



Definizione di una nuova IPE per il territorio italiano in funzione di Mw sulla base di CPTI15 e DBMI15

Gomez Capera A. A.¹, Santulin M.^{1,2}, Massa M.¹, Locati M.¹

1 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Milano, Italy.

2 Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Trieste, Italy.

Abstract

An Italian macroseismic intensity attenuation model has been calibrated as function of Mw and distance from of 16.261 MDPs (subset of DBMI15, the Italian Macroseismic Database), that are related to 118 post-900 earthquakes (subset of CPTI15, the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes), after trends and residuals analysis. The intensity (*I*) attenuation function is calibrated as a Log-Linear model of epicentral distance (*x* in km) and a linear model of Mw:

$$I = 1.8125 - 0.0038551 * R - 2.6096 * \text{Log}R + 1.4206 M_w$$

with $R = (x^2 + (9.87)^2)^{0.5}$

The standard deviation is $\sigma = 0.75$.

Introduzione

I più recenti modelli di attenuazione in intensità macrosismica per l'intero territorio italiano sono stati proposti da Pasolini *et al.* (2008) e Gomez Capera *et al.* (2010) nell'ambito del progetto sismologico S1 (Convenzione INGV-DPC 2004-2006). Entrambi utilizzano gli stessi set di dati (DBMI04, Stucchi *et al.*, 2007 e CPTI04, CPTI Working Group, 2004) adottato per la valutazione del modello nazionale di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica MPS04 (MPS Working Group, 2004). I due modelli di attenuazione adottano diverse forme funzionali per valutare l'attenuazione dell'intensità con la distanza e parametri di sorgente.

Recentemente, un modello di attenuazione in intensità macrosismica per l'Italia è stato calibrato nell'ambito del modulo NA4 (Distributed Archive of Historical Earthquake Data) del progetto EC FP6 NERIES (Gomez Capera *et al.*, 2009) e CPTI11 (Rovida *et al.*, 2011; Gomez Capera *et al.*, 2008) al fine di determinare i parametri di terremoti da dati macrosismici. Tuttavia la relazione sviluppata in ambito NA4 è stata ignorata a causa dell'utilizzo di un set di dati limitato.

L'equazione di predizione proposta nel presente studio si basa su dati aggiornati utilizzati nell'ambito della nuova mappa di pericolosità sismica italiana, ovvero la versione 2015 della banca dati macrosismica italiana (DBMI15, Locati *et al.*, 2016) e la versione 2015 del catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI15, Rovida *et al.*, 2016).



Dati di input

I coefficienti della relazione di attenuazione proposta sono stati calibrati utilizzando 16.261 punti di intensità macrosismica (MDP) relativi a 118 terremoti con epicentro su territorio italiano. Gli eventi considerati, per i quali è stata verificata l'attendibilità delle coordinate focali e della magnitudo, si sono verificati nella finestra temporale 1908-2013.

Gli input utilizzati sono stati accuratamente selezionati per soddisfare le seguenti condizioni:

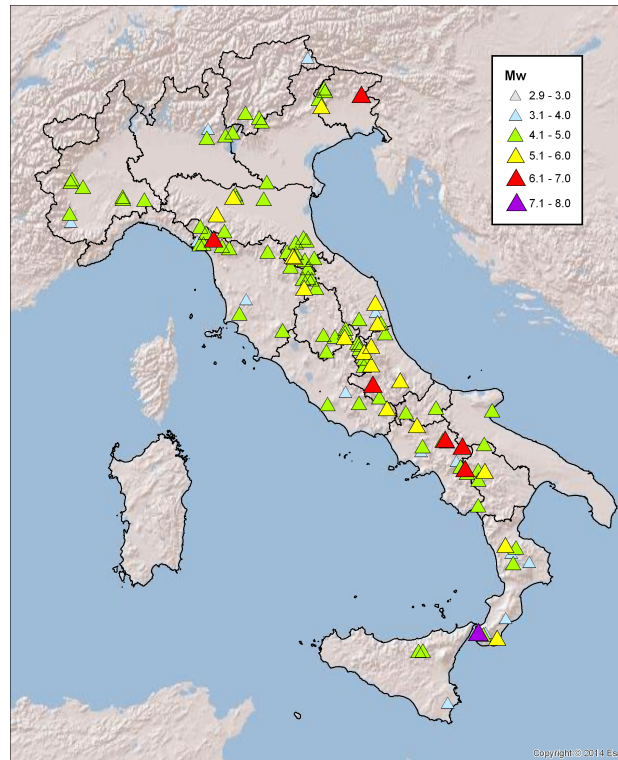
- terremoti compresi nel catalogo CPTI15 che coprono il più ampio possibile intervallo di magnitudo;
- ampia distribuzione spaziale sia per gli eventi sismici che per i piani quotati;
- magnitudo ed epicentro preferibilmente di origine strumentale, con preferenza per la M_w ;
- set di MDP dalla banca dati DBMI15.

