Firmato digitalmente da
Paolo COSTA MEDICH

MMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

ALTA SORVEGLIANZA:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

GENERAL CONTRACTOR:

Consorzio Collegamenti Integrati Veloci

LEGGE N. 55 DEL 14/06/2019
TRATTA A.V./A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE VOLTRI - BRIGNOLE
PROGETTO DEFINITIVO
PRG DI GENOVA VOLTRI

PGR DI GENOVA VOLTRI
GEOLOGIA E GEOTECNICA

Relazione sismica

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI	
Consorzio **Cociv** Ing. F. Poma		

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
NG2Y	04	D	CV	RH	GE0000	001	A

PROGETTAZIONE:

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	PRIMA EMISSIONE	SYSTRA SWS	10/05/2023	COCIV	11/05/2023	P. Costa Medich	12/05/2023	Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Paolo Costa Medich Ordine Ingegneri Prov. TO n. 10306 X

	n. Elab.:	File: *NG2Y-04-D-CV-RH-GE00-00-001-A00.doc*

CUP: F81H92000000008

INDICE

INDICE....3
1 INTRODUZIONE....4
2 RIFERIMENTI E NORMATIVA....5
3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO....6
4 INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO E SISMICITÀ STORICA....8
4.1 Pericolosità sismica....8
4.1.1 Sorgenti sismogenetiche....8
4.1.2 Faglie capaci....9
4.1.3 Catalogo di sito....9
4.1.4 Magnitudo attesa....13
5 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO....16
5.1 Classificazione sismica secondo normativa nazionale....16
5.2 Classificazione sismica secondo normativa regionale....18
5.3 Definizione della categoria di sottosuolo e topografica....19
5.4 Indagini sismiche a disposizione....21
5.4.1 Risultati indagini sismiche....21
5.4.2 Categoria di sottosuolo....22
5.5 Azioni sismiche di progetto....23
5.5.1 Parametri sismici di progetto....24
6 LIQUEFAZIONE....26
6.1 Generalità....26
6.2 Condizioni di esclusione da verifica a liquefazione....26

1 INTRODUZIONE

La presente relazione fornisce un quadro della sismicità dell'area interessata dal Progetto Definitivo del potenziamento infrastrutturale Voltri – Brignole presso Genova Voltri. L'area di interesse è ubicata presso il porto di Genova Prà, entro la città di Genova, regione Liguria. L'area di progetto è evidenziata in Figura 1.



Figura 1: Ubicazione dell'area di progetto

La presente relazione fornisce un quadro della sismicità del tracciato, analizza e descrive la sismicità dell'area interessata dal progetto ed affronta la tematica relativa al fenomeno della liquefazione.

Le fasi operative messe in atto per la definizione della sismicità dell'area sono di seguito elencate:

- ricerca bibliografica di tutti i dati disponibili sulle aree interessate dal progetto, mirata ad acquisire i dati più recenti sulla sismicità dell'area interessata dal progetto;
- analisi dei risultati delle campagne di indagini geofisiche esistenti;
- caratterizzazione della pericolosità sismica dell'area;
- individuazione delle categorie di sottosuolo e topografiche, come previsto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (NTC 2018);
- verifica alla suscettibilità alla liquefazione dei terreni.

2 RIFERIMENTI E NORMATIVA

- Norme Tecniche per le Costruzioni. DM 17 gennaio 2018;
- Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni. DM 17 gennaio 2018;
- Istruzione per l'applicazione delle Norme Tecniche. Circ. 21 gennaio 2019 n. 7;
- Circolare del 21 gennaio 2019, istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni, di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n.3274 (e successive modiche ed integrazioni) "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica;
- Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMZS), "Standard di Rappresentazione e Archiviazione dei Dati" per la Microzonazione Sismica predisposti dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (articolo 5, comma 7 dell'O.P.C.M. n. 3907 del 13/11/2010).

