

Editoriale

Il moto al suolo nel terremoto di Viagrande (CT)

Iunio Iervolino ■

Il ventisei dicembre scorso, alle ore due e diciannove (UTC), un terremoto la cui magnitudo locale è stata stimata in 4.8 (si veda <http://esm.mi.ingv.it/>) è occorso nella zona dell'Etna, nella Sicilia orientale. Tale zona (vulcanica) è molto attiva sismicamente, come si evince dalla Figura 1 (sinistra) che mostra i circa duemilacinquecento terremoti, di magnitudo (M) maggiore o uguale a due, registrati durante il duemiladiciotto in Italia e zone limitrofe dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

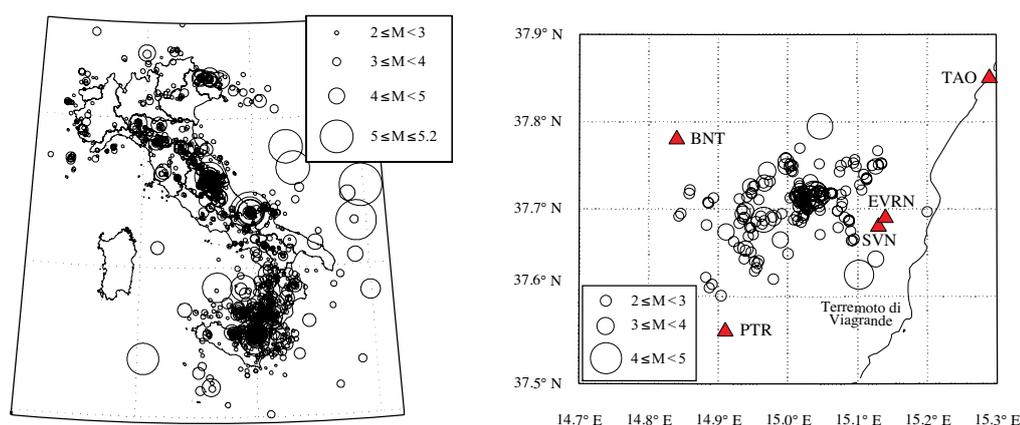


Figura 1
Sinistra: terremoti con $M \geq 2$ registrati in Italia e zone limitrofe durante il duemiladiciotto. Destra: terremoti con $M \geq 2$ entro venti chilometri dal punto di coordinate 37,62 (lat.) e 15,04 (lon.) nel periodo 19.12.2018 - 08.01.2019 (dati da: <http://cnt.rm.ingv.it/>). I triangoli rappresentano le stazioni di monitoraggio sismico considerate per le analisi seguenti.

Il terremoto in questione, il cui epicentro si trova presso Viagrande (CT) è, finora, quello di magnitudo maggiore di uno *sciame*¹ che sta interessando la zona. Infatti, la Figura 1 (destra), mostra i terremoti, di magnitudo maggiore o uguale a due, registrati tra il diciannove dicembre duemiladiciotto e l'otto gennaio duemiladiciannove, nell'area.² La Figura 2, riporta la magnitudo osservate nello sciame in funzione del tempo.

L'ipocentro ha una profondità relativamente piccola (1.2 km), il che non è inatteso in area vulcanica (si veda ad esempio Iervolino et al., 2017), mentre il meccanismo di faglia è stato valutato come *trascorrente*.

Per analizzare preliminarmente le caratteristiche dello scuotimento, si possono considerare le registrazioni delle stazioni di monitoraggio sismico entro trenta chilometri dall'epicentro e che si possono ottenere dallo *Engineering Strong Motion Database* (<http://esm.mi.ingv.it/>). Tali stazioni sono identificate nella Figura 1 (destra), mentre nella Tabella 1 se ne riportano le distanze epicentrali (R) e alcune misure di intensità del moto al suolo. Le due stazioni più vicine all'epicentro, come atteso, presentano le intensità di picco (*peak ground acceleration*, PGA, *peak ground velocity*, PGV, e *peak ground displacement*, PGD) più elevate, mentre le intensità integrali (Durata Significativa, D_{5-95} , e Intensità di Arias, I_A) sono le più basse.

* Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II.

¹ In effetti, questo termine si usa di solito per indicare un insieme di terremoti di magnitudo comparabile concentrati nello spazio e nel tempo.

² Più precisamente, entro venti chilometri dall'epicentro del terremoto di magnitudo locale 4.3 che ha preceduto di due giorni il terremoto di Viagrande.

Figura 2
Terremoti $M \geq 2$ dello sciame sismico nell'area dell'Etna dal 19.12.2018 al 08.01.2019.
Dati da: <http://cnt.rm.ingv.it/>.

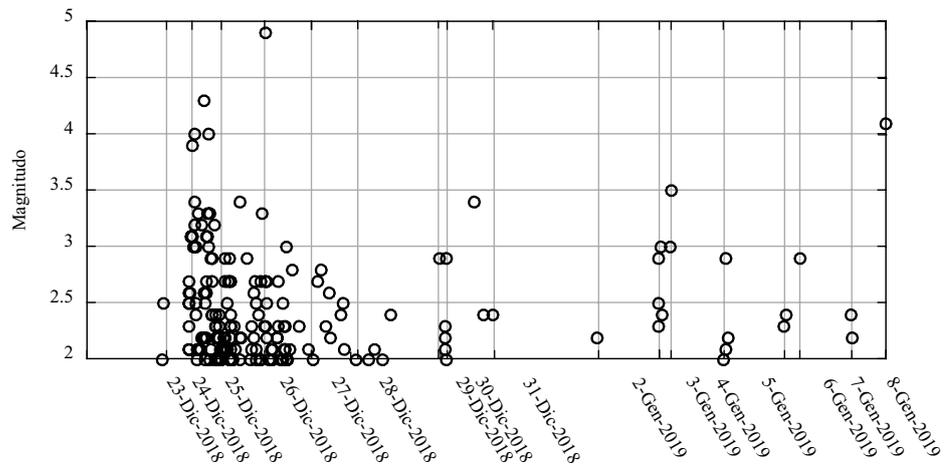


Tabella 1 - Misure di intensità dello scuotimento per le stazioni considerate entro venti chilometri dall'epicentro e su suolo identificato come di tipo A (rigido³) secondo la classificazione dello Eurocodice 8 (CEN, 2004). (Il pedice max indica il massimo tra tutte e tre le componenti della registrazione).

ID	Nome	PGA_{max} [g]	PGV_{max} [cm/s]	PGD_{max} [cm]	R [km]	I_A E-W [cm/s]	I_A N-S [cm/s]	I_A VERT. [cm/s]	D_{5-95} E-W [s]	D_{5-95} N-S [s]	D_{5-95} VERT. [s]
SVN	S. VENERINA	0.558	37.129	5.702	6.89	86.82300	29.19530	9.41860	1.955	3.355	3.595
EVRN	S. VENERINA	0.300	27.837	5.386	7.70	35.35850	21.35160	2.89080	4.245	4.805	5.280
PTR	PATERNÒ	0.0116	4.182	2.311	18.53	0.43760	0.29210	0.32220	32.520	31.265	37.930
BNT	BRONTE	0.00435	1.150	0.624	28.53	0.05150	0.07690	0.02060	34.350	27.860	37.415
TAO	TAORMINA	0.00281	0.381	0.183	30.00	0.00720	0.01090	0.00720	23.730	21.590	24.360

Per valutare più nel dettaglio le azioni sismiche sulle costruzioni, può essere utile analizzare gli spettri di risposta elastici. A tal fine, la Figura 3 (sinistra) riporta le massime (tra le due componenti orizzontali) ordinate spettrali (S_a) di ciascuna delle registrazioni in Tabella 1. La stessa figura riporta lo spettro di progetto per lo stato limite di *salvaguardia della vita* per una struttura ordinaria secondo le correnti norme tecniche per le costruzioni (CS.LL.PP. 2018) per il sito della stazione EVRN. Esso, con buona approssimazione, rappresenta gli *spettri a pericolosità uniforme*, con periodo di ritorno del superamento di quattrocentosettantacinque anni, per tutte le stazioni in questione.

