



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Edile

**Il sisma nell'ambiente costruito storico: applicazione di un metodo speditivo di
valutazione ed analisi dell'esposizione degli utenti**

The earthquake in the historical built environment: application of a rapid method of
evaluation and analysis of user exposure

Relatore: Chiar.mo

Prof. Gabriele Bernardini

Tesi di Laurea di:

Margherita Cippitelli

A.A. 2020/2021

INDICE

1- Introduzione	3
1.1- Problema	3
1.2- Obiettivo della tesi	3
1.3- Struttura della tesi	4
2-Stato dell'arte	5
2.1- Sisma nel BE outdoor: problematiche di sicurezza per gli utenti	5
2.2- Emergenza in caso di sisma: esposizione, comportamenti umani e BE	6
2.3- Matrice di rischio sismico nel BE	7
2.4- Quantificazione e qualificazione dell'esposizione degli utenti	8
2.5- Caratterizzazione dell'esposizione e della vulnerabilità degli utenti per la definizione tipologica delle BET.....	9
3. Metodologia	11
3.1-Introduzione al metodo e fasi di lavoro	11
3.2-Caratterizzazione delle aree dell'ambiente costruito	11
3.3-Strade di accesso alla piazza	13
3.3.1-Regole di esclusione per le strade	13
3.3.2-Metodo di calcolo della lunghezza delle strade.....	14
3.4-Caratterizzazione degli individui secondo una classificazione per età e per tipologia nei confronti del costruito	16
3.5-Studio delle aree indoor e degli utenti interni	17
3.6-Caratterizzazione degli utenti esterni.....	18
3.7-Definizione dei parametri di esposizione e vulnerabilità per la piazza.....	19
3.8- Analisi statistica: criteri di analisi dei risultati.....	20
3.8.1- Come si ricava e come si interpreta.....	20
3.8.2- A cosa serve	21
4- Risultati	22
4.1- Parametri OUC.....	22
4.1.1- Numero di utenti in outdoor e indoor (pp)	22
4.1.2- Percentuale di utenti considerata la familiarità con il posto e le procedure di emergenza (%)	24
4.1.3- Densità di utenti considerando l'area in outdoor nel BE (pp/m ²)	25
4.1.4- Densità degli utenti considerando il costruito (indoor) (pp/m ²).....	27
4.2- Parametri TDC	29

4.2.1- Numero di utenti in outdoor e indoor (pp)	29
4.2.2- Percentuale di utenti nel tempo considerata la tipologia e la familiarità con il posto e le procedure di emergenza (%).....	31
4.2.3- Densità di utenti considerando l'area in outdoor nel BE (pp/m ²)	33
4.2.4- Densità degli utenti considerando il costruito (indoor) (pp/m ²).....	34
4.3- Analisi dei dati relativi alla piazza e alle strade di accesso	35
4.3.1- TDC-Densità degli utenti esterni considerando l'area in outdoor nel BE UOOd (pp/m ²)	35
4.3.2- OUC-Densità degli utenti esterni considerando l'area in outdoor nel BE (pp/m ²)	35
4.4- Discussione	37
5- Conclusione	40
Appendice A.....	42
Ringraziamenti.....	49
Bibliografia	50

1- Introduzione

1.1- Problema

Negli ultimi anni, numerosi eventi emergenziali hanno evidenziato come l'Ambiente Costruito (in inglese Built Environment, e di seguito codificato con BE), sia sempre più esposto a diverse condizioni di disastro che possono portare a problematiche significative per gli utenti esposti. L'integrazione tra valutazione e progettazione dell'Ambiente Costruito in relazione ai rischi derivanti da questi eventi di "emergenza" (SUOD-Sudden onset Disaster), come atti terroristici e terremoti, diventa un elemento chiave per migliorare la sicurezza degli utenti.

Come evidenziato dalla letteratura, nonché dai progetti rilevanti recenti e attuali nel quadro nazionale e internazionale, occorre sviluppare metodi, strumenti e linee guida per accrescere la resilienza del BE e proporre soluzioni efficaci per aumentare il livello di sicurezza e di percezione del rischio degli utenti che lo popolano. Più nello specifico, ogni disastro deve essere investigato e studiato secondo un approccio che consideri direttamente la numerosità delle persone presenti nel BE, la loro tipologia e come si comportano in condizioni di emergenza. Questo consentirà di esaminare gli effetti delle scelte degli utenti in situazioni rischiose, come; ad esempio, la scelta di percorsi di evacuazione o la propensione a prendere decisioni pericolose. Tali comportamenti devono essere studiati e adattati considerando gli effetti di affollamento in ciascuna condizione del BE stesso. Tuttavia, ad oggi, i metodi per "popolare" gli scenari di emergenza non sono adeguatamente affrontati, e non esistono metodi specifici speditivi che possano supportare i progettisti per individuare scenari ricorrenti di esposizione, sia su singoli casi studio, che su una serie tipologica di essi.

In questo contesto, il presente lavoro di tesi si occupa in dettaglio di tale problematica correlata al sisma nei centri storici. In caso di sisma, infatti, le piazze e l'ambiente circostante connesso ad esse (strade che confluiscono sulla piazza) sono luoghi critici perché rappresentano i punti di ritrovo e raccolta delle persone ma anche le vie di fuga per l'evacuazione. Gli utenti devono quindi poter raggiungere il "luogo sicuro" e mettersi in salvo dopo l'evento. Per fare ciò le persone percorreranno le strade di accesso alla piazza o i passaggi carrabili e pedonali sulla piazza stessa che però potrebbero essere ostruiti a causa di crolli strutturali degli edifici. Nei centri storici, inoltre, gli effetti sono acuiti dalla generale alta vulnerabilità dell'edificato storico e alla configurazione compatta e complessa del tessuto urbano. Tutto questo potrebbe causare problemi per l'incolumità delle persone che vivono nella piazza o la sfruttano per motivi di lavoro/studio e per le attività commerciali.

1.2- Obiettivo della tesi

L'obiettivo della ricerca è quello di valutare l'esposizione degli utenti nell'ambiente costruito mediante un approccio speditivo e applicabile da remoto, che possa anche fornire informazioni nel tempo e nello spazio circa tipologie e numerosità di utenti esposti. In particolare, il metodo speditivo consentirà di analizzare molti dati (relativi ad un campione di piazze e delle strade ad esse interconnesse nel tessuto urbano- Vedi Appendice) tra cui aspetti geometrico-morfologici, dati relativi alle attività presenti nella piazza e lungo le strade ad essa connesse, e si prenderanno in considerazione fattori di criticità come l'affollamento e le diverse tipologie di utenti a seconda del sesso e dell'età, che possono condizionare sensibilmente il rischio del BE in emergenza ed evacuazione per sisma. Rilevare i fattori tipici aiuterà a definire le variazioni più frequenti dell'esposizione nel BE, descrivendo diversi scenari di Tipologia di Ambiente Costruito (BET) in termini di condizioni di picco nel BE e condizioni ricorrenti dal punto di vista dell'esposizione e della vulnerabilità degli utenti, come pure l'importanza delle caratteristiche di tali fattori nella piazza rispetto alle strade connesse ad essa, dato il ruolo combinato nel caso di emergenza sismica.

Il lavoro di ricerca da me intrapreso si colloca inoltre all'interno del progetto di rilevanza nazionale PRIN "BE S2CURE" acronimo di **B**uilt **E**nvironment **S**afer in **S**low and **E**mergency **C**onditions through **b**ehavio**U**ral **a**ssessed/**d**esigned **R**esilient solutions (1) , che mira a migliorare l'integrazione tra valutazione e progettazione dell'Ambiente Costruito in relazione ai rischi derivanti da eventi di "emergenza" (SUOD), atti terroristici e terremoti, ed eventi di inquinamento atmosferico e ondate di calore (SLOD). In tal senso ne sfrutta anche le metodologie sviluppate per l'analisi del BE e delle sue condizioni anche in termini di esposizione.

1.3- Struttura della tesi

In accordo agli obiettivi, la struttura della tesi si articola nei seguenti capitoli. Lo stato dell'arte (vedi sezione 2) traccia le conoscenze sul rischio sismico in ambienti outdoor focalizzando sulla correlazione tra questo e gli aspetti di esposizione degli individui in caso di emergenza ed evacuazione. Il Capitolo 3 introduce la metodologia di valutazione dell'esposizione, indicando le basi di dati di partenza per i singoli casi studio coinvolti nella tesi e collegati al progetto BE S2ECURE, nonché le modalità di analisi dei risultati. Il Capitolo 4 traccia i risultati, secondo un approccio statistico, e delinea le discussioni principali del lavoro. Il Capitolo 5 discute i risultati tracciando le condizioni di picco e ricorrenti nel BE (piazza+strada) e l'impatto delle condizioni della piazza rispetto al tessuto urbano minimo in cui essa si colloca, grazie all'analisi del contesto sinergico di piazza e strade connesse.

2-Stato dell'arte

2.1- Sisma nel BE outdoor: problematiche di sicurezza per gli utenti

L'ambiente costruito (in inglese BE-Built Environment) è definito come il sistema di edifici (che possono essere monumentali, con caratteristiche storico-artistico-culturali peculiari, ad esempio: chiese, monasteri, campanili, obelischi, teatri, castelli, archi trionfali e ponti ad arco, o ordinari, che fungono da abitazioni comuni o moderne strutture pubbliche (2)), infrastrutture, spazi aperti (che sono i principali vuoti urbani, come piazze e strade urbane, che collegano le piazze e che possono essere utilizzate come percorsi utili a far evacuare gli individui e permettere ai soccorritori di spostarsi nello scenario danneggiato dall'emergenza, es.: dalle macerie causate dal terremoto) e utenti (1).

Considerando gli spazi aperti, il rischio sismico dipende principalmente dalla combinazione dei danni subiti dagli edifici e dall'esposizione, che si riferisce principalmente alla quantificazione e qualificazione delle vite umane. I livelli di danno derivano dalla combinazione di vulnerabilità e problemi legati al pericolo, mentre l'esposizione è essenzialmente influenzata dal numero di utenti nell'ambiente costruito, la cui tipologia di distribuzione spaziale è fortemente dipendente dal tempo come sarà spiegato in dettaglio nella sezione della metodologia (3).

I BE storici soffrono particolarmente dell'interazione tra questi elementi. Gli scenari legati al rischio sismico, sono condizionati dalle interazioni tra gli edifici altamente vulnerabili (generalmente, antiche costruzioni in muratura), le loro modifiche post-evento (cioè i livelli di danno) e gli utenti al loro interno. Queste interazioni compromettono gravemente la sicurezza della comunità durante il processo di evacuazione (coinvolgendo principalmente gli individui che cercano di raggiungere aree sicure dove possono ricevere il supporto dei soccorritori) e nell'immediato dopo (ad esempio l'arrivo dei primi soccorritori e le azioni correlate nello scenario danneggiato dal terremoto). Inoltre, il rischio sismico nel BE dovuto alla vulnerabilità degli edifici e al tessuto urbano compatto può essere fortemente aumentato quando sono presenti condizioni di affollamento (ad esempio: in concomitanza con eventi di raccolta di massa; in destinazioni turistiche) (4).

Gli spazi aperti nell'Ambiente Costruito hanno primaria importanza come elementi caratterizzanti soggetti a terremoto anche rispetto alle possibili fasi di emergenza e al comportamento degli utenti. Particolare attenzione viene data al BE compatto come quello del BE storico a causa del rischio correlato che influisce su condizioni specifiche come affollamento, complessità della forma del BE e caratteristiche geometriche, tecniche e tecnologiche degli elementi costruiti (es: edifici alti lungo strade strette, poche piazze, alta vulnerabilità del costruito storico). Considerando diverse classificazioni di tipi di spazi aperti nel BE (5), ovvero strade e piazze, in letteratura sono stati identificati i sistemi morfologici rappresentativi dei sistemi urbani in relazione anche al rischio sismico. In particolare, considerando il comportamento delle persone durante un'emergenza sismica e un'evacuazione (vedi sezione 2.2), le piazze rivestono un ruolo fondamentale perché possono essere zone sicure per le persone presenti lungo le strade ad esse collegate (6).

Secondo quanto riportato dai risultati del progetto BE S2ECURe (7), si può caratterizzare questo BE aperto, nella sua parte fisica costruita, in funzione delle interfacce edificio-spazio aperto-infrastrutture (quindi comprendendo le facciate degli edifici su una piazza, strada, percorso pedonale) in termini di morfologia e tecnologie costruttive. Gli spazi stradali e aperti dovrebbero garantire la mobilità delle persone e dei soccorritori. Per questo motivo è opportuno valutare: 1) la possibilità che la strada possa essere bloccata dai detriti; 2) le quantità di detriti lungo la strada, per stimare la larghezza della strada disponibile senza detriti.

I parametri di riferimento sono relativi agli aspetti configurazionali e di layout del BE aperto, insieme alle caratteristiche geometriche (area in pianta e altezza degli elementi) e costruttive (es. muratura, calcestruzzo, acciaio) degli edifici rivolti verso la piazza ma anche lungo le strade di accesso ad essa, poiché determinano la possibilità di danno in caso di emergenza (8). Prendendo in considerazione questi ultimi aspetti, secondo approcci semplificati, una strada si definisce bloccata da detriti se c'è almeno un edificio lungo la strada per il quale, contemporaneamente il rapporto tra l'altezza

dell'edificio e la larghezza della strada è uguale o superiore a 1 (potenziale ribaltamento della facciata) e l'edificio ha subito gravi danni strutturali o è crollato. Altrimenti, la strada può essere disponibile. La percentuale di detriti lungo le strade Q_x [%] è definito come il rapporto tra l'area detriti e l'area stradale di fronte all'edificio (4).

Questi aspetti possono essere utili per valutare l'intralcio delle macerie sulle vie di fuga e si basano su un'analisi mirata della vulnerabilità delle strutture (9). Gli studi fino ad ora intrapresi hanno definito metodi per la valutazione della vulnerabilità del BE su ampia scala (10).

Tuttavia, altri fattori da considerare sono legati al layout degli spazi esterni (5). Ad esempio, gli accessi alla piazza (quindi la connessione con le strade limitrofe nel tessuto urbano) sono importanti perché rappresentano le vie di fuga in caso di evacuazione dalla piazza e le entrate per la popolazione posta nelle strade circostanti, ed è utile quindi valutare se lungo esse e lungo le strade collegate sono presenti ostacoli al passaggio di utenti ma anche al passaggio dei soccorsi. In questo senso, ostacoli al movimento in evacuazione possono essere le differenze di quota delle aree della piazza che forniscono una caratterizzazione del rilievo naturale e la presenza di aree verdi (alberi o cespugli che possono intralciare il movimento degli utenti) così come gli elementi dell'arredo urbano. Anche la presenza di edifici speciali e di portici influenzano la risposta dell'ambiente sottoposta a rischi sismici, perché essi possono comportare (9):

- 1) una diversa vulnerabilità in caso di sisma;
- 2) l'aumento del numero di persone esposte.

In questo quadro complessivo, gli edifici sono normalmente gli oggetti principali per l'applicazione di strategie di mitigazione e prevenzione per rischio sismico, mentre gli spazi aperti circostanti sono solitamente esclusi da tali strategie (11), (12), (13). Anche se le interazioni tra gli edifici e le aree che li circondano (piazze e strade) sono spesso ignorate, esse possono portare a drastiche e non prevedibili conseguenze sulla sicurezza delle aree urbane e di conseguenza sull'incolumità di chi le utilizza (ad esempio i parcheggi non controllati o le strade non accessibili possono rendere inutilizzabili determinate aree perché ingombre di ostacoli).

Inoltre, la combinazione tra l'evento sismico, questi fattori ambientali (vulnerabilità del BE, distribuzione architettonica, posizionamento di aree sicure, aree di raccolta prima dell'emergenza e in caso di evacuazione, modificazioni ambientali durante l'evento come crolli di edifici) e fattori umani (presenza di utenti, legami sociali tra gli utenti, reazioni ai circostanti fattori di stress), può portare a comportamenti di evacuazione che aumentano il rischio, influenzando negativamente sul livello di sicurezza degli utenti stessi in caso di emergenza e la resilienza dell'intera comunità. Per questo motivo, nella valutazione del rischio sismico per piazze e strade, risulta essenziale includere gli aspetti di esposizione, ovvero capire quante persone sono presenti nell'ambiente e di quali tipologie (età, sesso, abilità di movimento), descrivendone la presenza nel tempo e nello spazio urbano, e focalizzando l'attenzione sul sistema piazza (come punto sicuro in emergenza) e le strade ad essa connesse (9).

2.2- Emergenza in caso di sisma: esposizione, comportamenti umani e BE

Le ricerche precedenti hanno cercato di delineare le influenze delle modifiche ambientali (danni dell'ambiente costruito) sulle scelte, i comportamenti e le procedure di evacuazione dei pedoni (9), (14). I risultati sono molto avanzati e sono tali da permettere di effettuare analisi sugli spostamenti degli individui e sulle loro scelte con l'implementazione in simulatori di evacuazione dal terremoto secondo approcci probabilistici, per l'analisi dei comportamenti umani nell'evacuazione del BE (6), (15).

Questi approcci sono utili nell'applicazione soprattutto a condizioni di affollamento, quindi i rischi possono aumentare rispetto a condizioni di esposizione individuale, perché la concorrenza e

compresenza di fenomeni legati alla massa e a fenomeni di cooperazione derivanti da legami sociali possono infatti portare ad un'alterazione degli spostamenti della folla, con gravi conseguenze quali ritardi nell'abbandono delle aree pericolose o fughe precipitose con relative problematiche (persone schiacciate/calpestate) (6), (16). In questa ottica, sono stati definiti metodi per indagare le dinamiche di massa, sono stati proposti modelli di rappresentazione degli spostamenti e sono stati sviluppati e applicati strumenti di valutazione/progettazione relativi alla progettazione di spazi e strategie di gestione delle masse in relazione a condizioni di sicurezza generale (17). In ogni caso però gli studi che includono emergenze per terremoti in combinazione con le condizioni di sovraffollamento su una scala di BE sono limitati.

2.3- Matrice di rischio sismico nel BE

I fattori individuati nella sezione 2.1 e nella sezione 2.2 possono essere combinati per valutare il rischio sismico del BE. In tal senso, si può adottare una matrice per descrivere le condizioni di rischio dello spazio aperto in caso di terremoto che comprende i seguenti fattori (3) (18) (19):

H) PERICOLOSITA': descrive la probabilità che si verifichi un terremoto di una certa gravità, entro un determinato periodo di tempo ed è fondamentalmente correlato alla definizione dello scenario di danno.

V) VULNERABILITÀ: indica la propensione al danno del BE (i.e. elementi costruiti) in funzione della gravità dell'evento e quindi è un fattore che può essere facilmente mitigato all'interno dell'analisi del rischio sismico, a causa degli impatti diretti nel verificarsi di un evento sismico. Il danno fisico degli edifici che circondano lo spazio aperto può ostruire i percorsi di emergenza e rendere difficile la gestione delle emergenze. Per questo motivo, valutare la vulnerabilità dell'edificio è necessario per quantificare la quantità di detriti.

E) ESPOSIZIONE DEGLI UTENTI: concerne la distribuzione delle persone che possono essere colpite considerando la variazione temporale legata all'occupazione degli edifici e degli spazi esterni, che varia a seconda di uso e funzione.

In tal modo, possono essere forniti i principali approcci adottati per la valutazione e la gestione del rischio sismico. Possono essere stimate le possibili conseguenze di un terremoto nello spazio aperto mediante la valutazione di un impatto sismico a partire da danni fisici al BE che possono colpire persone che vivono o si trovano nello spazio aperto. Ad esempio, recenti studi hanno promosso, nell'ambito del progetto BE S2ECURE (3), l'uso congiunto di due matrici:

- 1) la prima matrice (Figura 1) comprende informazioni di pericolo (esprese in termini di periodo di ritorno del sisma) e vulnerabilità (classi di edifici o aggregati di edifici eseguiti con metodi specifici) al fine di fornire una valutazione qualitativa del danno fisico (detriti), a partire da dati geometrici (altezza edifici, dimensioni spazio piazza/strada prospiciente).

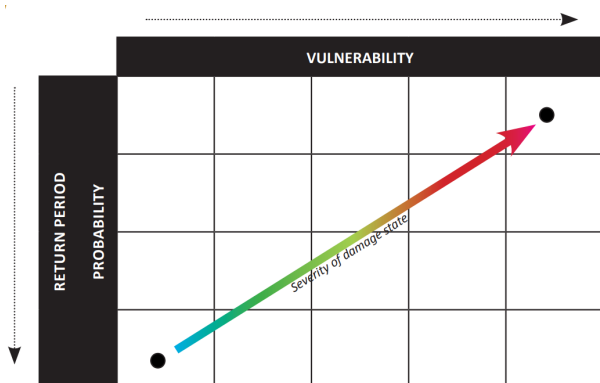


Figura 1. Matrice di correlazione pericolosità-vulnerabilità sismica nel BE (3).

- 2) La seconda matrice (Figura 2) collega l'esposizione, in termini di abitanti e utenti di edifici e aree aperte, con i possibili scenari di danno, considerando come i danni fisici influenzino la sicurezza delle persone e i percorsi di emergenza.

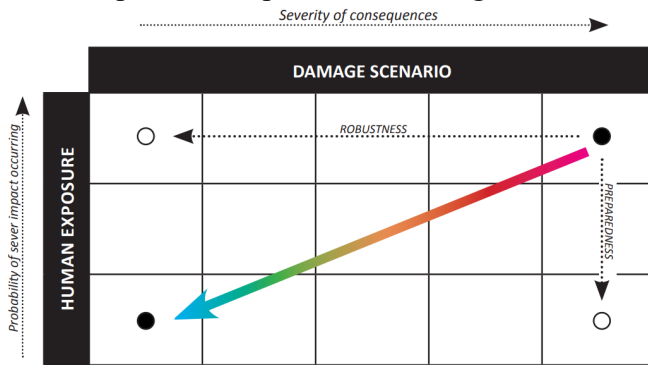


Figura 2. Matrice di correlazione esposizione-scenari di danno.

