



# Analisi dei parametri locali per la riduzione delle incertezze nelle valutazioni di vulnerabilità dei centri storici: il caso di Vezzano (Arquata del Tronto, Marche)

Claudia Canuti, Lucia Barchetta, Michele Morici, Enrica Petrucci, Alessandro Zona  
*Scuola di Architettura e Design, Università di Camerino, Viale della Rimembranza, 63100 Ascoli Piceno, Italy*

*Keywords: centro storico; eventi sismici; indagini; parametri locali; incertezza; vulnerabilità.*

## SOMMARIO

Al fine di migliorare il grado di definizione dei parametri locali, per conseguire una riduzione delle incertezze nelle valutazioni di vulnerabilità di un centro storico, è stato assunto come caso studio il borgo di Vezzano. L'individuazione del caso studio è il risultato di una serie di ricerche sulle aree interne delle Marche, interessate dalla crisi sismica sviluppatasi fra 2016 e 2017. Si tratta di un piccolo centro storico sito nel comune di Arquata del Tronto, che ha subito nella storia numerose modifiche, soprattutto fra il XV e il XVI secolo, fino a conseguire la configurazione che era possibile osservare prima del sisma. Tale nucleo, pur essendo composto da edifici in stato di avanzato degrado, particolarmente vulnerabili per originarie carenze costruttive, ha reagito meglio rispetto ad altri centri vicini, quali Pescara del Tronto, Capodacqua e Arquata del Tronto che è sono state distrutte dagli eventi sismici. Per affinare la conoscenza, sono state predisposte una serie di indagini dal rilievo geometrico ed architettonico, alla definizione dei sistemi costruttivi, in particolare degli apparati murari, oltre all'osservazioni di alcuni presidi storici (catene, speroni, dormienti, radicamenti) inseriti come rinforzi strutturali in occasione di altri terremoti. E' stato analizzato il degrado materico e strutturale per descrivere in maniera più puntuale il comportamento degli edifici. Tali approfondimenti conoscitivi sono stati incrociati con i dati provenienti da ulteriori analisi sulle caratteristiche locali, in particolare, la microzonazione sismica. Ciò ha permesso di elaborare una serie di mappe tematiche per illustrare le condizioni del centro dopo la crisi sismica. Inoltre, sono state eseguite valutazioni accurate per confrontare i danni osservati con i parametri di amplificazione locali. Qui viene presentata una metodologia che studia la natura della vulnerabilità di tali strutture, nel contesto della valutazione del rischio, tenendo conto, in particolar modo dei diversi fattori locali che devono essere attentamente analizzati per conseguire un'effettiva riduzione delle incertezze.

## 1 INTRODUZIONE

Il presente studio mira a definire un'ipotesi di metodo per la conoscenza delle caratteristiche di vulnerabilità sistemica dei tessuti urbani, identificando le specificità locali che, se opportunamente indagate, possono consentire di ridurre le incertezze nelle valutazioni del comportamento delle strutture resistenti, operando scelte d'intervento orientate alla riduzione dei fattori di vulnerabilità. Al fine di migliorare il grado di conoscenza dei territori colpiti dagli eventi sismici 2016-2017 e ridurre i gradi d'incertezza nelle valutazioni strutturali è stato assunto come caso studio il borgo di Vezzano, frazione del comune di Arquata del Tronto. Si tratta di un piccolo nucleo che ha subito numerose modifiche fino a raggiungere la configurazione osservabile prima del sisma. Il borgo, pur essendo composto da edifici in stato

di avanzato degrado, particolarmente vulnerabili per originarie carenze costruttive e per alcune modifiche dell'assetto strutturale originario, ha reagito meglio rispetto ad altri centri vicini, quali Pescara del Tronto, distrutta dagli stessi eventi che hanno coinvolto l'intero territorio di arquatano (Masi et al. 2016). Per affinare le conoscenze, sono state predisposti una serie di approfondimenti conoscitivi, partendo dal rilievo geometrico e architettonico, effettuato tramite misure dirette e con l'ausilio di mezzi strumentali, quali droni e laser scanner; questo ha consentito di descrivere le componenti materiche e strutturali dell'edificato, in particolare i sistemi costruttivi, gli apparati murari, i materiali oltre all'osservazioni di alcuni presidi storici (catene, speroni, radicamenti). Sono state analizzate le patologie di degrado per descrivere in maniera più puntuale il comportamento degli edifici, evidenziando i

meccanismi di danno che si sono sviluppati in concomitanza degli eventi sismici.

Una mappatura degli esiti delle Schede di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (schede AeDES 06/2008) ha consentito di verificare le condizioni degli edifici dopo gli eventi sismici e il loro grado di danneggiamento, oltre ad una serie di utili informazioni sulle caratteristiche costruttive. Le informazioni sono state inserite in un sistema GIS che ha consentito una facile gestione dei dati più interessanti. Gli approfondimenti conoscitivi sono stati incrociati con i dati della microzonazione sismica di III livello. Dall'analisi è emersa una vulnerabilità legata a differenti fattori locali che sono stati approfonditamente indagati, per completare le valutazioni di vulnerabilità del centro storico analizzato come caso studio.