Metodologia per la selezione dei dati

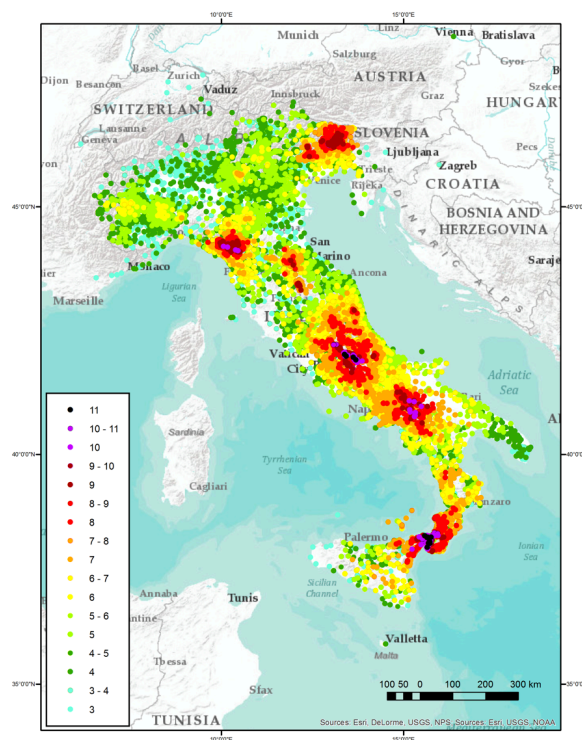
Per ottenere il modello di attenuazione in intensità macrosismica è stata effettuata un'attenta selezione dei terremoti e dei punti di intensità (Gomez Capera, 2006; Gomez Capera *et al.*, 2010):

- sono stati rimossi i terremoti occorsi nell'area vulcanica dell'Etna perché il modello di attenuazione in questa zona presenta caratteristiche differenti rispetto alle regioni crostali attive (Ciccotti *et al.*, 2000);
- sono stati scartati MDP con intensità $I < 3$ per evitare l'incompletezza dei dati;
- sono stati rimossi gli eventi con effetti cumulativi di intensità macrosismica;
- sono stati scartati i terremoti con profondità focale > 33 km;
- sono stati scartati i terremoti off-shore e in zona transnazionale perché non facili da modellare a causa della distribuzione parziale dei piani quotati;
- sono stati rimossi i terremoti caratterizzati da basse valori di intensità epicentrale $I_0 < 5$ e/o $M_w < 3.8$;
- sono stati rimossi i terremoti con $MDP < 10$;
- sono stati esclusi gli MDP associati ai luoghi identificati come "località particolari" dal DBMI15, per garantire la rappresentatività del valore di intensità secondo la sua natura statistica, come TE (territorio esteso), IB (edificio isolato), SS (piccolo insediamento), MS (insediamento multiplo), DL (località deserta), AL (località assorbita), CQ (città);
- sono state escluse intensità macrosismiche di DBMI non convenzionali, quali come NF (Non percepito), F (Percepito), D (Danno), HD (Danno grave).