Grazie alla "matrice delle conseguenze" si possono gestire due fattori chiave: la robustezza del costruito e la preparazione della comunità, come mostrato in Figura 2. Come detto in Sezione 2.1 e sezione 2.2, i metodi per valutare pericolosità e vulnerabilità sono consolidati in letteratura anche secondo approcci speditivi, mentre quelli di esposizione sono meno investigati. È proprio questo il dato su cui ci si concentrerà in questa tesi.

2.4- Quantificazione e qualificazione dell'esposizione degli utenti

Come detto nei paragrafi precedenti, il rischio a cui è sottoposto l'ambiente costruito, minacciato da eventi sismici, dipende essenzialmente da fattori legati all'utente. Le condizioni di emergenza sono influenzate a breve e a lungo termine dal numero degli utenti, dalle loro caratteristiche e dalle reazioni rispetto a qualsiasi tipo di evento disastroso (5).

Nella valutazione dell'ambiente costruito (BE) è opportuno anche considerare che i suoi utenti sono affetti sia da problemi legati alla vulnerabilità che da problemi legati all'esposizione.

Le precedenti attività svolte nel progetto BE S2ECURE (20) hanno dimostrato che la vulnerabilità è suddivisa in vulnerabilità fisica intesa come vulnerabilità dell'ambiente fisico e la vulnerabilità sociale che si riferisce agli utenti ed è quindi suddivisa in vulnerabilità individuale e vulnerabilità collettiva per quanto riguarda l'intera comunità.

La vulnerabilità sociale (vulnerabilità degli utenti), secondo Villagràn De León (21), può includere fattori riguardanti gli utenti come: le caratteristiche fisiche degli individui e i loro aspetti psicologici e comportamentali. Le caratteristiche fisiche delle persone sono: età, sesso, disabilità, salute, difficoltà di movimento (22) ma anche la risposta delle persone al pericolo (23) (ad esempio: suscettibilità e preparazione alle catastrofi, che si riferisce anche ai loro aspetti comportamentali, conoscenze pregresse e alle loro reazioni), come gli utenti percepiscono il rischio, la familiarità con l'ambiente e le procedure di emergenza. La combinazione tra essi può influenzare positivamente o negativamente la propensione degli utenti a essere minacciati dagli effetti dell'emergenza (24).

I fattori di vulnerabilità collettiva sono incentrati sulla gestione delle condizioni di emergenza e la presenza di un piano di evacuazione e diventano fondamentali principalmente in eventi di raccolta di massa ed eventi pubblici.

Le questioni relative all'esposizione, in termini generali, sono incentrate sulle presenze degli utenti nel BE (cioè individui esposti, calcolati come vite umane nel BE), ma anche del patrimonio storico e artistico e la presenza di servizi correlati (25). Gli ultimi due beni materiali menzionati sono

considerati nella valutazione dell'esposizione solo in caso di eventi disastrosi in cui gli effetti distruttivi possono riflettersi su di essi (quindi il caso da me analizzato-terremoto). In oltre la presenza di attività industriali e manifatturiere e di sistemi di trasporto commerciale nelle zone colpite potrebbe portare a perdite economiche e all'interruzione della capacità produttiva come conseguenza del sisma. Tuttavia, tali aspetti sono ormai codificati da relative metodologie di valutazione di letteratura (25).

Al contrario, l'esposizione correlata alla presenza di persone in un ambiente specifico (26) in termini di vite umane (es: il numero totale di persone esposte, eventuali condizioni di sovraffollamento, e correlazione tra il numero degli individui esposti a rischio e la vicinanza alle fonti di rischio) è ancora un aspetto non adeguatamente investigato dalla letteratura, sebbene siano noti i fattori chiave che ad essa concorrono.

In questo senso, le attività ospitate dall'ambiente costruito (sia le aree interne che gli spazi esterni) alterano fortemente il valore dell'esposizione sia in termini spaziali che temporali (27); (28). Pertanto, una classificazione dei fattori legati all'uso previsto e alle principali caratteristiche dell'ambiente costruito (ad esempio la densità di popolazione rispetto alla superficie costruita) può essere utile per tracciare l'esposizione e i livelli di vulnerabilità degli utenti in esso (21). Le metodologie attuali, tuttavia, sono difficoltose da usare e complesse a livello di sforzi e tempo, e generalmente implicano un elevato grado di conoscenza dello scenario investigato, anche con indagini in sito.

È importante sottolineare che ci sono alcuni aspetti specifici come le caratteristiche strutturali e geometriche del BE e la possibilità di condizioni di sovraffollamento significative che potrebbero verificarsi in presenza di eventi di raccolta di massa, che possono influenzare pesantemente la sovrapposizione degli effetti di tali fattori.

2.5- Caratterizzazione dell'esposizione e della vulnerabilità degli utenti per la definizione tipologica delle BET

Alla luce di quanto detto sopra, la tesi si pone l'obiettivo di investigare la vulnerabilità e l'esposizione tipica degli utenti, preferendo invece approcci speditivi, e considerando il caso stretto di BE in condizioni di rischio da sisma, con attenzione principalmente sulla piazza e le strade ad essa connesse (vedi Sezione 2.1). A tal fine, la definizione di un elenco di fattori rilevanti sopra indicata dovrebbe essere organizzata prima dell'applicazione a contesti significativi, in un metodo unico (vedi Sezione 3) raccogliendo, analizzando e modellando i fattori quantitativi e le loro variazioni considerando anche il "numero di elementi" e la loro "distribuzione spaziotemporale" come i principali fattori chiave (9); (29); (27); (30). Tutto ciò sarà eseguito con approcci rapidi e sostenibili per valutare contesti reali, fornendo anche tali strumenti per utenti non esperti, come i tecnici delle autorità locali.

I fattori suddetti possono essere caratterizzati in relazione alla possibilità di muoversi verso la creazione di possibili approcci tipologici al BE e ai suoi utenti. Le tecniche di raccolta dei dati consentono in questo senso di condurre un'analisi statistica utile alla ricerca di condizioni ricorrenti nel BE (definendo BET dal punto di vista dell'esposizione e della vulnerabilità degli utenti, come già fatto da precedenti studi per gli aspetti morfologico-costruttivi (5) mediante un approccio rapido per il rilevamento e l'organizzazione dei dati, come discusso in seguito nel capitolo relativo alla Metodologia.

Per ogni fattore esposto in letteratura esiste infatti una fonte disponibile per acquisire informazioni utili alla sua definizione, alcuni fattori possono essere immediatamente caratterizzati (ad esempio, il numero totale delle persone e le percentuali per età e sesso) avendo la possibilità di consultare registri della popolazione o database (es. da censimento) disponibili gratuitamente da remoto e online (es.: dati ISTAT). In tal senso, tali basi dati diventano utili perché facilmente consultabili (4). Alcuni dati

sulla caratterizzazione individuale utili poi per la creazione di scenari e la successiva simulazione possono poi essere adottati in base a studi su base sperimentale (ad esempio: velocità di moto per adulti, bambini ed anziani (31). Tuttavia, si ricorda che i dati strettamente correlati a uno specifico BE (anche in relazione alle aree urbane in cui sono collocati) dovrebbero essere analizzati anche a seconda delle specificità di ciascun caso di studio applicativo, anche in considerazione delle peculiari variazioni dei dati da valutare nel tempo e nello spazio (9); (27); (30), su base di approccio statistico.

3. Metodologia

3.1- Introduzione al metodo e fasi di lavoro

Il lavoro di ricerca è stato eseguito su un campione di 13 piazze di forma allungata per ognuna delle quali è stato utilizzato un metodo di analisi flessibile e di semplice intuizione esposto di seguito sviluppato nel contesto del progetto BE S2ECURE¹, e qui riportato in metodologia in forma estesa.

Il metodo è stato applicato ad ogni caso-studio e il mezzo utilizzato per renderlo di facile lettura è stato un foglio di calcolo Excel diviso in 3 parti che riassumono le fasi di lavoro metodologiche: input, process data e output.

La metodologia, infatti, può essere descritta come fasi conseguenti di lavoro che scaturiscono una dall'altra e hanno portato alla conoscenza di risultati concreti dei quali si parlerà in seguito (Sezione 4). Nello specifico sono stati trattati i seguenti aspetti:

- 1) la caratterizzazione delle aree esterne e interne del BE in termini di usi previsti e dimensioni, (Sezione 3.2, 3.3;)
- 2) identificazione della vulnerabilità individuale e dei modelli comportamentali degli utenti nell'uso dello spazio in modo da provvedere all'organizzazione dei dati nel tempo (Sezione 3.4, 3.5; 3.6);
- 3) l'analisi sintetica e la restituzione dei caratteri di vulnerabilità ed esposizione collettiva nel BE anche con metodologie di valutazione statistica (Sezione 3.7; 3.8).

La metodologia di raccolta dei dati può essere generalmente applicata a tutti i casi di studio della raccolta BE S2ECURE in riferimento al contesto applicativo italiano. Il processo sviluppato in questo studio si basa principalmente sulla raccolta remota di dati da fonti ad accesso aperto (liberamente disponibili sul web, ad esempio tramite Google Maps (32) o database statistici) in modo da accelerare le operazioni di raccolta dati ma anche in vista della possibilità di applicazione del metodo da parte personale scarsamente formato in attività di valutazione preliminare (4). Infatti, gli strumenti impiegati sono disponibili per qualsiasi città e non strettamente correlati a uno strumento specifico fornito da ogni singolo comune.

La metodologia proposta è finalizzata alla (5) quantificazione di possibili tendenze statistiche (come le condizioni ricorrenti, ovvero tipologiche, ed i picchi di esposizione: vedere sezione 4), raccogliendo e gestendo dati provenienti da fonti omogenee, facilmente confrontabili e utilizzabili.

3.2- Caratterizzazione delle aree dell'ambiente costruito

Il primo step riguarda l'acquisizione dei dati che è stata possibile grazie alla comprensione della morfologia della piazza; infatti mediante Google Maps (32) ultimo accesso: 31/08/2021) è stata individuata l'area della piazza con le varie strade che si affacciano su di essa, aree verdi e pedonali e si sono potute valutare le attività presenti nella piazza e la loro disposizione rispetto ad essa; poi con lo strumento calcmaps (un programma gratuito online che permette di calcolare aree e distanze (33) ultimo accesso: 31/08/2021) è stato possibile misurare l'area della superficie pedonale, carrabile, aree non calpestabili come monumenti o verde pubblico, corti e dehors. Per rendere facilmente comprensibili le funzioni delle aree nella piazza è stato opportuno individuare graficamente con colori distinguibili le aree. Ciò è stato possibile catturando l'immagine dall'alto della piazza da Google

¹ graphical abstract riportato in <https://tinyurl.com/x567sf82> (ultimo accesso: 13/10/2021)

Maps e mediante il programma Illustrator ((34) ultimo accesso: 16/08/2021) sono state indicate le funzioni delle aree sopracitate e i codici alfanumerici delle attività presenti sulla piazza come mostrato nelle figure 3 e 4.



Figura 3: Piazza Università, Catania; pianta con l'indicazione delle aree del BE.

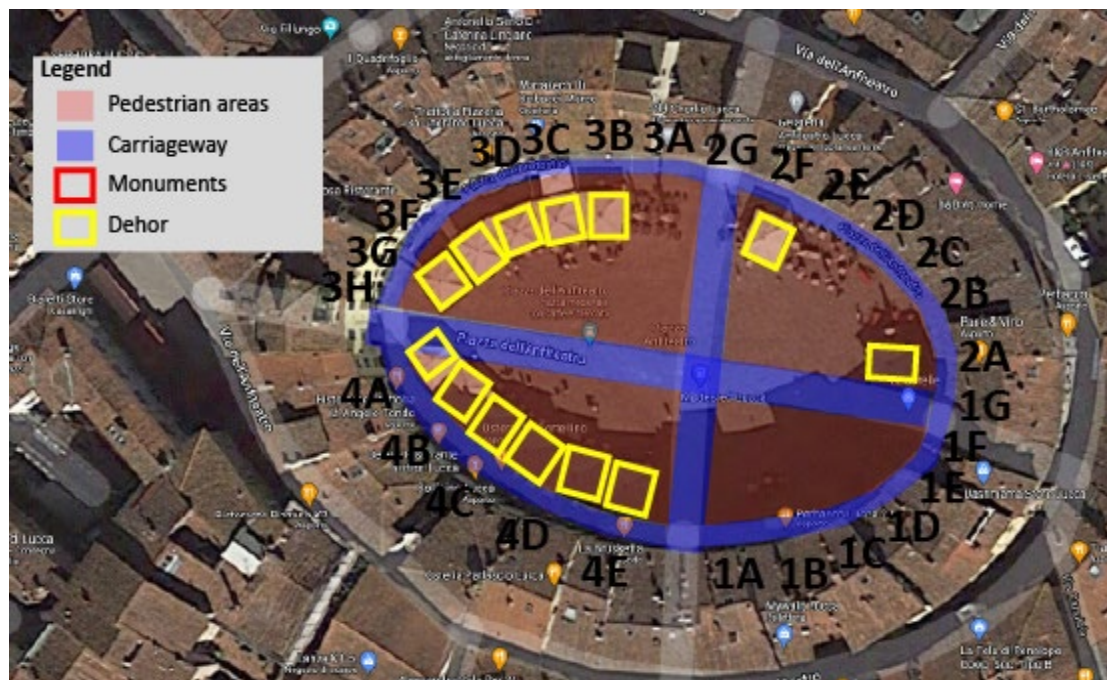


Figura 4: Piazza dell'Anfiteatro, Lucca; pianta con l'indicazione delle aree del BE.

Successivamente grazie al sito tuttitalia.it ((35) ultimo accesso: 05/08/2021), dopo aver selezionato regione, provincia e comune in cui la piazza è situata è stato possibile ricavare la statistica demografica dell'anno corrente divisa per sesso, età e stato civile. Questi concetti saranno illustrati nel paragrafo 3.4.

3.3-Strade di accesso alla piazza

Ulteriore passo fatto nella prima fase di reperimento dati della metodologia è stato quello di considerare le strade che si affacciano direttamente sulla piazza per considerare che durante un evento sismico le persone in transito sulla strada in esame o coloro che vivono o hanno un'attività su quella strada si riverseranno nella piazza che è un luogo di raduno e quindi nel calcolo degli utenti totali queste persone si sommeranno a quelle già presenti nella piazza.

3.3.1-Regole di esclusione per le strade

Per definire la lunghezza dell'area della via di accesso alla piazza che dovrebbe essere presa in considerazione per i calcoli dell'esposizione vengono proposte le seguenti ipotesi o regole di esclusione:

1) se la strada di accesso presenta un arco o portico sul lato d'ingresso alla piazza non viene considerata perché gli archi sono l'interruzione della via di accesso e presenterebbero vulnerabilità ai terremoti (Figura 5). Per questo motivo gli utenti preferiscono spostarsi lontano dai portici durante un'evacuazione causata da terremoto (22);

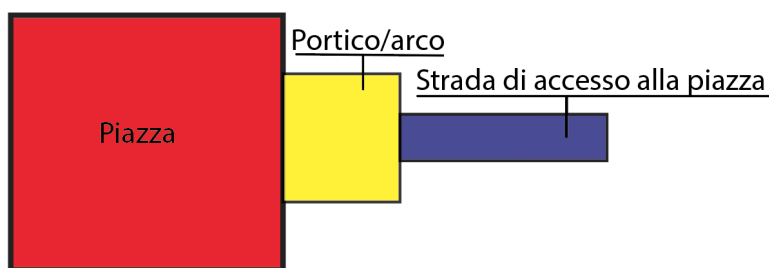


Figura 5: illustrazione della prima regola di esclusione.

2) strade con pendenza positiva $> 8\%$ verso la piazza (cioè, gli utenti che si trovano sulla strada che si sta esaminando dovrebbero spostarsi in salita per raggiungere il luogo sicuro cioè la piazza) come illustrato nella figura 6. Si presume infatti che gli utenti preferiscano utilizzare sentieri pianeggianti o muoversi in discesa mentre si spostano nel tessuto urbano (36). Se la pendenza aumenta, quindi ci si sposta in salita si compie uno sforzo aggiuntivo per raggiungere il luogo sicuro (37) anche nella visione della teoria del minimo sforzo (38);

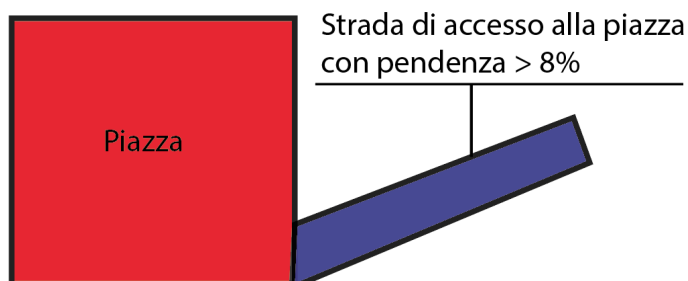


Figura 6: illustrazione della seconda regola di esclusione.

3) analogamente al punto precedente, accedere alle strade con una scala sul lato della piazza, indipendentemente dalla loro pendenza può rappresentare un ostacolo all'accessibilità come detto sopra.

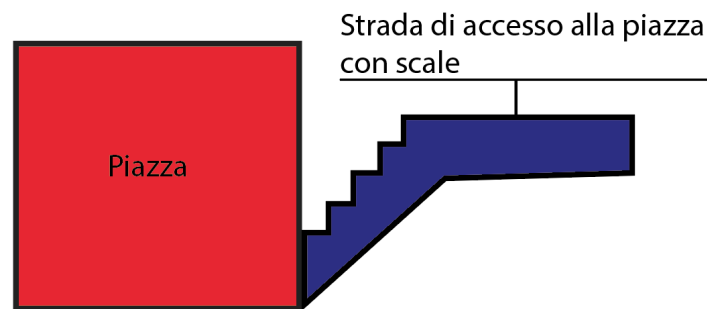


Figura 7: illustrazione della terza regola di esclusione.

Se si presenta una delle seguenti ipotesi ciò implica l'esclusione della strada dalle valutazioni.

3.3.2-Metodo di calcolo della lunghezza delle strade

Per le strade di accesso alla piazza, la loro lunghezza L_{street} [m] viene calcolata come la distanza tra il lato di accesso alla piazza e il primo incrocio utile che collega strade con una larghezza comparabile o maggiore (Figura 8), o la più vicina area più ampia lungo la strada, come un allargamento della strada stessa (Figura 9). In effetti, questi punti (incrocio o allargamento) possono fornire uno spazio rilevante e ampio in cui le persone possono riunirsi in condizioni di emergenza (22). Secondo quanto detto prima quindi incroci con strade di larghezza minore non sono considerate. Nel caso in cui sia presente un ostacolo al movimento, ad esempio archi, portici o scale, L_{street} è uguale alla distanza tra il lato di accesso alla piazza e l'ostacolo (Figura 10). Lo stesso criterio è utilizzato in caso di cambiamenti significativi della pendenza lungo il percorso.

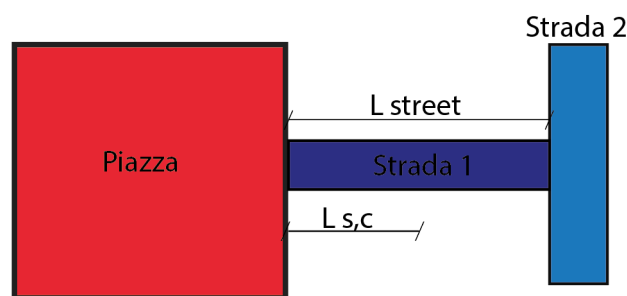


Figura 8: illustrazione del metodo di calcolo della lunghezza L_{street} quando ci sono due strade che si incrociano di larghezza simile.

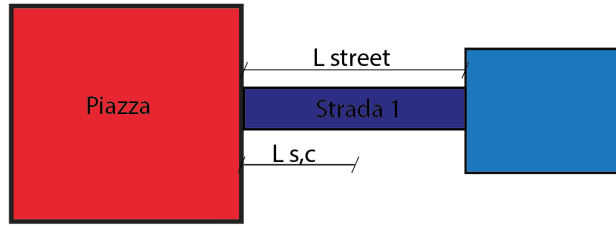


Figura 9: illustrazione del metodo di calcolo della lunghezza L_{street} quando c'è un allargamento della strada.

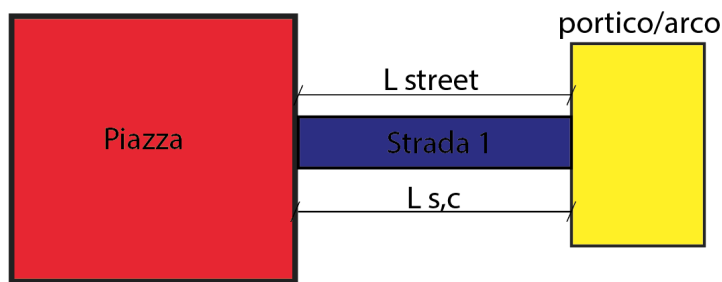


Figura 10: illustrazione del metodo di calcolo della lunghezza L_{street} quando c'è un portico o un arco lungo la strada considerata.

Infine, la lunghezza considerata per le valutazioni dell'esposizione $L_{s,c}$ si basa sul criterio del percorso più breve ed è generalmente uguale a $L_{street} / 2$. $L_{s,c} = L_{street}$ in caso di presenza di archi, portici e scale a causa dei loro suddetti effetti ad ostacoli al movimento degli utenti (Figure 8,9,10). Nel caso in cui la strada di accesso abbia ingressi asimmetrici (strada ad imbuto) la lunghezza si calcolerà come segue:

$$L_{s,c} = L_{street} * w_{BE} / (w_{BE} + w_{EX})$$

dove w_{BE} è la larghezza del lato d'ingresso alla piazza [m] e w_{EX} è la larghezza del lato d'ingresso opposto [m] (Figure 11 e 12). Questa correlazione garantisce la limitazione o l'aumento dell'area da considerare a seconda della geometria della strada di accesso.

