

# Relazioni empiriche tra parametri strumentali del moto del suolo e l'Intensità MCS per i terremoti di magnitudo moderata della sequenza in Pianura Padana (2012)

## Relazioni empiriche tra parametri strumentali del moto del suolo e l'Intensità MCS per i terremoti di magnitudo moderata della sequenza in Pianura Padana (2012)

Parole chiave: rigenerazione urbana, resilienza, colonizzazione spaziale  
Key words: urban regeneration, resilience, space colonization

**Tatiana Ioppolo**

(Laboratory of Experimental Tectonics (LET) - Dip. Scienze Univ. "Roma Tre")

**Francesca Funicello**

(Laboratory of Experimental Tectonics (LET) - Dip. Scienze Univ. "Roma Tre")

**Claudia Piromallo**

(INGV - Sezione di Roma)

**Alessandro Nicola Pino**

(INGV - Osservatorio Vesuviano - Napoli)

### 1. INTRODUZIONE

Il punto chiave delle stime di pericolosità sismica è la previsione del moto del suolo al verificarsi di un terremoto, propriamente detto scuotimento sismico. L'entità dello scuotimento sismico strumentale è usualmente fornita in termini di parametri di picco del moto del suolo (Peak Ground Motion - PGM) - intesi come picco di velocità del suolo (PGV) e picco di accelerazione del suolo (PGA) - calcolati dai sismogrammi. Il principale vantaggio nell'uso di questi parametri risiede nel loro carattere quantitativo e nella possibilità che offrono di analizzare da un punto di vista fisico le interazioni suolo-strutture. Tuttavia, la complessità di quest'ultimo processo rende impossibile stabilire una relazione biunivoca fra il danneggiamento atteso e lo scuotimento sismico descritto da questi parametri. Inoltre, la quantità dei dati disponibili è funzione della strumentazione presente nell'area interessata dal terremoto.

Un procedimento alternativo per la valutazione dello scuotimento sismico è l'analisi macrosismica. Questa metodologia, che stima la severità dello scuotimento del terreno attraverso l'osservazione degli effetti prodotti dal terremoto, tiene implicitamente conto del complesso processo d'interazione suolo-strutture e ha l'indubbio vantaggio di non richiedere alcuna strumentazione per poter essere definita, permettendo una densità di campionamento potenzialmente elevata. Inoltre, consente di caratterizzare lo scuotimento sismico

per i terremoti del passato, i cui effetti possono essere dedotti esclusivamente in modo non-strumentale sulla base delle fonti storiche disponibili. Tuttavia, i principali limiti di questo tipo di parametrizzazione dello scuotimento sismico risiedono nella sua natura qualitativa, più che quantitativa, e negli elementi di soggettività che la stessa classificazione contiene, rendendo in qualche modo arbitraria la quantificazione dello scuotimento. Un altro limite è il suo carattere "medio" infatti, mentre i parametri del moto del suolo permettono una stima puntuale dello scuotimento, l'intensità macrosismica rappresenta uno scuotimento medio del terreno su di un'area estesa. Inoltre, l'intensità macrosismica non è un parametro direttamente utilizzabile per la progettazione degli edifici in funzione antisismica. Le limitazioni insite in entrambe le stime di scuotimento possono essere superate individuando relazioni empiriche che correlino univocamente i parametri di moto del suolo al dato di intensità macrosismica. L'uso di tali relazioni è di fondamentale importanza per: a) l'analisi quantitativa dei terremoti storici, b) gli studi di attenuazione sismica, c) l'identificazione di scenari di pericolosità sismica. In particolare, tali relazioni empiriche sono alla base della realizzazione di "Mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale", fondamentali per la valutazione del rischio sismico di un'area e della valutazione rapida di scenari di danno attraverso le mappe di scuotimento ("Shake maps").

Originariamente, le relazioni empiriche tra i parametri di moto del suolo e le intensità macrosismiche sono state prodotte per la costa occidentale degli Stati Uniti e per il Giappone (Wald *et al.*, 1999; Kaka e Sonley, 2000; Yih-Min *et al.*, 2003; Atkinson, 2004; Kaka e Atkinson, 2004; Atkinson e Kaka, 2007; Gomez Capera, 2007), utilizzando l'intensità macrosismica ottenuta tramite questionari in linea ("online") compilati da utenti sui siti internet dedicati. Per quanto riguarda l'Italia e l'area mediterranea (Turchia, Algeria, Francia e Slovenia) relazioni empiriche ad hoc sono state proposte da Margottini *et al.* (1987, 1992), Faccioli e Cauzzi (2006) e, recentemente, da Faenza e Michelini (2010). Tutti questi lavori sono tuttavia realizzati su scala nazionale e basati su dati d'intensità macrosismica reperiti in maniera tradizionale (i.e., tramite indagini macrosismiche sul campo), non consentendo quindi di investigare se non i gradi di intensità al di sopra della soglia del danno. Scopo di questa tesi è quello di definire una nuova legge empirica a carattere regionale per il territorio italiano, utilizzando per la prima volta dati di intensità reperiti "online" insieme ai parametri strumentali del moto del suolo ottenuti tramite l'analisi descritta in questo lavoro.

