



# Effetti di sito e modelli di danno a seguito della sequenza sismica del Centro Italia del 2016: il caso studio del comune di Campotosto (Abruzzo)

Giulia Cocco<sup>a</sup>, Giuseppe Brando<sup>a</sup>, Alessandro Pagliaroli<sup>a</sup>, Enrico Spacone<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Dipartimento di Ingegneria e Geologia (INGEO), Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti – Pescara, Viale Pindaro 42, 65127, Pescara

*Keywords: Centri storici, Vulnerabilità sismica, Scenario di danno, Microzonazione, Effetti di sito, Terremoto dell'Italia Centrale 2016*

## ABSTRACT

La grande influenza degli effetti del sito sugli scenari di danno prodotti da un evento sismico rende necessaria la valutazione della relazione tra le condizioni del sito e la vulnerabilità di intere aree urbane. La problematica è particolarmente rilevante, in particolare per i piccoli centri storici dell'Appennino italiano, che hanno subito gravi danni dopo il terremoto di L'Aquila del 2009 e la sequenza sismica dell'Italia centrale del 2016..

Sulla base di questa premessa, questo documento mira a giustificare il danno rilevato in un centro storico della Regione Abruzzo colpito dalla sequenza sismica del 2016, tenendo conto degli studi di microzonazione di livello 3 (MS3) effettuati a seguito del terremoto. L'attenzione è focalizzata sul centro storico di Campotosto (AQ), un piccolo comune situato in una zona a rischio sismico medio-alto e con un patrimonio edilizio vulnerabile. Questo centro è composto principalmente da vecchi edifici in muratura realizzati con blocchi di pietra calcarea irregolari che formano pareti in muratura a sacco. Inoltre, la presenza di orizzontamenti deformabili che non sono efficacemente collegati alle pareti verticali, così come la diffusa mancanza di dispositivi antisismici, quali catene e contrafforti, non consentono un buon comportamento scatolare sotto l'effetto di un input sismico.

La valutazione del danno è eseguita secondo i criteri della scala Macro-Sismica Europea (EMS-98). I dati, raccolti per circa 300 edifici in muratura, consentono di valutare lo scenario di danno osservato attraverso la sua rappresentazione in termini di matrici di probabilità di danno (DPM) e mappe GIS. Queste mappe sono sovrapposte alle mappe risultanti da un recente studio riguardante i fenomeni di amplificazione del suolo, che è stato condotto attraverso l'analisi di risposta sismica locale 2D basata sulla simulazione del terremoto registrato il 18 gennaio 2017. I risultati ottenuti mostrano che la distribuzione del danno osservato può essere facilmente interpretata da modelli di letteratura solo quando le condizioni del suolo non comportano effetti di sito significativi.

## 1 INTRODUZIONE

La lunga sequenza sismica, che ha scosso l'Italia centrale durante il 2016 e il 2017, ha causato scenari di danno diffusi ed irregolari, coinvolgendo tutto il patrimonio edilizio dell'area colpita.

La valutazione della vulnerabilità di tale patrimonio edilizio è un tema molto attuale, che può essere trattato tramite l'applicazione di metodologie differenti che variano in base al livello di accuratezza dei risultati da raggiungere. Tramite valutazioni della vulnerabilità sismica su larga scala, eseguite su numerosi centri storici italiani (Brando et al., 2017; Cocco et al., 2019), si

è potuto constatare che i fattori più importanti nella valutazione della vulnerabilità sismica, e nei modelli utilizzati a tale scopo, sono sì le caratteristiche tipologiche e strutturali del patrimonio edilizio in esame, ma anche, talvolta in maniera determinante, le caratteristiche del sottosuolo. È quindi di fondamentale importanza capire come gli attuali modelli possono essere o meno vanificati in presenza di effetti di sito.

D'altra parte, già dopo il terremoto di Umbria-Marche del 1997, diversi studi hanno dimostrato che le proprietà del suolo e i relativi effetti di sito possono modificare la risposta strutturale degli edifici in maniera significativa (Tertulliani, 2015; Tertulliani et al., 1998), influenzando in maniera

rilevante gli scenari di danno che possono conseguire ad un evento sismico.

Oggi, gli Studi di Microzonazione Sismica di terzo livello eseguiti su numerosi centri storici appartenenti al cratere sismico a seguito del terremoto del 2016, rappresentano un'occasione unica per acquisire le conoscenze morfologiche, geologiche e geotecniche delle aree oggetto di studio e per giustificare alcuni scenari di danno che, altrimenti, non sarebbero modellabili attraverso gli strumenti messi a disposizione dalla letteratura. Tali conoscenze sono fondamentali per mettere in relazione i modelli di danno con gli effetti di sito (Giallini et al., 2019).

Sulla base di tali premesse, la presente memoria ha l'obiettivo di giustificare lo scenario di danno osservato, a seguito della sequenza sismica dell'Italia Centrale 2016-2017, sul centro storico di Campotosto (AQ), in Abruzzo, mediante un'attenta analisi dei danni occorsi e degli effetti di sito che hanno interessato alcune zone dell'area urbana.

