

Autorità di Sistema Portuale
del Mare Adriatico Orientale
Porti di Trieste e Monfalcone

PROGETTO AdSP n° 1948

Banchinamento parziale del terminal Ro-Ro Noghère nel Porto di Trieste - Fase I secondo il PRP 2016, comprensivo di dragaggio del canale di servizio e di collegamento alla viabilità

PROGETTISTA:



F&M Ingegneria Spa
Via Belvedere 8/10
30035 - Mirano (VE)



SQS srl
Viale della Terza Armata 7
34123 - Trieste (TS)



HMR srl
Piazzale della Stazione 7
35131 - Padova (PD)



F&M Divisione Impianti srl
Via Belvedere 8/10
30035 - Mirano (VE)



HMR Ambinete srl
Piazzale della Stazione 7
35131 - Padova (PD)



ArcheoTest Srl
Via Vidali 5
34129 - Trieste (TS)

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Eric Marcone

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA

NOME FILE: 1948_PFTE_I0_GEO_r004_02_00.doc

SCALA: -

TITOLO TAVOLA:

RELAZIONE SISMICA

ELABORATO:

10_GEO_r004

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	19/05/2023	PRIMA EMISSIONE PER COMMENTI	A.A.	C.S.	T.T.



Sommario

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO DELL'AREA	4
3	SISMICITA' DELL'AREA	5
3.1	RISCHIO SISMICO	5
3.2	CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA	8
3.3	MAPPE DI PERICOLOSITÀ SISMICA	12
3.4	ZONAZIONE SISMOGENETICA	26
3.5	SISMICITÀ STORICA DELL'AREA	31
3.5.1	Catalogo CPTI15 e DBMI15	31
3.5.2	Catalogo NTC4.1.1	36
3.5.3	Banca dati GNDT 1996	38
4	INDAGINE GEOGNOSTICA	40
4.1	SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO	41
4.2	HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO)	45
4.3	MISURE DI SISMICA ATTIVA MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)	48
5	AZIONI SISMICHE DI PROGETTO DA NORMATIVA	50
6	VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	54

Indice delle figure

Figura 2.1 – Inquadramento dell'area di studio (campita in rosso) nella Valle di Zaule – Baia di Muggia, tramite modello 3D riprodotto in ambiente GIS con plug-in Qgis2threejs	4
Figura 3.1 – I maggiori terremoti italiani del secolo	5
Figura 3.2 – Costo dei terremoti dal 1968 al 2003	6
Figura 3.3 – Classificazione sismica del territorio italiano (1984)	9
Figura 3.4 – Classificazione sismica del territorio italiano (Proposta GdL 1998)	9
Figura 3.5 – Classificazione sismica del territorio italiano (2015)	10
Figura 3.6 – Classificazione sismica del territorio italiano (2020)	10
Figura 3.7 – Classificazione sismica del territorio italiano (2022)	11
Figura 3.8 – Mappa cromatica pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale (Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b))	12



Figura 3.9 – Mappe di pericolosità sismica accelerazione orizzontale di picco e intensità macrosismica T=475 anni.....	13
Figura 3.10 – Confronto scala Richter e Scala Mercalli.....	13
Figura 3.11 – Mappa interattiva (Pvr =10% - Tr = 474 anni).....	14
Figura 3.12 – Mappa interattiva (Pvr =5% - Tr = 974 anni).....	15
Figura 3.13 – Mappa interattiva (Pvr =2% - Tr = 2475 anni).....	15
Figura 3.14 – Mappa interattiva (Pvr =10% □ Tr = 474 anni).....	21
Figura 3.15 – Mappa interattiva (Pvr =5% □ Tr = 974 anni).....	23
Figura 3.16 – Mappa interattiva (Pvr =2% □ Tr = 2475 anni).....	25
Figura 3.17 – Zonazione sismogenetica ZS.4 – 1996.....	26
Figura 3.18 – Zonazione sismogenetica ZS.9 – 2004 (http://www.arcgis.com).....	27
Figura 3.19 – Localizzazione del sito in esame con le zone sismogenetiche.....	28
Figura 3.20 – Nuovo database INGV “DISS 3.3.0” – 2021.....	29
Figura 3.21 – Ubicazione del territorio di Trieste sul nuovo database INGV “DISS 3.3.0” – 2021.....	29
Figura 3.22 – Informazioni parametriche per la componente sismogenetica ITCS101.....	30
Figura 3.23 – Informazioni parametriche per la componente sismogenetica ITCS100.....	30
Figura 3.24 – Mappa degli epicentri dei terremoti del territorio italiano in CPTI15 (Mw – magnitudo momento).....	32
Figura 3.25 – Mappa degli epicentri dei terremoti del territorio italiano in DBMI15.....	33
Figura 3.26 – Distribuzione temporale degli eventi sismici.....	33
Figura 3.27 – Quadro sinottico degli eventi sismici nel tempo.....	35
Figura 3.28 – Ubicazione terremoti nei dintorni di Trieste; evidenziato l’evento sismico di Servola del 1895....	36
Figura 3.29 – Distribuzione dei dati per regione.....	38
Figura 3.30 – Mappa delle massime intensità sismiche osservate nei comuni italiani.....	39
Figura 4.1 – Estratto non in scala dell’ortofotocarta indicante le indagini geognostiche svolte nell’areale di studio.	40
Figura 4.2 – Estratto planimetrico non in scala indicante i punti di indagine geognostica condotta a carotaggio continuo.....	41
Figura 4.3 – Estratto planimetrico non in scala riportante l’ubicazione delle prove HVSR eseguite.....	45
Figura 4.4 – Estratto planimetrico non in scala riportante l’ubicazione delle prove MASW eseguite.....	48
Figura 5.1 –Curva di dispersione prova MASW 1.....	50
Figura 5.2 – Inversione prova MASW 1.....	50
Figura 5.3 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno Tr di riferimento.....	52
Figura 5.4 – Valori di progetto dei parametri a g , Fo , TC* in funzione del periodo di ritorno TR.....	52
Figura 6.1 – Catalogo europeo dei fenomeni di liquefazione.....	56

Indice delle tabelle

Tabella 5-1 – Tabella 3.2.II del capitolo 3.2.2 “Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche” del D.M. 17.01.2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per tecniche per le costruzioni”.....	51
---	----



1 PREMESSA

Il presente documento è finalizzato alla progettazione del banchinamento parziale del terminal Ro-Ro Noghère che prevede la creazione di un nuovo fronte banchinato con quota fissa alla +3,50 m l.m.m.

L'obiettivo del progetto è realizzare una banchina esclusivamente sulle aree a mare ovvero sullo specchio acqueo antistante le aree a terra.

Il contesto geologico è stato dettagliato a seguito della realizzazione di:

- 6 sondaggi sia a carotaggio continuo che a distruzione di nucleo con la contestuale esecuzione di:
 - 47 SPT (Standard Penetration Test)
 - 18 campioni indisturbati prelevati con campionatore tipo *Shelby*
- 2 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- 4 prove HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio);
- 12 prospezioni sismiche a mare.



2 INQUADRAMENTO DELL'AREA

Il banchinamento parziale in progetto è situato nel comune di Muggia in un ambito pianiziale della zona industriale della *Valle di Zaule*, parte orientale della Baia di Muggia.



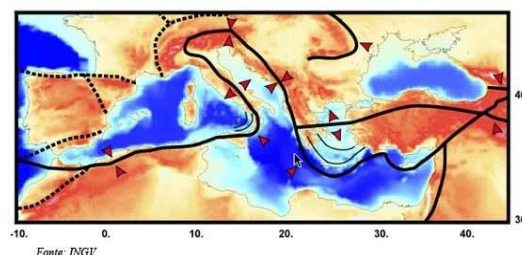
Figura 2.1 – Inquadramento dell'area di studio (campita in rosso) nella Valle di Zaule – Baia di Muggia, tramite modello 3D riprodotto in ambiente GIS con plug-in Qgis2threejs.



3 SISMICITA' DELL'AREA

3.1 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 3.1 – I maggiori terremoti italiani del secolo



I terremoti che hanno colpito la Penisola hanno causato danni economici consistenti, valutati per gli ultimi quarant'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.

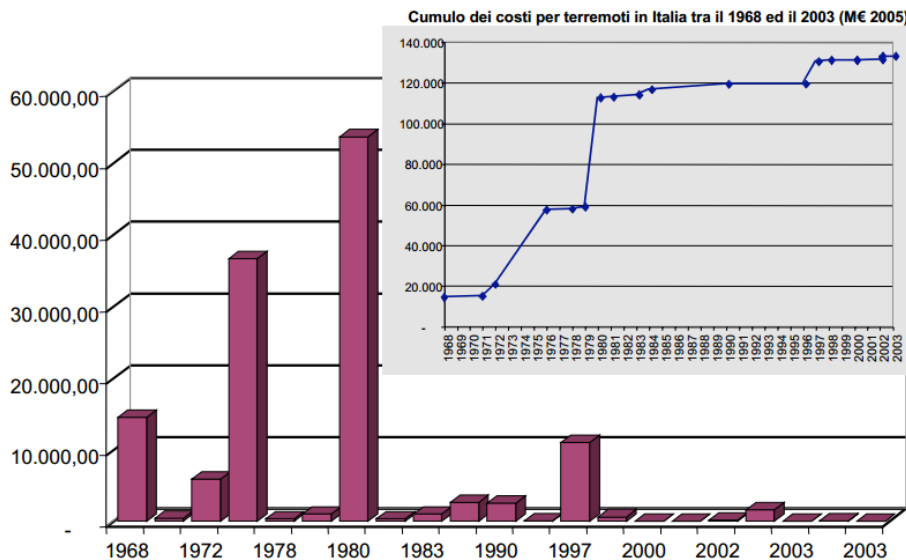


Figura 3.2 – Costo dei terremoti dal 1968 al 2003.

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.

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

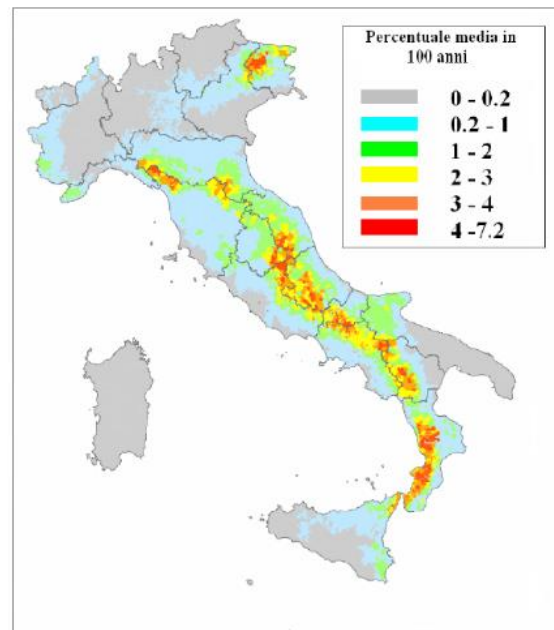


Questa caratteristica, o meglio la predisposizione di una costruzione ad essere danneggiata da una scossa sismica, si definisce vulnerabilità. Quanto più un edificio è vulnerabile (per tipologia, progettazione inadeguata, scadente qualità dei materiali e modalità di costruzione, scarsa manutenzione), 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 ed 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



3.2 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 50° 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 2022.

REGIONE	COMUNE	CODICE ISTAT	CLASSIFICAZIONE				
			Decreti fino al 1984	Proposta GdL 1998	O.P.C.M 3274/03	Aggiornamento al 2015	Aggiornamento al 2022
FRIULI VENEZIA GIULIA	TRIESTE	032006	N.C.	N.C.	4	3	3

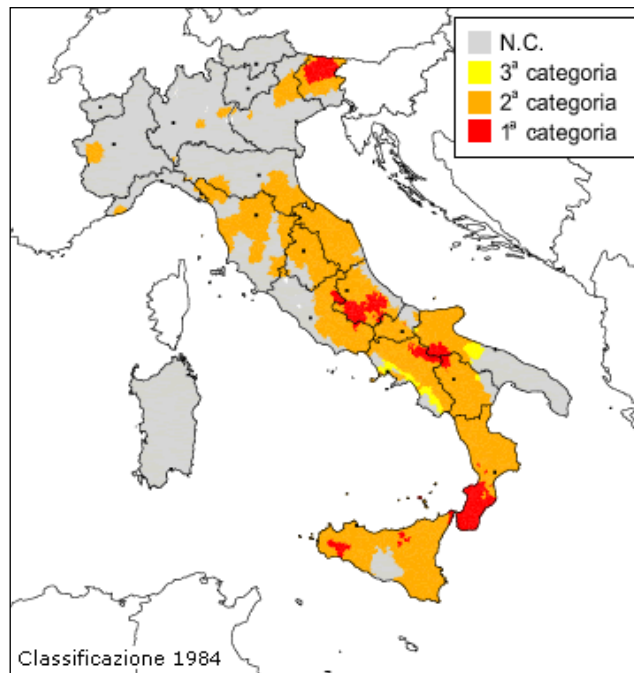


Figura 3.3 – Classificazione sismica del territorio italiano (1984)

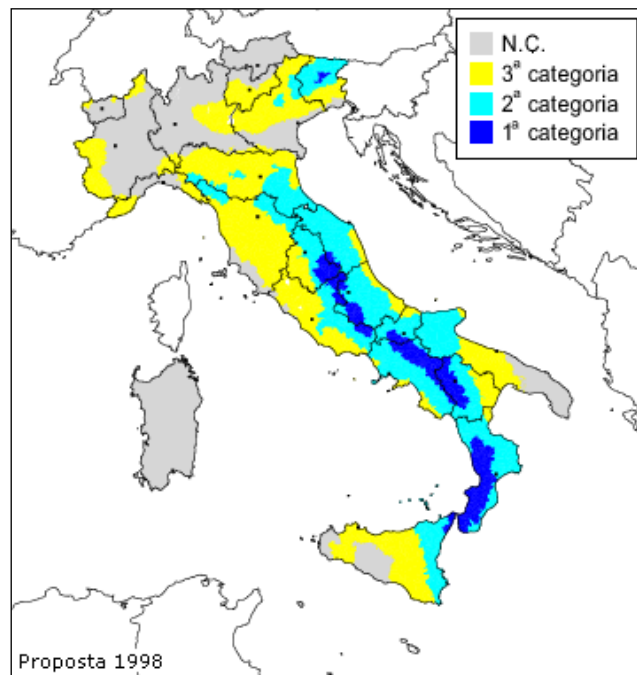


Figura 3.4 – Classificazione sismica del territorio italiano (Proposta GdL 1998).

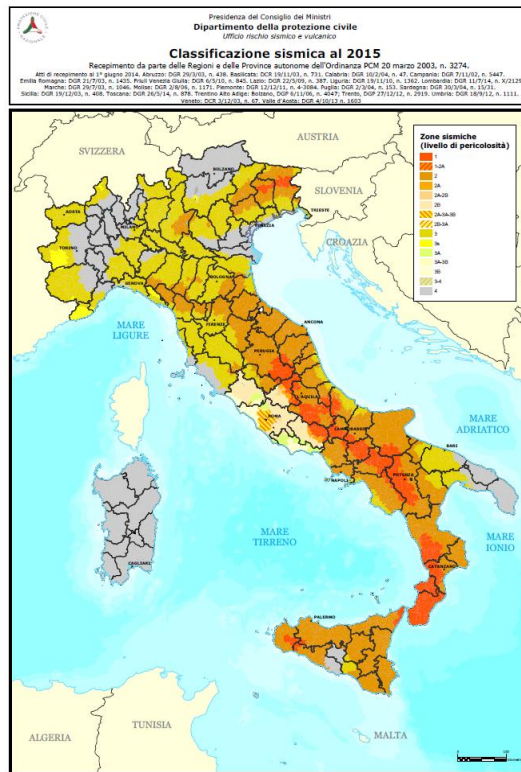


Figura 3.5 – Classificazione sismica del territorio italiano (2015)

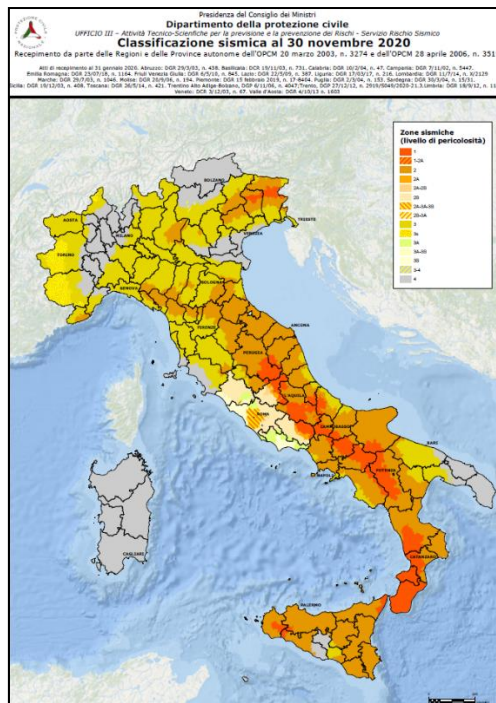


Figura 3.6 – Classificazione sismica del territorio italiano (2020)

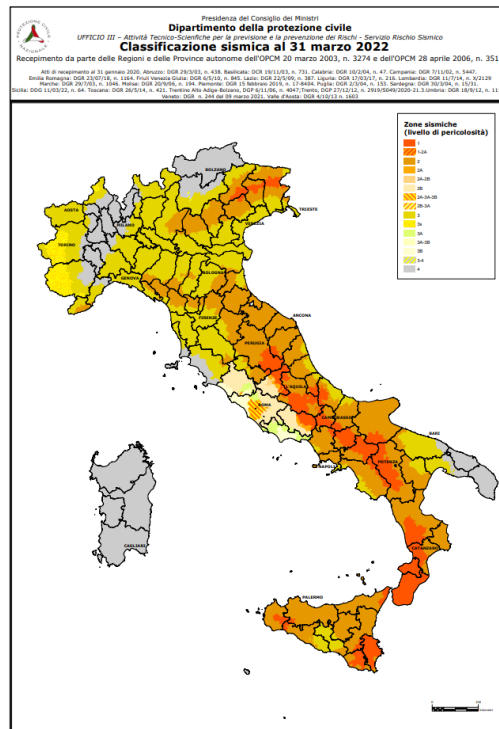


Figura 3.7 – Classificazione sismica del territorio italiano (2022)



3.3 MAPPE DI PERICOLOSITÀ 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 ($V_{S30} > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

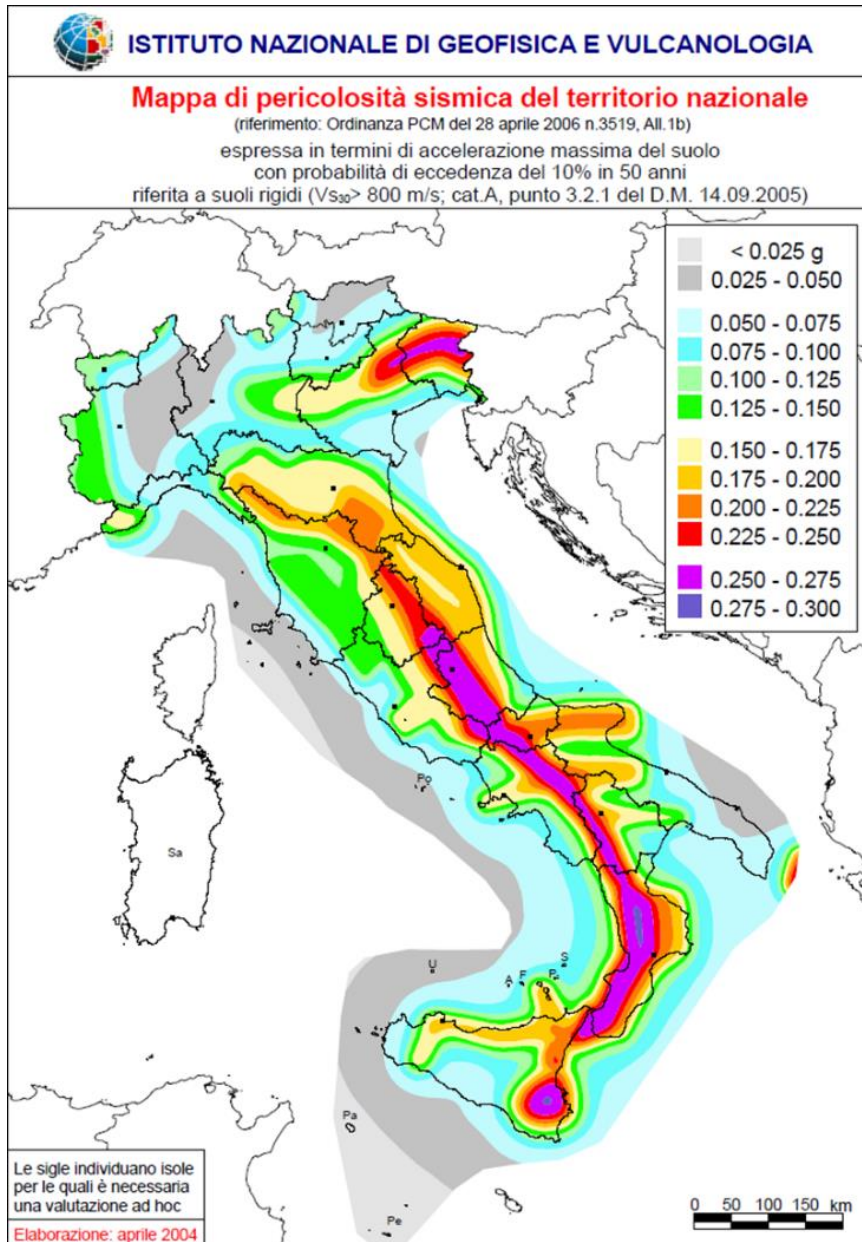


Figura 3.8 – Mappa cromatica pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale (Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b))

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) ed 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.

