

# Planning emergency in historical centres: from vulnerability to the definition of urban risk maps

Silvia Santarelli\*

---

## Highlights

The study focuses on earthquake emergency in historical scenarios. The proposed method adopts simple and quick information about buildings and streets (e.g.: typology, geometry). The obtained indices assess the vulnerability (both on absolute and relative scale) and the practicability of paths within the centres. Indices can be organized into risk maps of the centre, concerning different damage scenarios in function of the analysed earthquake severity. Obtained results represent a useful tool for help planners to design earthquake risk mitigation solutions, studied on the specific features of the analysed historical centre.

---

## Abstract

Historical centres are high-risk scenarios for evacuees during earthquake emergency. Herein, the preventive identification of criticalities concerning the emergency paths is important to preserve evacuees' and rescuers' safety and design effective risk mitigation solutions. This study proposes new indices for the quick evaluation of paths' vulnerability and of possible debris amounts blocking the evacuation paths within the historical centre. Furthermore, starting from the obtained indices, the study produces probabilistic risk maps of the centre useful before and after emergency to plan the safe paths for evacuees and rescuers, design emergency operations and resource allocation.

---

## Keywords

Seismic emergency, Historical heritage, Vulnerability, Risk maps, Evacuation

---

## 1. INTRODUCTION

In case of earthquake emergency in historical centres, the evacuees' safety, the evacuation process and its success are influenced by the surrounding damaged urban system [1], [2]. Since its high vulnerability and complexity, the historical built heritage could negatively affect the safety and availability of urban paths (e.g.: reductions and obstructions of streets caused by debris) producing high risks for evacuees and rescuers [3]–[5]. Particularly, evacuation paths play a central role immediately after the seism: they are used by population to reach safe zones or to wait helps, but, they are used by rescuers and emergency vehicles too. For these reasons, the features of buildings and paths, their respective influence and the derivable criticalities, should be carefully enquiry

### Silvia Santarelli

DICEA - Dipartimento di  
Ingegneria Civile, Edile e  
Architettura, Università  
Politecnica delle Marche, via  
Brecce Bianche 12, Ancona,  
60131, Italia

\* Corresponding author  
Tel.: +39-0712204246;  
e-mail:  
s.santarelli@pm.univpm.it

to detect the evacuees' safety and produce effective risk mitigation strategies. The present study starts from the assumption that the damage of path itself (e.g.: cracks, landslides, subsidence or explosion of underground lifelines) does not exclude the emergency pedestrian evacuation [5], [6]. Hence, it focuses on paths' safety due to the performance of surrounding elements. With the current work, we want to introduce new tools for the assessment of emergency paths' criticalities caused by the surrounding buildings. The method proposes quick indices concerning the combined building-street vulnerability and the probable paths' obstructions related to different earthquake severities. Indices and consequent urban risk maps are produced processing simple and easy to know information about geometries and typologies of buildings and paths. The obtained results could represent a help for the emergency planner (both before and after the seismic event) since they offer a whole representation of the centre highlighting critical points and paths, on which design "customized" solutions and strategies.

## 2. STATE OF THE ART

During post-earthquake evacuation, people's safety and rescue operations are strictly correlated to the vulnerability and damage of surrounding environment. Particularly, in historical centres, evacuation paths and related facing buildings need a punctual assessment since they are the elements principally influencing safety in post-earthquake damaged scenario [1], [7].

How about the paths network vulnerability, some studies distinguish between intrinsic and extrinsic vulnerability [8]. The first concerns the elements constituent the path itself (as for example the quality and typology of street surface, foundation, embankments, bridges), with the aim to classify and compare urban paths and related specialized elements [8]–[12]. The second considers the other elements (not of the path itself) that can make the path out of order after an earthquake. Buildings facing streets are the main extrinsic elements to consider for the paths network analyses in the historical centre [7], [13]. According to Section 1, extrinsic elements are more relevant than the intrinsic ones for the assessment and design of people's safety during earthquake emergency in urban environment.

Two are the main approaches developed in literature for the assessment of the buildings' seismic vulnerability [3], [14], [15]: the analytical methods (mechanical) and the empirical methods (macroseismic). Although the analytical methods are characterized by high reliability, they need high knowledge of manufactures and high time and costs. For those reasons

## 1. INTRODUZIONE

*Specialmente nei centri storici, in caso di emergenza sismica, la sicurezza degli evacuanti, il loro processo di fuga e l'esito di questa sono influenzate dal sistema urbano circostante e inevitabilmente dal danneggiamento che questo riporta [1], [2]. Il patrimonio edificato storico, infatti, a causa delle sue caratteristiche di vulnerabilità e complessità può incidere negativamente sulla utilizzabilità dei percorsi urbani che lo attraversano (es.: riduzioni e ostruzioni delle sedi stradali causate dalle macerie), generando uno scenario ad alto rischio [3]–[5]. In particolare, le vie di esodo urbane rivestono un ruolo centrale subito dopo l'evento sismico: sono utilizzate dalla popolazione per raggiungere i luoghi sicuri o attendere i soccorsi, ma anche dai soccorritori e dai loro veicoli per attuare le operazioni di emergenza. Perciò, le caratteristiche dei sistemi edificato e viario, la loro influenza vicendevoles, le criticità generate e i possibili pericoli derivabili da queste devono essere oggetto di un attento studio al fine di produrre una realistica valutazione preventiva del rischio, con le conseguenti strategie di mitigazione e un'efficace pianificazione d'emergenza.*

*Basandosi sul fatto che il danneggiamento del percorso stesso (es.: crepe, frane, cedimenti o rottura dei servizi sotterranei) non esclude l'evacuazione pedonale delle persone [5], [6], il presente studio si focalizza sulla sicurezza dei percorsi durante l'emergenza nei centri storici, introducendo nuovi strumenti per valutare le criticità delle vie di esodo causate dagli edifici circostanti. Il lavoro valuta la sicurezza dei percorsi attraverso degli indici speditivi relativi alla vulnerabilità combinata di edificato e percorsi, e all'ostruzione dei percorsi urbani in relazione ai possibili scenari di danno e in funzione dell'intensità. I risultati ottenuti sono elaborati partendo da informazioni semplici e agevolmente reperibili sulle geometrie e tipologie di edificato e percorsi viari. Gli indici e le conseguenti mappe di rischio urbane, possono rappresentare un aiuto al pianificatore dell'emergenza, sia prima che immediatamente dopo l'evento sismico, in quanto forniscono una visione complessiva del centro storico funzionante come sistema interdipendente. Questo consente la progettazione di strumenti e strategie "su misura" per il centro storico, calibrati su modelli avanzati.*