Dopo una prima descrizione della sequenza sismica (Sezione 2) e delle caratteristiche strutturali che contraddistinguono il patrimonio edilizio esistente a Campotosto (Sezione 3), viene rappresentato lo scenario occorso attraverso matrici di probabilità di danno (DPM) e mappe GIS (Sezione 4). Al fine di indagare più in dettaglio le cause che hanno indotto a danni severi su alcune delle strutture del campione considerato, in Sezione 5, viene quindi presentata un'analisi di Riposta Sismica Locale.

## 2 LA SEQUENZA SISMICA DEL CENTRO ITALIA

Gli eventi sismici verificatisi a cavallo tra il 2016 e il 2017 hanno interessato una zona, localizzata lungo la catena Appenninica, caratterizzata da un elevato rischio sismico, e da una storicità sismica ben nota.

Questa area è interessata dalla presenza di due faglie attive, la faglia del Monte Vettore e quella dei Monti della Laga, caratterizzate da una lunghezza superficiale di circa 20-30 km (Figura 1).

Il 24 Agosto 2016, alle 03:36, una scossa di magnitudo 6.0 Mw ha colpito una vasta area tra i comuni di Norcia ed Amatrice, coinvolgendo quattro regioni: Lazio, Umbria, Marche e Abruzzo.

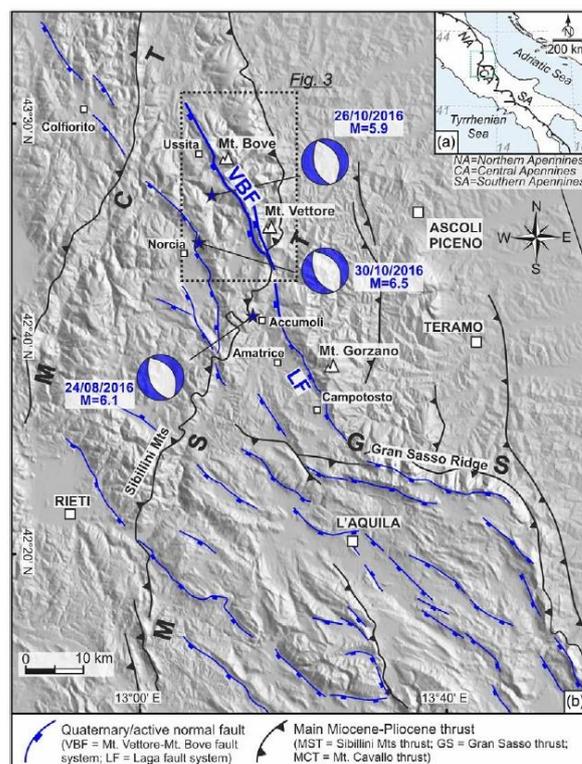


Figura 1. Mappa dei sistemi di faglia attivi. VBF (M. Vettore - M. Bove), LF (Laga).

A seguito di questo evento, si sono susseguite numerose scosse che si sono protratte per mesi, come mostrato in Figura 2.

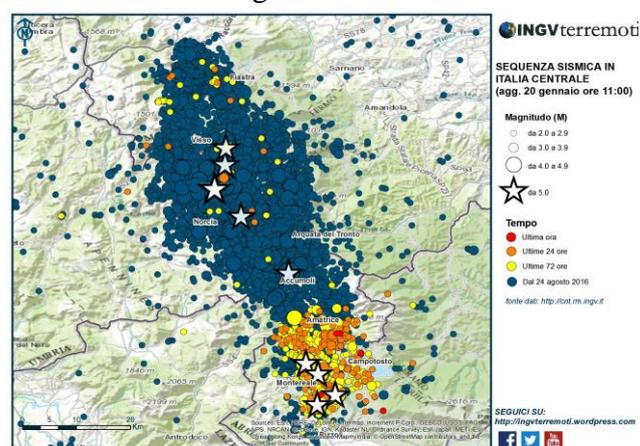


Figura 2. Mappa della sequenza sismica dell'Italia Centrale aggiornata all'evento del 18 Gennaio 2017 (sorgente: [ingvterremoti.wordpress.com](http://ingvterremoti.wordpress.com)).

Quando la sequenza sembrava affievolirsi, sono stati registrati altri due eventi rilevanti, uno il 26 Ottobre, con magnitudo 5.9 Mw, l'altro il 30 Ottobre con una magnitudo momento che raggiunto il valore di 6.5. Quest'ultimo evento è stato il più forte dell'intera sequenza sismica.

Il 18 Gennaio 2017 è stata registrata un'ulteriore scossa con magnitudo Mw 5.5 ed epicentro localizzato a Montoreale (Abruzzo), riattivando il sistema di faglia dei Monti della Laga. Questo evento è stato il più rilevante per il

comune di Campotosto, a causa della breve distanza dall'epicentro, come dimostrato dai relativi spettri in accelerazione (Figura 3) registrati dalla stazione accelerometrica di Mascioni, piccola frazione del comune in esame, posizionata a soli 19 km dall'epicentro. Lo spettro relativo alla scossa del 18 Gennaio, mostra una PGA pari a 0.25g e un' accelerazione spettrale massima di 0.72g per bassi periodi (quelli che interessano maggiormente gli edifici in muratura di cui il centro è formato. Il danno riscontrato a Campotosto a seguito di tale evento è stato rilevante, infatti è stata registrata un'intensità macrosismica pari a VII, misurata nella scala MCS (Galli et al, 2017).

