



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA EDILE

Dipartimento di ingegneria Civile, Edile e Architettura

**COME LE ONDATE DI CALORE CONDIZIONANO IL RISCHIO IN CASO
DI ATTACCO TERRORISTICO NELLE PIAZZE STORICHE:
VALUTAZIONE COMPORTAMENTALE DELL'ESODO APPLICATA A
PIAZZA DELL'ODEGITRIA (BARI)**

**How heatwaves can alter users' risk in terrorist at evacuation in historical
Italian square: behavioural assessment for Piazza dell'Odegitria (Bari)**

RELATORE:

Prof. Ing. Gabriele Bernardini

TESI DI LAUREA DI:

Paolo Di Cillo

CORELATORE:

Prof. Ing. Enrico Quagliarini

Anno Accademico 2021-2022

Desidero ringraziare tutti coloro che hanno reso possibile

la realizzazione di questo lavoro,

in modo particolare il prof. Gabriele Bernardini

per avermi permesso di intraprendere questo percorso,

Uno speciale ringraziamento va alla mia ragazza Daniela

per essermi stata vicina nei momenti

più duri e difficili, sapendomi motivare e supportare.

Ringrazio Casa Brega e tutti gli amici per i numerosi

momenti di pazzia e le mille esperienze condivise.

Uno speciale ringraziamento va a tutta la mia famiglia

Papà, Mamma, Pardo, Antonella, Marco, Ivana e Valerio per il grande sostegno.

Un abbraccio va ai miei nipoti Maristella e Primiano Antonio.

Un saluto a Zio Carlo e Gianluigi che mi guidano dal cielo.

Sommario

INTRODUZIONE	6
1 STATO DELL'ARTE	8
1.1 SLODs e SUODs.....	8
1.2 Analisi del rischio.....	9
1.2.1 Terrorismo.....	9
1.2.2 Ondata di calore	11
1.3 BET e analisi del costruito	12
1.3.1 Obiettivo della Tesi	16
2 FASI E METODI	17
2.1 Creazione setup	17
2.2 Simulazione.....	24
2.3 Risultati.....	28
3 CASO STUDIO e RISULTATI	36
3.1 Caso studio.....	36
3.2 Dati caso studio	38
3.3 Simulazioni.....	43
3.4 Risultati.....	44
4 CONCLUSIONI.....	56
Bibliografia	58

INTRODUZIONE

La sicurezza delle persone è un punto fondamentale per la progettazione e gestione dell'ambiente costruito. La cooperazione tra ingegneria edile e ingegneria della sicurezza permette di andare a studiare i tipi di rischio e le eventuali strategie di mitigazione.

I disastri sono causati da azioni naturali che possono innescare una catena di eventi disastrosi in una differente scala temporale e spaziale. La valutazione del multirischio prendere in considerazione interazioni tra diversi rischi, valutando gli eventi scatenati, gli effetti a cascata e il rapido aumento della vulnerabilità durante i pericoli successivi.

L'approccio multilayer è uno dei più comuni, tuttavia ha mostrato dei limiti nel considerare la sovrapposizione degli effetti tra diversi rischi e quindi le relative interazioni. Un altro approccio è basato sulla standardizzazione degli schemi, sulla combinazione di rischi distinti attraverso l'uso di indici e approcci semi-quantitativi. Data la complessità del sistema urbano e la vulnerabilità che lo caratterizzano, la valutazione del rischio e la proposta di strategie di mitigazione devono basarsi su un'ottica multi-disciplinare e multi-rischio. La creazione di scenari multi-rischio negli spazi aperti è stata elaborata partendo da un'analisi critica delle fonti di letteratura circa i fattori caratterizzanti pericolosità, vulnerabilità ed esposizione dei rischi SUODs e SLODs e le caratteristiche del costituito e dell'ambiente urbano che possono interferire con essi. [1]

Negli ultimi anni abbiamo potuto notare come il crescente numero di attacchi terroristici ha causato numerosi danni a cose e persone. Alcuni esempi di questa mancanza possono essere la strage del 14 luglio 2016 a Nizza oppure la tragedia del 3 giugno 2017 in piazza San Carlo a Torino.

L'obiettivo di questa tesi è quello di andare a studiare il comportamento delle persone sotto attacco terroristico con e senza la presenza di ondata di calore. Questo studio viene applicato a Piazza dell'Odegitria (BA).

La seguente tesi è stata strutturata in 4 capitoli.

Il capitolo 1 descrive lo stato dell'arte, ovvero riassume tutte le ricerche del progetto BES2ECURE che sono state applicate al caso studio. Quindi in questo capitolo possiamo trovare le definizioni di SUODs e SLODS. Viene descritto il rischio del terrorismo, cos'è un'ondata di calore, cos'è una BET e vengono approfonditi gli obiettivi della seguente tesi.

Nel capitolo 2 possiamo trovare le fasi e i metodi, ovvero tutte le procedure che verranno applicate al caso studio.

Il capitolo 3 parla del caso studio e dei risultati; quindi, vengono applicate tutte le fasi e metodi descritti nel capitolo precedente in modo tale da ottenere dei dati, che verranno confrontati tra di loro per ottenere il nostro obiettivo.

Infine, nel capitolo 4 possiamo trovare le conclusioni, ovvero vengono dimostrati risultati e vengono definiti gli obiettivi futuri che potranno essere sviluppati.

1 STATO DELL'ARTE

Nel seguente capitolo vengono descritti i fenomeni improvvisi 'SUODs' (SUdden Onest Disasters) e fenomeni a lenta insorgenza SLODs (Slow Onset Disasters). Oltre ai tipi di fenomeni tramite il progetto BES²ECURe si possono distinguere i tipi di BET (Built Enviroment Typologies) ed il tipo di approccio utilizzato, ovvero, l'approccio multirischio.

1.1 SLODs e SUODs

L'ambiente costruito urbano detto BE (Built Environment) [2] è un complesso sistema di spazi aperti, quali strade e piazze, interconnessi e attraversati da diverse tipologie di infrastrutture e circondati da edifici che ne delimitano la frontiera, all'interno del quale le persone vivono e svolgono la maggior parte delle proprie attività, spesso in condizioni di elevata densità di popolazione. Data la complessa struttura delle città, le aree urbanizzate possono essere esposte sia a fenomeni improvvisi detti SUODs (SUdden Onest Disasters), i quali terremoti, alluvioni, uragani, attentati terroristici, sia a fenomeni a lenta insorgenza definiti SLODs (Slow Onset Disasters), ovvero quei disastri causati dalla combinazione di forze naturali e forze generate dall'uomo, in grado di scardinare gli equilibri naturali, ma su tempi di manifestazione lunghi. [1] La prospettiva del "design comportamentale" per l'analisi del rischio e la pianificazione di strategie di riduzione ritiene che la BE e la sua gestione dell'emergenza debbano essere adattate in funzione dei comportamenti dei pedoni esposti, per fornire "informazioni ai soggetti danneggiati su come comportarsi correttamente, come, ad esempio, quelli collegati al percorso di evacuazione e alla scelta dell'area sicura". I simulatori possono essere utilizzati a tal fine dai pianificatori della sicurezza, dalle autorità locali e dai primi soccorritori. Dovrebbe essere adottato un approccio sperimentale per sviluppare e validare modelli di simulazione affidabili, analizzando i comportamenti in situazioni di emergenza reale, e

considerando le interazioni tra pedoni, primi soccorritori, la BE circostante e le sue modificazioni dovute all'evento.

1.2 Analisi del rischio

Come detto nel paragrafo precedente, possiamo avere 2 categorie di rischio. Per la categoria SUODs andremo ad analizzare i fenomeni di attacco terroristico, mentre per la categoria SLODs andremo ad analizzare l'isola di calore.

1.2.1 Terrorismo

Gli attacchi terroristici sono aumentati nel tempo in molti paesi, rappresentando una delle minacce più significative per l'ambiente costruito (BE). Tale rischio è influenzato da una combinazione di funzioni strategiche e condizioni di affollamento. Uno studio precedente nel progetto BE S2ECURE, in particolare, [1] ha tracciato un esaustivo stato dell'arte delle consolidate Strategie di Mitigazione e Riduzione del Rischio (RMRS). In questo studio sono stati raccolti solidi quadri normativi RMRS da tutto il mondo. I risultati mostrano come i criteri di classificazione li distinguano per obiettivi e tipologie di attacco, efficacia nel tempo/spazio e implementazione fisica rispetto all'implementazione basata sulla gestione. Tuttavia, questi criteri sembrano essere troppo frammentati, non riuscendo a perseguire la selezione degli RMRS in una prospettiva olistica. Viene quindi fornita una nuova classificazione che adotta come fattori-chiave gli elementi costitutivi della BE (elementi fisici, layout, sistemi di accesso/sorveglianza, gestione della sicurezza). Le caratteristiche, le dipendenze e il coordinamento tra di esse sono discusse in un contesto basato sulla sostenibilità prospettiva, mostrando come le principali sfide per la progettazione degli RMRS riguardino l'applicabilità, la ridondanza e il supporto di emergenza degli utenti. Le strategie di gestione della sicurezza/protezione hanno il livello di sostenibilità complessivamente più elevato e svolgono un ruolo centrale rispetto agli altri elementi che compongono la BE, che dovrebbero essere pianificate in

riferimento ad esse. Inoltre, sarà necessario anche un approccio incentrato sull'uomo (interazione degli individui con BE e RMRS). Questi risultati sosterranno gli sforzi per includere approcci orientati alla simulazione nelle analisi di selezione, efficacia e fattibilità degli RMRS. Una classificazione di base degli RMRS può essere correlata alla definizione del target su cui sono applicati. La classificazione degli RMRS generali per "obiettivi difficili" comporta principalmente la restrizione dell'accesso all'area al pubblico e l'esistenza di soluzioni di sorveglianza invasive da parte delle forze di sicurezza. Al contrario, gli RMRS per "bersagli morbidi" non comportano misure così severe. Inoltre, gli RMRS possono generalmente essere suddivisi in controllo attivo e passivo. Secondo le definizioni consolidate della letteratura, il controllo attivo include "la sorveglianza elettronica, le guardie di sicurezza private e le leggi e le regole di condotta che possono limitare le azioni, influenzare i comportamenti o impedire l'interazione", mentre le misure di controllo passivo sono "piuttosto sottili e includono aspetti estetici e caratteristiche del paesaggio urbano". Un'ulteriore classificazione orientata al target può concentrarsi su tutte le azioni identificate in base alla partecipazione degli utenti, delineando:

- Azioni attive, in cui viene attivata una relazione biunivoca tra governi generali e utenti urbani includendo la prevenzione (ad esempio, l'intelligence militare attiva), la mitigazione (ad esempio, l'educazione attiva degli utenti BE) e la sicurezza (soluzioni di sorveglianza attiva);
- Azioni passive, in cui l'eventuale feedback è stabilito dagli utenti e le regole/linee guida/indicazioni generali sono semplicemente applicate, includendo prevenzione (ovvero regolamenti normativi passivi), mitigazione (ovvero informazioni passive degli utenti della BE) e sicurezza (ovvero, controllo passivo per la progettazione e la sicurezza dello spazio urbano).

Per determinare il comportamento tipico delle persone sotto attacco terroristico è stato effettuato un lavoro che consisteva nell'analizzare dei video su attentati terroristici. La selezione e l'analisi video ha seguito il workflow e si è basata su consolidati criteri di analisi comportamentale delle diverse tipologie di emergenza. In primo luogo, sono state raccolte in un database le videocassette di emergenze reali dovute ad atti terroristici e ciascuna di esse è stata suddivisa in scene specifiche. Quindi, sono state eseguite analisi qualitative per rilevare i comportamenti di emergenza e valutare la loro frequenza di attivazione, nonché le condizioni di BE che potrebbero indurre la loro attivazione. Infine, sono state effettuate analisi quantitative sulle velocità di movimento per valutare le velocità istantanee di evacuazione dei pedoni e i diagrammi fondamentali. [3]

1.2.2 Ondata di calore

In meteorologia e climatologia l'isola di calore è il fenomeno che determina un microclima più caldo all'interno delle aree urbane cittadine, rispetto alle circostanti zone periferiche e rurali. Per questo le ondate di calore sono più probabili nelle città per effetto delle isole di calore. Le isole di calore urbane atmosferiche sono spesso deboli durante la tarda mattinata e durante il giorno e diventano più pronunciate dopo il tramonto a causa del lento rilascio di calore dalle infrastrutture urbane. La tempistica di questo picco, tuttavia, dipende dalle proprietà delle superfici urbane e rurali, dalla stagione e dalle condizioni meteorologiche prevalenti. [4] L'aumento delle temperature riguarda sia le minime invernali, che le massime estive; mentre nel primo caso la conseguenza è un minor numero di giorni di gelo e/o di ghiaccio, nel secondo caso può determinarsi una maggiore intensità delle ondate. [5]

L'impatto delle ondate di calore in termini di modifica ambientale è descrivibile tramite la temperatura fisiologica equivalente (PET) e l'indice di clima termico universale (UTCI), che sono indici termici consolidati per la valutazione termica

all'aperto. Entrambi gli indici integrano gli effetti di tutti i parametri meteorologici fisiologicamente rilevanti (temperatura dell'aria, umidità relativa, velocità del vento e temperatura media radiante) e parametri personali (tasso metabolico e livello di isolamento degli indumenti) in un unico indice di temperatura. [6]

La presenza dell'ondata di calore crea delle condizioni di distribuzione delle persone non omogenea, ovvero le persone tenderanno a dirigersi nelle zone più fresche. Invece se non consideriamo l'ondata di calore avremo una distribuzione, nella piazza, delle persone omogenea, per ideali condizioni di comfort termico in esterno

1.3 BET e analisi del costruito

Le BET "Built Environment Typologies" hanno lo scopo di elaborare scenari ideali per la valutazione della sicurezza e resilienza delle BE "Built Environment" in condizione di emergenza [7]. Per andare definire le BET, è stato necessario creare un grande set di dati OS (open space), attraverso il GIS (geographic information system). Nell'ultimo periodo, il GIS, è un ottimo strumento di valutazione del rischio, in particolare per rischi da pericoli naturali.

Questi dati sono stati utilizzati nelle fasi successive del progetto BES²ECURE per produrre dei parametri che descrivono le BE in funzione delle loro caratteristiche funzionali, fisiche, morfologiche e costruttive. (Tabella 1)

	PARAMETRO	DEFINIZIONE
P1	Morfologia	Forma prevalente dell'OS, in termini di compattezza e regolarità della forma.
P2	Altezza	Confronto tra l'altezza massima "H _{max} " delle facciate degli edifici che definiscono il parametro dell'OS e la larghezza minima dell'OS "d ₂ ".

P3	Tipologia strutturale	Relativo alla presenza di una frontiera costruita lungo il parametro dell'OS.
P4	Accessi	In termini di numero rispetto al parametro dell'OS.
P5	Edifici speciali	Numero di edifici con funzione speciale, secondo quattro categorie: luoghi di culto, edifici pubblici, istruzione e attrazioni culturali e turistiche.
P6	Tecnica costruttiva	In termini di omogeneità della tecnica costruttiva, considerando la muratura come tipologia prevalente.
P7	Portici	Presenza di portici lungo il perimetro dell'OS.
P8	Pendenza	Assenza di terreno in pendenza, in termini di dislivello massimo.
P9	Verde	Presenza di spazi verdi, in termini di percentuale di aree verdi sull'area complessiva.

Tabella 1 – parametri utilizzati per definire le BET secondo BE²ECURE

L'analisi del database finale costruito dagli autori è stata effettuata utilizzando cinque variabili attive (P1, P2, P4, P8, P9) e una variabile supplementare (P5). Il set di dati finale includeva 1113 casi di studio, che è stato ridotto a 1111 dopo l'eliminazione di due OS identificati come valori anomali.

