

Edifici antisismici

Sequenza sismica in Italia centrale 2016: ricognizioni POROTON® ad Amatrice

La lunga sequenza sismica del 2016 che ha interessato le zone appenniniche del centro Italia, ha colpito con veemenza Amatrice e le sue frazioni, con terremoti che hanno sviluppato accelerazioni di picco al terreno impressionanti, raggiungendo anche valori di 0.60 g.

Le ricognizioni POROTON® ad Amatrice hanno permesso di verificare sul campo l'efficacia dei moderni sistemi di muratura in laterizio proposti.

Le costruzioni verificate hanno risposto in maniera estremamente positiva alla catastrofica sequenza sismica, senza riportare danni e rimanendo pienamente agibili; dimostrando inoltre grande tenacità nel sopportare terremoti ripetuti senza soffrire effetti di accumulo di danno.

Premessa

Il presente lavoro si configura come completamento delle ricognizioni post-terremoto svolte a Norcia e già pubblicate a gennaio 2017 ([post-terremoto 2016 Norcia](#)).

A causa delle difficoltà logistiche e per non intralciare in alcun modo gli interventi della Protezione Civile, non fu possibile svolgere il secondo turno di ricognizioni ad Amatrice in seguito al devastante terremoto del 30 ottobre 2016, che è stato possibile svolgere solo più tardi e che quindi presentiamo ora, a distanza di circa un anno dall'inizio della sequenza sismica.

Si coglie l'occasione per segnalare che il valore dell'attività di ricognizione svolta è attestato anche dal fatto che **il materiale ricavato dalle ricognizioni POROTON® è stato oggetto di un articolo scientifico presentato al XVII Convegno ANIDIS - L'ingegneria sismica in Italia**, convegno a cadenza biennale, riconosciuto come riferimento per l'ingegneria sismica Italiana, che si è svolto a Pistoia dal 17 al 21 settembre 2017, con l'organizzazione dell'Università degli Studi di Firenze, dell'Università di Pisa e dell'Ord. Ing. di Pistoia.

Sequenza sismica

La sequenza sismica iniziata il 24 agosto 2016 in centro Italia è stata imponente come intensità, durata ed estensione: **ad otto mesi dal primo terremoto ha superato le 65550 scosse** (Fig. 1), e ha prodotto **9 eventi principali di magnitudo maggiore o uguale a 5.0** (Tabella 1) distribuiti da Norcia ad Amatrice su una direttrice nord-ovest / sud-est lunga 50 km.

La scossa del 24 agosto 2016 di magnitudo 6.0 ha dato inizio alla sequenza sismica colpendo particolarmente le zone di Amatrice ed Accumoli. **La scossa del 30 ottobre 2016 di magnitudo 6.5 è stata la più potente** di tutta la sequenza ed ha colpito Norcia, arrivando a indurre accelerazioni al terreno molto alte anche ad Amatrice. **I terremoti del 18 gennaio 2017 tra Amatrice e L'Aquila, hanno indotto ancora una volta scuotimenti elevati ad Amatrice** (in particolare la scossa di magnitudo 5.5). Situazione ulteriormente aggravata dalle abbondanti nevicate invernali che hanno causato rilevanti complicazioni per la gestione dell'emergenza.

