento di uscita delle persone nel tempo relativo alle porte definita Door uscita principale, tale porta rappresenta il collegamento dell'edificio con l'esterno e conduce gli agenti di tutti i livelli nell'area sicura, in questa porta confluiscono tutti gli agenti presenti nell'edificio. Nella Tabella 3-19 si riporta i dati relative alla porta.



Figura 3-66: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo alla porta di uscita dell'edificio.

Dal grafico risulta che tale porta viene attraversata da 1211 il tempo minimo impiegato per attraversarla è di 5,8 sec. mentre il massimo è di 387,7. Ulteriore valutazione è possibile farla in riferimento alla pendenza dei tratti sulla curva di evacuazione per l'uscita (tratto blu Figura 3-66). Si possono individuare 4 tratti, il tratto 0-1 ha un coefficiente angolare pari a 0 (alfa=0) (rapporto tra 0-0 (n°p)/ 20-0(sec) il tratto 1-2 ha un

coefficiente angolare pari a 4,5 (alfa=77,4) (rapporto tra $(661)/(165-20)$), il tratto 2-3 ha un coefficiente angolare pari a 2,2 (alfa=65,6) (rapporto tra $(1167-661)/(395-165)$), il tratto 3-4 ha un coefficiente angolare pari a 1.1 (alfa=47,7) (rapporto tra $(1211-1167)/(435-395)$), tale condizione sta a significare che per il primo tratto fino a 20 sec la pendenza è nulla, non arriva nessuno per via della distanza tra l'uscita e le persone nell'edificio il secondo tratto da 20 sec. a 165 sec. la pendenza è maggiore che nel resto dell'esodo perché le condizioni idealmente sono migliori in termini di densità (in 145 sec. escono 661 persone), il terzo tratto tra 165 sec. e 395 sec. la pendenza diminuisce perché ci sono densità più elevate lungo i percorsi (in 230 sec. escono 506 agenti) nell'ultimo tratto la pendenza diminuisce (in 40 secondi escono 44 agenti) in questo arco di tempo raggiungono l'uscita i "ritardatari" ovvero gli agenti che erano in coda con i tempi di attesa più alti e comunque che si trovavano a distanze maggiori dall'uscita. Il flusso attraverso la porta di uscita risulta differente nell'arco della simulazione, l'andamento dell'uscita degli agenti subisce una variazione in relazione alle condizioni al contorno che si vengono a verificare durante l'esodo, condizioni di densità maggiori lungo i percorsi implicano un rallentamento del deflusso si vengono a creare code in prossimità delle vie di esodo che interazioni tra agenti che impediscono un deflusso veloce. In sintesi è possibile riassumere i risultati tramite la Tabella 3-19 in cui vengono espressi per ogni porta quante persone utilizzano l'uscita, il tempo minimo e massimo che impiega il primo e l'ultimo agente del gruppo di riferimento a passare attraverso la porta presa in considerazione, il flusso definito come persone/secondi e il percentile al 95%.

Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Percentile 0,95	Total_Use (n° persone)	Flow (su ogni ingresso) (pers/s)		Flow (su ogni ingresso) (pers/s*l)		Flow (sulla porta) (pers/s)		Flow (sulla porta) (pers/s*l)	
Door_uscita principale	5,8	434,0	387,7	1211	2,8	3,12	0,85	0,95	2,8	3,12	0,85	0,95

Tabella 3-19: Tempi di evacuazione alle porte per il livello di uscita dall'edificio.

Nella tabella successiva Tabella 3-20 vengono riportati per il livello di uscita la distinzione per gruppi e il tempo impiegato massimo e minimo per uscire dall'edificio per ciascun gruppo. Si deduce che il tempo che impiega l'ultimo agente presente nell'edificio a raggiungere l'uscita è di 434,0 sec.

	Behavior	Profile	Count	Min	Max
	all behaviors	*all profiles*	1211	5,8	434,0

Tabella 3-20: Tempi di evacuazione dall'edificio di tutti gli agenti.

Dai risultati in output del software è stato possibile esportare una mappa definita "usage accumulated" in cui viene espresso in secondi quanto tempo vengono usati gli spazi con riferimento al tempo totale di simulazione Figura 3-67, da cui si evince che a livello qualitativo gli spazi più utilizzati per l'evacuazione sono quelli nelle zone che precedono l'uscita e la rampa che conduce ad essa.

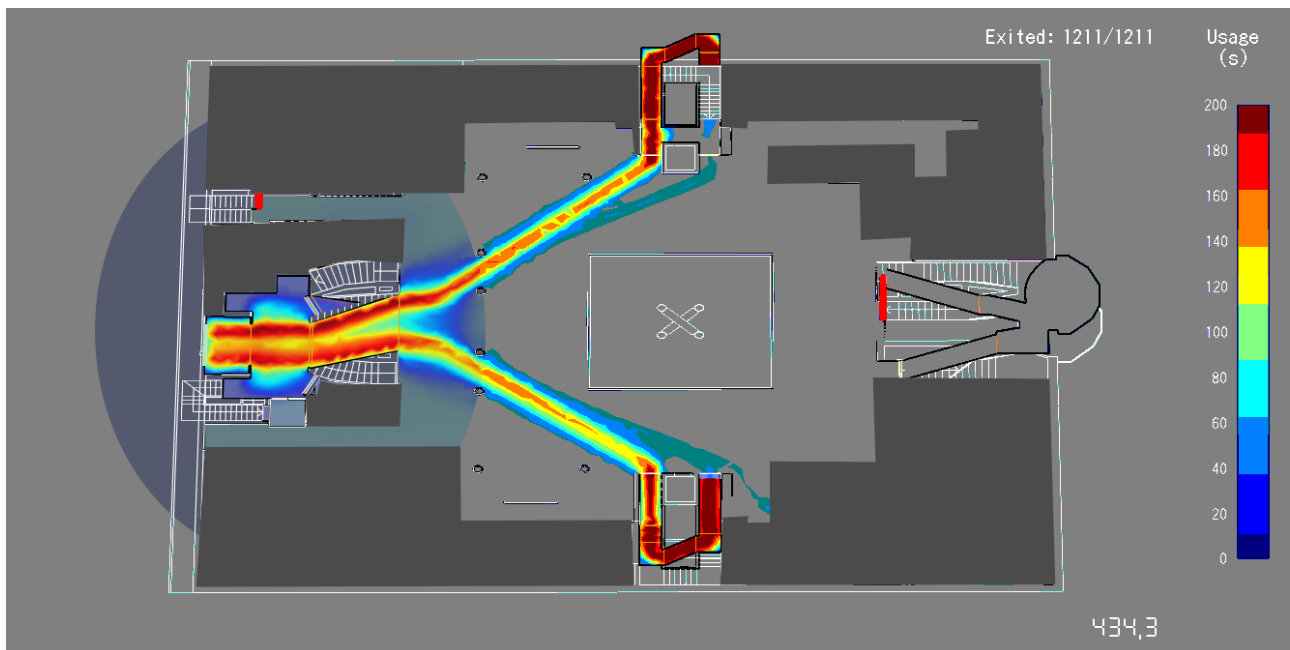


Figura 3-67: Scenario 1. Mappa di uso degli spazi per lo scenario di simulazione del livello di uscita dall'edificio.

L'ulteriore analisi svolta prende in considerazione i pianerottoli antistanti la porta di uscita principale Figura 3-68 definiti come uscita_1, uscita_2 dove convergono gli agenti provenienti da tutti piani dell'edificio. Dal grafico si evince che l'andamento della curva sui 2 pianerottoli si differenziano per i valori picco. Nel pianerottolo uscita_1 il valore di picco oscilla tra 55 a 61 unità presenti contemporaneamente dopo circa 110 secondi il livello è compreso tra 36 e 39 agenti questo tratto costante termina dopo 140 secondi per il pianerottolo uscita_2 si ha che l'oscillazione è tra 10 e 20 agenti contemporaneamente, tale comportamento si protrae per 120 secondi circa. Il valore di picco alto si giustifica dalla possibilità del pianerottolo di farvi accedere molti agenti contemporaneamente, nei primi istanti dell'evacuazione questo pianerottolo raccoglie gli agenti provenienti dal piano inferiore attraverso le rampe F_-1_1 e F*_-1_1 oltre quelli provenienti dal livello 0 e quelli provenienti dal piano inferiori attraverso i corpi scala A e B. Si viene a creare nei pianerottoli antistanti l'uscita una sovrapposizione dei flussi degli agenti che crea una congestione

lungo la via di esodo, una volta smaltita un primo volume di agenti che risulta essere i più vicini all'uscita e che raggiungono l'uscita per primi l'esodo sui pianerottoli procede con livelli di densità basse, il flusso continua in maniera costante fino alla fine dell'esodo. Nelle Figura 3–69, Figura 3–70, Figura 3–71, Figura 3–72, viene rappresentata attraverso mappe di calore la densità nei secondi 45, 95, 110, 140. Questo parametro indica istantaneamente il livello di densità presente in ogni spazio. Mediante questa rappresentazione è possibile visualizzare lo stato degli occupanti su tutto il piano, in particolare si farà riferimento ai punti significativi del grafico di deflusso sui pianerottoli antistanti le uscite ,valutando le condizioni critiche che emergono dalla simulazione. Dalle analisi emerge come il limite massimo di densità nelle rappresentazioni è di $3\text{pp}/\text{m}^2$ tale limite è il massimo che il solutore ammette (non ammette mai densità superiori), condizioni inferiori a questo limite sono già critiche. Nelle condizioni critiche si configurano situazioni nelle quali la densità elevata di persone vengono a verificare fenomeni di spinta, schiacciamenti dovuto alla calca, cadute ,in generale condizioni di pericolo per gli utilizzatori.

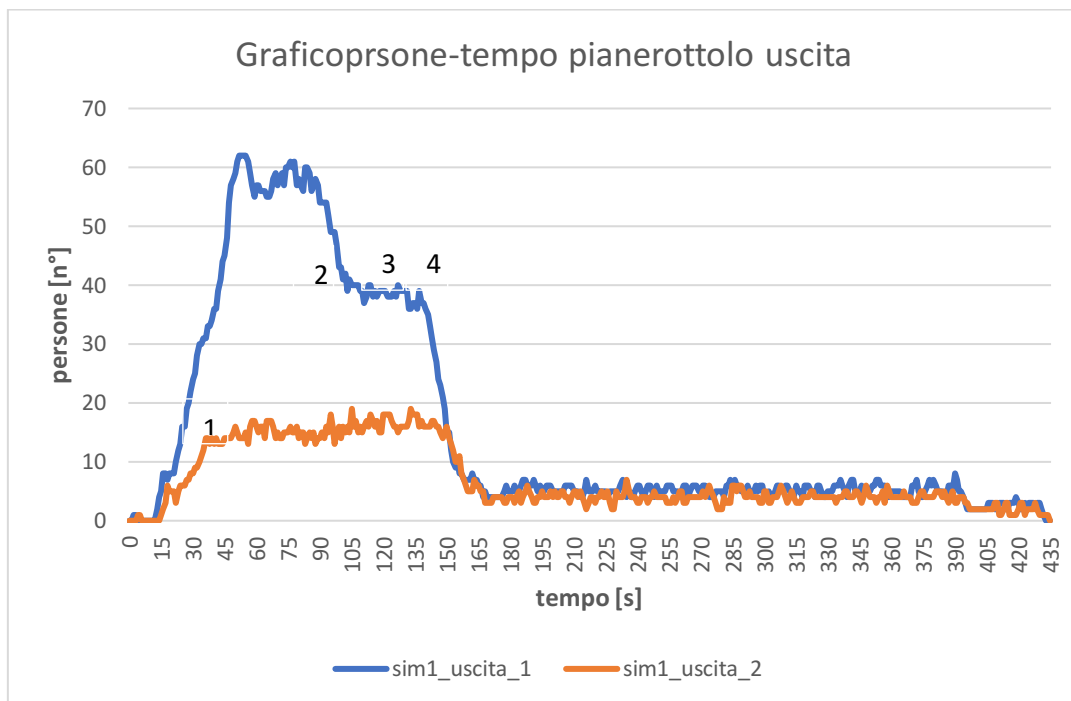


Figura 3–68: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti la porta di uscita dall'edificio.

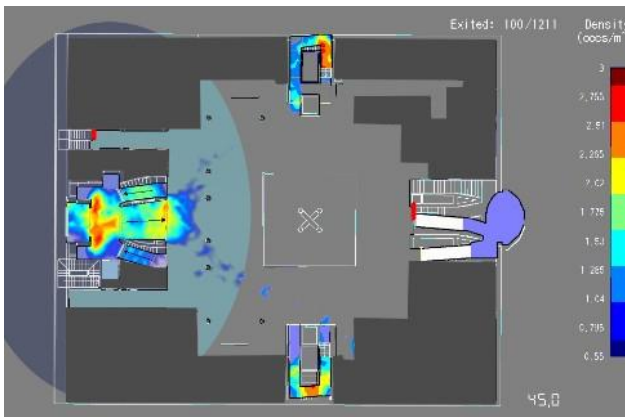


Figura 3-69: Scenario 1 mappa di densità a 45 sec.



Figura 3-70: Scenario 1 mappa di densità a 95 sec.



Figura 3-71: Scenario 1 mappa di densità a 110 sec.

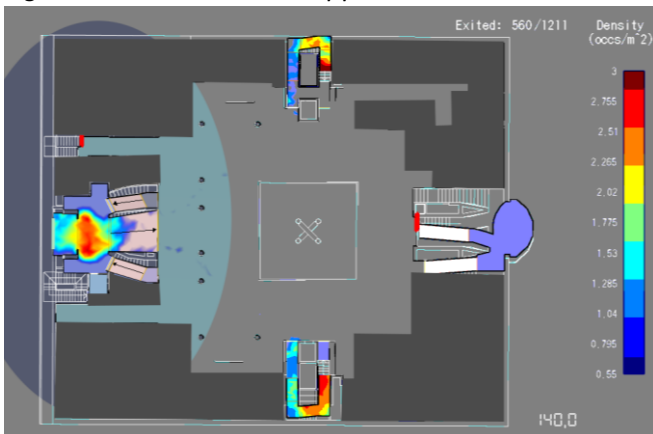


Figura 3-72: Scenario 1 mappa di densità a 140 sec.

Le figure a fianco rappresentano un fermo immagine della mappa di densità estrapolata dal software nei punti 1, 2, 3, 4 del grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti la porta di uscita dall'edificio e fanno riferimento ai secondi 45, 95, 110, 140. In particolare all'istante di 40 sec. si ha un tratto a pendenza pressoché costante sia per il pianerottolo uscita_1 che uscita_2 (punto 1), all'istante di 95 secondi (punto 2) si ha la fine del tratto a pendenza costante per il pianerottolo definito uscita_1. I punti 2 e 3 corrispondono rispettivamente agli istanti 110 e 140 secondi e rappresentano l'inizio e la fine di un secondo tratto costante con una presenza contemporanea di agenti inferiore rispetto al tratto precedente, e la fine del tratto costante per il pianerottolo uscita_1 (punto 4). In generale si verifica che dagli istanti successivi a 45 secondi si viene a creare sul pianerottolo uscita_1 livelli di densità critica, questo pianerottolo raccoglie gli agenti che provengono dal livello 0 (agenti dei piani superiori e inferiori che escono dalle uscite Door_A_0_1 e Door_B_0_1) e quelli proveniente dal piano inferiori (agenti che utilizzando le scale F_-1 e F*_-1) si crea una sovrapposizione tra i flussi degli occupanti dei vari piani che sono indirizzati verso l'unica uscita. Al raggiungimento delle densità maggiori si verificano condizioni critiche per il deflusso degli agenti, si vengono a creare code in prossimità dell'uscita fino ad interessare la rampa che conduce al livello 0 e l'ingresso antistante la rampa sul livello 0, si vengono a creare interazioni tra agenti che impediscono un deflusso veloce. Il pianerottolo uscita_2 non subisce picchi di densità elevate in quanto il deflusso procede in maniera costante (il tappo è nella zona precedente). Dai successivi 150 secondi il livello di densità scende sotto i livelli critici. Le zone a densità critiche si vengono a verificare nei primi istanti della simulazione (fino a 140 sec.) in questo arco di tempo un grande volume di agenti raggiungono l'uscita e sono gli agenti più vicini all'uscita dell'edificio, anche la condizione di restringimento del percorso porta a creare un collo di bottiglia che va a favorire l'aumento della densità nelle zone che portano all'uscita dell'edificio.

Nella Tabella 3-21 si riportano in breve i tempi di utilizzo per ogni pianerottolo inteso come il tempo impiegato da un generico agente ad entrare in tale pianerottolo e il tempo massimo che impiega un agente ad uscire dallo stesso. Si nota che il tempo minimo è di 4 sec. e il massimo è di 283,9 sec. che rappresenta il tempo impiegato dagli agente per liberare il piano.

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Total_Use
uscita_1	1,2	432,2	1211
uscita_2	3,9	434	1211

Tabella 3-21: Tempi di evacuazione dai pianerottoli per il livello 3.

Vengono riportate in allegato i valori riassuntivi dei dati in output per le porte e le room su cui si è fatto riferimento per le analisi dei tempi. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

L'analisi eseguita è stata ripetuto per 3 volte in modo da valutare eventuali differenze sul comportamento degli agenti. Il confronto è stato fatto in riferimento alla curva di uscita persone nel tempo sulla porta principale, sul confronto dei percentili e sui malori minimi e massimo di evacuazione . Dal risultati si verifica la sovrapposizione delle 3 curve per le tre simulazioni Figura 3-73, inoltre sono stati fatti confronti relativi al Percentile (0,95), Percentile (0,75), Percentile (0,50) Percentile (0,95), Percentile (0,95) e tempo di uscita minimo e massimo .I risultati sono riportati nella Tabella 3-22.

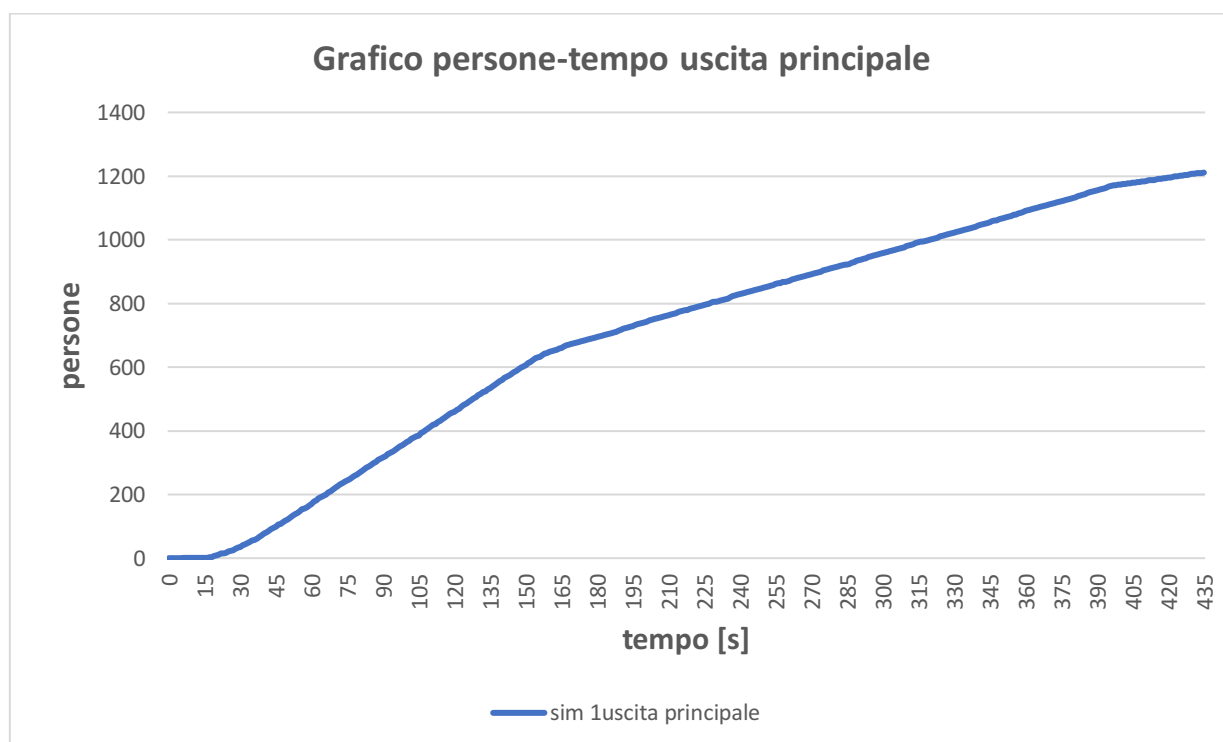


Figura 3-73 confronto dei risultati di 3 simulazioni per lo scenario 1.

	SIM 1_1	SIM 1_2	SIM1_3
Percentile (0,95)	387,7	387,7	387,7
Percentile (0,75)	277,1	277,1	277,1
media	182,5	182,5	182,5
Percentile (0,50)	149,6	149,6	149,6
Percentile (0,25)	87,1	87,1	87,1
Percentile (0,05)	36,5	36,5	36,5
MIN	5,8	5,8	5,8
MAX	434,0	434,0	434,0

Tabella 3-22: Indici di confronto per le tre simulazioni dello scenario 1.

3.3.2. ANALISI OUTPUT SIMULAZIONE 2: ESODO CON PERSONALE ADDETTO

Nel seguito verrà analizzato il tempo impiegato a portare a termine l'evacuazione per ciascun occupante. L'obiettivo è raggiungere la Exit Door presente nello scenario che rappresentata dall'uscita principale dell'edificio, una volta oltrepassata rappresenta la conclusione dell'evacuazione. Si effettuerà inoltre un confronto tra i tempi ottenuti dalla simulazione 1 e dalla simulazione 2 facendo riferimento alle zone di attraversamento comuni in base ai percorsi intrapresi dagli agenti nei 2 scenari, il confronto inoltre sarà riferito alla differenza in termini di lunghezza dei percorsi effettuati dagli agenti nelle due simulazioni. Si riportano quindi in tabella i valori ottenuti dalle simulazione per ogni addetto. Nella *Tabella 3-23*: Tabella 3-23 vengono indicati i pianerottoli attraversati dal coordinatore dell'emergenza del fabbricato durante l'evacuazione ordinati con un numero crescente secondo il percorso che condurrà l'agente all'uscita dell'edificio. Tale rappresentazione è stata fatta per le simulazioni 1 e 2. In base ai percorsi intrapresi dagli agenti nelle 2 simulazioni si va a fare il confronto dei tempi in ingresso e uscita dai pianerottoli comuni nel percorso eseguito dall'agente nelle 2 simulazioni. Il primo confronto è riferito al tempo impiegato per entrare ed uscire dal pianerottolo scala_B_3_1 (corrisponde alle azioni S1-1 e S2-1), per la simulazione 1 valgono 21,3 sec. e 26,6 mentre per la simulazione 2 valgono 241,1 e 255,5 la variazione del tempo in ingresso è di 219,8 sec, mentre in uscita è di 228,8. Ulteriore confronto è possibile farlo sul tempo di ingresso e uscita al pianerottolo scala_B_2_1, nella simulazione 1 il tempo di ingresso e uscita sono 145,1 e 159,2 sec. (corrispondono ai tempi S1-2 in e out) mentre per la simulazione 2 sono 308,2 e 375,2 (corrispondono ai valori S2-2 in e S2-3 out), la variazione di tempo nell'ingresso è di 163,1 sec. mentre in uscita è di 216 sec. Nella tabella i tempi S2-2 corrispondono ai tempi per cui l'agente scendendo dalle scale entra nel pianerottolo del livello 2 ed accede al livello 2 attraverso la porta del piano mentre l'azione S2-3 corrisponde al tempo di ingresso al pianerottolo della scala dopo che ha effettuato l'ispezione del piano e l'uscita dal pianerottolo per raggiungere il livello sottostante, in generale nella simulazione 2 si otterrà una doppia coppia di valori per ogni pianerottolo. Per quanto riguarda il pianerottolo scala_B_1_1, nella simulazione 1 i tempi di ingresso e uscita sono 178,1 e 188,2 sec. (corrispondono ai tempi S1-3 in e out) mentre per la simulazione 2 sono 384,7

e 443,5 (corrispondono ai valori S2-4 in e S2-5 out), la variazione di tempo nell'ingresso è di 206,6 sec. mentre in uscita è di 255,3 sec. Per quanto riguarda il pianerottolo scala B*_0_1, nella simulazione 1 i tempi di ingresso e uscita sono 207,0 e 210,5 sec. (corrispondono ai tempi S1-4 in e out) mentre per la simulazione 2 sono 453,2 e 456,0 (corrispondono ai valori S2-4 in out), la variazione di tempo nell'ingresso è di 246,2 mentre in uscita è di 245,5 sec. Altre condizioni di confronto si possono riferire ai pianerottoli di uscita dall'edificio che sono comuni ad entrambe i percorsi, nello specifico per il pianerottolo uscita_1 la variazione di tempo in ingresso e in uscita sono 301,2 e 301,6 sec. mentre sul pianerottolo uscita 2 valgono 301,6 e 301,4. In generale la variazione sul tempo totale di uscita equivale alla variazione di uscita sul pianerottolo uscita_2 ed equivale a 301,4 secondi ovvero l'agente che è predisposto al controllo dell'evacuazione degli uffici raggiungerà l'uscita con un ritardo di 301,4 secondi rispetto ad una condizione in cui non debbano essere svolte operazioni da parte di operatori addetti.

Coordinatore dell'emergenza del fabbricato										
Room	Simulazione1			Simulazione 2			Variazione tempo in	Variazione tempo out	Var % time in	Var % time in
	Percorso eseguito	Room Time in	Room Time out		Room Time in sim 2	Room Time out sim 2				
scala_A_3_1										
scala_A_2_1										
scala_A_1_1										
scala_A_0_1										
scala_A_-1_1										
scala_B_3_1	S1-1	21,3	26,9	S2-1	241,1	255,5	219,8	228,6	-10,32	-8,50
scala_B_2_1	S1-2	145,1	159,2	S2-2	308,2	318,3	163,1	159,1	-1,12	-1,00
scala_B_2_1				S2-3	371,8	375,2				
scala_B_1_1	S1-3	178,1	188,2	S2-4	384,7	388,0	206,6	199,8	-1,16	-1,06
scala_B_1_1				S2-4	440,3	443,5				
scala_B_0_1*	S1-4	207,0	210,5	S2-6	453,2	456,0	246,2	245,5	-1,19	-1,17
scala_B_0_1				S2-7	472,5	474,0				
scala_B_-1_1				S2-8	485,9	491				
scala_F*_-1_1				S2-9	522,7	522,9				
scala_F_-1_1										
uscita_1	S1-5	228,3	230,7	S2-10	529,5	532,3	301,2	301,6	-1,32	-1,31
uscita_2	S1-6	230,7	232,8	S2-11	532,3	534,2	301,6	301,4	-1,31	-1,29

Tabella 3-23: Tempi in ingresso e uscita dai pianerottoli nel percorso del Coordinatore dell'emergenza del fabbricato per le simulazioni 1 e 2.

Nella Tabella 3-24 vengono indicati i pianerottoli attraversati durante l'evacuazione Addetto con funzioni di coordinatore dei contatti esterni durante l'evacuazione ordinati con un numero crescente secondo il percorso che condurrà l'agente all'uscita dell'edificio. Tale rappresentazione è stata fatta per le simulazioni 1 e 2. In base ai percorsi intrapresi dall'i agenti nelle 2 simulazioni si va a fare il confronto dei tempi in ingresso e uscita dai pianerottoli comuni nel percorso eseguito dall' agente nelle 2 simulazioni. il primo confronto è riferito al tempo impiegato per entrare ed uscire dal pianerottolo scala _A_3_1 (corrisponde alle azioni S1-1), per la sim. 1 valgono 59,1 sec. e 84,0 sec. mentre per la sim. 2 valgono 119,1 e 214,7 sec. (corrisponde all' azione S2-1 la variazione del tempo in ingresso è di 132,0 sec. mentre in uscita è di 130,7. Ulteriore confronto è possibile farla sul tempo di ingresso e uscita al pianerottolo scala_A_2_1, nella simulazione 1 i tempi di ingresso e uscita sono 221,2 e 225,9 sec. (corrispondono ai tempi S1-2 in e out) mentre per la simulazione 2 sono 269,2 e 324,2 (corrispondono ai valori S2-2 in e S2-3 out), la variazione di tempo nell'ingresso è di 58 sec mentre in uscita è di 98,3 sec. Nella tabella i tempi S2-2 corrispondono ai tempi per cui l'agente scendendo dalle scale entra nel pianerottolo del livello 2 ed accede al livello 2 attraverso la porta del piano mentre l'azione S2-3 corrisponde al tempo di ingresso al pianerottolo della scala dopo che ha effettuato l'ispezione del piano e l'uscita dal pianerottolo per raggiungere il livello sottostante, in generale nella simulazione 2 si otterrà una doppia coppia di valori per ogni pianerottolo. Per quanto riguarda il pianerottolo scala_A_1_1, nella simulazione 1 i tempi di ingresso e uscita sono 247,4 e 258,3 sec. (corrispondono ai tempi S1-3 in e out) mentre per la simulazione 2 sono 345,1 e 410,2 (corrispondono ai valori S2-4 in e S2-5 out) , la variazione di tempo nell'ingresso è di 97,7 sec. mentre in uscita è di 151,9 sec. Per quanto riguarda il pianerottolo scala_A_0_1, nella simulazione 1 i tempi di ingresso e uscita sono 281,3 e 284,6 sec. (corrispondono ai tempi S1-4 in e out) mentre per la simulazione 2 sono 419,6 sec. e 444,7 (corrispondono ai valori S2-6 in e S2-7 out), la variazione di tempo nell'ingresso è di 138,3 sec. mentre in uscita è di 160,1 sec. Altre condizioni di confronto si possono riferire ai pianerottoli di uscita dall'edificio che sono comuni ad entrambe i percorsi, nello specifico per il pianerottolo uscita_1 la variazione di tempo in ingresso e in uscita sono 196,7 e 197,1 sec. mentre sul pianerottolo uscita 2 valgono 197,1 e 197,0. In generale la variazione sul tempo totale di uscita equivale al alla variazione di uscita sul pianerottolo uscita_2 ed equivale a 197,0 secondi ovvero l'agente che è predisposto al controllo dell'evacuazione degli uffici raggiungerà l'uscita con un ritardo di 197,0 secondi rispetto ad una condizione in cui non debbano essere svolte operazioni da parte di operatori con mansioni specifiche.

Addetto con funzioni di coordinatore dei contatti esterni										
Room	Simulazione1			Simulazione2			Variazione tempo in	Variazione tempo out	Var % time in	Var % time in
	Percorso eseguito	Room Time in profile C	Room Time out profile C	Percorso eseguito	Room Time in simulazione 2	Room Time out simulazione 2				
scala_A_3_1	S1-1	59,1	84	S2-1	191,1	214,7	132	130,7	-2,23	-1,56
scala_A_2_1	S1-2	211,2	225,9	S2-2	269,2	283,9	58	58	-0,27	-0,26
scala_A_2_1				S2-3	319,1	324,2	319,1	324,2		
scala_A_1_1	S1-3	247,4	258,3	S2-4	345,1	353,6	97,7	95,3	-0,39	-0,37
scala_A_1_1				S2-5	406,2	410,2	406,2	410,2		
scala_A_0_1	S1-4	281,3	284,6	S2-6	419,6	423,8	138,3	139,2	-0,49	-0,49
scala_A_0_1				S2-7	442,9	444,7	442,9	444,7		
scala_A_-1_1				S2-8	454,1	457,5	454,1	457,5		
scala_B_3_1										
scala_B_2_1										
scala_B_1_1										
scala_B_0_1										
scala_B_0_1*										
scala_B_-1_1										
scala_F*_-1_1										
scala_F_-1_1				S2-9	493,2	493,3	493,2	493,3		
uscita_1	S1-5	303,3	305,7	S2-10	500,0	502,8	196,7	197,1	-0,65	-0,64
uscita_2	S1-6	305,7	307,7	S2-11	502,8	504,7	197,1	197	-0,64	-0,64

Tabella 3-24: Tempi in ingresso e uscita dai pianerottoli nel percorso dell' Addetto con funzioni di coordinatore dei contatti esterni per le simulazioni 1 e 2.

Nella Tabella 3-25 vengono indicati i pianerottoli attraversati dall' "Addetto che effettua l'appello in luogo sicuro" durante l'evacuazione ordinati con un numero crescente secondo il percorso che condurrà l'agente all'uscita dell'edificio. Tale rappresentazione è stata fatta per le simulazioni 1 e 2. In base ai percorsi intrapresi dagli agenti nelle 2 simulazioni si va a fare il confronto dei tempi in ingresso e uscita dai pianerottoli comuni nel percorso eseguito dall' agente nelle 2 simulazioni. Nell' analisi dei tempi tra le due simulazioni non risulta esserci variazioni tra le 2 simulazioni in quanto tale addetto raggiunge l'uscita per i medesimi percorsi senza compiere particolari azioni lungo il percorso. Il primo confronto è riferito al tempo impiegato per entrare ed uscire dal pianerottolo scala _B_1_1 (corrisponde alle azioni S1-1), per la simulazione 1 valgono 22,7 sec. e 29 sec. per la simulazione 2 sono uguali sec. (corrisponde all' azione S2-1) la variazione del tempo in ingresso e uscita è nulla. Ulteriore confronto è possibile farla sul tempo di ingresso e uscita al pianerottolo scala B*_0_1, nella simulazione 1 i tempi di ingresso e uscita sono 48,3 e 52,3 sec. (corrispondono ai tempi S1-2 in e out) mentre per la simulazione 2 sono 48,9 e 52,9 (corrispondono ai valori S2-2 in e out), la variazione di tempo nell' ingresso e in uscita è 0,6 sec. anche in questo caso le variazioni sono trascurabili. Altre condizioni di confronto si possono riferire ai pianerottoli di uscita dall'edificio che sono comuni ad entrambe i percorsi ,nello specifico per il pianerottolo uscita_1 la variazione di tempo in ingresso e in uscita sono 1,8 e 2,6 sec. mentre sul pianerottolo uscita 2 valgono 2,6 e 2,3 sec. In generale la variazione sul tempo totale di uscita equivale alla variazione di uscita sul pianerottolo uscita_2 ed equivale a 2,3 secondi ovvero l'agente che deve dirigersi verso l'uscita per effettuare le mansioni affidategli lo fa nelle stesse condizioni e tempi della simulazione 1.

Addetto che effettua l'appello in luogo sicuro										
Room	Simulazione1			Simulazione2			Variazione tempo in	Variazione tempo out	Var % time in	Var % time out
	Percorso eseguito	Door Time in sim 1	Room Time out sim 1	Percorso eseguito	Room Time in sim 2	Room Time out sim 2				
scala_A_3_1										
scala_A_2_1										
scala_A_1_1										
scala_A_0_1										
scala_A_-1_1										
scala_B_3_1										
scala_B_2_1										
scala_B_1_1	S1-1	22,7	29	S2-1	22,7	29	0	0	0,00	0,00
scala_B_0_1							0	0		
scala_B_0_1*	S1-2	48,3	52,3	S2-2	48,9	52,9	0,6	0,6	-0,01	-0,01
scala_B_-1_1							0	0		
scala_F*_-1_1							0	0		
scala_F_-1_1							0	0		
uscita_1	S1-3	86,8	97,5	S2-3	88,6	94,9	1,8	-2,6	-0,02	0,03
uscita_2	S1-4	97,5	100,6	S2-4	94,9	98,3	-2,6	-2,3	0,03	0,02

Tabella 3-25: Tempi in ingresso e uscita dai pianerottoli nel percorso dell' Addetto che effettua l'appello in luogo sicuro per le simulazioni 1 e 2.

Nella Tabella 3-26 vengono indicati i pianerottoli attraversati durante l'evacuazione "dall'Addetto che aziona l'allarme antincendio" ordinati con un numero crescente secondo il percorso eseguito che condurrà gli agenti all'uscita dell'edificio. I dati ottenuti si riferiscono ad entrambe le simulazioni. In base ai percorsi intrapresi dagli agenti nelle 2 simulazioni si va a fare il confronto dei tempi in ingresso e uscita dai pianerottoli comuni nel percorso per i percorsi degli agenti in entrambi le simulazione. il primo confronto è riferito al tempo impiegato per entrare ed uscire dal pianerottolo scala _B_1_1 (corrisponde alle azioni S1-1), per la simulazione 1 valgono 55,9 sec. e 108,9 sec. mentre per la simulazione 2 valgono 60,2 e 101,8 sec. (corrisponde all' azione S2-1) la variazione del tempo in ingresso è di 4,3 sec. l'agente entra nel pianerottolo più tardi perché deve dirigersi ad azionare l'allarme antincendio mentre in uscita è di -7,1, l'agente in questione riesce ad uscire dallo stesso pianerottolo in minor tempo rispetto alla condizione della simulazione 1 seppur sia entrato con un tempo maggiore nel pianerottolo. Ulteriore confronto è possibile farla sul tempo di ingresso e uscita al pianerottolo scala_B*_0_1, nella simulazione 1 i tempi di ingresso e uscita sono 126,3 e 130,2 sec. (corrispondono ai tempi S1-2 in e out) mentre per la simulazione 2 sono 123,0 e 126,5 (corrispondono ai valori S2-2 in e out) , la variazione di tempo nell'ingresso è di 4,3 sec. mentre in uscita è di 3,7 sec raggiunto il pianerottolo B_0_1 la condizione torna a vantaggio dell'agente nella simulazione 1. Altre condizioni di confronto si possono riferire ai pianerottoli di uscita dall'edificio che sono comuni ad entrambe i percorsi, nello specifico per il pianerottolo uscita_1 la variazione di tempo in ingresso e in uscita sono 4,3 e 7 sec mentre sul pianerottolo uscita 2 valgono 7 e 7,3 sec. In generale la variazione sul tempo totale di uscita equivale alla variazione di uscita sul pianerottolo uscita_2 ed equivale a 7,3 secondi ovvero l'agente che è predisposto ad azionare l'allarme antincendio raggiungerà l'uscita con un ritardo di 7,3 secondi rispetto ad una condizione in cui non debbano essere svolte operazioni da parte dello stesso operatore.

Addetto che aziona l'allarme antincendio										
	Simulazione1			Simulazione2						
	Percorso eseguito	Room Time in sim 1	Room Time out sim 1	Percorso eseguito	Room Time in	Room Time out	Variazione tempo in	Variazione tempo out	Var % time in	Var % time out
scala_A_3_1										
scala_A_2_1										
scala_A_1_1										
scala_A_0_1										
scala_A_-1_1										
scala_B_3_1										
scala_B_2_1										
scala_B_1_1	S1-1	55,9	108,9	S2-1	60,2	101,8	4,3	-7,1	-0,08	0,07
scala_B_0_1							0	0		
scala_B_0_1*	S1-2	126,3	130,2	S2-2	123,0	126,5	-3,3	-3,7	0,03	0,03
scala_B_-1_1										
scala_F*_-1_1										
scala_F_-1_1										
uscita_1	S1-3	148,4	155,5	S2-3	144,1	148,5	-4,3	-7	0,03	0,05
uscita_2	S1-4	155,5	158,3	S2-4	148,5	151,0	-7	-7,3	0,05	0,05

Tabella 3-26: Tempi in ingresso e uscita dai pianerottoli nel percorso dell' Addetto che aziona l'allarme antincendio per le simulazioni 1 e 2.

Nella Tabella 3-27 vengono indicati i pianerottoli attraversati durante l'evacuazione "dall'Addetto che toglie la tensione dalle linee elettriche" ordinati con un numero crescente secondo il percorso eseguito che condurrà l'agente all'uscita dell'edificio. I dati ottenuti si riferiscono ad entrambe le simulazioni. In base ai percorsi intrapresi dagli agenti nelle 2 simulazioni si va a fare il confronto dei tempi in ingresso e uscita dai pianerottoli comuni nel percorso degli agenti in entrambi le simulazione. Visti e considerate la posizione di partenza dell'agente e i percorsi eseguiti nelle due simulazioni il confronto sui tempi è possibile effettuarlo sono sui pianerottoli antistante l'uscita. Nello specifico il primo confronto è riferito al tempo impiegato per entrare ed uscire dal pianerottolo uscita_1 (corrisponde alle azioni S1-1), per la simulazione 1 valgono 15,8 sec. e 18,4 sec. mentre per la simulazione 2 valgono 192,8 e 197,0 sec. (corrisponde all' azione S2-9) la variazione del tempo in ingresso è di 177,0 sec. mentre in uscita dallo stesso pianerottolo è di 178,6. Ulteriore confronto è possibile farla sul tempo di ingresso e uscita al pianerottolo uscita_2, nella simulazione 1 i tempi di ingresso e uscita sono 18,4 e 20,4 sec. (corrispondono ai tempi S1-2 in e out) mentre per la simulazione 2 sono 197,0 e 199,3 sec. (corrispondono ai valori S2-9 in e out). In generale la variazione sul tempo totale di uscita equivale alla variazione di uscita sul pianerottolo uscita_2 ed equivale a 178,9 secondi ovvero l'agente che è predisposto a togliere la tensione dalle linee elettriche raggiungerà l'uscita con un ritardo di 197,0 secondi rispetto ad una condizione in cui non debbano essere svolte operazioni da parte dall'operatore.

Addetto che toglie la tensione dalle linee elettriche										
Room	Simulazione1			Simulazione2			Variazione tempo in	Variazione tempo out	Var % time in	Var % time out
	Percorso eseguito	Room Time in sim1	Room Time out sim1	Percorso eseguito	Room Time out sim 2	Room Time out sim2				
scala_A_3_1										
scala_A_2_1										
scala_A_1_1										
scala_A_0_1				S2-1	16,5	22,0				
scala_A_-1_1				S2-2	80,8	105,3				
scala_A_-2_1				S2-3	113,6	115,4				
scala_A_-2_2				S2-4	115,4	117,4				
scala_B_-2_1				S2-5	160,0	162,0				
scala_B_-1_1				S2-6	170,5	176,3				
scala_F*_-1_1				S2-7	185,8	185,9				
scala_B_3_1										
scala_B_2_1										
scala_B_1_1										
scala_B_0_1										
scala_B_0_1*										
scala_F*_-1_1				S2-8	185,8	185,9				
uscita_1	S1-1	15,8	18,4	S2-9	192,8	197,0	177	178,6	-11,20	-9,71
uscita_2	S1-1	18,4	20,4	S2-10	197,0	199,3	178,6	178,9	-9,71	-8,77

Tabella 3-27: Tempi in ingresso e uscita dai pianerottoli nel percorso dell' Addetto che toglie la tensione alle linee elettriche per le simulazioni 1 e 2.

Nella Tabella 3-28 vengono indicati i pianerottoli attraversati “dall’Addetto che sospende l’erogazione di sostanze infiammabili” ordinati con un numero crescente secondo il percorso eseguito che condurrà l’agente all’uscita dell’edificio. I dati ottenuti si riferiscono ad entrambe le simulazioni. In base ai percorsi intrapresi dagli agenti nelle 2 simulazioni si va a fare il confronto dei tempi in ingresso e uscita dai pianerottoli comuni nel percorso degli agenti in entrambi le simulazione. Visti e considerate la posizione di partenza dell’agente e i percorsi eseguiti nelle due simulazioni il confronto sui tempi è possibile effettuarlo sono sui pianerottoli antistante l’uscita. Nello specifico il primo confronto è riferito al tempo impiegato per entrare ed uscire dal pianerottolo uscita_1 (corrisponde alle azioni S1-1), per la simulazione 1 valgono 22,1 sec. e 24,6 sec. mentre per la simulazione 2 valgono 174,1 e 178,9 sec. (corrisponde all’ azione S2-8) la variazione del tempo in ingresso è di 152,0 sec. mentre in uscita dallo stesso pianerottolo è di 154,3. Ulteriore confronto è possibile farlo sul tempo di ingresso e uscita al pianerottolo uscita_2, nella simulazione 1 i tempi di ingresso e uscita sono 24,6 e 26,6 sec. (corrispondono ai tempi S1-2 in e out) mentre per la simulazione 2 sono 154,3 e 154,4 sec. (corrispondono ai valori S2-9 in e out). In generale la variazione sul tempo totale di uscita equivale alla variazione di uscita sul pianerottolo uscita_2 e vale 154,4 secondi, ovvero l’agente che è predisposto a sospendere l’erogazione di sostanze infiammabili raggiungerà l’uscita con un ritardo di 154,4 secondi rispetto ad una condizione in cui non debbano essere svolte operazioni da parte dello stesso operatore.

Addetto che sospende l'erogazione di sostanze infiammabili										
	Simulazione1			Simulazione2						
Room	Percorso eseguito	Room Time in	RoomTime out	Percorso eseguito	Room Time in	Room Time out	Variazione tempo in	Variazione tempo out	Var % time in	Var % time out
scala_A_3_1										
scala_A_2_1										
scala_A_1_1										
scala_A_0_1				S2-1	20,3	25,2				
scala_A_-1_1				S2-2	76,5	107,2				
scala_A_-2_1				S2-3	115,5	117,2				
scala_A_-2_2				S2-4	117,2	119,2				
scala_A_-2_2				S2-5	139,9	141,8				
scala_A_-2_1				S2-6	141,8	143,6				
scala_A_-1_1				S2-7	152,0	155,5				
scala_B_3_1										
scala_B_2_1										
scala_B_1_1										
scala_B_0_1										
scala_B_0_1*										
scala_B_-1_1										
scala_F*_-1_1										
scala_F_-1_1										
uscita_1	S1-1	22,1	24,6	S2-8	174,1	178,9	152	154,3	-6,88	-6,27
uscita_2	S1-2	24,6	26,6	S2-9	178,9	181,0	154,3	154,4	-6,27	-5,80

Tabella 3-28: Tempi in ingresso e uscita dai pianerottoli nel percorso dell' Addetto che sospende l'erogazione di sostanze infiammabili.

Nella Tabella 3-29 vengono indicati in maniera generale i tempi di esodo per la simulazione 1 e simulazione 2, i tempi di uscita dall'edificio sono distinti in base al profilo e vengono differenziati in tempo minimo e massimo impiegato da un generico agente appartenente a quel profilo a raggiungere l'uscita dell'edificio. Risulterà inoltre importante porre attenzione sul confronto sui tempi di esodo relativi agli agenti a cui sono stati affidati compiti specifici nella gestione dell'evacuazione. Tali agenti sono stati simulati con il profilo B, C, D, E, F, il confronto dei tempi sull'uscita finale permette di quantificare eventuali influenze sull'evacuazione a livello globale. Nella tabella seguente si va a quantificare la variazione del tempo di uscita mediante le differenze tra i valori minimi e massimi per ciascun profilo.

Dall'analisi dei tempi risulta che per i profili non associati agli addetti le variazioni sui tempi minimi per raggiungere l'uscita varia tra 0 e 6,7 secondi mentre per i valori massimi le variazioni oscillano tra 1,1 secondi e 28,4 secondi. Se si considera i profili che simulano le condizioni degli addetti le variazioni in termini di tempo sono per il profilo B 301,1 sec., profilo C 197,1 sec., profilo D 2,3 sec., profilo E 7,1 sec., profilo F 178,7 sec. e per il profilo G 154,5 sec. Risulta che la variazione massima sui tempi di uscita appartengono ai profili B e C che sono rispettivamente il "coordinatore dell'emergenza del fabbricato" e "coordinatore dei contatti esterni" a cui sono demandati i compiti di coordinare e controllare l'esodo dell'edificio. Per "l'addetto che effettua l'appello all'esterno" e "addetto che aziona allarme antincendio" le variazioni sul tempo finale non sono maggiori di 7,1 secondi mentre per "l'addetto che toglie corrente elettrica" e "addetto che sospende erogazione delle sostanze infiammabili" risultano essere rispettivamente 178,7 e 154,5 secondi. La grande variazione di tempo tra le 2 simulazioni per i profili B e C implica che raggiungano l'uscita dell'edificio per ultimi, in particolar modo il profilo B raggiunge l'uscita dell'edificio con un ritardo di 100 secondi rispetto al tempo impiegato dall'ultimo agente nella simulazione 1 e il profilo C raggiunge l'uscita dell'edificio con un ritardo di 70,7 rispetto al tempo impiegato dall'ultimo agente nella simulazione 1. Per quanto riguarda i profili D, E, F e G il tempo impiegato per raggiungere l'uscita non supera quello dell'ultimo agente nella simulazione 1. I dati relativi alla variazione dei tempi di uscita dall'edificio sono oltremodo confermati dall'analisi delle distanze percorse durante l'evacuazione. In Tabella 3-30 vengono indicati in maniera generale le distanze percorse in entrambe le simulazioni dagli agenti. I dati ottenuti relativi alle distanze percorse sono distinte per profilo e vengono differenziate in distanza minima e massima percorsa da un generico agente per raggiungere l'uscita. Se si considera i profili che simulano le condizioni degli addetti le variazioni in termini di distanze percorse sono per il profilo B 259,5 m, profilo C 227,9 m, profilo D 1,6 m, profilo E 11,6, profilo F 141,2 e per il profilo G 109,3 m. Risulta che l'aumento dei tempi di uscita dall'edificio per i profili con mansioni specifiche è correlato alle distanze che devono percorrere per svolgere gli obiettivi. In particolare i profili B e C risultano quelli con una variazione sulla distanza percorsa maggiore e sono quelli che hanno variazioni sul tempo maggiore.

