Consorzio POROTON® Italia

Via Franchetti, 4 - 37138 VERONA - Telefono 045.572697 - Fax 045.572430 - www.poroton.it - info@poroton.it

Costruzioni in zona sismica

Sequenza sismica in Italia centrale 2016: ricognizioni POROTON® a Norcia

I terremoti del 24 agosto 2016 e del 26-30 ottobre 2016 hanno colpito con impressionante violenza le zone appenniniche dell'Italia centrale, ricordando ancora una volta che l'Italia è sismica.
Le ricognizioni POROTON® hanno permesso di verificare sul campo l'efficacia dei sistemi proposti. Le costruzioni verificate, tutte molto vicine agli epicentri, hanno risposto in maniera estremamente positiva alla catastrofica sequenza sismica, senza riportare danni e rimanendo pienamente agibili.

Sequenza sismica

L'intensità, la durata e la vastità del territorio colpito dalla sequenza sismica che ha investito il centro Italia tra agosto ed ottobre del 2016 porta alla memoria eventi catastrofici che hanno segnato l'Italia e hanno dato impulso determinante allo sviluppo della moderna ingegneria sismica, ci si riferisce in particolare ai terremoti del Friuli 1976 (sequenza lunga alcuni mesi con terremoto di magnitudo massima pari a 6.4) ed Irpinia 1980 (sequenza durata vari mesi con terremoto di magnitudo massima pari a 6.9).
La sequenza sismica è stata imponente e a quattro mesi dal primo terremoto ha superato le **40500 scosse: circa 880 terremoti di magnitudo compresa tra 3 e 4, 50 quelli di magnitudo compresa tra 4 e 5, 5 terremoti di magnitudo maggiore o uguale a 5** (Fig. 1).

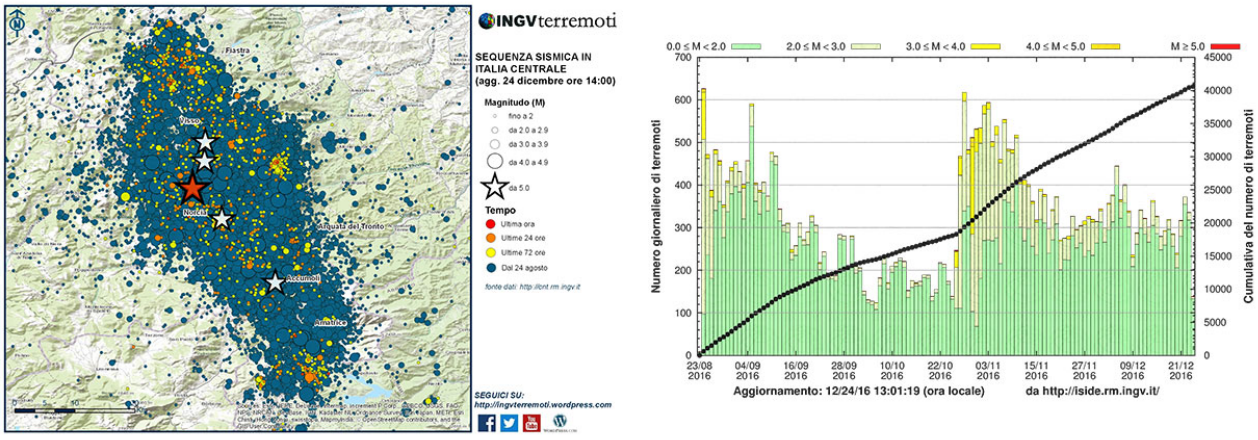

Fig. 1 - Scosse registrate dal 24 agosto al 24 dicembre: distribuzione geografica (sx) e numero delle scosse giornaliere e cumulate (dx) (Blog INGVterremoti 24/12/2016).