I risultati dell'analisi cluster hanno identificato cinque gruppi di OS, caratterizzati da specifiche caratteristiche dimensionali e funzionali. Combinando i risultati dell'analisi con una valutazione della variabile supplementare (P5) e un ulteriore approfondimento sull'altezza dei fronti (P2), sono state identificate nove BET finali. (*Figura 1*)

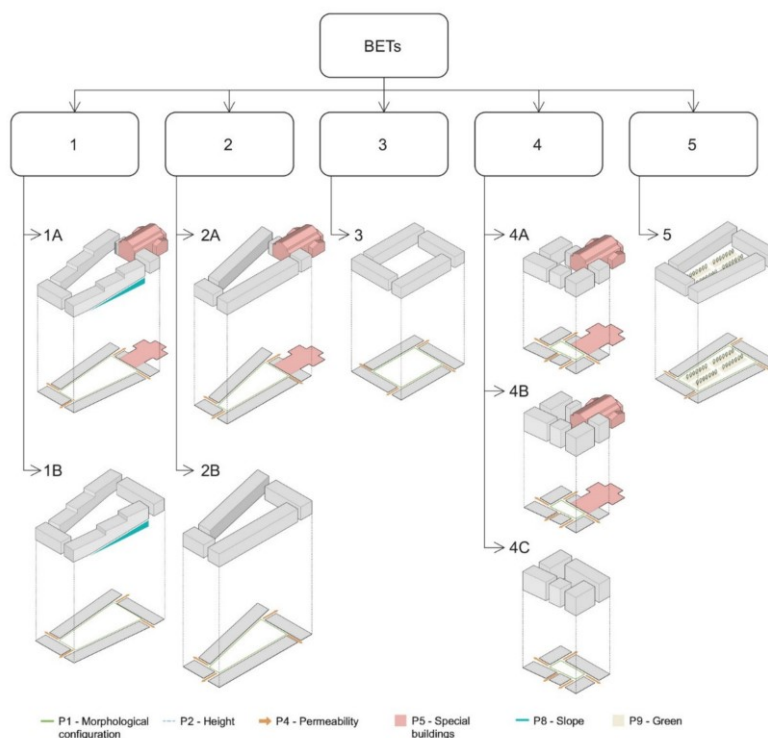


Figura 1 – Diagramma BET risultanti

BET 1A: Nessun problema di ribaltamento dei fronti (P2), quindi meno soggetto a rischio sismico; presenza di edifici speciali (P5), il che implica un rischio di attacco terroristico; terreno in pendenza o con dislivelli (P8), che fungono da possibili ostacoli al movimento di evacuazione, buone condizioni di ventilazione, trasporto e/o diluizione degli inquinanti; nessuna presenza di aree verdi (P9), quindi soggette a ondate di caldo.

BET 1B: Nessun problema di ribaltamento dei fronti (P2), quindi meno soggetto a rischio sismico; assenza di edifici speciali (P5), quindi meno soggetti al rischio di un attacco terroristico; terreno in pendenza o con dislivelli (P8), che fungono da possibili ostacoli al movimento di evacuazione, buone condizioni di ventilazione e trasporto e/o diluizione degli inquinanti; nessuna presenza di aree verdi (P9), quindi soggette a ondate di caldo.

BET 2A: Basso livello di compattezza e regolarità della morfologia (P1), che può

determinare condizioni critiche per i percorsi di evacuazione a causa di detriti o sovraffollamento durante eventi sismici; presenza di edifici speciali (P5), quindi a rischio di attacco terroristico; e nessuna presenza di aree verdi (P9), quindi soggette a ondate di caldo e inquinamento.

BET 2B: Basso livello di compattezza e regolarità della morfologia (P1), che può determinare condizioni critiche per i percorsi di evacuazione a causa di detriti o sovraffollamento durante eventi sismici; assenza di edifici speciali (P5), quindi meno soggetti al rischio di un attacco terroristico; e nessuna presenza di aree verdi (P9), quindi soggette a ondate di caldo e inquinamento.

BET 3: Elevata compattezza e regolarità della morfologia (P1), quindi meno soggette a condizioni critiche per i percorsi di evacuazione dovute a detriti o sovraffollamento durante eventi sismici; meno soggetto ad attacchi terroristici, per l'assenza di edifici speciali (P5); e nessuna presenza di aree verdi (P9), quindi soggette a ondate di caldo e inquinamento.

BET 4A: Problemi di ribaltamento dei fronti (P2), legati all'altezza massima dei fronti costruiti, quindi più soggetti al rischio sismico; senza rapporto critico tra numero di accessi e perimetro (P4), quindi possibile configurazione meno critica dei percorsi di evacuazione ed elevata permeabilità, quindi maggiore ventilazione dell'ambiente; presenza di edifici speciali (P5), quindi più soggetti al rischio di attacchi terroristici; e nessuna presenza di aree verdi (P9), quindi soggette ad inquinamento, ma meno a ondate di caldo, per l'elevato rapporto tra fronti e dimensione degli OS (e, quindi, la presenza di zone d'ombra).

BET 4B: Problemi di ribaltamento dei fronti (P2), legati all'altezza mediana dei fronti costruiti, quindi più soggetti a rischio sismico; senza rapporto critico tra numero di accessi e perimetro (P4), quindi possibile configurazione meno critica dei percorsi di evacuazione ed elevata permeabilità, quindi maggiore ventilazione dell'ambiente; presenza di edifici speciali (P5), quindi più soggetti

al rischio di attacchi terroristici; e nessuna presenza di aree verdi (P9), quindi soggette ad inquinamento, ma meno a ondate di caldo, per l'elevato rapporto tra fronti e dimensione degli OS (e, quindi, la presenza di zone d'ombra).

BET 4C: Problemi di ribaltamento dei fronti (P2), legati all'altezza mediana dei fronti costruiti, quindi più soggetti a rischio sismico; senza rapporto critico tra numero di accessi e perimetro (P4), quindi possibile configurazione meno critica dei percorsi di evacuazione ed elevata permeabilità, quindi maggiore ventilazione dell'ambiente; meno soggetto ad attacchi terroristici, per l'assenza di edifici speciali (P5); e nessuna presenza di aree verdi (P9), quindi soggette ad inquinamento, ma meno di ondate di caldo per l'elevato rapporto tra fronti e dimensione degli OS (e, quindi, la presenza di zone d'ombra).

BET 5: Nessun problema di ribaltamento dei fronti (P2), quindi meno soggetto a rischio sismico; assenza di edifici speciali (P5), quindi meno soggetti al rischio di attacchi terroristici; e presenza di aree verdi (P9), mitigazione dell'inquinamento e delle ondate di caldo. [7]

1.3.1 Obiettivo della Tesi

L'obbiettivo di questa tesi è quello di andare a studiare il comportamento delle persone sotto attacco terroristico con e senza la presenza di ondata di calore, applicato a Piazza dell'Odegitria (BA).

Questo studio serve quindi a valutare l'impatto che ha l'ondata di calore sulla distribuzione delle persone e di andarlo a confrontare nelle condizioni in cui non è presente questa ondata di calore. Tale compito è svolto tramite simulazioni comportamentali che rappresentano, prima dell'attacco, la distribuzione delle persone nella piazza in base alla temperatura UTCI esterna, e poi il processo di evacuazione conseguente all'attacco. Tutto questo serve per determinare quale condizione d'utilizzo dello spazio prima dell'evacuazione è più rischiosa.

2 FASI E METODI

La tesi si è articolata nelle seguenti fasi:

- 1) Creazione del setup;
- 2) Simulazione;
- 3) Risultati.

Lo sviluppo della seguente tesi è stato possibile grazie all'ausilio di diversi software come Autocad, Photoshop, Netlogo, Matlab ed Excel.

Autocad è servito per generare dei file in formato .png da dei file dwg, mentre Photoshop è servito per l'elaborazione di queste ultime immagini. Il modello in Netlogo, sviluppato in ambito BE S2ECURe [8], utilizza i file .png generati dai precedenti software e insieme a dei parametri, i quali descrivono la tipologia degli utenti e le caratteristiche dello scenario, va ad effettuare delle simulazioni e analisi comportamentali degli utenti, in particolare questo software di simulazione lavora con modelli Agent Based. Con Matlab, invece, sono stati letti e confrontati i vari dati dei diversi scenari di simulazione tramite tabelle e grafici, mentre con Excel sono stati generati dei diagrammi dalle tabelle estratte da Matlab.

2.1 Creazione setup

Come introdotto all'inizio del capitolo, Netlogo necessita dei file in formato png, per la generazione dei file è stato necessario l'utilizzo di AutoCAD, dove i file dwg sono stati riportati in scala 1:100 ed esportati in formato png con una qualità di 300 dpi. Una volta generate le immagini sono state modificate con l'utilizzo di Photoshop, ovvero sono state eliminate le parti in eccesso.

I file principali per Netlogo sono:

- **BETmap_IN:** [9] riguarda la descrizione della BET, i suoi elementi interni ed esterni, comprese le aree di utilizzo e gli ostacoli. Ogni elemento ha un colore RGB specifico a seconda della sua funzione, secondo la *Tabella 2*;

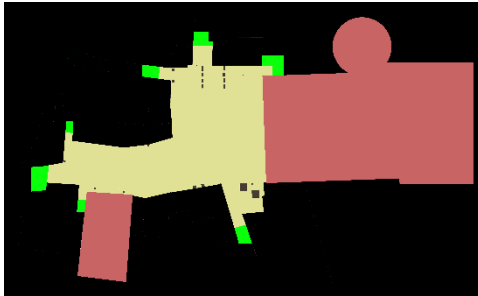


Figura 2 - BETmap_IN

- **SEISMICmap_IN:** descrive le aree interessate dai detriti in funzione delle valutazioni dovute a problematiche geometriche e di vulnerabilità degli edifici prospicienti la piazza. Colori e utilizzo sono offerti dalla *Tabella 4*;

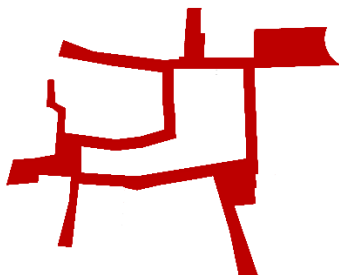


Figura 3 - SEISMICmap_IN

- **ATTACKmap_IN:** descrive le aree in cui viene eseguito l'attacco, secondo la *Tabella 4*;

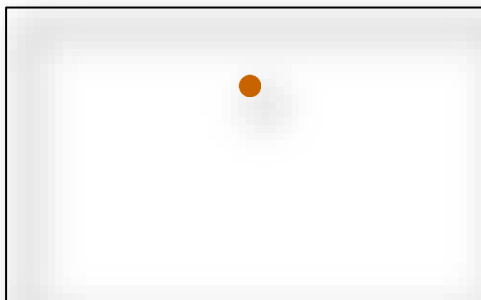


Figura 4 - ATTACKmap_IN

- **UTICImap_IN**: descrive le condizioni UTCI secondo gli output della simulazione SLOD. In questo caso non è stata svolta alcuna simulazione per ondate di calore, ma è stata considerata una situazione SLOD di partenza per valutare il multirischio. I colori in scala RGB da importare nel software sono riassunti nella *Tabella 3*

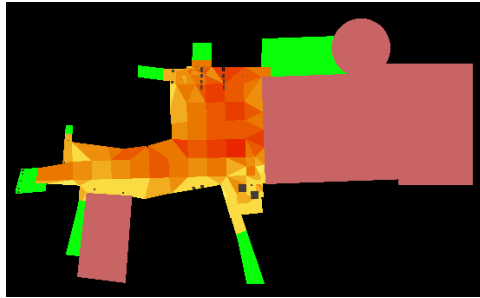


Figura 5 - UTICImap_IN

Geometria/uso	RGB	Uso principale nelle simulazioni
EDIFICI	0 0 0	Per generare persone collocate all'interno di edifici non speciali; L'area di questo colore dovrebbe essere uguale a quella degli edifici non speciali della BET (secondo D3.2.2 – ABAr (sezione 6)). Questi edifici possono essere danneggiati dal terremoto.
EDIFICI SPECIALI	200 100 100	Per generare persone collocate al chiuso in usi edilizi speciali; l'area di questo colore dovrebbe essere uguale a quella degli edifici speciali da simulare (secondo D3.2.3: 1310 m ² per teatri, 940 m ² per musei, 880 m ² per edifici religiosi e 1770 m ² per edifici governativi). Possono essere danneggiati a causa del terremoto.
AREA VERDE	150 200 150	Le persone non vengono generate in queste aree e rappresentano un ostacolo al movimento (es. alberi). Per renderle utilizzabili per i pedoni è necessario cambiare valore di settore in 2.9 nella funzione <i>importcolorBET</i> .
DEHORS	200 180 150	Per generare PO; l'area di questo colore dovrebbe essere uguale a quella degli edifici speciali da simulare, secondo D3.2.3 (in questo lavoro, il 5% dell'area esterna considerando un approccio conservativo al valore Q3 per tutto il campione valutato)
PORTICI	250 200 150	Per essere utilizzato dalle persone, qui possono essere generati OO.
ZONA PEDONALE	225 225 150	Per essere utilizzati dalle persone, qui vengono generati OO. La dimensione dipende da D3.2.3 (in questo lavoro il 65% dell'area esterna come valore mediano per tutto il campione di piazza valutato)
AREE VEICOLI	200 200 200	Non vanno generate persone in queste aree, ma saranno utilizzabili per gli sfollati. La dimensione dipende da D3.2.3 (in questo lavoro il 30% dell'area esterna come valore mediano approssimato per tutto il campione di piazza valutato)
ACQUA	40 100 200	Un ostacolo al processo di evacuazione. Dovrebbe essere circondato da ostacoli permanenti nel caso vi sia un ostacolo permanente rilevante (es. muratura di tamponamento in mattoni pieni). Questo valore è incluso nella percentuale OSTACOLI PERMANENTI in D3.2.3
OSTACOLI BASSI/TEMPORANEI	140 100 60	Ostacoli ribaltabili a causa della pressione delle persone in caso di alta densità di folla (escluse sedie, scrivanie, panche, mobili). Può essere utilizzato per delimitare aree dehors, aree acquatiche, aree veicolari e così via, oppure per rappresentare alcuni ostacoli nella gestione della folla (es. nei raduni di massa per dividere le aree della piazza).

OSTACOLI PERMANENTI	70 60 50	Ostacoli che non possono essere rimossi o piegati dalle persone durante lo spostamento, ad es. parapetti e barriere di mattoni/ cemento/ ferri, muretti, panchine massicce, sculture basse e così via. Può essere utilizzato per delimitare aree dehors, aree acquatiche, aree veicolari e così via, nonché per rappresentare barriere new jersey e dispositivi simili nella mitigazione di atti terroristici. La dimensione dipende da D3.2.3 (in questo lavoro, il 2% considerando un approccio conservativo al valore di Q3 per tutto il campione quadrato valutato).
STADE ACCESSIBILI	10 255 10	Utilizzate come aree sicure nell'evacuazione di atti terroristici, cioè mentre le persone escono dalla BET. Si raccomanda che le vie di accesso non siano poste all'ingresso della piazza, ma ad una distanza dal bordo pari alla larghezza della strada, per includere la simulazione degli effetti delle strozzature sulla dinamica pedonale di "entrare" ed "uscire" della BET.

Tabella 2 - RGB per geometria/uso per BETmapIN

Valore UTCI [°C]	RGB
24	70 107 169
25	101 133 190
26	131 162 215
27	166 196 244
28	183 207 225
29	204 219 186
30	238 235 118
31	249 235 89
32	250 219 66
33	242 172 32
34	237 142 12
35	234 119 0
36	234 88 0

Tabella 3 - RGB per valori UTCI

Altre mappe di rischio	RGB	Significato
ZONA DETRITI	189 0 0	Detriti per terremoto su edifici speciali
ZONE D'ATTACCO	200 100 0	Aree dove avviene l'attacco (in caso di attacchi con armi o con bombe) o dove inizia e finisce l'attacco (in caso di attacco con camion/auto, suggerendo quindi di utilizzare solo due aree colorate)

Tabella 4 1 - Mappe di input specifiche, con RGB

Tutti i file png devono situarsi nella stessa cartella, insieme al file di simulazione. Oltre a questi file devono essere presenti altri file di setup che vengono generati dal modello di Netlogo "Figura 6"

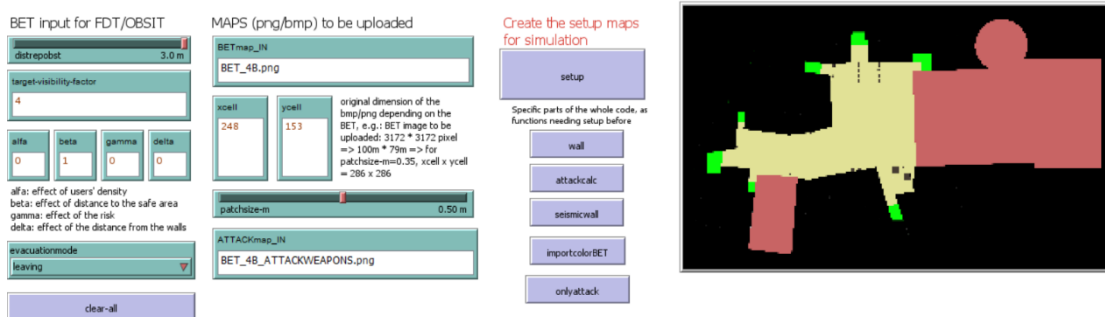


Figura 6 - setup creation_2022 v1.3

I parametri inseriti sono [9]:

- **Distreposbt [m]**: distanza di repulsione dagli ostacoli. 3 m (valore raccomandato) è il suo valore massimo poiché le persone non si preoccupano di ostacoli di maggiore distanza;
- **target-visibility-factor [-]**: Maggiore è il fattore, maggiore è l'impatto delle aree sicure poste dietro un muro e maggiore è l'attrazione dovuta alle aree sicure visibili. Un valore consigliato da valutazioni empiriche è pari a 4;
- **evacuationmode [-]**: "leaving", poiché questa condizione rappresenta l'evacuazione dell'atto terroristico dove le aree sicure possono essere visibili o meno;
- **alfa, beta, gamma, delta [-]**: sono fattori di correzione dell'accessibilità. Si riferisce a: ALFA=effetti della densità di utenza; BETA=effetti della distanza dalla zona sicura; GAMMA=effetti delle condizioni di rischio per la patch in corso DELTA=effetti di fenomeni repulsivi con gli ostacoli/pareti;

- **xcell, ycell [-]:** numero di celle nelle due direzioni dell'immagine. Dovrebbe essere calcolato in base alla dimensione originale del png a seconda della BET;
- **BETmap_IN [-]:** si inserisce il nome del file png della bet;
- **ATTACKmap_IN [-]:** si inserisce il nome del file png dell'attacco;
- **Patchsize-m [m]:** dimensione della patch in metri. Idealmente si utilizza 0.5cm.