A seguito dei filtri sopra descritti, l'insieme risultante di intensità macrosismiche è composto da 16.261 MDP relativi a 118 eventi (Fig. 1) occorsi dal 1908 al 2013 con l'intervallo di magnitudo M_w [3.82 – 7.10].



a)



b)

Fig. 1 a) Distribuzione dei terremoti per la calibrazione della IPE: 118 eventi; b) Distribuzione dei dati di intensità macrosismica (16.261MDPs) per la calibrazione della IPE



Risultato

Nel presente studio viene scelta una forma funzionale standard (eq. 3) per modellare l'attenuazione dei dati di intensità macrosismica in funzione della distanza ipocentrale e della M_w , utilizzando cinque coefficienti liberi:

$$I = a - bR - c \text{Log}R + dM_w \quad (1)$$

dove $R = (x^2 + (e)^2)^{0.5} \quad (2)$

dove nell'equazione (2) x è la distanza epicentrale e il coefficiente e è indicativo della pseudo-profondità. Nell'equazione (1) Log corrisponde al logaritmo in base 10.

I coefficienti del modello (a , b , c , d , e) sono determinati a partire dal set di dati di calibrazione mediante un metodo di regressione non lineare ai minimi quadrati usando il software KaleidaGraph (Synergy Software, 2018; Fig. 2a). Il modello calibrato assume una sorgente puntiforme e un campo macrosismico isotropico, centrato sull'epicentro strumentale. Il modello finale di attenuazione dell'intensità macrosismica risulta:

$$I = (1.8125 \pm 0.10329) - (0.0038551 \pm 0.000266) * R - (2.6096 \pm 0.066535) * \text{Log}R + (1.4206 \pm 0.0066) M_w \quad (3)$$

con $R = (x^2 + (9.87)^2)^{0.5}$, deviazione standard $\sigma = 0.75$

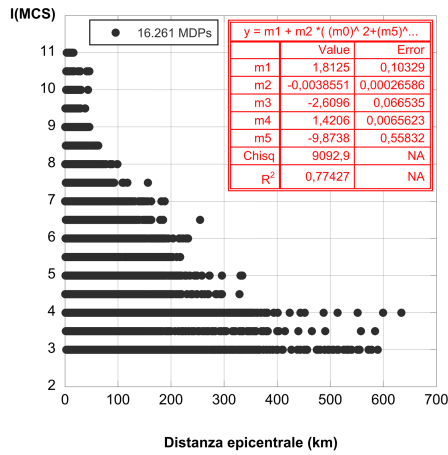
La Fig.2b mostra il modello ottenuto a partire dall'equazione (3) in 3D *i.e.* $I(x, M_w)$ e la distribuzione dei 16.261 MDP relativi a 118 eventi (Fig. 1) con l'intervallo di magnitudo M_w [3.82 – 7.10]. L'equazione di attenuazione dell'intensità macrosismica è caratterizzata da una distribuzione della frequenza dei residui ΔI (osservato - calcolato) con caratteristiche Gaussiane. La deviazione standard è più bassa ($\sigma = 0,75$) rispetto a quella riportata in Gomez Capera *et al* (2010).

Si osserva nella Fig. 3 il modello ottenuto a partire dall'equazione (3) per diverse classi di magnitudo, rappresentato in scala lineare e logaritmica della distanza epicentrale.

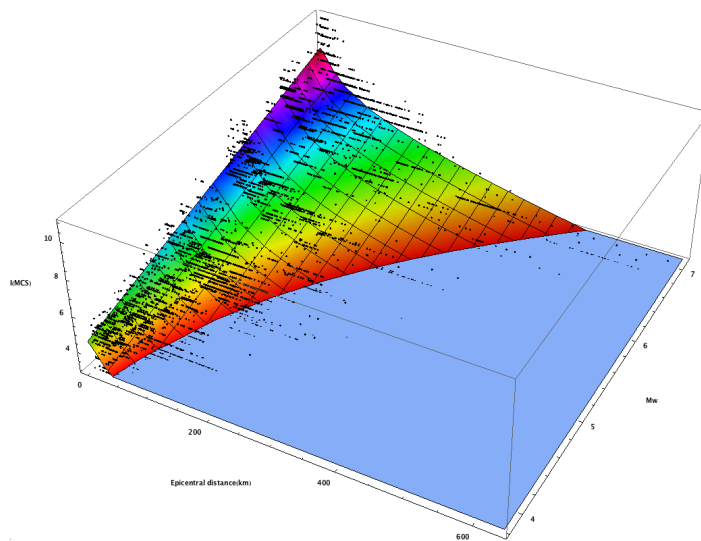
La seguente tabella riassume le caratteristiche del modello calibrato:

