



GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA

33° Convegno Nazionale Bologna

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



***Dario Albarello
Università degli Studi di Siena***

Nel termine generico di liquefazione sono compresi diversi fenomeni (liquefazione in campo libero, mobilità ciclica o fluidificazione in funzione delle condizioni di carico statico presenti) tutti legati all'aumento delle **pressioni di poro** durante lo scuotimento sismico nei terreni saturi vicini alla superficie

La stima di pericolosità da liquefazione dipende da due diversi fattori:

I fattori **predisponenti** legati alle caratteristiche granulometriche dei terreni, al loro addensamento e alla quota della falda

I fattori **scatenanti** che sono legati alle caratteristiche dello **scuotimento sismico** (intensità, durata e contenuto spettrale) responsabile del fenomeno atteso

Laddove i primi sono determinabili attraverso prove in sito e dalla conoscenza dell'assetto stratigrafico e idrogeologico del primo sottosuolo, i secondi sono il risultato di valutazioni di specifiche analisi di pericolosità sismica

Nel termine generico di liquefazione sono compresi diversi fenomeni (liquefazione in campo libero, mobilità ciclica o fluidificazione in funzione delle condizioni di carico statico presenti) tutti legati all'aumento delle **pressioni di poro** durante lo scuotimento sismico nei terreni saturi vicini alla superficie

La stima di pericolosità da liquefazione dipende da due diversi fattori:

I fattori **predisponenti** legati alle caratteristiche granulometriche dei terreni, al loro addensamento e alla quota della falda

I fattori **scatenanti** che sono legati alle caratteristiche dello **scuotimento sismico** responsabile del fenomeno atteso

Laddove i primi sono determinabili attraverso prove in sito e dalla conoscenza dell'assetto stratigrafico e idrogeologico del primo sottosuolo, i secondi sono il risultato di valutazioni di specifiche analisi di pericolosità sismica

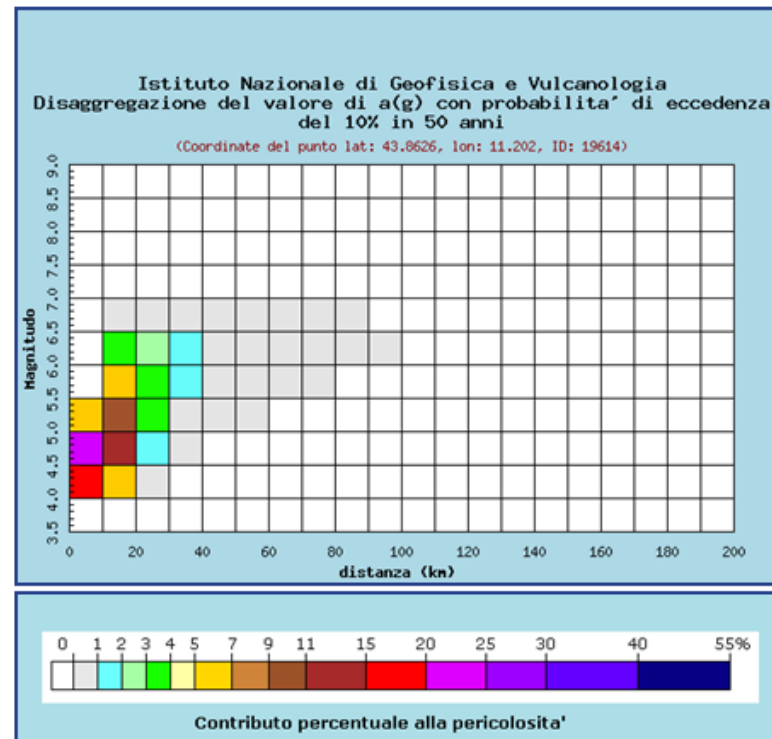
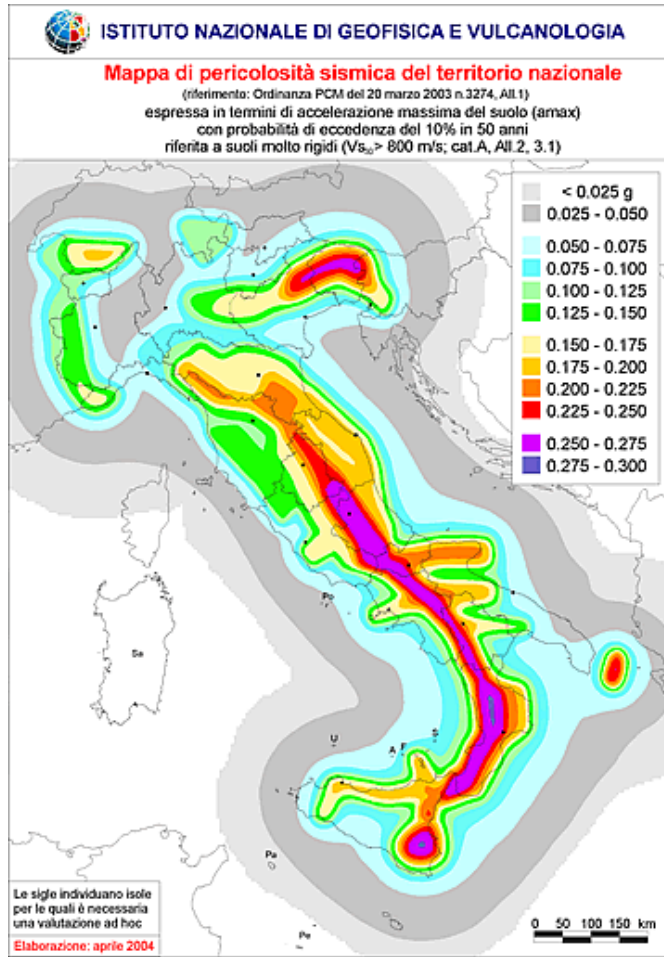
Riguardo all'evento sismico atteso come scatenante la liquefazione si pone l'attenzione sull'**intensità** dello scuotimento al sito e sulla **durata** di quest'ultimo

