

## Il terremoto di L'Aquila del 2009: analisi delle registrazioni accelerometriche e confronto con le azioni sismiche previste nelle NTC 2008.

Chiauzzi L., Masi A., Ditommaso R., Mucciarelli M., Vona M.  
DiSGG, Università degli Studi della Basilicata, Potenza.

L'evento sismico che il 6 aprile scorso ha colpito la regione Abruzzo è stato il più forte terremoto verificatosi in Italia per il quale si possa disporre di registrazioni da stazioni accelerometriche situate in prossimità della sorgente sismica. Per tale ragione appare interessante effettuare alcune analisi delle registrazioni accelerometriche e confrontarle con quanto previsto nelle norme NTC 2008.

**Analisi delle registrazioni accelerometriche.** Le registrazioni dell'evento principale della sequenza sismica aquilana sono disponibili sulla banca dati ITACA per quattro stazioni della Rete Accelerometrica Nazionale (RAN), già presenti nell'area interessata al verificarsi del mainshock del 6 aprile. In Tab. 1 sono riportati i valori massimi di accelerazione (PGA), velocità (PGV) e spostamento (PGD) al suolo, nonché di intensità di Housner ( $I_H$ , valutata come l'area sottesa nello spettro in pseudovelocità con smorzamento 5%, nell'intervallo di periodi 0.2-2 secondi) per le diverse registrazioni e per le diverse componenti del moto.

Codice Stazione ed Ubicazione	Categoria Suolo Dist. Epicentrale	Componente	PGA (g)	PGV (cm/sec)	PGD (cm)	$I_{H\_RAN}$ [cm]
<b>AQG L'Aquila</b> Valle Aterno - Colle Grilli	A 4.3 km	Nord - Sud	0.52	35.54	4.09	81
		Est - Ovest	0.47	31.20	5.91	97
		Verticale	0.24	10.41	1.97	25
<b>AQA L'Aquila</b> Valle Aterno - Fiume Aterno	B 5.8 km	Nord - Sud	0.44	26.82	3.72	66
		Est - Ovest	0.40	32.03	5.46	71
		Verticale	0.47	9.39	1.67	25
<b>AQV L'Aquila</b> Valle Aterno - Centro Valle	B 4.8 km	Nord - Sud	0.55	42.83	3.35	82
		Est - Ovest	0.66	40.44	6.84	110
		Verticale	0.52	12.48	2.47	33
<b>AQK L'Aquila</b> Parking	B 5.6 km	Nord - Sud	0.35	36.21	12.50	109
		Est - Ovest	0.33	32.38	7.65	107
		Verticale	0.37	19.80	4.04	55

Tab. 1 - Valori di PGA, PGV, PGD ed  $I_H$  per ciascuna componente delle quattro registrazioni disponibili in area epicentrale, ubicazione di ciascuna stazione, indicazione della categoria del suolo di fondazione (Ameri *et al.*, 2009) e relativa distanza dall'epicentro.

Il massimo valore di PGA (0.66g) è stato registrato per la componente Est-Ovest (E-W) della stazione AQV. Per questa stazione anche l'accelerazione sulla componente verticale (V) assume il valore più elevato tra le registrazioni disponibili (0.52g). Valori più bassi, ma comunque rilevanti, sono stati registrati dalle altre tre stazioni. Per le componenti orizzontali il valore di PGA non scende sotto il 33% di g (componente E-W di AQK). Per la componente verticale il limite inferiore è di 0.24g, registrato dalla stazione AQG. Anche in termini di velocità massima la stazione AQV mostra il valore più elevato (42.83 cm/sec) per la componente N-S. Per la componente verticale il valore massimo di velocità (19.80 cm/sec) è relativo alla stazione AQK. In termini di spostamento la stazione AQK, dove sono stati registrati i valori più bassi di PGA, presenta i massimi valori sia per la componente orizzontale (PGD=12.50 cm, direzione N-S) che per quella verticale (PGD=4.04 cm). In termini di intensità di Housner il massimo valore  $I_H=110$  cm è relativo alla componente E-W della stazione AQV, coerentemente con quanto già rilevato per il parametro PGA. Valori più bassi, ma comunque significativi, sono stati registrati dalle altre tre stazioni. In particolare,

per le componenti N-S e E-W di AQK il valore di  $I_H$  è prossimo a quello massimo (rispettivamente 109 cm e 107 cm), in controtendenza rispetto al parametro PGA che aveva mostrato i valori minimi alla stazione AQK, ma coerentemente con i valori ottenuti per il parametro PGD. Per le componenti orizzontali il valore più piccolo di  $I_H$  (66 cm) è relativo alla componente N-S di AQA. Per la componente verticale il valore più elevato di  $I_H$  (55 cm) è relativo alla stazione AQK (come ottenuto per il PGD, mentre per la PGA il massimo era stato rilevato alla stazione AQV), quello minimo (25 cm) alla stazione AQA. In Fig. 1 vengono riportati, per le quattro stazioni RAN, gli andamenti del modulo dell'accelerazione registrata nel tempo per le 3 componenti.