## 2 GLI EVENTI SISMICI NEI TERRITORI DELL'ITALIA CENTRALE

### 2.1 *Caratterizzazione degli eventi sismici*

Gli eventi sismici del Centro Italia, sviluppatasi fra il 2016 e 2017, sono definiti dall'INGV sequenza sismica Amatrice-Norcia-Visso; essi hanno avuto inizio ad agosto 2016 con epicentri situati tra l'alta valle del Tronto, i Monti Sibillini, i Monti della Laga e i Monti dell'Alto Aterno. La prima forte scossa del 24 agosto è stata caratterizzata da una magnitudo di 6.0, con epicentro nel comune di Accumoli e ipocentro ad una profondità di 8 km. La durata è stata di 15-20 sec. Per quanto concerne la Peak Ground Acceleration (PGA), si sono registrati valori di 0,45 g, con un picco massimo di 0,86 g registrato nel solo centro di Amatrice; ciò ha amplificato la violenza del sisma e aggravato i danni al patrimonio edilizio. Durante la notte sono state registrate numerose scosse nella zona di Norcia e nel reatino; tra queste, varie superiori al 4 grado. Nei comuni di Amatrice e Arquata del Tronto si sono raggiunti danni pari al X grado della Scala Macrosismica Europea (EMS). Due potenti repliche sono avvenute il 26 ottobre, con epicentri al confine umbro-marchigiano, tra i comuni di Visso, Ussita e Castelsantangelo sul Nera.

La prima scossa è stata caratterizzata da una magnitudo di 5.4, mentre per la seconda è stata rilevata una magnitudo di 5.9. Il 30 ottobre 2016 è stata registrata la scossa più forte, di magnitudo 6.5 con epicentro tra i comuni di Norcia e Preci,

in provincia di Perugia. Il 18 gennaio 2017 è avvenuta una nuova sequenza di quattro forti scosse di magnitudo superiore a 5 ed epicentri localizzati tra i comuni aquilani di Montereale, Capitignano e Cagnano Amiterno.

La zona interessata da tali eventi si trova in un'area sismogenetica molto attiva, già caratterizzata in passato da fenomeni di notevole entità; i principali eventi verificatisi in passato sono quelli del 1328, 1703, 1730, e 1859 (Boschi et al. 1995). Nel corso del XX secolo si sono verificati danni più lievi come quelli occorsi dopo il terremoto del 1915 che rase al suolo la città di Avezzano, provocando diversi crolli anche nell'arquatano. Dopo il terremoto del 1997, la zona non ha subito danni rilevanti; alcuni interventi sono stati affrontati seguendo le procedure individuate dalla Regione Marche, in prevalenza orientate ad un miglioramento sismico delle strutture, soprattutto per quelle di rilevante valore storico-artistico.

## 3 IL TERRITORIO DI ARQUATA DEL TRONTO

### 3.1 *Aspetti generali del territorio*

Il territorio del comune di Arquata del Tronto nella regione Marche, così duramente colpito dagli eventi sismici è rappresentativo della situazione dell'entroterra marchigiano, dove già prima della distruttiva sequenza sismica, si erano manifestati preoccupanti fenomeni di spopolamento che insieme ad altri fattori, avevano reso i territori particolarmente fragili.

Dominato da uno scenario montuoso, il borgo principale sorge in posizione strategica su uno sperone di roccia posto nella fascia di confine che tuttora fa da cerniera tra Marche, Lazio, Umbria ed Abruzzo. Il suo territorio che, per la ricchezza di boschi, prati e acque, costituisce una delle più interessanti zone appenniniche, è racchiuso a nord dal monte Vettore (2478 m) e a sud dal monte Pizzo di Sevo (2419 m), che sono le vette più elevate, rispettivamente, della catena dei Sibillini e dei Monti della Laga. Per ricostruire la storia del comune di Arquata, ciò che risulta abbastanza chiaro è che, da una situazione di controllo diffuso del territorio, attraverso una rete urbana di colonie e municipi romani, si passa, nel Medioevo, ad una sostanziale riorganizzazione dei principali poli di riferimento, soprattutto nelle zone di confine, dove le continue lotte per la supremazia territoriale condizionano la conformazione e lo

sviluppo dei borghi. I piccoli centri che connotano il territorio di Arquata hanno subito nei secoli numerose trasformazioni. Per questo, mostrano un'elevata stratificazione costruttiva, ottenuta utilizzando non tanto un linguaggio 'canonico' quanto piuttosto un 'dialetto' architettonico.

### 3.2 La frazione di Vezzano

Il borgo di Vezzano è posto ad una altitudine di 645 m s.l.m. ed è raggiungibile dalla strada che si dirama dalla Statale Salaria da cui dista alcune centinaia di metri. L'attuale conformazione è frutto di una modifica della viabilità, realizzata nella seconda metà del XX secolo, quando il vecchio tracciato che passava per la frazione venne spostato più a valle. Vezzano è posta in prossimità di un bosco e vicino ad una piccola sorgente d'acqua; tale posizione era stata prescelta fin dalla sua fondazione medievale, in relazione alle dirette necessità di sostentamento dei suoi abitanti (Figura 1).



Figura 1. Foto dei primi del '900 che mostra la frazione di Vezzano all'interno di un paesaggio in prevalenza agricolo.

Fra le frazioni del comune di Arquata, Vezzano è quella che meglio di altre conserva evidenti tracce dei caratteri architettonici di base, a partire da un impianto di schiere medievali alterato nei secoli successivi, soprattutto nel XV e XVI secolo, periodo in cui gli edifici assumono una nuova caratterizzazione attraverso la realizzazione di un più efficiente ed ornato sistema di ingressi/portali.

Attualmente, la frazione è composta da case a schiera monofamiliari con scala esterna e palazzetti plurifamiliari con portale centrale e

scala interna a rampa singola o in alcuni casi doppia, per collegare i vari livelli (2 o 3 in base ai dislivelli del terreno).

Le funzioni residenziali si concentrano ai piani superiori, mentre gli interrati (grottoni ipogei) e i piani terra sono adibiti al ricovero del bestiame o assolvono funzione di magazzino, per la conservazione dei prodotti locali.

Le caratteristiche degli edifici, in base al periodo di costruzione e alla tipologia costruttiva, sono riportati nella Tab.1.