Catalogo (anni)	No Eventi	No MDPs	M_w	x (km)	h (km) profondità	I	I_{xx} / I_o
1908-2013	118	16.261	3.82-7.10	0.11-634	$h < 33$	3-11	5-11

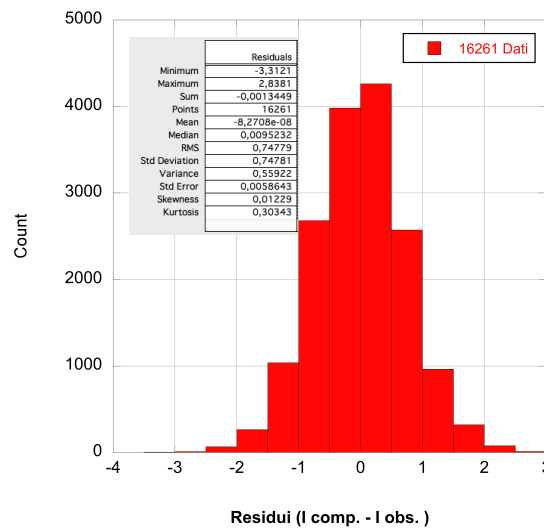
Un test preliminare di applicabilità della IPE proposta è stato fatto sulla performance della equazione (3) rispetto al calcolo dei parametri del terremoto a partire dai MDPs (DBMI15) e al risultato del metodo di Bakun and Wentworth (1997) ed è esposto in Appendice C.



a)



b)



c)

Fig.2 Il modello: a) Regressione non lineare ai minimi quadrati; b) Plot dei 16.261MDS e della equazione (3); c) Distribuzione della frequenza dei residui.

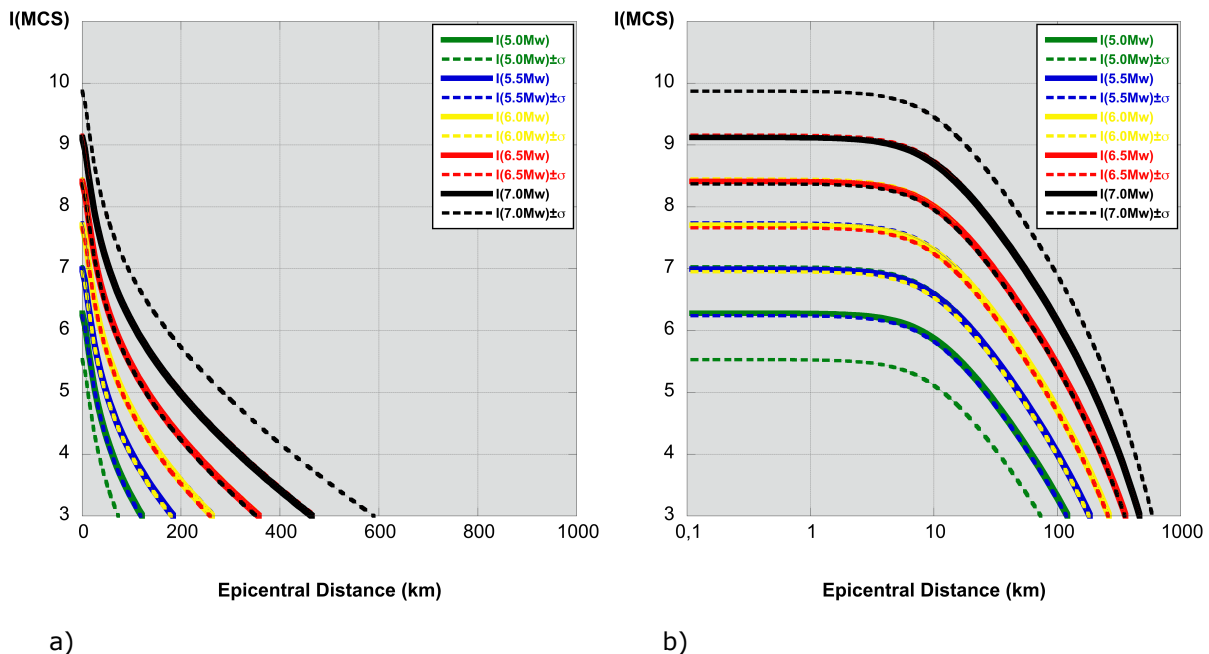


Fig.3. I (MCS) come funzione della distanza epicentrale per diverse classi M_w con deviazione standard $\sigma = 0,75$: a) scala lineare b) scala logaritmica.

