

LA PREVENZIONE NEL PROCESSO DI RICOSTRUZIONE POST-SISMA DEL CENTRO
ITALIA. IL RUOLO DELLA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ A SCALA EDILIZIA
ATTRAVERSO L'ANALISI DEL CASO DI STUDIO DEL CENTRO STORICO DI
CALDAROLA

Letizia Bernabei¹

SOMMARIO

Come ormai noto, il sisma del centro Italia del 2016 ha dimostrato come l'approccio alla fase post-sismica sia ancora basato su una impostazione di tipo emergenziale, mentre stentano a farsi strada azioni di prevenzione e riduzione del rischio sismico. La presente ricerca nasce con l'obiettivo di fornire una nuova strategia di intervento nel processo di ricostruzione post-sisma, attraverso l'analisi della vulnerabilità sismica alla scala edilizia, che, se da un lato agevola la definizione degli interventi prioritari da attuare al termine dell'emergenza, dall'altro, consente di avviare efficaci azioni di prevenzione e riduzione del rischio sismico. L'interdisciplinarietà dei temi coinvolti richiede una visione olistica all'interno del dibattito in materia sismica e l'avvio inderogabile di percorsi di collaborazione tra le distinte competenze scientifiche e le Amministrazioni, al fine di convogliare gli obiettivi della ricostruzione e della prevenzione nella pianificazione urbanistica ordinaria. Sulla base di tali considerazioni, viene proposta l'analisi di un insediamento urbano in chiave sistemica: valutando le interazioni funzionali tra i differenti sottosistemi urbani, all'interno dei quali la componente edilizia si rivela un importante fattore di criticità, si perviene all'individuazione dei deficit prestazionali che possono entrare in gioco durante un evento catastrofico.

¹ Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Perugia, e-mail: letizia.bernabei@unipg.it

1. Introduzione

L'esperienza dei terremoti che hanno colpito l'Italia negli ultimi decenni ha mostrato come buona parte del nostro patrimonio costruito sia molto vulnerabile a terremoti intensi, seppur non estremamente violenti se comparati con quelli occorsi in altre parti del mondo. La maggior parte dei Comuni italiani, infatti, è composta da nuclei storici realizzati in muratura portante, di epoca più o meno antica, a volte con espansioni più recenti costruite dal secondo dopoguerra in poi in cemento armato ed in assenza di adeguate norme antisismiche.

Gli esiti disastrosi ed i danni registrati a seguito del sisma del Centro Italia del 2016 hanno confermato, da un lato, l'elevata vulnerabilità del patrimonio edilizio diffuso, depositario di un'importante memoria architettonica e culturale, e dall'altro, l'elevato grado di esposizione cui sono soggetti la maggior parte degli insediamenti urbani sul territorio nazionale. A fronte di ciò, la sempre più diffusa consapevolezza, anche da parte dei cittadini, delle condizioni di rischio sismico in cui viviamo ogni giorno, sta innescando una crescente "domanda di sicurezza", nonché una sentita necessità di spezzare la catena che lega indissolubilmente ogni evento catastrofico alla conseguente totale distruzione. Sul punto, nello scenario internazionale, il quadro di azioni del Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, promosso dall'Ufficio delle Nazioni Unite per la Riduzione del Rischio di Disastri (UNISDR-United Nations Office for Disaster Risk Reduction) e che rappresenta uno dei riferimenti principali su questi temi, sancisce proprio il passaggio dalla "gestione delle catastrofi", alla "gestione del rischio di catastrofi", attraverso il ruolo fondamentale delle attività di prevenzione. All'interno di questa "agenda internazionale" vengono ribaditi due obiettivi chiave (Esposito *et al.*, 2017): la "*preparedness*", ossia la preparazione ai disastri naturali, diffondendo la conoscenza e la cultura dei rischi ambientali tra i singoli individui, le comunità e i sistemi di governance ed incentivando l'adozione di azioni idonee a ridurre l'impatto a tutti i livelli; il "*Building Back Better*", in italiano letteralmente "ricostruire meglio", ossia la ricostruzione post-traumatica come occasione per introdurre azioni di mitigazione del rischio, di miglioramento della qualità urbana e delle condizioni di sviluppo strategico di un insediamento sotto il profilo sociale, economico e culturale. Dunque, è necessario preparare le comunità ai disastri naturali ponendo al centro dell'attenzione pubblica la prevenzione sismica che, attraverso efficaci misure di riduzione del rischio, contribuirebbe a ridurre l'impatto di questi eventi in termini di danni e perdita di vite umane, di patrimonio culturale ed in termini di costi economici.

Inoltre, l'approccio di tipo emergenziale con cui si interviene ai disastri sismici in Italia e i contributi normativi ancora di impostazione settoriale hanno dimostrato una debole efficacia sul tema della prevenzione e stentano a promuovere una nozione di rischio come componente ordinaria nella gestione e pianificazione del territorio.

I drammatici esiti degli eventi sismici del 2016-2017 dimostrano la necessità di riconsiderare le questioni legate al rischio sismico all'interno di una visione olistica ed interdisciplinare, che valuta la vulnerabilità sismica distinguendola in urbana ed edilizia, transcendendo dal piano puramente teorico a quello pratico e specificatamente operativo.