Tabella 1. Dati relativi a Vezzano estratti dal censimento italiano della popolazione e delle abitazioni (ISTAT, 2011)

		Vezzano
Abitanti		12
Tipologia di costruzione	Muratura	34
	C.a.	0
	Mista	2
Età di costruzione	<1919	32
	1919-1960	3
	1961-1980	1
	>1980	0
Numero di piani	≤2	12
	3	23
	≥4	1
Stato di conservazione	Eccellente	6
	Buono	24
	Mediocre	6
	Cattivo	0

### 3.3 Ricostruzione delle trasformazioni fra XIX e XX secolo

Un aspetto rilevante nell'affrontare lo studio di un centro storico è rappresentato dall'analisi storica e costruttiva, mediante la quale è possibile individuare le specificità dei manufatti, in termini di trasformazioni temporali, materiali e attraverso l'evoluzione delle tecniche costruttive. L'analisi del centro storico avviene tramite l'acquisizione di documenti archivistici, bibliografici e iconografici, che permettono di ripercorrerne l'evoluzione, dalla sua fondazione allo stato attuale, con un'attenzione nei riguardi delle trasformazioni, delle distruzioni parziali/totali e delle ricostruzioni verificatesi a seguito di eventi calamitosi (Fabbrocino et al., 2016).

Le fasi di trasformazione del centro di Vezzano possono essere lette attraverso l'esame dettagliato dei catasti storici, conservati nell'archivio di Stato di Ascoli Piceno. La rappresentazione del primo Catasto storico, quello Pio-Gregoriano databile 1820 circa (Figura 2), mostra un'articolazione del centro secondo due distinti agglomerati, divisi dal corso

di un affluente del fiume Tronto, oggi interrato. Nel successivo aggiornamento catastale del 1881 (Figura 3) non si evidenziano sostanziali differenze; è visibile la saturazione di alcuni lotti, soprattutto nella parte occidentale che assume un peso più rilevante anche per la presenza della chiesa di S. Caterina. La parte orientale tende a perdere importanza: gli edifici avanzano leggermente verso il fronte strada con un'ulteriore porzione di costruito, realizzata attraverso magisteri poveri, sia per i materiali impiegati che per le modalità di posa in opera.

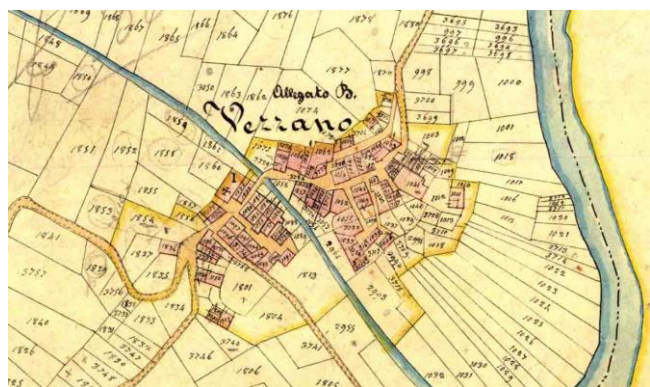


Figura 2. Archivio di Stato di Ascoli Piceno, Fondo Catasti Storici. Stralcio del Catasto Pio-Gregoriano della Frazione di Vezzano



Figura 3. Archivio di Stato di Ascoli Piceno, Fondo Catasti Storici. Stralcio del Catasto storico del 1881 della Frazione di Vezzano

Le principali caratteristiche degli edifici del nucleo di Vezzano sono:

- presenza negli isolati di porzioni non coeve, dovute a successive aggregazioni di unità abitative e conseguenti discontinuità;
- sviluppo su più livelli degli edifici che compongono gli isolati per seguire l'orografia del pendio, con conseguente sfalsamento degli orizzontamenti tra corpi adiacenti;
- complessità degli isolati composti da edifici irregolari sia in altezza che in pianta;
- aperture praticate in epoche successive, irregolari nella loro distribuzione (spesso

prossime alle angolate), con conseguente indebolimento della muratura d'ambito;

- interventi di consolidamento, con inserimento di cordoli in c.a. passanti, in concomitanza alla sostituzione dei tradizionali orizzontamenti lignei con solai e coperture in latero-cemento, spesso invasivi e non omogenei su porzioni degli isolati.

Tali aspetti, oltre a costituire elementi intrinseci di propensione al danno sismico e di incremento della vulnerabilità, implicano la necessità di un approfondimento delle conoscenze dei fabbricati, per un'applicazione critica delle metodologie di analisi della vulnerabilità sismica. Uno dei più rilevanti è da mettere in relazione con le caratteristiche delle murature che si presentano particolarmente irregolari (Figura 4).

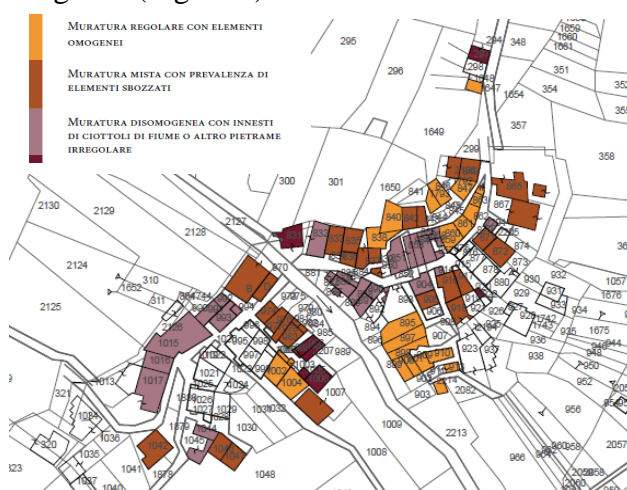


Figura 4. Principali murature presenti nella frazione di Vezzano, sottoposte ad analisi mediante schedatura analitica.

