



AUTORITA' PORTUALE DELLA SPEZIA
Via del Molo, 1
19126 La Spezia SP

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

ing. Franco Pomo

A.T.I. IMPRESE

CAPOGRUPPO - MANDATARIA



40026 Imola (BO)
Via Molino Rosso, 3
www.cir-ambiente.it

Tel. +39 0542 6214 11
Fax +39 0542 6214 28
cirambiente@cirambiente.it

MANDANTE



19121 La Spezia
Salita Vanicella
www.carloagnese.com

Tel. +39 018 7770 030
Fax +39 018 7770 042
carloagnese@carloagnese.com

Dott. Ing. TOMMASO TASSI
n. 2671
Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Venezia

A.T.I. PROGETTISTI



30035 Mirano (VE)
Viale Belvedere, 8/10
www.fm-ingegneria.com

Tel. +39 041 5785 711
Fax +39 041 4355 933
barrierespezia@fm-ingegneria.com



31027 Spresiano (TV)
Via Tiepolo, 8
www.gtgeo.it

Tel. +39 0422 8870 31
Fax +39 0422 8895 89
info@gtgeo.it

PROGETTO

**RIQUALIFICAZIONE FUNZIONALE ARCHITETTONICA
DELL'INTERFACCIA PORTO CITTA' DELLA SPEZIA**

**INTERVENTO DI PROTEZIONE ANTIFONICA E RELATIVO
INSERIMENTO AMBIENTALE E PAESAGGISTICO LUNGO
VIALE SAN BARTOLOMEO**

EMISSIONE

PROGETTO ESECUTIVO

TITOLO

PARTE GENERALE
Relazione Sismica

REV.	DATA	FILE	OGGETTO	DIS.	APPR.
1					
2					
3					
4					
5					

ELABORATO N.

PE-G-005

DATA: 30/06/2017	SCALA:	FILE: - 1166_PE-G-005_0.doc	J.N. 1166
PROGETTO L. Masiero	DISEGNO M. Ceschi	VERIFICA L. Masiero	APPROVAZIONE T. Tassi

1	PREMESSA	3
2	UBICAZIONE AREA DI INTERVENTO	3
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3.1	LEGGI, DECRETI E CIRCOLARI	4
3.2	NORMATIVA EUROPEA ED INTERNAZIONALE	4
3.3	RACCOMANDAZIONI.....	4
3.4	NORMATIVA REGIONALE	4
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
5	TESTI DI RIFERIMENTO.....	5
6	INQUADRAMENTO SISMICO.....	6
6.1	RISCHIO SISMICO	6
6.2	CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA	9
6.3	MAPPE DI PERICOLOSITA' SISMICA	12
6.4	ZONAZIONE SISMOGENETICA	19
6.5	SISMICITA' STORICA DELL'AREA.....	21
6.5.1	CATALOGO CPTI04	21
6.5.2	CATALOGO DBMI04/DBMI11.....	23
6.5.3	CATALOGO NT4.1.1.....	27
6.5.4	BANCA DATI GNDT 1996	28
6.6	INTENSITA' MACROSISMICA E MAGNITUDO DI PROGETTO.....	31
6.7	CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO	32
6.8	CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	33
6.9	VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO.....	33
7	PARAMETRI SISMICI DI PROGETTO (NTC 2008 – CAP.3)	35
8	CONSIDERAZIONI SUL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE .	37
8.1	INTRODUZIONE	37
8.2	VERIFICA DI LIQUEFAZIONE	39
8.2.1	METODI SEMPLIFICATI	39
8.2.2	VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA DEL TERRENO AGLI SFORZI DI TAGLIO CICLICI: CORRELAZIONI BASATE SU PROVE IN SITO E IN LABORATORIO	40
8.2.3	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI DI TAGLIO INDOTTE	40
8.2.4	PROCEDURA DI CALCOLO	41
8.2.5	RISULTATI DELLE ANALISI	45
8.2.6	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.....	48
8.2.7	CONSIDERAZIONI IN MERITO AI RISULTATI OTTENUTI	48

1 PREMESSA

La presente relazione tecnica riporta l'inquadramento sismico dell'area oggetto di intervento nell'ambito della Progettazione Esecutiva per la riqualificazione funzionale architettonica dell'interfaccia Porto Città della Spezia; in particolare è previsto un intervento di protezione antifonica e relativo inserimento ambientale e paesaggistico lungo viale San Bartolomeo.

2 UBICAZIONE AREA DI INTERVENTO

L'area di intervento si trova nel comune di La Spezia. Le coordinate geografiche sono le seguenti:

Gradi sessagesimali Lat. 44°6'40"N Long. 9°50'30"E

Gradi decimali Lat. 44.111111N Long. 9.841666E



Figura 1 – Ortofoto dell'area di intervento

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I criteri di progettazione, dimensionamento e verifica sono conformi alle seguenti direttive:

3.1 LEGGI, DECRETI E CIRCOLARI

- [1] D.M. LL. PP. 11.3.1988 – “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- [2] Circ. Min. LL. PP. 24.9.88 – “Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- [3] Ordinanza P.C.M. del 20 marzo 2003 n°3274 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica”.
- [4] Ordinanza P.C.M. n°3431 03 maggio 2005 “Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica»”.
- [5] Ordinanza P.C.M. n°3519 28 aprile 2006 “Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse zone”.
- [6] D.M. 14 gennaio 2008 “Norme Tecniche per le costruzioni”.
- [7] D.M. 6 maggio 2008 “Integrazione al decreto 14 gennaio 2008 di approvazione delle nuove «Norme tecniche per le costruzioni» (Gazzetta ufficiale 02/07/2008 n. 153)”.
- [8] CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617 “Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27)”.

3.2 NORMATIVA EUROPEA ED INTERNAZIONALE

- [9] UNI EN 1997-1:2005 Parte 1: Regole generali.
- [10] UNI EN 1997-2:2007 Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- [11] UNI EN 1998-5:2005 Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

3.3 RACCOMANDAZIONI

- [12] Associazione Geotecnica Italiana (1977) “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”.
- [13] Associazione Geotecnica Italiana (1984) “Raccomandazioni sui pali di fondazione”.
- [14] Associazione Geotecnica Italiana (1994) “Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio”.
- [15] Associazione Geotecnica Italiana (2005) “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica”.
- [16] Raccomandazioni A.I.C.A.P. (2012) “Ancoraggi nei terreni e nelle rocce”.
- [17] Associazione Geotecnica Italiana (2012) “Jet-grouting – Raccomandazioni”.

3.4 NORMATIVA REGIONALE

- [18] Deliberazione della Giunta Regionale 17 marzo 2017, n. 216.

4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Per la redazione della presente relazione si è fatto riferimento ai documenti redatti nell'ambito della progettazione definitiva. Nello specifico:

- [19] Relazione illustrativa relativa alle prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono eseguite nell'ambito del progetto del corpo stradale ferroviario e del fabbricato tecnologico connessi con il nuovo fascio merci di La Spezia Marittima. Soiltest S.r.l. – Dicembre 2000.
- [20] Stratigrafie sondaggi novembre 2000.
- [21] Relazione geologico-tecnica eseguita per la realizzazione di due edifici in località La Spezia zona retroportuale - Ferrari-De Nobili S.r.l. – Giugno 2001.
- [22] Indagini integrative per la realizzazione di un nuovo fabbricato da realizzarsi in zona retroportuale a La Spezia - Ferrari-De Nobili S.r.l. – Novembre 2008.
- [23] Risultati delle indagini integrative condotte a giugno 2017 – GAIA servizi S.n.c.

5 TESTI DI RIFERIMENTO

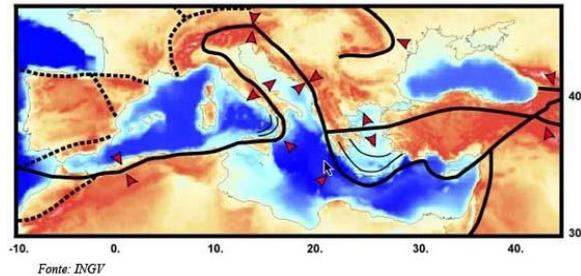
Si riportano di seguito i testi di riferimento:

- [24] C. Viggiani – Fondazioni, 1999, Hevelius.
- [25] J. E. Bowles – Fondazioni Progetto e Analisi, 1991 McGraw libri Italia.
- [26] P. Colombo, Francesco Colleselli – Elementi di Geotecnica, 1996 Zanichelli.
- [27] R. Lancellotta – Geotecnica, 2008 Zanichelli.
- [28] R. Lancellotta j. Calavera – Fondazioni, 1999 McGraw Hill.
- [29] R. Nova – Fondamenti di Meccanica delle Terre, 2002 McGraw Hill.
- [30] R. Sansoni – Pali e fondazioni su pali, 1988 Hoepli.
- [31] M. Favaretti A. Mazzucato – Prove Geotecniche di Laboratorio, 1987 Cleup Editore.
- [32] C. Cestelli Guidi – Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni, 1980 Hoepli.
- [33] F. Cestari – Prove geotecniche in sito, 1990-205 Geograph.
- [34] K. Terzaghi R.B. Peck – Soil Mechanics in Engineering Practice, 1967 Wiley.
- [35] Poulos H.G. Davis E.H. – Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali, 1987 Dario Flacovio.
- [36] Ezio Faccioli, Roberto Paolucci - Elementi di sismologia applicata all'ingegneria.

6 INQUADRAMENTO SISMICO

6.1 RISCHIO SISMICO

L'Italia è uno dei Paesi a maggiore rischio sismico del Mediterraneo, per la frequenza dei terremoti che hanno storicamente interessato il suo territorio e per l'intensità che alcuni di essi hanno raggiunto, determinando un impatto sociale ed economico rilevante. La sismicità della Penisola italiana è legata alla sua particolare posizione geografica, perché è situata nella zona di convergenza tra la zolla africana e quella eurasiatica ed è sottoposta a forti spinte compressive, che causano l'accavallamento dei blocchi di roccia.



In 2500 anni, l'Italia è stata interessata da più di 30.000 terremoti di media e forte intensità superiore al IV-V grado della scala Mercalli) e da circa 560 eventi sismici di intensità uguale o superiore all'VIII grado della scala Mercalli (in media uno ogni 4 anni e mezzo). Solo nel XX secolo, ben 7 terremoti hanno avuto una magnitudo uguale o superiore a 6.5 (con effetti classificabili tra il X e XI grado Mercalli). La sismicità più elevata si concentra nella parte centro-meridionale della penisola - lungo la dorsale appenninica (Val di Magra, Mugello, Val Tiberina, Val Nerina, Aquilano, Fucino, Valle del Liri, Beneventano, Irpinia) - in Calabria e Sicilia, ed in alcune aree settentrionali, tra le quali il Friuli, parte del Veneto e la Liguria occidentale.

Data	Area epicentrale	Intensità (MCS)	Magnitudo (Maw)	Vittime
8 settembre 1905	Calabria	XI	7.1	557
23 ottobre 1907	Calabria meridionale	VIII-IX	5.9	167
28 dicembre 1908	Reggio C. - Messina	XI	7.2	85.926
7 giugno 1910	Irpinia - Basilicata	VIII-IX	5.9	50 ca.
15 ottobre 1911	Area etnea	X	5.3	13
8 maggio 1914	Area etnea	IX	5.3	69
13 gennaio 1915	Marsica (Abruzzo)	XI	7.0	32.610
26 aprile 1917	Val Tiberina	IX	5.8	20 ca.
29 giugno 1919	Mugello	IX	6.2	100 ca.
7 settembre 1920	Garfagnana	IX-X	6.5	171
27 marzo 1928	Carnia (Friuli)	VIII-IX	5.7	11
23 luglio 1930	Alta Irpinia	X	6.7	1404
30 ottobre 1930	Senigallia	IX	5.9	18
26 settembre 1933	Maiella	VIII-IX	5.7	12
18 ottobre 1936	Veneto-Friuli	IX	5.9	19
21 agosto 1962	Irpinia	IX	6.2	17
15 gennaio 1968	Valle del Belice	X	6.1	296
6 maggio 1976	Friuli	IX-X	6.4	965
23 novembre 1980	Irpinia-Basilicata	X	6.9	2734
26 settembre 1997	Umbria-Marche	VIII-IX	6.1	11

Figura 2 – I maggiori terremoti italiani del secolo

I terremoti che hanno colpito la Penisola hanno causato danni economici consistenti, valutati per gli ultimi quaranta anni in circa 135 miliardi di euro, che sono stati impiegati per il ripristino e la ricostruzione post-evento. A ciò si devono aggiungere le conseguenze non traducibili in valore economico sul patrimonio storico, artistico, monumentale.

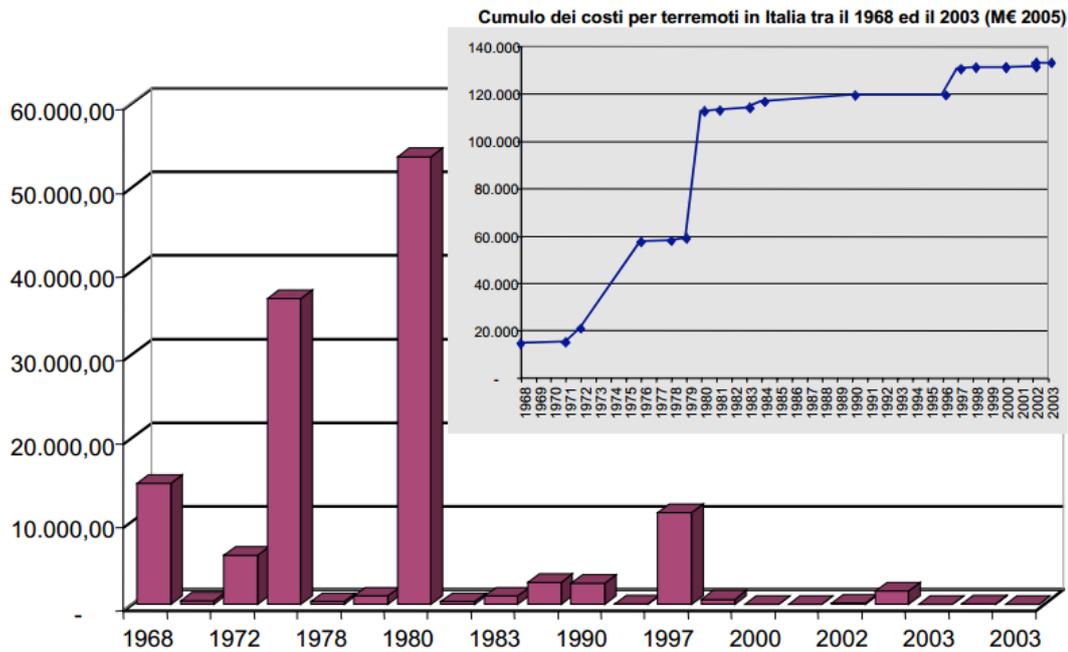


Figura 3 – Costo dei terremoti dal 1968 al 2003.

In Italia, il rapporto tra i danni prodotti dai terremoti e l'energia rilasciata nel corso degli eventi è molto più alto rispetto a quello che si verifica normalmente in altri Paesi ad elevata sismicità, quali la California o il Giappone. Ad esempio, il terremoto del 1997 in Umbria e nelle Marche ha prodotto un quadro di danneggiamento (senza tetto: 32.000; danno economico: circa 10 miliardi di Euro) confrontabile con quello della California del 1989 (14.5 miliardi di \$ USA), malgrado fosse caratterizzato da un'energia circa 30 volte inferiore. Ciò è dovuto principalmente all'elevata densità abitativa e alla notevole fragilità del nostro patrimonio edilizio.

