



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA EDILE

Dipartimento di ingegneria civile, edile ed architettura

**ANALISI E MITIGAZIONE DEL RISCHIO
SISMICO NELLE PIAZZE URBANE**

IL CASO STUDIO DI PIAZZA DEI PRIORI, NARNI (TR)

Multi-risk analysis and mitigation in urban squares

The case study of piazza dei Priori in Narni (TR)

Correlatore:

Prof. Enrico Quagliarini

Relatore:

Prof. Gabriele Bernardini

Candidato:

Nozzi Francesco

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

INDICE

INTRODUZIONE	5
CAPITOLO 1: LO STATO DELL'ARTE	7
1.1 ANALISI MULTIRISCHIO, EVENTI SLOD E SUOD.....	7
1.2 SISMA E ONDATA DI CALORE COME COMBINAZIONE RILEVANTE MULTIRISCHIO.....	8
1.3 ANALISI E MITIGAZIONE DEI RISCHI.....	9
1.4 OBIETTIVO DELLA TESI.....	9
CAPITOLO 2: IL CASO STUDIO	10
2.1 GENERALITÀ.....	10
2.1.1 Tipologie di utenti.....	11
2.1.2 Scenari di simulazione.....	12
2.2 SIMULAZIONI.....	13
2.2.1 SCENARIO BASE.....	13
2.2.2 SCENARI CON MACERIE.....	16
2.2.3 SCENARI CON ONDATE DI CALORE.....	17
2.2.4 SCENARI CON MACERIE ED ONDATE DI CALORE.....	18
CAPITOLO 3: FASI, MATERIALI E METODI	19
3.1 FASI.....	19
3.2 MATERIALI.....	20
3.3 METODI.....	20
3.3.1 Setup.....	21
3.3.1.1 Output di setup.....	23
3.3.2 Simulazione.....	24
3.3.2.1 Input simulazioni.....	24
3.3.2.2 Risultati simulazioni ed estrazione dati.....	25
CAPITOLO 4: RISULTATI	27
4.1 ANALISI CURVE ED INDICATORI.....	27
4.2 CURVE DI ECAVUAZIONE.....	27

4.3 TABELLA INDICATORI DI FLUSSO.....	31
4.3.1 Analisi indicatori.....	31
4.3.1.1 “Initial square” e “Initial evacuee”	31
4.3.1.2 “Arrived”	32
4.3.1.3 “Non arrived”	33
4.3.1.4 “T95”	33
4.3.1.5 “F95”	34
4.3.1.6 “PCF”, “PCFsim”, “PCFid,ev” e “Rpcf”	35
4.3.1.7 “Death 50”	35
4.3.1.8 “TN95” e “FN95”	35
4.3.1.9 “Uscite”	37
4.3.1.10 “% evacuati”	37
CAPITOLO 5: DISCUSSIONI.....	38
CAPITOLO 6: CONCLUSIONI.....	41
BIBLIOGRAFIA.....	43
RINGRAZIAMENTI.....	45

INTRODUZIONE

La ricorrenza di eventi sismici dimostra la facilità con la quale possono verificarsi disastri naturali in grado di causare ingenti danni all'ambiente costruito e ai suoi utenti. Gli effetti diventano particolarmente importanti in quegli spazi in cui si concentrano molte persone, come le piazze dei centri storici, che attraggono utenti per le loro funzioni e per il loro valore storico e artistico, ma sono anche caratterizzate da elevata vulnerabilità sismica.

Il rischio sisma però, aumenta molto con la compresenza di un'ondata di calore, la quale può causare maggiori difficoltà di evacuazione andando ad alterare la distribuzione della folla nello spazio costruito prima dell'evento, e ad aumentarne la concentrazione localmente (es.: nelle zone in ombra e più fresche, spesso vicino agli edifici). È pertanto necessaria una pianificazione delle strategie di mitigazione che consideri i rischi aggiuntivi, riguardanti gli occupanti della piazza, derivanti da una combinazione di eventi come sisma (SLOD) ed ondata di calore (SUOD). Queste strategie saranno tra loro diversificate prevedendo diverse tipologie di mappe di distribuzione delle persone in base alle temperature esterne e al livello di comfort per ondata di calore, in combinazione con mappe di danno sismico, aggiungendo quindi l'analisi del comportamento umano in emergenza ed evacuazione

Questo studio, quindi, ha come obiettivo la pianificazione di strategie in grado di mitigare i rischi dovuti a determinate combinazioni di eventi SUOD ed eventi SLOD, tramite l'analisi del comportamento degli utenti in questa situazione combinata, grazie a strumenti di simulazione ingegneristica. In particolare, la tesi si colloca all'interno del progetto BE S2ECURE, il quale fornisce le necessarie linee guida sull'analisi dell'efficienza delle strategie, ma anche le definizioni di eventi SUOD E SLOD.

L'obiettivo viene raggiunto in applicazione ad un caso studio rilevante, quello di Piazza dei Priori a Narni, date le caratteristiche rilevanti di vulnerabilità, uso da parte degli occupanti, e presenza di rischio sia sismico che di ondata di calore. Per rappresentare al meglio le condizioni che possono verificarsi nel caso studio, l'analisi si espande includendo le diverse combinazioni che prevedono una diversa influenza da parte di entrambi gli eventi SUOD e SLOD sui rischi presenti.

Considerando dunque queste casistiche, vengono pianificate delle strategie di mitigazione rischi, ognuna in relazione al dato scenario valutato.

ARTICOLAZIONE:

Nel primo capitolo viene trattato lo stato dell'arte, si forniscono, cioè, le definizioni degli eventi SLOD e SUOD, nonché analizzati i possibili rischi, in accordo a quanto definito nel progetto BE S2ECURE. Vengono poi illustrate le normative usate e fornite direttive sugli obiettivi della tesi

Il secondo capitolo prevede invece la presentazione del caso studio, si trattano le generalità della piazza dei Priori, le diverse tipologie di utenti coinvolti nell'evacuazione e si analizzano gli scenari di simulazione. Dopo questo passaggio viene illustrato il quadro delle simulazioni in termini di scenari di input, fornendo quindi informazioni sugli scenari che vedono la presenza di sole macerie, di sola ondata di calore o della compresenza di entrambe, ma anche come questi ultimi differiscono dallo scenario base (senza effetti SLOD e SUOD).

Proseguendo con il terzo capitolo, viene presentata la metodologia con la quale sono state effettuate le simulazioni. In primis vengono descritte le fasi nelle quali è stato suddiviso lo studio, mentre si procede parlando dei software che è stato necessario utilizzare per portarlo avanti. Questo capitolo si conclude con la spiegazione degli input e degli output delle simulazioni.

Questi ultimi vengono però approfonditi nel quarto capitolo, il quale esplica i risultati ottenuti dalle simulazioni. Tali risultati vengono espressi tramite delle curve di evacuazione ed una tabella riassuntiva degli indicatori di flusso degli utenti, i quali sono poi descritti singolarmente per fornire maggiori dettagli.

Il quinto capitolo è quello che riguarda le discussioni, si analizzano i dati precedentemente ottenuti e si fornisce un parere tecnico riguardante la condizione di minor rischio per l'utenza.

CAPITOLO 1: LO STATO DELL'ARTE

1.1 ANALISI MULTIRISCHIO: EVENTI SLOD E SUOD

L'analisi multirischio non può prescindere dall'analisi della morfologia delle città in quanto causa di un aumento della pericolosità ed esposizione a eventi come sisma, alluvioni e simili, che sono pericolosi sia per la popolazione che per il costruito, specialmente se gli effetti si mostrano come combinati nel tempo e nello spazio. Essa deve infatti valutare infatti come la posizione degli edifici e la disposizione di eventuali ostacoli al cammino delle persone che si muovono in cerca di un luogo sicuro durante tali disastri, possa impattare negativamente la loro sicurezza.

Gli eventi emergenziali vengono suddivisi in due macrocategorie, eventi SLOD (SLOW Onset Disaster) e SUOD (SUdden Onset Disaster)[6]. Questa suddivisione è stata considerata dal progetto BE S2ECURE [1] ed è effettuata in base ai relativi tempi di manifestazione. Con SLOD si indicano i disastri ad esordio lento, che hanno conseguenze negative per la popolazione, arrecando problemi nel lungo periodo. Ricadono in questa categoria l'inquinamento dell'aria, i cambiamenti climatici e le disparità sociali. Gli SUOD sono invece quelli che si manifestano improvvisamente e che pertanto determinano condizioni di emergenza istantanee e risultano tutt'altro che prevedibili, comportano inoltre rischi significativi all'integrità del costruito, oltre che alla salute della popolazione. Esempi di disastri SUOD sono sisma, alluvioni, eruzioni vulcaniche, epidemie. [2,3]

Gli SUOD possono causare maggiori rischi alla popolazione se considerati per piazze o piazzali perché possono andarsi a sovrapporre con gli SLOD, viste le scale temporali diverse. L'effetto sulla popolazione di evento di emergenza a seguito di SUOD, in altre parole, può essere amplificato lo stress termico e/o l'inquinamento. È appunto questo il punto focale del caso studio effettuato sulla piazza dei Priori (vedi Capitolo 2), nel quale è necessaria un'analisi dei rischi ad ampio spettro. Questa analisi andrà infatti ad approfondire aspetti legati ai rischi a cui gli utenti della piazza sarebbero sottoposti al variare delle caratteristiche del sisma e dell'ondata di calore.

Queste nozioni sono ampiamente trattate nella tesi di Ameli Federica, dalla quale si prende spunto, cercando di fornire un approfondimento e un diverso punto di vista su altri concetti.

1.2 SISMA E ONDATA DI CALORE COME COMBINAZIONE RILEVANTE MULTIRISCHIO

Eventi come sisma ed ondate di calore vengono analizzati nelle simulazioni che si andranno a svolgere; verranno valutate diverse casistiche, che vedono la sola presenza di sisma o la combinazione di sisma ed ondate di calore. Queste combinazioni sono state fatte analizzando tre diverse condizioni di sisma e due diverse mappe temperatura espressa secondo UTCI [°C] per le ondate di calore. [12]

In tal modo si tenta di rappresentare al meglio quello che potrebbe succedere nella realtà, cercando anche di prevedere quelli che saranno i movimenti delle persone che prendono parte all'esodo, in funzione degli ostacoli presenti sul loro cammino, del punto dal quale partono, e dalle macerie eventualmente presenti sulla superficie della piazza.