La campagna di rilievo delle tipologie murarie, eseguita nel 2018, ha riguardato i principali aggregati della frazione di Vezzano. L'operazione di rilievo si è concretizzata nella compilazione di una scheda di rilevamento studiata appositamente per cogliere le peculiarità dei tipi murari rilevati. (Binda et al. 2009). La scheda di analisi raccoglie, in forma sintetica, i dati essenziali delle murature, descrivendone la tipologia, la tessitura e gli elementi componenti, secondo parametri dimensionali e materici. (Figura 5). Le tessiture evidenziate nelle schede, riflettono una pratica edilizia elementare, lontana dai riferimenti alla regola dell'arte. Si nota un largo utilizzo di materiali locali, come la pietra arenaria o i ciottoli di fiume.

La muratura è composta da un doppio paramento e da un nucleo interno fortemente decoeso, formato da elementi di dimensioni

varie, cementati con malta di calce friabile. Lo sfalsamento dei giunti verticali é parzialmente garantito. L'orizzontalità dei filari è talvolta garantita da inserti in laterizio. Non si osservano legamenti interni (diatoni) allo spessore murario: gli unici elementi di regolarizzazione sono costituiti dai radiciamenti lignei inseriti all'interno del nucleo con funzione di ripartizione dei carichi (Figura 6). I cantonali sono in genere realizzati con pietre più squadrate e di dimensioni più grandi.


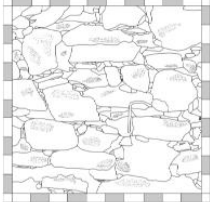
Scheda di analisi del sistema murario 6	
	
<b>Descrizione</b> Muratura portante in elementi di pietra arenaria, travertino e ciottoli di fiume allettati con malta di calce. L'orizzontamento e la verticalità dei giunti non è garantita.	
<b>Epoca di realizzazione:</b> <b>Posizione/Ruolo strutturale</b> <input checked="" type="checkbox"/> Perimetrale <input type="checkbox"/> Di spina <input type="checkbox"/> Altra muratura portante interna	
<b>Parametro 1</b> Tipologia e Tessitura Muro perimetrale in blocchi lapidei sbalzati in forma irregolare. Spessore: 0.60 m	
<b>ELEMENTI</b> <b>Dimensioni massime ricorrenti</b> B 0.48 m H 0.37 m  <b>Dimensioni minime ricorrenti</b> B 0.04 m H 0.06 m	
<b>Assortimento</b> <input checked="" type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No	
<b>Natura</b> <input type="checkbox"/> Calcare <input checked="" type="checkbox"/> Arenaria <input checked="" type="checkbox"/> Travertino <input type="checkbox"/> Tufo <input type="checkbox"/> Altro	
<b>Tipologia e Tessitura</b> <input checked="" type="checkbox"/> A vista <input type="checkbox"/> Intonaco <input type="checkbox"/> Rivestimento leggero <input type="checkbox"/> Rivestimento pesante	
<b>GIUNTI</b> Regolarità geometrica <input checked="" type="checkbox"/> Sfalsamento giunti verticali <input type="checkbox"/> Non garantito <input checked="" type="checkbox"/> Parzialmente garantito <input type="checkbox"/> Garantito	
<b>Orizzontalità dei filari</b> <input type="checkbox"/> Non garantito <input checked="" type="checkbox"/> Parzialmente garantito <input type="checkbox"/> Garantito	
<b>Dimensioni ricorrenti</b> <input checked="" type="checkbox"/> Giunti orizzontali 0.032 m <input checked="" type="checkbox"/> Giunti verticali 0.025 m	
<b>Materiale</b> <input type="checkbox"/> A secco <input checked="" type="checkbox"/> Malta di calce aerea <input type="checkbox"/> Malta di tipo idraulico <input type="checkbox"/> Sabbia-argilla <input type="checkbox"/> Altro	
<b>Qualità della malta</b> <input checked="" type="checkbox"/> Incoerente <input type="checkbox"/> Friabile <input type="checkbox"/> Compatta <input type="checkbox"/> Tenace	
<b>Materiale costituente</b> Spessore cm. _____ <input type="checkbox"/> Pietrame <input type="checkbox"/> Sabbia/Conglomerato <input type="checkbox"/> Misto <input type="checkbox"/> Altro	
<b>Malta di allettamento</b> <input type="checkbox"/> Malta di calce aerea <input type="checkbox"/> Malta di tipo idraulico <input type="checkbox"/> Mista	
<b>Consistenza</b> <input type="checkbox"/> Coeso <input type="checkbox"/> Mediamente coeso <input type="checkbox"/> Incoerente	
<b>Connessioni</b> Presenza di elementi trasversali <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sì n. diatoni al mq. _____	
<b>Presenza di presidi</b> <input type="checkbox"/> Catene/capochiavi <input type="checkbox"/> Archi di contrasto <input type="checkbox"/> Scarpe <input type="checkbox"/> Contrafforti <input type="checkbox"/> Impespimenti murari <input type="checkbox"/> Angolate <input type="checkbox"/> Dormienti	
<b>Stato di conservazione/Interventi recenti</b> La muratura presenta uno stato di conservazione degradato a causa degli eventi sismici, degli agenti atmosferici e dalle azioni antropiche	

Figura 5. Scheda tipo per l'analisi di sistemi murari presenti nella frazione di Vezzano. Sono contenute le informazioni essenziali per descrivere le varie tipologie murarie

Le aperture sono caratterizzate in prevalenza da architravi e stipiti in pietra arenaria; sono meno frequenti gli architravi in legno. Spesso le aperture realizzate in epoche successive al primo impianto presentano riprese laterali e piattabande in mattoni (Figura 7).