## 2. STATO DELL'ARTE

*Durante l'evacuazione post-sisma, la sicurezza delle persone e l'efficacia dei soccorsi sono strettamente correlate alla vulnerabilità e al danno riportato dall'ambiente circostante. In particolare, nei centri storici, i percorsi di emergenza e l'edificato ad essi prospiciente necessitano di un'accurata valutazione in quanto elementi maggiormente influenti nei primi istanti dell'emergenza [1], [7]. Per quanto riguarda la vulnerabilità della rete dei percorsi, alcuni studi in letteratura distinguono tra vulnerabilità intrinseca ed estrinseca [8]. La prima considera gli elementi*

analytical methods are generally employed for the study of single structural structures or constructions with a particular historical and artistic value [15], [16]. Contrarily, the empirical (macroseismic) are quick methods, generally based on a typological approach (that can influence their reliability). They could be integrated with others buildings' details, representing further variables defined in function of the adopted method [3], [14], [15]. Empirical methods are employed both for single buildings and aggregates, representing at today the largely adopted tools for the vulnerability study at urban and territorial scales. The most common empirical methods are the fragility curves and the vulnerability curves. The fragility curves [9], [17] offer the probability to have, for a given buildings set, a given effect (e.g.: damage degree, economical loss, human loss) as function of the macroseismic intensity. Although fragility curves are a powerful and versatile tool for the comprehension of the seismic response, they cannot avoid the vulnerability index assessment and the consequent definition of vulnerability classes. Instead, vulnerability curves [15], [17] correlate hazard, in term of macroseismic intensity  $I$ , with the mean damage  $\mu_D$  (measured in EMS-98 scale) [18]. Their shape only depend by the Buildings vulnerability index  $V_I$  [10], [15], which concerns the typological, structural and constructive features of each enquired unit. Thus, it is evident as damage and vulnerability are linked to the probability  $P_k$  (see Eq. 1) that a unit presents the level of damage  $k$  given a certain  $I$  [15].  $V_I$  is an absolute scale index: it allows to compare elements on different systems. Furthermore, as that  $V_I$  is correlated to the expected mean damage, it can represent a simplified approach to the probable damage scenario definition as function of the expected earthquake severity [9], [13], [15].

$$P_k = \frac{5!}{k!(5-k)!} (0.2\mu_D)^k (1 - 0.2\mu_D)^{5-k} \quad (1)$$

As previously remarked, in the perspective of assessing seismic vulnerability of emergency paths in historical centre, the buildings should be related to the urban fabric in which they are located. In fact, several studies enquiry the emergency paths network by employing vulnerability index [10], [13] or fragility curves [9] for buildings. However, they refer to damage in a qualitative way and do not assess possible street obstructions. Other studies propose a simplified geometrical approach [7], [19], [20], whose key factors are the height  $h$  of the structural unit and the width  $L$  of facing street. The geometrical are quick methods referring to simple and easy to obtain information. However, such methods do not seem to be adequate for the historical centres. In fact, the imposed geometrical condition for path safety

costitutivi del percorso stesso, come ad esempio la qualità e la tipologia del manto stradale, delle fondazioni, degli eventuali terrapieni o ponti, con l'obiettivo di classificare e comparare i vari percorsi viari e le opere a carattere specialistico attinenti [8]–[12]. La seconda invece prende in considerazione gli elementi non appartenenti al percorso viario stesso, ma che possono tuttavia renderlo inutilizzabile a seguito di un sisma. Per le reti viarie all'interno dei centri storici, l'edificio circostante rappresenta l'elemento estrinseco principale da considerare [7], [13]. In accordo a quanto introdotto nella Sezione 1, al fine di valutare e progettare la sicurezza delle persone durante l'emergenza sismica in ambiente urbano, gli elementi di vulnerabilità estrinseca sono maggiormente rilevanti rispetto a quelli intrinseci.

Due sono gli approcci principali sviluppati dalla letteratura per la valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio [3], [14], [15]: quello analitico (meccanico) e quello empirico (macroseismico). I metodi analitici, pur essendo caratterizzati da un'alta affidabilità, necessitano di un alto livello di conoscenza del manufatto ed importanti risorse in termini di tempi e costi per l'analisi. Per tali motivi, questi metodi sono generalmente impiegati per studiare singole strutture strategicamente rilevanti o di particolare valore storico-artistico [15], [16]. Contrariamente, i metodi empirici (macroseismici) sono speditivi poiché generalmente basati su un approccio tipologico (che ne può condizionare l'affidabilità), ma sono integrabili con analisi di dettaglio delle caratteristiche specifiche dei manufatti tramite variabili ulteriori determinate dal particolare metodo adottato [3], [14], [15]. Essi vengono quindi impiegati sia per l'analisi di singoli edifici che di aggregati edilizi, e rappresentano ad oggi lo strumento più diffuso per gli studi su scala urbana e territoriale. I principali metodi empirici in uso sono quelli basati sulle curve di fragilità e quelli basati sulle curve di vulnerabilità. Le curve di fragilità [9], [17] forniscono la probabilità di avere, per un dato insieme di edifici, un determinato effetto (es.: gradi di danno, perdite economiche, perdite umane) come funzione della intensità macroseismica. Sebbene le curve di fragilità siano uno strumento potente e versatile per la comprensione della probabile risposta sismica, queste non consentono di prescindere dalla valutazione dell'indice di vulnerabilità e dalla conseguente definizione delle classi di vulnerabilità. Le curve di vulnerabilità [15], [17] correlano invece la pericolosità, misurata in termini di intensità macroseismica  $I$ , con il danno medio  $\mu_D$  (misurato in scala EMS-98)[18]. La loro forma dipende unicamente dall'Indice di vulnerabilità sismica dell'edificio  $V_I$  [10], [15], il quale racchiude le caratteristiche tipologiche, strutturali e costruttive di ogni unità indagata. Risulta evidente, perciò, come danno e vulnerabilità siano connesse dalla probabilità  $P_k$  (vedi Eq. 1) che un'unità presenti il livello di danno  $k$  data una certa intensità macroseismica  $I$  [15].  $V_I$ , essendo un indice su scala assoluta, consente il confronto di

$h/L \leq 1$  [19] is not generally verified in such places because of the inadequate proportions between path widths and facing buildings heights. Other similar approaches assess possible critical points basing on the debris depth along paths [7], [20], however they do not consider nor the buildings vulnerability, nor the earthquake severity. This means that the obtained results could be not representative of the real post-earthquake scenarios.

### 3. METHODOLOGY

The current work enquires the earthquake safety of urban paths network by three indicators: the Vulnerability index of path  $V_{str}$ , the Normalized vulnerability index of paths  $V_{str}^N$  and the Path obstruction index  $O_{str}$ . Concerning paths network, the proposed method focuses on street facing buildings since their debris can hinder evacuees and rescuers during emergency. Finally, the proposed methodology is tested on a representative case study.

#### 3.1. VULNERABILITY INDICES OF PATH

The Vulnerability index of path  $V_{str}$  combines, for each edge of the paths network, the buildings vulnerability  $V_I$  [15] and the related urban fabric layout. If the distance  $d$  [m], between the base of the façade and the nearest street margin, is minor or equal to the height  $h$  [m] of the façade itself, the building is defined as influent for the street and it falls into the buildings set analysed for the edge [19].