Entrambi dipendono dalle caratteristiche della sorgente (dimensione e geometria), dalla modalità di propagazione grande scala (attenuazione e dispersione) e a piccola scala (effetti stratigrafici e morfologici)

In particolare, la **magnitudo** dell'evento atteso è considerata come indicativa della durata dello scuotimento atteso, mentre un valore del moto del suolo **per lo stesso evento** (PGA, ecc.) al sito dove si valuta la pericolosità da liquefazione è considerato indicativo dell'**entità** dello scuotimento

Vengono poi definite relazioni di **tipo empirico** volte a identificare il potenziale di liquefazione in funzione di specifiche combinazioni delle condizioni scatenanti e predisponenti

Entrambi i parametri potrebbero essere determinati a partire dalle valutazioni di pericolosità sismica «standard» e dalle relative analisi di disaggregazione



Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.020	12.600	1.210

O a partire dalle stime della massima magnitudo attesa in rapporto alle dimensioni delle sorgenti sismogeniche vicine al sito



Entrambe le procedure presentano alcuni problemi. In particolare,

- Nella disaggregazione si perde il legame diretto fra la magnitudo del terremoto e lo scuotimento associato al sito (PGA)*
- Nell'uso delle sorgenti viene a mancare il ruolo del tempo di esposizione nella pericolosità*
- Nei due approcci gli effetti locali non vengono considerati (almeno non direttamente)*

In alternativa viene proposta una metodologia di stima di tipo statistico (Codice SASHA2.5) 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

Rispetto agli approcci usuali (del tipo Cornell-McGuire), i risultati della metodologia proposta presentano due aspetti fondamentali:

- 1. mantengono un legame diretto con le osservazioni effettivamente utilizzate per la stima di pericolosità, 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;*
- 2. legano strettamente i valori della M_w e dello scuotimento in 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.*

La metodologia prevede 3 fasi:

1. *Stima di pericolosità a partire dalle storie sismiche di sito finalizzate alla stima dell'intensità di riferimento (I_{rif}) al sito (per esempio caratterizzata da una probabilità di eccedenza inferiore al 10% in 50 anni)*
2. *identificazione degli eventi sismici del passato che hanno interessato il sito di studio e hanno contribuito alla pericolosità sismica locale producendo effetti almeno pari a I_{rif} .*
3. *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).*

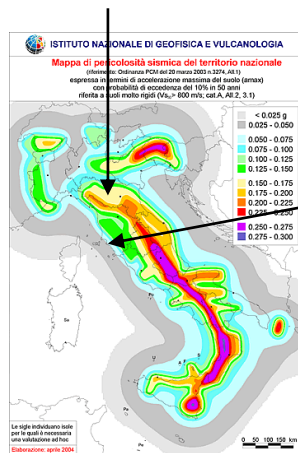
Due esempi di disaggregazione per due località toscane

