

# *La riduzione della vulnerabilità sismica nei tessuti urbani storici. Un approccio valutativo-progettuale*

*Seismic vulnerability reduction in the historic urban fabrics. A valuation planning approach*

di Salvatore Giuffrida\*, Caterina Carocci\*, Chiara Circo\*, Margherita Giuffrè\*\*, Maria Rosa Trovato\*, Vittoria Ventura\*\*\*

**Keywords:** Urban fabrics, Seismic vulnerability, Critic analysis, Cost modelling, Urban preservation programming

**Topic:** 5. Questioni estimative e valutarie | Appraisal and economic evaluation issues

## **Abstract**

This study proposes a valuation planning approach to the seismic vulnerability reduction carried out within the general planning framework concerning the Faentina Union, a group of five small towns located in the south-western part of the Province of Ravenna, Italy. The plan consists of three main stages: knowledge – the typological, constructive and technological description of the buildings specifically concerning their vulnerability degree; interpretation – a set of critical analyses enveloping the previous descriptions, and aimed at outlining a range of hypotheses about the damage mechanisms, both current and potentially enabled in case of seism; planning – identifying the works intended to preserve the original constructive and material features and to definitely reduce the vulnerability of the buildings.

This stage includes a cost modelling tools aimed at outlining the trade off between the vulnerability degree reduction and the number of building that can be included in the programme, given the budget.

## **1. Introduzione. Vulnerabilità e resilienza: il capitale urbano**

Il contributo proposto è uno degli esiti del progetto di ricerca condotto all'interno di della Convenzione tra l'Unione dei Comuni della Romagna Faentina e il Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università di Catania, avente come oggetto uno studio congiunto in materia di vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi nei centri storici di Brisighella, Casola Valsenio, Castel Bolognese, Riolo Terme e Solarolo.

L'itinerario di ricerca e sperimentazione ha ulteriormente consolidato la natura interdisciplinare delle discipline afferenti al Restauro e all'Economia applicata con i reciproci apporti euristici e metodologici, moltiplicandone i conseguimenti anche quanto alla possibilità di condivisione e disseminazione dei risultati.

L'interesse della scienza delle valutazioni per il tema della vulnerabilità nel contesto specifico dei piccoli centri urbani (Giuffrida *et al.*, 2015a), non è generico né astratto, e per due motivi: il primo è il prioritario interesse nei confronti del capitale territoriale e nelle sue due forme, del capitale urbano (Napoli *et al.*, 2017) e del capitale umano; il secondo è un originario impegno civile, quanto alla relazione costante delle valutazioni con la prospettiva della giustizia economica e più in generale, distributiva. Queste due specificazioni tematiche non riducono, semmai ampliano, il ventaglio di interessi della disciplina economico-estimativa nel suo impegno rivolto al territorio. Infatti, è come se le questioni dei piccoli centri urbani si addensassero in buona parte, in quell'unico interrogativo che pare riguardare tutte le funzioni – abitare, studiare, lavorare progettare, investire, governare – che nei piccoli centri urbani dell'entroterra la contemporaneità e il metastatico sviluppo delle metropoli, hanno messo in discussione: *ne vale la pena?* Il tipo di risposta a questo dilemma, afferisce alle questioni che riguardano il modo in cui le politiche urbane mediano tra il bisogno di capitale nella sua essenza urbana e le esigenze del capitale nella sua essenza economica.

\* University of Catania, Italy, sgiuffrida@dica.unict.it, c.carocci@unict.it, chiaracirco@virgilio.it, mrtrovato@dica.unict.it

\*\* CNR, Italy, mar.giuffre@gmail.com

\*\*\* Freelancer, Italy, vittoriaventura01@gmail.com

La nozione di capitale costituisce un importante filtro interpretativo in tema di vulnerabilità dei piccoli centri urbani (Fuentes, 2019); la consistenza in volume e valore del capitale urbano è il principale argomento della funzione della loro resilienza, tanto che la loro frequente marginalità li condanna alla trappola della vulnerabilità, di cui quella sismica è una componente combinatoria – non sommativa.

Il terreno comune alle scienze del restauro e delle valutazioni, in tema di vulnerabilità dei piccoli centri urbani è definito quindi da una doppia polarità:

- la capacità di perdurare, che si riconduce al requisito della resilienza del sistema sociale-urbano rispetto al rischio di vedere allontanarsi l'orizzonte della ripresa delle funzioni essenziali e superiori (primarie e secondarie) in conseguenza dell' "irritazione ambientale" dovuta all'evento catastrofico (Sawada, 2013);
- l'autoreferenzialità o iconicità (Giannelli *et al.*, 2018; Giuffrida *et al.*, 2017), riconducibile alla *materia del restauro* (Torsello, 1988), (muratura e sistemi costruttivi) da conservare in quanto il suo valore non si risolve nell'insieme delle prestazioni che eroga, ma acquista un'autonomia specifica in quanto rimanda a una capacità ulteriore, non ancora spiegata al presente, capacità di autoriferimento tipica del capitale.

La capacità di risposta del sistema sociale-urbano è funzione del valore cumulato nella forma della sicurezza, della quale la consistenza fisica del capitale architettonico-urbano è una premessa (Giuffrida *et al.*, 2016; 2018; 2019; Naselli *et al.*, 2014). Questo studio espone la metodologia e i risultati del percorso di valutazione della vulnerabilità del patrimonio edilizio del centro storico di Brisighella, a livello degli aggregati edilizi e delle unità di facciata a rischio di ribaltamento e propone un modello integrato di analisi (Calabrò, 2017, Giuffrida *et al.*, 2017), valutazione e progetto rivolto alla formazione di strategie di programmazione degli interventi di riduzione della vulnerabilità orientati a scelte di ottimizzazione.

## 2. Materiali

### 2.1. Mitigazione della vulnerabilità urbana

Il tema della vulnerabilità urbana viene affrontata nel contesto specifico della Regione Emilia-Romagna con una molteplicità di approcci e di strumenti solo recentemente introdotti nella pianificazione mirata alla riduzione del rischio sismico urbano. Le condizioni di vulnerabilità sono analizzate secondo due livelli di lettura: il primo livello comprende l'intero centro urbano, mentre il secondo include il centro storico.

La finalità perseguita è quella di assicurare che un centro urbano colpito da un evento sismico possa mantenere la sua capacità di perdurare, sia rispetto alla funzionalità delle attività principali e strategiche per la ripresa, sia rispetto ai caratteri identitari e iconici che lo contraddistinguono.