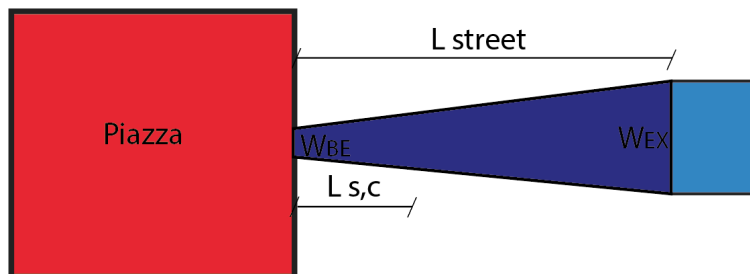


Figura 11: illustrazione del metodo di calcolo della lunghezza L_{street} ed $L_{s,c}$ quando la strada è ad imbuto con $w_{BE} < w_{EX}$.

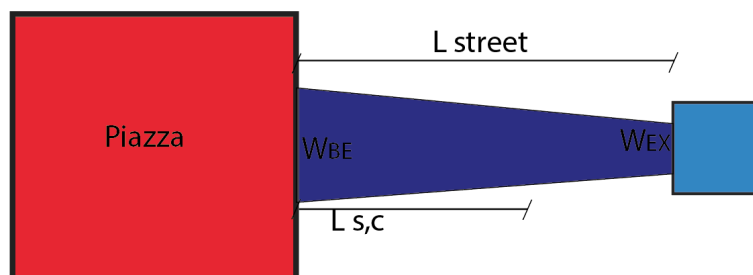


Figura 12: illustrazione del metodo di calcolo della lunghezza L_{street} ed $L_{s,c}$ quando la strada è ad imbuto con $W_{be} > W_{ex}$.

Tutte le aree tra il lato della strada di accesso sulla piazza e la lunghezza della strada di accesso stessa devono essere analizzate così come sono state analizzate le aree all'interno del costruito (sia aree interne che esterne-indoor e outdoor).

3.4-Caratterizzazione degli individui secondo una classificazione per età e per tipologia nei confronti del costruito

Per caratterizzare gli utenti secondo le vulnerabilità individuali è stata stilata una divisione in range di età in accordo con studi precedenti (39); (4) e la possibilità di distinguere diverse condizioni di movimento degli individui (31):

- 0-4 anni TODDLERS bambini che stanno sempre a casa;
- 5-14 PARENT-ASSISTED CHILDREN bambini che vanno a scuola ma sono assistiti dai genitori;
- 15-19 YOUNG ADULTS giovani che vanno a scuola e sono autonomi;
- 20-69 ADULTS USERS universitari e lavoratori che sono fuori casa tutto il giorno;
- 70+ ELDERLY USED anziani che stanno a casa.

I dati raccolti in questa prima fase sono organizzati per tracciare il numero e le tipologie degli utenti in riferimento all'esterno (che sono OO e PO) e all'interno (R e NR) del costruito.

Sono considerati i seguenti scenari:

- 1) giorni lavorativi "standard", a rappresentare le normali condizioni di utilizzo quotidiano senza altri eventi;
- 2) festività "standard" (cioè domenica);
- 3) giornate lavorative con fiere/raduni di massa ricorrenti;
- 4) raduni di massa una tantum.

Per i giorni standard e le festività (di particolare interesse per la ricerca in questione) sono state evidenziate le seguenti condizioni in termini di tipologie di utenti in funzione degli spazi all'interno/esterno:

NR-NON RESIDENTS e PO-PREVALENT OUTDOOR dipendono dalla destinazione d'uso dell'edificio e dall'orario di apertura delle attività. Nell'applicazione del metodo al foglio Excel, infatti, è stato evidenziato questo considerando "aperte" solo le attività che svolgono la loro funzione

tutti i giorni della settimana. OO-ONLY OUTDOOR è una componente non variabile pari a: 0pp dalle 0 alle 6, considerando che non sono presenti passanti durante la notte; e il livello massimo presunto di affollamento in condizioni ordinarie durante le ore giornaliere va dalle 7 alle 24. Infine, i Residents-R variano in funzione degli orari della giornata e in funzione delle fasce di età.

Per spiegare meglio questo passo bisogna comprendere la distinzione in fasce di età precedentemente analizzata. Infatti, se si pensa ai bambini da 0 a 4 anni e alle persone over 70 (che le più vulnerabili rispetto alle altre in caso di emergenza- (39)), queste categorie possono essere considerate precauzionalmente come sempre presenti nelle loro residenze, per cui rientrano nel calcolo dei residenti per l'intera giornata. Considerando invece i modelli d'uso degli spazi e se si prendono in considerazione i bambini tra 5 e 14 anni e i ragazzi da 15 a 19, nei giorni feriali dalle 8 alle 13 potranno essere considerati nelle scuole, e nei giorni festivi invece sempre a casa. Similmente, giovani e adulti da 20 a 69 che studiano o lavorano sono considerati fuori casa dalle 8 alle 18.

Tutte queste valutazioni e accortezze sono utili per il calcolo del numero di utenti presenti nella piazza sia in indoor (Vedi sezione 3.5) che in outdoor (Vedi sezione 3.6).

Per quanto concerne le caratteristiche del costruito che influenzano la vulnerabilità collettiva degli utenti, vanno considerati elementi dell'ambiente costruito e della sua gestione riguardanti il piano di evacuazione comunale. Essi sono reperibili in rete nel sito del comune di interesse o della Protezione Civile, in modo da capire se possono essere implementate segnaletiche di emergenza e strutture di evacuazione, e se l'area è utilizzata per la gestione delle emergenze e l'evacuazione secondo il piano comunale.

3.5-Studio delle aree indoor e degli utenti interni

Per ogni attività indoor, è stato affidato un codice di numeri (in base alla progressione degli edifici) e lettere in base al fatto che la relativa attività è situata ai piani alti (upper-U) o al piano terra (lower-L). Ad ogni attività è stata assegnata la propria funzione grazie alla possibilità di rilevare, tramite Google Maps, attività commerciali, negozi, ristoranti, bar, ospedali, chiese, scuole e uffici. Le scuole sono classificate secondo fasce di età; in primaria (coinvolgono utenti da 5 o 6 anni a 14 anni), secondaria (coinvolgono principalmente utenti dai 15 ai 19 anni) e università (coinvolgono utenti oltre i 20 anni).

Le destinazioni d'uso degli edifici sono classificate in modo da includere usi speciali di edifici nelle piazze. In particolare, per il caso studio in esame (rischio sismico) sono importanti da considerare come usi speciali gli edifici governativi, ospedali e chiese. In caso di evento sismico, infatti, le strutture che devono rimanere funzionanti sono gli ospedali e se ci sono dei numeri di persone significativi all'interno di musei, teatri e chiese vanno trattate in salvo da rischi causati dal terremoto (40).

A tal proposito è stata stilata una tabella per la distinzione degli edifici in classi ad ognuna delle quali viene affidato un codice identificativo: aeroporti e stazioni ferroviarie (A), teatri, musei e chiese (B), ospedali, scuole e università (C), uffici e edifici governativi (N). Tale classificazione è stata fatta in

accordo con le regole del “National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism (START) 2019”².

Secondo un approccio rapido per la stima della superficie interna, le aree coperte di una porzione omogenea di edificio vengono moltiplicate per il relativo numero di piani interessati per la specifica destinazione d'uso (27); (4).

Per ogni edificio considerato viene associata una destinazione d'uso, la densità della funzione nel caso in cui sia aperta o chiusa al pubblico (pp/mq), la superficie coperta (mq) e il numero di piani. Per ogni attività si assegna il periodo di apertura (feriale, festivo). Si devono inoltre considerare gli orari di apertura degli esercizi pubblici con l'indicazione UA=ufficio/attività aperta al pubblico, UC=ufficio/attività chiusa al pubblico ma il personale svolge ancora la sua funzione al suo interno, C=ufficio/attività chiuso al pubblico. Se presente su Google Maps è importante considerare l'orario di massimo di affollamento di una certa attività per capire la fascia oraria in cui la funzione è più affollata.

La densità di persone in indoor varia invece in funzione dell'attività presente in un certo spazio al chiuso. Ad esempio, per i ristoranti vale 0,7 pp/m², per le aree residenziali 0,05 pp/m², per le attività commerciali 0,4 pp/m². Gli **utenti interni** si distinguono poi tra i residenti R-RESIDENTS e NR-NON-RESIDENTS non residenti, come quelli in uffici, scuole, chiese, strutture ricettive e così via.

3.6-Caratterizzazione degli utenti esterni

Gli **utenti esterni** si distinguono tra OO-ONLY OUTDOOR (come i passanti) e PO- PREVALENT OUTDOOR (ovvero quelli provenienti da aree esterne di un edificio, come dehors);

Nel foglio di calcolo Excel, foglio process data, gli utenti sono distinti in tabelle ognuna delle quali è divisa per fasce di età e orario. Tali tabelle derivano dai dati precedentemente analizzati.

Per calcolare i PO correttamente è opportuno nel foglio di calcolo evidenziare la presenza di dehors e pertinenze e nel caso in cui fossero presenti si devono considerare le loro superfici e gli orari di apertura delle attività così da valutare in modo esatto il numero di persone effettivamente presenti.

La densità di persone (pp/m²) è associata alle aree indoor e outdoor, in modo da calcolare il numero di utenti prima dell'emergenza sismica o anche durante il normale utilizzo di spazi. In particolare, per le aree esterne, secondo i precedenti lavori di ricerca (39); (4) e considerando il contesto applicativo italiano, si assumono i seguenti valori:

- 0 pp/m² per le aree carrabili, assegnando così ragionevolmente l'uso della sola carreggiata ai veicoli.
- 0,1 pp/m² per le aree pedonali, considerando così un basso livello di affollamento in condizioni normali durante le ore giornaliere (41). Gli utenti in tali le aree sono considerati solo come utenti esterni OO (42); (43);

² National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism (START). Global Terrorism Database (GTD): Global Terrorism Database Codebook: Inclusion Criteria and Variables <https://www.start.umd.edu/gtd/downloads/Codebook.pdf>. Ultimo accesso 13/10/2021

- i dehors sono generalmente le pertinenze antistanti bar e ristoranti e l'indice di occupazione è 0,4 pp/m² secondo il suggerimento del Codice di Sicurezza Antincendio Italiano. Gli utenti in tali aree sono i PO;

- i monumenti e le aree non calpestabili (vedi sezione 3.1) sono esclusi dal conteggio degli utenti considerando che anche in caso di emergenza quelle aree dovrebbero essere sottratte dalle aree complessivamente disponibili, in quanto rappresentano ostacoli al movimento degli utenti.

3.7-Definizione dei parametri di esposizione e vulnerabilità per la piazza

L'ultimo step (riassunto nel foglio output) riguarda la restituzione dei parametri, ottenuti dai dati studiati ed elaborati (process data).

Essenzialmente i parametri ricavati sono valori quantitativi utili a valutare le condizioni ricorrenti nel costruito. I dati ricavati possono anche essere implementati come input per le attività di simulazione, in quanto possono definire la gamma complessiva di variazioni per i parametri che caratterizzano l'esposizione e la vulnerabilità degli utenti.

Alla luce di quanto sopra, i parametri considerati sono forniti mediante metodi di calcolo specifici. I sotto-parametri sono definiti dove necessario per distinguere una classificazione secondaria nel metodo complessivo assunto da questa tesi, ogni parametro e sotto parametro viene valutato in relazione a tre classi:

- 1) OVERALL USERS CHARACTERISATION (OUC): ovvero la caratterizzazione complessiva degli utenti. Questi parametri tracciano una panoramica generale, considerando l'intero giorno. Per ogni parametro abbiamo i valori di massimo, minimo, mediana e valori divisi in percentili.
- 2) TIME DEPENDENT CHARACTERIZATION (TDC): Caratterizzazione dipendente dal tempo: questi parametri tracciano una panoramica dipendente dal tempo delle tipologie di utenti divisi per fasce di età, basandosi su metodologie di campionamento orarie.
- 3) BUILT ENVIRONMENT CHARACTERIZATION (BEC) -: questi parametri non sono direttamente correlati con la quantità e tipologia degli utenti, ma sono influenzati dalle caratteristiche del costruito (cioè la caratterizzazione delle aree esterne).

Alcuni parametri hanno significati diversi rispetto alla valutazione dell'esposizione degli utenti in scenario relativo ad un'emergenza terroristica piuttosto che sismica.

Durante gli atti terroristici gli utenti che sono collocati all'esterno si muoveranno all'interno dell'edificio per far fronte alle condizioni di emergenza; invece, nel caso di rischio sismico gli utenti tentano di ridurre al minimo il loro tempo di permanenza nelle aree interne e si riverseranno nell'area outdoor, evidenziando così le condizioni di interazione critica nel BE considerando la densità degli utenti nelle aree esterne [pp/m²] (vedi Sezione 2.1) (3). In questo ultimo caso, aree accessibili ai veicoli e le carreggiate dovrebbero essere considerate nello spazio disponibile in cui gli utenti possono riunirsi.

È anche da considerare il fatto che gli utenti che si trovano nelle zone limitrofe alla piazza e negli edifici che si affacciano lungo le strade di accesso alla piazza (argomento approfondito nel paragrafo 4.8), in caso di terremoto si riversano sulle strade e cercheranno di raggiungere la piazza e per farlo con molta probabilità non saranno utilizzati i marciapiedi o in generale le aree ai piedi delle costruzioni ma utilizzeranno le aree carrabili per evitare il pericolo di crolli strutturali (4). Come detto

nel paragrafo precedente (sezione 3.6) anche i monumenti costituiscono un ostacolo alla fuga delle persone così come i portici, i dehors dei ristoranti e le pertinenze. In considerazione di questo, i valori considerati per l'esposizione in questo lavoro di tesi si concentreranno sui valori OUC e TDC, mentre quelli BEC saranno esclusi perché solo collegati a caratteri morfologici e i loro effetti sono nobili dalle suddette classi di parametri.

I parametri di esposizione e vulnerabilità degli utenti considerati sono quindi di seguito definiti come indici per analizzare i risultati di analisi dei BE oggetto di studio:

- 1) **EXPOSED USERS-BE users' number** [pp]: è il numero di utenti esposti all'aperto e in aree interne, calcolato come somma degli utenti a seconda dei sotto-parametri. Questi ultimi sono il numero complessivo di utenti **UOn** (indipendentemente dalla tipologia) e gli utenti suddivisi a seconda della loro familiarità con i luoghi, ovvero residenti **Rn**; non residenti **Nrn**, utenti esterni **OOn**, utenti esterni prevalenti **POn**.
- 2) **PERCENTUALE DI FAMILIARITA'- Percentuale di utenti considerata la familiarità con il posto e le procedure di emergenza** [%]: è il rapporto percentuale tra ogni tipologia di utente e il numero complessivo di utenti. I sotto-parametri dipendono dalla familiarità con il luogo come residenti **Rp**, non residenti **NRp**, utenti esterni **OOp**, utenti prevalentemente esterni **POp**.
- 3) **OUTDOOR DENSITY-Densità di utenti considerando l'area in outdoor** [pp/m²]: è il rapporto tra il numero di utenti e l'area esterna. Le sottoclassi sono la densità esterna complessiva degli utenti indipendentemente dalla tipologia **UOod**, e classi che dipendono dalla familiarità con il luogo come i residenti **Rd**; non residenti **NRd**, utenti solo esterni **Ood**, utenti prevalentemente esterni **POd**.
- 4) **INDOOR DENSITY-Densità degli utenti considerando il costruito (indoor)** [pp/m²]: è calcolato come rapporto tra utenti e area indoor. I sotto parametri sono la densità interna complessiva degli utenti **UOId** a seconda di UOn, in modo da considerare gli utenti esterni negli edifici e densità degli utenti all'interno **UIId** a seconda di NRn e Rn (non Pn e OOn), in modo da considerare la normale fruizione degli edifici.

Tali parametri sono importanti perché una loro variazione comporta un cambiamento nella valutazione del rischio generale in caso di evento sismico. A tal proposito è opportuno tenere sotto controllo questi fattori perché ad esempio un aumento o una diminuzione del numero di utenti esposti al rischio comporta una variazione nell'analisi del rischio in funzione della gestione dell'evento.

Tutti questi parametri sono valutati sia per la piazza definita come la sua area interna e gli edifici che si affacciano su di essa ma sono anche valutati per quanto riguarda le strade di accesso alla piazza, sommandone gli effetti con quelli della sola piazza.

3.8- Analisi statistica: criteri di analisi dei risultati

3.8.1- Come si ricava e come si interpreta

L'analisi statistica è stata effettuata per tutti i parametri di esposizione e vulnerabilità. I parametri di caratterizzazione complessiva degli utenti OUC sono stati suddivisi in: media, moda, mediana, valori massimi e valori minimi.

Il grafico che meglio poteva evidenziare l'andamenti di questi fattori è il BOX-PLOT (scatola e baffi). A tal proposito, per i valori OUC, è stata opportuna un'analisi per quartili effettuata dividendo i dati ricavati in 4 quartili ognuno dei quali rappresenta il 25% del totale. Per l'analisi abbiamo considerato

il 5% e il 95% come “estremi di fiducia” oltre ai quali potrebbero esserci outliers. I punti outlier definiscono le condizioni limite nel campione che non possono essere considerate come ricorrenti. Detto ciò, i due “baffi” del grafico partono uno dal 5° percentile e si interrompe al 25° percentile e l’altro dal 75° percentile al 95° percentile. La mediana dei dati è rappresentata dal 50° percentile.

Per quanto riguarda i valori dipendenti dal tempo TDC per i quali i dati sono forniti ora per ora si procede con lo stesso tipo di analisi statistica attraverso un approccio per quartili; quindi, dal totale dei dati relativi alle 24 ore della giornata scaturiscono i 4 percentili e i valori outliers.

Nei grafici di tipo box-plot, il range al quale facciamo affidamento per le analisi, riguarda quello contenuto tra quartile 1 e quartile 3 ovvero tra 25% e 75% del campione perché se prendo un valore tra i due sono sicuramente vicino al valore mediano (quartile 2=50%).

3.8.2- A cosa serve

Gli obiettivi di questa analisi sono stati:

- Ricavare i valori assoluti per ogni singolo caso studio (valori OUC, TDC e BEC vedi paragrafo 3.7);
- Studiare l’andamento dei valori variabili nel tempo;
- trovare le condizioni più problematiche, ovvero legate ai massimi e ai valori del 95° percentile ma anche le condizioni più probabili o ricorrenti e il valore mediano dei dati quello corrispondente al 50° percentile ed evidenziato nei grafici (vedi sezione 4);
- trovare le condizioni “estreme” e scartarle (outliers).

Lo strumento che abbiamo sfruttato per l’analisi statistica è stato un foglio di calcolo Excel che ci ha permesso di creare grafici box-plot che evidenziassero i valori di nostro interesse partendo dagli output ricavati dall’analisi di ogni caso studio.

L’applicazione del quadro metodologico è quindi riassunta dall’analisi statistica che ci permette di ottenere degli scenari che rappresentano il campione raccolto delle piazze italiane. I dati analizzati (relativi a diverse categorie di occupanti) sono sempre gestiti singolarmente e l’analisi è stata eseguita per ogni singola piazza ma anche per l’intero campione studiato. Il lavoro è stato eseguito considerando una condizione ordinaria dello scenario senza considerare la presenza di eventi di massa che potrebbero portare contemporaneamente nella piazza studiata un numero considerevole di utenti. I giorni lavorativi rappresentano la maggior parte delle condizioni ricorrenti nell’ambiente costruito in esame; inoltre, sebbene i dati vengano raccolti anche per giorni non lavorativi (sabato e domenica-holidays), i risultati attuali di questa applicazione considerano solo il giorno feriale (dove le attività economiche sono considerate aperte) perché è rappresentativo dato che i giorni feriali sono circa l’80% dei giorni dell’anno.

Gli output più interessanti riguardano l’indice di affollamento UOOd per ogni ora ricavato sommando le persone complessive presenti nella piazza e suddividendole per la superficie totale disponibile della piazza (costituita dalle aree pedonali e le carreggiate-Outdoor). Tali risultati consentono di delineare un profilo di rischio di ogni caso-studio per l’intero arco della giornata, nonché di comparare tutti i casi tra loro tramite indici di confronto normalizzati sull’estensione della superficie della piazza.

4- Risultati

Tramite l'analisi statistica illustrata nella sezione precedente (3.8), dai grafici esposti nei paragrafi successivi (Sezioni 4.1 e 4.2), sono emersi risultati interessanti come, ad esempio, il fatto che alcune piazze siano caratterizzate da un elevato livello di sovraffollamento solo in un orario specifico della giornata. Tali picchi di esposizione sono chiaramente correlati alle funzioni degli edifici che si trovano nelle piazze studiate. In questa sezione andrò ad illustrare nel dettaglio come variano i parametri caratterizzati complessivamente OUC e i parametri dipendenti dal tempo TDC.

