

UNA PROCEDURA PER LA VALUTAZIONE DELLA MAGNITUDO DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO DELLA LIQUEFAZIONE

D. Albarello

Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Università degli Studi di Siena

Introduzione. Le possibilità che un dato evento sismico sia in grado di dare origine a fenomeni di liquefazione dipende dalla intensità e dalla durata dello scuotimento attesi. La determinazione di questi elementi viene effettuata a partire da analisi di pericolosità sismica condotte utilizzando modelli di tipo probabilistico, finalizzate a determinare il livello di verosimiglianza associato ai diversi possibili scuotimenti attesi, a partire da dati relativi alla sismicità passata e dati di altra natura (zone sismogenetiche, relazioni di attenuazione, ecc.).

Le metodologie note in letteratura e recepite in documenti tecnico scientifici e normativi (per l'Italia vedi Norme AGI 2005, NTC 2008, ICMS 2008) tengono conto di questi aspetti definendo una magnitudo di soglia (tipicamente $M=5$), al di sopra della quale si ritiene (insieme ad altre condizioni) si debbano intraprendere analisi di valutazione della liquefazione.

In particolare, le condizioni che i documenti tecnici citati riportano che la verifica della suscettibilità alla liquefazione sono sinteticamente le seguenti:

- C1.** nella successione litologica sono presenti orizzonti di terreni non coesivi saturi (limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose, sabbie argillose e ghiaie sabbiose) ad una profondità inferiore a 20 m dal p.c. **Se si hanno dati disponibili è possibile anche rilevare la presenza nella successione litologica di orizzonti di terreni non coesivi con particelle di determinato e prefissato diametro;**
- C2.** falda acquifera ad una profondità media stagionale inferiore a 15 m dal p.c.;
- C3.** eventi sismici attesi al sito devono essere caratterizzati da valori magnitudo $M_w \geq 5$ ($I_{rif} \geq VII$) e da PGA di riferimento $a_{max} \geq 0,1g$ ($I_{MCS} \geq VII$)

Le norme e le indicazioni tecniche non specificano come viene individuata la magnitudo di soglia, non viene indicata la distanza dell'evento al quale si riferisce la magnitudo di soglia e non viene espresso quale sia il rapporto tra la stessa magnitudo di soglia e il valore della PGA che viene utilizzato nella maggior parte delle metodologie per il calcolo della pericolosità di liquefazione.

Viene qui proposta una metodologia basata sull'uso diretto delle osservazioni macrosismiche relative ai terremoti che in passato hanno interessato il sito di studio (storia sismica di sito) e che costituiscono la maggior parte delle informazioni disponibili sulla sismicità del territorio italiano.

Metodologie impiegate per il calcolo della M_w per la valutazione dei fenomeni di liquefazione. Le metodologie generalmente utilizzate per gli studi di liquefazione sono riportate sinteticamente in questo capitolo, evidenziando per ciascuna, le criticità insite nel metodo.

La M_w (magnitudo momento), nell'ambito degli studi di liquefazione, è una grandezza legata al processo fisico del terremoto (durata) e al numero di cicli di carico e scarico dei depositi investiti della onde sismiche. Quindi è preferibile scegliere una magnitudo di riferimento molto vicina all'area in studio.

Tra i metodi classici di calcolo della M_w ai fini della valutazione della suscettibilità alla liquefazione, ognuno dei quali ha dei vantaggi e delle controindicazioni, si ricordano:

- Massima magnitudo dal catalogo DBMI11 (Rovida *et al.*, 2011);
- Criteri del *cut-off* magnitudo-distanza;
- Massima magnitudo delle zone sismogenetiche e disaggregazione ICMS (2008).

La massima magnitudo di un catalogo storico comporta che la scelta sia completamente deterministica. La maggior parte delle magnitudo, riportate nei cataloghi, derivano da conversioni empiriche I_{mcs} -M e dunque, possono presentare delle incertezze proprie di queste trasformazioni.

La magnitudo, definita con i criteri del *cut-off* magnitudo-distanza, comporta ancora una scelta deterministica. Tuttavia, le curve sono costruite con dati di terremoti storici su cui gravano le incertezze sull'epicentro e l'effettiva grandezza.