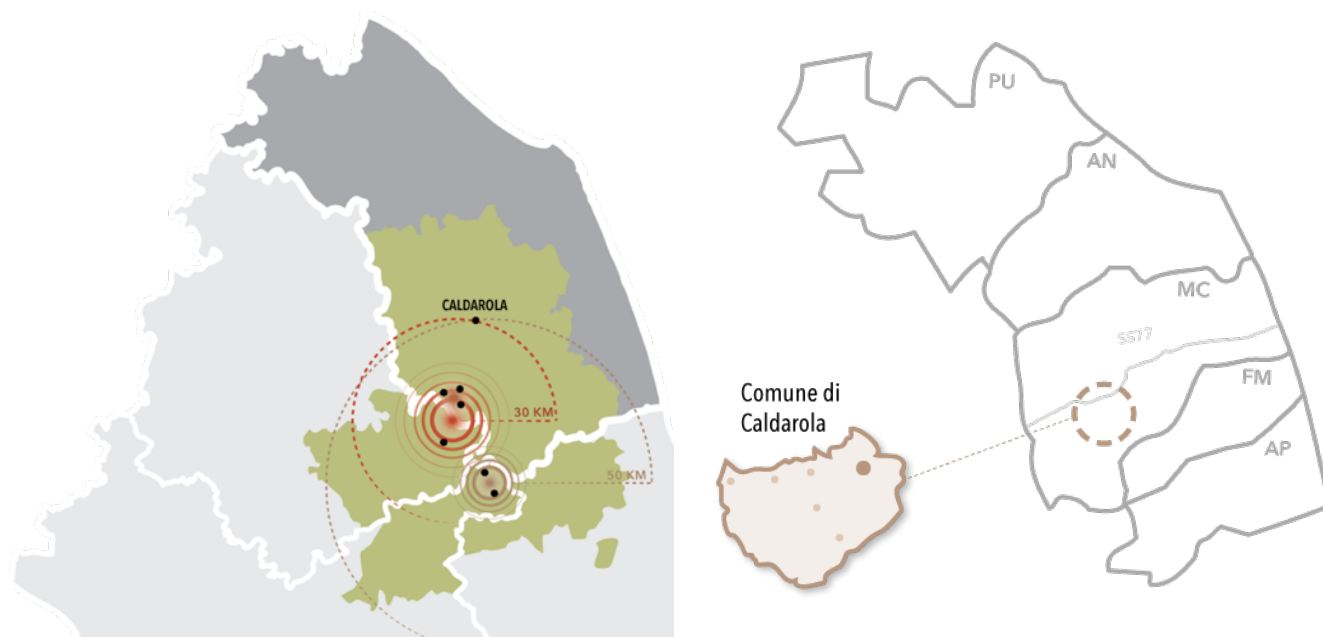
In linea con i sopracitati obiettivi, l'applicazione di un protocollo di valutazione della vulnerabilità edilizia ad un caso studio realmente colpito dal sisma del 2016 ha dimostrato l'efficacia che le misure di riduzione del rischio sismico assumono se applicate preventivamente al fine di promuovere una maggiore condizione di sicurezza urbana dei centri storici italiani.

2. Le indagini sul caso studio del centro storico di Caldarola

Il caso studio è stato individuato all'interno della provincia di Macerata, che risulta essere la più colpita tra i comuni del cratere sismico del 2016. Il comune di Caldarola è un piccolo borgo di impianto medievale, il cui centro storico si sviluppa in un'area di cesura tra i paesaggi collinari e montani dell'entroterra marchigiano. È conosciuto per la rilevanza storica e culturale del suo patrimonio architettonico: nel 500 ebbe la sua massima fioritura, diede i natali al pittore Simone de Magistris e la famiglia dei conti Pallotta

trasformò l'aspetto della cittadina in un modello di raffinata urbanistica sistina, di cui mantiene tutt'ora l'inconfondibile impianto urbanistico a tridente.

Figura 1 – Localizzazione del caso studio all'interno del cratere sismico e nel contesto regionale marchigiano



Fonte: elaborazioni personali

L'approccio metodologico utilizzato nell'indagine sul caso studio è del tutto innovativo: l'analisi, infatti, è stata condotta partendo da valutazioni di carattere generale a scala urbana, fino ad arrivare alle indagini di approfondimento alla scala edilizia per valutare la vulnerabilità del patrimonio costruito.

Questo modus operandi ci ha consentito di individuare le criticità emerse su un "caso reale" a seguito delle scosse del 2016, in quanto i drammatici esiti di un terremoto forniscono delle risposte certe ed immediate alla domanda "quali parti di città provocano maggior perdita di funzionalità e mettono a rischio la vita umana?"; la ricognizione degli effetti dell'evento sismico appena occorso consente di compiere scelte di trasformazioni più coerenti con il contesto urbano ed in misura più esatta rispetto ai danni subiti, che altrimenti sarebbero difficilmente determinabili in condizioni ordinarie. È stato, quindi, fondamentale partire dall'analisi dell'assetto urbanistico attuale (post-sisma), per individuare i deficit prestazionali del sistema urbano (pre-sisma), per poi passare all'individuazione di un ambito urbano critico per valutare le carenze strutturali degli aggregati edilizi in esso contenuti e verificare come sarebbe stato possibile individuare preventivamente lo scenario di danno registrato dopo le scosse sismiche.

Il confronto con una realtà costruttiva realmente danneggiata è stato fondamentale per la verifica a posteriori degli assunti teorici che sono alla base delle valutazioni di vulnerabilità edilizia; inoltre, la quasi totale corrispondenza tra il danno effettivo e la propensione al danno (calcolata con l'indice di vulnerabilità edilizia) ha dimostrato la validità del protocollo di calcolo utilizzato.

3. Vulnerabilità urbana: la risposta del sistema urbano al sisma

È stata svolta un'analisi di carattere sistemico dell'organismo urbano del centro storico di Caldarola in condizioni ordinarie e d'emergenza, al fine di valutare la tenuta del tessuto edilizio all'evento sismico del 2016 e di individuare le maggiori debolezze che compromettono (o meglio hanno già compromesso) la funzionalità del sistema urbano. L'analisi assume i connotati di una "diagnosi" delle condizioni dell'insediamento e degli elementi che lo costituiscono, ossia tutti quei sottosistemi funzionali (abitativo,

terziario, mobilità, accessibilità, beni culturali) che nell'insieme e attraverso le loro interazioni contribuiscono al funzionamento di un insediamento urbano.