La figura mostra, prima di tutto, che le azioni sismiche registrate più vicino all'epicentro sono comparabili o superano quelle di progetto.⁴ È stato discusso su *Progettazione Sismica* (i.e., Iervolino e Giorgio, 2017) che nelle aree epicentrali può essere probabile che ciò avvenga anche per magnitudo altrimenti considerate non particolarmente elevate. Per il terremoto in questione, ciò può essere valutato analizzando in dettaglio la analisi probabilistica di pericolosità sismica che serve a determinare, per esempio, le ordinate $S_a(T=0\text{ s})$, cioè la PGA, e $S_a(T=0.5\text{ s})$ dello spettro di progetto in Figura 3. A questo proposito, la Figura 4 mostra la probabilità che le ordinate dello spettro di progetto allo SLV per il sito di Viagrande (suolo di tipo A), indicate come sa_{475} , siano superate per vari scenari di magnitudo e distanza.⁵ Si nota come, per un terremoto di magnitudo intorno a cinque e che occorresse entro dieci chilometri (in distanza epicentrale) dal sito, c'è una probabilità di superare lo spettro di progetto relativamente piccola rispetto a quella di terremoti di magnitudo maggiore alla stessa distanza, ma non trascurabile.

³ Per la maggior parte di queste stazioni la classificazione di suolo di tipo rigido è basata su mappe geologiche a larga scala e potrebbe quindi essere inaccurata.

⁴ È anche interessante notare l'ampiezza del superamento, il cosiddetto picco oltre la soglia (i.e., Iervolino et al., 2018), che per alcune ordinate spettrali, relative a periodi di oscillazione vicini a 0.5s, è pari a circa il 130%.

⁵ Tale figura è stata calcolata con il software REASSESS (Chioccarelli et al., 2018) usando il ramo 921 dell'albero logico descritto in Stucchi et al. (2011) e che è alla base del calcolo dello spettro di progetto in questione, per cui è totalmente consistente con esso.

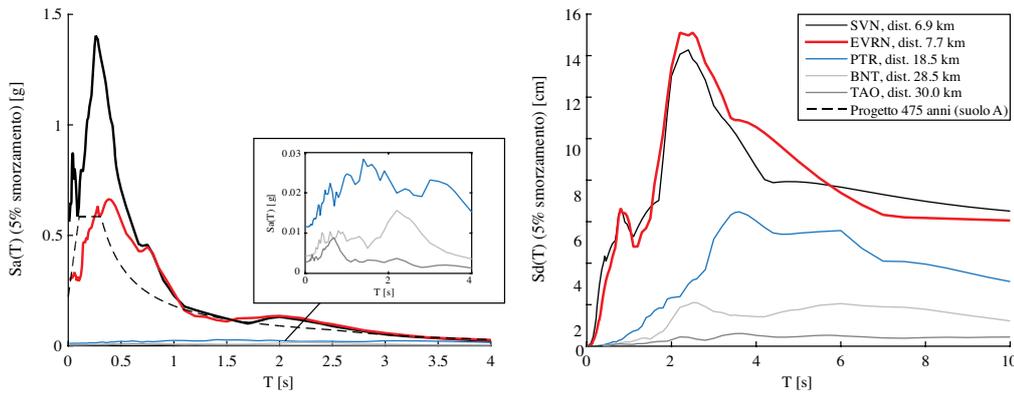


Figura 3
Sinistra: spettri di risposta in accelerazione per le stazioni più prossime al suolo rigido (il riquadro amplifica gli spettri più lontani tra quelli considerati). Destra: spettri di spostamento per le stesse stazioni del pannello di sinistra.