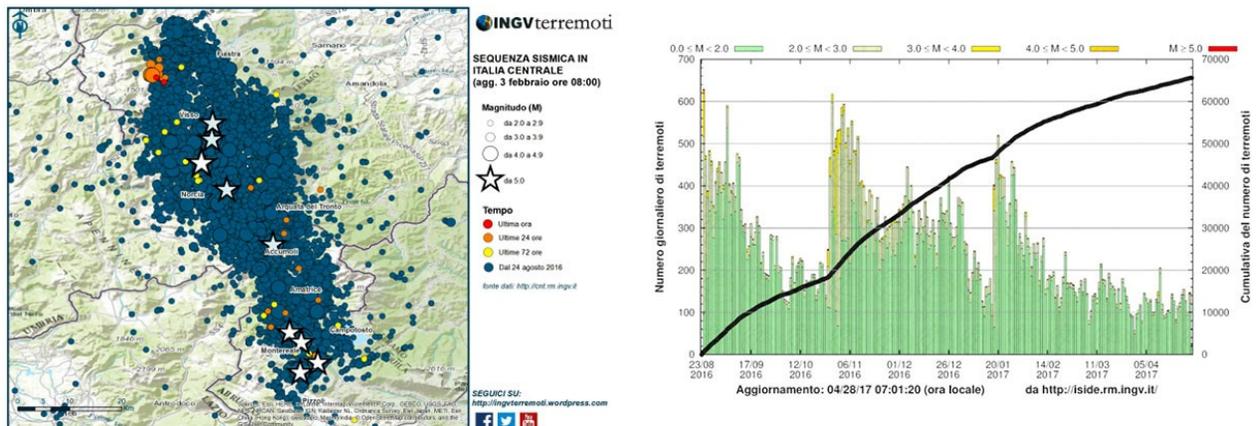


Fig. 1 - Distribuzione geografica delle scosse registrate dal 24 agosto 2016 al 3 febbraio 2017 (sx, [Blog INGVterremoti 03/02/2017](http://ingvterremoti.wordpress.com)) e numero delle scosse giornaliere e cumulate registrate dal 24 agosto 2016 al 28 aprile 2017 (dx, [Blog INGVterremoti 28/04/2017](http://ingvterremoti.wordpress.com)).

Tabella 1 – I nove terremoti di magnitudo maggiore a 5 che hanno caratterizzato la sequenza sismica dell’Italia centrale.

Data e ora italiana	Magnitudo	Localizzazione epicentro		Profondità ipocentro (km)
		Provincia	Lat., Long.	
24/08/2016 - 3:36	6.0	Rieti	42.70, 13.23	8
24/08/2016 - 4:33	5.4	Perugia	42.79, 13.15	8
26/10/2016 - 19:10	5.4	Macerata	42.88, 13.13	9
26/10/2016 - 21:18	5.9	Macerata	42.91, 13.13	8
30/10/2016 - 7:40	6.5	Perugia	42.83, 13.11	9
18/01/2017 - 10:25	5.1	L’Aquila	42.55, 13.28	10
18/01/2017 - 11:14	5.5	L’Aquila	42.53, 13.28	10
18/01/2017 - 11:25	5.4	L’Aquila	42.50, 13.28	9
18/01/2017 - 14:33	5.0	L’Aquila	42.47, 13.27	10

Danneggiamento atteso

Al cospetto di una sequenza sismica di questo genere, è ragionevole attendersi un quadro di danneggiamento degli edifici catastrofico. Si consideri infatti che la **grande maggioranza degli edifici costruiti nelle zone colpite dal sisma sono stati realizzati prima del 1971** (secondo dati ISTAT 2011), dunque prima della Legge n.64 del 02/02/1974 che coordina la normativa sismica italiana e prima della Legge n.1086 del 05/11/1971 che disciplina la progettazione e realizzazione delle opere in calcestruzzo armato ed a struttura metallica. In ogni caso, **anche riferendosi ai soli edifici progettati e realizzati secondo le vigenti NTC 2008, ci si poteva attendere danni gravi ed estesi per ogni singolo terremoto; a cui si aggiunge l’effetto di accumulo del danno dovuto al ripetersi degli eventi sismici** che hanno sollecitato le costruzioni con accelerazioni anche superiori a quelle attese per lo Stato Limite di Collasso (si veda la Tabella 2).

Ricognizioni POROTON®

Come segnalato in *Premessa*, questo contributo presenta le ricognizioni POROTON® svolte ad Amatrice, a completamento di quelle condotte a Norcia e già presentate in un precedente articolo. Anche queste **ricognizioni ad Amatrice sono caratterizzate dal fatto che gli stessi edifici sono stati visionati due volte: in seguito ai terremoti del 24 agosto 2016 ed alla fine della sequenza sismica**, ossia dopo il terremoto del 30 ottobre 2016 ed anche dopo gli eventi del 18 gennaio 2017.

