

ANALISI STATISTICA DEI DANNI DEGLI EDIFICI CAUSATI DAI TERREMOTI DEL MOLISE, 31 OTTOBRE 2002, E DE L'AQUILA, 6 APRILE 2009

A. Albano¹, R. Ferlito²

¹ Università degli Studi "Federico II", Napoli

² DPC, Dipartimento Protezione Civile Nazionale, Roma

Introduzione. Negli ultimi decenni l'Italia è stata colpita da terremoti di elevata intensità che hanno causato migliaia di morti e distruzione di intere aree abitative. Nel presente lavoro si presentano gli effetti prodotti sugli edifici dai terremoti di Larino e de L'Aquila, a partire da una sintetica descrizione dei due eventi dal punto di vista geologico e sismologico e da una caratterizzazione tipologico strutturale degli edifici. Dal punto di vista statistico, si mostra, in particolare, la dipendenza della distribuzione del danno in funzione del periodo storico di realizzazione delle opere, e dunque delle tecniche costruttive, e della realtà geologica del terreno di sedime delle costruzioni.

Terremoto del Molise. Tra la fine di ottobre e gli inizi di novembre 2002 il Molise fu sede di una importante sequenza sismica, risentita in un'estesa area dell'Italia meridionale, causando gravi danni agli edifici e perdite di vite umane. Il mainshock si ebbe alle 11h 32m del 31 ottobre 2002, con una magnitudo M_w pari a 5.74 (INGV). L'evento provocò il crollo di un'ala della scuola elementare "Francesco Jovine" a San Giuliano di Puglia (CB), dove persero la vita 27 bambini ed una loro insegnante. Gli edifici confinanti con la scuola non subirono crolli, pur se gravemente danneggiati (Giaccio *et al.*, 2004; Dolce *et al.*, 2004). Il primo novembre 2002, alle 16h 07m, seguì una seconda scossa di magnitudo M_w pari a 5.72 (INGV) che procurò ulteriori danni (Galli e Molin, 2004). Entrambi gli eventi avvennero lungo faglie ad orientazione E-W e ad una profondità ipocentrale di circa 20 Km (INGV).

La massima intensità macrosismica (VIII-IX grado MCS; Galli *et al.*, 2003), si ebbe a San Giuliano di Puglia, mentre negli abitati limitrofi di Bonefro e Colletorto si ebbero intensità di VII e VI-VII MCS, rispettivamente.

L'abitato di San Giuliano di Puglia fu caratterizzato da una marcata risposta sismica diversa fra aree contigue, conseguentemente alle differenti litologie affioranti. Nelle aree che poggiano su depositi colluviali fini e sulle marne argillose del Flysch di Toppo Capuana, che presentano estesi movimenti franosi complessi (Giaccio *et al.*, 2004), gli edifici a tipologia edilizia in muratura di scarsa qualità furono completamente distrutti. Si trattava di edifici con muratura a sacco con due paramenti di pietre irregolari, di scarsa qualità sia per i materiali impiegati sia per le modalità costruttive, trattandosi per lo più di murature in cui i due paramenti risultavano non collegati e sottoposti a numerosi interventi di ristrutturazione, ampliamenti e sopraelevazioni.

Molto spesso le già scarse capacità delle pareti murarie erano state ulteriormente compromesse dalla realizzazione di vuoti per l'allocatione di impianti tecnologici. Altre aree, costruite sui depositi calcareo-marnosi del Flysch di Faeto, caratterizzate dall'alternanza di edifici in muratura e in c.a. furono solo lievemente danneggiate. Anomalie nella distribuzione del danno furono riscontrate anche in altri centri prossimi alle aree epicentrali, da attribuire sia alle caratteristiche strutturali degli edifici che alle caratteristiche litologiche dei terreni di fondazione. In altri centri abitati, si ebbero effetti di sito generalmente moderati e condizionati da fenomeni franosi preesistenti (Dolce *et al.*, 2004; Giaccio *et al.*, 2004). In sintesi, la relazione tra danni e geologia è particolarmente evidente nell'area di San Giuliano di Puglia, in corrispondenza dei depositi a marne argillose o colluviali del Flysch di Toppo Capuana, mentre un livello di danneggiamento moderato o lieve si ebbe per gli edifici fondati sui depositi calcareo-marnosi del Flysch di Faeto.

Negli altri centri colpiti dal sisma, Castellino del Biferno, Morrone del Sannio, Pietramontecorvino e Ripabottoni, si ebbero effetti di sito dipendenti da fenomeni gravitativi e di dissesto franoso preesistenti, riattivati dall'attività sismica (Galli *et al.*, 2003; Giaccio *et al.*, 2004; Dolce *et al.*, 2004).