La sequenza emiliana del 2012 ha offerto una possibilità unica per il raggiungimento di tale obiettivo. La sequenza è stata infatti caratterizzata da numerosi eventi di magnitudo medio-bassa, circoscritti in uno specifico do-

minio geologico e ben registrati non solo dagli strumenti della Rete Sismica Nazionale (permanente e temporanea) ma anche dai dati macrosismici raccolti tramite i questionari compilati "online". Durante la sequenza emiliana infatti tramite il sito *INGV, haisentitoilterremoto* ([www.haisentitoilterremoto.it](http://www.haisentitoilterremoto.it), Tosi *et al.*, 2015), sono stati raccolti e analizzati numerosissimi questionari macrosismici che hanno permesso una valutazione in tempo quasi-reale dell'intensità risentita per ogni singolo evento (non cumulativa, come solitamente accade invece nel caso di indagini macrosismiche sul campo). Inoltre, poichè gran parte dei terremoti della sequenza oggetto di studio sono di magnitudo medio-bassa e quindi producono in genere scarsi effetti permanenti sulle strutture, i dati "online" sono risultati fondamentali per valutare la distribuzione dello scuotimento (dal momento che le indagini sul campo sono in grado di rilevare solo gli effetti permanenti).

## 2. DATA SET ED ELABORAZIONE DEI DATI

Scopo del presente lavoro è ricavare una relazione empirica tra parametri di moto del suolo e intensità per i terremoti della sequenza, che abbiamo visto essere caratterizzata da magnitudo moderata-

bassa e valori di intensità  $MCS < 8$ . Si è deciso pertanto di selezionare eventi di magnitudo  $M_L \geq 4$  in modo da limitare, per quanto possibile, un campionamento troppo disomogeneo dell'intervallo d'intensità che caratterizza la sequenza. Infatti, l'eventuale utilizzo dei numerosissimi terremoti di magnitudo  $M_L < 4$  porterebbe a un sovra-campionamento di un intervallo molto limitato di basse intensità (circa tra 4 e 2). Purtroppo, solo il 50% circa degli eventi di magnitudo  $M_L \geq 4$  è stato utilizzabile in quanto, durante la sequenza sismica, gli eventi sono stati molto ravvicinati nel tempo, portando a sovrapposizioni delle relative forme d'onda che ne rendono complessa l'identificazione e, soprattutto, l'associazione con i risentimenti riportati dai corrispondenti di *INGV, haisentitoilterremoto* (per brevità HST d'ora in avanti). L'insieme degli eventi selezionati in questo studio consiste, quindi, in 17 terremoti tra i più forti della sequenza (magnitudo  $M_L \geq 4$  secondo ISIDE, ISIDE Working Group, 2010) registrati dal 19 maggio al 12 giugno 2012 (tabella 1). Sono state analizzate solo le forme d'onda registrate dalle stazioni entro un raggio di 300 km dall'epicentro dell'evento principale del 20 maggio poichè, dai grafici di attenuazione delle intensità con la distanza epicentrale, risulta

che oltre i 300 km si ha generalmente solo un risentimento di grado 2 oppure non si ha alcun risentimento ('non-risentito').

Verranno ora descritte in sintesi le procedure utilizzate nelle tre fasi principali del lavoro.

### 2.1. ANALISI DELLE FORME D'ONDA E CORREZIONE PER LA RISPOSTA DELLO STRUMENTO

Sono stati analizzati i segnali digitali (forme d'onda) registrati sulle tre componenti di tutti gli strumenti considerati. Per eliminare dai sismogrammi le distorsioni introdotte dagli strumenti di registrazione e ricavare il reale moto del suolo, è indispensabile conoscere le funzioni di risposta dei diversi strumenti. Per isolare la parte di segnale di interesse e rimuovere il rumore ad alta e bassa frequenza, durante l'operazione di correzione per la risposta dello strumento è stato applicato un filtro passa-banda, con bande molto simili per i diversi tipi di strumenti: 0.40-25 Hz per i velocimetri (sia a larga banda che a banda allargata), 0.45-25 Hz per gli accelerometri.

Il risultato finale della deconvoluzione per la risposta strumentale, applicata a tutte e tre le componenti (N-S, E-W, Z), è il sismogramma in spostamento.

**Tabella 1. Eventi di magnitudo  $M_L \geq 4$ , analizzati nel presente studio (coordinate e magnitudo da ISIDE, ISIDE Working Group, 2010)**

ID	Data evento	LAT	LON	Profondità ipocentrale	$M_L$
7222911530	19/05/12 23:13:27	44.90	11.26	6.2	4.10
8222913230	20/05/12 02:03:52	44.89	11.23	6.3	5.90
8222913230	20/05/12 02:12:42	44.82	11.22	20.4	4.30
7222913550	20/05/12 02:35:37	44.88	11.55	10.0	4.00
7222913590	20/05/12 02:39:10	44.89	11.26	5.2	4.00
8222913820	20/05/12 03:02:50	44.86	11.10	10.0	5.20
7222919980	20/05/12 13:18:02	44.83	11.49	4.7	5.10
7222920010	20/05/12 13:21:06	44.88	11.38	2.4	4.10
7222922570	20/05/12 17:37:14	44.88	11.38	3.2	4.60
7222968210	23/05/12 21:41:18	44.87	11.25	4.8	4.30
7222991940	25/05/12 13:14:05	44.88	11.11	10.0	4.00
7223023780	27/05/12 18:18:45	44.88	11.16	4.7	4.00
7223045800	29/05/12 07:00:03	44.85	11.19	10.2	5.80
7223045870	29/05/12 07:07:21	44.85	10.99	10.0	4.00
7223046650	29/05/12 08:25:51	44.890	10.96	3.2	4.59
7223048200	29/05/12 11:00:02	44.87	10.95	11.0	5.00
7223079380	31/05/12 14:58:21	44.88	10.88	5.8	4.00
7223081840	31/05/12 19:04:04	44.89	10.98	8.7	4.20
7223125200	03/06/12 19:20:43	44.89	10.94	9.2	5.10
7223244280	12/06/12 01:48:36	44.88	10.89	10.8	4.30