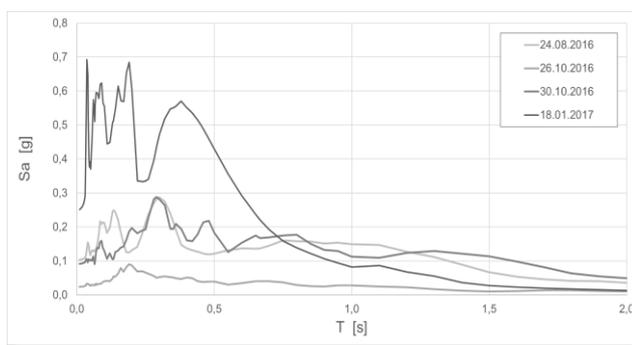


Figura 3. Spettri di risposta in accelerazione relativi alle quattro scosse principali della sequenza sismica.

### 3 IL CASO STUDIO DEL COMUNE DI CAMPOTOSTO

#### 3.1 Il contesto storico e geografico

Campotosto è un piccolo centro montano della regione Abruzzo, appartenente alla Provincia dell'Aquila, posizionato ad un'altitudine di 1420 m sul livello del mare e caratterizzato dalla presenza dell'omonimo lago artificiale.

Esso rientra tra i centri storici appartenenti al cratere sismico, l'area lungo la catena Appenninica maggiormente colpita da forti terremoti.

La storia sismica di questo paese dimostra come questa area sia sempre stata caratterizzata da una diffusa attività sismica. I principali terremoti risalgono al 1639 (Mw=6.2), al 1646 (Mw=5.9) e al 1703 (Mw= 6.9). Quest'ultimo fu devastante in quanto rase al suolo l'intero paese. Numerosi danni sono stati causati anche dal più recente sisma che nel 2009 colpì L'Aquila.

Tutti questi eventi sismici hanno arrecato numerosi processi di ricostruzione, causando profondi cambiamenti nella configurazione urbana

originale. Oggi, il centro storico di Campotosto si presenta organizzato intorno ad una via centrale, Via Del Castello, che collega la zona più bassa del paese, dove vi è l'omonimo lago, alla zona più alta, seguendo il fianco di una collina. Secondo alcuni studi storici (Ponzi et al., 2013), l'area urbana può essere suddivisa in tre ambiti, come mostrato in Figura 4, dove l'ambito A è la parte più bassa del paese -quella più vicina al lago-, l'ambito B sale lungo la zona ovest della collina, fino ad arrivare all'ambito C posizionata nella parte più alta dell'altura. Questa suddivisione si è resa utile nelle attività di rilievo del danno eseguite in sito a seguito degli eventi sismici, nonché nell'elaborazione dei dati raccolti, permettendo inoltre l'individuazione delle zone più vulnerabili del centro storico.

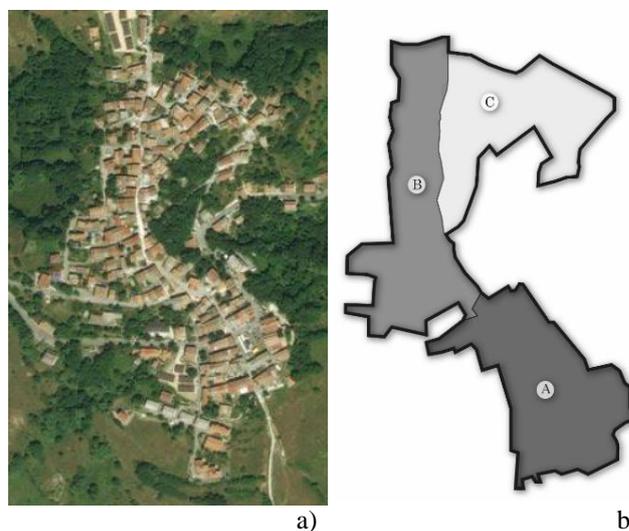


Figura 4. Il centro storico di Campotosto. a) Aerofoto. b) Suddivisione urbana in tre ambiti.

#### 3.2 Classificazione delle tipologie strutturali

Le tipologie strutturali e le tecniche costruttive utilizzate, si ripetono in maniera piuttosto omogenea per la maggior parte dei comuni montani dell'entroterra abruzzese. Gli edifici che maggiormente caratterizzano questi centri storici presentano una fattura alquanto povera. Essi sono composti da una muratura realizzata con pietra calcarea, tipica delle zone aquilane, organizzati su due o tre piani, con l'aggiunta, spesso, di un piano seminterrato per questioni legate all'orografia del terreno.