Bibliografia

- Al Atik I., Abrahamson N., Bommer J.J., Scherbaum F., Cotton F., and Kuehn N. (2010) The variability of ground-motion prediction models and its components. *Seismological Research Letters*, 81:5:794-801.
- Bakun, W.H., and C.M. Wentworth, 1997. Estimating earthquake location and magnitude from seismic intensity data, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 87:1502-1521.
- Ciccotti, M., N. Negri, L. Sassi, G. Gonzato, and F. Mulargia (2000). Elastic and fracture parameters of Etna, Stromboli and Vulcano lava rocks, *J. Volcanol. Geoth. Res.* 98:209–217.
- CPTI Working Group (2004). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04). INGV, Bologna, doi:10.6092/INGV.IT-CPTI04.
- Gomez Capera A.A. (2006). Seismic hazard map for the Italian territory using macroseismic data, *Earth Sciences Research Journal*, 10:2:67-90, ISSN. 1794-6190
- Gomez Capera A.A., D'Amico V., Meletti C. (2008). Calibrating the Bakun Wentworth's Method for the macroseismic estimation of earthquake parameters in Italy, in Programme and Abstracts of 31st General Assembly (ESC), Hersonissos, p. 66:7-12 September, Crete island, Greece.
- Gomez Capera A.A., Meletti C., Musson R. and Stucchi M. with the collaboration of Alvarez Rubio S., Batllo J., Cassera A., D'Amico V., Faeh D., Locati M., Mirto C., Papaioannou Ch., Rovida A., Ventuozzi C., Gasperini P., Scotti O. and Giardini D. (2009). The European Earthquake Catalogue (1000-1600), demo version. Part 1-The NA4 Calibration Initiative, Deliverable D5. NERIES, Distributed Archive of Historical Earthquake Data (NA4), EC Project number 026130, internal report, 100p. (http://emidius.mi.ingv.it/neries_NA4/deliverables.php).
- Gomez Capera A.A., D'Amico V., Meletti C., Rovida A. and Albarello D. (2010). Seismic hazard in terms of macroseismic data intensity in Italy: a critical analysis from the comparison of different computational procedures. *Bull. Seism. Soc. Am.* 100:4:1614-1631.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>



Mappa di Pericolosità Sismica (MPS) Working Group (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Milano-Roma, 65 pp. and 5 appendices.

Pasolini C., Albarello D., Gasperini P., D'Amico V. and Lollo B. (2008). The attenuation of seismicity in Italy, Part II: Modelling and validation, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 98:692-708.

Rovida A., Camassi R., Gasperini P. and Stucchi M. (eds.) (2011). CPTI11, the 2011 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>, DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>

Stucchi M., Camassi R., Rovida A., Locati M., Ercolani E., Meletti C., Migliavacca P., Bernardini F., Azzaro R. (eds.) (2007). DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. Quaderni di Geofisica, 49, INGV, Roma, 38 pp., doi:10.6092/INGV.IT-DBMI04.

Synergy Software (2014). Kaleidagraph, Tools for discovery, version 4.5.