## 2.2. CALCOLO DEI PARAMETRI DI PGM DALLE FORME D'ONDA

Il picco massimo, in valore assoluto, sul sismogramma in spostamento corrisponde al Peak Ground Displacement (PGD). Gli altri parametri di picco del moto del suolo vengono analogamente calcolati derivando il sismogramma in spostamento una (PGV) o due volte (PGA). Il calcolo dei PGM è stato effettuato su ogni forma d'onda di buona qualità dei 17 eventi selezionati per tutte le stazioni disponibili, ad esclusione degli accelerometri degli eventi presenti nel database di ITACA (The Italian Accelerometric Database <http://accel.mil.ingv.it/statistiche/RINA>), dal quale si possono ottenere direttamente i parametri del moto del suolo già calcolati. Per ogni stazione è stato scelto il valore massimo tra le due componenti orizzontali, sia di PGV che di PGA. A priori è stata scartata la componente Z, essendo noto che accelerazioni, velocità e spostamenti massimi si registrano sulle componenti orizzontali (Ardeleanu *et al.*, 2011).

## 2.3. ASSOCIAZIONE TRA PARAMETRI DI PGM E VALORI DI INTENSITÀ

La fase successiva ha visto l'assegnazione di un valore di intensità a ciascuna delle stazioni sismiche del dataset. In letteratura il criterio secondo il quale effettuare questa associazione risulta essere piuttosto soggettivo. La scelta più conservativa appare quella di Wald *et al.* (1999), in seguito adottata da altri autori (Faenza e Michellini, 2010), che attribuiscono alla stazione il più vicino valore d'intensità osservata, purché sia entro i 3 km di distanza. Altri autori, analizzando visivamente le mappe, si basano invece su una più generale prossimità a una o più osservazioni d'intensità, assegnando un valore d'intensità alla stazione solo qualora abbiano una ragionevole certezza che il valore reale al sito sia entro un'unità dal valore effettivamente assegnato (Kaka e Sonley, 2000; Atkinson, 2004; Kaka e Atkinson, 2004; Atkinson e Kaka, 2007).

La scelta di associare osservazioni entro i 3 km dalla stazione, nel caso della California rivelatasi un buon compromesso tra variabilità dei PGM con la distanza e numero adeguato di abbinamenti stazione-intensità (Wald *et al.*, 1999), nel presente studio risulta eccessivamente limitante per insufficiente densità di stazioni in zona epicentrale (anche dopo l'installazione della rete temporanea). A partire dai 3 km di di-

stanza, aumentando progressivamente di chilometro in chilometro il raggio massimo, si è cercato di individuare la distanza massima che rappresentasse un compromesso accettabile tra numero di coppie di osservazioni intensità-PGM e variabilità dei PGM con la distanza. Si è scelto quindi di associare il valore di intensità (anche se basato sulla compilazione di un solo questionario) riportato per la località più vicina alla stazione entro un raggio di 10 km di distanza. Per la sola zona epicentrale (in un raggio di circa 20 km dai due eventi principali) si è deciso di integrare i dati tramite analisi visiva delle mappe assegnando il valore d'intensità nell'intorno più vicino alla stazione. Essendo l'associazione basata su un criterio soggettivo, viene dedicata particolare attenzione al fine di minimizzarne l'errore e ridurre le ambiguità.

## 3. ELABORAZIONE DELLA RELAZIONE EMPIRICA TRA INTENSITÀ E PGM

È comunemente accettato che l'intensità macrosismica dipenda in maniera significativa dal logaritmo dell'accelerazione massima del suolo o dal picco di velocità (Gomez Capera *et al.*, 2007). Conseguentemente, maggiore è il valore di PGA o PGV, maggiore dovrebbe essere l'intensità macrosismica. L'ampia distribuzione dei parametri di picco di moto del suolo per ogni grado d'intensità rende piuttosto complesso il calcolo della regressione tra queste grandezze, soprattutto perché la grande quantità di dati in corrispondenza delle basse intensità tenderebbe a influenzare eccessivamente l'andamento della curva (Atkinson e Kaka, 2007). Per calcolare la curva di regressione si usa quindi raggruppare i dati per classi d'intensità macrosismica, in intervalli solitamente di un grado o mezzo grado (operazione denominata "binning"). Per ogni classe si calcolano poi la media geometrica e la deviazione standard dei parametri del moto del suolo. Questo passaggio intermedio consente di ottenere un risultato della regressione che sia stabile e ben vincolato per ogni livello d'intensità (Atkinson e Kaka, 2007).

Nel nostro caso, raggruppando i dati in intervalli di un grado d'intensità, sono stati elaborati i grafici per PGV (Fig. 1) e PGA (Fig. 2). Questi suggeriscono che i dati possano essere approssimati da una relazione in forma lineare tra intensità e logaritmo in base dieci dei parametri di picco del moto del suolo ( $I_{MCS} = a + b \log PGM$ ). Abbiamo quindi trovato i coefficienti di questa retta

approssimando i dati con il metodo dei minimi quadrati e ottenendo le seguenti due nuove relazioni:

$$I_{MCS} = 5.39 + 2.00 \log PGV \quad (1)$$

$$I_{MCS} = 3.03 + 1.95 \log PGA \quad (2)$$

In Figg. 3 e 4 sono riportate le rette relative a queste due nuove relazioni empiriche e, per confronto, quelle ricavate da Faenza e Michellini (2010) determinate, per l'intera penisola italiana, da dati macrosismici tradizionali e parametri del moto del suolo del database di ITACA.