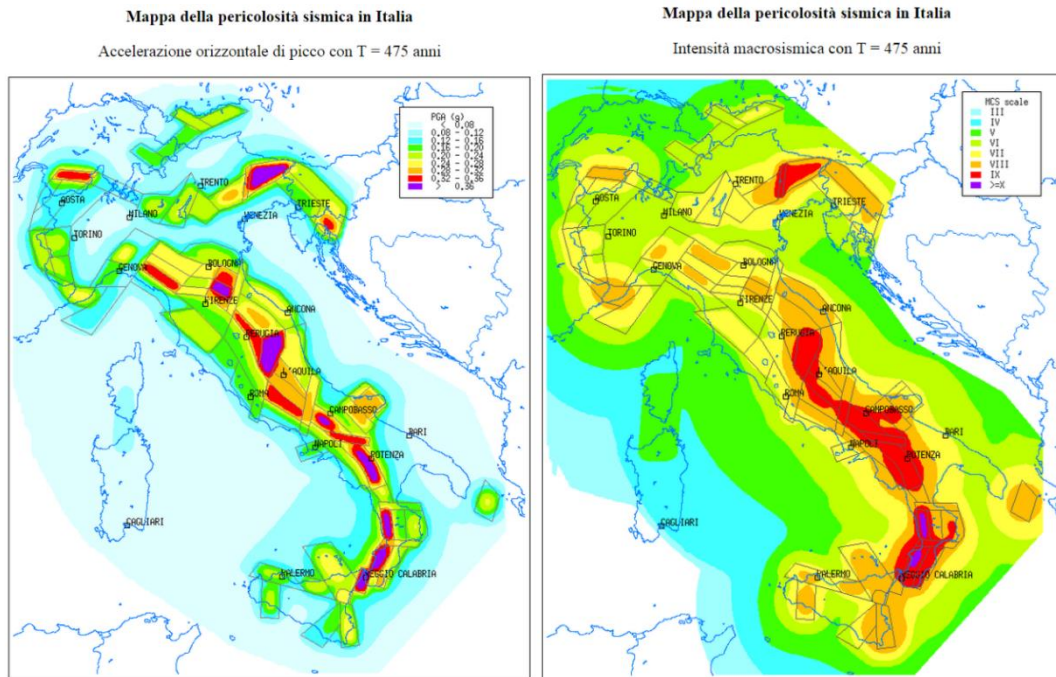


Figura 3.9 – Mappe di pericolosità sismica accelerazione orizzontale di picco e intensità macrosismica T=475 anni.

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 3.10 – 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 rispettivamente una probabilità di eccedenza del 10%, del 5%, del 2% in 50 anni.

Non essendo il sito in esame ricadente in un quadrante si riportano i risultati di pericolosità sismica dei quadranti prossimi caratterizzati da accelerazione maggiore.

Pericolosità sismica quadrante Nord

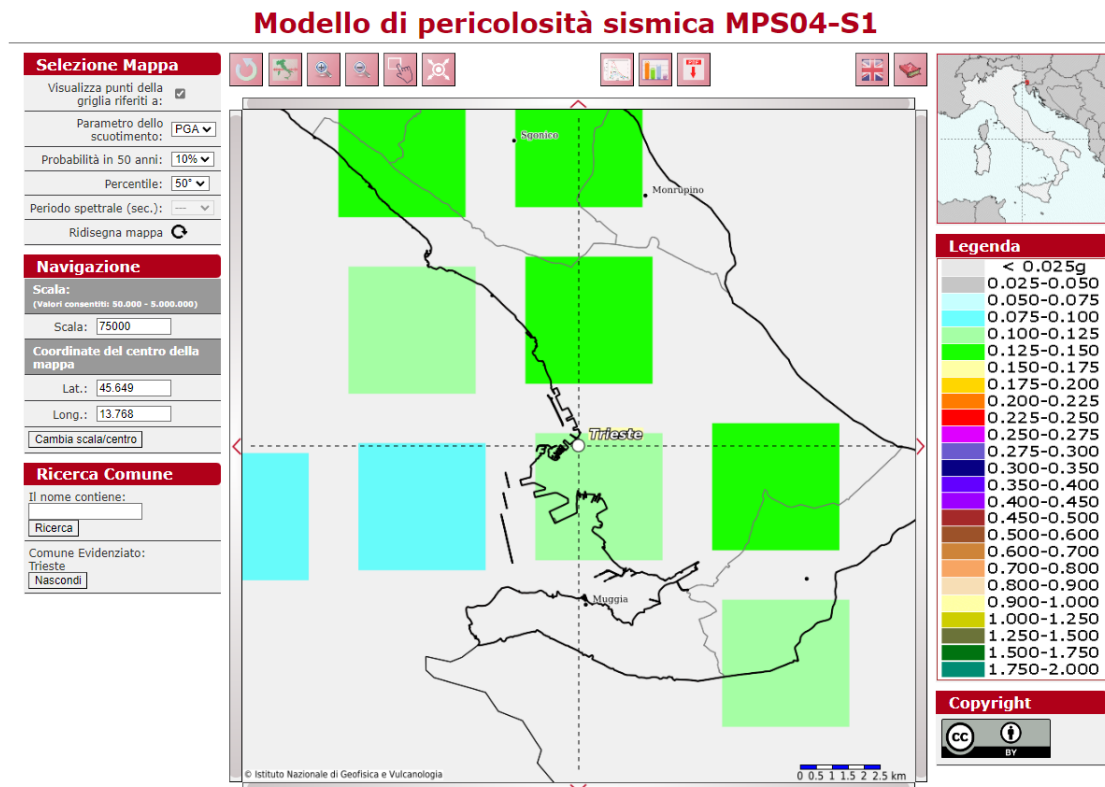


Figura 3.11 – Mappa interattiva ($P_{vr} = 10\%$ - $T_r = 474$ anni)

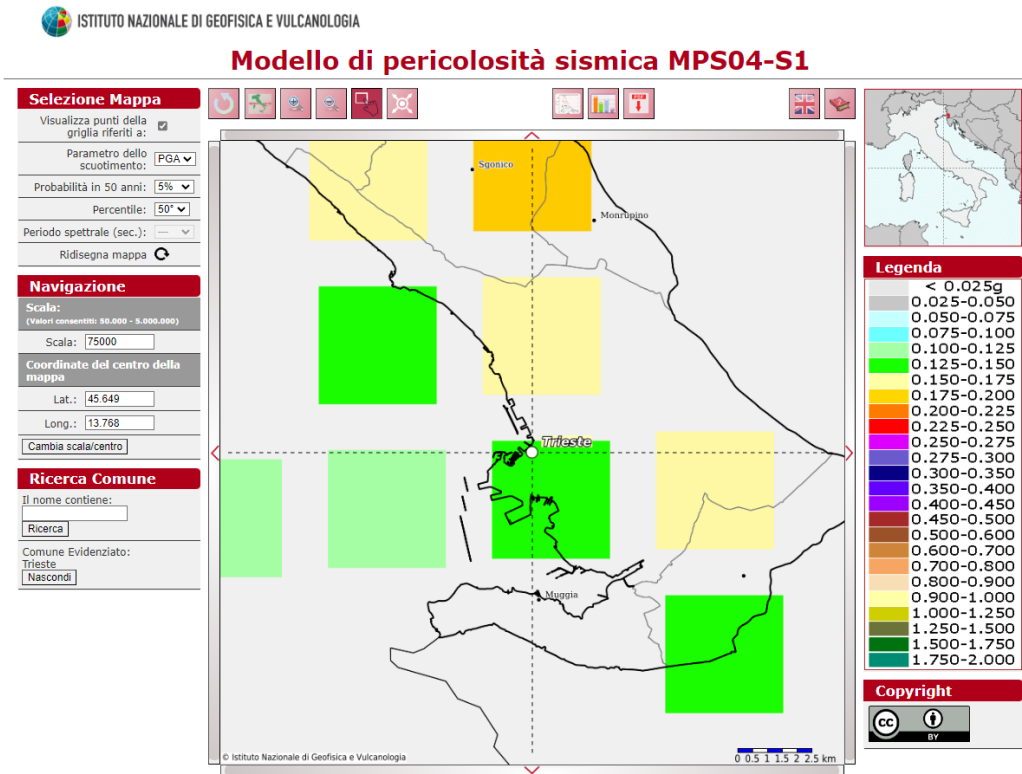


Figura 3.12 – Mappa interattiva (Pvr=5% - Tr = 974 anni)

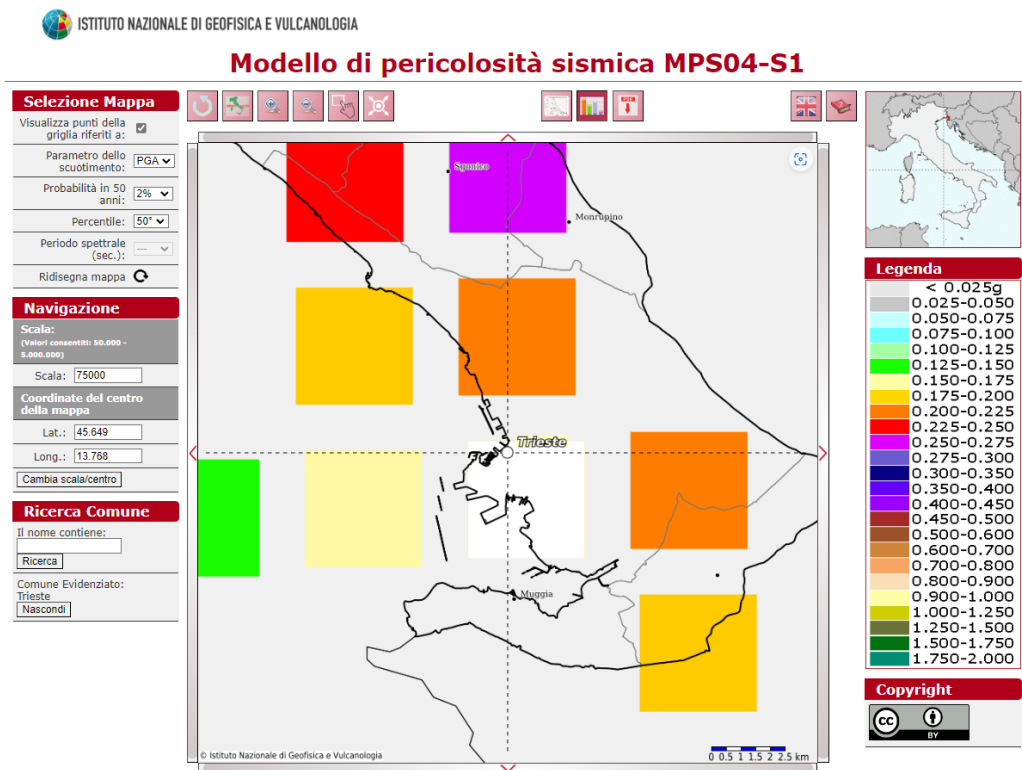


Figura 3.13 – Mappa interattiva (Pvr=2% - Tr = 2475 anni)



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. 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.

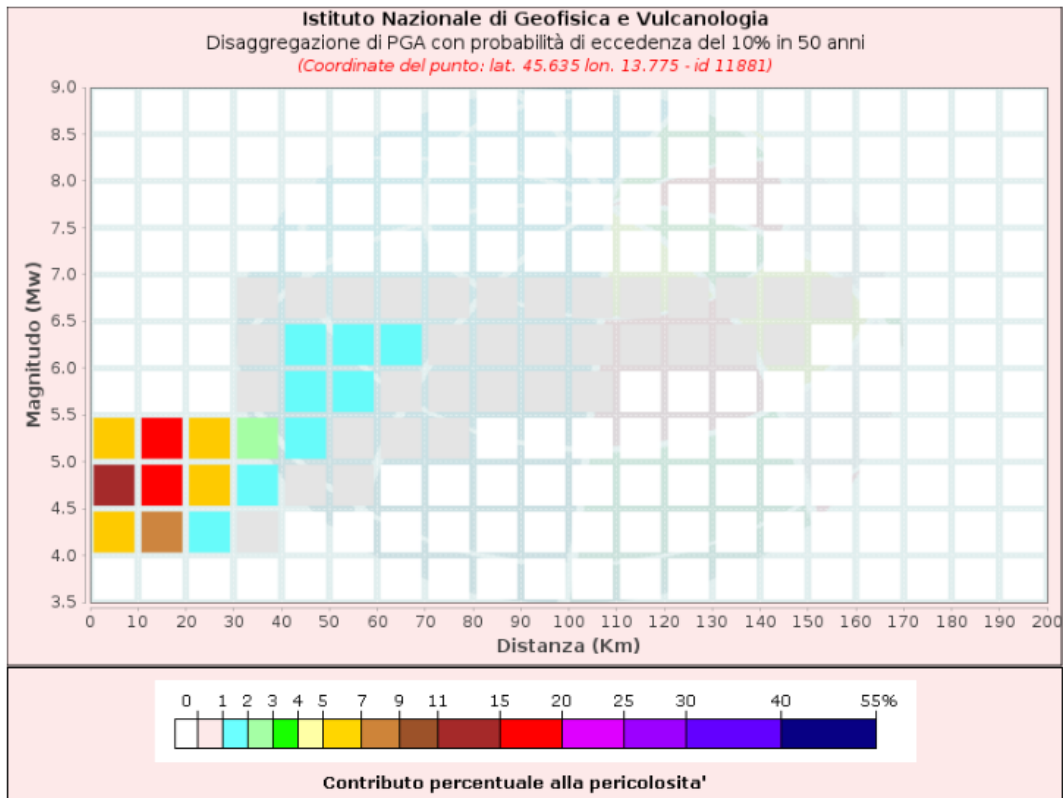
Le immagini seguenti riportano, per l'area in oggetto, la disaggregazione del valore di $a(g)$ con i contributi alla pericolosità sismica determinati con probabilità di eccedenza rispettivamente per:

$$TR \text{ (Tempo di ritorno)} = VR / [-\ln(1-PVR)]$$

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

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

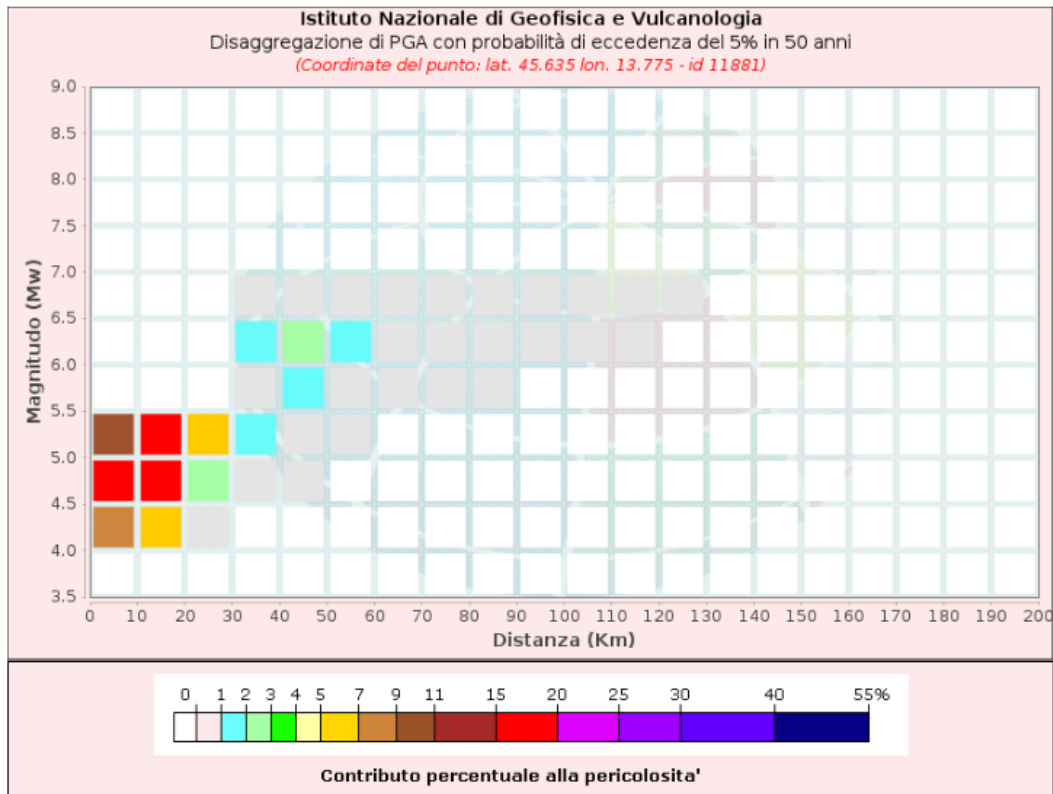
$$TR = 50 / [-\ln(1-0.02)] = 2475 \text{ anni}$$



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
 (Coordinate del punto: lat. 45.635 lon. 13.775 - id 11881)

Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	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	0.0000	5.8700	11.5000	6.8300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	7.3900	18.6000	15.6000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	1.2300	5.3100	6.9900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0321	1.1400	2.8800	0.9980	0.9620	0.1690	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.2680	1.3500	1.7700	1.9900	0.3800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0126	0.5200	1.2400	1.6600	0.3460	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.1120	0.6190	1.0200	0.2330	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0082	0.3010	0.6820	0.1690	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1450	0.5600	0.1530	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0440	0.3810	0.1170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0037	0.1910	0.0702	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0832	0.0407	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0253	0.0184	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0071	0.0091	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0034	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