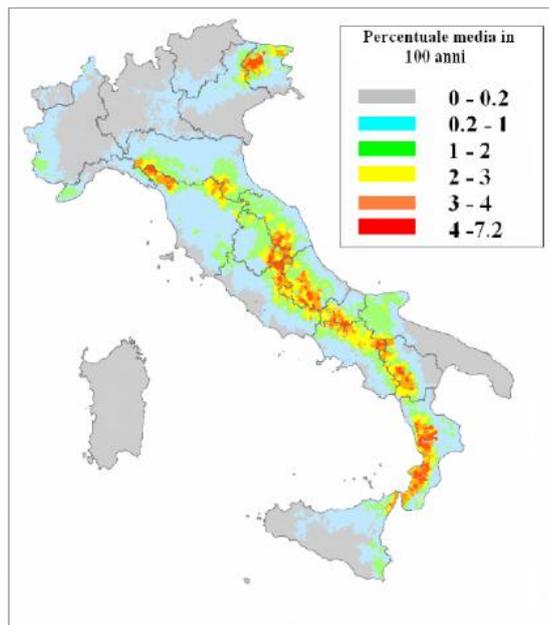
La sismicità (frequenza e forza con cui si manifestano i terremoti) è una caratteristica fisica del territorio, al pari del clima, dei rilievi montuosi e dei corsi d'acqua. Conoscendo la frequenza e l'energia (magnitudo) associate ai terremoti che caratterizzano un territorio ed attribuendo un valore di probabilità al verificarsi di un evento sismico di una certa magnitudo, in un certo intervallo di tempo, possiamo definire la sua pericolosità sismica. Un territorio avrà una pericolosità sismica tanto più elevata quanto più probabile sarà, a parità di intervallo di tempo considerato, il verificarsi di un terremoto di una certa magnitudo. Le conseguenze di un terremoto, tuttavia, non sono sempre gravi: molto dipende dalle caratteristiche di resistenza delle costruzioni alle azioni di una scossa sismica. Questa caratteristica, o meglio la predisposizione di una costruzione ad essere danneggiata da una scossa sismica, si definisce vulnerabilità. Quanto più un edificio è vulnerabile (per tipologia, progettazione inadeguata, scadente qualità dei materiali e

Data	Paese	Morti	Magnitudo
31/05/1970	Peru	66.000	7,8
09/02/1971	California, S.Fernando	65	6,5
23/12/1972	Nicaragua, Managua	5.000	6,2
04/02/1976	Guatemala	22.000	7,9
06/05/1976	Italy, Friuli	965	6,4
27/07/1976	Cina, Tangshan	250.000	7,6
04/03/1977	Romania, Vrancea	2.000	7,2
10/10/1980	Algeria, El Asnam	3.500	7,7
23/11/1980	Italy, Irpinia	2.734	6,9
11/06/1981	Southern Iran	3.000	6,9
13/12/1982	Yemen	2.800	6,0
19/09/1985	Mexico, Michoacan	9.500	7,9
07/12/1988	Turkey	25.000	7,0
17/10/1989	California, Loma Prieta	62	7,1
20/06/1990	Iran	50.000	7,7
17/01/1994	California, Northridge	57	6,7
17/01/1995	Japan, Kobe	5.466	7,2
26/09/1997	Umbria-Marche	11	5,8
17/08/1999	Turkey, Izmit	17.000	7,4
20/09/1999	Taiwan	2295	7,6
26/01/2001	India	20.000	7,6
21/05/2003	Algeria	2250	6,7
26/12/2003	Iran, Bam	25.000	6,6
23/10/2004	Japan, Niigata	36	6,8
26/12/2004	Sumatra	290.000	9,0
15/08/2007	Perù, Pisco	500	8,0
12/05/2008	China, Wenchuan	Oltre 70.000	8,0

modalità di costruzione, scarsa manutenzione), tanto maggiori saranno le conseguenze che ci si deve aspettare in seguito alle oscillazioni cui la struttura sarà sottoposta. Infine, la maggiore o minore presenza di beni a rischio e, dunque, la conseguente possibilità di subire un danno (economico, in vite umane, ai beni culturali, ecc.), viene definita esposizione (di vite umane, beni economici, beni culturali). Il rischio sismico è determinato da una combinazione della pericolosità, della vulnerabilità e dell'esposizione ed è la misura dei danni che, in base al tipo di sismicità, di resistenza delle costruzioni e di antropizzazione (natura, qualità e quantità dei beni esposti), ci si può attendere in un dato intervallo di tempo. In Italia, possiamo attribuire alla pericolosità sismica un livello medio-alto, per la frequenza e l'intensità dei fenomeni che si susseguono. La Penisola italiana, però, rispetto ad altri Paesi, come la California o il Giappone, nei quali la pericolosità è anche maggiore, ha una vulnerabilità molto elevata, per la notevole fragilità del suo patrimonio edilizio, nonché del sistema infrastrutturale, industriale, produttivo e delle reti dei servizi. Il terzo fattore, l'esposizione, si attesta su valori altissimi, in considerazione dell'alta densità abitativa e della presenza di un patrimonio storico, artistico e monumentale unico al mondo. In questo senso è significativo l'evento del 1997 in Umbria e Marche, che ha fortemente danneggiato circa 600 chiese e, emblematicamente, la Basilica di S. Francesco d'Assisi. L'Italia è dunque un Paese ad elevato rischio sismico, inteso come perdite attese a seguito di un terremoto, in termini di vittime, danni alle costruzioni e conseguenti costi diretti e indiretti.

Probabilità di crolli

Mappa della probabilità di crolli per comune espressa in percentuale media in 100 anni (dati sulle abitazioni del censimento 2001). I valori riportati nella figura rappresentano la percentuale di edifici soggetti a possibili lesioni o parziali crolli a causa di eventi sismici.



Fonte: Dipartimento della Protezione Civile - www.protezionecivile.it

6.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA

Il panorama legislativo in materia sismica è stato profondamente trasformato dalle recenti normative nazionali ovvero dall'OPCM n°3274/2003 che è entrata in vigore dal 25 ottobre 2005, data coincidente con la pubblicazione della prima stesura delle norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 settembre 2005) e dalla successiva OPCM n°3519/2006. La riclassificazione sismica del territorio nazionale prevede che tutto il territorio sia classificato sismico sulla base della Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi. In relazione alla pericolosità sismica, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone con livelli decrescenti di pericolosità in funzione a quattro differenti valori di accelerazione orizzontale massima al suolo a_{g475} , ossia quella riferita al 50esimo percentile, ad una vita di riferimento di 50 anni e ad una probabilità di superamento del 10% riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s.

Zona sismica	Fenomeni riscontrati	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni
1	Zona con pericolosità sismica alta. Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$a_{g475} \geq 0,25g$
2	Zona con pericolosità sismica media, dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0,15 \leq a_{g475} < 0,25g$
3	Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 \leq a_{g475} < 0,15g$
4	Zona con pericolosità sismica molto bassa. E' la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse.	$a_{g475} < 0,05g$

Si riporta tabella di riepilogo con classificazione sismica dell'area oggetto di studio a partire dal 1984 fino al 2017.

Provincia	Comune	Coordinate geografiche	Codice Istat	Classificazione			
				Decreti fino al 1984	Proposta GdL 1998	O.P.C.M 3274/03	Aggiornamento al 2017
La Spezia	La Spezia	Latitudine: 44.111111° Longitudine: 9.841666°	11015	N.C.	3	3	3



Figura 4 - Classificazione sismica del territorio italiano (1984)

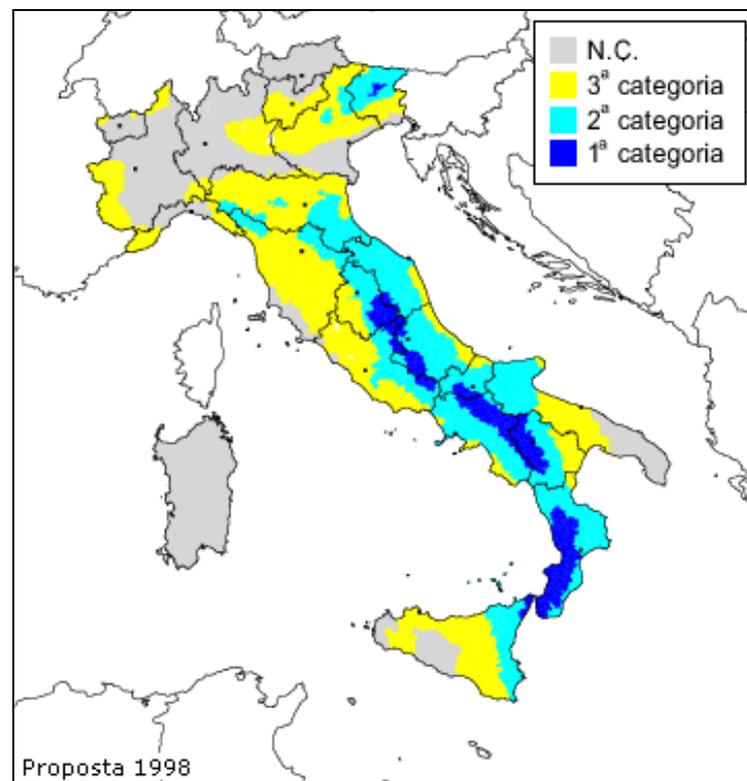


Figura 5 - Classificazione sismica del territorio italiano (Proposta GdL 1998).

**Riqualificazione funzionale architettonica dell'interfaccia Porto Città della Spezia
Intervento di protezione antifonica e relativo inserimento ambientale e
paesaggistico lungo viale San Bartolomeo**

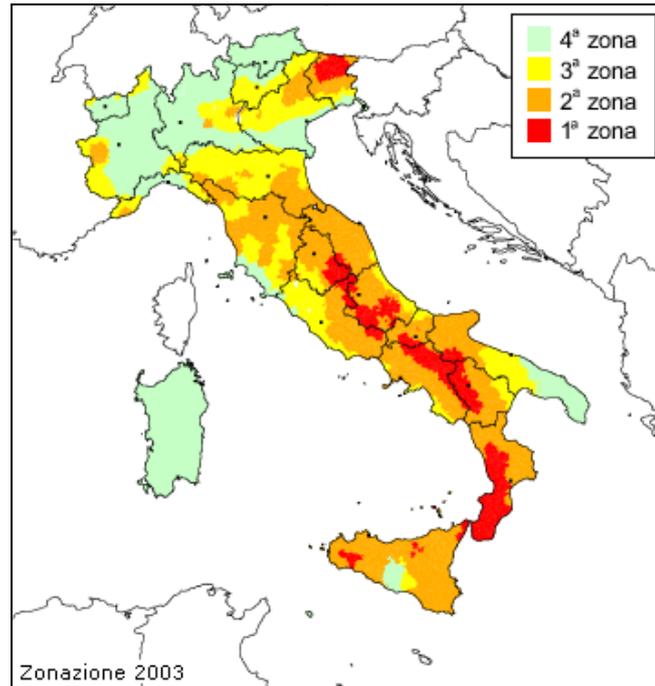


Figura 6 - Classificazione sismica del territorio italiano (OPCM 3274/03).

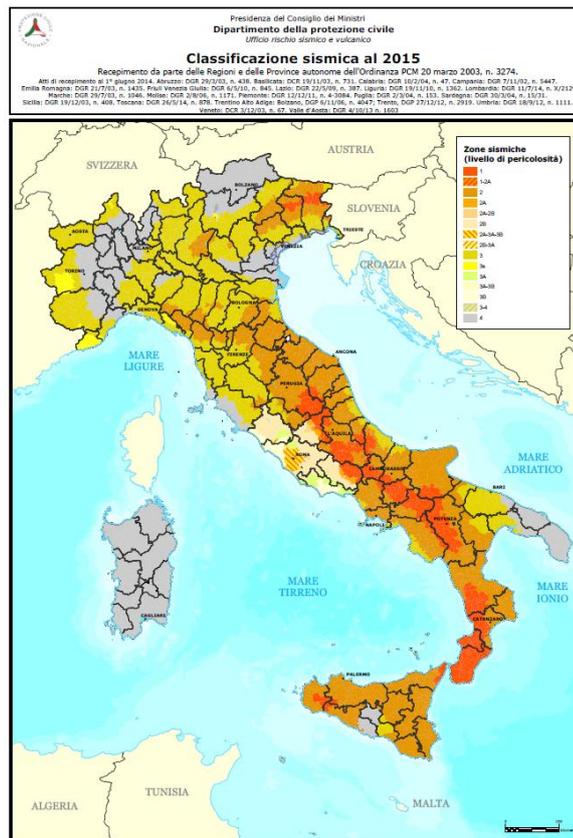


Figura 7 - Classificazione sismica del territorio italiano (2015).

6.3 MAPPE DI PERICOLOSITA' SISMICA

Dal sito INGV è possibile consultare la mappa di pericolosità sismica del territorio italiano (riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b) espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

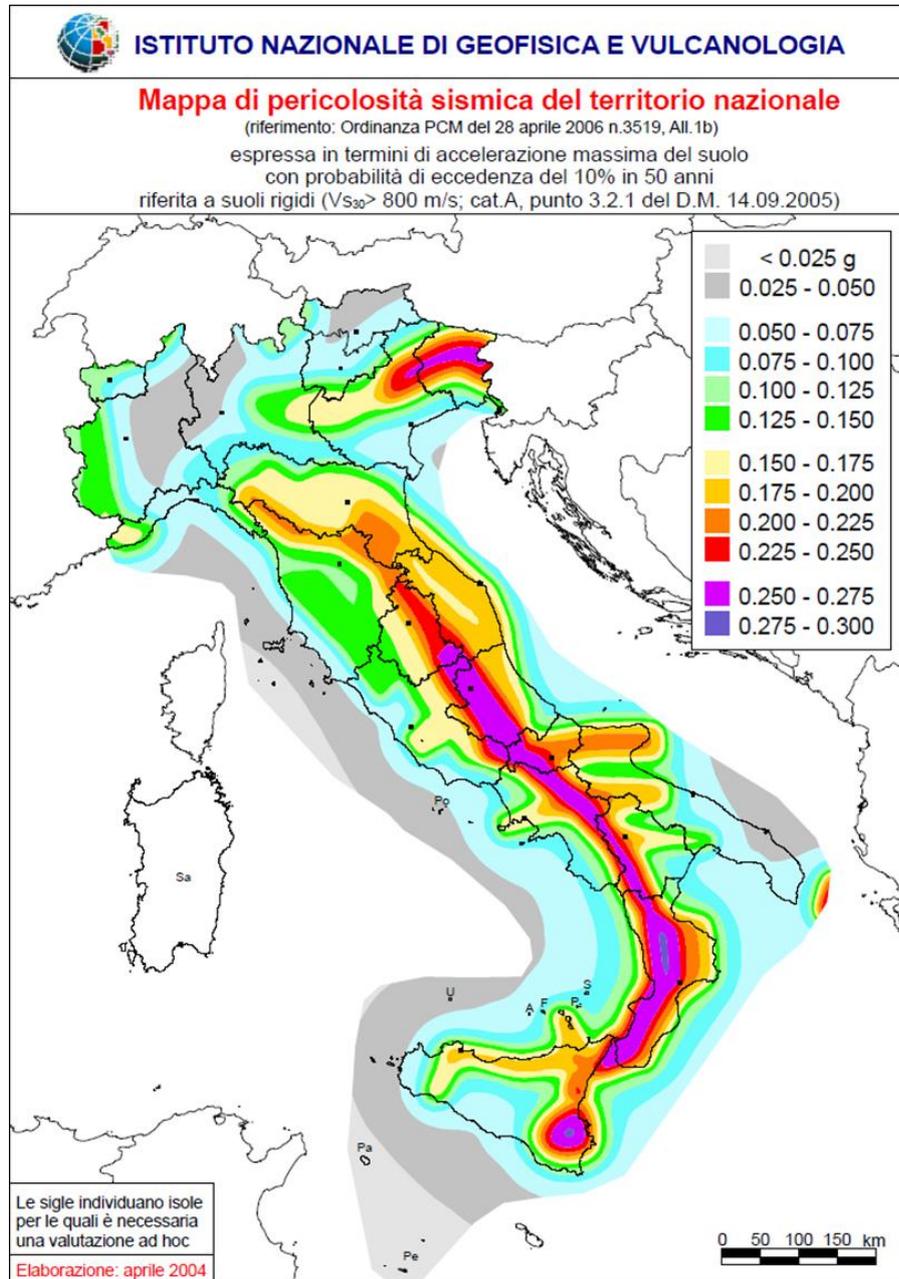


Figura 8 - Mappa cromatica pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale (Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b)

Dal sito http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ogs_int.html è possibile consultare le mappe di pericolosità sismiche del territorio italiano in termini di accelerazione orizzontale di picco ($T = 475$ anni) e in termini di intensità macrosismica (MCS scale).

Il gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT) è uno dei Gruppi Nazionali di ricerca scientifica di cui si avvale il Servizio Nazionale della Protezione Civile (Legge 24 febbraio 1992, n. 225, art. 17).

Di seguito si riportano le mappe di pericolosità sismica in Italia.

