

*The HBIM Platform for the Sustainable Preservation
and Management of Cultural Heritage*

LA PIATTAFORMA HBIM PER LA CONSERVAZIONE E LA GESTIONE SOSTENIBILE DEI CENTRI STORICI

Benedetto Manganelli, Marco Vona, Sabina Tataranna

Scuola di Ingegneria, Università degli studi della Basilicata, Viale dell'Ateneo Lucano, 85100 - Potenza, Italia

benedetto.manganelli@unibas.i; sabina.taranna@unibas.it

Abstract

The revitalization of the building heritage of the historic centers represents an opportunity for the sustainable development of the built environment, in line with current European policies on urban regeneration. The building heritage, which characterizes Italian historic centers, has unique aesthetic and architectural-structural features in the world. They mainly consist of masonry buildings placed in aggregate that make complex urban plots. The inherent fragility and high seismic vulnerability of these types, associated with a very rigid urban layout, give these urban systems a poor resilience. The increase in resilience can only be achieved through strategies for revitalization and urban redevelopment, planned starting from an accurate and organic cognitive framework of the building heritage. Current technologies in the field of survey techniques, such as Laser Scanner and Aerofotogrammetry through drones, and BIM in the field of three-dimensional information modeling, represent the tools that are well suited to achieving this goal. This contribution provides an innovative methodology aimed at creating an HBIM platform. It is a support tool for those involved in the management of historic real estate assets. The information that can derive from these approaches is also indispensable in the definition of a fundamental resilience measure in the sustainable management of seismic risk.

KEY WORDS: *Cultural Heritage, Preservation, Resilience, HBIM.*

1. Introduzione

L'analisi del processo evolutivo delle città europee evidenzia una comune e attuale tendenza alla re-urbanizzazione, centralizzazione e conseguente ritorno al centro storico delle stesse, in netta antitesi con i fenomeni di delocalizzazione dei decenni passati [1]. Ne risulta l'incremento della domanda di alloggi, situati nei centri storici delle città, al fine di conseguire un miglioramento in termini di qualità di vita legato ad una serie di benefici di tipo economico e sociale; ad esempio derivanti dalla riduzione dei tempi di viaggio e delle risorse impiegate per il soddisfacimento delle esigenze di trasporto [2]. Inoltre, tale tendenza rappresenta una forma di rigenerazione urbana in linea con l'attuale accezione di pratica intesa come riuso/rinnovo degli edifici esistenti, e conseguente "riduzione del consumo di suolo". La rivitalizzazione dei patrimoni immobiliari, siti nei centri storici, rappresenta un'opportunità per conseguire gli obiettivi in termini di in-

cremento di sostenibilità, che l'Unione Europea, attraverso l'accordo di Parigi, impone al settore dell'edilizia entro il 2050 [3]. Le politiche europee volte alla rivitalizzazione dei centri urbani e alla rigenerazione basata sul turismo [4] si sono tradotte in fondi di finanziamento di progetti di riqualificazione di immobili, siti in essi, noti come progetti di "Ospitalità diffusa". Essi hanno favorito la riqualificazione architettonico-strutturale dei suddetti immobili necessaria alla loro conversione funzionale in strutture ricettive. Tuttavia, gli interventi di retrofit strutturale, energetico e funzionale, pur garantendo gli attuali standard di sicurezza, comfort e benessere, devono rispondere ad istanze di conservazione delle caratteristiche estetiche e morfologiche.

Queste ultime, che determinano la tipica e specifica tessitura dei nuclei urbani, insieme a elementi non tangibili, quali eventi storici, costumi, credenze, articolano l'uso dello spazio e dell'ambiente costruito, determinando l'autenticità e il senso dei luoghi [5]. L'Italia è caratterizzata

da un elevato numero di centri storici minori, che presentano caratteristiche comuni. Generalmente essi sono costituiti da edifici posti in aggregati strutturali che definiscono trame urbane molto complesse [6]. Inoltre, gran parte di essi è costituito dalla presenza di edifici in muratura non armata, come tipologia edilizia prevalente; tale categoria, pur non essendo di valore storico-monumentale, costituisce una percentuale considerevole del patrimonio edilizio nazionale [7]. Gli edifici in muratura, con il loro insito diacronismo, sono il risultato di tecnologie costruttive determinate dai materiali disponibili e reperibili in loco, e dai “modus operandi” (tecniche costruttive della tradizione locale) praticati al tempo della costruzione.