La magnitudo che deriva dalla disaggregazione è legata a uno studio probabilistico, ma, per come sono state costruite le zone sismogenetiche italiane (molto grandi), può essere scarsamente rappresentativa dell'area di studio.

Magnitudo Massima (M_{wmax}) dal catalogo DBMI11. Il catalogo DBMI11 contiene dati relativi a 1681 terremoti con relative M_w tratte dal catalogo CPTI11 (Rovida *et al.*, 2011), e in particolare relativi a:

- a) 1484 terremoti i cui dati sono stati utilizzati per determinare i parametri riportati in CPTI11;
- b) 197 terremoti etnei, i cui dati non sono stati utilizzati per determinare i parametri riportati in CPTI11, in quanto i relativi parametri sono stati adottati direttamente dal Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei (CMTE; <http://www.ct.ingv.it/ufs/macro>).

Per la costruzione di DBMI11 sono stati considerati i dati provenienti dagli studi disponibili a tutto il 2007:

- DBMI04 (Stucchi *et al.*, 2007);
- CFTI4med (Guidoboni *et al.*, 2007);
- Studi storico-macrosismici e rilievi macrosismici di autori INGV;
- Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei (CMTE);
- Studi storico-macrosismici pubblicati da altri autori;
- Selezione di dati del bollettino macrosismico INGV.

La pagina di consultazione è http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/query_place/.

Criteri del cut-off magnitudo-distanza. La distanza oltre la quale i fenomeni di liquefazione verosimilmente non accadono può essere definita plottando la distanza epicentrale dell'area in esame (R) e la magnitudo (M_w).

In letteratura esistono molte relazioni che descrivono queste curve "limite" denominate curve di *cut-off*. Le più utilizzate sono quelle di Seed *et al.* (1984), di Ambraseys (1988) e di Galli (2000). In base a queste curve è possibile determinare empiricamente la magnitudo di riferimento per i metodi di calcolo della pericolosità di liquefazione. Un esempio di utilizzo può essere descritto analizzando i dati della Tab. 1, costruita con la relazione di Seed *et al.* (1984).

Dalla tabella si evince che, se il terremoto considerato ha una $M=5$, affinché l'area in studio possa rientrare nelle condizioni C1-C3 riportate sopra dovrà trovarsi a una distanza inferiore a 15 km dall'epicentro.

Di seguito si riportano le 3 relazioni:

Tab. 1 - Relazione empirica di Seed *et al.* (1984) - $\text{Log}_{10} R = 0.463 * M_w - 1.14$.

Distanza R (km)	M_w
15	5
25	5.5
43	6
74	6.5
126	7
215	7.5
366	8

Tab. 2 - Relazione empirica di Ambraseys (1988) - $M_w = 4.64 + 2.65 * 10^{-3} * R + 0.99 * \text{log}10R$.

Distanza R (km)	M_w
2	5
7,5	5.5
30	6
60	6.5
150	7
200	7.5
300	8

Tab. 3 - Relazione empirica di Galli (2000, dati riferiti al solo territorio italiano) - $M_e \approx M_w = 2.75 + 2.0 * \text{Log}10R$.

Distanza R (km)	M_w
15	5
24	5.5
45	6
75	6.5
120	7

Magnitudo massima (M_{wmax}) delle zone sismogenetiche e disaggregazione ICMS (2008). Un metodo semplice per stimare quale sia il valore di M_w da considerare ai fini delle valutazioni per le verifiche di liquefazione per l'area o la microzona di interesse, è il seguente:

- si considera la zonazione sismogenetica (ZS9; INGV, 2009), secondo la quale la sismicità è distribuita in 36 zone sismogenetiche, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima M_{wmax} .
- per i siti che ricadono in una delle 36 zone sismogenetiche, si assume come M_w il valore della magnitudo massima M_{wmax} (Tab. 4), **associato ad ogni zona.**
- come si evince dalla Tab. 4 **tutti i siti che ricadono nelle zone sismogenetiche hanno una $M_{wmax} > 5$** e quindi tutti i siti rispettano la condizione C3.
- per i siti che non ricadono in alcuna zona sismogenetica si determinano le minime distanze (R_i) dalle zone sismogenetiche circostanti (i) e si verifica per ciascuna di esse, se la magnitudo della zona sismogenetica considerata (M_i) è inferiore o superiore alla magnitudo fornita dalla relazione $M_{si} = 1 + 3 \log(R_i)$. Nel caso in cui almeno una M_{si} , calcolata per le zone sismogenetiche circostanti, è inferiore alla M_i della stessa zona per la quale è stata calcolata M_{si} , si assume per M_w il valore di magnitudo più alto tra le magnitudo delle zone sismogenetiche circostanti ($M_i = M_w$); se invece tutte le M_{si} sono superiori alle M_i , si determina la M_w con il metodo della disaggregazione.

Fra i risultati forniti dallo studio condotto da INGV (Barani *et al.*, 2009) c'è anche la disaggregazione (o deaggregazione) della pericolosità sismica, ovvero un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un'area. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. Dal momento che le mappe di pericolosità sismica sono state elaborate in termini di mediana della distribuzione dei valori di pericolosità ottenuti con diversi alberi logici, la disaggregazione è stata condotta adottando come input i modelli ed i valori dei parametri lungo un solo ramo dell'albero logico, al quale corrispondono i valori di pericolosità più prossimi a quelli mediani. Il risultato è fornito per 9 periodi di ritorno: 30, 50, 72, 100, 140, 200, 475, 1000 e 2500 anni.

Tab. 4 - Rappresentazione delle zone sismogenetiche e relative M_{wmax} .

Nome ZS	Numero ZS	M _w max
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio – Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

E' possibile ottenere i valori medi e modali di M e R a seguito della disaggregazione dei valori di accelerazione orizzontale di picco su suolo rigido (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Barani *et al.*, 2009), o con altre probabilità di superamento in funzione degli altri scopi della valutazione. Nella tabella Comuni_MR del CD-ROM allegato ICMS (2008) sono stati riportati valori medi e modali per ciascun comune, attribuendo i valori massimi dei punti della griglia che ricadono all'interno del territorio comunale, oppure i valori del punto della griglia più vicino al confine comunale.

Criticità dei tre metodi classici.

- La magnitudo stimata da dati storici (quindi derivata dall'intensità macrosismica osservata/ricostruita) presenta notevoli margini di incertezza; sarebbe opportuno considerare anche i dati dei terremoti più recenti rispetto a quelli del catalogo DBMI11 (cataloghi strumentali).
 - Naturalmente i valori di M_w riportati nel catalogo possono essere utilizzati solo nel caso la localizzazione dell'epicentro dell'evento non risulti eccessivamente distante (≈ 10 km) dalla località per la quale si sta effettuando lo studio.
 - In ogni caso i risultati ottenuti con questa metodologia dovrebbero essere ritenuti indicativi e riutilizzati per l'analisi con la metodologia detta del *cut-off* magnitudo-distanza.
 - Non sempre nel catalogo sono riportate le località di interesse (es. località troppo piccole, denominazioni attuali non corrispondenti a denominazioni storiche).
- I criteri magnitudo-distanza, oltre ad essere affetti dall'incertezza del valore di M_w da dati storici, presentano notevoli incertezze dovute anche alle formule di stima dell'attenuazione con la distanza (vedi confronto tra le 3 tabelle proposte).
- La M_w stimata dalla zonazione ZS9 e dalla disaggregazione risente dell'incertezza della zonazione stessa (e della localizzazione delle strutture sismogenetiche); vista l'estensione areale delle zone ZS9, in alcuni settori della penisola, la M_w può essere sovrastimata; al contrario, per i territori non ricompresi nella zonazione ZS9 (p. es. molte aree costiere), la stima di M_w tramite disaggregazione può comportare una sottostima.