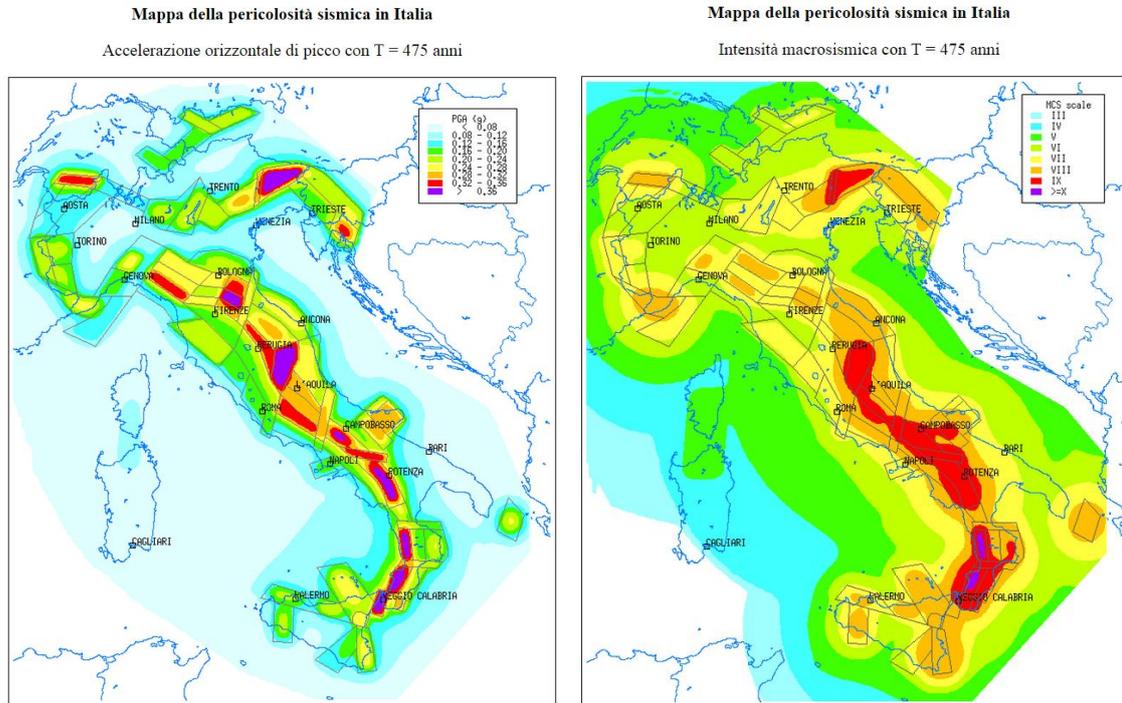


Figura 9 – Mappe di pericolosità sismica accelerazione orizzontale di picco e intensità macrosismica T=475 anni.

magnitudo Richter	energia joule	grado Mercalli
< 3.5	< 1.6 E+7	I
3.5	1.6 E+7	II
4.2	7.5 E+8	III
4.5	4 E+9	IV
4.8	2.1 E+10	V
5.4	5.7 E+11	VI
6.1	2.8 E+13	VII
6.5	2.5 E+14	VIII
6.9	2.3 E+15	IX
7.3	2.1 E+16	X
8.1	> 1.7 E+18	XI
> 8.1	.	XII

Figura 10 – Confronto scala Richter e Scala Mercalli

Dal sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it/> è inoltre possibile, per il comune interessato, consultare le mappe interattive di pericolosità sismica; di seguito si riportano degli estratti della mappa interattiva considerando una probabilità di eccedenza del 10%, del 5% e del 2% in 50 anni.

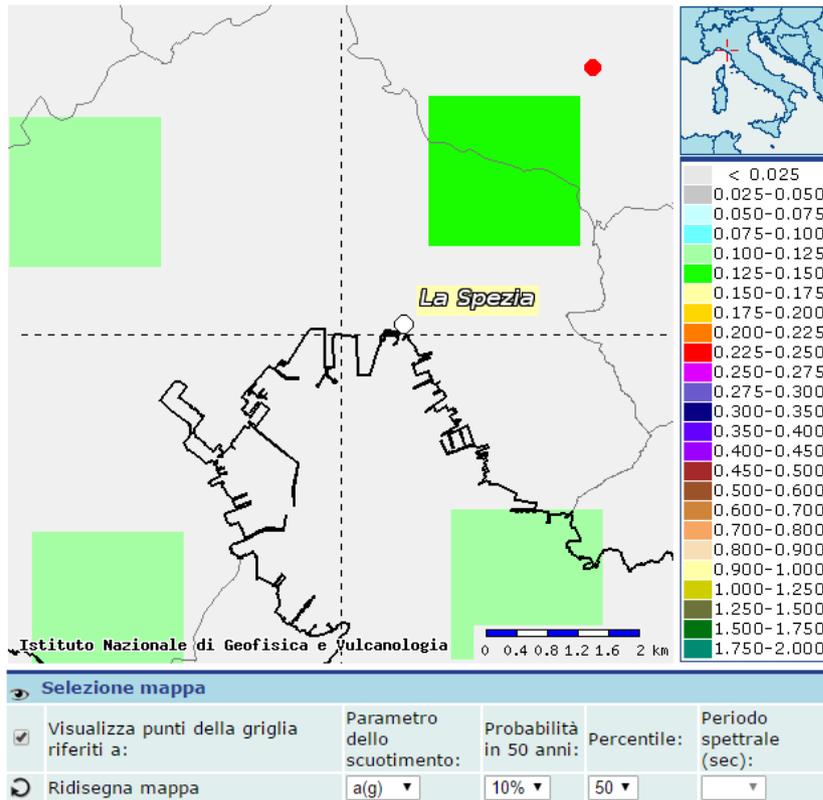


Figura 11 - Mappa interattiva (Pvr =10% ⇒ Tr = 474 anni)

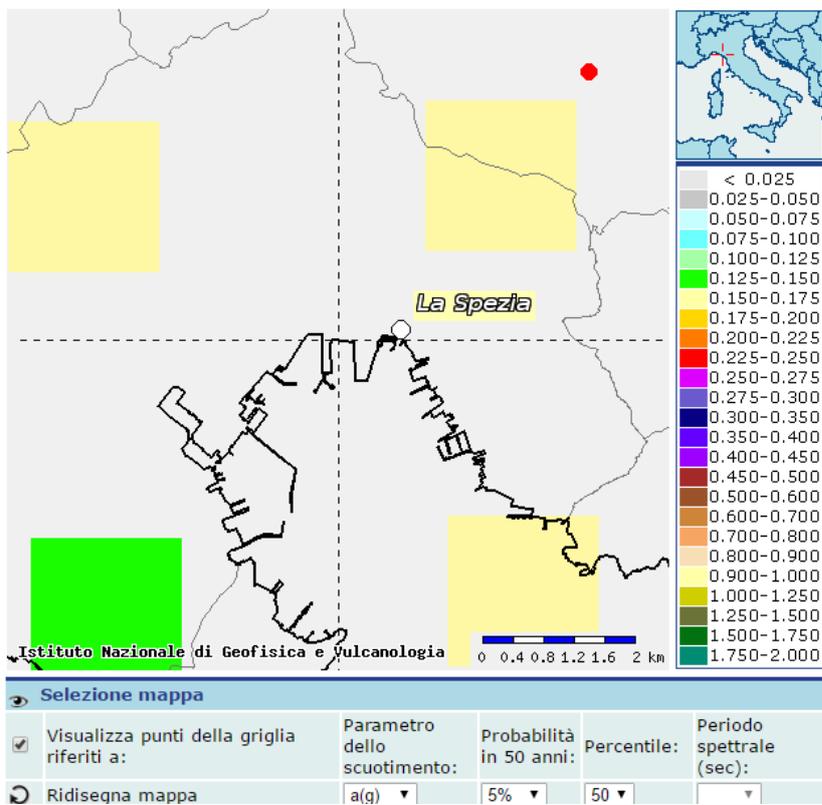


Figura 12 - Mappa interattiva (Pvr =5% ⇒ Tr = 974 anni)

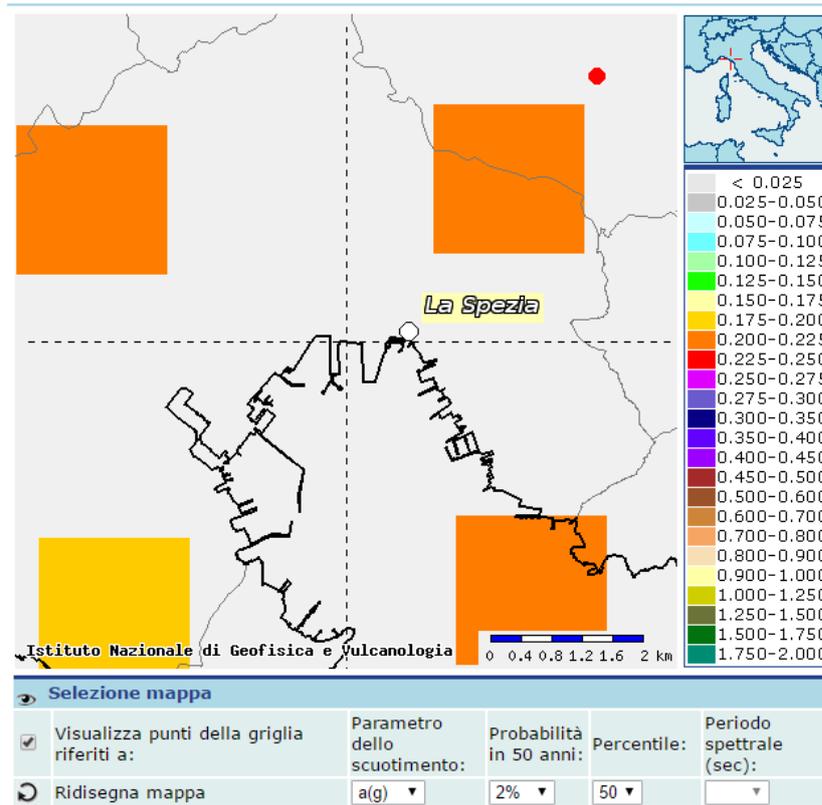


Figura 13 - Mappa interattiva (Pvr = 2% ⇒ Tr = 2475 anni)

Studi recenti per la determinazione della Magnitudo sono quelli di D. Spallarossa e S. Basani, anno 2007, relativi alla "Disaggregazione della pericolosità sismica in termini M-R-ε".

La disaggregazione è un processo che permette di valutare il contributo di differenti scenari M- R-ε alla pericolosità sismica. E' pertanto utile alla definizione del terremoto di scenario (scenario che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica) per studi di microzonazione, analisi di liquefazione, studi di stabilità dei versanti.

Le immagini seguenti riportano, per l'area in oggetto, la disaggregazione del valore di a(g) con i contributi alla pericolosità sismica determinati con probabilità di eccedenza rispettivamente per:

$$TR = VR / [-\ln(1-PVR)]$$

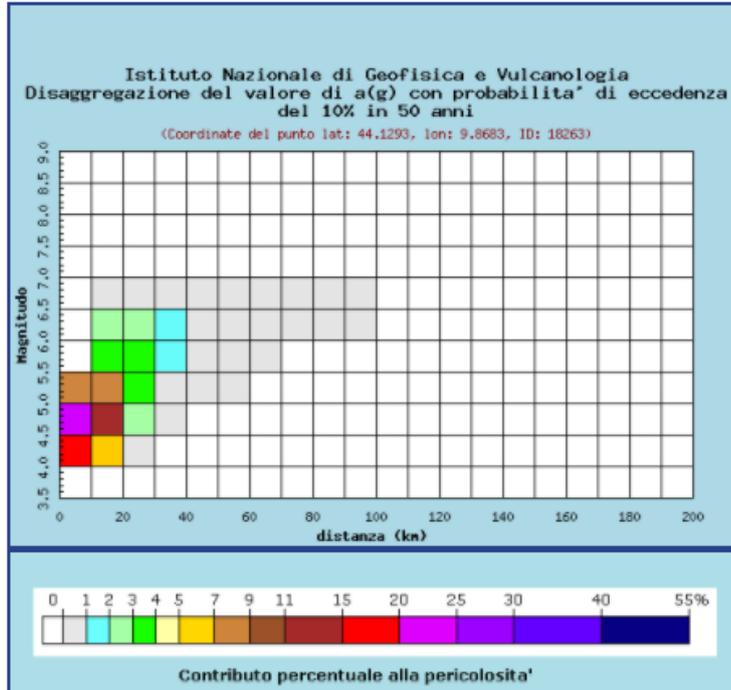
$$TR = 50 / [-\ln(1-0.02)] = 2475 \text{ anni (Tempo di ritorno)}$$

$$TR = 50 / [-\ln(1-0.05)] = 974 \text{ anni (Tempo di ritorno)}$$

$$TR = 50 / [-\ln(1-0.10)] = 474 \text{ anni (Tempo di ritorno)}$$

Si fa presente che il tempo di ritorno per un'opera caratterizzata da un periodo di riferimento VR di 50 anni in condizione SLV (probabilità di superamento del 10%) è 474 anni.

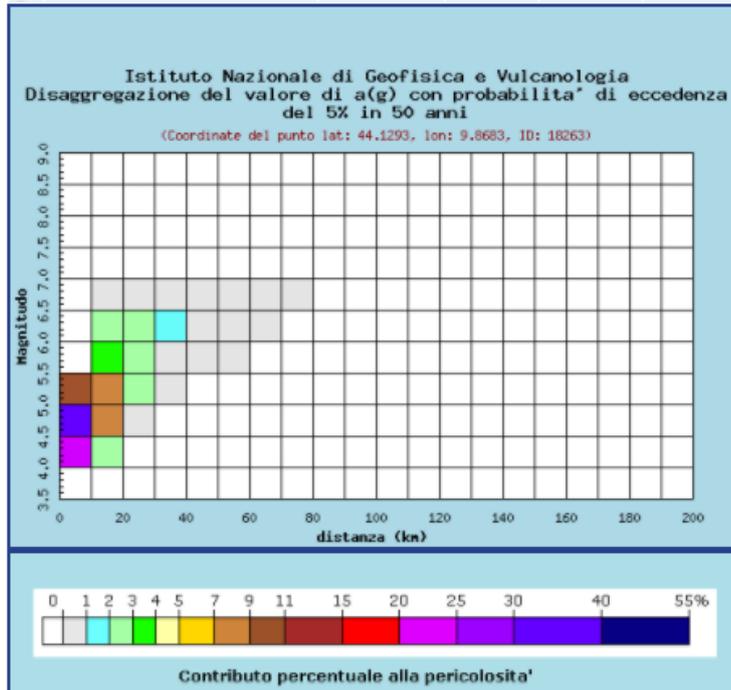
**Riqualificazione funzionale architettonica dell'interfaccia Porto Città della Spezia
Intervento di protezione antifonica e relativo inserimento ambientale e
paesaggistico lungo viale San Bartolomeo**



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.1293, lon: 9.8683, ID: 18263)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	19.600	24.300	7.390	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	5.080	11.200	7.860	3.450	2.030	0.263	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.234	2.250	3.750	3.430	2.650	0.404	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.051	0.881	1.530	1.590	0.283	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.088	0.532	0.684	0.139	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.004	0.112	0.165	0.039	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.032	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.960	12.500	1.100

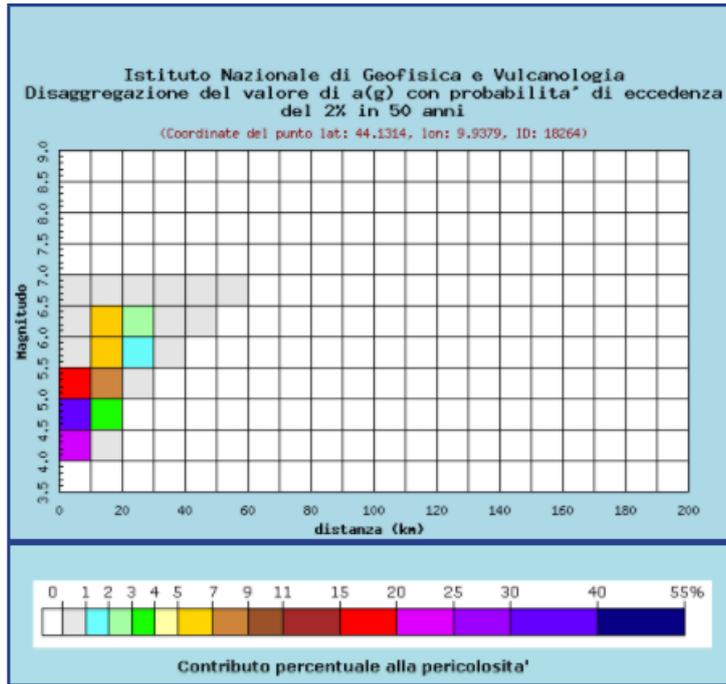
**Riqualificazione funzionale architettonica dell'interfaccia Porto Città della Spezia
Intervento di protezione antifonica e relativo inserimento ambientale e
paesaggistico lungo viale San Bartolomeo**



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 5% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.1293, lon: 9.8683, ID: 18263)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	22.700	30.900	10.800	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	2.600	7.790	7.100	3.660	2.580	0.373	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.358	2.040	2.790	2.700	0.465	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.096	0.812	1.280	0.265	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.103	0.426	0.109	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.062	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.950	9.760	1.240

**Riqualificazione funzionale architettonica dell'interfaccia Porto Città della Spezia
Intervento di protezione antifonica e relativo inserimento ambientale e
paesaggistico lungo viale San Bartolomeo**



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 2% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.1314, lon: 9.9379, ID: 18264)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	21.100	33.800	15.000	0.689	0.441	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.380	3.690	7.050	6.390	5.500	0.896	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.000	0.171	1.300	2.220	0.468	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037	0.535	0.171	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.020	7.620	1.510

6.4 ZONAZIONE SISMOGENETICA

La zonazione sismogenetica è uno degli strumenti utilizzati per la valutazione della pericolosità sismica del territorio italiano. La sismogenetica ZS.4 è stata tracciata nel 1996, utilizzata per la redazione della carta di pericolosità sismica nazionale dal Gruppo Nazionale Difesa Terremoti (1996) e dal Servizio Sismico Nazionale (2001) e rappresenta uno schema geodinamico e sismotettonico ancora valido nelle sue linee generali, sebbene le nuove conoscenze in riferimento al quadro cinematico generale e alla geometria delle sorgenti sismogenetiche e la necessità di una maggiore coerenza con il nuovo catalogo dei terremoti CPTI2, abbiano portato recentemente alla redazione di una nuova zonazione sismogenetica ZS.9 (2004). Le zone rappresenterebbero quindi degli embrioni di macrostrutture le cui orientazioni seguono i principali andamenti alpini o appenninici, con importanti strutture trasversali di svincolo. Di seguito si riportano gli estratti delle zonazioni sismogenetiche per rendere meglio evidente le modifiche apportate alle diverse zone che interessano l'area di studio.