Per i cinque comuni dell'Unione Faentina sono messi a sistema due studi: la valutazione della vulnerabilità sismica dei centri storici (Convenzione tra l'Unione dei Comuni della Romagna Faentina e il Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università di Catania) e studi urbani specifici di definizione della Condizione Limite dell'Emergenza (CLE) – un'analisi alla scala urbana mirata alla gestione del comportamento dell'insediamento nella fase post-sisma – svolti dall'Ufficio Tecnico dell'Unione dei Comuni,

La sovrapposizione dei due studi ha permesso di elaborare un progetto integrato di intervento sul quale è stata sperimentata la valutazione economica oggetto di questo articolo.

Lo studio svolto sui 5 centri storici dell'Unione della Romagna Faentina (Brisighella, Casola Valsenio, Castel Bolognese, Riolo Terme, Solarolo) è stato sviluppato in due fasi.

In una prima fase, sono stati individuati gli ambiti omogenei per vulnerabilità sismica dell'intero territorio comunale, secondo una modalità approntata dal Dipartimento di Protezione Civile e sperimentata su Faenza e Solarolo nel 2011 (Dolce *et al.* 2012).

La fase successiva ha previsto la valutazione qualitativa della vulnerabilità sismica dei centri storici – quali aree maggiormente vulnerabili del tessuto urbano – utilizzando una procedura già sperimentata sul centro storico di Faenza tra il 2011 e il 2013<sup>1</sup>, con l'obiettivo di definire - criteri di mitigazione della vulnerabilità sismica degli

<sup>1</sup>Convenzione di reciprocità tra il Comune di Faenza e Università di Catania (DICAR) per la realizzazione di studi di vulnerabilità sismica del centro storico (approvato con atto prot. 17997/2011); responsabili scientifici per il DICAR: Caterina F. Carocci; gruppo di ricerca: Zaira Barone, Chiara Circo, Pietro Copani, Margherita Costa, Luciano Scuderi, Maria Rosaria Vitale.

aggregati edilizi legata alle caratteristiche specifiche di ciascun tessuto costruito. Parallelamente l'Unione dei Comuni ha effettuato le analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) introdotta dall'Ordinanza del Consiglio dei Ministri n. 4007/2012, in applicazione della Legge 77/2009 art.11 "Piano nazionale di prevenzione del rischio sismico per ciascuno dei 5 comuni. La CLE è uno strumento di analisi a scala comunale, impostato sui Piani di protezione Civile e finalizzato a garantire il funzionamento del sistema di gestione dell'emergenza nella fase post-sisma. Come viene definita, la CLE rappresenta quella condizione limite per la quale, a seguito del manifestarsi dell'evento sismico, l'insediamento urbano perde tutte le sue funzioni (inclusa la residenza) e conserva solo l'operatività della maggior parte delle funzioni strategiche per la gestione dell'emergenza, la loro accessibilità e connessione con il contesto territoriale. È infatti costituita da edifici strategici, aree di emergenza e principali collegamenti tra gli elementi e il contesto territoriale, nonché la loro interazione con gli elementi ad essi interferenti.

I sistemi di gestione dell'emergenza analizzati, come gli insediamenti di cui fanno parte, presentano una configurazione piuttosto semplice. Le infrastrutture di connessione attraversano il centro urbano, raggiungendo edifici strategici interni al centro storico, o al suo limitare. Le ridotte dimensioni dei centri e la tendenza a collocare gli edifici strategici in aree di nuova costruzione al di fuori dei centri storici, comportano la scarsa presenza di aggregati strutturali interferenti.

## 2.2. *Il centro storico di Brisighella*

L'insediamento di Brisighella sorge alle pendici dell'Appennino toscano-romagnolo nella bassa valle del fiume Lamone. Il primo impianto, risalente alla fine del XIII secolo, era costituito da un nucleo fortificato, l'attuale Rocca. Nel XIV secolo le opere di fortificazione furono estese anche all'insediamento del "Borgo" realizzando una strada sopraelevata a scopo difensivo, integrata nelle abitazioni e illuminata da una fila di arcate (attuale Via degli Asini). Nel corso del 1400 il nucleo si espande verso valle realizzando una nuova cinta muraria che verrà successivamente superata nel 1500 quando la città si svilupperà al di fuori delle mura.

Il processo storico-evolutivo di un centro urbano e le peculiarità orografiche del suo territorio hanno inciso molto sulla definizione della forma urbana, caratterizzata da aggregati di case a schiera che si accostano al pendio. Gli edifici residenziali hanno inglobato le antiche mura, definendo la peculiare configurazione di alcuni aggregati edilizi.

## 3. Metodo

### 3.1. *L'analisi della vulnerabilità sismica del centro storico*

La metodologia utilizzata per l'analisi della vulnerabilità dei centri storici si basa sulla conoscenza diretta della realtà costruita degli aggregati edilizi ed è stata messa a frutto in varie occasioni di studio in contesti danneggiati dal sisma (Carocci, 2012) e in condizioni ordinarie (Carocci, 2013). Le attività da svolgere sono organizzate in tre fasi strettamente connesse: la conoscenza, l'interpretazione e il progetto.

La fase di conoscenza ha compreso una preliminare ricerca bibliografica e gli studi già condotti dall'UTC, che hanno permesso di delineare le principali fasi evolutive del centro storico, e un rilievo speditivo degli aggregati edilizi del centro storico con riferimento a quegli aspetti che influiscono sul comportamento sismico degli edifici in muratura (configurazione d'insieme, tecnica costruttiva, stato di conservazione, trasformazioni, tipologie edilizie). Sono individuati gli elementi che influiscono positivamente sulla risposta sismica (fattori di resistenza) e quelli che giocano un ruolo negativo (fattori di vulnerabilità), con particolare riferimento all'attivazione del ribaltamento fuori dal piano delle facciate. Il carattere speditivo del rilievo è determinato principalmente dalla modalità di osservazione che avviene esclusivamente dall'esterno.

Inoltre, attraverso il rilievo sono messe in evidenza le specificità del tessuto edilizio in termini di destinazione d'uso e di tecnica costruttiva, distinguendo dagli edifici residenziali in muratura, quelli in cemento armato o altra tecnica costruttiva e l'edilizia speciale residenziale o non residenziale. Lo scopo è di individuare eventuali punti di discontinuità costruttive e i rapporti di contiguità tra corpi di fabbrica dalle caratteristiche geometrico-strutturali differenti.