La posizione di partenza degli utenti può dipendere anche dalle ondate di calore poiché si pensa che le persone già presenti nella piazza si trovano nelle zone relativamente più fresche [13], portando così ad avere una disposizione non uniforme.

Le macerie presenti sulla superficie della piazza dipendono anche dalla severità del sisma considerata, in combinazione con la vulnerabilità delle strutture [14], perché si immagina che al crescere della severità conseguirà una presenza di macerie più elevata, la quale causa problemi all'esodo delle persone, non solo rallentandolo ma anche limitando la superficie disponibile al loro raggruppamento nelle zone sicure della piazza. In alcuni casi queste macerie occultano, anche totalmente alcune delle vie di esodo verso la piazza, causando così problemi anche agli utenti che provengono dalle zone ad essa limitrofe.

1.3 ANALISI E MITIGAZIONE DEI RISCHI

È necessario analizzare i rischi a cui utenti e costruito vanno incontro in caso di sisma, così da pianificare la strategia di mitigazione più adatta a seconda dei casi, specialmente considerando la sovrapposizione con eventuale risposta ad ondata di calore.

La normativa attuale risulta piuttosto incompleto per l'analisi e la mitigazione dei rischi. Il D.M. 17/01/2018 - Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni individua elementi utili per quanto riguarda gli eventi sismici e le strategie di mitigazione, ma solo in relazione agli edifici, e trascurando il comportamento umano. La Circolare 18/07/2018

n.11001/1/110/(10) - Modelli organizzativi e procedurali per garantire alti livelli di sicurezza in occasione di manifestazioni pubbliche - è una direttiva utile alla pianificazione delle emergenze ma riguarda sostanzialmente solo contesti di grande affollamento e grandi eventi pianificati, ignorando l'applicabilità a situazioni ricorrenti e quotidiane.

Rispetto al campo di applicazione, ovvero la piazza, la presente tesi parte dalle analisi di studi precedenti, che hanno analizzato alcune soluzioni per la piazza dei Priori a Narni [10], ma varia alcune caratteristiche della piazza che influenzano il multirischio, in modo da sviluppare soluzioni atte a favorire l'esodo degli occupanti. In particolare, si sostituiscono infatti le fioriere già presenti con un'altra tipologia di fioriere, successivamente si opta per la rimozione dei parcheggi nel lato nord della piazza, così da ampliare l'area disponibile agli utenti per trovarsi nel luogo sicuro previsto sulla superficie della piazza stessa.

1.4 OBIETTIVO DELLA TESI

L'obiettivo della tesi verte appunto sulla pianificazione delle strategie di mitigazione dei rischi al sisma in condizioni di rischio da ondata di calore, e rispetto alle caratteristiche del caso di studio. In dettaglio, dopo aver analizzato ogni scenario di combinazione SUOD e SLOD, è possibile fare riferimento ai dati ottenuti dalle simulazioni in seguito alla loro estrazione tramite Matlab, in maniera tale da individuare le differenze in termini di rischi tra i vari scenari e pianificare di conseguenza le strategie di mitigazione basandosi proprio su queste caratteristiche.

CAPITOLO 2: IL CASO STUDIO

2.1 GENERALITÀ

In questo caso studio è stata condotta un'analisi dei possibili rischi, riscontrabili per il costruito e per gli utenti, sulla piazza dei Priori, situata nel comune di Narni, in provincia di Terni.

Vengono in seguito analizzati importanti variabili da considerare quando si parla di rischio sismico, come le tipologie degli utenti presenti, che influenzano l'esodo degli stessi, ma anche gli scenari di simulazione considerati, poiché rispecchiano condizioni di rischio diverse tra loro.



Immagine 1: piazza dei Priori dall'alto [6]

Come si nota anche dall'immagine dall'alto, la piazza ha una forma che ricorda quella della lettera L, e si sviluppa principalmente lungo una direzione. È possibile immaginare, infatti, un sistema di assi cartesiani con l'asse delle ascisse posto nella direzione del lato più lungo e quello delle ordinate in asse con la principale via di accesso alla piazza.

Questo sistema risulta utile anche nella misurazione dell'area, avendo una lunghezza di 140,5m sull'asse X e di 13m sull'asse Y. Di conseguenza si ricava l'area della piazza, che risulta di 1845 mq circa, distinta in:

- Superficie pedonale
- Superficie carrabile
- Superficie occupata da monumenti, aree verdi o fontane
- Superficie occupata da dehors
- Superficie occupata da corti

2.1.1 Tipologie di utenti

È molto importante valutare le diverse tipologie di utenti che occupano la piazza e gli edifici attorno ad essa, le quali si differenziano principalmente in base alla velocità d'esodo. A tal proposito è possibile individuare cinque categorie di utenti in base alla loro età, come segue:

- Todders: 0-4 anni
- Parent assisted children: 5-14 anni
- Young adult: 15-19 anni
- Adults: 20-64
- Elderly users: 65+

Oltre alla velocità d'esodo, però, l'età influenza anche il luogo in cui l'utente può trovarsi al momento del sisma, si pensa infatti che i toddlers e gli elderly users restino sempre a casa, mentre parent assisted children e young adults non siano a casa durante le ore mattutine; seguendo lo stesso ragionamento, inoltre, si considera che gli adults non siano a casa né di mattina né di pomeriggio. [4]

2.1.2 Scenari di simulazione

Prima di procedere è necessario descrivere gli scenari su cui verranno poi sviluppate le simulazioni.

In totale si hanno nove scenari, i quali si diversificano dal layout considerato, dall'eventuale presenza di macerie e dalla mappa UTCI considerata. Inoltre, per ogni scenario simulato sono state realizzate otto ripetizioni.

È possibile identificare questi scenari attraverso un codice a sei lettere, come segue:

CODICE SCENARIO	LAYOUT	MAPPA MACERIE	MAPPA UTCI
LPNNDBA	Base	No	Base
LPINDBA	Base	Mac_475	Base
LPCNDBA	Base	Mac_975	Base
LPNNDB8	Sostituzione fioriere	No	B8
LPINDB8	Sostituzione fioriere	Mac_475	B8
LPCNDB8	Sostituzione fioriere	Mac_975	B8
LNNDDB8	Sostituzione fioriere e rimozione parcheggi	No	B8
LNIDB8	Sostituzione fioriere e rimozione parcheggi	Mac_475	B8
LNCDB8	Sostituzione fioriere e rimozione parcheggi	Mac_975	B8

Tabella 1: tabella riassuntiva degli scenari di simulazione

2.2 SIMULAZIONI

Avendo completato la divisione dei vari scenari, arriva il momento di focalizzarsi sui parametri da immettere all'interno dell'interfaccia del modello "Simulation from setup" di Netlogo, infatti, per avere una simulazione che rispecchi il più possibile la realtà, viene presa in considerazione anche l'età degli utenti, la quale costituisce uno dei tanti input da immettere prima di avviare il processo. Per i dettagli sul modello utilizzato si fa riferimento al punto 3.3.2 e alla tesi di Ameli Federica[10], che ha trattato questo argomento in precedenza.

Per quanto riguarda i parametri da settare, viene adottato un FSUp pari a 7% essendo esso funzione del numero delle vie di accesso alla piazza. Importante poi è verificare che la somma dei coefficienti alfa, beta, gamma e delta sia pari ad 1, in questo caso è stato preso beta pari ad 1 e tutti gli altri pari a 0.

Vengono inoltre impostati su ON i parametri "SBevac?" e "BUevac?" poiché gli utenti presenti negli edifici normali ed in quelli speciali, partecipano all'evacuazione verso la piazza.

I restanti parametri da immettere, così come le mappe di input, variano però con lo scenario considerato, come riportato nei paragrafi successivi.

2.2.1 SCENARIO BASE

La prima simulazione è effettuata per lo scenario base, il quale si riferisce alle condizioni reali della piazza, considerando quindi il layout base in cui si hanno le fioriere originarie e la presenza dei parcheggi. In questa situazione non ci sono macerie presenti, quindi viene usata la mappa di danno "SEISMICmapIN_nomacerie", la quale non viene riportata come figura in quanto è rappresentata da un PNG totalmente nero, e la mappa "UTCI_NARNI_OC".