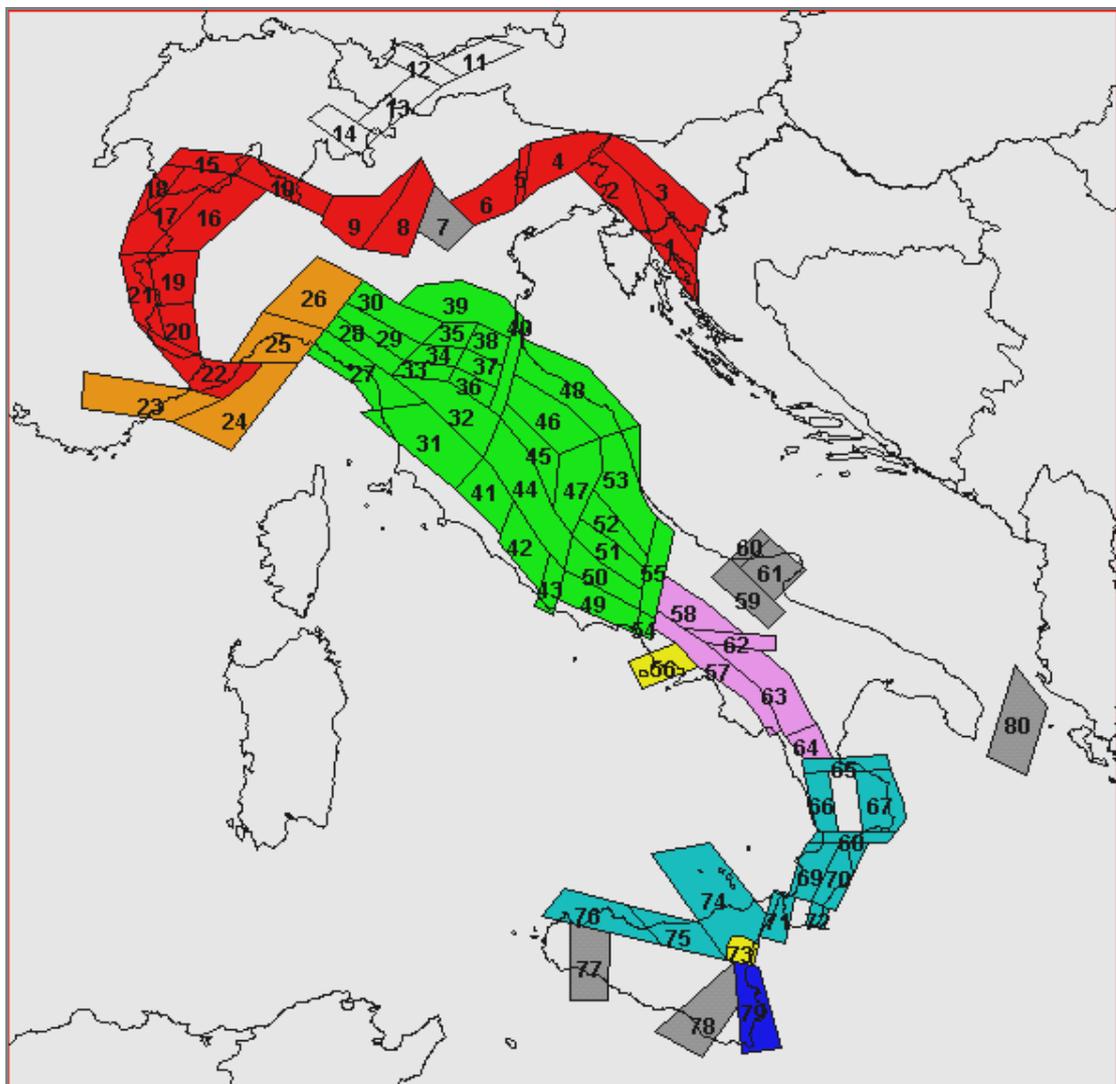


Figura 14 - Zonazione sismogenetica ZS.4 – 1996

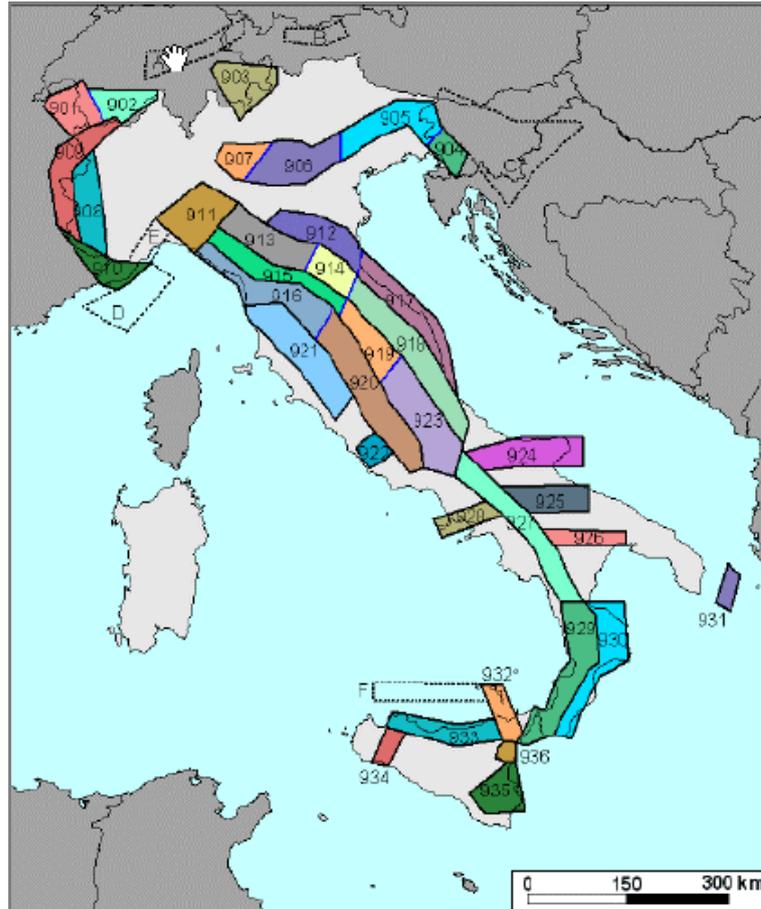


Figura 15 - Zonazione sismogenetica ZS.9 – 2004

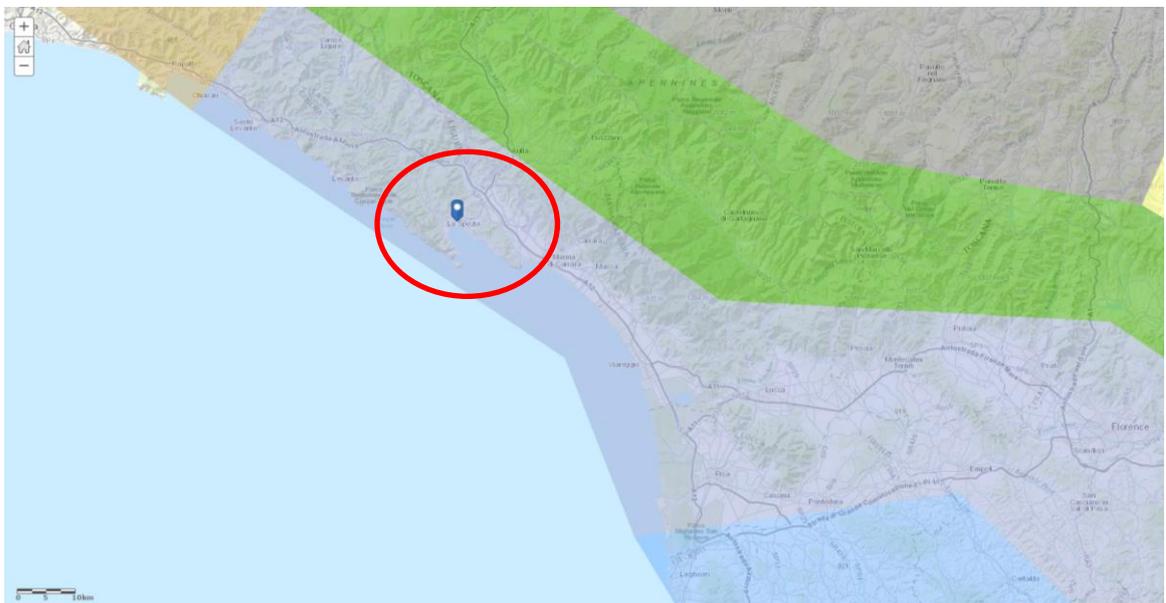


Figura 16 - Zonazione sismogenetica ZS.9 – 2004

<http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=8c5d55e0d3b34ea78346e802fd4f6d73>

Dalla mappa delle Zone Sismogenetiche ZS9, l'area di intervento risulta appartenere alla zona sismogenetica ZS 916 Versilia-Chianti.

6.5 SISMICITA' STORICA DELL'AREA

Per l'analisi della sismicità che in passato ha interessato l'area in oggetto si è fatto riferimento ai seguenti cataloghi:

- CPTI04 (maggio 2004), Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani;
- DBMI04, il database macrosismico utilizzato per la compilazione di CPTI04;
- NT4.1, catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno (aggiornamento marzo 1998).

6.5.1 CATALOGO CPTI04

Il catalogo CPTI04 (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04>) è stato redatto a partire dal 1999 da studi operati nel settore della sismologia storica e della macrosismica degli ultimi venti anni. Il catalogo contiene 2480 eventi di cui sono riportate le seguenti informazioni:

Formato del record nel file CPTI04.xls

• CPTI04formato.pdf - preleva il file formato del record in formato PDF (173 Kb)

Codice CPTI04	descrizione	contenuto	Codice CPTI99	descrizione
N	numero d'ordine del record		N	numero d'ordine del record
Tr	tipo di record	DI: parametri calcolati da dati di base macrosismici; CP: parametri adottati da cataloghi parametrici	Tr	tipo di record
Anno	tempo origine: anno		Anno	tempo origine: anno
Me	tempo origine: mese		Me	tempo origine: mese
Gi	tempo origine: giorno		Gi	tempo origine: giorno
Or	tempo origine: ora		Or	tempo origine: ora
Mi	tempo origine: minuto		Mi	tempo origine: minuto
Se	tempo origine: secondo		Se	tempo origine: secondo
AE	denominazione dell'area dei massimi effetti		AE	denominazione dell'area dei massimi effetti
Rt	codice dell'elaborato di riferimento	vedi tabella 1	Rt	codice dell'elaborato di riferimento
Np	numero dei dati puntuali di intensità disponibili		Np	numero dei dati puntuali di intensità disponibili
Imx	intensità massima x 10 (scala MCS)		Imx	intensità massima x 10 (scala MCS)
Io	intensità epicentrale x 10 (scala MCS)		Io	intensità epicentrale x 10 (scala MCS)
TI	codice di determinazione di Io	M: valore assegnato manualmente	TI	codice di determinazione di Io
Lat	localizzazione epicentrale: latitudine in gradi sessagesimali-decimali Datum: ED50		Lat	localizzazione epicentrale: latitudine in gradi sessagesimali-decimali Datum: ED50
Lon	localizzazione epicentrale: longitudine in gradi sessagesimali-decimali Datum: ED50		Lon	localizzazione epicentrale: longitudine in gradi sessagesimali-decimali Datum: ED50
TL	codice di localizzazione	A: localizzazione macrosismica automatica M: localizzazione macrosismica manuale S: localizzazione strumentale	TL	codice di localizzazione

--			Me	Magnitudo equivalente
--			De	Errore associato alla stima di Me
--			Mm	Magnitudo macrosismica (calibrata a Ms)
--			Dm	Errore associato alla stima di Mm
--			Tm	Codice di determinazione di Mm
--			Ms	magnitudo calcolata sulle onde di superficie
--			Ds	errore associato alla stima di Ms
--			Ts	codice di determinazione di Ms
Maw	Magnitudo momento		--	
Daw	Errore associato alla stima di Maw		--	
TW	codice di determinazione di Maw	O valore osservato	--	
Mas	Magnitudo calcolata sulle onde di superficie	fino al 1980 coincide con Ma di CPTI99	Ma	Magnitudo media (calibrata a Ms)
Das	Errore associato alla stima di Mas	fino al 1980 coincide con Da di CPTI99	Da	Errore associato alla stima di Ma
TS	Codice di determinazione delle magnitudo per la zona etnea	En: valore per il calcolo del quale è stata usata la relazione Io/Mm di Azzaro e Barbano (1997)	--	
Msp	Magnitudo da utilizzare in combinazione con la relazione di attenuazione di Sabetta e Pugliese (1996)	per Ms>5.5: Msp=Ms per Ms<=5.5: Msp=(Ms+0.584)/1.079	--	
Dsp	Errore associato alla stima di Msp		--	
ZS9	Zona sorgente di ZS9 cui l'evento è assegnato		--	
TZ	Codice di assegnazione alla zona sorgente	G: assegnazione geografica A: assegnazione ponderata cautelativa	--	
Ncft	Numero progressivo dei record nel catalogo CFTI2		Ncft	Numero progressivo dei record nel catalogo CFTI2
Nnt	Numero d'ordine dei record nel catalogo NT4.1.1		Nnt	Numero d'ordine dei record nel catalogo NT4.1.1
Ncpt	Numero d'ordine dei record nel catalogo CPTI99		--	

Di seguito si riportano i risultati della consultazione.

CPTI04 - Interrogazione per parametri

È possibile effettuare una ricerca tra i record del catalogo. Utilizzando l'immagine si possono stabilire la latitudine e la longitudine in caso di ricerca per area circolare o rettangolare.