Questo tipo di analisi condotta in maniera estensiva su tutto il centro storico consente di ottenere una mappa dei fattori di vulnerabilità e di resistenza ricorrenti del tessuto costruito, costituendo una base conoscitiva indispensabile per la successiva definizione di criteri di intervento volti alla riduzione delle vulnerabilità.

Nella fase interpretativa, i dati raccolti su vulnerabilità e resistenze sono selezionati criticamente con l'obiettivo di formulare un giudizio sulla qualità meccanica del costruito in esame e quindi prefigurare il danno atteso relativo alle precarietà osservate.

Nella fase di progetto sono infine stabiliti i criteri di intervento per la mitigazione delle vulnerabilità e – nel caso di Brisighella – anche la valutazione economica degli interventi funzionale alla programmazione delle risorse pubbliche.

### 3.2. Il modello valutativo per la programmazione della riduzione della vulnerabilità

La coerenza tra aspetti fattuali, assiologici e decisionali del programma degli interventi di riduzione della vulnerabilità consiste nella corrispondenza tra caratteri dissimili, e quindi difficilmente confrontabili; da una parte la spesa pubblica per il miglioramento della resilienza del centro urbano, dall'altra il valore dei molteplici effetti, interni ed esterni, prodotti dalle opere realizzate (Trovato *et al.*, 2014a, 2014 b; Trovato, 2019). In termini assiologici, la coerenza tra investimenti incremento di sicurezza include due componenti del calcolo del rischio sismico, la pericolosità e l'esposizione.

La misura della *pericolosità* risente dell'aleatorietà dell'evento sismico e della sua percezione, e attiene pertanto a due termini: il primo, di ordine probabilistico, riferibile alla sfera naturale e geotecnico-strutturale (la probabilità dell'evento sismico); il secondo, di natura politica e psico-sociologica.

La misura dell'*esposizione* varia secondo lo spettro delle "qualità di valore" associate ai beni vulnerabili e alla riferibilità di esse al valore dell'investimento. Questa difficoltà e le possibilità che ne conseguono rimettono in discussione il tipo di misura, quella monetaria, suggerendone ulteriori estensioni.

La misura economico-monetaria della *vulnerabilità* può effettuarsi indirettamente, a partire dalle osservazioni critiche e dalle valutazioni della disciplina del restauro (Carreno *et al.*, 2007; Hung *et al.*, 2013, Pelling, 2003), che indica il ventaglio di interventi necessari a ricondurla a limiti compatibili con il concetto di resilienza del contesto urbano nella sua interezza. Ecco che questa misura viene a integrare aspetti dell'osservazione, della valutazione (Della Spina *et al.*, 2017; Della Spina, 2017), del progetto, del programma e del piano, risultandone un modello di misura, cioè una modalità di misurazione variabile in ragione dei vincoli da rispettare e delle opportunità da cogliere (Nonni, 2008).

Il modello di valutazione, come detto, consiste in un database che svolge tutte le operazioni di calcolo e logiche, necessarie a trasformare la base informativa, riguardante le caratteristiche degli elementi architettonici rilevanti, in attributi statici (vulnerabilità), progettuali (indicazione degli interventi necessari a ridurre la vulnerabilità), economici (costi) per ciascuna delle unità di facciata prese in considerazione, quindi tutte quelle del Centro Storico, con specifica indicazione di quelle appartenenti alla CLE (Christodoulou *et al.*, 2013).

In base alla descrizione delle diverse unità architettoniche, quanto alle loro caratteristiche strutturali, materiche, geometriche, tecnologiche e tipologiche, il modello assegna il tipo di intervento secondo la vulnerabilità di ciascuna unità (D'Ayala, 2013; Duzgun *et al.*, 2011); successivamente calcola i costi di intervento per pacchetti tipici di opere; infine definisce le funzioni di sostituzione che consentono di mediare tra l'estensione dell'area messa in sicurezza e il grado di completezza degli interventi raggiunto a parità di costo e per ciascun livello di costo, oppure tra costi ed estensione dell'area messa in sicurezza a parità di livello di completezza degli interventi, o ancora, tra il grado di completezza e il costo a parità di estensione dell'area messa in sicurezza (Manganelli *et al.*, 2018).

*Calcolo della vulnerabilità di facciata.* Il calcolo della vulnerabilità consiste in una misura del rischio che le facciate degli edifici interferenti con le vie di evacuazione e soccorso possano ribaltare ostruendole e/o ledendo l'incolumità delle persone in fuga e dei soccorritori. Questa quantificazione è particolarmente significativa per gli edifici compresi nella struttura della CLE che devono resistere al sisma senza collassare per garantire l'efficienza delle infrastrutture di connessione (Fig. 1).

La vulnerabilità è calcolata per ciascuna singola Unità di Facciata (UF) prospiciente gli spazi pubblici. L'UF, intesa quale porzione verticale di muratura compresa tra due muri portanti ortogonali, il cui comportamento s'ipotizza indipendente da quello dalle altre (Ma, 2012), è assunta quale unità di studio di questa analisi e delle successive valutazioni. Per ciascuna di esse, applicando un modello di analisi strutturale dinamica, è stato

calcolato un «indicatore numerico del livello di accelerazione del suolo in grado di innescare cinematismi elementari di ribaltamento (fuori piano)» (Tocci 2014). Detto indicatore è definito, coerentemente con l'impostazione concettuale delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008), come “il moltiplicatore di innesco del moto per ribaltamento ( $\alpha_0$ ) della parete tenendo conto della presenza ed entità delle rastremazioni, della direzione della tessitura dei solai (parallela o ortogonale alla parete), della presenza di incatenamenti di piano, dell'efficacia della ammorsatura con le pareti ortogonali (Dolce *et al.*, 2005, 2012; Speranza, 2011).