Nel complesso si può rilevare che le murature della frazione di Vezzano, come quelle degli altri centri dell'arquatano, sono realizzate secondo magisteri costruttivi poveri, lontani dal rispetto della regola dell'arte, con indici di qualità muraria (IQM) molto scadenti, tali da costituire fattori di vulnerabilità locale. Dall'analisi, si evince che circa il 70% degli edifici hanno un indice di qualità muraria medio-basso ( $2.5 \leq$

$IQM < 5.0$ ), circa il 25% hanno indice medio-alto ( $5.0 \leq IQM < 7.5$ ) e circa il 5% ha indice alto ( $IQM \geq 7.5$ ).



Figura 6. Esempio di muratura con radiciamento. La muratura crollata mostra a vista un nucleo interno alla muratura, di cattiva qualità, con materiali irregolari di piccola dimensione e scarsamente cementati.



Figura 7. Riprese murarie in corrispondenza delle aperture realizzate in epoche successive alla costruzione originaria con inserti in laterizio. Sono visibili differenti tipologie di architravi.

## 4 VULNERABILITÀ SISMICA DEL COSTRUITO NELLA FRAZIONE DI VEZZANO

### 4.1 Metodi di valutazione

Al fine di consentire una valutazione della vulnerabilità sismica negli aggregati edilizi, per pianificare le operazioni di riduzione del rischio e il monitoraggio delle condizioni di sicurezza è necessario definire una specifica metodologia di ricerca, che parte dall'analisi dello stato di fatto, attraverso accurate operazioni di rilievo.

Alcune informazioni interessanti possono essere desunte dallo studio delle schede AeDES i cui dati sono stati inseriti all'interno di uno specifico database, per essere poi collegate ad un'interfaccia GIS che consente di rendere

immediatamente evidenti alcuni tematismi che riguardano il centro storico di Vezzano (Figura 8).

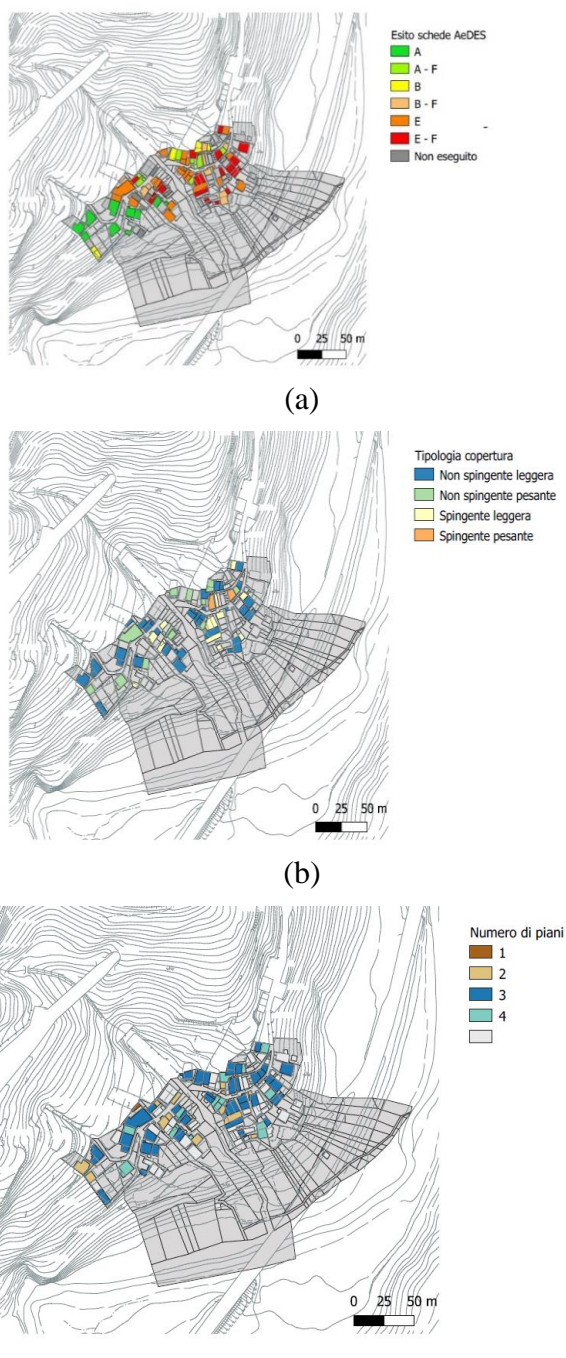


Figura 8 Alcuni dati desumibili dalle schede AEDES: (a) esiti dei sopralluoghi; (b) numero di piani edifici; (c) tipologie di coperture

Partendo dal riconoscimento del ruolo essenziale che la qualità costruttiva svolge nel garantire significativi livelli di protezione e dell'importanza rivestita dai processi di trasformazione dell'edilizia storica, quali principali elementi di potenziale riduzione delle prestazioni strutturali, viene proposta un'analisi alla scala urbana, evidenziando il ruolo degli aggregati, per giungere all'elaborazione di

indicatori sintetici di criticità che concorrono alla definizione di un indice di vulnerabilità per tali insiemi di edifici.

L'osservazione diretta attraverso una serie di sopralluoghi ha consentito di evidenziare come in alcune porzioni del centro storico sia rilevabile una maggiore concentrazione del danno, anche in relazione alle condizioni geologiche dei terreni di fondazione (Figura 9).



Figura 9. Osservazione dei meccanismi di danno di uno degli aggregati più danneggiati della frazione di Vezzano.