Tali caratteristiche fanno dei centri storici italiani patrimonio culturale unico al mondo. Nel contempo, le medesime caratteristiche fanno di esse tipologie edilizie elevatamente fragili e maggiormente vulnerabili anche ad eventi sismici di moderata intensità. Tale aspetto, congiuntamente ad un layout urbanistico molto rigido, conferisce ad essi una resilienza complessivamente molto ridotta. L'incremento di resilienza può essere conseguito solo attraverso strategie di riqualificazione urbana pianificate a partire da un accurato ed organico quadro conoscitivo del patrimonio edilizio.

Le moderne tecnologie per il rilievo tridimensionale degli edifici, strutture e infrastrutture, quali Laser Scanner e ortofoto realizzate attraverso l'impiego di droni (UAV) sono sempre più utilizzati, in quanto consentono la realizzazione di modelli 3D ricchi di informazioni e dettagli, e la successiva costruzione di modelli informativi dell'edificio (BIM). Tale procedura è utilizzata per l'estensione della tecnologia BIM agli edifici storici e quindi alla realizzazione di modelli informativi degli edifici storici o dei patrimoni HBIM (*Historic / Heritage Building Information Modeling*). Tuttavia è necessario conciliare la modellazione semantica orientata agli oggetti, basata sulla standardizzazione degli elementi, con la complessità delle caratteristiche architettonico-strutturali che conferiscono unicità ai tali beni [8]. Dietro la superficie di scansione esistono informazioni e dettagli che possono essere dedotti solo da un approccio metodologico di tipo storico-critico, finalizzato ad una conoscenza profonda

circa le tecniche artigianali di realizzazione degli elementi e materiali utilizzati [8,9].

Tali informazioni risultano indispensabili non solo nella fase di modellazione, ma anche nelle successive fasi di gestione e conservazione del bene, quindi per interventi di manutenzione o retrofit. Finora la metodologia HBIM è stata utilizzata per la modellazione di edifici di rilievo storico-culturale a carattere monumentale e comunque per la modellazione di singoli edifici (templi, chiese, etc.) o elementi di pregio degli stessi (portali, capitelli, etc.) e, solo raramente, per la modellazione dell'edilizia minore dei centri storici. Il presente contributo fornisce una metodologia innovativa volta alla realizzazione di uno strumento di supporto per tutti coloro che sono coinvolti nella gestione dei patrimoni immobiliari storici. Si tratta di una piattaforma digitale, di proprietà della amministrazione locale, che consente di accedere al modello tridimensionale *Heritage Building Information Modeling* (HBIM) di ciascun comparto edilizio situato nel centro storico della città. Il documento si articola in tre sezioni. Nella prima sezione è descritto il flusso di lavoro per realizzare il modello; nella seconda parte viene descritto il caso studio nel quale è anche proposta una misura di resilienza che sfrutta le informazioni ottenute dal modello; ed infine, nella terza sezione, sono forniti spunti di discussione e indicati i possibili sviluppi futuri.

2. Il Flusso di lavoro

Lo strumento, che si vuole mettere a punto, consiste in una piattaforma digitale, di proprietà dell'amministrazione locale, accessibile ai professionisti e tecnici operanti nel settore delle ristrutturazioni edilizie, contenente i modelli HBIM organizzati per comparti edilizi siti nel centro storico della città. La modellazione HBIM è la restituzione delle informazioni risultanti da un accurato processo conoscitivo dei beni. Esso avviene attraverso un Sistema integrato di tecniche di rilievo tradizionali e innovative, rispettivamente, rilievo in campo “*Building by Building*”, Aerofotogrammetria e Nuvola di Punti (vedi Fig. 1).