## 4. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Al fine di verificare similitudini e differenze delle relazioni empiriche ottenute nell'ambito di questo studio rispetto a relazioni utilizzate in letteratura, è stato preso come riferimento principale il lavoro di Faenza e Michellini (2010). Si tratta infatti di uno dei contributi più recenti finalizzati alla penisola italiana, sebbene in tale lavoro non siano stati utilizzati dati macrosismici "online" (trattati invece negli studi per alcune zone degli Stati Uniti da Wald *et al.*, 1999; Kaka e Atkinson, 2004; Atkinson e Kaka, 2006, 2007). Le leggi empiriche proposte da Faenza e Michellini (2010), quando confrontate con le relazioni ottenute nel presente studio, mostrano una buona coerenza pur nel limite di un sistematico minor valore del coefficiente angolare (Figg. 3 e 4).

La discrepanza tra le relazioni ottenute nel presente studio e quelle proposte da Faenza e Michellini (2010) non è stata una sorpresa. Diversi sono i fattori che possono averla determinata: primo fra tutti la scelta iniziale del dataset. Faenza e Michellini (2010) hanno elaborato le relazioni empiriche partendo da 266 eventi (dal 1972 al 2004), distribuiti in tutta Italia, di magnitudo  $3.9 \leq M_W \leq 6.9$  e valori di intensità MCS medio-alti,  $\leq 8$ . Il dataset utilizzato nel presente studio è stato ottenuto dall'analisi di 17 eventi, localizzati in Pianura Padana, di magnitudo massima  $M_L \leq 5.9$  e valori di intensità medio-bassi. Un altro fattore significativo che potrebbe aver causato queste differenze è l'uso di intensità macrosismiche determinate con metodi differenti: i dati derivati da questionari macrosismici (come i questionari "online" utilizzati nel presente studio) sono infatti maggiormente sensibili alle intensità medio-basse rispetto a quelli derivati dalle indagini classiche

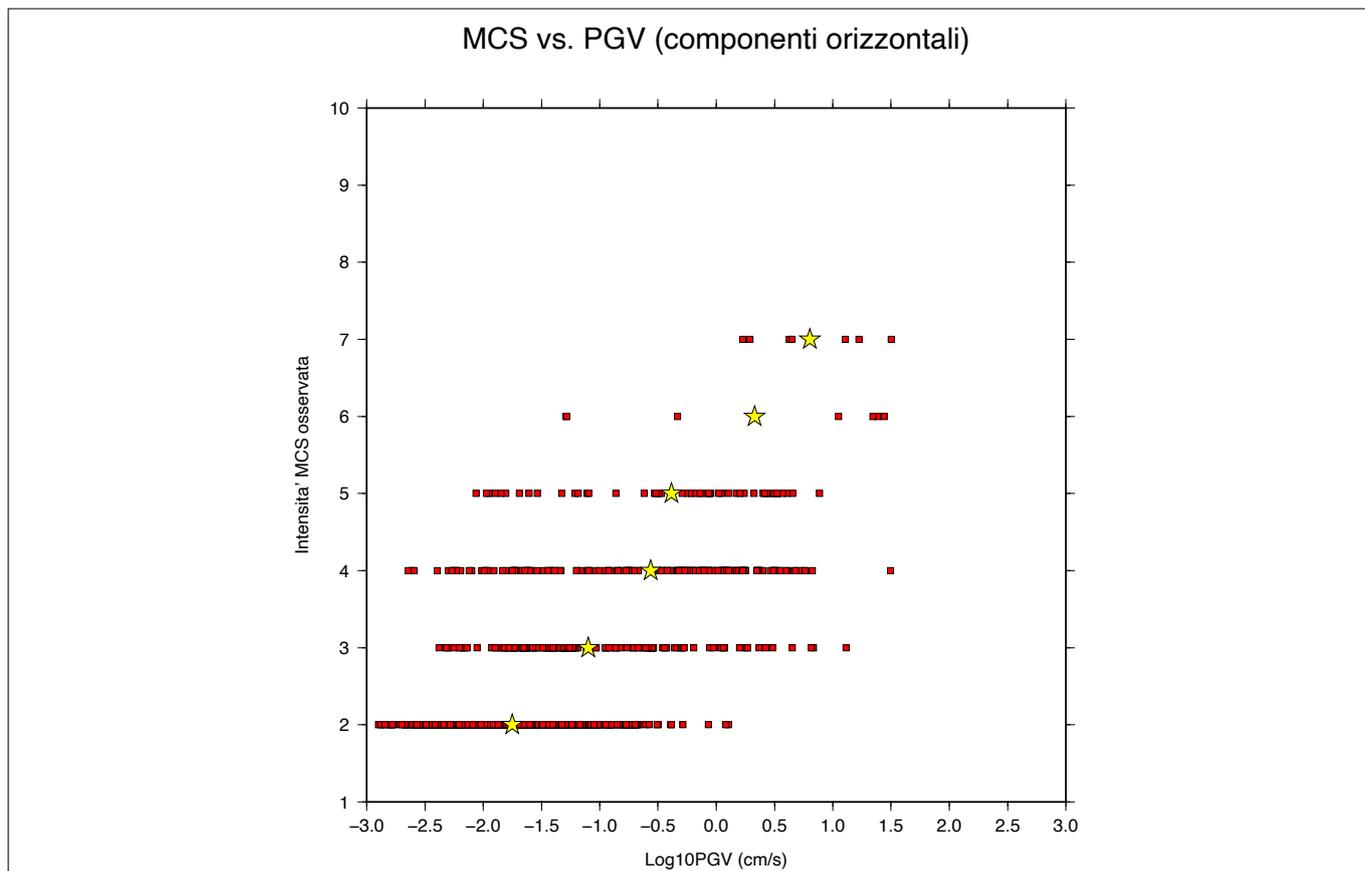


Figura 1. Grafico intensità MCS osservata -  $\log_{10}$  PGV relativo all'intero dataset. L'intensità è suddivisa in classi ripartite per grado. La media geometrica di PGV (stelle gialle) è calcolata per ogni classe di intensità MCS

basate sul danneggiamento (utilizzati in Faenza e Michelini, 2010). Ultima considerazione, ma non meno importante, l'attenuazione in Pianura Padana è ve-

rosimilmente diversa rispetto a quella media nazionale rappresentata dai dati di Faenza e Michelini (2010) e di conseguenza le intensità più basse danno

accelerazioni minori. Ulteriori elementi cui può essere imputata la variabilità riscontrata nei dati dei due lavori sono: i) le diverse condizioni geologiche di su-