Molto basse sono le percentuali di edifici in cemento armato, datate ad epoche più recenti. Tali edifici sono stati esclusi dalle analisi presentate nella presente memoria (Figura 5).

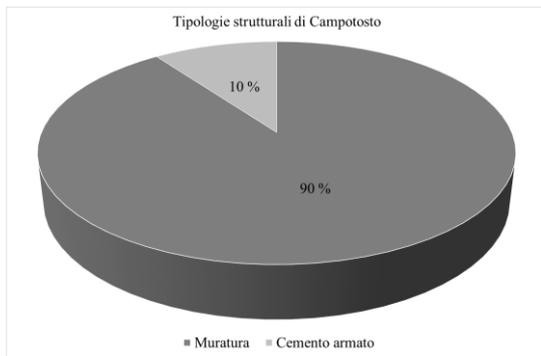


Figura 5. Le principali tipologie strutturali presenti a Campotosto.

Le compagini murarie sono composte da blocchi irregolari di pietra assemblati con sottili strati di malta di calce (Figura 6a). Esse compongono strutture verticali organizzate “a sacco”, con due paramenti esterni ed uno strato interno riempito con materiale di qualità scadente, per un totale spessore murario che varia dai 60 cm agli 80 cm (Figura 6b).

La risposta sismica di questi edifici non può considerarsi ottimale, a causa della mancanza di buoni ammorsamenti tra pareti ortogonali tra loro e per l’assenza di cordoli che assicurerebbero una buona connessione tra i solai e le murature sottostanti (Figura 6c). Inoltre, su numerosi edifici, si riscontrano alterazioni dovute ad aggiunte inappropriate, sopraelevazioni o modifiche alle aperture, per giunta eseguiti con materiali diversi dall’originale (Figura 6d). Sporadici sono i casi in cui è stata rilevata la presenza di dispositivi antisismici quali catene o contrafforti.

Tutti questi fattori denotano un’elevata vulnerabilità del patrimonio edilizio oggetto di studio e permettono di definire la relativa classe di vulnerabilità, secondo la EMS98, la quale definisce sei classi, dalla A (classe più vulnerabile) alla F (classe meno vulnerabile), sulla base del materiale utilizzato per la realizzazione degli elementi portanti. Gli edifici di campotosto si pongono a cavallo tra la classe di vulnerabilità A e la B.

#### 4 OSSERVAZIONE DEL DANNO A SEGUITO DELLA SEQUENZA SISMICA DEL 2016

Dopo la sequenza sismica del 2016 e del 2017, è stata eseguita una valutazione del danno sulle strutture in muratura del centro storico di Campotosto, seguendo i criteri di valutazione introdotti da Grünthal nel 1998.

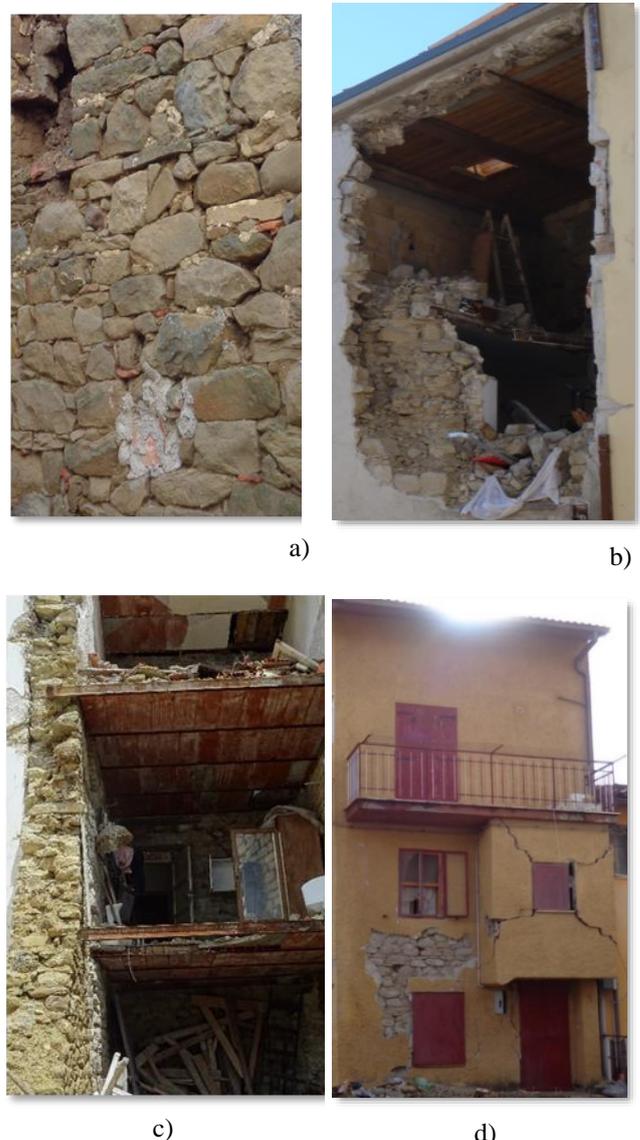


Figura 6. Caratteristiche strutturali rilevate a Campotosto. a) Tipica compagine muraria. b) Organizzazione a sacco delle murature. c) Connessioni tra solai e pareti. d) Superfetazioni inappropriate.