Una volta inseriti tutti i parametri e cliccando su setup partirà il codice di calcolo e verranno generati i seguenti file [9]:

- **Attackrisk"target-visibility-factor" - "xcell e ycell" - "distrepobst"_"evacuationmode".bmp:** immagine di output che rappresenta le aree più rischiose (celle tendenti al bianco) e le aree meno rischiose (celle tendenti al nero) a seconda della distanza dalla sorgente di attacco; *figura 7*
- **Attackrisk"target-visibility-factor" - "xcell e ycell" - "distrepobst"_"evacuationmode".csv;**
- **"Obsit" "target-visibility-factor" - "xcell e ycell" - "distrepobst"_"evacuationmode".csv;**
- **"Fdt" "target-visibility-factor" - "xcell e ycell" - "distrepobst"_"evacuationmode".csv;**
- **"target" "target-visibility-factor" - "xcell e ycell" - "distrepobst"_"evacuationmode".bmp:** immagine di output che rappresenta le aree più rischiose (celle tendenti al bianco) e le aree meno rischiose (celle tendenti al nero) a seconda della distanza rispetto ai luoghi di raccolta (aree verdi). *Figura 8*

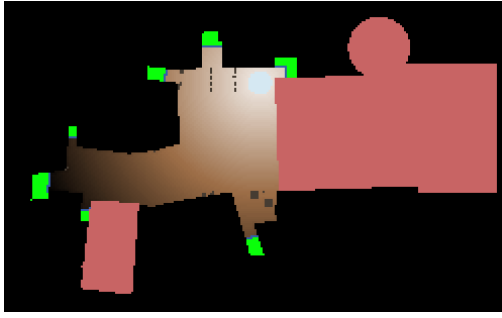


Figura 7

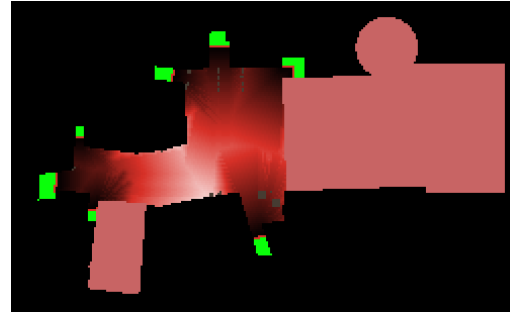


Figura 8

2.2 Simulazione

Una volta ottenuti tutti i file di setup e raggruppati nella stessa cartella, utilizzando il file Netlogo di simulazione “simulation from setup_2022 v1.6.1SB”. *Figura9*

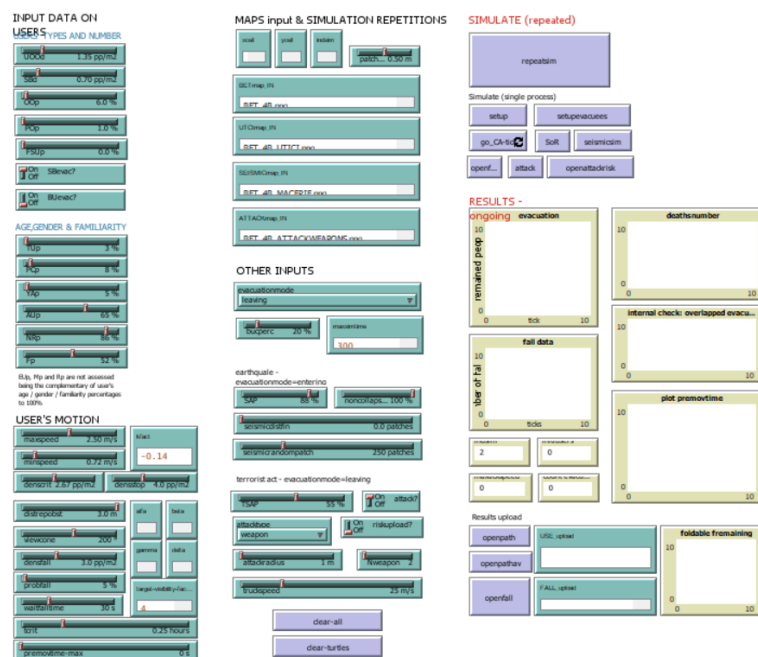


Figura 9 - simulation from setup_2022 v1.6.1SB

Il simulatore utilizza diverse categorie di parametri [9]:

- INPUT DATA ON USERS;
- USER'S MOTION;
- MAPS input & SIMULATION REPETITIONS;
- OTHER INPUTS.

Inoltre, durante la simulazione ci sono dei riquadri dove si può vedere l'andamento di risultati tramite delle curve. Queste curve rappresentano le curve di evacuazione, il numero dei morti, le cadute in funzione del tempo, la sovrapposizione tra gli sfollati e la posizione prima del movimento.

I dati che servono per effettuare le simulazioni sono:

- **UOod [pp/m²]:** densità complessiva degli utenti;
- **SBd [pp/m²]:** densità delle persone negli edifici speciali;
- **OOp [%]:** percentuale di persone generate in modo casuale situate all'esterno degli edifici;
- **POp [%]:** percentuale di persone nel dehors come prevalente utenza outdoor;
- **FSUp [%]:** percentuale di persone provenienti dalla strada e che entrano in piazza nel caso di evacuazione sismica;
- **SBevac? e BUevac:** gestiscono la partecipazione delle persone collocate al chiuso al processo di evacuazione.

I seguenti coefficienti invece prendono in considerazione la tipologia di utenti che sono presenti nella piazza.

- **TUp [%]:** percentuale dei neonati;
- **PCp [%]:** percentuale di bambini assistiti dai genitori;
- **YAp [%]:** percentuali di giovani;
- **AUp [%]:** percentuale di adulti;
- **Rp [%]:** percentuale di residenti;
- **NRp [%]:** percentuale di non residenti
- **Fp [%]:** percentuale di donne;
- **Mp [%]:** percentuale di uomini;

Fp ed Mp non sono richiesti come input dato che sono complementari dei rispettivi valori considerati.

Nella categoria USER'S MOTION possiamo trovarci i coefficienti che fanno riferimento alle caratteristiche di movimento degli utenti:

- **Maxspeed [m/s]:** massima velocità che gli utenti adottano in caso di emergenza;
- **Minspeed [m/s]:** minima velocità che gli utenti adottano in caso di emergenza;
- **Kfact [-]:** coefficiente di forma della formula di Kladek;
- **Denscrit [pp/m²):** velocità sperimentale massima secondo la formula di Kladek;
- **Densstop [pp/m²):** densità massima che implica l'arresto del movimento per condizioni critiche di sovraffollamento;
- **Distrepobst [m]:** replica la repulsione dagli ostacoli
- **Viewcone [°]:** angolo dell'intero campo visivo orizzontale per il movimento dell'individuo;
- **Densfall [pp/m²):** densità per la quale le persone possono iniziare a cadere a causa della densità pedonale troppo elevata;
- **Probfall [%]:** probabilità che l'individuo possa cadere in condizioni di densità critica (densfall) o flussi contrari o accelerazioni troppo elevate;
- **Waitfalltime [s]:** tempo di attesa per proseguire l'evacuazione dopo possibili cadute;
- **Alfa, beta, gamma e delta [-]:** fattori correttivi che influenzano gli utenti nella scelta delle celle;
- **Target-visibility-familiarity [-]:** fattore riguardante la visibilità dell'area sicura;

- **Tcrit [h]:** tempo di valutazione della perdita d'acqua, basato sull'analisi del tasso di sudorazione;
- **Premovtime-max [s]:** tempo massimo di premovimento, che viene applicato al singolo premovimento secondo una distribuzione uniforme casuale.

Invece nella categoria MAPS input & SIMULATION REPETITIONS, fanno parte alcuni coefficienti che sono stati definiti anche in "setup creation_2022 v1.3". I coefficienti che sono stati aggiunti sono:

- **Indsim [-] :** indica il numero di ripetizioni delle simulazioni;
- **UTICImap_IN:** nome del file png riguardante la distribuzione dell'ondata di calore generato in precedenza;
- **ATTACKmap_IN:** nome del file png della posizione dei punti di attacco generato in precedenza;

Infine, nell'ultima categoria "OTHER INPUTS" abbiamo:

- **evacuationmode:** tipo di evacuazione degli utenti, nel caso di attentato terroristico gli utenti devono uscire dalla piazza;
- **maxsimtime:** durata della simulazione;
- **bucperc [%]:** percentuale di permeabilità delle pareti dell'edificio, per simulare le dimensioni delle porte lungo i confini degli edifici.

Quest'ultima parte si divide in base al tipo di simulazione, ovvero, se devo simulare un attacco terroristico oppure un terremoto. Per l'attacco terroristico abbiamo:

- **TSAP [%]:** percentuale di utenti che possono lasciare la piazza grazie all'autosoccorso antiterrorismo;

- **attack?** : se l'attacco deve essere simulato, utilizzare lo switch di questa variabile in modalità "on";
- **riskupload?**: se true (uguale a on), caricherà le mappe di rischio calcolate dall'esecuzione del setup e non verrà calcolata alcuna valutazione aggiuntiva degli effetti di visibilità sui rischi di attacco. Questa scelta può essere effettuata per attacchi di tipo "bomba";
- **attacktype**: tipologie di attacco;
- **attackradius**: raggio di attacco;
- **Nweapon**: gli aggressori vengono generati nelle celle di ATTACKmap_IN e cercheranno di uccidere le persone nel loro raggio di attacco;
- **truckspeed**: velocità dell'autoveicolo simulato.

Una volta inseriti tutti i dati bisogna avviare la simulazione premendo il tasto repeatsim ed attendere il completamento della simulazione.

2.3 Risultati

Una volta effettuate tutte le simulazioni, con l'utilizzo di Matlab ed Excell, è possibile andare a leggere ed elaborare tutti i dati generati. I dati che vengono generati sono in formato csv e bmp. I file che sono stati generati sono [9]:

- **MAINDATA**: file csv contenente tutti i dati principali necessari nella fase di analisi;
- **Evacueesarrived**: file csv che rappresenta i dati di arrivo e di caratterizzazione degli evacuati;
- **Evacueesstarted**: file csv che rappresenta i dati di partenza e di caratterizzazione degli evacuati;

- **WlbetOO:** valutazione delle condizioni SLOD per esprimere il tasso di sudorazione in funzione delle condizioni dell'area esterna e la relativa perdita d'acqua;
- **Deathbyattack:** Dati sulle posizioni finali e sulla caratterizzazione degli evacuati uccisi dall'atto terroristico;
- **Spaceuse:** Modalità d'uso delle celle dagli evacuanti durante la ripetizione della simulazione;
- **Spacefall:** Possibilità di caduta nelle celle da parte degli evacuanti durante la ripetizione della simulazione;
- **Spaceusetot:** Valore normalizzato (e relativa mappa) di volte che un evacuante occupa una patch rispetto al numero totale di simulazione;
- **Fallvertime:** Numero di evacuati caduti durante il tempo di evacuazione;
- **Seismicssim:** dati sull'evacuazione sismica in condizioni statiche;
- **Statsum:** Lista delle variabili che caratterizzano le ripetizioni della simulazione, che considera sia i valori di input che il setup iniziale degli evacuanti;
- **Insideattheend:** Posizionamento e dati relativi degli utenti che non completano l'evacuazione al termine del tempo di simulazione;
- **Risk:** Considera il rischio calcolato all'inizio della simulazione a seconda delle condizioni di attacco;
- **Attackriskovertime:** Ci sono i valori di rischio delle celle ogni 10 secondi di simulazione.

I file bpm generati sono [9]:

- **Attackevac:** l'immagine presenta delle zone macchiate occupate dagli evacuanti che si stanno ancora muovendo a fine simulazione;

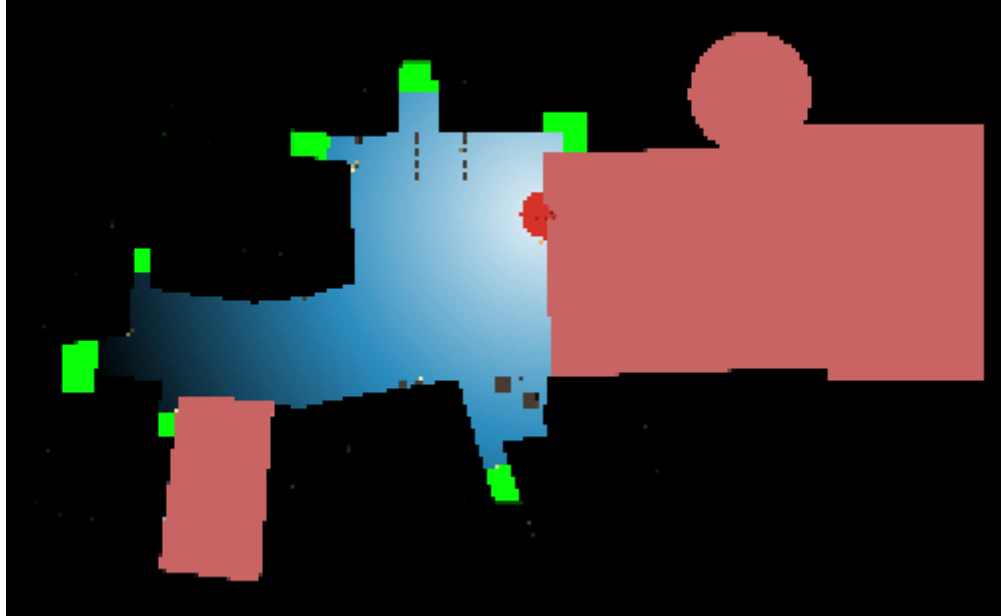


Figura 10 - Attackevac

- **Attackriskovertime:** l'immagine presenta delle zone macchiate in base alla distanza dalla fonte di attacco. Le zone cambiano colore a seconda del rischio, dal rosso (massimo rischio) al bianco (rischio minimo);

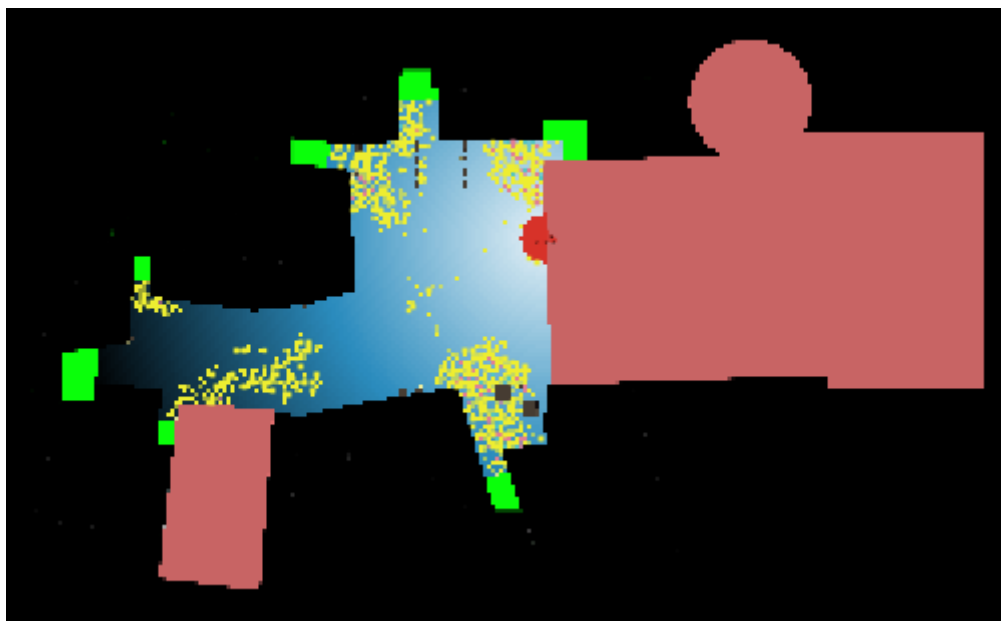


Figura 11 - Attackriskovertime

- **Pathuse:** condizioni di utilizzo del percorso usando una scala di colori dal bianco (nessun utilizzo) al rosso (massimo utilizzo);

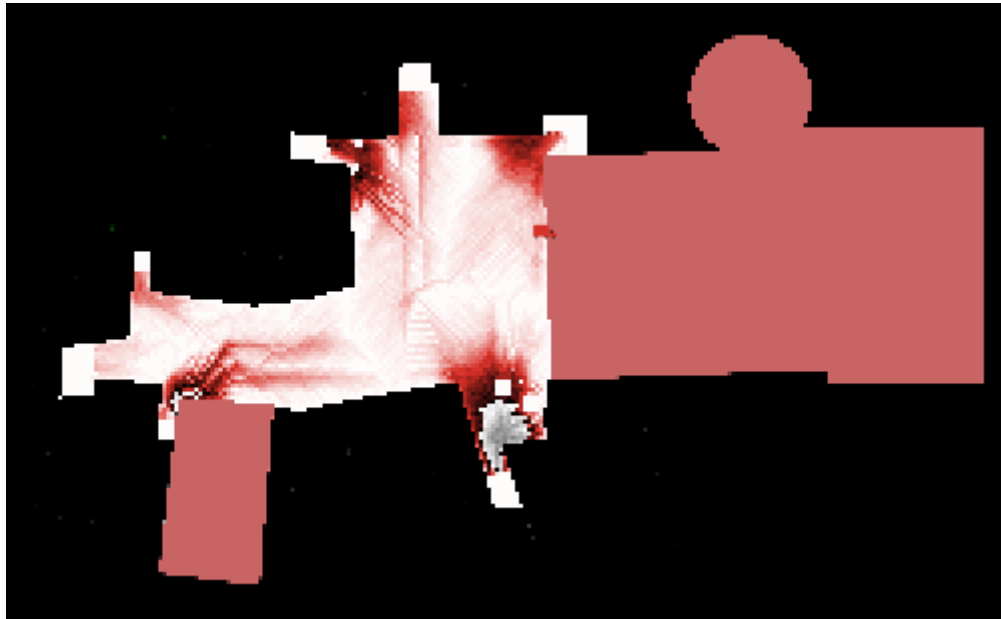


Figura 12 - Pathuse

- **Falls:** condizioni di utilizzo del percorso usando una scala di colori dal bianco (nessun utilizzo) al marrone scuro (massimo utilizzo).