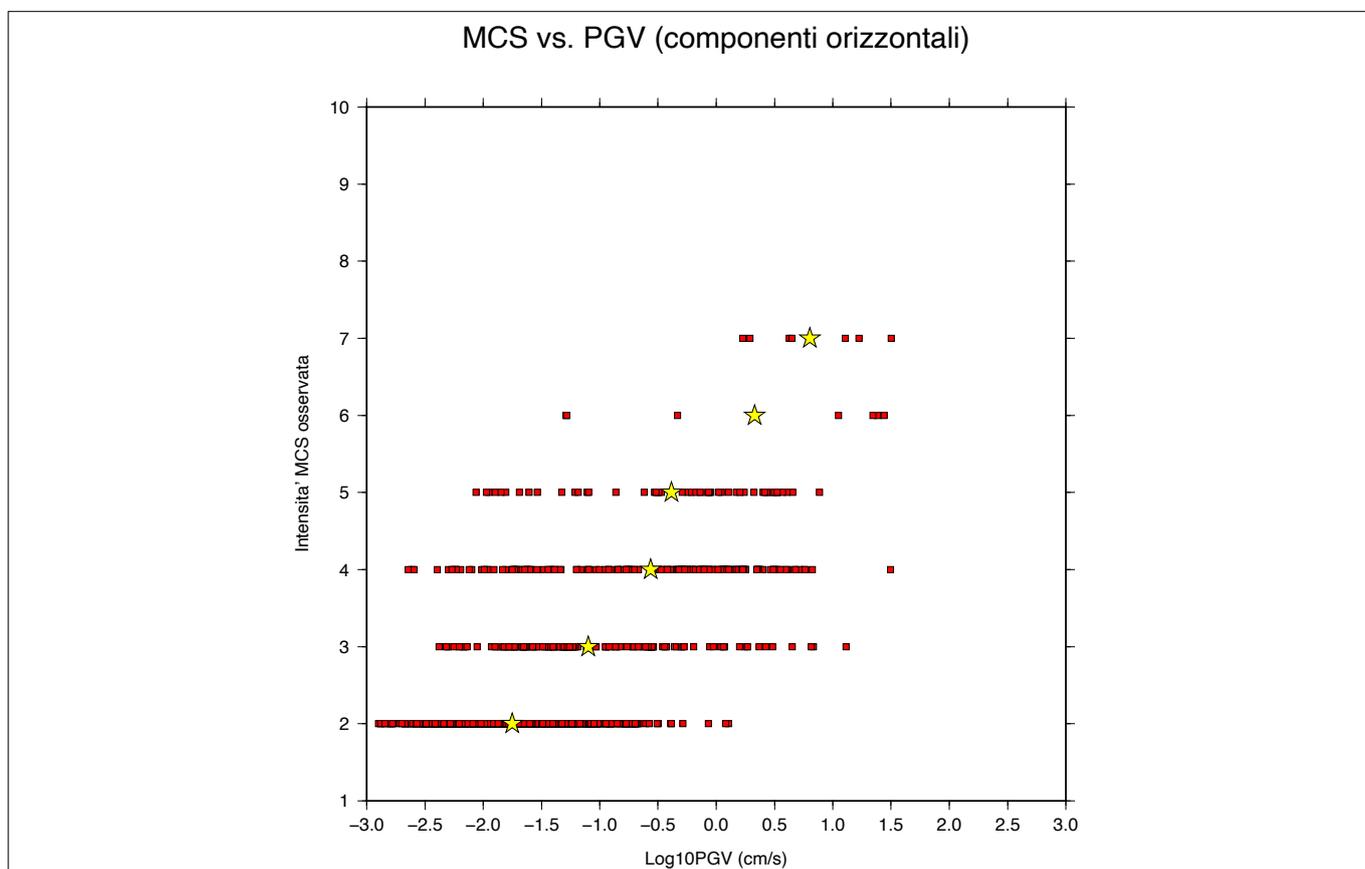


Figura 2. Grafico intensità MCS osservata -  $\log_{10}$  PGA relativo all'intero dataset. L'intensità è suddivisa in classi ripartite per grado. La media geometrica di PGA (stelle gialle) è calcolata per ogni classe di intensità MCS