La valutazione è stata quindi effettuata considerando sei possibili livelli di danno:

- D0: assenza di danni strutturali;
- D1: danno da trascurabile a leggero. Lesioni capillari sulle pareti, caduta di piccoli pezzi di intonaco;
- D2: danno moderato. Lesioni su molte pareti, caduta di grandi pezzi di intonaco, parziale collasso dei comignoli.
- D3: danno da sostanziale a grave. Lesioni larghe e diffuse, cedimento di elementi non strutturali, attivazione dei meccanismi fuori piano.
- D4: danno molto grave. Lesioni molto ampie e sviluppo dei meccanismi di ribaltamento con conseguenti collassi parziali;

- D5: collasso. Più del 50% della struttura è distrutta.

Sono stati analizzati circa 300 edifici in muratura e i dati raccolti sono stati rielaborati e organizzati in Matrici di Probabilità del Danno, sia per l'intero centro storico (Figura 7a) che per i suoi sotto ambiti (Figura 7b, 7c e 7d), così da poter identificare le zone più vulnerabili del paese. Inoltre, è stato calcolato un valore di danno medio osservato  $\mu_D$ , in accordo all'espressione fornita nell'eq. (1)

$$\mu_D = \frac{\sum_{i=1}^n D_{k,i}}{n} \quad (1)$$

Dove  $D_k$  è relativo al grado di danno che va da 0 a 5 ( $D_0=0, D_1=1 \dots D_5=5$ ),  $n$  è pari al numero totale di edifici presi in esame.

A partire dal danno medio, così come fatto in altri lavori degli autori (Rapone et al., 2018), si è cercato di interpretare le frequenze dei livelli di danno  $D_k$  osservato attraverso l'applicazione della distribuzione di probabilità binomiale (linea nera nei grafici di Figura 8) che permette di definire la probabilità  $p_k$  di raggiungere un certo grado di danno  $D_k$ , attraverso la seguente eq. (2):

$$P_{Dk} = \frac{5!}{D_k! * (5 - D_k)!} * \left(\frac{\mu_D}{5}\right)^{D_k} * \left(1 - \frac{\mu_D}{5}\right)^{5-D_k} \quad (2)$$

Sebbene la validità di questa distribuzione probabilistica nel prevedere gli scenari di danno sia stata confermata in passato attraverso numerosi studi su centri storici italiani (Brando et al., 2017), in questo specifico caso, essa sembra non riuscire a cogliere i livelli di danno più severi ( $D_4$  e  $D_5$ ), che hanno avuto in particolar modo luogo negli Ambiti A e B.

Infatti le frequenze di "danno grave" realmente osservate, si mostrano più elevate di quelle previste dalla distribuzione binomiale.

Sebbene la natura cumulata del danno è sicuramente una delle cause principali delle discrepanze rilevate, in quanto, il rilievo dei danni è stato eseguito dopo l'ultima rilevante scossa della sequenza, datata al 18 Gennaio 2017, tuttavia, mettendo a confronto il danno rilevato con le Mappe di Microzonazione Sismica di terzo livello (D'Onofrio e Tatoni, 2017), è possibile notare che gli edifici più danneggiati ricadono proprio nelle zone con fattore di amplificazione più elevato (Figura 8).

Appare quindi probabile, che la vera ragione per cui la distribuzione binomiale risulta inattendibile è da ricondurre proprio agli effetti di sito.

D'altronde, tale tesi appare essere avvalorata dal fatto che nell'ambito C, dove gli effetti di sito sono trascurabili (massimo fattore di amplificazione pari a 1.2), la distribuzione binomiale ritorna a fornire risultati attendibili, in particolare per i livelli di danno più alti.