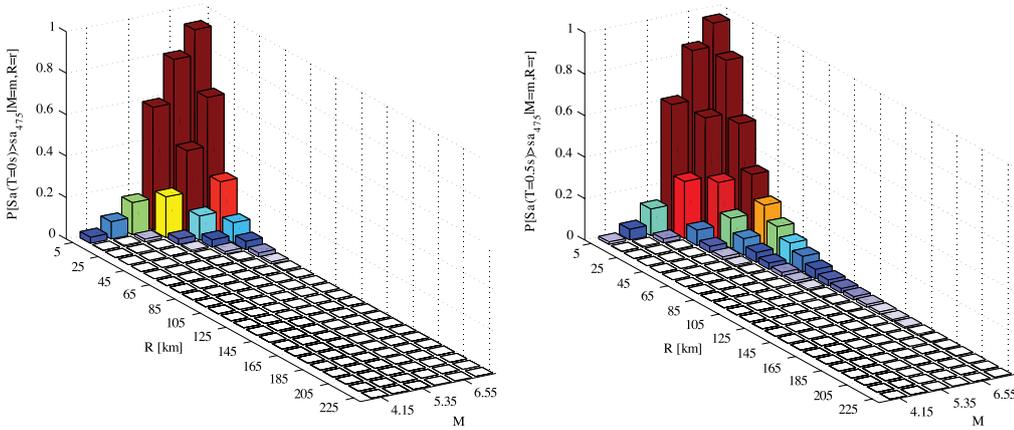


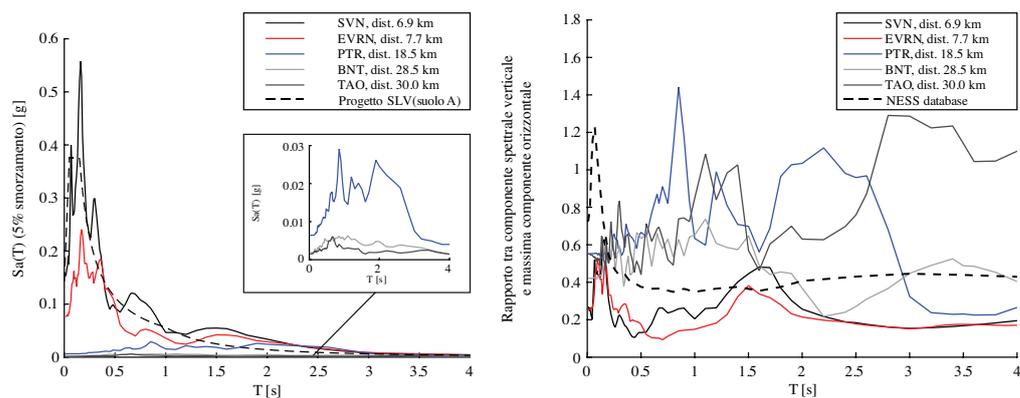
Figura 4
Probabilità di superamento dello spettro di progetto alle ordinate PGA (sinistra) e $Sa(T=0.5\text{ s})$ (destra) per vari scenari di magnitudo e distanza al sito di Viagrande.

La Figura 3 mostra pure che gli spettri delle stazioni più lontane dalla sorgente del terremoto sono caratterizzate da spettri con ampiezze di ordini di grandezza inferiori rispetto a quelle più vicine. Cosa pure già osservata per terremoti superficiali in area vulcanica. La Figura 3 (destra) mostra gli spettri di spostamento, da cui si evincono spostamenti spettrali (S_d) massimi di circa quindici centimetri, a periodi spettrali intorno a 2 s, per le stazioni più vicine all'epicentro.