Appendice A

Tab. A1. Lista di 118 terremoti (CPTI15) usati per calibrare la IPE

EqID	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se
19081228_0420_000	1908	12	28	04	20	27,00
19130628_0853_000	1913	06	28	08	53	02,00
19150113_0652_000	1915	01	13	06	52	43,00
19170426_0935_000	1917	04	26	09	35	59,00
19181110_1512_000	1918	11	10	15	12	28,00
19200907_0555_000	1920	09	07	05	55	40,00
19300723_0008_000	1930	07	23	00	08	39,50
19330926_0333_000	1933	09	26	03	33	29,00
19361018_0310_000	1936	10	18	03	10	05,19
19391031_0647_000	1939	10	31	06	47	14,00
19431003_0828_000	1943	10	03	08	28	29,00
19500905_0408_000	1950	09	05	04	08	57,00
19510808_1956_000	1951	08	08	19	56	
19510901_0656_000	1951	09	01	06	56	01,00
19520118_0136_000	1952	01	18	01	36	14,76
19520704_2035_000	1952	07	04	20	35	12,00
19560526_1840_000	1956	05	26	18	40	
19560922_0319_000	1956	09	22	03	19	39,00
19580624_0607_000	1958	06	24	06	07	04,00
19601029_0008_000	1960	10	29	00	08	39,00
19610508_2245_000	1961	05	08	22	45	51,00
19620821_1819_000	1962	08	21	18	19	30,00
19620830_0627_000	1962	08	30	06	27	07,00
19640218_0658_000	1964	02	18	06	58	28,00
19650510_0503_000	1965	05	10	05	03	07,00
19730419_1741_000	1973	04	19	17	41	38,75
19730808_1436_000	1973	08	08	14	36	08,01
19760506_2000_000	1976	05	06	20	00	13,17
19770605_1359_000	1977	06	05	13	59	22,47
19770724_0955_000	1977	07	24	09	55	27,50
19780311_1920_000	1978	03	11	19	20	48,41
19790919_2135_000	1979	09	19	21	35	37,00
19800105_1432_000	1980	01	05	14	32	26,00
19800228_2104_000	1980	02	28	21	04	40,00
19800607_1835_000	1980	06	07	18	35	01,00
19800614_2056_000	1980	06	14	20	56	50,17
19801001_0057_000	1980	10	01	00	57	39,10
19801123_1834_000	1980	11	23	18	34	52,00