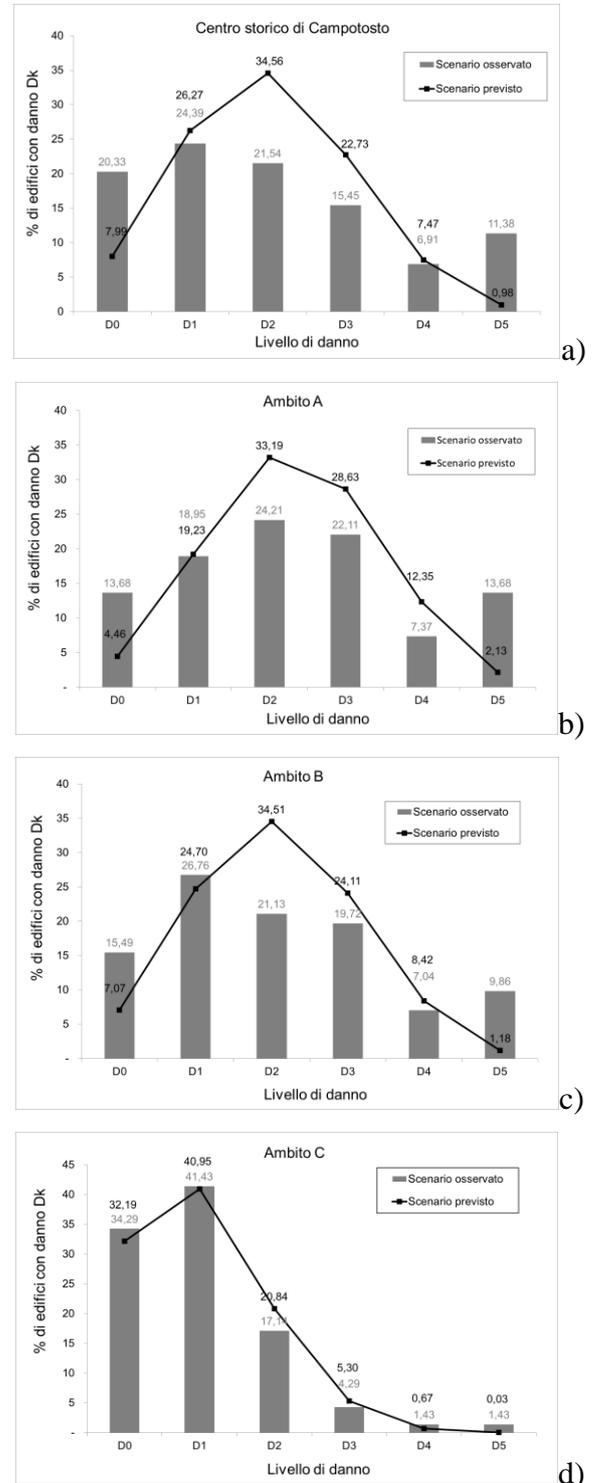


Figura 7. Matrici di Probabilità del Danno e distribuzioni binomiali. a) Intero centro storico. b) Ambito A. c) Ambito B. d) Ambito C.

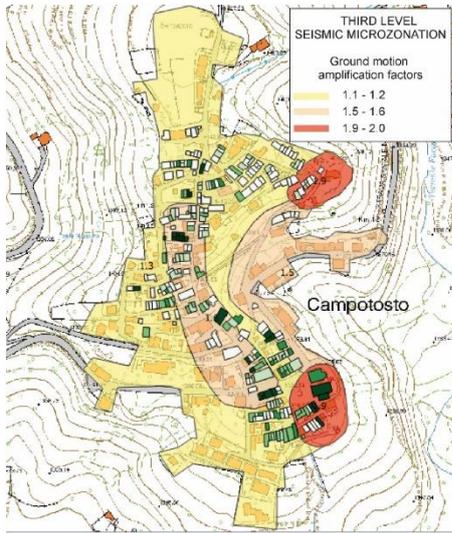


Figura 8. Mappa di Microzonazione Sismica di terzo livello e scenario di danno osservato.

## 5 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Al fine di approfondire l'ipotesi secondo cui gli effetti di sito sono stati la causa principale dell'irregolare scenario di danno, sono state eseguite delle analisi di risposta sismica locale. Dai rilievi geologici e geotecnici eseguiti per gli studi di Microzonazione Sismica, è stato rilevato che Campotosto è posizionato sulla parte più alta di una collina, composta da strati di roccia fratturati nella parte superiore e da fianchi costituiti da sabbie e ghiaie. La complessità di tali condizioni geologiche e morfologiche dell'area in esame, fanno sì che questa possa essere interessata da fenomeni di amplificazione sismica dovuti a motivi topografici e stratigrafici (Pagliaroli, 2019).

Considerando una sezione rappresentativa del centro storico, è stata eseguita la relativa modellazione bidimensionale ad elementi finiti.

Per considerare il comportamento non lineare degli strati superiori, composti da rocce fratturate, è stato utilizzata la curva Modoni e Gazellone del 2010 (Modoni e Gazellone, 2010), mentre lo strato di roccia è stato assunto viscoelastico lineare.

Tale modello di sottosuolo è stato sollecitato attraverso dall'input sismico del 18 Gennaio 2017, che è stato riprodotto definendo prima lo spettro target (Figura 9a), tramite l'utilizzo della legge di attenuazione di Bindi del 2011 (Bindi et al, 2011), assumendo una magnitudo  $M_w=5.5$  e una distanza di Joyner-Boore pari a 0 km (Civico et al., 2018), e poi valutando la spettrocompatibilità con lo spettro medio derivante dalla selezione di 7 accelerogrammi naturali (Figura 9b).