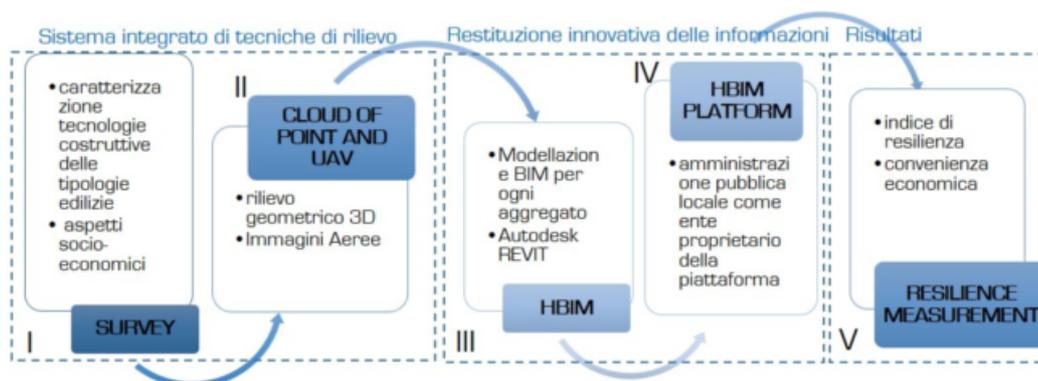


Fig. 1 - Flusso di lavoro
(Fonte: Elaborazione propria)

Di seguito si descrivono le fasi di lavoro:

- *Fase I:* Il rilievo in campo “*Building by Building*” e la raccolta delle informazioni attraverso schede AeDES¹. Queste ultime sono concepite sulla base dell’approccio comportamentale dell’elemento strutturale, cioè partendo dal presupposto che i comportamenti attesi, durante il sisma, siano riconducibili ad un numero limitato di tipologie costruttive. Tale approccio rende il risultato sintetico il dato più affidabile, e riduce la probabilità di commettere errori di tipo sistematico. Le schede consentono di condurre l’operazione di rilievo della tipologia costruttiva in maniera speditiva, evitando la raccolta di dati di scarsa importanza. Sono organizzate in n.9 sezioni. La *Sezione 1* contiene le informazioni identificative (geografiche e catastali) dell’immobile e la posizione all’interno dell’aggregato. La *Sezione 2* consente di raccogliere i dati metrici, l’età, e il tipo d’uso e di esposizione. La *Sezione 3* permette di caratterizzare l’organismo strutturale prevedendo, per gli edifici in muratura, di selezionare le due combinazioni tra elementi verticali e orizzontamenti prevalenti.

Per gli elementi verticali (pannelli murari) la distinzione avviene in funzione del tipo di tessitura muraria: irregolare e di cattiva qualità, regolare e di buona qualità. In entrambi i casi è possibile dettagliare in funzione dell’eventuale presenza di sistemi di catene e/o cordoli. Per gli elementi orizzontali sono previste le strutture voltate, con o senza catene, e le strutture orizzontali piane distinte in tre categorie in funzione della deformabilità del solaio. La medesima sezione consente di caratterizzare la tipologia della struttura di copertura in funzione del proprio comportamento. Si tralascia la descrizione delle restanti sezioni, dedicate al rilievo del danno post-evento sismico, in quanto il rilievo dell’organismo strutturale avviene in condizioni pre-evento. I dati, così raccolti, consentono di pervenire ad una prima valutazione della vulnerabilità sismica dell’edificio.

- *Fase II:* La realizzazione di immagini aeree del patrimonio immobiliare, ottenute attraverso la tecnica della fotogrammetria aerea classica, nota con l’acronimo, UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Essa consente di rilevare ampie zone di territorio, attraverso riprese fotografiche, a bassa quota, acquisite da una macchina da presa installata su droni a pilotaggio remoto. Il risultato sono ortofoto di elevata precisione. Tale tecnica trova largo uso per il controllo degli abusi e per l’acquisizione di dati in aree o strutture altrimenti inaccessibili a fronte di costi contenuti e tempi rapidi [10]. Il rilievo tridimensionale, cosiddetta Nuvola di Punti, viene eseguito attraverso dei Laser Scanner, strumenti in grado di misurare ad altissima

velocità la posizione di un numero elevato di punti i quali definiscono la superficie di oggetti situati in un fissato raggio d’azione della macchina. Di ognuno di essi sono note le coordinate. La nuvola di punti è visualizzabile attraverso software specifici e consente in modo rapido di effettuare rilievi molto ampi, di visualizzare l’intera area tridimensionalmente e di misurare le distanze tra punti.