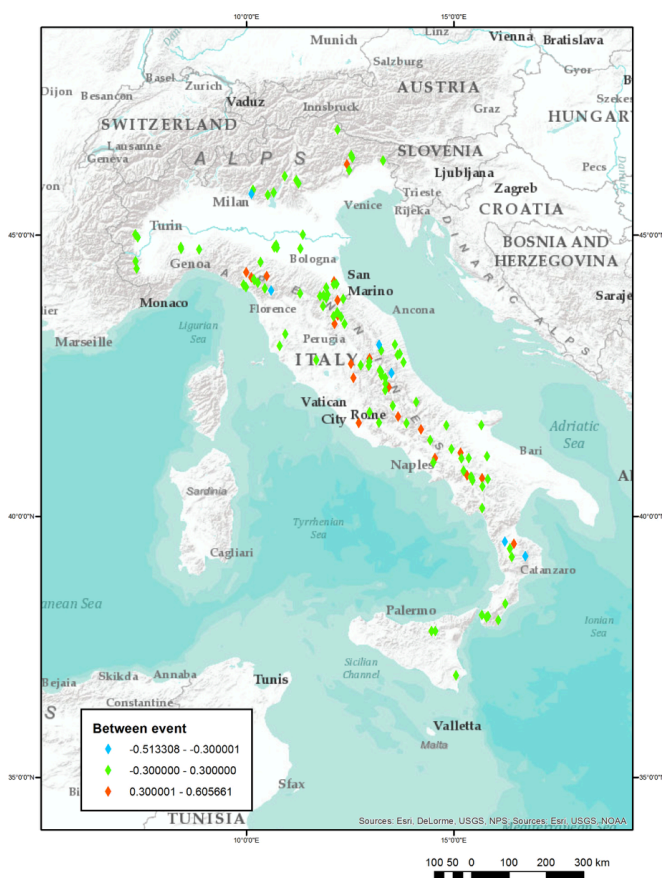
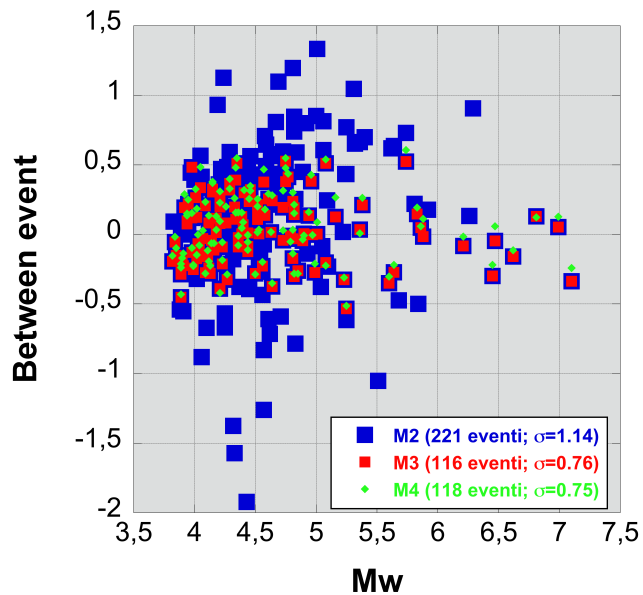
19830103_0039_000	1983	01	03	00	39	55,06
19830202_0814_000	1983	02	02	08	14	16,02
19830920_1628_000	1983	09	20	16	28	48,10
19840105_1239_000	1984	01	05	12	39	38,00
19840507_1749_000	1984	05	07	17	49	42,93
19850123_1010_000	1985	01	23	10	10	16,55
19850314_2303_000	1985	03	14	23	03	51,22
19850501_1657_000	1985	05	01	16	57	35,00
19850520_1000_000	1985	05	20	10	00	28,35
19860829_1457_000	1986	08	29	14	57	01,30
19861001_1953_000	1986	10	01	19	53	39,71
19870210_2120_000	1987	02	10	21	20	13,74
19870524_1023_000	1987	05	24	10	23	24,76
19870705_1312_000	1987	07	05	13	12	36,17
19870710_0809_000	1987	07	10	08	09	27,25
19870711_0146_000	1987	07	11	01	46	52,02
19880315_1203_000	1988	03	15	12	03	16,17
19890913_2153_000	1989	09	13	21	54	01,50
19891019_2333_000	1989	10	19	23	33	25,26
19891119_0340_000	1989	11	19	03	40	22,54
19891121_1836_000	1989	11	21	18	36	06,41
19900211_0700_000	1990	02	11	07	00	37,57
19910114_0738_000	1991	01	14	07	38	36,65
19910330_0304_000	1991	03	30	03	04	58,52
19910424_1322_000	1991	04	24	13	22	16,11
19910526_1225_000	1991	05	26	12	25	59,42
19920825_0225_000	1992	08	25	02	25	48,38
19921024_1844_000	1992	10	24	18	44	48,60
19930117_1051_000	1993	01	17	10	51	23,39
19930315_2343_000	1993	03	15	23	43	28,95
19930806_0751_000	1993	08	06	07	51	47,61
19931209_1816_000	1993	12	09	18	16	50,88
19940120_0659_000	1994	01	20	06	59	13,49
19941024_2322_000	1994	10	24	23	22	47,70
19950303_1616_000	1995	03	03	16	16	40,02
19951010_0654_000	1995	10	10	06	54	21,72
19951227_2344_000	1995	12	27	23	44	27,69
19960122_1837_000	1996	01	22	18	37	44,36
19960403_1304_000	1996	04	03	13	04	34,98
19960413_1300_000	1996	04	13	13	00	22,60
19960427_0038_000	1996	04	27	00	38	26,81
19960711_1909_000	1996	07	11	19	09	26,37
19961015_0955_000	1996	10	15	09	55	59,95