La valutazione del rischio sismico di un organismo urbano deve considerare non solo la vulnerabilità fisica delle caratteristiche strutturali e tecnologiche del patrimonio costruito, ma anche la vulnerabilità funzionale e organizzativa, derivanti dalle relazioni che si instaurano tra le componenti del sistema e l'assetto delle strutture strategiche volte alla gestione delle emergenze naturali (Galderisi, 2004). Il quadro conoscitivo che si ottiene al termine di questo tipo di indagine urbana può essere considerato come punto di partenza per la definizione degli strumenti operativi di prevenzione, come la "Condizione Limite per l'Emergenza" (CLE) e la "Struttura Urbana Minima" (SUM).

Nel caso specifico, il sistema urbano del centro storico di Caldarola ha dimostrato una inadeguata risposta al sisma e una complessiva perdita di funzionalità trovandosi in una condizione di isolamento: gli eventi sismici del 30 ottobre del 2016 hanno comportato la perdita di organizzazione complessiva dell'organismo urbano, nonché la chiusura prolungata per oltre due anni del centro storico in zona rossa per motivi di sicurezza, cambiando improvvisamente il modo d'uso della città. Gli alti livelli di vulnerabilità fisica del patrimonio edilizio all'interno del nucleo storico originario (per la diffusa presenza di edifici di valore storico-architettonico e per le modalità aggregative dei tipi edilizi) e le oggettive difficoltà di messa in sicurezza in tempi brevi, hanno determinato scelte di delocalizzazione delle principali attività urbane nel tessuto di fondovalle, compromettendo il senso identitario e di appartenenza della comunità al luogo conservato nel centro storico.

Figura 2 – Ambito urbano oggetto di indagine e analisi della risposta al sisma del sistema del centro storico di Caldarola (MC)



Fonte: elaborazioni personali

4. La vulnerabilità edilizia degli aggregati del centro storico di Caldarola

La valutazione della vulnerabilità alla scala edilizia è stata condotta attraverso un protocollo di calcolo elaborato all'interno del Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna e messo a punto attraverso una serie di studi scientifici (Mochi *et al.*, 2016). Il metodo descrive attraverso indici numerici la vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi in termini di propensione al danno e di carenze costruttive e fonda le proprie basi nella ricerca storica ed archivistica, passaggio chiave per l'interpretazione del percorso

di formazione ed evoluzione dell'abitato e per una corretta valutazione strutturale del patrimonio costruito in muratura.

A seconda del livello di dettaglio richiesto e in base alla disponibilità di dati sugli edifici oggetto di indagine si distingue la valutazione della vulnerabilità in speditiva ed analitica; il primo metodo permette di identificare in modo semplice e rapido gli aggregati edilizi che presentano maggiori criticità all'interno di un centro storico; il secondo, se applicato alle singole unità strutturali che compongono un aggregato edilizio, consente di individuare gli interventi preventivi di miglioramento sismico sulle porzioni che presentano le maggiori carenze strutturali.

Da questi studi, unitamente all'identificazione delle tecniche costruttive locali, si giunge all'individuazione dei meccanismi di danno che possono manifestarsi, i quali vengono definiti attraverso alcuni indicatori, ritenuti significativi in ragione della loro relazione causale con il danneggiamento: ribaltamento delle facciate (RF), trasformazioni in alzata (TA), ribaltamento dei timpani (RT), lesioni per spinta derivante dalla presenza di falsi puntoni in copertura (FP), disconnessioni murarie (DM), trasformazioni in pianta (TP), martellamento per irregolarità costruttive dovute alla presenza nell'aggregato di edifici in calcestruzzo armato (MCA) o per solai sfalsati tra due edifici adiacenti (MSS), debole resistenza a taglio per larghezza insufficiente dei maschi murari (VT). A tali indici parziali viene assegnato un peso (P_i), come livello di pericolosità in base al tipo di cinematisma (I modo di danno o II modo di danno) che comportano; infine, vengono combinati in un unico valore, l'indice di vulnerabilità globale (VGA per il metodo analitico e VGS per il metodo speditivo), in grado di rappresentare la vulnerabilità sismica in un valore numerico da 0 a 100, come rappresentato nelle seguenti equazioni [1], [2]:

$$VGA = RF \cdot P_{RF} + RT \cdot P_{RT} + FP \cdot P_{FP} + DM \cdot P_{DM} + MSS \cdot P_{MSS} + MCA \cdot P_{MCA} + VT \cdot P_{VT} \quad [1]$$

$$VGS = TA \cdot P_{TA} + TP \cdot P_{TP} + FP \cdot P_{FP} + MSS \cdot P_{MSS} + MCA \cdot P_{MCA} + VT \cdot P_{VT} \quad [2]$$

Nel caso studio specifico, è stato utilizzato il metodo speditivo per analizzare la propensione al ribaltamento delle quinte edilizie degli aggregati che affacciano sul corso principale di accesso e attraversamento del centro storico, via Roma; a supporto del calcolo sono state utilizzate solamente le planimetrie del piano terra e dei prospetti, il cui rilievo è stato eseguito in collaborazione con il Dipartimento di Scienze e Ingegneria della Materia, dell'Ambiente ed Urbanistica (SIMAU) dell'Università Politecnica delle Marche, con un nuovo strumento di rilievo fotogrammetrico che garantisce la restituzione dei dati in tempi rapidi. Il metodo analitico richiede la conoscenza delle planimetrie degli edifici, perciò è stata necessaria la consultazione delle pratiche edilizie più recenti presso l'Ufficio Tecnico del Comune di Caldarola, comprese le schede AeDES, sulla base delle quali è stato calcolato l'indice di danno grazie alla documentazione fotografica in esse contenuta.