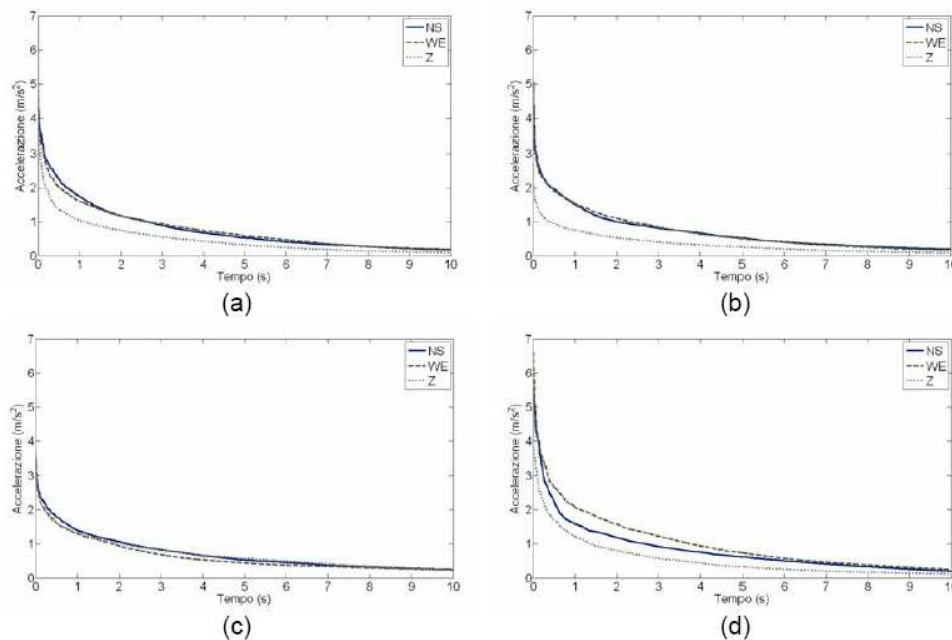


Fig. 1 - Confronto tra i valori assoluti delle componenti del moto (accelerazioni) ordinate in modo decrescente in funzione del tempo (AQA: (a), AQG: (b), AQK: (c), AQV: (d)).

Questa rappresentazione evidenzia delle differenze significative nel moto registrato alle diverse stazioni e per le tre componenti. Le figure 1.a, 1.b ed 1.d mostrano che l'accelerazione misurata nel piano verticale (Z) risulta sempre inferiore a quella orizzontale (N-S e W-E). Al contrario, la figura 1.c mostra l'unico caso in cui il modulo dell'accelerazione verticale si sovrappone, per quasi tutta la durata della finestra temporale, ai valori assoluti registrati per le componenti orizzontali. Le anomalie mostrate da tale registrazione emergono anche dal confronto con quanto previsto dalle NTC 2008, oltre che rispetto alle altre registrazioni disponibili in area epicentrale. La registrazione alla stazione AQV (Fig. 1.d) evidenzia significativi effetti direzionali, come si può rilevare osservando che le componenti orizzontali hanno ampiezza diversa su tutta la durata della finestra temporale.

**Confronto con le norme NTC 2008.** L'analisi delle registrazioni con spettro di risposta, ed il successivo confronto con i valori previsti dalle NTC 2008 considerando i periodi di ritorno  $T_R$  di 475 e 2475 anni, mostrano delle differenze variabili sia in funzione del parametro spettrale adottato che degli intervalli di periodo di vibrazione nei quali si effettua il confronto. In termini di accelerazione spettrale  $S_a$ , i valori massimi previsti dalle NTC 2008 per  $T_R = 475$  anni sottostimano quelli derivanti dalle registrazioni in tutte le stazioni RAN considerate. In alcuni casi (stazioni AQA ed AQV) anche lo spettro di norma a 2475 anni viene superato da quello ottenuto per le rispettive registrazioni accelerometriche. In particolare, le azioni di norma