	Simulazione 1			Simulazione 2			Var. tempo min	Var tempo max
Completion Times by Profile (s):								
Profile	Count	Min	Max	Count	Min	Max	(sim1min – sim2min)	(sim1max – sim2max)
A_-1	67	46,4	141,3	67	46,4	164,7	0	-23,4
A_1_1	69	51,7	175,6	69	52,7	177,1	-1	-1,5
A_1_2	34	61,6	194,7	34	60,7	191,8	0,9	2,9
A_2_1	67	94,4	289,8	67	87,7	287,3	6,7	2,5
A_2_2	97	108,5	421,7	97	105,9	425,3	2,6	-3,6
A_3_1	71	153,0	415,5	71	146,8	387,1	6,2	28,4
A_3_2	52	179,9	434,0	52	174,9	420	5	14
B_-1	57	61,1	140,4	57	59,5	124,9	1,6	15,5
B_1_1	24	65,6	155,4	24	62,5	149,7	3,1	5,7
B_1_2	64	54,3	165,1	64	59,9	166,2	-5,6	-1,1
B_2_1	124	87,1	394,9	124	82,3	388,7	4,8	6,2
B_2_2	65	90,3	228,9	65	95,9	233,2	0	-23,4
B_3_1	120	146,4	397,0	120	144,4	396,4	-1	-1,5
F*_-1	76	16,8	109,0	76	16,8	118,1	0,9	2,9
F_-1	89	17,1	120,3	89	17,1	114	6,7	2,5
F_0_1	128	18,9	112,2	128	18,9	108	2,6	-3,6

Profili degli addetti con compiti di gestione dell' evacuazione								
B	1	232,7	232,7	1	534,2	534,2	-301,5	-301,5
"3.14 coordinatore dell'emergenza del fabbricato"								
C	1	307,6	307,6	1	504,7	504,7	-197,1	-197,1
"3.10 coordinatore de contatti esterni"								
"1.28 addetto che effettua l'appello all'esterno"	1	100,3	100,3	1	98	98	2,3	2,3
E	1	158,1	158,1	1	151	151	7,1	7,1
"1.29 addetto che aziona allarme antincendio"								
F	1	20,4	20,4	1	199,1	199,1	-178,7	-178,7
"0.9 addetto che toglie corrente elettrica"								
G	1	26,5	26,5	1	181	181	-154,5	-154,5
0.10 addetto che sospende erogazione								
uscita	1	5,8	5,8	1	5,8	5,8	0	0
all profiles	1211	5,8	434	1211	5,8	534,2	0	-100,2

Tabella 3-29: Tempi di completamento dell'esodo distinti per profilo.

PROFILI CON SPECIFICHE FUNZIONI								
B "3.14 coordinatore dell'emergenza del fabbricato"	1	99,8	99,8	1	359,3	359,3	-259,5	-259,5
C "3.10 coordinatore de contatti esterni"	1	116,4	116,4	1	344,3	344,3	-227,9	-227,9
D "1.28 addetto che effettua l'appello all'esterno"	1	73,3	73,3	1	71,7	71,7	1,6	1,6
E "1.29 addetto che aziona allarme antincendio"	1	91,1	91,1	1	102,7	102,7	-11,6	-11,6
F "0.9 addetto che toglie corrente elettrica"	1	25,6	25,6	1	166,8	166,8	-141,2	-141,2
G 0.10 addetto che sospende erogazione sostanza infiammabili	1	34,2	34,2	1	143,5	143,5	-109,3	-109,3
uscita	1	7,2	7,2	1	7,2	7,2	0	0
all profiles	1211	7,2	142,8	1211	7,2	359,3	0	-216,5

Tabella 3-30: Distanze percorse per il completamento dell'esodo con distinzione dei profili.

Nella Figura 3-74 si va a rappresentare il confronto tra le curve di uscita riferita alla porta che conduce all'esterno dell'edificio per le 2 simulazioni. Per quanto riguarda la curva di evacuazione della simulazione 1 vale quanto già esplicitato nel capito di riferimento alla simulazione 1 ovvero la presenza di 4 tratti a pendenze differenti che rappresentano la variazioni di densità durante l'arco dell'evacuazione ed è collegata ai flussi che si hanno sulla porta (pendenza maggiore rappresenta un flusso maggiore e una minore densità lungo le vie di esodo). Il tratto ottimale è riconducibile al periodo di tempo che va da 20 a 165 secondi in cui la pendenza è maggiore e si ha il flusso maggiore sulla porta di uscita. Se si considera la curva di evacuazione per la simulazione 2 si può vedere una sovrapposizione con la curva della simulazione 1 per il tratto che va da 0 a 435 sec. (tratto 0-1) il punto 1 rappresenta la fine dell'esodo della simulazione 1, la curva di evacuazione relativa alla simulazione 2 continua fino a 535 secondi (punto 2) che rappresenta la fine dell'evacuazione per la simulazione 2. Il tratto 1-2 ha un ha una pendenza presso che nulla, in questo arco di tempo che dura 100 secondi escono dall'edificio un numero di agenti pari a due e sono rispettivamente il profilo B "coordinatore dell'emergenza del fabbricato" e il profilo C "coordinatore de contatti esterni" che sono i due addetti responsabili del controllo dell'esodo di tutto l'edificio. La fine dell'evacuazione è quindi condizionata dal tempo impiegato dai due agenti affinché svolgano le mansioni loro affidategli.

Dall'analisi effettuata risulta che a livello globale le azioni simulate per i diversi addetti non influiscono sui flussi all'uscita degli altri agenti operatori interni e visitatori dell'edificio, a meno del tempo totale di evacuazione che nella simulazione 2 è maggiore di 100 secondi, tale condizione influisce principalmente sulla sicurezza dei due addetti a cui è stato affidato il compito di effettuare il controllo sullo stabile, inoltre da un analisi locale sui comportamenti degli addetti simulati i problemi riguardano la sicurezza di questi e le condizioni che si possono verificare lungo i percorsi che eseguono per completare i vari obiettivi. Si è riscontrato per gli agenti con profilo F "addetto che toglie corrente elettrica" e G "10addetto che sospende erogazione" il verificarsi di una condizione in cui lungo le vie di esodo ci creano flussi in direzione opposta in condizioni di densità critiche, tale condizione può compromettere la sicurezza degli agenti coinvolti. Nel percorso dei due agenti che prevede il passaggio attraverso la scala del corpo scala A per raggiungere i locali tecnici si viene a creare una condizione in cui si vanno a creare flussi in direzione opposta tra i medesimi agenti e quelli che percorrono la scala come via di esodo per raggiungere l'uscita dell'edificio, questa condizione locale può creare delle condizioni non sicure per gli agenti coinvolti, dovute a condizioni di densità che portano a fenomeni di schiacciamento e cadute. È necessario fare un ulteriore osservazione, oltre al confronto dei dati sui tempi, anche in merito ai percorsi intrapresi dagli occupanti. La scelta della via d'esodo e i percorsi utilizzati dagli addetti infatti non influenza l'evacuazione in termini globali, ma influenza la sicurezza in condizioni locali, in quanto è apparso dallo scenario 2 (configurazione con addetti) che gli occupanti che impiegano vie di esodo per raggiungere l'uscita, si vengono a trovare ostacolati dal percorso intrapreso dagli addetti. Ciò come detto ha una influenza negativa sulla valutazione della salvaguardia delle persone durante l'esodo, che potrebbe risultarne compromessa.

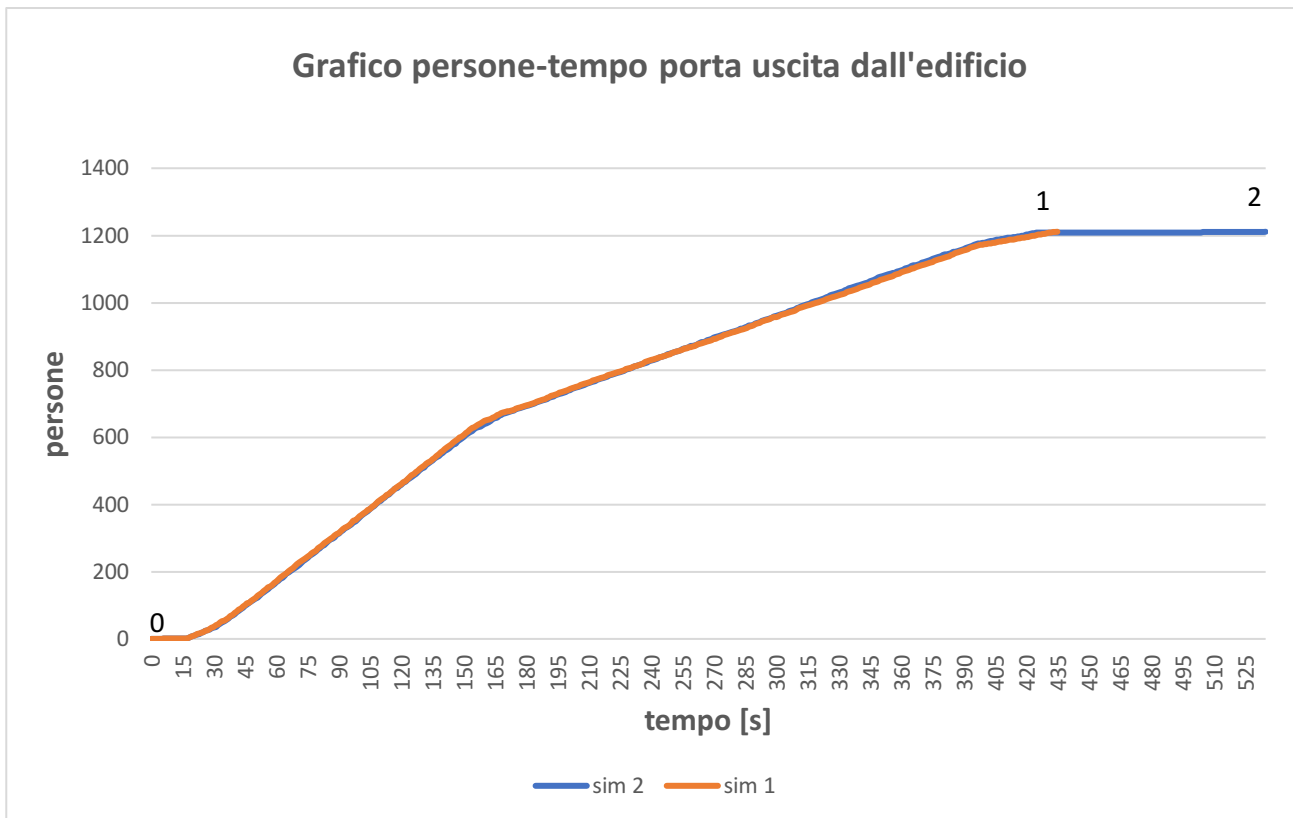


Figura 3–74: Curva di esodo all'uscita dell'edificio per le simulazioni 1 e 2.

Nella valutazione della densità lungo i percorsi è emerso che le condizioni risultano simili alla simulazione 1, si è focalizzata, l'attenzione soprattutto sul pianerottolo al livello -1 dove si verifica una condizione di flussi in direzione opposta. Tale condizione si verifica in quanto gli addetti F e G dovendo raggiungere i locali tecnici al livello - 2 utilizzando il corpo scala B incontrano sullo stesso percorso gli agenti evacuantanti che utilizzano lo stesso corpo scala per raggiungere l'uscita dell'edificio. Nelle Figura 3–75, Figura 3–76, Figura 3–77 si riportano dei fermo immagine che cattura il problema di percorsi controcorrente cui incorrono gli agenti F e G (agente rosso e bianco nelle immagini) lungo il percorso per raggiungere i locali tecnici, nello specifico si rappresenta il percorso nel corpo scala B nel tratto che conduce dal livello 0 al livello -1. Le immagini fanno riferimento agli istanti della simulazione 30, 50, 80, 100. Viene riportato per gli stessi istante di tempo una mappa di densità da cui è possibile dedurre la condizione pericolosa per la sicurezza degli occupanti.

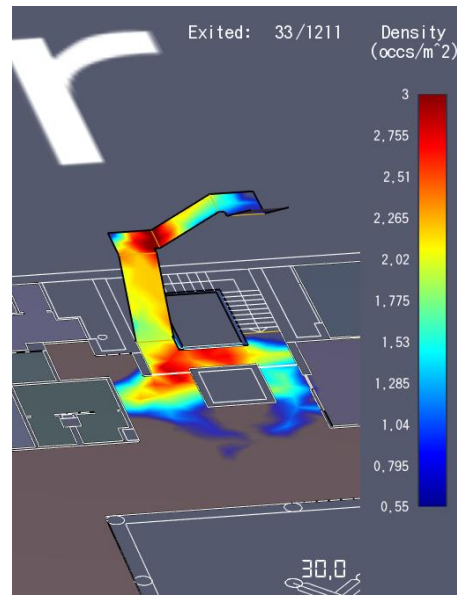
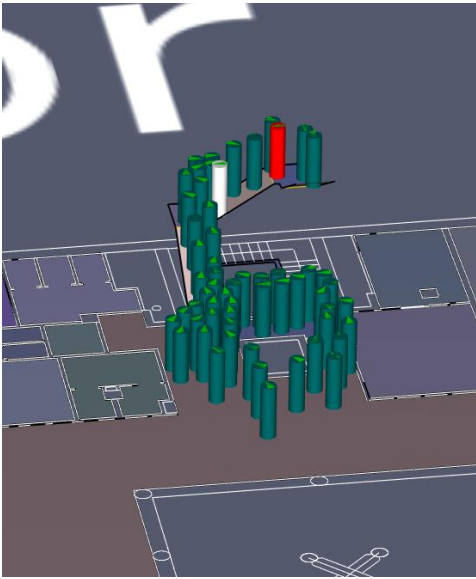


Figura 3–75: Agenti F e G che percorrono la scala del corpo scala B in condizione di flussi in direzione opposta e relativa mappa di densità all'istante 30 sec.

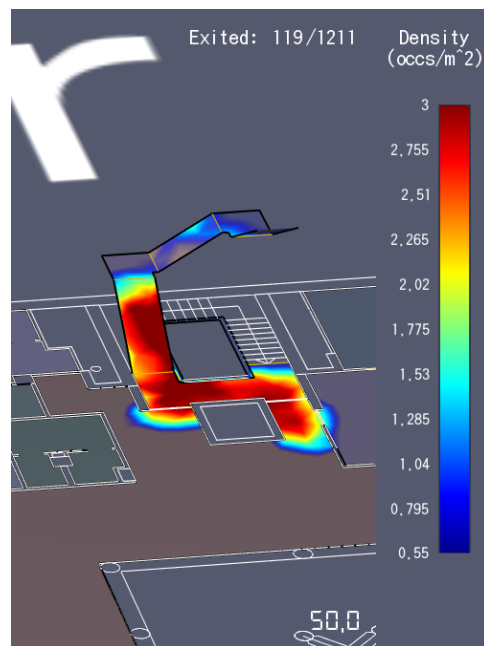


Figura 3–76: Agenti F e G che percorrono la scala del corpo scala B in condizione di flussi in direzione opposta e relativa mappa di densità all'istante 50 sec.

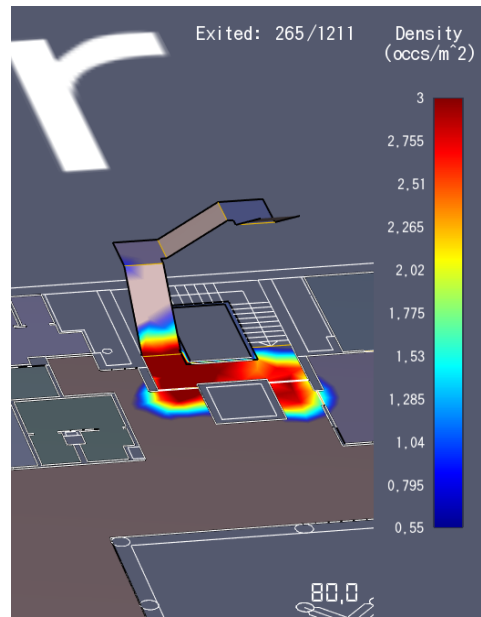
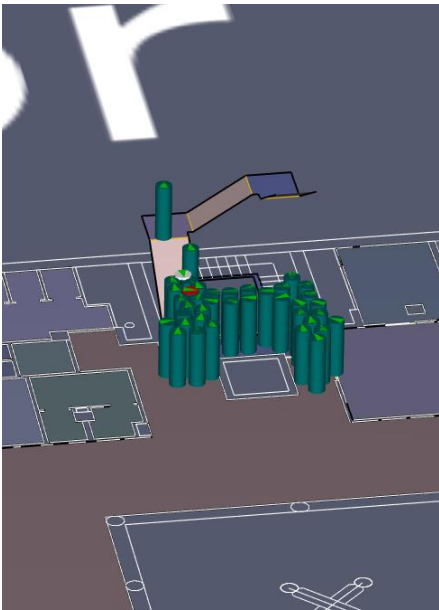


Figura 3–77: Agenti F e G che percorrono la scala del corpo scala B in condizione di flussi in direzione opposta e relativa mappa di densità all'istante 80 sec.

3.3.3. ANALISI OUTPUT SIMULAZIONE 3: ESODO CON PERCORSO ALTERNATIVO

I primi risultati ottenuti una volta effettuata la simulazione permettono di fare valutazione in merito ai percorsi effettivamente eseguiti dagli agenti all'interno dello scenario. È possibile verificare i percorsi che ogni agente effettua dal loro punto di partenza fino all'uscita dell'edificio, nelle figure successive vengono rappresentati i percorsi nei vari livelli dell'edificio Figura 3-78, Figura 3-79, Figura 3-80, Figura 3-81 e Figura 3-82.

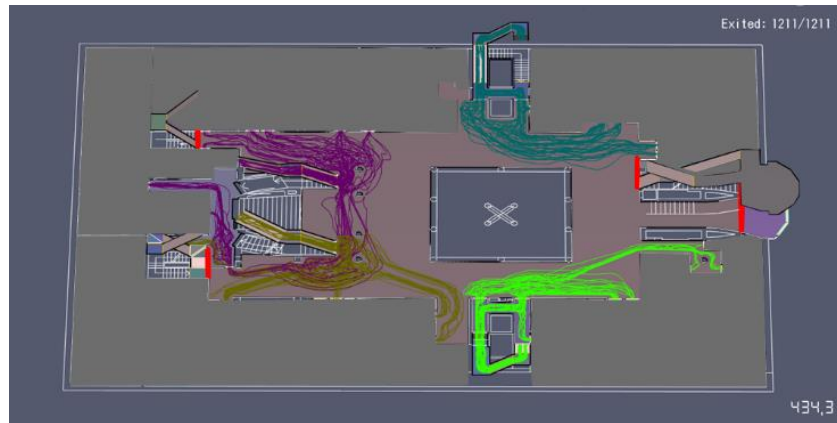


Figura 3-78: Percorsi estrapolati da Pathfinder degli agenti del livello -1.

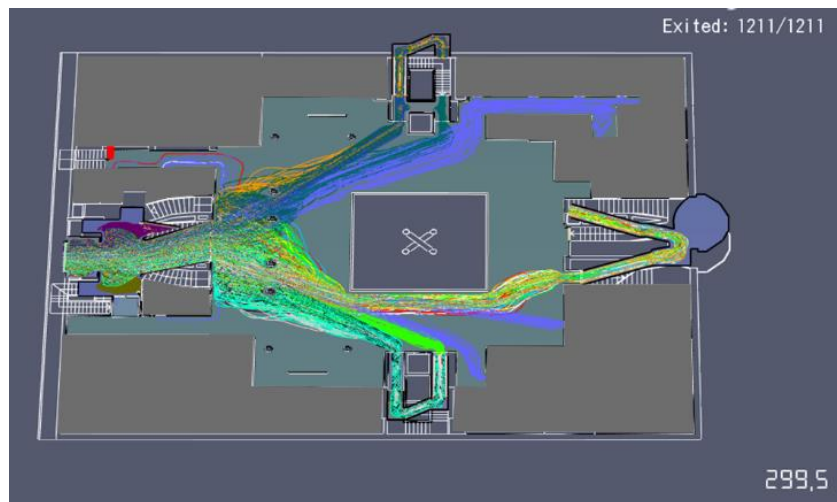


Figura 3-79: Percorsi estrapolati da Pathfinder degli agenti del livello 0.

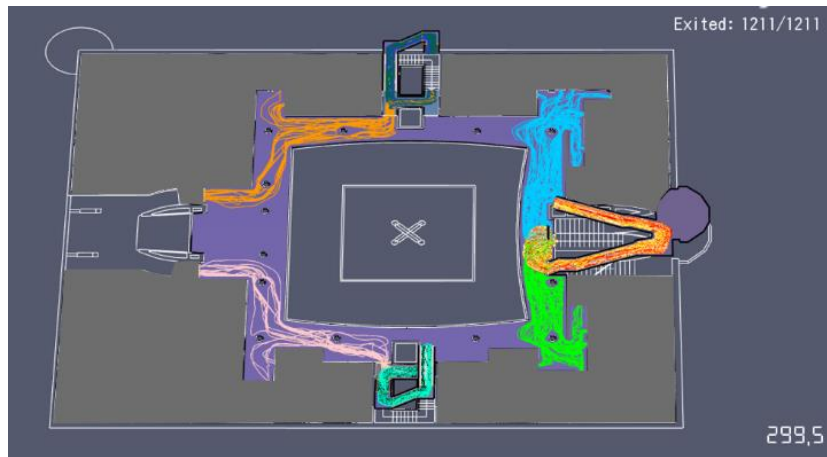


Figura 3–80: Percorsi estrapolati da Pathfinder degli agenti del livello 1.

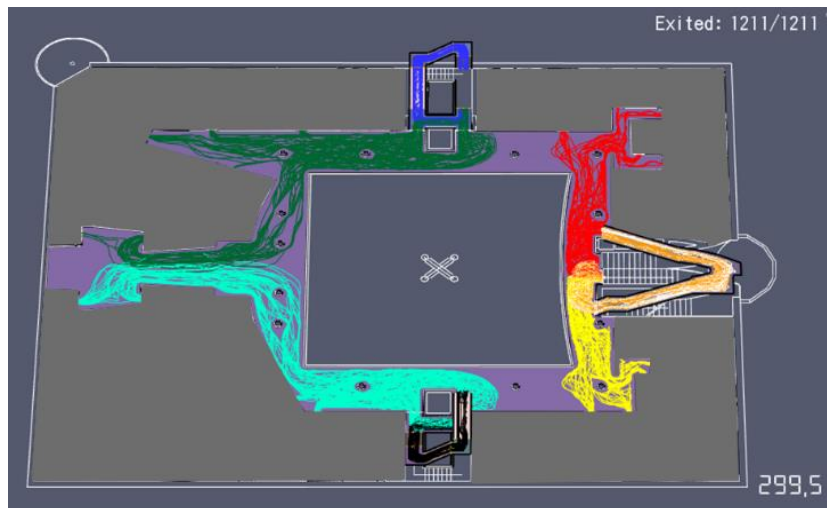


Figura 3–81: Percorsi estrapolati da Pathfinder degli agenti del livello 2.

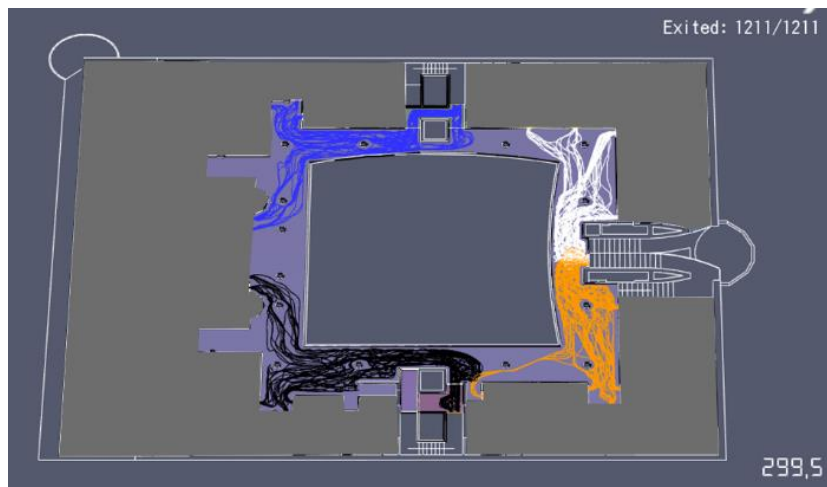


Figura 3–82: Percorsi estrapolati da Pathfinder degli agenti del livello 3.

La simulazione 3 prevede l'evacuazione secondo le condizioni previste dal piano di evacuazione, con i dati di input come già definiti viene eseguita la simulazione e analizzati piano per piano i dati di output definiti facendone il confronto con quelli ottenuti nella simulazione 1. Nei grafici riportati di seguito vengono valutati i dati di output sulle uscite di ogni piano e sui pianerottoli l'analisi sarà strutturata analizzando ogni livello dell'edificio.

LIVELLO -1

Nell'analisi del livello -1 si farà riferimento alle porte: Door_A_-1_2, Door_A_-1_1, Door_B_-1_2, Door_B_-1_1, Door_F_-1_1, Door_F_-1_2 e alle Room: scala_A_-1_1 e scala_B_-1_1 che rappresentano i pianerottoli antistanti gli ingressi per il corpo A e B al livello -1. Nella simulazione 3 l'analisi di confronto prenderà come riferimento la somma degli agenti che accedono in un corpo scala senza una distinzione degli ingressi. Nei seguenti grafici si riporta l'analisi effettuata al livello -1 nello specifico si analizzerà l'andamento di uscita degli agenti nel tempo relativo alle porte del corpo scala "A" "B" e relativo alle rampe "F" e "F*". Nel seguito Figura 3-83 si riporta il grafico di confronto tra le simulazioni 1 e 3 relativo al tempo di uscita degli agenti dal livello -1 dal corpo scala A, il confronto si riferisce alla somma degli ingressi "Door_A_-1_1" "Door_A_-1_1" tali ingressi fanno parte del corpo scala A e condurranno gli agenti al livello 0. Nella Figura 3-84 si riporta il grafico di confronto tra le simulazioni 1 e 3 relativo al tempo di uscita degli agenti dal livello -1 dal corpo scala B il confronto si riferisce alla somma degli ingressi Door_B_-1_1, Door_B_-1_2, Door_B_-1_3, tali ingressi fanno parte del corpo scala B e condurranno gli agenti al livello 0. Nella Figura 3-85 si riporta il grafico di confronto tra le simulazioni 1 e 3 relativo al tempo di uscita degli agenti dal livello -1 dal corpo scala F il confronto si riferisce alla somma degli ingressi Door_F*_-1_1, Door_F_-1_1, tali ingressi fanno parte del corpo scala F tali ingressi condurranno gli agenti dal livello -1 all'uscita dell'edificio. Nella Figura 3-86 si confronta il flusso di uscita dal piano tra la simulazione 1 e 3 con riferimento alla somma degli ingressi in A, B e F per le due simulazioni. Nella discussione dei risultati che segue si farà riferimento ai valori del percentile al 95%.

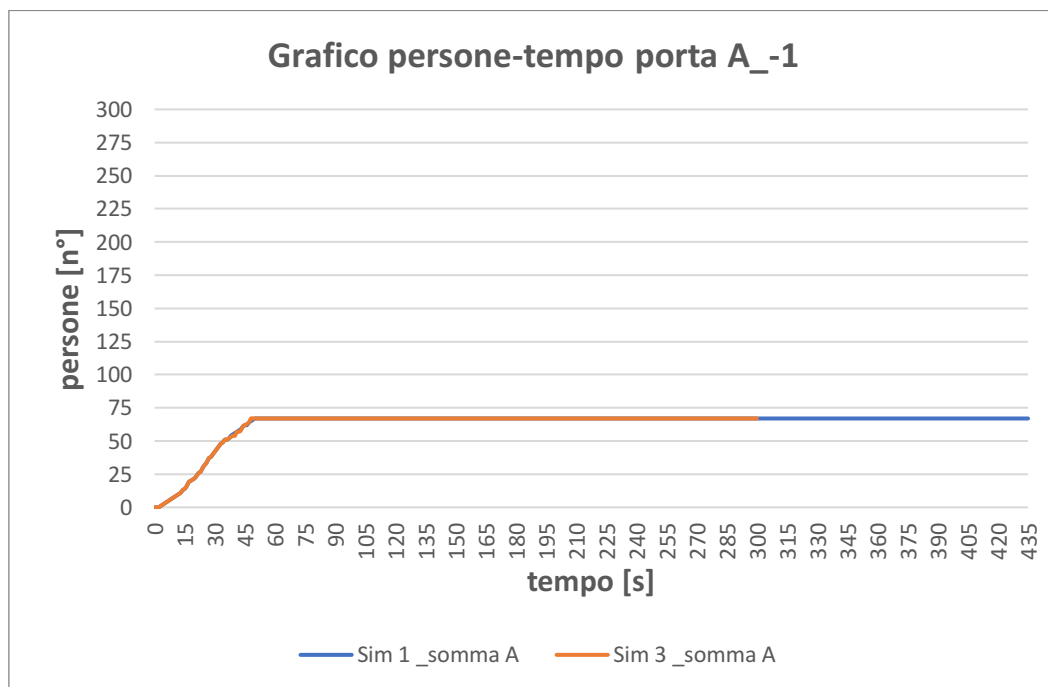


Figura 3-83: Scenario 3. Grafico confronto occupanti/tempo relativo alla porta di accesso al corpo scala A al livello -1.

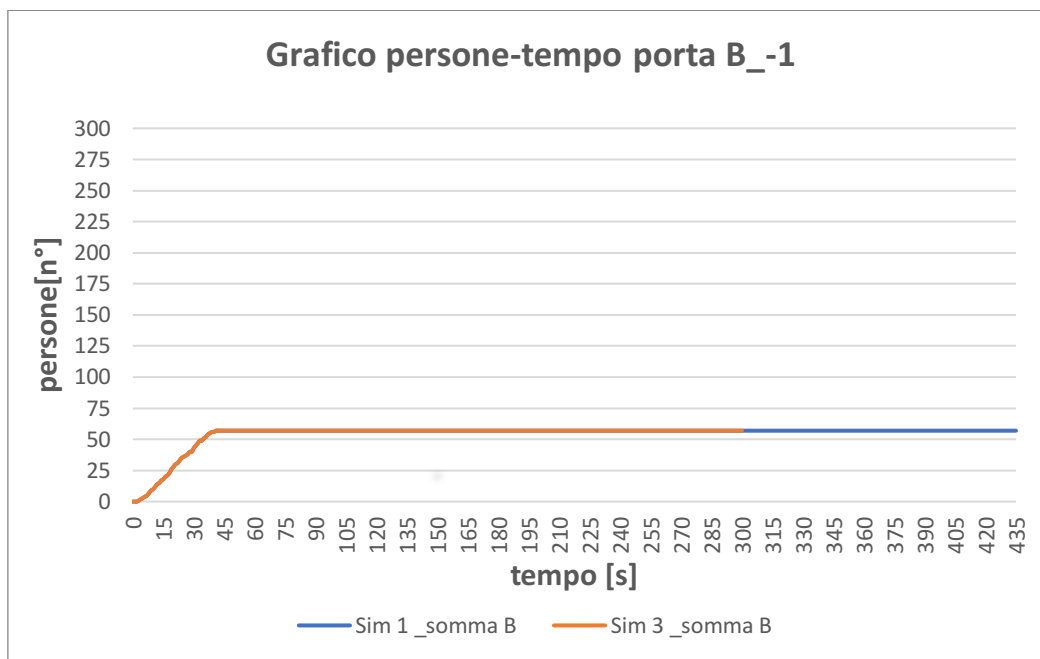


Figura 3–84: Scenario 3. Grafico confronto occupanti/tempo relativo alla porta di accesso al corpo scala B al livello -1.

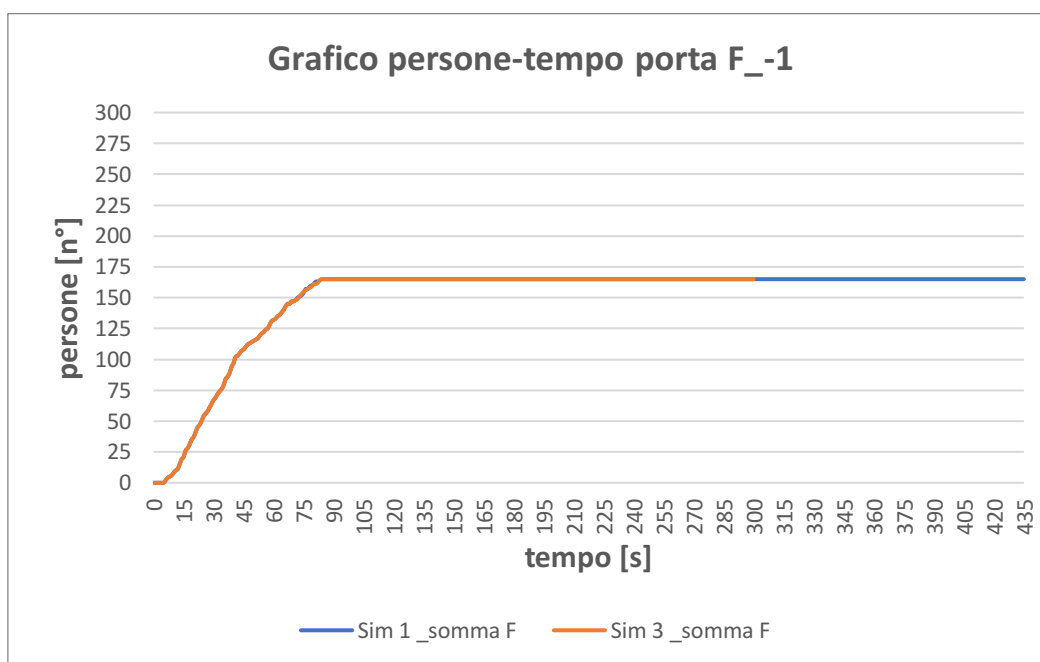


Figura 3–85: Scenario 3. Grafico confronto occupanti/tempo relativo alla somma delle porte di accesso al corpo scala F al livello -1.

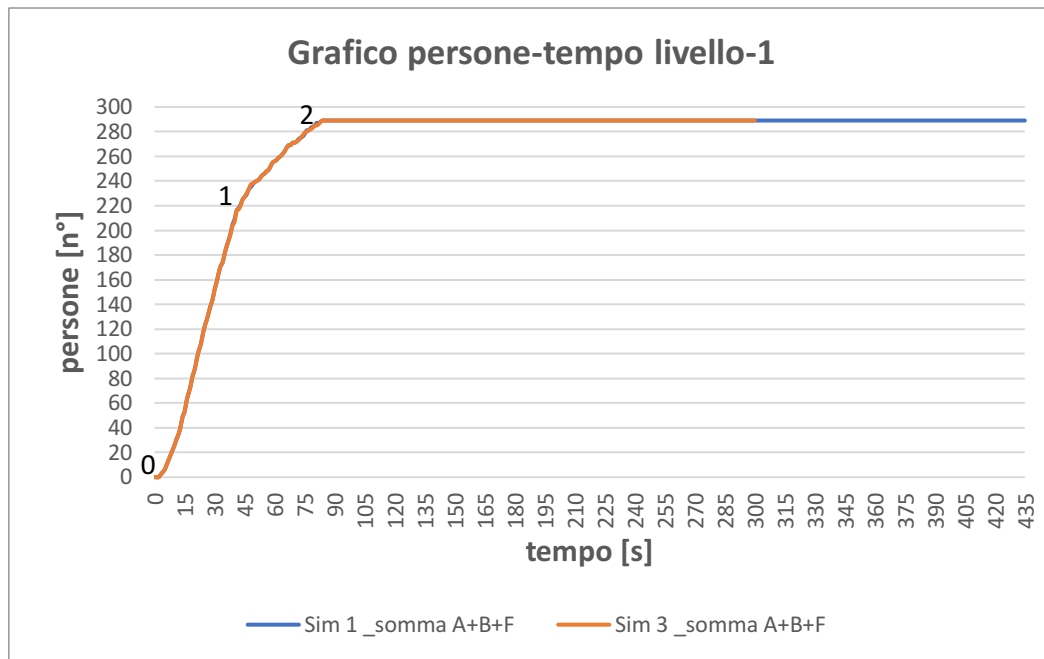


Figura 3–86: Scenario 3. Grafico di confronto occupanti/tempo riferito alla somma delle uscite dal livello -1.

Dai grafici riferiti al confronto tra le simulazioni 1 e 3 non si verificano differenze in termini di tempi di uscita dal livello -1 in quanto non sono cambiate le condizioni al contorno nella simulazione 3 rispetto alla simulazione 1. Gli agenti presenti al livello -1 raggiungono l'uscita dell'edificio nelle medesime condizioni della simulazione 1. Dal confronto tra le simulazioni risulta che il numero di agenti che accedono al livello 0 dal corpo scala A *Figura 3–83* è pari a 67, per quanto riguarda il tempo minimo e massimo impiegato per accedervi è pari a 2,5 sec e 47,1 valori che valgono per entrambe le simulazioni effettuate. Dal confronto tra le simulazioni risulta che il corpo scala B *Figura 3–84* il numero di agenti che accedono al livello 0 mediante questo corpo scala è pari a 57, per quanto riguarda il tempo minimo e massimo impiegato per accedervi è pari a 2,8 sec. e 38,0 sec. valori che valgono per entrambe le simulazioni effettuate. Per quanto riguarda il corpo scala F *Figura 3–85* il numero di agenti che accedono al livello di uscita dell'edificio tramite questo corpo scala è pari a 165 il tempo minimo e massimo impiegato ad accedervi è pari a 5,4 sec. e 80,0 sec., valori presso che simili per entrambe le simulazioni. Per quanto riguarda il processo di deflusso riferito alla somma di tutti gli agenti del livello -1 *Figura 3–86*, viste le condizioni uguali in termini di numero agenti e in termini di tempi di accesso ai vari corpi scala, nel confronto riferito all'uscita dal livello di tutti gli agenti non si hanno variazioni tra le 2 simulazioni. I grafici che si ottengono sono sovrapposti, hanno stesse caratteristiche per quanto riguarda le pendenze e la lunghezza dei tratti. Con riferimento ai flussi considerati sempre in riferimento al valore 95% percentile, sugli sulle porte A e B i valori sono rispettivamente 1,4 (pp/s) e 1,50 (pp/s), sulla porta in C il flusso è pari a 1,59 (pp/s), mentre per il corpo scala F il valore risulta 2,06 (pp/s), i valori raggiungono l'unità sinonimo del fatto che il processo non subisce grossi rallentamenti per quanto riguarda i corpi scala A e B si evince che il valore del flusso è simile, il processo di esodo è presso che simmetrico tra i 2 corpi scala in quanto sono simili il numero di agenti che vi accedono e una larghezza delle porte uguale, mentre per F il valore ha una differenza di 0,57 con l'ingresso B e 0,64 con A. Risulta che il flusso nell'ingresso F è più veloce rispetto ad A e B. Andando ad analizzare il flusso normalizzato rispetto alle larghezze degli ingressi i valori oscillano tra 0,47 (pp/s*I) e 0,63 (pp/s*I) ovvero il processo avviene in maniera regolare su tutto il piano. In generale risulta che la scala F è più efficiente per la posizione e la dimensione degli ingressi. In sintesi è possibile riassumere i risultati nella Tabella 3-31 in cui vengono espressi per ogni porta quante persone utilizzano l'uscita, il tempo minimo e massimo che impiega il primo e l'ultimo agente del gruppo di riferimento a passare attraverso la porta presa in considerazione, il flusso definito come persone/secondi e il percentile al 95% inoltre nella

Tabella 3-32 viene riportato il confronto sui tempi tra le 2 simulazioni effettuate. Ulteriore valutazione è possibile farla in riferimento alla pendenza dei due tratti sulla curva che ingloba tutte le uscite dal piano (tratto blu/arancione Figura 3-86). Il tratto 0-1 ha un coefficiente angolare pari a 5,1 (alfa=79) e (rapporto tra 218-0 (n°p)/ 42-0 (sec.) mentre il tratto 1-2 ha un coefficiente angolare pari a 1,51 (alfa=56,5) e (rapporto tra (289-218)/(83-42)), tale condizione sta a significare che per i primi 42 sec. il processo di esodo è più veloce pendenza della curva più alta, in tale arco di tempo 218 agenti escono dal livello, mentre per i restanti 47 sec evacuano dal piano un numero di agenti pari a 71 ovvero nei primi istanti dell'evacuazione gli agenti non trovano particolari difficoltà ed ostacoli nel raggiungere le uscite cosa che non avviene da 42 secondi fino a 83 secondi che corrisponde all'uscita dell'ultimo agente.

Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Percentile 0,95 (s)	Total_Use (n °persone)	Flow (ogni ingresso) (pers/s)		Flow normalizzato (ogni ingresso) (pers/s*I)		Flow (sulla porta) (pers/s)		Flow normalizzato (sulla porta) (pers/s*I)	
					Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%
Door_A_-1_1	2,5	47	45,4	37	0,79	0,81	0,66	0,68	1,40	1,42	0,58	0,59
Door_A_-1_2	14,8	47,8	47,1	30	0,63	0,64	0,52	0,53				
Door_B_-1_1	13,4	40,9	38	21	0,51	0,55	0,45	0,48	1,39	1,50	0,44	0,47
Door_B_-1_2	7,2	38,4	36,6	25	0,65	0,68	0,57	0,59				
Door_B_-1_3	2,8	12,6	12,5	11	0,87	0,88	0,97	0,98				
Door_F_-1_1	5,7	83,9	80	89	1,06	1,11	0,65	0,68	1,97	2,06	0,60	0,63
Door_F*_-1_1	5,4	73,9	67,5	76	1,03	1,13	0,63	0,69				

Tabella 3-31: Tempi di evacuazione alle porte per il livello -1.

Door	Sim1 First_In (s)	Sim3 First_In (s)	Differenza First_In (Sim1- sim3)	Sim1 Last_Out (s)	Sim3 Last_Out (s)	Differenza Last_Out (Sim1- sim3)	Sim1 Percentile 0,95 (s)	Sim3 Percentile 0,95 (s)	Differenza Percentile 0,95 (Sim1-sim3)	Sim3 Total_Use (n °persone)	Sim3 Total_Use (n °persone)	Differenza Total_Use (Sim1- sim3)
Door_A_-1_1	2,5	2,5	0	50,7	47	3,7	47	45,4	1,6	37	37	0
Door_A_-1_2	14,8	14,8	0	48,1	47,8	0,3	46,65	47,1	-0,45	30	30	0
Door_B_-1_1	13,4	13,4	0	40,9	40,9	0	38	38	0	21	21	0
Door_B_-1_2	7,2	7,2	0	38,4	38,4	0	36,6	36,6	0	25	25	0
Door_B_-1_3	2,8	2,8	0	12,6	12,6	0	12,5	12,5	0	11	11	0
Door_F_-1_1	5,7	5,7	0	83,4	83,9	-0,5	79,6	80	-0,4	89	89	0
Door_F*_-1_1	5,4	5,4	0	75,9	73,9	2	67,5	67,5	0	76	76	0

Tabella 3-32: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di evacuazione alle porte per il livello -1.

Nella *Tabella 3-33* vengono riportati per il livello -1 i vari gruppi di persone distinti per profilo e comportamento e il tempo impiegato per ciascun gruppo a raggiungere l'uscita dell'edificio distinti per tempo minimo e massimo. Si evince che l'ultimo agente facente parte del livello -1 riesce ad uscire dall'edificio in 184,8 ed è il tempo impiegato da un generico agente con profilo B_-1 sec mentre il primo a raggiungere l'uscita impiega 16,8 sec. ed è il tempo impiegato da un generico agente con profilo F*_-1. Dal confronto dei tempi in *Tabella 3-34* si può notare che ci sono differenze sui tempi impiegati per uscire dall'edificio di 44,4 secondi per il profilo B_-1 e di 32,6 secondi per il profilo A_-1, i tempi di uscita maggiori per la simulazione 3 sono dovuti ad una condizione di affollamento che si verifica al livello 0 all'ingresso della scala che conduce all'uscita mentre per i profili F_-1 e F*_-1 non ci sono differenze sostanziali tra le 2 simulazioni in quanto rimangono uguali le condizioni di uscita per gli agenti che sono sul livello -1.

	Behavior	Profile	Count	Min	Max
livello -1	scala A_-1	A_-1	67	46,8	173,9
livello -1	scala B_-1	B_-1	57	54,7	184,8
livello -1	scala F*_-1	F*_-1	76	16,8	107,2
livello -1	scala F_-1	F_-1	89	17,1	119,1

Tabella 3-33: Tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello -1.

	Behavior	Profile	Sim 3 Count	Sim 3 Count	differenza	Sim 1 Min	Sim 3 Min	Differenza Min	Sim1 Max	Sim3 Max	Differenza max
livello -1	scala A_-1	A_-1	67	67	0	46,4	46,8	-0,4	141,3	173,9	-32,6
livello -1	scala B_-1	B_-1	57	57	0	61,1	54,7	6,4	140,4	184,8	-44,4
livello -1	scala F*_-1	F*_-1	76	76	0	16,8	16,8	0	109	107,2	1,8
livello -1	scala F_-1	F_-1	89	89	0	17,1	17,1	0	120,3	119,1	1,2

Tabella 3-34: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello -1.

Dai risultati in output del software è stato possibile esportare una mappa definita "usage accumulated" in cui viene espresso in secondi quanto tempo vengono usati gli spazi riferito al tempo totale della simulazione. In *Figura 3-87* si riporta la mappa di uso per entrambe le simulazioni da cui si evince che a livello qualitativo nelle 2 simulazioni i risultati sono uguali in quanto non sono cambiate le condizioni di esodo intese come numero di agenti, la loro disposizione e i percorsi effettuati per evacuare dall'edificio. In generale sul livello -1 risulta che gli spazi utilizzati per l'evacuazione vengono utilizzati per un tempo relativamente breve a riprova del fatto che in questo livello il deflusso avviene senza grosse code agli ingressi e lo smaltimento delle code è veloce con tempi di attesa brevi.

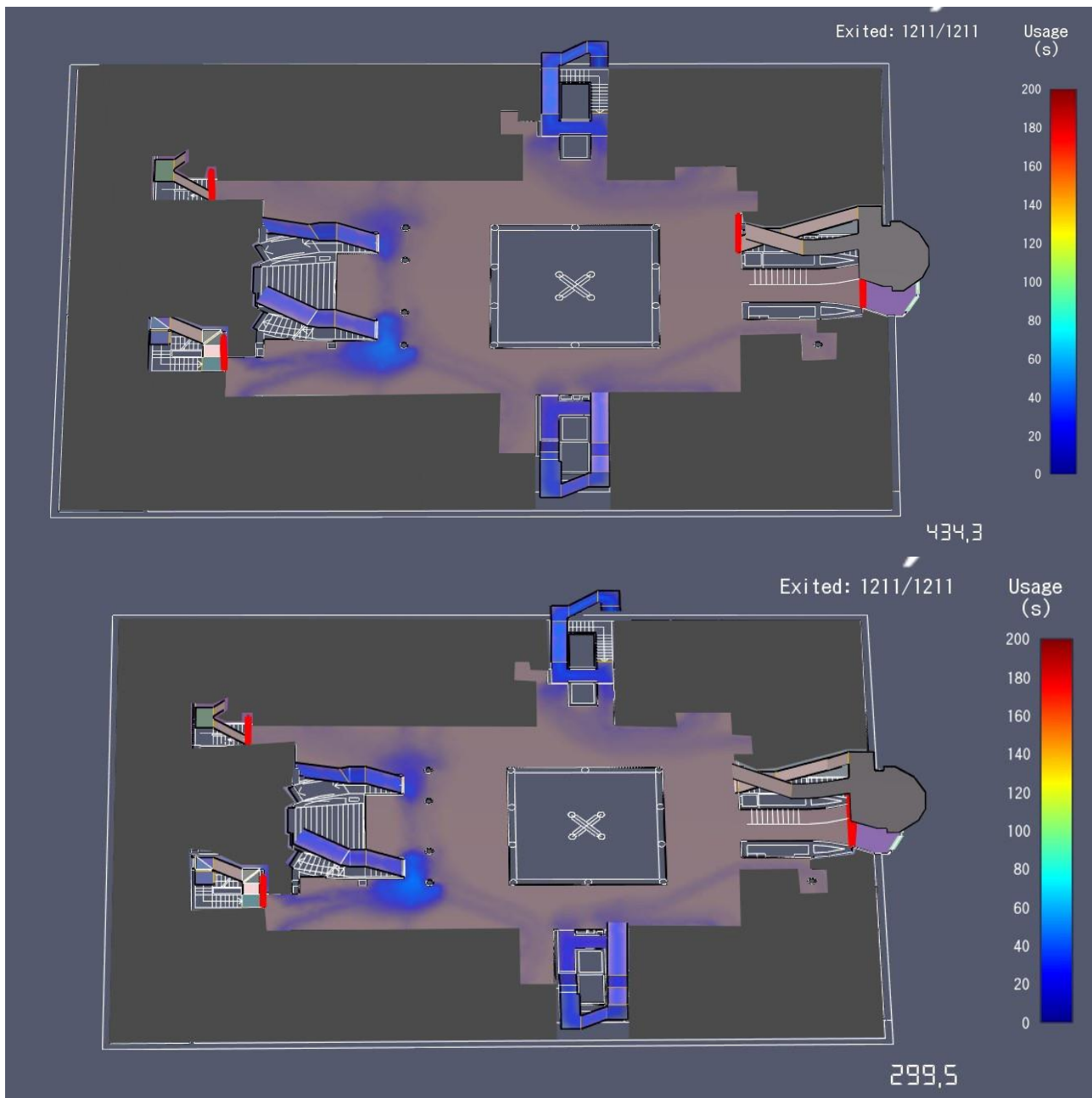


Figura 3–87: Scenario 3. Confronto tra le 2 simulazioni effettuate della mappa di uso degli spazi per livello -1.