Terremoto de L'Aquila. Alle 3h32m del 6 aprile 2009, la città de L'Aquila e decine di paesi lungo la Valle del Fiume Aterno furono interessati da un disastroso terremoto di magnitudo Mw pari a 6.3 (INGV) (Mele *et al.*, 2009) che produsse gravissimi danni agli edifici con numerosi crolli, causando la morte di 308 persone, la maggior parte delle quali nel centro storico de L'Aquila. L'area mesosismica, interessata da un'intensità maggiore di VII-VIII gradi MCS (Galli *et al.*, 2009), con ipocentro localizzato ad una profondità di circa 9 km (INGV), coinvolse 16 località con intensità maggiore dell'VIII grado MCS, sei delle quali con intensità del IX grado. L'area è concentrata sul sistema di faglie superficiali Paganica-San Demetrio (Galli *et al.*, 2009; Messina *et al.*, 2009; Falcucci *et al.*, 2009) e lunga circa 20 km con direzione NW-SE. I paesi più danneggiati, con intensità tra il IX ed il X grado MCS, furono quelli costruiti su paleo frane, come L'Aquila, su sedimenti lacustri formati da limi e sabbie sovrastati da conglomerati, come Castelnuovo, o su forme carsiche sepolte, come l'abitato di Onna.

Anche Castelvechio Subéquo e Goriano Sicoli subirono gravi danni corrispondenti ad una intensità del VII grado MCS, nonostante fossero ubicati a circa 40 km dall'epicentro. Un lieve danneggiamento diffuso si ebbe nelle aree a nord della catena del Gran Sasso e ad est di quella dei monti Morrone-Cappucciata-San Vito, nonostante siano tutte distribuite nel footwall della faglia, ma ubicate sulle successioni silicoclastiche e quindi soggette a fenomeni di amplificazione locale per la presenza di terreni con scadenti proprietà meccaniche.

Effetti di deamplificazione del moto del suolo si ebbero a Monticchio e nella frazione di Cerro Fossa, località prossime (1-2 km) ad Onna, la prima, e a Fossa, la seconda. L'ultima fase della crisi sismica interessò anche la zona di Amatrice - Montoreale, nell'area della faglia dei Monti della Laga (Galadini e Galli, 2000). Nell'area aquilana erano presenti tipologie e condizioni edilizie molto diverse; insieme a edilizia storica in pietra, solitamente non squadrata, ciottoli alluvionali di pezzatura molto irregolare con sporadiche presenze di muratura a sacco, coesistevano edifici in pietra squadrata, mattoni o blocchetti di cemento, con solai e coperture in latero-cemento, e ville o condomini molto recenti in cemento armato, oltre a edilizia monumentale più o meno importante. Inoltre si trovavano edifici in completo stato di abbandono, parzialmente diroccati già prima del terremoto, insieme ad edifici in muratura utilizzati abitualmente e in normali condizioni di manutenzione. In qualche caso negli edifici in muratura erano visibili interventi relativamente recenti, con la sovrapposizione di una cordolatura e una copertura in cemento armato.

Gli edifici in c.a. riportarono, percentualmente, pochi danni strutturali, la maggior parte dei danni più gravi e dei crolli furono a carico degli edifici in muratura e misti, soprattutto per quanto riguarda le parti più elevate dei manufatti (tetti, cornicioni, spigoli) e in molti altri casi si ebbe il crollo totale dei solai all'interno di murature all'apparenza intatte (Galli *et al.* 2009).

Analisi degli effetti del sisma sugli edifici. Di seguito vengono messi a confronto gli effetti prodotti sugli edifici in muratura dai terremoti di Larino e de L'Aquila, allo scopo di testare la correlazione tra i danni e i requisiti delle costruzioni murarie (Ferlito *et al.*, 2013).

Per quanto riguarda la caratterizzazione degli edifici, si è fatto ricorso ai dati rilevati nell'immediato post-sisma mediante la scheda AeDES (Scheda di I Livello di Rilevamento Danno, Pronto Intervento e Agibilità per Edifici Ordinari nell'Emergenza Post-Sismica). Tra le differenti grandezze in essa riportate, sono state prese in considerazione soltanto la tipologia costruttiva e l'epoca di costruzione, che sono risultate essere le caratteristiche più influenti sul comportamento delle strutture (Drago *et al.*, 2015).

Nella Fig. 1 è rappresentata, per ognuno dei due territori, la distribuzione degli edifici nelle 30 tipologie strutturali previste dalla scheda AeDES, mentre nella Tab. 1 gli edifici sono raggruppati in tre tipologie strutturali a qualità crescente, individuate nella scheda dalle tre diverse gradazioni di grigio. Il confronto dei risultati ha evidenziato l'omogeneità delle due aree territoriali in cui prevalgono le strutture di scarsa qualità strutturale, con muratura a tessitura irregolare e di cattiva qualità (pietrame non squadrato, ciottoli,...), associata, nella maggior parte dei casi, a struttura orizzontale non rigida, e le strutture con muratura regolare, senza catene o cordoli, associata a struttura orizzontale non rigida.