- *Fase III:* A partire dalla nuvola di punti è possibile generare modelli mesh digitali che integrati con le informazioni rilevate nelle fasi precedenti consentono di realizzare un modello digitale HBIM per ogni comparto, inteso come aggregato edilizio isolato. Questa operazione è nota come processo di trasformazione da un punto a BIM [11] e sarà condotta attraverso il software Autodesk REVIT.

- *Fase IV:* Realizzazione della piattaforma digitale contenente tutti gli aggregati HBIM. Tale piattaforma, di proprietà dell’ente amministrativo locale, sarà gestita dall’area tecnica dell’ente, e sarà accessibile ai professionisti incaricati della progettazione degli interventi di ristrutturazione. Essa consentirà il controllo completo dell’intero patrimonio edilizio sito nel centro storico della città. Potrà essere aggiornato in tempo reale man mano che i progetti di retrofit strutturale, energetico e funzionale, avanzano e apportano modifiche ad un comparto o ad una parte di esso.

- *Fase V:* Misura dell’indice di Resilienza e valutazione della convenienza economica della riqualificazione. Il livello conoscitivo conseguito consentirà all’ente di suggerire soluzioni specifiche secondo criteri di omogeneità degli interventi sulle unità immobiliari appartenenti al medesimo aggregato edilizio. Inoltre, le informazioni raccolte in termini di uso, esposizione e vulnerabilità consentiranno di individuare le aree urbane che necessitano di interventi prioritari, anche da parte del pubblico, per stimolare “l’atmosfera di rinnovamento” in grado di contrastare il decadimento complessivo del quartiere [12]. Inoltre, le informazioni contenute all’interno del HBIM potranno essere utilizzate come solida base per la classificazione del patrimonio edilizio in tipologie edilizie. A partire da tale classificazione, attraverso una stima per campioni significativi, sarà possibile valutare i costi di recupero/retrofitting dell’intero patrimonio e un conseguente indice di resilienza. Queste valutazioni consentiranno di redigere Piani di recupero, di cui molti centri storici sono ancora sprovvisti, all’interno dei quali gli interventi potranno essere pianificati secondo priorità generate da valutazioni di convenienza economica. Queste ultime avranno come parametro di riferimento, sulla base del quale graduare le alternative, l’incremento della resilienza. A tal fine, nel pa-

¹Scheda di I livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell’emergenza post-sismica; messa a punto nel 2003 da un team di lavoro del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, del Dipartimento della Protezione Civile e del Servizio Sismico Nazionale.

ragrafo che segue, è anche proposto un indice di misura della resilienza.

3. Il caso studio

Il caso studio è il borgo antico del comune di Miglionico situato in Basilicata. Esso è stato selezionato in quanto presenta un patrimonio edilizio rappresentativo di molti borghi presenti su territorio nazionale, oltre che una pericolosità sismica di base medio-elevata. Allo stato attuale del lavoro di ricerca per il caso studio sono state completate le prime due fasi della metodologia (vedi Fig. 2).

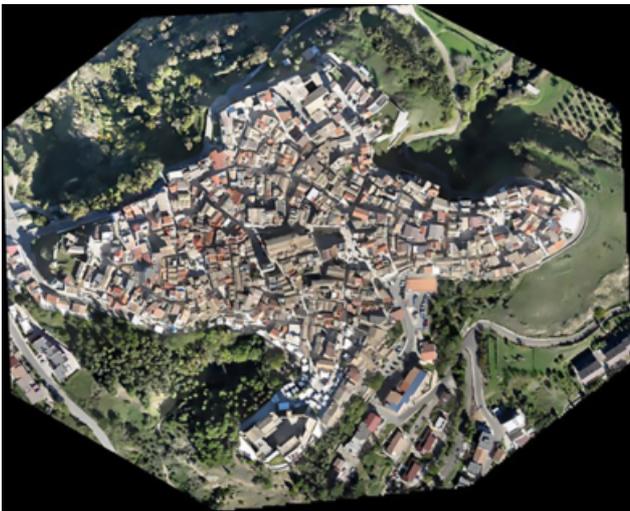


Fig. 2 - Ortofoto del borgo antico
(Fonte: Elaborazione propria)