L'ulteriore analisi svolta prende in considerazione i pianerottoli antistanti le uscite prese in esame definiti come scala_A_-1_1 relativo al pianerottolo al piano -1 per il corpo scala A e scala_B_-1_1 relativo al pianerottolo al piano -1 per il corpo scala B. Dal confronto tra le 2 simulazioni non emergono differenze significative in termini di tempi di percorrenza dei pianerottoli. Nella Figura 3–88 si rappresenta l'andamento della curva per i pianerottoli sul corpo scala A fatte per le simulazioni 1 e 3, in Figura 3–89 si rappresenta l'andamento della curva per i pianerottoli sul corpo scala B fatte per le simulazioni 1 e 3, dai grafici risulta che le curve sono sovrapponibili e non risultano differenze sostanziali. In generale come per la simulazione 1 nella simulazione 3 l'evacuazione avviene in maniera simmetrica tra i due corpi scala dovuto anche al fatto che il numero degli agenti che vi accedono sono simili. La curve per il corpo scala A presentano un andamento lineare per i primi 30 secondi poi presenta un tratto costante con la presenza contemporanea

di un numero di agente che varia tra 16 e 18 che dura per circa 10 secondi, il deflusso si conclude dopo 65,4 secondi. Dal grafico *Figura 3-89* si evince che l'andamento sul pianerottolo scala_B_-1_1 raggiunge un picco dopo 20 secondi con la presenza contemporanea di un numero di agente che varia tra 19 e 21 per circa 10 secondi, il deflusso da questo pianerottolo è di 57,4 secondi. Il tempo impiegato è relativamente contenuto in quanto gli agenti che utilizzano questo pianerottolo sono 57. Per quanto riguarda il pianerottolo scala_A_-1_1 si verificano differenze trascurabili sull'altezza del picco rispetto al precedente. La presenza di un tratto costante sul pianerottolo implica un rallentamento dell'esodo per la presenza di interazione tra gli agenti. La condizione più critica nel livello -1 si verifica nell'area afferente alla Door_F*_-1_1 dove si crea una zona a densità critica dovuta al percorso degli agenti simulati nella Room -1.11 e Room -1.12 che per raggiungere la porta Door_F_-1_1 vanno a creare un'interazione ed interferenza con gli agenti in attesa di accedere nella porta Door_F*_-1_1, il deflusso subisce un rallentamento proprio dovuto all'ostacolo che si crea tra i 2 profili che devono accedere alle 2 rampe. Per quanto riguarda le condizioni di densità si omette di rappresentare le mappe di calore in quanto sono emerse condizioni presso che uguali tra la simulazione 1 e 3, tale risultato è stato ottenuto in quanto sono identiche le condizioni imposte agli agenti e il numero di agenti presenti. Il parametro di densità indica istantaneamente il livello di densità presente in ogni spazio. Mediante questa rappresentazione è possibile visualizzare lo stato degli occupanti su tutto il piano, in particolare esprime le condizioni di deflusso sui pianerottoli antistanti le uscite, valutando le condizioni critiche che emergono dalla simulazione. Dalle analisi emerge come il limite massimo di densità nelle rappresentazioni è di 3pp/m² tale limite è il massimo che il solutore ammette (non ammette mai densità superiori), condizioni inferiori a questo limite sono già critiche. Nelle condizioni critiche si configurano situazioni nelle quali la densità elevata di persone vengono a verificare fenomeni di spinta, schiacciamenti dovuto alla calca, cadute, in generale condizioni di pericolo per gli utilizzatori.

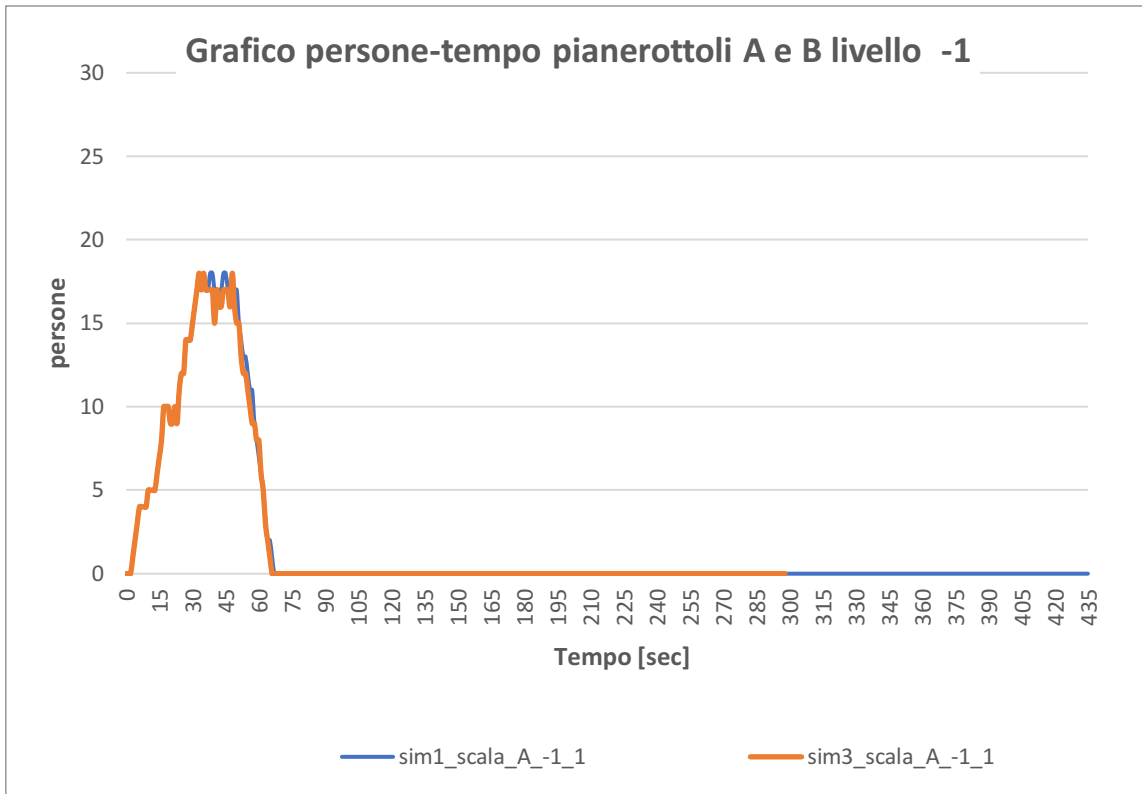


Figura 3–88: Scenario 3. Confronto curve occupanti/tempo relativo al pianerottolo antistante la porte del corpo scala A al livello -1.

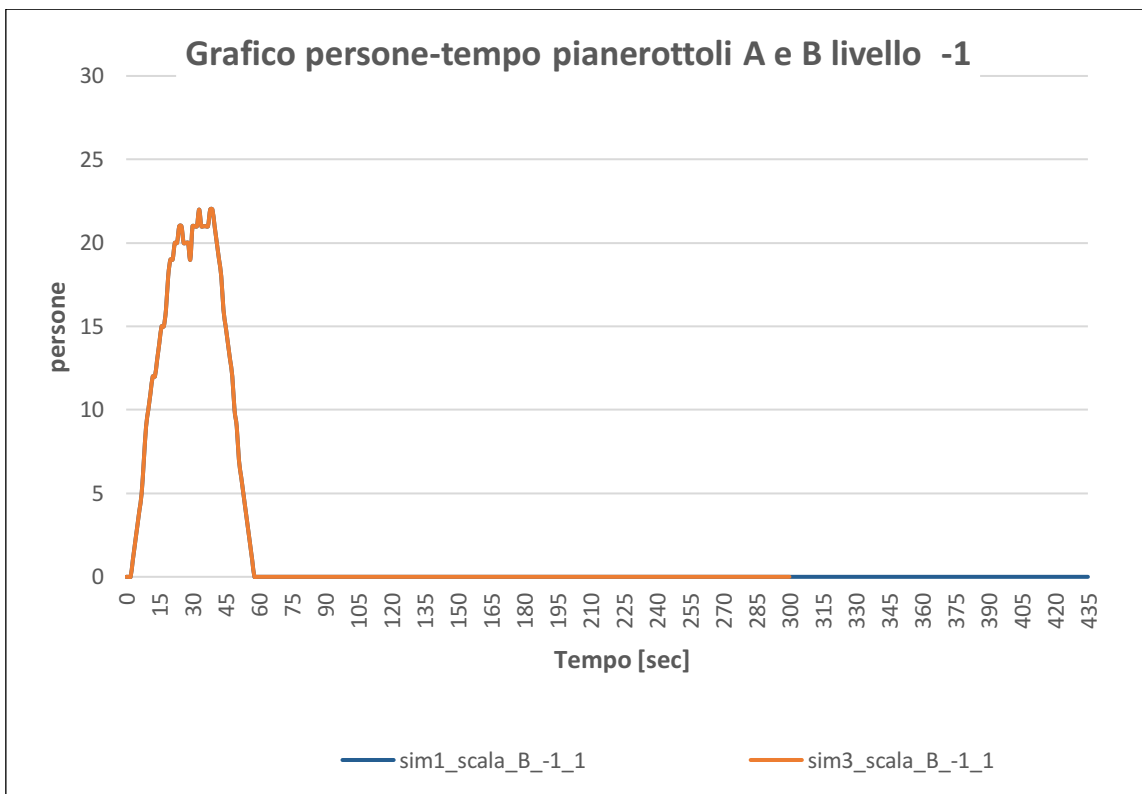


Figura 3–89: Scenario 3. Confronto curve occupanti/tempo relativo al pianerottolo antistante la porte del corpo scala B al livello -1.

Nella Tabella 3-35 si riportano in breve i tempi di utilizzo per ogni pianerottolo inteso come il tempo impiegato ad un generico agente ad entrare in tale pianerottolo e il tempo massimo che impiega un agente ad uscire dallo stesso. Si nota che il tempo minimo è di 2,5 sec. e il massimo è di 84 sec. Dal confronto dei tempi in figura Tabella 3-36 si può notare che sono minime le differenze sui tempi impiegati per defluire dai pianerottoli che sono stati considerati, non ci sono differenze sostanziali tra le 2 simulazioni in quanto rimangono uguali le condizioni di accesso a questi pianerottoli.

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Total_Use
scala_A_-1_1	2,5	65,4	67
scala_B_-1_1	2,8	57,4	57
scala_F_-1_1	5,7	84	89
scala_F*_-1_1	5,4	74	76

Tabella 3-35: Tempi di evacuazione dai pianerottoli per il livello -1.

Room	Sim1 First_In (s)	Sim3 First_In (s)	Differenza First_In (s)	Sim1 Last_Out (s)	Sim3 Last_Out (s)	Differenza First_out (s)	Sim1 Total_Use	Sim3 Total_Use	Differenza Total_Use
scala_A_-1_1	2,5	2,5	0	66,3	65,4	0,9	67	67	0
scala_B_-1_1	2,8	2,8	0	57,4	57,4	0	57	57	0
scala_F_-1_1	5,7	5,7	0	83,6	84	-0,4	89	89	0
scala_F*_-1_1	5,4	5,4	0	76	74	2	76	76	0

Tabella 3-36: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di deflusso dai pianerottoli per gli agenti del livello -1.

LIVELLO 0

Per quanto riguarda il livello 0 si farà riferimento alle porte: Door_A_0_2, Door_A_0_1, sono le porte appartenenti al corpo scala A dalle quali arrivano gli agenti provenienti dai livelli superiori, Door_B_0_1 è la porta da cui accedono gli agenti che arrivano dal livello -1, Door_B_0_2 è la porta da cui escono gli agenti che arrivano dai piani superiori e Door_F_0_1 è una porta fittizia introdotta prima della rampa che conduce all'uscita per inglobale nell'analisi persone/tempo sia gli agenti del livello 0 sia quelli provenienti dai corpi scala A e B, Door_C_0_2 in è la porta appartenenti al corpo scala C dalle quali arrivano gli agenti provenienti dai livelli superiori. Si analizzerà i dati di output sulle Room: scala_A_0_1 scala_B_0_1 e scala_B*_0_1 che rappresentano i pianerottoli antistanti le porte sul livello 0 rispettivamente per il corpo scala A e B. Nella simulazione 3 l'analisi di confronto prenderà come riferimento la somma degli agenti che accedono in un corpo scala senza una distinzione degli ingressi di ogni accesso al corpo scala. Nel seguito si riporta l'analisi effettuata al livello 0 nello specifico si analizzerà l'andamento di uscita delle persone nel tempo relativo alle porte del corpo scala "A", "B", "F" e "C". In Figura 3-90 si riporta il grafico di confronto tra le simulazioni 1 e 3 relativo al tempo di ingresso degli agenti sul livello 0 dal corpo scala A, il confronto si riferisce alla somma degli ingressi Door_A_0_1 e Door_A_0_2 tali ingressi fanno parte del corpo scala A e condurranno gli agenti provenienti dai piani superiori e dal piano inferiore al livello 0, Nella Figura 3-91 Figura 3-29 si riporta il grafico di confronto tra le simulazioni 1 e 3 relativo al tempo di ingresso degli agenti sul livello 0 dal corpo scala B il confronto si riferisce alla somma degli ingressi Door_B_0_1 e Door_B_0_2 tali ingressi fanno parte del corpo scala B e condurranno gli agenti provenienti dai piani superiori e dal piano inferiore al livello 0.

Nella Figura 3–92 si riporta il grafico relativo al tempo di ingresso degli agenti sul livello 0 dal corpo scala C in particolare si rappresenta l'uscita degli agenti dalla Door_C_0_1 porta tramite il quale gli agenti dei livelli superiori raggiungeranno il livello 0. Nella Figura 3–93 si confronta il flusso di ingresso al piano tra la simulazione 1 e 3 con riferimento alla somma dei soli ingressi A e B per le due simulazione, nella Figura 3–94 si confronta il flusso di ingresso al piano totale che nella simulazione 1 si riferisce ai soli corpi scala A e B mentre nella simulazione 3 include anche il corpo scala C. Nella discussione dei risultati che segue si farà riferimento ai valori del percentile al 95%.

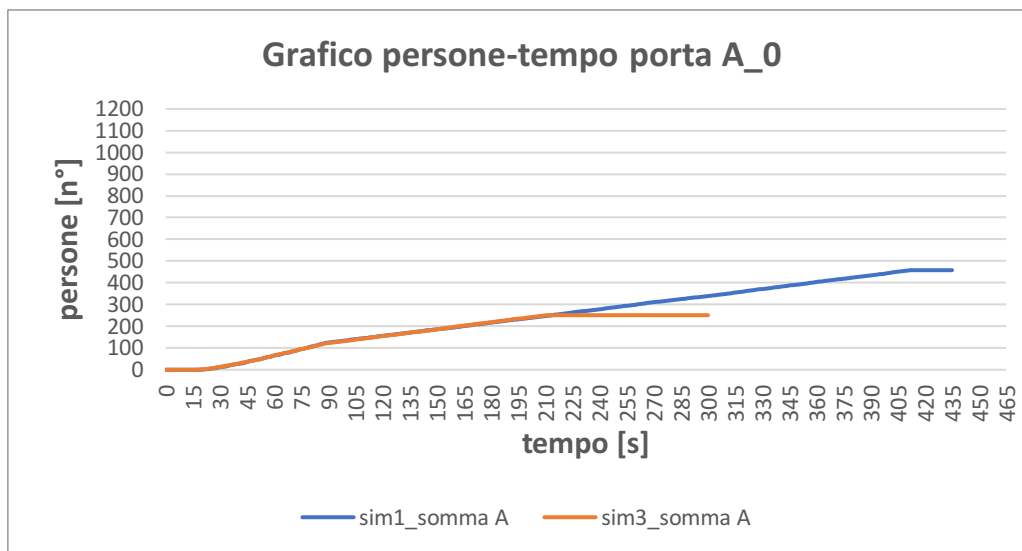


Figura 3–90: Scenario 3. Grafico confronto occupanti/tempo relativo alla porta di accesso al livello 0 tramite il corpo scala A.

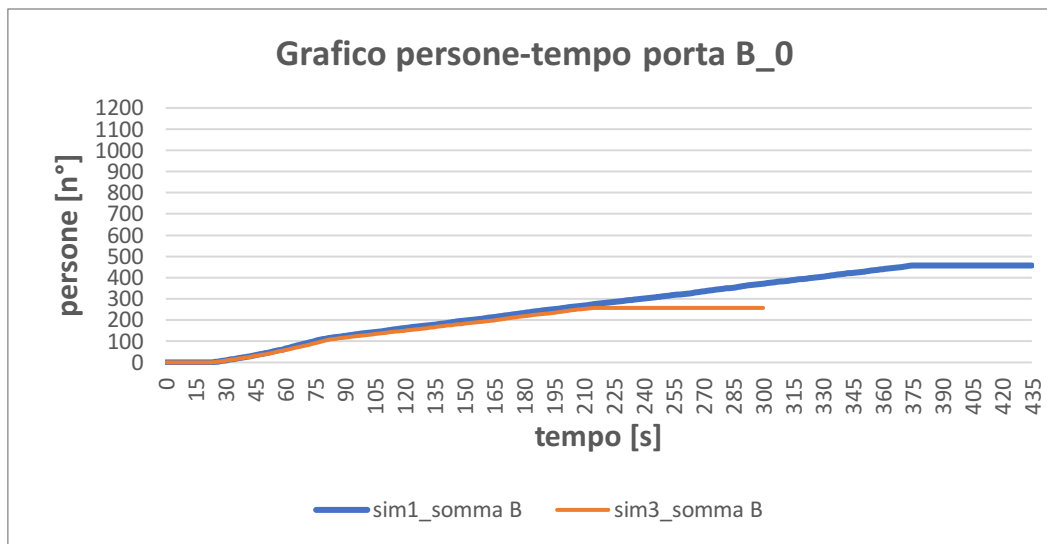


Figura 3–91: Scenario 3. Grafico confronto occupanti/tempo relativo alla porta di accesso sul livello 0 tramite il corpo scala B.

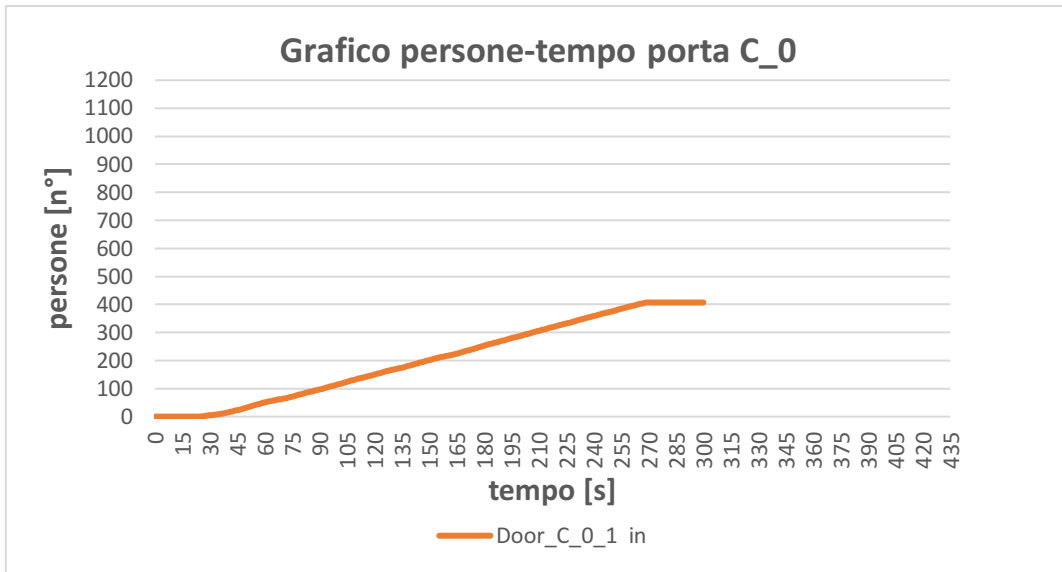


Figura 3–92: Scenario 3. Grafico occupanti/tempo relativo alla porta di accesso al livello 0 tramite il corpo scala C.

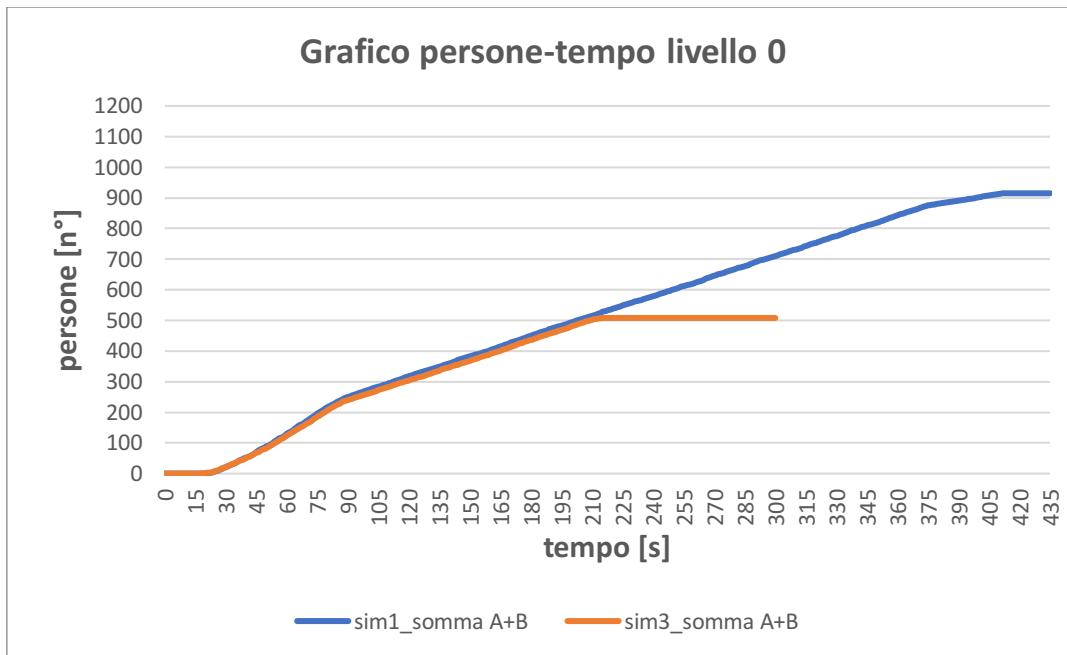


Figura 3–93: Scenario 3. Grafico di confronto occupanti/tempo riferito alla somma delle uscite A e B sul livello 0.

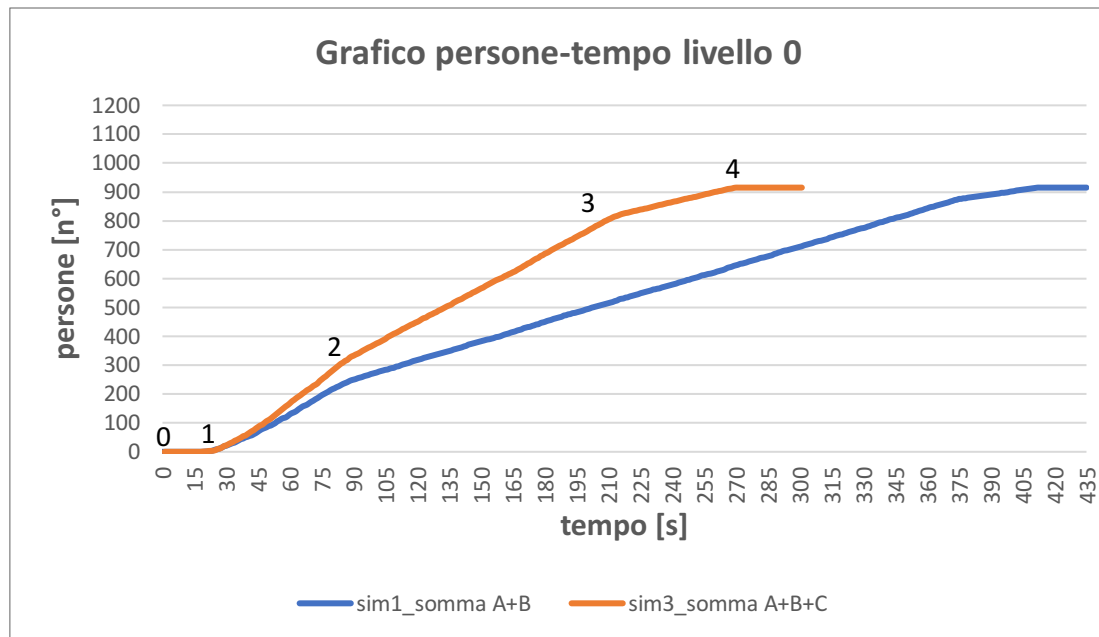


Figura 3–94: Scenario 3. Grafico di confronto occupanti/tempo riferito alla somma delle uscite A e B per la simulazione 1 e delle uscite A, B e C per la simulazione 3.

Dal confronto tra le simulazioni risulta che per il corpo scala A Figura 3–90 il numero di agenti che accedono al livello 0 nella simulazione 1 è pari a 458 agenti mentre nella simulazione 3 è pari a 251 con una differenza pari a 207 agenti. Per quanto riguarda il tempo minimo e massimo impiegato per accedere al livello 0 nella simulazione 1 è pari a 19,7 sec. e 392,9 mentre nella simulazione 3 è pari a 17,6 sec. e 201,85. La differenza sul tempo minimo di accesso al livello 1 tramite il corpo scala A risulta pari a risulta paria a 2,1 sec. mentre il tempo massimo impiegato dall'ultimo agente ad accedere al livello 0 è pari a 191,05 sec. Dal confronto tra le simulazioni risulta che il corpo scala B Figura 3–91 il numero di agenti che accedono al livello 0 nella simulazione 1 è pari a 457 agenti mentre nella simulazione 3 è pari a 257 con una differenza pari a 200 agenti .Per quanto riguarda il tempo minimo e massimo impiegato per accedere al livello 0 nella simulazione 1 è pari a 24,4 sec. e 358,05 mentre nella simulazione 3 è pari a 23,5 sec e 205,05. La differenza sul tempo minimo di accesso al livello 1 tramite il corpo scala B risulta pari a 1,1 sec mentre la differenza in termini di tempo massimo impiegato dall'ultimo agente ad accedere al livello 0 è pari a 153 sec. Per quanto riguarda il corpo scala C Figura 3–92 il numero di agenti che accedono al livello 0 tramite questo corpo scala è pari a 407 il tempo minimo e massimo impiegato ad accedere al livello 0 è pari 24,6 sec. e 256,7 sec. Dal confronto riferito alla somma dei 2 corpi scala Figura 3–93 è possibile anche in questo caso individuare differenze in termini di utilizzo da parte degli agenti e in termini di tempi di accesso al livello 0, in definitiva è possibile vedere dal grafico in Figura 3–93 che il numero di agenti che accedono tramite i corpi scala A e B nella simulazione 1 sono pari 915 mentre nella simulazione 3 sono pari a 508 il tempo necessario affinché l'ultimo agente acceda al livello 0 per la simulazione 1 è pari a 358,05 sec mentre nella simulazione 3 è pari a 205,05 sec, la differenza in termini di agenti che utilizzano questi corpi scala è pari 407 agenti mentre la differenza in termini massimi di accesso al livello 0 è pari a 153 sec. Per quanto riguarda il processo di deflusso dai grafici riferiti ai corpi scala A e B risulta che è simile, le curve di deflusso hanno un andamento sovrapponibile, le pendenze delle rette sono uguali ma nella simulazione 3 hanno una lunghezza minore in quanto il processo si esaurisce più velocemente. Ulteriore confronto è stata fatta in riferimento alla curva di evacuazione in cui si rappresenta la curva di deflusso totale Figura 3–94 in cui per la simulazione 1 si considera l'uscita degli agenti sul livello 0 attraverso i corpi scala A e B mentre nella simulazione 3 si considera l'accesso al livello 0 anche attraverso il corpo scala C Figura 3–94, si evince che le curve hanno un andamento diverso, l'accesso al livello 0 per la simulazione 3 risulta più veloce, l'ultimo agente che accede al livello 0 impiega un tempo massimo di 256,07

sec. mentre nella simulazione 1 impiega 358,05 sec. Con riferimento ai flussi considerati sempre in riferimento al valore 95% percentile, sugli ingressi A e B i valori oscillano tra 0,71 (pp/s) e 0,98 (pp/s) i valori maggiori si hanno per la porta A_0_2, B_0_1 che sono le porte da cui defluisce il maggior numero di agenti, sulla porta in C il flusso è pari a 1,59 (pp/s), sulla porta fittizia F che raccoglie tutti gli agenti dei piani superiori inferiori e del livello 0 il valore assume un valore pari a 4,01 (pp/s). Riferendosi al valore normalizzato per la larghezza della porta sui 3 corpi scala i valori sono rispettivamente $A=0,52$ (pp/s*I), $B=0,52$ (pp/s*I), $C=1,07$ (pp/s*I), $F=0,89$ (pp/s*I), si evince che il flusso è uguale per i corpi scala A e B il processo avviene in modo regolare su tutti gli ingressi presi in esame, per il corpo scala C il deflusso è più veloce rispetto agli altri 2 corpi scala per la presenza di un numero maggiore di agenti che utilizzano il corpo scala C, anche il valore in F è maggiore in quanto è elevato il numero di agenti che l'attraversano, in quanto raccoglie gli agenti provenienti da tutti i piani. In sintesi è possibile riassumere i risultati nella Tabella 3-37 in cui vengono espressi per ogni porta quante persone utilizzano l'uscita, il tempo minimo e massimo che impiega il primo e l'ultimo agente del gruppo di riferimento a passare attraverso la porta presa in considerazione, il flusso definito come persone/secondi e il percentile al 95% inoltre nella Tabella 3-38 viene riportato il confronto sui tempi tra le 2 simulazioni effettuate. Ulteriore valutazione è possibile farla in riferimento alla pendenza dei tratti sulla curva di evacuazione che ingloba tutte le uscite sul piano (tratto grigio Figura 3-94). Si possono individuare 4 tratti, il tratto 0-1 ha un coefficiente angolare pari a 0 (alfa=0) (rapporto tra 0-0 (n°p)/20-0 (sec.) il tratto 1-2 ha un coefficiente angolare pari a 2,26 (alfa=78,50) (rapporto tra (344)/(90-20)), il tratto 2-3 ha un coefficiente angolare pari a 4,91 (alfa=75,65) (rapporto tra (817-344)/(214-90)), il tratto 3-4 ha un coefficiente angolare pari a 1,75 (alfa=60,26) (rapporto tra (915-817)/(270-214)), tale condizione sta a significare che per il primo tratto fino a 20 sec. la pendenza è nulla perché non arriva nessuno per via della distanza tra gli agenti e le porte di riferimento nell'edificio, il secondo tratto da 20 sec a 90 sec la pendenza è maggiore che nel resto dell'esodo perché le condizioni idealmente sono migliori in termini di densità (in 70 sec. escono 344 persone), il terzo tratto tra 90 sec. e 214 sec. la pendenza è simile al tratto precedente (in 124 sec. escono 473 agenti) nell'ultimo tratto la pendenza diminuisce (in 56 secondi escono 98 agenti) in questo arco di tempo raggiungono l'uscita i "ritardatari" ovvero gli agenti che erano in coda con i tempi di attesa più alti e comunque che si trovavano a distanze maggiori dall'uscita.

Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Percentile 0,95	Total_Use (n° persone)	Flow (ogni ingresso) (pers/s)		Flow normalizzato (ogni ingresso) (pers/s*I)		Flusso (sulla porta) (pers/s)		Flusso normalizzato (sulla porta) (pers/s*I)	
					Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%
Door_A_0_1	17,6	88,7	85,7	67	0,76	0,78	0,63	0,65	1,19	1,24	0,50	0,52
Door_A_0_2	24,3	210,4	201,85	184	0,87	0,91	0,73	0,76				
Door_B_0_1	25,9	214	205,05	200	0,93	0,98	0,78	0,81	1,20	1,25	0,50	0,52
Door_B_0_2	23,5	82,3	80,2	57	0,69	0,71	0,58	0,59				
Door_F_0_1	10,1	290,8	260,8	1045	3,59	4,01	0,80	0,89	3,59	4,01	0,80	0,89
Door_C_0_1	24,6	268,1	256,7	407	1,52	1,59	1,03	1,07	1,52	1,59	1,03	1,07

Tabella 3-37: Tempi di evacuazione alle porte per il livello 0.

Door	Sim1 First_In (s)	Sim3 First_In (s)	Differenza First_In (Sim1-sim3)	Sim1 Last_Out (s)	Sim3 Last_Out (s)	Differenza Last_Out (Sim1-sim3)	Sim1 Percentile 0,95 (s)	Sim3 Percentile 0,95 (s)	Differenza Percentile 0,95 (Sim1-sim3)	Sim1 Total_Use (n° persone)	Sim3 Total_Use (n° persone)	Differenza Total_Use (Sim1-sim3)
Door_A_0_1	28,9	17,6	11,3	87,8	88,7	-0,9	86,3	85,7	0,6	35	67	-32
Door_A_0_2	19,7	24,3	-4,6	411,5	210,4	201,1	392,9	201,85	191,05	423	184	239
Door_B_0_1	24,4	25,9	-1,5	374,8	214	160,8	358,05	205,05	153	400	200	200
Door_B_0_2	23,5	23,5	0	81,1	82,3	-1,2	79,2	80,2	-1	57	57	0
Door_F_0_1	10,1	10,1	0	425,4	290,8	134,6	383	260,8	122,2	1045	1045	0
Door_C_0_1		24,6	-24,6		268,1	-268,1		256,7	-256,7		407	-407

Tabella 3-38: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di evacuazione alle porte per il livello 0.

Nella Figura 3–95 si riporta i dati relativi alla porta fittizia Door_F_0_1 posta prima di accedere alla rampa che conduce all’uscita è stata introdotta in modo tale da considerare gli agenti presenti al livello 0 oltre quelli che arrivano dai piani superiori e inferiori, in tale porta si va a sommare oltre gli agenti proveniente dal corpo scala A e B quelli provenienti dal corpo scala C e quelli presenti nel livello stesso. Si riscontra che attraverso tale porta passano 1045 agenti e il tempo minimo e massimo che impiegano ad attraversarla è di 10,1 e 260,8 secondi. In Figura 3–95 è possibile notare le due curve riferite alle due simulazioni hanno un andamento simile per un tratto fino a 130 secondi il tratto successivo ha una pendenza maggiore e un tratto più corto in termini di tempo. In particolare si possono individuare 3 tratti, il tratto 0-1 ha un coefficiente angolare pari a 0 (alfa=0) (rapporto tra 0-0 (n°p)/ 20-0 (sec.) il tratto 1-2 ha un coefficiente angolare pari a 3,88 (alfa=75,54) (rapporto tra (937)/(235-20)), il tratto 2-3 ha un coefficiente angolare pari a 1,86 (alfa=61,7) (rapporto tra (1045-937)/(293-235)), tale condizione sta a significare che per il primo tratto fino a 20 sec. la pendenza è nulla perché non arriva nessuno per via della distanza tra gli agenti e le porte di riferimento nell’edificio, il secondo tratto da 20 sec. a 235 sec. la curva è approssimabile ad una retta di pendenza di 75 gradi (in 215 sec attraversano la porta 937 agenti), il tratti 1-2 è quello a maggiore pendenza rispetto a tutta la simulazione in questo arco di tempo attraversa la porta di riferimento una buona parte degli agenti, il terzo tratto tra 235sec e 293 sec. la pendenza è minore rispetto al tratto precedente (in 58 sec. escono 108 agenti) in questo arco di tempo raggiungono l’uscita i “ritardatari” ovvero gli agenti che erano in coda con i tempi di attesa più alti e comunque che si trovavano a distanze maggiori dall’uscita. In generale possiamo dire che la curva è sovrapponibile per un tratto fino a 130 sec. dopo il quale si ha un una variazione sulla pendenza tra le 2 simulazioni che risulta maggiore nella simulazione 3 e si interrompe prima, risulta che gli agenti escono da questa porta più velocemente nella simulazione 3 rispetto alla simulazione 1 e liberano il livello 0 in minor tempo.

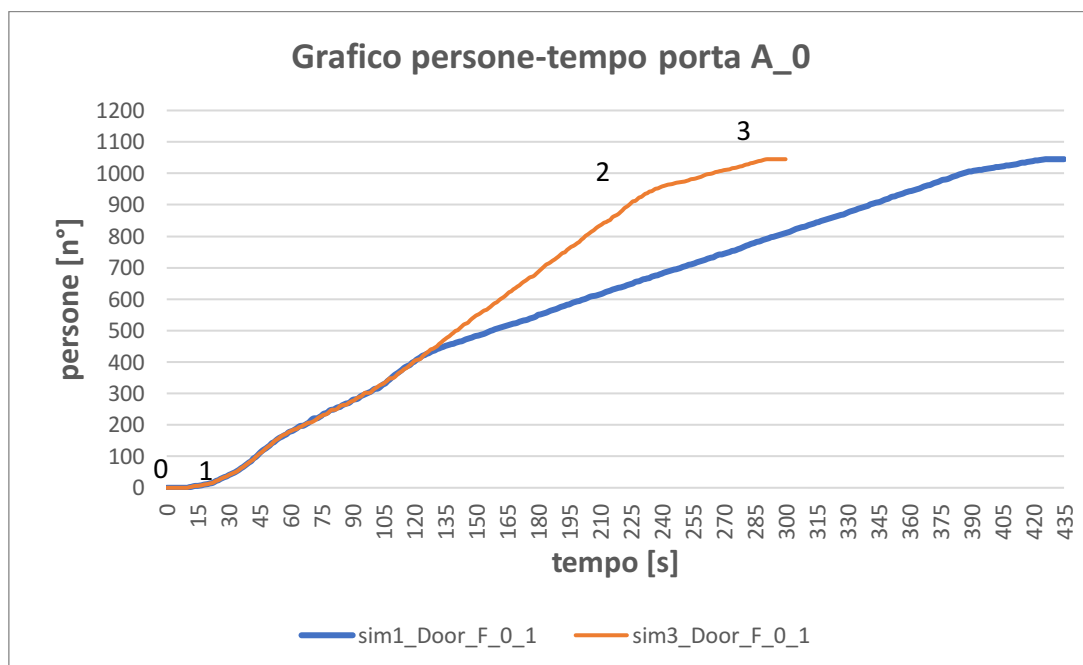


Figura 3–95: Scenario 3. Grafico di confronto occupanti/tempo relativo alla porta fittizia del corpo scala F al livello 0.

Nella Tabella 3-39 vengono riportati per il livello 0 i vari gruppi di agenti distinti per profilo e comportamento e il tempo impiegato per ciascun gruppo a raggiungere l'uscita dell'edificio distinti per tempo minimo e massimo. Si evince che il numero di agenti facente parte del livello 0 con profilo F_0_1 è costituito da 130 agenti il tempo minimo impiegato a raggiungere l'uscita è di 18,9 sec mentre il tempo massimo impiegato a raggiungere l'uscita dell'edificio è di 117,9 sec. Il profilo definito uscita è costituito da un solo agente ed è posto all'uscita dell'edificio questo profilo è costituito da un solo agente ed è l'addetto al controllo degli ingressi. Dal confronto dei tempi in figura Tabella 3-40 si può notare che non ci sono differenze sui tempi impiegati per uscire dall'edificio in particolare tra le 2 simulazioni la differenza è di 5,7 secondi, i tempi di uscita sono simili in quanto non si riscontrano nelle prime fasi dell'evacuazioni situazioni di affollamento diverse nelle 2 simulazioni, gli agenti del livello 0 che sono più vicini all'uscita percorrono in condizioni presso che indisturbate le vie di esodo che li conducono all'uscita, in definitiva non si riscontrano differenze sostanziali tra le 2 simulazioni in quanto rimangono uguali le condizioni di uscita per gli agenti che sono sul livello 0.

	Behavior	Profile	Count	Min	Max
Livello 0	scala F_0	F_0_1	130	18,9	117,9
Livello 0	uscita	uscita	1	5,8	5,8

Tabella 3-39: Tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello 0 (il profilo "uscita" è stato assegnato ad un unico agente che è posto all'ingresso dell'edificio).

	Behavior	Profile	Sim 1 Count	Sim 3 Count	differenza	Sim 1 Min	Sim 3 Min	Differenza Min	Sim1 Max	Sim3 Max	Differenza max
Livello 0	scala F_0	F_0_1	130	130	0	18,9	18,9	0	112,2	117,9	-5,7
Livello 0	uscita	uscita	1	1	0	5,8	5,8	0	5,8	5,8	0

Tabella 3-40: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello 0.

Dai risultati in output del software è stato possibile esportare una mappa definita "usage cumulated" in cui viene espresso in secondi quanto tempo vengono usati gli spazi riferito al tempo totale di simulazione. In Figura 3-96 riporta la mappa per entrambe le simulazioni da cui si evince che a livello qualitativo nella simulazione 3 gli spazi antistanti gli ingressi in A e B e le rampe e i percorsi che conducono verso l'uscita sono meno utilizzati rispetto alla simulazione 1, per la simulazione 3 c'è l'utilizzo del percorso che conduce dall'uscita del corpo scala C all'uscita dell'edificio. Nella simulazione 3 si evince che lo spazio più utilizzato è quello nella zona afferente alla rampa del corpo scala F che conduce all'uscita dell'edificio l'area risulta maggiore rispetto alla simulazione 1 ed i tempi di uso si attestano sui 150 secondi circa, mentre i tempi di utilizzo dei percorsi che conducono dai corpo scala A e B verso l'uscita subiscono un decremento, le zone con livello di utilizzo maggiore implicano agenti in coda con tempi di attesa maggiore per l'attraversamento della porta.

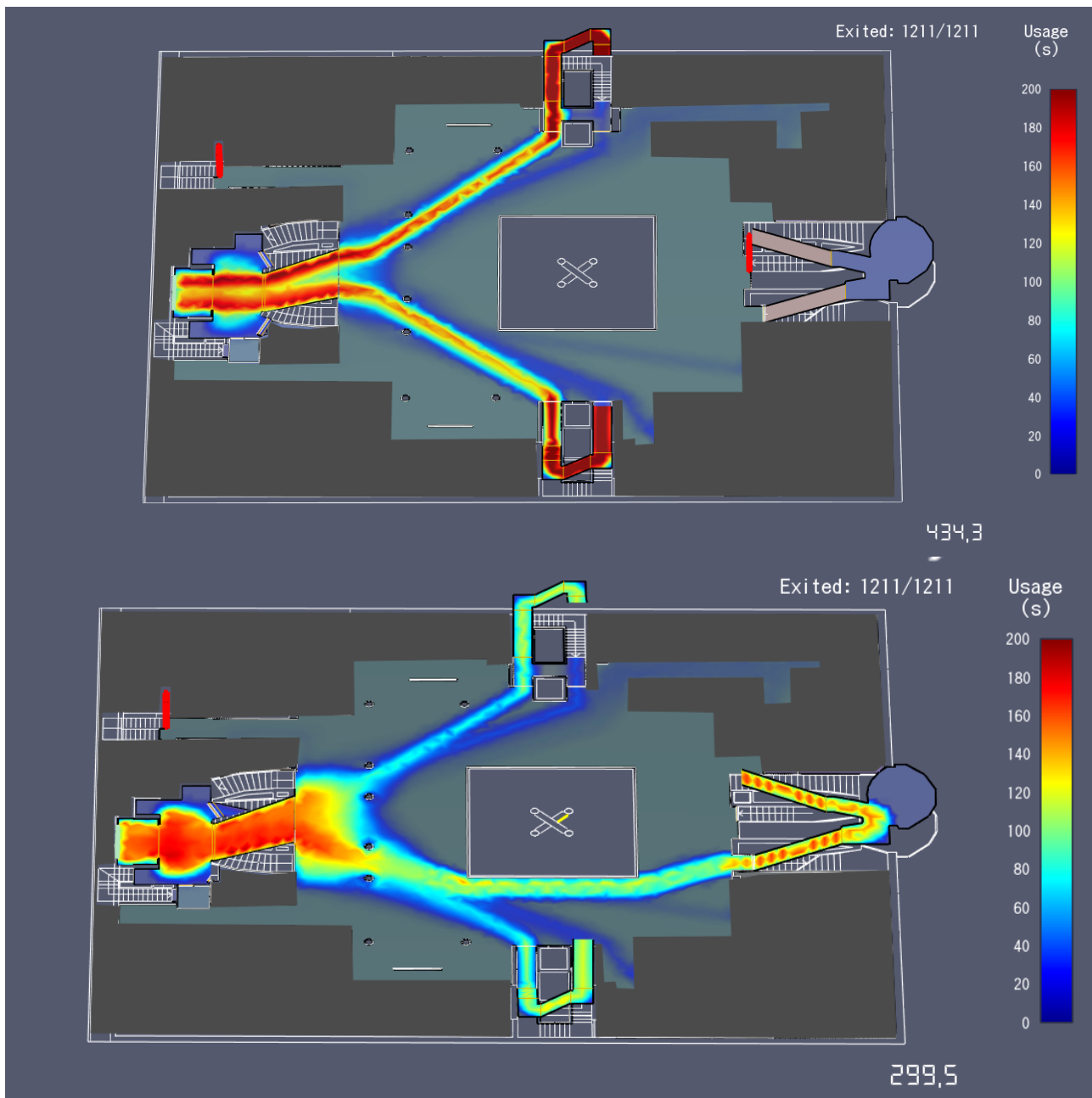


Figura 3–96: Scenario 3. Confronto della mappa di uso tra le simulazioni 1 e 3 effettuate per il livello 0.

L'ulteriore analisi svolta prende in considerazione i pianerottoli antistanti le uscite prese in esame definiti come scala_A_0_1 relativo al pianerottolo al piano 0 per il corpo scala A da cui defluiscono gli agenti dei piani superiori e inferiori, scala_B_0_1 da cui defluiscono gli agenti provenienti dal piano inferiore e scala_B*_0_1 relativo al pianerottolo al piano 0 per il corpo scala B da cui defluiscono gli agenti provenienti del piano superiore. Dal confronto tra le 2 simulazioni emergono differenze in termini di tempi di percorrenza dei pianerottoli e limitate differenze in termini di massimo numero di agenti presenti su tali pianerottoli. In particolare in Figura 3–97 si rappresenta l'andamento della curva per i pianerottoli sul corpi scala A fatte per le simulazioni 1 e 3, in Figura 3–98 si rappresenta l'andamento della curva per i pianerottoli sul corpi scala B fatte per le simulazioni 1 e 3. Nel pianerottolo scala_A_0_1 Figura 3–97 le differenze maggiori si hanno nel primo tratto in cui si raggiunge un livello di agenti presenti contemporaneamente inferiori rispetto alla simulazione 3 e una differenza sui tempi di percorrenza che risultano minori per la simulazione 3, in particolare si ha un andamento costante sul grafico a partire da 50 secondi con la presenza contemporanea

di agenti compresi tra un range 5 e 6 che si protrae per 40 secondi dopo tale arco di tempo la presenza contemporanea di agente si riduce fino ad un valori che oscillano tra 3 e 5 agenti. Il livello di agenti presenti su tali pianerottoli nei vari istanti di tempo non è elevato, l'uscita da tali pianerottoli avviene in maniera regolare senza che ci siano ostacoli al deflusso, non si raggiungono livelli di densità elevati che potrebbero creare pericoli per gli agenti che transitano in quelle zone il deflusso da questo pianerottolo si conclude dopo 210,4 secondi nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il deflusso avviene in 411,5 secondi. Dai grafico in Figura 3-98 si evince che l'andamento sul pianerottolo scala_B_0_1 ha un andamento uguale per le due simulazioni effettuate, da questo pianerottolo defluiscono lo stesso numero di agenti che sono quelli del livello -1, defluiscono da questo pianerottolo nello stesso tempo visto che non sono cambiate le condizioni iniziali, in particolare si raggiunge il tratto costante dopo circa 50 secondi con una presenza contemporanea di agenti che oscilla tra 2 e 3, il deflusso da questo pianerottolo si conclude in 82,3 secondi, Il tempo impiegato è relativamente contenuto in quanto gli agenti che utilizzano questo pianerottolo sono 57 e sono quelli provenienti dal piano inferiore appartenenti al profilo B_-1, per quanto riguarda i pianerottolo scala_B*_0_1 da questo pianerottolo defluiscono gli agenti provenienti dai livelli 1, 2 e 3 dal confronto con la simulazione 1 emerge che la forma della curva è presso che simile, le differenze maggiori riguardano i tempi di percorrenza che risultano minori per la simulazione 3, in particolare si ha un tratto presso che costante dopo 50 sec. con una presenza contemporanea di agenti sul pianerottolo che oscilla tra 3 e 5 e rimane tale fino a 208 secondi, il deflusso dal pianerottolo si completa dopo 214 secondi, in tale condizione il deflusso procede in maniera costante durante tutto l'arco del tempo senza venirsi a creare zone ad alta densità che ostacolerebbero il deflusso. Nelle Figura 3-99, Figura 3-100, Figura 3-101, Figura 3-102, viene rappresentata attraverso mappe di calore il confronto della densità nei secondi 30, 50, 85, 130. Questo parametro indica istantaneamente il livello di densità presente in ogni spazio. Mediante questa rappresentazione è possibile visualizzare lo stato degli occupanti su tutto il piano, in particolare si farà riferimento ai punti significativi del grafico di deflusso sui pianerottoli antistanti le uscite, valutando le condizioni critiche che emergono dalla simulazione. Dalle analisi emerge come il limite massimo di densità nelle rappresentazioni è di $3\text{pp}/\text{m}^2$ tale limite è il massimo che il solutore ammette (non ammette mai densità superiori), condizioni inferiori a questo limite sono già critiche. Nelle condizioni critiche si configurano situazioni nelle quali la densità elevata di persone vengono a verificare fenomeni di spinta, schiacciamenti dovuto alla calca, cadute, in generale condizioni di pericolo per gli utilizzatori.