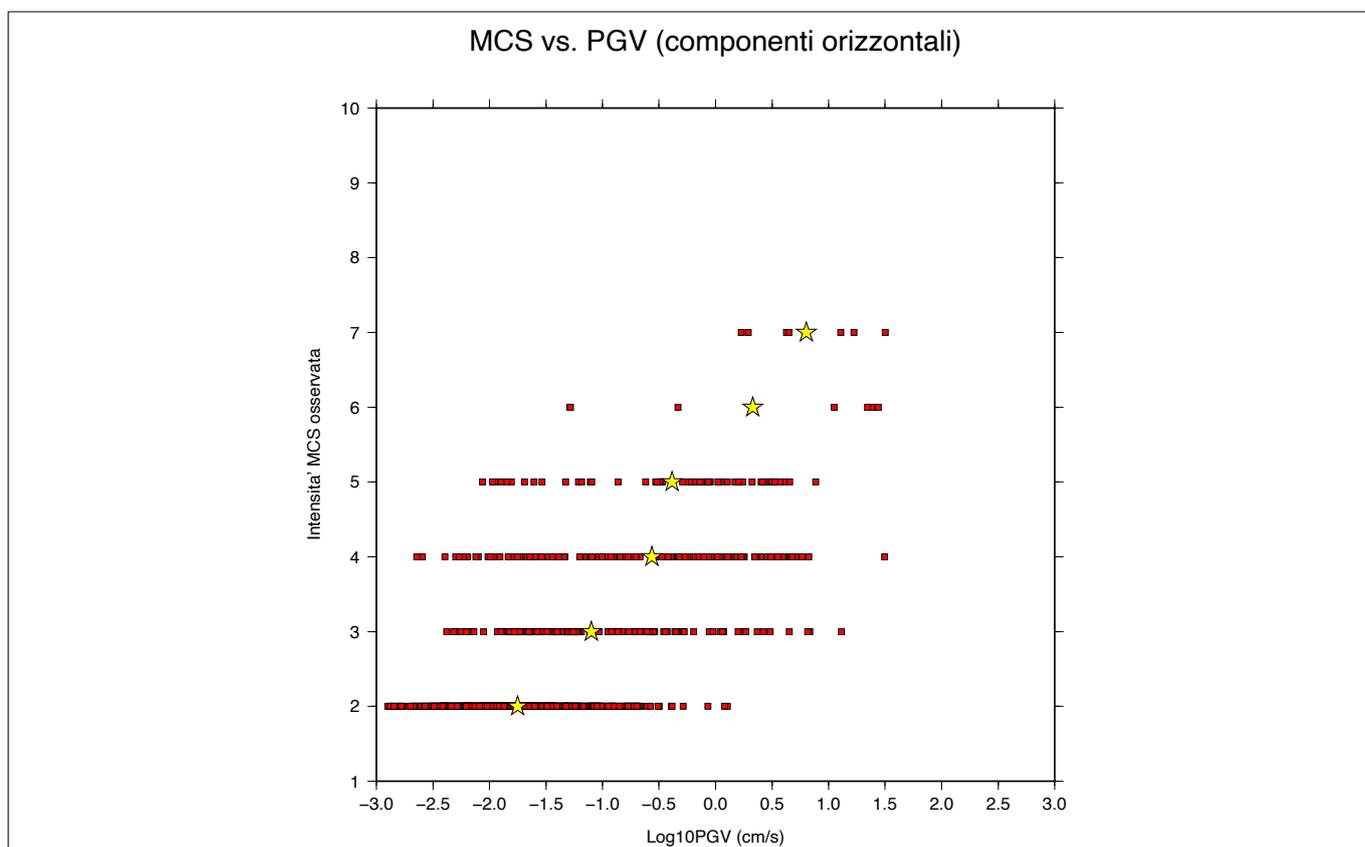


Fig. 3 – Grafico dell'intensità MCS osservata -  $\log_{10}PGV$  (cm/s). La linea tratteggiata rappresenta la retta di regressione calcolata in questo studio dalle medie dei valori di PGV per le classi di intensità MCS (eq. 1). La retta blu rappresenta la regressione di Faenza e Michelini (2010), le due linee più sottili indicano l'errore associato (deviazione standard 1 )

perficie ai siti delle stazioni considerate (dati registrati dalle stazioni in Pianura Padana potrebbero aver risentito maggiormente del rumore sismico nei ter-

reni poco consolidati), ii) la scelta meno conservativa di utilizzare un raggio di 10 km come distanza massima per l'associazione stazione-intensità, rispetto ai

3 km considerati nei lavori di Wald *et al.* (1999) e Faenza e Michelini (2010), iii) l'aver preso in considerazione stime di intensità basate sulla compilazione di