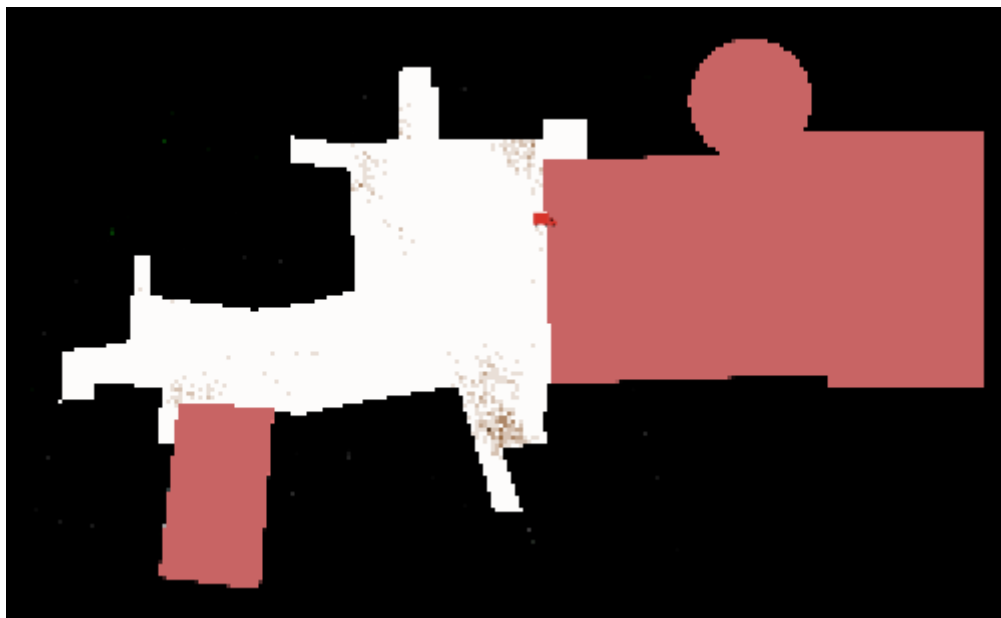
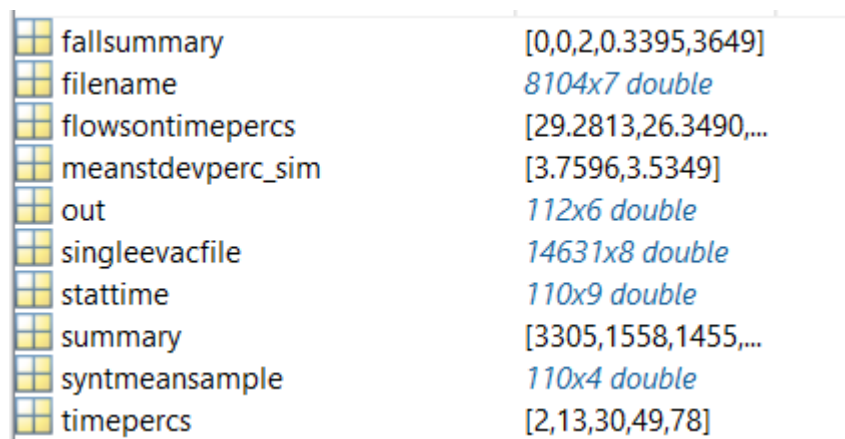


Figura 13 - Falls

I file csv principali per andare ad effettuare l'estrazione dei file output sono MAINDATA.csv ed evacueearrived.csv, i quali servono per generare la workspace di Matlab grazie a due codici, "evacgraphs" ed "ordsim".

Per generare la workspace utilizzo il comando "`function [filename, singleevacfile, stattime, syntmeansample, timepercs, flowsontimepercs, out, meanstdevperc_sim, fallsummary, summary] = evacgraphs (evacdata, ceilingvalue, singleevacdata, addname)`" del file evacgraphs, dove in "evacdata lo sostituisco con 'MAINDATA.csv', ceilingvalue con 1, sigleevacdata con 'evacueearrived.csv'. Una volta cambiati questi valori si può lanciare il codice e verra generata la workspace (figura 14) e diversi grafici.



fallsummary	[0,0,2,0.3395,3649]
filename	8104x7 double
flowsontimepercs	[29.2813,26.3490,...
meanstdevperc_sim	[3.7596,3.5349]
out	112x6 double
singleevacfile	14631x8 double
stattime	110x9 double
summary	[3305,1558,1455,...
syntmeansample	110x4 double
timepercs	[2,13,30,49,78]

Figura 14 - workspace

Nella workspace troviamo:

- **Fullsummary:** numero di cadute al quinto, al 50esimo e al 95esimo percentile;
- **Filename:** vettore del file MAINDATA;
- **Flowontimepercs:** flusso al tempo percentile;
- **Meanstdevperc_sim:** deviazione standard al 50esimo e al 95esimo percentile;

- **Out:** tabella che contiene dati riguardo utenti coinvolti nel processo di evacuazione (numero di utenti, numero di morti, tempo di simulazione, numero di utenti che terminano processo);
- **Singleevacdata:** vettore del file ARRIVED;
- **Stattime:** analisi statistica dei dati divisa in 9 colonne;
- **Summary:** raccolta complessiva dei dati riguardanti gli utenti in un'unica riga (numero utenti presenti inizialmente nella piazza, numero di utenti che prende parte al processo di evacuazione, media degli utenti che completano l'evacuazione, media degli utenti che non terminano il processo di evacuazione, tempo e flusso al tempo percentile);
- **Syntmeansample:** raccolta dei tempi di uscita ad ogni tick (media, deviazione standard percentuale e deviazione standard);
- **Timepercs:** tempi di evacuazione degli utenti al tempo percentile (5,25,50,75,95).

Mentre i grafici sono:

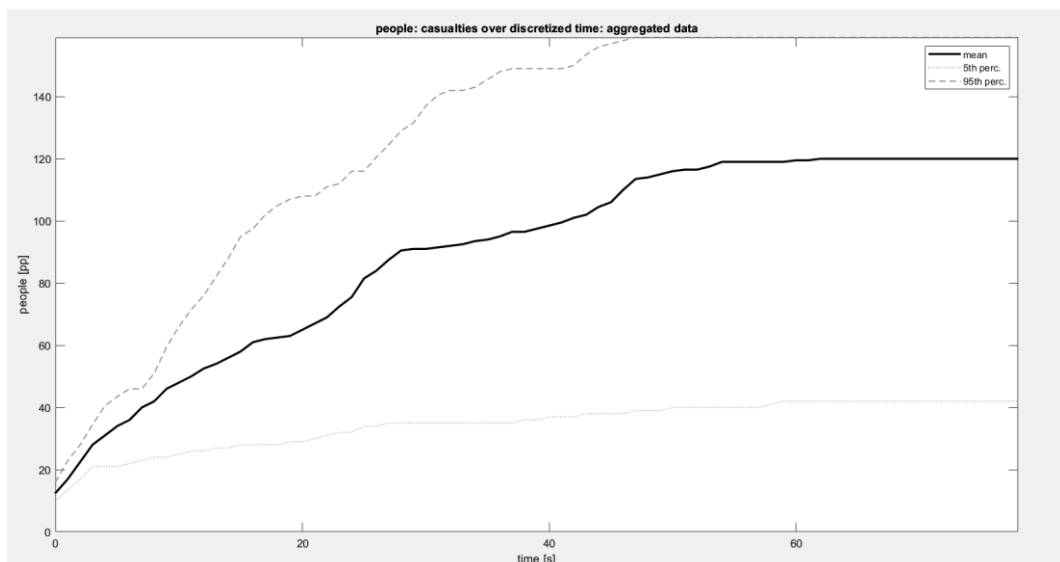


Figura 15 - curve di evacuazione in funzione del tempo con 3 tipi di condizioni, in nero condizioni mediane, in grigio condizioni 5 perc ed in grigio tratteggiato 95 perc.

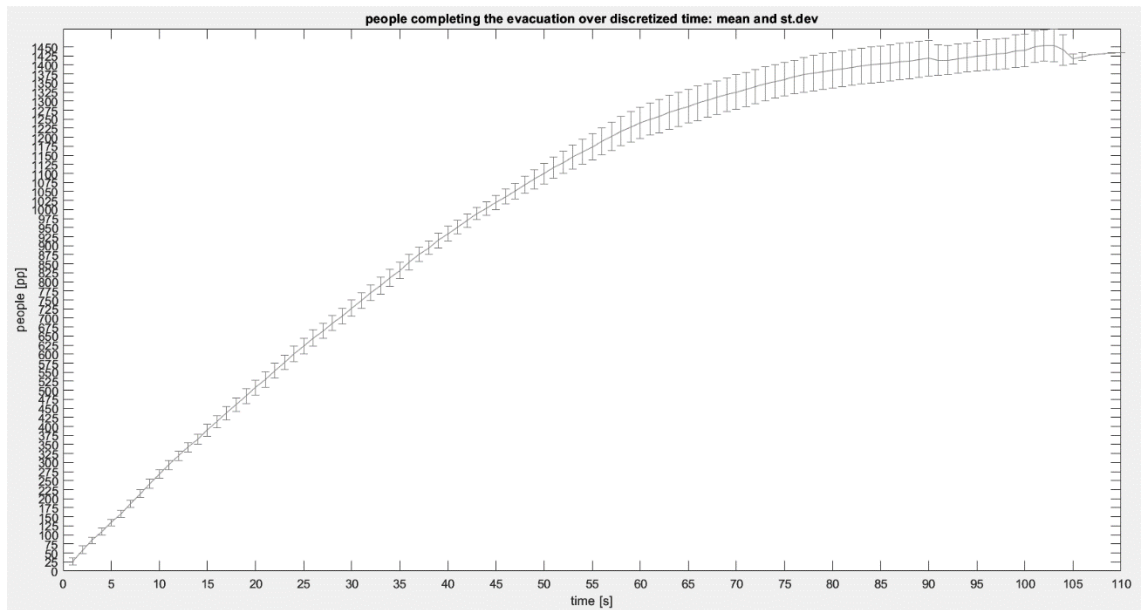


Figura 16 - Andamento medio delle persone (parte centrale) che completano l'evacuazione in funzione del tempo, e relativa deviazione standard che indica l'incertezza dei dati

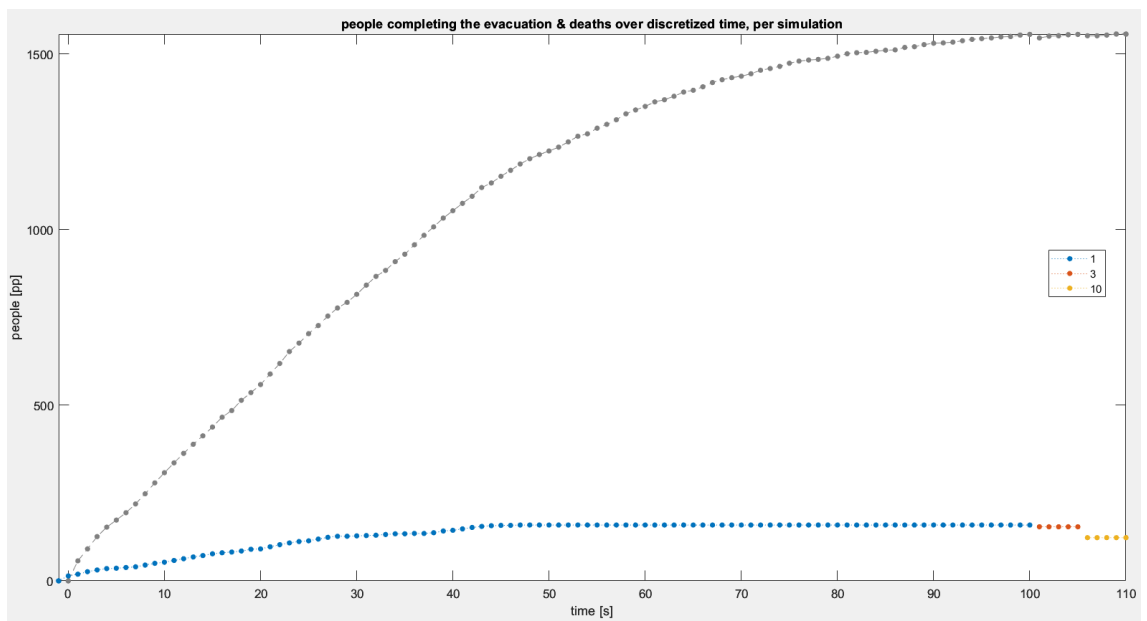


Figura 17 – persone che completano l'evacuazione nel tempo discretizzato, per simulazione.

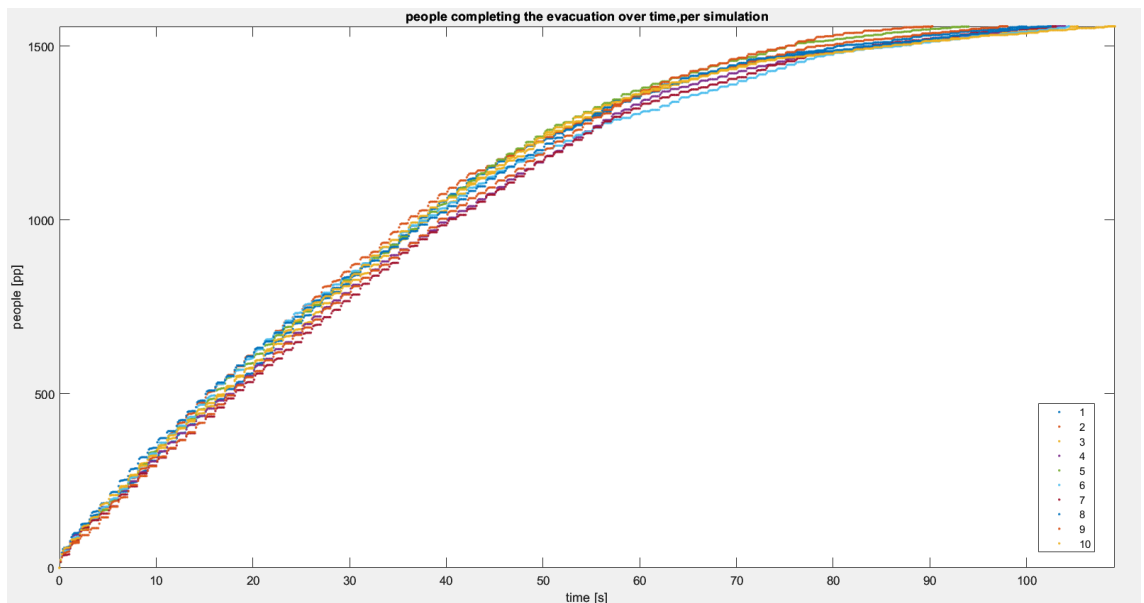


Figura 18 – persone che completano l'evacuazione nel tempo

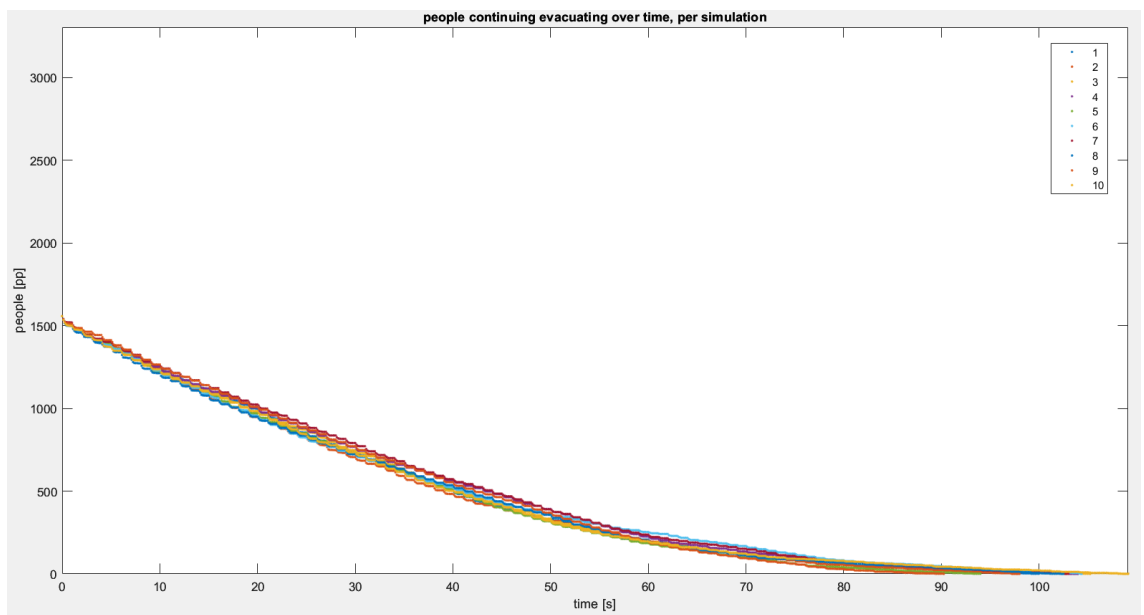


Figura 19 – grafico che descrive le persone che continuano ad evacuare nel tempo.