4.1 Il sistema delle quinte edilizie e la sicurezza delle vie di fuga

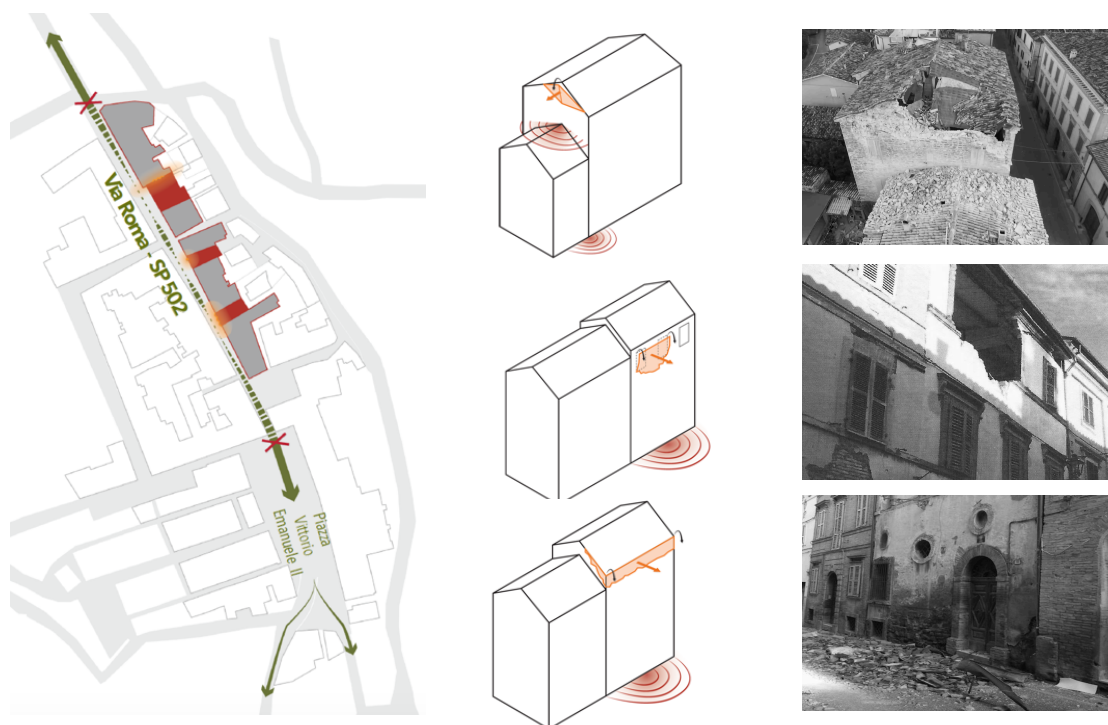
La ricognizione degli effetti del sisma ha permesso di evidenziare i deficit prestazionali di parti di città e dei sottosistemi funzionali urbani. La situazione di maggiore criticità è emersa nella viabilità, in quanto il centro storico è attraversato da un'unica strada principale, il corso di Via Roma, che costituisce un tratto della strada provinciale (SP 502) che collega i comuni limitrofi con la strada statale a valle dell'insediamento. Inoltre, il sistema di viabilità interna dispone di pochi percorsi minori alternativi, che convergono nel tratto principale e non garantiscono la capillarità delle vie di fuga sicure.

A seguito di queste valutazioni è stato individuato come ambito di indagine il primo isolato del centro storico per analizzare la vulnerabilità dei fronti degli aggregati edilizi che affacciano sulla strada pubblica. Infatti, l'accesso al centro storico ed il passaggio dei mezzi di soccorso sono stati impediti dai crolli di porzioni di muratura provocati da tre edifici di due aggregati edilizi, di cui si è ritenuto opportuno valutarne la vulnerabilità (Fig. 3).

È stato, perciò, effettuato uno screening iniziale su i due aggregati urbani con il metodo speditivo, e, una volta individuato il più vulnerabile, è stato sottoposto ad un'indagine di dettaglio, attraverso valutazioni definite di tipo analitico, cioè basate su ricerche storico-archivistiche più approfondite. Questo tipo di indagine, svolta preventivamente, consente di individuare le parti di città maggiormente vulnerabili e di impedire il verificarsi di simili condizioni di disfunzione ed interruzione della viabilità all'interno dell'organismo urbano. Di conseguenza, il sistema delle quinte edilizie costituisce una seria problematicità nell'individuazione dei percorsi sicuri e delle vie di fuga per le quali deve essere scongiurato il rischio di crollo di facciate o porzioni di muratura al fine di garantire la sicura evacuazione delle persone e il passaggio dei mezzi di soccorso durante l'emergenza.

Sulla base di queste considerazioni, la valutazione speditiva si è dimostrata idonea ad un'analisi su ampia scala, e, vista l'economicità e la rapidità del protocollo di calcolo utilizzato, rientra all'interno degli investimenti che una pubblica amministrazione può sostenere per la prevenzione e la riduzione del rischio sismico a supporto della redazione dei piani di emergenza e della CLE. Infatti, considerando i tempi di rilievo ed elaborazione dati impiegati per l'aggregato 2, la superficie totale dei fronti edilizi che affacciano su strada di tutto il centro storico, sarebbero necessari solamente 3 - 4 mesi lavorativi da parte di un solo operatore.