Ciò ha permesso di verificare la risposta sismica degli edifici per le diverse fasi della sequenza sismica, rilevando anche l'eventuale effetto di accumulo del danneggiamento.

La Fig. 2 fornisce la localizzazione delle ricognizioni svolte (pallini numerati), relativamente agli epicentri dei nove terremoti di grado superiore al 5 individuati da INGV (stelle). Per completezza la mappa fornisce la localizzazione di tutti gli edifici oggetto di ricognizione: gli edifici 1÷5 localizzati a Norcia, oggetto del già citato articolo, e gli edifici 6÷12 localizzati ad Amatrice, che sono analizzati nel presente contributo. Si tratta di edifici residenziali unifamiliari o bifamiliari di 1÷3 piani, realizzati tra il 2000 e il 2016 in muratura portante POROTON®.



Fig. 2 - Localizzazione delle ricognizioni e degli epicentri delle nove scosse sismiche principali, su mappa Googlemaps.

Le costruzioni visionate sono molto vicine a tutti gli epicentri e sono state duramente colpite dalle scosse sismiche, in particolare dai due terremoti principali (24 agosto M 6.0 e 30 ottobre M 6.5), che hanno rilasciato maggiore energia degli altri, sviluppando nel territorio accelerazioni sismiche estremamente elevate. La Fig. 3 fornisce la localizzazione delle ricognizioni svolte relativamente alla distribuzione delle accelerazioni di picco sul terreno, sviluppate dai due terremoti principali, secondo mappe elaborate dall'INGV.

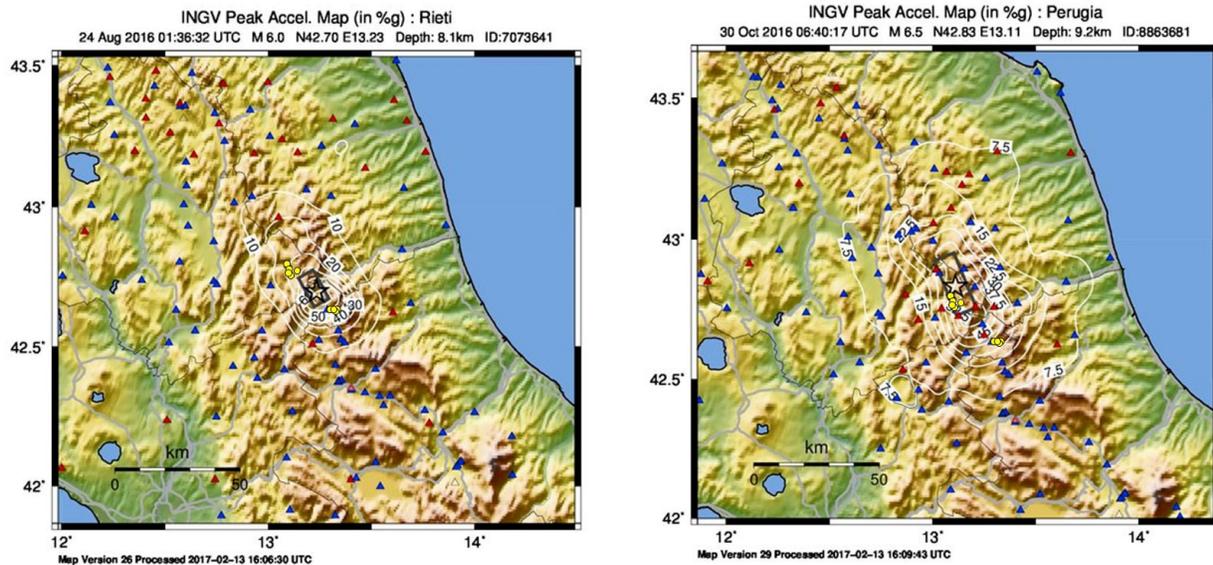


Fig. 3 - Localizzazione delle ricognizioni (pallini gialli), sulle mappe di scuotimento elaborate da INGV dei due terremoti principali: 24 agosto M 6.0 (sx) e 30 ottobre M 6.5 (dx).