Il rilievo tridimensionale, Nuvola di Punti (vedi Fig.3), è stato effettuato per l'intero centro storico compreso all'interno delle mura di cinta medioevali.



Fig. 3 - Visualizzazione tridimensionale della Nuvola di punti
(Fonte: Elaborazione propria)

I dati derivanti dal Sistema integrato delle tecniche di rilievo hanno consentito di condurre l'analisi di vulnerabilità sismica. Sulla base delle informazioni storico-evolutive del centro storico e dalle ispezioni visive dirette, è stato possibile individuare quattro zone omogenee, all'interno delle quali sono state individuate le tipologie costruttive tipiche. All'interno di ciascuna zona sono stati selezionati e indagati gli aggregati ritenuti maggiormente rappresentativi per periodo di costruzione e tipologia costruttiva.

Complessivamente, sono stati indagati undici aggregati costituiti da 204 Unità strutturali edilizie. Queste ultime sono state individuate agevolmente grazie alla disponibilità del Rilievo 3d Nuvola di Punti e di Ortofoto.

Tutte le Unità strutturali edilizie sono state indagate e per ognuna di esse sono state effettuate ispezioni visive, interviste ai proprietari e/o tecnici incaricati del progetto di ristrutturazione, volto al miglioramento sismico, qualora l'edificio ne fosse stato oggetto in passato. I dati, derivanti da tali indagini in sito, sono stati raccolti all'interno di schede AeDES. Successivamente, la valutazione della vulnerabilità sismica è stata effettuata seguendo la metodologia delle Matrici di Probabilità del Danno (DPM) [13]. Esse sono basate sulla combinazione delle tipologie strutturali degli elementi orizzontali e verticali, partendo dall'ipotesi che edifici appartenenti alla medesima tipologia edilizia esibiscano, sotto sisma, stesso comportamento, e quindi la medesima probabilità di occorrenza di un certo livello di danno. La metodologia individua le diverse tipologie di danno e definisce quattro classi di vulnerabilità (A, B, C, D) secondo un grado decrescente di livello di danno atteso. Ai fini dell'attribuzione della classe di vulnerabilità, in presenza di più combinazioni all'interno della medesima Unità strutturale edilizia, è stata considerata la combinazione verticale/orizzontale più sfavorevole, ovvero quella maggiormente vulnerabile.

Gli edifici sismo-resistenti, o che sono stati oggetto di un intervento di adeguamento sismico, sono stati considerati con la classe di vulnerabilità più bassa (classe D).

La distribuzione statistica dei risultati, per ciascuna zona omogenea, è riportata in figura (vedi Fig. 4). Seguono, in nella figura (vedi Fig. 5), gli scenari di danno attesi in corrispondenza di due eventi sismici selezionati:

- L'evento sismico del Database macrosismico italiano a cui corrisponde l'intensità macrosismica massima stimata, pari VII, associata all'evento sismico del 16 Dicembre del 1857;
- Un secondo evento, di intensità macrosismica, pari a VIII, come evento di intensità massima attesa.