Questa procedura viene effettuata per ogni tipo di attacco nei diversi scenari e si andrà a confrontare i vari risultati. Questi grafici verranno spiegati nel capitolo 4.

3 CASO STUDIO e RISULTATI

3.1 Caso studio

La piazza soggetta a simulazioni sotto attacco terroristico è Piazza dell'Odegitria, situata nel centro storico del comune di Bari. La piazza (contorno rosso), con una superficie di 1125 mq. presenta 2 chiese, una di 1300 mq (contorno blu) e una di 300mq (contorno viola), infine ci sono molti locali commerciali.



Figura 20 - vista dall'alto della piazza (fonte google maps)

Di seguito possiamo vedere foto della piazza.



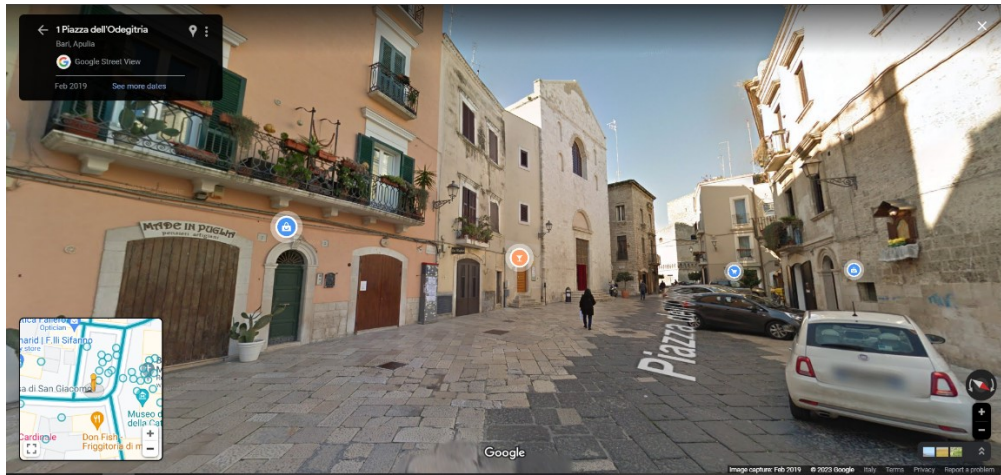


Figura 21 - inquadratura numero 1



Figura 22 - inquadratura numero 2



Figura 23 - inquadratura numero 3

3.2 Dati caso studio

In questo paragrafo verranno elencanti tutti i parametri e dati utilizzati nel simulatore per le tipologie di attacco. Le tipologie di attacco che vengono analizzati sono:

- Attacco con arma bianca;
- Attacco con autoveicolo;
- Falso allarme.

Le simulazioni dei diversi scenari di attacco sono state effettuate con 3 tipologie di densità, ovvero:

- 95 percentile;
- Mediana;
- Caso generico.

Questi dati sono stati presi sia dal manuale e sia da un file Excell, dove in questo file ci sono tutte le analisi sulla piazza, sulla tipologia e sulla densità degli utenti.

Partendo con la densità al 95 percentile le tabelle generate sono:

INPUT TABLE WEAPONS (95 percentiles)							
USER'S TYPES AND NUMBER		AGE, GENDER & FAMILIARITY		USER'S MOTION		OTHER INPUTS	
UOod	1.35	TUp	3%	maxspeed	2.5	evacuationmode	leaving
SBd	0,7	PCp	8%	minspeed	0.72	bucperc	20
OOp	6%	YAp	5%	kfact	-0.14	maxsimtime	300s
POp	1%	AUp	65%	denscrit	2.67	TSAP	50%
FSUp	0	NRp	86%	densstop	4	attack?	true
SBevac	ON	Fp	52%	distrepobst	3	riskpload	false
BUevac	OFF			viewcone	200°	attacktype	weapon
				densfall	3	attackradius	1
				probfall	5	Nweapon	2
				waitfalltime	30	truckspeed	25
				tcrit	0.25		
				proemovtime-max	0		
				alfa	0		
				beta	0.9		
				gamma	0.1		
				delta	0		

Tabella 5 2 - Tabella input per attacco con arma bianca

INPUT TABLE TRUCK (95 percentiles)							
USER'S TYPES AND NUMBER		AGE, GENDER & FAMILIARITY		USER'S MOTION		OTHER INPUTS	
UOod	1.35	TUp	3%	maxspeed	2.5	evacuationmode	leaving
SBd	0,7	PCp	8%	minspeed	0.72	bucperc	20
OOp	6%	YAp	5%	kfact	-0.14	maxsimtime	300s
POp	1%	AUp	65%	denscrit	2.67	TSAP	50%
FSUp	0	NRp	86%	densstop	4	attack?	true
SBevac	ON	Fp	52%	distrepobst	3	riskpload	false
BUevac	OFF			viewcone	200°	attacktype	truck
				densfall	3	attackradius	3
				probfall	5	Nweapon	2
				waitfalltime	30	truckspeed	25
				tcrit	0.25		
				proemovtime-max	0		
				alfa	0		
				beta	0.9		
				gamma	0.1		
				delta	0		

Tabella 6 3 - Tabella input per attacco con autoveicolo

INPUT TABLE GENERIC (95 percentiles)							
USER'S TYPES AND NUMBER		AGE, GENDER & FAMILIARITY		USER'S MOTION		OTHER INPUTS	
UOod	1.35	TUp	8%	maxspeed	2.5	evacuationmode	leaving
SBd	0,7	PCp	5%	minspeed	0.72	bucperc	20
OOp	6%	YAp	65%	kfact	-0.14	maxsimtime	300s
POp	1%	AUp	86%	denscrit	2.67	TSAP	50%
FSUp	0	NRp	52%	densstop	4	attack?	true
SBevac	ON	Fp	52%	distrepobst	3	riskpload	false
BUevac	OFF			viewcone	200°	attacktype	generic
				densfall	3	attackradius	2
				probfall	5	Nweapon	2
				waitfalltime	30	truckspeed	25
				tcrit	0.25		
				proemovtime-max	0		
				alfa	0		
				beta	0.9		
				gamma	0.1		
				delta	0		

Tabella 7 4 - Tabella input per falso allarme

Per la densità mediana abbiamo:

INPUT TABLE WEAPONS (mediana)							
USER'S TYPES AND NUMBER		AGE, GENDER & FAMILIARITY		USER'S MOTION		OTHER INPUTS	
UOod	0.21	TUp	3%	maxspeed	2.5	evacuationmode	leaving
SBd	0.7	PCp	8%	minspeed	0.72	bucperc	20
OOp	6%	YAp	5%	kfact	-0.14	maxsimtime	300s
POp	1%	AUp	65%	denscrit	2.67	TSAP	50%
FSUp	0	NRp	14%	densstop	4	attack?	true
SBevac	ON	Fp	52%	distrepobst	3	riskpload	false
BUevac	OFF			viewcone	200°	attacktype	weapon
				densfall	3	attackradius	1
				probfall	5	Nweapon	2
				waitfalltime	30	truckspeed	25
				tcrit	0.25		
				proemovtime-max	0		
				alfa	0		
				beta	0.9		
				gamma	0.1		
				delta	0		

Tabella 8 5 - Tabella input per attacco con arma bianca

INPUT TABLE TRUCK (mediana)							
USER'S TYPES AND NUMBER		AGE, GENDER & FAMILIARITY		USER'S MOTION		OTHER INPUTS	
UOod	0.21	TUp	3%	maxspeed	2.5	evacuationmode	leaving
SBd	0.7	PCp	8%	minspeed	0.72	bucperc	20
OOp	6%	YAp	5%	kfact	-0.14	maxsimtime	300s
POp	1%	AUp	65%	denscrit	2.67	TSAP	50%
FSUp	0	NRp	14%	densstop	4	attack?	true
SBevac	ON	Fp	52%	distrepobst	3	riskpload	false
BUevac	OFF			viewcone	200°	attacktype	truck
				densfall	3	attackradius	3
				probfall	5	Nweapon	2
				waitfalltime	30	truckspeed	25
				tcrit	0.25		
				proemovtime-max	0		
				alfa	0		
				beta	0.9		
				gamma	0.1		
				delta	0		

Tabella 9 6 - Tabella input per attacco con autoveicolo

INPUT TABLE FALSO ALLARME (mediana)							
USER'S TYPES AND NUMBER		AGE, GENDER & FAMILIARITY		USER'S MOTION		OTHER INPUTS	
UOod	0.21	TUp	3%	maxspeed	2.5	evacuationmode	leaving
SBd	0.7	PCp	8%	minspeed	0.72	bucperc	20
OOp	6%	YAp	5%	kfact	-0.14	maxsimtime	300s
POp	1%	AUp	65%	denscrit	2.67	TSAP	50%
FSUp	0	NRp	14%	densstop	4	attack?	true
SBevac	ON	Fp	52%	distrepobst	3	riskpload	false
BUevac	OFF			viewcone	200°	attacktype	generic
				densfall	3	attackradius	2
				probfall	5	Nweapon	2
				waitfalltime	30	truckspeed	25
				tcrit	0.25		
				proemovtime-max	0		
				alfa	0		
				beta	0.9		
				gamma	0.1		
				delta	0		

Tabella 10 7 - Tabella input per falso allarme

Infine, per le condizioni generiche:

INPUT TABLE WEAPONS (generic)							
USER'S TYPES AND NUMBER		AGE, GENDER & FAMILIARITY		USER'S MOTION		OTHER INPUTS	
UOod	0.2	TUp	3%	maxspeed	2.5	evacuationmode	leaving
SBd	0.4	PCp	9%	minspeed	0.72	bucperc	20
OOp	23%	YAp	5%	kfact	-0.14	maxsimtime	300s
POp	1%	AUp	64%	denscrit	2.67	TSAP	50%
FSUp	0	NRp	48%	densstop	4	attack?	true
SBevac	ON	Fp	52%	distrepobst	3	riskpload	false
BUevac	OFF			viewcone	200°	attacktype	weapon
				densfall	3	attackradius	1
				probfall	5	Nweapon	2
				waitfalltime	30	truckspeed	25
				tcrit	0.25		
				proemovtime-max	0		
				alfa	0		
				beta	1		
				gamma	0		
				delta	0		

Tabella 11 8 - Tabella input per attacco con arma bianca

INPUT TABLE TRUCK (generic)							
USER'S TYPES AND NUMBER		AGE, GENDER & FAMILIARITY		USER'S MOTION		OTHER INPUTS	
UOod	0.2	TUp	3%	maxspeed	2.5	evacuationmode	leaving
SBd	0.4	PCp	9%	minspeed	0.72	bucperc	20
OOp	23%	YAp	5%	kfact	-0.14	maxsimtime	300s
POp	1%	AUp	64%	denscrit	2.67	TSAP	50%
FSUp	0	NRp	48%	densstop	4	attack?	true
SBevac	ON	Fp	52%	distrepobst	3	riskpload	false
BUevac	OFF			viewcone	200°	attacktype	truck
				densfall	3	attackradius	3
				probfall	5	Nweapon	2
				waitfalltime	30	truckspeed	25
				tcrit	0.25		
				proemovtime-max	0		
				alfa	0		
				beta	1		
				gamma	0		
				delta	0		

Tabella 12 9 - Tabella input per attacco con autoveicolo

INPUT TABLE FALSO ALLARME (generic)							
USER'S TYPES AND NUMBER		AGE, GENDER & FAMILIARITY		USER'S MOTION		OTHER INPUTS	
UOod	0.2	TUp	3%	maxspeed	2.5	evacuationmode	leaving
SBd	0.4	PCp	9%	minspeed	0.72	bucperc	20
OOp	23%	YAp	5%	kfact	-0.14	maxsimtime	300s
POp	1%	AUp	64%	denscrit	2.67	TSAP	50%
FSUp	0	NRp	48%	densstop	4	attack?	true
SBevac	ON	Fp	52%	distrepobst	3	riskpload	false
BUevac	OFF			viewcone	200°	attacktype	generic
				densfall	3	attackradius	2
				probfall	5	Nweapon	2
				waitfalltime	30	truckspeed	25
				tcrit	0.25		
				proemovtime-max	0		
				alfa	0		
				beta	1		
				gamma	0		
				delta	0		

Tabella 13 10 - Tabella input per falso allarme

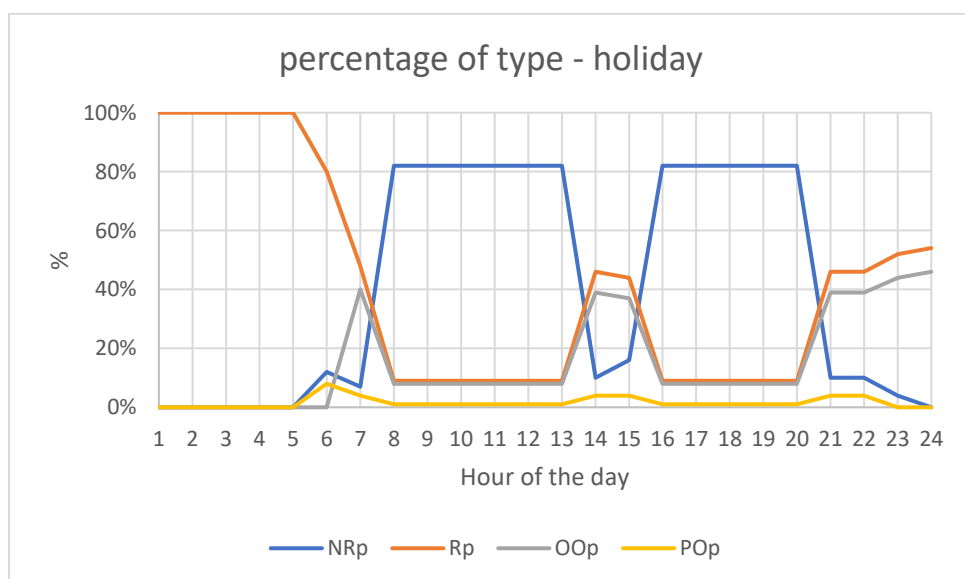


Grafico 1 - distribuzione giornaliera delle persone

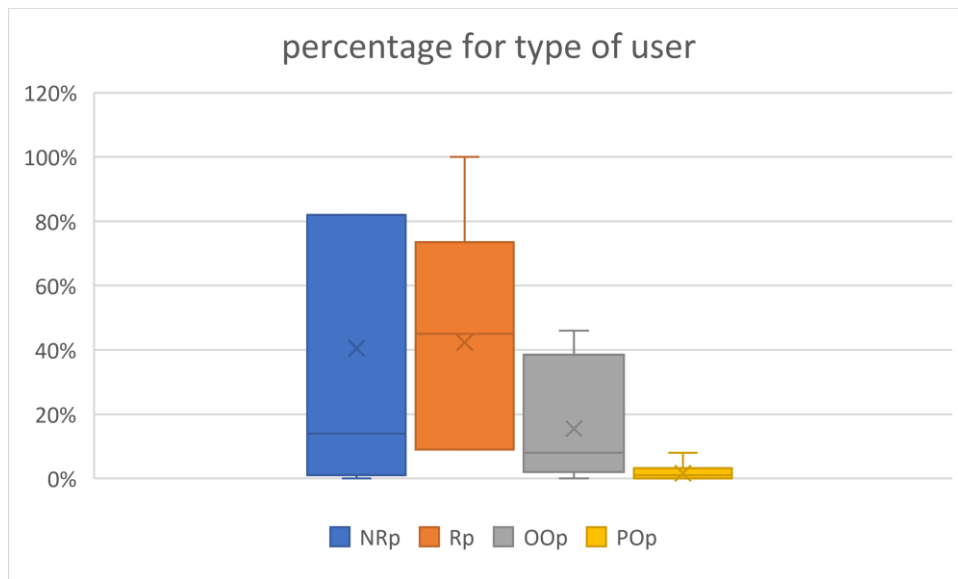


Grafico 2 - distribuzione giornaliera delle persone

I grafici 1 e 2 illustrano l'andamento percentuale degli utenti per tipo di utilizzatore: non residenti (NR), residenti (R), only outdoors (OO), prevalent outdoors(PO) in base alla ore della giornata. Il grafico 2 ci permette di determinare le condizioni mediane, che sono rappresentative dell'orario delle 7 del mattino e delle 21 di sera nei giorni del fine settimana, e, in particolare (Grafico e) della fascia tra le ore 11 e le ore 16, quelle con massima probabilità di un'ondata di calore in estate).