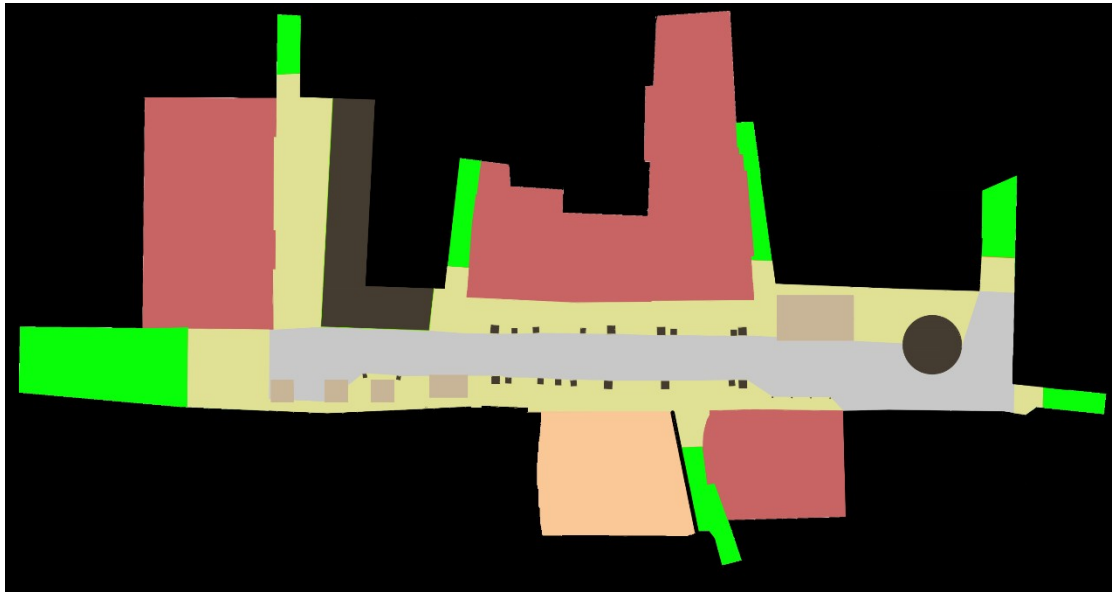


Figura 1: Mappa di layout base

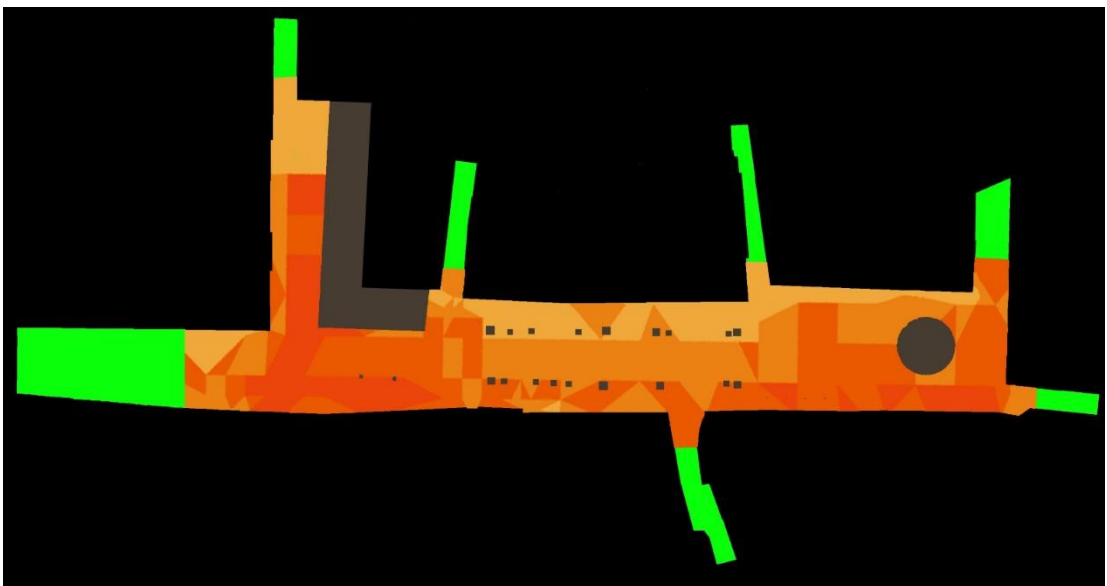


Figura 2: UTCI_NARNI_OC

Viene infine considerata, a prescindere dal caso studio analizzato, la mappa degli accessi disponibili alla piazza.

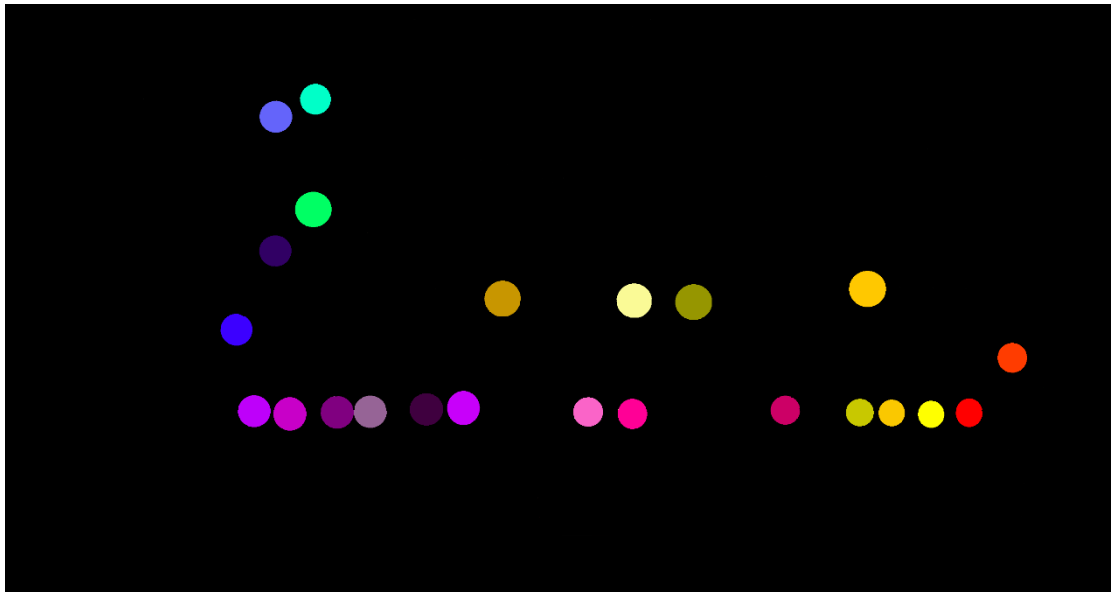


Figura 3: ACCESS_MAP1

2.2.2 SCENARI CON MACERIE

In questo caso la simulazione è effettuata cambiando la mappa di danno, infatti, per ognuna delle tre mappe di layout si effettua una simulazione con la mappa di danno “MAC_475+LOG” ed una simulazione con la mappa di danno “MAC_975+LOG”.



Figura 4: MAC_475+LOG



Figura 5: MAC_975+LOG

2.2.3 SCENARI CON ONDATE DI CALORE

Lo stesso procedimento è attuato per quanto riguarda il caso delle ondate di calore, infatti, la prima e la seconda mappa di layout, cioè quella base e quella in cui sono state sostituite le fioriere, rispettivamente, vengono combinate con la mappa UTCI BA.

La mappa UTCI B8 è invece combinata con la terza mappa di layout, ovvero quella in cui, oltre alla sostituzione delle fioriere si attua anche la rimozione dei parcheggi, come indica la tabella 1.

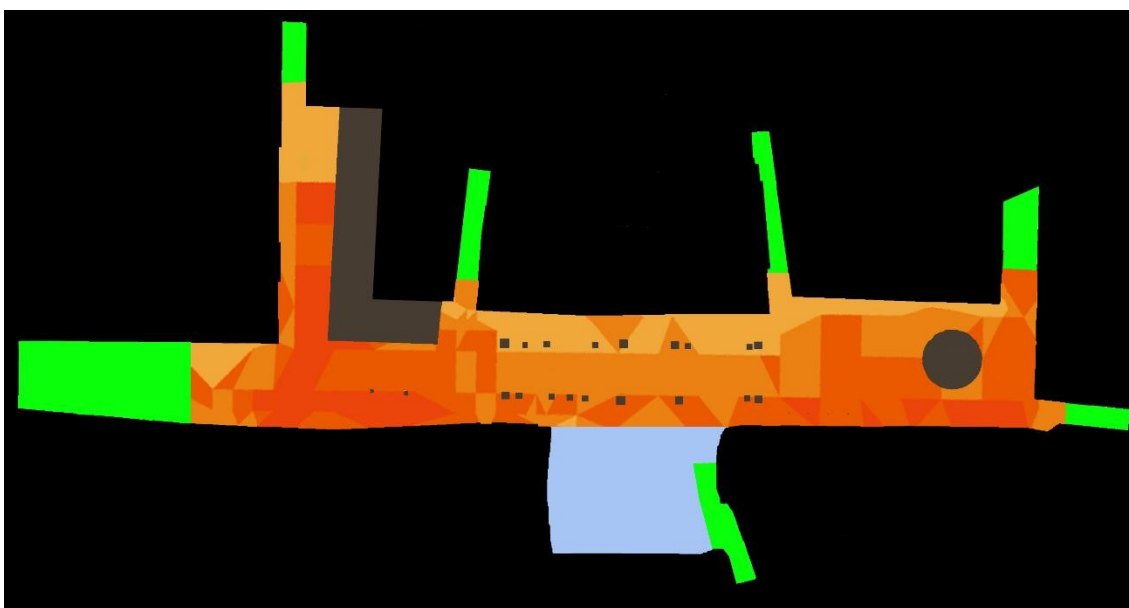


Figura 6: UTCI BA

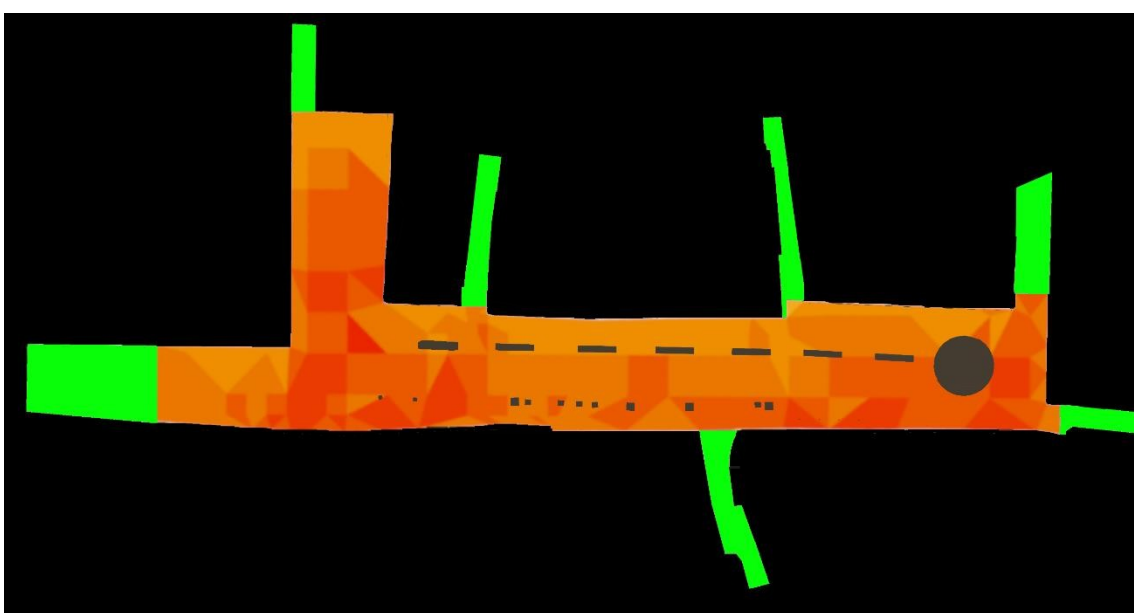


Figura 7: UTCI B8

2.2.4 SCENARI CON MACERIE ED ONDATE DI CALORE

La situazione più rischiosa possibile vedrà la presenza combinata di eventi SLOD ed eventi SUOD, rappresentata quindi dalla compresenza di sisma ed ondata di calore.