Metodologia originale per il calcolo della Magnitudo per la verifica delle condizioni per la liquefazione. Rispetto alle metodologie classiche (del tipo Cornell-McGuire), i risultati della metodologia proposta presentano i seguenti aspetti fondamentali e che superano le criticità espresse precedentemente:

- identificano una magnitudo soglia legata alla distanza tra l’epicentro di un evento sismico realmente accaduto e il sito in studio;
- mantengono un legame diretto con le osservazioni effettivamente utilizzate per la loro determinazione, consentendo al contempo la corretta gestione delle incertezze inerenti questi dati che risulta coerente con il carattere discreto ed ordinale delle informazioni macrosismiche considerate per l’analisi;
- legano strettamente i valori della M_w e della PGA (che sono i parametri che permetteranno di effettuare calcoli sul fattore di sicurezza o l’indice di liquefazione con i metodi semplificati) che devono riferirsi, per rispettare la natura fisica del problema, allo stesso evento sismico.

Nella metodologia proposta viene utilizzata l’implementazione del codice SASHA (D’Amico e Albarello, 2008), che, nella sua versione più recente, è in grado di compiere una specifica “analisi di disaggregazione” volta ad identificare gli eventi sismici del passato più rappresentativi della pericolosità locale (Albarello, 2012). Il codice fornisce per ciascuna località capoluogo comunale i valori delle intensità macrosismiche caratterizzate da una fissata probabilità di eccedenza in un fissato tempo di esposizione (I_{rif}) e identificando quegli eventi storici che hanno maggiormente contribuito alla definizione di questa pericolosità. Fra questi viene infine selezionato quell’evento che ha fornito il maggiore contributo per l’intensità I_{rif} indicandone la magnitudo macrosismica e la distanza epicentrale così come riportate dal catalogo sismico di riferimento.

La metodologia prevede 4 fasi:

- a) identificazione dell’intensità di riferimento (I_{rif}) al sito (per esempio caratterizzata da una probabilità di eccedenza inferiore al 10% in 50 anni) **utilizzando un metodo statistico/probabilistico specificamente sviluppato per la gestione di dati macrosismici affetti da incertezza e cataloghi incompleti**
- b) identificazione degli eventi sismici del passato che hanno interessato il sito di studio (quindi la loro distanza) e **hanno contribuito alla pericolosità sismica locale producendo effetti almeno pari a I_{rif}** .
- c) assegnazione a ciascuno di questi eventi di una probabilità che quell’evento sia stato effettivamente risentito al sito con una intensità almeno pari a I_{rif} . Questa ultima fase permette di tenere conto delle incertezze sulle valutazioni di scuotimento nei casi in cui questo sia stato dedotto per via indiretta (da dati epicentrali o da risentimenti in siti vicini)
- d) identificazione dell’evento di riferimento come quello caratterizzato dai valori massimi della probabilità definita al punto 3 (considerando a parità di probabilità, quello con magnitudo M_w maggiore) e comunque caratterizzato da valori di magnitudo e distanza epicentrale R compatibili con la relazione di Galli (2000) nella forma

$$M_w > 2.75 + 2.0 * \log_{10} R$$

Tab. 5 - Relazione tra la distanza epicentrale R e la minima magnitudo M_w necessario a provocare fenomeni di liquefazione.

Distanza R (km)	M_w
15	5
24	5.5
45	6
75	6.5
120	7

Per la definizione di un dato territorio comunale come potenzialmente soggetto a liquefazione (in termini di condizioni scatenanti ed al netto della possibile presenza di fattori predisponenti) vengono proposte due condizioni che costituiscono, se verificate entrambe, la condizione per la quale il sito in esame può essere considerato potenzialmente soggetto a liquefazione dinamica:

1. un valore di I_{rif} almeno pari a VII MCS; **questa scelta è dettata dalla considerazione che nelle numerose leggi di conversione I_{MCS} -PGA, il grado VII MCS corrisponde a circa 0,1 g; inoltre, si vede che solo dal VII grado della scala EMS98 sono presenti effetti di liquefazione fra quelli osservati nell'ambiente naturale in occasione di eventi con questa intensità**
2. la presenza nella lista degli eventi che contribuiscono a I_{rif} di almeno un evento con M_w e distanze R (km) compatibile con a relazione di Galli (2000) citata sopra

Un esempio di questo tipo di analisi è riportato (Tabb. 6 e 7) per due località toscane: Pontremoli e Castiglione della Pescaia. Pontremoli è caratterizzata da una I_{rif} pari a VII MCS, mentre per Castiglione della Pescaia la I_{rif} è pari a VI MCS. Per entrambi i siti sono poi riportati i dati epicentrali degli eventi che contribuiscono all' I_{rif} (anno, mese, giorno, lat, long, M_w , I_0 , R distanza dell'epicentro dal sito in studio), con la stima delle probabilità associate.