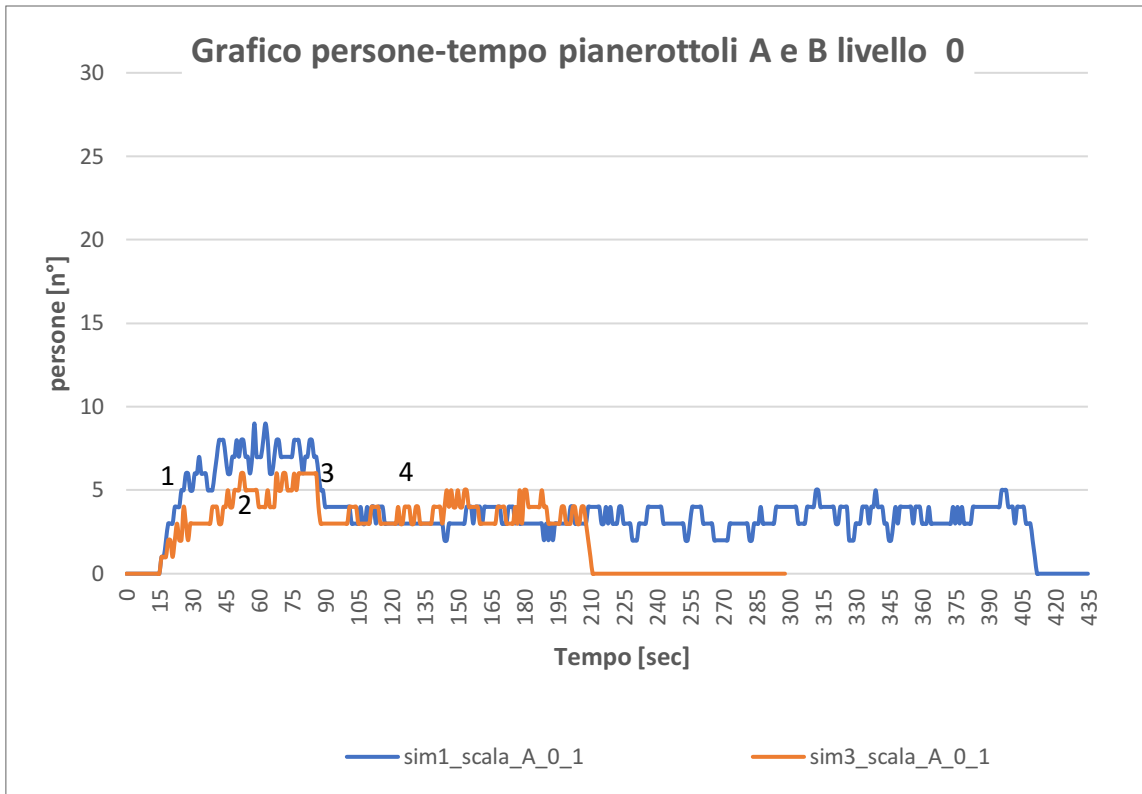


Figura 3–97: Scenario 3. Confronto curve occupanti/tempo relativo al pianerottolo antistante la porta del corpo scala A al livello 0.

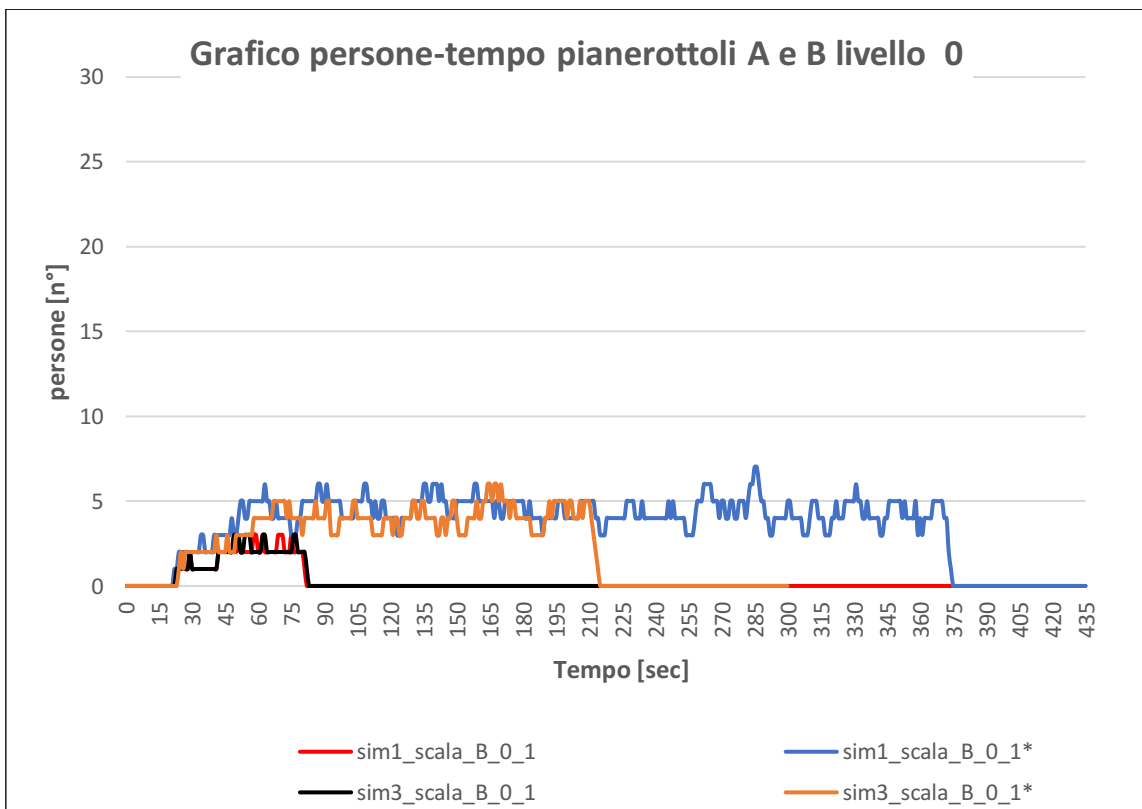


Figura 3–98: Scenario 3. Confronto curve occupanti/tempo relativo al pianerottolo antistante la porta del corpo scala B al livello 0.



Figura 3–99: Scenario 3. Confronto tra le densità a 30 sec. per le simulazioni 1 e 3.

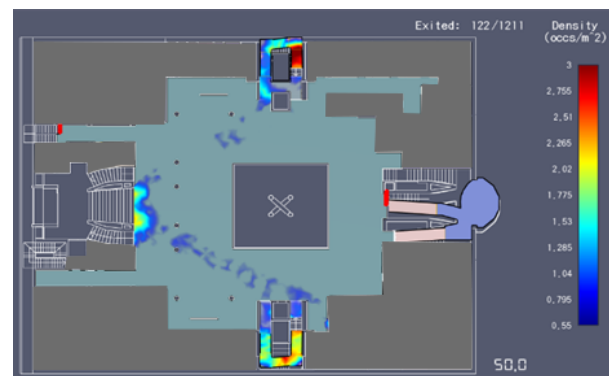


Figura 3–100: Scenario 3. Confronto tra le densità a 50 sec. per le simulazioni 1 e 3.

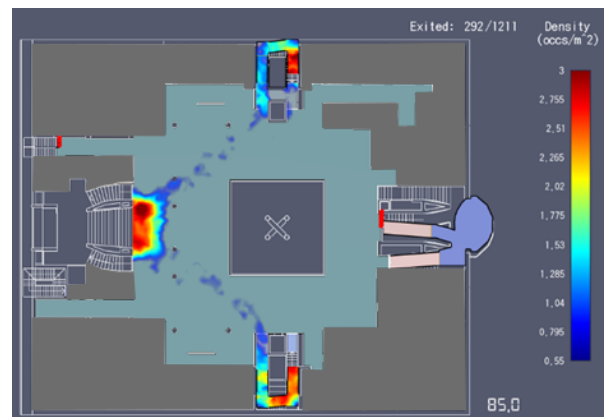


Figura 3–101: Scenario 3. Confronto tra le densità a 85 sec. per le simulazioni 1 e 3.



Figura 3–102 : Scenario 3. Confronto tra le densità a 130 sec. per le simulazioni 1 e 3.

Le figure rappresentano un fermo immagine della mappa di densità estrapolata dal software nei punti 1, 2, 3, 4 del grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti le porte dei corpi scala al livello 0 e fanno riferimento al confronto tra le 2 simulazioni effettuate ai secondi 30, 50, 85, 130. In particolare all'istante di 30 sec. nelle 2 simulazioni non si hanno grandi differenze nei pianerottoli A e B nello specifico nella simulazione 3 si avranno una presenza di agenti inferiori che porterà a densità inferiori rispetto alla simulazione 1, livelli che in entrambi i casi sono bassi. Agli istanti di 50,85 e 130 secondi per i 2 pianerottoli in esame le densità si attestano a valori bassi, in questo livello nelle zone dei pianerottoli in esame non si raggiungono condizioni critiche in termini di densità per il deflusso degli agenti, non si vengono a creare code in prossimità delle uscite delle vie di esodo verticali e orizzontali, il deflusso procede in maniera costante, le condizioni di densità sono presso che simmetriche tra i 2 corpi scala e i livelli più bassi si hanno per la simulazione 3. Nelle immagini relative all'istante 50 secondi è possibile notare per la simulazione 3 la presenza di agenti che percorrono il corpo scala C e si dirigono in direzione del corpo scala F. Dalle immagini si evince che le densità maggiori si verificano lungo la parte alta delle scale di entrambi i corpi scala, e all'accesso della porta fittizia F_0_1 in prossimità della scala che conduce all'uscita dell'edificio. Agli istanti 85 e 130 è visibile una zona ad alta densità sul livello 0 nelle zone che conducono all'uscita in cui si creano interazioni tra agenti che impediscono un deflusso veloce, in questa zona si vengono a sommare la presenza di tutti gli agenti provenienti dai piani superiori e inferiori, tale condizione risulta più accentuata nella simulazione 3 in quanto la velocità di esodo dai piani con l'utilizzo del corpo scala C è maggiore rispetto alla simulazione 1, venendosi a creare una presenza maggiore di agenti sul livello 0 in minor tempo, la zona di attesa risulta a densità critica e coinvolge anche la rampa che conduce alla porta di uscita dall'edificio al contrario della simulazione 1 in cui le code si venivano a creare sulle zone adiacenti alle porte dei vari piani. La zona ad alta densità all'ingresso della scala F persiste fino a circa 220 secondi, l'ostacolo veloce del deflusso è anche dovuto all'architettura delle vie di esodo in quanto gli agenti si trovano a percorrere dopo l'uscita dei corpi scala A e B uno spazio che possiamo definire libero e trovano un restringimento del percorso all'ingresso della rampa che conduce e sulla larghezza della via di uscita creando un "collo di bottiglia". Nella *Tabella 3-4* *Tabella 3-9* *Tabella 3-41* si riportano in breve i tempi di utilizzo per ogni pianerottolo inteso come il tempo minimo impiegato ad un generico agente ad entrare in tale pianerottolo e il tempo massimo che impiega un agente ad uscire dallo stesso. Dal confronto dei tempi *Tabella 3-42* si può notare che il deflusso dal pianerottolo in A si conclude dopo 210,4 secondi nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il deflusso avviene in 411,5 secondi con una differenza di 201,4 secondi, il deflusso dal pianerottolo risulta più veloce per la simulazione 3 in quanto c'è una differenza di agenti provenienti dai piani superiori tra le 2 simulazioni, in particolare nella simulazione 3 utilizzano questo pianerottolo 251 agenti mentre nella simulazione 1 utilizzano questo pianerottolo 458 agenti con una differenza di 207 unità. Inoltre dal confronto risulta che il deflusso dal pianerottolo in B (scala_B_0_1 che conduce gli agenti dal livello -1 al livello 0) sono minime le differenze sui tempi impiegati per defluire in quanto non ci sono differenze tra le due simulazioni., sono uguali il numero di agenti che utilizzano la scala per raggiungere il livello 0. Per quanto riguarda il pianerottolo in B definito scala_B_0_1 che conduce gli agenti dal livello -1 al livello 0 si può notare che il deflusso dal pianerottolo si conclude dopo 214 secondi nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il deflusso avviene in 378,8 secondi con una differenza di 160,8 secondi, il deflusso dal pianerottolo risulta più veloce per la simulazione 3 in quanto c'è una differenza di agenti provenienti dai piani superiori, in particolare nella simulazione 3 utilizzano questo pianerottolo 200 agenti mentre nella simulazione 1 utilizzano questo pianerottolo 400 agenti con una differenza di 200 unità. In generale le condizioni di deflusso sono simmetriche tra i 2 corpi scala, la differenza di tempo nell'uscita dai 2 corpi scala nella simulazione 3 è di 4,4 secondi.

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Total_Use
scala_A_0_1	15,5	210,4	251
scala_B_0_1	22	82,3	57
scala_B_0_1*	23	214	200

Tabella 3-41: Tempi di deflusso dai pianerottoli per il livello 0.

Room	Sim1 First_In (s)	Sim3 First_In (s)	Differenza First_In (s)	Sim1 Last_Out (s)	Sim3 Last_Out (s)	Differenza First_out (s)	Sim1 Total_Use	Sim3 Total_Use	Differenza Total_Use
scala_A_0_1	15,5	15,5	0	411,5	210,4	201,1	458	251	207
scala_B_0_1	22	22	0	81,1	82,3	-1,2	57	57	0
scala_B_0_1*	21,6	23	-1,4	374,8	214	160,8	400	200	200

Tabella 3-42: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di deflusso dai pianerottoli per gli agenti del livello 0.

LIVELLO 1

Per il livello 1 si farà riferimento alle porte: Door_A_1_1, Door_A_1_2, sono le porte appartenenti al corpo scala A dalle quali accederanno gli agenti presenti nel livello 1, Door_B_1_1 e Door_B_1_1 sono le porte appartenenti al corpo scala B da cui accederanno gli agenti nel del livello 1, Door_C_1_1 out è la porta dal quale gli agenti del livello 1 e dei piani superiori raggiungono il livello 0 Door_C_1_2 in è la porta appartenenti al corpo scala C da cui accederanno gli agenti del livello 2 e 3 al livello 1, inoltre si analizzerà i dati di output sulle Room: scala_A_1_1 scala_B_1_1 che rappresentano i pianerottoli antistanti le porte sul livello 1. Nella simulazione 3 l'analisi di confronto prenderà come riferimento la somma degli agenti che accedono in un corpo scala senza una distinzione degli ingressi di ogni accesso al corpo scala. Nei seguenti grafico *Figura 3-39* si riporta l'analisi effettuata al livello 1 nello specifico si analizzerà l'andamento di uscita degli agenti nel tempo relativo alle porte del corpo scala "A", "B" e "C". In *Figura 3-103* riporta il grafico di confronto tra le simulazioni 1 e 3 relativo al tempo di uscita degli agenti dal livello 1 utilizzando il corpo scala A, il confronto si riferisce alla somma degli ingressi "Door_A_1_1" "Door_A_1_2", tali ingressi fanno parte del corpo scala A e condurranno gli agenti al livello inferiore per poi raggiungere l'uscita generale dell' edificio, nella *Figura 3-104* si riporta il grafico di confronto tra le simulazioni 1 e 3 relativo al tempo di uscita degli agenti dal livello 1 dal corpo scala B, il confronto si riferisce alla somma degli ingressi Door_B_1_1 e Door_B_1_2, tali ingressi fanno parte del corpo scala B e condurranno gli agenti presenti nel piano al livello 0. Nella *Figura 3-105* si riporta il grafico relativo al tempo di uscita degli agenti dal livello 1 dal corpo scala C in particolare si rappresenta l'uscita dei soli agenti del livello 1 che attraversano la Door_C_1_1out inoltre si riporta in *Figura 3-106* l'andamento del flusso di tutti gli agenti dalle Door_C_1_1out e Door_C_1_2, in tali ingressi fanno parte del corpo scala C e condurranno gli agenti presenti nei livelli 1,2 e 3 al livello 0. Nella *Figura 3-107* si confronta il flusso di ingresso al piano tra la simulazione 1 e 3 con riferimento alla somma dei soli ingressi A e B per le due simulazioni. Nella *Figura 3-108* si confronta il flusso di uscita totale dal piano che nella simulazione 1 si riferisce ai soli corpi scala A e B mentre nella simulazione 3 include anche il corpo scala C. Nella discussione dei risultati che segue si farà riferimento ai valori del percentile al 95%.

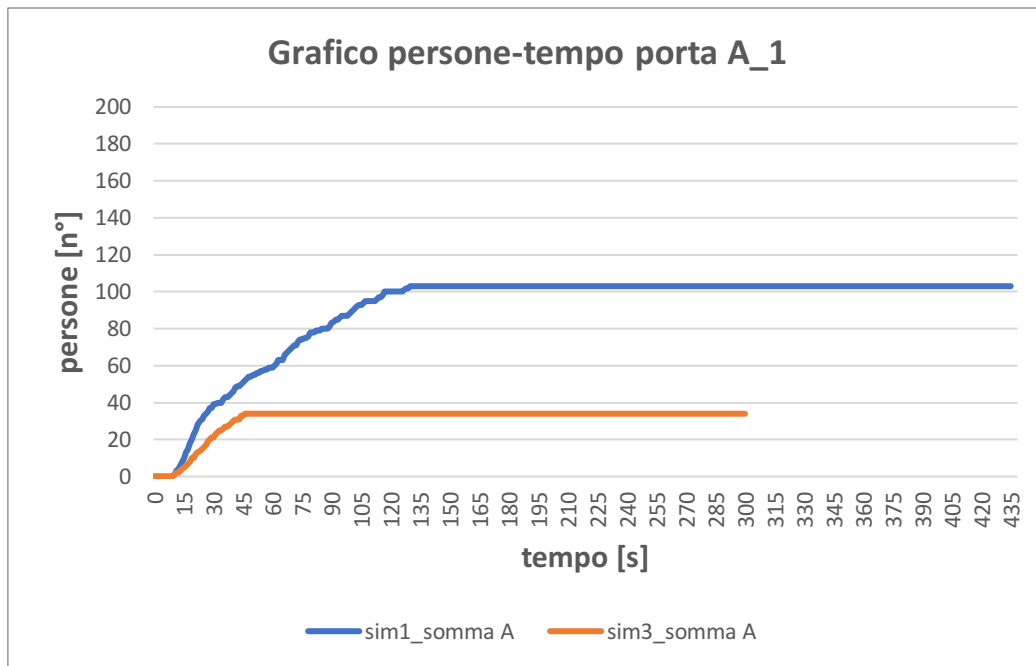


Figura 3–103: Scenario 3. Grafico confronto occupanti/tempo relativo alla porta di accesso del corpo scala A al livello 1.

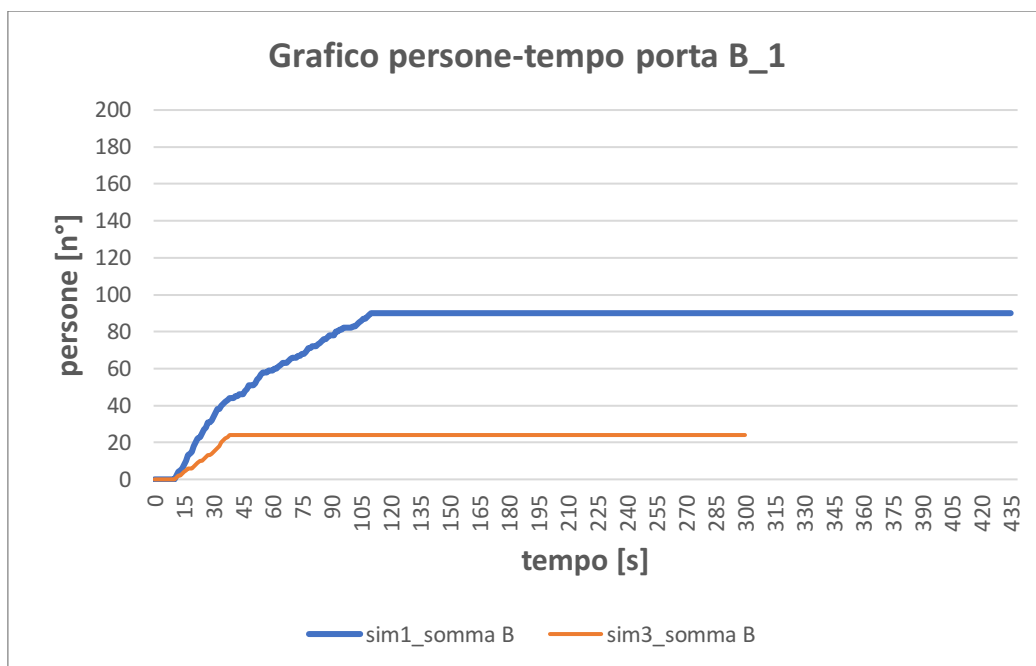


Figura 3–104: Scenario 3. Grafico confronto occupanti/tempo relativo alla porta di accesso al corpo scala B al livello 1.

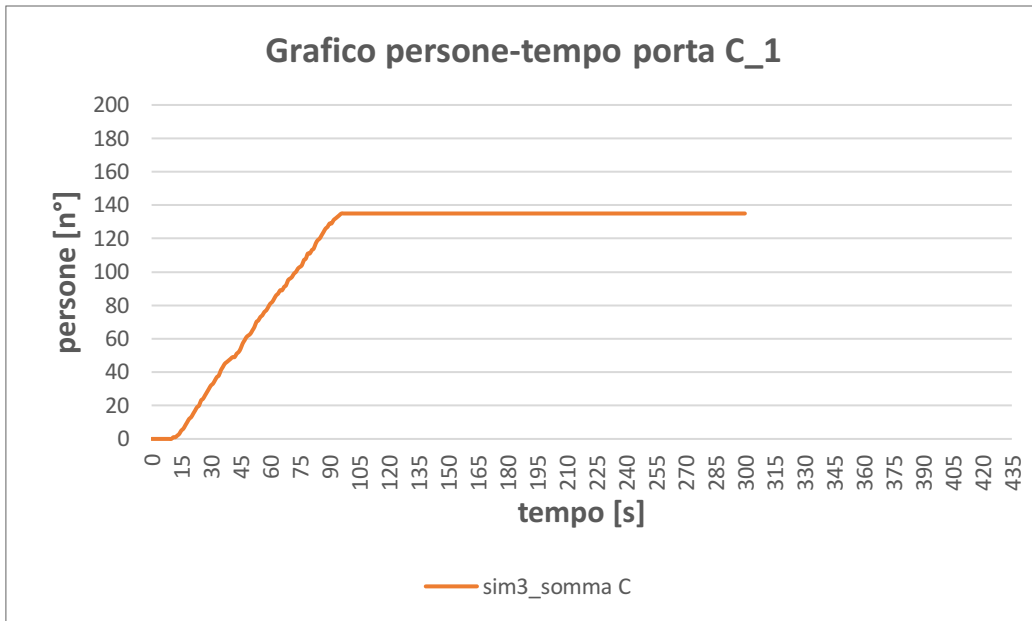


Figura 3–105: Scenario 3. Grafico occupanti/tempo relativo alla porta di accesso sul corpo scala C per i soli agenti del livello 1.

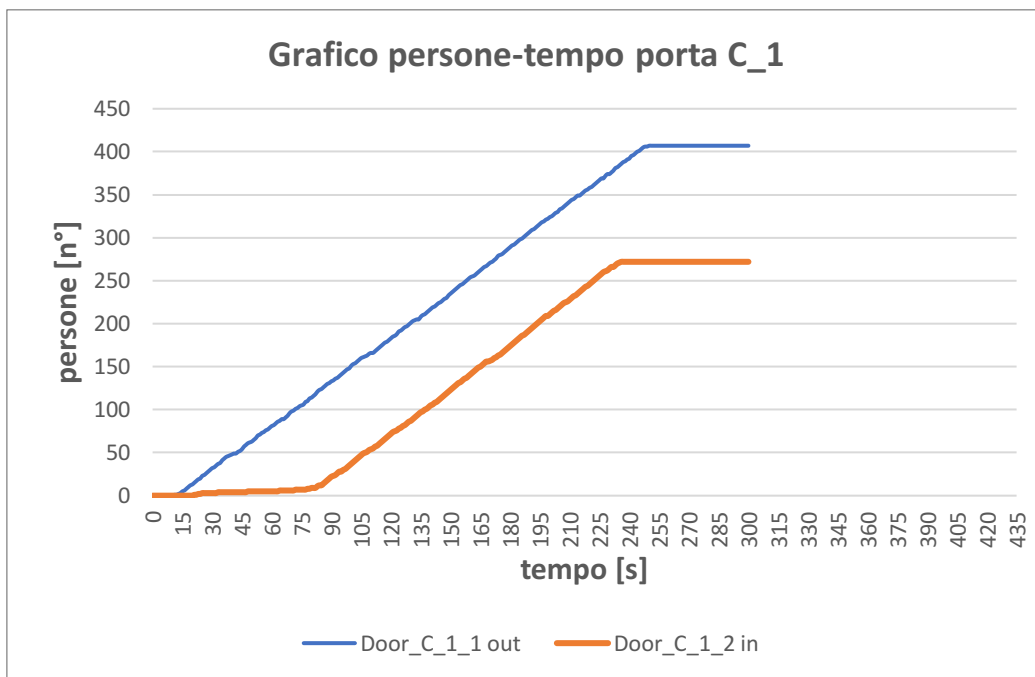


Figura 3–106: Scenario 3. Grafico occupanti/tempo totale relativo alle porte del corpo scala C al livello 1.

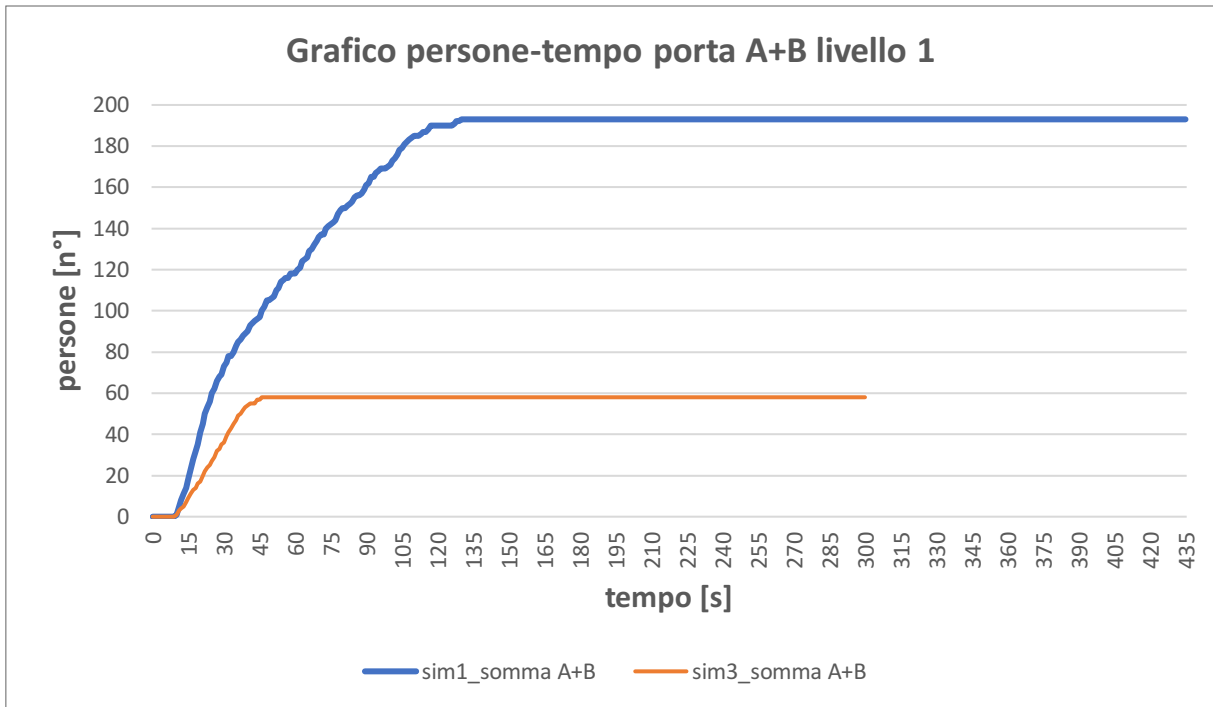


Figura 3–107: Scenario 3. Grafico di confronto occupanti/tempo riferito alla somma delle uscite A e B sul livello 1.

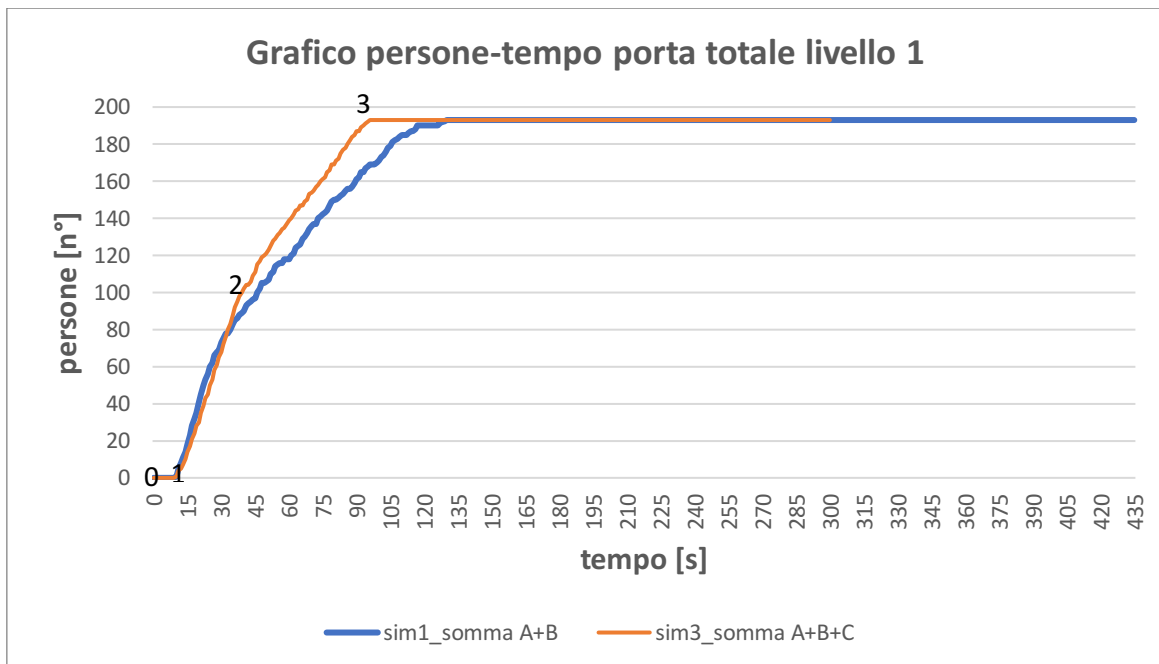


Figura 3–108: Scenario 3. Grafico di confronto occupanti/tempo riferito alla somma delle uscite A e B per la simulazione 1 e delle uscite A, B, C per la simulazione 3.

Dal confronto tra le simulazioni risulta che per il corpo scala A Figura 3–103 il numero di agenti che accedono dal livello 1 nella simulazione 1 è pari a 103 agenti mentre nella simulazione 3 è pari a 34 con una differenza pari a 69 agenti. Per quanto riguarda il tempo minimo e massimo impiegato per accedere al corpo scala A nella simulazione 1 è pari a 9 sec. e 127,35 mentre nella simulazione 3 è pari a 9 sec. e 44sec. La differenza

sul tempo minimo di accesso al corpo scala A risulta nulla mentre il tempo massimo impiegato dall'ultimo agente ad accedere al corpo scala A è pari a 83,35 sec. Dal confronto tra le simulazioni risulta che il corpo scala B Figura 3-104 il numero di agenti che accedono dal livello 1 al corpo scala B nella simulazione 1 è pari a 90 agenti mentre nella simulazione 3 è pari a 24 con una differenza pari a 66 agenti, per quanto riguarda il tempo minimo e massimo impiegato per accedere al corpo scala B nella simulazione 1 è pari a 10,2 sec. e 105,75 sec. mentre nella simulazione 3 è pari a 10,2 sec. e 36,85 sec. La differenza sul tempo minimo di accesso al corpo scala B risulta nulla mentre in riferimento al tempo impiegato dall'ultimo agente ad accedere al corpo scala B è pari a 68,9 sec. In riferimento al corpo scala C Figura 3-105 il numero di agenti del livello 1 che utilizzano questo corpo scala è pari a 135 il tempo minimo impiegato per attraversarla è di 10,9 sec. mentre il tempo massimo impiegato dall'ultimo agente presente nel livello 1 ad attraversare tale porta è di 95,3 sec. Poiché la scala del corpo C non è del tipo protetta gli agenti che provengono dai piani superiori per raggiungere il livello 0 dovranno necessariamente utilizzare gli spazi comuni di distribuzione ad ogni livello, gli agenti provenienti dal livello 2 e 3 usciranno dalla Door_C_1_2 in ed accederanno alla Door_C_1_1 out. Dai risultati ottenuti Figura 3-106 la Door_C_1_1 out verrà utilizzata in totale da 407 agenti che sono la somma degli agenti che utilizzeranno il corpo scala C al livello 1, 2 e 3 il tempo minimo impiegato per attraversarla è di 10,9 sec. mentre il tempo massimo impiegato dall'ultimo agente presente ad attraversare tale porta è di 236,7 sec. La Door_C_1_2 da cui arrivano gli agenti del livello 2 e 3 e che li porta al livello 1 verrà utilizzata in totale da 276 agenti che sono la somma degli agenti che utilizzeranno il corpo scala C al livello 2 e 3, il tempo minimo impiegato per attraversarla è di 13,6 sec. mentre il tempo massimo impiegato dall'ultimo agente presente ad attraversare tale porta è di 226,25 sec. Dal confronto riferito alla somma dei 2 corpi scala Figura 3-107 è possibile anche in questo caso individuare differenze in termini di utilizzo da parte degli agenti e in termini di tempi di uscita dal livello 1, in definitiva è possibile vedere che il numero di agenti che accedono tramite i corpi scala A e B nella simulazione 1 sono pari 193 mentre nella simulazione 3 sono pari a 58, il tempo necessario affinché l'ultimo agente acceda ad uno dei due corpi scala per la simulazione 1 è pari a 127,35 sec. mentre nella simulazione 3 è pari a 44 sec., la differenza in termini di agenti che utilizzano questi corpi scala è pari a 135 agenti mentre la differenza in termini di tempo massimo impiegato ad accedere ad uno dei due corpi scala è pari a 83,35 sec. In Figura 3-108 si rappresenta il processo di deflusso generale del piano, si rappresentano le curve del deflusso per la simulazione 1 che include l'uscita tramite i corpi scala A e B e il deflusso per la simulazione 3 che include l'uscita degli agenti tramite i corpi scala A, B e C dal grafico risulta che l'andamento è simile, le curve di deflusso hanno un andamento sovrapponibile. Con riferimento ai flussi considerati sempre in riferimento al valore 95% percentile sugli ingressi A e B i valori sono 0,77 (pp/s) e 0,65 (pp/s) mentre il flusso sul corpo scala C per la porta di uscita dal piano (Door_C_1_1 out) vale 1,72 (pp/s) per la porta di ingresso al piano (Door_C_1_2 in) vale 1,22 (pp/s) entrambi i flussi sono riferiti al numero totale di agenti che attraversano tali porte. Se si considera il flusso normalizzato rispetto alle larghezze sulle porte A e B (somma degli ingressi) i valori sono rispettivamente 0,32 (pp/s*I) per l'ingresso al corpo scala A e 0,27 (pp/s*I) per il corpo scala B ovvero il processo avviene in maniera simile per i corpi scala A e B i coefficienti risultano bassi dovuto al basso numero di agenti che attraversano tali ingressi, per il corpo scala C i flussi normalizzati rispetto alla larghezza delle porte risulta 1,16 (pp/s*I) sulla porta di uscita del piano e 0,82 (pp/s*I) sulla porta di ingresso al piano, il valore di flusso sulla porta Door_C_1_2 in risulta più basso rispetto a quello della Door_C_1_1 out in quanto si creano attese all'ingresso della porte che ostacolano il deflusso degli agenti creando rallentamenti al deflusso. In sintesi è possibile riassumere i risultati tramite la Tabella 3-43 in cui vengono espressi per ogni porta quante persone utilizzano l'uscita, il tempo minimo e massimo che impiega il primo e l'ultimo agente del gruppo di riferimento a passare attraverso la porta presa in considerazione, il flusso definito come persone/secondi e il percentile al 95%; inoltre nella Tabella 3-44 viene riportato il confronto sui tempi tra le 2 simulazioni effettuate. Ulteriore valutazione è possibile farla in riferimento alla pendenza dei tratti sulla curva di evacuazione che ingloba tutte le uscite dal piano (tratto arancione Figura 3-108). Si possono individuare 3 tratti, il tratto 0-1 ha un coefficiente angolare pari a 0 (alfa=0) (rapporto tra 0-0 (n°p)/10-0(sec.) il tratto 1-2 ha un coefficiente angolare pari a 3,27 (alfa=73,0) (rapporto tra (98)/(40-10)), il tratto 2-3 ha un coefficiente angolare pari a

1,64 (alfa=58,6) (rapporto tra $(193-98)/(98-40)$), tale condizione sta a significare che per il primo tratto fino a 10 sec. la pendenza è nulla perché non arriva nessuno per via della distanza tra l'uscita e gli agenti nelle varie stanze nell'edificio, il secondo tratto da 10 sec a 40 sec. la pendenza è maggiore che nel resto dell'esodo perché le condizioni idealmente sono migliori in termini di densità (in 30 sec escono 98 agenti), il terzo tratto tra 40 sec. e 98 sec. la pendenza diminuisce perché ci sono densità più elevate lungo i percorsi (in 90 sec. escono 93 agenti). In generale dal grafico non si riscontrano grandi differenze in termini di pendenza della retta di evacuazione per le 2 simulazioni effettuate in particolare il tratto fino al punto (2) è presso che uguale mentre per gli istanti successivi la pendenza per la simulazione 3 risulta maggiore, il risultato che si ottiene è che il totale degli agenti del livello 1 defluisce in 95,4 secondi per la simulazione 3 e in 129,6 secondi per la simulazione 1, la differenza risulta di 34,2 secondi.

Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Percentile 0,95	Total_Use (n°persone)	Flow (ogni ingresso) (pers/s)		Flow normalizzato (ogni ingresso) (pers/s*I)		Flusso (sulla porta) (pers/s)		Flusso normalizzato (sulla porta) (pers/s*I)	
					Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%
Door_A_1_1	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,77	0,31	0,32
Door_A_1_2	9	45,9	44	34	0,74	0,77	0,62	0,64				
Door_B_1_1	10,2	37,2	36,85	24	0,65	0,65	0,54	0,54	0,65	0,65	0,27	0,27
Door_B_1_2	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00				
Door_C_1_1 out piano	10,9	249,2	236,7	407	1,63	1,72	1,10	1,16	1,63	1,72	1,10	1,16
Door_C_1_2 in piano	13,6	235,6	226,25	276	1,17	1,22	0,79	0,82	1,17	1,22	0,79	0,82

Tabella 3-43: Tempi di evacuazione alle porte per il livello 1.

Door	Sim1 First_In (s)	Sim3 First_In (s)	Differenza First_In (Sim1- sim3)	Sim1 Last_Out (s)	Sim3 Last_Out (s)	Differenza Last_Out (Sim1- sim3)	Sim1 Percentile 0,95 (s)	Sim3 Percentile 0,95 (s)	Differenza Percentile 0,95 (Sim1- sim3)	Sim1 Total_Use (n °persone)	Sim3 Total_Use (n °persone)	Differenza Total_Use (Sim1- sim3)
Door_A_1_1	10,4	0	10,4	116	0	116	110,6	0	110,6	69	0	69
Door_A_1_2	9	9	0	129,6	45,9	83,7	127,35	44	83,35	34	34	0
Door_B_1_1	10,2	10,2	0	57,4	37,2	20,2	51,25	36,85	14,4	24	24	0
Door_B_1_2	10,6	0	10,6	110	0	110	105,75	0	105,75	66	0	66
Door_C_1_1 out piano		10,9	-10,9		249,2	-249,2		236,7	-236,7		407	-407
Door_C_1_2 in piano		13,6	-13,6		235,6	-235,6		226,25	-226,25		276	-276

Tabella 3-44: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di evacuazione alle porte per il livello 1.

Nella tabella successiva Tabella 3-45 vengono riportati per il livello 1 i vari gruppi di agenti distinti per profilo e comportamento e il tempo impiegato per ciascun gruppo a raggiungere l'uscita dell'edificio distinti per tempo minimo e massimo. Si deduce che il tempo affinché l'ultimo agente presente nel piano raggiunge l'uscita impiega 189,0 sec.

Dal confronto dei tempi in figura Tabella 3-46 si può notare che ci sono differenze sui tempi impiegati per uscire dall'edificio nell'ordine di circa 20 secondi per i profilo A_1_2 e il profilo B_1_2, le differenze si riscontrano in base alle condizioni delle vie di esodo che li conducono all'uscita.

	Behavior	Profile	Count	Min	Max
livello 1	scala C_1	A_1_1	69	51,7	180,8
livello 1	scala A_1	A_1_2	34	57	172,5
livello 1	scala B_1	B_1_1	24	58,1	161,9
livello 1	scala C_1	B_1_2	66	71,1	189,0

Tabella 3-45: Tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello 1.

	Behavior Sim1/sim3	Profile	Sim 1 Count	Sim 3 Count	differenza	Sim 1 Min	Sim 3 Min	Differenza Min	Sim1 Max	Sim3 Max	Differenza max
livello 1	scala A_1 scala C_1	A_1_1	69	69	0	51,7	51,7	0	175,6	180,8	-5,2
livello 1	scala A_1 scala A_1	A_1_2	34	34	0	61,6	57	4,6	194,7	172,5	22,2
livello 1	scala B_1 scala B_1	B_1_1	24	24	0	65,6	58,1	7,5	155,4	161,9	-6,5
livello 1	scala B_1 scala C_1	B_1_2	66	66	0	54,3	71,1	-16,8	165,1	189,0	-23,9

Tabella 3-46: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello 1.

Dai risultati in output del software è stato possibile esportare una mappa definita "usage accumulated" in cui viene espresso in secondi quanto tempo vengono usati gli spazi in riferimento al tempo totale di simulazione. In *Figura 3-109* riporta la mappa per entrambe le simulazioni da cui si evince che a livello qualitativo nella simulazione 3 gli spazi antistanti gli ingressi in A e B e le rampe delle scale sono meno utilizzati rispetto alla simulazione 1, ma per la simulazione 3 c'è l'utilizzo da parte degli agenti della zona antistante l'ingresso in C. Nella simulazione 3 si evince che lo spazio più utilizzato è quello nella zona afferente alla porta di ingresso al corpo scala C, mentre i tempi di utilizzo delle aree pertinenti al corpo scala A e B subisce un decremento, le zone con livello di utilizzo maggiore implicano agenti in coda con tempi di attesa maggiore per l'attraversamento della porta.

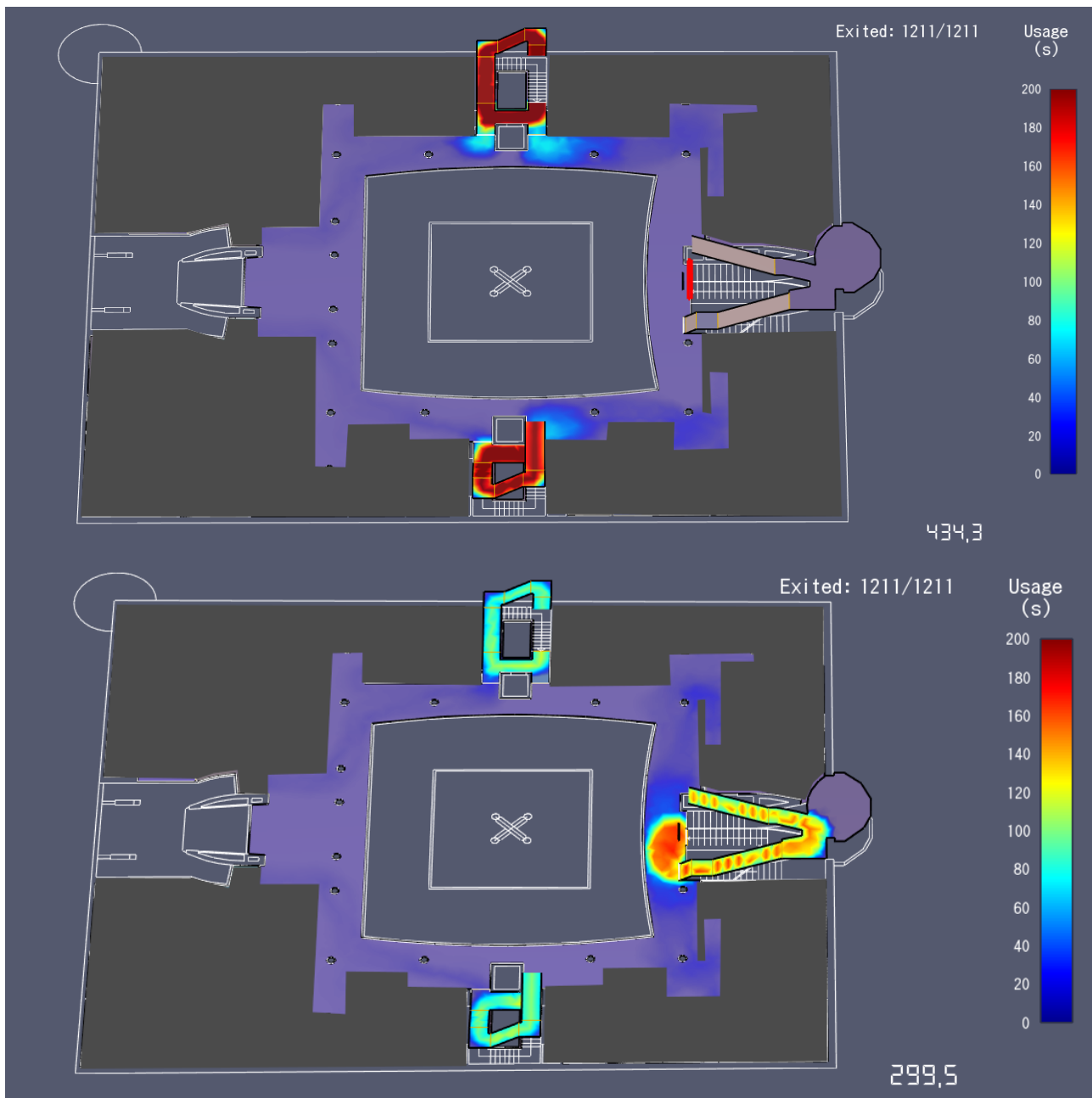


Figura 3–109: Scenario 3. Confronto della mappa di uso tra le simulazioni 1 e 3 effettuate per il livello 1.

L'ulteriore analisi svolta prende in considerazione i pianerottoli antistanti le uscite prese in esame in cui si evidenzia il confronto con le due simulazioni effettuate in esame, in Figura 3–110 si analizzerà il pianerottolo definito come scala_A_1_1 relativo al pianerottolo del piano 1 per il corpo scala A da cui defluiscono gli agenti provenienti dai livelli superiori e in Figura 3–111 si analizzerà il pianerottolo definito scala_B_1_1 relativo al pianerottolo al livello 1 per il corpo scala B da cui defluiscono gli agenti del piani superiori. Dal grafico in Figura 3–110 si evince che per il pianerottolo scala_A_1_1 si raggiunge un picco di presenza contemporanea di agenti sul pianerottolo pari a 18 dopo circa 45 secondi dopo il quale l'andamento della curva raggiunge un livello presso che costante con una presenza di agenti che oscilla tra 13 e 16 fino a 143 sec., il deflusso termina dopo 186,7 secondi. Dal confronto delle 2 curve emergono differenze sia in termini di presenza contemporanea di agenti sul pianerottolo e di tempo impiegato dall'ultimo agente ad attraversare il pianerottolo che risultano minori nella simulazione 3, in particolare numero di utilizzatori è pari a 391. Nella simulazione 3 si hanno condizioni di deflusso migliori dovuto ad un numero minori di agenti che utilizzano il corpo scala in esame. Per quanto riguarda il pianerottolo B_1_1 Figura 3–110 l'andamento è simili a quello

del pianerottolo A_1_1 ma con una presenza di agenti presenti contemporaneamente inferiore. Il picco si ha dopo circa 40 secondi con la presenza di agenti pari a 11, successivamente l'andamento della curva raggiunge un livello costante con una presenza di agenti che oscilla tra 8 e 10 fino a 178 sec., il deflusso totale dal pianerottolo si ha dopo 189,7 secondi. Dal confronto delle 2 curve nelle 2 simulazioni emergono differenze sia in termini di presenza contemporanea di agenti sul pianerottolo e di tempo impiegato dall'ultimo agente ad attraversare il pianerottolo che risultano minori nella simulazione 3. In particolare il tempo massimo impiegato dall'ultimo agente a liberare il pianerottolo è di 189,7 sec. ed il numero di utilizzatori è pari a 200 agenti nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il tempo massimo impiegato è pari 357,8 sec ed il numero di utilizzatori è pari a 400. Nella simulazione 3 si hanno condizioni di deflusso migliori dovuto ad un numero minori di agenti che utilizzano il corpo scala in esame. Nelle figure Figura 3-112, Figura 3-113, Figura 3-114, Figura 3-115 viene rappresentata attraverso mappe di calore il confronto delle densità nei secondi 30, 110, 120 e 150sec. Questo parametro indica istantaneamente il livello di densità presente in ogni spazio. Mediante questa rappresentazione è possibile visualizzare lo stato degli occupanti su tutto il piano, in particolare si farà riferimento ai punti significativi del grafico di deflusso sui pianerottoli antistanti le uscite, valutando le condizioni critiche che emergono dalla simulazione. Dalle analisi emerge come il limite massimo di densità nelle rappresentazioni è di $3\text{pp}/\text{m}^2$ tale limite è il massimo che il solutore ammette (non ammette mai densità superiori), condizioni inferiori a questo limite sono già critiche. Nelle condizioni critiche si configurano situazioni nelle quali la densità elevata di persone vengono a verificare fenomeni di spinta, il tempo massimo impiegato dall'ultimo agente a liberare il pianerottolo è di 187,6 sec, il numero di utilizzatori è pari a 184 agenti nella simulazione 3, nella simulazione 1 il tempo massimo impiegato è pari 384,7 sec.