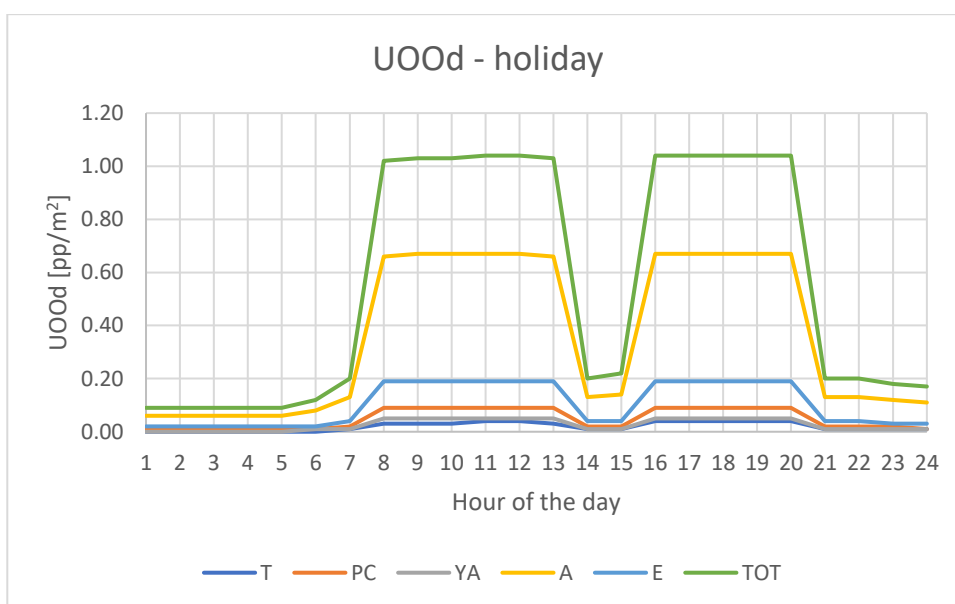


Grafico 3 - grafico densità delle persone

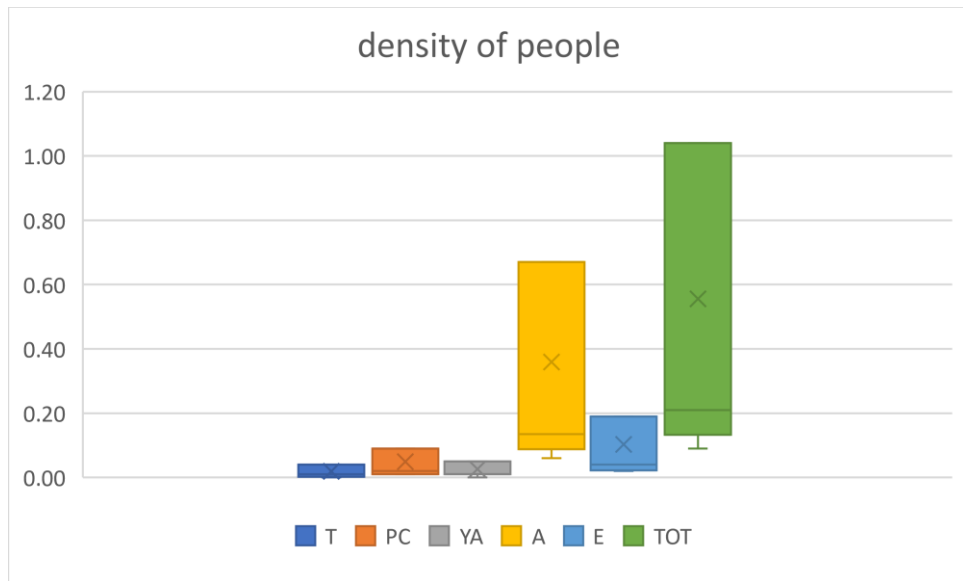


Grafico 4 - densità delle persone

Infine, il grafico 4 è stato creato considerando le caratteristiche psico-fisiche che accomunano persone di età ravvicinate [10], tenendo conto dei possibili comportamenti simili che assumerebbero in caso di emergenza.

3.3 Simulazioni

Gli scenari di attacco sono stati simulati sia con la presenza di UTCI e sia senza la presenza di UTCI. Questa condizione comporta una differenza sulla generazione delle persone nella piazza.

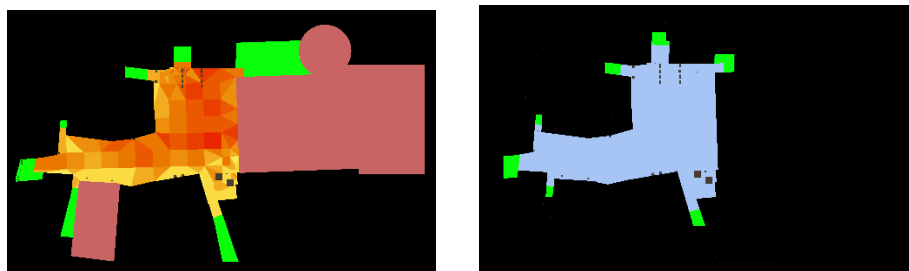


Figura 24 - a sinistra abbiamo la presenza di UTCI, a destra no.

Sono state fatte 10 ripetizioni di simulazioni di ogni tipo di simulazioni, ed una volta finite tramite Matlab sono stati generati i grafici che ci hanno permesso di andare a studiare tutti i casi presi in considerazione.

3.4 Risultati e discussione

Grazie all'utilizzo di Matlab sono state generate le seguenti curve:

Il primo confronto avviene tra le curve di evacuazione con e senza UTICI per tipologia di attacco, con valori di affollamento mediani. Il confronto avviene con valori mediani perché è la condizione di affollamento più ricorrente.

Per l'attacco con arma bianca possiamo notare come la presenza di ondata di calore sembra collegarsi ad una velocizzazione nel processo di evacuazione delle persone, come mostrato dalla pendenza della retta. Inoltre arrivano più persone ad una zona sicura (valore massimo di y nel grafico 4):

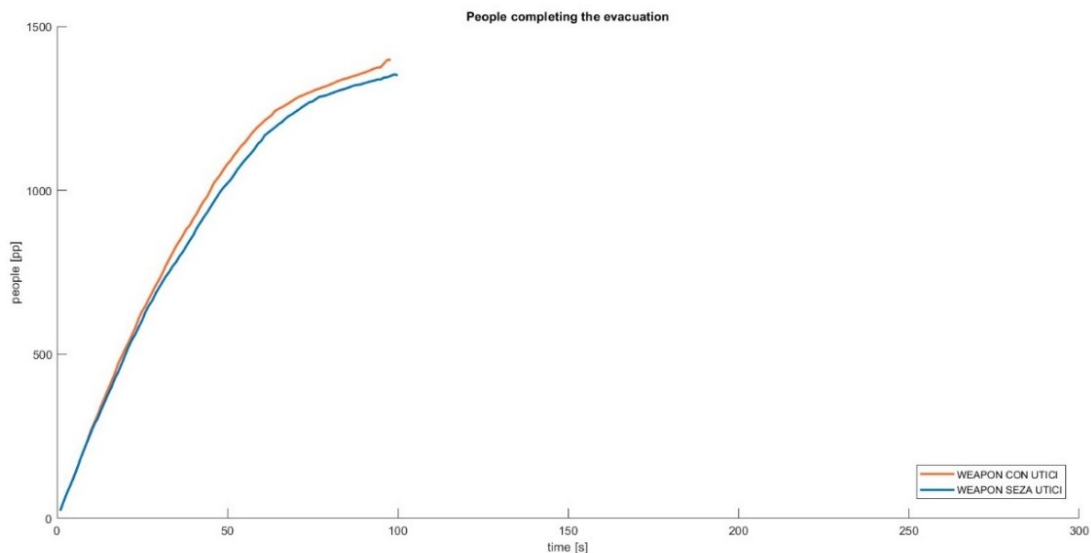


Grafico 4 - curve di evacuazione con e senza UTICI per attacco con arma bianca.

Al contrario, per l'attacco con autoveicolo, possiamo notare che senza la presenza di UTICI ad un numero maggiore di persone di completare l'evacuazione. Anche il numero di persone che riescono a mettersi in salvo cresce:

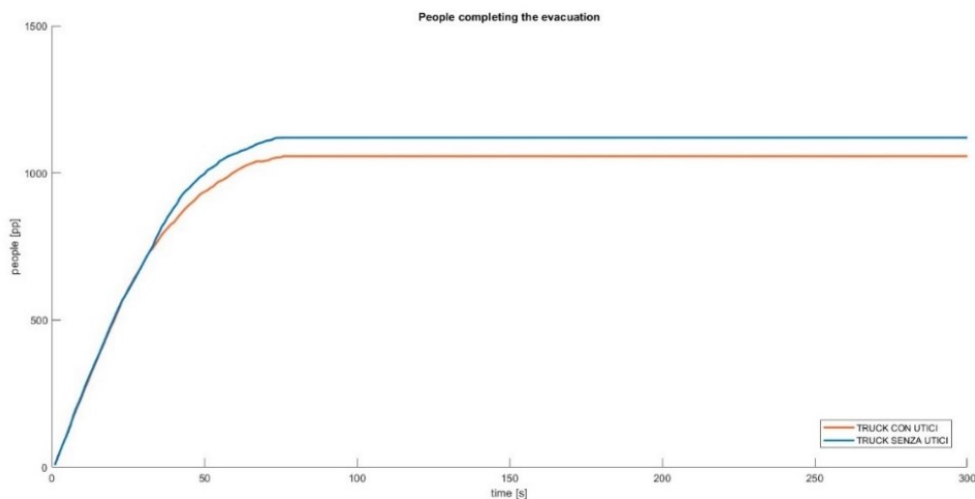


Grafico 5 - curve di evacuazione con e senza UTICI per attacco con autoveicolo.

Infine per il falso allarme possiamo notare che senza la presenza di UTICI ad un numero maggiore di persone di completare l'evacuazione, oltre che una maggior rapidità di esodo, come mostrato dalla pendenza delle curve soprattutto nel tratto finale (oltre 50s)

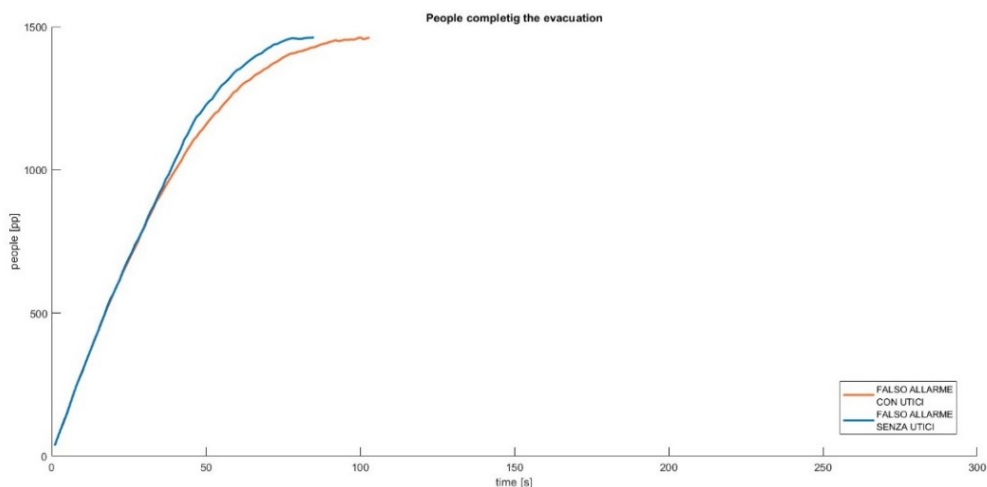


Grafico 6 - curve di evacuazione con e senza UTICI per falso allarme

La seconda tipologia di confronto viene effettuato il confrontando tra le curve di evacuazione del caso generico e del caso reale. Le condizioni di affollamento sono sempre quelle mediane, in termini di densità, ma cambia il numero finale di persone

Pertanto, possiamo notare che nel caso reale vengono generati un numero maggiore di persone. Tipologia attacco con arma bianca implica un andamento dell'evacuazione graficamente simile:

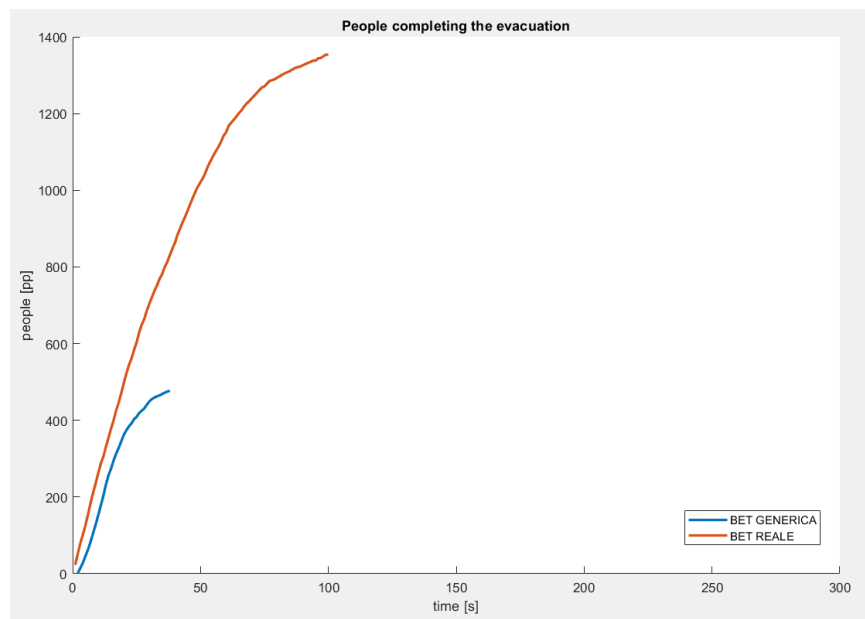


Grafico 7 - curve di evacuazione senza UTICI per attacco con arma bianca tra BET reale e generica

La tipologia di attacco con autoveicolo,una aumento della pendenza nel caso della BET reale, legato probabilmente alla maggior numerosità di persone più che alle questioni geometriche e di percorso :

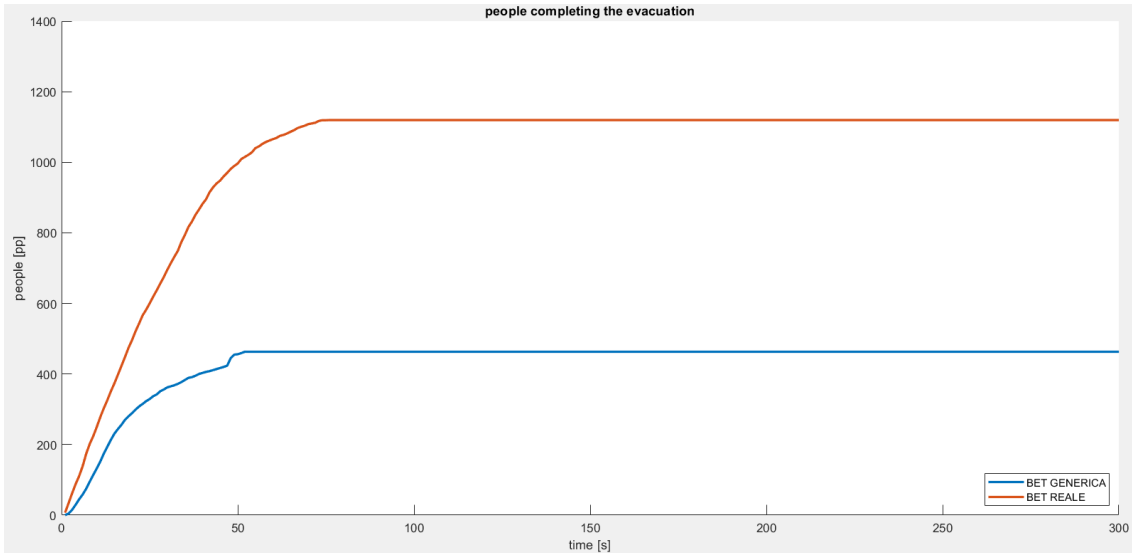


Grafico 8 - curve di evacuazione senza UTICI per attacco con autoveicolo tra BET reale e generica