As shown in Eq. 2,  $V_{str}$  is the sum of  $V_I$  contributes related to the influent buildings, each one weighted for its respective geometrical incidence  $i$  (computed as ratio between the façade length  $l_{ed}$  [m] and the edge length  $l_{str}$  [m]).

$$V_{str} = \sum V_I \cdot i \quad (2)$$

In Figure 1 are represented the necessary parameters for the assessment of building influence and of the consequent geometrical incidence  $i$  for each building.

$V_{str}$  can represent the impact of several urban layouts thank to the contributes introduced by the influence condition and the incidence  $i$ . Analysing the total incidence  $i_{tot}$  of all the influent buildings along the edge, we can distinguish between the boundary cases of edge without buildings ( $i_{tot}=0$ ) and edge with both built sides ( $i_{tot}=2$ ).  $i$  quantifies the impact of the built on the edge and it introduces such information in the index  $V_{str}$ . In fact, supposing constant  $V_I$ ,

elementi appartenenti a sistemi differenti. Inoltre, essendo correlato al grado di danno medio atteso [15], esso può rappresentare in modo semplificato un possibile indicatore per la definizione dei probabili scenari di danno in funzione dell'intensità sismica attesa [9], [13], [15].

$$P_k = \frac{5!}{k!(5-k)!} (0.2\mu_D)^k (1 - 0.2\mu_D)^{5-k} \quad (1)$$

Come precedentemente rimarcato, nell'ottica di valutare la vulnerabilità sismica dei percorsi di emergenza nel centro storico, l'edificio va relazionato al tessuto urbano a cui si riferisce. Infatti, diversi studi indagano la viabilità d'emergenza impiegando indici di vulnerabilità per l'edificio [10], [13] o curve di fragilità [9], riferendosi però al danneggiamento in modo qualitativo e senza valutare la possibile ostruzione stradale. Altri studi invece adottano un approccio semplificato attraverso metodi geometrici [7], [19], [20], i cui parametri chiave sono l'altezza dell'unità strutturale  $h$  e la larghezza della sezione stradale ad essa antistante  $L$ . Questi metodi sono speditivi e si basano su informazioni facilmente reperibili. In particolare, le linee guida nazionali in materia di pianificazione d'emergenza [19] risultano non sufficienti per i centri storici in quanto la condizione limite di sicurezza imposta ( $h/L \leq 1$ ) è generalmente non verificata a causa del diffuso sbilanciamento tra larghezza dei percorsi di esodo e altezza dei fronti strada. Altri approcci simili valutano i possibili punti critici in base all'ampiezza del percorso ostruita dalle macerie [7], [20], ma senza considerare affatto la vulnerabilità del costruito e prescindendo completamente dalla severità sismica. Ciò significa che i risultati restituiti da questi metodi potrebbero non essere rappresentativi del reale scenario di danno post-sisma.

#### 3. METODOLOGIA

Il presente lavoro si propone di indagare la sicurezza sismica della rete dei percorsi urbani attraverso tre indicatori: l'Indice di vulnerabilità dei percorsi  $V_{str}$ , l'Indice normalizzato di vulnerabilità dei percorsi  $V_{str}^N$  e l'Indice di ostruzione del percorso  $O_{str}$ . Riguardando la viabilità d'emergenza, la metodologia proposta si concentra soltanto sugli edifici prospicienti i percorsi viari in quanto le loro macerie potrebbero minacciare o ostacolare evacuanti e soccorritori durante l'emergenza. Infine, il test della metodologia e degli indici proposti è stato effettuato su di un caso di studio rappresentativo.

#### 3.1. INDICI DI VULNERABILITA' DEL PERCORSO

L'Indice di vulnerabilità del percorso  $V_{str}$  pone in relazione, per ogni ramo della rete dei percorsi, la vulnerabilità  $V_I$  [15] dell'edificio e la conformazione del tessuto urbano ad esso relativo. Se la distanza  $d$  [m] tra il piede del fronte e il margine stradale più vicino è minore o uguale dell'altezza  $h$  [m] del fronte stesso, l'edificio è definito influente rispetto alla strada e rientra nel set analizzato per il ramo, altrimenti non ne farà



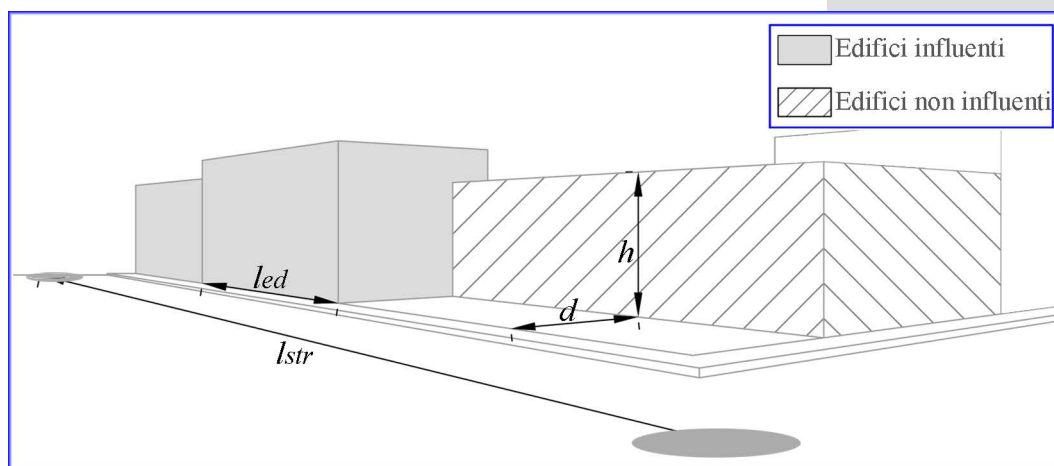


Figure 1. Representation of the parameters necessary to verify the influence condition ( $d \leq h$ ) and to compute the incidence  $i$  for the influential buildings.

higher is the buildings incidence  $i_{tot}$ , higher is the risk of the path connected to the probability to encounter debris along the street during the evacuation. Vice versa, considering two edges with the same total incidence, the edges vulnerabilities will depend by the vulnerability of the respective influential buildings. According to Eq. 2,  $V_{str}$  includes either the previous aspects and it expresses the expected risk for the edge as function of the related extrinsic elements and of the different contexts in which they are located.

The vulnerability index  $V_{str}$  produces numerical values on absolute scale. This means that paths from different scenarios or ages can be comparable. However, working within an historical centre, it could be convenient to normalize the obtained path vulnerability index and produce a sort of path vulnerability ranking valid only within the studied centre. The Normalized vulnerability index of paths  $V_{str}^N$  is obtained by dividing  $V_{str}$  for its maximum value found for the centre [10]. The advantage to work with a relative index is that it has finite limits [0, 1], useful to classify paths in descriptive macro-classes (i.e.: 0.00-0.25 low, 0.25-0.40 medium-low, 0.40-0.70 medium-high, 0.70-1.00 high) in analogy to how done by other study [10]. Furthermore, to have a relative vulnerability system could be useful for planners to design the emergency paths network and to define a priority ranking of interventions on building heritage.