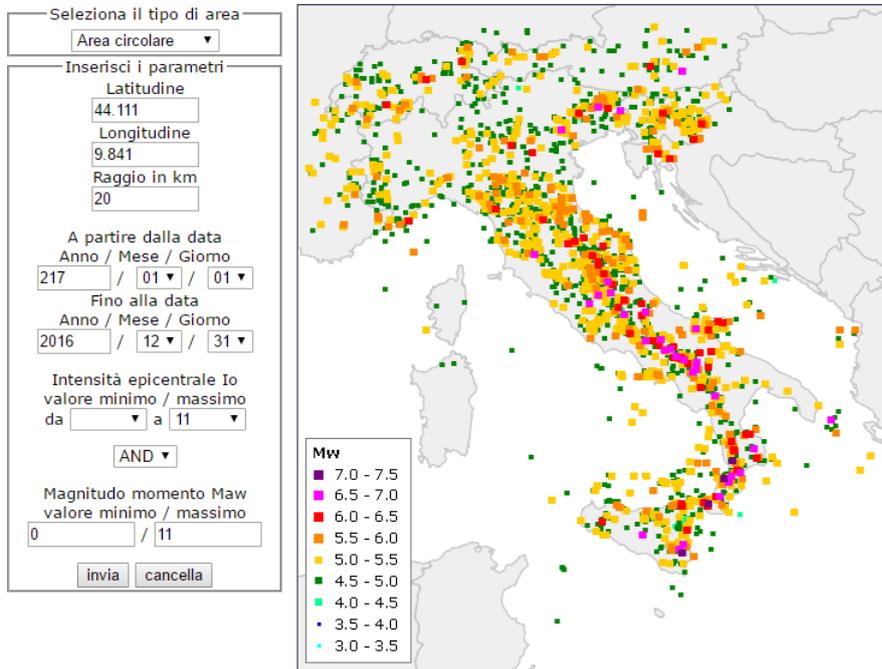


Figura 17 – Mappa terremoti territorio italiano (Mw – magnitudo momento)

CPTI04 - Risultato dell'interrogazione per parametri

Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:

Area circolare con centro C (44.111, 9.841) e raggio 20 km
a partire dal 217/01/01 fino al 2016/12/31 con valore Maw tra 0 e 11

N	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	Np	Imx	Io	II	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TH	Mas	Das	TS	Msp	Dsp	Z59	TZ	Ncft	Nnt	Ncpt
665	CP	1790	7	26	16	45		AULLA	POS85		65	65	44.167	10		5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	916	G		535	665	
1034	DI	1878	9	10	13	31		LUNIGIANA	DOM	12	65	65	44.218	10.037	A	4.98	0.21		4.52	0.31		4.73	0.29	915	G		554	1034	
2083	CP	1955	4	11	15	24		SARZANA	POS85		55	55	44.117	9.967		4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	916	G		540	2083	
2315	DI	1972	10	25	21	56		PASSO CISA	DOM	198	50	50	44.068	10.041	A	4.95	0.11		4.48	0.16		4.69	0.15	916	G		579	2315	
2502	DI	1995	10	10	6	54	22	LUNIGIANA	INGVAM	344	70	70	44.179	10.06	A	5.04	0.06		4.82	0.07		5.01	0.07	915	G				

Numero di record estratti: 5

Figura 18 – Risultati interrogazione CPTI04 (1995 Terremoto Lunigiana – Io=70, Maw = 5.04)

Il catalogo CTPI04 fornisce per il sito in esame e per un'area circolare di raggio 20 km n.5 eventi sismici. L'evento sismico caratterizzato da una maggiore intensità è quello avvenuto nel 1995 in Lunigiana (Io = 70 (MCS), Maw = 5.04).

6.5.2 CATALOGO DBMI04/DBMI11

Database macrosismico utilizzato nel 2004 per la compilazione del catalogo CPTI04 (Gruppo di Lavoro CPTI, 2004) è costituito da due porzioni:

- la prima, fino al 1980, è derivata integralmente dal database utilizzato per la compilazione del catalogo CPTI99 (Gruppo di Lavoro CPTI, 1999). In particolare contiene 697 studi derivati da DOM4.1 (DOM; Monachesi e Stucchi, 1997) e 271 studi derivati dal database CFTI nella sua versione 2 (Boschi et al. 1997).
- la seconda, dal 1981 al 2002, è stata compilata ex novo assemblando gli studi che sono stati selezionati per la compilazione della medesima finestra cronologica del nuovo catalogo. Questi studi derivano dal Bollettino Macrosismico ING (BMING; 29 terremoti), da DOM4.1 (6 terremoti), dalla versione 3 di CFTI (Boschi et al., 2000; 5 terremoti) e dall'Archivio Macrosismico INGV (INGVAM; 33 rilievi macrosismici diretti, di cui 20 contenuti nel Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei; Azzaro et al., 2000 e 2002).

Provenienza	fino al 1980		1980-2002		Totale	
	Numero osservazioni	Numero terremoti	Numero osservazioni	Numero terremoti	Numero osservazioni	Numero terremoti
DOM	19808	697	2470	6	22278	703
CFTI	22710	271	3046	5	25756	276
BMING			7873	29	7873	29
INGVAM			2239	33	2239	33
Totale	42518	968	15628	73	58146	1041

Numero di osservazioni e di terremoti in DBMI04 suddivisi per provenienza.

DBMI04 contiene 58146 osservazioni macrosismiche riferite a 14161 località. Queste osservazioni sono relative a 1041 terremoti dei 2550 presenti in CPTI04.

	Totale	Italia	Estero
Osservazioni	58146	55986	2160
Località	14161	12943	1218

Numero totale di osservazioni e località in DBMI04.

I parametri che costituiscono il formato sintetico del database sono riportati nella tabella seguente.

**Riqualificazione funzionale architettonica dell'interfaccia Porto Città della Spezia
Intervento di protezione antifonica e relativo inserimento ambientale e
paesaggistico lungo viale San Bartolomeo**

Parametro	Descrizione	Provenienza
NDBMI04	Identificativo del record	
NCPTI04	Identificativo del terremoto	CPTI04 (N)
An	Tempo origine: anno	CPTI04 (Anno)
Me	Tempo origine: mese	CPTI04
Gi	Tempo origine: giorno	CPTI04
Or	Tempo origine: ora	CPTI04
Mi	Tempo origine: minuti	CPTI04
Se	Tempo origine: secondi	CPTI04
AE	Denominazione dell'area dei maggiori effetti	CPTI04
Rt	Codice bibliografico dell'elaborato di riferimento (compatto)	CPTI04
Rt1	Codice bibliografico dell'elaborato di riferimento (esplicitato)	
Np	Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto	CPTI04
Np1	Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto in DBMI04	
Ix	Intensità massima (MCS)	CPTI04 (Imx)
Io	Intensità epicentrale (MCS)	CPTI04
LatEp	Latitudine dell'epicentro	CPTI04 (Lat)
LonEp	Longitudine dell'epicentro	CPTI04 (Lon)
Mw	Magnitudo momento	CPTI04 (Maw)
Daw	Errore associato alla stima di Mw	CPTI04
Loc	Denominazione della località	DIR04
Sc	Casi particolari	DIR04
LatIDP	Latitudine	DIR04
LonIDP	Longitudine	DIR04
Is	Intensità al sito (MCS)	
Cou	Codice della nazione di appartenenza della località	
Istat01	Codice ISTAT 2001 del comune di appartenenza della località	
Pr	Sigla della provincia di appartenenza della località	
LocOr	Denominazione della località secondo lo studio originale	Originale
LatOr	Latitudine della località secondo lo studio originale	Originale
LonOr	Longitudine della località secondo lo studio originale	Originale
IsOr	Intensità al sito secondo lo studio originale	Originale

N.B. i valori di Ix e Io, a differenza di CPTI04, sono riportati in originale ovvero non moltiplicati per 10 (es: 6-7 anziché 65, 7 anziché 70).

La figura seguente riporta la mappa di intensità macrosismiche (database DBMI11).

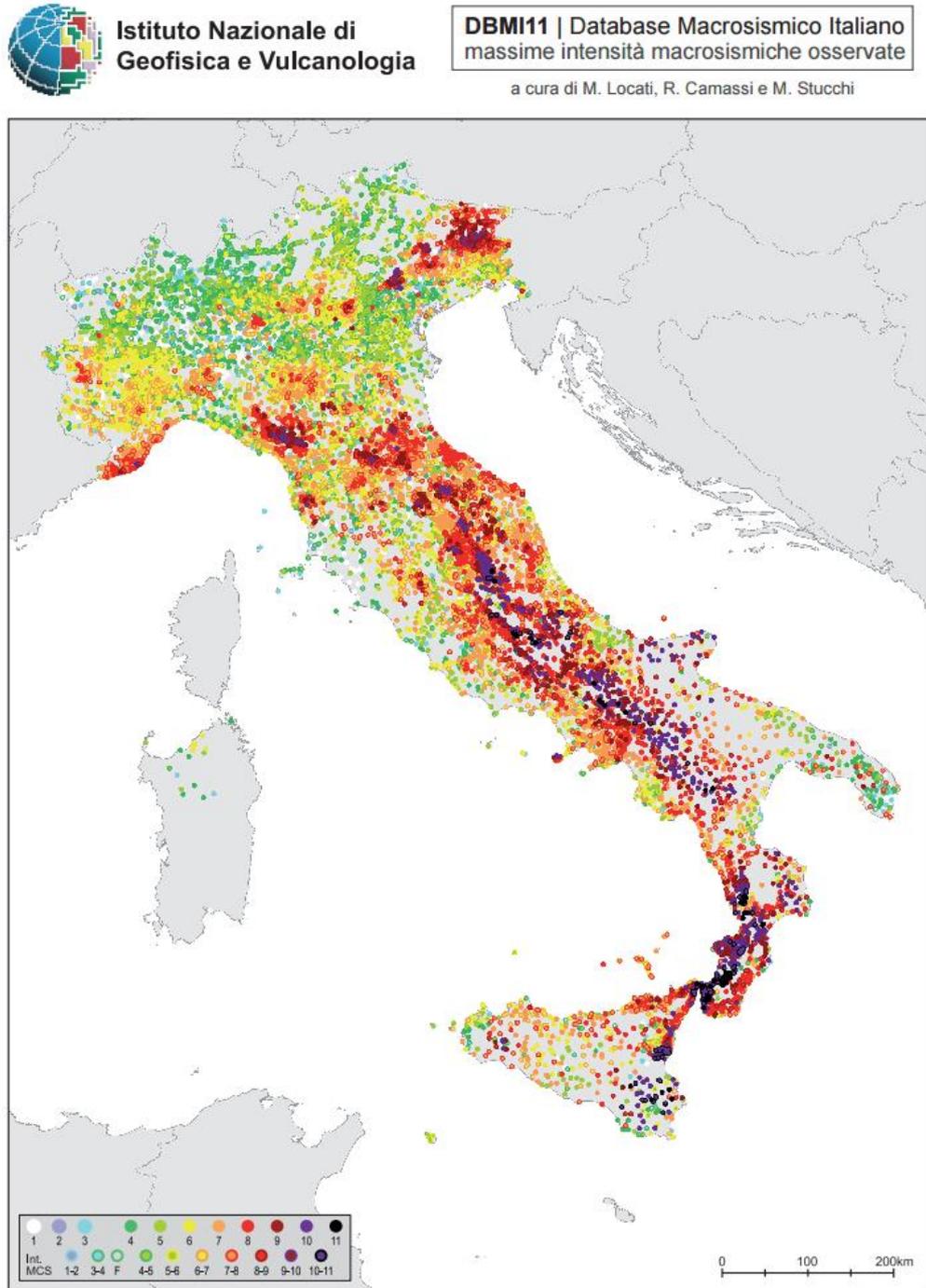


Figura 19 – Mappe di intensità macrosismiche (DBMI11)

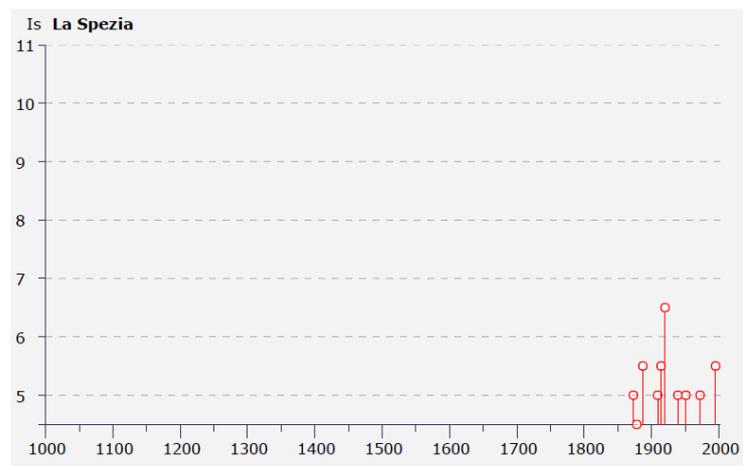
Grazie al sistema di consultazione on-line messo a disposizione dall'interfaccia web (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04>) è stato possibile estrarre e localizzare gli epicentri degli eventi registrati nell'area di studio. Di seguito si riportano i risultati della ricerca.

**Riqualificazione funzionale architettonica dell'interfaccia Porto Città della Spezia
Intervento di protezione antifonica e relativo inserimento ambientale e
paesaggistico lungo viale San Bartolomeo**

**Storia sismica di La Spezia
[44.105, 9.819]**

Numero di eventi: 34

Effetti					In occasione del terremoto del:				
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
NF	1857	02	01			PARMENSE	22	6-7	5.26
5	1873	09	17			LIGURIA ORIENTALE	68	6-7	5.52
4-5	1878	09	10	13	31	LUNIGIANA	12	6-7	4.98
5-6	1887	02	23	05	21	Liguria occidentale	1515	10	6.29
3	1889	03	08	02	47	BOLOGNA	32	6	4.83
NF	1889	12	08			APRICENA	122	7	5.55
3-4	1898	03	04			CALESTANO	260	7	5.07
4	1901	10	30	14	49	Salo'	191	8	5.67
4	1903	07	27	03	46	LUNIGIANA	79	7-8	5.15
3	1904	06	10	11	15	Frignano	96	7	5.08
3	1904	11	17	05	02	PISTOIESE	204	7	5.18
5	1909	01	13	00	45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53
3-4	1911	02	19	07	18	Romagna meridionale	185	7	5.38
F	1913	11	25	20	55	VAL DI TARO	73	5	4.85
5-6	1914	10	27	09	22	GARFAGNANA	618	7	5.79
F	1916	08	16	07	06	Alto Adriatico	256	8	5.92
6-7	1920	09	07	05	55	Garfagnana	638	10	6.48
2	1921	11	29	12	04	BORGO VAL DI TARO	10	5	4.81
3-4	1929	04	20	01	09	Bolognese	628	8	5.55
4	1934	06	13	09	06	BORGO VAL DI TARO	29	6	5.22
3	1937	12	10	18	04	APPENNINO MODENESE	28	7	5.42
5	1939	10	15	14	05	GARFAGNANA	62	7	5.20
2-3	1950	04	01			ROSIGNANO MARITT.	15	7	5.09
4	1951	05	15	22	54	LODIGIANO	126	6	5.24
5	1951	08	12	21	19	BARGA	21	5-6	4.74
4	1955	12	13	17	04	EQUI TERME	19	5	4.60
2	1957	08	27	11	54	ZOCCA	58	6	5.06
4	1963	07	19	05	45	MAR LIGURE	70	5	5.91
5	1972	10	25	21	56	PASSO CISA	198	5	4.95
4	1976	05	06	20		FRIULI	770	9-10	6.43
4	1983	11	09	16	29	Parmense	835	7	5.10
NF	1984	04	29	05	02	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.68
5-6	1995	10	10	06	54	LUNIGIANA	341	7	5.04
3-4	1996	10	15	09	55	CORREGGIO	135	7	5.44



Dalla consultazione si osserva che la massima intensità al sito Is (MCS) vale 6-7 in occasione del terremoto del 1920 in Garfagnana.

**Riqualificazione funzionale architettonica dell'interfaccia Porto Città della Spezia
Intervento di protezione antifonica e relativo inserimento ambientale e
paesaggistico lungo viale San Bartolomeo**

6.5.3 CATALOGO NT4.1.1

In ambito GNDT, ed in particolare nell'ambito delle iniziative per la valutazione della pericolosità sismica del territorio italiano, a partire dal 1990 si è posta la necessità di produrre cataloghi parametrici compilati secondo criteri orientati alla valutazione della pericolosità sismica (Stucchi, 1991) e che considerassero i risultati delle ricerche effettuate dopo la pubblicazione del catalogo PFG (Postpischl, 1985a). Il primo di questi cataloghi è stato prodotto nel giugno 1993 (Stucchi et al., 1993; GNDT WG, 1993; Stucchi e Zerga, 1994); successive versioni sono state prodotte e utilizzate nelle varie fasi del progetto.

La versione NT4.1 rappresenta una rifinitura del catalogo usato per la compilazione delle mappe di pericolosità sismica consegnate dal GNDT al Dipartimento della Protezione Civile nel giugno 1996 (Slejko, 1996). La versione NT4.1.1 (luglio 1997) contiene alcune correzioni ad errori evidenziati nella fase successiva alla pubblicazione e alcune modifiche provenienti da controlli effettuati sui dati di base.