Questo moltiplicatore viene calcolato per la configurazione “base” e per quella “variata” riferite ciascuna a condizioni più o meno favorevoli quanto a orditura dei solai e presenza di tiranti. Il coefficiente di accelerazione è assunto quale indice della vulnerabilità (Banica *et al.*, 2017; Chieffo *et al.*, 2019) di ciascuna UF, cui sono associate tanto le opere direttamente finalizzate a evitarne il ribaltamento, quanto le opere congiunte, come quelle di messa in sicurezza di elementi svettanti al di sopra delle coperture, ad es. i comignoli, e le opere di finitura esterne e interne previste nei vani corrispondenti, conseguenti agli interventi che le riguardano. Questa distinzione è importante ai fini delle decisioni in merito al livello di completezza del programma degli interventi, come più avanti argomentato. Il modello è formato da un database contenente in riga tutte le UF,  $u_i$ , e in colonna tutte le caratteristiche dimensionali, geometriche, topologiche, materiche, costruttive e di stato di conservazione che consentono di calcolare l'accelerazione che il terreno deve imprimere all'edificio affinché la facciata ribalti. Un coefficiente di accelerazione basso indica un'elevata vulnerabilità, e viceversa (Tiedemann, 1992).

*Calcolo dei costi.* Una volta calcolato il coefficiente di accelerazione e quindi il grado di vulnerabilità di ciascuna UF, funzioni logiche e di ricerca associano a essa gli interventi di messa in sicurezza, a partire dai più comuni, fino a quelli più consistenti o invasivi. In sintesi: inserimento di catene, riempimento di lesioni superficiali, l'integrazione delle murature danneggiate da lesioni passanti, l'introduzione di murature di rinforzo, la messa in sicurezza degli elementi aggettanti e svettanti, tutte le opere di finitura esterne e interne, sia relative alle pareti, sia relative ai soffitti, articolate in un totale di 36 voci di prezzo.

Il costo elementare associato agli interventi su ogni unità di facciata è poi aggregato per calcolare il costo complessivo di ogni ipotesi di CLE. Ciascuna ipotesi di CLE è definita facendo variare l'intensità degli interventi o la loro estensione: l'intensità dipende dal grado di sicurezza che si vuole raggiungere a parità di estensione; l'estensione è la dimensione dell'area interessata dagli interventi a parità di grado di sicurezza. Ne risultano due funzioni di costo, una intensiva,  $C(b_{jk})$ , l'altra estensiva  $C(l_{CLE})$  (Giuffrida *et al.* 2015b).

La *funzione intensiva* del costo mette in relazione il costo totale e il tipo d'intervento, che dipende dal pacchetto di opere  $b_{jk}$  associato alla singola  $u_i$ . Ciascun pacchetto include opere corrispondenti alle voci del Prezzario delle Opere Pubbliche della Regione Emilia Romagna,  $b_{jk} \in B$ , dove  $B$  è l'insieme di tutte le opere riferibili alle attività di riduzione della vulnerabilità degli edifici inclusi nell'ipotesi di CLE.

Il pacchetto  $b_{jk}$  può contenere un numero di voci più o meno consistente a seconda che si vogliano includere: solo quelle strettamente necessarie  $j_n$ ; quelle di primario interesse pubblico  $j_p$ ; quelle meno invasive  $j_v$ ; quelle che sottendono un più o meno elevato grado di adeguatezza  $j_a$ . Combinando le cinque classi di interventi  $j$  con i cinque gradi di sicurezza  $k$ , si sono formate 25 diverse ipotetiche strategie dal costo crescente (Dan, 2018).

La *funzione estensiva* del costo è definita rispetto al grado di sicurezza dell'intero centro urbano in un range variabile:  $k_{60\%}, k_{70\%}, \dots, k_{100\%}$ ; è funzione del numero di edifici su cui si interviene quindi dalla dimensione della CLE,; un livello pari a  $k_{60\%}$  comporta interventi sui pochi edifici il cui coefficiente di accelerazione è molto basso e viceversa per il livello di sicurezza indicato con  $k_{100\%}$ .

## 4. Applicazione e risultati

### 4.1. La mappa delle vulnerabilità e delle resistenze e la CLE di Brisighella

Gli elementi individuati nell'ambito del rilievo speditivo sono rappresentati in forma simbolica nella “Carta delle vulnerabilità e resistenze del tessuto edilizio”. In dipendenza della modalità di acquisizione delle conoscenze (osservazioni dall'esterno), la vulnerabilità qui trattata è quella relativa ai possibili meccanismi di ribaltamento delle pareti fronte strada.

Dall'analisi emerge un generale buono stato di conservazione del centro storico di Brisighella, che – non essendo stata oggetto capillare ricostruzione post bellica – non presenta casi di sostituzione edilizia con edifici in struttura diversa da quella muraria.

La mappa delle vulnerabilità e delle resistenze di Brisighella evidenzia ricorrenze comuni a tutti i centri analizzati – quali la presenza di corpi svettanti, più esposti al meccanismo di ribaltamento per avere più pareti esterne libere; volumi aggettanti dai fronti esterni, più frequenti nei fronti tergalì degli edifici – e alcuni fattori di vulnerabilità specifici, come le irregolarità costruttive di alcune parti del tessuto edilizio dovute all'integrazione nelle cellule murarie delle antiche mura di cinta. La contiguità tra configurazioni geometriche e strutturali molto differenti (in termini di interpiano, spessori murari, ecc.) può costituire un punto di debolezza in prospettiva sismica, e ciò è un elemento da tenere in considerazione nell'ambito di un eventuale intervento.

I fattori di resistenza che caratterizzano il tessuto costruito di Brisighella riguardano l'uso diffuso di presidi antisismici storici (tiranti metallici, speroni, scarpe murarie) e una buona tecnica costruttiva – per quanto visibile dall'esterno.

La CLE del comune di Brisighella, a differenza degli altri comuni analizzati, interessa il tessuto storico in modo più diffuso, poiché le infrastrutture di connessione principali attraversano il centro storico in modo piuttosto esteso. Per tale ragione il numero di aggregati strutturali interferenti sui percorsi, che potrebbero danneggiarsi in seguito al sisma e quindi crollare sulle vie di fuga individuate, risulta mediamente elevato.