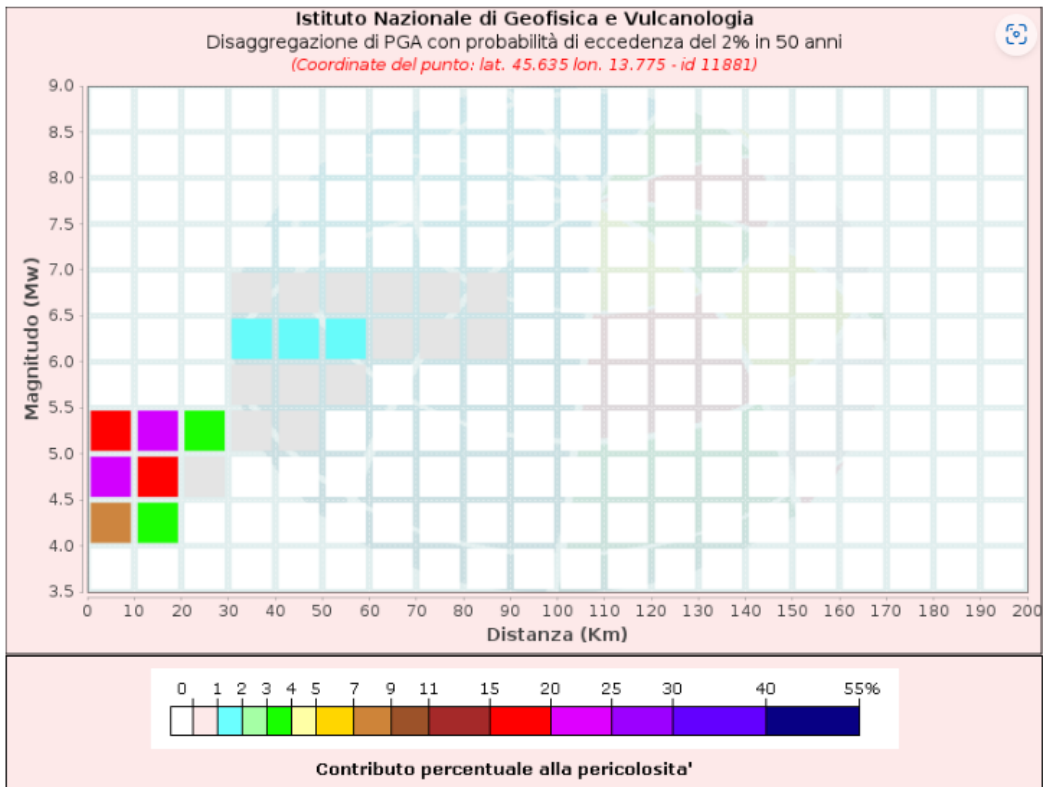
Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.07	21.7	1.34



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni
 (Coordinate del punto: lat. 45.635 lon. 13.775 - id 11881)

Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	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	0.0000	7.0000	15.3000	10.6000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	6.2900	18.7000	18.8000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.2410	2.9200	6.0800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.1410	1.6900	0.9560	1.1300	0.2210	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0044	0.5330	1.4600	2.0800	0.4470	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0663	0.7870	1.5200	0.3630	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2370	0.8160	0.2190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0432	0.4490	0.1410	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.2700	0.1120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1120	0.0723	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0254	0.0327	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.0104	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.05	17.7	1.51



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni
 (Coordinate del punto: lat. 45.635 lon. 13.775 - id 11881)

Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	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	0.0000	7.9900	20.8000	17.9000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	3.6100	16.0000	22.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.3410	3.5600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.2000	0.7330	1.2500	0.2870	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0078	0.6760	1.9200	0.4980	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0984	1.0500	0.3360	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3270	0.1610	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0638	0.0709	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0028	0.0199	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

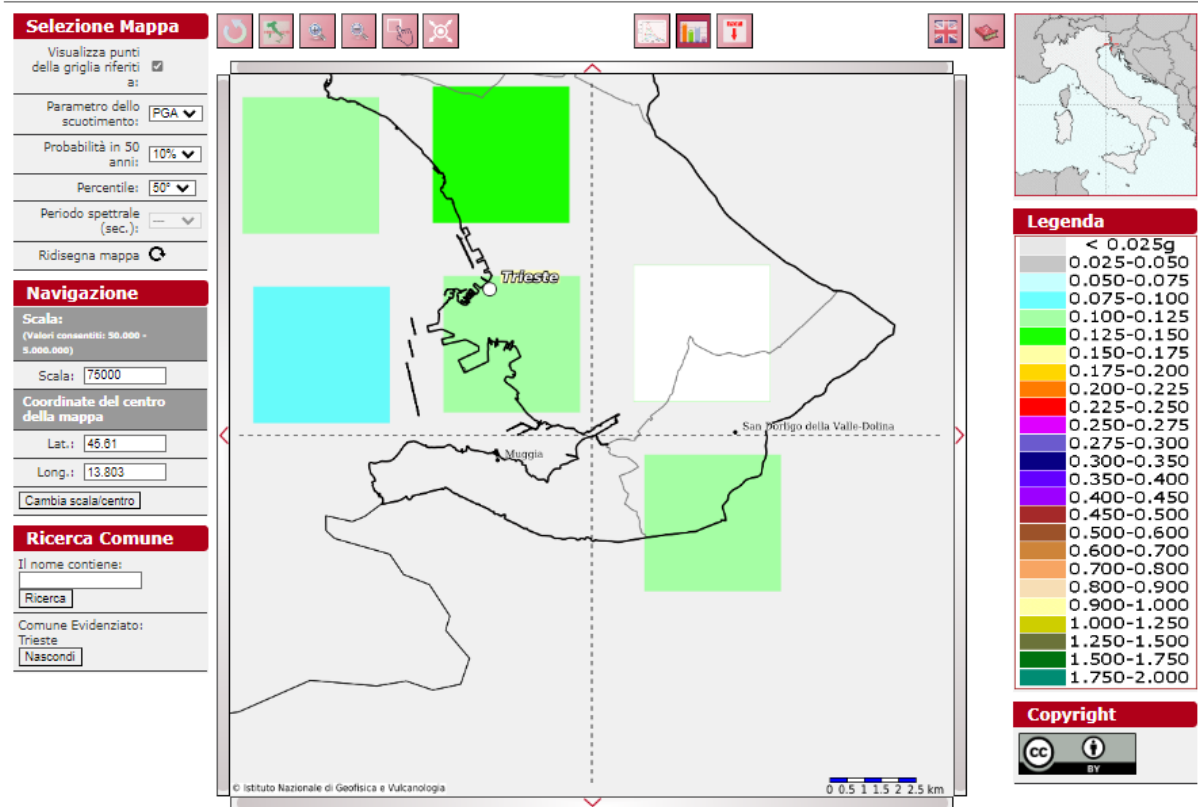
Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.05	13.6	1.74

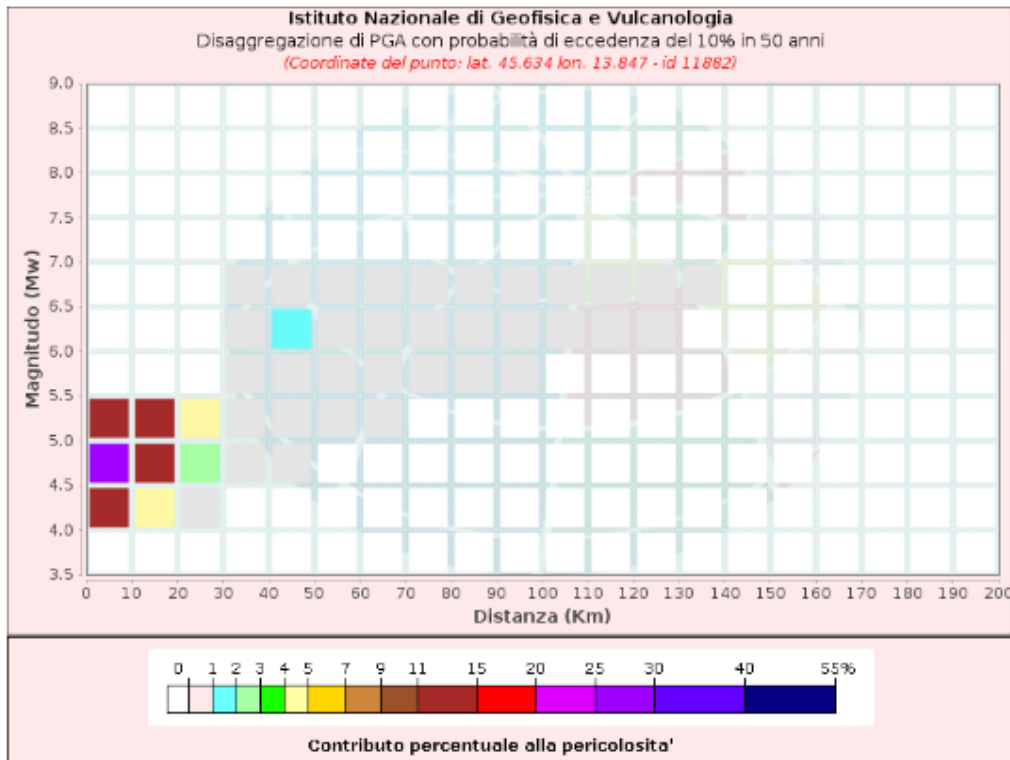


Pericolosità sismica quadrante Est



Modello di pericolosità sismica MPS04-S1





Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
 (Coordinate del punto: lat. 45.634 lon. 13.847 - id 11882)

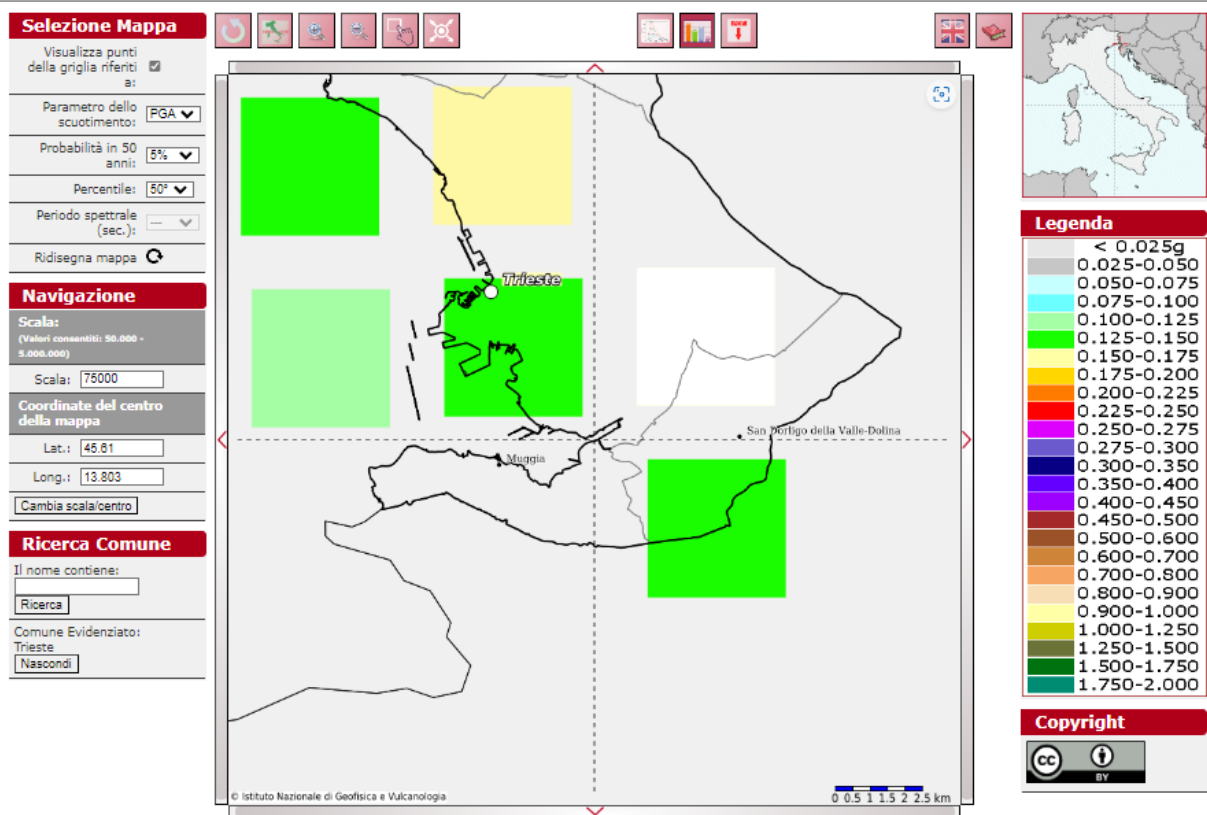
Distanza (km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	13.7000	25.8000	14.9000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	4.9500	13.6000	12.6000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.3560	2.4600	4.0300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.1430	0.9020	0.2300	0.2560	0.0487	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0221	0.4130	0.8070	1.0400	0.2130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.1120	0.5430	0.8740	0.1970	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0061	0.2180	0.5000	0.1240	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0654	0.2860	0.0796	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0137	0.1970	0.0646	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.1130	0.0479	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0404	0.0260	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0118	0.0137	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.0045	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

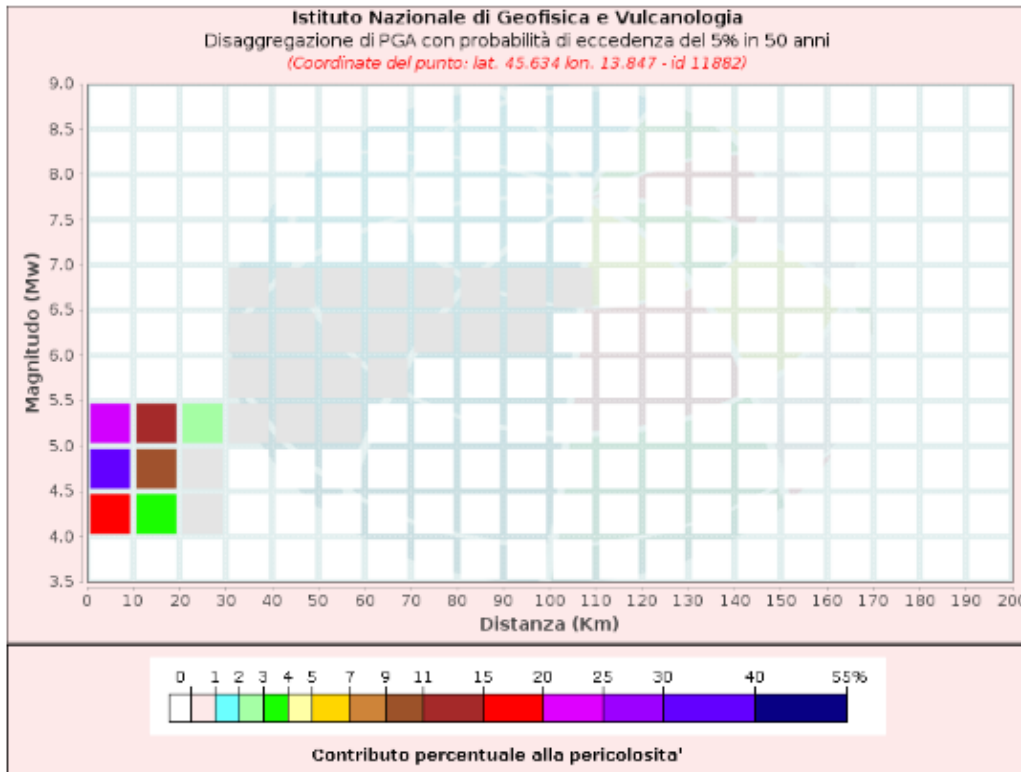
Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.93	13.2	1.01

Figura 3.14 – Mappa interattiva (Pvr =10% □ Tr = 474 anni)



Modello di pericolosità sismica MPS04-S1





Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni
 (Coordinate del punto: lat. 45.634 lon. 13.847 - id 11882)

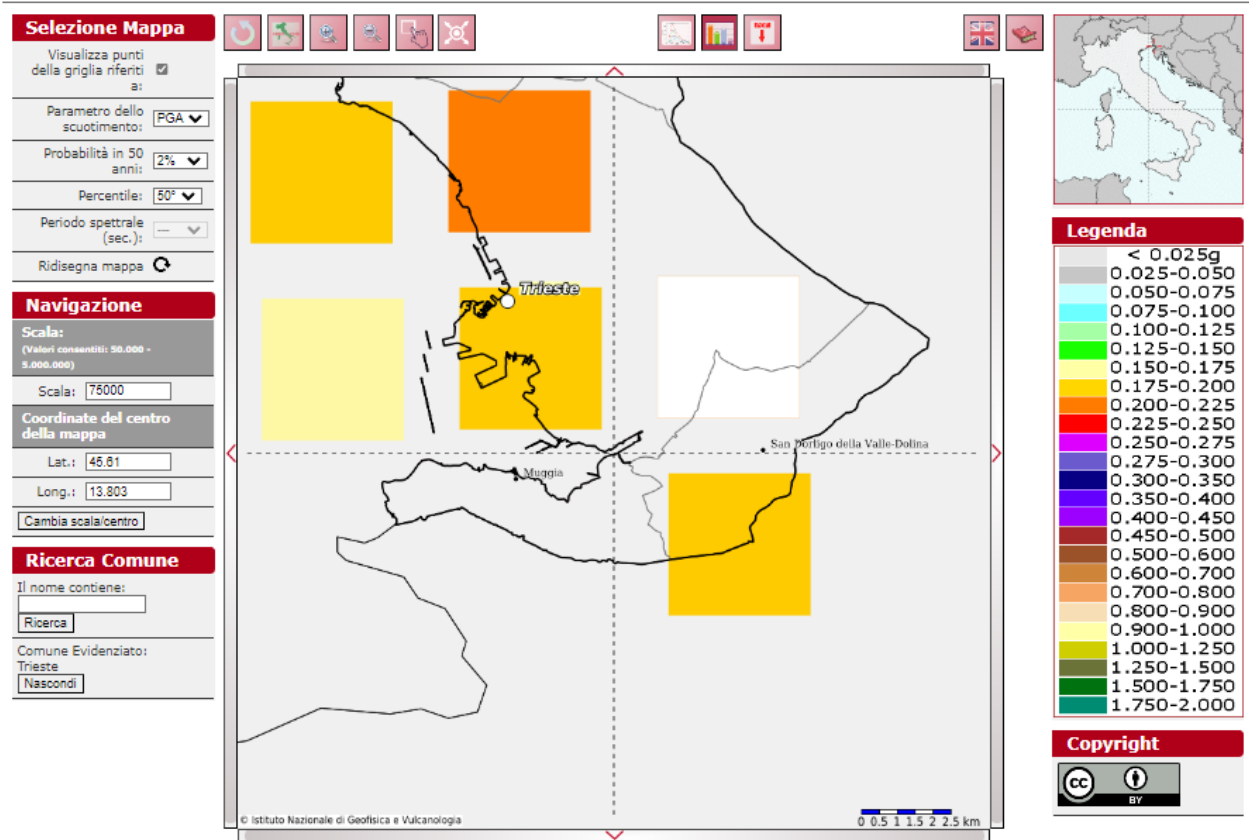
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	15.0000	31.3000	20.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	3.0600	10.6000	12.2000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0031	0.7050	2.5800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.2430	0.1620	0.2320	0.0498	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0583	0.4660	0.8440	0.1970	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.1850	0.6050	0.1610	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0237	0.2760	0.0884	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.1050	0.0481	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0353	0.0303	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0053	0.0138	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

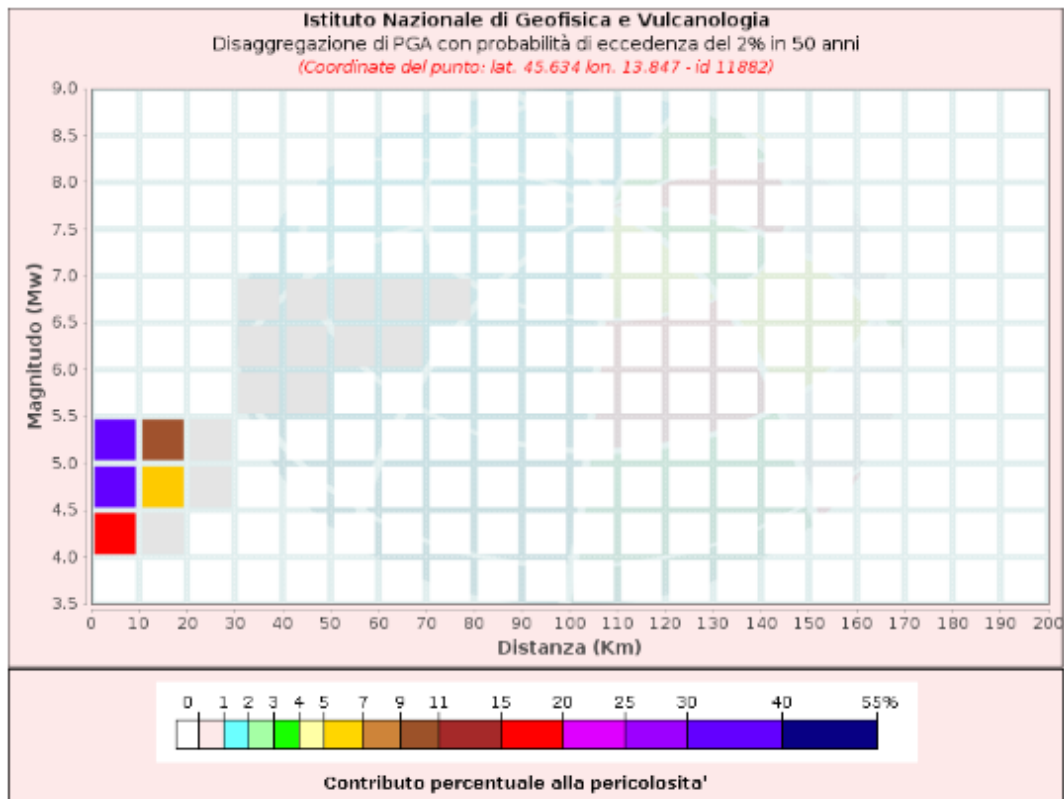
Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4,91	10,1	1,15

Figura 3.15 – Mappa interattiva (Pvr =5% □ Tr = 974 anni)



Modello di pericolosità sismica MPS04-S1





Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni
 (Coordinate del punto: lat. 45.634 lon. 13.847 - id 11882)

Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	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	0.0000	15.1000	36.9000	30.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.8170	5.3900	9.8900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0008	0.5900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0502	0.1650	0.0437	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0492	0.4630	0.1470	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1720	0.0900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0188	0.0285	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 3.16 – Mappa interattiva (Pvr =2% || Tr = 2475 anni)



3.4 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 ed 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.