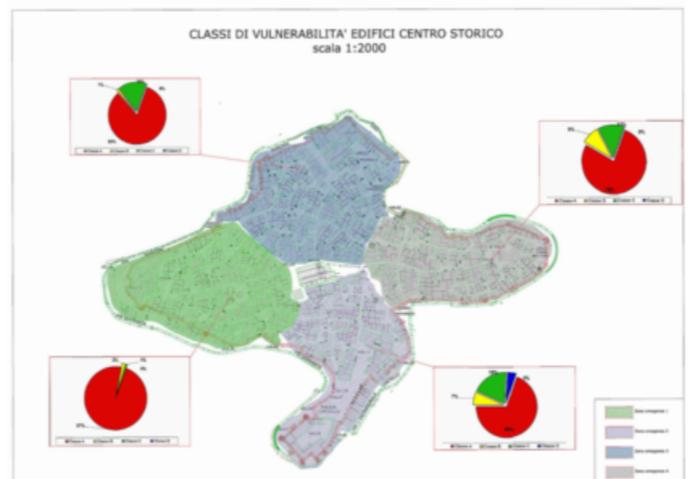


Fig. 4 - Distribuzione statistica delle Classi di Vulnerabilità
(Fonte: Elaborazione propria)

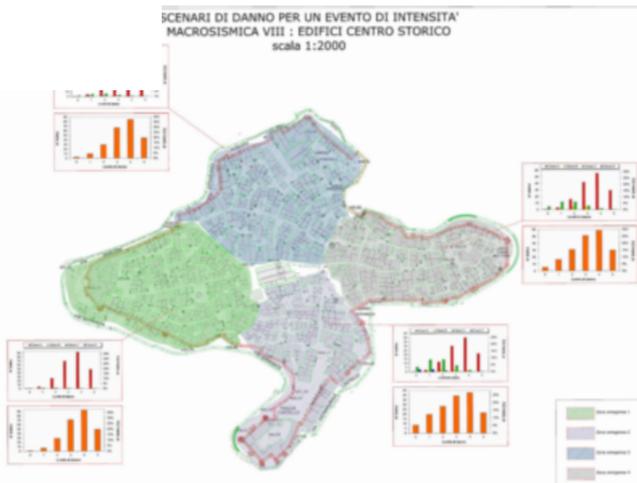


Fig. 5 - Scenari di danno sulla base delle DPM
(Fonte: Elaborazione propria)

4. Discussioni e sviluppi futuri

La realizzazione dei modelli BIM per ciascun comparto edilizio presenta alcuni ostacoli. Sebbene le tecniche di rilievo geometrico innovative, mediante Laser Scanner e Ortofoto, consentano di pervenire al modello geometrico tridimensionale in tempi relativamente brevi, il processo di trasformazione del punto, dato grezzo, a informazione semantica, è un'operazione che richiede tempo e lavoro [11]. A ciò si aggiunge, da un lato lo sforzo necessario alla raccolta delle informazioni circa le caratteristiche dei materiali e alla caratterizzazione dell'organismo strutturale, che può avvenire solo attraverso ispezione visiva, dall'altro l'impiego di personale tecnico altamente specializzato per la costruzione ed utilizzazione di "un inventario digitale" del patrimonio edilizio storico.

Tali operazioni rendono l'intero processo dispendioso anche sul piano economico. Per contro, diversi sono i benefici sociali ed economici derivanti dalla realizzazione della piattaforma HBIM. Essa consente, ad esempio, il controllo puntuale dell'edificato e la conseguente riduzione di abusi edilizi. La disponibilità del modello BIM dell'intero comparto permette, inoltre, ai progettisti incaricati della progettazione dell'intervento di miglioramento sismico, relativo solo ad alcune Unità strutturali edilizie, di valutare l'effetto dell'intervento previsto sul comportamento complessivo del comparto.

La misura di un indice di resilienza, che sfrutta le informazioni del modello, può divenire parametro essenziale di valutazioni economiche su cui costruire Piani di recupero per una gestione sostenibile del rischio sismico.