Figura 3 – Localizzazione dei principali crolli su Via Roma



Fonte: elaborazioni personali

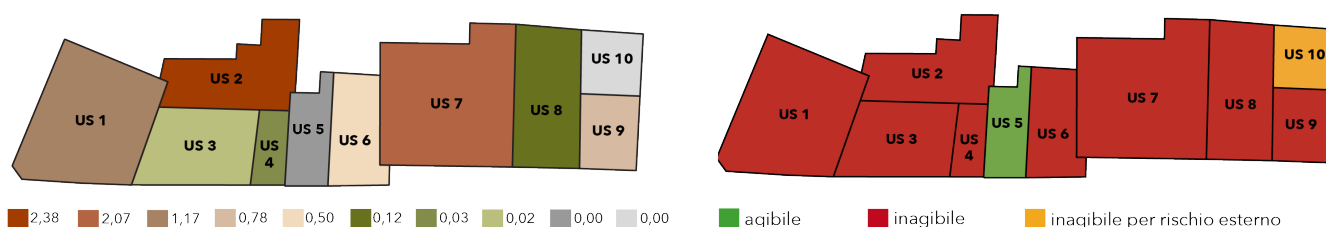
4.2 La previsione del danno tramite il calcolo della vulnerabilità e il confronto con il danneggiamento a seguito del sisma

Nella seconda fase di analisi alla scala edilizia, si è ritenuto opportuno approfondire la valutazione con il metodo analitico su ciascuna delle 10 unità strutturali che compongono l'aggregato edilizio 1 (risultato il più vulnerabile dalla analisi speditiva), al fine di confrontare i possibili scenari di danno valutati preventivamente attraverso il calcolo della vulnerabilità e l'effettivo danneggiamento subito a seguito del sisma del 2016. Questo tipo di indagine si inserisce all'interno delle precedenti sperimentazioni sul metodo (Gulli *et al.*, 2017), in quanto, l'applicazione ad un caso reale colpito dal terremoto del centro Italia consente, sia, di

verificare l'attendibilità della procedura di calcolo, sia, l'avanzamento della metodologia attraverso la risoluzione delle questioni emerse in relazione allo specifico contesto territoriale. Inoltre, il metodo analitico risulta essere molto efficace per comprendere quali siano le unità strutturali che presentano le maggiori carenze strutturali, nell'ottica di pianificare interventi preventivi di messa in sicurezza degli edifici garantendo la conservazione del patrimonio edilizio storico. La ricostruzione dei processi di formazione e modificazione dei tessuti edilizi costituisce il punto iniziale per la previsione del comportamento sismico e si fonda sulle fonti storico-archivistiche insieme all'attenta lettura degli elementi costruttivi visibili dai sopralluoghi esterni. Per l'aggregato in questione, la ricerca storica ed archivistica si è basata sulle informazioni desunte da fonti pittoriche che testimoniano la presenza degli edifici dal XVII-XVIII sec., e nel dettaglio delle singole unità strutturali, è stato possibile individuare la prima fase di impianto delle abitazioni grazie al supporto del catasto gregoriano (1812) confrontato con le prime visure catastali disponibili.

Successivamente al calcolo degli indici di vulnerabilità, è stato definito il livello di danneggiamento attraverso un indice numerico, ripreso da precedenti studi, che sintetizza il danno assoluto di ciascuna unità strutturale e consente la comparazione diretta con il relativo indice di vulnerabilità. Il quadro fessurativo degli edifici è stato formulato sulla base della documentazione fotografica contenuta nelle schede AeDES, per gli interni, e sulla base di elementi direttamente acquisiti a seguito dell'ispezione visiva, per i prospetti esterni.

Figura 4 – Distribuzione del danno ed esiti di inagibilità per le unità strutturali dell'aggregato 1



Fonte: elaborazioni personali

Gli indici di danno calcolati permettono una perfetta comparazione con gli indici di vulnerabilità, poiché restituiscono una visione dettagliata dei livelli di danno rispetto agli esiti di agibilità, che, al contrario, consentono solamente di distinguere in tempi brevi condizioni di manifesta inagibilità strutturale (Dipartimento Protezione Civile, 2014).

Gli scenari di danneggiamento sismico definiti dal calcolo della vulnerabilità offrono una visione dei possibili effetti che un sisma produce sull'edificato storico e si fondano su assunti teorici fissati dagli studi di Giuffrè finalizzati alla ricerca delle cause che originano i danneggiamenti. Infatti, danno e vulnerabilità sono legati dalla "reciproca capacità di esplicarsi", il primo descrivendo il comportamento vulnerabile di un manufatto e l'altro dimostrando il processo cinematico che porta al danneggiamento; i caratteri architettonici e costruttivi rappresentano la componente eziologica del danno insita nell'edificio, che si qualifica attraverso la vulnerabilità (Doglioni, 2000).

Sulla base di queste considerazioni, la seguente comparazione consente di definire il grado di efficacia del protocollo di calcolo proposto e di rafforzare l'utilità del metodo di valutazione della vulnerabilità come misura di prevenzione e riduzione del rischio sismico.

L'Ufficio Tecnico Comunale, e il danneggiamento subito a seguito del sisma del 2016 per cinematismi di danno di I modo. Questa riflessione permette, non solo, di ribadire l'efficacia degli interventi di miglioramento sismico sugli edifici in muratura, laddove siano eseguiti correttamente, ma anche, di dimostrare l'utilità di un metodo volto ad individuare preventivamente le carenze strutturali di un edificio al fine di garantire la salvaguardia di vite umane e la tutela del patrimonio edilizio storico.

5. ESITI DELLA VALUTAZIONE

I risultati del metodo speditivo, come anticipato, consentono di verificare in particolar modo gli scenari di danno conseguenti a cinematismi di ribaltamento fuori piano. Nel calcolo dell'indice globale è emersa una maggiore vulnerabilità dell'aggregato 1, imputabile all'indice di ribaltamento del timpano per il quale effettivamente si è verificato il cinematismo nell'unità strutturale segnalata in Fig. 5.