Pontremoli I_{rif} VII MCS

Lat	Lon	I rif	Località							
44.3768	9.8822	7	Pontremoli							
N	Anno	Mese	Giorno	Lat_Epi	Lon_Epi	Mw	Imax	Dist	Prob	
10	1117	1	3	45.31	11.02	6.69	9.5	137	0.20	
151	1438	6	11	44.84	10.24	5.57	8	59	0.01	
190	1481	5	7	44.27	10.13	5.55	8	23	0.20	
211	1501	6	5	44.52	10.84	5.98	9	78	0.05	
259	1545	6	9	44.47	9.83	5.25	7.5	12	0.50	
613	1767	1	21	44.13	10.12	5.35	7	33	0.03	
829	1828	10	9	44.82	9.05	5.76	8	83	0.01	
842	1831	9	11	44.75	10.54	5.54	7.5	67	0.01	
853	1832	3	13	44.77	10.49	5.53	7.5	65	0.01	
860	1834	2	14	44.43	9.85	5.83	9	7	1.00	
879	1837	4	11	44.18	10.18	5.81	9	33	0.27	
1088	1878	9	10	44.22	10.04	5.06	6.5	22	0.02	
1429	1902	8	4	44.20	10.20	5.14	7	32	0.01	
1803	1920	9	7	44.19	10.28	6.48	10	38	0.50	
1812	1921	5	7	44.38	9.88	4.73	6	0	1.00	
2039	1940	1	24	44.47	10.10	5.03	0	20	0.02	

Castiglion della Pescaia I_{rif} VI MCS

Lat	Lon	I rif	Località							
42.7622	10.88	6	Castiglion della Pescaia							
N	Anno	Mese	Giorno	Lat_Epi	Lon_Epi	Mw	Imax	Dist	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	



Magnitudo di riferimento per la pericolosità da liquefazione

Albarellò



GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA

33° Convegno Nazionale Bologna

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.

In particolare, allo scopo vengono proposte due soglie di attenzione che costituiscono, se verificate entrambe, la condizione per la quale il sito in esame può essere 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 a livelli di intensità <VII MCS non sono statisticamente associati effetti di liquefazione*
- 2. la presenza nella lista degli eventi che contribuiscono a I_{rif} di almeno un evento con M_w e distanze R (km) che rientrino nei valori riportati nella tabella seguente, ricostruita secondo la relazione empirica di Galli (2000) con dati riferiti al solo territorio italiano:*