La sequenza è iniziata con due forti terremoti il 24 agosto 2016 a distanza di un'ora l'uno dall'altro e con epicentro rispettivamente ad Accumoli e Norcia (Tabella 1). **Il terremoto più potente del 24 agosto è stato di magnitudo M 6.0 ed ha duramente colpito le zone del centro Italia** coinvolgendo quattro regioni Lazio, Umbria, Marche ed Abruzzo. Un territorio in gran parte montano e rurale caratterizzato da parchi naturali e da un basso livello di urbanizzazione, con **l'80% degli edifici residenziali costruiti prima del 1971** (secondo dati ISTAT 2011) e con diversi insediamenti di epoca medievale (con un patrimonio culturale di rilievo), tra cui spiccano i centri di Amatrice e Norcia.

La sequenza che sembrava andare affievolendosi (Fig. 1 dx) ha invece ripreso vigore con **altri due forti terremoti il 26 ottobre 2016** anche questi temporalmente molto ravvicinati e con epicentro nel Maceratese (Tabella 1). **Il terremoto più potente della sequenza sismica è stato registrato il 30 ottobre 2016 di magnitudo momento M 6.5 ed epicentro Norcia**. Per avere un'idea della sconvolgente intensità di quest'ultimo evento, basti pensare al fatto che ha indotto decine di chilometri di fratture nel suolo e ribassamenti dello stesso di circa 70 cm (è il caso di Castelluccio di Norcia, Blog INGVterremoti 02/11/2016), oltre alla ricomparsa di un torrente nei pressi di Norcia che era scomparso in seguito al sisma del 1979. I terremoti di ottobre, in particolare quello del 30 ottobre, hanno colpito ancora più duramente le zone del centro Italia già fortemente danneggiate dai sismi di agosto ed hanno ulteriormente ampliato le aree investite da accelerazioni sismiche rilevanti.

Tabella 1 - I 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

Danneggiamento atteso

Il verificarsi di un evento sismico di elevata intensità in un determinato luogo rappresenta un evento di estrema rarità, per il quale, il consolidato approccio semiprobabilistico agli stati limite, consente alle strutture di superare il limite elastico ammettendo danneggiamenti anche tali da rendere più conveniente una successiva demolizione/ricostruzione dell'edificio, pur conservando la capacità di sopportare i carichi verticali (Petrini et al. 2004, Fig. 2). Gli eventi sismici a cui ci si riferisce sono quelli che sollecitano le costruzioni allo Stato Limite di Vita (SLV), per il quale le vigenti NTC 2008 assegnano una probabilità di superamento P_{VR} = 10 %.

I terremoti che hanno colpito il Centro Italia possono considerarsi come esempi di questi eventi di estrema rarità, ed hanno sollecitato le costruzioni allo SLV ed oltre. Perciò **il danneggiamento atteso sulle nuove costruzioni progettate secondo NTC 2008** poteva essere costituito "*da rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali*" (cit. §3.2.1 delle NTC 2008). Il danneggiamento atteso dunque, come già osservato, **può anche rendere vantaggiosa la demolizione/ricostruzione dell'edificio**.

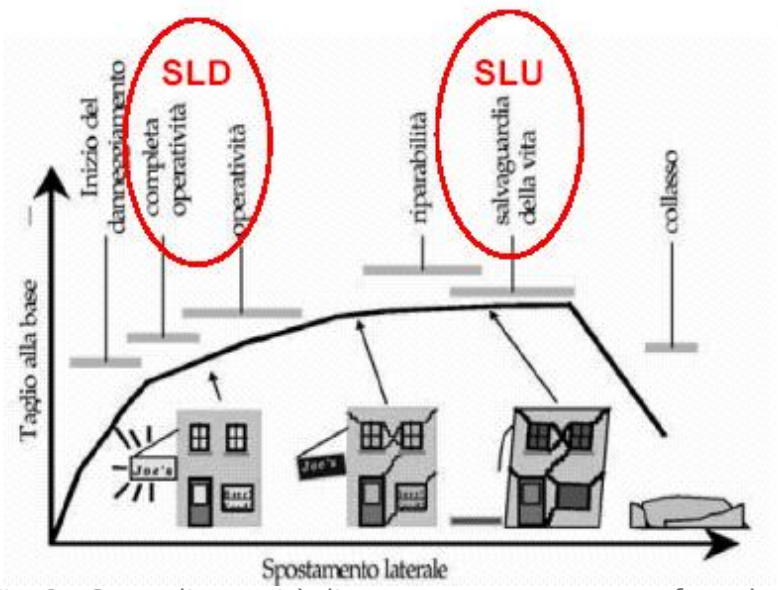

Fig. 2 - Curva di capacità di una struttura soggetta a forze laterali e livelli prestazionali corrispondenti (fonte Dolce).