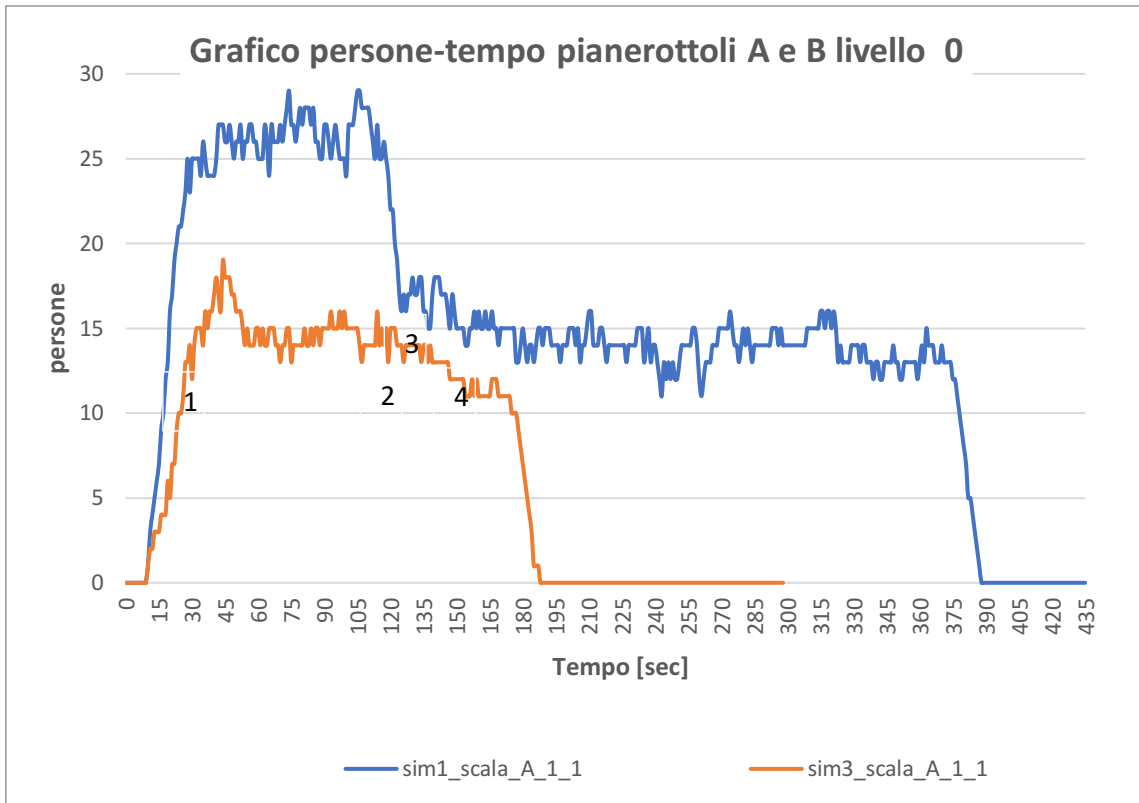


Figura 3–110: Scenario 3. Confronto curve occupanti/tempo relativo al pianerottolo antistante la porta del corpo scala A al livello 1.

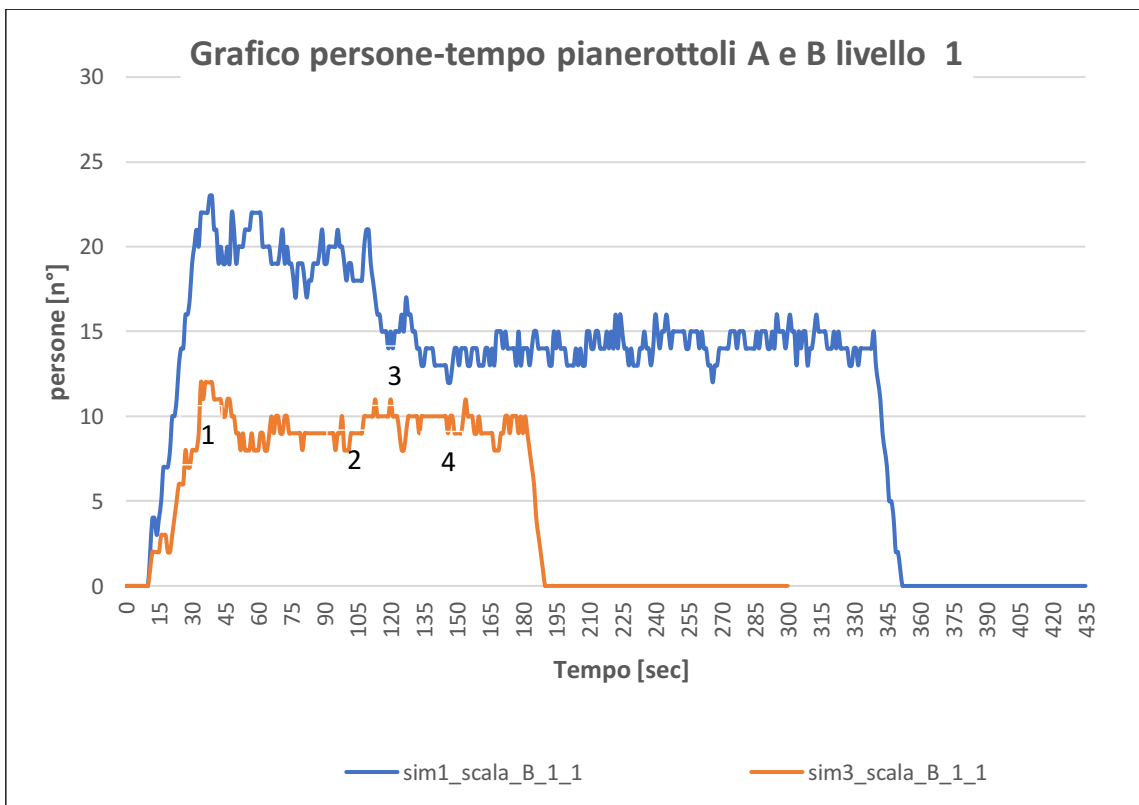


Figura 3–111: Scenario 3. Confronto curve occupanti/tempo relativo al pianerottolo antistante la porta del corpo scala B al livello 1.

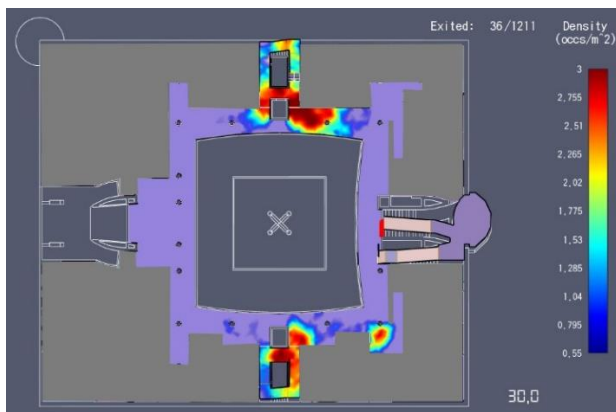


Figura 3–112: Scenario 3. Confronto tra le densità a 30 sec. per le simulazioni 1 e 3.

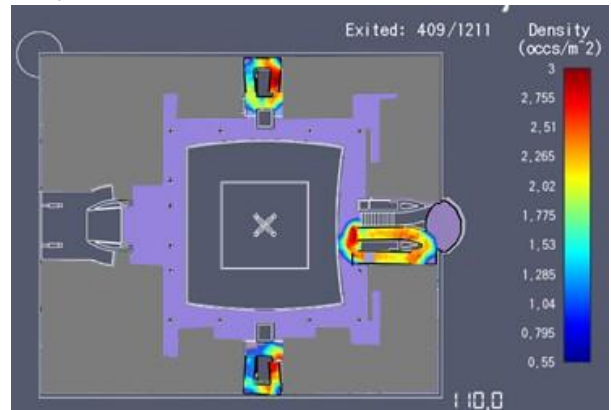
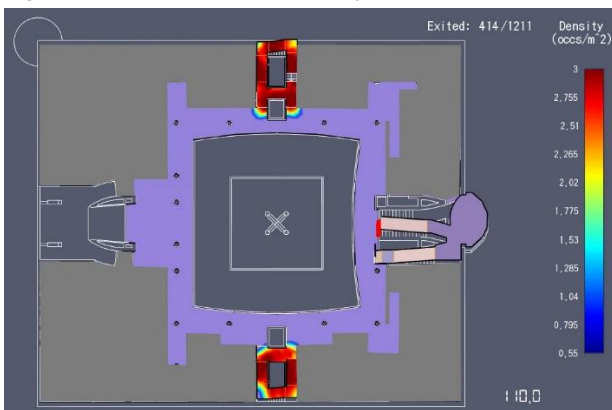


Figura 3–113: Scenario 3. Confronto tra le densità a 110 sec. per le simulazioni 1 e 3.

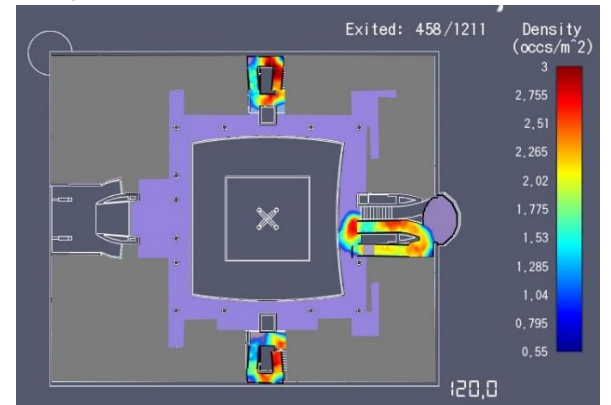
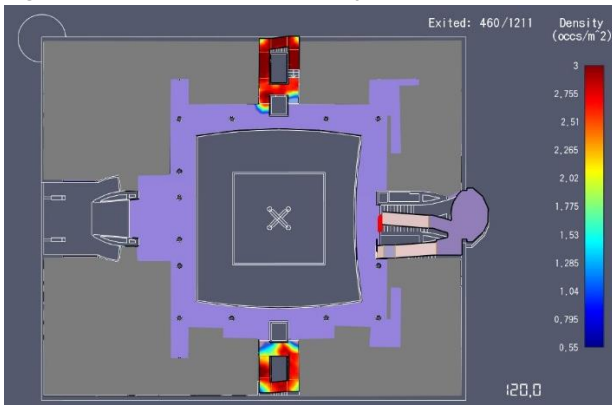


Figura 3–114: Scenario 3. Confronto tra le densità a 120 sec. per le simulazioni 1 e 3.

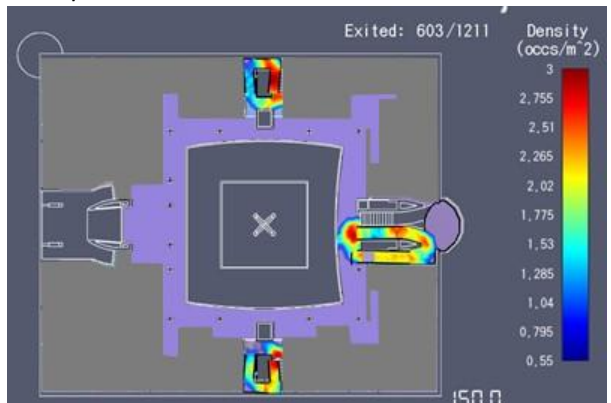
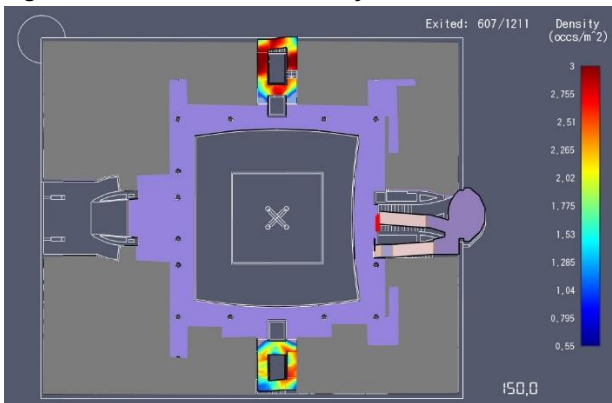


Figura 3–115: Scenario 3. Confronto tra le densità a 150 sec. per le simulazioni 1 e 3.

Le immagini rappresentano un fermo immagine della mappa di densità estrapolata dal software nei punti 1, 2, 3 e 4 del grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti le porte dei corpi scala al livello 1 e fanno riferimento al confronto tra le 2 simulazioni effettuate ai secondi 30, 110, 120, 150. In particolare all'istante di 30 sec. nelle 2 simulazioni si hanno differenze sostanziali in termini di densità, nello specifico nella simulazione 3 si ha una presenza di agenti inferiori in entrambi i pianerottoli A e B che porterà a densità inferiori rispetto alla simulazione 1 dove al contrario persistono condizioni di densità critiche per lunghi periodi di tempo. Agli istanti di 110, 120, 150 secondi per i 2 pianerottoli in esame le densità si attestano sempre a valori bassi, risulta che nelle zone dei pianerottoli in esame non si raggiungono condizioni critiche in termini di densità per il deflusso degli agenti, non si vengono a creare code in prossimità delle uscite delle vie di esodo verticali e orizzontali, il deflusso procede in maniera costante, la condizione è presso che simmetrica tra i 2 corpi scala, si verificano comunque nel periodo di simulazione situazioni temporanee di densità critiche lungo le rampe dei corpi scala A e B. Nelle immagini relative all'istante 30 secondi è possibile notare per la simulazione 3 la presenza di agenti nella zona antistante l'ingresso C sul livello 1 tale zona risulta a densità critica in quanto si viene a creare un'interferenza tra gli agenti che devono scendere al livello inferiore per raggiungere il livello 0 e quelli che scendono dal livello superiore, si vengono a creare code in prossimità dell'accesso alla scala, la condizione critica si verifica nelle fasi iniziali dell'evacuazione quando si crea un'assemblamento di agenti davanti l'ingresso. Dopo circa 90 secondi gli agenti in coda vanno a defluire progressivamente con il procedere dell'evacuazione in maniera costante con densità inferiori agli istanti iniziali ed è possibile notarlo nelle immagini riferiti ai secondi 110, 120 e 150; tale condizione termina dopo 245 secondi con l'uscita dell'ultimo agente dal livello 1. Nella Tabella 3-47 si riportano in breve i tempi di utilizzo per ogni pianerottolo, inteso come il tempo minimo impiegato ad un generico agente ad entrare in tale pianerottolo e il tempo massimo che impiega un agente ad uscire dallo stesso. Dal confronto dei tempi Tabella 3-48 si può notare che il deflusso dal pianerottolo in A si conclude dopo 187,6 secondi nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il deflusso avviene in 387,1 secondi con una differenza di 199,8 secondi, il deflusso dal pianerottolo risulta più veloce per la simulazione 3 in quanto c'è una differenza di agenti provenienti dai piani superiori tra le 2 simulazioni, in particolare nella simulazione 3 utilizzano questo pianerottolo 184 agenti mentre nella simulazione 1 utilizzano questo pianerottolo 391 agenti con una differenza di 207 unità. Il deflusso dal pianerottolo in B si conclude dopo 189,7 secondi nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il deflusso avviene in 351,5 secondi con una differenza di 161,8 secondi, il deflusso dal pianerottolo risulta più veloce per la simulazione 3 in quanto c'è una differenza di agenti provenienti dai piani superiori tra le 2 simulazioni, in particolare nella simulazione 3 utilizzano questo pianerottolo 200 agenti mentre nella simulazione 1 utilizzano questo pianerottolo 400 agenti con una differenza di 207 unità. In generale le condizioni di deflusso sono simmetriche tra i 2 corpi scala, la differenza di tempo nell'uscita dai 2 corpi scala nella simulazione 3 è di 2,1 secondi.

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Total_Use
scala_A_1_1	9	187,6	184
scala_B_1_1	10,2	189,7	200

Tabella 3-47: Tempi di deflusso dai pianerottoli per il livello 1.

Room	Sim1 First_In (s)	Sim3 First_In (s)	Differenza First_In (s)	Sim1 Last_Out (s)	Sim3 Last_Out (s)	Differenza First_out (s)	Sim1 Total_Use	Sim3 Total_Use	Differenza Total_Use
scala_A_1_1	9	9	0	387,4	187,6	199,8	391	184	207
scala_B_1_1	10,2	10,2	0	351,5	189,7	161,8	400	200	200

Tabella 3-48: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di deflusso dai pianerottoli per gli agenti del livello 1.

LIVELLO 2

Per il livello 2 si farà riferimento alle porte: Door_A_2_1, Door_A_2_2, sono le porte appartenenti al corpo scala A dalle quali accederanno gli agenti presenti nel livello 2, Door_B_2_1, Door_B_2_2 sono le porte dalle quali accederanno gli agenti che del livello 2, le porte Door_C_2_1out condurranno gli agenti presenti nei livelli 2 e 3 al livello 0 e Door_C_2_2 è la porta attraverso il quale gli agenti del livello 3 accederanno al livello 2, inoltre si analizzerà i dati di output sulle Room: scala_A_2_1 scala_B_2_1 che rappresentano i pianerottoli antistanti le porte del corpo scala A e B del livello 2. Nella simulazione 3 l'analisi di confronto prenderà come riferimento la somma degli agenti che accedono in un corpo scala senza una distinzione degli ingressi di ogni accesso al corpo scala. Nei seguenti grafici si riporta l'analisi effettuata al livello 2 nello specifico si analizzerà l'andamento di uscita degli agenti nel tempo relativo alle porte del corpo scala "A", "B" e "C". In Figura 3-116 si riporta il grafico di confronto tra le simulazioni 1 e 3 relativo al tempo di uscita degli agenti dal livello 2 utilizzando il corpo scala A il confronto si riferisce alla somma degli ingressi per le "Door_A_2_1" "Door_A_2_2", tali ingressi fanno parte del corpo scala A e condurranno gli agenti del piano e dei livelli superiori al livello 0. Nella Figura 3-117 si riporta il grafico di confronto tra le simulazioni 1 e 3 relativo al tempo di uscita degli agenti dal livello 2 utilizzando il corpo scala B, il confronto si riferisce alla somma degli ingressi Door_B_2_1 e Door_B_2_2, tali ingressi fanno parte del corpo scala B e condurranno gli agenti presenti nel piano al livello 0. Nella Figura 3-118 si riporta si riporta il grafico relativo al tempo di uscita degli agenti dal livello 2 utilizzando il corpo scala C in particolare si rappresenta l'uscita dei soli agenti del livello 2 che attraversano la Door_C_2_1 out, inoltre si riporta in Figura 3-119 l'andamento del flusso di tutti gli agenti dalle Door_C_2_1out e Door_C_2_2 in, tali ingressi fanno parte del corpo scala C e condurranno gli agenti presenti nei livelli 1,2 e 3 al livello 0, in particolare la Door_C_2_2 in immette gli agenti del livello 3 sul livello 2 mentre la Door_C_2_1 out immette gli agenti del livello 2 e 3 sulla scala che conduce ai piani inferiori. Nella Figura 3-120 si confronta il flusso di uscita dal piano tra la simulazione 1 e 3 con riferimento alla somma dei soli ingressi A e B per le due simulazioni. Nella Figura 3-121 si confronta il flusso di uscita totale dal piano che nella simulazione 1 si riferisce ai soli corpi scala A e B mentre nella simulazione 3 include anche il corpo scala C. Nella discussione dei risultati che segue si farà riferimento ai valori del percentile al 95%.

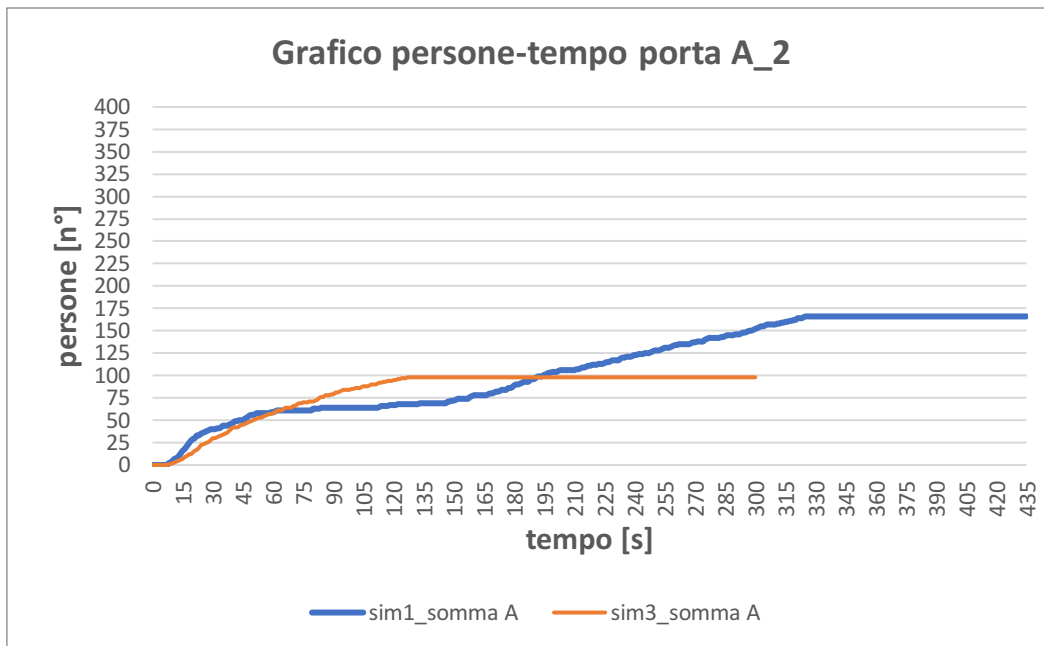


Figura 3–116: Scenario 3. Grafico confronto occupanti/tempo relativo alla porta di accesso al corpo scala A al livello 2.

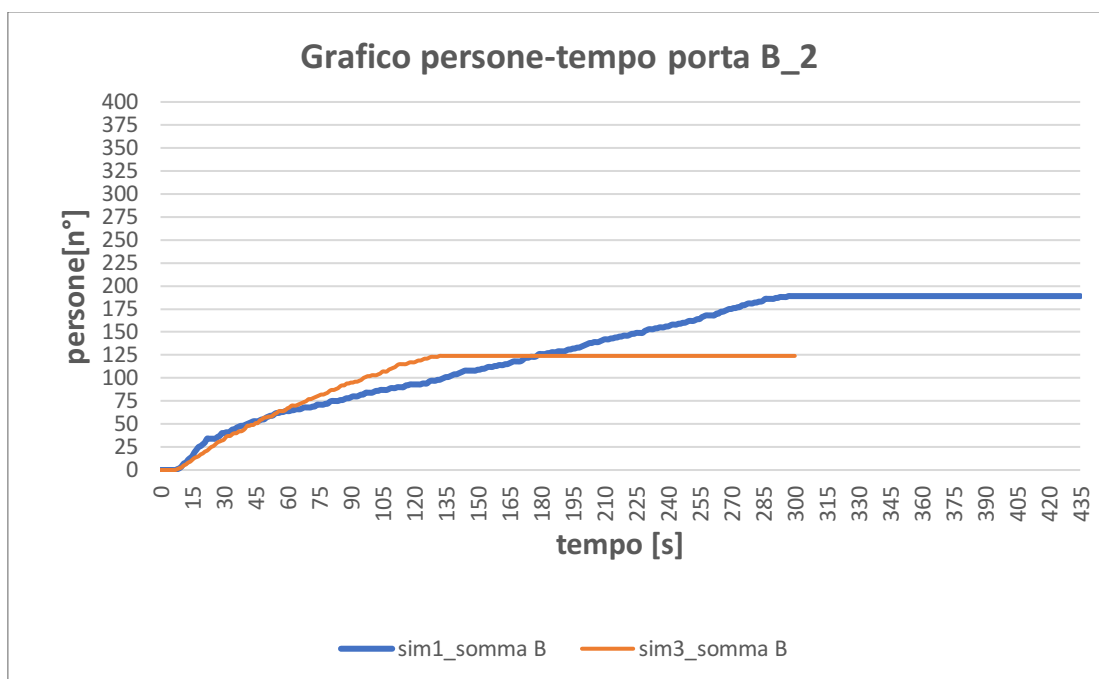


Figura 3–117 Scenario 3. Grafico confronto occupanti/tempo relativo alla porta di accesso al corpo B al livello 2.

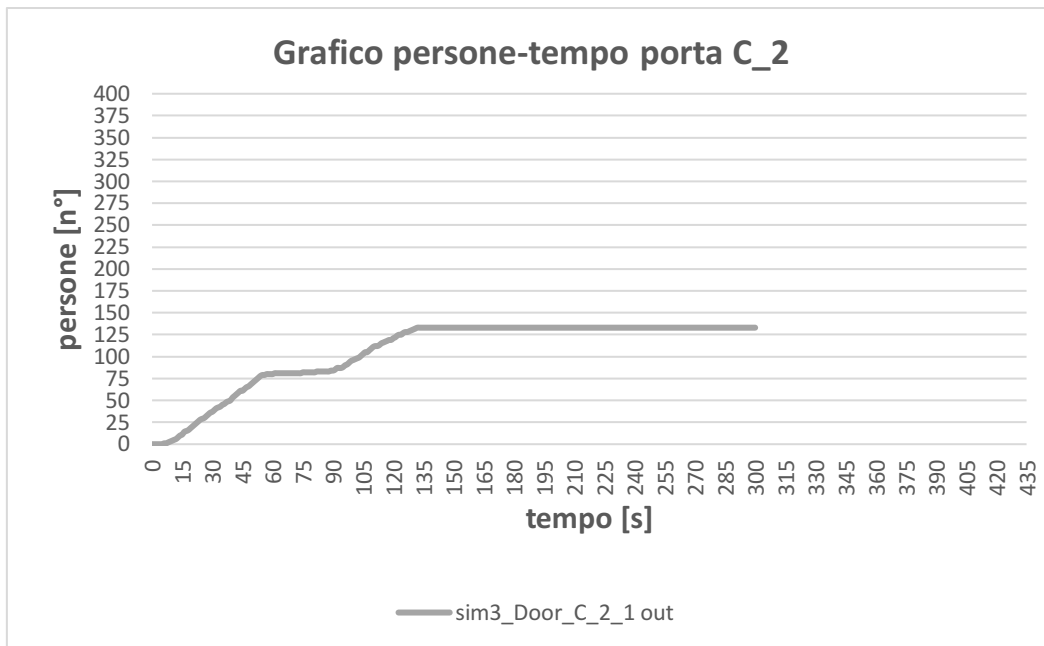


Figura 3–118: Scenario 3. Grafico occupanti/tempo relativo alla porta di accesso al corpo scala C dei soli agenti del livello 2.

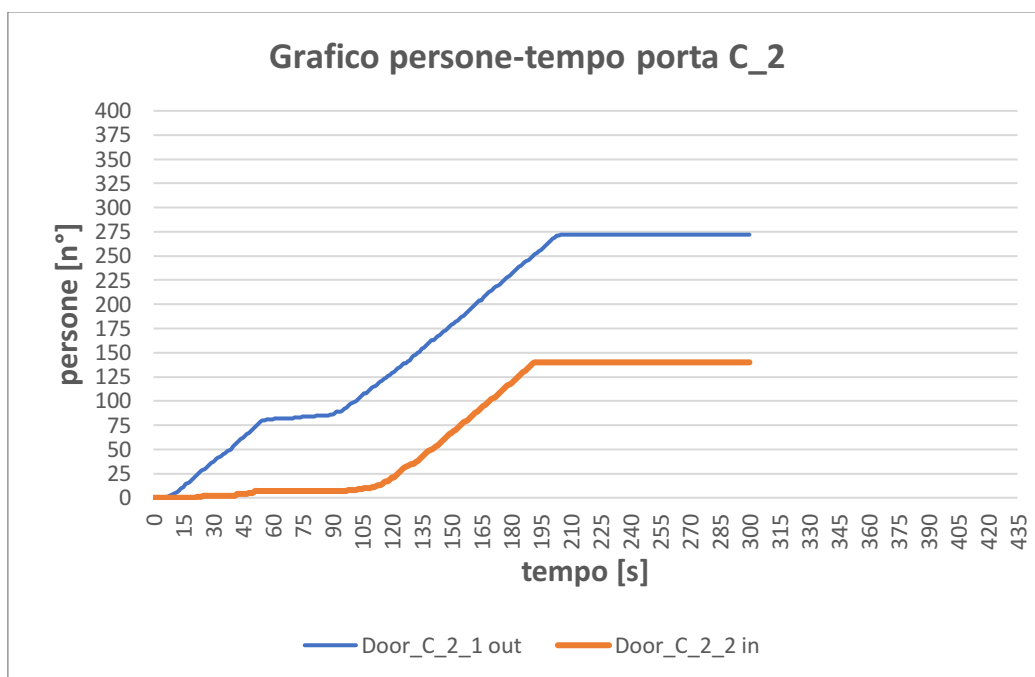


Figura 3–119: Scenario 3. Grafico occupanti/tempo totale relativo al corpo scala C al livello 2.

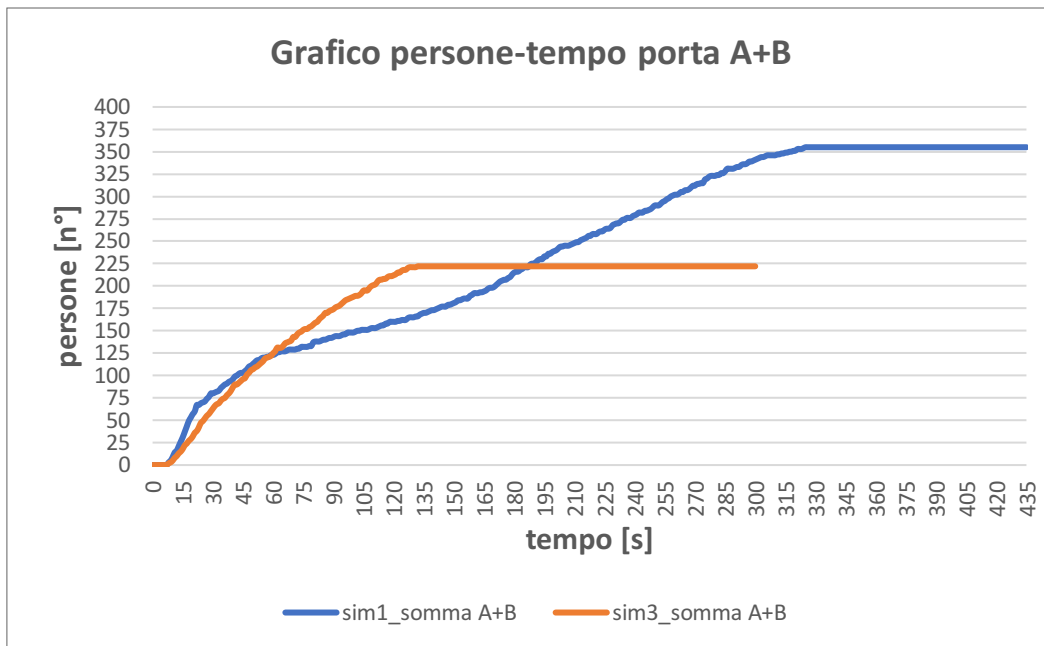


Figura 3–120: Scenario 3. Grafico di confronto occupanti/tempo riferito alla somma delle uscite A e B sul livello 2.

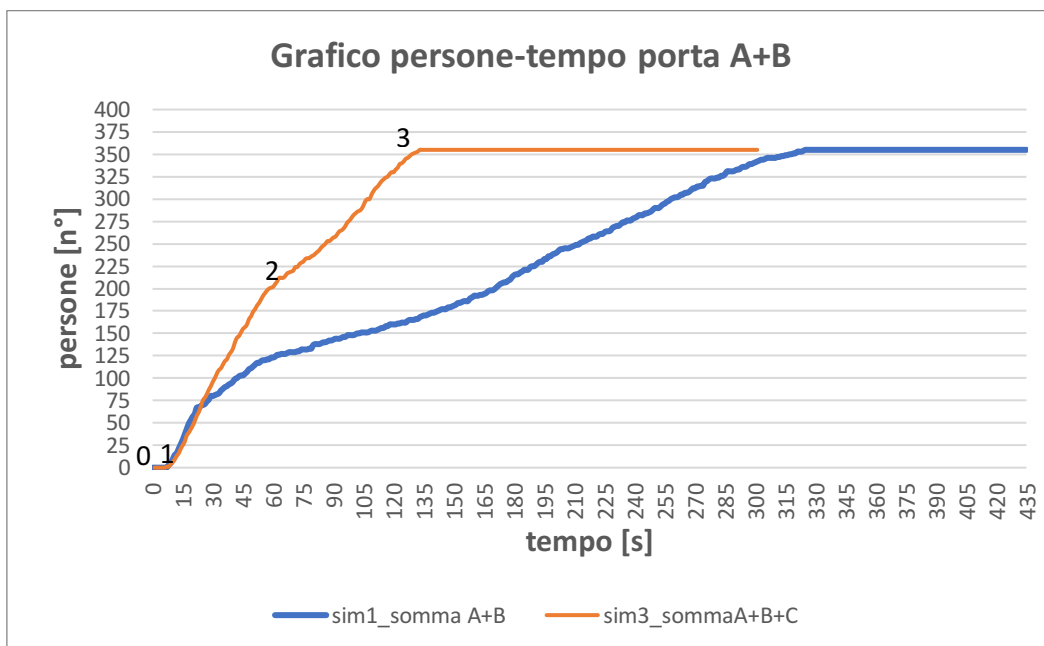


Figura 3–121: Scenario 3. Grafico di confronto occupanti/tempo riferito alla somma delle uscite A e B per la simulazione 1 e delle uscite A , B , C per la simulazione 3.

Dal confronto tra le simulazioni risulta che il corpo scala A Figura 3–116 il numero di agenti che accedono dal livello 2 al corpo scala A nella simulazione 1 è pari a 164 agenti mentre nella simulazione 3 è pari a 97 con una differenza pari a 67 agenti. Per quanto riguarda il tempo minimo e massimo impiegato per accedere al corpo scala A nella simulazione 1 è pari a 7,4 sec. e 317,2 sec. mentre nella simulazione 3 è pari a 7,9 sec. e 120,40 sec. La differenza sul tempo minimo di accesso al corpo scala A risulta presso che nulla mentre la variazione sul tempo massimo impiegato dall'ultimo agente ad accedere al corpo scala A è pari a 196,8 sec. Dal confronto tra le simulazioni risulta che il corpo scala B Figura 3–117 il numero di agenti che accedono dal livello 1 al corpo scala B nella simulazione 1 è pari a 189 agenti mentre nella simulazione 3 è pari a 124 con una differenza pari a 65 agenti. Per quanto riguarda il tempo minimo e massimo impiegato per accedere al corpo scala B nella simulazione 1 è pari a 7,6 sec. e 282,7 sec. mentre nella simulazione 3 è pari a 7,6 sec e 125,55 sec. La differenza sul tempo minimo di accesso al corpo scala B risulta nulla mentre in riferimento alla variazione sul tempo impiegato dall'ultimo agente ad accedere al corpo scala B è pari a 157,15 sec. Per quanto riguarda il corpo scala C Figura 3–118 il numero di agenti del livello 2 che utilizzano questo corpo scala è pari a 132 il tempo minimo impiegato per attraversarla è di 5,4 sec. mentre il tempo massimo impiegato dall'ultimo agente presente nel livello 2 ad attraversare tale porta è di 132,0 sec. Poiché la scala del corpo C non è del tipo protetta gli agenti che provengono dai piani superiori per raggiungere il livello 0 dovranno necessariamente utilizzare gli spazi comuni di distribuzione ad ogni livello, gli agenti provenienti dal livello 3 usciranno dalla Door_C_2_2 in ed accederanno alla Door_C_2_1 out. Dai risultati ottenuti Figura 3–119 la Door_C_2_1 out verrà utilizzata in totale da 272 agenti che sono la somma degli agenti che utilizzeranno il corpo scala C al livello 2 e 3, il tempo minimo impiegato per attraversarla è di 5,4 sec. mentre il tempo massimo impiegato dall'ultimo agente presente ad attraversare tale porta è di 196,45 sec. La Door_C_2_2 da cui arrivano gli agenti del livello 3 e che li porta al livello 2 verrà utilizzata in totale da 140 agenti che sono gli agenti che utilizzeranno il corpo scala C al livello 3, il tempo minimo impiegato per attraversarla è di 21,5 sec mentre il tempo massimo impiegato dall'ultimo agente presente ad attraversare tale porta è di 188,05 sec. Dal confronto riferito alla somma dei 2 corpi scala Figura 3–120 è possibile anche in questo caso individuare differenze sia in termini di utilizzo da parte degli agenti che in termini di tempi di uscita dal livello 2, in definitiva è possibile vedere dal grafico in Figura 3–120 che il numero di agenti che accedono tramite i corpi scala A e B nella simulazione 1 sono pari 355 mentre nella simulazione 3 sono pari a 222 il tempo necessario affinché l'ultimo agente acceda dal livello 2 ad uno dei due corpi scala per la simulazione 1 è pari a 317,2 sec mentre nella simulazione 3 è pari a 125,55 sec., la differenza in termini di agenti che utilizzano questi corpi scala è pari a 133 agenti mentre la differenza in termini di tempo massimo impiegato ad accedere ad uno dei due corpi scala è pari a 191,65 sec. In Figura 3–121 si rappresenta il processo di deflusso generale del piano, si rappresentano le curve del deflusso per la simulazione 1 che include l'uscita tramite i corpi scala A e B e il deflusso per la simulazione 3 che include l'uscita degli agenti tramite i corpi scala A B e C, dal grafico risulta che l'andamento è differente, le curve di deflusso non hanno un andamento sovrapponibile. Con riferimento ai flussi considerati sempre in riferimento al valore 95% percentile sugli ingressi A e B i valori sono 0,81 (pp/s) e 0,99 (pp/s) mentre il flusso sul corpo scala C per la porta di uscita dal piano (Door_C_2_1 out) vale 1,38 (pp/s) per la porta di ingresso al piano (Door_C_1_2 in) vale 0,74 (pp/s) entrambi i flussi sono riferiti al numero totale di agenti che attraversano tali porte. Se si considera il flusso normalizzato rispetto alle larghezze sulle porte A B (somma degli ingressi) i valori sono rispettivamente 0,34 (pp/s*I) per l'ingresso al corpo scala A e 0,41(pp/s*I) per il corpo scala B ovvero il processo avviene in maniera simile e simmetrica per i corpi scala A e B i coefficienti non sono alti perché non è elevato il numero di agenti che attraversano tali ingressi, per il corpo scala C i flussi normalizzati rispetto alla larghezza delle porte risulta 0,94 (pp/s*I) sulla porta di uscita del piano e 0,50 (pp/s*I) sulla porta di ingresso al piano, il valore di flusso sulla porta Door_C_2_2 in risulta più basso rispetto a quello della Door_C_2_1 out in quanto si creano attese all'ingresso della porte che ostacolano il deflusso degli agenti creando rallentamenti al deflusso.

In sintesi è possibile riassumere i risultati tramite la Tabella 3-49 in cui vengono espressi per ogni porta quante persone utilizzano l'uscita, il tempo minimo e massimo che impiega il primo e l'ultimo agente del gruppo di riferimento a passare attraverso la porta presa in considerazione, il flusso definito come persone/secondi e il percentile al 95%; inoltre nella Tabella 3-50 viene riportato il confronto sui tempi tra le 2 simulazioni effettuate. Ulteriore valutazione è possibile farla in riferimento alla pendenza dei tratti sulla curva di evacuazione che ingloba tutte le uscite sul piano (tratto grigio Figura 3-121). Si possono individuare 3 tratti, il tratto 0-1 ha un coefficiente angolare pari a 0 (alfa=0) (rapporto tra 0-0 (n°p)/ 10-0 (sec.) il tratto 1-2 ha un coefficiente angolare pari a 4,1 (alfa=76,3) (rapporto tra (201)/(59-10)), il tratto 2-3 ha un coefficiente angolare pari a 2,11 (alfa=64,63) (rapporto tra (355-201)/(132-59)), tale condizione sta a significare che per il primo tratto fino a 10 sec. la pendenza è nulla perché non arriva nessuno per via della distanza tra l'uscita e le persone nell'edificio il secondo tratto da 10 sec a 59 sec. la pendenza è maggiore che nel resto dell'esodo perché le condizioni idealmente sono migliori in termini di densità (in 49 sec escono 201 agenti), il terzo tratto tra 59 sec. e 132 sec. la pendenza diminuisce perché ci sono densità più elevate lungo i percorsi che creano all'ingresso delle porte tempi di attesa che non permettono un deflusso veloce degli agenti (in 83 sec. escono 154 agenti). Il processo di esodo nella simulazione 3 procede in maniera costante rispetto alla simulazione 1. In generale dal grafico si riscontrano differenze sul deflusso tra le 2 simulazioni, se si considera le curve di evacuazioni delle 2 simulazioni queste presentano differenze, in particolare nella simulazione 3 il deflusso può essere rappresentato con 2 semirette con pendenze più alte rispetto alla simulazione 1, il deflusso dal livello nella simulazione 3 risulta presso che costante lungo tutto il periodo di simulazione, il tutto si può tradurre con tempi di uscita dal livello più veloci. Per la simulazione 3 è di 133,0 secondi mentre per la simulazione 1 è 324,6 secondi. Se si considera il livello macroscopico come rappresentato in Figura 3-121 *Figura 3-50* il deflusso procede in maniera tale che non si vengano a verificare grossi rallentamenti e interruzioni del deflusso lungo le vie verticali di esodo, ciò non risulta vero se si considera l'ingresso al corpo scala C *Figura 3-118* dove è possibile trovare nella curva di deflusso un tratto a pendenza nulla ovvero per un periodo di tempo si verifica un'interruzione del deflusso degli agenti che devono accedere al corpo scala C, il rallentamento del deflusso è dovuto al sovrapporsi dei flussi degli agenti che provengono dai piani superiori e quelli dello stesso piano.

Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Total_Use (n° persone)	Percentile 0,95	Flow (su ogni ingresso) (pers/s)		Flow normalizzato (ogni ingresso) (pers/s*I)		Flow normalizzato (sulla porta) (pers/s)		Flow normalizzato (sulla porta) (pers/s*I)	
					Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%
Door_A_2_1	23,7	100,1	41	95,00	0,41	0,43	0,34	0,36	0,76	0,81	0,32	0,34
Door_A_2_2	7,9	128,2	56	120,40	0,44	0,47	0,36	0,39				
Door_B_2_1	7,6	132,9	70	125,55	0,53	0,56	0,44	0,46	0,93	0,99	0,39	0,41
Door_B_2_2	26,9	112	54	109,35	0,48	0,49	0,40	0,41				
Door_C_2_1 out	5,4	204,4	272	196,45	1,33	1,38	0,90	0,94	1,33	1,38	0,90	0,94
Door_C_2_2 in	21,5	191,4	140	188,05	0,73	0,74	0,49	0,50	0,73	0,74	0,49	0,50

Tabella 3-49: Tempi di evacuazione alle porte per il livello 2.

Door	Sim1 First_In (s)	Sim3 First_In (s)	Differenza First_In (Sim1- sim3)	Sim1 Last_Out (s)	Sim3 Last_Out (s)	Differenza Last_Out (Sim1- sim3)	Sim1 Percentile 0,95 (s)	Sim3 Percentile 0,95 (s)	Differenza Percentile 0,95 (Sim1- sim3)	Sim1 Total_Use (n °persone)	Sim3 Total_Use (n °persone)	Differenza Total_Use (Sim1- sim3)
Door_A_2_1	7,4	23,7	-16,3	198,2	100,1	98,1	191,7	95,00	96,7	67	41	26
Door_A_2_2	7,9	7,9	0	324,6	128,2	196,4	317,2	120,40	196,8	97	56	41
Door_B_2_1	7,6	7,6	0	296,4	132,9	163,5	282,7	125,55	157,15	124	70	54
Door_B_2_2	9,7	26,9	-17,2	143,5	112	31,5	136,6	109,35	27,25	65	54	11
Door_C_2_1 out	0	5,4	-5,4	0	204,4	-204,4	0	196,45	-196,45	0	272	-272
Door_C_2_2 in	0	21,5	-21,5	0	191,4	-191,4	0	188,05	-188,05	0	140	-140

Tabella 3-50: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di evacuazione alle porte per il livello 2.

Nella tabella successiva Tabella 3-51 vengono riportati per il livello 2 i vari gruppi di agenti distinti per profilo e comportamento e il tempo impiegato per ciascun gruppo a raggiungere l'uscita dell'edificio distinti per tempo minimo e massimo. Si deduce che il tempo che impiegato dall'ultimo agente presente nel piano a raggiunge l'uscita è di 253,5 sec. Dal confronto dei tempi in Tabella 3-52 Tabella 3-52 Tabella 3-52: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello 2 Tabella 3-46 si può notare che ci sono differenze tempi impiegati per uscire dall'edificio, i profili A_2_1, A_2_2, B_2_1 raggiungo l'uscita dell'edificio in minor tempo nella simulazione 3 rispetto alla simulazione 1, in particolare la differenza di tempo con cui raggiungono l'uscita questi gruppi di agenti è pari rispettivamente a 115,9 secondi, 168,2 secondi, 144,3 secondi mentre l'ultimo agente del profilo B_2_2 raggiungerà l'uscita dell'edificio più velocemente nella simulazione 1 con una differenza di 21 secondi. Le differenze riscontrate sono dovute alle condizioni delle vie di esodo che li conducono all'uscita in particolare risulta che per gli agenti sul livello 2 l'utilizzo del corpo scala C e la riduzione degli agenti negli ingressi del corpo scala A e B favoriscano l'arrivo più veloce al livello 0 per i profili A_2_1, A_2_2 e B_2_1 al contrario del profilo B_2_2.

	Behavior	Profile	Count	Min	Max
livello 2	scala C_2	A_2_1	67	140,1	173,9
livello 2	scala A_2	A_2_2	97	80,4	253,5
livello 2	scala B_2	B_2_1	124	80,7	250,6
livello 2	scala C_2	B_2_2	65	164,7	249,9

Tabella 3-51: Tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello 2.

	Behavior Sim1/sim3	Profile	Sim 1 Count	Sim 3 Count	differenza	Sim 1 Min	Sim 3 Min	Differenza Min	Sim1 Max	Sim3 Max	Differenza max
livello 2	scala A_1 scala C_2	A_2_1	67	67	0	94,4	140,1	-45,7	289,8	173,9	115,9
livello 2	scala A_2 scala A_2	A_2_2	97	97	0	108,5	80,4	28,1	421,7	253,5	168,2
livello 2	scala B_2 scala B_2	B_2_1	124	124	0	87,1	80,7	6,4	394,9	250,6	144,3
livello 2	scala B_2 scala C_2	B_2_2	65	65	0	90,3	164,7	-74,4	228,9	249,9	-21

Tabella 3-52: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello 2.

Dai risultati in output del software è stato possibile esportare una mappa definita "usage accumulated" in cui viene espresso in secondi quanto tempo vengono usati gli spazi con riferimento al tempo totale di simulazione. In Figura 3-122, riporta la mappa per entrambe le simulazioni da cui si evince che a livello qualitativo nella simulazione 3 gli spazi antistanti gli ingressi in A e B sono meno utilizzati rispetto alla simulazione 1, ma per la simulazione 3 c'è l'utilizzo da parte degli agenti della zona antistante l'ingresso in C. Nella simulazione 3 si evince che lo spazio più utilizzato è quello nella zona afferente alla porta di ingresso al corpi scala C, mentre i tempi di utilizzo delle aree pertinenti al corpo scala A e B subisce un decremento, le zone con livello di utilizzo maggiore implicano agenti in coda con tempi di attesa maggiore per l'attraversamento della porta.