Cod.	Descrizione del parametro	Esempio
N	Numero d'ordine del record	1587
Tr	Tipo di record	DB
Ye	Anno	1980
Mo	Mese	11
Da	Giorno	23
Ho	Ora	18
Mi	Minuto	34
Se	Secondo	--
Ax	Area epicentrale	IRPINIA-LUCANIA
Rt	Radice dei parametri, ovvero dataset da cui sono stati determinati i parametri	POA85
Os	Origine e status del dataset	5P
Nmo	Numero di osservazioni macrosismiche	1295
Nip	Numero di punti di intensità	1139
Ix	Intensità massima osservata	100
Io	Intensità epicentrale	95
Lat	Latitudine	40.800
Lon	Longitudine	15.267
Pa	Modalità di determinazione dei parametri	--
Sz	Zona sismogenetica cui appartiene l'evento	63
Ta	modalità di assegnazione dell'evento alla zona sismogenetica	G
Agm	Agenzia o studio che fornisce la magnitudo	MAA93
Ms	Magnitudo calcolata sulle onde superficiali	69
Td	Modalità di determinazione di Ms	O
Nio	Numero di osservazioni utilizzate per la determinazione di Ms	08
Sd	Deviazione standard del valore di Ms	15
Mm	Magnitudo macrosismica	64
H	Profondità	18

Di seguito si riportano le osservazioni sismiche consultate nel sito (<http://emidius.mi.ingv.it/NT/CONSNT.html>).

NT4.1, un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno versione NT4.1.1 luglio 1997, con aggiornamenti 1981-1992 (marzo 1998).

Zona sismogenetica 27

N	Tr	Ye	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Ax	Rt	Os	Nmo	Nip	Ix	Io	Lat	Lon	Pa	Sz	Ta	Agm	Ms	Td	Nio	Sd	Mm	H
532	DB	1168	01	10				PISA	CAA96	6U	1	1	55	55	43.717	10.400	27	G			42	M		31	42	
533	DB	1306	07					LUCCA	CAA96	6U	1	1	60	60	43.850	10.500	27	G			44	M		35	44	
534	DB	1322						PISA	CAA96	6U	1	1	55	55	43.717	10.400	27	G			42	M		31	42	
535	CP	1790	07	26	16	45		AULLA	POS85	1P				65	44.167	10.000	27	G			47	M		45	47	
536	CP	1861	03	16	00	30		SESTA GODANO	POS85	1P				60	44.333	9.600	27	G			44	M		35	44	
537	DB	1873	09	17				LIGURIA ORIENTALE	CAA96	6U	68	64	65	65	44.250	9.833	27	G			47	M		45	47	
538	DB	1928	02	21	04	37		VARESE LIGURE	GDTSP	6U	8	8	60	60	44.400	9.600	27	G		KAR71	38	O	02		44	
539	DB	1934	11	21	10	26		MAR LIGURE OR.	GDTSP	6U					43.750	10.000	PP	27	A	KAR71	42	O	01			
540	CP	1955	04	11	15	24		SARZANA	POS85	1P				55	44.117	9.967	27	G			42	M		31	42	08
541	DB	1955	12	13	17	04		EQUI TERME	GDTSP	6U	19	15	50	50	44.117	10.150	27	G		MAA93	41	O	01	39		H2

Per la zona sismogenetica 27 (zonazione ZS.4) sono disponibili n.10 osservazioni sismiche. Gli eventi che hanno prodotto gli effetti sismici maggiori sono quello del 1790 e del 1873 per i quali si ricava una intensità Io (MCS) di 65.

6.5.4 BANCA DATI GNDT 1996

A partire dal 1988 il GNDT ha raccolto, verificato e ricompilato la grande maggioranza dei dati macrosismici disponibili per terremoti relativi al periodo 1000-1980 e successivo aggiornamento del 1996. Questi dati provengono da alcuni bacini principali, in parte pubblici, in parte riservati, e da studi isolati. Per diversi terremoti sono disponibili più studi, ossia più insiemi di dati compilati a partire da informazioni primarie (record storici) parzialmente coincidenti, ed interpretati con criteri spesso non omogenei.

Il GNDT ha dato corso a nuovi studi di terremoti, privilegiando gli eventi per i quali non fossero già disponibili studi qualificati; anche in questo caso i dati sono stati georeferenziati, in analogia a quanto discusso in precedenza.

Per entrambi i gruppi di studio è stata data priorità agli eventi "principali" di ciascuna sequenza, con esclusione quindi delle repliche individuate secondo il criterio adottato per la compilazione dei cataloghi NT (Stucchi e Zerga, 1993).

In totale, utilizzando i dati della banca GNDT, la mappa delle massime intensità osservate può essere prodotta a partire da 943 eventi di intensità epicentrale superiore o uguale alla soglia del danno ($I_0 \geq 5/6$). Per questi eventi si dispone complessivamente di circa 33.000 osservazioni riferite a 9070 località, di cui 8518 in territorio italiano.

Regione	totale comuni	comuni privi di dati	%	comuni con lmax/oss	%	comuni con lmax/pon	%
Piemonte	1209	408	33.7	553	45.7	248	20.5
Valle d'Aosta	74	27	36.5	19	25.7	28	37.8
Lombardia	1546	1058	68.4	215	13.9	273	17.6
Trentino Alto-Adige	339	124	36.6	103	30.4	112	33.0
Veneto	582	173	29.7	225	38.6	184	31.6
Friuli Venezia Giulia	219	1	0.5	169	77.2	49	22.4
Liguria	235	35	14.9	151	64.2	49	20.8
Emilia-Romagna	341	34	10.0	209	61.3	98	28.7
Toscana	287	12	4.2	192	66.9	83	28.9
Umbria	92	3	3.3	58	63.0	31	33.7
Marche	246	18	7.3	188	76.4	40	16.3
Lazio	377	26	6.9	222	58.9	129	34.2
Abruzzo	305	11	3.6	204	66.9	90	29.5
Molise	136	7	5.1	88	64.7	41	30.1
Campania	551	77	13.9	364	66.1	110	19.9
Puglia	257	49	19.1	114	44.3	94	36.6
Basilicata	131	2	1.5	120	91.6	9	6.9
Calabria	409	2	0.5	348	85.1	59	14.4
Sicilia	390	16	4.1	290	74.3	84	21.5
Sardegna	375	358	95.4	7	1.9	10	2.7
TOTALE	8101	2441		3839		1821	

Tabella 1 – Distribuzione dei dati per regione

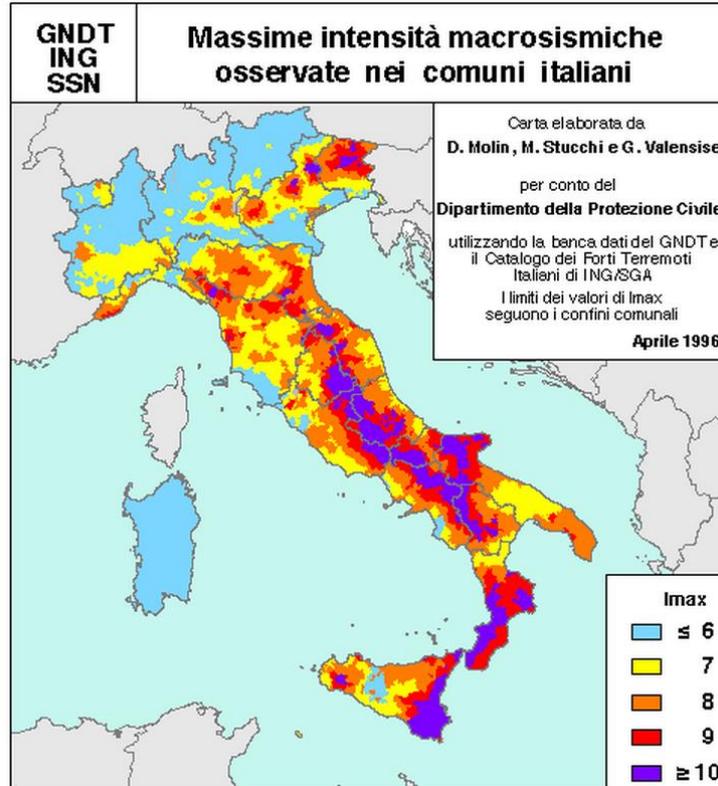
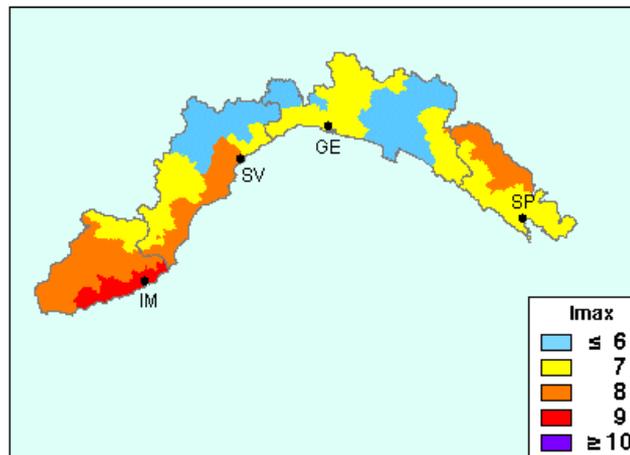


Figura 20 – Mappa delle massime intensità sismiche osservate nei comuni italiani

http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/max_int_oss.html

Liguria



**Massime intensità macrosismiche
osservate nella provincia di La Spezia**

Comune	Re	Pr	Com	Lat	Lon	Imax
AMEGLIA	7	11	1	44.06629	9.95991	7
ARCOLA	7	11	2	44.11586	9.90975	7
BEVERINO	7	11	3	44.19437	9.76814	7
BOLANO	7	11	4	44.18783	9.89486	7
BONASSOLA	7	11	5	44.18334	9.58185	7
BORGHETTO DI VARA	7	11	6	44.22363	9.72105	8
BRUGNATO	7	11	7	44.23657	9.72308	8
CALICE AL CORNOVIGLIO	7	11	8	44.24219	9.83523	8
CARRO	7	11	9	44.27487	9.65796	7
CARRODANO	7	11	10	44.24176	9.65536	7
CASTELNUOVO MAGRA	7	11	11	44.09923	10.01680	7
DEIVA MARINA	7	11	12	44.21867	9.51829	7
FOLLO	7	11	13	44.16191	9.86163	7
FRAMURA	7	11	14	44.20889	9.55241	7
LA SPEZIA	7	11	15	44.10495	9.81898	7
LERICI	7	11	16	44.07527	9.91184	7
LEVANTO	7	11	17	44.16973	9.61156	7
MAISSANA	7	11	18	44.33662	9.53557	7
MONTEROSSO AL MARE	7	11	19	44.14616	9.65448	7
ORTONOVO	7	11	20	44.08897	10.04474	7
PIGNONE	7	11	21	44.17771	9.72233	7
PORTOVENERE	7	11	22	44.05581	9.83740	7
RICCO` DEL GOLFO DI SPEZIA	7	11	23	44.15347	9.76369	7
RIOMAGGIORE	7	11	24	44.09934	9.73776	7
ROCCHETTA DI VARA	7	11	25	44.25071	9.75711	8
SANTO STEFANO DI MAGRA	7	11	26	44.15986	9.91508	7
SARZANA	7	11	27	44.11079	9.96088	7
SESTA GODANO	7	11	28	44.29279	9.67394	8
VARESE LIGURE	7	11	29	44.37657	9.59234	8
VERNAZZA	7	11	30	44.13444	9.68321	7
VEZZANO LIGURE	7	11	31	44.14096	9.88382	7
ZIGNAGO	7	11	32	44.29673	9.73564	8

Dalla consultazione del sito, si ricava per La Spezia una intensità I_{max} pari a 7.

6.6 INTENSITA' MACROSISMICA E MAGNITUDO DI PROGETTO

Sulla base di quanto riportato nei capitoli precedenti è possibile ricavare i valori di Intensità macrosismica e di Magnitudo caratteristici per l'area di intervento.

Intensità macrosismica

Con riferimento ai dati storici, alla banca dati GNDT e alle mappe di pericolosità sismiche del territorio italiano, per il comune di La Spezia si può assumere un valore di intensità macrosismica pari a:

$$I = 7 \text{ (MCS)}$$

Dall'intensità sismica è possibile ricavare in prima approssimazione il valore di PGA secondo quanto riportato in "Relazioni di conversione da Intensità a PGA per le stime di pericolosità sismica: aspetti metodologici e modalità applicative" di Paolo Gasperini (Dipartimento di Fisica, Università di Bologna) e Dario Albarello (Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Siena).

La tabella seguente riassume i corrispettivi valori di PGA secondo diverse teorie.

Intensità	PGA (GOR)	PGA (Margottini General)	PGA (Margottini Local)
6	0.07g	0.06g	0.07g
7	0.13g	0.09g	0.12g
8	0.25g	0.13g	0.20g
9	0.48g	0.20g	0.33g
10 (estrap.)	0.91g	0.31g	0.54g
11 (estrap.)	1.73g	0.46g	0.90g

Figura 21 – Correlazioni tra I e PGA

Magnitudo momento

La magnitudo momento M_w massima associata alla zona sismogenetica ZS 916 Versilia-Chianti entro la quale ricade il sito in esame è pari a 6.14.

La magnitudo momento M_w può essere anche determinata a partire dall'intensità macrosismica mediante la seguente relazione (Ezio Faccioli, Roberto Paolucci: "Elementi di sismologia applicata all'ingegneria"):

$$M_w = 0.430 \times I_o + 2.182$$

Nel caso in esame assumendo $I_o = 7$ risulta:

$$M_w = 0.430 \times 7 + 2.182 = 5.2$$

Facendo invece riferimento ai valori della magnitudo ricavati dalle analisi di disaggregazione a_g si ottiene un valore medio di magnitudo pari a $M = 4.96$ ($T_r = 474$ anni).

Ai fini del calcolo degli effetti sismici sulle strutture si assume in via cautelativa:

$$M_w = 6.14$$

6.7 CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO

A seguito dell'entrata in vigore della nuova normativa antisismica occorre caratterizzare e classificare i terreni locali, specialmente in relazione a particolari ed importanti opere d'arte, qualora esse ricadano in zone a rischio sismico. Nel D.M. 14.01.2008 si fa espresso riferimento ad indagini sismiche allo scopo di classificare il suolo di fondazione sulla base del valore di $V_{s,30}$, cioè del valore medio della velocità delle onde di taglio fino a 30 metri di profondità e comunque fino alla profondità significativa. Si riportano di seguito le categorie del suolo di fondazione estratte dalle norme tecniche.

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s,30} > 800 \text{ m/s}$).

Tabella 2. Categorie di sottosuolo

Nelle definizioni precedenti $V_{s,30}$ è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\varepsilon < 10^{-6}$) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Il sito viene classificato sulla base del valore di $V_{s,30}$, oppure sulla base del valore di N_{SPT} .

$$V_{sh} = \frac{\sum h_i}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

dove il valore $\sum h_i$ corrisponde allo spessore del terreno sopra al Bedrock mentre gli altri termini sono gli stessi della formula per calcolare $V_{s,30}$.

6.8 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.IV – NTC2008).

Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Nel caso in esame si assume una categoria topografica "T1":

" Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$ ".

6.9 VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I del D.M.2008.

Tabella 2.4.I – *Vita nominale V_N per diversi tipi di opere*

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

La classe d'uso dell'opera individua il grado di prestazione atteso dalla struttura in presenza di azione sismica, in riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso. Nella fase di progetto questo concetto si traduce nell'applicazione di azioni tanto più gravose, quanto più la struttura risulta importante in termini di sicurezza collettiva e pubblico interesse. Di seguito si riportano alcuni estratti dalla normativa vigente (NTC2008).

2.4.2 CLASSI D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il periodo di riferimento per il calcolo delle azioni sismiche vale $V_R = V_N \times C_U$. Di seguito si porta un estratto delle NTC2008.

2.4.3 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.4.1)$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

Tab. 2.4.II - Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

In sintesi i valori dei periodi di riferimento assunti dai progettisti e riportati nelle specifiche relazioni di calcolo strutturale sono i seguenti:

- Vita Nominale $V_N = 50$ anni
- Classe d'uso II $\Rightarrow C_U = 1$
- Periodo di riferimento $V_R = V_N \times C_U = 50$ anni
- Categoria sottosuolo: D

7 PARAMETRI SISMICI DI PROGETTO (NTC 2008 – CAP.3)

Si riporta il calcolo dei parametri sismici di progetto eseguito con software gratuito GEOSTRU consultabile on line (<http://www.geostru.com/geoapp/parametri-sismici.aspx>). Di seguito i risultati ottenuti.

Via n°

Comune Cap

Provincia

Latitudine WGS84 (°)

Longitudine

Isole

(1)* Coordinate WGS84 (°)
 Latitudine Longitudine

(1)* Coordinate ED50 (°)
 Latitudine Longitudine

Classe dell'edificio

Vita nominale (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

Interpolazione

Visualizza i vertici della maglia di appartenenza

(1)* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.
 (2)* Il file creato con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoStru.