sottostimano quelle registrate per valori del periodo di vibrazione in genere inferiori ad 1 secondo, mentre, per valori superiori, le azioni previste dalla norma, anche per  $T_R = 475$  anni, sovrastimano ampiamente quelle registrate. In termini di velocità spettrale  $S_v$ , l'azione di norma valutata a 2475 è generalmente superiore a quella registrata, mentre l'azione prevista a 475 anni viene superata ma in un intervallo di periodi di vibrazione traslato su valori più alti arrivando fino a circa 2.5 secondi per la stazione AQK. Interessante è notare come gli stessi confronti, effettuati in termine di spostamento spettrale  $S_d$ , restituiscano valori registrati inferiori a quelli previsti dalle NTC 2008, praticamente sempre per  $T_R = 2475$  anni, e in molti casi anche per  $T_R = 475$  anni. In Fig. 2 viene riportato il confronto in pseudoaccelerazione spettrale  $S_a(T, \xi=5\%)$  tra gli spettri elastici calcolati usando come input le registrazioni accelerometriche e quelli previsti dalle NTC 2008.

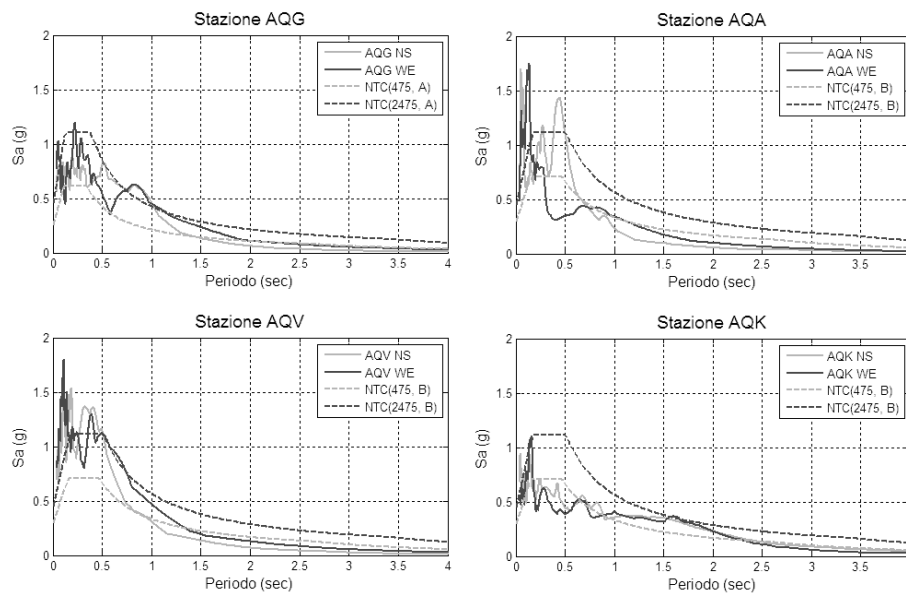


Fig. 2 - Confronto tra gli spettri in pseudoaccelerazione  $S_a(T, \xi=5\%)$  dell'evento principale del 6 aprile 2009 e gli spettri in accelerazione, con periodo di ritorno di 475 e 2475 anni, previsti dalle NTC 2008.

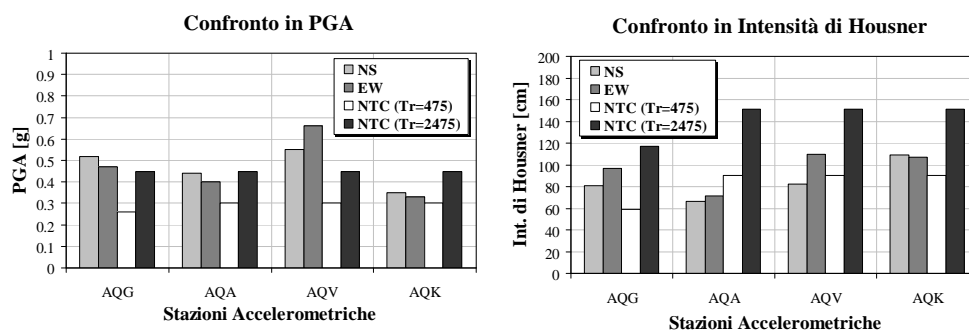


Fig. 3 - Confronto tra i valori delle registrazioni e quelli ottenuti dalle NTC 2008 in termini di PGA e di Intensità di Housner per i periodi di ritorno di 475 e 2475 anni.

In Fig. 3 viene presentato il confronto, in PGA ed intensità di Housner, tra i valori previsti dalle NTC 2008 e quelli registrati dalle stazioni RAN. Il confronto in termini di Housner mostra che, per  $T_R=475$  anni, pur sottostimando in alcuni casi l'azione registrata, le differenze tra norma e registrazioni sono molto limitate e non della stessa entità di quelle riscontrate utilizzando la PGA come parametro di confronto. Inoltre, per  $T_R=2475$  anni, i valori di norma sono sempre maggiori di quelli registrati, contrariamente a quanto accade per la PGA nelle stazioni AQG e AQV.