#### 4.2 Definizione delle mappe di rischio

Nel presente paragrafo viene descritto l'approfondimento svolto per la definizione delle mappe di rischio degli edifici della frazione di Vezzano. Per la definizione delle mappe di rischio sono state integrate le informazioni derivanti dalla microzonazione sismica (MZS) e dall'analisi delle vulnerabilità degli edifici con lo scopo di riprodurre mappe indicanti l'indice di rischio degli edifici. Il procedimento è articolato nei seguenti passi:

- Definizione della Pericolosità tenendo conto della zonazione sismica nazionale e dei risultati derivanti dal lavoro di microzonazione sismica di III livello;
- Definizione del livello di Vulnerabilità del costruito non crollato e/o demolito delle frazioni del comune di Arquata, per definire un quadro complessivo dei fenomeni che hanno interessato

il territorio, in cui si riscontrano caratteristiche di risposta sismica differenti;

- Creazione delle mappe del Rischio integrando le informazioni definite ai punti precedenti.

Di seguito vengono descritte le fasi di sviluppo della ricerca per la definizione delle mappe di vulnerabilità/pericolosità e della mappa finale di rischio.

### 4.3 Definizione della Pericolosità

La pericolosità sismica di ciascuna frazione del territorio di Arquata del Tronto è stata valutata integrando la pericolosità nazionale con le informazioni riguardanti possibili fenomeni di amplificazione locale, letti attraverso lo studio di di microzonazione sismica di III livello (Bellaveglia et Al., 2018). Il centro abitato di Vezzano, come già in parte osservato, sorge in sinistra idrografica del Fiume Tronto e si eleva di circa 70 m rispetto all'alveo attuale, a monte della S.S. Salaria

Le unità del substrato affioranti appartengono alla formazione della Laga; le unità quaternarie sono costituite da depositi di origine fluviale sia attuali sia terrazzati, da un corpo di frana antico di origine complessa, da depositi colluviali e da depositi di versante.

Il deposito di frana antico, su cui è ubicato l'abitato, è costituito principalmente da breccie calcaree a spigoli vivi, fortemente cementate e da grossi blocchi provenienti dalle formazioni carbonatiche della successione bacinale umbro-marchigiana. Il deposito franoso antico è di difficile caratterizzazione e per tale motivo i risultati ottenuti in corrispondenza di tali affioramenti, mantengono ancora un maggior grado d'incertezza che potrà essere risolto attraverso una specifica campagna di sondaggi (Figura 10).

I valori di amplificazione più rilevanti si registrano in corrispondenza dei depositi fluviali, mentre nelle restanti zone l'amplificazione assume generalmente valori medio-bassi, in accordo con il basso livello di danneggiamento. In particolare, lo studio di MZS è finalizzato a quantificare la pericolosità sismica locale delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), definendo per ciascuna MOPS le aree stabili, le aree stabili ma suscettibili di amplificazione sismica e le aree instabili.

Per ogni area la MZS di III livello definisce anche un possibile Fattore di Amplificazione (FA) dell'azione sismica. Le mappe di sintesi (MS) sono costruite raggruppando le MOPS in

campi di variazione omogenei e definendo per ogni area omogenea e per tre campi di periodo (0.10s-0.50s, 0.40s-0.80s e 0.70-1.10s) i valori dei FA.

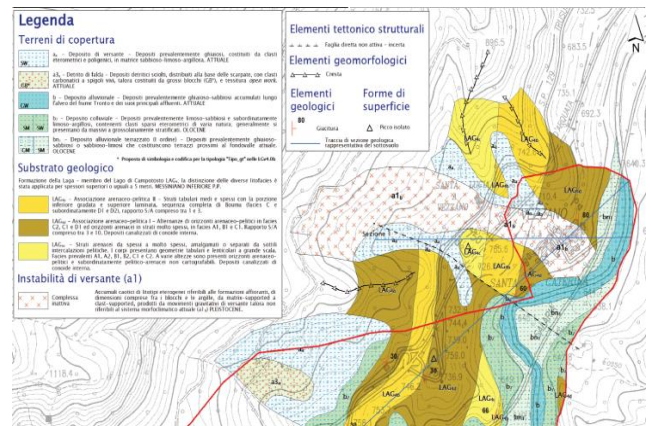


Figura 10. Carta geologico-geomorfologica propedeutica agli studi di MZS. Stralcio della zona di Vezzano

Nelle mappe che riportano la vulnerabilità dei singoli fabbricati con i relativi FA, per l'azione sismica di base, è stata valutata dalla mappa di pericolosità nazionale considerando l'azione avente un tempo di ritorno di 475 anni (probabilità di accadimento del 10% in 50 anni) e il valore dell'ordinata spettrale in Pseudo Accelerazione (PSA) relativa al valore di periodo centrale nell'intervallo. Infine, è da sottolineare che il valore della PSA considerata è relativa ad una categoria di suolo A e ad un fattore topografico T1.

### 4.4 Definizione del livello di Vulnerabilità

La valutazione della vulnerabilità degli edifici esistenti può essere condotta attraverso il rilievo qualitativo dello stato di fatto delle strutture, considerando le caratteristiche di varie componenti fra cui quelle delle murature e delle strutture orizzontali, analizzate attraverso accurati metodi di rilevamento e schedatura analitica, come si è già evidenziato in precedenza. I tre livelli di vulnerabilità considerati risultano essere:

- Grado di vulnerabilità ALTA (A): qualora nell'edificio siano presenti carenze importanti sia nei paramenti murari caratterizzati da cattiva qualità della tessitura muraria (caotica, sbazzata senza ricorsi e orizzontalità, assenza di diatoni, ecc.), che da orizzontamenti deformabili nel piano con o senza disomogeneità del livello degli orizzontamenti.

- Grado di vulnerabilità MEDIO (M): qualora nell'edificio siano presenti carenze non significative sia nei paramenti murari caratterizzati da discreta qualità della tessitura muraria che da orizzontamenti semi-deformabili nel piano senza disomogeneità del livello degli orizzontamenti.
- Grado di vulnerabilità BASSO (B): qualora nell'edificio non siano presenti carenze significative sia nei paramenti murari caratterizzati da buona qualità della tessitura muraria che da orizzontamenti rigidi nel piano senza disomogeneità del livello degli orizzontamenti.