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F _o	T _c [s]
Operatività (SLO)	30	0,040	2,533	0,223
Danno (SLD)	50	0,050	2,519	0,244
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,122	2,403	0,291
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,157	2,379	0,298
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI

Muri di sostegno Paratie

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
S _s * Amplificazione stratigrafica	1,80	1,80	1,80	1,80
C _c * Coeff. funz categoria	2,65	2,53	2,32	2,29
S _t * Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,014	0,018	0,053	0,068
kv	0,007	0,009	0,026	0,034
A _{max} [m/s ²]	0,704	0,880	2,155	2,777
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

* I valori di S_s, C_c ed S_t possono essere variati.

Il valore di accelerazione massima attesa al sito (a_{max}) viene determinato nel modo seguente:

$$a_{max} = a_g \cdot S_S \cdot S_T$$

dove:

- a_g : accelerazione di picco orizzontale del suolo;
- S_S : coefficiente di amplificazione stratigrafica;
- S_T : coefficiente di amplificazione topografica;
- g : accelerazione di gravità.

Riqualificazione funzionale architettonica dell'interfaccia Porto Città della Spezia
Intervento di protezione antifonica e relativo inserimento ambientale e
paesaggistico lungo viale San Bartolomeo

I valori di $a_{g,max}/g$ valgono rispettivamente nei vari stati limiti considerati:

	V_R (anni)	P_{V_R}	T_R (anni)	S_s	S_t	A_{max} [m/s²] (a_g x S_s x S_t)	A_{max}/g
SLO	50	81%	30	1.8	1	0.704	0.072
SLD	50	63%	50	1.8	1	0.880	0.090
SLV	50	10%	474	1.8	1	2.155	0.219
SLC	50	5%	974	1.8	1	2.777	0.282

Essendo:

$$T_R = V_R / (-\ln(1-P_{V_R}))$$

8 CONSIDERAZIONI SUL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

8.1 INTRODUZIONE

Con il termine liquefazione si intende un processo in seguito al quale un sedimento che si trova al di sotto del livello freatico perde temporaneamente resistenza e si comporta come un fluido viscoso a causa di un aumento della pressione neutra e di una riduzione della pressione efficace.

La liquefazione ha luogo quando la pressione dei pori aumenta fino a eguagliare la pressione intergranulare; in termini tecnici la liquefazione ha inizio quando la pressione dei pori (u_0) eguaglia la pressione totale (σ_{v0}), producendo uno stato della pressione efficace nullo.

$$\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u_0 = 0$$

L'incremento della pressione neutra è indotto dalla tendenza di un materiale granulare a compattarsi quando è soggetto ad azioni cicliche di un sisma, con conseguente aumento del potenziale di liquefazione del terreno. La liquefazione del terreno dovuta a movimenti sismici, con le conseguenti deformazioni associate, è una delle cause più importanti di danneggiamento e crollo delle costruzioni fondate su terreni non coesivi saturi ed è il risultato dell'effetto combinato di due principali categorie di fattori:

- fattori predisponenti
 - il terreno deve essere saturo, non compattato, non consolidato, sabbioso o limoso o un miscuglio di poca argilla;
 - distribuzione granulometrica, uniformità, saturazione, densità relativa, pressioni efficaci di confinamento, stato tensionale in sito iniziale, ecc.;
- fattori scatenanti
 - sismicità: magnitudo, durata, distanza dall'epicentro, accelerazione massima superficiale, inoltre il sito deve essere scosso sufficientemente a lungo e con forza dal sisma.

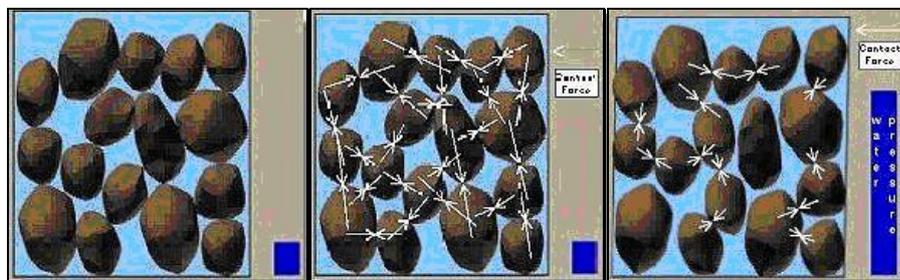


Figura 22 - Incremento della pressione neutra di un terreno liquefacibile durante un sisma

Alla liquefazione del terreno possono, infatti, associarsi estesi fenomeni di subsidenza, movimenti di masse fluidificate del terreno, ecc. ma anche effetti meno devastanti, quali cedimenti differenziali, lesioni nelle strutture, ecc. che tuttavia possono indurre gravi danni alle opere.

L'ammontare delle deformazioni conseguenti alla liquefazione dipende dallo stato di addensamento del suolo, spessore ed estensione areale dello strato liquefacibile, dalla pendenza della superficie del terreno e dalla distribuzione dei carichi applicati dalle opere.

Sono suscettibili alla liquefazione:

- i suoli non coesivi e saturi (sabbie e limi, occasionalmente ghiaie) con contenuto di fini plastici relativamente basso (inferiore al 15%);
- i suoli costituiti da particelle relativamente uniformi, in cui predomina una dimensione di particelle;
- i depositi sabbiosi recenti (età Olocenica).

Il paragrafo 7.11.3.4 del D.M. 14 gennaio 2008 stabilisce che, in caso di scuotimento sismico, il sito presso il quale è ubicata l'opera deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. Eventi sismici attesi di Magnitudo Momento inferiore a 5;
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
3. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle seguenti figure nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

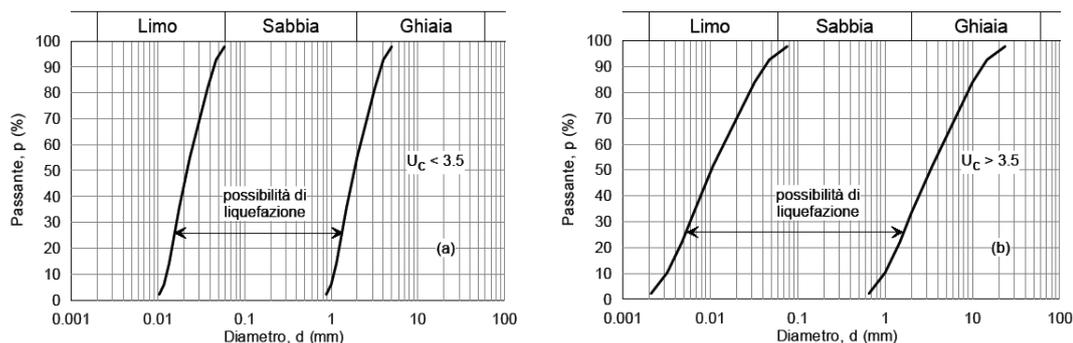


Figura 23 Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione

Nel caso in esame si verificano le seguenti condizioni:

1. Magnitudo Momento pari a $6.14 > 5$
⇒ La verifica alla liquefazione non può essere omessa;
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) pari a $0.122 \text{ g} > 0,1\text{-g}$;
⇒ La verifica alla liquefazione non può essere omessa;
3. La falda idrica, nell'area di studio, presenta un livello statico a circa 1/2 m di profondità dal piano campagna;
⇒ La verifica alla liquefazione non può essere omessa;
4. $(N_1)_{60} > 30$
⇒ La verifica alla liquefazione non può essere omessa;
5. Le curve granulometriche non sono contenute all'interno del fuso
⇒ La verifica alla liquefazione non può essere omessa

Per quanto sopra esposto, considerate le caratteristiche geologiche-idrogeologiche e geotecniche dei terreni presenti nell'area di intervento, non si possono escludere a priori fenomeni di liquefazione. Si riportano pertanto le analisi del potenziale di liquefazione degli strati incoerenti mediante le procedure di analisi quantitativa basate sulle osservazioni delle caratteristiche geologiche e geotecniche del sito.

8.2 VERIFICA DI LIQUEFAZIONE

Per una stima accurata della probabilità di liquefazione dei terreni oggetto d'intervento durante un terremoto, è necessario analizzare tutti i fattori che concorrono a creare le condizioni in cui il fenomeno può verificarsi.

Sulla base di quanto appurato dagli autori Seed e Idriss (1978), emerge l'impossibilità di inglobare in un unico modello tutti i numerosi parametri che li rappresentano. I criteri di prevenzione e i metodi di calcolo che sono stati avanzati in questi ultimi anni si concentrano su un numero di fattori molto più ridotto rispetto a quelli che intervengono a guidare il fenomeno. Soprattutto nella prima fase di sviluppo delle ricerche sulla liquefazione, l'intento di molti studiosi era nel senso di identificare un unico parametro che da solo spiegasse la liquefazione o meno dei depositi in condizioni sismiche.

Benché le esperienze e le argomentazioni a sostegno di alcuni dei criteri più antichi abbiano contribuito notevolmente a chiarire alcuni aspetti del meccanismo della liquefazione, in realtà, come già visto, le ricerche che hanno portato all'evoluzione delle conoscenze sul tipo dei parametri più significativi e alla formulazione di metodi empirici e di analisi dinamica, hanno preso avvio a partire dai terremoti di Niigata e dell'Alaska del 1964.

Tali studi sono andati sviluppandosi lungo le due direttrici principali: osservazioni delle caratteristiche sismiche, geologiche e geotecniche dei siti colpiti da terremoti distruttivi e analisi del comportamento di provini in prove cicliche di laboratorio in condizioni controllate.

Sono emersi così i primi criteri empirici di previsione, basati sulle caratteristiche granulometriche e sullo stato di addensamento, cui hanno fatto seguito criteri e metodi più raffinati e complessi capaci di tener conto di un numero di parametri sempre più elevato.

Il quadro dei metodi oggi disponibili è quanto mai vario e va da criteri basati su soli dati geologici qualitativi (età del deposito, origine, stratigrafia, profondità della falda, ecc) a metodi di analisi dinamica molto sofisticati, basati sulla valutazione in termini di pressioni effettive della risposta sismica locale e su prove di laboratorio molto delicate e complesse.

L'analisi di questi ultimi metodi, benché da riservare alla progettazione di opere di notevole importanza (dighe in terra, strutture off-shore, centrali nucleari, ecc), è di notevole interesse per comprendere i limiti dei metodi correntemente utilizzati e per comprendere la natura dei problemi che uno studio accurato della liquefazione può comportare.

8.2.1 METODI SEMPLIFICATI

Fra i metodi più importanti, saranno considerati e descritti più in dettaglio i metodi semplificati, in cui la verifica di stabilità alla liquefazione è basata sul confronto fra gli stati tensionali indotti dalle onde sismiche nella loro propagazione e quelli che producono liquefazione o livelli di deformazioni critici.

La resistenza del deposito alla liquefazione viene valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione, espresso dal rapporto fra la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma, cioè:

$$F = \frac{\tau_{\text{lim}}}{\tau_{\text{max}}}$$

I termini a numeratore e denominatore sono resi adimensionali attraverso il rapporto di sforzo ciclico, ottenuto normalizzando l'ampiezza dello sforzo di taglio con la pressione verticale effettiva iniziale.

Il fattore di resistenza alla liquefazione di un deposito viene quindi generalmente espresso ricorrendo ai seguenti simboli equivalenti:

$$F = \frac{(\tau/\sigma'_v)_{lim}}{\tau/\sigma'_v}$$

8.2.2 VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA DEL TERRENO AGLI SFORZI DI TAGLIO CICLICI: CORRELAZIONI BASATE SU PROVE IN SITO E IN LABORATORIO

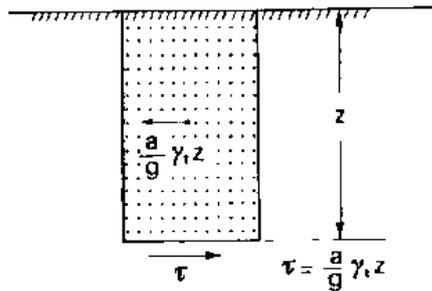
I numerosi metodi semplificati che sono stati proposti in questi anni, basati sul concetto di fattore di resistenza, differiscono tra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavato il termine a numeratore e cioè la resistenza del terreno agli sforzi ciclici σ , come indicato nel linguaggio corrente, la resistenza alla liquefazione.

8.2.3 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI DI TAGLIO INDOTTE

Una valutazione dello stato di sollecitazioni indotto dal sisma ad una determinata quota, può essere condotta in modo accurato solo effettuando un'analisi della risposta sismica locale, partendo da un dato accelerogramma alla base del deposito e analizzando le sue modificazioni alle diverse quote.

Soprattutto quando la valutazione della resistenza alla liquefazione viene condotta utilizzando correlazioni empiriche di letteratura, senza ricorrere cioè a prove dinamiche specificamente studiate per il caso in esame, può essere utile ricorrere a metodi di calcolo semplificati.

Con riferimento alla figura seguente, nell'ipotesi di propagazione verticale di onde sismiche di taglio, la colonna di terreno di altezza z si muove rigidamente in direzione orizzontale.



Indicando con a_{max} l'accelerazione massima in superficie, lo sforzo di taglio massimo alla profondità z è dato da:

$$\tau_{max} = \frac{a_{max}}{g} \gamma_t z$$

dove:

- γ_t : peso del volume di terreno;
- g : accelerazione di gravità.

Poiché in realtà la colonna di terreno è deformabile, lo sforzo di taglio è minore che nell'ipotesi di corpo rigido. Occorre quindi introdurre un coefficiente riduttivo r_d .

Il valore di tale fattore è funzione della metodologia utilizzata; infatti ogni autore ha dato la propria interpretazione numerica in funzione della tensione litostatica o della profondità. Originariamente gli autori Seed e Idriss (1971) hanno fornito i valori di tale coefficiente in funzione della profondità in forma grafica:

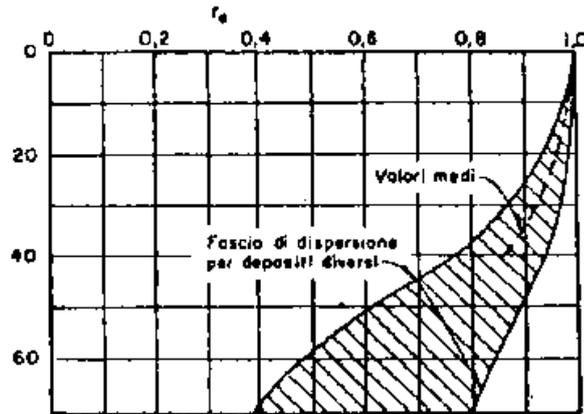


Figura 24 – Sforzi di taglio indotti dal terremoto a una generica quota

Iwasaki et al. hanno invece fornito alla seguente formula empirica:

$$r_d = 1 - 0.015z$$

con z in metri.

Normalizzando lo sforzo di taglio massimo con la pressione verticale effettiva si ottiene:

$$\frac{\tau_{\max}}{\sigma'_v} = \frac{a_{\max}}{g} r_d \frac{\sigma_v}{\sigma'_v}$$

dove:

$$\sigma_v = \gamma_t$$

σ'_v : pressione totale verticale.

8.2.4 PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura per il calcolo della resistenza alla liquefazione contiene i seguenti passi:

1. valutazione dello sforzo di taglio indotto *CSR*;
2. determinazione della capacità di resistenza del terreno alla liquefazione *CRR*;
3. determinazione del fattore di correzione della magnitudo *MSF*;
4. valutazione del potenziale di liquefazione eseguendo il calcolo del fattore di sicurezza.

Domanda di resistenza ciclica alla liquefazione (CSR)

La più usata "procedura semplificata" è stata originariamente sviluppata da Seed e Idriss (1971), successivamente modificata e migliorata in diverse occasioni, sulla base di nuovi studi e della disponibilità di nuovi casi di liquefazione (Seed et al., 1985; Youd e Idriss, 1997; Youd et al., 2001; Finn, 2002).

Una revisione del corrente utilizzo pratico della valutazione della liquefazione attraverso la procedura semplificata è data nel 1996 da NCEER e nel 1998 da NCEE/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance (Youd et al., 2001) riferita allo stesso NCEER Report.

La versione corrente della "procedura semplificata" calcola il fattore di sicurezza F contro la liquefazione di un livello di suolo in termini di domanda di resistenza ciclica *CSR* e di capacità dello strato di terreno a resistere alla liquefazione *CRR*. Il fattore *CSR* dipende dallo sforzo totale ed efficace del sovraccarico dello strato di terreno ed è corretto da un fattore di riduzione della sollecitazione (r_d) che diminuisce con l'aumentare della profondità.

La domanda di resistenza ciclica indotta dal sisma (*CSR*) a una data profondità è data dalla seguente equazione:

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) r_d$$

dove:

- a_{max} : accelerazione massima alla superficie del suolo;
- g : accelerazione di gravità;
- σ_{v0} e σ'_{v0} : tensione litostatica totale ed effettiva;
- r_d : fattore di riduzione delle tensioni alla profondità di interesse;
- 0,65: fattore peso, introdotto da Seed, per calcolare il numero di sforzi ciclici uniformi richiesti per produrre lo stesso aumento della pressione dei pori dovuto a un irregolare movimento del suolo durante un terremoto.