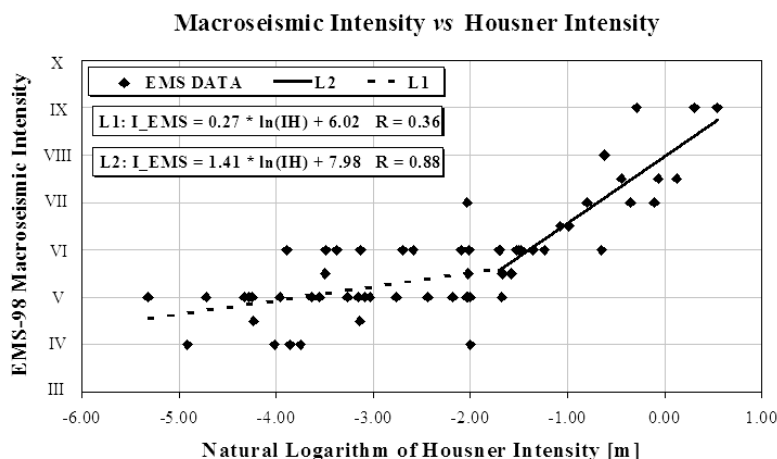


Fig. 4 – Relazione Intensità di Housner (in logaritmo naturale) verso intensità macrosismica in scala EMS-98.

**Considerazioni finali.** L'analisi della sismicità storica al sito di L'Aquila mostra, dall'anno 1315, dieci eventi con intensità macrosismica maggiore o uguale al VII grado MCS, di cui 3 con intensità superiore a VIII MCS. L'analisi dei tempi medi di ritorno restituisce valori prossimi a 100 e 200 anni, rispettivamente per eventi con intensità macrosismica  $I_{MCS} \geq VII$  e  $I_{MCS} \geq VIII$ . Pertanto, terremoti come quello dello scorso 6 aprile (intensità VIII-IX MCS a L'Aquila) hanno tempi medi di ritorno dell'ordine dei 200-300 anni. Quindi, il confronto con il periodo di ritorno di 475 anni appare statisticamente più realistico rispetto a quello con 2475 anni. Ne risulta che, anche in termini di periodo di ritorno dedotti da dati storici, l'intensità di Housner riesce meglio a descrivere la severità degli eventi sismici rispetto alla PGA. A conferma di quanto detto, in Fig. 4 viene riportata la relazione tra intensità macrosismica EMS-98 e intensità di Housner, definita in (Chiauzzi *et al.*, 2009). Da questa relazione è possibile ricavare come, per l'intensità macrosismica stimata per la città di L'Aquila (VIII-IX MCS all'incirca pari ad una intensità VIII EMS), il corrispondente valore di intensità di Housner è pari a circa 1.00 m, dunque molto vicino a quello massimo effettivamente registrato dalle stazioni accelerometriche (fig. 3: stazione AQV, componente E-W).

Le considerazioni fatte fino a questo punto confermano le intensità molto elevate che hanno caratterizzato l'evento sismico, anche in riferimento ai valori attesi di normativa, ma ne collocano l'entità in un ambito più contenuto rispetto ai periodi di ritorno cui l'evento va riferito, come emerge esaminando le azioni in termini di intensità di Housner.

## Bibliografia

- Ameri G., Augliera P., Bindi D., D'Alema E., Ladina C., Lovati S., Luzi L., Marzorati S., Massa M., Pacor F. and Puglia R., 2009. Strong-motion parameters of the Mw=6.3 Abruzzo (Central Italy) earthquake (ver.2 updated 21 May 2009). INGV Milano-Pavia, Italy ([www.mi.ingv.it](http://www.mi.ingv.it)).
- Chiauzzi L., Masi A., Mucciarelli M., Vona M., 2009. Earthquake damage scenarios for Potenza (Italy) urban area based on hazard, site effect and vulnerability probabilistic models. Bulletin of Seismological Society of America (submitted).
- Masi A., Chiauzzi L., 2009. Preliminary analyses on the mainshock of the Aquilano earthquake occurred on April 06 2009: comparison between response spectra evaluated close to the source and elastic demand spectra according to the 2008 Italian Seismic Code, rel. 1.0, [www.reluis.it](http://www.reluis.it).
- Masi A., Chiauzzi L., 2009. Analisi delle registrazioni accelerometriche del terremoto de L'Aquila 2009 e confronto con le azioni sismiche previste nelle NTC 2008. L'Edilizia, Novembre-Dicembre 2009.