Per le costruzioni antecedenti le NTC 2008, il livello di danno atteso può anche essere maggiore di quanto sopra esposto, dato che i moderni metodi di progettazione e criteri antisismici non erano ancora stati sviluppati.
Critiche risultano le costruzioni progettate prima del 1974, anno in cui è stata pubblicata la Legge 02/02/1974, n. 64 (ancora in vigore), che rappresenta in sostanza la legge quadro della normativa sismica italiana. **Problematiche sono anche le costruzioni progettate in epoche antecedenti il DM 16/01/1996** per le quali le metodologie di progetto e le conoscenze in merito alla pericolosità sismica erano ancora limitate, lacune queste solo parzialmente superate con il DM 16/01/1996 stesso.

Ricognizioni POROTON®

Il Consorzio Poroton® Italia, fin dalla sua fondazione nel 1972, concentra molti sforzi nel campo della sicurezza alle azioni sismiche attraverso progetti di ricerca svolti in collaborazione con Enti di ricerca ed Istituti universitari Italiani, che hanno portato allo sviluppo degli attuali sistemi di muratura moderna Poroton® corredati da metodi progettuali consolidati presenti in normativa.

L'attività di ricognizione post-terremoto è per Poroton® molto importante, poiché permette di verificare sul campo l'efficacia dei sistemi proposti, di fronte a terremoti reali che scuotono edifici abitati. Questa è la prova più difficile, più importante e definitiva, più delle tante, pur significative, prove di laboratorio svolte negli ultimi 40 anni e tutt'ora in svolgimento per migliorare ulteriormente le prestazioni.

Le ricognizioni Poroton® di seguito discusse sono localizzate a Norcia e sono estremamente interessanti poiché **sono state visionate due volte: in seguito ai terremoti del 24 agosto e dopo i terremoti del 26-30 ottobre**. E' stato perciò possibile verificare la risposta delle costruzioni separatamente per le due diverse fasi della sequenza sismica che ha colpito queste zone, rilevando anche l'eventuale effetto di danno cumulato.

La Fig. 3 fornisce la localizzazione delle ricognizioni svolte (pallini numerati), relativamente agli epicentri dei cinque terremoti di grado superiore al 5 individuati da INGV attraverso i dati dei sismometri della rete sismica nazionale (stelle). Gli edifici visitati sono quattro edifici residenziali unifamiliari o bifamiliari, realizzati tra il 2010 e il 2016, e un edificio ad uso industriale in fase di ultimazione (ricognizione 5).