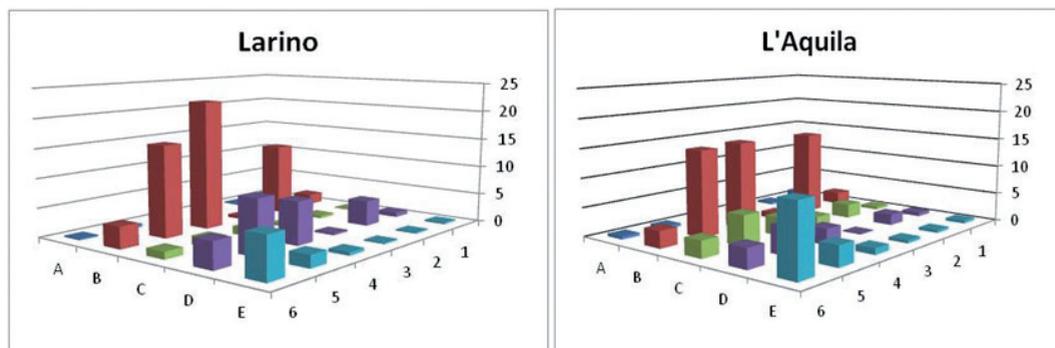


Fig. 1 – Edifici per tipologia strutturale.

Anche la Tab. 2, in cui gli edifici sono classificati per epoca di costruzione, evidenzia la somiglianza tra i due territori in cui c'è una netta prevalenza degli edifici più antichi; addirittura circa il settanta per cento delle costruzioni risale ad epoca precedente al 1945.

Dal rilievo di agibilità effettuato a seguito dei due eventi sono risultati danni ingenti e numerosi crolli, coerentemente con le caratteristiche di cattiva qualità del patrimonio edilizio, che come detto, era caratterizzato da edifici di scadente tipologia costruttiva e realizzati in epoca remota. Nella Tab. 3 e nella Fig. 2, per entrambi i territori, sono riportate le percentuali dei diversi esiti risultanti dal rilievo, da cui si evince che circa il 40% di edifici furono interessati dalle varie tipologie di inagibilità.

Tab. 1 – Edifici per classi di tipologie strutturali.

Tipo di muratura	Larino		L'Aquila	
	Edifici n.	Edifici %	Edifici n.	Edifici %
I	17505	71	49965	64
II	3808	16	14202	18
III	3297	13	14440	18

Tab. 2 – Edifici per epoca di costruzione.

Età	Larino		L'Aquila	
	Edifici n.	Edifici %	Edifici n.	Edifici %
<1919	2975	50	34273	58
1919-1945	806	16	7931	13
1946-1961	264	7	4903	8
1962-1971	227	7	3896	7
1972-1981	162	9	3976	7
1982-1991	66	7	2444	4
1992-2001	33	3	1179	2
>2002	2	0	890	1

Dai valori delle percentuali di edifici inagibili per le diverse tipologie costruttive (Fig. 3) e per le differenti epoche di costruzione (Tab. 4) si trae la stretta correlazione tra gli effetti del terremoto e le caratteristiche degli edifici. Infatti i maggiori danni si sono concentrati nelle tipologie notoriamente più scadenti e realizzati in epoca remota, senza alcun accorgimento antisismico, né sottoposti nel tempo ad alcun intervento di miglioramento sismico, pertanto maggiormente vulnerabili.

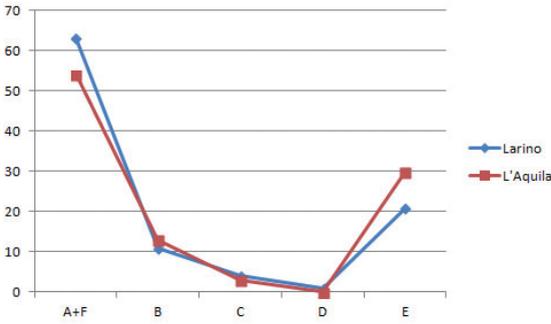


Fig. 2 – Edifici per esito (%).

Tab. 3 – Edifici per esito (%).