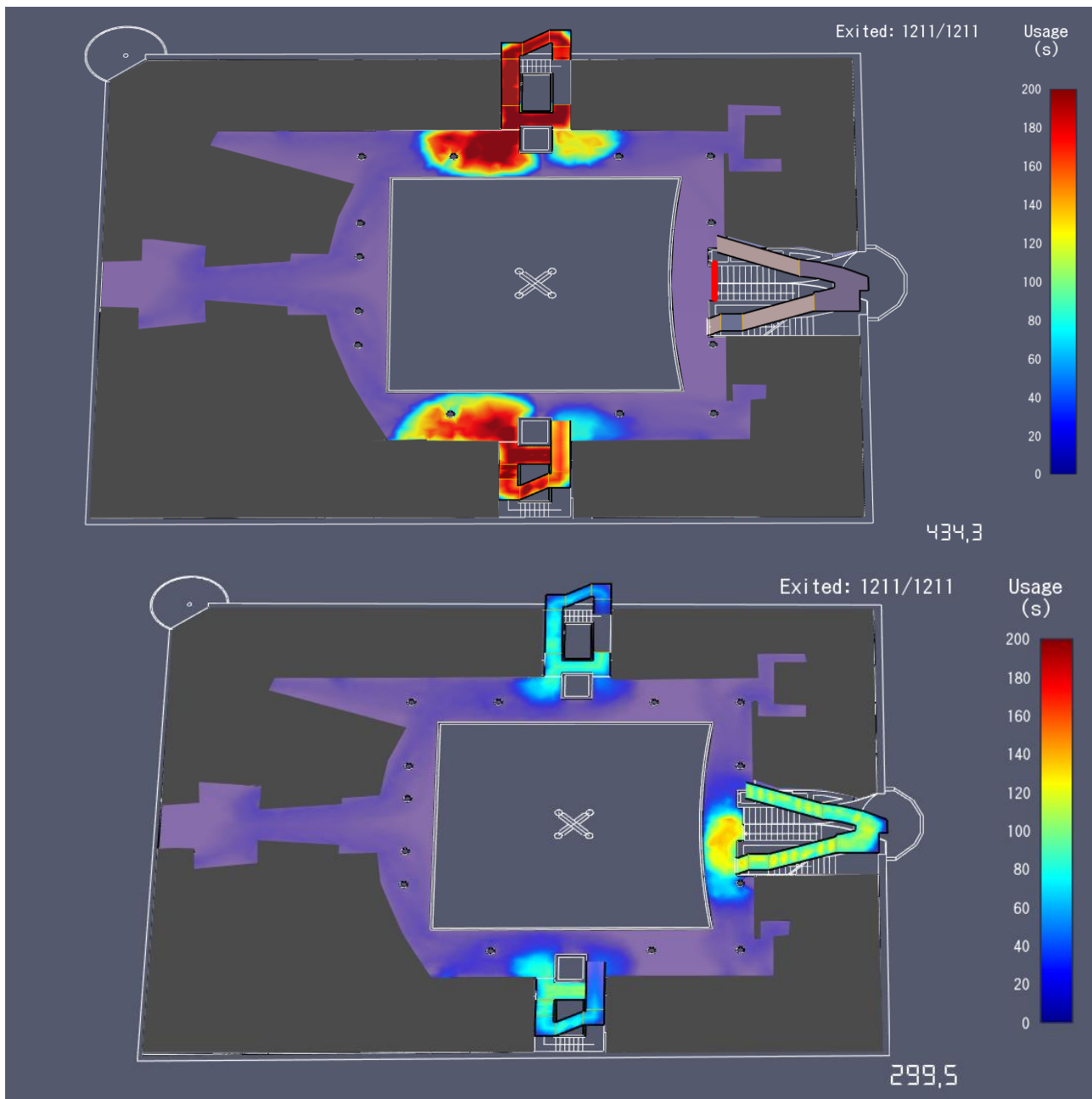


Figura 3–122: Scenario 3. Confronto della mappa di uso tra le simulazioni 1 e 3, effettuate per il livello 2.

L'ulteriore analisi svolta prende in considerazione i pianerottoli antistanti le uscite prese in esame in cui si evidenzia il confronto con le due simulazioni effettuate, in Figura 3–123 si analizzerà il pianerottolo definito come scala_A_2_1 relativo al pianerottolo del livello 2 per il corpo scala A da cui defluiscono gli agenti provenienti dal livello superiore e in Figura 3–124 si analizzerà il pianerottolo definito scala_B_2_1 relativo al pianerottolo al livello 2 per il corpo scala B da cui defluiscono gli agenti dei piani superiori. Dal grafico Figura 3–123 si evince che per il pianerottolo scala_A_2_1 si raggiunge un tratto costante dopo 45 secondi con la presenza contemporanea di un numero di agente che varia tra 20 e 24 unità per circa 55 secondi, negli istanti successivi la presenza contemporanea di agenti sul pianerottolo si riduce con il procedere dell'esodo. Il completo deflusso si ha dopo 153,8 secondi. Dal confronto delle 2 curve emergono delle differenze in termini di tempo impiegato dall'ultimo agente ad attraversare il pianerottolo che risultano minori nella simulazione 3, per quanto riguarda il livello di presenza contemporanea di agenti sul pianerottolo si verifica

una parziale sovrapposizione delle curve in particolare il tempo massimo impiegato dall'ultimo agente dall'ultimo agente a liberare il pianerottolo è di 153,8 sec. ed il numero di utilizzatori è pari a 150 agenti nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il tempo di deflusso massimo impiegato è pari 353,4 sec. ed il numero di utilizzatori è pari a 288. Nella simulazione 3 si hanno condizioni di deflusso migliori in termini di velocità di deflusso dovuto ad un numero minori di agenti che utilizzano il corpo scala in esame. Per quanto riguarda il pianerottolo B_2_1 *Figura 3-124* l'andamento è simili a quello del pianerottolo A_2_1 le due curve raggiungono una presenza contemporanea di agenti simile e il tempo impiegato dall'ultimo agente a lasciare il pianerottolo in esame è confrontabile. In particolare con riferimento alla curva del pianerottolo B la curva presenta un tratto costante dopo 45 secondi con la presenza contemporanea di agenti che varia tra 20 e 24 unità per circa 70 secondi, negli istanti successivi la presenza contemporanea di agenti sul pianerottolo si riduce fino a liberare completamente il pianerottolo. Il deflusso completo si ha dopo 161,7 secondi. Dal confronto delle 2 curve nelle 2 simulazioni emergono differenze in termini di tempo impiegato dall'ultimo agente ad attraversare il pianerottolo che risultano minori nella simulazione 3. Per quanto riguarda il numero di agenti presenti contemporaneamente nella simulazione 3 raggiungono un livello simile ma questa condizione persiste per un periodo di tempo più breve. In particolare il tempo massimo impiegato dall'ultimo agente dall'ultimo agente a liberare il pianerottolo è di 161,7 sec. ed il numero di utilizzatori è pari a 176 agenti nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il tempo massimo impiegato è pari 324,5 sec. ed il numero di utilizzatori è pari a 310. Nella simulazione 3 si hanno condizioni di deflusso migliori in termini di velocità di deflusso dovuto ad un numero minori di agenti che utilizzano il corpo scala in esame. Nelle figure *Figura 3-125*, *Figura 3-126*, viene rappresentata attraverso mappe di calore il confronto delle densità nei secondi 25 e 145, il confronto non è stato fatto su altri istanti in quanto il processo di evacuazione nella simulazione 3 si esaurisce dopo circa 161,7 secondi, mentre nella simulazione 1 in 354,2 secondi, in *Figura 3-*

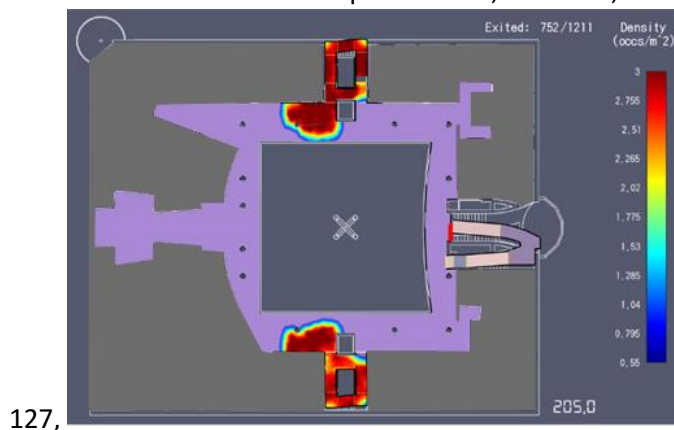


Figura 3-128 viene rappresentata attraverso mappe di calore la densità nei secondi 45,110 secondi per la simulazione 3, per cogliere come si evolve il processo evacuativo nei periodi intermedi a quelli già considerati. Questo parametro indica istantaneamente il livello di densità presente in ogni spazio. Mediante questa rappresentazione è possibile visualizzare lo stato degli occupanti su tutto il piano, in particolare si farà riferimento ai punti significativi del grafico di deflusso sui pianerottoli antistanti le uscite, valutando le condizioni critiche che emergono dalla simulazione.

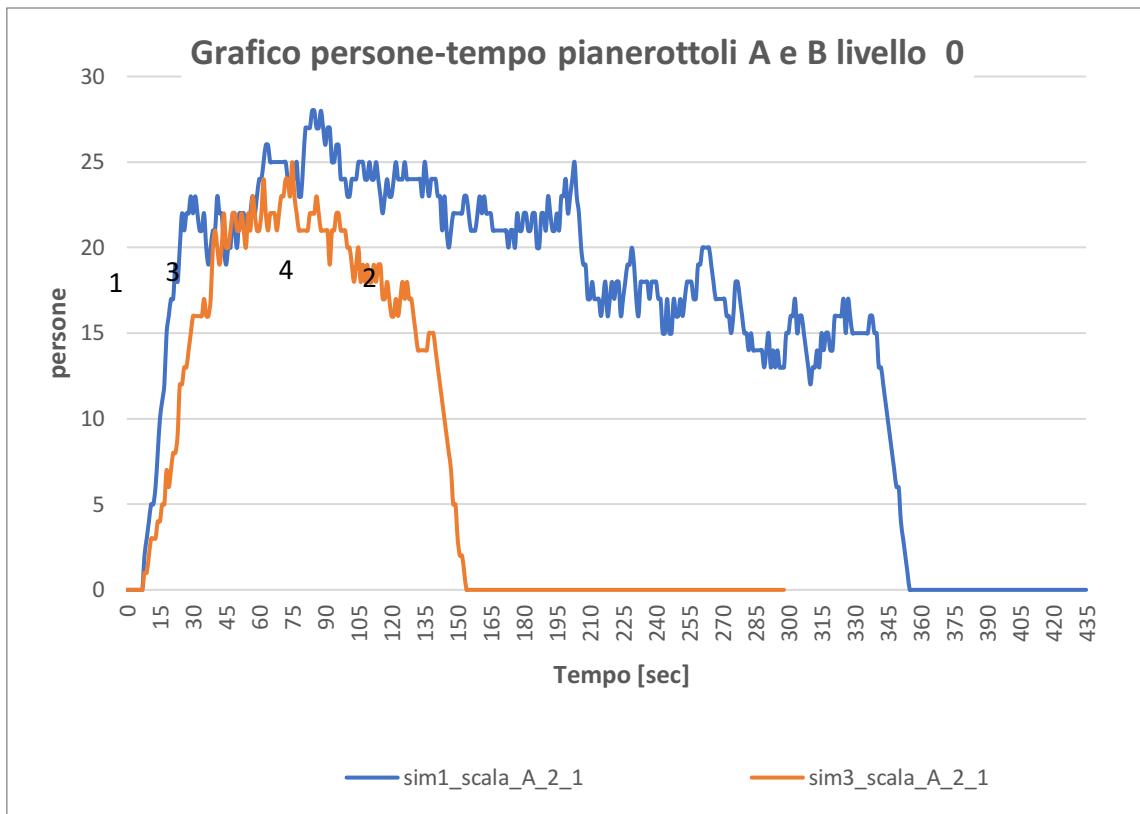


Figura 3–123: Scenario 3. Confronto curve occupanti/tempo relativo al pianerottolo antistante la porte del corpo scala A al livello 2.

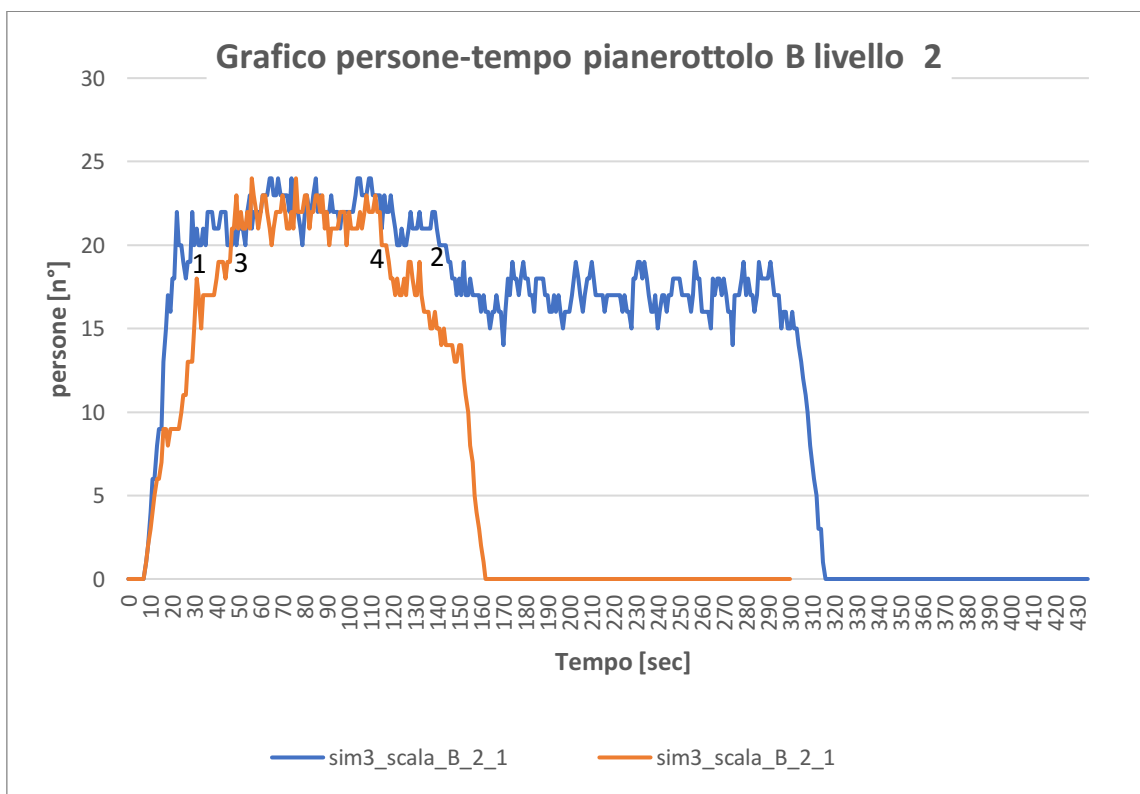


Figura 3–124: Scenario 3. Confronto curve occupanti/tempo relativo al pianerottolo antistante la porte del corpo scala B al livello 2.

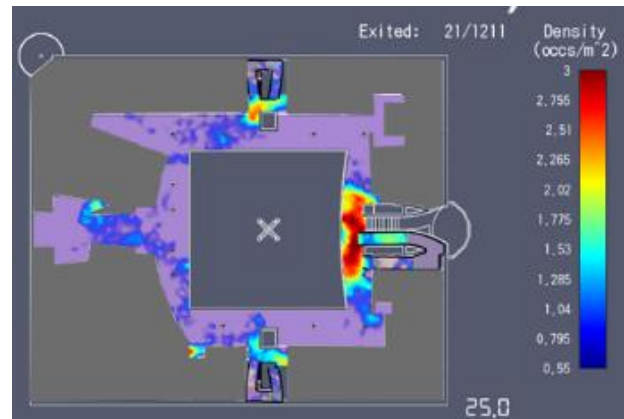
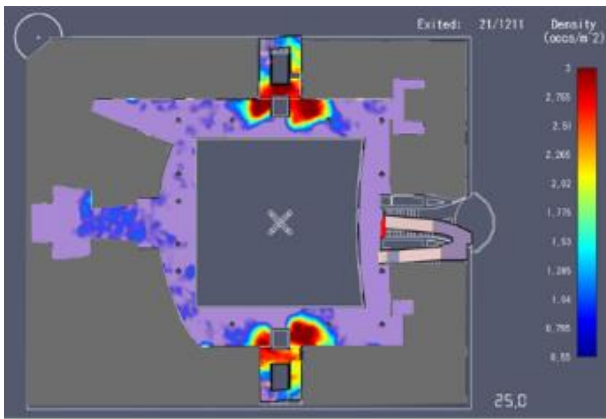


Figura 3–125: Scenario 3: Confronto tra le densità a 25 sec. per le simulazioni 1 e 3.

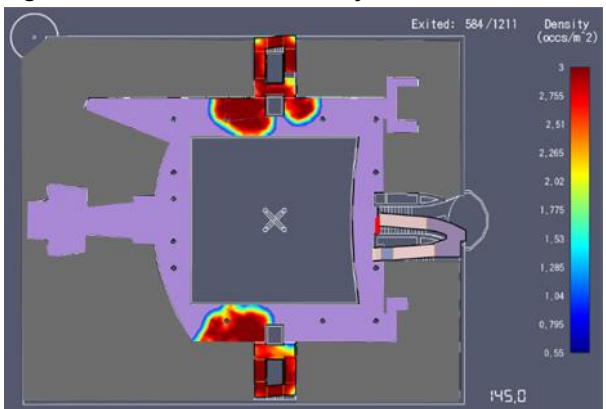


Figura 3–126: Scenario 3: Confronto tra le densità a 145 sec. per le simulazioni 1 e 3.

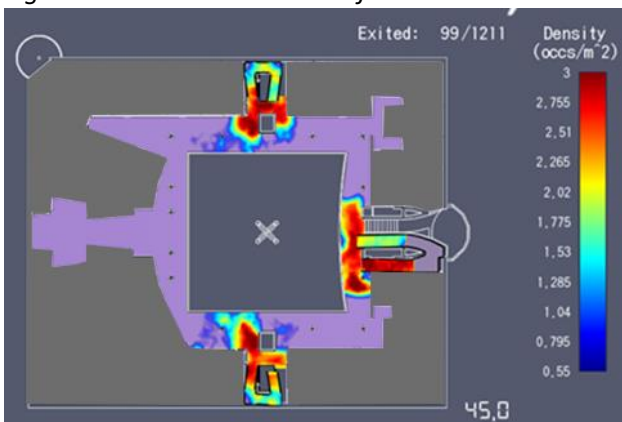


Figura 3–127: Scenario 3. Densità a 45 sec. per la simulazioni 3.



Figura 3–128: Scenario 3. Densità a 110 sec. per la simulazioni 3.

Le immagini rappresentano un fermo immagine della mappa di densità estrapolata dal software nei punti 1,2, del grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti le porte dei corpi scala al livello 2, fanno riferimento al confronto tra le 2 simulazioni effettuate ai secondi 25,145 inoltre si riportano la mappa di densità ai secondi 45 e 110 per la sola simulazione 3 (punti 3,4). In particolare all'istante di 25 sec. nelle 2 simulazioni si hanno differenze sostanziali in termini di densità, nello specifico nella simulazione 3 si avranno una presenza di agenti inferiori in entrambi i pianerottoli A e B che porterà a densità inferiori rispetto alla simulazione 1 dove al contrario persistono condizioni critiche per lunghi periodi di tempo. All'istante di 145 secondi per i 2 pianerottoli in esame le densità si attestano a valori bassi per la simulazione 3, in tale istante di tempo il processo di esodo è nel periodo di conclusione per i corpi scala A e B al contrario della simulazione 1 dove è visibile un processo di esodo ancora in condizioni critiche. La condizione è pressoché simmetrica tra i 2 corpi scala. Il confronto non è stato fatto su altri istanti in quanto il processo di deflusso nella simulazione 3 termina dopo 161,7 secondi. Sono stati riportate le immagini della densità negli istanti 45 e 110 secondi per la simulazione 3 per cogliere come si evolve il processo evacuativo nei periodi intermedi a quelli già considerati ed è possibile vedere come in adiacenza agli ingressi dei corpi scala A e B si vengano a creare condizioni a densità critiche, si vengono a creare code in prossimità delle porte di ingresso ai corpi scala e nelle vie di esodo verticali, la densità elevata crea condizioni di congestione che impediscono il movimento agli agenti generando tempi di attesa per accedere ai vari ingressi, si creano interazioni tra agenti che impediscono un deflusso veloce. Nello specifico caso per la simulazione 3 la condizione critica si esaurisce dopo circa 110 secondi ovvero in tempi molto minori rispetto alla simulazione 1 in cui questa fase per più secondi. Nelle immagini relative all'istante 25, 45, 110 e 145 secondi è possibile notare per la simulazione 3 la presenza di agenti nella zona antistante l'ingresso C sul livello 2, tale zona risulta a densità critica in quanto si viene a creare un'interferenza tra gli agenti che devono scendere al livello inferiore per raggiungere il livello 0 e quelli che scendono dal livello superiore, si vengono a creare code in prossimità dell'accesso alla scala, la condizione critica si verifica nelle fasi iniziali dell'evacuazione quando si crea un'assemblamento di agenti davanti l'ingresso, tali condizioni creano pericoli agli utilizzatori in quanto livelli critici di densità andrebbero a creare fenomeni di spinta. Il processo di esodo per questo livello è condizionato dal numero di agenti del livello e da quelli che provengono dal livello superiori. Dopo circa 120 secondi gli agenti in coda vanno a defluire progressivamente con il procedere dell'evacuazione in maniera costante con densità inferiori agli istanti iniziali ed è possibile notarlo nelle immagini riferiti ai secondi 110 e 145, tale condizione termina dopo 204,4 secondi con l'uscita dell'ultimo agente dal livello 2. Nella tabella seguente Tabella 3-53 si riportano in breve i tempi di utilizzo per ogni pianerottolo inteso come il tempo impiegato da un generico agente ad entrare in tale pianerottolo e il tempo massimo che impiega un agente ad uscire dallo stesso. Dal confronto dei tempi Tabella 3-54 *Tabella 3-54: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di deflusso dai pianerottoli per gli agenti del livello 1* si può notare che il deflusso dal pianerottolo in A si conclude dopo 153,8 secondi nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il deflusso avviene in 354,2 secondi con una differenza di 200,4 secondi, il deflusso dal pianerottolo risulta più veloce per la simulazione 3 in quanto c'è una differenza di agenti provenienti dai piani superiori tra le 2 simulazioni, in particolare nella simulazione 3 utilizzano questo pianerottolo 150 agenti mentre nella simulazione 1 utilizzano questo pianerottolo 288 agenti con una differenza di 138 unità. Il deflusso dal pianerottolo in B si conclude dopo 161,7 secondi nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il deflusso avviene in 315,6 secondi con una differenza di 134 secondi, il deflusso dal pianerottolo risulta più veloce per la simulazione 3 in quanto c'è una differenza di agenti provenienti dai piani superiori tra le 2 simulazioni, in particolare nella simulazione 3 utilizzano questo pianerottolo 176 agenti mentre nella simulazione 1 utilizzano questo pianerottolo 310 agenti con una differenza di 134 unità. In generale le condizioni di deflusso sono simmetriche tra i 2 corpi scala, la differenza di tempo nell'uscita dai 2 corpi scala nella simulazione 3 è di 7,9 secondi.

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Total_Use
scala_A_2_1	7,9	153,8	150
scala_B_2_1	7,6	161,7	176

Tabella 3-53: Tempi di deflusso dai pianerottoli per il livello 2.

Room	Sim1 First_In (s)	Sim3 First_In (s)	Differenza First_In (s)	Sim1 Last_Out (s)	Sim3 Last_Out (s)	Differenza First_out (s)	Sim1 Total_Use	Sim3 Total_Use	Differenza Total_Use
scala_A_2_1	7,4	7,9	-0,5	354,2	153,8	200,4	288	150	138
scala_B_2_1	7,6	7,6	0	315,6	161,7	153,9	310	176	134

Tabella 3-54: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di deflusso dai pianerottoli per gli agenti del livello 1.

LIVELLO 3

Per il livello 3 si farà riferimento alle porte: Door_A_3_1, Door_A_3_2, sono le porte appartenenti al corpo scala A dalle quali accederanno gli agenti presenti nel livello 2, Door_B_3_1, è la porta appartenente al corpo scala B da cui accederanno gli agenti del livello 2, Door_C_3_1 è la porta appartenente al corpo scala C da cui accederanno gli agenti del livello 3 per raggiungere il livello 0, inoltre si analizzerà i dati di output sulle Room: scala_A_3_1 scala_B_3_1 che rappresentano i pianerottoli antistanti le porte del livello 2. Nella simulazione 3 l'analisi di confronto prenderà come riferimento la somma degli agenti che accedono in un corpo scala senza una distinzione degli ingressi di ogni accesso al corpo scala. Nei seguenti grafici si riporta l'analisi effettuata al livello 3 nello specifico si analizzerà l'andamento di uscita delle persone nel tempo relativo alle porte del corpo scala "A", "B" e "C". In Figura 3-129 si riporta il grafico di confronto tra le simulazioni 1 e 3 relativo ai tempi di uscita degli agenti dal livello 3 dal corpo scala A, il confronto si riferisce alla somma degli ingressi nel tempo per le "Door_A_3_1" "Door_A_3_2", tali ingressi fanno parte del corpo scala A e condurranno gli agenti del piano al livello 0. Nella Figura 3-130 si riporta il grafico di confronto tra le simulazioni 1 e 3 relativo al tempo di uscita dal livello 3 degli agenti che utilizzeranno il corpo scala B, il confronto si riferisce all'uscita dalla porta definita Door_B_3_1, tale ingresso fa parte del corpo scala B e condurrà gli agenti presenti nel piano al livello 0. Nella Figura 3-131 si riporta il grafico relativo al tempo di uscita degli agenti dal livello 3 utilizzando il corpo scala C in particolare si rappresenta l'uscita dalla Door_C_3_1, tale ingresso fa parte del corpo scala C e condurranno gli agenti presenti nel livello 3 al livello 0. Nella Figura 3-132 si confronta il flusso di uscita dal piano tra la simulazione 1 e 3 con riferimento alla somma degli ingressi A e B per le due simulazioni. Nella Figura 3-133 si confronta il flusso di uscita totale dal piano che nella simulazione 1 si riferisce ai soli corpi scala A e B mentre nella simulazione 3 include anche il corpo scala C. Nella discussione dei risultati che segue si farà riferimento ai valori del percentile al 95%.

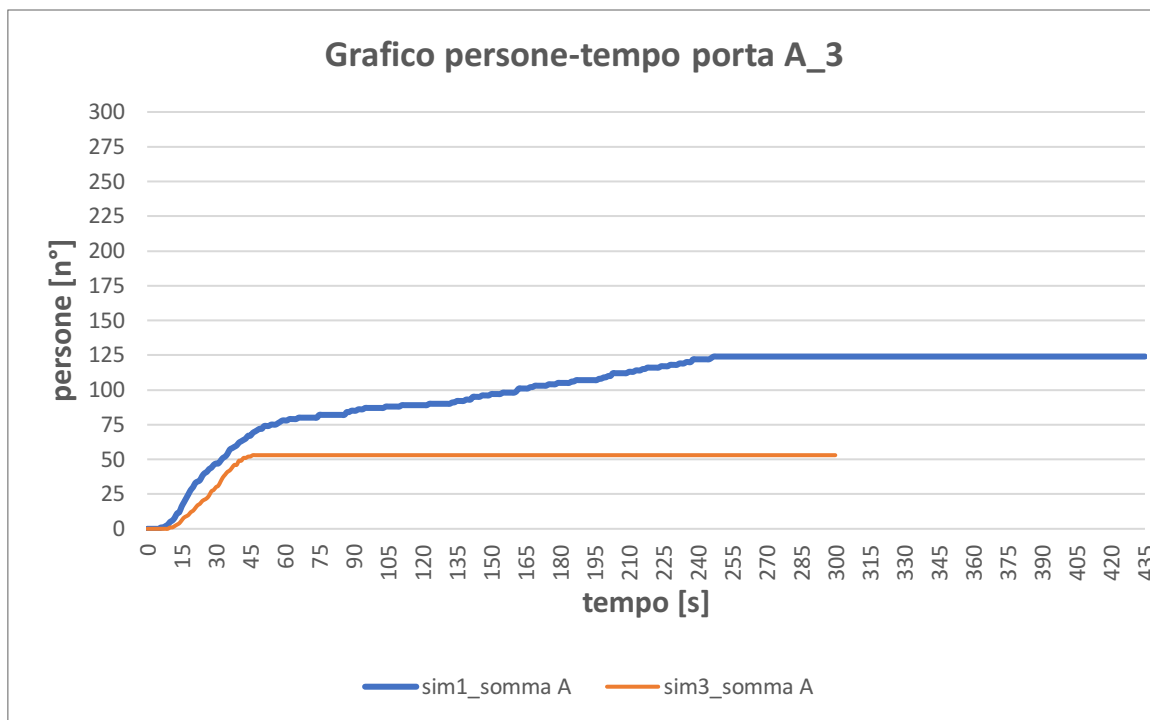


Figura 3–129: Scenario 3. Grafico confronto occupanti/tempo relativo alla porta di accesso al corpo scala A al livello 3.

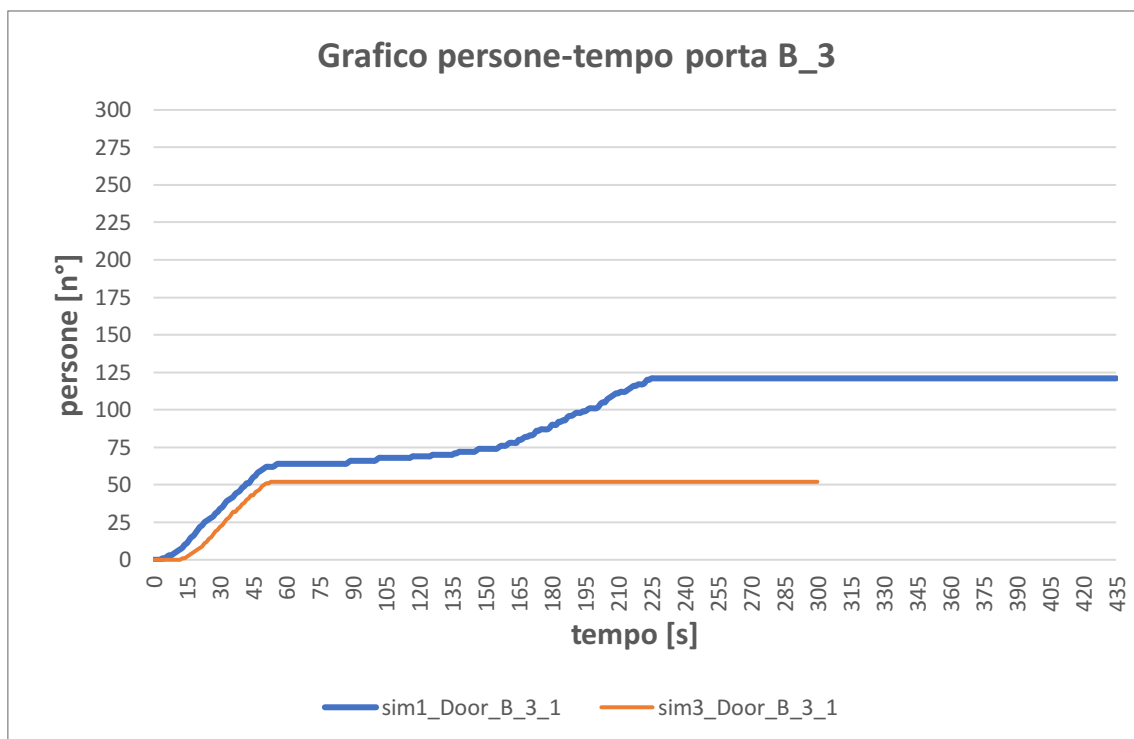


Figura 3–130: Scenario 3. Grafico di confronto occupanti/tempo relativo alla porta di accesso al corpo scala B al livello 3.

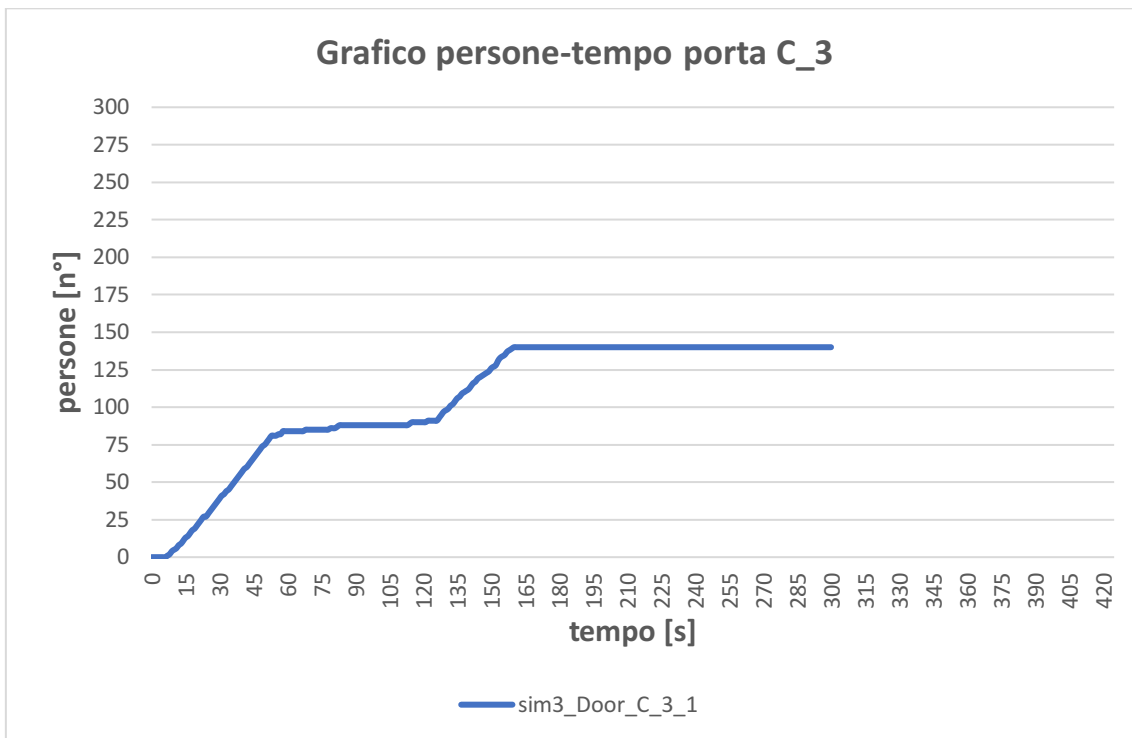


Figura 3–131: Scenario 3. Grafico occupanti/tempo relativo alla porta di accesso corpo scala C al livello 3.

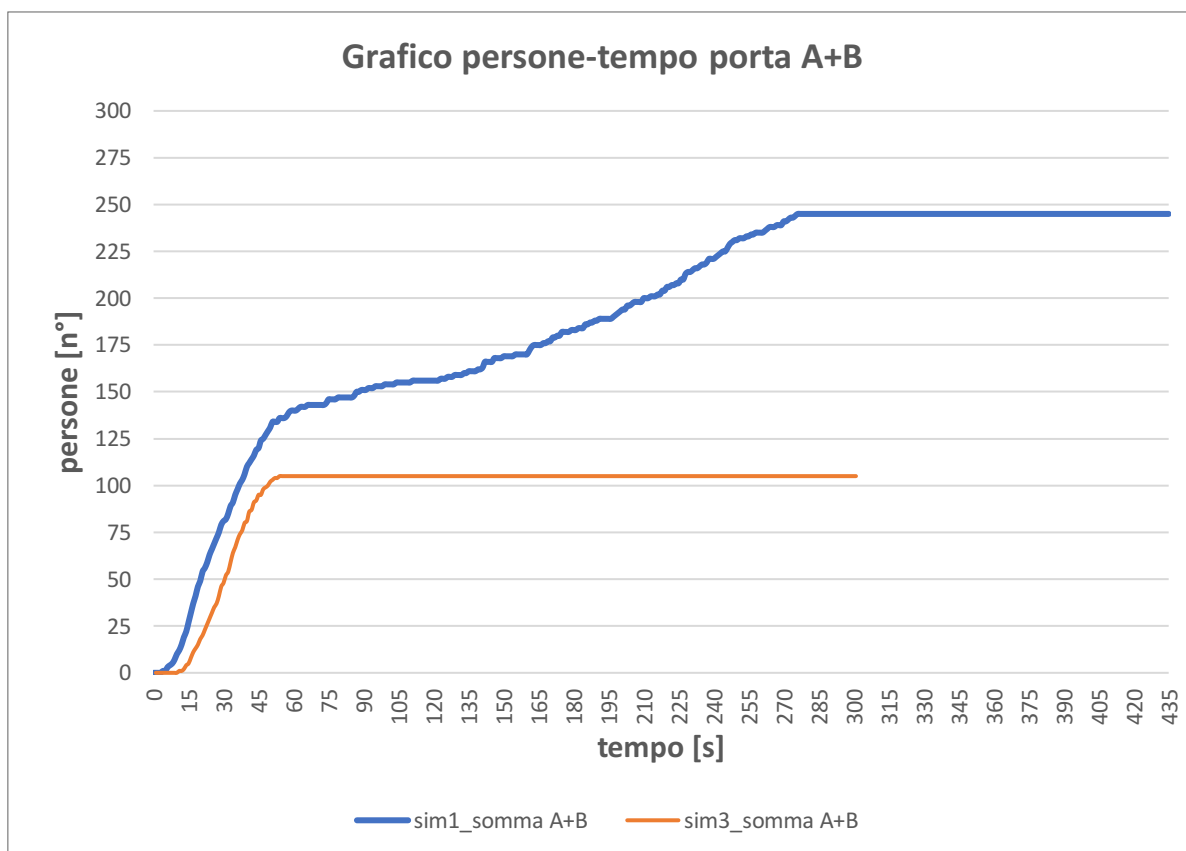


Figura 3–132: Scenario 3. Grafico di confronto occupanti/tempo riferito alla somma delle uscite A e B sul livello.

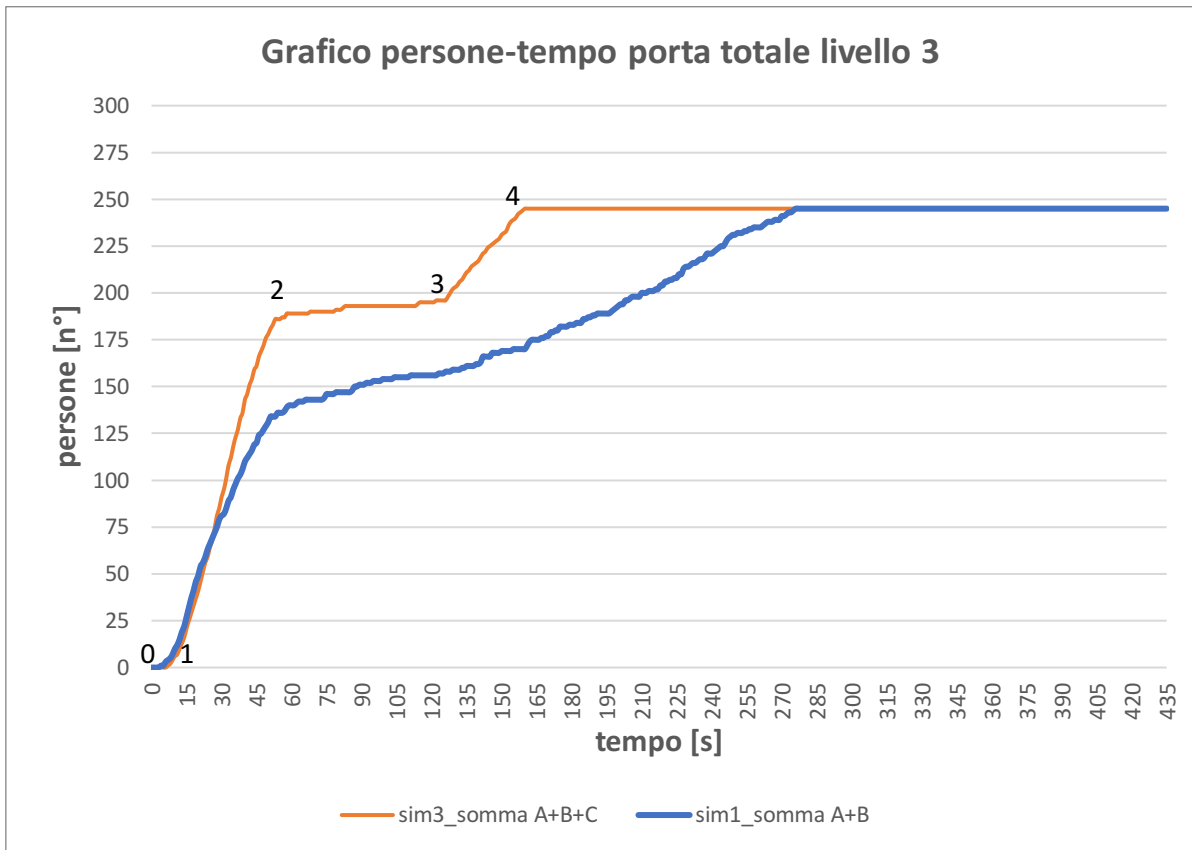


Figura 3–133: Scenario 3. Grafico di confronto occupanti/tempo riferito alla somma delle uscite A e B per la simulazione 1 e delle uscite A, B e C per la simulazione 3.

Dal confronto tra le simulazioni risulta che il corpo scala A Figura 3–129 *Figura 3–57* il numero di agenti del livello 3 che accedono al corpo scala A nella simulazione 1 è pari a 124 agenti mentre nella simulazione 3 è pari a 53 con una differenza pari a 71 agenti. Per quanto riguarda il tempo minimo e massimo impiegato per accedere al corpo scala A nella simulazione 1 è pari a 5,8 sec e 238,0 sec mentre nella simulazione 3 è pari a 9,5 sec. e 44,6 sec. La differenza sul tempo minimo di accesso al corpo scala A risulta presso che nulla mentre la variazione sul tempo massimo impiegato dall'ultimo agente ad accedere al corpo scala A è pari a 193,4 sec.

Dal confronto tra le simulazioni risulta che il corpo scala B Figura 3–130 il numero di agenti che accedono dal livello 3 al corpo scala B nella simulazione 1 è pari a 121 agenti mentre nella simulazione 3 è pari a 52 con una differenza pari a 69 agenti. Per quanto riguarda il tempo minimo e massimo impiegato per accedere al corpo scala B nella simulazione 1 è pari a 4 sec e 216,0 sec mentre nella simulazione 3 è pari a 12,9 sec e 49,45 sec, la differenza sul tempo minimo di accesso al corpo scala B risulta pari a 8,9 mentre in riferimento alla variazione sul tempo impiegato dall'ultimo agente ad accedere al corpo scala B è pari a 166,45 sec. Per quanto riguarda il corpo scala C Figura 3–131 il numero di agenti del livello 3 che utilizzano questo corpo scala è pari a 140 il tempo minimo impiegato per attraversarla è di 6,2 sec mentre il tempo massimo impiegato dall'ultimo agente presente nel livello 3 ad accedere a tale porta è di 154,05 sec. Per quanto riguarda il confronto tra le due simulazioni con riferimento alla somma degli agenti che accedono ai 2 corpi scala Figura 3–132 è possibile anche in questo caso individuare differenze in termini di utilizzo da parte degli agenti e in termini di tempi di accesso al corpo scala, in definitiva è possibile vedere dal grafico Figura 3–132 che il numero di agenti che accedono tramite i corpi scala A e B nella simulazione 1 sono pari 245 mentre nella simulazione 3 sono pari a 105 il tempo necessario affinché l'ultimo agente acceda dal livello ad uno

dei due corpi scala per la simulazione 1 è pari a 238,0 sec. mentre nella simulazione 3 è pari a 49,45 sec, la differenza in termini di agenti che utilizzano questi corpi scala è pari a 140 agenti mentre la differenza in termini di tempo massimo impiegato ad accedere ad uno dei due corpi scala è pari a 188,55 sec. In Figura 3-133 si rappresenta il processo di deflusso generale del piano, si rappresentano le curve del deflusso per la simulazione 1 che include l'uscita tramite i corpi scala A e B e il deflusso per la simulazione 3 che include l'uscita degli agenti tramite i corpi scala A B e C, dal grafico risulta che l'andamento è differente, le curve di deflusso hanno un andamento sovrapponibile solo per un breve tratto nelle fasi iniziali della simulazione. Con riferimento ai flussi considerati sempre in riferimento al valore 95% percentile sugli ingressi A e B i valori sono 1,19 (pp/s) e 1,05 (pp/s) mentre il flusso sul corpo scala C per la porta di uscita dal piano (Door_C_3_1 out) vale 0,91 (pp/s). Se si considera il flusso normalizzato rispetto alle larghezze sulle porte A e B (somma degli ingressi) i valori sono rispettivamente 0,50 (pp/s*I) per l'ingresso al corpo scala A e 0,88 (pers/s*I) per il corpo scala B il processo avviene in maniera simile per i corpi scala A e B, i coefficienti risultano bassi dovuto al basso numero di agenti che attraversano tali ingressi, per il corpo scala C i flussi normalizzati rispetto alla larghezza delle porte risulta 0,61 (pers/s*I) il valore di flusso sulla porta Door_C_3_1 in risulta più basso rispetto ai valori per i corpi scala A e B in quanto si creano attese all'ingresso della porte che ostacolano il deflusso oltre alla prevedibile presenza di agenti all'interno dei corpi scala che rallentano il flusso creando rallentamenti al processo di evacuazione. In sintesi è possibile riassumere i risultati tramite la Tabella 3-55 in cui vengono espressi per ogni porta quante persone utilizzano l'uscita, il tempo minimo e massimo che impiega il primo e l'ultimo agente del gruppo di riferimento a passare attraverso la porta presa in considerazione, il flusso definito come persone/secondi e il percentile al 95%, inoltre nella Tabella 3-56 Tabella 3-50 viene riportato il confronto sui tempi tra le 2 simulazioni effettuate. Ulteriore valutazione è possibile farla in riferimento alla pendenza dei tratti sulla curva di evacuazione che ingloba tutte le uscite sul piano (tratto giallo Figura 3-133). La curva può essere approssimata da 4 tratti, il tratto 0-1 ha un coefficiente angolare pari a 0 (alfa=0) (rapporto tra $(0-0) / (n^p) / 10-0(\text{sec})$), il tratto 1-2 ha un coefficiente angolare pari a 4,22 (alfa=76,69) (rapporto tra $(186) / (54-10)$), il tratto 2-3 ha un coefficiente angolare pari a 0,16 (alfa=9,33) (rapporto tra $(198-186) / (127-54)$), il tratto 3-4 ha un coefficiente angolare pari a 1,73 (alfa=60) (rapporto tra $(245-198) / (160-127)$), tale condizione sta a significare che per il primo tratto fino a 10 sec. la pendenza è nulla perché non arriva nessuno per via della distanza tra l'uscita e le persone nell'edificio il secondo tratto da 10 sec a 54 sec. la pendenza della curva è crescente ed è maggiore che nel resto del periodo preso in esame perché le condizioni idealmente sono migliori in termini di densità (in 44 sec escono 186 agenti), il terzo tratto tra 54 sec. e 127 sec. la pendenza è presso che nulla perché ci sono densità più elevate lungo i percorsi il flusso in questo tratto subisce un forte rallentamento tale condizione è stazionaria per circa 73 secondi, questo tratto sulla curva totale esprime le condizioni che si verificano all'ingresso del corpo scala C dove gli agenti risultano fermi a causa della coda che si è creata nel corpo scala C (in 73 sec escono 12 agenti) nell'ultimo tratto la pendenza torna a cresce gradualmente ma con un deflusso più lento rispetto al primo tratto (in 33 secondi escono 47 agenti) in questo arco di tempo attraversano la porta gli agenti che erano in coda. In generale dal grafico si riscontrano differenze sul deflusso tra le 2 simulazioni, se si considera le curve di evacuazioni delle 2 simulazioni queste presentano differenze, dalla rappresentazione grafica si notano forme diverse. La curva nella simulazione 1 può essere rappresentata d 2 tratti lineari con un primo tratto maggiore rispetto al secondo. Nella simulazione 3 la curva presenta un tratto iniziale a pendenza maggiore un tratto intermedio in cui il deflusso subisce un forte rallentamento e un tratto in cui il deflusso continua con una pendenza minore rispetto al primo tratto, il tutto si può tradurre con tempi di uscita dal livello diversi per le 2 simulazioni in particolare per la simulazione 3 è di 154,5 secondi mentre per la simulazione 1 vale 238,0 secondi.

Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Percentile 0,95	Total_Use (n°persone)	Flow (su ogni ingresso) (pers/s)		Flow (su ogni ingresso) (pers/s*I)		Flow (sulla porta) (pers/s)		Flow (sulla porta) (pers/s*I)	
					Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%
Door_A_3_1	26,4	45,2	44,6	15	0,33	0,34	0,28	0,28	1,17	1,19	0,49	0,50
Door_A_3_2	9,5	41,8	40	38	0,91	0,95	0,76	0,79				
Door_B_3_1	12,9	52,2	49,45	52	1,00	1,05	0,83	0,88	1,00	1,05	0,83	0,83
Door_C_1_2	6,2	159,6	154,05	140	0,88	0,91	0,59	0,61	0,88	0,91	0,59	0,61

Tabella 3-55: Tempi di evacuazione alle porte per il livello 3.

Door	Sim1 First_In (s)	Sim3 First_In (s)	Differenza First_In (Sim1-sim3)	Sim1 Last_Out (s)	Sim3 Last_Out (s)	Differenza Last_Out (Sim1-sim3)	Sim1 Percentile 0,95 (s)	Sim3 Percentile 0,95 (s)	Differenza Percentile 0,95 (Sim1-sim3)	Sim1 Total_Use (n °persone)	Sim3 Total_Use (n °persone)	Differenza Total_Use (Sim1-sim3)
Door_A_3_1	5,8	26,4	-20,6	217,7	45,2	172,5	202	44,6	157,4	71	15	56
Door_A_3_2	9,5	9,5	0	246,3	41,8	204,5	238	40	198	53	38	15
Door_B_3_1	4	12,9	-8,9	225	52,2	172,8	216	49,45	166,55	121	52	69
Door_C_1_2		6,2	-6,2		159,6	-159,6		154,05	-154,05		140	-140

Tabella 3-56: Confronto dei tempi di evacuazione alle porte per il livello 3 tra le simulazioni 1 e 3.