Per analizzare tali condizioni si avranno, per ognuna delle tre mappe di layout, tre scenari che vedono, nel primo caso, la sola presenza della mappa UTCI, dato che si analizza inizialmente il caso senza macerie.

Nel secondo caso viene invece considerata la mappa riportata in figura 4 (MAC_475+LOG) come mappa di danno da combinare con la stessa mappa riportata la figura 6 (UTCI BA).

Nella terza ed ultima iterazione si combina la mappa di danno riportata in figura 5 (MAC_975+LOG) con la mappa riportata in figura 7 (UTCI B8).

Così facendo si useranno le tre mappe di danno e le due mappe UTCI che produrranno in totale nove combinazioni di scenari.

Infine, per ognuno di questi scenari verranno realizzate 8 ripetizioni di simulazione.

CAPITOLO 3: FASI, MATERIALI E METODI

3.1 FASI

L'elaborato è stato suddiviso in quattro fasi. Come descritto in precedenza, si inizia valutando il rischio riguardante il caso studio, per poter poi identificare gli scenari su cui effettuare le simulazioni e pianificare strategie di mitigazione.

Il secondo step vede la creazione dei setup, ovvero la creazione di cartelle contenenti tutti i file di input necessari alle simulazioni.

La terza fase consiste invece nello sviluppo della simulazione stessa; dopo aver inserito i dati ricavati dalle cartelle di setup, infatti, si procede lanciando la simulazione.

Viene poi presa in considerazione, per questo caso studio, la combinazione di ondata di calore e di sisma relativa allo scenario di riferimento. Per ognuno dei nove scenari viene utilizzata una diversa combinazione di mappe UTCI e mappe di danno, in modo da simulare ogni caso possibile. Verranno di fatti utilizzate tre mappe di layout, due mappe di UTCI e tre mappe di danno differenti.

La prima mappa UTCI verrà combinata con la mappa di danno priva di macerie, l'altra sarà a sua volta combinata con le mappe di danno che vedono invece presenza di macerie, riportate nelle figure 4 e 5.

È proprio per questo che si avrà uno spettro più ampio di casistiche, che rispecchierà tutte le varie sfaccettature relative all'evento sismico plausibili nella realtà.

A questo punto bisogna valutare le simulazioni prima lanciate, interpretandone i risultati, per fare ciò è necessaria una quarta fase, la quale vede l'analisi dei dati di output ricavati attraverso dei CSV in Excel, che verranno poi estratti usando il software Matlab. Così facendo siamo in grado di ricavare le curve e gli indicatori necessari a descrivere l'andamento dell'esodo degli utenti.

3.2 MATERIALI

Gli strumenti necessari allo svolgimento delle simulazioni e all'estrapolazione dei relativi dati di output sono stati i software NetLogo e Matlab (R2023a).

Il primo è basato su modelli stocastici che considerano le interazioni che le persone hanno tra esse e con gli oggetti presenti sul loro cammino, nel tempo. Viene infatti analizzato il cammino percorso dalle persone in fase di evacuazione applicando un approccio Cellular Automata, che rappresenta lo spazio suddividendolo in celle che formano una griglia.

Il secondo è stato invece utilizzato per l'elaborazione dei dati ottenuti dalle simulazioni attraverso l'uso di fogli di calcolo Excel, in formato CSV. Da questi dati è possibile poi ricavare le curve di evacuazione, che forniscono informazioni sull'esodo degli utenti, ma vengono anche elaborate delle tabelle riassuntive che comprendono gli indicatori necessari ad una veloce comparazione tra gli scenari.

Prima di effettuare le simulazioni è stato però necessario usare il software GIMP, con il quale sono state apportate le modifiche necessarie alle mappe di layout relative ai diversi scenari.

3.3 METODI

La procedura riguardante l'analisi del rischio combinato di ondata di calore e sisma, nel caso studio della piazza dei priori, è suddivisa come riportato nel seguente iter, rappresentato dai paragrafi successivi:

- Creazione dei setup
- Output di setup
- Simulazione
- Input simulazioni
- Risultati delle simulazioni ed estrazione dei dati

3.3.1 Setup

Si parte creando la cartella contenente tutti i file di input necessari allo sviluppo delle simulazioni.

Questi file dovranno essere in formato PNG, da qui la necessità di utilizzare il software GIMP per modificare i PNG già esistenti adattandoli alle caratteristiche presupposte nei singoli scenari.

Vanno pertanto aggiornati i seguenti file:

- BETmap_IN: indica la tipologia di layout, che può essere quella di partenza, quella in cui vengono sostituite le fioriere o quella in cui vengono anche rimossi i parcheggi. Gli elementi presenti in questa mappa vengono distinti assegnando ad ognuno di essi un colore diverso.
- UTCImap_IN: fornisce le informazioni necessarie alle condizioni UTCI relative allo scenario valutato. Anche qui si avranno 3 versioni, che distingueranno la versione senza UTCI, dalla versione UTCI BA e dalla UTCI B8.
- SEISMICmap_IN: riguarda le macerie presenti sull'area della piazza e sulle vie d'accesso. I detriti presenti causano problemi all'esodo degli occupanti, perciò sono di vitale importanza nella valutazione del loro esodo.
- ATTACKmap_IN: descrive le aree in cui potrebbero verificarsi attacchi terroristici.
- ACCESSmap_IN: indica le aree di accesso alla piazza disponibili.

Dopo aver generato la cartella si procede con la creazione dei setup stessi tramite il modello "Setup creation_2022 v1.3.1" di Netlogo, come riportato in figura.

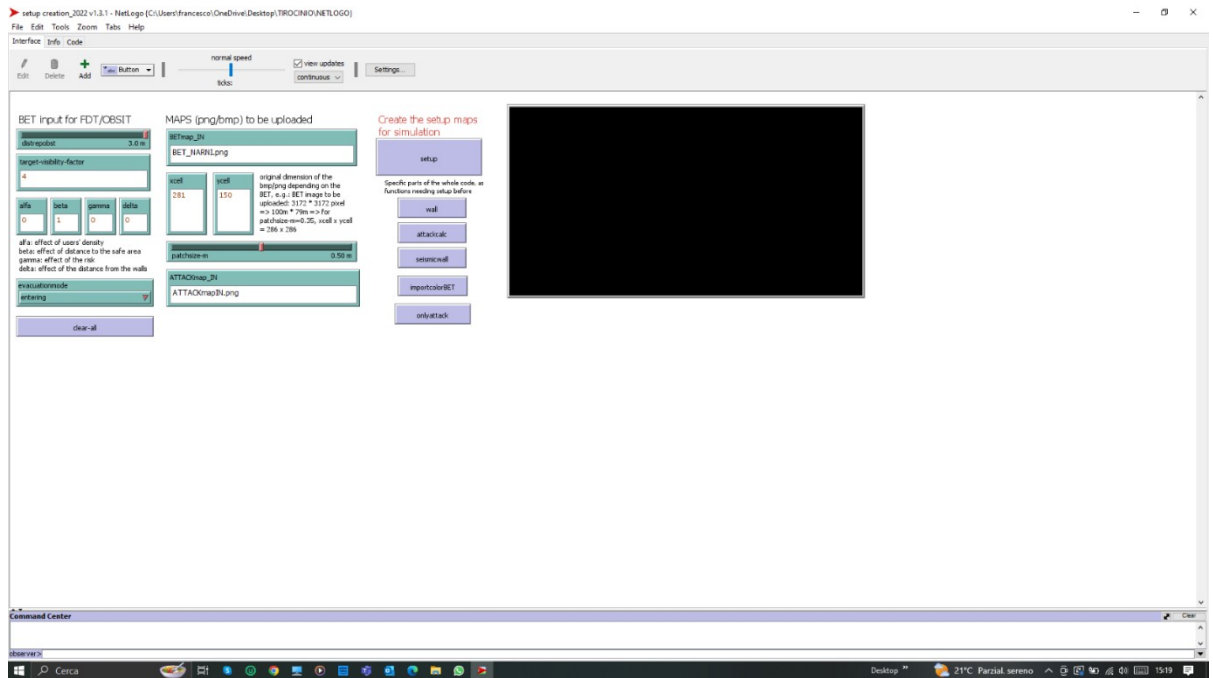


Figura 8: Setup creation_2022 v1.3.1

Le variabili riguardanti la creazione dei setup sono le seguenti:

- Distreposit [m]: distanza di repulsione dagli ostacoli, il cui valore viene preso pari a 3;
- Target visibility factor [-]: fattore moltiplicativo che influenza la distanza tra l'utente e l'area sicura, in funzione degli ostacoli presenti, 4 è il valore consigliato;
- Alfa, beta, gamma, delta [-]: fattori correttivi (con valore compreso tra 0 e 1), essi influenzano gli utenti sulla scelta delle celle. Alfa rappresenta l'effetto della densità degli utenti, beta la distanza dal luogo sicuro, gamma le condizioni di rischio della cella e delta l'effetto degli ostacoli presenti;
- Modalità di evacuazione: impostata su "entering" appunto perché viene considerata la modalità di evacuazione nella quale gli utenti si radunano nella piazza;
- BETmap_IN: la voce corrisponde al file png che indica la morfologia della BET;
- ATTACKmap_IN: non avendo preso in considerazione l'eventualità di attacchi terroristici, tale voce risulta rappresentata da un'immagine fittizia;
- Xcell e Ycell [-]: indicano il numero delle celle della BET considerata, rispettivamente orizzontali e verticali;

- Patchsize-m [m]: qui viene riportata la dimensione di un patch, in questo caso studio è stato preso un valore di 0,5m.