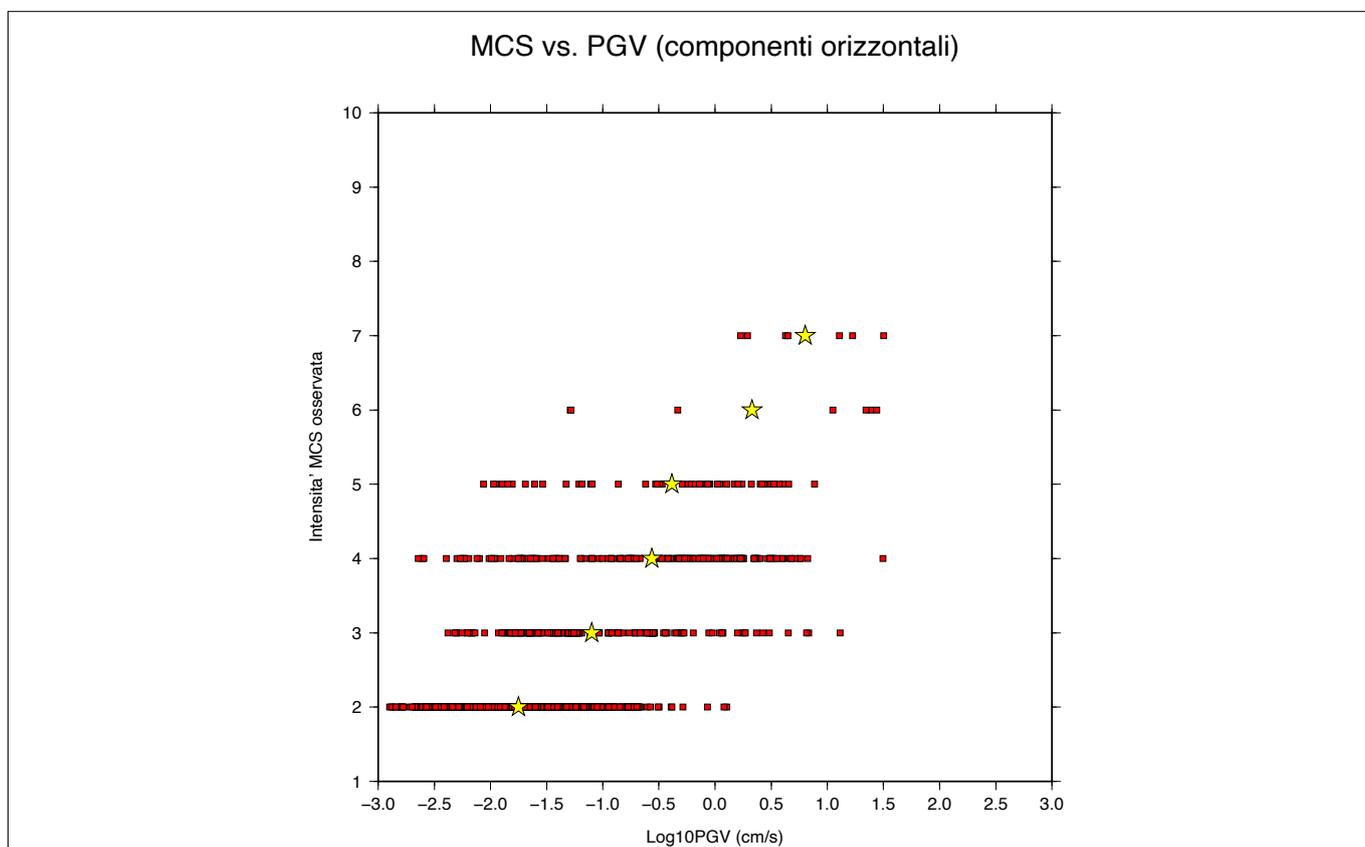


Fig. 4 – Grafico dell'intensità MCS osservata -  $\log_{10}PGA$  (cm/s). La linea tratteggiata rappresenta la retta di regressione calcolata in questo studio dalle medie dei valori di PGA per le classi di intensità MCS (eq. 2). La retta blu rappresenta la regressione di Faenza e Michelini (2010), le due linee più sottili indicano l'errore associato (deviazione standard 1 )

anche solo un questionario. In assenza di altri lavori di riferimento per il territorio italiano, è possibile speculare sul fatto che le relazioni empiriche ottenute nel presente studio conferiscano un maggior dettaglio nell'intervallo di I-PGM medio-basso. Sebbene la maggior parte degli autori accetti la possibilità di una relazione tra intensità e il logaritmo di PGV o PGA (Cancani, 1904; Gutenberg e Richter, 1942; Kawasumi, 1951; Hershberger, 1956; Ambraseys, 1975; Margottini *et al.*, 1992; Wald *et al.*, 1999a; Faccioli *et al.*, 2006; Gomez Capera *et al.*, 2007; Faenza e Michellini, 2010), non è stata ancora proposta una relazione fisica capace di spiegare la natura di tali relazioni che sono principalmente basate su analisi statistiche (Faenza e Michellini, 2010). Inoltre, essendo l'intensità basata su una scala di osservazioni e non su valori strumentali non è garantito che relazionarla al logaritmo di PGV o PGA sia efficacemente applicabile (Faenza e Michellini, 2010). Diversi autori (Hershberger, 1956; Ambraseys, 1975) raccomandano quindi prudenza nell'utilizzo di queste relazioni.

## 5. CONCLUSIONI

L'obiettivo del presente studio è stato l'elaborazione di relazioni empiriche tra l'intensità macrosismica MCS e i parametri di picco del moto del suolo (i.e., PGV e PGA) dedotte utilizzando i dati della sequenza sismica emiliana occorsa nel 2012. L'uso di dati macrosismici "online" ottenuti dal database di HST e il carattere regionale dello studio, relativo all'Appennino Settentrionale, hanno conferito un carattere innovativo al presente lavoro. La procedura di derivare le leggi empiriche da dati "online" era stata proposta e realizzata per gli USA (Wald *et al.*, 1999; Kaka e Atkinson, 2004; Atkinson e Kaka, 2006, 2007) ma mai applicata per il territorio italiano.

Le relazioni empiriche ottenute nel presente studio sono state confrontate con quelle attualmente usate come riferimento per il territorio italiano (Faenza e Michellini, 2010) mostrando una robusta congruenza. Ciò ha innanzitutto permesso di confermare la fattibilità e l'opportunità di usare, anche per il territorio italiano, i dati macrosismici "online" per l'elaborazione di relazioni empiriche tra l'intensità MCS e i parametri PGM. Inoltre, le relazioni empiriche ottenute nel presente studio completano le relazioni ricavate da Faenza e Michellini (2010) nell'intervallo delle medie-basse intensità.

È in preparazione, per la pubblicazione su una rivista internazionale, un articolo che presenta l'evoluzione dei risultati di questo lavoro di tesi a seguito dell'integrazione con un maggior numero di dati e di un'analisi più approfondita.