L'andamento con la profondità del fattore di riduzione delle tensioni r_d , originariamente è stato valutato da Seed e Idriss secondo la formula

$$r_d = 1 - 0,015 z$$

Successivamente un gruppo di esperti del National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER) nel 1996 e Youd et al. (2001) hanno introdotto le seguenti equazioni:

$r_d = 1 - 0,00765 z$	per $z \leq 9.15m$
$r_d = 1.174 - 0.0267 z$	per $9.15m < z \leq 23 m$
$r_d = 0.774 - 0,008 z$	per $23m < z \leq 30 m$
$r_d = 0.5$	per $z > 30 m$

dove z è la profondità in metri dall'attuale piano campagna.

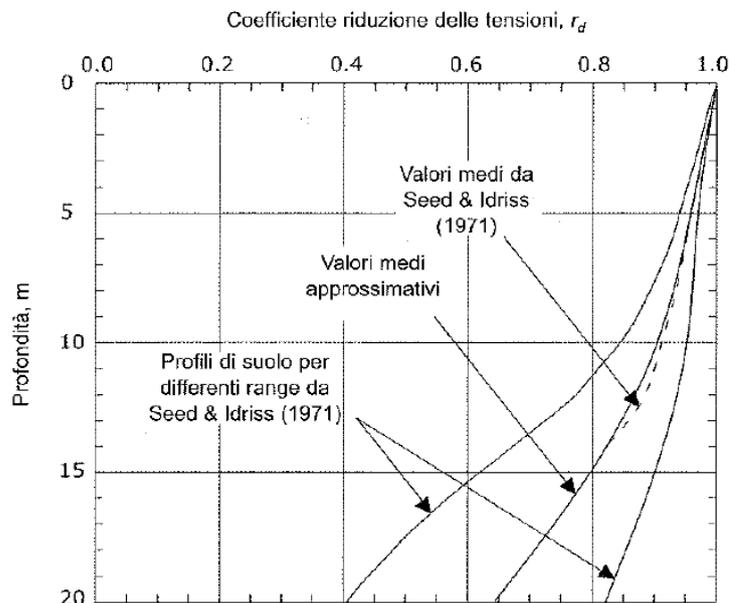


Figura 25 – Fusso di variazione del fattore di riduzione delle tensioni r_d con la profondità

Idriss e Boulanger (2006) hanno invece proposto:

$$r_d = \exp \left[\left(-1.012 - 1.126 \cdot \text{sen} \left(\frac{z}{11.73} + 5.133 \right) \right) + M \cdot \left(0.106 + 0.118 \cdot \text{sen} \left(\frac{z}{11.28} + 5.142 \right) \right) \right]$$

Capacità di resistenza alla liquefazione (CRR)

Le metodiche per determinare la capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) sono varie. In questa sede si utilizzeranno i risultati delle prove penetrometriche statiche CPT e CPTU.

La capacità di resistenza alla liquefazione è stata valutata applicando le procedure di Robertson e Wride (1998) e Robertson (2009-2010):

$$CRR_{7.5} = \begin{cases} 0.833 \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} + 0.05 & \text{se } (q_{c1N})_{cs} < 50 \\ 93 \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right)^3 + 0.08 & \text{se } 50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160 \end{cases}$$

dove:

- $(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} K_c$;
- $q_{c1N} = \frac{C_q q_c}{P_a}$;
- $C_q = \begin{cases} (P_a / \sigma'_{v0})^n & \text{se } (P_a / \sigma'_{v0})^n \leq 1.7 \\ 1.7 & \text{se } (P_a / \sigma'_{v0})^n > 1.7 \end{cases}$;
- $P_a = 100 \text{ kPa}$: pressione atmosferica;
- q_c : resistenza di punta del penetrometro;
- $K_c = \begin{cases} -0.403I_c^4 + 5.581I_c^3 - 21.63I_c^2 + 33.75I_c - 17.88 & \text{se } I_c > 1.64 \\ 1 & \text{se } I_c < 1.64 \end{cases}$;
- $I_c = \left[(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2 \right]^{0.5}$;
- $Q = \left(\frac{q_c - \sigma_{v0}}{P_a} \right) \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n$;
- $F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} 100$;
- f_s : resistenza d'attrito laterale.

Fattore di correzione della Magnitudo (MSF)

La correlazione di calcolo della capacità di resistenza alla liquefazione (CRR_{7.5}) si riferisce a un terremoto di Magnitudo 7.5.

Sulla base della sismicità storica dell'area, per applicare le procedure semplificate di analisi della liquefazione a terremoti di magnitudo diversa da 7.5, si utilizza un fattore di scala della Magnitudo, MSF, che è un moltiplicatore del rapporto di resistenza alla liquefazione (CRR_{7.5}).

$$CRR_M = CRR_{7.5} \cdot MSF$$

Il valore da attribuire al fattore MSF, è stato a lungo calcolato con la seguente equazione, che riproduce i valori numerici proposti dagli autori Seed e Idriss (1982):

$$MSF = \frac{0.65}{0.1(M - 1)}$$

Recentemente negli ultimi anni, con una base più ampia e significativa, il valore da attribuire al fattore MSF è definito dalle seguenti equazioni suggerite dalle raccomandazioni NCEER:

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}} \quad (\text{Idriss, 1990})$$

$$MSF = \frac{10^{0.99}}{M^{1.13}} \quad (\text{Idriss, 1995})$$

$$MSF = \frac{10^{2.84}}{M^{3.24}} \quad (\text{Youd et al., 2001})$$

Nella seguente figura sono riportate le curve proposte da vari ricercatori per il calcolo del fattore MSF.

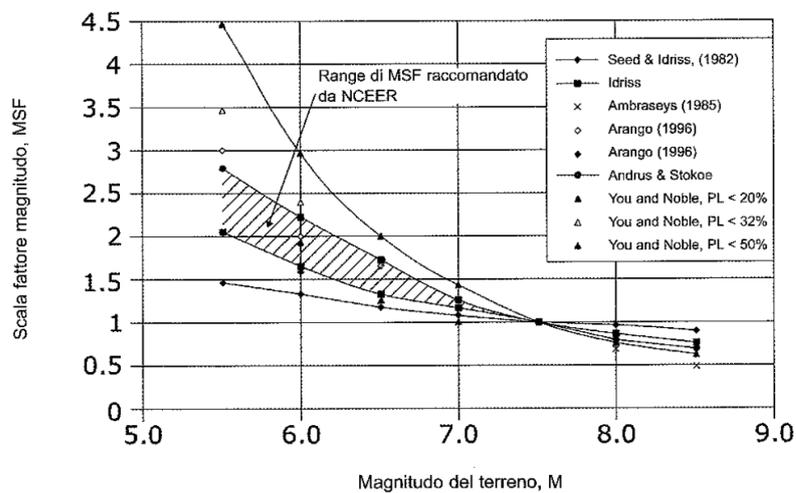


Figura 26 – Fattore di scala della Magnitudo (Youd e Noble, 1997)

Fattore di sicurezza alla liquefazione (F)

Conoscendo i valori di $CRR_{7.5}$, CSR e MSF , si può calcolare il fattore di sicurezza alla liquefazione usando la seguente equazione, valida per aree pianeggianti o a debole pendenza:

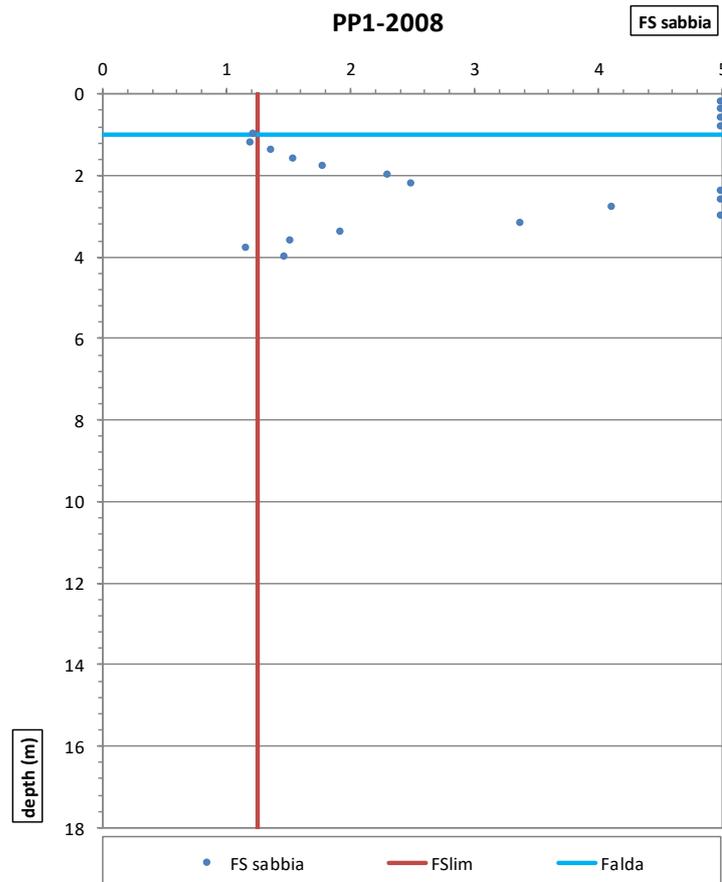
$$F = CRR_M / CSR$$

8.2.5 RISULTATI DELLE ANALISI

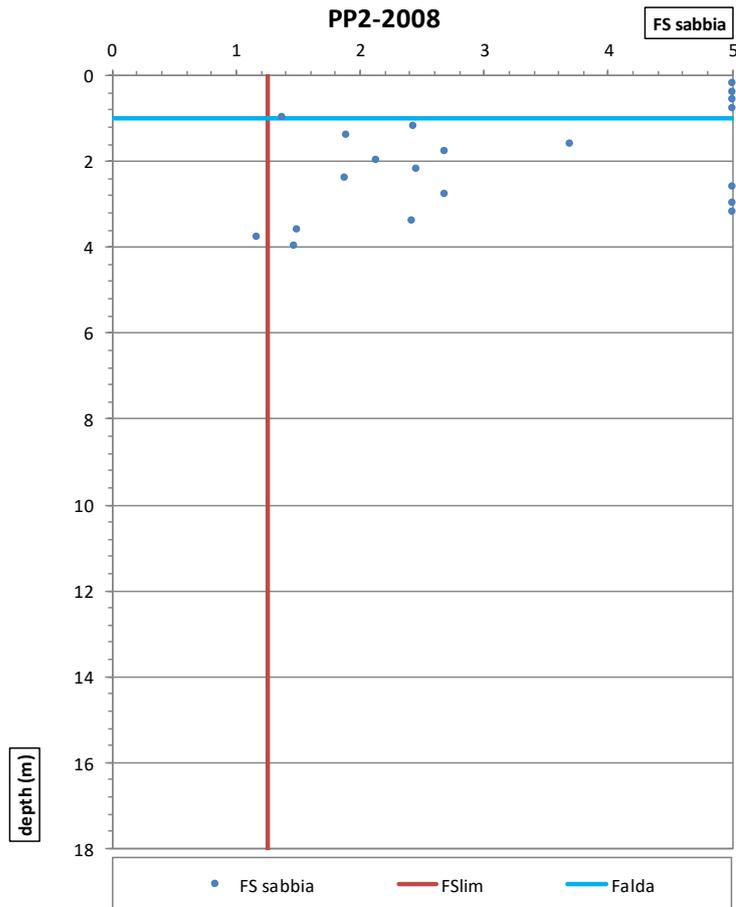
Si riportano i risultati delle verifiche di suscettibilità alla liquefazione delle aree di progetto, in funzione della Magnitudo e dell'accelerazione orizzontale massima per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):

- Magnitudo: $M = 6.14$;
- Accelerazione massima: $a_{max} = 0.219 g$.

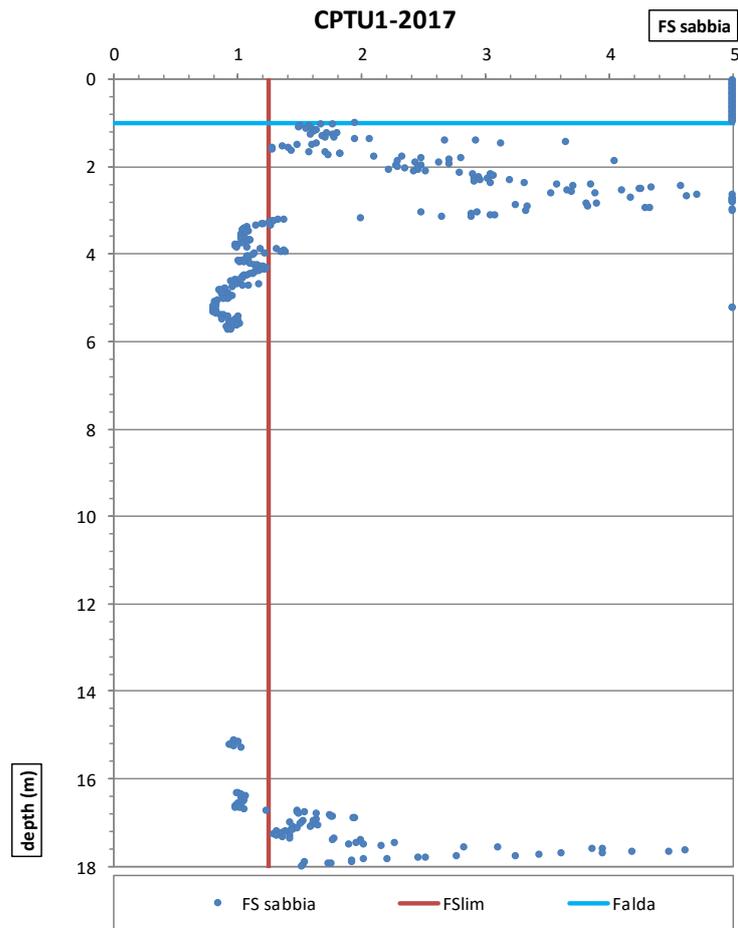
I grafici seguenti riportano, per le tre prove penetrometriche considerate, il valore del fattore di sicurezza alla liquefazione per gli strati sabbiosi definito in precedenza, confrontato con il valore limite pari a 1.25 indicato nell'Eurocodice 8.



Riqualificazione funzionale architettonica dell'interfaccia Porto Città della Spezia
Intervento di protezione antifonica e relativo inserimento ambientale e
paesaggistico lungo viale San Bartolomeo



**Riqualificazione funzionale architettonica dell'interfaccia Porto Città della Spezia
Intervento di protezione antifonica e relativo inserimento ambientale e
paesaggistico lungo viale San Bartolomeo**



8.2.6 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

L'indice del potenziale di liquefazione IP_L , indicativo dell'estensione che il fenomeno della liquefazione può avere nel deposito, viene definito dall'espressione (Iwasaki et al., 1982):

$$IP_L = \int_0^{z_{rif}} F \cdot W(z) dz$$

dove:

- $F = \begin{cases} 1 - FS & \text{per } FS < 1 \\ 0 & \text{per } FS > 1 \end{cases}$
- $W(z) = 10 - 0.5z$ (con z in m): funzione introdotta per tener conto del maggiore peso sul danneggiamento degli strati liquefacibili più superficiali;
- $z_{rif} = 20$ m.

Il metodo viene modificato da Sonmez (2003) definendo:

$$F = \begin{cases} 1 - FS & \text{per } FS < 0.95 \\ 2 \cdot 10^6 \cdot e^{-18.427 \cdot FS} & \text{per } 0.95 \leq FS < 1.2 \\ 0 & \text{per } FS \geq 1.2 \end{cases}$$

Per la valutazione della severità degli effetti della liquefazione si fa riferimento alla seguente scala del rischio liquefazione in funzione del valore di IP_L determinato:

Indice del potenziale di liquefazione (IP_L)	Rischio di liquefazione
$IP_L = 0$	Molto basso
$0 < IP_L \leq 5$	Basso
$5 < IP_L \leq 15$	Alto
$IP_L > 15$	Molto alto

8.2.7 CONSIDERAZIONI IN MERITO AI RISULTATI OTTENUTI

La suscettibilità alla liquefazione nell'area in esame è stata valutata con riferimento alle prove penetrometriche statiche CPT e CPTU.

Dalle analisi svolte risulta che il potenziale di liquefazione (IP_L) è inferiore a 5, con valori compresi tra 0 e 0.9, pertanto il rischio di liquefazione degli strati sabbiosi compresi entro i primi 20 m di profondità per il sito in esame è basso.