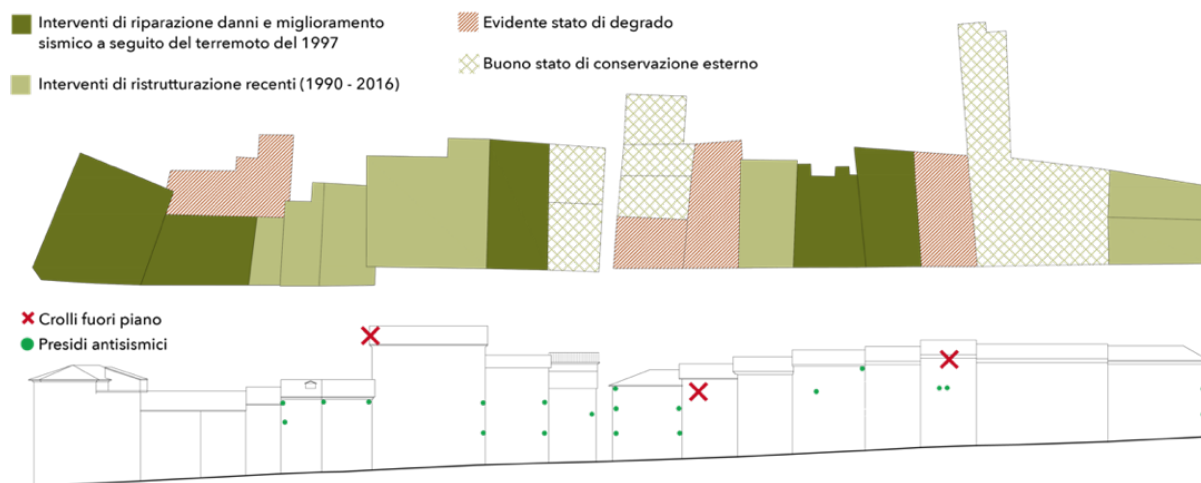
Figura 5 – Corrispondenza indice parziale di vulnerabilità RT (ribaltamento del timpano) e crollo del timpano sinistro dell'US 7 a seguito del sisma



Fonte: elaborazioni personali

Tuttavia, anche l'aggregato 2 ha registrato in due unità strutturali crolli di porzioni di muratura non esplicitamente segnalati dagli esiti dell'indice di vulnerabilità speditivo, motivo per cui è stato ritenuto necessario un approfondimento delle condizioni costruttive degli edifici prima del sisma. Infatti, dalla conoscenza delle pratiche edilizie e dalla ricostruzione delle vicende legate ai precedenti eventi sismici che hanno colpito l'area d'indagine, è stato possibile avanzare delle riflessioni su una questione che non viene tenuta in considerazione all'interno del metodo utilizzato, ossia, il debito manutentivo, condizione che può determinare, sia, l'inasprimento delle vulnerabilità originarie di un edificio, sia, l'insorgenza di lesionamenti non categorizzabili all'interno degli indici di vulnerabilità calcolati. Allo stesso tempo, è stato possibile constatare che gli edifici che avevano subito interventi di riparazione danni in epoche passate (i più recenti sono stati a seguito del sisma umbro-marchigiano del 1997) hanno dimostrato una buona risposta alle sollecitazioni sismiche; inoltre, la presenza di presidi antisismici in facciata ha scongiurato l'innescarsi di cinematismi di ribaltamento, anche nel caso di unità strutturali fatiscenti.

Figura 6 – Confronto tra condizione manutentiva pre-sisma e i cinematismi innescati dal sisma



Fonte: elaborazioni personali

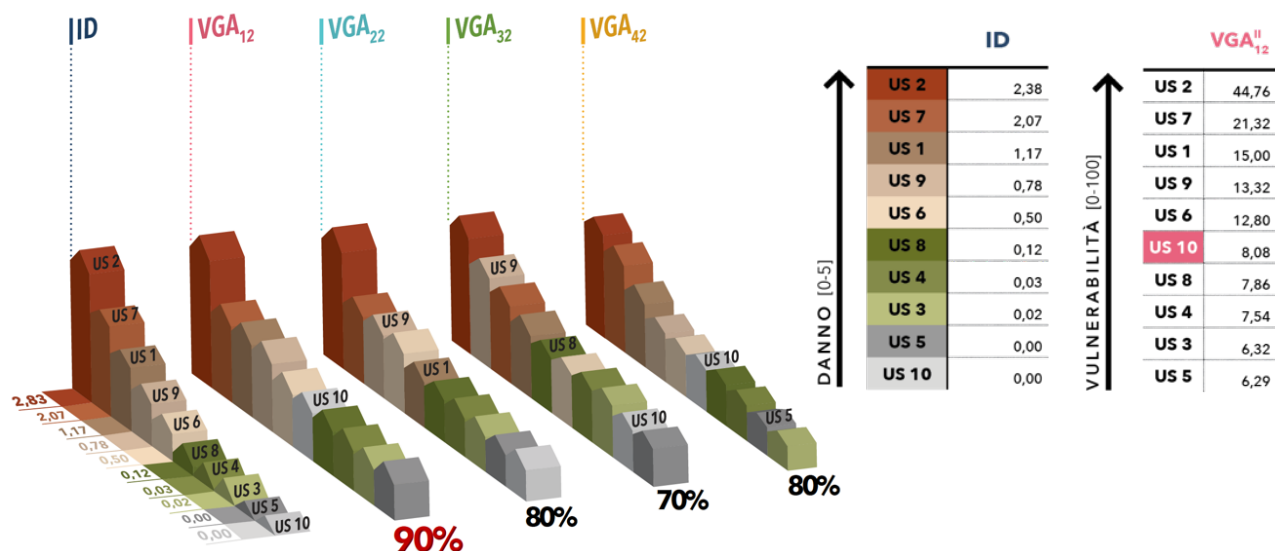
A tal riguardo, in Fig. 6 viene riportata la corrispondenza tra lo stato manutentivo delle unità strutturali, desunto dalla comparazione delle immagini fotografiche pre-sisma e delle informazioni contenute nelle pratiche edilizie consultate presso l'Ufficio Tecnico Comunale, e il danneggiamento subito a seguito del sisma del 2016 per cinematismi di danno di I modo. Questa comparazione permette, non solo, di ribadire l'efficacia degli interventi di miglioramento sismico sugli edifici in muratura, laddove siano eseguiti correttamente, ma anche, di dimostrare l'utilità di un metodo volto ad individuare preventivamente le carenze strutturali di un edificio al fine di garantire la salvaguardia di vite umane e la tutela del patrimonio edilizio storico.