19961020_1906_000	1996	10	20	19	06	56,32
19970512_1350_000	1997	05	12	13	50	14,63
19970708_0813_000	1997	07	08	08	13	42,92
19970929_2101_000	1997	09	29	21	01	34,40
19971002_0450_000	1997	10	02	04	50	13,77
19980208_0112_000	1998	02	08	01	12	35,63
19980407_2136_000	1998	04	07	21	36	55,30
19980520_1107_000	1998	05	20	11	07	41,83
19990125_2245_000	1999	01	25	22	45	58,08
19990405_0751_000	1999	04	05	07	51	58,33
19991010_1535_000	1999	10	10	15	35	51,91
20000401_1808_000	2000	04	01	18	08	03,68
20000618_0742_000	2000	06	18	07	42	07,68
20000801_0234_000	2000	08	01	02	34	31,00
20000821_1714_000	2000	08	21	17	14	28,39
20001024_0752_000	2000	10	24	07	52	23,70
20001216_0731_000	2000	12	16	07	31	07,66
20010718_2247_000	2001	07	18	22	47	10,71
20011126_0056_000	2001	11	26	00	56	55,46
20011220_0154_000	2001	12	20	01	54	09,07
20020221_1436_000	2002	02	21	14	36	11,21
20021113_1048_000	2002	11	13	10	48	03,84
20030411_0926_000	2003	04	11	09	26	57,78
20030601_1545_000	2003	06	01	15	45	18,04
20031207_1020_000	2003	12	07	10	20	33,04
20040224_0521_000	2004	02	24	05	21	26,53
20040903_0004_000	2004	09	03	00	04	12,75
20041124_2259_000	2004	11	24	22	59	38,55
20041209_0244_000	2004	12	09	02	44	25,29
20050521_1955_000	2005	05	21	19	55	19,00
20050715_1517_000	2005	07	15	15	17	18,00
20051215_1328_000	2005	12	15	13	28	39,59
20081223_1524_000	2008	12	23	15	24	21,77
20091108_0651_000	2009	11	08	06	51	16,41
20110717_1830_000	2011	07	17	18	30	27,31
20120627_0114_000	2012	06	27	01	14	20,24
20131229_1708_000	2013	12	29	17	08	43,23



Appendice B

Il residuo tra eventi (Al Atik *et al.*, 2010) è stato studiato per ottenere la migliore performance relativa alla variabilità da terremoto a terremoto, e ha portato alla definizione del dataset di 118 eventi a partire da 221 eventi di CPT15.



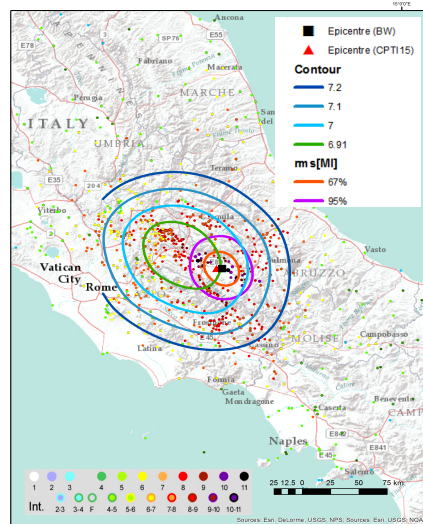
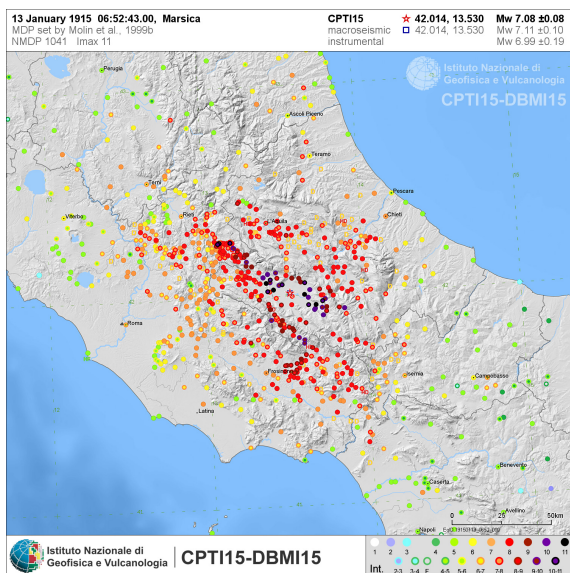
Appendice C

Test di applicazione della IPE

Un test preliminare è fatto sulla performance della equazione 3 per il calcolo di parametri del terremoto a partire di MDPs (DBMI15) e del metodo di Bakun and Wentworth (1997)

a) Evento usato nel set di calibrazione (1915.01.13)
Mw=7.08±0.08 (CPTI15)

Magnitudo computata
Mw=6.91±0.15 (presente studio)



b) Evento non usato nel set di calibrazione (2002.09.06)
Mw=5.92±0.07 (CPTI15)

Magnitudo computata
Mw=5.83±0.15 (presente studio)