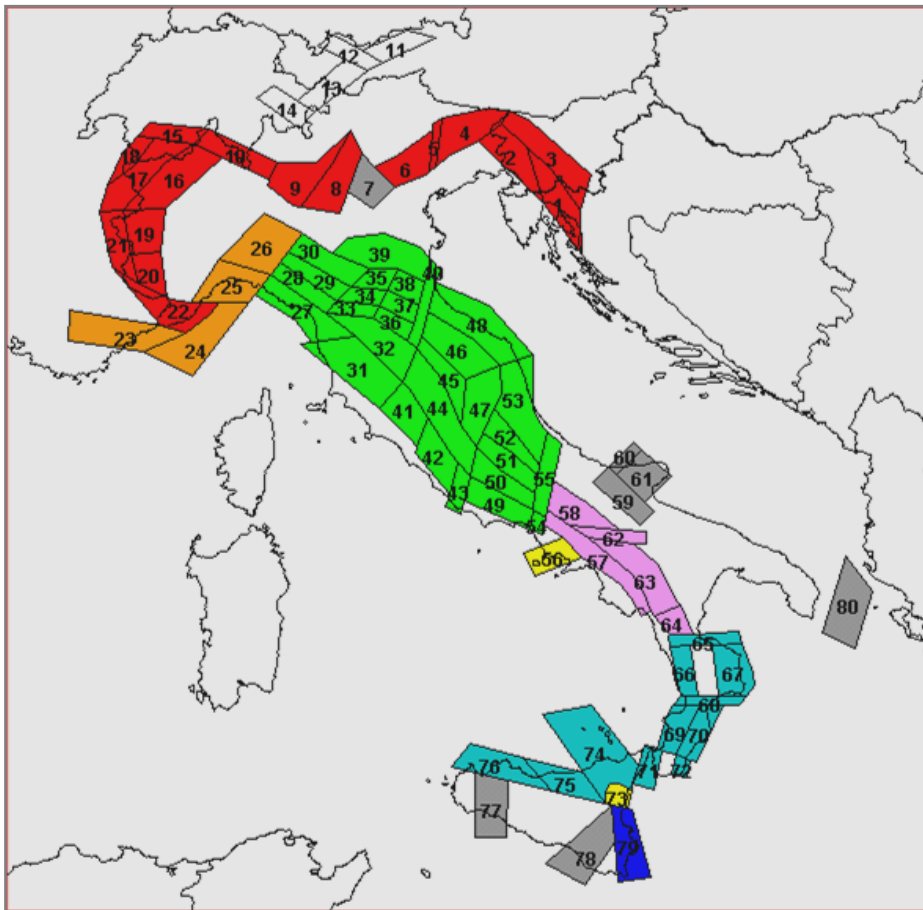


Figura 3.17 – Zonazione sismogenetica ZS.4 – 1996

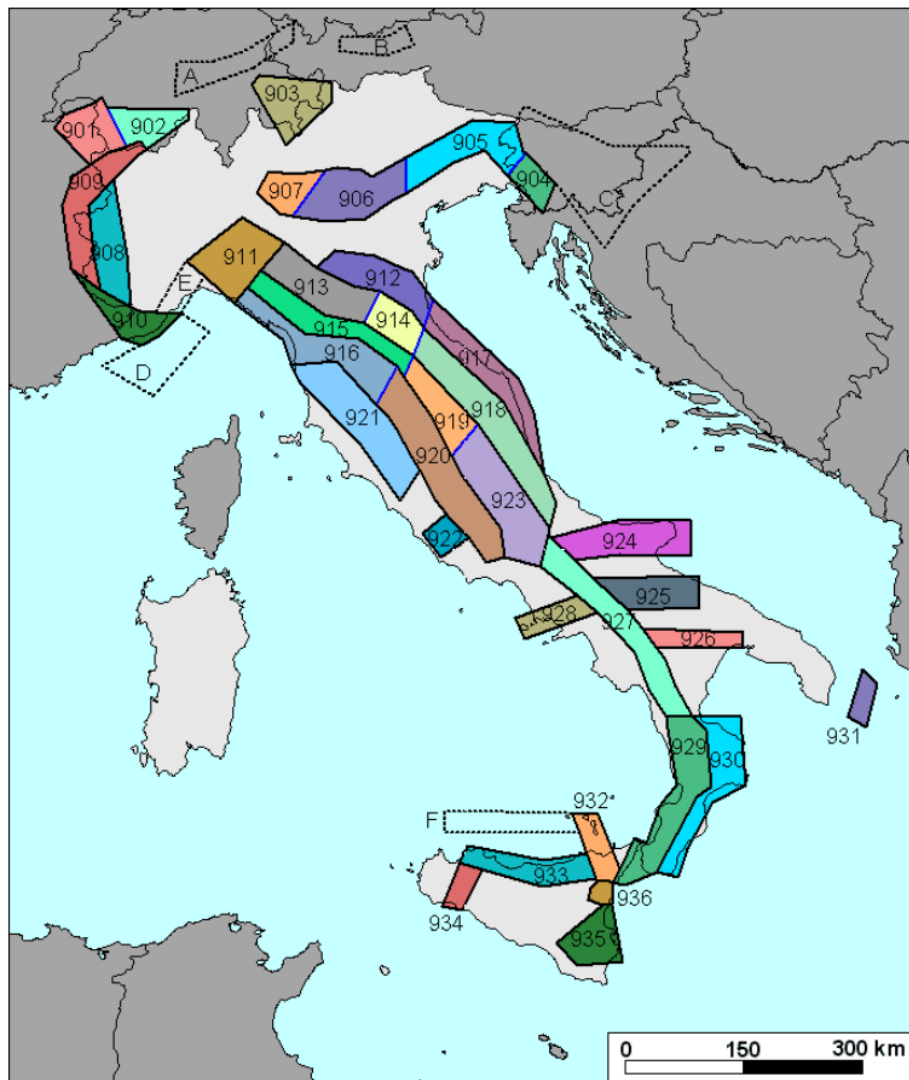


Figura 3.18 – Zonazione sismogenetica ZS.9 – 2004 (<http://www.arcgis.com>)

Dalla mappa delle Zone Sismogenetiche ZS9, l'area di intervento risulta ricadere in prossimità della zona n°904 denominata come "Altre zone" (cfr. Figura 5 17) che insieme alla n° 905 e 906, costituiscono l'area di massima convergenza tra la placca adriatica ed europea. Tali aree sono caratterizzate da strutture a pieghe sud-vergenti del Sudalpino orientale e faglie inverse associate (Zanferrari et al., 1982; Slejko et al., 1989; Valensise e Pantosti, 2001; Peruzza et al., 2002; Galadini et al., 2002).

La zona n°904 ricalca approssimativamente la zona 2 di ZS4, a meno della porzione inclusa nella 905.

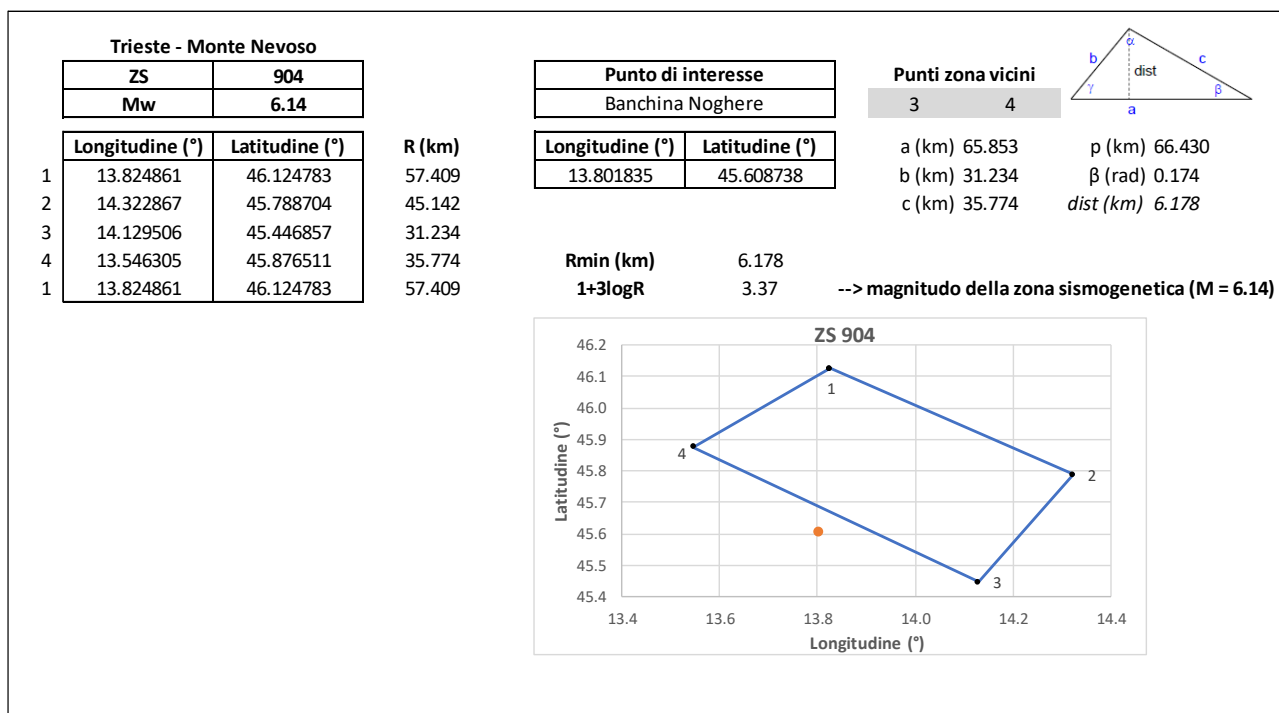


Figura 3.19 – Localizzazione del sito in esame con le zone sismogenetiche

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

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

Il nuovo database INGV “DISS 3.3.0” del 2021 (<http://diss.rm.ingv.it/diss/>), contiene 127 fonti sismogenetiche individuali, 188 sorgenti sismogenetiche composite, 35 sorgenti sismogenetiche dibattute e tre subduzioni.

Tutte le fonti sono basate su dati geologici/geofisici e coprono tutto il territorio italiano e porzioni di tutti i paesi limitrofi e dei mari.

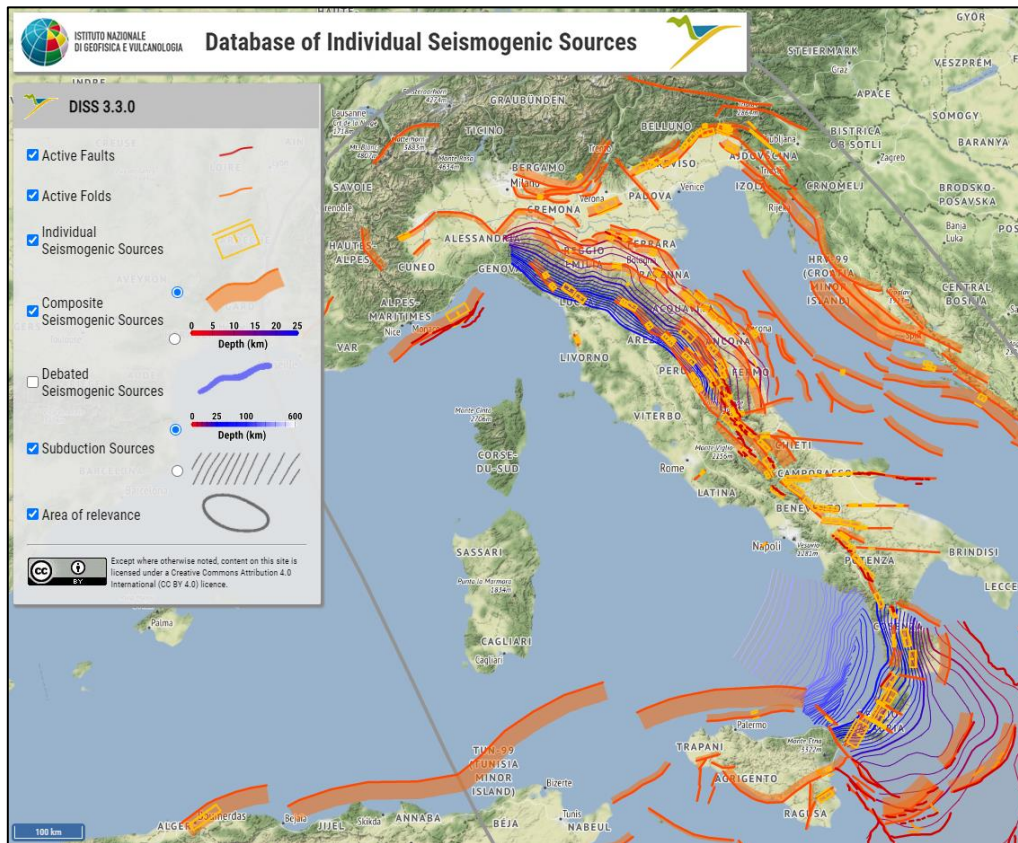


Figura 3.20 – Nuovo database INGV “DISS 3.3.0” – 2021

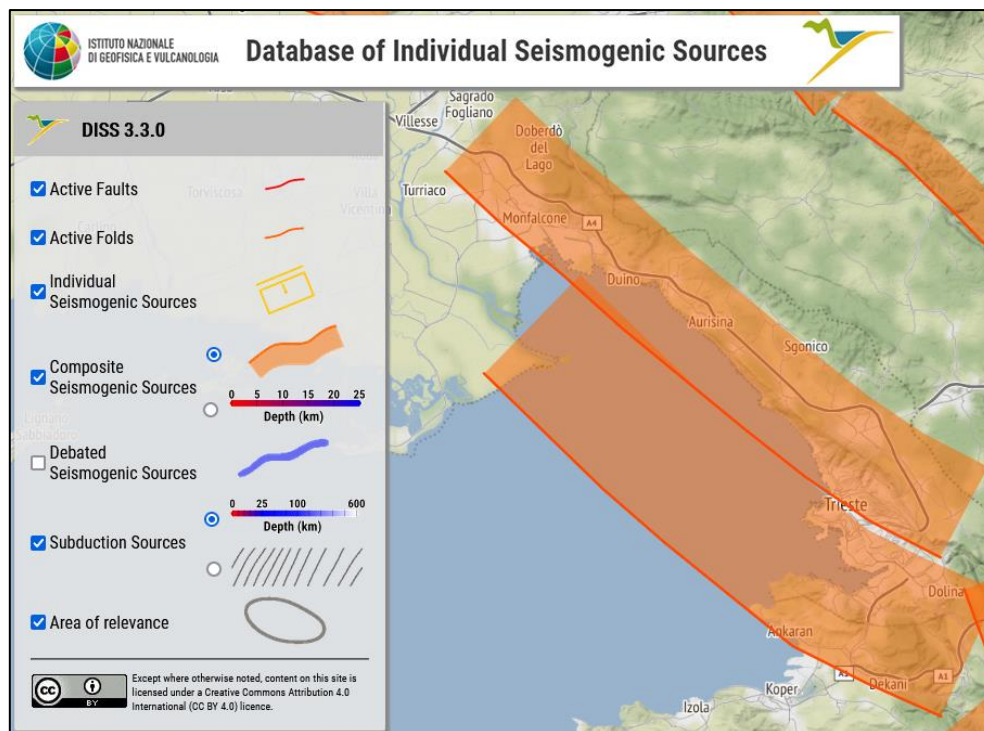


Figura 3.21 – Ubicazione del territorio di Trieste sul nuovo database INGV “DISS 3.3.0” – 2021



Di seguito vengono riportate le informazioni parametriche delle rispettive sorgenti sismogenetiche composite:

ITCS101 – Golfo di Trieste meridionale:

PARAMETRIC INFORMATION

Parameter	Quality	Evidence
Min depth [km]	1.5	EJ Inferred from regional geologic considerations and earthquake data.
Max depth [km]	8.0	EJ Inferred from geological observations and earthquake data.
Strike [deg] min... max	290...330	LD Based on geologic and structural data.
Dip [deg] min... max	30...45	LD Based on interpretation of seismic profile (Buseti et al., 2010).
Rake [deg] min... max	100...120	EJ Inferred from structural and regional earthquake data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.0200... 0.2300	OD Calculated from displaced geological markers.
Max Magnitude [Mw]	6.5	ER Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement

Figura 3.22 – Informazioni parametriche per la componente sismogenetica ITCS101

ITCS100 – Golfo di Trieste settentrionale:

PARAMETRIC INFORMATION

Parameter	Quality	Evidence
Min depth [km]	1.0	EJ Inferred from regional geologic considerations.
Max depth [km]	10.0	EJ Inferred from geological observations and regional earthquake data.
Strike [deg] min... max	320...350	LD Based on geologic and structural data.
Dip [deg] min... max	50...60	LD Based on seismic profile, geologic and structural data.
Rake [deg] min... max	130...160	EJ Inferred from regional structural data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.0300... 0.2700	OD Calculated from displaced geological markers.
Max Magnitude [Mw]	6.9	ER Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement

Figura 3.23 – Informazioni parametriche per la componente sismogenetica ITCS100



3.5 SISMICITÀ STORICA DELL'AREA

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

- CPTI15 e DBMI15, Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani;
- NT4.1, catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno (aggiornamento marzo 1998).

3.5.1 Catalogo CPTI15 e DBMI15

La nuova versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 (Rovida A., Locati M., Camassi R., Loli, B., Gasperini P., Antonucci A., 2021. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)).