L'indagine con il metodo analitico è stata invece condotta in diverse fasi per raggiungere un risultato ottimale e coerente con le caratteristiche costruttive dell'aggregato 1, tipiche dell'area territoriale oggetto d'indagine. In primo luogo, vista la possibilità di consultare le pratiche edilizie riferite alle singole unità strutturali componenti l'aggregato, sono stati calcolati gli indici di vulnerabilità analitici, prima, basandosi sui dati raccolti da un'ispezione visiva dall'esterno, poi, tenendo conto degli interventi di miglioramento sismico eseguiti in precedenza dichiarati all'interno delle pratiche. La comparazione dei due dati ha prodotto esiti positivi confermando la bontà dei risultati ottenibili con questa metodologia con le sole informazioni ricavate dal rilievo speditivo.

Allo stesso tempo è stato possibile prendere atto di una grande eterogeneità muraria dei paramenti dei manufatti d'indagine che non permetteva di ottenere una diretta corrispondenza tra le vulnerabilità previste e il grado di danneggiamento effettivo. A tal proposito, per raggiungere un maggior livello di accuratezza del calcolo è sembrato opportuno avanzare la proposta di introdurre la qualità muraria all'interno della valutazione della vulnerabilità edilizia, attraverso l'elaborazione di un coefficiente della qualità muraria che abbassa il valore della vulnerabilità edilizia in presenza di un'ottima muratura, oppure, lo lascia invariato nel caso di murature di pessima qualità.

Come ultima fase d'indagine, dopo aver calcolato il nuovo indice di vulnerabilità (considerando la qualità muraria) per ciascuna delle 10 unità strutturali dell'aggregato, è stata redatta la graduatoria definitiva e confrontata con la corrispettiva degli indici di danno. I risultati emersi sono totalmente soddisfacenti, in quanto è stata ottenuta una diretta corrispondenza del 90% tra le due graduatorie, nel caso della prima combinazione di pesi della vulnerabilità, e dell'80% e del 70% nei restanti casi.

Figura 7 – Confronto graduatorie del danno e della vulnerabilità delle unità strutturali dell'aggregato 1



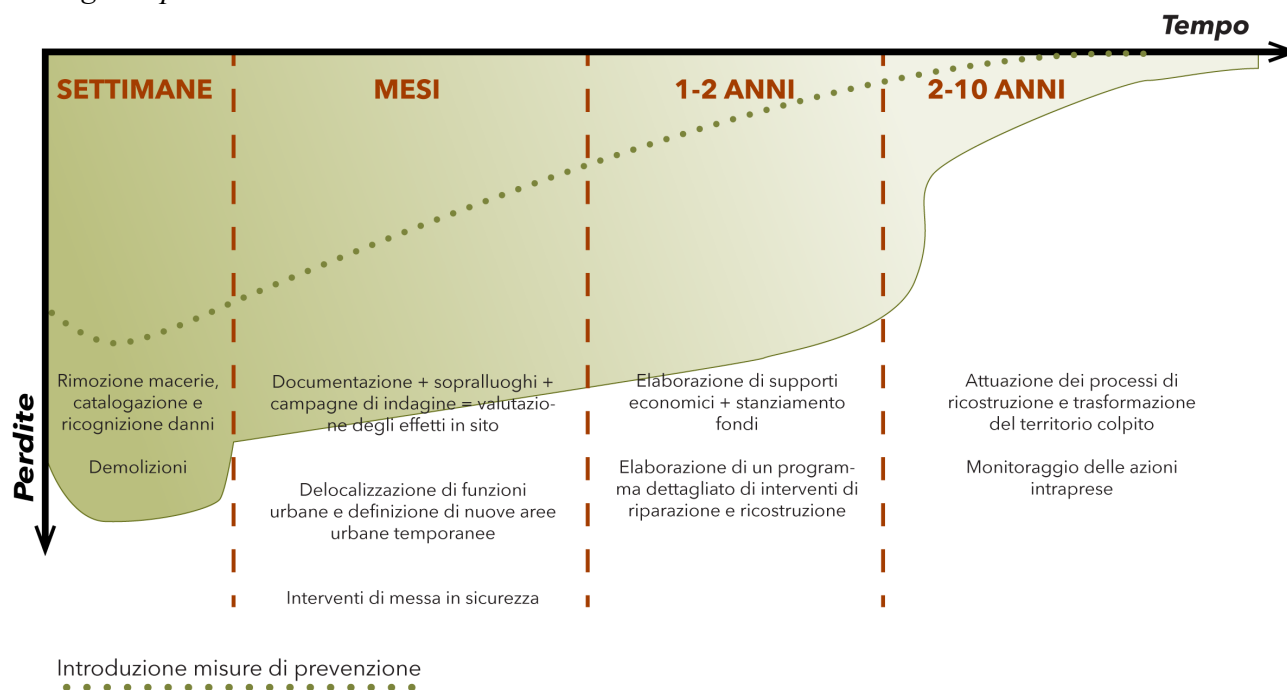
Fonte: elaborazioni personali

6. Conclusioni

Dall'analisi fin qui svolta, è chiaramente emerso che l'attività di ricostruzione di simili territori richiede un'approfondita e complessa riflessione, difficile da effettuare in condizioni ordinarie di gestione del territorio; perciò, a tal fine, lo studio di una realtà urbana realmente colpita dal sisma è stato indispensabile per comprendere l'importanza e l'efficacia degli strumenti per l'adozione di politiche di prevenzione e l'utilità della collaborazione e del coinvolgimento di competenze e conoscenze tecnico-scientifiche interdisciplinari, per sperimentare nuove soluzioni relative alle problematiche del rischio sismico. L'attività di ricostruzione, infatti, non deve essere limitata al solo miglioramento del comportamento antisismico dei singoli manufatti edilizi, ma deve essere finalizzata alla riduzione della vulnerabilità urbana dell'intero insediamento, attraverso analisi condotte a diversi gradi di approfondimento.