#### 4.2 I criteri di intervento per la riduzione della vulnerabilità

L'interpretazione critica delle informazioni relative a vulnerabilità e resistenze consente la prefigurazione dei meccanismi di danneggiamento sismico che possono interessare il tessuto analizzato, con particolare riferimento all'attivazione del ribaltamento fuori dal piano delle facciate su strada. È dunque formulato un giudizio qualitativo sulla vulnerabilità del centro storico da cui discendono i criteri generali per il miglioramento della risposta sismica degli aggregati murari. Tali criteri non sono espressi da dettagli tecnici quanto piuttosto dagli obiettivi a cui l'intervento deve mirare, ciò che consente una libertà progettuale che mantiene un solo irrinunciabile vincolo: il rispetto della logica costruttiva muraria, ritenuta garanzia di efficacia e di compatibilità dell'intervento con l'edificio murario. Con riferimento alle vulnerabilità osservate nel centro storico di Brisighella, il miglioramento della risposta sismica è perseguito mediante interventi mirati a: controllo delle spinte in copertura e ridurre le spinte di elementi voltati; miglioramento delle connessioni tra pareti e orizzontamenti con particolare riguardo al contenimento delle pareti di facciata. Queste indicazioni sono valide per tutto il tessuto murario del centro storico di Brisighella e consentono di definire il quadro generale delle azioni da attuare per la riduzione preventiva della vulnerabilità sismica. Ne deriva che la sovrapposizione delle acquisizioni conoscitive in termini di vulnerabilità, resistenze e criteri di intervento con le previsioni della CLE di Brisighella consente di definire le priorità dell'intervento pubblico nell'ambito del centro storico - favorendo una gestione coordinata delle risorse economiche – e di individuare meccanismi premiali da attuare per la realizzazione degli interventi privati.

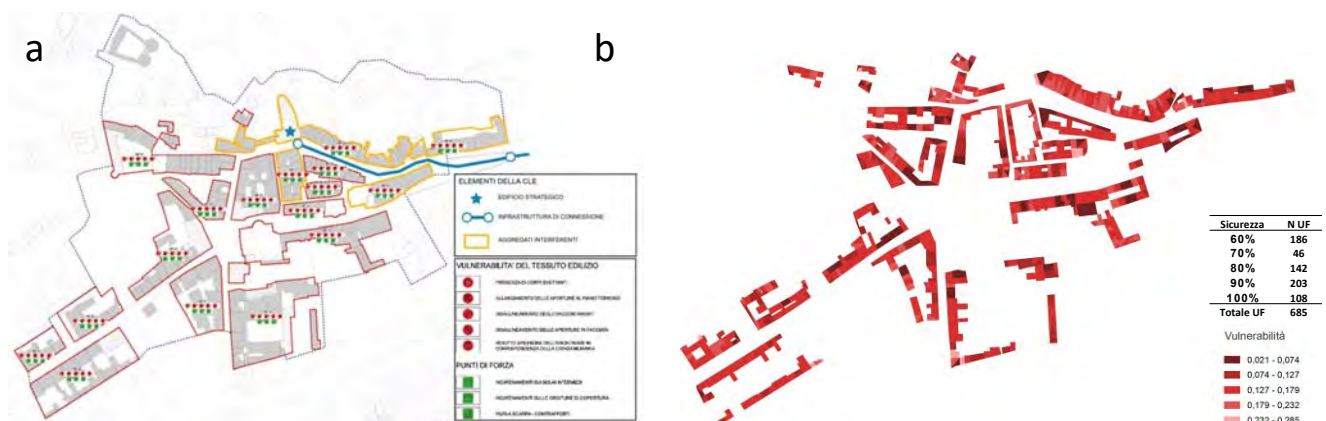


Fig.1 – a) Sovrapposizione degli elementi della CLE sulla mappa delle vulnerabilità e resistenze (Circo e Giuffrè, 2018); b) Mappa della vulnerabilità.

#### 4.3. Valutazione e programmazione degli interventi pubblici necessari per l'attuazione della CLE

La base informativa utilizzata per le funzioni di calcolo e selezione degli interventi include: l'identificazione dell'UF nel complesso edilizio di appartenenza (Isolato e Unità Architettonica); identificazione catastale;

tipologia; unità di facciata per aggregato; numero di facciate per ciascun ambiente; larghezza fronte; spessore della parete; profondità del vano; superficie d'impronta del vano; numero di elevazioni fuori terra; superficie vuoto per pieno della facciata; indicazione separata degli interpiani dei diversi livelli; altezza media di ogni interpiano; sistema costruttivo; tipologia muraria; orientamento dell'orditura del solaio rispetto alla direzione della facciata; presenza di elementi aggettanti (balconi, cornicioni e tetti, non inclusi in questa fase nel calcolo in quanto poco significativi); presenza di elementi svettanti; controventi la cui presenza è ipotizzata verificandosi le due condizioni di una larghezza del fronte superiore a 6,50 m e un numero di elevazioni fuori terra superiore a 1; presenza di catene; presenza di lesioni. I dati sono desunti dalla documentazione fornita dall'Ufficio Tecnico dell'Unione (Comune di Brisighella) e dalle indagini speditive effettuate sul campo.

L'attitudine al ribaltamento è stata calcolata secondo uno scenario pessimistico, assunto a vantaggio della sicurezza e riferito alla configurazione base, quantificato dal coefficiente  $\alpha_{0b}$ , e uno scenario ottimistico riferito alla configurazione variata e quantificato dal coefficiente  $\alpha_{0v}$  (Fig. 1).

In funzione del grado di vulnerabilità di ciascuna delle 749 unità di facciata analizzate, il modello individua gli interventi necessari alla messa in sicurezza di queste ultime. È da precisare che gli interventi non si attivano automaticamente e univocamente, ma in base al tipo di strategia che si può scegliere di implementare.

La Fig. 2 sintetizza il modello di selezione delle opere a seconda della strategia e indica i costi delle 25 strategie in ragione del grado di completezza e sicurezza, oltre alle funzioni di trade-off tra l'estensione della CLE, il grado di sicurezza complessivo e il costo complessivo.