### 3.2. INDEX OF PATH OBSTRUCTION

The Path obstruction index  $O_{str}$  enquires the paths' practicability after an earthquake. It forecasts the probable points where the passage of evacuees and rescuers can be denied by buildings' debris.  $O_{str}$  is based on the expected damage level of buildings  $k_{05}$  [15], [18] and on the geometrical ratio  $h/L$

parte [19].

Come mostrato nell'Eq. 2,  $V_{str}$  è la somma dei contributi  $V_i$  degli edifici influenti, ognuno pesato per la rispettiva incidenza geometrica  $i$  (calcolata in pianta come rapporto tra le lunghezze del fronte  $l_{ed}$  [m] e del ramo  $l_{str}$  [m]).

$$V_{str} = \sum V_i \cdot i \quad (2)$$

In Figura 1 sono rappresentati i parametri necessari alla valutazione dell'influenza dell'edificio sul ramo e della conseguente incidenza geometrica  $i$  di ogni edificio.

Tramite la condizione d'influenza e l'incidenza  $i$  è possibile considerare l'impatto di diversi layout urbani all'interno di  $V_{str}$ . Analizzando l'incidenza totale  $i_{tot}$  di tutti gli edifici influenti lungo in ramo, si può distinguere tra i casi estremi di ramo senza edificio ( $i_{tot}=0$ ) e di ramo con entrambi in lati interamente edificati ( $i_{tot}=2$ ).  $i$  quantifica l'influenza del costruito e dei vuoti urbani sul ramo, introducendo questa informazione all'interno dell'indice  $V_{str}$ . Infatti, ponendo  $V_i$  costante, il ramo sarà tanto più rischioso per gli evacuanti quanto più sarà incidente l'edificio su di esso ( $i_{tot}$  più elevato). Viceversa, supponendo due rami con la stessa incidenza totale, la vulnerabilità dei rami dipenderà da quella degli edifici influenti su di questi. In accordo all'Eq. 2,  $V_{str}$  include entrambi questi aspetti, esprimendo il livello di rischio atteso in quel tratto di percorso in funzione degli elementi estrinseci presenti e dei diversi contesti in cui sono inseriti.

L'indice di vulnerabilità  $V_{str}$  produce valori numerici su scala assoluta, rendendo perciò confrontabili anche percorsi appartenenti a scenari o epoche diversi. Tuttavia, lavorando all'interno dello stesso centro storico può risultare comodo normalizzare questi valori al fine di produrre una sorta di classifica relativa sulla vulnerabilità dei percorsi. Dividendo l'indice  $V_{str}$  per il massimo dei valori ottenuti all'interno del caso di studio, otteniamo l'Indice normalizzato di vulnerabilità dei percorsi  $V_{str}^N$  [10]. Il vantaggio di lavorare con un indice relativo è che questo possiede

between the building high  $h$  [m] and the width of facing street  $L$  [m] [19]. As shown in Eq. 3, when those parameters simultaneously exceed their critical limits, it could be supposed that there are both damage and context conditions so the respective street section is completely blocked [13], [20].

$$O_{str} = \begin{cases} V & \text{if } \exists \text{ building } \in \text{edge} \mid h/L \geq 1 \wedge k_{95} \geq 4^\circ \text{ EMS98} \\ F & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

How about the damage condition, according to semi-probabilistic methods [21], the study proposes to rise the safety margin of previsions by adopting the damage level corresponding to the 95th percentile of its distribution (obtained by Eq. 1). For  $k_{95}=4^\circ$ th grade of EMS-98 [18] are expected heavy structural damages (for masonry structures serious failure of walls, partial structural failure of roofs and floors), implying critical conditions in term of path operability [13].

Concerning the context condition, we impose the limit  $h/L = 1$  according to the Italian national guidelines [19]. It relates the projection of the entire building façade on the facing street, considered as the most invasive damage mechanism for the path. Moreover, to consider the unfavourable condition (in term of path free from debris) verified where the edge has either built sides, the path width  $L$  is reduced of  $1/4$  in these cases [10].

For every analysed building,  $O_{str}$  is equal to 'V' in case the related street section is blocked by debris and 'F' otherwise. Differently from  $V_{str}$ , the obstruction index can produce multiple alternative damage scenarios, different in function of the supposed macroseismic intensity  $I$  (considered in  $k_{95}$ ). In this way is possible to define a set of post-earthquake scenarios based on increasing earthquake severity, on which calibrate possible risk reduction and emergency management strategies.

### 3.3. TEST ON CASE STUDY

The proposed methodology is tested on the old maritime village of Civitanova Marche (MC), highlighted in Figure 2-A.

This case is identified as representative of the majority of old villages characterizing the Adriatic coast. In fact, it presents the peculiarity (constructive and urbanistic) of the typical costal historical centre, combined to the high human density typical of modern touristic centres.

The old maritime centre, started from a fisherman's village, was consolidated and expanded mainly during the XVIII and the XIX centuries after Christ [22].

limiti finiti [0, 1], utili perciò per classificare i percorsi in macroclassi descrittive (es : 0.00-0.25 bassa, 0.25-0.40 medio-bassa, 0.40-0.70 medio-alta, 0.70-1.00 alta), in analogia alle valutazioni tracciate da studi precedenti [10]. Inoltre, avere un sistema relativo di vulnerabilità può essere utile ai pianificatori per progettare la viabilità da garantire in emergenza e/o stabilire delle priorità d'intervento sul patrimonio edificato.

#### 3.2. INDICE DI OSTRUZIONE DEL PERCORSO

L'Indice di ostruzione del percorso  $O_{str}$  indaga la percorribilità dei percorsi dopo un sisma. Esso prevede in via probabilistica i punti in cui le macerie generate dall'edificato potrebbero ostruire completamente la sezione stradale, negando il passaggio ad evacuanti e soccorritori.  $O_{str}$  è basato sul livello di danno atteso per l'edificato  $k_{95}$  [15], [18] e sul rapporto geometrico  $h/L$  tra altezza del fronte e larghezza del percorso relativo [19]. Come mostrato nell'Eq. (3), nei casi in cui questi parametri oltrepassino contemporaneamente i rispettivi limiti critici è ragionevole supporre che si siano generate condizioni di danno e di contesto per cui la rispettiva sezione stradale sia bloccata dalle macerie, negando il passaggio a persone e mezzi [13], [20].

Per quanto riguarda la condizione di danno, in accordo ai metodi semiprobabilistici, lo studio propone di utilizzare il livello di danno legato al 95° percentile (calcolato tramite l'Eq. 1), incrementando così il margine di sicurezza della previsione [21]. Quando  $k_{95}=4^\circ$  grado EMS-98 sono attesi gravi danni strutturali (per edifici in muratura crolli gravi di pareti, parziale cedimento strutturale di tetti e pavimenti), implicando condizioni critiche in termini di operabilità a causa delle macerie prodotte [13].