4.1- Parametri OUC

4.1.1- Numero di utenti in outdoor e indoor (pp)

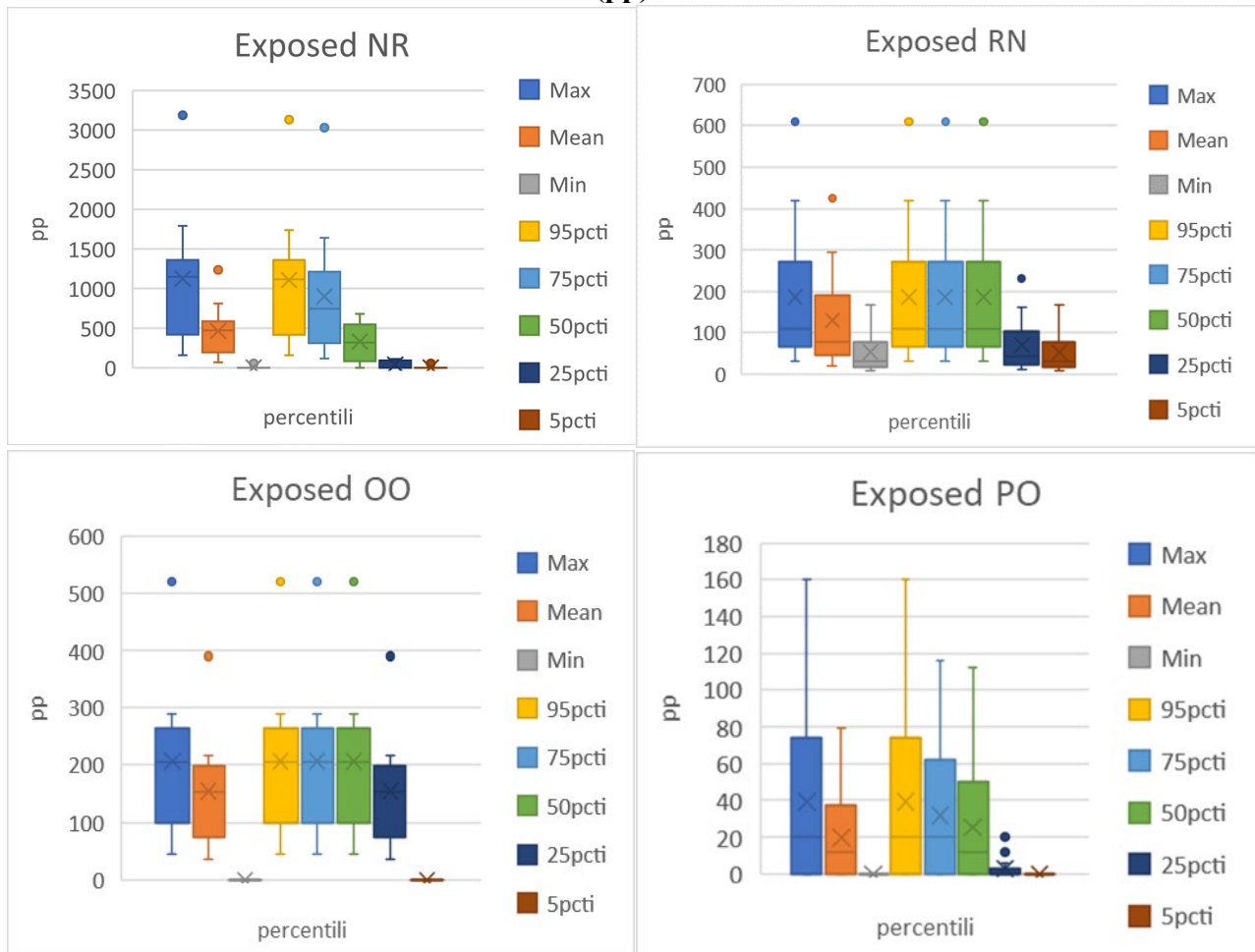


Figura 13 in alto a sinistra: Rappresentazione di grafici box-plot relativi a massimo, media, minimo e percentili del numero di utenti non residenti esposti nelle piazze (NRn).

Figura 14 in alto a destra: Rappresentazione di grafici box-plot relativi a massimo, media, minimo e percentili del numero di utenti residenti esposti nelle piazze (Rn).

Figura 15 in basso a sinistra: Rappresentazione di grafici box-plot relativi a massimo, media, minimo e percentili del numero di utenti only outdoor esposti nelle piazze (OOn).

Figura 16 in basso a destra: Rappresentazione di grafici box-plot relativi a massimo, media, minimo e percentili del numero di utenti prevalent outdoor esposti nelle piazze (POn).

I non residenti (Figura 13) sono la tipologia degli utenti con la maggiore variabilità (in riferimento a tutte le tipologie di utenti, come mostrato dalle figure 14, 15, 16) nel BE (inteso come piazza), poiché la loro presenza è legata all'orario di apertura (Vedi sezione 4.2) e alla dimensione (m²) delle attività ospitate. Il box-plot relativo ai valori critici massimi sovrastima eccessivamente NRn, poiché rappresentano il caso in cui tutte le attività sono aperte e completamente affollate, nelle ore diurne (vedi anche Sezione 4.2). Al contrario il box-plot relativo ai valori minimi di NRn poiché sono rappresentativi dell'orario notturno, quando le attività sono generalmente chiuse. Considerando la distribuzione dei valori mediani per tutti i BE analizzati e cioè relativi al 50° percentile, NRn può essere considerato variabile tra 83 e 550 (1° e 3° quartile) persone mentre i valori mediani sono 320 persone (2° quartile, similmente ai valori medi-simbolo x in ogni box-plot).

I residenti come mostrato nel grafico (Figura 14) sono distribuiti uniformemente durante il giorno (vedi anche Sezione 2.2), e infatti le distribuzioni dei valori ai vari percentili risulta simile. Più nello specifico sono conteggiati in orario non lavorativo, cioè dalle 19 del pomeriggio alle 7 del mattino, mentre durante il giorno chi studia e chi lavora è considerato assente (Vedi figura 26, sezione 4.2). Di conseguenza, poiché la maggior parte del giorno possono essere considerati a casa, i dati mediani (50° percentile) coincidono con quelli massimi, mentre i dati minimi possono essere ricondotti alle ore di lavoro nelle quali i residenti non vengono considerati. Per tale distribuzione, i valori critici massimi e mediani di Residents vanno da 60 a 275 persone (1° e 3° quartile) mentre la mediana è di 115 residenti (2° quartile).

Gli utenti only outdoor sono costanti durante il giorno ad eccezione delle ore notturne. Come mostra la Figura 15 i dati mediani coincidono con quelli massimi e sono rappresentativi dell'orario diurno, mentre i dati minimi possono essere ricondotti all'orario notturno (Vedi figura 27, sezione 4.2). I valori di distribuzione dei massimi e mediani OOn variano da circa 100 a 260 persone (1° e 3° quartile) mentre la mediana è di 210 utenti (2° quartile). I valori anomali dipendono dalla dimensione delle piazze dato che gli utenti only outdoor sono i passanti.

Gli utenti prevalent outdoor dipendono dalla presenza di aree dehor all'interno del BE, insieme alla loro dimensione (m²) e al tempo di apertura (Vedi sezione 4.2, figura 28). Sono la tipologia meno frequente nell'ambiente. La Figura 16 mostra che i dati mediani e medi sono comparabili come range complessivo e i valori critici vanno da 0 a 50 persone (1° e 3° quartile) mentre la mediana di queste distribuzioni è di 10 utenti (2° quartile). I valori massimi POn rappresentano il caso in cui tutte le attività sono aperte e completamente caricate, mentre i dati minimi sono per l'orario di chiusura o per le piazze in cui non ci sono dehors.

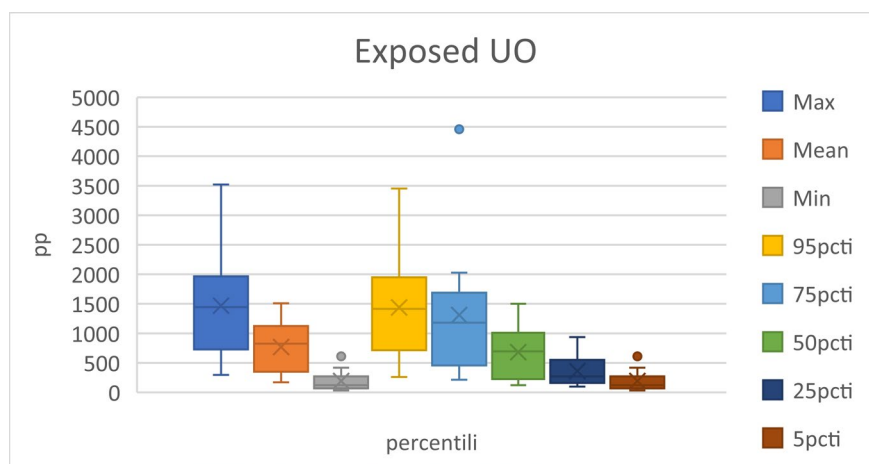


Figura 17: Rappresentazione di grafici box-plot relativi a massimo, media, minimo e percentili del numero di utenti users overall esposti nelle piazze (RNn).

Per quanto riguarda il campione Users Overall (Figura 17), i valori critici massimi massimizzano la presenza di tutte le tipologie di utenti (NRn+Rn+OOn+POn), implicando così un numero di persone presenti all'interno del BE in condizioni cautelative e conservative (in possibile sovrastima). Invece, considerando le distribuzioni dei valori mediani, che sembrano essere paragonabili a quelle delle medie, i valori critici vanno da circa 240 fino a 1000 utenti (1° e 3° quartile), mentre la mediana è di 760 utenti complessivi (2° quartile). I valori riflettono le considerazioni effettuate sulle singole tipologie di utenti nelle figure precedenti, dando risalto soprattutto all'importanza di NRn sull'intera esposizione dei BE analizzati.

4.1.2- Percentuale di utenti considerata la familiarità con il posto e le procedure di emergenza (%)

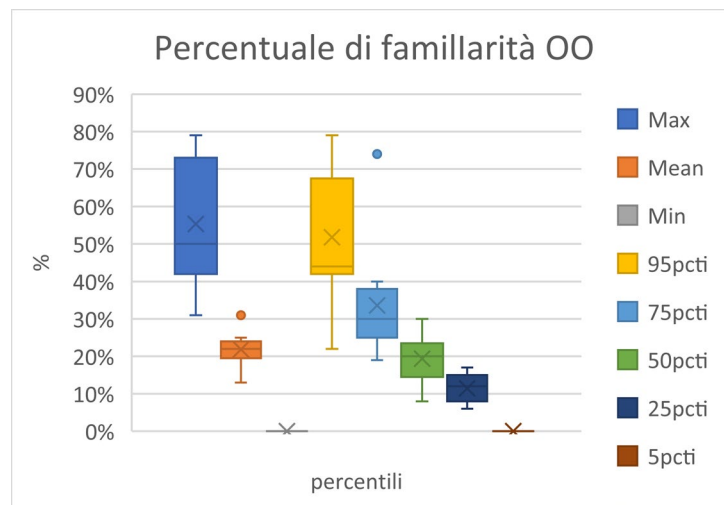


Figura 18: Rappresentazione di grafici box-plot relativi a massimo, media, minimo e percentili della percentuale di utenti only outdoor (OO) nelle piazze.

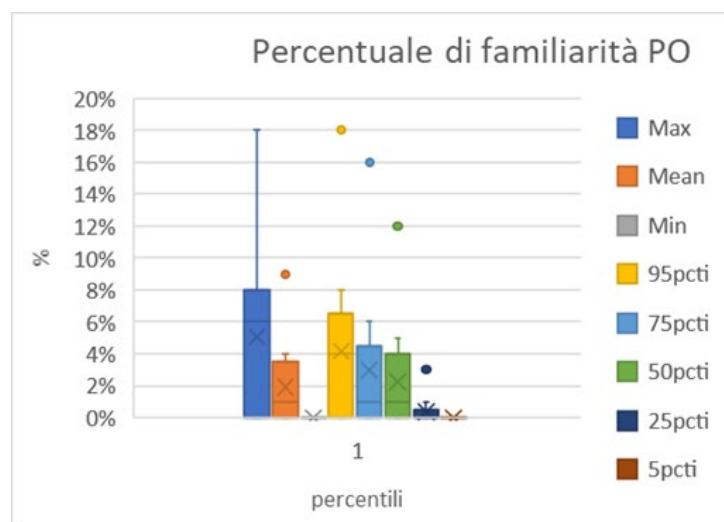


Figura 19: Rappresentazione di grafici box-plot relativi a massimo, media, minimo e percentili della percentuale di utenti prevalent outdoor (PO) nelle piazze.

La figura 18 mostra che i dati di distribuzione dei valori medi e mediani, per tutti i BE analizzati, di OO sono comparabili (essendo costanti di OOn durante il giorno, ad eccezione dell'orario notturno, vedi Sezione 4.2; figura 27), e sono compresi tra circa il 15% e il 24% (quartili 1 e 3) dell'intera popolazione ospitata, mentre la mediana è circa 18%. I valori minimi sono per la notte quando il

valore di utenti OO è nullo, mentre il massimo si riferisce a un particolare momento della giornata in cui tutte le altre categorie di utenti sono assenti (ad esempio, in caso di spostamenti di residenti e non residenti da e verso il BE, come la mattina presto).

Gli utenti prevalent Outdoor dipendono dalla presenza di aree dehor all'interno del BE, insieme alla loro dimensione (m²) e al tempo di apertura. La figura 19 mostra che i dati di distribuzione dei valori mediani e medi, per tutti i BE analizzati, sono anch'essi comparabili, e i valori critici vanno dallo 0% al 4% di PO (1° e 3° quartile) mentre la mediana è solo del 2% (2° quartile). I valori massimi POp rappresentano il caso in cui tutte le attività sono aperte e con capacità massima raggiunta, mentre i dati minimi sono per l'orario di chiusura o in caso di piazze in cui aree di dehor sono assenti (vedi anche Sezione 4.2).

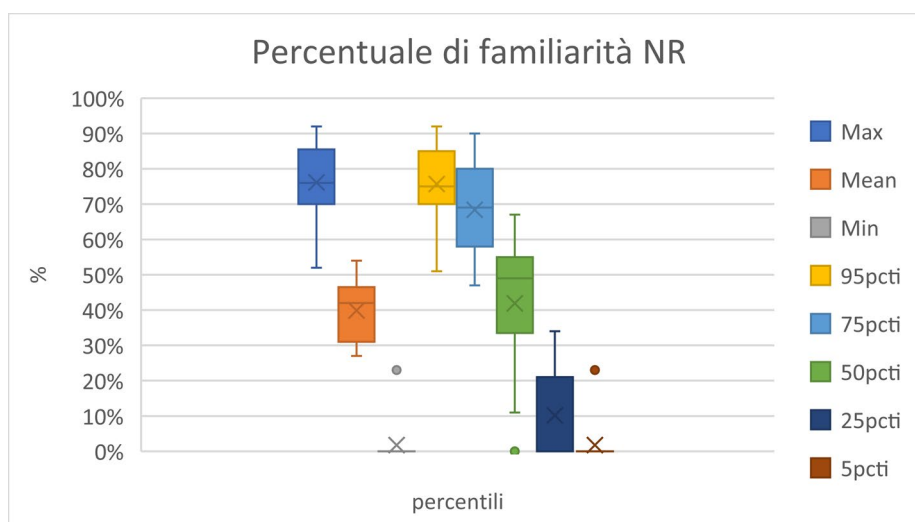


Figura 20: Rappresentazione di grafici box-plot relativi a massimo, media, minimo e percentili della percentuale di non residents (NRp) nella piazza.

La figura 20 mostra che i non residenti sono la parte principale degli utenti che popolano il BE, come atteso dalla sezione 4.1.1, poiché i dati di distribuzione dei valori medi e mediani, per tutti i BE analizzati, di NRp variano tra circa il 30 e il 50% (quartile 1° e 3°), mentre la mediana è di circa il 45%. I valori massimi si riferiscono all'orario lavorativo in cui c'è prevalenza di non residents e i Residenti sono valutati marginalmente (solo per alcune tipologie di persone) come presenti nelle abitazioni, mentre i minimi sono rappresentativi delle ore notturne, che sono correlate alle percentuali massime dei residenti (Vedi sezione 4.2, figure 25 e 26).

4.1.3- Densità di utenti considerando l'area in outdoor nel BE (pp/m²)

Gli utenti only outdoor sono costanti durante il giorno ad eccezione delle ore notturne (cioè dall'1 alle 6-vedi anche Sezione 4.2). Di conseguenza (Figura 21), i dati di distribuzione dei valori mediani coincidono con quelli massimi, mentre i dati di distribuzione dei valori minimi possono essere ricondotti alla notte (0 pp/m²). I dati di distribuzione dei valori critici massimi e mediani per tutti i BE analizzati vanno da 0,07 a 0,08 pp/m² (1° e 3° quartile) mentre la loro mediana è 0,072 pp/m² (2° quartile).

La densità degli utenti prevalent outdoor POd dipende dalla presenza di aree adibite a dehor all'interno del BE. La figura 22 mostra che i dati mediani e medi relativi agli utenti Prevalent Outdoor sono

comparabili, e sono inferiori rispetto ai dati OO, come mostrato dai dati di distribuzione dei valori critici che vanno da 0 a 0,02 pp/m² (1° e 3° quartile) mentre la mediana è 0,01 pp/m² (2° quartile). Il box-plot che rappresenta il massimo di POd rappresenta il caso in cui tutte le attività dei dehor sono aperte e con il massimo numero di utenti al loro interno, mentre i dati minimi sono rappresentativi dell'orario di chiusura delle attività (o aree dehors assenti).

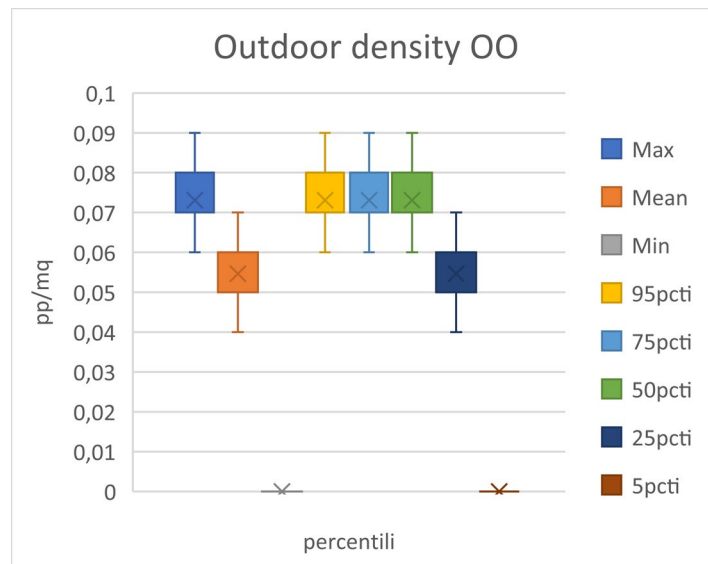


Figura 21: Rappresentazione di grafici box-plot relativi a massimo, media, minimo e percentili della densità di utenti Only Outdoor (OOd) nelle piazze.

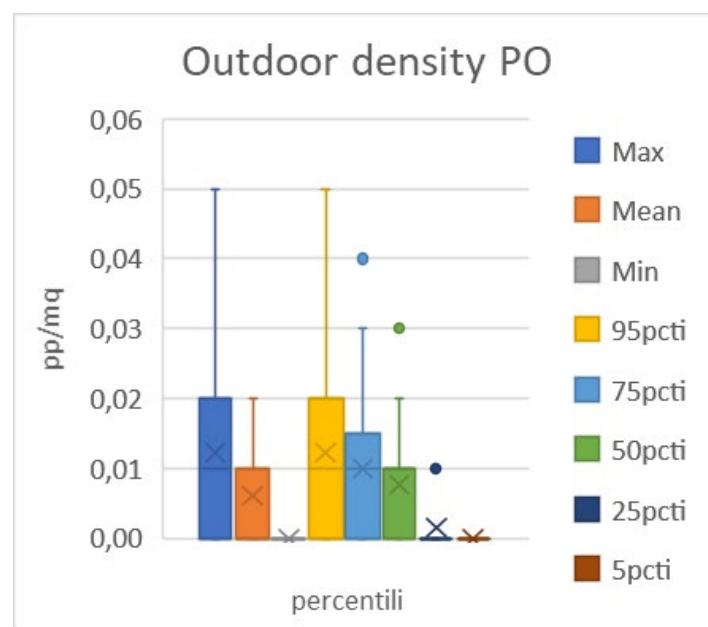


Figura 22: Rappresentazione di grafici box-plot relativi a massimo, media, minimo e percentili della densità di utenti prevalent outdoor (POd) nelle piazze.

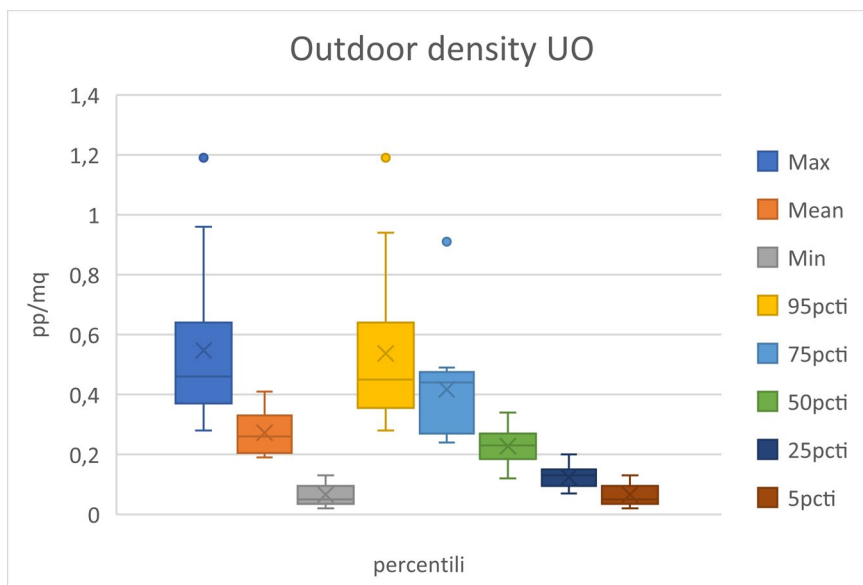


Figura 23: Rappresentazione di grafici box-plot relativi a massimo, media, minimo e percentili della densità di utenti users overall (UOod) nelle piazze.

Considerando il campione Users Overall (Figura 23), il box-plot relativo ai valori massimi di UOod descrive il caso in cui tutte le tipologie di utenti si trovano insieme nelle aree esterne del BE (NR+R+OO+PO), e quindi rappresenta le condizioni di affollamento possibile in caso di emergenza sismica, con le persone che sono tutte all'aperto e possono quindi iniziare insieme l'evacuazione. Essi mostrano le medesime considerazioni della sezione 4.1.1, con OO e PO che influiscono limitatamente sull'affollamento complessivo. I dati di distribuzione dei valori mediani appaiono paragonabili a quelli dei valori medi, con UOod che varia tra circa 0,18 e 0,28 pp/m² (1° e 3° quartile), mentre la mediana è 0,25 pp/m² (2° quartile).