Nel valutare la vulnerabilità dal punto di vista della qualità dei paramenti murari ci si riferisce alle informazioni che sono contenute nella scheda di analisi (Formisano et Al., 2010). Alcune considerazioni possono essere sviluppate sulle caratteristiche delle malte. Una malta di caratteristiche meccaniche elevate, infatti, può conferire ad una muratura, con inerti piccoli e mal disposti, un sufficiente grado di monoliticità. Deve essere verificata l'orizzontalità dei filari, che deve interessare il più possibile l'intera lunghezza e altezza del paramento murario e lo sfalsamento dei giunti verticali.

Non sempre, infine, un paramento a vista ben organizzato e con elementi ben squadrati è indice di un muro ben fatto: potrebbe essere soltanto il paramento esterno di una muratura a sacco o a doppio paramento, che all'interno nasconde una muratura di pessima fattura. Questo fattore riguarda anche la presenza di elementi di connessione trasversali tra due paramenti murari affiancati parallelamente.

In presenza della forza sismica orizzontale, la presenza di diafani impedisce lo scorrimento tra le superfici interne e il meccanismo di ribaltamento coinvolge tutto il muro nella rotazione attorno allo spigolo più esterno. Infine, è da sottolineare il fatto che la valutazione della vulnerabilità risulta essere affetta da alcune incertezze dovute all'incompleta ispezione del manufatto, che possono essere ridotte proprio in relazione ad un'estensione dei livelli di conoscenza (Mochi e Predari, 2016).

#### 4.5 Creazione delle mappe di Rischio

Il rischio è definito in termini probabilistici e rappresenta la probabilità di avere una perdita attesa in un certo intervallo di tempo; pertanto il

rischio sismico è funzione sia della pericolosità che della vulnerabilità. In questo studio sono state elaborate, a partire dalle mappe di pericolosità e di vulnerabilità, le mappe di rischio relative a tutti gli edifici non demoliti e/o non crollati delle frazioni di Arquata del Tronto, fra cui anche Vezzano. Le mappe di rischio sono state ottenute operativamente considerando come intensità di riferimento il valore della PGA valore di attacco dello spettro "univoco" per ogni valore del FA. Le classi di pericolosità, che individuano la domanda sono state suddivise in 3 campi: alta, media e bassa (Figura 11).

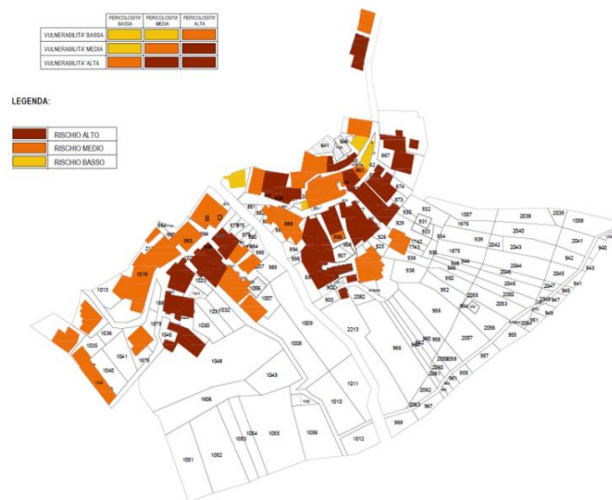


Figura 11. Mappa del rischio rilevato negli edifici delle frazioni di Vezzano

Si evidenzia l'alto numero di edifici che presentano un rischio particolarmente elevato. Dai sopralluoghi si è riscontrata una coincidenza fra gli edifici che presentano un rischio elevato e il loro grado di danneggiamento.

Anche in questo caso, le fasi di conoscenza (rilievo geometrico, costruttivo/strutturale, il rilievo critico del danno) unite all'analisi di vulnerabilità e all'analisi dei meccanismi locali di collasso estesa a tutti gli aggregati sono la condizione preliminare indispensabile per una corretta analisi, finalizzata all'intervento. Può, quindi, essere effettuata una valutazione delle principali tecniche di intervento correlate alle vulnerabilità e ai meccanismi ricorrenti riscontrati nelle fasi di analisi per tipologia strutturale. La scelta delle tecniche d'intervento deve essere valutata caso per caso, dando la preferenza a quelle meno invasive e maggiormente compatibili con i criteri della conservazione, tenendo conto dei requisiti di sicurezza e durabilità. Gli interventi sono ricercati in modo da rispettare, per quanto possibile, la concezione e le tecniche originarie della struttura, nonché le trasformazioni



maggiormente significative nella storia degli edifici che compongono questo interessante centro storico.

## 5 CONCLUSIONI

L'analisi dei risultati ottenuti dall'applicazione delle metodologie di analisi ha evidenziato che il costruito del centro storico di Vezzano è caratterizzato da una vulnerabilità elevata. I meccanismi di collasso prevalenti sono quelli nel piano delle pareti murarie, come è stato possibile verificare a seguito dei danni provocati dagli eventi sismici. In assoluto, si è evidenziato che le unità strutturali più danneggiate o crollate sono posizionate nelle aree in cui la microzonazione sismica ha evidenziato instabilità locali, caratterizzate da fenomeni di amplificazione.