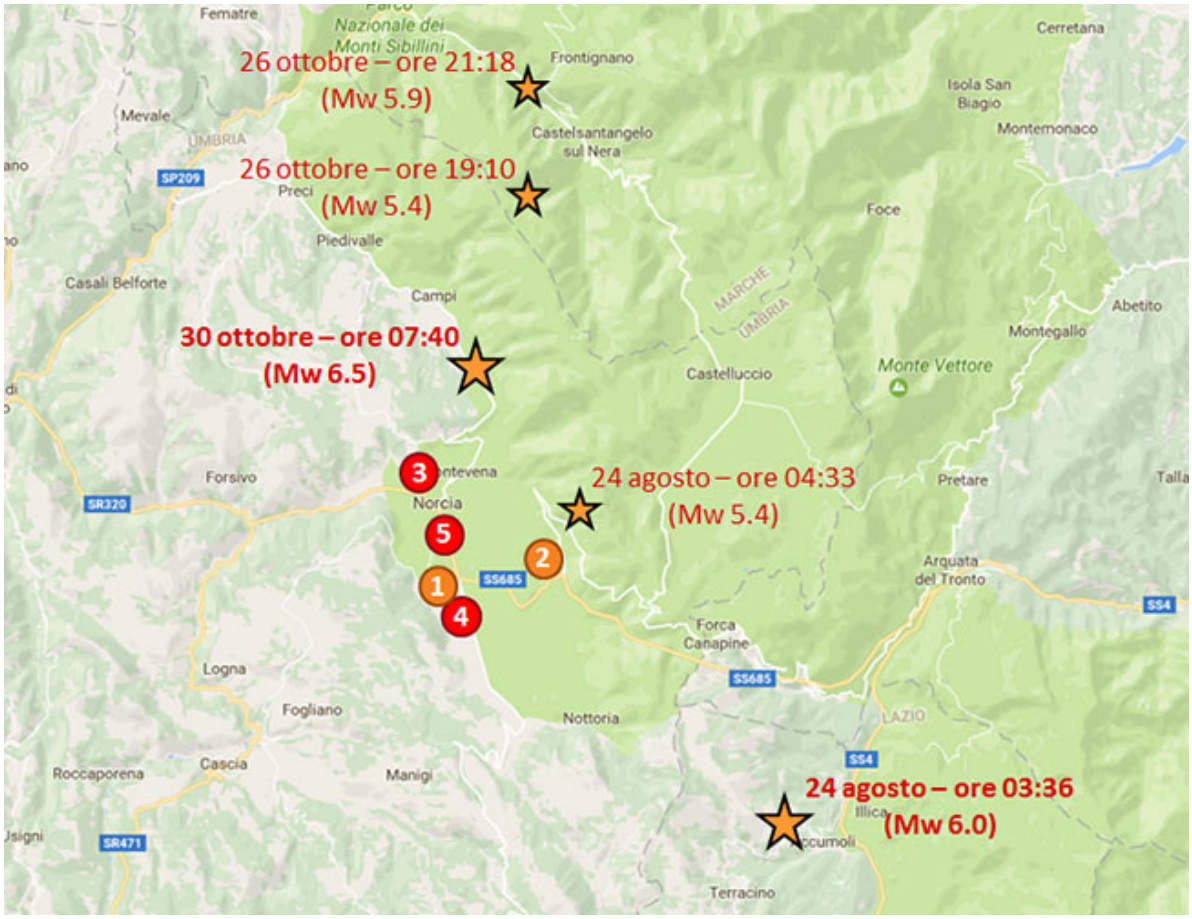

Fig. 3 - Localizzazione delle ricognizioni (in arancione le costruzioni in muratura portante, in rosso le costruzioni a telaio in c.a. con muratura di tamponatura) e degli epicentri delle cinque scosse sismiche principali, su mappa Google Maps.

Le costruzioni visionate sono molto vicine a tutti gli epicentri e sono state duramente colpite dalle scosse sismiche liberate, 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. 4 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.