2		1	2	3	4	5
1	necessari	1	1	1	1	1
	non necessari				0,3	1
1	pubblici	1	1	1	1	1
	privati			0,5	1	1
1	sicurezza min	1	1	1	1	1
0,7	sicurezza max	0,7	1	1	1	1
1	non invasive	1	1	1	1	1
1	invasive	1	1	1	1	1

Numero UF in sicurezza	Grado di completezza				
	1	2	3	4	5
196	0.71	1.11	1.29	1.65	2.44
232	0.83	1.30	1.52	1.95	2.89
374	1.39	2.04	2.33	3.03	4.57
577	2.10	2.96	3.33	4.34	6.60
685	2.46	3.42	3.84	4.99	7.57

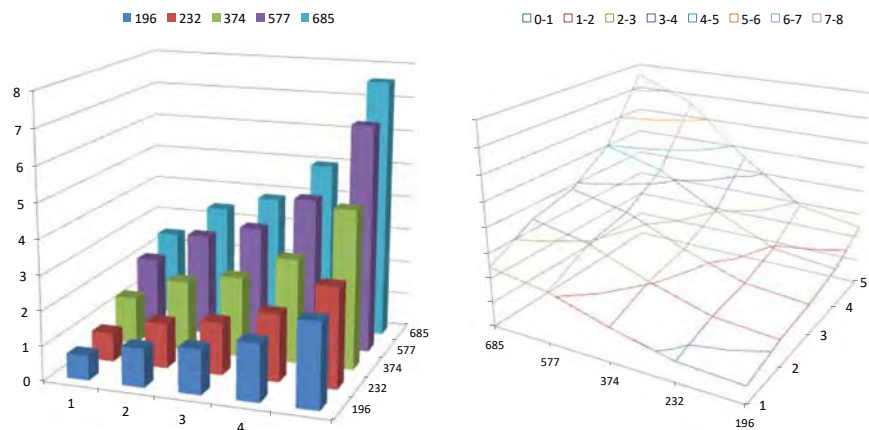


Fig. Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato. 2 – Combinazione tra sicurezza e completezza degli interventi; scheda dei costi; costi; funzioni di isocosto.

## 5. Discussione e conclusioni

### 5.1. La CLE nell'economia del capitale urbano

Il modello qui proposto ha delineato un ampio range di possibili opzioni quanto al modo di combinare il grado di sicurezza complessivo corrispondente al numero di edifici messi in sicurezza (da 196 a 685 UF delle 749) e il budget per coprire i costi totali (da 0,71 a 7,57 mln €). I diversi possibili assortimenti dei valori contenuti tra questi estremi corrispondono ad "affermazioni" precise sul grado di resilienza dell'organismo urbano, sull'accesso alla sicurezza, cioè sui soggetti cui sarà accordato il vantaggio della sicurezza e in che misura, sul valore che l'amministrazione riconosce alla resilienza dell'organismo urbano.

Lo scenario centrale prevede che 374 unità di facciata possono essere messe in sicurezza con soluzioni progettuali medie, sostenendo un costo totale di 2,33 mln €.

La tabella e il diagramma, percorsi lungo la diagonale principale danno la misura di quanto il costo aumenta al crescere congiunto della resilienza e della completezza degli interventi, mentre percorsi lungo le curve di isocosto indicano a relazione di sostituzione tra la completezza degli interventi e il grado di resilienza ottenuto a parità di budget erogato e per ciascun ammontare dello stesso.

L'aver messo a sistema aspetti fattuali, assiologici e decisionali, mostra come questo studio abbia incoraggiato ad assumere la CLE come occasione per eccederne finalità e senso: la CLE è un dispositivo informativo e normativo inteso a fornire una minima capacità adattiva al tessuto urbano affinché esso non perda

la propria identità con l'interruzione della continuità della “corrente dei vissuti”, di cui una città si nutre. Il caso di molte città d'Abruzzo è esemplare quanto ai diversi modi in cui la responsabilità si può distribuire tra le sfere delle politiche proattive e reattive (Trovato e Giuffrida 2018a).

Le due variabili dei costi e del grado di completezza degli interventi, infatti, consentono di identificare il profilo politico-decisionale (come in ogni azione del pubblico dovrebbe essere) della CLE ma nel senso della ripartizione dei vantaggi e delle responsabilità tra soggetto privato e pubblico.

La resilienza urbana ha luogo nel momento in cui la CLE viene interamente realizzata, quindi dal momento in cui tutti gli edifici in essa inclusi sono messi in sicurezza, e questo implica la necessità di coordinare interessi e motivazioni di tutti i proprietari dei cespiti coinvolti. Inoltre, non ci sono dubbi circa la diseguale distribuzione dei positivi effetti esterni associati alla CLE quanto al valore immobiliare (Gabrielli *et al.*, 2015; 2016; 2017) che gli edifici più sicuri acquistano, specie in una temperie in cui il rischio sismico diviene un'evidenza sempre più presente anche a livello simbolico; in questo senso si sono individuati i due termini sostitutivi del grado di completezza e del grado di resilienza, e definite le relazioni di sostituzione, in quanto proprio il grado di completezza potrebbe essere un elemento di concertazione nella attuazione di una politica (Napoli *et al.*, 2016) volta a estendere la resilienza eccedendo i limiti CLE (Mileti, 2005).

Successivi approfondimenti di questo studio, rivolti alla misura dell'esposizione, cioè del valore dei beni vulnerabili, possono consentire di confrontare il vantaggio della sicurezza dell'edificio (funzione dell'esposizione, appunto) con i costi (Carbonara, 2014; Carbonara *et al.*, 2014) e definire il miglior compromesso tra le opere che dovranno essere finanziate dal pubblico (quelle specificamente intese all'interesse collettivo) e quelle a carico del privato, in particolare tra quelle di finitura e completamento.

Al netto della pericolosità, cioè della probabilità dell'evento catastrofico, un'accorta politica di prevenzione consiste nell'allocare l'eccedenza del capitale sociale in maniera da affermare che la resilienza è una quota del capitale urbano specie nei tessuti storici, caratterizzati per definizione da complessità insediativa, fragilità strutturale, inerzia tipologica e formale, e ridotta densità abitativa. Queste caratteristiche possono influenzare decisamente la risposta all'originario interrogativo: “ne vale la pena?”.

In questo studio e nei suoi successivi approfondimenti nella direzione di una perequazione ambientale-urbana si è cercato di comprendere come l'esplicitazione e il coordinamento di misure, giudizi e profili decisionali consente di superare l'approccio tipicamente oggettuale sottinteso dalla CLE e riconducibile a una “grammatica prescrittiva”, affermando in sua vece un approccio assiologico in cui la ricombinazione delle variabili strategiche definisce la “grammatica generativa” delle opzioni coerenti con i vincoli, ma aderenti alle specificità di modo da potere dare una molteplicità di risposte positive a quell'originario interrogativo.