3.3.1.1 Output di setup

Procedendo all'avvio dei setup, si raccolgono i seguenti dati di output:

- Seismicwall.csv: file csv costituito da tre colonne che usa lo spazio come delimitatore ed il punto come separatore decimale per rappresentare i valori delle distanze normalizzati dagli edifici che provocano detriti;
- Obsit.csv: anch'esso è un file csv composto da 3 colonne che usa lo spazio come delimitatore e utilizza il punto come separatore decimale per rappresentare la distanza dagli edifici. Anche questo file viene utilizzato in ciascuno tick della simulazione;
- Seismic wall.bmp: immagine di output che rappresenta una mappa con range di colori diversi che descrivono la distanza delle patch dagli edifici. Nello specifico le celle tendenti al bianco sono quelle situate in prossimità degli edifici e quindi a maggior rischio per caduta di macerie, mentre le celle tendenti al nero sono quelle vicine al centro della piazza e pertanto meno rischiose.

3.3.2 Simulazione

Dopo aver completato la fase riguardante la creazione del setup e dopo aver ottenuto i file di output, si passa al lancio delle simulazioni tramite il modello “Simulation from setup_2022” v1.6.1 di NetLogo.

È appunto grazie alla antecedente creazione delle cartelle di setup che sono già a disposizione i PNG da immettere prima del lancio della simulazione.

A questo punto entrano in gioco molte più variabili rispetto al modello riguardante la creazione dei setup, come dimostra la figura:

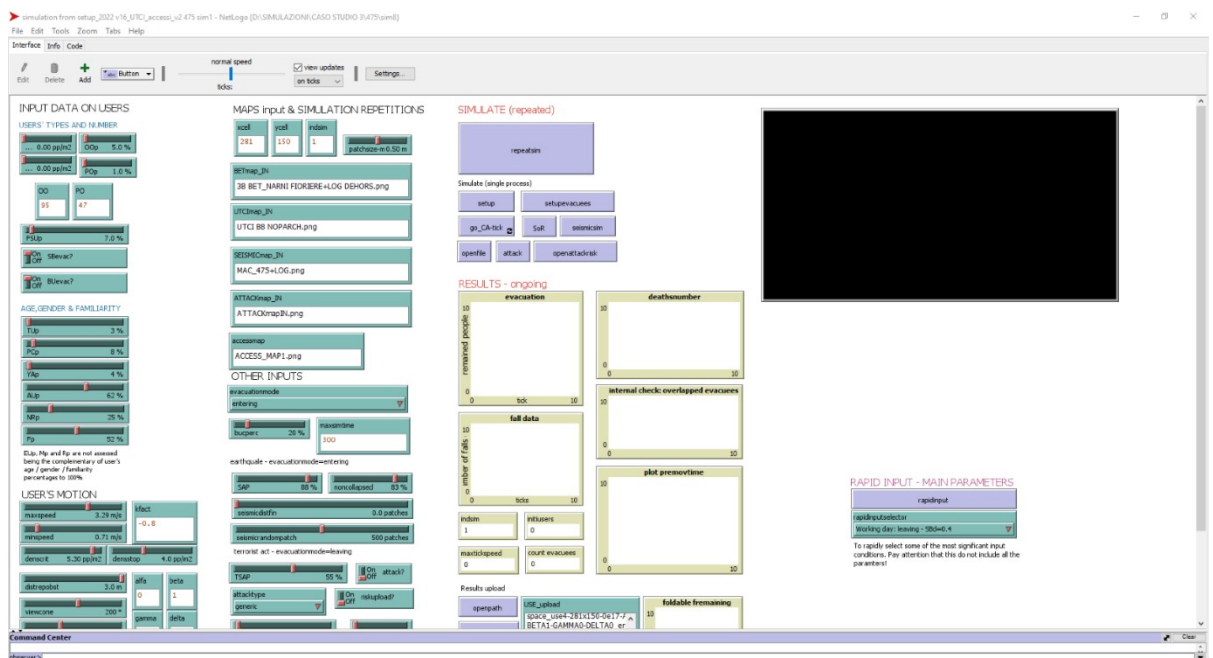


Figura 9: Simulation from setup_2022 v1.6.1

3.3.2.1 Input simulazioni

Analizzando in maniera più dettagliata gli input da immettere prima di lanciare le simulazioni, si delineano quattro sezioni principali che raccolgono tutte le variabili da considerare:

- Dati di input riguardanti gli utenti, come tipologia, età, sesso e familiarità con altri utenti nella piazza;
- Movimento degli utenti
- Mappe di input e ripetizione delle simulazioni

- Altri input

È inoltre possibile visualizzare l'andamento dell'evacuazione durante la simulazione grazie alle interfacce sulla destra, la quale mostra le curve dalle quali si deducono poi il numero dei morti, le cadute in funzione del tempo e la posizione prima del movimento.

I parametri immessi sono:

- UOOd [pp/mq]: densità degli utenti per ogni BET, comprende tutte le tipologie di persone;
- SBd [pp/mq]: densità degli utenti negli edifici speciali;
- OOp [%]: percentuale di persone che risultano utenti esterni (passanti);
- Pop [%]: percentuale di persone nel dehors (utenti outdoors);
- FSUp [%]: percentuale di persone provenienti dalla strada e che entrano in piazza all'evenienza di evento sismico.

Viene inoltre considerato un "maxsimtime" di 300 secondi e, essendo le dimensioni delle celle di 0,5m, i valori di xcell e ycell saranno rispettivamente 281 e 150.

3.3.2.2 Risultati simulazioni ed estrazione dati

Al termine delle simulazioni verranno generati dei file in formato CSV e BMP nella cartella di partenza, che forniscono informazioni in merito alle posizioni di partenza e di arrivo nel luogo sicuro degli occupanti.

Prima di procedere con l'estrazione dei dati tramite Matlab è però necessario raggruppare i file "maindata.csv" e "evacuees_arrived.csv", che si generano per ogni scenario, in un'unica cartella, creando un unico file "maindata" ed in un unico file "arrived" per ogni simulazione

Solo a questo punto sarà quindi possibile trasferire l'analisi su Matlab, nel quale saranno i codici "evacgraphs" e "ordersim" a consentire la lettura dei dati.

Importante però è che questi ultimi devono essere contenuti nella stessa cartella dei file csv.

I dati di output riguardano:

(1) curve di simulazione, per descrivere il processo complessivo, estratte in termini mediani rispetto ai risultati di simulazione (così da essere robuste rispetto ai possibili outliers);

(2) indicatori di rischio sintetico quantitativo, relativi alla descrizione del numero di utenti iniziali, finali, del tempo di evacuazione al 95° percentile (i.e. per eliminare outliers comportamentali legati a persone poste in posizione critica per distanza rispetto all'area sicura, caratterizzati da valori di movimento ai limiti della distribuzione di velocità, che hanno compiuto percorsi particolari in base alle condizioni al contorno e alla stocasticità del modello), dei relativi flussi normalizzati alla dimensione delle vie di accesso alla piazza [persone/s/m], dei contatti fisici tra persone nell'esodo in base alla densità locale, agli effetti di possibilità di partecipazione all'esodo in dipendenza del danno.

Anche i valori degli indicatori di cui al punto (2) sono estratti come mediane.

CAPITOLO 4: RISULTATI

4.1 ANALISI CURVE ED INDICATORI

Avendo portato a termine le simulazioni, resta ora da estrapolarne i risultati. La seguente è la parte più importante della tesi, in quanto la stessa si focalizza appunto sull'interpretazione dei risultati piuttosto che sulla descrizione del processo di simulazione antecedente.

Arrivati a questo punto la discussione si basa sul materiale ottenuto in seguito all'estrazione dei dati tramite Matlab, ovvero sulle curve di evacuazione e sulla tabella riassuntiva degli indicatori.

Si cercherà pertanto di individuare, attraverso un'analisi tecnica, quali, tra le strategie di mitigazione attuate, risultano più efficienti e perché.

4.2 CURVE DI EVACUAZIONE

Procedendo con l'analisi delle curve di evacuazione, le quali indicano il numero di utenti che raggiunge il luogo sicuro nel tempo, sarà possibile dedurre che, nel primo tratto, gli utenti riescono facilmente ad arrivare nelle rispettive posizioni considerate luoghi sicuri nella piazza, mentre si notano due riduzioni del rapporto di utenti evacuati nel tempo, date sia dal fatto che restano sempre meno persone che non hanno ancora raggiunto un luogo sicuro, sia dalla difficoltà riscontrata nell'immettersi nella piazza data dal maggior numero di persone già presenti.

Per una rappresentazione più dettagliata viene considerato un "maxsimtime" di 300 secondi, considerando trascurabile la variazione della curva in termini di valore di persone che abbiano raggiunto il luogo sicuro rispetto al tempo.

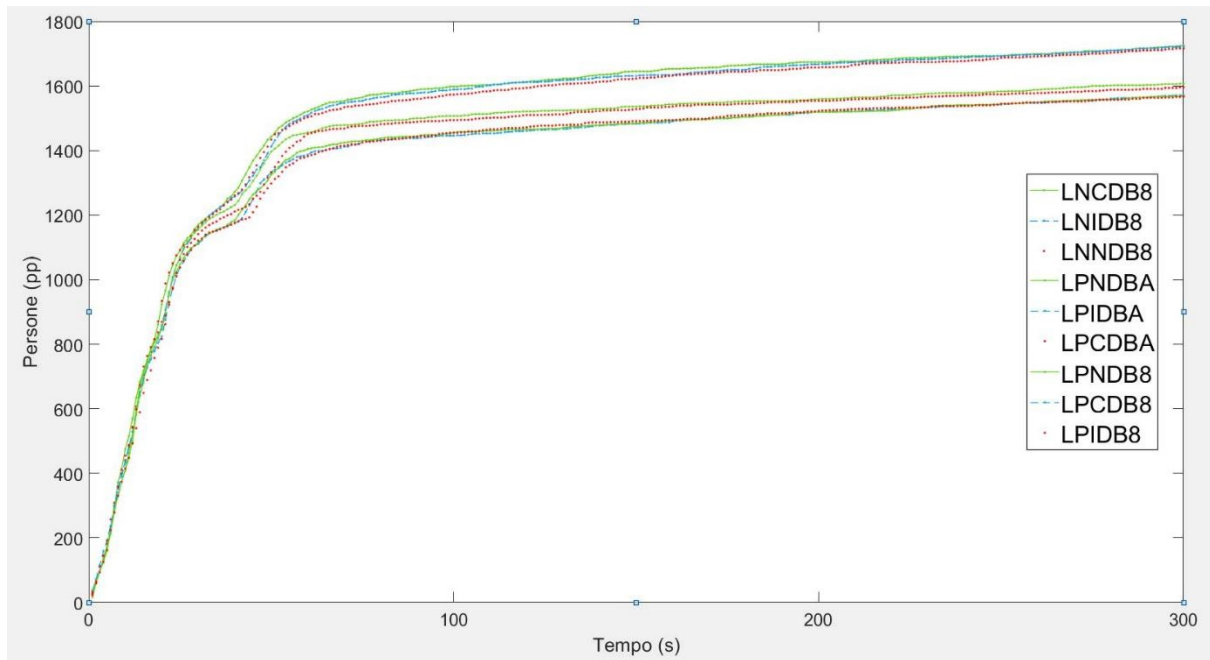


Figura 10: Curve di evacuazione

Analizzando più nel dettaglio, distinguendo le diverse curve relative ai diversi scenari, risulta evidente la differenza sostanziale tra le stesse. Si nota infatti come, successivamente al primo rallentamento nel flusso degli utenti, visibile intorno al valore di 1200 persone dopo un tempo di circa 30 secondi, le curve iniziano ad assumere valori diverse tra loro, presentando un andamento leggermente diverso.