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>) rappresenta una significativa evoluzione rispetto alle versioni precedenti, che sono quindi da considerare del tutto superate. Anche se i criteri generali di compilazione e la struttura sono gli stessi della precedente versione CPTI11, il contenuto del catalogo è stato ampiamente rivisto per quanto concerne:

- la copertura temporale, estesa dal 2006 a tutto il 2019.
- il database macrosismico di riferimento (DBMI15; Locati et al., 2021), significativamente aggiornato.
- i dati strumentali considerati, nuovi e/o aggiornati.
- le soglie di ingresso dei terremoti, abbassate a intensità massima 5 o magnitudo 4.0 (invece di 5-6 e 4.5 rispettivamente).
- la determinazione dei parametri macrosismici, basata su una nuova calibrazione dell'algoritmo Boxer.
- le magnitudo strumentali, che comprendono un nuovo set di dati e nuove relazioni di conversione.

Il catalogo copre all'incirca la stessa area di CPTI11, vale a dire l'intero territorio italiano con porzioni delle aree e dei mari confinanti, e contiene 4860 terremoti nella finestra temporale 1000-2019. Il catalogo, quindi, considera e armonizza il più possibile dati di base di diverso tipo e provenienza. La magnitudo utilizzata è la magnitudo momento (M_w) ed in tutti i casi è riportata la relativa incertezza. Tutti i dati ed i metodi utilizzati sono accuratamente esplicitati nel catalogo per garantire la massima trasparenza possibile nelle procedure di compilazione. Al pari di CPTI11, il catalogo non è stato declusterato e contiene quindi tutti foreshocks e le repliche disponibili e conosciute all'interno delle soglie di magnitudo ed intensità considerate.

Di seguito si riportano i risultati della consultazione.

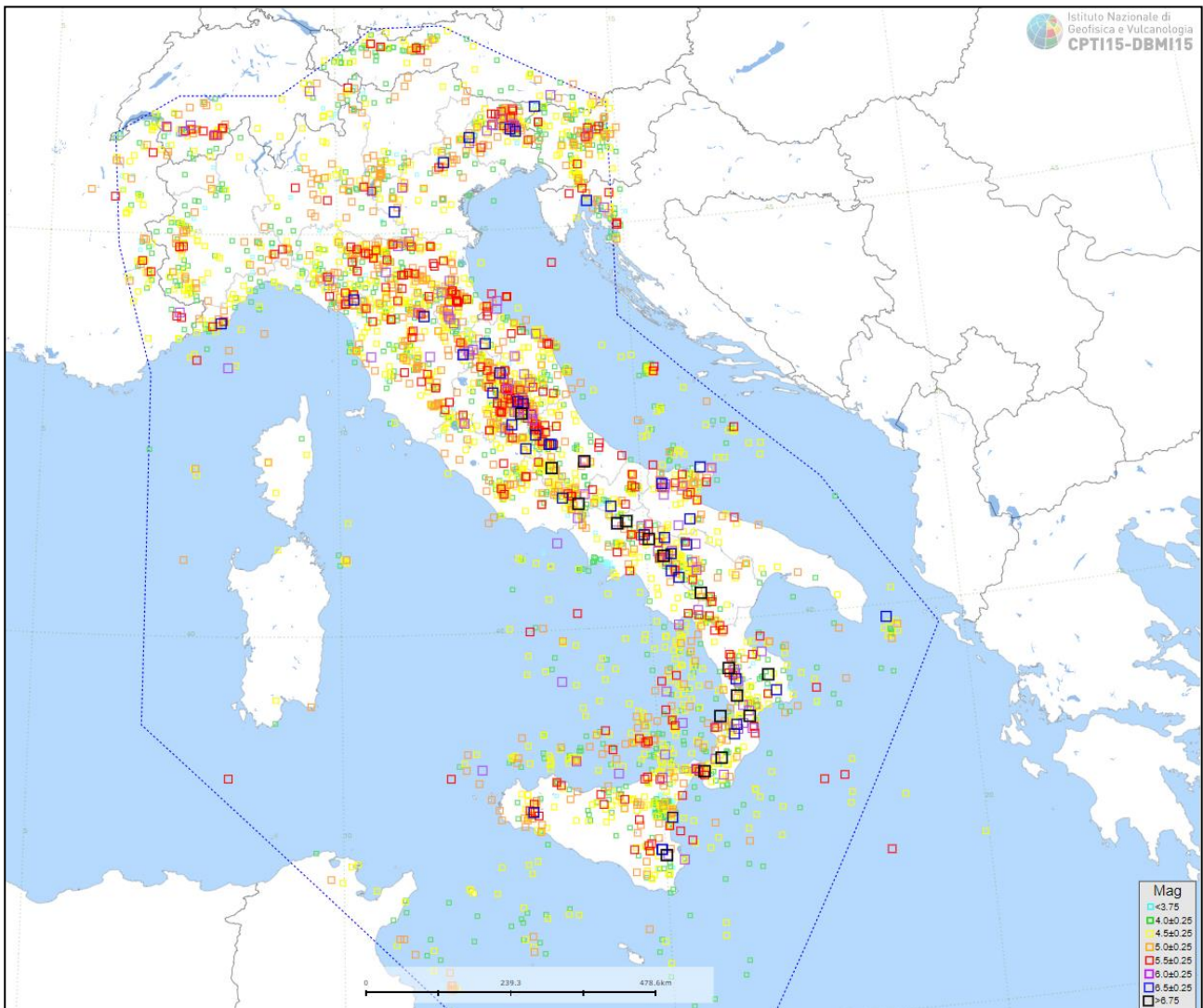


Figura 3.24 – Mappa degli epicentri dei terremoti del territorio italiano in CPTI15 (Mw – magnitudo momento)

L'ultima versione del Database Macrosismico Italiano chiamata DBMI15 è stata rilasciata a gennaio 2021, aggiorna e sostituisce la precedente DBMI11 (Locati et al., 2011).

Il DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2019. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia). I dati di intensità macrosismica (MDP, Macro seismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI).

L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le “storie sismiche” di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti.

Il catalogo DBMI15 contiene 123956 dati di intensità relativi a 3228 terremoti.



Grazie al sistema di consultazione on-line messo a disposizione dall'interfaccia web è stato possibile estrarre e localizzare gli epicentri degli eventi registrati nell'area di studio.

Di seguito si riportano i risultati della ricerca.

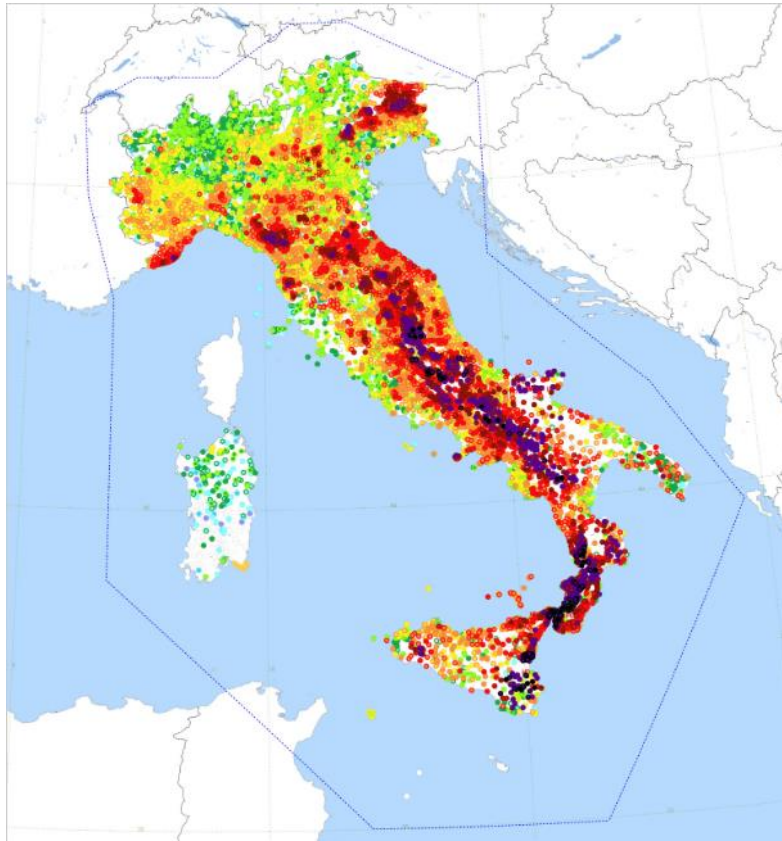


Figura 3.25 – Mappa degli epicentri dei terremoti del territorio italiano in DBMI15

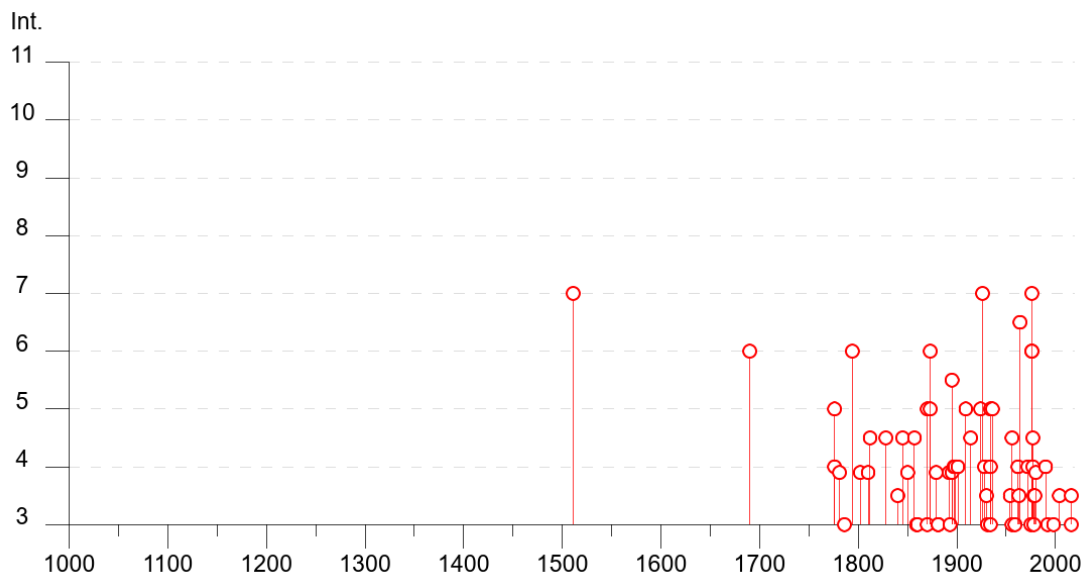


Figura 3.26 – Distribuzione temporale degli eventi sismici



Viene riportato di seguito un quadro sinottico degli eventi sismici registrati:

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7	1511	03	26	15	30		Friuli-Slovenia	120	9	6.32
6	1690	12	04	14			Carinthia, Villach	60	8-9	6.16
5	1776	04	24	16	36		Costa croata settentrionale	3	7	5.10
4	1776	07	10				Prealpi Friulane	19	8-9	5.82
F	1781	04	04	21	20		Faentino	96	9-10	6.12
3	1786	12	25	01			Riminese	90	8	5.66
NF	1788	10	20	21	10		Carnia	9	7-8	5.19
6	1794	06	07	00	45		Prealpi Friulane	19	8-9	5.96
F	1802	01	04				Slovenia	8		
F	1810	12	25	00	45		Pianura emiliana	33	6	5.06
4-5	1812	10	25	07			Pordenonese	34	7-8	5.62
4-5	1828	04	11	22	25		Appennino umbro-marchigiano	22	5-6	4.93
3-4	1840	08	27	12	05		Tuhinj Valley	49	7	5.28
4-5	1845	12	21	20	40		Ljubljana	5	5	4.16
F	1850	07	10	02	30		Slovenia nord-occidentale	9	5	4.64
4-5	1857	03	07				Stiria	13	6-7	5.21
3	1859	01	20	07	55		Prealpi Trevigiane	36	6	4.80
3	1860	07	19				Prealpi Trevigiane	10	6-7	4.92
3	1870	02	28	11	20		Rijeka	8	5	4.56
5	1870	03	01	20			Costa croata settentrionale	29	8	5.62
5	1873	03	12	20	04		Appennino marchigiano	196	8	5.85
6	1873	06	29	03	58		Alpago Cansiglio	197	9-10	6.29
2-3	1875	03	17	23	51		Costa romagnola	144	8	5.74
F	1879	06	22	04	15		Friuli	16	5-6	4.74
3	1881	01	24	16	14		Bolognese	38	7	5.22
3	1881	02	02				Russi	13	5-6	4.69
2	1885	12	29				Alpago Cansiglio	47	6	4.96
2-3	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
F	1892	06	23	23	20		Dolomiti Friulane	71	5-6	4.58
3	1893	10	27	16	31		Bellunese	54	5	4.42
5-6	1895	04	14	20	17	3	Ljubljana	810	8-9	5.98
F	1895	06	10	01	47		Prealpi Trevigiane	73	6	4.85



2-3	1895	08	09	17	38	2	Adriatico centrale	103	6	5.11
4	1897	07	15	05	53		Ljubljana	325	6-7	4.99
4	1898	02	20	04	57	2	Valli del Natisone	155	7	5.12
NF	1898	11	16				Garda occidentale	43	6	4.63
4	1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8	5.44
2-3	1908	07	10	02	13	3	Carnia	119	7-8	5.31
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
4-5	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
5	1924	12	12	03	29		Carnia	78	7	5.42
7	1926	01	01	18	04	0	Carniola interna	63	7-8	5.72
4	1928	03	27	08	32		Carnia	359	9	6.02
3-4	1930	10	30	07	13		Senigallia	268	8	5.83
3	1931	12	25	11	41		Friuli	45	7	5.25
3	1934	05	04	13	56		Carnia	80	6	4.69
4	1934	06	08	03	16		Dolomiti Friulane	21	5-6	4.93
5	1934	11	30	02	58	2	Adriatico settentrionale	51	5	5.30
2-3	1935	06	05	11	48		Faentino	27	6	5.23
5	1936	10	18	03	10		Alpago Cansiglio	269	9	6.06
2-3	1939	07	10	16	27	5	Pordenonese	8	5	4.75
2	1943	07	24	01	44		Feltrino	29	7	5.07
3-4	1954	10	11	16	45	2	Friuli	36	6	4.76
4-5	1956	01	31	02	25	3	Carniola interna	7		5.03
3	1956	11	05	19	45		Carnia	27	6	5.04
3	1959	04	26	14	45		Carnia	122	7-8	5.21
4	1962	01	23	17	31		Costa pesarese	49	5	4.35
3-4	1963	08	09	06	05		Romagna	16	5	5.23
6-7	1964	03	18	16	43	2	Carso	2		4.36
NF	1967	12	09	03	09	5	Adriatico centrale	22		4.36
2	1968	06	22	12	21	3	Val Lagarina	27	6-7	4.74
4	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
3	1975	03	24	02	33	3	Carnia	24	5-6	4.51
6	1976	05	06	20	00	1	Friuli	770	9-10	6.45
6	1976	09	11	16	35	0	Friuli	40	7-8	5.60
7	1976	09	15	09	21	1	Friuli	54	8-9	5.95
4	1977	04	03	03	18	1	Friuli	25	5	4.51
4-5	1977	09	16	23	48	0	Friuli	94	6-7	5.26
3	1978	12	05	15	39	0	Romagna	34	4-5	4.61
3-4	1978	12	12	15	14	4	Dolomiti Friulane	56	5-6	4.35
3-4	1979	04	18	15	19	1	Friuli	72	6-7	4.66
F	1980	12	23	12	01	0	Piacentino	69	6-7	4.57
2-3	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
4	1990	11	11	22	16	2	Slovenia occidentale	101	5-6	4.59
3	1992	02	21	20	50	3	Costa croata settentrionale	29	5-6	4.31
2-3	1998	03	13	15	14	5	Carniola interna	46		4.25
3	1998	08	31	02	32	0	Slovenia centrale	77		4.31
3-4	2004	07	12	13	04	0	Slovenia nord-occidentale	353		5.12
3	2016	10	26	19	18	0	Valnerina	77		6.07
3-4	2016	10	30	06	40	1	Valnerina	379		6.61

Figura 3.27 – Quadro sinottico degli eventi sismici nel tempo

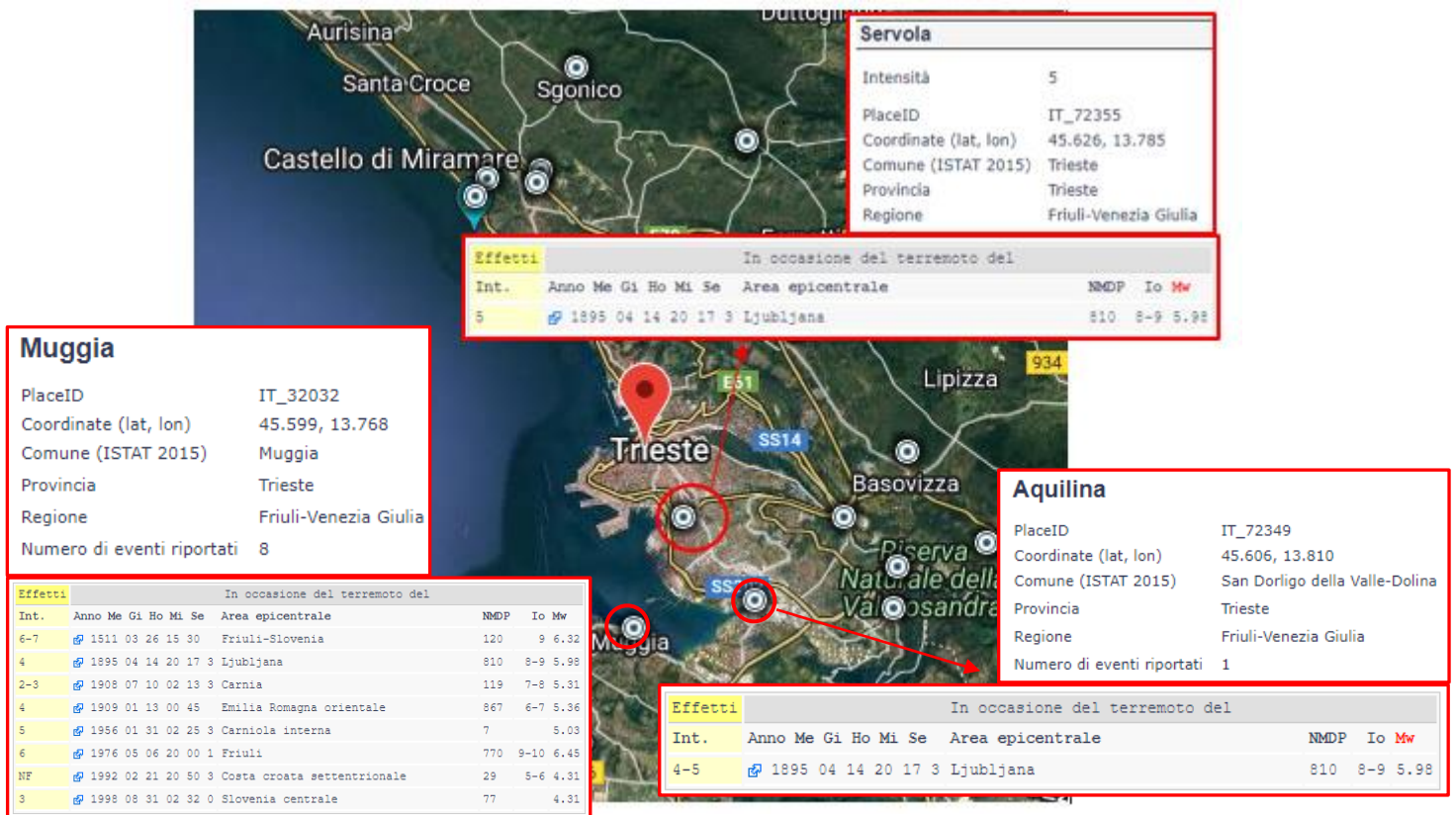


Figura 3.28 – Ubicazione terremoti nei dintorni di Trieste; evidenziato l'evento sismico di Servola del 1895.