Invece, per quanto riguarda la condizione di contesto, è stato posto il limite  $h/L=1$  in accordo alle linee guida nazionali [19]. Questo infatti fa riferimento al meccanismo di danno maggiormente invasivo dato dalla proiezione dell'intera facciata sul percorso antistante. Inoltre, per considerare la penalizzazione (in termini di percorso libero da macerie) presente in caso di tronchi con entrambi i lati edificati, la larghezza del percorso  $L$  [m] viene ridotta di  $1/4$  qualora questa si presenti [10].

Per ogni edificio analizzato,  $O_{str}$  assume il carattere 'V' in caso di corrispondente sezione stradale completamente ostruita e 'F' in caso contrario. Differentemente da  $V_{str}$  l'indice di ostruzione può generare molteplici scenari di danno alternativi, differenti in funzione dell'intensità macroseismica  $I$  presupposta (considerata in  $k_{95}$ ). Questo consente di definire un set di scenari di danno a severità crescente su cui calibrare le possibili strategie di riduzione del rischio e gestione dell'emergenza.

#### 3.3. TEST SU CASO DI STUDIO

La metodologia proposta è stata testata sul caso di studio del borgo marinaro di Civitanova Marche (MC) evidenziato in Figura 2-A. Esso è identificato come rappresentativo

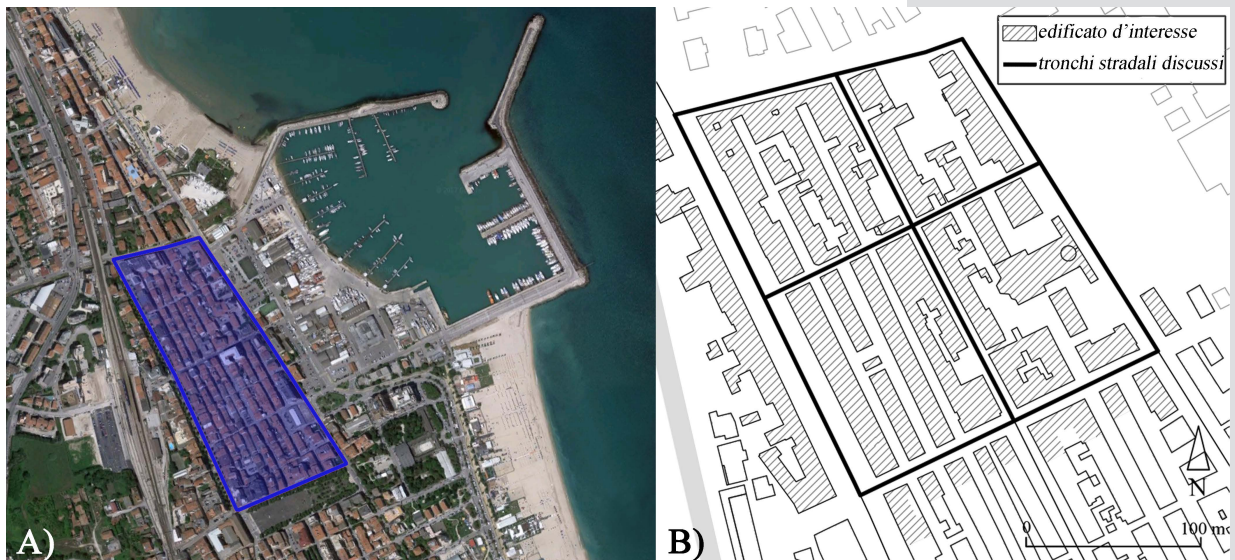


Figure 2. Presentation of the case study. In Figure 2-A the blue area indicates the perimeter of the old maritime village within the urban context. Figure 2-B shows the edges of paths network and the related influent buildings used for the test.

The characteristic buildings of this period are load-bearing walls structures of masonry and stone, generally developed on two floors. During the time some units have been partially or completely renovated and today they are a set of typologically heterogeneous buildings. From the urban fabric point of view, the old maritime village presents a compact layout mainly composed by terraced buildings. The aggregates are regularly divided by vehicular and pedestrian paths, especially at the borders of the blocks. Inspired by its Roman origin [22], this part of city has preserved the road system with orthogonal axes oriented by cardo and decumano. Vertically, the high ratio  $h/L$ , generally characterizing the historical centres, is widely present in this zone. Seismically, Civitanova Marche falls into the class 2 of the national seismic zonation, characterized by a medium-high hazard (expected PGA between 0.175-0.200g with a RT of 475 years - source: <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, last access 20/01/2017).

Figure 2-B shows the edges of the paths network (within the old maritime village) analysed and discussed in this work. Such edges have been chosen to represent the main typologies encountered in the complete analyses of the case study. Moreover, to advantage the clarity of presentation, the discussed results are organized grouping paths with similar features. The three obtained main categories are [4]:

- paths with either built sides;
- paths with only one built side and obstacles to pedestrians' passage on the other side (e.g.: wall, fences, embankments);
- paths with a built side and no obstacles to pedestrians' passage on the other side.

della maggior parte dei centri urbani che caratterizzano la riviera Adriatica in quanto coniuga le peculiarità (costruttive e urbanistiche) del tipico centro storico costiero con i caratteri di alta densità umana (sia residenziale che non) tipica dei centri turistici (i.e.: balneari) odierni. Il borgo marinaro nasce da un villaggio di pescatori successivamente consolidato ed espanso principalmente tra il XVIII e il XIX secolo d.c. [22]. Gli edifici caratteristici sorti in questo periodo sono a muri portanti in mattoni pieni e pietra, generalmente sviluppati su massimo due piani in altezza. Ad oggi si presentano come un insieme tipologicamente eterogeneo in quanto nel corso del tempo alcune unità sono state completamente o parzialmente ristrutturate. Dal punto di vista del tessuto urbano il borgo marinaro presenta un edificato compatto, composto generalmente da aggregati strutturali a schiera intervallati da percorsi carrabili e/o pedonali in modo relativamente regolare, soprattutto lungo i perimetri degli isolati. Risalendo ad origini romane [22], questa porzione di città ha mantenuto nel tempo l'impianto viario ad assi ortogonali orientati secondo cardo e decumano. In alzato, l'alto rapporto  $h/L$  tra l'altezza dei fronti e la larghezza dei percorsi antistanti, che generalmente caratterizza gli impianti storici, è diffusamente presente in questa zona. Sismicamente Civitanova Marche rientra nella classe 2 della zonazione sismica nazionale, caratterizzata da pericolosità medio-alta (PGA attesa tra 0.175-0.200g in un TR pari a 475 anni - fonte: <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, ultimo accesso 20/01/2017).

Figura 2-B mostra i rami della rete viaria, all'interno del borgo marinaro, analizzati e discussi nel presente lavoro. Questi rami sono stati scelti al fine di rappresentare le tipologie principali riscontrate nell'analisi completa del caso di studio. Inoltre, per avvantaggiare la chiarezza di lettura, i risultati presentati sono stati organizzati raggruppando i



Finally, the discussed results concern the analyse of the macroseismic intensities producing damage on buildings ( $I \geq 5$ ) [18]. In this work, are represented as example only the post-earthquake damage scenario (maps) for  $I=8$  because this is the maximum intensity expected for Civitanova Marche on the base of historical data ([http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/query\\_place/places/CivitanovaMarche\\_51703.htm](http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/query_place/places/CivitanovaMarche_51703.htm)).