L'uso delle relazioni che si otterranno dall'approfondimento del presente lavoro potrà assumere un ruolo di fondamentale importanza per: a) l'analisi quantitativa degli scuotimenti prodotti da terremoti storici, b) gli studi di attenuazione sismica, c) l'identificazione di scenari di pericolosità sismica per l'Appennino Settentrionale. In particolare, tali relazioni empiriche potranno essere utilizzate per la realizzazione di "Mappe di pericolosità" e mappe di scuotimento ("Shake maps") caratterizzate da un maggior dettaglio rispetto a quelle attualmente disponibili per l'Appennino Settentrionale, strumenti potenzialmente utili per la Protezione Civile, sia durante un'emergenza sismica per le attività di pronto intervento, sia come strumenti di previsione e prevenzione.

## BIBLIOGRAFIA

- AMBRASEYS N. (1975), *The correlation of intensity with ground motion*, in *Proc. 14th Conf. Europ. Seism. Comm.*, Trieste, Bull. Europ. Comm. Earthq. Eng., Vol. 1, 335-341.
- ARDELEANU L., GRECU B., RAILEANU V. (2012), *Peak Ground Acceleration, Velocity and Displacement from moderate magnitude undercrustal earthquakes of Vrancea Region*. *Romain Reports in Physic*, 64, n.2, 555-570.
- ATKINSON G. (2004), *Empirical attenuation of ground motion spectral amplitudes in southeastern Canada and the northeastern United States*, Bull. Seism. Soc. Am. 94, 1079-1095.
- ATKINSON G., KAKA S.L. (2007), *Relationships between felt intensity and instrumental ground motions for earthquakes in the central United States and California*. Bull. Seism. Soc. Am., 97, 497-510.
- ATKINSON G., KAKA S.L. (2006), *Implementation of ShakeMap in Ontario: Challenges of detection and location in a sparse network*, *Seismological Research Letters*, 77, 780-792.
- CANCANI C. (1904), *Sur l'emploi d'une double échelle sismique des intensités, empirique et absolue*, *Gerlands Beitrage Geophysik*, 2, 281-283.
- FACCIOLI E., CAUZZI C. (2006), *Macroseismic intensities for seismic scenarios, estimated from instrumentally based correlations*, in *Abstract Book 1st ECEES*, [http://www.ecees.org/abstracts\\_book.pdf](http://www.ecees.org/abstracts_book.pdf), 125.
- FAENZA L., MICHELINI A. (2010), *Regression analysis of MCS intensity and ground motion parameters in Italy and its application in ShakeMap*. *Geophys. J. Int.* 180, 1138-1152.

- GÓMEZ CAPERA A.A., MELETTI C., REBEZ A., STUCCHI M. (2007), *Mappe di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica ottenute utilizzando lo stesso impianto metodologico di MPS04*, Progetto INGV-DPC S1, Deliverable D7, <http://esse1.mi.ingv.it/d7.html>.
- GUTENBERG B., RICHTER C.F. (1942), *Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration*, Bull. seism. Soc. Am., 32(3), 163-191.
- HERSHBERGER J. (1956), *A comparison of earthquake accelerations with intensity ratings*, Bull. seism. Soc. Am., 46(4), 317-320.
- ISIDE WORKING GROUP (2010), *Italian Seismological Instrumental and parametric database*, <http://iside.rm.ingv.it>
- ITACA, *The Italian Accelerometric Database* <http://accel.mi.ingv.it/statistiche/RINA>
- KAKA S., ATKINSON G. (2004), *Relationships between instrumental intensity and ground motion parameters in eastern North America*, Bull. Seism. Soc. Am. 94, 1728-1736.
- KAKA S., SONLEY E. (2000), *Empirical relationships between Modified Mercalli Intensity and response spectra*. Bull. Seism. Soc. Am., 90, 537-544.
- KAWASUMI H. (1951), *Measures of earthquake danger and expectancy of maximum intensity throughout Japan as inferred from the seismic activity in historical times*, Bull. Earthq. Res. Inst., 1951.10.5, 469-482.
- MARGOTTINI C., MOLIN D., NARCISI B., SERVA L. (1987), *Intensity vs. acceleration: Italian data. Proceedings of the Workshop on Historical Seismicity of Central-Eastern Mediterranean Region*. ENEA-IAEA, Roma, 213-226.
- MARGOTTINI C., MOLIN D., SERVA L. (1992), *Intensity versus ground motion: a new approach using Italian data*, Eng. Geol., 33(1), 45-58.
- TOSI P., SBARRA P., DE RUBEIS V., AND FERRARI C. (2015), *Macroseismic intensity assessment method for web-questionnaires*. *Seismological Research Letters*, 86, 985-990, doi: 10.1785/0220140229
- WALD D.J., QUITORIANO V., DENGLER L., DEWEY, J.W. (1999a), *Utilization of the Internet for rapid Community* Atkinson G. e Sonley E., 2000. *Empirical relationships between Modified Mercalli Intensity and response spectra*. Bull. Seism. Soc. Am., 90, 537-544. *Intensity Maps*. Seism. Res. Lett., 70, 680-697.
- WALD D.J., QUITORIANO V., HEATON T.H., KANAMORI H. (1999b), *Relationship between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California*. *Earthquake Spectra*, 15, no. 3, 557-564.
- WALD D.J., QUITORIANO V., HEATON T.H., KANAMORI H., SCRIVNER, C.W., WORDEN, B.C. (1999c), *TriNet "Shake-Maps": Rapid generation of peak ground-motion and intensity maps for earthquakes in southern California*. *Earthquake Spectra*, 15, no. 3, 537-556.
- YIH-MIN W., TA-LIANG T., TZAY-CHYN S., NAI-CHI H. (2003), *Relation between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity and Intensity in Taiwan*, Bull. Seismol. Soc. Amer., 93, 1, 386-396.