A partire dalle informazioni contenute nelle tabelle è possibile determinare delle soglie di I_{MCS} (M_w)-distanza utili per valutare il pericolo di liquefazione nelle due zone.

Quindi per i due siti in studio:

- Pontremoli passa la condizione. Infatti $I_{rif} = VII$ MCS, gli eventi del 1481, 1545, 1834 e del 1878 hanno M_w e R che rientrano nei valori della relazione di Galli (2000)
- Castiglione della Pescaia non la supera. Infatti $I_{rif} = VI$ MCS e nessun evento ha una coppia M_w e R che rientri nella parametrizzazione della relazione di Galli (2000)

Tab. 6 - Dati riferiti al sito di Pontremoli.

Lat.	Lon.	Irif	Località
44.377	9.8822	7	Pontremoli

N CPTI08	Anno	Mese	Giorno	Lat epic.	Lon epic.	Mw	lmax	Dist (km)	Prob
10	1117	1	3	45.309	11.023	6.69	9.5	137	0.20
151	1438	6	11	44.844	10.239	5.57	8	59	0.01
190	1481	5	7	44.274	10.130	5.55	8	23	0.20
211	1501	6	5	44.519	10.844	5.98	9	78	0.05
259	1545	6	9	44.473	9.825	5.25	7.5	12	0.50
613	1767	1	21	44.132	10.123	5.35	7	33	0.03
829	1828	10	9	44.821	9.047	5.76	8	83	0.01
842	1831	9	11	44.752	10.544	5.54	7.5	67	0.01
853	1832	3	13	44.765	10.494	5.53	7.5	65	0.01
860	1834	2	14	44.432	9.851	5.83	9	7	1.00
879	1837	4	11	44.175	10.182	5.81	9	33	0.27
1088	1878	9	10	44.218	10.037	5.06	6.5	22	0.02
1429	1902	8	4	44.200	10.200	5.14	7	32	0.01
1803	1920	9	7	44.185	10.278	6.48	10	38	0.50
1812	1921	5	7	44.377	9.882	4.73	6	0	1.00
2039	1940	1	24	44.467	10.100	5.03	0	20	0.02

Tab. 7 - Dati riferiti al sito di Castiglione della Pescaia.

Lat.	Lon.	Irif	Località
42.762	10.88	6	Castiglione della Pescaia

N CPTI08	Anno	Mese	Giorno	Lat epic.	Lon epic.	Mw	lmax	Dist (km)	Prob
49	1276	5	22	42.721	12.091	5.57	8	99	0.02
54	1279	4	30	43.093	12.872	6.31	9	166	0.10
66	1298	12	1	42.575	12.902	6.2	9.5	167	0.05
82	1328	12	1	42.856	13.018	6.38	10	175	0.11
98	1352	12	25	43.469	12.127	6.44	9	128	0.41
119	1389	10	18	43.527	12.299	5.99	9	143	0.04
140	1414	8	7	43.271	11.118	5.61	7.5	60	0.16
165	1458	4	26	43.463	12.236	5.78	8.5	135	0.01
256	1542	6	13	44.006	11.385	5.94	9	144	0.03
260	1545	11	16	43.067	11.643	5.35	7.5	71	0.02
274	1558	4	13	43.457	11.564	5.82	8.5	95	0.09
302	1584	9	10	43.862	11.992	5.8	9	152	0.01
315	1599	11	6	42.724	13.021	5.99	9	175	0.01
385	1661	3	22	44.021	11.898	6.09	9	162	0.03
442	1695	6	11	42.613	12.11	5.67	8.5	102	0.03
462	1703	1	14	42.708	13.071	6.74	11	179	0.39
510	1724	12	11	43.206	11.008	5.14	7	50	0.02
552	1741	4	24	43.425	13.005	6.21	9	188	0.03
569	1747	4	17	43.204	12.769	5.94	9	161	0.01
578	1751	7	27	43.225	12.739	6.25	10	160	0.09
620	1768	10	19	43.939	11.901	5.87	9	155	0.01
671	1781	6	3	43.597	12.512	6.42	10	162	0.18
718	1789	9	30	43.51	12.217	5.84	9	137	0.02
744	1799	7	28	43.193	13.151	6.13	9	191	0.01
847	1832	1	13	42.98	12.605	6.33	10	143	0.21
914	1846	8	14	43.47	10.562	5.91	9	83	0.22
1031	1871	7	29	43.301	10.619	5.16	7.5	64	0.01
1574	1909	8	25	43.133	11.2	5.17	0	49	0.03
1672	1914	10	27	43.911	10.598	5.76	7	130	0.01
1742	1917	4	26	43.467	12.129	5.89	9.5	128	0.04
1769	1918	11	10	43.917	11.933	5.88	9	154	0.01
1780	1919	9	10	42.793	11.788	5.32	7.5	74	0.01
1803	1920	9	7	44.185	10.278	6.48	10	166	0.21
2914	1997	9	26	43.014	12.853	6.01	8.5	163	0.02