Bibliografia

- [1] Eduardo N.J., Arminda A., Nuno S., João C.R., *A Case Study Driven Integrated Methodology to Support Sustainable Urban Regeneration Planning and Management*. In: Sustainability, n. 11, p. 4129, 2019
- [2] De Magalhães C., *Urban Regeneration*. In: International Encyclopedia of Social & Behavioral Science 2nd Edition, 2015
- [3] Commissione Europea, LEVEL(S), *Taking action on the TOTAL impact of the construction sector*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019
- [4] Saccomani S., *Urban regeneration and crisis*, June 2016
- [5] Steinberg F., *Conservation and Rehabilitation of Urban Heritage in Developing Countries*. In: HABITAT INTL., vol. 20, n. 3, pp. 463 - 475, 1966
- [6] Taffarel S., Caliman M., Valluzzi M.R., da Porto F., Modena C., *Seismic vulnerability assessment of clustered historical centers: fragility curves based on local collapse mechanisms analyses*. In: Proceedings of 16th International Brick and Block Masonry Conference, 2016
- [7] Magenes G., Morandi P., *Valutazione della risposta sismica di edifici in muratura: modelli e normative*, Workshop WONDERmasonry, 2006
- [8] Maiezza P., Tata A., *Department Modelling and Visualization Issues in the Architectural Heritage BIM*, Springer Nature, 2019
- [9] Murphy M., McGovern E., Pavia S., *Historic Building Information Modelling - Adding intelligence to laser and image based surveys of*

A partire dallo scenario di danno atteso, che sarà contenuto come un'informazione all'interno del modello HBIM dell'aggregato, può essere quantificato il costo di riparazione, il tempo di riparazione e di conseguenza la funzione di riparazione. Tali informazioni consentiranno di pervenire alla quantificazione dell'Indice di Resilienza, la cui funzione è formalizzata nella equazione (1).

$$R_{index}(I) = \sum_{class=1}^n \left\{ W_{class} \left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{E[T_{RB}|C_{(r,I)}]}{T_{LC}} E[C_{(r,I)}|d_{l,i}] \right) P[d_l = d_{l,i}|I] \right\} \quad (1)$$

L'indice di resilienza è basato sulla combinazione degli indici di resilienza per ogni tipologia di costruzione presente nell'area dell'edificato. Per ogni tipologia è usato un fattore peso W_{type} che misura l'importanza di una tipologia edilizia rispetto alle altre in relazione alla loro quantità nella comunità. L'indice è basato su una convoluzione tra lo stato del danno dl , espresso in funzione della probabilità di occorrenza del danno $P[d_l = d_{(l,i)} | I]$ per una specifica intensità sismica, e corrispondente al prodotto tra il costo atteso per ripristinare le condizioni iniziali $E[C_{(r,I)}|d_{(l,i)}]$, e il rapporto tra tempo atteso per il recupero e tempo di controllo $E[T_{RB}|C_{(r,I)}]/T_{LC}$.

Le perdite di funzionalità della comunità sono direttamente portate in conto attraverso $P[d_l = d_{(l,i)} | I]$, dunque basate sulla vulnerabilità degli edifici per una specifica intensità sismica. Essa è la probabilità di ottenere un livello di danno dl dato a una certa intensità macrosismica I per ogni classe di vulnerabilità.

Il termine dl rappresenta i livelli di danno come forniti dall'EMS-98, in un range da 0 a 5 ($d_l = 0$ assenza di danno, $d_l = 5$ distruzione totale dell'edificio).

La probabilità di occorrenza del danno sarà direttamente derivata dalle matrici di probabilità di danno. Per le analisi di scenario, i terremoti sono forniti in forma deterministica, ad esempio con riferimento al massimo evento possibile oppure al più probabile.

European classical architecture. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 76, pp. 89 - 102, 2013

[10] Karachaliou E., Georgiou E., Psaltis D., Stylianidis E., *UAV for mapping historic buildings: from 3D modelling to BIM*. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XLII-2/W9, 2019

[11] Huber D., Akinci B., Adan A., Anil E., Okorn B., Xiong X., *Methods for Automatically Modeling and Representing As-built Building Information Models*. In: Proceedings of 2011 NSF Engineering Research and Innovation Conference, Atlanta, Georgia, 2011

[12] Blečić I., Cecchini A., Minchilli M., Tedeschi L.F., Trunfio G.A., *A decision support tool on derelict buildings for urban regeneration*. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. IV-4/W7, 2018

[13] Braga F., Dolce M., Liberatore D., *A Statistical study on damaged buildings and on ensuing review of the M.S.K. 76 scale*. In: 7th European Conference on Earthquake Engineering, Atene, 1982