Come rappresentato dalla Fig.8, il processo di ricostruzione a seguito di una catastrofe sismica richiede un forte dispendio di tempo per la ricognizione dei danni sul patrimonio edilizio e le valutazioni di agibilità, nonché risorse umane ed economiche impiegate in tutte le fasi. Sebbene ad oggi risulta impossibile prevedere dove e quando avverrà un terremoto e con quale intensità si manifesterà, è però possibile mitigare il rischio sismico attraverso la riduzione delle componenti di vulnerabilità ed esposizione del sistema urbano. Infatti, l'applicazione di indagini di approfondimento della vulnerabilità alla scala edilizia risulta fondamentale per definire un corretto quadro delle condizioni di rischio di un insediamento urbano, in quanto, nel lungo termine, contribuisce a fornire indicazioni per implementare la condizione di sicurezza pubblica attraverso l'individuazione degli spazi aperti e vie di fuga sicure, mentre, nel breve termine, consente di programmare gli interventi di ripristino prioritari nella fase post-sismica per velocizzare la ripresa del sistema urbano compromesso. L'introduzione di questi modelli a monte di un evento calamitoso consente non solo di ridurre i costi e i tempi necessari per le prime fasi di ripresa post-disastro, ma allo stesso tempo dimostra la forte efficacia della prevenzione nella riduzione della gravità dell'impatto sulle comunità a rischio.

Figura 8 – Ipotesi di andamento della fase di ricostruzione post-sismica con l'introduzione di strategie di prevenzione



Fonte: elaborazioni personali

Inoltre, il confronto diretto con il dato empirico, grazie al supporto del caso studio, ha permesso non solo di validare l'attendibilità del protocollo di calcolo utilizzato, ma anche di evidenziare questioni meritevoli di ulteriori approfondimenti e nuove sperimentazioni per rendere maggiormente consistente ed efficace la procedura anche in contesti a scarsa omogeneità tecnico-costruttiva.

In conclusione, lo studio svolto si pone come contributo metodologico nell'avanzamento della definizione di un protocollo operativo per la valutazione della vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi e, al tempo stesso, propone una strategia di analisi ed intervento nella fase postsismica al fine di ripensare al concetto di ricostruzione come occasione (Corradi *et al.*, 2017) per introdurre misure di prevenzione sismica all'interno della pianificazione ordinaria e garantire un nuovo sviluppo strategico dei territori colpiti.

7. Bibliografia

- Esposito F., Russo M., Sargolini M., Sartori L., Virgili V. (2017) *Building Back Better: idee e percorsi per la costruzione di comunità resilienti*. Carocci Editore, Roma.
- Galderisi A. (2004) *Città e terremoti. Metodi e tecniche per la mitigazione del rischio sismico*. Gangemi Editore, Roma.
- Mochi G., Predari G. (2016) *La vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi. Una proposta per il costruito storico*. Edicom Edizioni, Monfalcone.
- Gulli R., Mochi G., Predari G. (2017) La vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi. The seismic vulnerability of aggregate buildings. In: *Colloqui.AT.e 2017. Demolition or Reconstruction?* EdicomEdizioni, Monfalcone.
- Dipartimento della Protezione Civile (DPC) (2014) Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES).
- Doglioni F. (2000) *Codice di pratica (linee guida) per la progettazione degli interventi di riparazione, miglioramento sismico e restauro dei beni architettonici danneggiati dal terremoto umbro-marchigiano del 1997*. Regione Marche e Università IUAV di Venezia.
- Corradi E., Fabietti V. (2017) La ricostruzione come metodo. Cosa insegna la storia recente degli eventi sismici in Italia. In: *Special Issue - Urbanistica Informazioni*, INU Edizioni.

ABSTRACT

The experience of the 2016 earthquake in central Italy shows that the approach to the post-seismic phase is still based on an emergency approach, while the prevention and the reduction of seismic risk are proving difficult. In order to reverse the trend, the goal of future interventions must be to provide a reconstruction strategy, with the aim of defining the problems to be solved as a priority in the post-seismic phase and, at the same time, to provide risk prevention measures also within ordinary planning.

The starting point of the current research is the impact of the earthquake on the historical centre of Caldarola to evaluate the damage state through three types of analyses: at the urban scale to identify the performance deficits that caused the loss of functionality of the whole urban system; at the building scale, through an expeditious assessment method to identify the vulnerability of the building façade in relation to the usability of the emergency routes; in addition, the vulnerability of the building aggregates have been examined to verify the correspondence between the real damage occurred post-earthquake. The analysis results highlight a strong link between the development of an empirical vulnerability assessment and the more effective strategies of damage mitigation.

To define building's vulnerability conditions before a seismic event, is a key factor in the evaluation of the type of buildings needs to be restored first. Moving from these suggestions, demonstrating the reliability of the methodologies results, helps to improve buildings resilience to shocks, life safety and the protection of architectural heritage. The implementation of the latter strategies to Italian historical centres will hopefully lead public administrations to an effective use of vulnerability assessment method, in order to enhance preventative planning and reduce the urban settlement's seismic risk.