Una sintesi delle informazioni fondamentali per analizzare la risposta sismica delle costruzioni visionate è riportata in Tabella 2. Per ogni ricognizione svolta ad Amatrice viene fornita la localizzazione esatta, l'accelerazione di progetto ($a_g \cdot S$) allo SLD ed allo SLV (valutate secondo NTC 2008 e assumendo la categoria di sottosuolo B, che corrisponde sostanzialmente alla categoria di suolo predominante nella zona interessata), l'accelerazione di picco del terreno (PGA) subita dalla costruzione e causata dai due terremoti principali (stimata attraverso le mappe di scuotimento dell'INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Fig. 3), insieme alla distanza dagli epicentri dei due terremoti principali.

Tabella 2 – Dati di localizzazione delle ricognizioni, accelerazioni di progetto allo SLD e SLV, accelerazioni stimate dalle mappe di scuotimento INGV e distanza della singola costruzione dall’epicentro dei due terremoti principali.

ID	Foto	Localizzazione Lat., Long.	a _g -S suolo B (g)		PGA Mappe Scuotimento (g)		Distanza Epicentrale (km)	
			SLD	SLV	24/08 M 6.0	30/10 M 6.5	24/08 M 6.0	30/10 M 6.5
6		Loc. Prato Amatrice (RI) 42.63, 13.30	0.124	0.298	0.60	0.35	9.3	26.8
7		Loc. Collepagliuca Amatrice (RI) 42.64, 13.31	0.123	0.298	0.58	0.34	9.9	27.3
8		Loc. Voceto Amatrice (RI) 42.63, 13.32	0.123	0.298	0.55	0.33	10.7	27.9
9		Loc. Voceto Amatrice (RI) 42.63, 13.32	0.123	0.298	0.55	0.33	10.7	27.9
10		Loc. Collocreta Amatrice (RI) 42.63, 13.32	0.123	0.298	0.53	0.32	10.8	28.3
11		Loc. Collocreta Amatrice (RI) 42.63, 13.32	0.123	0.298	0.53	0.32	10.8	28.3
12		Loc. Collocreta Amatrice (RI) 42.63, 13.32	0.123	0.298	0.53	0.32	10.8	28.3

E' immediato osservare che **la vicinanza delle costruzioni all’epicentro del primo terremoto (24 agosto M 6.0) ha determinato accelerazioni di picco al suolo in corrispondenza delle costruzioni stesse estremamente elevate, superiori a 0.5 g raggiungendo valori di addirittura 0.6 g.** Valori di accelerazione questi **superiori a quelli previsti per la progettazione allo SLV** (Tabella 2) **e superiori anche alle accelerazioni di progetto allo SLC** (circa 0.36 g). In questo ha influito con tutta probabilità l’effetto di vicinanza alla faglia attivata dal terremoto.

Dopo migliaia di scosse, di grado anche rilevante come i terremoti del 26 ottobre, si è verificato il terremoto più forte di tutta la sequenza sismica: **l’evento del 30 ottobre M 6.5.** L’onda sismica generata è stata così potente che, nonostante la distanza di quasi 30 km dall’epicentro, **ha**

sollecitato gli edifici allo studio con accelerazioni di circa 0.33 g, anche queste superiori a quelle previste per lo SLV.