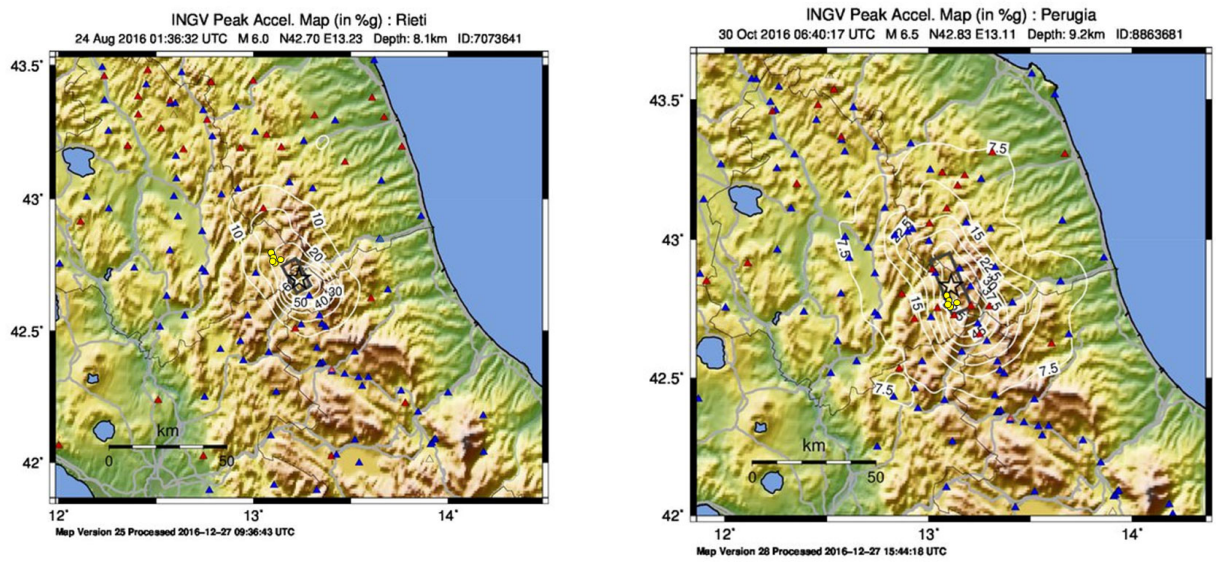

Fig. 4 – Localizzazione delle ricognizioni (pallini gialli), sulle mappe di scuotimento elaborate da INGV dei due terremoti principali: 24 agosto M 6.0 (sx) e 30 ottobre M 6.5 (dx).

Una sintesi delle informazioni fondamentali per analizzare la risposta sismica delle costruzioni visionate è riportata in Tabella 2. Per ogni ricognizione 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. 4), 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
1		Via della Spiga Norcia (PG) 42.77, 13.10	0.12	0.30	0.30	**0.46**	13.2	**7.3**
2		Loc. Grotti Norcia (PG) 42.77, 13.14	0.12	0.30	0.36	**0.525**	11.2	**5.6**
3		Viale Montedoro Norcia (PG) 42.80, 13.09	0.12	0.29	0.28	**0.45**	16.1	**4.0**
4		Loc. Misciano Norcia (PG) 42.76, 13.10	0.12	0.30	0.32	**0.48**	12.2	**8.0**
5		Via della Stazione Norcia (PG) 42.78, 13.10	0.12	0.30	0.30	**0.47**	14.0	**6.6**

In Tabella 2 è importante osservare che **l'accelerazione indotta dai due terremoti principali (PGA) risulta essere in tutti i casi corrispondente o superiore a quella prevista per la progettazione (a_g·S) allo SLV**, effetto quest'ultimo legato anche all'estrema vicinanza delle costruzioni alla faglia attiva come testimonia la distanza epicentrale in particolare rispetto il terremoto del 30 ottobre M 6.5. E' doveroso ricordare l'evoluzione della sequenza sismica, che ha sollecitato le costruzioni allo studio inizialmente con il potente terremoto del 24 agosto M 6.0 e successivamente con migliaia di ulteriori scosse di varie intensità, che sono culminate con il catastrofico terremoto del 30 ottobre M 6.5, il quale ha indotto impressionanti accelerazioni di picco al terreno in corrispondenza delle costruzioni visionate: PGA comprese tra 0.45 g e 0.525 g (Tabella 2).

Danneggiamento rilevato nel post-terremoto 24 agosto M 6.0

Già dopo la prima scossa (24 agosto M 6.0), lo scenario di danno che ci si poteva attendere, considerato quanto precedentemente discusso, sarebbe stato devastante. In pratica 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, pur salvando la vita degli occupanti. **Invece, lo scenario rilevato sul territorio è stato totalmente diverso ed estremamente positivo: le costruzioni visionate non hanno presentato danni**, gli edifici sono rimasti infatti pienamente operativi; solo negli edifici 2 e 5 sono stati rilevati leggerissimi danneggiamenti.