4.1.4- Densità degli utenti considerando il costruito (indoor) (pp/m²)

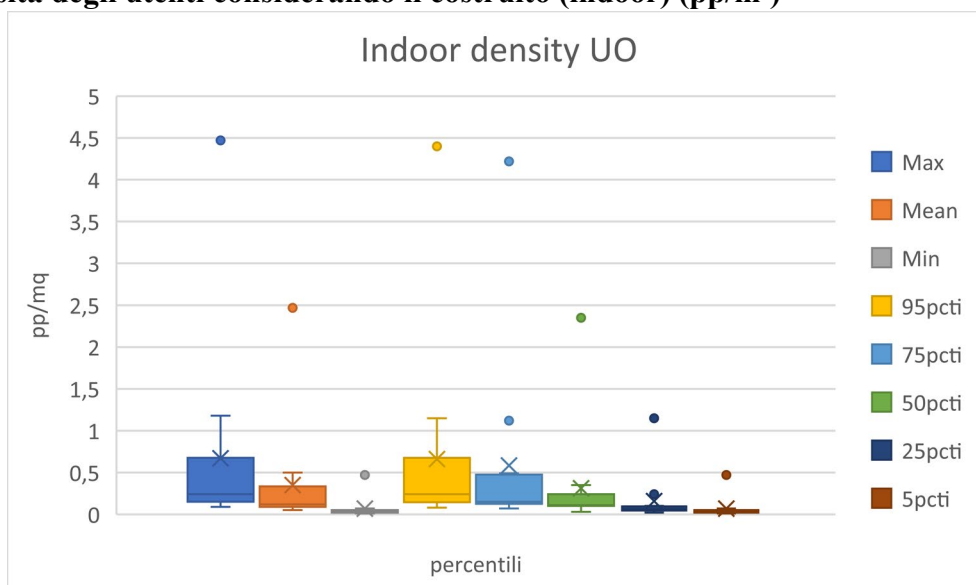


Figura 24: Rappresentazione di grafici box-plot relativi a massimo, media, minimo e percentili della densità di utenti users overall (UOId) nelle piazze.

UOId è un parametro che considera tutti gli utenti sia interni (R e NR) che esterni (OO e PO) all'interno degli edifici. Rappresenta quindi la condizione iniziale peggiore (prima dell'evento) considerando che tutti i fruitori possono essere entrati negli edifici, e quindi subire danni diretti dal danneggiarsi delle strutture (esempio: crolli degli edifici verso l'interno). In caso di evento sismico sappiamo che gli utenti evacueranno dagli spazi indoor per recarsi nelle aree outdoor, con le densità di cui in Figura 23. Dal grafico in Figura 24 si può notare come i valori di densità riferiti alla distribuzione di dati medi (come quelli mediani) siano simili rispetto a quelli di UOOd, come discusso in Sezione 4.1.3 (in Figura 24, i valori sono uguali a circa 0,05, 0,15 e 0,35 persone al metro quadro per i quartili 1°, 2° e 3°). Questo implica che le condizioni di aree affollabili in interno ed esterno sembrano essere simili per i casi studio analizzati.

È interessante notare che i valori outliers dell'immagine sono riferiti ad alcune piazze del campione: piazza della vittoria a Lodi e piazza Università a Catania. Queste sono diverse dalla media del campione esaminato perché le aree indoor sono inferiori rispetto a quelle outdoor.

4.2- Parametri TDC

4.2.1- Numero di utenti in outdoor e indoor (pp)

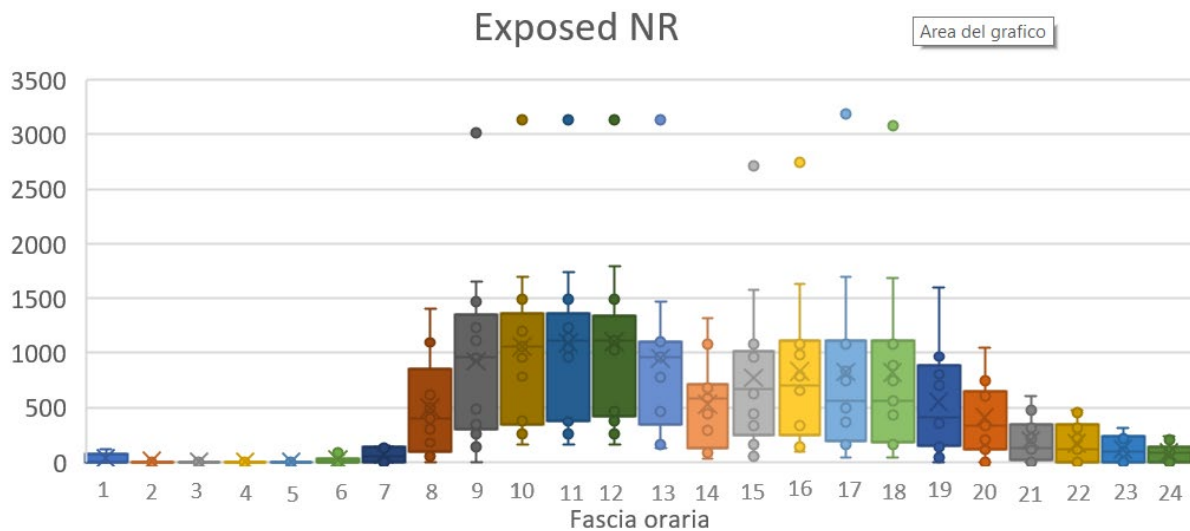


Figura 25: Andamento giornaliero, in base al campionamento orario, del numero di utenti Non Residents (NRn) mediante grafico scatola e baffi.

Il numero di non residenti è massimo durante l'orario di lavoro (dalle 8 del mattino alle 19 del pomeriggio), decresce durante la sera fino ad annullarsi dalle 2 alle 6 del mattino. Questo andamento è dovuto al fatto che i non residenti usufruiranno delle piazze per recarsi nel luogo di lavoro o per sfruttare le attività commerciali al loro interno (Figura 25).

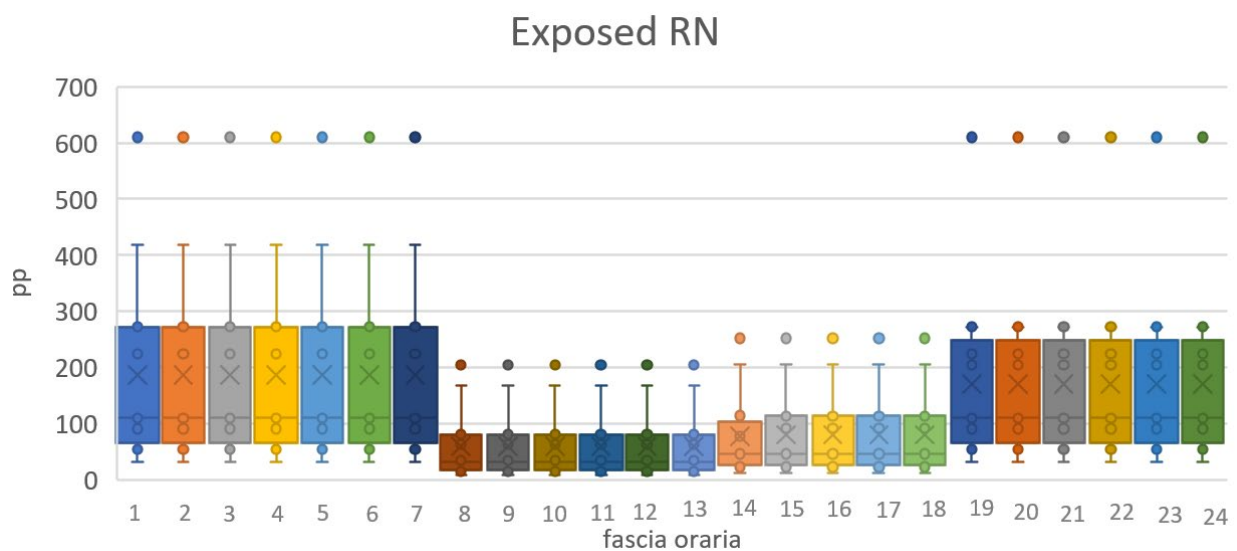


Figura 26: Andamento giornaliero, in base al campionamento orario, del numero di utenti Residents (Rn) mediante grafico scatola e baffi.

Come è mostrato dalla Figura 26 gli utenti Residenti sono una piccola parte della popolazione del BE durante l'orario di lavoro, congruentemente alle assunzioni di metodologia. I numeri si alzano nel pomeriggio (bambini in età scolare a casa), e ulteriormente la sera e la notte ovvero quando le attività

commerciali sono chiuse. Gli unici outliers in Figura 26 rappresentano i casi di Piazza della Rinascita a Pescara e Piazza Matteotti a Udine.

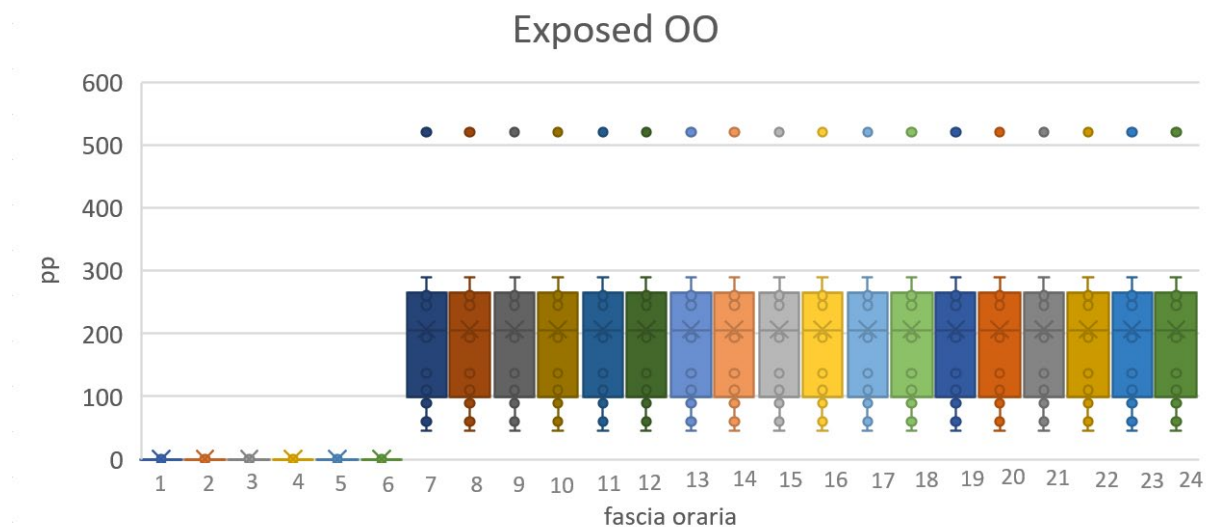


Figura 27: Andamento giornaliero, in base al campionamento orario, del numero di utenti Only Outdoor (OO) mediante grafico scatola e baffi.

Gli utenti only outdoor sono considerati costanti durante l’arco della giornata eccetto per l’orario notturno in cui il loro valore è nullo (Figura 27) conseguentemente alle assunzioni di metodologia. La loro influenza nel tempo è simile a quella dei residenti, eccetto per il caso dell’outliers in Figura 27. Tale outlier rappresenta il caso di Piazza della Rinascita a Pescara.

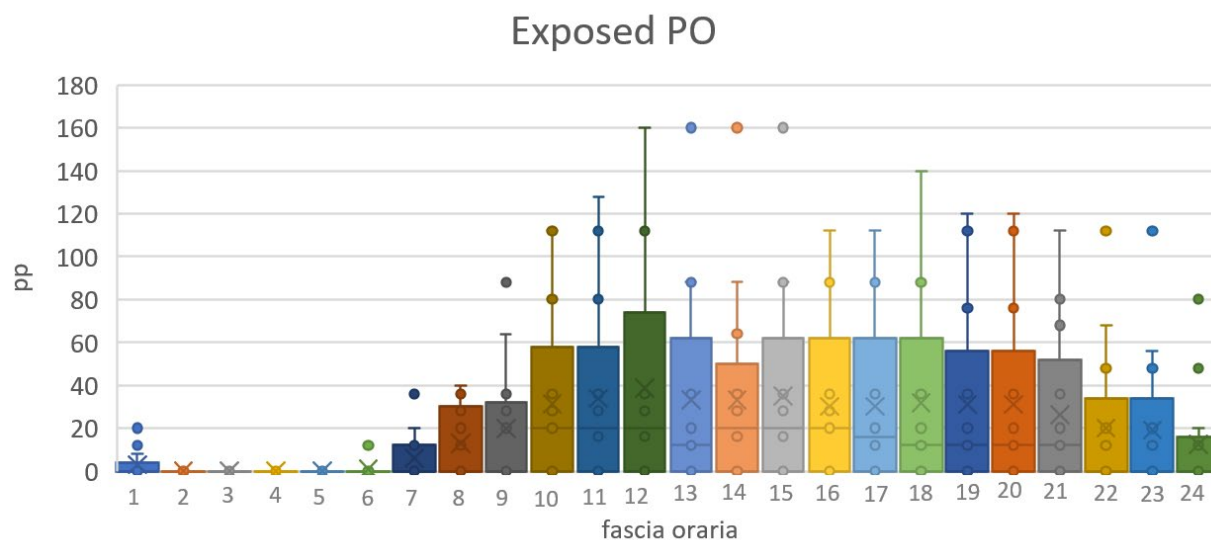


Figura 28: Andamento giornaliero, in base al campionamento orario, del numero di utenti Prevalent Outdoor (PO) mediante grafico scatola e baffi.

La presenza di utenti prevalent outdoor dipende essenzialmente dall’orario di apertura dei dehors quindi l’andamento dei valori è variabile durante l’arco della giornata ed è nullo nelle prime ore del mattino (Figura 28). Tuttavia, si sottolinea come esso sia monitorato in confronto a tutte le altre categorie di utenti mostrati nelle figure precedenti.

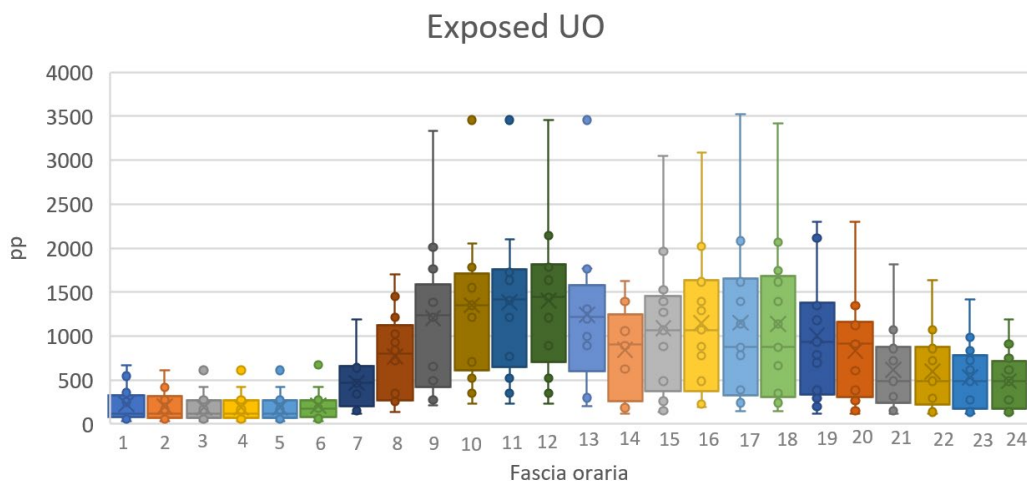


Figura 29: Andamento giornaliero, in base al campionamento orario, del numero di utenti Users Overall (UOn) mediante grafico scatola e baffi. Gli outliers individuano casi specifici di alcuni casi studio quali; Catania e Pesca, Gli altri pallini individuati all'interno dei quartili 0 e 4 dei box-plot sono i valori dei singoli casi studio.

L'andamento del numero di utenti complessivi (Residents, Non Residents, Only Outdoor e Prevalent Outdoor) Figura 29 mostra la sovrapposizione di effetti di cui ai grafici precedenti, essendo caratterizzata da un incremento durante l'orario lavorativo a causa dell'affluenza di utenti nelle piazze dovuta all'apertura delle attività commerciali, ricettive e uffici governativi; mentre nell'orario notturno c'è un decremento dovuto al fatto che gli utenti sono prevalentemente i residenti.

4.2.2- Percentuale di utenti nel tempo considerata la tipologia e la familiarità con il posto e le procedure di emergenza (%)

In questa sezione si discute in dettaglio la variazione nel tempo delle percentuali di soggetti con assunta scarsa familiarità con il sito e le procedure di emergenza, come possono essere OO, PO, NR. I valori di percentuale sono calcolati rispetto al totale di utenti UO nelle BE analizzate.

Come si deduce dalla figura 30: fatta eccezione per le ore notturne (1-6), la percentuale degli utenti Only Outdoor si può considerare costante durante il giorno, e dipende strettamente dalla presenza delle altre tipologie di utenti. Di conseguenza, la percentuale di utenti Only Outdoor varia tra il 20%-30% durante l'orario di lavoro, aumentando fino al 40-50% nelle ore rimanenti.

La percentuale di utenti prevalent outdoor dipende dalla presenza di aree adibite a dehor all'interno del BE; quindi, dalla loro dimensione (m²) e all'orario di apertura dell'attività (vedi Sezione 3.6). La figura 31 mostra che, escluse le ore notturne (dalle 2 alle 6 del mattino) in cui la percentuale di PO è nulla, la POp varia sempre tra lo 0% e il 7% circa. I valori anomali, outliers, si riferiscono alle piazze di Manfredonia, Pesaro, San Giovanni in Persiceto e Lucca in cui ci sono attività le cui dimensioni sono notevolmente superiori rispetto a quelle che generalmente corrispondono a bar e ristoranti.

Come è mostrato dal grafico (Figura 32) la presenza dei Non Residenti è massimizzata durante l'orario di lavoro (dalle 8 alle 19), in quanto il valore NRp relativo al 50° percentile è sempre superiore al 50%, e si riduce al minimo nelle ore notturne. Si possono notare alcune eccezioni che indicano la presenza di una piccola percentuale di utenti non residenti nelle ore notturne (fino all'1), dovuti alla presenza di bar o ristoranti che chiudono in ritardo. Sono anche evidenziati valori outliers relativi alle

piazze di Vercelli, Pesaro e San Giovanni in Persiceto. Quei valori sono dovuti alla presenza di attività ricettive aperte maggiori in dimensione se rapportata all'intero campione esaminato.

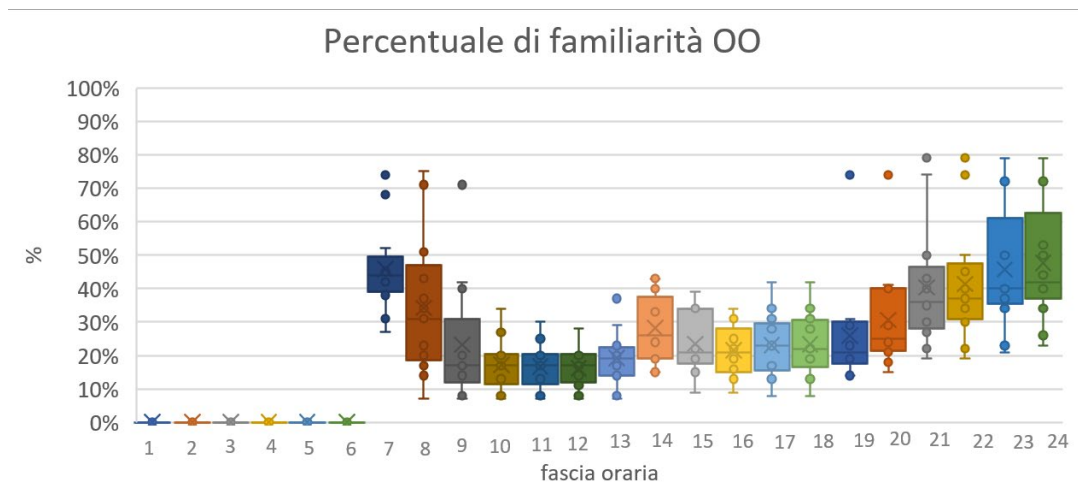


Figura 30: Andamento giornaliero, in base al campionamento orario, della percentuale di utenti Only Outdoor (OO) mediante grafico scatola e baffi.

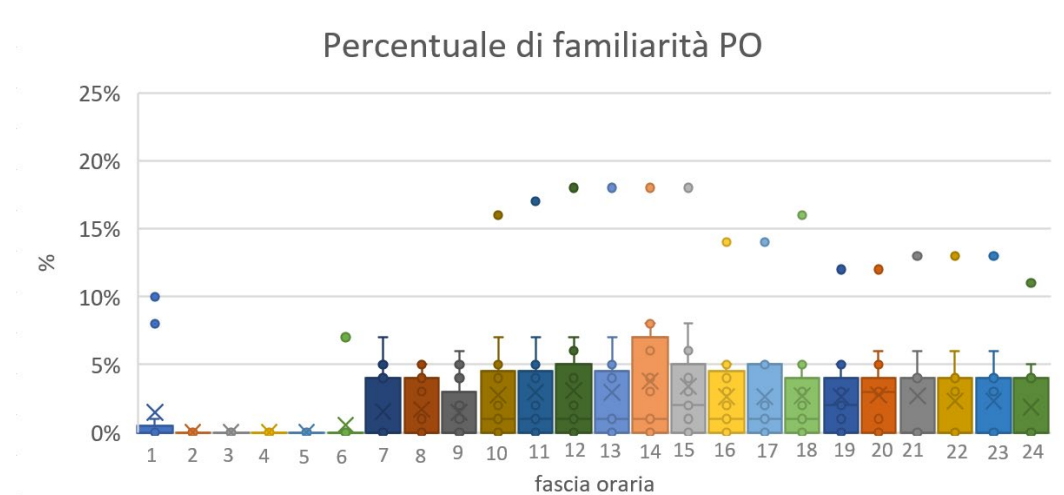


Figura 31: Andamento giornaliero, in base al campionamento orario, della percentuale di utenti prevalenti all'aperto (POp) mediante grafico scatola e baffi.