## 4. RESULTS

As exposed in Section 3.1, basing on the vulnerability  $V_i$  of influent buildings, we computed the values of the vulnerabilities and obstruction indices proposed by the current study. Figure 3 shows the graphical and numerical results for the Paths' vulnerability indices related to the edges discussed in this work, each one identified by the number of respective boundary nodes.

The values of  $V_{str}$  and  $V_{str}^N$  represent, respectively on absolute and relative scale, the path propensity to earthquake damage caused by extrinsic elements and function of the urban context. Either these indices could be employed for the risk assessment and related planning of mitigation strategies: they can suggest the priority of intervention on buildings heritage or used as indicator for the designing of evacuees' and rescuers' emergency paths.  $V_{str}$  and  $V_{str}^N$  are independent from the seismic severity, for that reason they offer 'static' post-earthquake scenarios.

Contrarily,  $O_{str}$  considers the macroseismic intensity  $I$  and offers different probabilistic damage scenarios, representative of alternative earthquake severities. The  $O_{str}$ , corresponding to each influent building along the studied edges, have been computed employing the respective  $k_{g5}$  and  $h/L$  as in Eq.3. The obtained results highlight that the first paths' obstructions for the case study (shown in Figure 4) occur for  $I=8$ . The obstructions exponentially increase as the macroseismic intensity increase since the scenario is saturated ( $I=10$ ). It means that the buildings' damage (and related debris) increase over the intensity of saturation but the potential obstruction points for the scenario are all consumed.

Results obtained for the main path typologies (defined in Section 3.3) highlight that:

- paths with either built sides (edges 1-4, 2-5) produce the first obstructions over a given level of intensity  $I$ . This level depends both by the extrinsic elements vulnerability and by the urban layout, thus it is variable for each edge of the network following its features;
- paths with only one built side and obstacles to pedestrians' passage on the other side (edges 1-2, 2-3) are comparable to the previous typology, but,

*percorsi con caratteristiche simili in un'unica tipologia, delineando così tre categorie principali [4]:*

- percorsi con entrambi i lati edificati;
- percorsi con un lato edificato e ostacoli al passaggio pedonale dall'altro lato (es.: muri, recinzioni, terrapieni superficiali o interrati);
- percorsi con un lato edificato e nessun ostacolo al passaggio pedonale dall'altro lato.

*Infine, i risultati discussi nel presente studio riguardano l'analisi delle sole Intensità macrosismiche in grado di produrre danni sull'edificato ( $I \geq 5$ ) [18]. A scopo esemplificativo sono stati rappresentati soltanto gli scenari di danno riguardanti  $I=8$  in quanto questa rappresenta la massima intensità attesa per il comune di Civitanova Marche sulla base dei dati storici riscontrati ([http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/query\\_place/places/CivitanovaMarche\\_51703.htm](http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/query_place/places/CivitanovaMarche_51703.htm)).*

### 4. RISULTATI

*Come esposto nella Sezione 3.1, sulla base degli Indici di vulnerabilità dell'edificato  $V_i$  riscontrati per gli edifici influenti nei rami analizzati, sono stati prodotti gli indici di vulnerabilità e di ostruzione dei percorsi proposti dallo studio. Figura 3 riporta i risultati grafici e numerici per gli indici di vulnerabilità  $V_{str}$  e  $V_{str}^N$  relativi ai rami viari discussi in questo studio, contraddistinti dal numero dei nodi alle rispettive estremità.*

*I valori assunti dagli indici  $V_{str}$  e  $V_{str}^N$  rappresentano, rispettivamente in modo assoluto e relativo, la propensione del percorso al danneggiamento sismico, causato dagli elementi estrinseci presenti in funzione del contesto urbano. Entrambi questi indici possono essere impiegati in fase di valutazione del rischio e pianificazione delle strategie di mitigazione come suggerimento circa la priorità degli interventi sull'edificato o come indicatore per elaborare la viabilità d'emergenza di evacuanti e soccorritori. Questi indici sono indipendenti dalla severità sismica, restituendo così degli scenari post-sisma 'statici'.*

*Contrariamente, l'Indice di ostruzione dei percorsi  $O_{str}$  utilizza l'intensità macrosismica  $I$  al fine di restituire diversi scenari probabilistici di danno, rappresentativi di severità sismiche alternative. Utilizzando i parametri  $k_{g5}$  e  $h/L$  degli edifici influenti sui tronchi analizzati, è stato calcolato  $O_{str}$  per ogni unità lungo i percorsi indagati come dall'Eq. 3. I risultati ottenuti mostrano come le prime ostruzioni complete delle sezioni stradali si ottengono per il caso di studio soltanto per  $I=8$  (mostrate in Figura 4). Le ostruzioni aumentano esponenzialmente al crescere dell'intensità macrosismica presupposta fino ad arrivare a saturazione dello scenario per  $I=10$ . Ciò non significa che il danno all'edificato non aumenti oltre l'intensità di saturazione, ma che i punti di potenziale ostruzione per lo scenario sono tutti esauriti.*

*I risultati riscontrati per le principali tipologie di percorso (definite alla Sezione 3.3) evidenziano che:*

- i percorsi con entrambi i lati



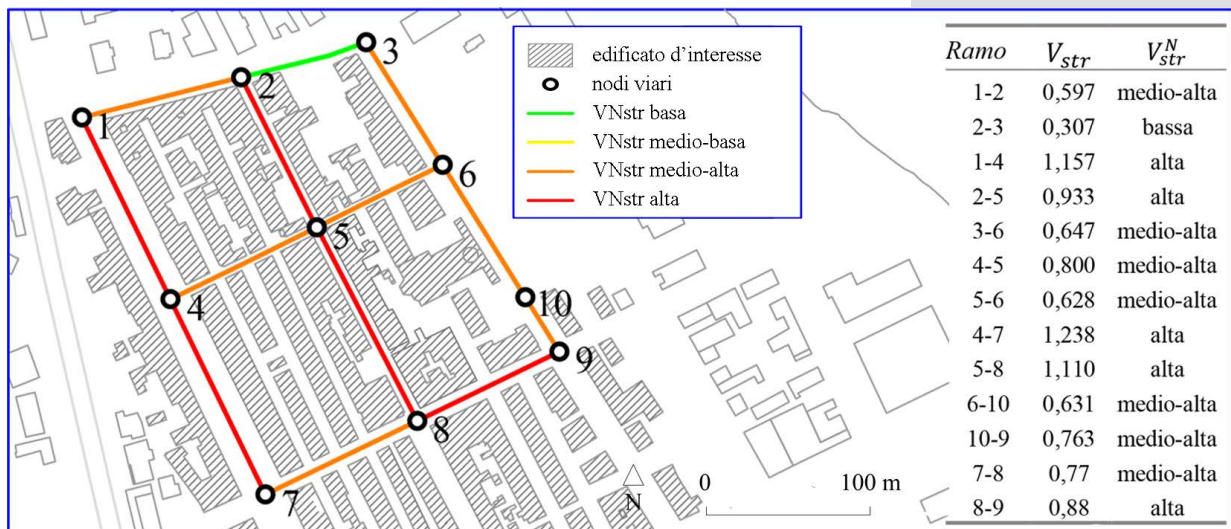


Figure 3. Graphical and numerical results related to the indices  $V_{str}$  and  $V_{str}^N$ , computed for the edges of the case study