Nel seguito si approfondisce il sopralluogo svolto proprio negli edifici 2 e 5 poiché risultano molto rappresentativi: l'edificio 2 è l'edificio che ha subito le maggiori accelerazioni sismiche e l'edificio 5 è il solo ad uso industriale tra le ricognizioni svolte.
L'**edificio 2** è una villa unifamiliare situata in loc. Grotti a Norcia, costruita nel 2015. L'edificio **era abitato quando il terremoto lo ha investito con un'accelerazione di picco al terreno stimata PGA = 0.36 g**, superiore all'accelerazione di progetto allo SLV, $a_g \cdot S$ = 0.30 g (con ipotesi di suolo B). La costruzione in **muratura portante realizzata con blocchi lisci P800 sp. 45 cm** di due piani, caratterizzata anche da una certa irregolarità in pianta ed in altezza, ha riportato come unico danno la rottura della parte alta di un comignolo (Fig. 5 sx) e presentava leggerissime fessurazioni estetiche sul lato destro del camino del soggiorno a doppia altezza, in corrispondenza dell'architrave della porta finestra al piano terra (Fig. 5 dx). **L'abitazione è rimasta completamente agibile**.

E' inoltre interessante confrontare la risposta di questo edificio con un'abitazione ad esso prospiciente realizzata in epoche passate con murature in pietra che è risultata purtroppo parzialmente crollata ed inagibile, come mostra la Fig. 6.

Fig. 5 – Edificio 2 (Post-terremoto 24 agosto M 6.0): vista esterna del fronte principale (sx) e dettaglio del caminetto nella zona giorno a doppia altezza (dx).

Fig. 6 – Abitazione parzialmente crollata nelle vicinanze dell'edificio 2 che si scorge in primo piano (Post-terremoto 24 agosto M 6.0).

L'**edificio 5** è il solo edificio ad uso industriale visitato durante le ricognizioni (Fig. 7). E' stato costruito nel 2015 e nei giorni in cui è avvenuto il terremoto erano in corso i lavori di finitura, si trova in Viale della Stazione a Norcia ed **ha subito un'accelerazione di picco al terreno stimata PGA = 0.30 g**, analoga all'accelerazione di progetto allo SLV, $a_g \cdot S$ = 0.30 g (con ipotesi di suolo B). La struttura è costituita da un telaio in c.a. gettato in opera e **le tamponature, che raggiungono altezze di 5.4 m, sono realizzate con blocchi P700 ad incastro sp. 30 cm in aderenza con il telaio strutturale**. La struttura non ha riportato alcun danno e le tamponature mostravano qualche lievissima fessurazione all'interfaccia col telaio al piano primo, mentre al piano terra mostravano come unico danneggiamento un minimo scartellamento dell'ultimo corso di blocchi della tamponatura a lato dell'ingresso, in corrispondenza alla trave superiore (Fig. 7 dx). **I lavori di finitura sono potuti continuare indisturbati**.

Fig. 7 – Edificio 5 (Post-terremoto 24 agosto M 6.0): vista esterna del fronte principale (sx) e vista interna dell'unica tamponatura che ha riportato lievi danneggiamenti in corrispondenza con la trave superiore (dx).

Danneggiamento rilevato nel post-terremoto 30 ottobre M 6.5

Le costruzioni già verificate in seguito al terremoto del 24 agosto M 6.0, sono state visionate per la seconda volta in seguito al terremoto del 30 ottobre M 6.5, di cui si è già ampiamente parlato. Le accelerazioni al terreno indotte da quest'ultimo terremoto per le costruzioni allo studio sono state impressionanti (PGA comprese tra 0.45 ÷ 0.525 g, Tabella 2).

Lo scenario di danno che ci si poteva attendere, in seguito alle migliaia di terremoti che hanno colpito queste costruzioni ed in particolare in seguito a quest'ultimo terremoto, sarebbe stato catastrofico. Le costruzioni allo studio, per effetto dell'accumulo di danneggiamento ed a causa delle impressionanti accelerazioni sviluppate dal terremoto del 30 ottobre M 6.5 che hanno superato anche quelle prevedibili per lo Stato Limite di Collasso, avrebbero potuto riportare danni estremamente gravi a tutti i componenti anche quelli strutturali, arrivando pure al collasso della costruzione. **Invece, lo scenario rilevato sul territorio è stato anche questa volta completamente diverso ed estremamente positivo: le costruzioni visionate non hanno presentato danni**, tanto che gli edifici sono rimasti operativi; solo negli edifici 2 e 5 è stato rilevato un leggero aggravio dei piccoli danneggiamenti dovuti al terremoto del 24 agosto M 6.0. In analogia con la trattazione precedente si approfondisce il sopralluogo svolto sugli edifici 2 e 5.