Ulteriori sollecitazioni sono state indotte dai successivi terremoti della sequenza sismica, che ad oggi non sembra ancora essere completamente esaurita. In particolare il **18 gennaio sono stati registrati 4 terremoti il più forte dei quali di grado M 5.5**, che anche per la vicinanza dell'epicentro ad Amatrice, **ha ulteriormente sollecitato gli edifici visitati con accelerazioni di picco al terreno di circa 0.26 g.**

Danneggiamento rilevato nel post-terremoto 24 agosto M 6.0

In base a quanto fin qui discusso, **lo scenario di danneggiamento che ci si poteva attendere per gli edifici visionati ad Amatrice poteva essere catastrofico.** Le PGA raggiunte infatti nel corso del terremoto del 24 agosto M 6.0 sono impressionanti. **Sostanzialmente tutti gli edifici potevano riportare danni gravissimi a tutti i componenti anche quelli strutturali, arrivando pure al collasso della costruzione.**

Invece la situazione rilevata sul territorio è stata completamente diversa ed estremamente positiva: gli edifici visionati non hanno presentato danni e sono rimasti pienamente operativi.

Di seguito si approfondiscono due degli edifici visitati, nel particolare: l'edificio 10 in quanto rappresentativo della tipologia costruttiva degli edifici rilevati e l'edificio 7 in quanto caratterizzato da un rivestimento esterno in pietra a vista.

L'**edificio 10** è una bifamiliare realizzata in muratura portante ordinaria con blocchi POROTON® P800 lisci di sp. 30 cm per i due piani superiori, mentre per il piano interrato si è impiegata una muratura di sp. 45 cm, attorno al quale c'è un'intercapedine chiusa da un muro in c.a. di contenimento del terreno dal quale spiccano i pilastri dei porticati. Nonostante la PGA sia stata di 0.53 g (Tabella 2), il danno riscontrato è stato nullo e ciò ha consentito agli occupanti di continuare ad abitarla (Fig. 4).



Fig. 4 - Edificio 10 (post-terremoto 24 agosto M 6.0).

L'**edificio 7** è una bifamiliare in muratura portante in laterizio POROTON® P800 liscio sp. 30 cm di tre piani, caratterizzata da un rivestimento esterno in pietra a vista. La costruzione ha subito una PGA stimata di 0.58 g e presentava una moderata fessurazione al piano terra sul muro portante interno in corrispondenza dell'innesto dei gradini semplicemente infilati, che hanno creato una linea di fessurazione preferenziale (Fig. 5), ed alcune fessurazioni ad elementi non strutturali. Si tratta di danneggiamenti leggeri, facilmente riparabili, che non inficiano la sicurezza della struttura, gli occupanti hanno potuto dunque continuare ad abitarla.



Fig. 5 - Edificio 7 (post-terremoto 24 agosto M 6.0): vista esterna del fronte principale (sx) e fessurazione del muro interno in corrispondenza dei gradini delle scale infilati all'interno del muro (dx).

Danneggiamento rilevato nel post-terremoto 30 ottobre M 6.5

Gli edifici rilevati in seguito al terremoto del 24 agosto M 6.0, sono stati visionati per la seconda volta al termine della sequenza sismica, ossia dopo il devastante terremoto del 30 ottobre M 6.5 ed anche dopo gli eventi del 18 gennaio 2017.

Gli stessi edifici si sono trovati a sperimentare ancora una volta accelerazioni superiori a quelle previste per lo SLV (Tabella 2), perciò tutte le costruzioni allo studio avrebbero potuto riportare

danni molto gravi ai componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni ai componenti strutturali, tanto da rendere vantaggiosa la demolizione/ricostruzione.

Lo scenario di danno atteso poteva perciò essere disastroso, invece quanto rilevato sul territorio durante le ricognizioni è stato anche in questa occasione completamente diverso ed estremamente positivo: **le costruzioni visionate non hanno subito danneggiamenti e sono rimaste operative ed abitate**, a meno di inagibilità per rischio esterno. **Ciò ha permesso agli occupanti di continuare a vivere in sicurezza nelle loro abitazioni anche durante il periodo invernale, che come detto in precedenza è stato caratterizzato da abbondanti nevicate, evitando tutti i disagi correlati alla stagione ed all'allontanamento dalla propria dimora.**

Nel particolare ed in analogia a quanto presentato per la ricognizione post-terremoto 24 ottobre M 6.0, l'**edificio 10** è rimasto completamente privo di fessurazioni, l'**edificio 7** ha riportato un leggero aggravio delle fessurazioni già rilevate in seguito al terremoto di agosto (Fig. 6).