Figure 4. Damage scenario related to the  $O_{str}$  obtained for the presented edges of the case study.

differently from it, they do not suffer the unfavourable condition (in term of practicability) introduced by either built sides. In fact, this typology is characterized by a higher level of intensity than the previous typology;

- in paths with a built side and no obstacles to pedestrians' passage on the other side (edge 3-6), the free space out of their margins can be employed for the evacuation. So, the debris amounts can be bypassed by pedestrians and vehicles. This fact is represented in the model by the very low ratio  $h/L$  characterizing edges of this typology, never exceeding the critic limits for context (thus never producing the condition  $O_{str} = V$ ).

The index  $O_{str}$  allows to analyse and know the performance of a scenario after an earthquake in function of its local features of build heritage and urban fabric.

*edificati (rami 1-4, 2-5) generano una o più ostruzioni oltre un livello soglia di intensità  $I$ . Questo dipende sia dalla vulnerabilità degli elementi estrinseci che dal layout urbano ed è perciò variabile per ogni ramo del percorso secondo le sue caratteristiche;*

- *i percorsi con un solo lato edificato e ostacoli al passaggio pedonale dall'altro (rami 1-2, 2-3) sono comparabili con la tipologia precedente, ma, a differenza dei precedenti, non accusando la condizione peggiorativa generata dall'edificato lungo entrambi i lati, sono caratterizzati da una soglia d'intensità macrosismica sopportata generalmente maggiore rispetto ai rami della tipologia precedente;*
- *nei percorsi con un lato edificato e nessun ostacolo al passaggio pedonale dall'altro (ramo 3-6), lo spazio libero fuori dalla sezione stradale può essere utilizzato per l'evacuazione aggirando così i*

Combining indices  $V_{str}$ ,  $V_{str}^N$  and  $O_{str}$  is possible to produce a risk map (net of exposition factor), evidencing critical points and paths for the analysed historical centre. On the base of obtained results, it can be possible to identify the emergency evacuation paths and the preferred ways for rescuers' vehicles, to plan punctual interventions improving the safety level of the centre and planning the emergency following a probabilistic approach on multiple scenarios. Finally, matching the previously risk map with data about the human presence within the centre, it will be possible to highlight the 'hot' zones during evacuation and the most crowded safe areas on which dedicate adequate resources.

## 5. CONCLUSIONS

In urban centres, the paths network plays a central role for evacuees and rescuers during the first moments of an earthquake emergency. Especially in historical centres, their unfavourable conditions (e.g.: high vulnerability, complex and compact urban fabric) define a high-risk scenario. In such places the risk and the practicability of the paths depend mostly on the damage accused from the elements nearest the streets and on the probability that evacuees and rescue encountered debris obstruction during the emergency.

The current study proposes a quick method for the preventive assessment of the paths' vulnerability and obstructions due to the damaging of next buildings. The method is based on three indices: the Vulnerability index of path, the Normalized vulnerability index of paths and the Path obstruction index. First two indices enquires street and related buildings, combining the buildings' vulnerability to the respective urban fabric layout and geometry, with the aim to offer values respectively expressed on absolute and relative scales. Instead, the third index investigates blocked street sections, caused by debris of paths' facing buildings, as the macroseismic intensity changes. The proposed methodology is tested on a case study representative of the old maritime villages characterizing the Adriatic coast. The test evidenced the methodology capability to comprehend and represent the influence of built heritage and respective urban fabric layout, on the safety of historical centre paths network. Produced results offer, for the analysed centre, a map of critical edges and of the paths' points subject to probable blockage. Proposed indices represent a useful tool, combining with classic methods, for the emergency planning of safe paths for evacuees and rescue vehicles and for the necessities strategies of emergency mitigation and management.

Future develops could concern the methodology improving by the definition of

*probabili cumuli di macerie. Ciò è rappresentato nel modello dal basso rapporto h/L caratterizzante questa tipologia, che non riesce mai a sorpassare il limite critico generando la condizione  $O_{str}=V$ .*

*L'indice  $O_{str}$  consente, perciò, di analizzare ed interpretare la prestazione di uno scenario a seguito di un evento sismico in funzione dei suoi caratteri locali costituiti dall'edificio e dal tessuto urbano presenti.*

*Utilizzando gli indici  $V_{str}$ ,  $V_{str}^N$  e  $O_{str}$  in modo combinato è possibile analizzare il centro storico producendo una mappa di rischio (al netto del fattore esposizione) utile ad individuare i punti critici di questo. Sulla base dei risultati ottenuti, sarà possibile individuare le vie di esodo e i percorsi di accesso dei soccorritori nello scenario di danno, pianificare interventi puntuali per aumentare il livello di sicurezza dello stesso (es.: mitigazione della vulnerabilità di elementi specifici che producono possibili ostruzioni sullo spazio urbano prospiciente) e condurre una progettazione d'emergenza secondo un approccio probabilistico su diverse severità sismiche. Infine, combinando la mappa ottenuta con le informazioni circa la presenza umana all'interno dello scenario sarà possibile evidenziare le zone maggiormente 'calde' durante l'evacuazione e le aree sicure con affluenza maggiore su cui impiegare adeguate risorse.*

## 6. CONCLUSIONI

*Nei centri urbani, la rete dei percorsi riveste un ruolo centrale per evacuanti e soccorritori nei primi istanti di un'emergenza sismica, soprattutto nei centri storici in cui le diverse condizioni sfavorevoli (es. : alta vulnerabilità, tessuto urbano complesso e compatto) definiscono uno scenario ad altissimo rischio. La pericolosità e la percorribilità dei percorsi interni ai centri storici dipendono perciò sia dal danno subito dagli elementi prospicienti la strada, che dalla probabilità che evacuanti e soccorritori incappino durante l'evacuazione in ostruzioni generate dalle macerie.*

*Il presente studio propone un metodo speditivo per la valutazione preventiva della vulnerabilità e possibile ostruzione dei percorsi urbani dovuto alle macerie per crolli dell'edificio. Il metodo è basato sulla definizione ed utilizzo di tre indici : l'Indice di vulnerabilità dei percorsi, l'Indice normalizzato di vulnerabilità dei percorsi e l'Indice di ostruzione dei percorsi. I primi due indici indagano l'insieme di strada ed edificio, combinando le caratteristiche di vulnerabilità degli edifici alle caratteristiche geometriche del tessuto urbano presente, al fine di fornire un valore numerico di vulnerabilità espresso sia su scala assoluta che relativa. Il terzo indice, invece, indaga la presenza di macerie generate dall'edificio circostante i percorsi al variare dell'intensità macrosismica. Il metodo è stato validato su di un caso di studio rappresentativo dei borghi marinari storici che caratterizzano la costa Adriatica. Il test ha evidenziato la capacità del metodo proposto di cogliere l'influenza che sia le caratteristiche del patrimonio*

punctual models for the prediction of debris depth on paths and of street block extent. Furthermore, others possible develops could concern the employ of produced risk maps in combination to exposition data and interaction models, in emergency simulation tools with the aim of produce advanced methods for the designing and testing of risk mitigation solutions.