Infine, la Figura 5 (sinistra) mostra gli spettri di risposta delle componenti verticali, mentre la Figura 5 (destra) mostra il rapporto tra le ordinate spettrali verticali e le massime orizzontali. Mentre gli spettri verticali più vicini sono comparabili con lo spettro di progetto verticale associato a quello orizzontale di Figura 3, si nota come i rapporti spettrali tendano ad essere inferiori ad uno, soprattutto per le stazioni più prossime all'epicentro. Per confronto, la Figura 5 (destra) mostra anche la media dei rapporti spettrali di altri terremoti con meccanismo trascorrente registrati entro trenta chilometri dall'epicentro. Tali terremoti fanno parte della banca dati NESS (Pacor et al., 2018) e sono di magnitudo più alte di quella del terremoto di Viagrande; inoltre, le registrazioni sono su varie categorie di suolo e provengono da aree, in generale, non vulcaniche, quindi il confronto richiede cautela. Ciò nonostante, si vede che per le stazioni più vicine all'epicentro il rapporto spettrale è inferiore alla media, sebbene ne riproduca all'incirca l'andamento al variare del periodo di oscillazione.

Riassumendo, l'analisi preliminare dei dati di scuotimento per il terremoto di Viagrande, un terremoto superficiale, mostra azioni sismiche molto significative nella zona epicentrale, dove sono comparabili o superano gli spettri di progetto corrispondenti a periodo di ritorno di quattrocentosettantacinque anni. Tuttavia, le ampiezze (spettrali) del moto al suolo decrescono molto rapidamente con la distanza. Infatti, passando da circa dieci a circa venti chilometri dall'epicentro, gli spettri di risposta si riducono di due ordini di grandezza. Infine, l'azione verticale in area epicentrale è risultata, in generale, sistematicamente inferiore a quella orizzontale, pur essendo anch'essa comparabile con lo spettro di progetto verticale associato a quello orizzontale. Il confronto con gli analoghi rapporti spettrali medi di altri terremoti da faglie trascorrenti registrati entro venti chilometri dall'epicentro, mostra come per le stazioni più vicine all'epicentro il rapporto osservato sia inferiore alla media. Tuttavia, le magnitudo, la geologia locale, e le regioni simogenetiche dei dati di confronto sono sostanzialmente diverse.

Figura 5
Sinistra: spettri di accelerazione verticale per le stazioni più prossime su suolo rigido (il riquadro amplifica gli spettri più lontani tra quelli considerati). Destra: rapporti tra la accelerazione spettrale verticale e la accelerazione spettrale orizzontale (massima tra le due componenti).



Ringraziamenti

Per la collaborazione al reperimento e alla elaborazione dei dati necessari alla redazione di questa breve nota, Iunio Iervolino intende ringraziare la dott.ssa Lucia Luzi (INGV, Milano) e gli ingg. Roberto Baraschino e Pasquale Cito (Università degli Studi di Napoli Federico II).

Bibliografia

- CEN European Committee for Standardization (2004) - Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance-Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. Brussels, Belgium.
- Chioccarelli E, Cito P, Iervolino I, Giorgio M (2018) - REASSESS V2.0: software for single- and multi-site probabilistic seismic hazard analysis. Bull Earthq Eng 1-25. doi: 10.1007/s10518-018-00531-x.
- CS.LL.PP. (2018) - Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni (In Italian). Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana.
- Iervolino I., Baltzopoulos G., Chioccarelli E. (2017) - Preliminary engineering report on ground motion data of the Aug. 21st 2017 Ischia earthquake v3.1. Naples, Italy, available at: <http://www.relus.it/>.
- Iervolino I., Giorgio M. (2017) - È possibile evitare il superamento delle azioni di progetto nell'area epicentrale di terremoti forti? Progett Sismica 8:25-32. doi: 10.7414/PS.8.3.25-32
- Iervolino I., Giorgio M., Cito P. (2018) - The peak over the design threshold in strong earthquakes. Bull Earthq Eng 1-17. doi: 10.1007/s10518-018-0503-9.
- Pacor F, Felicetta C., Lanzano G., Sgobba S., Puglia R., D'Amico M., Russo E., Baltzopoulos G., Iervolino I. (2018) - NESS1: A Worldwide Collection of Strong Motion Data to Investigate Near Source Effects. Seismol Res Lett 89:2299-2313. doi: 10.1785/0220180149.
- Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., et al. (2011) - Seismic hazard assessment (2003-2009) for the Italian building code. Bull Seismol Soc Am 101:1885-1911.