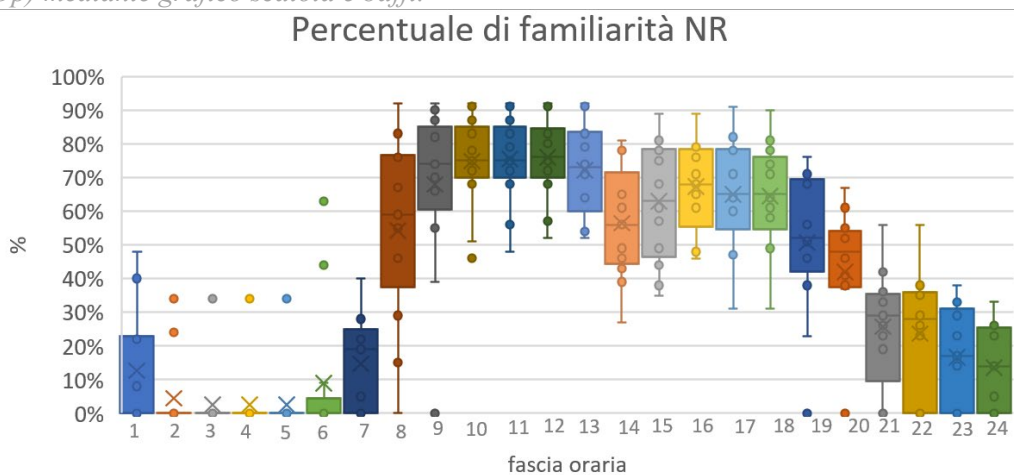


Figura 32: Andamento giornaliero, in base al campionamento orario, della percentuale di utenti non residenti (NRp) mediante grafico scatola e baffi.

4.2.3- Densità di utenti considerando l'area in outdoor nel BE (pp/m²)

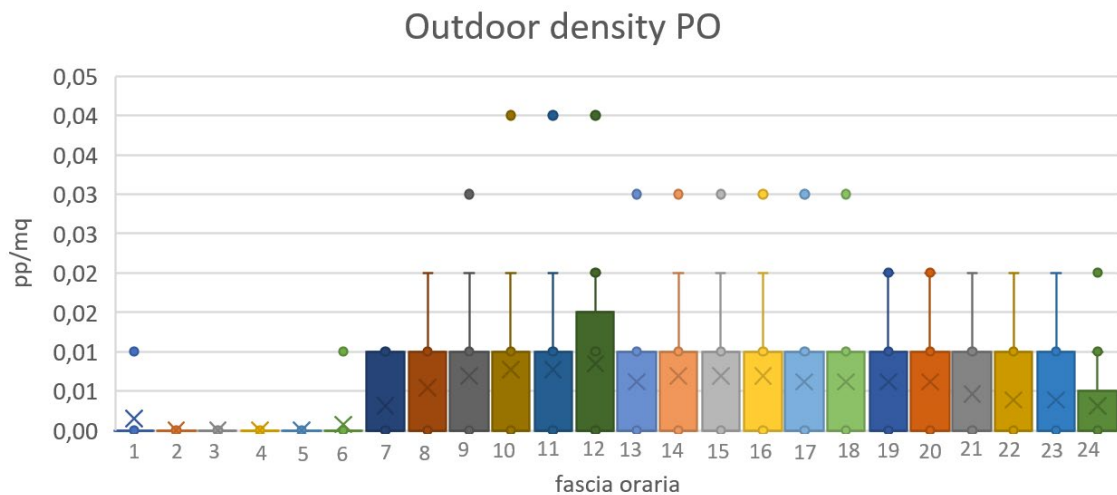


Figura 33: Andamento giornaliero, in base al campionamento orario, della densità degli utenti in outdoor prevalent outdoor (POd) mediante grafico scatola e baffi.

Come già indicato nelle sezioni precedenti, i risultati dimostrano che la densità degli utenti prevalenti all'aperto dipende dalla presenza di aree adibite a dehor all'interno del BE, in funzione della loro dimensione (m²) e al tempo di apertura. La figura 33 mostra che, escluse le ore notturne (dall'1 alle 6 del mattino), PO_p varia sempre tra 0 e 0,02 pp/m², come anche anticipato dalle distribuzioni sintetiche di sezione 4.1. I valori anomali sono per attività con orario continuato o sono riferite alle attività con area notevolmente superiore rispetto a quelle generalmente legate a bar e ristoranti (questi sono i casi di Manfredonia e Udine).

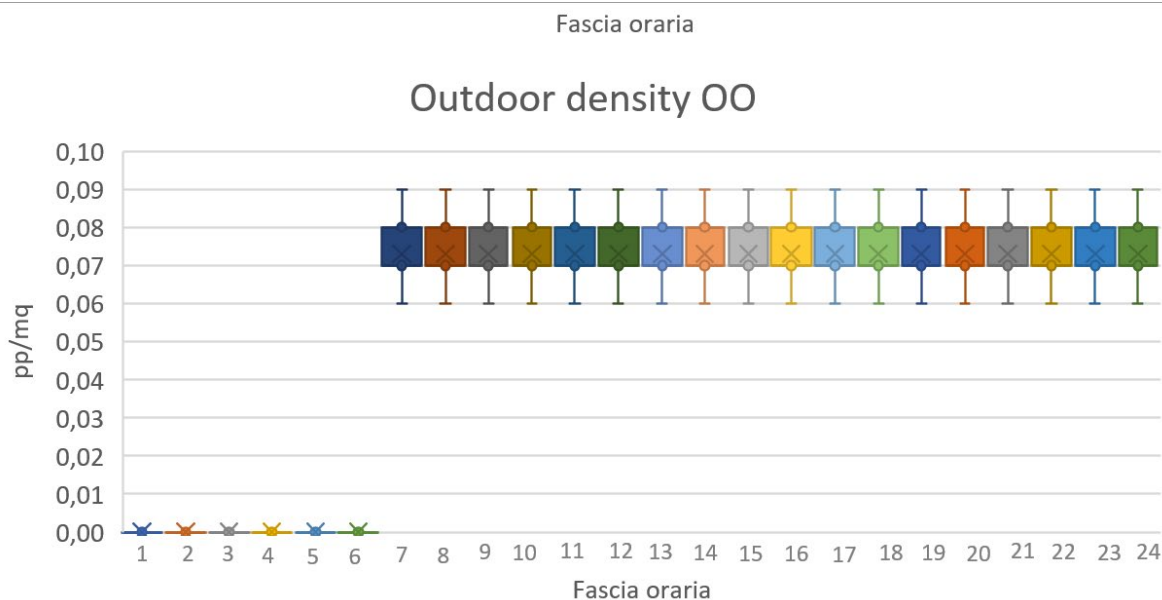


Figura 34: Andamento giornaliero, in base al campionamento orario, della densità degli utenti only outdoor (OOd) mediante grafico scatola e baffi.

Gli utenti only outdoor sono costanti durante l'arco della giornata tranne in orario notturno in cui i valori si annullano (Figura 34). Aspetto importante da sottolineare è la differenza dell'ordine di grandezza tra Only outdoor e Prevalent outdoor come mostrato dalle figure 33 e 34 in cui la densità di utenti OO è superiore rispetto a quella degli utenti PO.

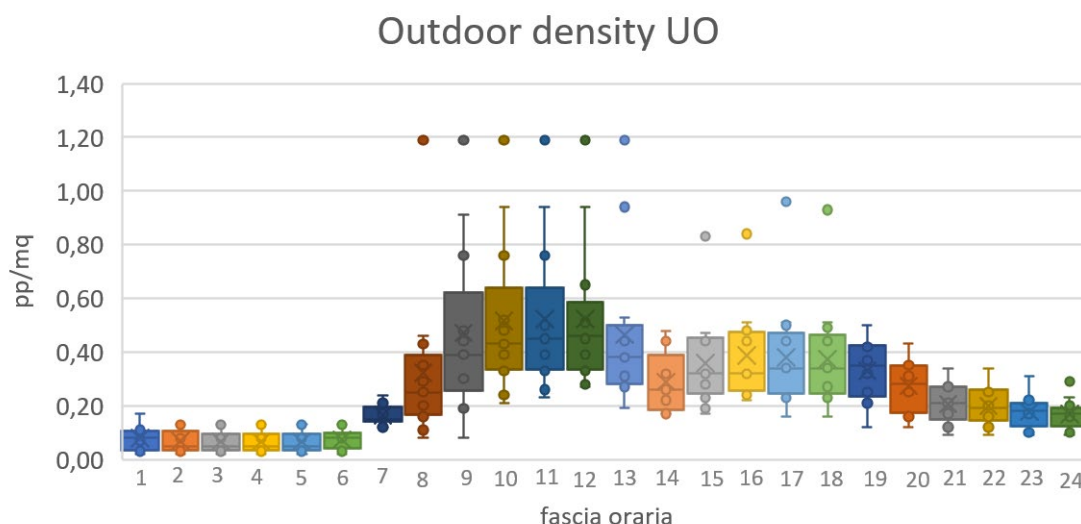


Figura 35: Andamento giornaliero, in base al campionamento orario, della densità in outdoor complessiva degli utenti (UOod) mediante grafico scatola e baffi.

Considerando infine il campione Users Overall (NR+R+OO+PO) in Figura 35, i valori massimi UOod vengono raggiunti al mattino, poiché UOod è fino a 0,65 pp / m² circa, quando tutte le categorie di utenti si trovano insieme all'interno del BE. Questi valori diminuiscono nel pomeriggio (0,20-0,50 pp/m²) e la sera (0,15- 0,30 pp/m²), fino ad arrivare a circa 0,05/0,10 pp/m² nelle ore notturne (1-6) quando gli utenti sono esclusivamente Residenti (Figura 35). Anche questi valori confermano quanto indicato nelle sezioni precedenti.

4.2.4- Densità degli utenti considerando il costruito (indoor) (pp/m²)

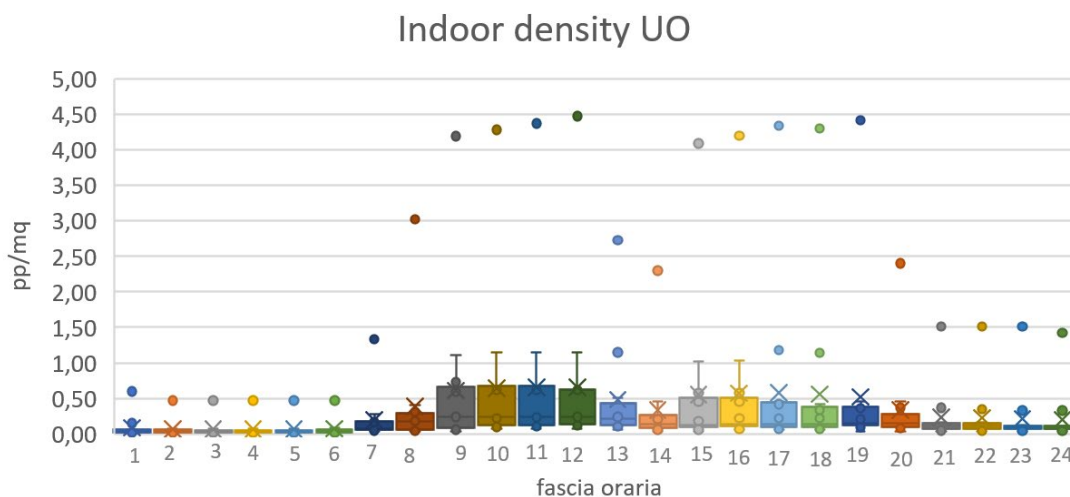


Figura 36: Andamento giornaliero, in base al campionamento orario, della densità indoor degli utenti (UOId), mediante grafico scatola e baffi.

Ciò che si nota dal grafico in Figura 36 considerando i valori mediani della distribuzione è che dall'1 alle 6 del mattino UOId assume un valore costante equivalente a circa 0,00-0,10 pp/m² in quanto gli utenti outdoor sono quasi assenti ma ci sono quelli in indoor, mentre durante la giornata si registra un aumento fino a circa 0,7 pp/m². Gli outliers della figura si riferiscono alle piazze di Catania e Lodi caratterizzate da una ridotta area in indoor e un'elevata area outdoor.

4.3- Analisi dei dati relativi alla piazza e alle strade di accesso

4.3.1- TDC-Densità degli utenti esterni considerando l'area in outdoor nel BE UOOd (pp/m²)

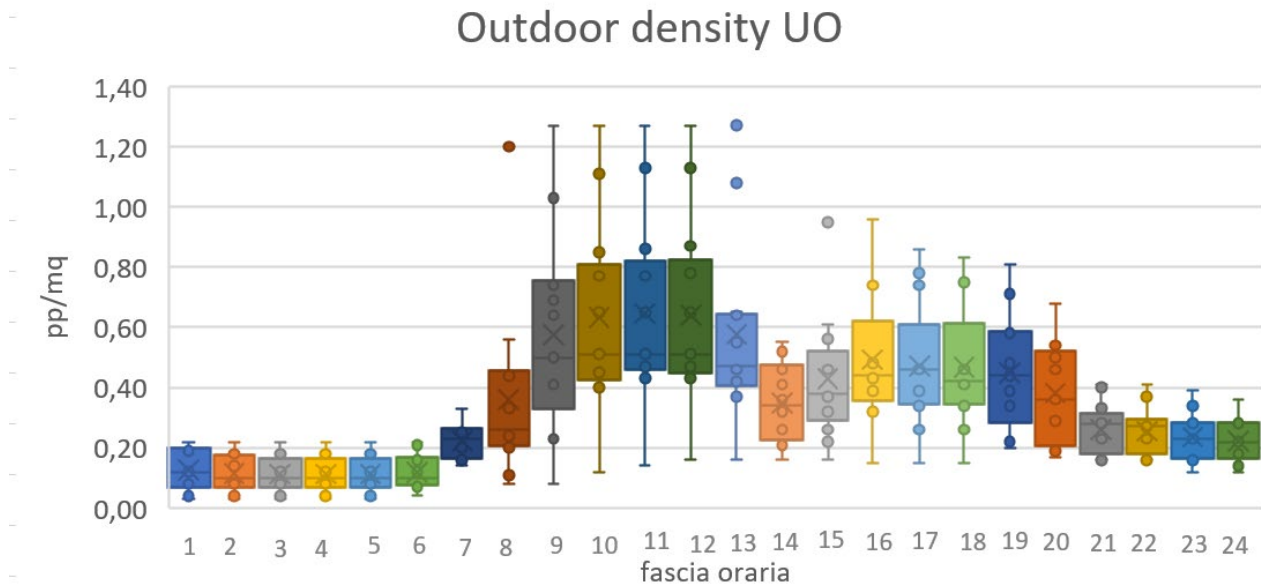


Figura 37: Andamento della densità outdoor degli Users Overall in funzione del tempo mediante diagrammi box-plot.

Dal grafico in Figura 37 si nota che l'andamento della densità degli utenti Users Overall (NR+R+OO+PO) raggiunge i valori massimi durante la mattina tra le 9 e le 12 (con un picco di 0,83 pp/m²), diminuisce nel pomeriggio (0,62 pp/m²) e ancora la sera con valori tra 0,30 pp/m² e 0,17 pp/m² nelle prime ore del mattino.

4.3.2- OUC-Densità degli utenti esterni considerando l'area in outdoor nel BE (pp/m²)

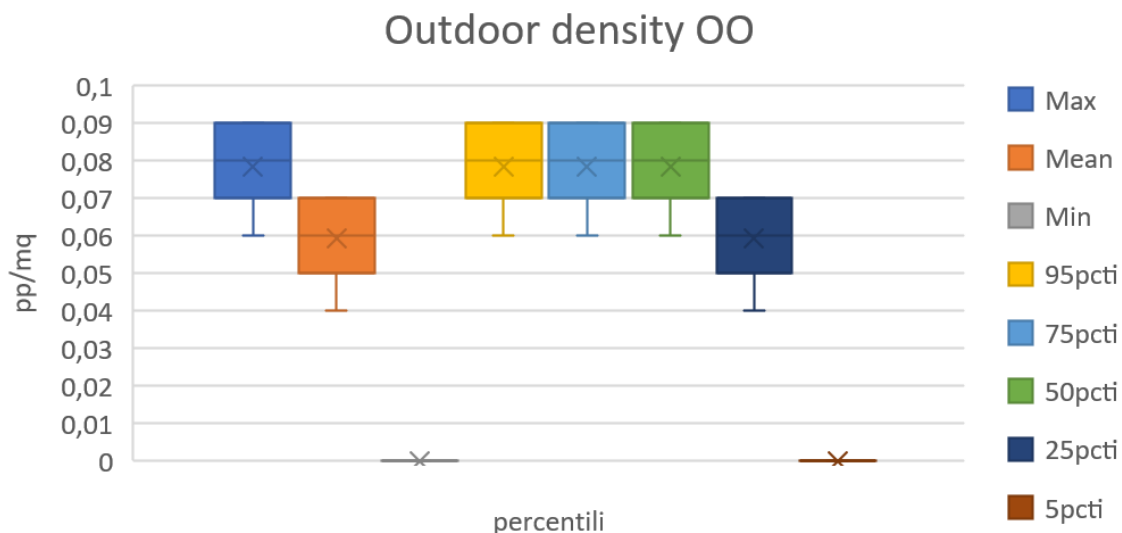


Figura 38: Rappresentazione di grafici box-plot relativi a massimo, media, minimo e percentili della densità di utenti users overall (UOOd) nelle piazze e nelle strade di accesso alle piazze.

L'andamento della densità degli utenti only outdoor, come mostrato in figura 38, per quanto riguarda i dati di distribuzione dei valori mediani coincidono con quelli massimi, mentre i dati di distribuzione

dei valori minimi possono essere ricondotti alla notte (0 pp/m²). I dati di distribuzione dei valori critici massimi e mediani per tutti i BE analizzati vanno da 0,07 a 0,09 pp/m² (1° e 3° quartile) mentre la loro mediana è 0,08 pp/m² (2° quartile).

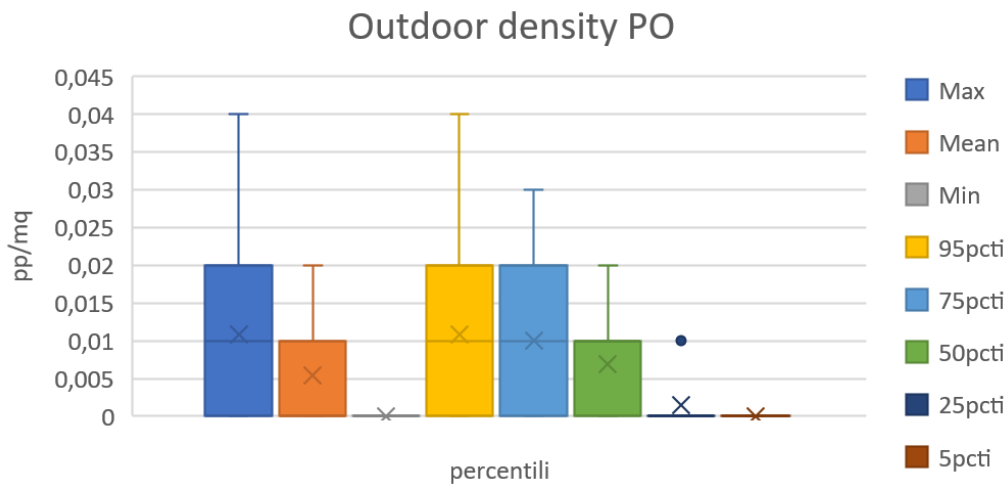


Figura 39: Rappresentazione di grafici box-plot relativi a massimo, media, minimo e percentili della densità di utenti prevalent outdoor (POd) nelle piazze e nelle strade di accesso alle piazze.

La densità degli utenti prevalent outdoor POd dipende dalla presenza di aree adibite a dehor all'interno del BE. La figura 39 evidenzia la somiglianza tra i dati mediani e medi relativi agli utenti Prevalent Outdoor, e sono inferiori rispetto ai dati OO, come mostrato dai dati di distribuzione dei valori critici che vanno da 0 a 0,01 pp/m² (1° e 3° quartile) mentre la mediana è 0,005 pp/m² (2° quartile). Il box-plot che rappresenta il massimo di POd rappresenta il caso in cui tutte le attività dei dehor sono aperte e con il massimo numero di utenti al loro interno, mentre i dati minimi sono rappresentativi dell'orario di chiusura delle attività (o aree dehors assenti).

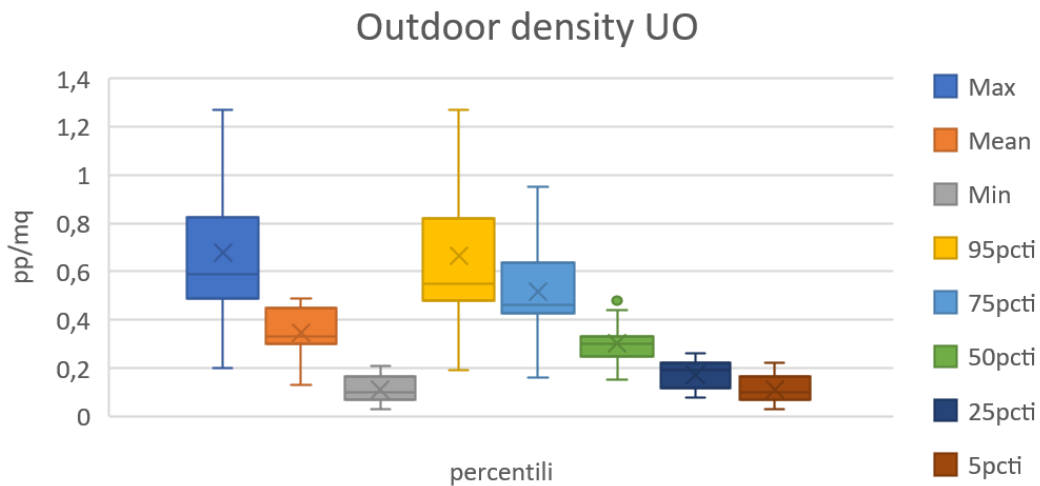


Figura 40: Rappresentazione di grafici box-plot relativi a massimo, media, minimo e percentili della densità di utenti prevalent outdoor (POd) nelle piazze e nelle strade di accesso alle piazze.