Fig. 6 – Post-terremoto 30 ottobre M 6.5: edificio 10 (sx) ed edificio 7 (dx).

Danneggiamento cumulato

La ripetizione di eventi sismici di magnitudo rilevante rappresenta per gli edifici una condizione estremamente critica, poiché può condurre al pericoloso effetto di accumulo del danno. Un edificio danneggiato da un primo terremoto perde parte della capacità di resistere alle azioni sismiche, e se non si interviene con riparazioni per ripristinarne le condizioni iniziali, lo stesso edificio affronterà l'eventuale secondo terremoto con resistenze ridotte rischiando di non poter superare l'evento. Con terremoti successivi la situazione si aggrava sempre di più, finché sarà sufficiente anche solo una piccola scossa per portare al crollo l'edificio.

Nel caso in esame la sequenza sismica ha prodotto migliaia di scosse, 7 delle quali di magnitudo superiore a 5.0 e 2 di magnitudo superiore a 6.0, inducendo un consistente effetto di accumulo del danno. **Gli edifici oggetto del presente contributo hanno mostrato altresì un'ottima risposta anche nei confronti del danneggiamento cumulato, contenendo al minimo tale effetto e dimostrando grande tenacità di fronte a terremoti ripetuti.**

L'edificio 6 e l'edificio 8 permettono di avere un **diretto confronto della capacità di minimizzare l'accumulo di danno dimostrata dagli edifici realizzati con i moderni sistemi di muratura in laterizio, rispetto ai limitrofi edifici in muratura storica** (Fig. 7 e Fig. 8).



Fig. 7 – Edificio 6 ed edifici limitrofi: post-terremoto 24 agosto M 6.0 (sx) e post-terremoto 30 ottobre M 6.5 (dx).



Fig. 8 – Edificio 8 ed edificio adiacente: post-terremoto 24 agosto M 6.0 (sx) e post-terremoto 30 ottobre M 6.5 (dx).

Conclusioni

La lunga sequenza sismica del centro Italia ha colpito con particolare veemenza Amatrice e le sue frazioni, con ripetuti terremoti che hanno sviluppato accelerazioni di picco al terreno impressionanti, raggiungendo anche valori di 0.60 g.

Le ricognizioni POROTON® hanno permesso di verificare direttamente sul campo l'efficacia e l'affidabilità dei sistemi proposti. Gli edifici visionati ad Amatrice, come già quelli visti a Norcia ([post-terremoto 2016 Norcia](#)), hanno infatti superato l'intera sequenza sismica senza riportare danni e contenendo al minimo l'effetto di accumulo del danno. Ciò ha consentito di mantenere inalterata la fruibilità degli edifici stessi, nonostante la violenta crisi sismica in atto aggravata dalle nevicate e dai disagi del periodo invernale.

I moderni sistemi di muratura POROTON®, progettati nel rispetto delle normative tecniche vigenti e realizzati correttamente secondo le regole del buon costruire, sono caratterizzati da un'ottima resilienza e conducono ad eccellenti livelli di sicurezza in zona sismica, permettendo innanzitutto di proteggere la vita degli occupanti ed anche di garantire il mantenimento del valore dell'investimento economico sostenuto.

Quanto sopra descritto conferma ancora una volta quanto già osservato in precedenti eventi sismici quali il [terremoto del 2009 a L'Aquila](#) ed il [terremoto del 2012 in Emilia](#).

Ringraziamenti

Si ringrazia per il fondamentale contributo allo svolgimento dei sopralluoghi il Geom. Longari e l'Ing. Ficara di Toppetti 2 s.r.l. e l'Ing. Gattelli, l'Ing. Foschini e l'Ing. Bezzi di Gattelli s.p.a. .

Si ringraziano inoltre i magazzini edili ed i costruttori della zona di Amatrice per il supporto e la collaborazione.

Autori:

Flavio Mosele