Questa diversità in termini di andamento incrementa con il passare del tempo, come si nota successivamente al secondo rallentamento nel flusso degli utenti, quest'ultimo individuabile ad un intervallo di circa 60 secondi dall'inizio del sisma.

Anche se sono presenti differenze tra i tre scenari riguardanti una determinata mappa di layout, esse sono minime se confrontate con quelle che si presentano tra le curve relative ad uno scenario basato su una mappa di layout e quelle relative ad uno scenario basato su un'altra mappa di layout.

Le piccole differenze emerse tra i tre scenari relativi alla stessa mappa di layout sono infatti scaturite dalla diversa mappa di danno che viene combinata nello scenario, essendo queste ultime responsabili delle variazioni nel flusso degli utenti. Di conseguenza, lo scenario base simulato in cui la mappa di danno non prevede la presenza di macerie presenterà la

situazione meno rischiosa per gli occupanti, risultando in un miglior flusso degli stessi e nella conseguente individuazione della strategia di mitigazione più efficiente.

Da questa affermazione deriva il fatto che sarà quindi lo scenario LNND8 ad essere quello rappresentato dalla strategia di mitigazione più efficiente, presentando infatti il valore di persone che hanno raggiunto il luogo sicuro più alto, a parità di tempo trascorso dall'inizio del sisma.

Il codice di questo scenario indica che esso è basato sulla mappa di layout nella quale vengono sostituite le fioriere e rimossi i parcheggi alla quale viene affiancata la mappa UTCI B8 e la mappa di danno che vede la totale assenza di macerie già presenti sulla superficie della piazza.

Altre considerazioni sugli scenari portano l'attenzione a come, avendo lo stesso valore di "Arrived", le curve "LPIDBA" e "LPCDBA" risultano sovrapposte, da qui la scelta di rendere visibile solo la prima.

Con l'aiuto della tabella 2 e zoomando sulla figura 10, è possibile quantificare le differenze esistenti tra i vari scenari.

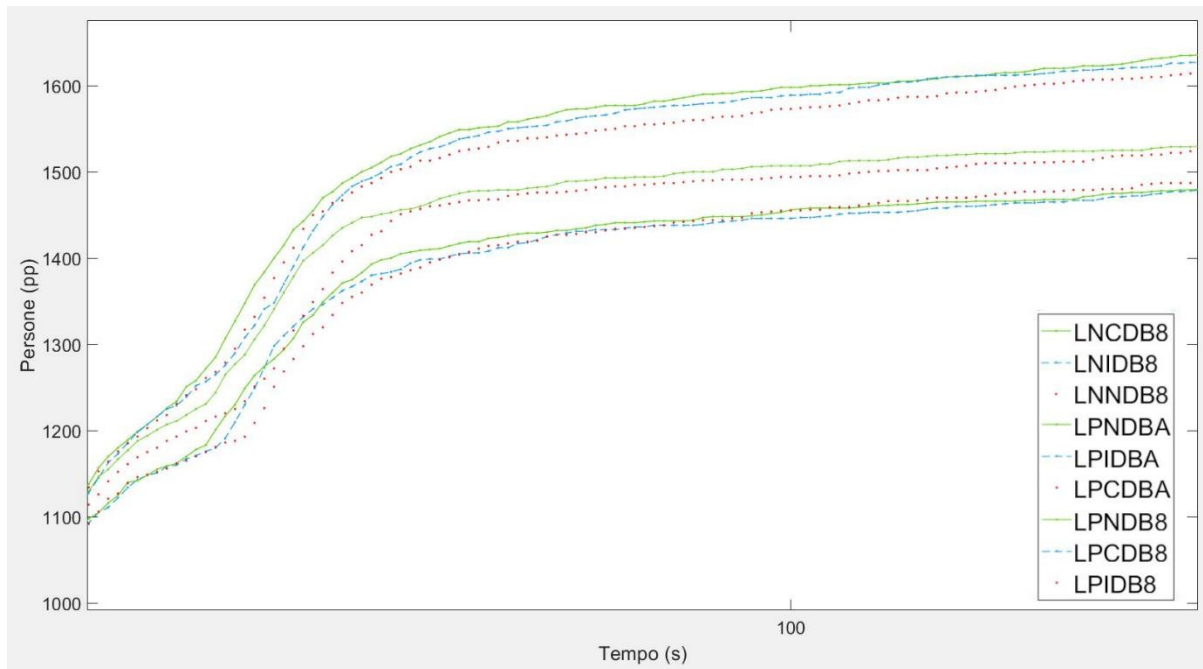


Figura 11: Curve di evacuazione a partire da circa 30 secondi, quando le differenze tra gli andamenti delle curve aumentano

Può essere dedotto infatti che i tre scenari basati sulla terza mappa di layout hanno valori molto simili. Lo scenario che considera la mappa di danno di figura 5 risulta quello che presenta il maggior numero di persone che riescono a raggiungere il luogo sicuro, presentando però una situazione nella quale vi sono soltanto sei persone in più rispetto allo scenario relativo alla mappa di danno della figura 4, il quale a sua volta si discosta rispetto alla condizione senza macerie di sole quattro persone.

Lo stesso ragionamento può essere effettuato in generale, considerando quindi anche gli altri scenari del due casi studio.

Adirittura, nel caso della mappa di layout che considera la sola sostituzione delle fioriere, la strategia di mitigazione che non vede presenza di macerie vede una differenza di sole due persone rispetto a quelle che considerano presenza di macerie sulla superficie della piazza. Inoltre, queste ultime si sovrappongono dato che i rispettivi valori di “Arrived” corrispondono.

Nel caso della prima mappa di layout si ripetono gli stessi concetti, date anche in questo caso le discrepanze molto ridotte tra i suoi scenari.

Da un punto di vista più generico, le diversità più sostanziali sono presenti tra un caso studio e l'altro, assumendo valori che si discostano tra loro di circa 70-80 persone arrivate al luogo sicuro.

4.3 INDICATORI SINTETICI DI RISCHIO

Qualora si consideri, invece, la tabella riassuntiva degli indicatori di rischio, si avranno a disposizione molti indicatori che descrivono i diversi scenari di simulazione. Essa è stata ottenuta dall'estrazione dei risultati delle simulazioni tramite il software Matlab.

Scenario	Initial square [pp]	Initial evacuee [pp]	Arrived [pp]	Nonarrived [pp]	T95 [s]	F95 [pp/s]	PCF [pp]	Death50 [pp]	TN95 [-]	Uscite [m]	FN95 [-]	PCFsim [-/s]	PCFid.ev [-/s]	Rpcf [-]	% evacuati [-]
LPNDBA	1993	2122	1619	503	183,75	8,3697	1264	0	0,61	32,14	0,72	6,8789	106,1	0,06	31,07
LPIDBA	1993	2122	1617	505	151	10,0648	3257	0	0,50	32,14	0,66	21,5695	106,1	0,20	31,23
LPCDBA	1993	2122	1617	505	151	10,0648	3257	0	0,50	32,14	0,66	21,5695	106,1	0,20	31,23
LPNDB8	1993	2122	1554	568	156	9,4593	3007	0	0,52	32,14	0,68	19,2756	106,1	0,18	36,55
LPIDB8	1993	2122	1547	575	156	9,4239	2962	0	0,52	32,14	0,69	18,9872	106,1	0,18	37,17
LPCDB8	1993	2122	1549	573	146	10,0727	2520	0	0,48	32,14	0,66	17,2603	106,1	0,16	36,99
LNND8	1993	2122	1700	422	156	10,3529	3849	0	0,52	32,14	0,65	24,6731	106,1	0,23	24,82
LNID8	1993	2122	1704	418	155	10,4424	3821	0	0,52	32,14	0,66	24,6516	106,1	0,23	24,53
LNCD8	1993	2122	1710	412	154	10,5522	3902	0	0,52	32,14	0,65	25,3377	106,1	0,24	24,09

Tabella 2: tabella degli indicatori di flusso

Gli scenari vengono elencati con il rispettivo codice identificativo che fornisce informazioni sulle mappe utilizzate, distinguendo di conseguenza le condizioni che si verificano al variare della strategia di mitigazione adottata.

4.3.1 Analisi indicatori

4.3.1.1 "Initial square" e "Initial evacuee"

Come si può notare, gli unici parametri a restare invariati per ogni scenario, sono il numero di persone che prendono parte all'evacuazione, indicate da "Initial square", che rappresenta il numero di persone presenti nella piazza

nel momento del sisma, e da “Initial evacuee” che indica invece la quantità totale di persone che prende parte nell’evacuazione, esso infatti rappresenta la somma degli utenti presenti nella piazza e di quelli che provengono da zone limitrofe alla piazza stessa. Il dato è il medesimo visto che tutti gli scenari considerano lo stesso numero iniziale di persone in queste condizioni.