Nella Tabella 3-57 vengono riportati per il livello 3 i vari gruppi di agenti distinti per profilo e comportamento e il tempo impiegato per ciascun gruppo a raggiungere l'uscita dell'edificio distinti per tempo minimo e massimo. Si deduce che il tempo che impiega l'ultimo agente presente nel piano a raggiungere l'uscita è di 299,5sec che corrisponde al tempo necessario ad evacuare tutto l'edificio. Dal confronto dei tempi in Tabella 3-58 Tabella 3-52: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello 2 Tabella 3-46 si può notare che ci sono differenze tempi impiegati per uscire dall'edificio, i profili A_3_1, A_3_2, B_3_1 e B_3_2 raggiungo l'uscita dell'edificio in minor tempo nella simulazione 3 rispetto alla simulazione 1, in particolare la differenza di tempo con cui raggiungono l'uscita questi gruppi di agenti è pari rispettivamente a 121,0 secondi, 176,9 secondi, 137,1 secondi e 97,5 secondi; le differenze riscontrate sono dovute alle condizioni delle vie di esodo che li conducono all'uscita in particolare risulta che per gli agenti sul livello 3 l'utilizzo del corpo scala C e la riduzione degli agenti negli ingressi del corpo scala A e B favoriscano l'arrivo più veloce al livello 0 con percorsi meno affollati, più liberi e con code minori.

	Behavior	Profile	Count	Min	Max
livello 3	scala C_3	A_3_1	71	215,7	294,5
livello 3	scala A_3	A_3_2	53	143,7	257,1
livello 3	scala B_3	B_3_1	52	129,7	259,9
livello 3	scala C_3	B_3_2	69	214,8	299,5

Tabella 3-57: Tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello 3.

	Behavior Sim1/sim3	Profile	Sim 1 Count	Sim 3 Count	differe nza	Sim 1 Min	Sim 3 Min	Differenz a Min	Sim1 Max	Sim3 Max	Differenza max
livello 3	scala A_3 scala C_3	A_3_1	71	71	0	153	215,7	-62,7	415,5	294,5	121
livello 3	scala A_3 scala A_3	A_3_2	53	53	0	179,9	143,7	36,2	434	257,1	176,9
livello 3	scala B_3 scala B_3	B_3_1	121	52	69	146,4	129,7	16,7	397	259,9	137,1
livello 3	scala B_3 scala C_3	B_3_2		69	52		214,8	-68,4		299,5	97,5

Tabella 3-58: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello 3.

Dai risultati in output del software è stato possibile esportare una mappa definita “usage accumulated” in cui viene espresso in secondi quanto tempo vengono usati gli spazi con riferimento al tempo totale di simulazione. In Figura 3–134, si riporta la mappa per entrambe le simulazioni da cui si evince che a livello qualitativo nella simulazione 3 gli spazi antistanti gli ingressi in A e B sono meno utilizzati rispetto alla simulazione 1, ma per la simulazione 3 c’è l’utilizzo da parte degli agenti della zona antistante l’ingresso in C. Dalla mappa risulta che non si raggiungono livelli di utilizzo molto alti comunque inferiori a 100 sec.

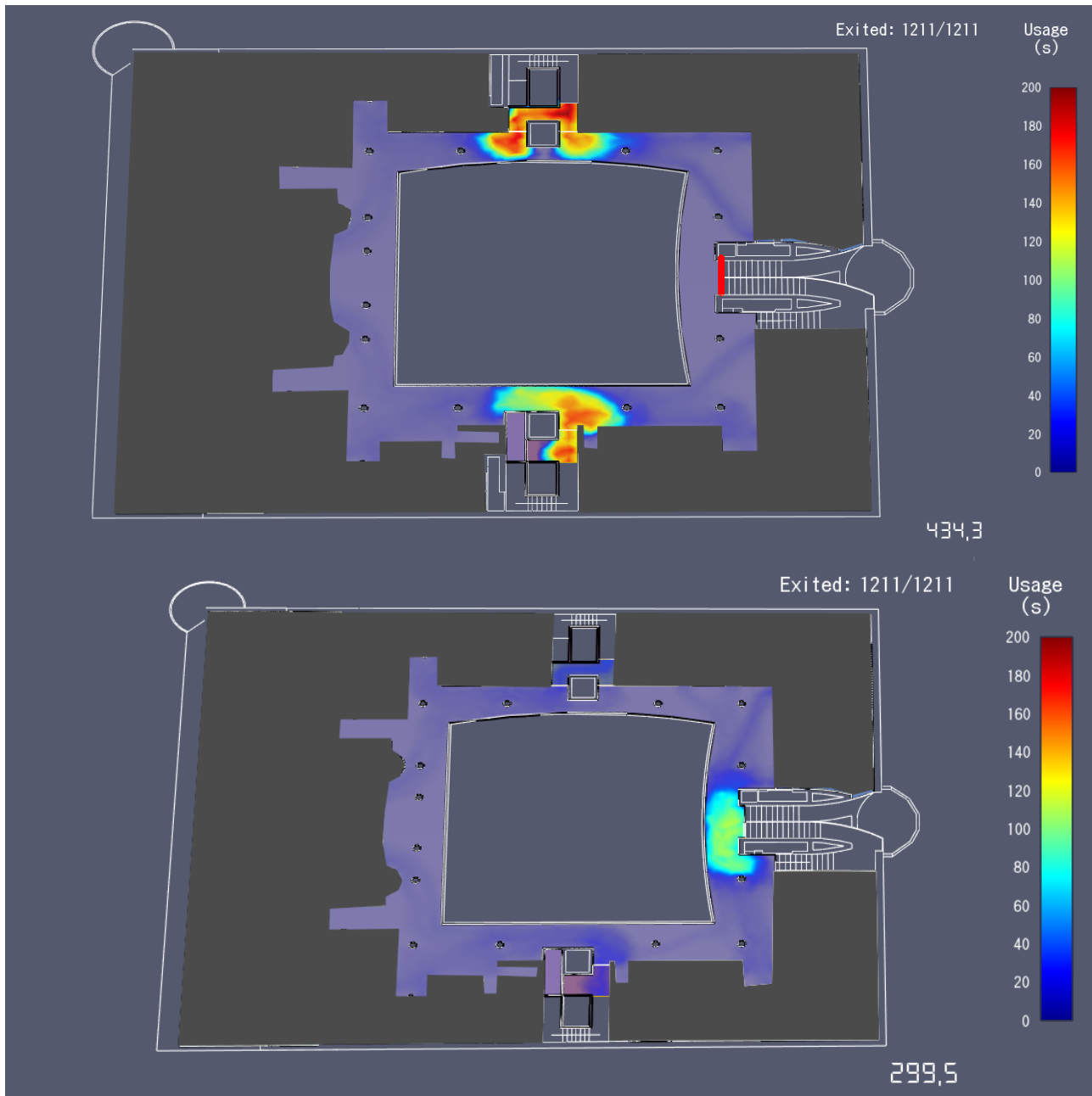


Figura 3–134: Scenario 3. Confronto della mappa di uso tra le simulazioni 1 e 3, effettuate per il livello 3.

L'ulteriore analisi svolta prende in considerazione i pianerottoli antistanti le porte prese in esame in cui si evidenzia il confronto con le due simulazioni effettuate in Figura 3-135 si analizzerà il pianerottolo definito come scala_A_3_1 relativo al pianerottolo del livello 3 per il corpo scala A da cui defluiscono gli agenti del livello in esame, in Figura 3-136 si analizzerà il pianerottolo definito scala_B_3_1 relativo al pianerottolo al livello 3 per il corpo scala B da cui defluiscono gli agenti del livello in esame.

Dal grafico Figura 3-135 si evince che per il pianerottolo scala_A_2_1 si ha una crescita lineare fino a raggiungere dopo 30 secondi un picco con una presenza contemporanea di agenti pari a 22 agenti, tale tratto si protrae per 10 secondi dopo il quale il numero di agente decresce linearmente fino a liberare totalmente il pianerottolo. Dal confronto delle 2 curve emergono delle differenze in termini di tempo impiegato dall'ultimo agente ad attraversare il pianerottolo che risultano minori nella simulazione 3, per quanto riguarda il livello di presenza contemporanea di agenti sul pianerottolo si raggiunge un livello massimo simile alla simulazione 1 ma tale condizione è transitoria nella simulazione 3, in particolare il tempo massimo impiegato dall'ultimo agente a liberare il pianerottolo è di 62,5 sec. ed il numero di utilizzatori è pari a 53 agenti nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il tempo massimo impiegato è pari a 301,5 sec. ed il numero di utilizzatori è pari a 124. Nella simulazione 3 si hanno condizioni di deflusso migliori in termini di velocità di deflusso dovuto ad un numero minori di agenti che utilizzano il corpo scala in esame. Per quanto riguarda il pianerottolo B_3_1 Figura 3-136 l'andamento è simile a quello del pianerottolo A_3_1 per la simulazione 3, il tempo impiegato dall'ultimo agente a lasciare il pianerottolo in esame è confrontabile ma le due curve raggiungono una presenza contemporanea di agenti differenti. In particolare per il pianerottolo in esame si raggiunge un tratto costante dopo 25 sec. in cui la presenza contemporanea di agenti oscilla tra 5 e 7 per un periodo di 25 secondi, negli istanti successivi la presenza contemporanea di agenti sul pianerottolo si riduce con il procedere dell'esodo fino al completo deflusso.

Dal confronto delle 2 curve nelle 2 simulazioni Figura 3-136 emergono differenze in termini di tempo impiegato dall'ultimo agente ad attraversare il pianerottolo che risultano minori nella simulazione 3 e per quanto riguarda il numero di agenti presenti contemporaneamente nel pianerottolo. In particolare il tempo massimo impiegato dall'ultimo a liberare il pianerottolo è di 61,6 sec. ed il numero di utilizzatori è pari a 52 agenti nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il tempo massimo impiegato è pari a 286,2 sec. ed il numero di utilizzatori è pari a 121. Nella simulazione 3 si hanno condizioni di deflusso migliori in termini di velocità di deflusso dovuto ad un numero minori di agenti che utilizzano il corpo scala in esame.

Nelle Figura 3-137 Figura 3-138 viene rappresentata attraverso mappe di calore il confronto delle densità nei secondi 25,50. Il confronto non è stato fatto su altri istanti in quanto il processo di evacuazione nella simulazione 3 si esaurisce dopo circa 159,6 secondi, mentre nella simulazione 1 in 246,3 secondi. In Figura 3-139 e Figura 3-140, viene rappresentata attraverso mappe di calore la densità nei secondi 80,150 secondi per la simulazione 3 per cogliere come si evolve il processo evacuativo nei periodi successivi i a quelli già considerati. Questo parametro indica istantaneamente il livello di densità presente in ogni spazio. Mediante questa rappresentazione è possibile visualizzare lo stato degli occupanti su tutto il piano, in particolare si farà riferimento ai punti significativi del grafico di deflusso sui pianerottoli antistanti le uscite, valutando le condizioni critiche che emergono dalla simulazione. Dalle analisi emerge come il limite massimo di densità nelle rappresentazioni è di $3\text{pp}/\text{m}^2$ tale limite è il massimo che il solutore ammette (non ammette mai densità superiori), condizioni inferiori a questo limite sono già critiche. Nelle condizioni critiche si configurano situazioni nelle quali la densità elevata di persone vengono a verificare fenomeni di spinta, schiacciamenti dovuto alla calca, cadute, in generale condizioni di pericolo per gli utilizzatori.

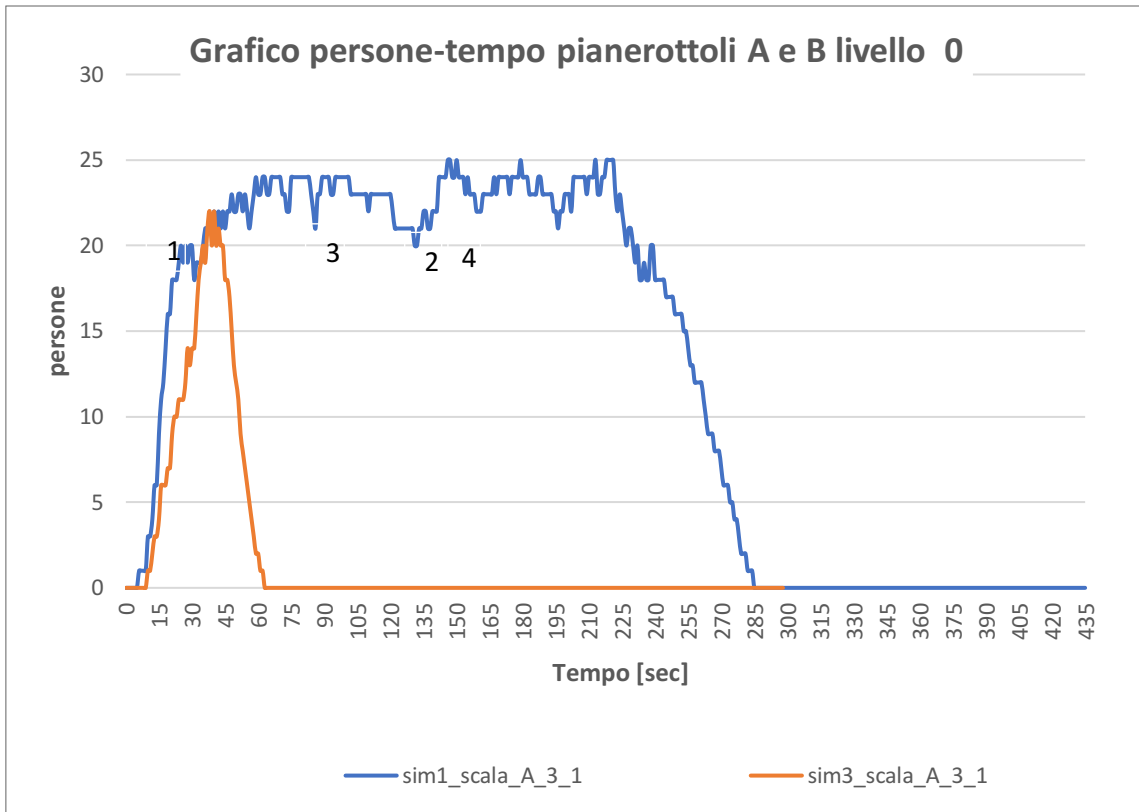


Figura 3–135: Scenario 3. Confronto curve occupanti/tempo relativo al pianerottolo antistante la porte del corpo scala A al livello 2.

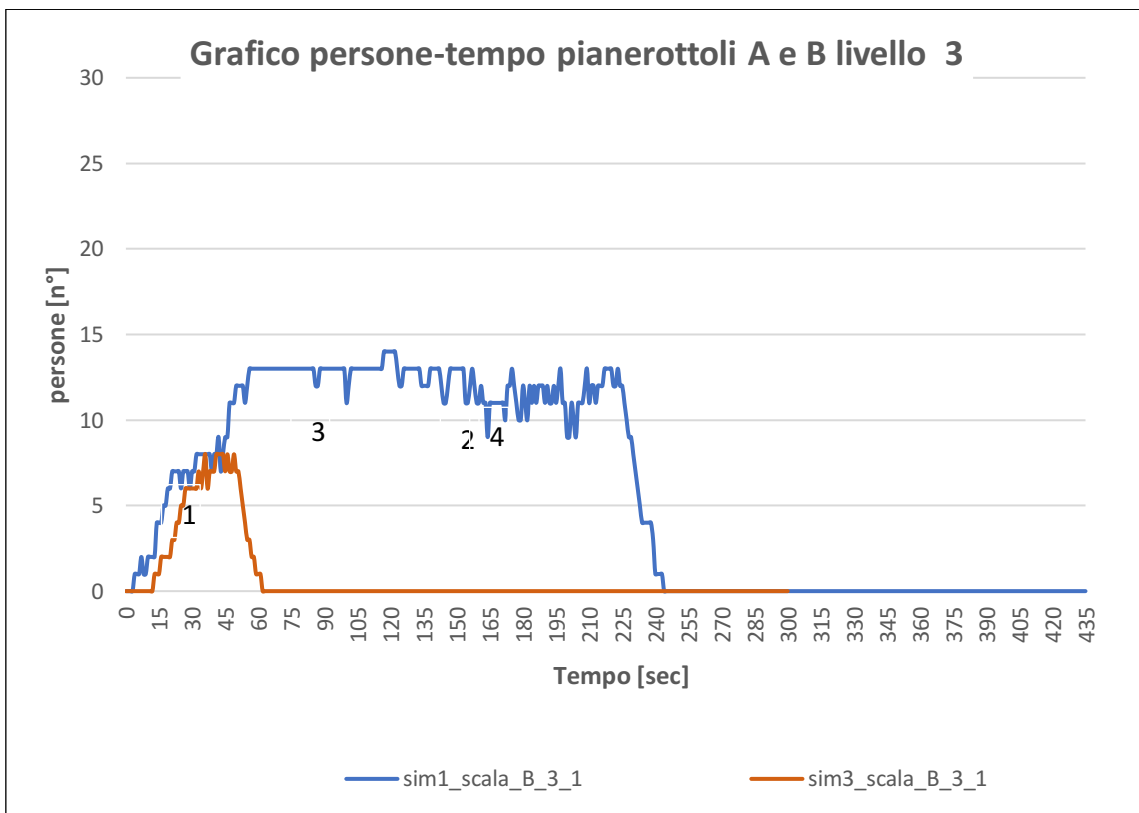


Figura 3–136: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti le porte del corpo scala A e B al livello 3.

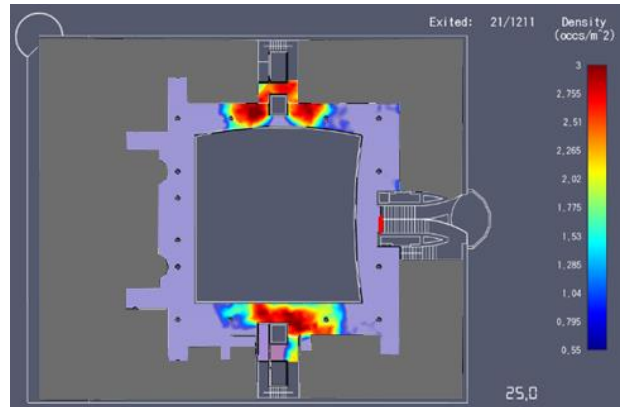


Figura 3–137: Scenario 3. Confronto tra le densità a 25 sec. per le simulazioni 1 e 3.

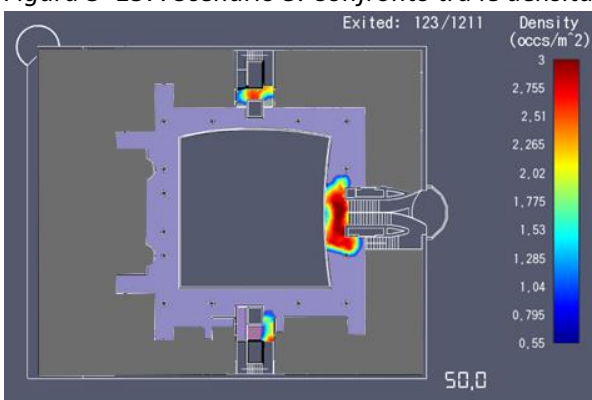


Figura 3–138: Scenario 3. Confronto tra le densità a 145 sec. per le simulazioni 1 e 3.



Figura 3–139: Scenario 3. Densità a 80 sec per le simulazioni 3.



Figura 3–140: Scenario 3. Densità a 150 sec. per le simulazioni 3.

Le immagini Figura 3-137 e Figura 3-138 rappresentano un fermo immagine della mappa di densità estrapolata dal software nei punti 1,2 del grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti le porte dei corpi scala al livello 3 e fanno riferimento al confronto tra le 2 simulazioni effettuate ai secondi 25,50 inoltre si riportano la mappa di densità ai secondi 80 e 150 Figura 3-139 e Figura 3-140 per la sola simulazione 3. In particolare all'istante di 25 sec. nelle 2 simulazioni si hanno differenze sostanziali in termini di densità, nello specifico nella simulazione 3 si ha una presenza di agenti inferiori in entrambi i pianerottoli A e B che porterà a densità inferiori rispetto alla simulazione 1 dove al contrario persistono condizioni di densità critiche per lunghi periodi di tempo. All'istante di 50 secondi per i 2 pianerottoli in esame le densità si attestano a valori bassi per la simulazione 3, in tale istante di tempo il processo di esodo è nel periodo di conclusione per i corpi scala A e B al contrario della simulazione 1 dove è visibile un processo di esodo ancora in condizioni critiche le condizioni di densità è presso che simmetrica tra i 2 corpi scala. Il confronto non è stato fatto su altri istanti in quanto il processo di evacuazione nella simulazione 3 per i pianerottolo in A e B si esaurisce dopo circa 70 secondi. Sono stati riportate le immagini della densità negli istanti 80 e 150 secondi per la simulazione 3 per cogliere come si evolve il processo evacuativo nei periodi successivi a quelli già considerati ed è possibile vedere come in adiacenza agli ingressi dei corpi scala A e B il processo di evacuazione dai 2 corpi scala è esaurito. Nelle immagini relative all'istante 25, 50, 80 e 150 secondi è possibile notare per la simulazione 3 la presenza di agenti nella zona antistante l'ingresso C sul livello 2 tale zona risulta a densità critica in quanto si viene a creare un'interferenza tra gli agenti che devono scendere al livello inferiore per raggiungere il livello 0, si vengono a creare code in prossimità dell'accesso alla scala, la condizione critica si verifica nelle fasi iniziali dell'evacuazione quando si crea un'assemblamento di agenti davanti l'ingresso che crea ostacolo al deflusso. Il processo di esodo per questo livello è condizionato dal numero di agenti del livello e dalla presenza di agenti che accedono al corpo scala nei piani inferiori. Nel periodo di tempo che va dagli istanti di 50 secondi a 125 secondi il deflusso subisce un arresto a causa della presenza di agenti che accedono ai vari livelli, agli istanti successivi il deflusso riprende in maniera costante e termina dopo 150 secondi, gli agenti in coda vanno a defluire progressivamente con il procedere dell'evacuazione in maniera costante con densità inferiori agli istanti iniziali ed è possibile notarlo nelle immagini riferiti ai secondi 80 e 150. Nella Tabella 3-59 si riportano in breve i tempi di utilizzo per ogni pianerottolo inteso come il tempo impiegato da un generico agente ad entrare in tale pianerottolo e il tempo massimo che impiega un agente ad uscire dallo stesso. Dal confronto dei tempi Tabella 3-60 *Tabella 3-54: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di deflusso dai pianerottoli per gli agenti del livello 1* si può notare che il deflusso dal pianerottolo in A si conclude dopo 62,5 secondi nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il deflusso si conclude in 284,3 secondi con una differenza di 221,8 secondi, il deflusso dal pianerottolo risulta più veloce per la simulazione 3 in quanto c'è una differenza di agenti che vi accedono nei corpi scala tra le 2 simulazioni, in particolare nella simulazione 3 utilizzano questo pianerottolo 53 agenti mentre nella simulazione 1 utilizzano questo pianerottolo 124 agenti con una differenza di 71 unità. Il deflusso dal pianerottolo in B si conclude dopo 61,6 secondi nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il deflusso avviene in 243,9 secondi con una differenza di 182,3 secondi, il deflusso dal pianerottolo risulta più veloce per la simulazione 3 in quanto c'è una differenza di agenti che utilizzano questo pianerottolo nelle 2 simulazioni, in particolare nella simulazione 3 utilizzano questo pianerottolo 52 agenti mentre nella simulazione 1 utilizzano questo pianerottolo 121 agenti con una differenza di 69 unità. In generale le condizioni di deflusso sono simmetriche tra i 2 corpi scala, la differenza di tempo nell'uscita dai 2 corpi scala nella simulazione 3 è di pochi secondi.

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Total_Use
scala_A_3_1	9,5	62,5	53
scala_B_3_1	12,9	61,6	52

Tabella 3-59: Tempi di deflusso dai pianerottoli per il livello 3.

Room	Sim1 First_In (s)	Sim3 First_In (s)	Differenza First_In (s)	Sim1 Last_Out (s)	Sim3 Last_Out (s)	Differenza First_out (s)	Sim1 Total_Use	Sim3 Total_Use	Differenza Total_Use
scala_A_3_1	5,8	9,5	-3,7	284,3	62,5	221,8	124	53	71
scala_B_3_1	4	12,9	-8,9	243,9	61,6	182,3	121	52	69

Tabella 3-60: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di deflusso dai pianerottoli per gli agenti del livello 3.

LIVELLO USCITA EDIFICIO

Per quanto riguarda l'analisi sul livello di uscita si farà riferimento alle porte: Door uscita principale, ossia la porta che collega l'edificio all'esterno dello stabile, inoltre si analizzerà i dati di output sulle Room: uscita_1 e uscita_2 che rappresentano i pianerottoli antistanti l'uscita dell'edificio. Nel seguente grafico Figura 3-141 si riporta l'analisi effettuata sul livello di uscita dall'edificio, nello specifico si analizzerà l'andamento di uscita delle persone nel tempo relativo alle porte definite Door_uscita principale, tale ingresso rappresenta il collegamento dell'edificio con l'esterno e conduce gli agenti di tutti i livelli nell'area sicura, in questa porta confluiscono tutti gli agenti presenti nell'edificio.

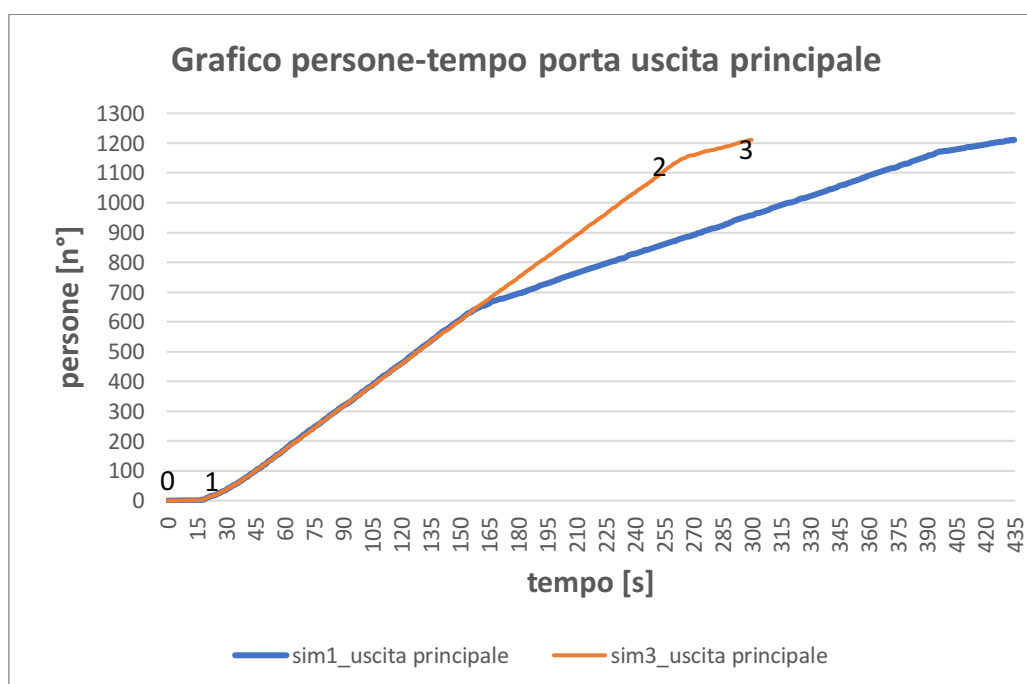


Figura 3-141: Scenario 3. Grafico confronto occupanti/tempo relativo alla porta di uscita dall'edificio.

Dal confronto tra le simulazioni Figura 3–141 risulta che il numero di agenti che attraversano tale l'uscita è pari a 1211 ovvero tutti gli agenti simulati nello scenario 3, per quanto riguarda il tempo minimo impiegato da un agente ad uscire è uguale per entrambe le simulazioni ed è pari a 5,8 secondi, corrisponde al tempo impiegato all'agente posto all'ingresso dell'edificio, mentre il tempo massimo impiegato ad attraversare l'uscita dall'ultimo agente nella simulazione 1 risulta pari a 435 sec. mentre nella simulazione 3 è pari a 300 sec. La differenza sul tempo massimo impiegato dall'ultimo agente ad uscire dall'edificio è pari a 135 sec. Ulteriore valutazione è possibile farla in riferimento alla pendenza dei tratti sulla curva di evacuazione per l'uscita (tratto arancio Figura 3–141). Si possono individuare 3 tratti, il tratto 0-1 ha un coefficiente angolare pari a 0 (alfa=0) (rapporto tra 0-0 (n°p)/ 20-0(sec) il tratto 1-2 ha un coefficiente angolare pari a 4,68 (alfa=77,93) (rapporto tra (1151)/(266-20)), il tratto 2-3 ha un coefficiente angolare pari a 1,76 (alfa=60,46) (rapporto tra (1211-1151)/(300-266)) tale condizione sta a significare che per il primo tratto fino a 20 sec. la pendenza è nulla, non arriva nessuno per via della distanza tra l'uscita e le persone nell'edificio il secondo tratto da 20 sec. e 266 sec. la pendenza è maggiore che nel resto e rimane tale per una buona parte dell'evacuazione, si riscontrano condizioni per cui il deflusso è costante, (in 246 sec escono 1151 agenti), nell'ultimo tratto la pendenza diminuisce (in 34 secondi escono 60 agenti) in questo arco di tempo raggiungono l'uscita i "ritardatari" ovvero gli agenti che erano in coda con i tempi di attesa più alti e comunque che si trovavano a distanze maggiori dall'uscita. Il flusso attraverso la porta risulta costante nell'arco della simulazione, l'andamento dell'uscita è presso che lineare per tutto il periodo di simulazione al contrario della simulazione 1 dove la curva presenta 2 tratti a pendenze differenze, un primo tratto fino a circa 165 secondi dove le condizioni sono uguali nelle 2 simulazioni, negli istanti successivi il deflusso prosegue in modo differente, mentre per la simulazione 3 il deflusso continua linearmente a pendenza costante nella simulazione 1 si verifica una condizione di rallentamento nell'uscita degli agenti influenzate dalle condizioni di densità nei percorsi di esodo. In generale dal confronto sull'uscita dell'edificio risulta che nella simulazione 3 l'esodo risulta più veloce con un guadagno in termini di tempi di uscita dall'edificio quantificati in 135 secondi. In sintesi è possibile riassumere i risultati tramite la Tabella 3-61 in cui viene espressa per la porta quante persone utilizzano l'uscita, il tempo minimo e massimo che impiega il primo e l'ultimo agente del gruppo di riferimento a passare attraverso la porta presa in considerazione, il flusso definito come persone/secondi e il percentile al 95%, inoltre nella Tabella 3-62 viene riportato il confronto sui tempi tra le 2 simulazioni effettuate. Dal confronto dei tempi in Tabella 3-62 *Tabella 3-52: Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di evacuazione dall'edificio per gli agenti del livello 2* Tabella 3-46 si può notare che ci sono differenze tempi impiegati per uscire dall'edificio in particolare l'ultimo agente raggiunge l'uscita dell'edificio in minor tempo nella simulazione 3 in particolare in 266 secondi se si considera il percentile al 95% mentre nella simulazione 1 l'ultimo agente raggiunge l'uscita in 387,7 secondi le differenze sono dovute essenzialmente alle differenti condizioni delle vie di esodo che li conducono all'uscita.

Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Percentile 0,95	Total_Use (n°persone)	Flow (su ogni ingresso) (pers/s)		Flow (su ogni ingresso) (pers/s*I)		Flow (sulla porta) (pers/s)		Flow (sulla porta) (pers/s*I)	
					Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%
Door_C_1_2	5,8	299,5	266	1211	4,04	4,55	1,24	1,39	4,04	4,55	1,24	1,39

Tabella 3-61: Tempi di evacuazione sull' uscita dall'edificio.

Door	Sim1 First_In (s)	Sim3 First_In (s)	Differenza First_In (Sim1-sim3)	Sim1 Last_Out (s)	Sim3 Last_Out (s)	Differenza Last_Out (Sim1-sim3)	Sim1 Percentile 0,95 (s)	Sim3 Percentile 0,95 (s)	Differenza Percentile 0,95 (Sim1-sim3)	Sim1 Total_Use (n °persone)	Sim3 Total_Use (n °persone)	Differenza Total_Use (Sim1-sim3)
Uscita_edificio	5,8	5,8	0	434,0	299,5	134,5	387,7	266	121,7	1211	1211	0

Tabella 3-62: Confronto dei tempi di evacuazione sull'uscita dall'edificio tra le simulazioni 1 e 3.

Dai risultati in output del software è stato possibile esportare una mappa definita “usage accumulated” in cui viene espresso in secondi quanto tempo vengono usati gli spazi con riferimento al tempo totale di simulazione. In Figura 3–142, si riporta la mappa per entrambe le simulazioni da cui si evince che a livello qualitativo nella simulazione 3 gli spazi antistanti l’ingresso alla rampa che conduce all’uscita risultano con un tempo di utilizzo maggiore e un’area più estesa rispetto alla simulazione 1, le zone con livello di utilizzo maggiore implicano agenti in coda con tempi di attesa maggiore per l’attraversamento della porta.

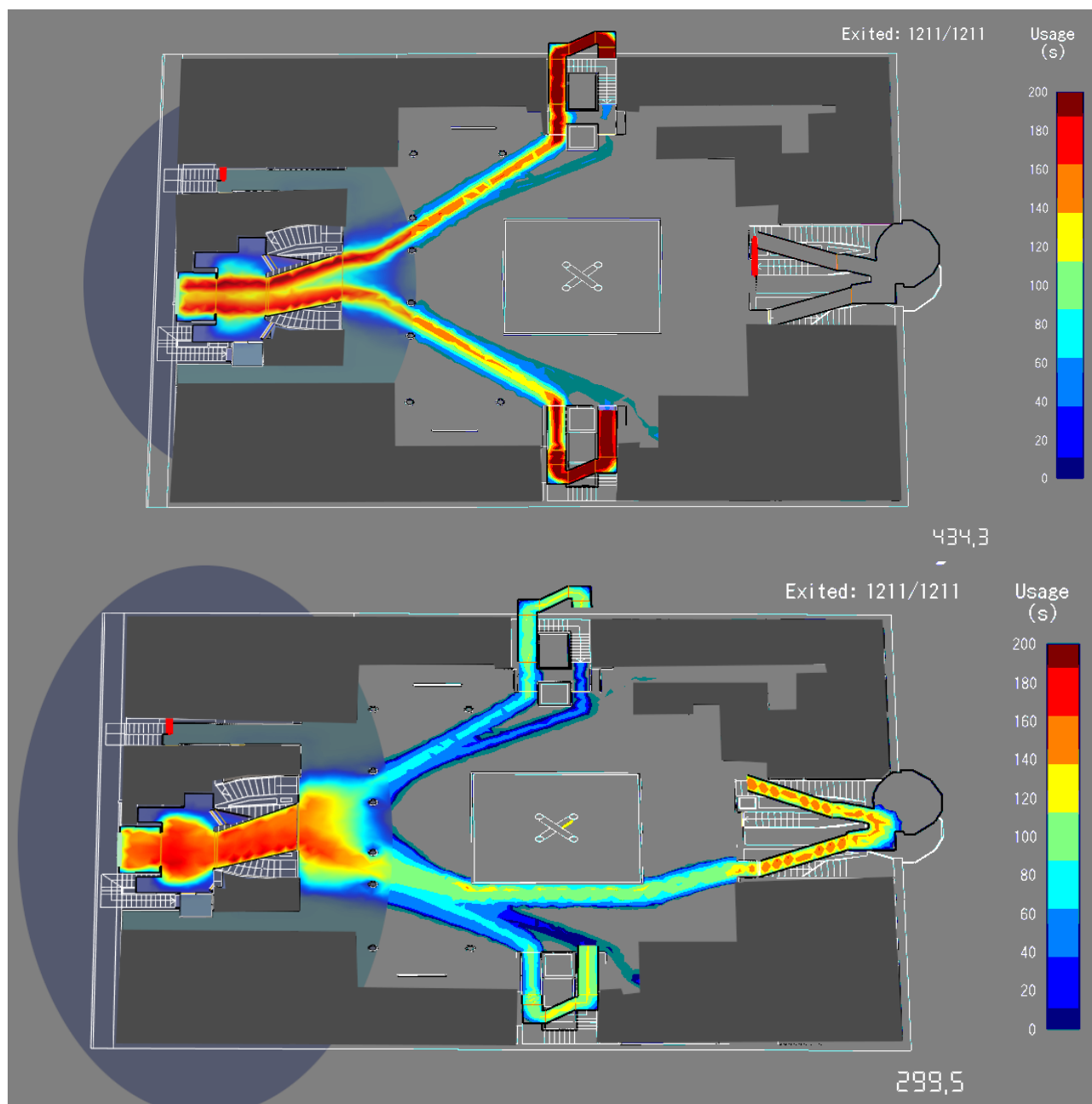


Figura 3–142: Scenario 3. Confronto della mappa di uso tra le simulazioni 1 e 3, effettuata per il livello di uscita.

L'ulteriore analisi svolta prende in considerazione i pianerottoli antistanti la porta di uscita principale in cui si evidenzia il confronto con le due simulazioni effettuate, in Figura 3-143 si analizzerà il pianerottolo definito come uscita_1, rappresenta il pianerottolo di collegamento con il corpo scala F questo pianerottolo accoglie gli agenti provenienti dal livello -1 mediante le 2 rampe F*_1 e F_-1 e dal livello 0 mediante la rampa F_0. in Figura 3-144 *Figura 3-68* si analizzerà il pianerottolo definito come uscita_2 ovvero il pianerottolo di collegamento tra il pianerottolo uscita_1 e la porta di uscita dall'edificio, in questi 2 pianerottoli convergono gli agenti provenienti da tutti piani dell'edificio. Dal grafico in Figura 3-143 si evince che per il pianerottolo uscita_1 si raggiunge un valore costante della curva dopo circa 50 secondi con un numero di agenti presenti contemporaneamente che oscilla tra 53 a 63 unità, questo tratto presso che costante dura circa 50 secondi dopo il quale si raggiunge un livello costante di presenza contemporanea di agenti minore compresi tra 30 e 40 unità tratto che dura fino a circa 250 sec. negli istanti successivi si riduce progressivamente raggiungendo un altro tratto costante con una presenza di agenti che oscilla tra 3 e 5 agenti che va dagli istanti 265 a 295 secondi, il deflusso totale si ha dopo 300 secondi. Il valore di picco alto si giustifica dalla possibilità del pianerottolo di farvi accedere molti agenti contemporaneamente nei primi istanti dell'evacuazione questo pianerottolo raccoglie gli agenti provenienti dal piano inferiore attraverso le rampe F_-1_1 e F*_1_1 oltre quelli provenienti dal livello 0 e quelli provenienti dal piano inferiori attraverso i corpi scala A e B. Dal confronto delle 2 curve emergono delle differenze in termini di tempo impiegato dall'ultimo agente ad attraversare il pianerottolo che risultano minori nella simulazione 3 e per quanto riguarda il livello di presenza contemporanea di agenti sul pianerottolo, dal grafico si può verificare una parziale sovrapposizione delle curve fino a circa 140 secondi dopo di che è possibile notare che nella simulazione 3 la presenza contemporanea di agenti sul pianerottolo rimane costante attestandosi su un numero di agenti compresi tra 35 e 40 mentre nella simulazione 1 negli stessi istanti di tempo la presenza di agenti si è compresa tra un range di 4 e 5 unità, un ulteriore tratto in cui c'è una sovrapposizione si ha negli istanti compresi tra 265 e 295 secondi corrispondente ad un tratto prima del deflusso completo dell'edificio nella simulazione 3. In particolare il tempo massimo impiegato dall'ultimo agente a liberare il pianerottolo è di 297,6 sec ed il numero di utilizzatori è pari a 1211 agenti nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il tempo massimo impiegato è pari 432,2 sec. ed il numero di utilizzatori è pari a 1211. Nella simulazione 3 si hanno condizioni di deflusso migliori in termini di velocità. Per quanto riguarda il pianerottolo uscita_2 *Figura 3-144* si raggiunge il valore costante dopo circa 40 secondi, la presenza di agenti risulta compresa in un range tra 14 e 16, tale livello risulta costante fino a circa 260 sec negli istanti successivi si riduce progressivamente raggiungendo un altro tratto costante con una presenza di agenti che oscilla tra 2 e 4 agenti per un breve periodo da circa 270 a 295 secondi. Dal confronto delle 2 curve emergono delle differenze in termini di tempo impiegato dall'ultimo agente ad attraversare il pianerottolo che risultano minori nella simulazione 3 e per quanto riguarda il livello di presenza contemporanea di agenti sul pianerottolo, dal grafico si può verificare una parziale sovrapposizione delle curve fino a circa 160 secondi dopo di che è possibile notare che nella simulazione 3 la presenza contemporanea di agenti sul pianerottolo rimane costante attestandosi su un numero di agenti compresi tra 14 e 16 mentre nella simulazione 1 negli stessi istanti di tempo la presenza di agenti è compresa tra un range di 2 e 6 unità, un ulteriore tratto in cui c'è una sovrapposizione si ha negli istanti compresi tra 270 e 295 secondi corrispondente ad un tratto prima del deflusso completo dell'edificio, in particolare il tempo massimo impiegato dall'ultimo agente a liberare il pianerottolo è di 299,5 sec ed il numero di utilizzatori è pari a 1211 agenti nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il tempo massimo impiegato è pari 434 sec ed il numero di utilizzatori è pari a 1211. Nella simulazione 3 si hanno condizioni di deflusso migliori in termini di velocità, si viene a creare nei pianerottoli antistanti l'uscita una sovrapposizione dei flussi degli agenti che crea una congestione lungo la via di esodo, una volta smaltita un primo volume di agenti che risulta essere i più vicini all'uscita e che raggiungono l'uscita per primi l'esodo sui pianerottoli procede con livelli di densità alti, il flusso continua in maniera costante fino alla fine dell'esodo. Nelle *Figura 3-145*, *Figura 3-146*, *Figura 3-147* e *Figura 3-148* viene rappresentata attraverso mappe di calore la densità nei secondi 45, 95, 110 e 140. Questo parametro indica istantaneamente il livello di densità presente in ogni spazio. Mediante questa rappresentazione è

possibile visualizzare lo stato degli occupanti su tutto il piano, in particolare si farà riferimento ai punti significativi del grafico di deflusso sui pianerottoli antistanti le uscite, valutando le condizioni critiche che emergono dalla simulazione. Dalle analisi emerge come il limite massimo di densità nelle rappresentazioni è di $3\text{pp}/\text{m}^2$ tale limite è il massimo che il solutore ammette (non ammette mai densità superiori), condizioni inferiori a questo limite sono già critiche. Nelle condizioni critiche si configurano situazioni nelle quali la densità elevata di persone vengono a verificare fenomeni di spinta, schiacciamenti dovuto alla calca, cadute, in generale condizioni di pericolo per gli utilizzatori.

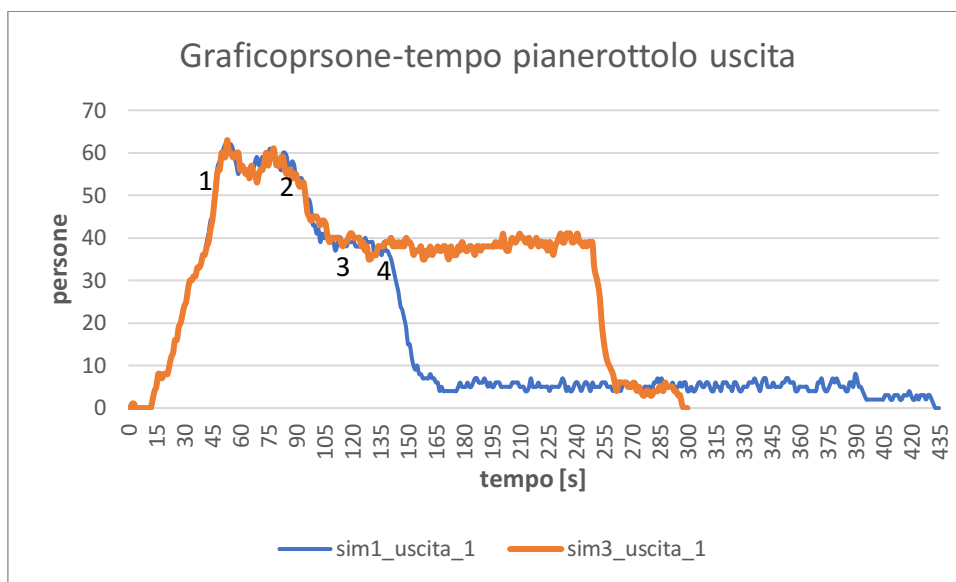


Figura 3–143: Scenario 3. Confronto curve occupanti/tempo relativo al pianerottolo antistante la porta di uscita dall’edificio.

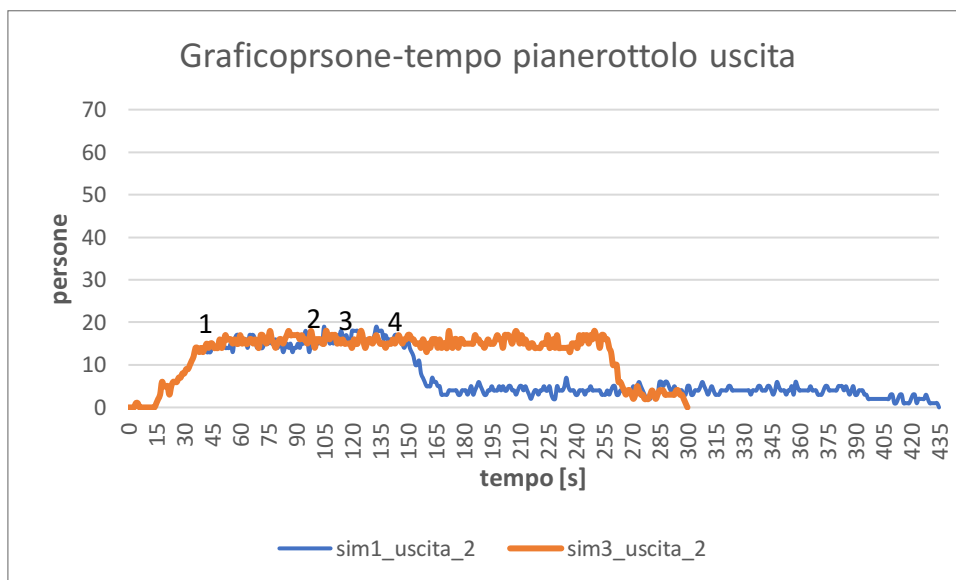


Figura 3–144: Scenario 1. Grafico occupanti/tempo relativo al pianerottolo antistante la porta di uscita dall’edificio.

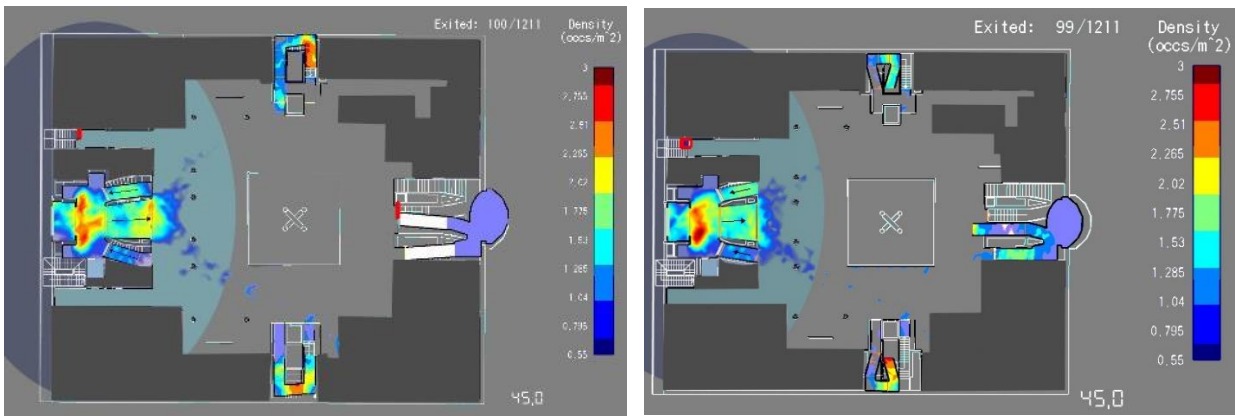


Figura 3–145: Scenario 3. Confronto tra le densità a 45 sec. per le simulazioni 1 e 3.