Considerando il campione Users Overall in Figura 40, il box-plot relativo ai valori massimi di UOOd (NR+R+OO+PO) descrive il caso in cui tutte le tipologie di utenti si trovano insieme nelle aree esterne del BE, e quindi rappresenta le condizioni di affollamento possibile in caso di emergenza sismica. I dati di distribuzione dei valori mediani appaiono paragonabili a quelli dei valori medi, con UOOd che varia tra circa 0,25 e 0,33 pp/m² (1° e 3° quartile), mentre la mediana è 0,30 pp/m² (2° quartile).

4.4- Discussione

Nel presente paragrafo andrò a discutere quelli che sono i risultati principali e significativi, ricavati dai grafici commentati nelle sezioni 4.1 e 4.2, rispetto all'obiettivo della mia tesi (esposto al paragrafo 2.5 dello Stato dell'arte) ovvero valutare l'esposizione degli utenti in modo da definire se esistono tipologie ricorrenti del BE riferite all'esposizione nel tempo e nello spazio.

Come detto precedentemente nel capitolo 3.8.2, lo scopo principale dell'analisi dei risultati è quella di trovare le condizioni più problematiche, legate ai valori massimi e ai valori del 95° percentile ma anche le condizioni più probabili o ricorrenti cioè il valore mediano dei dati, ovvero quello corrispondente al 50° percentile ed evidenziato nei grafici precedentemente illustrati (sezione 4.1).

Gli aspetti utili saranno quindi:

1) Gli andamenti ricorrenti nei casi studio analizzati: dati ricavati dai valori mediani (corrispondenti al 50% dei casi studio) nel mio scenario.

2) In riferimento all'analisi dei valori del punto 1, e condizioni problematiche, che possono essere descritte mediante i seguenti fattori: la densità in outdoor e quindi affollamento in esterno che si crea dopo l'evento sismico perché gli utenti si spostano dalle aree indoor a quelle outdoor. Più in dettaglio questo punto riguarda l'indice di affollamento UOOD per ogni ora ricavato sommando le persone complessive presenti nella piazza e suddividendole per la superficie totale disponibile della piazza quindi sia aree pedonali che carrabili. Tale indice (UOOD) è importante perché è quello che posso estendere a qualsiasi piazza indipendentemente dalla dimensione.

3) In riferimento all'analisi dei valori del punto 1, in quali momenti della giornata si notano i picchi di esposizione degli utenti cioè il maggior affollamento nella piazza.

Tabella 1: picchi di esposizione degli utenti divisi per tipologie.

Tipologia di utente	Numero di utenti (pp) - Figure 25, 26, 27, 28, 29	Ora
Non Residents- NR	1116	11-12
Residents- R	110	1-7/19-24
Only Outdoor- OO	205	7-24
Prevalent Outdoor- PO	20	10-12/14-16
Users overall- UO	1443	12

La tabella 1 mostra i valori di picco di esposizione nell'arco della giornata, per tipologie di utenti, e quantificandone anche il numero mediano a seconda delle ore considerate come picco. In particolare, si può notare che il numero di non residenti (NR) è il più consistente rispetto a tutti gli altri valori ed è quindi quello che caratterizza gli UO, tanto che l'ora che ha il picco massimo è quella relativa alle 12, orario ricorrente sia per NR che per UO.

Tabella 2: i valori riportati indicano quale è la densità di persone all'esterno (UOOD) e per ogni tipologia.

Tipologia di utente	Densità (pp/m²) - Figure 33, 34, 35	Ora
Only Outdoor- OO	0,07	7-24
Prevalent Outdoor- PO	0,01	8-20
Users overall- UO	0,46	12

La Tabella 2 mostra i valori di UOOD mediani per tutto l'arco della giornata, descrivendone quindi le situazioni ricorrenti in termini generali. In particolare, i valori di OO e PO sono indicati in forma separata perché riguardano quelle persone che sono presenti in esterno in condizioni ordinarie e quindi rappresentano un aumento di affollamento rispetto agli individui ospitati in interno (NR e R). Da tali dati si può notare l'orario di massima esposizione per utenti in cui converge la presenza degli OO e dei PO.

Tabella 3: dati relativi alla percentuale di familiarità riferito alla totalità degli utenti.

Tipologia di utente	Percentuale (%) - Figure 30, 31, 32	Ora
Only Outdoor- OO	44%	7
Prevalent Outdoor- PO	3%	20
Non Residents- NR	76%	12

La tabella 3, infine, mostra gli indicatori relativi alla familiarità degli individui, esaltando l'importanza delle tipologie non familiari all'interno dell'intero campione (NR), in corrispondenza precisa di alcune fasce orarie. Infatti, si nota che alle ore 12 il 76% degli utenti, riferiti al totale, sono non residenti, questo è dovuto al fatto che in quell'orario sono aperte tutte le attività commerciali, gli uffici e i negozi.

Dopo aver discusso nella sezione relativa alla Metodologia (3.3) dell'importanza di includere le strade di accesso alla piazza nella trattazione dell'esposizione degli utenti si riporta il confronto tra densità di UOOD considerando la sola piazza e la piazza con le strade di accesso, in accordo ai risultati di sezione 4.2 e 4.3, ovvero riferendosi principalmente all'andamento di UOOD nel tempo per un giorno feriale tipo.

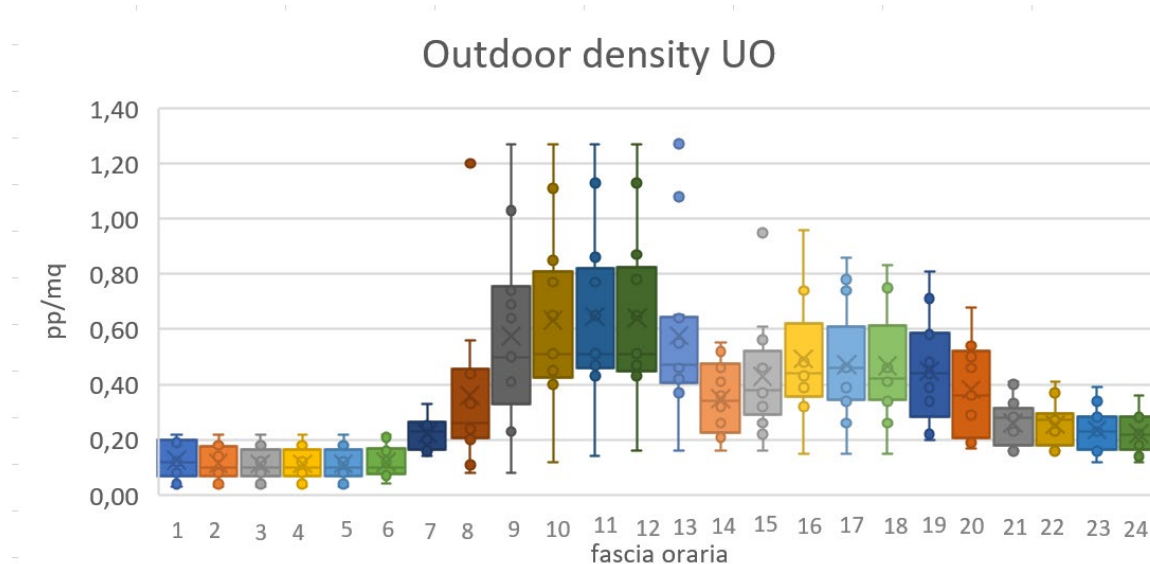


Figura 41: Andamento della densità outdoor degli Users Overall, di piazza e strade, in funzione del tempo mediante diagrammi box-plot.

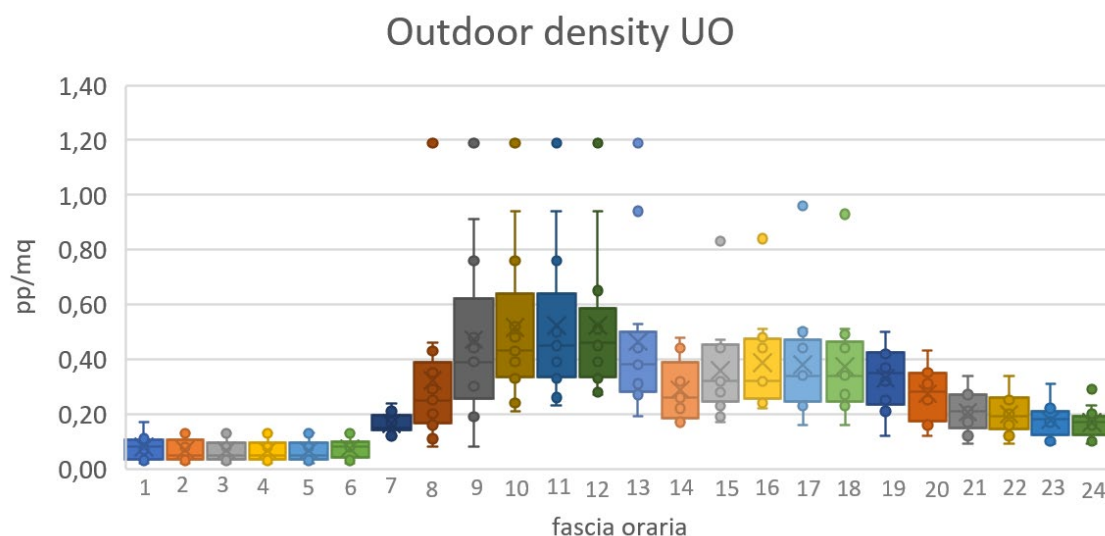


Figura 42: Andamento della densità outdoor degli Users Overall, di sola piazza, in funzione del tempo mediante diagrammi box-plot.

Dal confronto si nota l'importanza dell'inclusione delle strade di accesso alla piazza perché la densità in outdoor degli utenti UO (OO+PO+NR+R) è maggiore nel caso in cui le strade sono considerate.

Come facilmente visibile grazie ai grafici in figura 41 e 42, infatti, prendendo in considerazione il caso di piazza e strade incluse, il valore critico massimo risulta essere 0,83 pp/m² (3° quartile) ed è relativo alla fascia oraria 11-12. Analizzando la sola piazza il livello di affollamento massimo è minore, indice di una ridotta influenza della presenza degli utenti, pari a 0,64 pp/m² tra le 10 e le 11. Questo implica un aumento del 30% circa nell'esposizione considerando il 3° quartile. Simile tendenza è presente nelle ore pomeridiane, in cui il valore massimo passa da 0,48 pp/m² (solo piazza) a 0,62 pp/m² (piazza e strade), con un aumento del 23% sui valori di densità UOOd. In queste fasce orarie, il carico di affollamento per le tipologie non residents è il più importante, dimostrando l'impatto degli spazi pubblici sull'affollamento del tessuto urbano elementare di riferimento. Al contrario si può notare che, nelle ore serali e notturne la densità media di UOOd in outdoor varia tra 0,10 e 0,20 pp/m² mentre se si considerano anche le strade arriva a valori di circa 0,25 pp/m², con un aumento quindi più moderato dell'esposizione. In questa condizione, si sottolinea come l'impatto dei residenti nel tessuto limitrofo alla piazza sia più vicino a quello delle strade ad essa collegate e comunque non trascurabile per analisi di scenario in emergenza. La differenza è più marcata analizzando il 3° quartile e i valori massimi, con la UOOd che quasi raddoppia.

Complessivamente, tutti questi risultati mostrano, come le condizioni di affollamento variano non in maniera trascurabile se consideriamo le strade come mezzo attraverso il quale gli utenti si recano nel luogo di raccolta; quindi, un'attenta valutazione del rischio e dell'esposizione, dovrà tenere in conto di tali condizioni.

Per la trattazione di esposizione e vulnerabilità degli utenti si può dimostrare che, in funzione al campione di piazze studiato, esiste una tipologia ricorrente di BET mostrata dalle tabelle poste in questa sezione, che attraverso le sue caratteristiche associa la maggior parte dei casi studio (vedi Appendice). In tal senso è utile rimarcare che, da un punto di vista morfologico, la tipologia di BET a partire dal campione analizzato ha una forma allungata, con una tecnica costruttiva omogenea e prevalentemente in muratura. Nella BET l'area è pianeggiante, non ci sono aree verdi e neanche portici ma sono presenti target sensibili. Tali dati confermano le tipologie ricorrenti indicate da precedenti studi. (5)

5- Conclusione

Negli ultimi anni, gli ambienti aperti e in particolar modo quelli storici hanno risentito pesantemente degli eventi sismici riportando danni agli utenti e al costruito storico (danni sia ai livelli materiali che sociali). Il problema fondamentale su cui ci si è interrogati è stato quello di quantificare e qualificare l'esposizione degli utenti che vivono o interagiscono nell'ambiente costruito poiché attualmente la letteratura mostra una mancanza di un metodo semplice e speditivo capace di risolvere il problema. In questo quadro, il lavoro di ricerca intrapreso rappresenta un passo di avanzamento nello stato delle conoscenze perché sono stati ricavati dati utili per la caratterizzazione dell'esposizione degli utenti al fine di comprendere le condizioni più problematiche e che potrebbero accentuare, a causa di un più sensibile affollamento e interazione tra persone, il pericolo per gli utenti esposti nel BE.

Il problema è stato affrontato entrando "nell'ottica del rischio sismico" quindi cercando di capire quali sono i rischi ai quali è sottoposto l'utente, nell'ambiente costruito, ovvero nel sistema di piazza (polo aggregatore in evacuazione) e strade che ad essa sono connesse. Poi è stato applicato un metodo, sviluppato nell'ambito del progetto BE S2CURE nell'alveo del quale si colloca anche questa tesi, grazie al quale sono stati analizzati dati facilmente reperibili per ottenere degli indici di: (1) caratterizzazione complessiva degli utenti OVERALL USERS CHARACTERISATION (OUC), che tracciano una panoramica generale, considerando l'intero giorno; e (2) TIME DEPENDENT CHARACTERISATION (TDC) ovvero parametri che tracciano una panoramica dipendente dal tempo delle tipologie e numerosità di utenti. Questi indici sono rappresentativi dell'esposizione per ogni caso (piazza e strade di accesso) studiato appartenente ad ambienti costruiti urbani storici. Successivamente con l'analisi statistica sono state ricavate le condizioni ricorrenti di esposizione per gli utenti in tutto il campione, nonché quelle di picco (valori massimi di esposizione).

I risultati mostrano l'importanza degli spazi che sono connessi alla piazza, che funge come detto da attrattore in caso di emergenza per tutto il tessuto circostante limitrofo. Questa analisi è stata utile a dimostrare che l'inclusione delle strade è importante perché aumenta sensibilmente le condizioni di possibile affollamento nelle piazze, e quindi la valutazione del rischio non può prescindere da esse. L'esposizione segue un andamento variabile nel tempo, distinguibile in tre fasce orarie principali contraddistinte da altrettante condizioni ricorrenti: (1) nelle ore notturne cioè dalle ore 21 alle ore 6 del mattino, sono presenti principalmente i residenti nelle proprie abitazioni con limitata esposizione in termini quantitativi e una buona familiarità con l'ambiente circostante; (2) in mattinata dalle 7 alle 13, si registra una prevalenza di utenti che si spostano nelle piazze per lavoro o per studio (NR) ma anche utenti solo esterni (OO) o prevalentemente esterni (PO), sottolineando possibili aumenti nell'esposizione (fino a 4 volte i valori reperiti di notte considerando sia piazze che strade connesse); (3) nel pomeriggio cioè dalle 14 alle 19 la piazza è popolata principalmente da NR perché gli uffici e le attività sono aperte, ma con un'esposizione più bassa rispetto alla mattina.

Inoltre, in questo senso, i risultati mostrano anche una significativa fetta di popolazione esposta nei contesti analizzati (circa l'80% nelle ore di picco, ovvero nella fascia oraria della tarda mattinata, ore 10-12) possa essere poco o per nulla familiare con l'ambiente costruito e le procedure di emergenza, in quanto costituita da utenti occasionali e comunque non residenti. Questa condizione aumenta il rischio per queste stesse persone perché non conoscono la piazza e le strade circostanti, non sanno quale sia il luogo sicuro più vicino in caso di sisma, e quindi, potrebbero essere anche soggetti a errate scelte nella direzione di esodo o alla necessità di avere maggior supporto da parte di altre persone o dei soccorritori.

I risultati ottenuti dal lavoro di ricerca intrapreso, in futuro, potrebbero essere utilizzati per simulazioni di scenari di rischio sismico comprendendo anche il fattore umano. In particolare, infatti, grazie ai valori di picco si possono ricreare gli scenari più critici e quindi con il maggior affollamento, per capire come gli utenti si muoveranno nello spazio e notare ulteriori rischi ai quali gli utenti possono andare incontro ad esempio il rischio di schiacciamento dovuto ad un numero molto elevato di utenti in movimento. Inoltre, lo studio si basa sull'analisi di un campione di piazze significative nel contesto italiano, ma comunque con numerosità ridotta. Pertanto, i futuri lavori proseguiranno con l'obiettivo di estendere la ricerca ad un maggior numero di piazze, così da affinare i risultati statistici conseguiti. Inoltre, il lavoro può essere replicato in altri contesti non storici, come ad ulteriori contesti geografici in tutto il mondo.

Appendice A

Al fine di definire una tipologia ricorrente di BET è opportuno illustrare e caratterizzare i casi studio che più volte sono stati menzionati nei capitoli della tesi in funzione della configurazione morfologica, dimensioni, della presenza di aggregati strutturali (insieme di unità strutturali-edifici) su tutti i lati o presenza di lati liberi, caratteristiche degli accessi alla piazza, presenza di strutture speciali, tecnica costruttiva omogenea, presenza di porticati, presenza di scale o il piano di calpestio ha pendenza >8%, presenza di verde pubblico. Nelle immagini che seguono sono illustrate foto dall'alto di ogni piazza in cui in blu sono evidenziate le aree carrabili, in rosso le aree pedonali, il quadrato giallo individua eventuali dehors e il quadrato rosso i monumenti o il verde pubblico.

1) San Giovanni in Persiceto, Piazza del Popolo



<u>OUTDOOR AREA</u>	<i>Superficie</i>	<i>Percentuale</i>
Carrabile	425	22%
Pedonale	1370	72%
Unwalkable	36	2%
Dehor	70	4%
Corti	0	0%
Netta	1865	
Lorda	1901	100%

Figura 43: rappresentazione in pianta di Piazza del Popolo e tabella con le superfici divise in funzione dell'utilizzo.

La piazza ha una forma allungata con la prevalenza di un lato rispetto all'altro, la tecnica costruttiva utilizzata in tutti i 4 aggregati strutturali (lati della piazza) è omogenea ed è la muratura portante. L'accesso alla piazza è garantito da 4 strade, non sono presenti spazi verdi o monumenti e il piano di calpestio è pianeggiante. Gli edifici speciali sono: una chiesa, un edificio governativo e il municipio (Figura 43).

2) Pescara, Piazza della Rinascita



<u>OUTDOOR AREA</u>	<i>Superficie</i>	<i>Percentuale</i>
Carrabile	1000	15%
Pedonale	5200	79%
Unwalkable	50	1%
Dehor	360	5%
Corti	0	0%
Netta	6560	
Lorda	6610	100%

Figura 44: rappresentazione in pianta di Piazza della Rinascita e tabella con le superfici divise in funzione dell'utilizzo.

Piazza della Rinascita ha una forma allungata, si può accedere ad essa grazie alla presenza di 4 strade. All'interno della piazza ci sono delle aree verdi e il piano di calpestio risulta essere pianeggiante. La maggior parte degli edifici sono di nuova costruzione e hanno una tecnica costruttiva intelaiata. Non ci sono strutture speciali (Figura 44).

3) Vercelli, Piazza Cavour

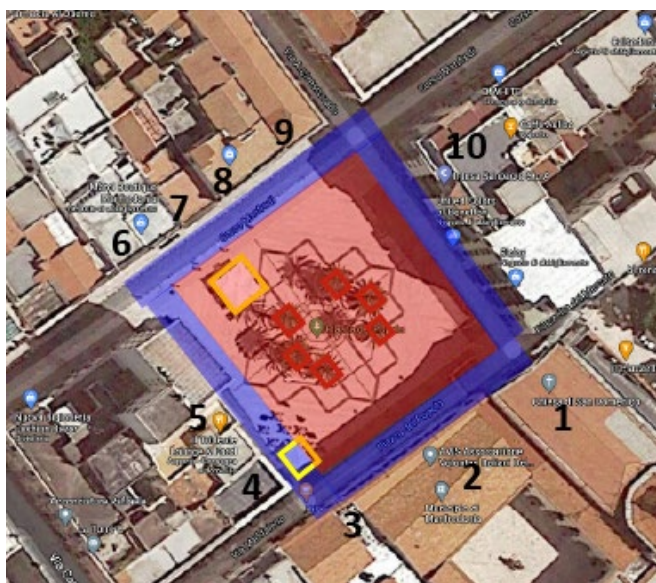


OUTDOOR AREA	Superficie	Percentuale
Carrabile	700	21%
Pedonale	2600	77%
Unwalkable	40	1%
Dehor	40	1%
Corti	0	0%
Netta	3340	
Lorda	3380	100%

Figura 45: rappresentazione in pianta di Piazza Cavour e tabella con le superfici divise in funzione dell'utilizzo.

La piazza ha una forma irregolare e caratterizzata da lati non paralleli tra loro (allungata). Quattro strade permettono l'accesso alla piazza al centro della quale troviamo un monumento. Gli aggregati strutturali sono caratterizzati da una tecnica costruttiva omogenea (muratura). Non ci sono edifici speciali e non ci sono aree verdi (Figura 45).

4) Manfredonia, Piazza del Popolo



OUTDOOR AREA	Superficie	Percentuale
Carrabile	380	25%
Pedonale	1100	71%
Unwalkable	20	1%
Dehor	50	3%
Corti	0	0%
Netta	1530	
Lorda	1550	100%

Figura 46: rappresentazione in pianta di Piazza del Popolo e tabella con le superfici divise in funzione dell'utilizzo.

Piazza del popolo ha una forma compatta infatti i lati sono simili tra loro, presenta al suo interno delle aree verdi e il piano di calpestio è pianeggiante. Gli aggregati costruttivi non sono omogenei infatti ci sono edifici in pietra ed edifici intelaiati. E' presente una chiesa (Figura 46).