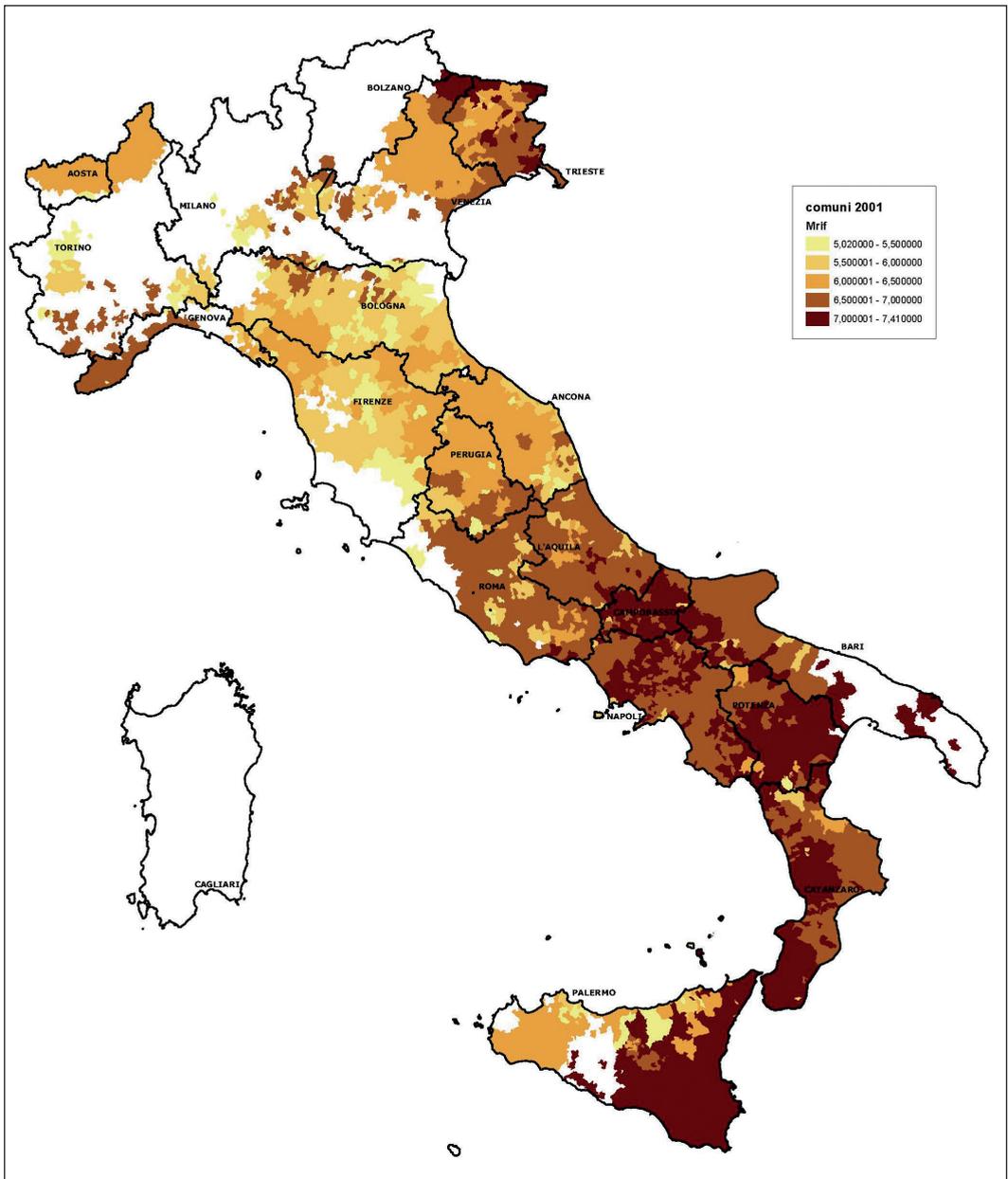


Fig. 1 – Mappa del territorio nazionale dei comuni per i quali sono verificate le soglie 1 e 2. Per dettagli vedi il testo.

E' possibile, infine, associare una M_w all'evento rappresentativo della pericolosità per liquefazione pari a quella dell'evento per il quale è maggiore la probabilità che sia stato effettivamente risentito al sito con intensità almeno pari a I_{rif} , scegliendo in caso di parità quello più intenso. Nel caso di Pontremoli, l'evento del 1834 ($M_w=5.83$) ha la maggiore probabilità di accadimento. La scelta dell'evento (e quindi della M_w) ricadrà su quest'ultimo.

In Fig. 1 è riportata la mappa del territorio nazionale dei Comuni per i quali sono verificate le soglie 1 e 2 precedentemente definite e sussiste, dunque, la condizione di suscettibilità alla liquefazione rispetto alla M_w e alla distanza epicentrale dell'evento sismico.

Bibliografia

- AGI, Associazione Geotecnica Italiana; 2005: *Linea guida. Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica*. Patron Editore, Bologna.
- Albarelo D.; 2012: *Design earthquake from site-oriented macroseismic hazard estimates*. Boll. Geofis. Teor. Appl., Vol. 53, n. 1, pp. 7-17, DOI 10.4430/bgta 0035
- Ambraseys N.N.; 1988: *Engineering Seismology*. Earthq. Eng. Struct. Dyn., 17, 1-105
- D'Amico V., Albarelo D.; 2008: *SASHA: a computer program to assess seismic hazard from intensity data*. Seism. Res. Lett., 79, 5, 663-671
- Barani S., Spallarossa D., Bazzurro P.; 2009: *Disaggregation of probabilistic ground-motion hazard in Italy*. Bull. Seismol. Soc. Am., 99, 2638–2661, doi: 10.1785/0120080348