Esito	Larino	L'Aquila
A+f	63	54
B	11	13
C	4	3
D	1	0
E	21	30

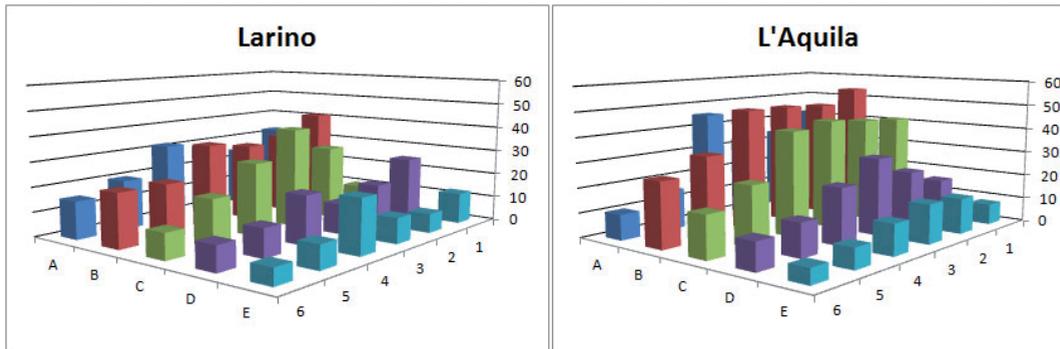


Fig. 3 – Edifici inagibili per tipologia costruttiva (%).

Tab. 4 – Edifici totalmente inagibili (esito E) per epoca di costruzione (%).

Età	Larino	L'Aquila
<1919	27	39
1919-1945	23	28
1946-1961	17	19
1962-1971	14	12
1972-1981	8	7
1982-1991	5	8
1992-2001	5	7
>2002	6	11

Conclusioni. Dalle analisi svolte è risultato che, per entrambi i terremoti di Larino e de L'Aquila, gli esiti del rilievo di agibilità sono fortemente correlati alle caratteristiche degli edifici, in particolare alla tipologia strutturale e all'epoca di costruzione, oltre che alle proprietà geologiche dei siti di fondazione. È emerso infatti che, in entrambi i casi, fu proprio nelle strutture antecedenti al 1919, di scarsa qualità strutturale e costruite su depositi incoerenti e versanti franosi che si concentrarono i maggiori danni.

Purtroppo nei centri colpiti prevalevano proprio le strutture scadenti e di epoca remota e ciò ha comportato la grande quantità di danni con un gran numero di inagibilità, concentrate soprattutto nei siti oggetto di amplificazione locale.

Bibliografia

Dolce M., et al.; 2004: *Esame delle caratteristiche tipologiche e del danneggiamento del patrimonio edilizio di San Giuliano di Puglia*. XI Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", Genova 25-29 gennaio 2004.

- Dipartimento della Protezione Civile; 2009: *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento di danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES)*.
- Drago C., Ferlito R. Zucconi M.; 2015: *Equivalent Damage Validation by Variable Cluster Analysis*. ICNAAM 2015, 13th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics.
- Faluccci E. *et al.*; 2009: *Surface faulting due to the L'Aquila earthquake of April 6th 2009 - Seismological Research Letters*, in press.
- Ferlito R., Guarascio M., Zucconi M.; 2013: *Assessment of a vulnerability model against post-earthquake damage data: The case study of the historic city centre of L'Aquila in Italy*. vol. 132, 2013, p. 393–404. doi:10.2495/ERES130321.
- Galadini F., Galli P.; 2000: *Active tectonics in the central Apennines (Italy) - input data for seismic hazard assessment*. Nat. Haz. 22, 225–270.
- Galli P., Molin D., Giuliani R., Bosi V., Mattone M., Gruppo QUEST; 2003: *Il terremoto del31/10/2002: sismicità storica di San Giuliano, rilievo macrosismico e deformazione superficiale cosismica*. Ingegneria Sismica, 33, 8-18.
- Galli P., Camassi R. (eds.); 2009: *Rapporto sugli effetti del terremoto aquilano del 6 aprile 2009, Rapporto congiunto DPC-INGV*. 12 pp. http://portale.ingv.it/real-time-monitoring/quest/macrodef_sito.pdf
- Galli P. *et al.*; 2009: *Il Terremoto Aquilano del 6 Aprile 2009: Rilievo Macrosismico, Effetti di superficie ed implicazioni sismotettoniche*. Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences, 22(2), 235-246
- Giaccio B. *et al.*; 2004: *Caratteristiche geologiche-geomorfologiche ed effetti di sito a San Giuliano di Puglia (CB) e in altri abitati colpiti dalla sequenza sismica dell'ottobre-novembre 2002*. Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences, 17(1), 83-99.
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; 2002: *L'epicentro della scossa del 31 ottobre 2002 ore 11:32 e del 1 novembre 2002 ore 16:08*. <http://www.ingv.it/~roma/reti/rms/terremoti/italia/molise/molise.html>.
- Mele F., Amato A.; 2009: *L'inizio e la fine della sequenza sismica dell'Aquila*. <https://ingvterremoti.wordpress.com/2014/11/09>.