## Bibliografia

- Banica, A., Lucian Rosu, L., Ionel Muntele, I., Adrian Grozavu, A. [2017]. “Towards Urban Resilience: A Multi-Criteria Analysis of Seismic Vulnerability in Iasi City (Romania)”, in *Sustainability*, n.9(2), <https://doi.org/10.3390/su9020270>.
- Banica, A., Lucian Rosu, L., Ionel Muntele, I., Adrian Grozavu, A. [2017]. “Towards Urban Resilience: A Multi-Criteria Analysis of Seismic Vulnerability in Iasi City (Romania)”, in *Sustainability*, n.9(2), <https://doi.org/10.3390/su9020270>.
- Calabrò, F. [2017]. “Local Communities and Management of Cultural Heritage of the Inner Areas. An Application of Break-Even Analysis”, in: Gervasi O. et al. (a cura di) *Computational Science and Its Applications - ICCSA 2017*, LCNS 10406, part III, London: Springer.
- Carbonara, S. [2014]. *Il recupero dell'edilizia privata nell'Abruzzo post-sisma: un'analisi delle procedure di stima*, *Territorio*, (70), Milano: FrancoAngeli, pp. 119-125
- Carbonara, S., Cerasa, D., Spacone, E. [2014]. “Una proposta per la stima sommaria dei costi nella ricostruzione post-sismica”, in *Territorio*, n.17, Milano: FrancoAngeli, pp. 119-125..
- Carocci, C.F. [2012], Small centres damaged by 2009 L'Aquila earthquake: on site analyses of historical masonry aggregates, in *Bulletin of Earthquake Engineering*, London: Springer, pp. 45-71.
- Carocci, C.F. [2013], Conservazione del tessuto murario e mitigazione della vulnerabilità sismica. Introduzione allo studio degli edifici in aggregato, in: Blasi, C. (a cura di), *Architettura storica e terremoti. Protocolli operativi per la conoscenza e la tutela*, Italia: Wolters Kluwer, pp. 138-153.
- Carreno, M. L., Cardona, O., Barbat, A. H. [2007]. “Urban Seismic Risk Evaluation: A Holistic Approach”, in *Natural Hazard*, n. 40 (1), London: Springer, pp.137-172.
- Chieffo, N., Antonio Formisano, A. [2019]. “Geo-Hazard-Based Approach for the Estimation of Seismic Vulnerability and Damage Scenarios of the Old City of Senerchia (Avellino, Italy)”, in *Geosciences* n. 9(2), <https://doi.org/10.3390/geosciences9020059>.



- Christodoulou, S. E., Fragiadakis, M., Agathokleous, A., Xanthos, S. [2013]. “From Historical and Seismic Performance to City-Wide Risk Maps”, in Tesfamariam, S., Goda, K. (a cura di), *Handbook of Seismic Risk Analysis and Management of Civil Infrastructure Systems*, , 815e, Science Direct, pp. 247-267.
- Circo, C., Giuffrè, M. [2018]. “La pianificazione urbanistica come possibile sovrapposizione di strategie per la riduzione del rischio sismico. Considerazioni sul Piano Regolatore della Sismicità dei Comuni dell’Unione della Romagna Faentina”, in *Urbanistica Informazioni* n. 278 s.i. Anno XXXV, pp. 49-51.
- Conti, T., Salvini, V., Galeati, S., [1994]. Piano di Recupero del CS di Brisighella, progettisti, Comune di Brisighella: adottato con DCC n. 28 - 24/03/1994.
- Dan, M.B. [2018]. “Decision making based on benefit-costs analysis: Costs of preventive retrofit versus costs of repair after earthquake hazards”, in *Sustainability*, n 10 (5).
- D’Ayala, D. [2013]. “Assessing the seismic vulnerability of masonry buildings”, in Tesfamariam, S., Goda K. (a cura di), *Handbook of Seismic Risk Analysis and Management of Civil Infrastructure Systems*, pp.334-365.
- Della Spina, L. [2017]. “Integrated Evaluation and Multi-methodological Approaches for the Enhancement of the Cultural Landscape”, in: Gervasi O. et al. (eds.) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2017*, LCNS 10404, part III, London: Springer.
- Della Spina, L.; Lorè, I.; Scrivo, R.; Viglianisi, A. [2017]. “An Integrated Assessment Approach as a Decision Support System for Urban Planning and Urban Regeneration Policies”, in *Buildings*, n. 7 (4),
- Dolce, M., Di Pasquale, G., Speranza, E. [2012]. “A multipurpose method for seismic vulnerability assessment of urban areas”, in *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE)*, 2012, Lisboa: WCEE.
- Dolce, M., Kappos, A., Masi, A., Penelis, G., Vona, M. [2005]. “Vulnerability assessment and earthquake damage scenarios of the building stock of Potenza (Southern Italy) using Italian and Greek methodologies”, in *Engineering Structures*, n.28, Elsevier, pp. 357-371.
- Duzgun, H. S. B., Yucemen, M.S., Kalaycioglu, H. S., Celik, K., Kemec, S., Ertugay, K., Deniz, A. [2011]. “An integrated earthquake vulnerability assessment framework for urban areas”, in *Natural Hazards*, n. 11, London: Springer.
- Fuentes, D.D., Laterza, M. D’Amato, M. [2019]. “Seismic Vulnerability and Risk Assessment of Historic Constructions: The Case of Masonry and Adobe Churches in Italy and Chile”, in *RILEM Bookseries*, V. 18, London:Springer, pp. 1127-1137.
- Gabrielli, L., Giuffrida, S., Trovato, M. R. [2015]. “From Surface to Core: A Multi-layer Approach for the Real Estate Market Analysis of a Central Area in Catania”, in Gervasi O. et al. (a cura di) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2015*, LCNS 9157, part III, London: Springer, pp. 284-300.
- Gabrielli, L., Giuffrida, S., Trovato, M. R. [2016]. “Functions and Perspectives of Public Real Estate in the Urban Policies: The Sustainable Development Plan of Syracuse”, in Gervasi O. et al. (a cura di) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2016*, LNCS 9789, Vol. IV, London: Springer, pp. 13-28.
- Gabrielli, L., Giuffrida, S., Trovato, M.R. [2017]. “Gaps and overlaps of urban housing sub market: a fuzzy clustering approach”, in *Green Energy and Technology*, Issue 9783319496757, London: Springer, pp. 203-219.
- Giannelli, A., Giuffrida, S., Trovato, M.R. [2018]. “Il Parco Madrid Rio. Valori simbolici e valutazione contingente”, in *Valori e valutazioni*, n. 21, pp. 75-86.
- Giuffrida, S., Casamassima, G., Trovato, M. R. [2017]. “Le norme EMAS-ISO nella valutazione della qualità del servizio idrico integrato”, in *AESTIMUM*, Vol. 70, Firenze: University Press, pp.109-134.
- Giuffrida, S., Ferluga, G., Ventura, V. [2015a]. “Planning Seismic Damage Prevention in the Old Towns. Value and Evaluation Matters”, in Gervasi O. et al. (a cura di), *ICCSA 2015*, Pt. III, , Berlin: Sringer, pp. 253-268.
- Giuffrida, S., Gagliano, F., Tocci, C. [2015b]. “Emergency Limit Condition in the Old Towns. Axiology of seismic vulnerability and design”, in *Valori e valutazioni*, n. 15, pp. 55-67.
- Giuffrida, S., Gagliano, F., Nocera, F., Trovato, M.R. [2018]. “Landscape assessment and Economic Accounting in wind farm Programming: Two Cases in Sicily”, in *Land* 7(4), <https://doi.org/10.3390/land7040120>.
- Giuffrida, S., Napoli, G., Trovato, M. R. [2016]. “Industrial Areas and the City. Equalization and Compensation in a Value-Oriented Allocation Pattern”, in Gervasi, O. et al. (a cura di) *ICCSA 2016*, LNCS 9789, part IV, , Springer International Publishing Switzerland, pp. 79-94.
- Giuffrida, S., Trovato, M. R. [2017]. “A Semiotic Approach to the Landscape Accounting and Assessment. An Application to the Urban-Coastal Areas”, in Salampanis M. et al. (a cura di), *8th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment*, HAICTA 2017, Chania, Crete Island; Greece: CEUR Workshop Proceedings, pp. 696-708.
- Giuffrida, S., Trovato, M.R., Giannelli, A. [2019]. “Semiotic-Sociological Textures of Landscape Values. Assessments in Urban-Coastal Areas”, in Salampanis, M., Bournaris, T. (a cura di) *Information and communication technologies in modern agricultural development, Communications in Computer and Information Science*, Volume 953, pp. 35-50,