## 6. REFERENCES

- [1] G. Bernardini, S. Santarelli, E. Quagliarini, and M. D’Orazio, “Earthquake safety in historic city centres: how to plan evacuation routes by considering environmental and behavioural factors,” in *Rehab 2017 – Proceedings of the 3rd International Conference on Preservation, Maintenance and Rehabilitation of Historic Buildings and Structures*, 1st ed., R. Amoeda, S. Lira, and S. Pinheiro, Eds. Barcelos, Portugal: Green Lines Institute, 2017, pp. 513–522.
- [2] A. Goretti and V. Sarli, “Road Network and Damaged Buildings in Urban Areas: Short and Long-term Interaction,” *Bull. Earthq. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 159–175, May 2006.
- [3] G. Mochi, G. Predari, and S. Vinci, *La vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi. Una proposta per il costruito storico*. Edicom edizioni, 2016.
- [4] E. Quagliarini, G. Bernardini, C. Wazinski, L. Spalazzi, and M. D’Orazio, “Urban scenarios modifications due to the earthquake: ruins formation criteria and interactions with pedestrians’ evacuation,” *Bull. Earthq. Eng.*, vol. 14, no. 4, pp. 1071–1101, Apr. 2016.
- [5] M. A. Zanini et al., “Post-quake urban road network functionality assessment for seismic emergency management in historical centres,” *Struct. Infrastruct. Eng.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–13, 2016.
- [6] P. Anbazhagan, S. Srinivas, and D. Chandran, “Classification of road damage due to earthquakes,” *Nat. Hazards*, vol. 60, no. 2, pp. 425–460, Jan. 2012.
- [7] S. Argyroudis, J. Selva, P. Gehl, and K. Pitilakis, “Systemic Seismic Risk Assessment of Road Networks Considering Interactions with the Built Environment,” *Comput. Civ. Infrastruct. Eng.*, vol. 30, no. 7, pp. 524–540, Jul. 2015.
- [8] G. Tesoriere, G. Marinella, and M. Russello, “Analisi della Vulnerabilità delle Reti Stradali in Aree Soggette a Rischio Sismico,” in *XI S.I.I.V.*, 2001, p. 12.
- [9] K. Pitilakis, H. Crowley, and A. M. Kaynia, SYNER-G: *Typology definition and fragility functions for physical elements at seismic risk, buildings, lifelines, transportation networks and critical facilities*, Geotech., Springer Netherlands, 2014.
- [10] R. Ferlito and A. Pizza, “A seismic vulnerability model for urban scenarios. Quick method for the evaluation of roads vulnerability in case of emergency (Modello di vulnerabilità di un centro urbano. Metodologia per la valutazione speditiva della vulnerabilità della viabilità d’em,” *Ing. Sismica*, vol. 4, pp. 31–43, 2011.
- [11] S. Adafer and M. Bensaïbi, “Seismic Vulnerability Index for Road Networks,” in *Proceedings of the 2015 International Conference on Industrial Technology and Management Science*, 2015, no. ITMS, pp. 1–4.
- [12] Federal Emergency Management Agency, *Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Earthquake model. Hazus–MH 2.0. Technical manual*. 2003.
- [13] G. Caiado, R. Macario, and Carlos S, “A New Paradigm in Urban Road Network Seismic Vulnerability: From a Link-by-link Structural Approach to an Integrated Functional Assessment,” *Urban Road Network Seismic Vulnerability*. 2011.
- [14] G. M. Calvi, R. Pinho, G. Magenes, J. J. Bommer, and H. Crowley, “Development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years,” *ISET J. Earthq. Technol.*, vol. 43, no. 472, pp. 75–104, 2006.
- [15] S. Lagomarsino and S. Giovinazzi, “Macro seismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings,” *Bull. Earthq. Eng.*, vol. 4, no. 4, pp. 415–443, Nov. 2006.
- [16] S. Lagomarsino, “On the vulnerability assessment of monumental buildings,” *Bull. Earthq. Eng.*, vol. 4, no. 4, pp. 445–463, Nov. 2006.
- [17] A. H. Barbat, M. L. Carreno, L. G. Pujades, N. Lantada, O. D. Cardona, and M. C. Marulanda, “Seismic vulnerability and risk evaluation methods for urban areas. A review with application to a pilot area,” *Struct. Infrastruct. Eng.*, vol. 6, no. 1–2, pp. 17–38, 2010.
- [18] G. Grunthal, “European Macro seismic Scale 1998 (EMS-98),” *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, vol. 15. 1998.

edificato che del contesto urbano riflettono sulla sicurezza dei percorsi viari all’interno del centro storico. Esso infatti restituisce una mappa del centro storico contenente i rami critici e i probabili punti soggetti ad ostruzione della sezione stradale. Gli indici proposti si rivelano in tal senso un valido strumento da affiancare alla classica pianificazione dell’emergenza al fine di meglio valutare e progettare la viabilità di emergenza, la sicurezza degli evacuanti e le strategie di mitigazione e gestione necessarie. Futuri sviluppi potranno riguardare l’affinamento della metodologia proposta al fine di creare modelli puntuali per l’indagine della profondità delle macerie generate e dell’estensione delle ostruzioni. Inoltre, se impiegate in combinazione a dati di esposizione, le mappe prodotte possono rappresentare una base su cui operare simulazioni d’emergenza per pianificare e testare l’efficacia delle soluzioni per la mitigazione del rischio.

- [19] Italian technical commission for seismic micro-zoning, *Handbook of analysis of emergency conditions in urban scenarios (Manuale per l'analisi della condizione limite dell'emergenza dell'insediamento urbano (CLE))*, 1st ed. Rome, Italy: BetMultimedia, 2014.
- [20] Y. Shimura and K. Yamamoto, "Method of Searching for Earthquake Disaster Evacuation Routes Using Multi-Objective GA and GIS," *J. Geogr. Inf. Syst.*, vol. 06, no. 05, pp. 492–525, 2014.
- [21] M. Fasan et al., "A new design strategy based on a deterministic definition of the seismic input to overcome the limits of design procedures based on probabilistic approaches," *XVI Convegno ANIDIS*, no. Asce 2006, pp. 1–11, 2015.
- [22] M. Guarnieri and A. Guarnieri, *CIVITANOVA, la storia, la vita, i giorni (in italian)*. Civitanova Marche: Cassa Rurale ed Artigiana di Civitanova e Montecosaro, 1994.