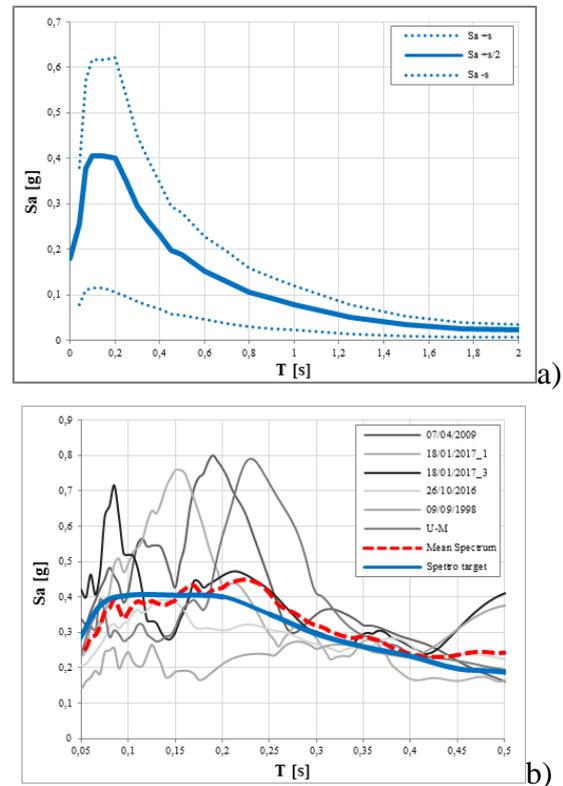


Figura 9. Riproduzione dell'input sismico del 18 Gennaio 2017. a) Spettro target calcolato secondo la legge di attenuazione di Bindi. b) Selezione di 7 accelerogrammi naturali e il loro relativo spettro medio.

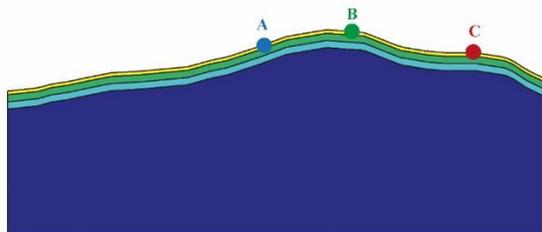
Le analisi bidimensionale, considerando tutti i possibili effetti di amplificazione dell'azione sismica, sia topografici che stratigrafici, permettono di simulare lo spettro di risposta in superficie e metterlo a confronto con la distribuzione del danno osservato (Figura 10).

A tal fine, sono stati selezionati tre edifici affetti da differenti livelli di danno e posizionati su zone con diversi fattori di amplificazione del suolo.

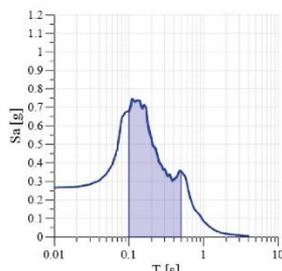
Considerando che questi edifici sono in muratura e si sviluppano su 2 o 3 piani, l'analisi dei relativi spettri in accelerazione è stata eseguita in un range di periodo tra 0.1s e 0.5s. È stata così rilevata una buona corrispondenza tra i livelli di danno osservati e le accelerazioni spettrali medie: un livello di danno trascurabile ( $D_0$ ) si manifesta per accelerazioni spettrali inferiori a 0.5g, mentre danni più severi ( $D_3-D_4$ ) possono presentarsi per valori di accelerazione maggiori o uguali a 0.6g.

## 6 CONCLUSIONI

Nella presente memoria è stato presentato lo scenario di danno palesatosi sul centro storico di Campotosto a seguito della sequenza sismica del terremoto dell'Italia Centrale, a cavallo tra il 2016 e il 2017.

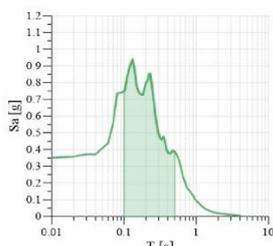


A  
(D<sub>0</sub>)



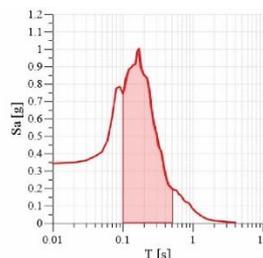
$$A (D_0) \quad S_{aA} [g] = \frac{\int_{0.05}^{0.5} S_a(T) dT}{\Delta_T} = 0.46 [g]$$

B  
(D<sub>3</sub>)



$$B (D_3) \quad S_{aB} [g] = \frac{\int_{0.05}^{0.5} S_a(T) dT}{\Delta_T} = 0.60 [g]$$

C  
(D<sub>4</sub>)



$$C (D_4) \quad S_{aC} [g] = \frac{\int_{0.05}^{0.5} S_a(T) dT}{\Delta_T} = 0.57 [g]$$

Figura 10. Localizzazione dei tre edifici analizzati sulla sezione e i relativi spettri di risposta in accelerazione.

Gli edifici che hanno riportato gradi di danno severi ( $D_4$ ) o crolli diffusi ( $D_5$ ) si sono mostrati in percentuali molto elevate rispetto agli scenari di danno prevedibili tramite modelli di conclamata affidabilità presenti in letteratura. Tale discordanza tra scenario di danno realmente osservato e scenario di danno previsto, ha portato alla necessità di indagarne più a fondo le cause.

A tal scopo, ci si è avvalsi degli studi di Microzonazione Sismica di livello 3, che hanno messo in luce la presenza di fenomeni di amplificazione del moto sismico indotti da fattori di natura topografica e stratigrafica, proprio in quelle aree territoriali in cui i danni severi sono stati osservati in maniera più diffusa.