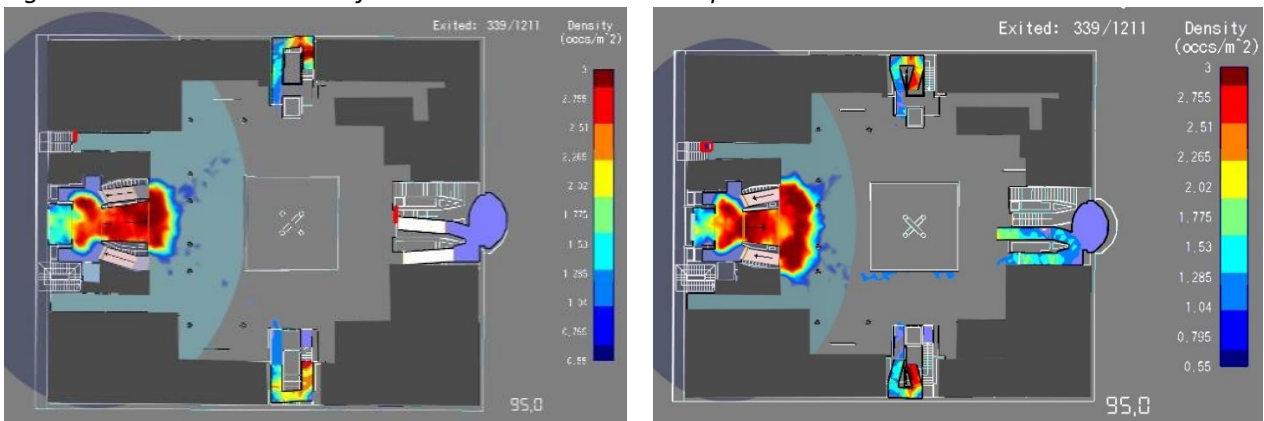


Figura 3–146: Scenario 3. Confronto tra le densità a 95 sec. per le simulazioni 1 e 3.

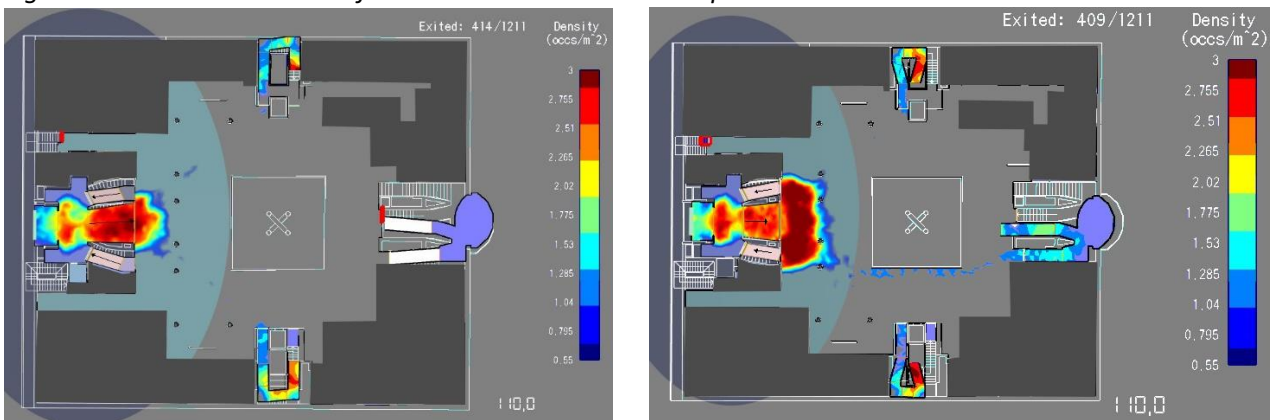


Figura 3–147: Scenario 3. Confronto tra le densità a 110 sec. per le simulazioni 1 e 3.

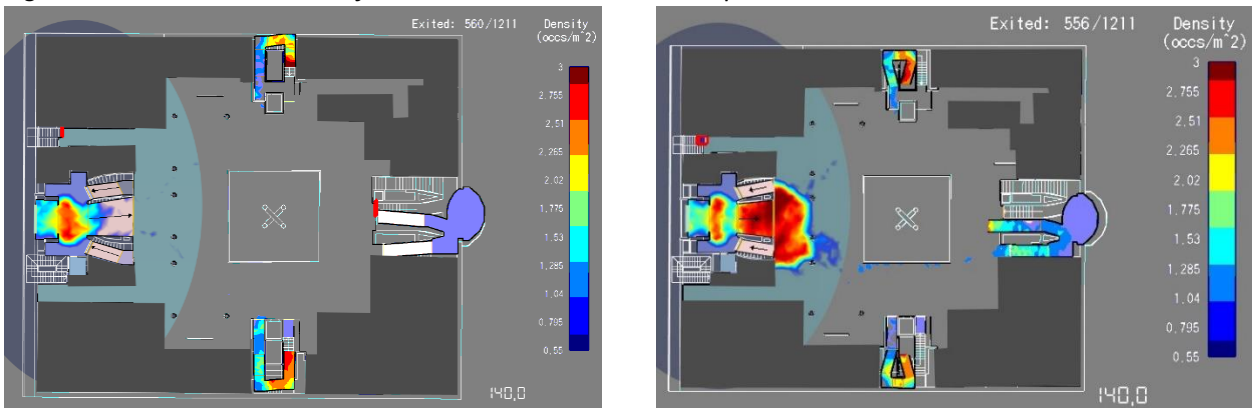


Figura 3–148: Scenario 3. Confronto tra le densità a 140 sec. per le simulazioni 1 e 3.

Le figure rappresentano un fermo immagine della mappa di densità estrapolata dal software nei punti 1, 2, 3 e 4 del grafico occupanti/tempo relativo ai pianerottoli antistanti le porte dei corpi scala al livello di uscita dell'edificio e fanno riferimento al confronto tra le 2 simulazioni effettuate ai secondi 45, 95, 110 e 140. In particolare all'istante di 45 sec. Nelle 2 simulazioni non si hanno differenze sostanziali in termini di densità, le condizioni sono presso che simili nei 2 pianerottoli in esame, lungo la rampa del corpo scala F_0 e nella zona di accesso alla rampa sul livello 0, gli agenti che raggiungono l'uscita nelle prime fasi dell'evacuazione riescono ad uscire più velocemente in quanto si non vengono a creare ostruzioni lungo i percorsi. Dagli istanti successivi a 45 secondi si viene a creare sul pianerottolo uscita_1 livelli di densità critica, questo pianerottolo raccoglie gli agenti che provengono dal livello 0 (agenti dei piani superiori e inferiori che escono dalle uscite dei corpi scala A e B e nella simulazione 3 anche dal corpo scala C) e quelli proveniente dal piano inferiori (agenti che utilizzando le scale F_-1 e F*_-1) si crea una sovrapposizione tra i flussi degli occupanti dei vari piani che sono indirizzati verso l'unica uscita. La differenza in questi istanti di tempo in termini di densità sui 2 pianerottoli in esame è presso che nulla ma nella simulazione 3 già a partire da 65 secondi si sviluppa un'area maggiore di agenti in coda sull'ingresso al corpo scala F sul livello 0 in quanto con la soluzione adottata di utilizzo del corpo scala C come via di evacuazione si riduce il tempo impiegato dagli agenti ai vari livelli di raggiungere il livello 0. All'istante 110 le condizioni di densità sono simili per entrambe le simulazioni sui pianerottoli in esame e sulla rampa che risultano inferiori alla prima parte della simulazione ma si riscontrano differenze sull'area antistante la rampa sul livello 0, nella simulazione 1 in questa zona si presenta un'area di agenti in coda limitata in condizioni di densità non critiche al contrario della simulazione 3 dove l'area risulta visivamente più estesa e con condizioni di densità critiche. All'istante 140 secondi le condizioni di densità sono simili per entrambe le simulazioni sui pianerottoli in esame ma si riscontrano differenze sulla rampa che conduce al livello 0 e l'area antistante la rampa sul livello 0. Nella simulazione 1 le zone in questione si presentano presso che libere il deflusso procede in modo costante con bassi livelli di densità dopo le condizioni più critiche che si verificavano nelle fasi iniziali dell'evacuazione mentre nella simulazione 3 persistono le condizioni viste all'istante 110 con densità alte sulla rampa e densità critiche sulla zona adiacente l'accesso alla rampa, tale condizione si protrae fino a circa 230 secondi fino quando l'area in cui gli agenti sono in coda sul livello 0 viene smaltita. In generale possiamo dire che per la simulazione 3 si vengono a creare code in prossimità dell'uscita che interessano la rampa che conduce al livello 0 e l'ingresso antistante la rampa sul livello 0, si vengono a creare interazioni tra agenti che impediscono un deflusso veloce in quanto con la soluzione adottata dell'utilizzo del corpo scala C gli agenti raggiungono in minor tempo il livello 0. Nella simulazione 3 la condizione per cui gli agenti raggiungono il livello 0 in tempi minori crea un'area di agenti in coda sul percorso che conduce all'uscita, la condizione risulta critica in quanto si hanno densità elevate, si vengono a creare interazioni tra agenti che possono creare fenomeni di congestione e sovraffollamento con possibili pericoli per gli utilizzatori. A fronte di queste condizioni si ottengono tempi di evacuazione inferiori nella simulazione 3 rispetto alla simulazione 1. L'arrivo sul livello 0 degli agenti presenti ai piani superiori nella simulazione 1 è più lento, l'arrivo sul livello 0 era dilazionato in un arco di tempo maggiore e le condizioni peggiori si riscontravano nei vari livelli all'ingresso dei corpi scala A e B utilizzati come vie di fuga. Nella Tabella 3-63 si riportano in breve i tempi di utilizzo per ogni pianerottolo inteso come il tempo impiegato da un generico agente ad entrare in tale pianerottolo e il tempo massimo che impiega un agente ad uscire dallo stesso. Dal confronto dei tempi Tabella 3-64 Tabella 3-54: *Confronto tra le simulazioni 1 e 3 dei tempi di deflusso dai pianerottoli per gli agenti del livello 1* si può notare che il deflusso dal pianerottolo uscita_1 si conclude dopo 297,6 secondi nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il deflusso avviene in 432,2 secondi con una differenza di 134,6 secondi, il deflusso dal pianerottolo risulta più veloce per la simulazione 3. Il deflusso dal pianerottolo uscita_2 si conclude dopo 299,5 secondi nella simulazione 3 mentre nella simulazione 1 il deflusso avviene in 434 secondi con una differenza di 134,5 secondi.

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Total_Use
uscita_1	1,2	297,6	1211
uscita_2	3,9	299,5	1211

Tabella 3-63: Tempi di evacuazione dai pianerottoli per il livello di uscita.

Room	Sim1 First_In (s)	Sim3 First_In (s)	Differenza First_In (s)	Sim1 Last_Out (s)	Sim3 Last_Out (s)	Differenza First_out (s)	Sim1 Total_Use	Sim3 Total_Use	Differenza Total_Use
uscita_1	1,2	1,2	0	432,2	297,6	134,6	1211	1211	0
uscita_2	3,9	3,9	0	434	299,5	134,5	1211	1211	0

Tabella 3-64: Confronto tra simulazioni 1 e 3 dei tempi di deflusso dai pianerottoli del livello di uscita.

In allegato si riportano i valori riassuntivi dei dati in output per le porte e le room su cui si è fatto riferimento per le analisi dei tempi, per la simulazione 3.

3.4. DISCUSSIONE RISULTATI

Il processo di valutazione delle strategie di esodo sono partite in un primo step analizzando e valutando l'evacuazione secondo la strategie presenti nel piano di evacuazione, un secondo step a previsto l'analisi e la modellazione comportamentale di personale addetto a svolgere funzioni particolari in condizioni di evacuazione ed un terzo step in cui si è valutata la risposta all'evacuazione utilizzando un percorso alternativo.

SIMULAZIONE 1

Dalla simulazione 1 (applicazione di strategie di esodo proposte dalla normativa) sono emerse diverse criticità:

- lo scenario simulato prevede l'utilizzo dei corpi scala protetti, essendo incentrato su una strategia di contrasto ad un evento di incendio. In tale condizione risulta necessario allontanare quanto prima gli occupanti dagli spazi al piano soggetti al fenomeno di incendi, preferendo il passaggio delle persone all'interno di spazi appunto protetti da esso. Tuttavia, se da un lato la strategia tutela nel breve periodo le persone dall'interazione locale con fumi e calori, il deflusso dai corpi scala protetti per i livelli 1, 2 e 3 è rallentato dalla presenza di elevate densità di agenti ai vari livelli. Le code e relativi tempi di attesa maggiori si verificano all'ingresso dei pianerottoli ai livelli più alti (livello 2 e 3), poiché essi sono rallentati dal movimento contemporaneo degli agenti posti ai piani più bassi. In termini di tempi, si ritiene utile ricordare che l'evacuazione termina dopo 387,7 secondi prendendo in riferimento il valore al 95% percentile, se si considera l'intera popolazione simulate l'esodo termina dopo 435 secondi.
- In particolare, per quanto riguarda la DENSITÀ di evacuanti lungo i percorsi, dall'analisi dei risultati in termini di densità è emerso che i corpi scala protetti presentano per tutto il periodo di simulazione densità elevate anche nelle zone antistanti gli ingressi dei corpi scala dove si registrano code con tempi di attesa elevati per accedervi. Il tempo massimo di attesa è presente al livello 2, data l'intersezione tra agenti in uscita, agenti provenienti dal livello 3 e agenti in deflusso dal livello 1 (il tempo di attesa per l'uscita dal livello 2 è circa 4 volte tanto quello del livello -1, in cui gli agenti non subiscono l'intersezione con altri flussi lungo le scale protette). Parimenti, le elevate densità raggiunte (oltre 2.5-3 persone/mq) vanno a creare interazione tra gli agenti creando possibili condizioni di pericolo per gli utilizzatori (es.: contatti, spinte, traumi da caduta in caso di soggetti vulnerabili).
- Altra zona critica che si crea durante la simulazione risulta essere quella prima della scala di collegamento tra il livello 0 e l'uscita dell'edificio. La condizione di densità elevata in questa area, durante tutto il tempo di simulazione, è accentuata dal fatto che gli agenti si trovano a passare da un percorso con sezione "libera" (sul livello 0), ovvero senza limiti di larghezza, a un restringimento del percorso della via di esodo (la larghezza della rampa è di 4,50 nella parte alta e 3,60 metri nella parte bassa): tale restringimento della sezione della via di fuga porta ad un fenomeno di "collo di bottiglia". Qui, pertanto, si crea una riduzione del flusso rispetto alle condizioni ottimali che nel processo di esodo porta a creare delle code ed aumentare il tempo complessivo dell'evacuazione.
- Inoltre, nei pianerottoli antistanti l'uscita, sulla scala che conduce dal livello 0 all'uscita e nella zona di ingresso a tale scala sul livello 0, si viene a creare una zona a densità critica

per i primi 150 secondi della simulazione in quanto hanno raggiunto l'uscita gli agenti più vicini all'uscita e sono quelli del livello -1 e 0. In questo caso la zona analizzata vede infatti il movimento sincrono degli occupanti di questi livelli. La densità raggiunta è compatibile con i valori che permettono la massimizzazione del deflusso, sebbene potenzialmente critica (>2persone/mq) per i contatti e le spinte tra gli evacuanti.

SIMULAZIONE 2

La simulazione 2 ha previsto la simulazione del comportamento di 6 agenti addetti previsti nel piano di evacuazione al quale sono state affidate funzioni specifiche in caso di emergenza.

- **TEMPI:** Dall'analisi effettuata risulta che in termini globali l'esodo incrementa di circa il 20% rispetto alla simulazione 1 (ultimo evacuante uscito), mentre non cambia al 95° percentile di evacuanti. Infatti, a livello globale, le azioni simulate per i diversi addetti non influiscono sui flussi all'uscita degli altri agenti evacuanti (ovvero altri addetti senza mansioni specifiche nell'emergenza e visitatori dell'edificio): le curve di esodo che rappresentano il flusso all'uscita dell'edificio risultano sovrapponibili (in entrambe i casi, l'ultimo evacuante, e il tempo di differenza dell'ultimo evacuante resta di 390s circa, mentre oltre tale limite sono collocati i tempi di uscita degli agenti che si occupano di controllare che lo stabile sia completamente evacuato. Essi, infatti, hanno un percorso più lungo rispetto a quello minimo e diretto all'uscita, muovendosi a zig zag attraverso tutti i livelli..
- **DENSITÀ:** Le condizioni di densità lungo i percorsi risultano simili a quelle della simulazione 1. Tuttavia gli addetti che devono recarsi al livello -2 per compiere le loro azioni ("addetto che toglie corrente elettrica"; "addetto che sospende erogazione") sono soggetti ad una condizione locale di movimento in direzione opposta al flusso di evacuazione, in condizioni di densità critiche (>2.5 persone/mq). Tale condizione può compromettere la sicurezza degli agenti coinvolti, per l'innescarsi di fenomeni di schiacciamento e caduta legate proprio al movimento "controcorrente" rispetto a flussi compatti di persone..

SIMULAZIONE 3

La simulazione 3 ha previsto la valutazione di una strategia diversa da quella utilizzata nel piano di evacuazione: tale simulazione ha infatti previsto l'utilizzo di tutti i percorsi di esodo verticali presenti nell'edificio. Questa scelta nei percorsi di esodo, prevedendo l'utilizzo di corpi scala anche di tipo non protetto, può essere attuabile in scenari in cui non sia previsto un incendio, quali ad esempio un attentato terroristico senza azioni che provochino fumi nella struttura (es.: attacco con armi da fuoco o armi bianche). In queste condizioni, è necessario far abbandonare l'edificio quanto più rapidamente alle persone, senza necessità di tutelare le stesse dai fumi.

- **TEMPI:** Grazie all'utilizzo di tutti i collegamenti verticali, l'evacuazione in questo scenario è terminata dopo 266 secondi prendendo in riferimento il valore al 95% percentile, se si considera l'intera popolazione simulate l'esodo termina dopo 299,5 secondi. Pertanto, rispetto allo scenario di simulazione 1, il tempo si riduce di circa il 30% al 95° percentile e del 20% all'ultimo evacuante.
- **DENSITÀ:** Dall'analisi dei risultati in termini di densità è emerso che i corpi scala protetti usati anche nella simulazione 1 presentano per tutto il periodo di simulazione densità ridotte rispetto alla simulazione 1 stessa, in quanto in questo scenario è prevista una redistribuzione degli agenti sul corpo scala non protetto. Di conseguenza, si riducono le code e l'estensione delle aree ad elevata

densità nelle aree relative, mentre la condizione di utilizzo della scala non protetta permette agli agenti dei livelli 1, 2 e 3 di raggiungere in minor tempo il livello 0. Essendo più veloce il deflusso dai livelli superiori, l'area che precede l'uscita vede una maggiore sovrapposizione tra i flussi degli evacuanti dei livelli fuori terra, creando un tempo di attesa maggiore rispetto alla simulazione 1, ma concentrato nella sola scala di uscita principale. Le condizioni di densità sono simili tuttavia in tutto il tempo di evacuazione, pertanto la velocità di deflusso è costante e lineare e non risente dei rallentamenti ai livelli superiori. D'altro canto, le elevate densità fanno sì che si vengano a creare interazioni negative tra gli agenti per i fenomeni legati alla congestione della via di esodo (spinte, contatti tra gli evacuanti) limitatamente all'area di accesso alla scala principale di uscita.

In sintesi, dal confronto tra le simulazioni si evince la necessità di avere una pianificazione dell'emergenza in forma dinamica, poichè:

1) il tipo di emergenza può implicare diverse strategie nei percorsi di esodo. Per un incendio, essendo necessario proteggere le persone dai prodotti dello stesso, servirà adottare strategie che utilizzino percorsi protetti. In tutti gli altri casi, può essere utile invece indirizzare gli evacuanti verso tutti i collegamenti verticali per accelerare il processo di esodo. Le simulazioni mostrano infatti come la Strategia di esodo con uso del percorso alternativo tramite la scala non protetta presenta un miglioramento del tempo di esodo totale pari al 30%. Si sottolinea che questa strategia può essere attivata: a) in assenza di fumi nell'edificio, e quindi laddove non ci sia necessità di far transitare le persone da percorsi protetti ai fenomeni di incendio, come per un attentato terroristico con armi, o un allarme generico; b) se, studiati i fenomeni di propagazione dei fumi, gli occupanti non subiscono condizioni di interazione negativa con i combustibili (es.: incendi a crescita lenta o confinati).

2) è necessario controllare le condizioni dinamiche dell'esodo stesso ed adottare provvedimenti, possibilmente in tempo reale, per limitare gli effetti negativi sul processo di esodo. In particolare, le simulazioni circa la Strategia di esodo con uso del percorso alternativo hanno evidenziato come si crei una condizione di densità elevata per un tempo più prolungato nelle zone che conducono all'uscita, al livello 0, rispetto a quella riscontrabile nel piano attuale di emergenza. Pertanto, questa scelta indica come sia necessario porre soluzioni di controllo dei flussi proprio in questa area, quali quelle basate su azioni degli addetti dell'emergenza per regolare nel tempo l'accesso ai percorsi o sorvegliare il moto degli occupanti evitando i fenomeni di contatto.

3) è necessario coordinare le azioni degli addetti alle effettive condizioni di emergenza. Le simulazioni che includono il movimento degli addetti in caso di emergenza hanno evidenziato condizioni locali pericolose dovute a flussi controcorrente. Dovrebbero essere quindi preferite soluzioni che permettano: 1) percorsi specifici per gli addetti al fine di limitare gli effetti relativi, strategia attuabile nello scenario 1 facendo muovere gli addetti lungo le scale non protette negli istanti iniziali dell'emergenza (quando si presuppone che gli effetti dell'incendio non possano ancora limitare gli spostamenti in spazi non protetti); 2) un differimento nel tempo delle azioni stesse, ad esempio tramite soluzioni di esodo per fasi, che possano ridurre il carico di occupanti lungo i percorsi mentre gli addetti si muovono verso la loro destinazione. Tale considerazione, sebbene sia valida a prescindere dal numero di collegamenti verticali utilizzati, deve essere integrata con il fenomeno effettivo di emergenza, così come al precedente punto 1.

4) il controllo dinamico delle situazioni di emergenza in ambienti sensibili può incrementare la sicurezza dei materiali sensibili raccolti nella struttura stessa. In particolare, comprendere le dinamiche di deflusso

può permettere il controllo degli accessi in aree riservate anche nel momento dell'emergenza, limitando gli effetti negativi anche di azioni dei singoli individui (es.: persone entrate nell'edificio con l'intento di distruggere documenti o provocare danni a cose o personale).

Su queste basi, si rimarca come strumenti dinamici di progettazione e attuazione nell'emergenza siano particolarmente rilevanti per incrementare la sicurezza delle persone in questo tipo di strutture sensibili. IN questa ottica, spazi come quelli dei tribunali dovrebbero muovere verso l'adozione di:

1) **analisi del rischio per una pianificazione dinamica**, con la creazione di piani diversi a seconda delle effettive condizioni operative nell'emergenza;

2) **processo di informazione e formazione degli addetti sulla dinamicità del piano di evacuazione**, creando codifiche operative delle varie emergenze per l'attivazione degli stessi. Attualmente gli sforzi sono limitati alla differenziazione delle procedure operative per sisma e incendio (generalmente), che prevedono, ad esempio, suoni di allarme diversi. La stessa ottica può essere estesa ad altre emergenze;

3) **sistemi di informazione dinamica degli addetti dell'emergenza durante l'evacuazione stessa**, basati su strumenti di controllo dell'esodo (es.: monitoraggio delle aree sensibili che vengono evidenziate sulla base delle simulazioni, e soggette potenzialmente a condizioni critiche per gli evacuanti, ad esempio in termini di densità e di relativi fenomeni di congestione e contatto fisico) e di comunicazione interna tra gli addetti stessi;

4) **sistemi di wayfinding attivi e dinamici** che possano cambiare lo stato circa l'indicazione agli occupanti del percorso da prendere in base all'allarme stesso. Ad esempio, nel caso di studio, utilizzare una segnaletica attiva e luminosa permetterebbe di evidenziare che la scala non protetta può essere usata in assenza di incendio, mentre bloccata in presenza dello stesso.

Ovviamente, tali considerazioni possono essere estese a tutti gli edifici aperti al pubblico con simili problematiche, per migliorare le condizioni di operatività generale nell'emergenza (es.: università, ospedali, grandi strutture inclusi i nodi di scambio intermodale).

4. CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi ha avuto come obiettivo l'analisi dell'evacuazione in condizioni di emergenza che impone l'allontanamento degli occupanti dall'edificio verso una zona sicura all'interno di un contesto in cui si svolgono funzioni sensibili, al fine di valutare l'applicabilità di strumenti e soluzioni dinamiche nella progettazione della sicurezza per gli occupanti.

La valutazione delle dinamiche di esodo è stata effettuata mediante l'uso di software di simulazione del movimento Pathfinder grazie al quale si è stati in grado di trarre delle conclusioni ad esempio sulla valutazione delle condizioni di evacuazione allo stato attuale, sull'ottimizzazione dei percorsi o l'utilizzo di strategie alternative per migliorare il deflusso degli agenti lungo le vie di esodo o anche per la valutazione di criticità nelle condizioni di esodo all'interno dell'edificio. In particolar modo si è definita una metodologia alternativa alle sperimentazioni reali che puntano alla valutazione dell'efficienza della gestione dinamica in condizioni di emergenza. I dati di input che sono stati utilizzati nel software come velocità di esodo, dati occupazionali sono stati desunti da una prima fase di studio. Il processo di valutazione è partito analizzando e valutando l'evacuazione secondo quanto previsto nel piano di evacuazione. Lo scenario ha previsto l'applicazione delle strategie di esodo proposte dalla normativa in condizioni di evacuazione a causa di un'emergenza incendio che prevede l'uso come via di esodo i 2 corpi scala del tipo protetti. Tale valutazione

rappresenta il punto di partenza per osservare come ed in che modo gli agenti effettuano l'esodo e le criticità che si riscontrano ; il secondo step ha previsto la simulazione del comportamento di 6 agenti con funzioni specifiche in caso di emergenza previsti nel piano di evacuazione in modo da comprendere al meglio le dinamiche di esodo ed ottenere così un quadro completo sull'efficacia dell'evacuazione valutando ed analizzando all'interno dello scenario di simulazione il loro contributo. Le persone alle quali vengono demandate funzioni particolari in caso di emergenza sono designate preventivamente e incaricati dell'attuazione delle misure di prevenzione incendio e di evacuazione dai luoghi di lavoro in caso di pericolo, ognuno di essi svolgerà specifiche funzioni nel momento in cui si viene a verificare una emergenza. Il terzo step ha previsto la valutazione di una strategia di esodo diversa da quella utilizzata nel piano di evacuazione, tale simulazione ha previsto l'utilizzo di un percorso di esodo alternativo rispetto ai percorsi definiti nelle planimetrie allegate al piano di evacuazione. In questa configurazione si ipotizza un dinamismo della gestione dell'emergenza in cui la componente umana gioca un ruolo fondamentale, si va a coinvolgere delle figure con specifica formazione che agiranno attivamente come supporto all'evacuazione per le persone che non hanno familiarità con il layout interno dell'edificio nell'ottica di una scelta dinamica dei percorsi ovvero adattare l'evacuazione in base alle condizioni di emergenza che si possono verificare , questa simulazione esula dall'applicare la tradizionale regolamentazione prescritta e le misure di sicurezza antincendio derivanti dal piano di evacuazione .La simulazione in questo caso mira a valutare delle criticità su un percorso che può essere utilizzato in condizioni diverse da quelle previste in caso di incendio considerate le diverse emergenze che si possono affrontare all'interno della struttura sensibile quale che è il Tribunale (terremoti, attentati, aggressioni, allarme bomba, terrorismo ecc.). L'utilizzo del percorso alternativo potrà avere una applicazione per esempio quando ricorrano emergenze in cui non vi è presenza di fumi lungo i percorsi e non si deve necessariamente avere protezione dai fumi.

Si rimanda alla sezione di discussione dei risultati (Sezione 3.4) per gli specifici avanzamenti raggiunti da questa tesi.

In generale è emerso che l'utilizzo degli strumenti della simulazione dell'esodo risultano utili come strumento di progettazione e verifica in quanto restituiscono una risposta sull'efficienza delle misure utilizzate per l'esodo e eventuali modifiche che si vogliono apportare. Nel nostro caso tutte le simulazioni sono state con gli stessi dati di input in particolare ciò che riguarda velocità di esodo, numero e collocazione degli occupanti negli scenari e tempo di pre-movimento. La scelta è stata fatta per costruire una base di analisi anche per il confronto con i risultati del software Oasys MassMotion (tesi condotta da Casarola Martina sullo stesso caso di studio) e per la possibilità di rappresentare una base per sviluppi futuri. Ulteriori sviluppi possono riguardare la possibilità di introdurre più variabili che rappresentano una popolazione di caratteristiche differenti, quindi la possibilità di considerare velocità di esodo diverse che rappresentino statisticamente la distribuzione di età all'interno della popolazione, introdurre variabili in termini di tempo di pre-movimento in cui si può andare a introdurre valori di reazione all'emergenza che rappresentano gli istanti che intercorrono nei momenti iniziali dell'evacuazione la possibilità di introdurre nella simulazione persone con disabilità che prevedano assistenza personale o velocità di esodo ridotte, o anche la possibilità di simulare percorsi diversi per squadre di soccorso ed emergenza. Un'altra possibilità che potrebbe essere approfondita riguarda la possibilità di consentire al progettista di progettare il posizionamento della segnaletica luminescente che dia indicazioni istantanee sui percorsi da seguire nelle condizioni di emergenza.

ALLEGATI

Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Percentile 0,95	Total_Use (n°persone)	Flow (su ogni ingresso) (pers/s)		Flow (su ogni ingresso) (pers/s*I)		Flow (sulla porta) (pers/s)		Flow (sulla porta) (pers/s*I)	
					Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%		
Door_A_-1_1	2,5	50,7	47	37	0,73	0,79	0,61	0,66	1,32	1,43	0,55	0,59
Door_A_-1_2	14,8	48,1	46,65	30	0,62	0,64	0,52	0,54				
Door_B_-1_1	13,4	40,9	38	21	0,51	0,55	0,43	0,48				
Door_B_-1_2	7,2	38,4	36,6	25	0,65	0,68	0,54	0,59	1,39	1,50	0,58	0,47
Door_B_-1_3	2,8	12,6	12,5	11	0,87	0,88	0,97	0,98				
Door_F_-1_1	5,7	83,4	79,6	89	1,07	1,12	0,65	0,68				
Door_F*_-1_1	5,4	75,9	67,5	76	1	1,13	0,61	0,69	1,97	1,13	0,63	0,34
Door_A_0_1	28,9	87,8	86,3	35	0,4	0,41	0,33	0,34				
Door_A_0_2	19,7	411,5	392,9	423	1,03	1,08	0,86	0,90	1,11	1,17	0,46	0,49
Door_B_0_1	24,4	374,8	358,05	400	1,07	1,12	0,89	0,93				
Door_B_0_2	23,5	81,1	79,2	57	0,7	0,72	0,58	0,60	1,22	1,28	0,51	0,53
Door_F_0_1	10,1	425,4	383	1045	2,46	2,73	0,55	0,61	2,46	2,73	0,55	0,61
Door_A_1_1	10,4	116	110,6	69	0,59	0,62	0,49	0,52				
Door_A_1_2	9	129,6	127,35	34	0,26	0,27	0,22	0,22	0,79	0,81	0,33	0,34
Door_B_1_1	10,2	57,4	51,25	24	0,42	0,47	0,53	0,39				
Door_B_1_2	10,6	110	105,75	66	0,60	0,62	0,50	0,52	0,82	0,85	0,34	0,35
Door_A_2_1	7,4	198,2	191,7	67	0,34	0,35	0,28	0,29				
Door_A_2_2	7,9	324,6	317,2	97	0,30	0,31	0,25	0,25	0,51	0,52	0,21	0,22
Door_B_2_1	7,6	296,4	282,7	124	0,42	0,44	0,35	0,37				
Door_B_2_2	9,7	143,5	136,6	65	0,45	0,48	0,38	0,40	0,64	0,67	0,27	0,28
Door_A_3_1	5,8	217,7	202	71	0,33	0,35	0,28	0,29				
Door_A_3_2	9,5	246,3	238	53	0,22	0,22	0,18	0,19	0,5	0,52	0,21	0,22
Door_B_3_1	4	225	216	121	0,54	0,56	0,45	0,47	0,54	0,56	0,45	0,47
Door_uscita principale	5,8	434,0	387,7	1211	2,8	3,12	0,85	0,95	2,8	3,12	0,85	0,95

Tempi di evacuazione alle porte per tutti i livelli per la simulazione 1

	Behavior	Profile	Count	Min	Max
livello -1	scala A_-1	A_-1	67	46,4	141,3
livello -1	scala B_-1	B_-1	57	61,1	140,4
livello -1	scala F*_-1	F*_-1	76	16,8	109
livello -1	scala F_-1	F_-1	89	17,1	120,3
livello 0	scala F_0	F_0_1	130	18,9	112,2
livello 1	scala A_1	A_1_1	69	51,7	175,6
livello 1	scala A_1	A_1_2	34	61,6	194,7
livello 1	scala B_1	B_1_1	24	65,6	155,4
livello 1	scala B_1	B_1_2	66	54,3	165,1
livello 2	scala A_2	A_2_1	67	94,4	289,8
livello 2	scala A_2	A_2_2	97	108,5	421,7
livello 2	scala B_2	B_2_1	124	87,1	394,9
livello 2	scala B_2	B_2_2	65	90,3	228,9
livello 3	scala A_3	A_3_1	71	153	415,5
livello 3	scala A_3	A_3_2	53	179,9	434
livello 3	scala B_3	B_3_1	121	146,4	397
livello 11	uscita	uscita	1	5,8	5,8
	all behaviors	*all profiles*	1211	5,8	434

Tempi di evacuazione dall'edificio di tutti gli agenti per la simulazione 1

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Total_Use
scala_A_3_1	5,8	284,3	124
scala_A_2_1	7,4	354,2	288
scala_A_1_1	9	387,4	391
scala_A_0_1	15,5	411,5	458
scala_A_-1_1	2,5	66,3	67
scala_B_3_1	4	243,9	121
scala_B_2_1	7,6	315,6	310
scala_B_1_1	10,2	351,5	400
scala_B_0_1	22	81,1	57
scala_B_0_1*	21,6	374,8	400
scala_B_-1_1	2,8	57,4	57
scala_F*_-1_1	5,4	76	76
scala_F_-1_1	5,7	83,6	89
uscita_1	1,2	432,2	1211
uscita_2	3,9	434	1211

Tempi di evacuazione dai pianerottoli per tutti i livelli per la simulazione 1

Door	First_In (s)	Last_Out (s)	Percentile 0,95	Total_Use (n°persone)	Flow (su ogni ingresso) (pers/s)		Flow (su ogni ingresso) (pers/s*I)		Flow (sulla porta) (pers/s)		Flow (sulla porta) (pers/s*I)	
					Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%	Ultimo uscito	95%		
Door_A_-1_1	2,5	47	45,4	37	0,79	0,81	0,66	0,68	1,40	1,42	0,58	0,59
Door_A_-1_2	14,8	47,8	47,1	30	0,63	0,64	0,52	0,53				
Door_B_-1_1	13,4	40,9	38	21	0,51	0,55	0,45	0,48	1,39	1,50	0,44	0,47
Door_B_-1_2	7,2	38,4	36,6	25	0,65	0,68	0,57	0,59				
Door_B_-1_3	2,8	12,6	12,5	11	0,87	0,88	0,97	0,98				
Door_F_-1_1	5,7	83,9	80	89	1,06	1,11	0,65	0,68	1,97	2,06	0,60	0,63
Door_F*_-1_1	5,4	73,9	67,5	76	1,03	1,13	0,63	0,69				
Door_A_0_1	17,6	88,7	85,7	67	0,76	0,78	0,63	0,65	1,19	1,24	0,50	0,52
Door_A_0_2	24,3	210,4	201,85	184	0,87	0,91	0,73	0,76				
Door_B_0_1	25,9	214	205,05	200	0,93	0,98	0,78	0,81	1,20	1,25	0,50	0,52
Door_B_0_2	23,5	82,3	80,2	57	0,69	0,71	0,58	0,59				
Door_F_0_1	10,1	290,8	260,8	1045	3,59	4,01	0,80	0,89	3,59	4,01	0,80	0,89
Door_C_0_1	24,6	268,1	256,7	407	1,52	1,59	1,03	1,07	1,52	1,59	1,03	1,07
Door_A_1_1	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,77	0,31	0,32
Door_A_1_2	9	45,9	44	34	0,74	0,77	0,62	0,64				
Door_B_1_1	10,2	37,2	36,85	24	0,65	0,65	0,54	0,54	0,65	0,65	0,27	0,27
Door_B_1_2	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00				
Door_C_1_1 out piano	10,9	249,2	236,7	407	1,63	1,72	1,10	1,16	1,63	1,72	1,10	1,16
Door_C_1_2 in piano	13,6	235,6	226,25	276	1,17	1,22	0,79	0,82	1,17	1,22	0,79	0,82
Door_A_2_1	23,7	100,1	41	0,41	0,43	0,34	0,36	0,76	0,81	0,32	0,34	95,00
Door_A_2_2	7,9	128,2	56	0,44	0,47	0,36	0,39					120,40
Door_B_2_1	7,6	132,9	70	0,53	0,56	0,44	0,46	0,93	0,99	0,39	0,41	125,55
Door_B_2_2	26,9	112	54	0,48	0,49	0,40	0,41					109,35
Door_C_2_1 out piano	5,4	204,4	272	1,33	1,38	0,90	0,94	1,33	1,38	0,90	0,94	196,45
Door_C_2_2 in piano	21,5	191,4	140	0,73	0,74	0,49	0,50	0,73	0,74	0,49	0,50	188,05
Door_A_3_1	26,4	45,2	44,6	15	0,33	0,34	0,28	0,28	1,17	1,19	0,49	0,50
Door_A_3_2	9,5	41,8	40	38	0,91	0,95	0,76	0,79				
Door_B_3_1	12,9	52,2	49,45	52	1,00	1,05	0,83	0,88	1,00	1,05	0,83	0,88

Door_C_1_2	6,2	159,6	154,05	140	0,88	0,91	0,59	0,61	0,88	0,91	0,59	0,61
Door_uscita principale	5,8	299,5	266	1211	4,04	4,55	1,24	1,39	4,04	4,55	1,24	1,39

Tempi di evacuazione alle porte per tutti i livelli per la simulazione 3.

	Behavior	Profile	Count	Min	Max
livello -1	scala A_-1	A_-1	67	46,8	173,9
livello -1	scala B_-1	B_-1	57	54,7	184,8
livello -1	scala F*_-1	F*_-1	76	16,8	107,2
livello -1	scala F_-1	F_-1	89	17,1	119,1
livello 0	scala F_0	F_0_1	130	18,9	117,9
Livello0	uscita	uscita	1	5,8	5,8
livello 1	scala C_1	A_1_1	69	51,7	180,8
livello 1	scala A_1	A_1_2	34	57	172,5
livello 1	scala B_1	B_1_1	24	58,1	161,9
livello 1	scala C_1	B_1_2	66	71,1	189,0
livello 2	scala C_2	A_2_1	67	140,1	173,9
livello 2	scala A_2	A_2_2	97	80,4	253,5
livello 2	scala B_2	B_2_1	124	80,7	250,6
livello 2	scala C_2	B_2_2	65	164,7	249,9
livello 3	scala C_3	A_3_1	71	215,7	294,5
livello 3	scala A_3	A_3_2	53	143,7	257,1
livello 3	scala B_3	B_3_1	52	129,7	259,9
livello 3	scala C_3	B_3_2	69	214,8	299,5

Tempi di evacuazione dall'edificio di tutti gli agenti per la simulazione 3

Room	First_In (s)	Last_Out (s)	Total_Use
scala_A_3_1	9,5	62,5	53
scala_A_2_1	7,9	153,8	150
scala_A_1_1	9	187,6	184
scala_A_0_1	15,5	210,4	251
scala_A_-1_1	2,5	65,4	67
scala_B_3_1	12,9	61,6	52
scala_B_2_1	7,6	161,7	176
scala_B_1_1	10,2	189,7	200
scala_B_0_1	22	82,3	57
scala_B_0_1*	19,1	206,3	200
scala_B_-1_1	2,8	57,4	57
scala_F*_-1_1	5,4	74	76
scala_F_-1_1	5,7	84	89
uscita_1	1,2	297,6	1211
uscita_2	3,9	299,5	1211

Tempi di deflusso dai pianerottoli per tutti i livelli per la simulazione 3

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. C. I. Mauro, "D.M. Approvazione, DM 3/8/2015 coordinato con DM 8/6/2016 e DM 9/8/2016; circolare n° 3181 del 15/3/2016, (n.d.), (2015)." .
- [2] D. 10/03/1998, "criteri generali per la sicurezza antiincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro", DM 10/03/98, (1998)." .
- [3] Presidente della Repubblica, "DECRETO LEGISLATIVO 9 aprile 2008, n. 81," *15 Maggio 2008*, vol. 129, p. 2008, 2008.
- [4] Y. Ma, R. K. K. Yuen, and E. W. M. Lee, "Effective leadership for crowd evacuation," *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 450, pp. 333–341, 2016, doi: 10.1016/j.physa.2015.12.103.
- [5] L. Hou, J. G. Liu, X. Pan, and B. H. Wang, "A social force evacuation model with the leadership effect," *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 400, pp. 93–99, 2014, doi: 10.1016/j.physa.2013.12.049.
- [6] K. R, "Il potere della moda, Liguori, Napoli, 1976." .
- [7] Z. S. & Z. A. Carrolo A., "Teatro Verdi di Pordenone: comportamenti durante un'evacuazione," no. September, 2016.
- [8] A. et al. Zuliani, "Neuroni specchio: un contributo per la gestione della sicurezza e dell'emergenza," pp. 1–11, 2017.
- [9] G. Proulx and J. Sime, "To Prevent 'Panic' In An Underground Emergency: Why Not Tell People The Truth?," *Fire Saf. Sci.*, vol. 3, pp. 843–852, 1991, doi: 10.3801/iafss.fss.3-843.
- [10] Articolo D I, "Il ruolo degli steward durante i grandi eventi," pp. 2–3, 2017.
- [11] ISO/TR 13387-8, "IsoTR 13387-8, 1999 1999." .
- [12] ISO/TR 16738, "Fire-safety engineering Technical information on methods for evaluating." .
- [13] R. F. F. and G. Proulx, "Toward creating a database on delay times to start evacuation and walking speeds for use in evacuation modelling," in *2nd International Symposium in Human Behaviour in Fire*, 2001, pp. 175–183." .
- [14] D. Helbing, "'Social force model for pedestrian dynamics.'" .
- [15] J. . Pauls, "Building evacuation: Research findings and recommendations, *Fires and Human Behaviour*," *Fires Hum. Behav.*, vol. Ed. D. Can, 1980." .
- [16] N. and F. M. Mower, "'Emergency movement,' *SFPE Handb. Fire Prot. Eng.*, vol. 3rd ed, pp. pp. 367 – 380, 1995." .
- [17] J. J. Fruin, "Pedestrian planning and design," *Metrop. Assoc. Urban Des. Environ. planners Inc*, 1971." .
- [18] P. and Guylène, "Movement of people: the evacuation timing," in in *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 2002, pp. 342–366." .
- [19] V. V. P. and A. I. Milinskii, "Planning for foot traffic in buildings." *Stroizdat, Moscow*, 1978." .
- [20] and N. M. F. T. I. Lakoba, D. J. Kaup, "Modifications of the Helbing-Molnár- Farkas- Vicsek Social Force Model for Pedestrian Evolution," *Simulation*, vol. 81, pp. 339–362, 2005." .
- [21] A. R. B. N. V. E. T. J. Gates, D. A. Noyce, "'Recommended Walking Speeds for Pedestrian Clearance Timing Based on Pedestrian Characteristics,' *Annu. Meet. CDROM*, 2006." .

- [22] G. Bernardini, "Sviluppo di un modello comportamentale per l'analisi dell'evacuazione post-sima," 2011."
- [23] I. 16738, "Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people," (n.d.)."
- [24] R. Z. L. Shi, Q. Xie, X. Cheng, L. Chen, Y. Zhou, "Developing a database for emergency evacuation model, *Build. Environ.* 44 (2009) 1724–1729. doi:10.1016/j.buildenv.2008.11.008."
- [25] R. P. P. Arthur, "Wayfinding. People, signs and architecture", McGraw-Hill, New York, 1992."
- [26] S. Godsell, "Turner, R," no. September. pp. 1–39, 2012.
- [27] 1994 Johnson, N.R., Feinberg, W.E., Johnston, D.M., "Microstructure and panic: the impact of social bonds on individual action in collective flight from the Beverly Hills Supper Club Fire. In: University of Delaware press (Ed.), *Disasters, Collective Behaviour and Social Organization*. Newark-Delaware."
- [28] H. Kuligowski, Peacock, "A review of building evacuation models, 2nd edition."
- [29] X. Zheng, T. Zhong, and M. Liu, "Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches," *Build. Environ.*, vol. 44, no. 3, pp. 437–445, Mar. 2009, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2008.04.002.
- [30] C. Reynolds, "Steering behaviors for autonomous characters 1999."
- [31] H. Ben Amor, "Fast, neat, and under control Arbitrating between steering behaviors."
- [32] T. C. G. For, E. Analysis, F.O.R. Newexisting, P. Ships, T. Maritime, S. Committee, I. Guidelines, F. Protection, T. Committee, F.P. Sub-committee, I. Guidelines, T. Committee, F. Protection, I. Guidelines, T. Committee, I. Guidelines, M. Governments, F. Protec, "MSC/CIRC. 1238, (2007)."
- [33] D. N. E. Ronchi, E.D. Kuligowski, P.A. Reneke, R.D. Peacock, "The Process of Verification and Validation of Building Fire Evacuation Models," (2013). doi:10.6028/NIST.TN.1822."
- [34] A. S. B. Steffen, "Methods for measuring pedestrian density, flow, speed and direction with minimal scatter, *Phys. A Stat. Mech. Its Appl.* (2010) 1–16."
- [35] U. W. E. Bosina, "Estimating pedestrian speed using aggregated literature data, *Phys. A Stat. Mech. Its Appl.* 468 (2017) 1–29. doi:10.1016/j.physa.2016.09.044."
- [36] G. Bernardini, "Fire Safety of Historical Buildings. Traditional Versus Innovative 'Behavioural Design' Solutions by Using Wayfinding Systems," 1st ed., Springer International Publishing, 2017. doi:10.1007/978-3-319-55744-1."
- [37] G. B. M. D'Orazio, S. Longhi, P. Olivetti, "Design and experimental evaluation of an interactive system for pre-movement time reduction in case of fire, *Autom. Constr.* 52 (2015) 16–28. doi:10.1016/j.autcon.2015.02.015."
- [38] J. J. Fruin, "Designing for pedestrians: A level of service concept, *Highw. Res. Rec.* 355 (1971) 1–15."
- [39] P. G. T. Klüpfel, H. Meyer-König, "an assistant for evacuation decision making, in: U. Weidmann, U. Kirsch, M. Schreckenberg (Eds.), *Pedestr.Evacuation Dyn.* 2012, Springer International Publishing, 2014: pp. 445–454."
- [40] M. D. G. Bernardini, E. Quagliarini, "Towards creating a combined database for earthquake pedestrians' evacuation models, *Saf. Sci.* 82 (2016) 77–94. doi:10.1016/j.ssci.2015.09.001."
- [41] G. R. N. Shiwakoti, M. Sarvi, "Modelling pedestrian behaviour under emergency conditions – State-of-the-art and future directions, in: 31st Australas. Transp. Res. Forum Page, 2008: pp. 457–473."
- [42] P. R. E. Ronchi, F.N. Uriz, X. Criel, "Modelling large-scale evacuation of music festivals, *Case Stud. Fire*

Saf. 5 (2016) 11–19. doi:10.1016/j.csfs.2015.12.002.” .

- [43] T.-S. T.-S. Shen, “Building Egress Analysis, J. Fire Sci. 24 (2006) 7–25. doi:10.1177/0734904106052549.” .
- [44] D. N. E. Ronchi, “Modelling total evacuation strategies for high-rise buildings,” *Build. Simul.* 7 (2014) 73–87. doi:10.1007/s12273-013-0132-9.” .
- [45] M. D. G. Bernardini, E. Quagliarini, “Investigating Exposure in Historical Scenarios: How People Behave in Fires, Earthquakes and Floods,” in: A. Aguilar (Ed.), *Struct. Anal. Hist. Constr. - RILEM Bookseries*, 1st ed., Aguilar, R. Torrealva, D. Moreira, S. Pando, M.A. Ramos, L.F., Cham, 2019: .” .
- [46] E. M. E. Rivers, C. Jaynes, A. Kimball, “Using Case Study Data to Validate 3D Agent-based Pedestrian Simulation Tool for Building Egress Modeling,” *Transp. Res. Procedia.* 2 (2014) 123–131. doi:10.1016/j.trpro.2014.09.016.” .
- [47] 2002 Helbing et al. 2002Helbing, D., Farkas, J.I., Molnar, P., Vicsek, T., “Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations. In: *Pedestrian and Evacuation Dynamics*. Berlin, pp. 21–58.; Lakoba et al. 2005Lakoba, T.I., Finkelstein, N.M., 2005. Modifications of the Helbing-Molnar-Farkas-Vicsek social force model .” .
- [48] P. L. L. Filippidis, E.R. Galea, D. Blackshields, “Experimental study of the effectiveness of emergency signage,” *Fourth Int. Symp. Hum. Behav. Fire.* (2009) 289–300.” .
- [49] daniela rita Montella, “FIRE SAFETY MANAGEMENT:L’utilizzo della simulazione come strumento di supporto alle decisioni strategiche per l’implementazione dei piani di evacuazione,” vol. 2, no. 5, pp. 1–24, 2012.
- [50] S. H. T. Korhonen, ““Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS + Evac Technical Reference and User’s Guide,’ 2010.” .
- [51] M. D. G. Bernardini, “Il processo di evacuazione nel Codice di Prevenzione Incendi: riflessioni sul tempo di pre-movimento,” *Antincendio.* 1 anno 68 (2016) 32–51.” .