5) Pesaro, Piazza del Popolo



OUTDOOR AREA	Superficie	Percentuale
Carrabile	1220	33%
Pedonale	2450	65%
Unwalkable	30	1%
Dehor	50	1%
Corti	0	0%
Netta	3720	
Lorda	3750	100%

Figura 47: rappresentazione in pianta di Piazza del Popolo e tabella con le superfici divise in funzione dell'utilizzo.

La piazza ha una forma allungata ed è possibile accedervi grazie a 6 strade. Gli aggregati strutturali presentano tecniche costruttive omogenee in muratura e l'edificio 4G presenta al piano terra un'area adibita a portico, non ci sono aree verdi e il piano di calpestio è pianeggiante. Nella piazza è presente un edificio governativo e un monumento (Figura 47).

6) Lodi, Piazza della Vittoria

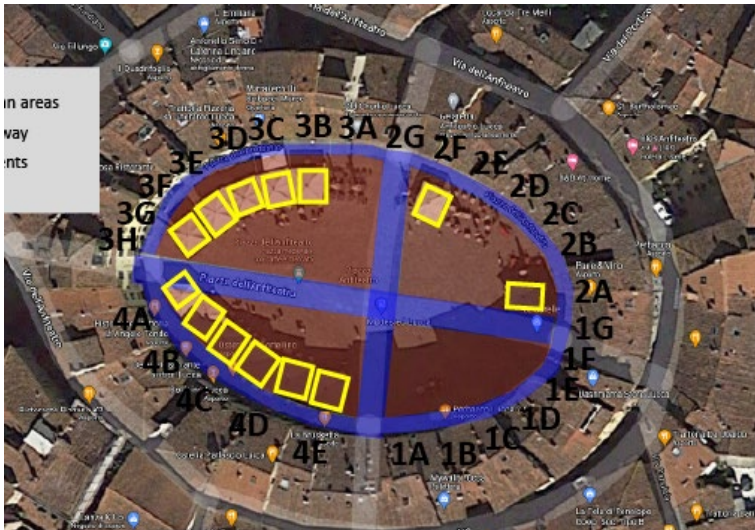


OUTDOOR AREA	Superficie	Percentuale
Carrabile	1300	31%
Pedonale	2900	69%
Unwalkable	20	0%
Dehor	0	0%
Corti	0	0%
Netta	4200	
Lorda	4220	100%

Figura 48: rappresentazione in pianta di Piazza della Vittoria e tabella con le superfici divise in funzione dell'utilizzo.

La piazza ha forma compatta e gli aggregati strutturali sono omogenei (muratura). Non sono presenti aree verdi, il piano di calpestio è pianeggiante e su tutti i lati sono presenti al piano terra i portici. È presente un edificio speciale: chiesa (Figura 48).

7) Lucca, Piazza dell'Anfiteatro



OUTDOOR AREA	Superficie	Percentuale
Carrabile	520	16%
Pedonale	1930	59%
Unwalkable	0	0%
Dehor	840	26%
Corti	0	0%
Netta	3290	
Lorda	3290	100%

Figura 49: rappresentazione in pianta di Piazza dell'Anfiteatro e tabella con le superfici divise in funzione dell'utilizzo.

Piazza dell'anfiteatro è caratterizzata da una forma ovale (allungata), gli aggregati strutturali sono tutti in muratura, il piano di calpestio è pianeggiante e non ci sono aree verdi. Non ci sono edifici speciali (Figura 49).

8) Brindisi, Piazza Duomo

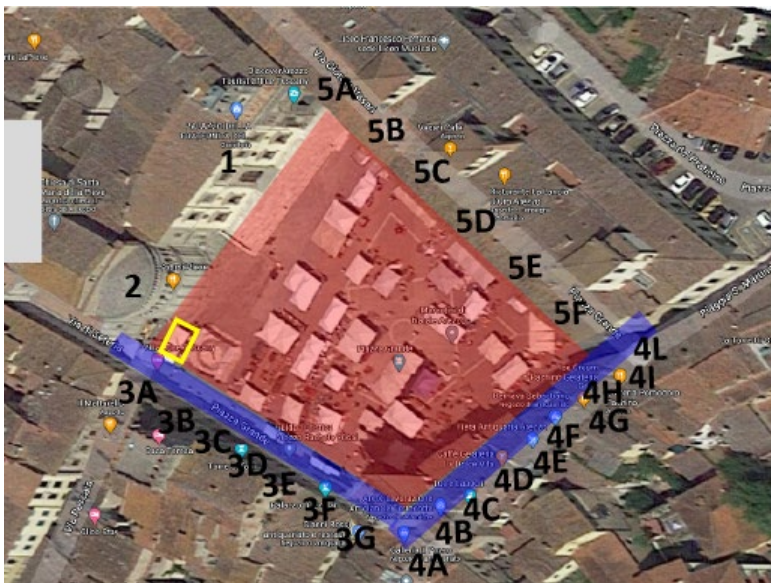


OUTDOOR AREA	Superficie	Percentuale
Carrabile	130	13%
Pedonale	890	86%
Unwalkable	10	1%
Dehor	0	0%
Corti	0	0%
Netta	1020	
Lorda	1030	100%

Figura 50: rappresentazione in pianta di Piazza Duomo e tabella con le superfici divise in funzione dell'utilizzo.

La piazza ha una forma compatta con aggregati strutturali costruiti in pietra e muratura. C'è un monumento all'interno dell'area della piazza ma non ci sono aree verdi e la superficie risulta pianeggiante. Gli edifici sensibili sono una chiesa e un museo (Figura 50).

9) Arezzo, Piazza Grande

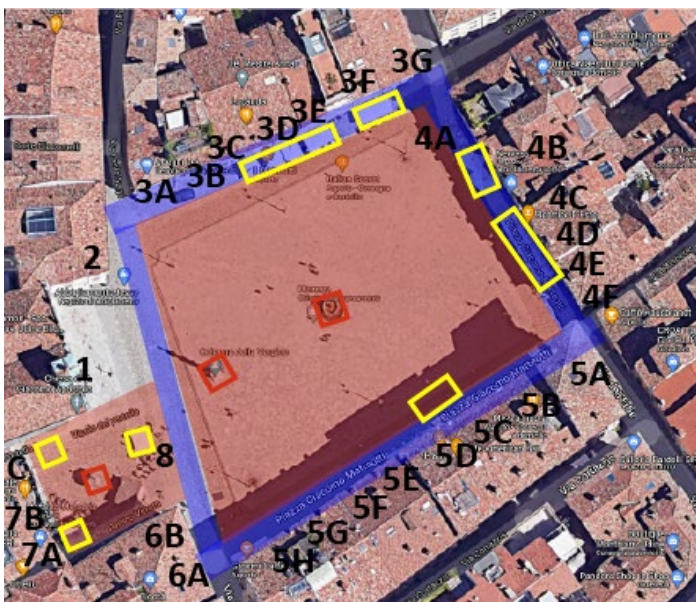


OUTDOOR AREA	Superficie	Percentuale
Carrabile	560	18%
Pedonale	2600	82%
Unwalkable	0	0%
Dehor	0	0%
Corti	0	0%
Netta	3160	
Lorda	3160	100%

Figura 51: rappresentazione in pianta di Piazza Grande e tabella con le superfici divise in funzione dell'utilizzo.

Piazza Grande in Figura 51 ha una forma compatta ed è caratterizzata da aggregati strutturali omogenei in pietra. Gli accessi alla piazza sono garantiti da 5 strade, non sono presenti aree verdi e il piano di calpestio non è pianeggiante ma ha una pendenza $<8\%$. Sono presenti 5 musei nella piazza e uno dei 4 lati ha dei portici.

10) Udine, Piazza Matteotti



OUTDOOR AREA	Superficie	Percentuale
Carrabile	780	25%
Pedonale	2050	65%
Unwalkable	25	1%
Dehor	320	10%
Corti	0	0%
Netta	3150	
Lorda	3175	100%

Figura 52: rappresentazione in pianta di Piazza Matteotti e tabella con le superfici divise in funzione dell'utilizzo.

Piazza Matteotti ha una forma allungata, gli aggregati strutturali sono in muratura e all'interno della piazza ci sono diversi monumenti ma non ci sono aree verdi. Il piano di calpestio è pianeggiante ed è presente una Chiesa nella piazza, 3 lati su 4 hanno dei portici. (Figura 52)

11) Imperia, Piazza San Giovanni

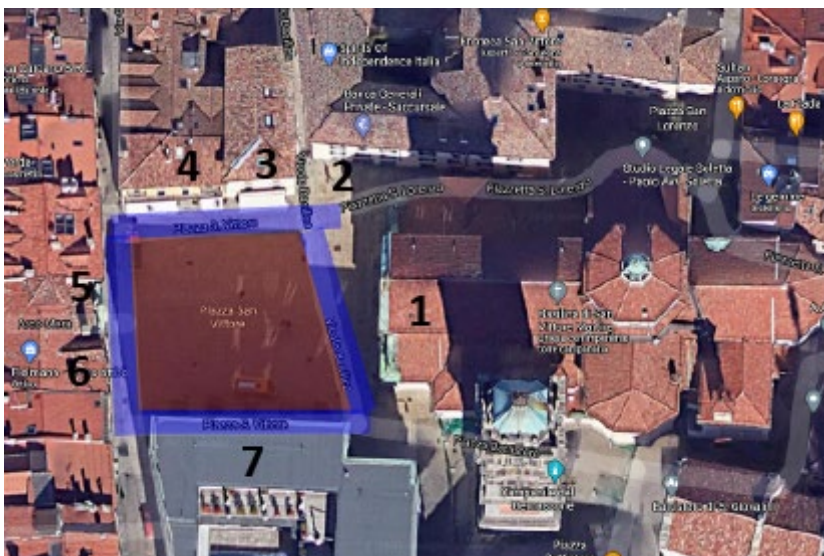


OUTDOOR AREA	Superficie	Percentuale
Carrabile	240	34%
Pedonale	460	66%
Unwalkable	0	0%
Dehor	0	0%
Corti	0	0%
Netta	700	
Lorda	700	100%

Figura 53: rappresentazione in pianta di Piazza San Giovanni e tabella con le superfici divise in funzione dell'utilizzo.

La piazza ha una forma allungata e gli aggregati strutturali sono omogenei (muratura). La piazza è pianeggiante, non sono presenti aree verdi ma è presente una chiesa (Figura 53).

12) Varese, Piazza San Vittore



OUTDOOR AREA	Superficie	Percentuale
Carrabile	300	33%
Pedonale	600	67%
Unwalkable	0	0%
Dehor	0	0%
Corti	0	0%
Netta	900	
Lorda	900	100%

Figura 54: rappresentazione in pianta di Piazza San Vittore e tabella con le superfici divise in funzione dell'utilizzo..

Piazza San Vittore ha una forma compatta e gli aggregati strutturali sono in muratura, l'accesso ad essa è garantito da 4 strade, non ci sono aree adibite a verde pubblico e il piano di calpestio è pianeggiante. È presente una struttura sensibile ovvero una chiesa. (Figura 54)

13) Catania, Piazza Università



OUTDOOR AREA	Superficie	Percentuale
Carrabile	881	23%
Pedonale	2700	72%
Unwalkable	80	2%
Dehor	90	2%
Corti	0	0%
Netta	3671	
Lorda	3751	100%

Figura 55: rappresentazione in pianta di Piazza Università e tabella con le superfici divise in funzione dell'utilizzo.

La piazza è compatta, gli edifici dei quattro lati sono tutti in muratura portante e l'accesso alla piazza è garantito mediante 6 strade. All'interno della piazza possiamo trovare 4 spazi verdi e il piano di calpestio è pianeggiante. L'edificio 5 è una struttura speciale (Università). (Figura 55)

Ringraziamenti

Desidero ringraziare, per questo traguardo raggiunto, il professore Gabriele Bernardini per il supporto che mi ha dato durante tutto il periodo di tirocinio e di scrittura della tesi, un grande esempio di professionalità e di competenza.

Ringrazio anche tutti i miei amici e compagni di corso per la loro comprensione e vicinanza nei momenti più difficili di questo percorso.

Un ringraziamento speciale va a tutta la mia famiglia e in particolare a mia mamma, donna piena di grinta e tenacia che mi ha sempre spronata ad andare avanti e sostenuta in tutte le occasioni.

Bibliografia

1. <https://www.bes2ecure.net/wp3>. [Online]
2. *Analisi Di Vulnerabilità E Rischio Sismico Degli Edifici Monumentali*. Lagomarsino, S. e Podestà, S. 2002.
3. *Seismic risk of Open Spaces in Historic Built Environments: A matrix-based approach for emergency management and disaster response*, *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 65 (2021) 102552. Bernabei, L., et al. doi:10.1016/j.ijdr.2021.102552.
4. *How to create seismic risk scenarios in historic built environment using rapid data collection and managing*, *Journal of Cultural Heritage*. Quagliarini, E., M., Lucesoli e G., Bernardini. 48 (2021) 93–105. doi:10.1016/j.culher.2020.12.007.
5. *Built Environment Typologies Prone to Risk: A Cluster Analysis of Open Spaces in Italian Cities, Sustainability*. A. D'Amico, M. Russo, M. Angelosanti, G. Bernardini, D. Vicari, E. Quagliarini, E. Currà. 13 (2021) 9457. doi:10.3390/su13169457,
6. *Towards creating a combined database for earthquake pedestrians' evacuation models*. Bernardini G, Quagliarini E, D'Orazio M. 82 (2016) 77–94. doi:10.1016/j.ssci.2015.09.001.7,
7. Giovanni, Mochi e Bernabei, Letizia. “(make) Built Environment Safer in Slow and Emergency Conditions through Behavior Assessed/Designed Resilient Solutions”. BE S2ECURE project D 3.1.1 | BETs Definition and Representation Report; 2021; Working Report (draft) from BE S2ECURE Research project .
8. *The Use of a Large-Scale Seismic Vulnerability Assessment Approach for Masonry Façade Walls as an Effective Tool for Evaluating, Managing and Mitigating Seismic Risk in Historical Centers*. J.L.P., Aguado, T.M., Ferreira e P.B., Lourenço. 12 (2018) 1259–1275. doi:10.1080/15583058.2018.1503366,
9. *Strumenti per la gestione dell'emergenza nei centri storici*. Bernardini, G, Quagliarini, E e D'Orazio, M. 2018.
10. *La vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi. Una proposta per il costruito storico*, Edicom. Mochi G, Predari G. 2016.
11. *L'approccio urbanistico alla riduzione del rischio sismico. Rischio sismico e pianificazione nei centri storici Metodologie ed esperienze in Emilia-Romagna, Allinea, Firenze*. Cremonini, I. 1994.
12. *Regione Umbria. Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra Urbanistica. Quaderni*. Olivieri, M (a cura di) Regione Umbria. 2004.
13. *Seismic vulnerability and urban morphology, tools for urban and building integration in: G. Strappa, A.R.D. Amato, A. Camporeale (Eds.), City as Organism. New Visions for Urban Life, I, U+D, Rome, Italy, 2016: pp. 473–484. . Currà, E, A. D'Amico, M.M. Nettekoven. 2016. https://www.researchgate.net/publication/305758341_Seismic_vulnerability_and_urban_morphology_tools_for_urban_and_building_integration..*
14. *Video-based analysis of school students' emergency evacuation behavior in earthquakes*. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. Gu Z., Liu, N. Shiwakoti, M. Yang,. 2016. 18 (2016) 1–11. doi:10.1016/j.ijdr.2016.05.008..

15. D’Orazio M *EPES – Earthquake pedestrians evacuation simulator: A tool for predicting earthquake pedestrians evacuation in urban outdoor scenario*. D’Orazio M., E. Quagliarini, G. Bernardini, L. Spalazzi. 2014. 10 (2014) 153–177. doi:10.1016/j.ijdr.2014.08.002.
16. *Bellomo N Human behaviours in evacuation crowd dynamics: From modelling to “big data” toward crisis management*. Bellomo N., D. Clarke, L. Gibelli, P. Townsend, B.J. Vreugdenhil. (2016). doi:10.1016/j.plrev.2016.05.014.
17. *Pedestrian, Crowd and Evacuation Dynamics Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. D, Helbing e AF, Johansson. 16 (2010) 6476–6495.
18. *New methodology for urban seismic risk assessment from a holistic perspective, Bulletin of Earthquake Engineering*. M.L., Carreño, O.D., Cardona e A.H., Barba. 10 (2011) 547–565. doi:10.1007/s10518-011-9302-2..
19. *Seismic hazard and risk assessment: a review of state-of-the-art traditional and GIS models, Arabian Journal of Geosciences*. R., Jena, et al. 13 (2020) 50. doi:10.1007/s12517-019-5012-x..
20. WP3–Representative models of Built Environment . *bes2ecure*. [Online] https://a84aa0b6-024f-48e7-90fe-6083fa13ce6f.filesusr.com/ugd/ac84c9_1ec2fd3ce677415ba580f5ab433f3482.pdf.
21. *Vulnerability: A conceptual and methodological review*. J.C., Villagràn De León. 2006. <http://collections.unu.edu/eserv/UNU:1871/pdf3904.pdf>..
22. *Agent-based model for earthquake pedestrians’evacuation in urban outdoor scenarios: Behavioural patterns definition and evacuation paths choice, Safety Science*. D’Orazio M, Spalazzi L, Quagliarini E, Bernardini G. 62 (2014) 450–465. .
23. *Determinants of risk: Exposure and vulnerability. Determinants of risk: Exposure and vulnerability, Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cardona OD, Van Aalst MK, Birkmann J M. Fordham, G. Mc Gregor, P. Rosa, R.S. Pulwarty, E.L.F. Schipper, B.T. Sinh, H. Décamps, M. Keim, I. Davis, K.L. Ebi, A. Lavell, R. Mechler, V. Murray, M. Pelling, J. Pohl, A.O. Smith, F. Thomalla., 9781107025 (2012) 65–108. doi:10.1017/CBO9781139177245.005.
24. *Governing Boring Apocalypses: A new typology of existential vulnerabilities and exposures for existential risk research, Futures*. Liu, HY, Lauta, KC e Maas, MM. 102 (2018) 6–19. doi:10.1016/j.futures.2018.04.009..
25. *Presentation of RISK-UE Project. Bulletin of Earthquake Engineering*. Mouroux P, Le Brun B. 4 (2006) 323–339. doi:10.1007/s10518-006-9020-3.
26. UNISDR Science and Technology Conference on the implementation of the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction Side Event on Bioethics and Ethics of Science and Technology in DRR,. (2016) 1–7. 2015.
27. *Spatiotemporal distribution characteristics and mechanism analysis of urban Spatiotemporal distribution characteristics and mechanism analysis of urban population density: A case of Xi’an, Shaanxi, China, Cities*. J, Li, et al. 2019. 86 (2019) 62–70. doi:10.1016/j.cities.2018.12.008..
28. *A hazard-human coupled model (HazardCM) to assess city dynamic A hazard-human coupled model (HazardCM) to assess city dynamic exposure to rainfall-triggered natural hazards,*

- Environmental Modelling & Software*. Dai Q, Zhu X, Zhuo L, D. Han, Z. Liu, S. Zhang., 127 (2020) 104684. doi:10.1016/j.envsoft.2020.104684.
29. *Earthquake population loss estimation using spatial modelling and survey data: The Bam earthquake, 2003, Iran. Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. Hassanzadeh, R. 116 (2019) 421–435. doi:10.1016/j.soildyn.2018.09.023.
30. *Integrating human behaviour and building vulnerability for the assessment and mitigation of seismic risk in historic centres: Proposal of a holistic human-centred simulation-based approach, International Journal of Disaster Risk Reduction*. A, Zlateski, et al. 43 (2020) 101392. doi:10.1016/j.ijdr.2019.101392..
31. *Estimating pedestrian speed using aggregated literature data, Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*. Bosina, E. e Weidmann, U. 468 (2017) 1–29. doi:10.1016/j.physa.2016.09.044..
32. *google maps* . [Online] <https://www.google.it/maps> .
33. *calcmaps*. [Online] <https://www.calcmaps.com/it/>.
34.
[https://www.adobe.com/it/products/illustrator.html?mv=search&mv=search&sdid=KCJMVLF6IVEOh3Ch2SjAr7EAAAYASAAEgIdRvD_BwE:G:s&s_kwcid=AL!3085!3!340618301712!e!!g!!illustrator!1478761148!58366715678&gclid=EA!aIQobChMI1JqR2OTC8wIVEOh3Ch2SjAr7EAAAYA SAAEgIdRvD_BwE]
35. *tuttitalia*. [Online] <https://www.tuttitalia.it/>.
36. *Desirable streets: Using deviations in pedestrian trajectories to measure the value of the built environment. Computers, Environment and Urban Systems*. Salazar Miranda A, Fan Z, Duarte F, Ratti C. 86 (2021) 101563. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2020.101563..
37. *The influence of slope on walking activity and the pedestrian modal share, Transportation Research Procedia*. . Meeder M, Aebi T, Weidmann U. 27 (2017) 141–147. doi:10.1016/j.trpro.2017.12.095.
38. *Human behavior and the principle of least effort. Journal of Clinical Psychology*. Zipf, G.K. 6 (1950) 306. doi:10.1002/1097-4679(195007)6:3<306::AID-JCLP2270060331>3.0.CO;2-7..
39. *Risk Analysis: A Focus on Urban Exposure Estimation. In: Computational Science and Its Applications*. De Lotto R, Pietra C, Venco EM. 2019. – ICCSA 2019, Springer, Cham, 2019: pp. 407–423. doi:10.1007/978-3-030-24296-1_33..
40. Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Manuale per l'analisi della condizione limite dell'emergenza (CLE) dell'insediamento urbano, 1st ed., Roma, 2014. [Online] <https://www.protezionecivile.gov.it/it/approfondimento/analisi-della-condizione-limite-per-l-emergenza--cle->.
41. *New York City Pedestrian Level of Service Study–Phase I. New York, NY, USA*. Bloomberg M, Burden A. 2006. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.233.1588&rep=rep1&type=pdf> (accessed November 15, 2014)..

42. *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.* Yıldız B, Çağdaş G. 169 (2020) 106597. doi:10.1016/j.buildenv.2019.106597..

43. *An agent-based model of public space use. Computers, Environment and Urban Systems.* K, Cheliotis. 81 (2020) 101476. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2020.101476..