Nel Falso allarme, possiamo fare lo stesso discorso del grafico 7:

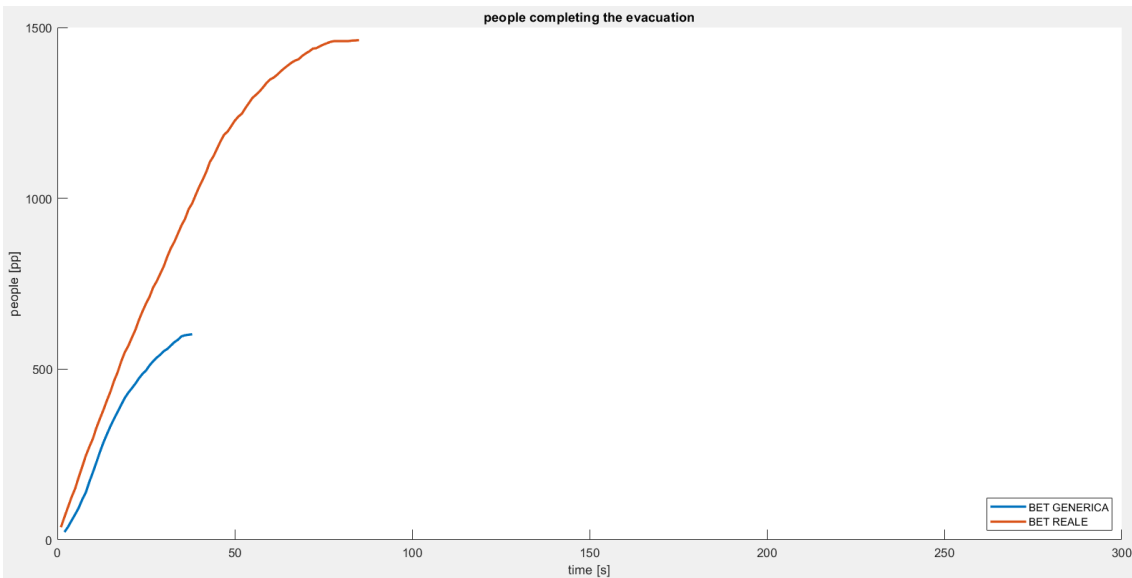


Grafico 9 - curve di evacuazione senza UTICI per falso allarme tra BET reale e generica

Infine, la terza tipologia di confronto avviene confrontando le curve di evacuazione di ogni attacco, con la presenza di UTICI, per grado di affollamento.

Attacco con Arma Bianca:

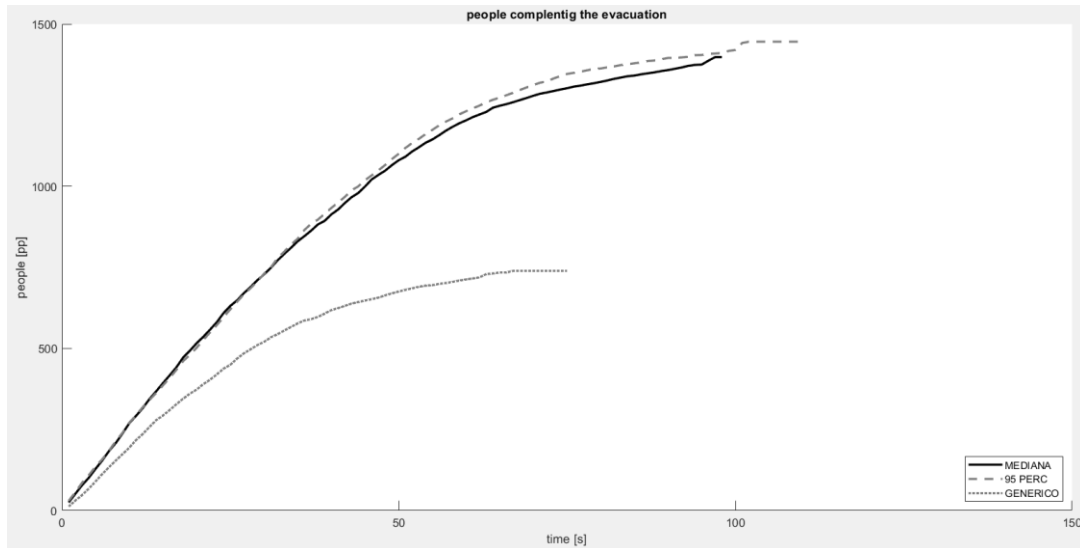


Grafico 10 - curve di evacuazione con UTICI per attacco con arma bianca per 3 tipologie di affollamento.

Attacco con Autoveicolo:

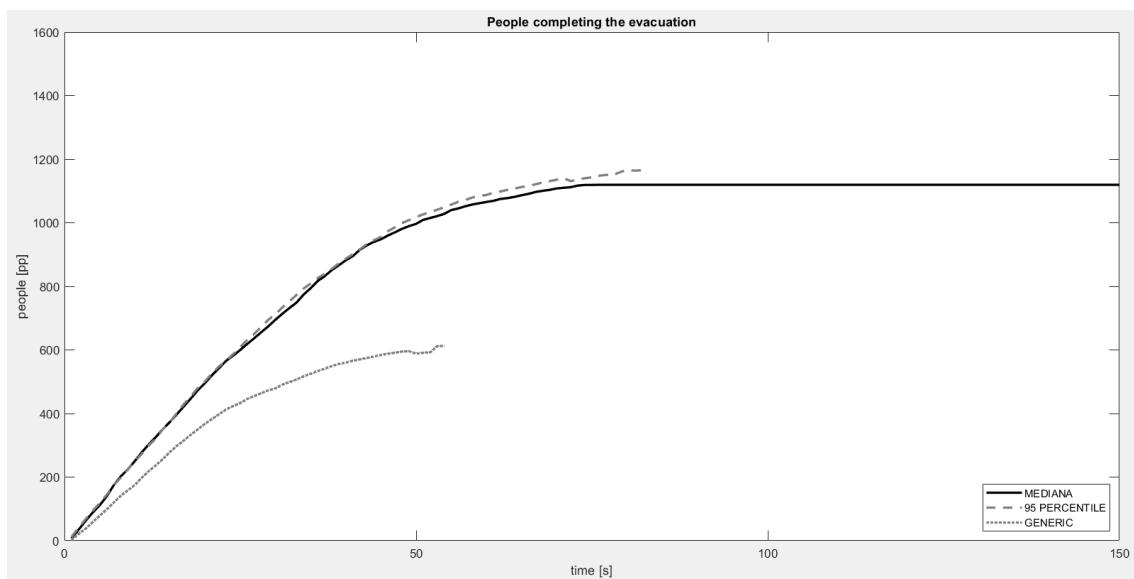


Grafico 11 - curve di evacuazione con UTICI per attacco con autoveicolo per 3 tipologie di affollamento.

Ed infine il falso allarme:

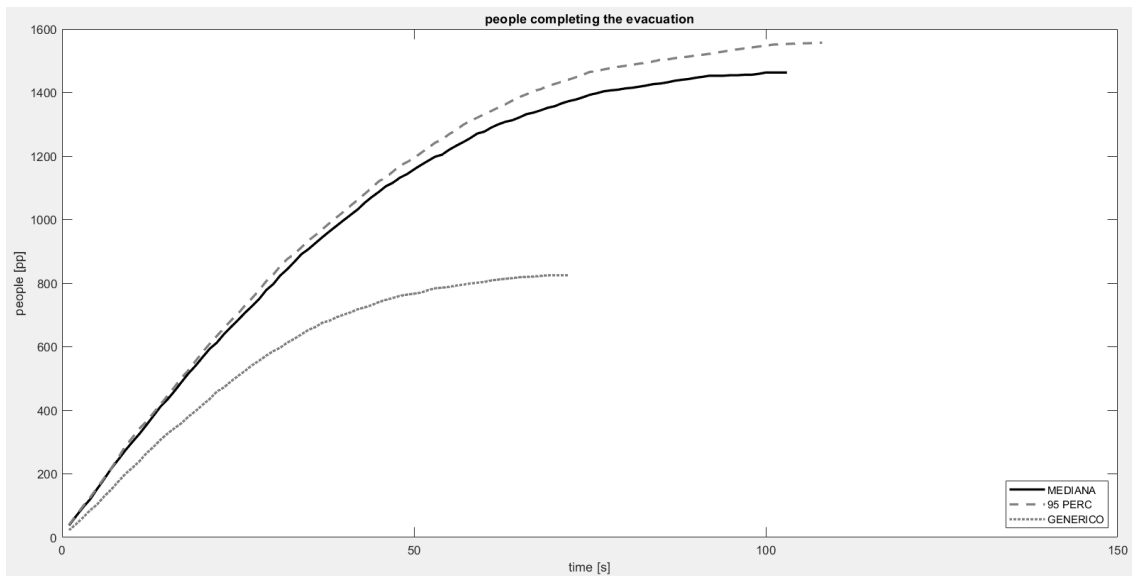


Grafico 12 - curve di evacuazione con UTICI per falso allarme per 3 tipologie di affollamento.

Tutti questi confronti vengono rappresentati con delle curve dove sull'asse delle x abbiamo il tempo e sull'asse delle y abbiamo il numero delle persone.

Possiamo notare che nelle condizioni di affollamento mediana caso studio e 95 percentile caso studio hanno un andamento simile ma la differenza principale sta nel numero di persone che completano l'evacuazione e nel tempo che ci impiegano. Maggiore è il numero di persone e maggiore sarà il tempo impiegato. Tali curve, comunque, sono prossime visto che l'impatto principale di numerosità di persone nel caso studio è legata non agli only outdoor e ai prevalent outdoor, ma agli occupanti in attesa di entrare nella cattedrale. La condizioni generica, invece è condizionata dalle assunzioni visti nei grafici 7, 8 e 9, con processo di esodo apparentemente meno veloce in termini di pendenza perché minore è il numero di occupanti.

Nel workspace di matlab abbiamo a disposizione, per ogni scenario ed attacco, delle tabelle chiamate "SUMMARY". *Tabella 14*

CASO STUDIO SENZA ONDATA DI CALORE								
initial_square	initial_evacuee	arrived	nonarrived	T95	F95	Contacts	deaths50	SimName
827	827	803	24	98	8.192979029	810	0	geAN
827	827	613	214	41.1	13.78588808	420	233	geTN
827	827	761	66	55	13.04840909	875	78	geWN
1447	1447	1446	1	65	21.11326923	2737	0	maAN
1858	1471	1179	292	64	16.8921875	1991	350	maTN
1858	1471	1396	75	70	18.71303571	3120	111	maWN
1447	1447	1446	1	64	21.48535156	2693	0	meAN
1447	1447	1334	113	67	18.86119403	2650	130	meWN
1447	1447	1127	320	62	17.16108871	1963	356	meTN
CASO STUDIO CON ONDATA DI CALORE								
initial_square	initial_evacuee	arrived	nonarrived	T95	F95	Contacts	deaths50	SimName
827	827	826	1	54	14.54953704	862	0	geAN
827	827	627	200	43	13.64622093	386	254	geTN
827	827	738	89	56	12.57321429	825	110	geWN
3305	1558	1557	1	79	18.75443038	3888	0	maAN
3305	1558	1139	419	62	17.60383065	1925	444	maTN
3305	1558	1455	103	78	17.65721154	3649	123	maWN
1736	1464	1463	1	74	18.75118243	3425	0	meAN
1736	1464	1072	392	60	16.92232143	2250	417	meWN
1736	1464	1398	66	73	17.6765411	3041	98	meTN

Tabella 14 - SUMMARY

In questa tabella troviamo diversi valori tra cui:

- Initial_square: questo valore indica il numero di persone generate nella piazza;
- Inizial_evacuee: indica il numero di persone che partecipano all'evacuazione;
- Arrived: indica il numero delle persone che sono arrivate nella zona sicura;
- Nonarrived: indica il numero delle persone che non riesce a terminare il processo di evacuazione;
- T95: indica il tempo di evacuazione;
- F95: indica il flusso di evacuazione
- Contacts: indica il numero di contatti tra gli utenti;

- Deaths50: indica il numero di morti durante l'evacuazione.

Grazie a questi valori possiamo generare i seguenti grafici che mettono a confronto gli scenari con UTCI e quelli senza.

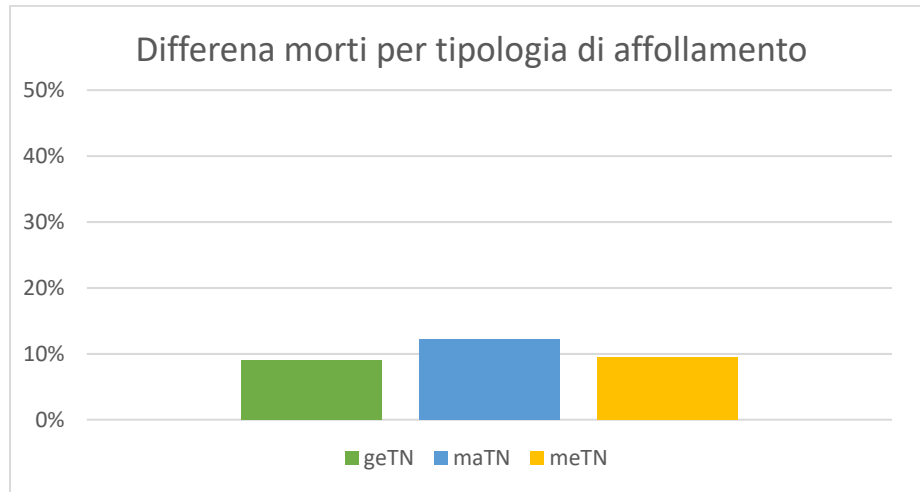


Grafico 13 - differenza di morti per tipologia di affollamento

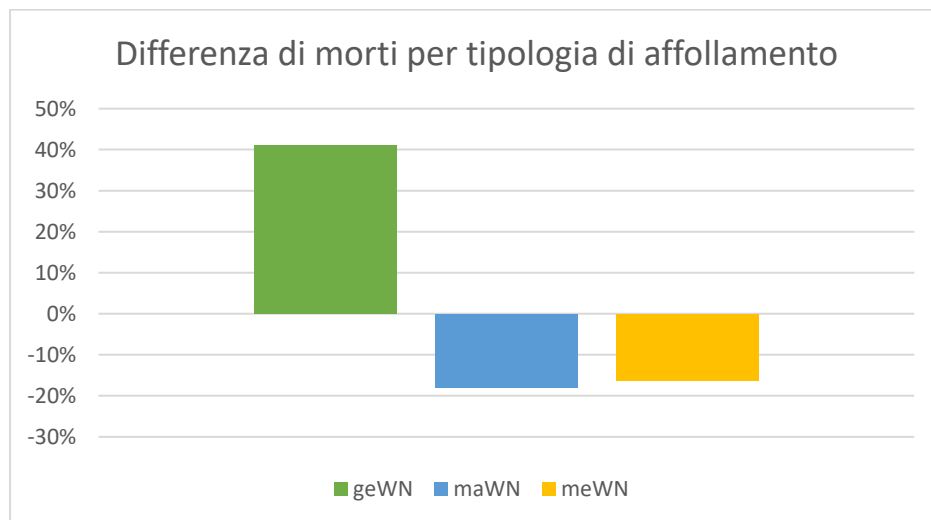


Grafico 14 – differenza di morti per tipologia di affollamento

Dai grafici precedenti possiamo trarre le conclusioni di questo studio.

Dai grafici 13 e 14 indicano la differenza di morti con e senza la presenza di UTCI, in base alle 3 tipologie di densità per ogni tipo di attacco. Si può notare che nell'attacco con autoveicolo la presenza di UTCI genera più morti, mentre per

L'attacco con arma bianca solo in condizioni generiche abbiamo più morti, mentre per le altre condizioni di affollamento la presenza di UTCI genera meno morti.