L'edificio 2 era abitato anche quando è stato investito dal terremoto del 30 ottobre M 6.5 con un'accelerazione di picco al terreno stimata PGA = 0.525 g, ampiamente superiore all'accelerazione di progetto allo SLV con ipotesi di suolo B. La costruzione in **muratura portante realizzata con blocchi lisci P800** (Fig. 8 sx), ha riportato come unico danno il lieve aggravio delle leggerissime fessurazioni sul lato del camino del soggiorno a doppia altezza, in corrispondenza dell'architrave della porta finestra al piano terra (Fig. 8 dx). **L'abitazione è rimasta completamente agibile**.

Ancora è importante confrontare la risposta di questo edificio con l'abitazione ad esso prospiciente che risultava parzialmente crollata e che è stata completamente abbattuta dal terremoto del 30 ottobre 2016, come mostra la Fig. 9.

Fig. 8 – Edificio 2 (Post-terremoto 30 ottobre M 6.5): vista esterna del fronte principale (sx) e dettaglio del caminetto nella zona giorno a doppia altezza (dx).

Fig. 9 – Abitazione crollata nelle vicinanze dell'edificio 2 che si scorge in primo piano (Post-terremoto 30 ottobre M 6.5).

Nell'edificio 5 stavano proseguendo i lavori di finitura che sono stati nuovamente interrotti, questa volta dal terremoto del 30 ottobre di magnitudo 6.5, che ha sviluppato un'accelerazione di picco al terreno stimata PGA = 0.47 g, ampiamente superiore all'accelerazione di progetto allo SLV con ipotesi di suolo B. Anche questa volta la struttura non ha subito danni e le **tamponature, di altezza 5.4 m realizzate con blocchi P700 ad incastro sp. 30 cm in aderenza con il telaio strutturale**, hanno subito dei leggeri aggravi rispetto la situazione rilevata in seguito al terremoto del 24 agosto M 6.0.

In particolare, si sono ripresentate le fessurazioni all'interfaccia col telaio al piano primo che nel frattempo erano state chiuse, e al piano terra si sono presentati alcuni nuovi limitati scartellamenti che hanno interessato per lo più la tamponatura a lato dell'ingresso (Fig. 10 dx), la sola ad avere riportato danni anche in seguito al sisma di agosto. **I lavori di finitura sono potuti perciò continuare facendo attenzione a sigillare preliminarmente le lievi fessurazioni create dall'ultimo violento terremoto**.

Fig. 10 – Edificio 5 (Post-terremoto 30 ottobre M6.5): vista esterna del fronte principale (sx) e vista interna della tamponatura a lato dell'ingresso (dx).

Conclusioni

Le zone appenniniche dell'Italia centrale sono state duramente colpite dalla **sequenza sismica iniziata con il terremoto del 24 agosto M 6.0, che ha raggiunto il suo apice con il catastrofico terremoto del 30 ottobre M 6.5**, talmente violento da modificare la morfologia del territorio.
Le ricognizioni POROTON® hanno permesso di verificare sul campo l'efficacia dei sistemi proposti, analizzando il comportamento di edifici abitati investiti dalle impressionanti accelerazioni sismiche sviluppate dai due violenti terremoti sopra citati, oltre che dalle migliaia di scosse degli ultimi mesi.

L'ottima risposta sismica degli edifici visionati, che hanno superato la sequenza sismica senza danni, permette di affermare (come già è stato rilevato in seguito al terremoto de L'Aquila e al terremoto dell'Emilia) **che i moderni sistemi di muratura in laterizio**, quando progettati nel rispetto delle normative tecniche vigenti e realizzati correttamente secondo le regole del buon costruire, conducono ad eccellenti livelli di sicurezza in zona sismica che **permettono di proteggere la vita degli occupanti garantendo inoltre il mantenimento del valore dell'investimento economico sostenuto**.

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 Norcia per il supporto e la collaborazione.

Autori:

Flavio Mosele