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

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

Due esempi di disaggregazione per due località toscane

Pontremoli I_{rif} VII MCS

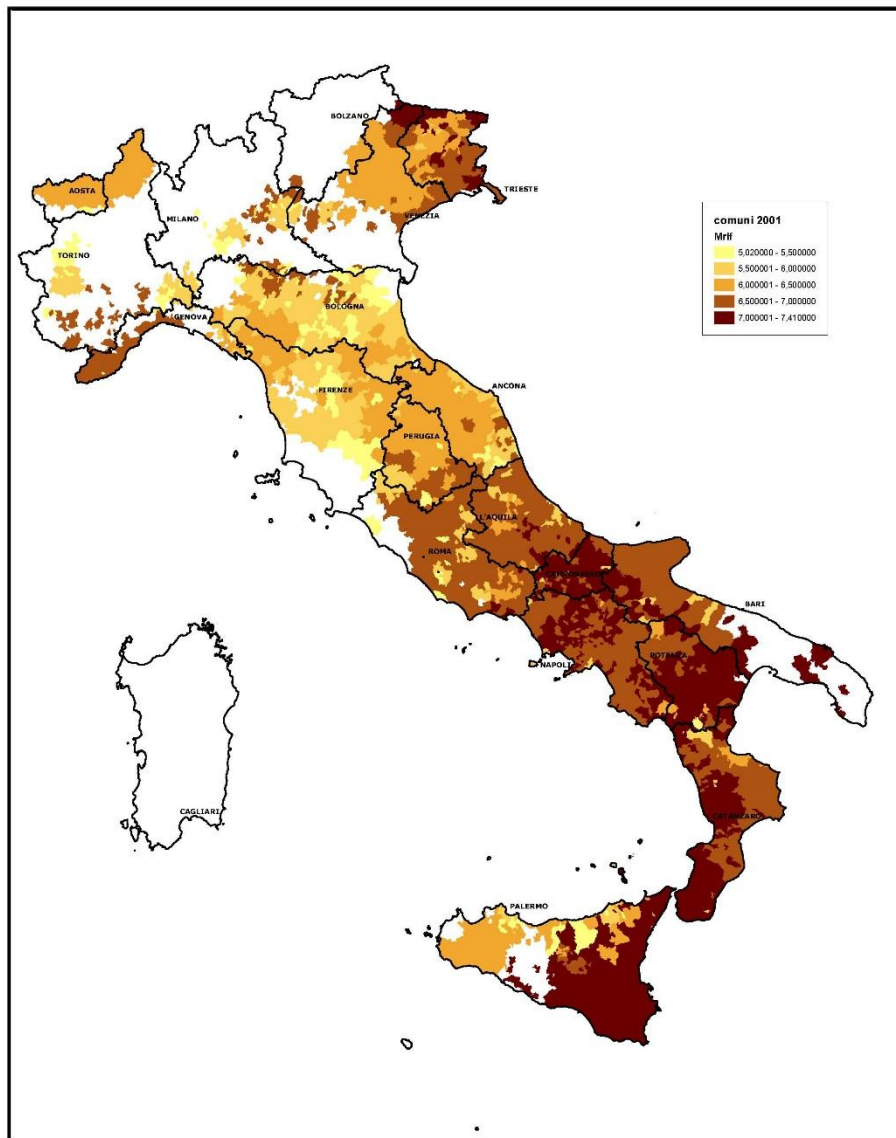
Lat	Lon	I_{rif}	Località								
44.3768	9.8822	7	Pontremoli								
N	Anno	Mese	Giorno	Lat_Epi	Lon_Epi	Mw	Imax	Dist	Prob		
10	1117	1	3	45.31	11.02	6.69	9.5	137	0.20		
151	1438	6	11	44.84	10.24	5.57	8	59	0.01		
190	1481	5	7	44.27	10.13	5.55	8	23	0.20		
211	1501	6	5	44.52	10.84	5.98	9	78	0.05		
259	1545	6	9	44.47	9.83	5.25	7.5	12	0.50		
613	1767	1	21	44.13	10.12	5.35	7	33	0.03		
829	1828	10	9	44.82	9.05	5.76	8	83	0.01		
842	1831	9	11	44.75	10.54	5.54	7.5	67	0.01		
853	1832	3	13	44.77	10.49	5.53	7.5	65	0.01		
860	1834	2	14	44.43	9.85	5.83	9	7	1.00		
879	1837	4	11	44.18	10.18	5.81	9	33	0.27		
1088	1878	9	10	44.22	10.04	5.06	6.5	22	0.02		
1429	1902	8	4	44.20	10.20	5.14	7	32	0.01		
1803	1920	9	7	44.19	10.28	6.48	10	38	0.50		
1812	1921	5	7	44.38	9.88	4.73	6	0	1.00		
2039	1940	1	24	44.47	10.10	5.03	0	20	0.02		

Nel caso di Pontremoli sono stati almeno 4 gli eventi potenzialmente in grado di produrre effetti di liquefazione con una probabilità massima associata all'evento del del 1834 con Mw=5.8 e distanza pari a 7 km

Nessun evento ha queste caratteristiche nel comune di Castiglion della Pescaia

Castiglion della Pescaia I_{rif} VI MCS

Lat	Lon	I_{rif}	Località								
42.7622	10.88	6	Castiglion della	Pescaia							
N	Anno	Mese	Giorno	Lat_Epi	Lon_Epi	Mw	Imax	Dist	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		



Utilizzando questa procedura è stato possibile

1. *Identificare quelle località capoluogo comunale per le quali sembrano esistere condizioni scatenanti tali da indurre effetti di liquefazione*
2. *Identificare per ciascuna località la magnitudo di riferimento da utilizzare per la definizione del potenziale di liquefazione con metodi semplificati*

Conclusioni

Nel tentativo di superare alcune criticità nella definizione delle condizioni scatenanti processi di liquefazione è stato adottato un approccio basato sull'analisi statistica delle storie sismiche locali

Questa procedura permette di sfruttare l'imponente banca dati relativa agli effetti locali dei terremoti del passato tenendo conto delle relative incertezze

L'esito di queste valutazioni è un valore di intensità macrosismica di riferimento (caratterizzata da una fissata probabilità di eccedenza per un tempo di esposizione dato) inclusiva degli eventuali effetti di sito

Da questa è possibile selezionare gli eventi che storicamente sono stati responsabili di quella pericolosità associando ad essi una magnitudo ed una distanza epicentrale: in questo modo le due grandezze risultano strettamente collegate

Utilizzando opportune regole di selezione di tipo empirico (distanza di cut-off e Intensità di riferimento) è stato possibile selezionare quelle località dove la valutazione delle condizioni predisponenti risulta necessaria