4.3.1.2 “Arrived”

Le prime differenze si manifestano però al numero di persone che raggiungono il luogo sicuro, indicato dall’indicatore “Arrived”. Le differenze nei valori riportati suggeriscono infatti che, nel caso si decidesse di attuare la strategia di mitigazione che comprende la sola sostituzione delle fioriere, si avrebbe in realtà un numero di utenti che raggiungono il luogo sicuro minore in confronto alle altre strategie.

Le differenze sul numero di utenti arrivati al luogo sicuro che conseguono dall’uso delle diverse mappe di danno, se pur piccole, indicano ovviamente che la condizione più favorevole sia quella che non considera la presenza di macerie, seguita dal caso in cui si utilizza la mappa di danno riportata in figura 5, e che la mappa di danno riportata in figura 4 risulti invece la peggiore.

Per ogni scenario quindi, a parità di evacuanti iniziali, gli effetti delle strategie di mitigazione pianificate hanno effetti diversi sul numero di evacuanti che riescono a raggiungere il luogo sicuro e sul tempo impiegato per farlo. Queste differenze risultano minime se confrontate tra i tre scenari relativi alla stessa mappa di layout, ma diventano più importanti quando confrontate tra scenari basati su due mappe di layout differenti, proprio come avviene con le curve di evacuazione. Infatti, all’interno del singolo scenario in termini di layout, questi dati sono pressoché costanti perché influenzati principalmente dalle condizioni di simulazione dei danni del sisma (stessa quota di partecipanti

all'esodo, con SAP=88%), mentre le variazioni tra diversi layout sono legate alla quantità di ostacoli e aree disponibili.

Un'altra similitudine con le curve di evacuazione sta nel fatto che, anche in questo caso, gli scenari basati sulla terza mappa di layout risultano quelli che rispecchiano le condizioni meno pericolose per gli utenti, indicando quindi la pianificazione delle strategie di mitigazioni più efficienti, come dimostrano i valori di indicatori come "Arrived" e "Nonarrived". Questi tre scenari presentano infatti un maggior numero di persone che hanno raggiunto il luogo sicuro. Il rischio, quindi, come atteso, diminuisce per la soluzione B8, perché assenti fioriere e aree a parcheggio che aumentano la dimensione dell'area di raccolta.

4.3.1.3 "Non arrived"

Parlando appunto dell'indicatore "Non arrived", esso indica il numero di persone che non raggiunge il luogo sicuro. È facile comprendere che ha lo stesso andamento di "Arrived", essendo nient'altro che la differenza del numero di utenti a prendere parte all'evacuazione e del numero di utenti che riesce a raggiungere il luogo sicuro. Vale il reciproco di quanto riportato alla sezione 4.3.1.2.

4.3.1.4 "T95"

Questo indicatore indica il tempo necessario all'utenza per raggiungere il luogo sicuro. In questo caso non si evince chiaramente quale sia la strategia di mitigazione più efficiente, sembra infatti che i valori più bassi dell'indicatore siano nel secondo, terzo e sesto scenario. Questo indicherebbe che le strategie di mitigazione migliori siano quelle basate sulla mappa di layout base e su quella in cui vengono solo sostituite le fioriere.

La realtà è diversa però, bisogna infatti considerare il numero di persone che prendono parte all'evacuazione. Qualora infatti questo valore tenda ad essere minore, tanto meno tempo sarà necessario al raggiungimento del luogo sicuro per quel numero di persone e di conseguenza il T95 sarà anch'esso minore.

È fondamentale, perciò, tenere a mente che, come indica "Initial evacuee", il numero di persone partecipanti all'evacuazione è maggiore negli ultimi 3 scenari, ovvero quelli relativi alla mappa di layout che prevede anche la rimozione dei parcheggi oltre alla sostituzione delle fioriere. Ciò farà sì che il valore del T95 sia maggiore, ma non significa che le strategie di tipo B8 impiegate in quegli scenari siano in realtà peggiori, anzi. Sarà infatti l'indicatore del flusso a confermare che sono le più efficienti.

Questo indicatore, così come il prossimo, descrivono le condizioni al 95esimo percentile, ovvero indica quel valore tale per cui il 95% dei dati sarà minore o uguale allo stesso.

4.3.1.5 "F95"

Il valore dell'F95, che rappresenta appunto il flusso degli utenti, conferma quanto detto sull'efficienza delle soluzioni di tipo B8.

Questo indicatore fornisce informazioni in merito a quante persone al secondo transitano in una data area. Più tale valore risulta maggiore, migliore risulterà la strategia di mitigazione attuata nel relativo scenario, dato che, a parità di occupanti, maggiore sarà il flusso delle persone, minore sarà il tempo richiesto per completare l'evacuazione.

Come si può notare dalla tabella sopra riportata, il valore dell'F95 negli ultimi 3 scenari, che sono quelli basati sulla terza mappa di layout, è maggiore se confrontato con il valore relativo agli altri scenari. Ciò conferma ancora una volta che la strategia di mitigazione che prevede la rimozione dei parcheggi, oltre alla sostituzione delle fioriere, è la più efficiente.

4.3.1.6 “PCF”, “PCFsim”, “PCFid,ev” e “Rpcf”

Il primo rappresenta il numero di collisioni, che avvengono tra le persone in fase d’esodo, al secondo.

Bisogna anche qui tenere a mente che questo indicatore varia anche a seconda del numero di persone complessivo, in maniera direttamente proporzionale.

Il secondo è ottenuto dalla divisione del numero di collisioni della singola simulazione per il T95, mentre il PCFid,ev è dato dal numero massimo di collisioni possibili con una partecipazione all’evacuazione del solo 5% degli utenti. Dividendo PCFsim per PCFid,ev si ricava poi l’Rpcf, che rappresenta il numero massimo di collisioni al secondo.

Come atteso, se lo spazio a disposizione delle persone aumenta, anche i relativi problemi di contatto fisico diminuiscono. Questo risultato conferma che le soluzioni B8 sono le migliori del campione testato.

4.3.1.7 “Death 50”

Indica il numero di morti, che è sempre pari a zero per le modalità di simulazione, che escludono morti ma solo persone che non riescono a terminare l’esodo.

4.3.1.8 “TN95” e “FN95”

Il principale confronto tra i distinti scenari avviene però attraverso i valori degli indicatori normalizzati TN95 ed FN95.

Il primo corrisponde al T95, normalizzato però al tempo di evacuazione di 300 secondi. Così facendo sarà possibile avere un valore compreso tra 0 e 1 per avere un confronto più immediato tra gli scenari.

Un valore più basso di questo indicatore indica uno scenario meno rischioso, o comunque un tempo di evacuazione tendenzialmente più ridotto.

Varia linearmente con il valore del T95 e lo stesso discorso fatto per quest'ultimo vale anche per l'indicatore normalizzato, infatti, negli ultimi 3 scenari, non si avrà il minimo assoluto ma sappiamo comunque che sono proprio quegli scenari ad essere i meno rischiosi grazie al valore dell'FN95.

Parlando appunto dell'indicatore del flusso normalizzato, anch'esso avrà un valore che varia tra 0 e 1 ed è più favorevole tanto più tende allo 0.

In questo caso, invece, il valore normalizzato varia in maniera inversamente proporzionale al valore base F95, questo fenomeno si verifica perché il valore normalizzato è ottenuto calcolando il massimo tra 0 ed un valore unitario a cui verrà poi sottratto l'F95 diviso per 1,5.

Di fatti, il TN95 risulta minore anche in presenza di ostacoli (scenario base, ad esempio) se confrontato con altri scenari che vedono più spazi liberi (es.: soluzioni B8), a dimostrazione del fatto che, nonostante la quantità di persone a dover raggiungere la destinazione sicura sia maggiore, questa non inficia l'esodo rispetto al 95% delle persone che terminano l'evacuazione. Il dato deve essere quindi confrontato con "arrived". La soluzione B8, in tal senso, si conferma la migliore dalla combinazione tra i due indicatori. I valori di FN95 confermano ovviamente questo dato andando a unire i due output di simulazione.

4.3.1.9 “Uscite”

Questa voce indica, in metri, la dimensione delle vie di accesso alla piazza, e considera tutte le strade di Narni

È necessaria per il calcolo dell'indicatore FN95 per effettuare la normalizzazione alla larghezza (in metri) di tali vie rispetto al flusso.

4.3.1.10 “% evacuati”

L'ultimo indicatore fornisce la percentuale delle persone che riescono a portare a termine l'evacuazione, partendo dal valore degli evacuanti iniziali. Il dato chiarisce l'impatto % degli “arrived” rispetto a “initial people”, confermando la bontà della soluzione B8.

CAPITOLO 5: DISCUSSIONI

Veniamo ora ad un recap generale dei risultati ottenuti dalle simulazioni.

Sia dalle curve di evacuazione che dalla tabella 2 è emerso come siano presenti delle differenze tra ogni scenario; tuttavia, tali differenze risultano molto piccole tra scenari diversi basati sulla stessa mappa di layout, mentre sono sostanziali quelle riscontrate al variare della mappa di layout.

Da questo fatto resta intuitivo dedurre come le differenze presenti tra gli scenari basati sulle stesse mappe di layout siano dovute alla considerazione di diverse mappe di danno e mappe UTCI.

Le simulazioni confermano infatti che, come atteso, uno scenario che comprende una mappa di danno senza la presenza di macerie, presenta ovviamente un rischio minore per la salute degli utenti presenti nella piazza, in quanto l'assenza di macerie favorisce l'esodo degli stessi. Qualora fosse presente, invece, una mappa di danno che vede la presenza di macerie, l'esodo degli occupanti risulterà più difficoltoso.

Lo stesso ragionamento può essere effettuato per le mappe UTCI, poiché, gli scenari comprensivi della mappa riportata in figura 7, riscontrano complicazioni per l'esodo dell'utenza, scaturito dal fatto che un maggior numero di persone è raggruppato in un'area ristretta della piazza, bloccando potenzialmente le vie di esodo ed incrementando il numero di collisioni.