- Hung, H. C., Ho, M. C., Chien, C. Y. [2013]. “Integrating long-term seismic risk changes into improving emergency response and land use planning: a case study for the Hsinchu City”, Taiwan, in *Natural Hazard*, n.69 (1), pp. 491–508.
- Ma, X., Ohno, R. [2012]. “Examination of Vulnerability of Various Residential Areas in China for Earthquake Disaster Mitigation”, in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, n. 35, Elsevier, pp. 369-377.
- Manganelli, B., Vona, M., De Paola, P.[2018]. “Evaluating the cost and benefits of earthquake protection of buildings”, in *Journal of European Real Estate Research*, Vol. 11 (2), pp. 263-278.
- Mileti, D.S.; Gailus, J.L. [2005]. “Sustainable development and hazards mitigation in the United States: Disaster by design revisited”, in *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, n.10 (3), Springer, pp.491–504.
- Naselli, F., Trovato, M. R., Castello, G. [2014]. “An evaluation model for the actions in supporting of the environmental and landscaping rehabilitation of the Pasquasia’s site mining (EN)”, in Murgante B. et al., (a cura di), *ICCSA 2014*, LNCS 8581, Part III, , Springer, pp. 26-41.
- Napoli, G., Giuffrida, S. Trovato, M.R. [2016]. “Fair planning and affordability housing in urban policy. The case of Syracuse (Italy)”, in Murgante B. et al. (a cura di): *ICCSA 2016*, LNCS 9789, Part III, , Springer International Publishing Switzerland, pp. 46-62.
- Napoli, G., Giuffrida, S., Trovato, M.R., Valenti, A. [2017]. “Cap Rate as the Interpretative Variable of the Urban Real Estate Capital Asset: A Comparison of Different Sub-Market Definitions in Palermo”, in *Buildings*, 7 (3), 80.
- Nonni, E., Darchini, R. [2008]. *Faenza: un piano strategico per la città storica*, Faenza: Carta Bianca Editore.
- Pelling, M. [2003]. *The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience*, London: Earthscan Publishing.
- Sawada, Y. [2013]. “The Economic Impact of Earthquake on Households”, in Guha-Sapir, D., Santos, I. (a cura di), *The Economic Impact of Natural Disasters*, New York: Oxford Scholarship.
- Speranza, E., Dolce, M., Di Pascquale, G., Tiberi, P. [2011]. “Una metodologia per la formulazione di scenari di danno a scala comunale: applicazione pilota su 24 centri urbani della Valdaso”, in *L’Ingegneria Sismica in Italia*, Atti del XIV Convegno ANIDIS, Bologna: ANIDIS.
- Tiedemann, H. [1992]. “Earthquake and Volcanic Eruptions”, *A Handbook on Risk Assessment*, Zurich, Switzerland: Swiss Reinsurance Company.
- Tocci, C. [2014]. “Vulnerabilità sismica e scenari di danno: analisi speditiva delle catene di danno”, in Blasi, C. (a cura di), *Architettura storica e terremoti. Protocolli operativi per la conoscenza e la tutela*, Italia: Wolkers Kluwer, pp. 113-119.
- Torsello, P. [1988]. *La materia del restauro*, Venezia: Marsilio.
- Trovato M.R. [2019]. “A multi-criteria approach to support the retraining plan of the Biancavilla’s old town”, in Bevilacqua, C. et al. (a cura di) *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 3rd International New Metropolitan Perspectives, Reggio Calabria, Italy, Vol. 101, pp. 434-441.
- Trovato M. R., Giuffrida, S. [2014a]. “A DSS to Assess and Manage the Urban Performances in the Regeneration Plan: The Case Study of Pachino”, in Murgante B. et al., (a cura di) *ICCSA*, 581, Part III, Springer International Publishing Switzerland, pp. 224-239.
- Trovato M. R., Giuffrida, S. [2014b]. “The choice problem of the urban performances to support the Pachino’s redevelopment plan”, in *IJBIDM*, n. 9 (4), pp. 330-355.
- Trovato, M. R., Giuffrida, S. [2018a]. “The Monetary Measurement of Flood Damage and the Valuation of the Proactive Policies in Sicily”, *Geosciences*, n. 8(4), 141.
- Trovato, M. R., Giuffrida, S. [2018b]. “The protection of territory in the perspective of the intergenerational equity”, in *Green Energy and Technology*, Springer Verlag, pp. 469-485.