Sulla base di questi dati, l'analisi di Risposta Sismica Locale ha permesso di rilevare l'accelerazione spettrale degli edifici, così da effettuare un confronto con il danno osservato. Le buone corrispondenze tra i danni rilevati e le accelerazioni registrate, dimostrano come gli scenari di danno siano strettamente connessi agli effetti di sito dell'area in esame, e permettano di definire una soglia preliminare di accelerazioni spettrali in condizioni di campo libero che possano indurre determinati livelli di danno sulle strutture in muratura.

## RICONOSCIMENTI

Lo studio presentato nella presente memoria è stato sviluppato nell'ambito del Progetto di ricerca ReLuis 2019-2021, finanziato dal Dipartimento di Protezione Civile italiana.

## REFERENCES

- Bindi, D., Pacor, F., Luzi, L., Puglia, R., Massa, M., Ameri, G., Paolucci, R., 2011. Ground motion prediction equations derived from the Italian strong motion database *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9 (6), pp. 1899-1920.
- Brando, G., De Matteis, G., and Spacone, E., 2017. Predictive model for the seismic vulnerability assessment of small historic centers: application to the inner Abruzzi Region in Italy. *Eng. Struct.* 153, 81-96. doi: 10.1016/j.engstruct.2017.10.013.
- Civico, R., Pucci, S., Villani, F., Pizzimenti, L., De Martini, P. M., Nappi, R., 2016. Surface ruptures following the 30 October 2016 Mw 6.5 Norcia earthquake, central Italy. *J. Maps*, vol. 14, no. 2, pp. 151-160, Nov. 2018.
- Cocco, G., D'Aloisio, A., Spacone, E., Brando, G., 2019. Seismic Vulnerability of Buildings in Historic Centers: From the 'Urban' to the 'Aggregate' Scale. *Front. Built Environ.*, vol. 5, no. June, pp. 1-14, 2019.
- D'Onofrio, K., and Tatoni, S., 2017. Third Level Microzonation of the Municipality of Campotosto (Italian). Available online at: <https://www.comune.campotosto.aq.it/microzonazione-sismica/>
- Giallini, S., Pizzi, A., Pagliaroli, A., Moscatelli, M., Vignaroli, G., Sirianni, P., Mancini, M., Laurenzano, G., 2019. Experimental and numerical evaluation of complex site effects in Arquata De Tronto after the 2016 Central Italy earthquake. *Sced 2019 conference: earthquake risk and engineering towards a resilient world*.
- Galli, P., Castenetto, S., Peronace, E., 2017. Rapporto sugli effetti macrosismici del terremoto del 30 Ottobre 2016 (Monti Sibillini) in scala MCS. Con aggiornamenti successivi agli eventi del 18 Gennaio 2017. Report DPC-IAGG
- Grünthal, G., 1998. Ed European Macroseismic Scale 1998. Luxembourg: Cahiers du Center Européen de Géodynamique et de Seismologie. Conseil de l'Europe.
- Modoni, G., Gazzellone, A., 2010. Simplified theoretical analysis of the seismic response of artificially compacted

- gravels. *Proc. of the Vth Int. Conf. on Recent Advance in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, San Diego (California), May 2010, paper #1.28.a.
- Pagliaroli A., Pergalani F., Ciancimino A., Chiaradonna A., Compagnoni M., De Silva F., Foti S., Giallini S., Lanzo G., Lombardi F., Luzi L., Macerola L., Nocentini M., Pizzi A., Tallini M., Teramo C., 2019. Site response analyses for complex geological and morphological conditions: relevant case-histories from 3rd level seismic microzonation in Central Italy. *Bull Earthq Eng.* Special Issue on "Seismic Microzonation of Central Italy". <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00610-7>.
- Ponzi, A., Tempesta, G., Di Napoli, E., Colasante, P., Limiti, F., Limiti, P., et al., 2013. Reconstruction Plan of the di Campotosto Municipality Following the Seismic Event of the 6th of April 2009 (Italian). Available online at: [https://www.comune.campotosto.aq.it/vecchio/index.php?option=com\\_content&view=article&id=79&Itemid=200](https://www.comune.campotosto.aq.it/vecchio/index.php?option=com_content&view=article&id=79&Itemid=200).
- Rapone, D., Brando, G., Spacone, E., De Matteis, G., 2018. Seismic vulnerability assessment of historic centers: description of a predictive method and application to the case study of scanno (Abruzzi, Italy). *International Journal of Architectural Heritage*, 12 (7-8), pp. 1171-1195.
- Tertulliani A. and Maramai A., 1998. Macroseismic evidence and site effects for the Lunigiana (Italy) 1995 Earthquake. *J. Seismol.*, vol. 2, no. 3, pp. 209–222, 1998.
- Tertulliani, A., 2000. Colfiorito 1997 Earthquakes: Damages, Severity, Observation and Site Effects. *Proc. 12th World Conf. Earthq. Eng. Auckland, New Zeal.*, vol. Paper No., no. September, pp. 1–6, 2000.