3.5.2 Catalogo NTC4.1.1

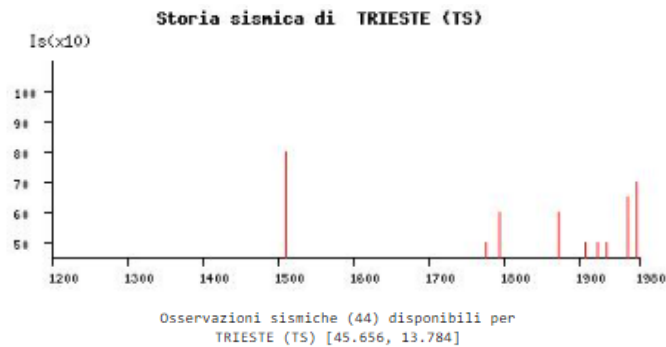
In ambito GNDT, ed in particolare nell'ambito delle iniziative per la valutazione della pericolosità sismica del territorio italiano, a partire dal 1990 si è posta la necessità di produrre cataloghi parametrici compilati secondo criteri orientati alla valutazione della pericolosità sismica (Stucchi, 1991) e che considerassero i risultati delle ricerche effettuate dopo la pubblicazione del catalogo PFG (Postpischl, 1985). 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 NTC4.1.1 (luglio 1997) contiene alcune correzioni ad errori evidenziati nella fase successiva alla pubblicazione e alcune modifiche provenienti da controlli effettuati sui dati di base.

Di seguito si riportano le osservazioni sismiche consultate nel sito:

(http://emidius.mi.ingv.it/DOM/consult_loc.html).



Data				Effetti	in occasione del terremoto di:	
Ye	Mo	Da	Ho Mi	Is (MCS)	Area epicentrale	Ix Ms
1511	03	26	14 30	80	GEMONA	90 62
1976	09	15	09 21	70	FRIULI	85 59
1964	03	18	16 43	65	CARSO	65 45
1794	06	07		60	TRAMONTI	75 52
1873	06	29	03 55	60	BELLUNESE	100 64
1976	05	06	20	60	FRIULI	95 65
1776	04	24		50	BAKAR	65 47
1909	01	13	00 45	50	BASSA PADANA	65 54
1924	12	12	03 29	50	CARNIA	70 54
1936	10	18	03 10	50	BOSCO CANSIGLIO	90 58
1812	10	25	07	45	SEQUALS	75 52
1845	12	21		45	LJUBLJANA	65 47
1914	10	27	09 22	45	GARFAGNANA	70 58
1956	01	31	02 25	45	VILLA DEL NEVOSO	50 47
1776	07	10		40	TRAMONTI	85 59
1781	04	04		40	FAENTINO	90 62
1928	03	27	08 32	40	CARNIA	90 56
1934	06	08	03 16	40	CLAUT	60 47
1962	01	23	17 31	40	ADRIATICO	60 47
1972	10	25	21 56	40	PASSO CISA	50 47
1930	10	30	07 13	35	SENIGALLIA	85 60
1963	08	09	06 05	35	FAENTINO	60 52
1810	12	25	00 45	F	NOVELLARA	70 50
1879	06	22	04 15	F	TARCENTO	55 42
1895	06	10	01 47	F	VALDOBBIADENE	65 47
1786	12	25		30	RIMINI	80 55
1859	01	20	07 55	30	COLLALTO	70 47
1881	01	24		30	BOLOGNESE	70 50
1881	02	12		30	RUSSI	65 47
1908	07	10	02 13	30	CARNIA	80 50
1931	12	25	11 41	30	TARCENTO	70 52
1934	05	04	13 56	30	CARNIA	65 43
1956	11	05	19 45	30	PALUZZA	60 48
1959	04	26	14 45	30	CARNIA	80 49
1875	03	17		25	RIMINI	80 52
1891	06	07		25	VERONESE	80 55
1935	06	05	11 48	25	FAENTINO	60 51
1943	07	24	01 44	20	VALDOBBIADENE	70 48
1967	12	09	03 09	10	ADRIATICO MER.	50 44
1971	07	15	01 33	10	PARMENSE	80 54
1935	03	19	07 27	RS	FRANCIA	40 50
1937	12	15	21 25	RS	CAPITANATA	55 44
1943	03	25	15 40	RS	OFFIDA	60 46
1980	01	25	00 27	RS	VAL VENOSTA	55 34

Per il comune di Trieste sono disponibili n° 44 osservazioni sismiche.

L'evento che ha prodotto gli effetti sismici maggiori è quello del 1511 per il quale si ricava un'intensità al sito Is (MCS) di 8.0.



3.5.3 Banca dati GNDT 1996

A partire dal 1988 il GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti) 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.

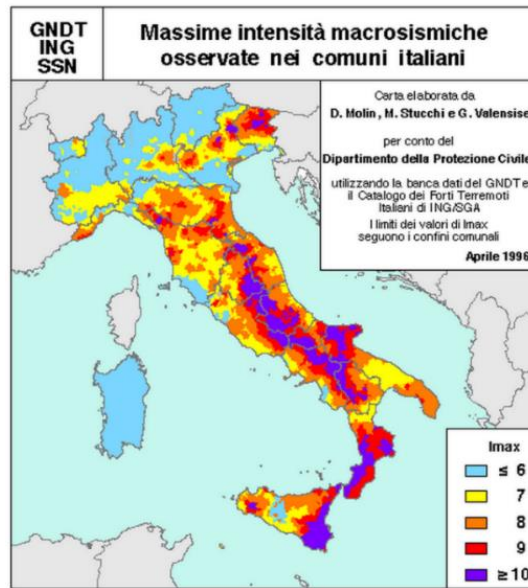
Il GNDT ha dato corso a nuovi studi di terremoti, privilegiando gli eventi per i quali non fossero già disponibili studi qualificati; anche in questo caso i dati sono stati georeferenziati, in analogia a quanto discusso in precedenza.

Per entrambi i gruppi di studi 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 d'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	

Figura 3.29 – Distribuzione dei dati per regione



Friuli-Venezia Giulia

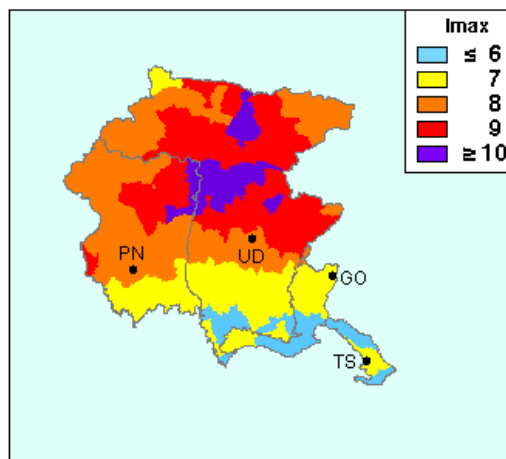


Figura 3.30 – Mappa delle massime intensità sismiche osservate nei comuni italiani

Dalla consultazione del sito, si ricava per la città di Trieste un'intensità macrosismica I_{max} pari a 7.

Massime intensità macrosismiche osservate nella provincia di Trieste

Comune	Re	Pr	Com	Lat	Lon	I_{max}
DUINO-AURISINA	6	32	1	45.75046	13.66923	≤ 6
MONRUPINO	6	32	2	45.71729	13.80666	≤ 6
MUGGIA	6	32	3	45.59943	13.76801	≤ 6
SAN DORLIGO DELLA VALLE	6	32	4	45.60404	13.85792	≤ 6
SGONICO	6	32	5	45.73496	13.74804	≤ 6
TRIESTE	6	32	6	45.65635	13.78421	7



4 INDAGINE GEOGNOSTICA

A seguito di accurati rilievi di superficie ed in base al quadro informativo desunto dalla consultazione del Piano Regolatore Generale del Comune e dei database tecnico - scientifici presenti nell'archivio informatico della Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia il quadro geognostico conoscitivo è stato implementato con la realizzazione di:

- **6 BH:** sondaggi condotti a carotaggio continuo con il prelievo di campioni indisturbati e l'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT;
- **4 HVSR:** prove geofisiche con tecnica di sismica passiva (Horizontal to Vertical Spectral Ratio);
- **2 MASW:** prove geofisiche con tecnica di sismica attiva (Multichannel Analysis of Surface Waves);

indagini condotte ai sensi dei capitoli 6.2.1 "CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO" e 6.2.2 "INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA" delle NTC – D.M. 17/01/2018 e della circolare del Ministero delle infrastrutture e trasporti del 21 gennaio 2019 n. 7.

La relazione contiene, pertanto, l'identificazione delle formazioni presenti nel sito, della struttura del sottosuolo, definendone il modello geologico del sottosuolo, illustrando e caratterizzando gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché gli eventuali conseguenti livelli delle pericolosità geologiche. In relazione alle risultanze delle indicate condotte ed ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è stato adottato l'approccio semplificato basato sulla classificazione del sottosuolo.

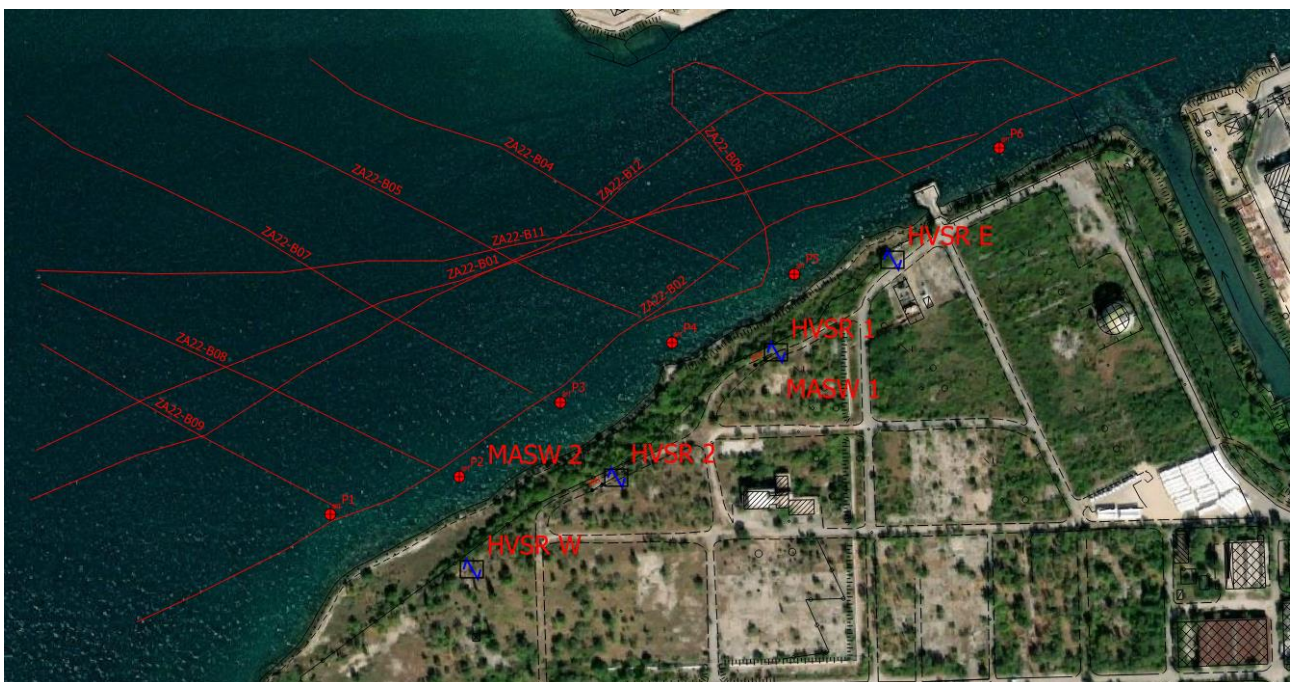


Figura 4.1 – Estratto non in scala dell'ortofotocarta indicante le indagini geognostiche svolte nell'areale di studio.



4.1 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

Al fine di verificare in dettaglio la successione stratigrafica dei terreni, sono state indagate 6 verticali durante le quali sono stati prelevati campioni indisturbati, rimaneggiati e sono state realizzate delle prove penetrometriche dinamiche SPT, come di seguito riassunto nelle tabelle di dettaglio.

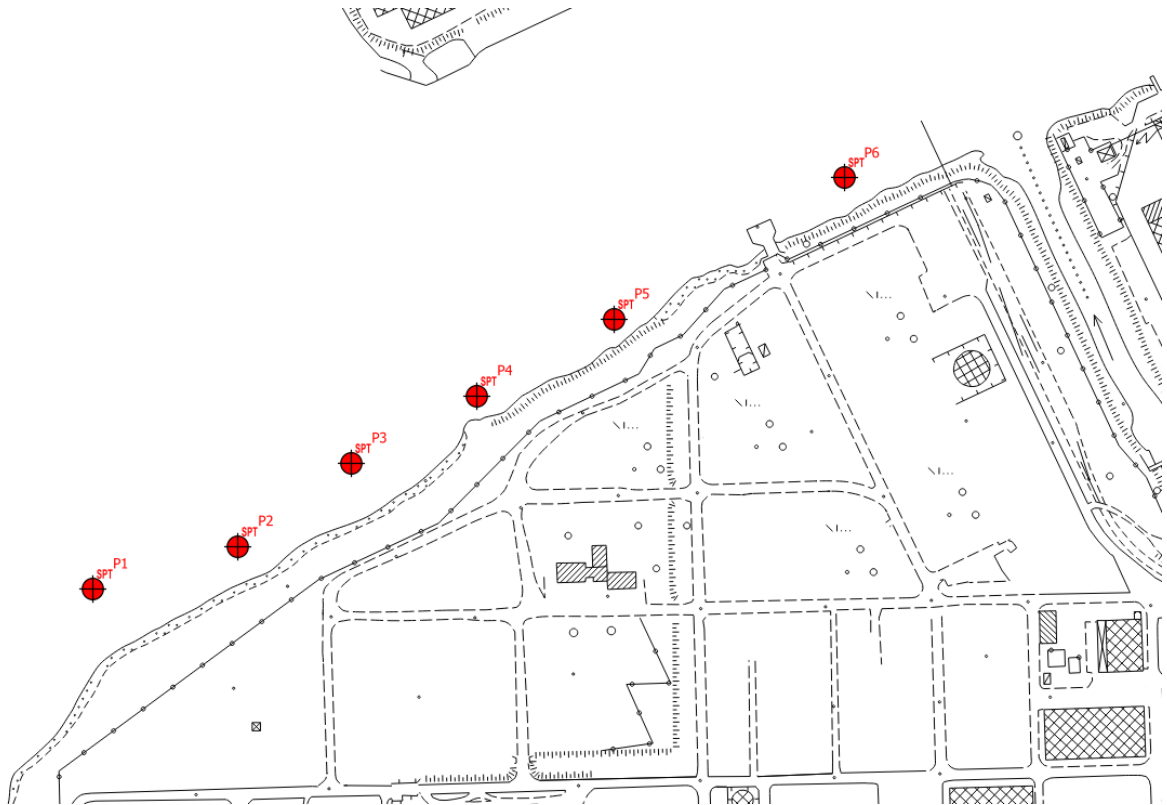


Figura 4.2 – Estratto planimetrico non in scala indicante i punti di indagine geognostica condotta a carotaggio continuo.

Sondaggio	Campione	Tipologia	Quota (m da f.m.)	Quota (m da l.m.m.)
S1	CI1	Indisturbato	3.40 ÷ 4.00	8.80 ÷ 9.40
	CI2	Indisturbato	17.30 ÷ 17.90	22.70 ÷ 23.30
	CI3	Indisturbato	25.00 ÷ 25.60	30.40 ÷ 31.00
	CR1	Rimaneggiato	43.80 ÷ 44.00	49.20 ÷ 49.40
	CR2	Rimaneggiato	44.30 ÷ 44.40	49.70 ÷ 49.80
	CR3	Rimaneggiato	45.20 ÷ 45.40	50.60 ÷ 50.80
S2	CI1	Indisturbato	3.00 ÷ 3.60	7.20 ÷ 7.80
	CI2	Indisturbato	6.00 ÷ 6.60	10.20 ÷ 10.80



	CR1	Rimaneggiato	44.50 ÷ 44.60	48.70 ÷ 48.80
	CR2	Rimaneggiato	45.30 ÷ 45.45	49.50 ÷ 49.65
	CR3	Rimaneggiato	46.90 ÷ 47.00	51.10 ÷ 51.20
S3	CI1	Indisturbato	3.30 ÷ 3.90	12.00 ÷ 12.60
	CI2	Indisturbato	4.50 ÷ 5.10	13.20 ÷ 13.80
	CI3	Indisturbato	6.00 ÷ 6.60	14.70 ÷ 15.30
	CI4	Indisturbato	15.50 ÷ 16.10	24.20 ÷ 24.80
	CI5	Indisturbato	20.60 ÷ 21.20	29.30 ÷ 29.90
	CI6	Indisturbato	24.80 ÷ 25.40	33.50 ÷ 34.10
S4	CI1	Indisturbato	2.50 ÷ 3.10	5.70 ÷ 6.30
	CI2	Indisturbato	7.00 ÷ 7.60	10.20 ÷ 10.80
	CR1	Rimaneggiato	42.00 ÷ 42.08	45.20 ÷ 45.28
	CR2	Rimaneggiato	43.30 ÷ 43.40	46.50 ÷ 46.60
S5	CI1	Indisturbato	4.50 ÷ 5.10	7.20 ÷ 7.80
	CI2	Indisturbato	6.60 ÷ 7.20	9.30 ÷ 9.90
	CR1	Rimaneggiato	41.40 ÷ 41.50	44.10 ÷ 44.20
	CR2	Rimaneggiato	46.00 ÷ 46.10	48.70 ÷ 48.80
	CR3	Rimaneggiato	46.75 ÷ 46.90	49.45 ÷ 49.60
S6	CI1	Indisturbato	2.70 ÷ 3.30	9.20 ÷ 9.80
	CI2	Indisturbato	4.40 ÷ 5.00	10.90 ÷ 11.50
	CI3	Indisturbato	7.00 ÷ 7.60	13.50 ÷ 14.10
	CR1	Rimaneggiato	42.10 ÷ 42.18	48.60 ÷ 48.68

Le prove sono state suddivise nei seguenti gruppi:

A. Descrizione del campione e Prove Fisiche;

B. Prove meccaniche di resistenza e compressibilità/permeabilità



Sondaggio	SPT	Quota (m da f.m.)	Quota (m da l.m.m.)	N di colpi	Tipo di punta
S1	1	2.90 ÷ 3.35	8.30 ÷ 8.75	1/1/1	aperta
	2	7.50 ÷ 7.95	12.90 ÷ 13.35	20/27/43	chiusa
	3	12.30 ÷ 12.75	17.70 ÷ 18.15	3/10/27	chiusa
	4	15.20 ÷ 15.65	20.60 ÷ 21.05	15/16/17	chiusa
	5	17.90 ÷ 18.35	23.30 ÷ 23.75	17/27/23	chiusa
	6	18.80 ÷ 19.25	24.30 ÷ 24.75	10/26/25	chiusa
	7	25.60 ÷ 26.05	31.00 ÷ 31.45	3/7/9	chiusa
	8	28.10 ÷ 28.55	33.50 ÷ 33.95	7/8/10	chiusa
	9	36.00 ÷ 36.45	41.40 ÷ 41.85	14/17/17	chiusa
S2	1	13.50 ÷ 13.95	17.70 ÷ 18.15	22/39/47	chiusa
	2	15.00 ÷ 15.45	19.20 ÷ 19.65	20/26/28	chiusa
S3	1	1.50 ÷ 1.95	10.20 ÷ 10.65	0/0/0	chiusa
	2	3.90 ÷ 4.35	12.60 ÷ 13.05	0/0/0	chiusa
	3	5.10 ÷ 5.55	13.80 ÷ 14.25	0/0/0	chiusa
	4	6.60 ÷ 7.05	15.30 ÷ 15.75	17/28/23	chiusa
	5	8.00 ÷ 8.45	16.70 ÷ 17.15	15/14/19	chiusa
	6	9.50 ÷ 9.95	18.20 ÷ 18.65	12/29/R	chiusa
	7	12.00 ÷ 12.45	20.70 ÷ 21.15	12/14/17	chiusa
	8	15.00 ÷ 15.45	23.70 ÷ 24.15	4/7/10	chiusa
	9	21.20 ÷ 21.65	29.90 ÷ 30.35	6/6/8	chiusa
	10	22.50 ÷ 22.95	31.20 ÷ 31.65	20/10/4	chiusa
	11	25.40 ÷ 25.85	34.10 ÷ 34.55	19/21/11	chiusa
	12	26.50 ÷ 26.95	35.20 ÷ 35.65	7/12/14	chiusa
	13	28.50 ÷ 28.95	37.20 ÷ 37.65	12/13/18	chiusa
	14	30.00 ÷ 30.45	38.70 ÷ 39.15	10/12/14	chiusa
	15	31.50 ÷ 31.95	40.20 ÷ 40.65	14/23/25	chiusa
	16	34.50 ÷ 34.95	43.20 ÷ 43.65	30/11/7	chiusa
S4	1	13.00 ÷ 13.45	16.20 ÷ 16.65	35/R	chiusa
	2	14.50 ÷ 14.95	17.70 ÷ 18.15	22/R	chiusa
S5	1	15.00 ÷ 15.45	17.70 ÷ 18.15	21/28/30	chiusa
	2	16.50 ÷ 16.95	19.20 ÷ 19.65	36/R	chiusa



S6	1	3.30 ÷ 3.75	9.80 ÷ 10.25	0/0/0	chiusa
	2	5.00 ÷ 5.45	11.50 ÷ 11.95	0/0/0	chiusa
	3	7.60 ÷ 8.05	14.10 ÷ 14.55	19/22/21	chiusa
	4	10.60 ÷ 11.05	17.10 ÷ 17.55	27/36/24	chiusa
	5	13.60 ÷ 14.05	20.10 ÷ 20.55	21/39/37	chiusa
	6	16.10 ÷ 16.55	22.60 ÷ 23.05	11/24/30	chiusa
	7	20.00 ÷ 20.45	26.50 ÷ 26.95	20/18/14	chiusa
	8	22.60 ÷ 23.05	29.10 ÷ 29.55	32/R	chiusa
	9	23.50 ÷ 23.95	30.00 ÷ 30.45	13/28/R	chiusa
	10	26.00 ÷ 26.45	32.50 ÷ 32.95	14/12/14	chiusa
	11	28.50 ÷ 28.95	35.00 ÷ 35.45	23/33/47	chiusa
	12	30.00 ÷ 30.45	36.50 ÷ 36.95	30/46/44	chiusa
	13	32.00 ÷ 32.45	38.50 ÷ 38.95	16/14/11	chiusa
	14	34.00 ÷ 34.45	40.50 ÷ 40.95	32/45/22	chiusa
	15	36.00 ÷ 36.45	42.50 ÷ 42.95	21/15/12	chiusa
	16	38.50 ÷ 38.95	45.00 ÷ 45.45	R	chiusa



4.2 HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO)

Le **4 prove HVSR** (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) eseguite si sono basate sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticali del rumore sismico ambientale misurato nelle tre direzioni ortogonali del moto.

Le frequenze di risonanza naturali corrispondono ai massimi della curva dei rapporti spettrali in funzione della frequenza, mentre l'ampiezza di questi massimi è qualitativamente proporzionale all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

Le prove sono state eseguite nei punti indicati nell'estratto planimetrico di seguito riportato e di cui si rimanda in allegato per una più chiara lettura.

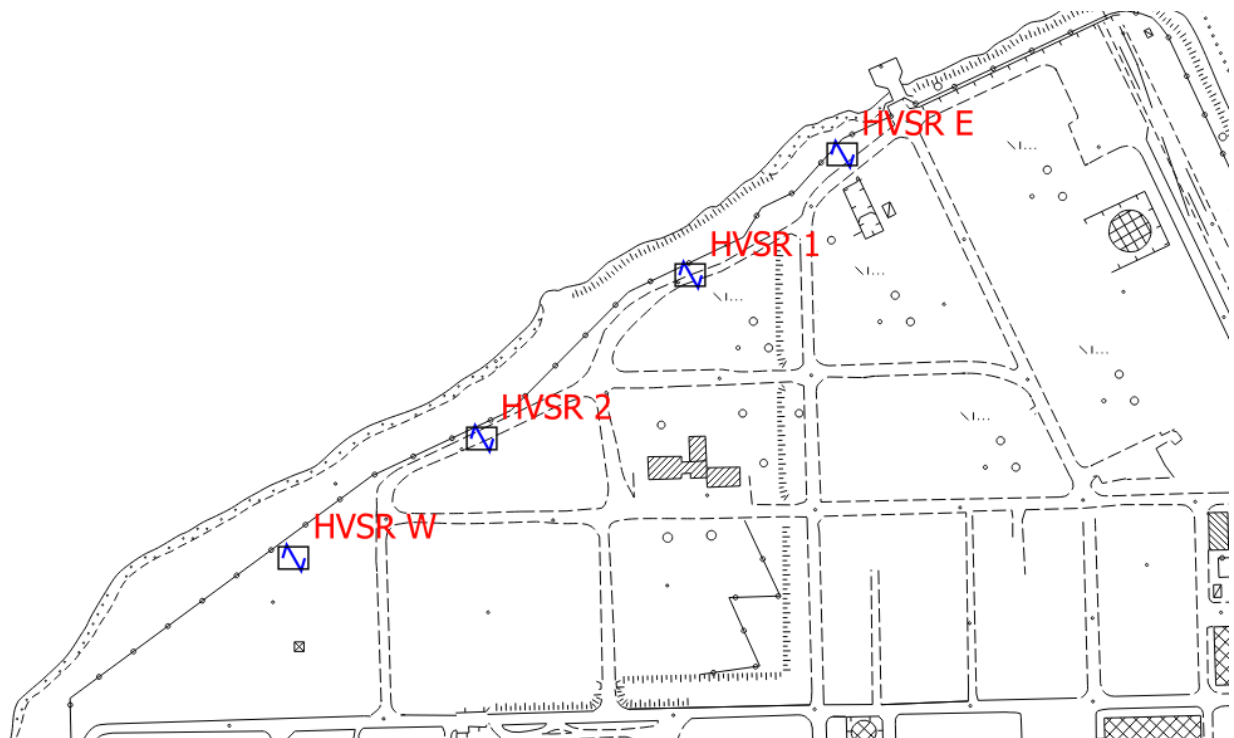


Figura 4.3 – Estratto planimetrico non in scala riportante l'ubicazione delle prove HVSR eseguite.

Per l'esecuzione delle misure è stato utilizzato un tromografo digitale a 24 bit, strumento realizzato per la misurazione del rumore sismico. Le sue ridotte dimensioni ed il modesto peso lasciano virtualmente imperturbato il campo d'onda presente nell'ambiente.

Lo strumento, basato su convertitore AD7124-8 di Analog Devices, è dotato di geofoni Senhe da 4,5 Hz aventi le seguenti caratteristiche:

Resonance frequency:	4.5 Hz +/-10%	Operating temperature:	-40°C +100°C
Coil resistance:	375 ohm +/-7.5%	Height:	36 mm
Open circuit damping:	0.6 +/-7.5%	Diameter:	25.4 mm
Voltage sensitivity:	28.8 +/-7.5% (v/m/s)	Weight:	86 g
Moving mass:	11 g		

Di seguito si riporta un estratto cartografico indicante un punto di prova e la strumentazione durante la fase di



acquisizione, mentre per la descrizione dettagliata delle singole prove si rimanda al documento di progetto "Prove geofisiche", nelle cui schede monografiche viene indicata la georeferenziazione di ogni punto acquisito, le componenti dei segnali acquisiti, i rapporti H/V relativi ad ogni singola finestra definita, la mappa della stazionarietà degli spettri, la direzionalità del rapporto H/V e il rapporto medio H/V con le relative curve di confidenza.

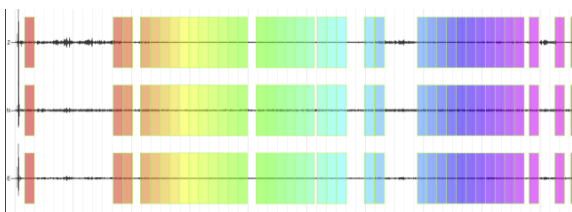
Per le elaborazioni è stato adottato il metodo di Nakamura (1989) che consente di definire i valori delle frequenze principali di risonanza dei suoli. Egli, infatti, ha verificato sperimentalmente che alla base dello strato superficiale, per tutte le frequenze, il rapporto tra l'ampiezza della componente orizzontale e quella verticale può essere considerato pari ad 1. Pertanto, il fattore di amplificazione di sito R è dato dal rapporto spettrale $R = H/V$. Le considerazioni di carattere stratigrafico inquadrano le risultanze della prova con le indicazioni geologiche disponibili, restituendo informazioni quali l'individuazione di modeste coperture e o eventuali zone di detensionamento superficiale per alterazione.



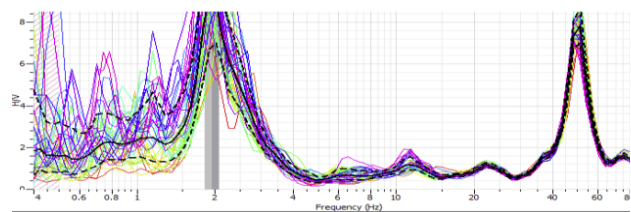
Estratto planimetrico indicante l'ubicazione delle misure HVSR



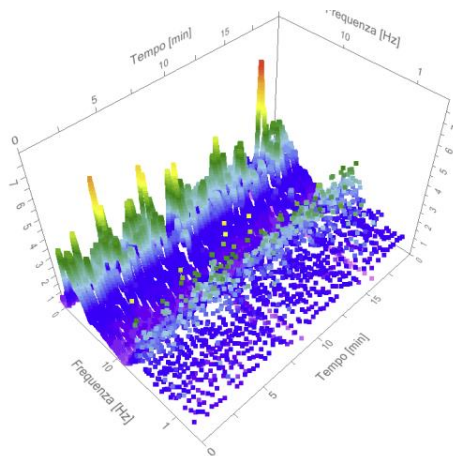
Dispositivo durante la fase di acquisizione.



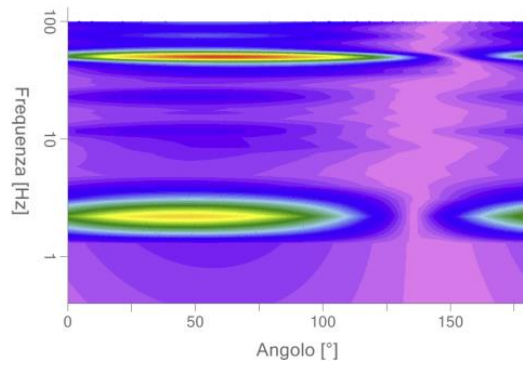
Componenti del segnale (Z: verticale, N ed E orizzontali) con sovrapposte le finestre per l'analisi



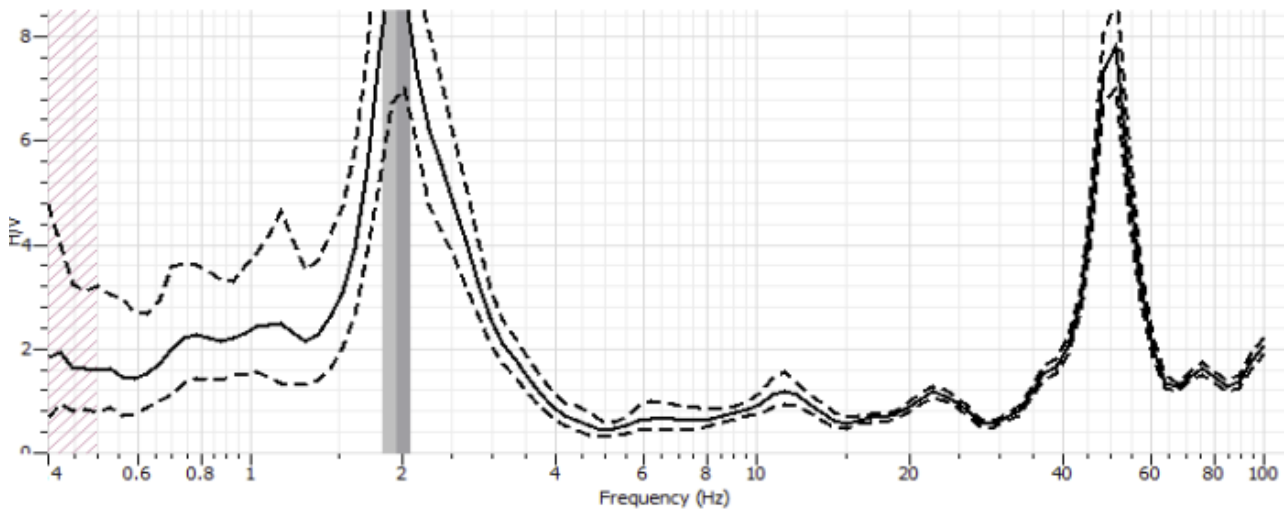
Rapporti H/V per ogni singola finestra



Mappa della stazionarietà degli spettri



Direzionalità H/V



Rapporto H/V medio e relative curve di confidenza

Le curve sperimentali HVSr hanno individuato i seguenti picchi del rapporto spettrale H/V, indicanti le frequenze caratteristiche del sito.

PROVA	f_0 (Hz)	A_0
HVSr E	1.95	9.3
HVSr 1	1.76	10.1
HVSr 2	1.63	5.7
HVSr W	1.66	7.8



4.3 MISURE DI SISMICA ATTIVA MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

Sono state eseguite **2 misure di sismica attiva MASW** che hanno seguito le seguenti fasi:

- acquisizione dei dati: registrazione dei segnali sismici di campagna con sismografo multicanale;
- analisi di dispersione: definizione della curva di dispersione dai segnali registrati;
- processo di inversione: definizione del modello di variazione della velocità delle onde di taglio (V_s) con la profondità che genera la curva di dispersione teorica più vicina alla curva di dispersione misurata (per questa ultima fase della elaborazione è preferibile operare con dati di taratura).

Le misure di sismica attiva sono state eseguite con la seguente geometria:

N. tracce 24

Durata acquisizione [msec] 614.4

Interdistanza geofoni [m] 2.0

Periodo di campionamento [msec] 0.60

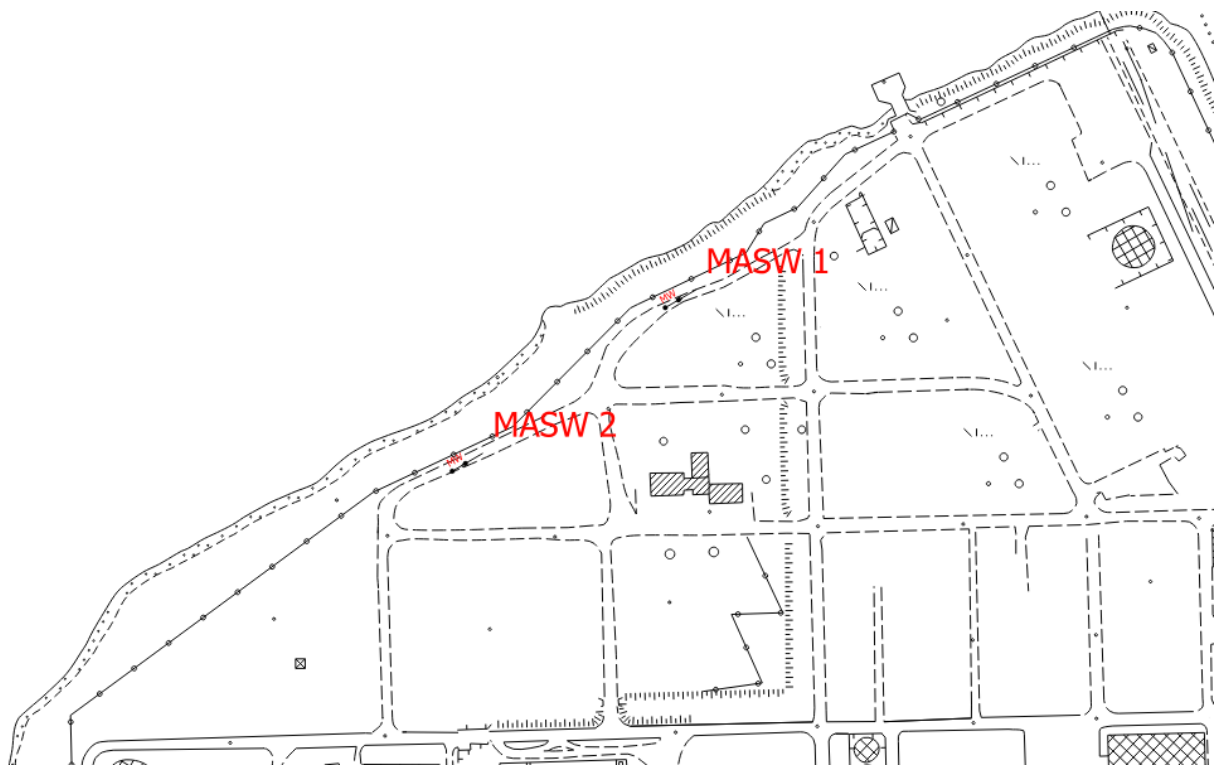


Figura 4.4 – Estratto planimetrico non in scala riportante l'ubicazione delle prove MASW eseguite.

L'osservazione del comportamento delle onde propagate all'interno dei materiali ha consentito di ottenere delle informazioni sito specifiche in relazione alle variazioni indotte dalle caratteristiche del mezzo attraversato.

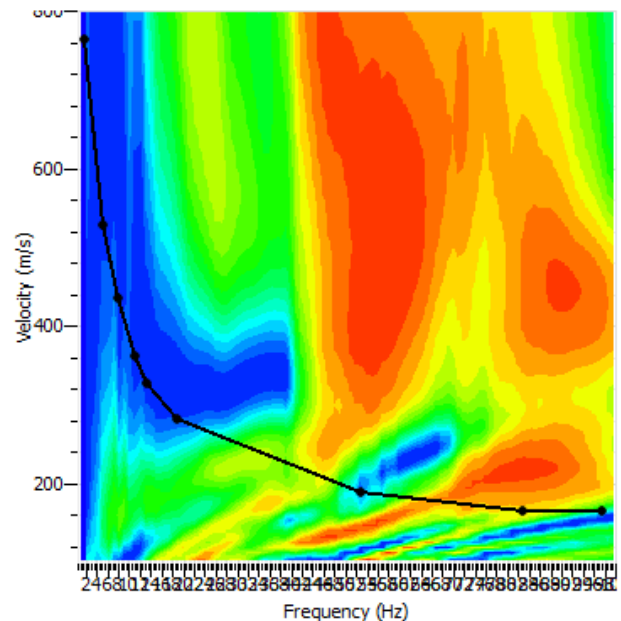
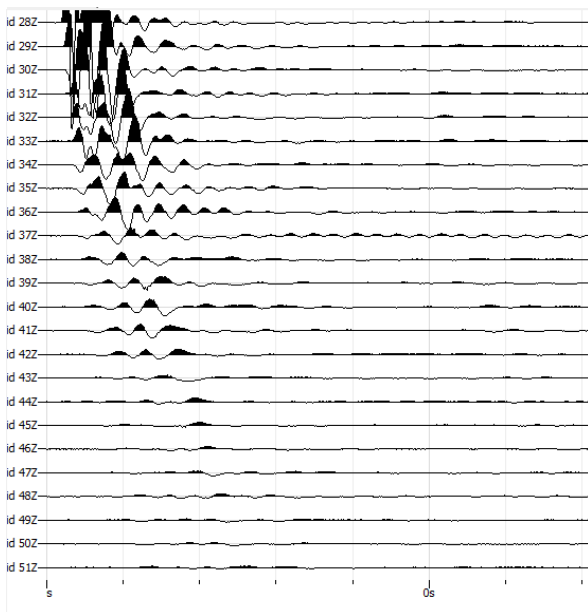


Modellizzazione

È stata simulata, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica, la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si è ottenuta una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase, detta di inversione, consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.



Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale sono state individuate diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh, poiché decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda, filtrando le alte frequenze si sono valutate le zone superficiali mentre utilizzando le basse frequenze si è potuto indagare a profondità maggiori.

Le geometrie degli stendimenti sono state i medesimi delle prove Sismiche a rifrazione, mentre criteri di energizzazione, acquisizione ed elaborazione hanno seguito differenti procedure.



5 AZIONI SISMICHE DI PROGETTO DA NORMATIVA

A seguito della taratura con le prove di indagine di tipo diretto, sono state condotte delle misure di sismica attiva quali MASW e passiva HVSR, misure che hanno consentito attraverso l'elaborazione dei dati e l'interpretazione delle prove, la ricostruzione del modello sismostratigrafico.

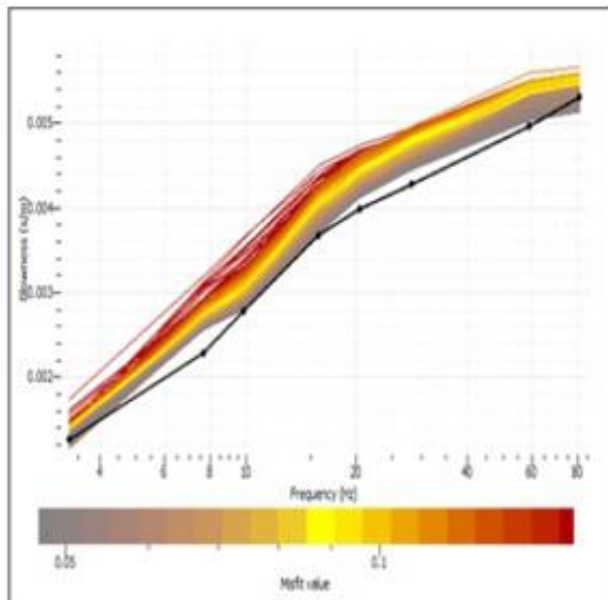


Figura 5.1 – Curva di dispersione prova MASW 1

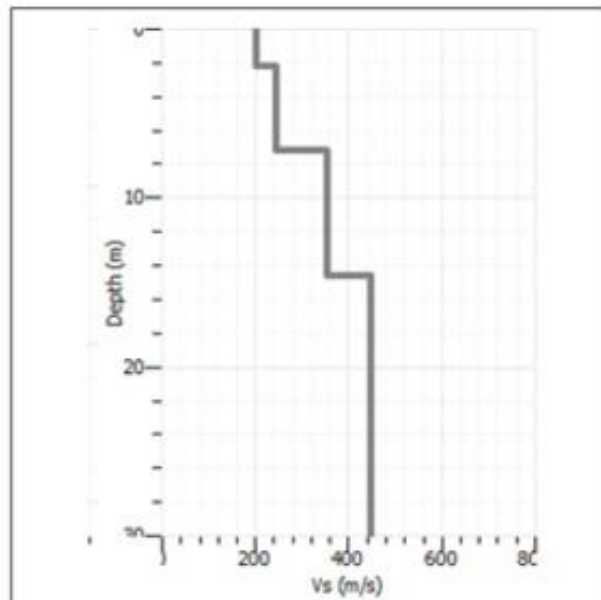


Figura 5.2 – Inversione prova MASW 1

Strato	Profondità (m)	Spessore [m]	Vs [m/s]
1	1.80	1.80	170
2	6.00	4.20	230
3	12.20	6.20	320
4	30.00	17.80	455
			343



Dal quadro geognostico d'insieme ne è conseguita la possibilità di far **riferimento all'approccio semplificato basato sulla classificazione del sottosuolo** in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s , poiché, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, **le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II del D.M 17.01.2018.**

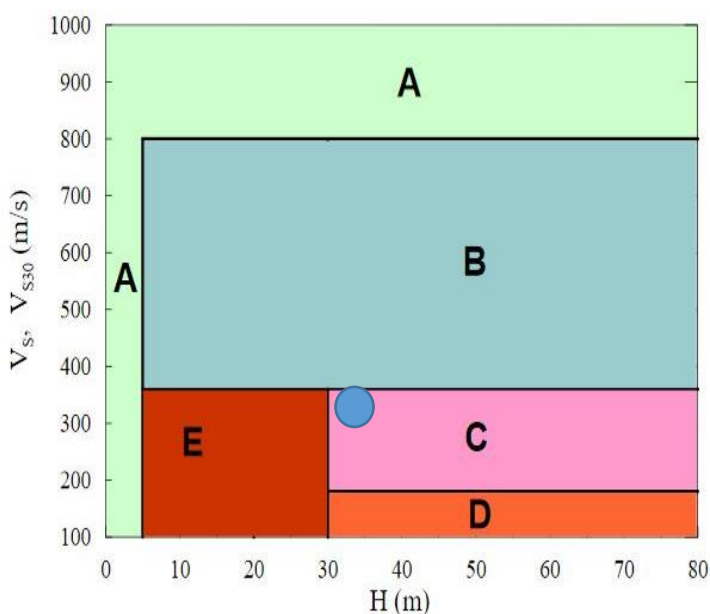
Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti 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, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 5-1 – Tabella 3.2.II del capitolo 3.2.2 “Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche” del D.M. 17.01.2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per tecniche per le costruzioni”.

Dalla elaborazione delle misure condotte ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, la classificazione del sottosuolo effettuata in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ è risultata pari a circa 340 m/s.

Ne è conseguita quale **categoria di sottosuolo di riferimento la C**: “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con la profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*”.





Ne derivano i seguenti parametri:

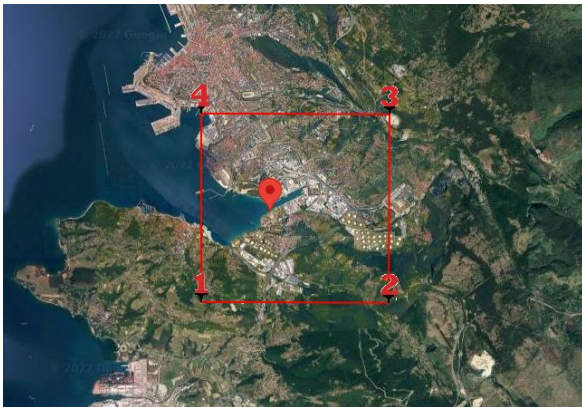
WGS84: Lat 45.608662- Lng 13.801944

ED50: Lat 45.609552 - Lng 13.802898

Classe Edificio: **IV Funzioni pubbliche o strategiche importanti**

Vita Nominale: **100 anni**

Cu: **2**



Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	120	0.060	2.587	0.265
Danno (SLD)	201	0.076	2.543	0.283
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0.169	2.591	0.348
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0.184	2.596	0.352
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	200			

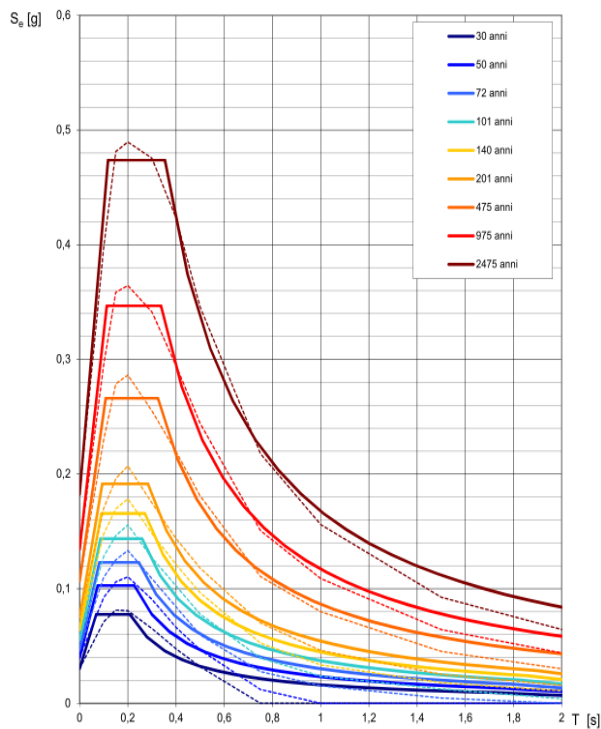


Figura 5.3 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_r di riferimento.

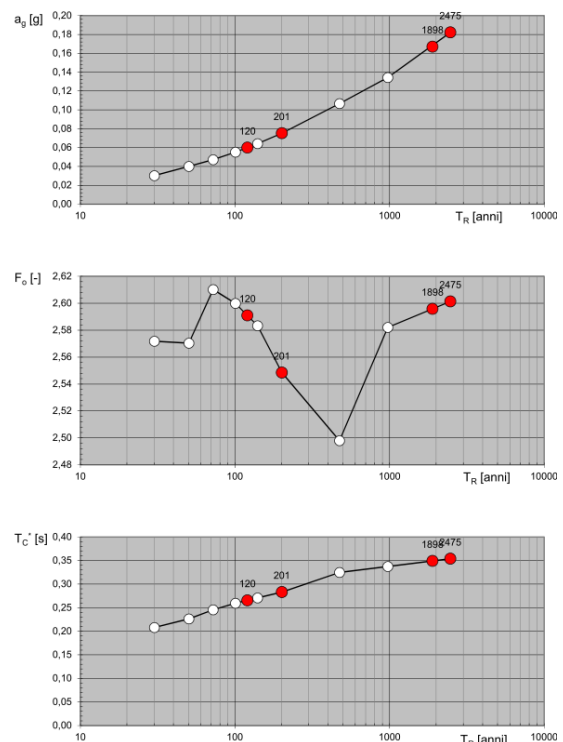


Figura 5.4 – Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_c^* in funzione del periodo di ritorno T_r



Coefficienti simici

Tipo: **Paratie NTC 2018**

Categoria Sottosuolo: **C**

Categoria Topografica: **T1**

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1.50	1.50	1.44	1.41
CC Coeff. funz categoria	1.63	1.59	1.49	1.48
ST Amplificazione topografica	1.00	1.00	1.00	1.00

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
Kh	0.018	0.023	0.049	0.052
Kv	-	-	-	-
Amax [m/s ²]	0.886	1.117	2.387	2.550
Beta	0.520	0.520	0.520	0.520



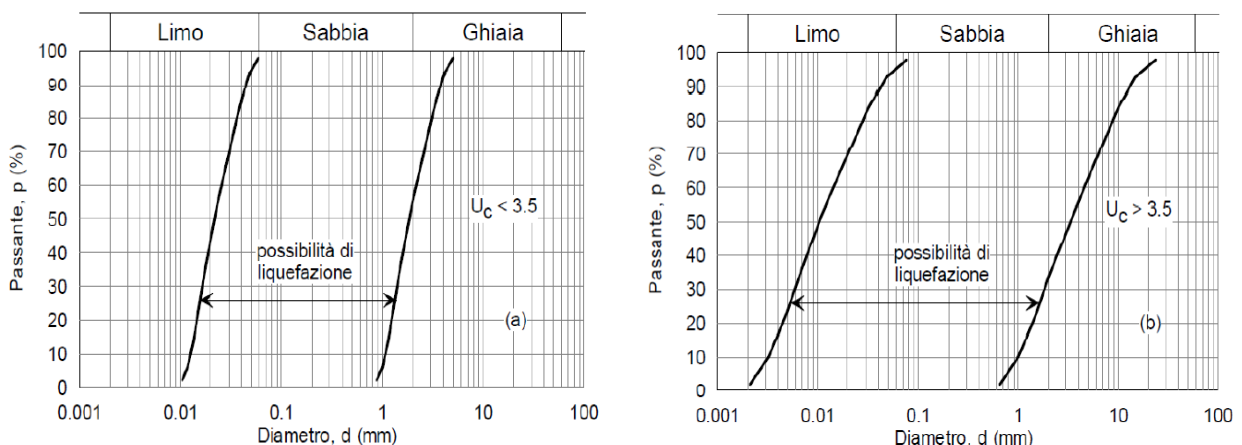
6 VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto 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.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

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

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ 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;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

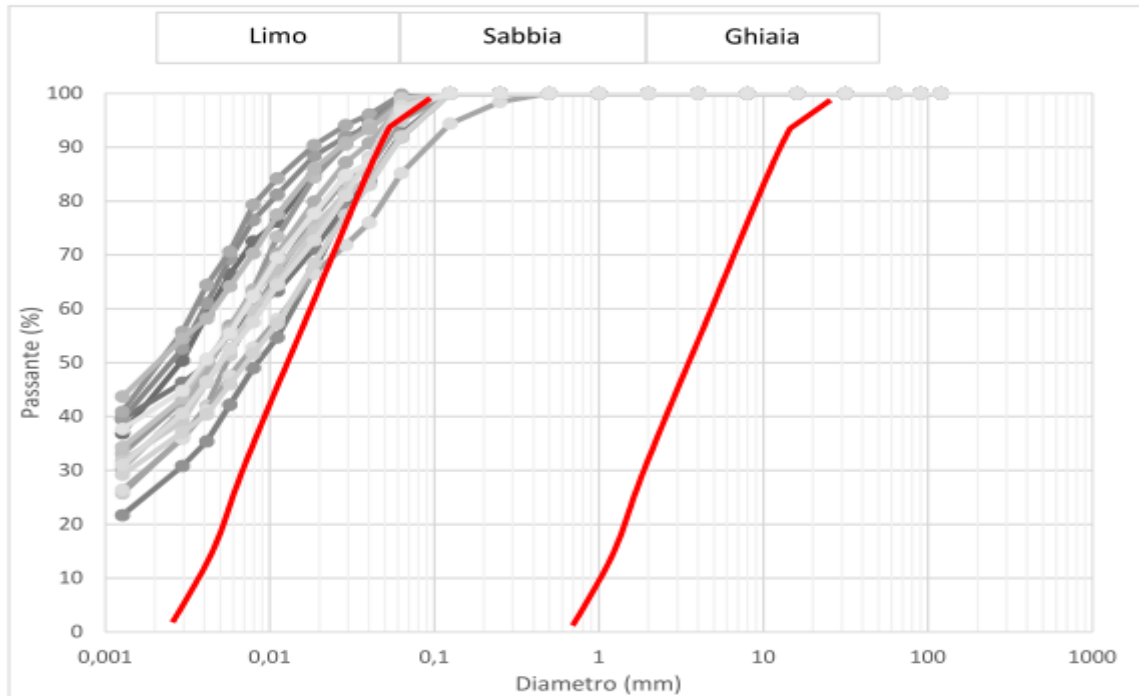


Facendo riferimento alle prove granulometriche condotte sui campioni prelevati durante le fasi di indagine si conferma quanto già visivamente è stato possibile disaminare durante le attività di recupero delle carote ed il loro posizionamento nelle apposite cassette catalogatrici, soggette quindi alla relativa descrizione stratigrafica.

I campioni S1 CI 1, S1 CI 2, S2 CI 1, S2 CI 2, S3 CI 1, S3 CI 2, S3 CI 3, S4 CI 1, S4 CI 2, S5 CI 1, S5 CI 2, S6



CI 1, S6 CI 2 ed S6 CI 3 sono stati pertanto rappresentati sul diagramma semilogaritmico a verifica della possibilità potenziale a liquefare se soggetti ad azioni cicliche e dinamiche agenti in condizioni non drenate.



Le condizioni ai punti 3 e 4 risultano soddisfatte, dunque non è necessario procedere alla relativa verifica.



A supporto di quanto sopra è stato fatto riferito, anche al “European interactive Catalogue of earthquake-induced soil Liquefaction phenomena” (cfr. [ECLiq - European interactive Catalogue of earthquake-induced soil Liquefaction phenomena \(eucentre.it\)](http://eucentre.it)), ove sono registrati tutti i fenomeni di liquefazione dovuti a terremoti. In particolare, nell’area di studio (indicata in rosso) non sono mai stati registrati fenomeni di liquefazione.

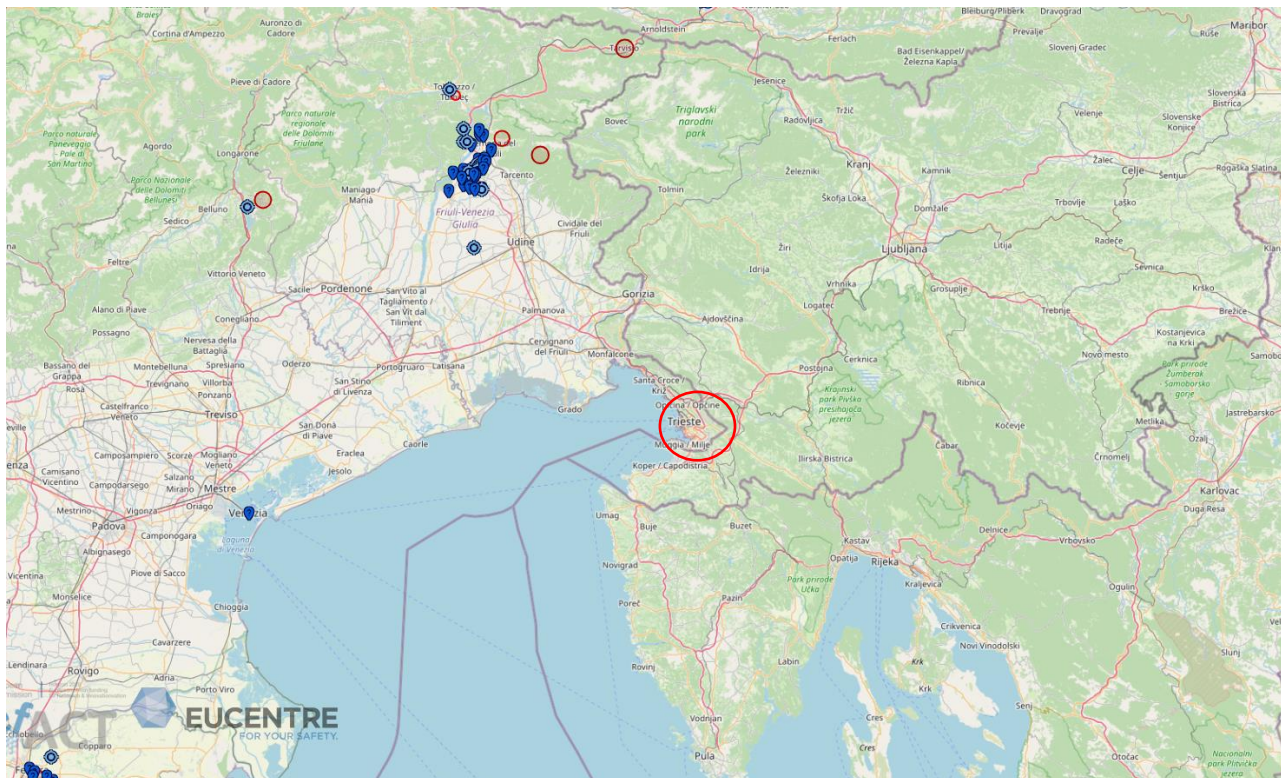


Figura 6.1 – Catalogo europeo dei fenomeni di liquefazione