- Galli P.; 2000: *New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction*. Tectonophysics 324 (2000) 169–187
- Guidoboni, E., Ferrari, G., Mariotti, D., Comastri, A., Tarabusi, G., Valensise, G.; 1997: *CFTI-Med 4.0, Catalogue of strong earthquakes in Italy 461 b.c.–1997 and Mediterranean area 760 b.c.–1500. An advanced laboratory of historical seismology*, <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.
- ICMS; 2008: *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e Province autonome; 3 voll. e 1 DVD.
- INGV; 2009: *Mappe di pericolosità sismica* (http://esse1-gis.mi.ingv.it/s1_en.php).
- NTC; 2008: *Norme Tecniche per le Costruzioni - DM 14 gennaio 2008*, Gazzetta Ufficiale, n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30. www.cslp.it, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- Rovida A., R. Camassi, P. Gasperini, M. Stucchi (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
- Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F., Chung, R. M.; 1984: *The Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations*. Earthquake Engineering Research Center Report No. UCB/EERC-84/15, University of California at Berkeley, October, 1984.
- Stucchi, M., R. Camassi, A. Rovida, M. Locati, E. Ercolani, C. Meletti, P. Migliavacca, F. Bernardini, R. Azzaro; 2007: *DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04*. Quad. Geofis. 49, 38 (in Italian), available at <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04>.