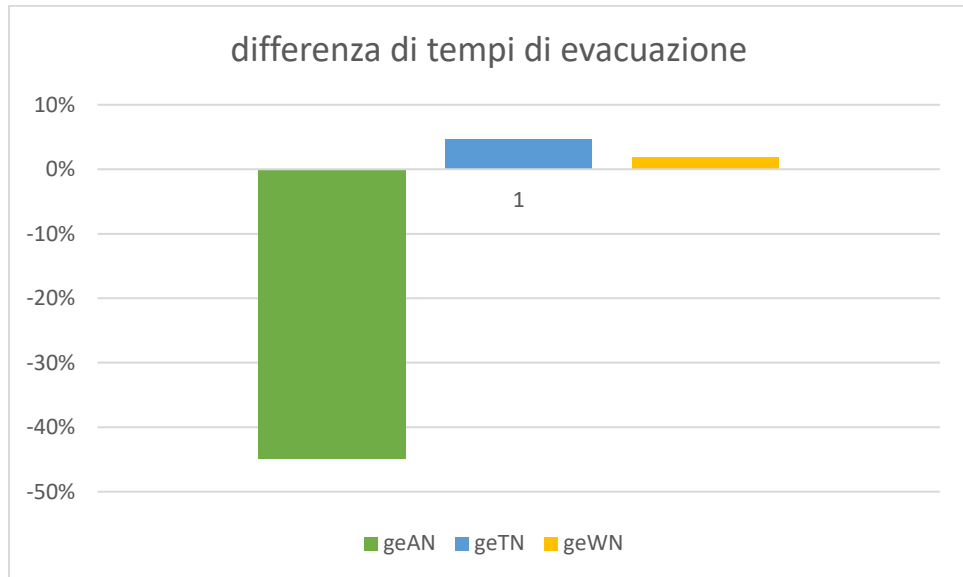


Grafico 15 - differenza di tempo di evacuazione in condizioni generiche per tipologia di attacco

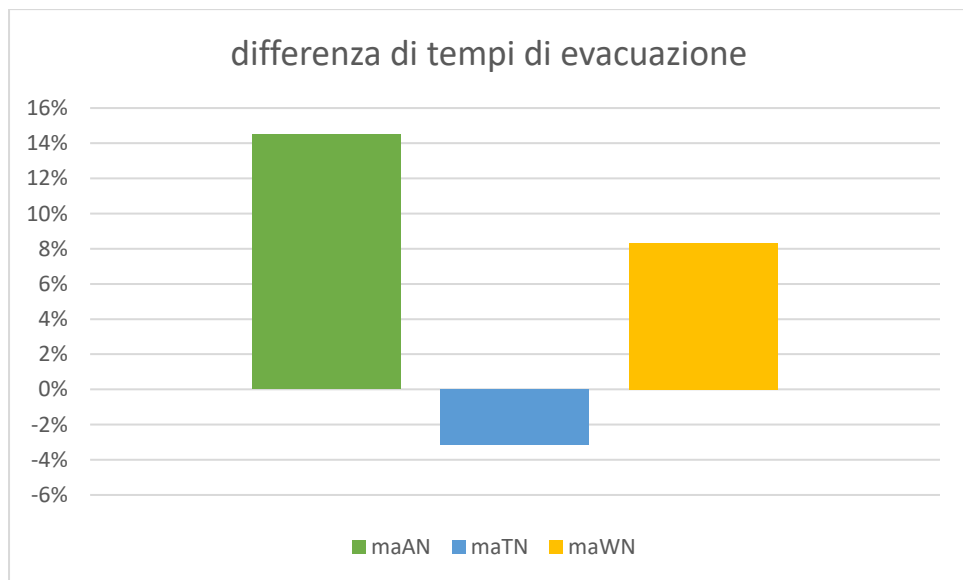


Grafico 16 – differenza tempi di evacuazione in condizioni di 95 percentile per tipologie di attacco

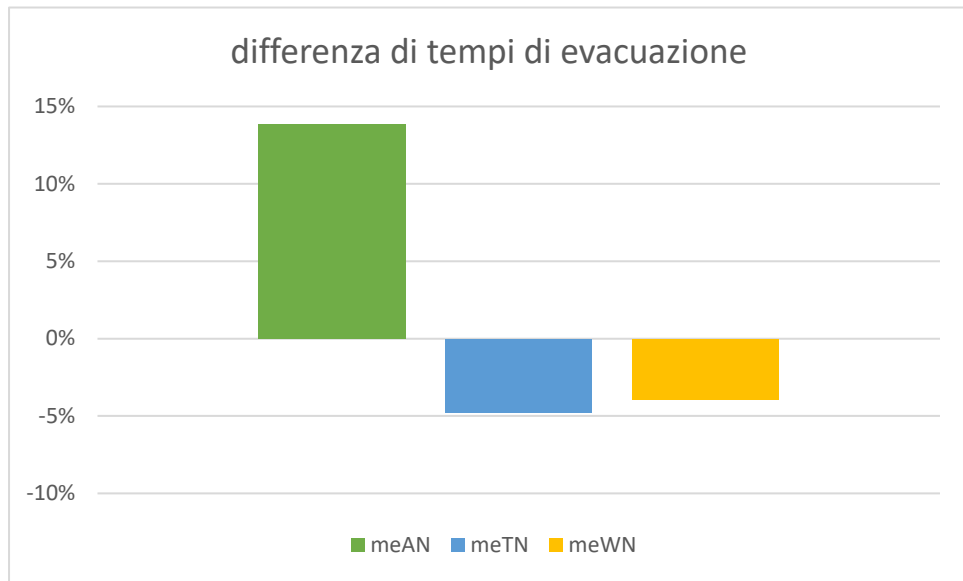


Grafico 17 – differenza tempi di evacuazione in condizioni mediane per tipologie di attacco

I grafici 15 16 17 parlano della differenza dei tempi di evacuazione con e senza UTCI per tipologia di attacco e di grado di affollamento. Nel caso di falso allarme solo in condizioni generiche la presenza di UTCI genera un tempo minore di evacuazione rispetto a quando non è presente, mentre nelle altre condizioni di affollamento è maggiore. Per l'attacco con autoveicolo in condizioni generiche, la presenza di UTCI genera un tempo maggiore rispetto a quando non viene considerata. Infine, per l'attacco con arma bianca in condizioni mediane, la presenza di UTCI genera un tempo maggiore rispetto a quando non viene considerata.

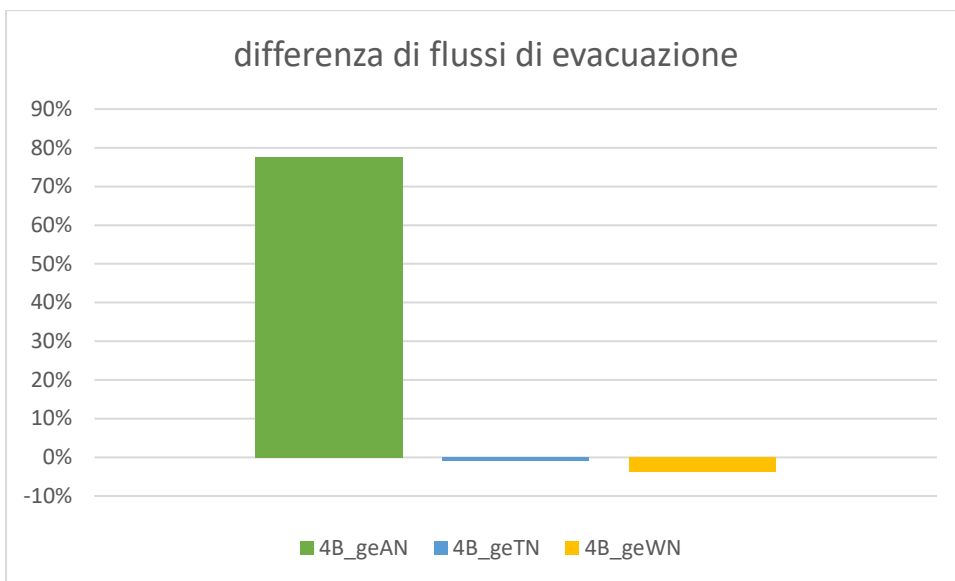


Grafico 18 - differenza di flusso di evacuazione in condizioni generiche per tipologia di attacco

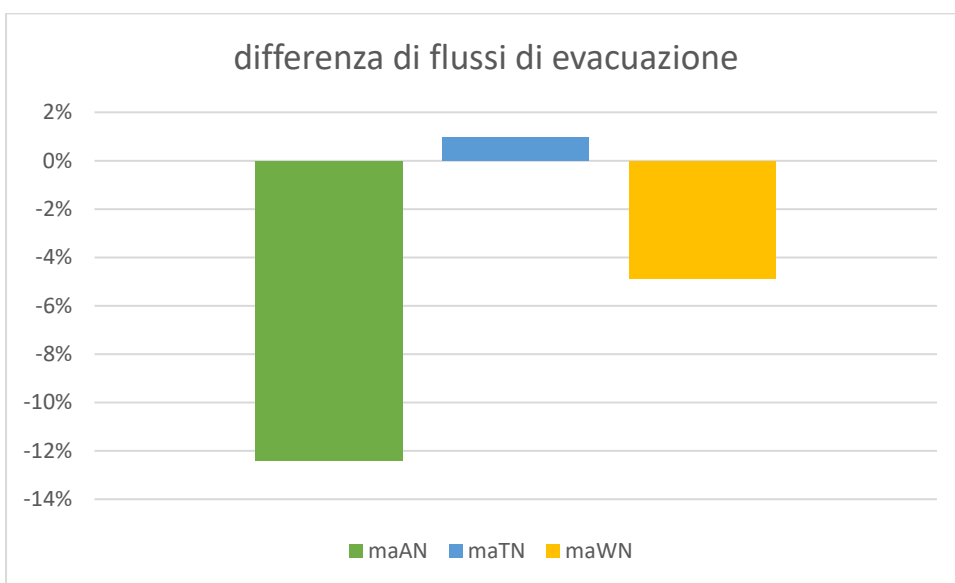


Grafico 19 - differenza di flusso di evacuazione in condizioni 95 percentile per tipologia di attacco

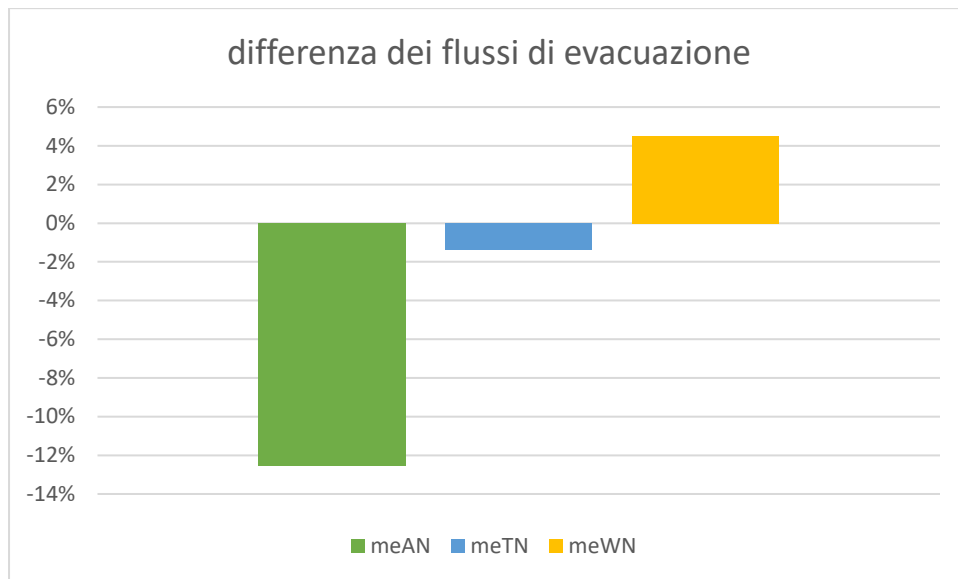


Grafico 20 - differenza di flusso di evacuazione in condizioni mediane per tipologia di attacco

I grafici 18 19 e 20 descrivono il flusso di evacuazione nelle tre tipologie di attacco con le diverse condizioni di affollamento. Per il falso allarme in condizioni generiche, la presenza di UTCI genera un flusso di evacuazione maggiore rispetto a quando non viene considerata. Per l'attacco con auto veicolo solo in condizioni al 95 percentile la presenza di UTCI genera un flusso maggiore rispetto a quando non andiamo a considerarla. Infine per attacco con arma bianca in condizioni mediane la presenza di UTCI ci va a generare un flusso maggiore rispetto a quando non andiamo a considerarla.

4 CONCLUSIONI

Il tema della sicurezza delle piazze è un tema molto importante visti i numerosi attentati che ci sono stati nell'ultimo periodo. Questo studio serve per andare a valutare il comportamento delle persone sotto attacco andando a considerare un altro tipo di fenomeno, ovvero l'ondata di calore, andando ad applicare ad un caso reale ovvero piazza dell'Odegitria a Bari.

I risultati che abbiamo ottenuto, una volta effettuate tutte le simulazioni, sono stati delle curve che ci hanno permesso di capire come variava la curva di evacuazione in base allo scenario con e senza UTICI, in base al tipo di attacco e in base alle diverse condizioni di affollamento. Oltre alle curve abbiamo potuto creare degli istogrammi che ci mostravano come influiva la presenza di UTICI per quanto riguarda le morti, i tempi di evacuazione e i flussi di evacuazione. I risultati hanno mostrato che:

- 1) Considerare l'UTICI nelle simulazioni può variare il livello di sicurezza nell'esodo. Infatti, dai grafici 5 e 6 possiamo vedere che senza la presenza di ondata di calore, il numero di persone che termina l'evacuazione sono maggiori. Questo perché la distribuzione delle persone è meno concentrata, e gli effetti dell'attacco più limitati rispetto ad una folla compatta;
- 2) Le diverse tipologie di attacco ci mostrano i diversi modi di evacuazione; infatti, ci mostrano quale tipo di attacco è più dannoso per le persone, e di conseguenza permettono di capire i punti critici della sicurezza. In particolare, come atteso, l'attacco con veicolo è il più critico perché coinvolge direttamente tutta la piazza in maniera dinamica;
- 3) Le diverse tipologie di affollamento in termini di densità ci hanno permesso di poter studiare il comportamento delle persone nelle condizioni più ricorrenti (condizioni mediane) e nelle condizioni di massimo affollamento (95 percentile). Sebbene il livello di danno atteso

cresca con il numero di individui esposti, non sono state notate grandi differenze tra condizioni ricorrenti e massimo affollamento, perché la piazza è principalmente occupata dagli utenti che attendono per entrare nell'edificio speciale, mentre la numerosità degli utenti in esterno (che cresce al 95° percentile) risulta comunque molto poco influente sulla densità della chiesa.

Andando a considerare i punti 1 2 e 3 appena descritti possiamo concludere la ricerca dicendo che la combinazione più pericolosa, ovvero quella che ha generato più morti, è l'attacco con autoveicolo, con condizioni di affollamento massime e con la presenza dell'ondata di calore.

Un possibile lavoro che potrà essere sviluppato utilizzando i dati di questa tesi è lo studio delle strategie di mitigazione per andare a ridurre i danni agli utenti presenti nella piazza oggetto del caso di studio, e una migliore comparazione con quello che accade in altre piazze sottoposte a stessi rischi, e alle BET di riferimento.

Bibliografia

- [1] E. Quagliarini, F. Fatiguso, M. Lecesoli, G. Bernardini e E. Cantatone, «Risk Reduction Strategies against Terrorist Acts in Urban Built Environments: Towards Sustainable and Human-Centred Challenges,» *Sustainability*, vol. 13, n. 901, pp. 1-3, 2021.
- [2] A. D'Amico , M. Russo, M. Angelosanti, G. Bernardini, D. Vicari, E. Quagliarini e E. Currà, «Built Environment Typologies Prone to Risk: A Cluster Analysis of Open Spaces in Italian Cities,» *Sustainability*, vol. 13, n. 9457, p. 1, 2021.
- [3] G. Bernardini e E. Quagliarini , «Terrorist acts and pedestrians' behaviours: First insights on European contexts for evacuation modelling,» *Safety Science*, vol. 164, n. 143, p. 3, 2021.
- [4] B. Yıldız e G. Çağdaş, «Fuzzy logic in agent-based modeling of user movement in urban space: Definition and application to a case study of a square,» *Building and Environment*, vol. 169, n. 106597, pp. 1-4, 2020.
- [5] EPA, «Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies,» USA, 2008.
- [6] P. K. Cheung e C. Y. Jim, «Improved assessment of outdoor thermal comfort: 1-hour acceptable temperature range,» *Building and Environment*, vol. 238, n. 151, p. 1, 2019.
- [7] G. Bernardini , A. D'Amico , M. Russo, M. Angelosanti , D. Vicari, E. Quagliarini e E. Currà, «Built Environment Typologies Prone to Risk: A Cluster Analysis of Open Spaces in Italian Cities,» *Sustainability*, vol. 13, n. 9457, pp. 1-9, 2021.
- [8] G. Bernardini, E. Quagliarini e M. D'Orazio, «Toward quick multi-risk mitigation in historic Public Open Spaces: a behavioral-design approach in typological scenarios for heatwaves and terrorist acts,» *Extended Abstracts of the Xth Edition of the ReUSO*, pp. 223-224, 2022.
- [9] G. Bernardini, E. Quagliarini e M. D'Orazio, «WP4–Human factors simulation in BETs and definition of a related behavioral-based (B-based) resilience metric».

[10] E. Quagliarini , G. Bernardini, G. Romano e M. D'Orazio, «Users' vulnerability and exposure in Public Open Spaces (squares): A novel way for accounting them in multi-risk scenarios,» *Cities*, vol. 133, 2023.