Questo processo, d'altronde, non si verifica nel caso di scenari basati sulla mappa UTCI base, rimarcando l'importanza di analizzare diverse condizioni di combinazione sisma-ondata di calore per valutare l'impatto sull'effettivo rischio delle persone.

Analizzando però la tabella degli indicatori sintetici di rischio (sezione 4.3), focalizzando l'attenzione in particolare su indicatori come "Arrived" e "Nonarrived", si nota come questi

variano con gli scenari. Anche queste variazioni sono dovute alla mappa di danno e alla mappa UTCL combinate nel setup per la creazione del relativo scenario, è infatti evidente che la presenza di macerie inficia il numero di persone che riescono a raggiungere il luogo sicuro, rispetto alla condizione senza macerie.

Il valore indicatore da “Nonarrived” è anch’esso negativamente influenzato, come atteso, dalla presenza di macerie, in tutti gli scenari risulta infatti peggiore nelle condizioni appena descritte, ad eccezione degli scenari basati sulla terza mappa di layout, ovvero quella in cui è prevista la rimozione delle fioriere, oltre a quella dei parcheggi. Questo fenomeno deriva dalla presenza di un numero maggiore di persone, ed in percentuale, la riduzione del valore dell’indicatore può essere trascurata. Si può infatti pensare che, in presenza di macerie, alcune persone sono costrette a radunarsi al di fuori dall’area delle macerie per evitare di ritrovarsi in una situazione di pericolo nei pressi degli edifici.

Risulta lecito fare questo ragionamento perché è necessario interpretare i punti di arrivo delle persone, i quali, essendo diversi rispetto agli altri scenari, possono causare delle piccole variazioni sul valore degli indicatori.

In linea generale, al variare della mappa di layout usata nella pianificazione dello scenario, alcuni indicatori variano con essa, mentre altri restano invariati. Nel caso in cui l’indicatore in questione presenti due valori diversi, i due scenari presentano differenze per quanto riguarda il rischio per la salute dell’utenza che derivano dalla diversa mappa di danno.

Nel caso in cui, invece, pur cambiando lo scenario (e con esso la mappa di danno), l’indicatore considerato presenti lo stesso valore, non si riscontrano differenze dal punto di vista del rischio corso dalle persone al variare delle macerie presenti sulla superficie della piazza.

In definitiva, allora, non sempre il variare della mappa di danno considerata, e quindi delle macerie presenti sulla superficie della piazza, si traducono in rischi maggiori o minori per la gli utenti.

Alla base di queste considerazioni è opportuno indicare che è stato considerato il massimo affollamento possibile per la piazza; nel caso in cui così non fosse, le circostanze sarebbero diverse e più favorevoli per gli utenti, risultando in un esodo più facile, e probabilmente ci si potrebbe aspettare maggior differenza tra gli scenari di simulazione per ulteriore riduzione, in quelli con meno ostacoli, delle interazioni che rallentano l'esodo della folla.

CAPITOLO 6: CONCLUSIONI

Il rischio sismico per gli occupanti di una piazza può variare a seconda di altre condizioni come quelle di ondata di calore, in quanto questi fenomeni causano un'alterazione nella distribuzione dell'utenza presente sulla superficie della piazza, causando così difficoltà nell'evacuazione, date da una maggiore concentrazione di persone e di conseguenza un minore flusso delle stesse.

La mitigazione del rischio sismico, quindi, non può prescindere dall'analisi combinata di queste condizioni.

In questa tesi, si è analizzato un caso studio per valutare l'efficacia di soluzioni di mitigazione multirischio rispetto a diverse combinazioni dell'azione combinata di sisma ed ondata di calore. Il caso studio di piazza dei Priori a Narni si concentra sull'analisi delle strategie di mitigazione del rischio sismico ottenibili variando le caratteristiche della piazza stessa, rispetto alle condizioni reali.

Le soluzioni analizzate comprendono, rispetto alla situazione reale della piazza, che è rappresentata dal layout base, la sostituzione delle fioriere già presenti per favorire l'esodo delle persone, ma si valutano poi anche degli scenari che vedono, oltre alla sostituzione delle fioriere, anche la rimozione dei parcheggi, in modo tale da concedere più spazio agli utenti in cerca di un luogo sicuro.

Lo sviluppo è stato svolto tramite simulazioni del processo di emergenza ed evacuazione. Gli scenari e i relativi parametri variano anche con la presenza delle relative mappe di danno e delle mappe UTCI, dalle quali sono stati ricavati nove diversi scenari di mitigazione.

I risultati confermano un ragionamento intuitivo, cioè che nella maggior parte dei casi le condizioni migliori risultano quelle relative all'assenza di macerie già presenti sulla superficie

della piazza e tanto più favorevoli nella circostanza che prevede la mappa UTCI base. Analizzando i dati raccolti dalle simulazioni effettuate in precedenza, è possibile individuare quale, tra gli scenari considerati, risulta il migliore in termini di rischi corsi dall'utenza. Dal confronto di questi scenari si identifica poi la strategia di mitigazione da adottare. In particolare, lo scenario migliore risulta essere quello identificato dal codice LNNDB8, il quale comprende l'implementazione di strategie di mitigazione che vedono la sostituzione delle fioriere e la rimozione dei parcheggi. Ci si basa pertanto sulla terza mappa di layout, quest'ultima combinata con la mappa di danno e la mappa UTCI B8.

Questa soluzione diminuisce il rischio per gli occupanti in evacuazione post sisma, nelle condizioni di ondata di calore considerate, rispetto allo scenario base (pre-mitigazione), secondo gli indici:

- Numero di evacuanti coinvolti (Invariante)
- Numero di evacuanti arrivati (circa 10%)
- Tempo necessario a raggiungere il luogo sicuro (circa 17,5%)
- Flusso degli utenti (circa 20%)

Vengono riportate anche le relative percentuali di variazione al variare degli scenari, considerando inizialmente la differenza tra il valore minimo ed il valore massimo.

Bisogna considerare che questo lavoro di simulazione è stato effettuato però considerando esclusivamente i giorni feriali, per i quali, l'affollamento risulta massimo. È utile, in futuri studi, confrontare i risultati che si otterrebbero qualora si considerasse l'affollamento per i giorni festivi, poiché presenterebbero condizioni di affollamento diverse. In particolare, si stima che tali condizioni risulterebbero favorevoli per la popolazione in quanto l'esodo ne sarebbe facilitato, visto il numero idealmente inferiore di persone esposte.

Le capacità del metodo nel supportare la valutazione di strategie di mitigazione deve essere inoltre testata in altri casi studio, per valutare l'effettiva efficacia degli indicatori utilizzati in diversi contesti, nonché delle modalità di confronto tra gli stessi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] «Il progetto | bes2ecure, <https://www.bes2ecure.net/>»
- [2] «WHO Definitions: Emergencies,» [Online]. Available: <https://www.who.int/hac/about/definitions/en/>. [Consultato il giorno 25 gennaio 2024].
- [3] «UNISDR. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030,» United Nations Office for Disaster Risk Reduction: Geneva, Switzerland, 2015. [Online]. Available: http://www.unisdr.org/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf
- [4] «e. a. Jackson JE, «Public health impacts of climate change in Washington Stat: Projected mortality risk due to heat events and air pollution» vol. 102, n. 1-2, pp. 159-186, 2010.
- [5] <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/2/20/18A00716/sg>
- [6] [Piazza dei Priori - Google Maps](#)
- [7] United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR), UNISDR, https://www.preventionweb.net/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf, 2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. 2009, 30.
- [8] S. Liang, H. Leng, Q. Yuan, B.W. Wang, C. Yuan, How does weather and climate affect pedestrian walking speed during cool and cold seasons in severely cold areas? Building and Environment. 175 , 2020, 106811. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106811>
- [9] E. Quagliarini, G. Bernardini, M. D’Orazio, How Could Increasing Temperature Scenarios Alter the Risk of Terrorist Acts in Different Historical Squares? A Simulation-Based Approach in Typological Italian Squares, Heritage. 6 , 2023, 5151–5188. <https://doi.org/10.3390/heritage6070274>
- [10] Tesi di Ameli Federica, “Analisi e mitigazione multirischio nelle piazze urbane: il caso studio di piazza dei Priori a Narni”, A.A. 2021-2022

[11] C. Curt, Multirisk: What trends in recent works? – A bibliometric analysis, *Science of The Total Environment*. 763 , 2021, 142951. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142951>

[12] S. Zare, N. Hasheminejad, H.E. Shirvan, R. Hemmatjo, K. Sarebanzadeh, S. Ahmadi, Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year, *Weather and Climate Extremes*. 19 , 2018, 49–57.
<https://doi.org/10.1016/j.wace.2018.01.004>

[13] P.K. Cheung, C.Y. Jim, Improved assessment of outdoor thermal comfort: 1-hour acceptable temperature range, *Building and Environment*. 151 , 2019, 303–317.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.057>

[14] L. Bernabei, G. Vaiano, F. Rosso, G. Mochi, A novel seismic vulnerability assessment of masonry façades: framing and validation on Caldarola case study after 2016 Central Italy earthquake, *TEMA, Technologies Engineering Materials Architecture* (e-ISSN 2421-4574). 7 , 2021,.
<https://doi.org/10.30682/tema0702d>

RINGRAZIAMENTI

In primis mi sento di voler ringraziare il Prof. Bernardini per avermi accompagnato in questo percorso, per avermi spronato a crescere sotto il profilo tecnico restando però molto empatico e rassicurandomi quando necessario, ma anche per aver dimostrato nuovamente la spiccata disponibilità in ogni aspetto.

Un ringraziamento enorme va anche ai miei amici, ai colleghi ingegneri per i momenti condivisi dentro e fuori l'università, alle amicizie nate in palestra per gli allenamenti insieme, agli amici di Atesa per essere un gruppo favoloso.

Grazie a Maria, per essermi stata accanto nella conclusione di questa prima tappa universitaria, rendendola più bella di qualsiasi aspettativa prefissata.

Grazie alla mia famiglia, per avermi supportato sempre, per aver creduto in me fin da subito, per aver reso possibile tutto ciò e soprattutto per l'amore che ho ricevuto da sempre, questo "piccolo" traguardo è tanto mio quanto vostro.

Il vostro Francesco