Lo studio ha fornito, in generale, indicazioni utili alla definizione di livelli di conoscenza per una valutazione del comportamento strutturale globale e locale degli edifici posti all'interno di un centro storico. Attraverso l'identificazione delle tipologie costruttive e dei sistemi murari, la lettura delle schede di rilevamento AeDES, l'interpretazione delle cause di danno a seguito degli eventi sismici, le valutazioni derivate dagli studi di microzonazione, l'individuazione delle peculiarità/anomalie è possibile definire differenti livelli di vulnerabilità/pericolosità che possono essere modificati attraverso adeguate tecniche d'intervento per raggiungere un significativo grado di miglioramento nel comportamento delle strutture.

## RIFERIMENTI

Bernardini, A., Gori, R., Modena, C., 1988. *Valutazioni di resistenza di nuclei di edifici in muratura per analisi di vulnerabilità sismica*, Università degli Studi di Padova, Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni, R.I. 2, 88.

Bellaveglia S., Bistocchi R. M., Gattoni M., 2018. *Microzonazione sismica di III livello. Relazione illustrativa*, Comune di Arquata del Tronto.

Binda, L., 2004. The importance of the investigation for the diagnosis of historic building: application at different scale (centres and single buildings). *4<sup>th</sup> International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions*, November 10 – 13, 2004, Padova, Italy, I: 29-42.

Binda L., Cardani G., 2009. Scheda qualità muraria: relazione e linee guida per la compilazione della scheda di valutazione della qualità muraria, *Report RELUIS Progetto di ricerca n.1 "Valutazione e riduzione della vulnerabilità di edifici in muratura"*.

Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G. e Valensise G., 1995. *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*, Bologna, ING-SGA.

Cangi G., 2017. Risposta sismica e meccanismi resistenti alla scala urbana, *Ricerche di storia dell'arte*, 2: 60-66.

D'Ayala D., Speranza E., 2002. An integrated procedure for the assessment of seismic vulnerability of historic buildings, *Proceeding 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, UK*.

DPCM 2006. (G.U. n. 55, 07.03.2006, n.55), *Approvazione dei modelli per il rilevamento dei danni, a seguito di eventi calamitosi, ai beni appartenenti al patrimonio culturale*, 23 Febbraio 2006.

Fabbrocino G., Marra A., Savorra M., et al. 2016. Increasing the resilience of cultural heritage to earthquakes by knowledge enhancement: the lesson of the Carthusian monastery in Trisulti. *Atti dei Convegni Lincei "Resilienza delle città d'arte ai terremoti – XXXIII Giornata dell'Ambiente"*, Roma, Bardi Edizioni, 553-556.

Formisano A., Florio G., Landolfo R., Mazzolani F.M., 2009. Vulnerabilità sismica di un aggregato in muratura in Sessa Aurunca (CE), *Atti del XIII Congresso ANIDIS "L'Ingegneria Sismica in Italia"*, Bologna, 28 Giugno - 2 Luglio 2009.

Formisano A., Mazzolani F. M., Florio G., Landolfo R., 2010. A quick methodology for seismic vulnerability assessment of historical masonry aggregates. *Proceeding of the COST Action C26 Final Conference "Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events"*, Federico M. Mazzolani, Chair, Napoli, 16-18 Settembre 2010, London CRC Press, 577- 582.

Giambruno, M., Simonelli, R., 2013. La conoscenza dei centri storici in zona sismica: un approccio metodologico, *Architettura storica e terremoti. Protocolli operativi per la conoscenza e la tutela*, a cura di C. Blasi, Milano, Wolters Kluwer Italia, 131-138.

Laurenzano G., Barnaba C., Romano M.A. et al. (2018). The Central Italy 2016–2017 seismic sequence: site response analysis based on seismological data in the Arquata del Tronto–Montegalio municipalities. *Bulletin of Earthquake Engineering Official Publication of the European Association for Earthquake Engineering*, 17:1-21

*Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche e all'applicazione dell'O.P.C.M. n. 3274 del 2003 e sue modifiche e integrazioni*, Luglio 2006.

Masi A., Santarsiero G. et al. 2016. Different damage observed in the villages of Pescara del Tronto and Vezzano after the M6.0 August 24, 2016 Central Italy earthquake and site effects analysis, *Annals of Geophysics*, 59, 5: 1-12.

Mochi G., Predari G., 2016. *La vulnerabilità sismica degli aggregati edilizi. Una proposta per il costruito storico*, Gorizia, Edicom Edizioni.

Modena, C., Casarin, F., da Porto, F., Munari, M., 2010. L'Aquila 6th April 2009 earthquake: emergency and post - emergency activities on cultural heritage buildings. In: Garevski, M., Ansal, A. (ed.), *Earthquake Engineering in Europe*, 17: 495-521.

Munari, M., Valluzzi, M.R., Modena, C., 2009. Classificazioni di vulnerabilità sismica dal calcolo limite per macroelementi: applicazione ad aggregati

- edilizi in muratura in alcuni centri storici umbri. *Atti del XIII Congresso Nazionale ANIDIS 'L'Ingegneria Sismica in Italia'*, Bologna, 28 Giugno - 2 Luglio 2009.
- Munari M., da Porto F. et al., 2011. Analisi di vulnerabilità sismica e interventi di miglioramento strutturale di un aggregato nel centro storico di L'Aquila, *Atti del XIV Convegno ANIDIS. "L'Ingegneria Sismica in Italia"*, Bari, 18 - 22 settembre 2011.
- Valluzzi, M.R., Cardani, G., Binda, L., Modena, C., 2004a. Analysis of the seismic vulnerability of masonry buildings in historical centres and intervention proposals, *6th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin* Lisbon, Portugal, 7-10 Aprile 2004.
- Valluzzi, M.R., Munari, M., Modena, C., Cardani, G., Binda, L., 2007. Analisi di vulnerabilità sismica degli aggregati storici: il caso di Castelluccio di Norcia, *Atti del XII Congresso Nazionale ANIDIS 'L'Ingegneria Sismica in Italia'*, Pisa, 10-14 Giugno 2007.