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di progetto ricade nel settore delle Alpi Liguri, che risulta complesso da un punto di vista strutturale in quanto coinvolto sia dall'evoluzione alpina sia dall'evoluzione appenninica. In particolare, le Alpi Liguri sono caratterizzate dalla sovrapposizione di unità di crosta oceanica e di mantello. I sedimenti quarternari sono invece costiuiti da sedimenti alluvionali e costieri derivanti dagli apporti dei torrenti Bisagno e Polcevera. In sintesi, l'area ligure è caratterizzata dalla presenza di due domini: quello di crosta oceanica e di mantello, di grado metamorfico basso, e quello sedimentario, di grado metamorfico nullo.

Lo schema di inquadramento regionale presente nella carta geologica d'Italia in scala 1:50 000 foglio 213 Genova, di cui un estratto in Figura 2, mostra che l'area di progetto ricade in una zona dove il substrato è costituito dall'Unità tettonica-metamorfica di Voltri in facies di Scisti Blu. La stessa carta geologica, di cui un ulteriore estratto in Figura 3, mostra inoltre l'assenza di depositi quaternari nell'area di progetto, in quanto trattasi di un'opera antropica costruita a partire dal 1974.

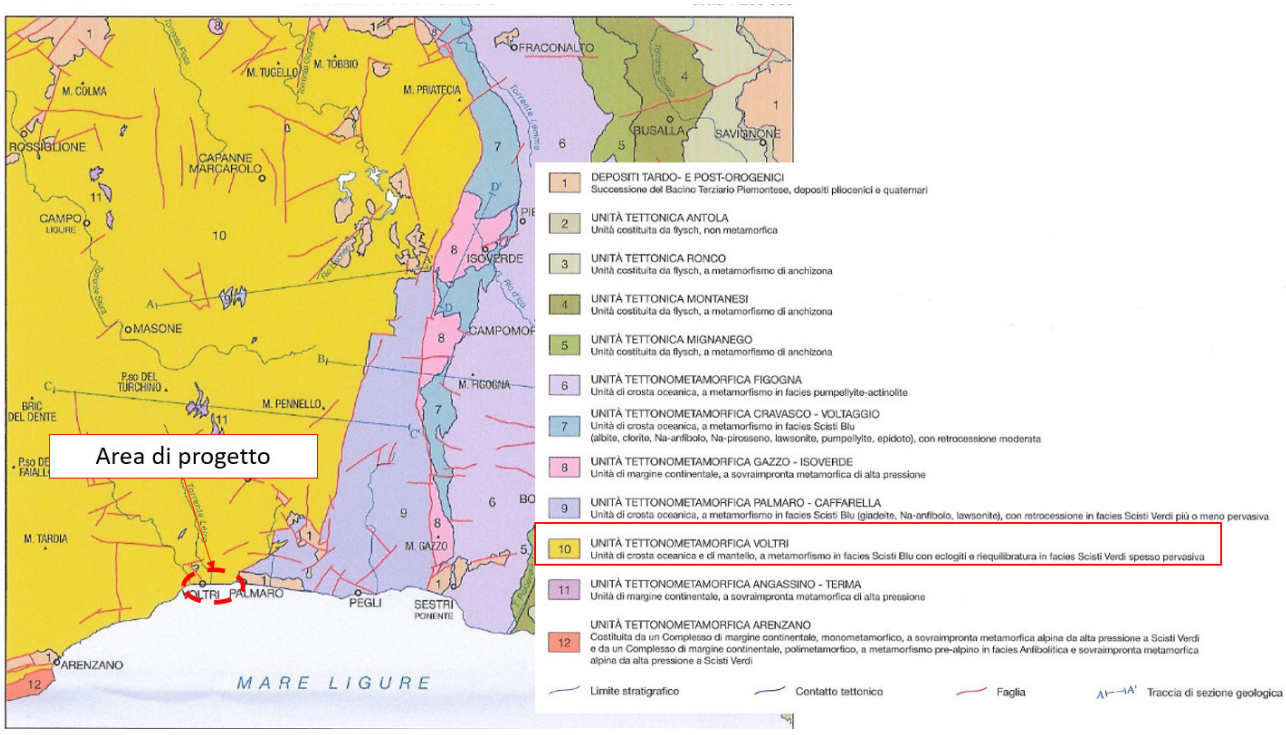


Figura 2: Schema di inquadramento regionale (Carta Geologica d'Italia in scala 1:50 000, Foglio 213 Genova)

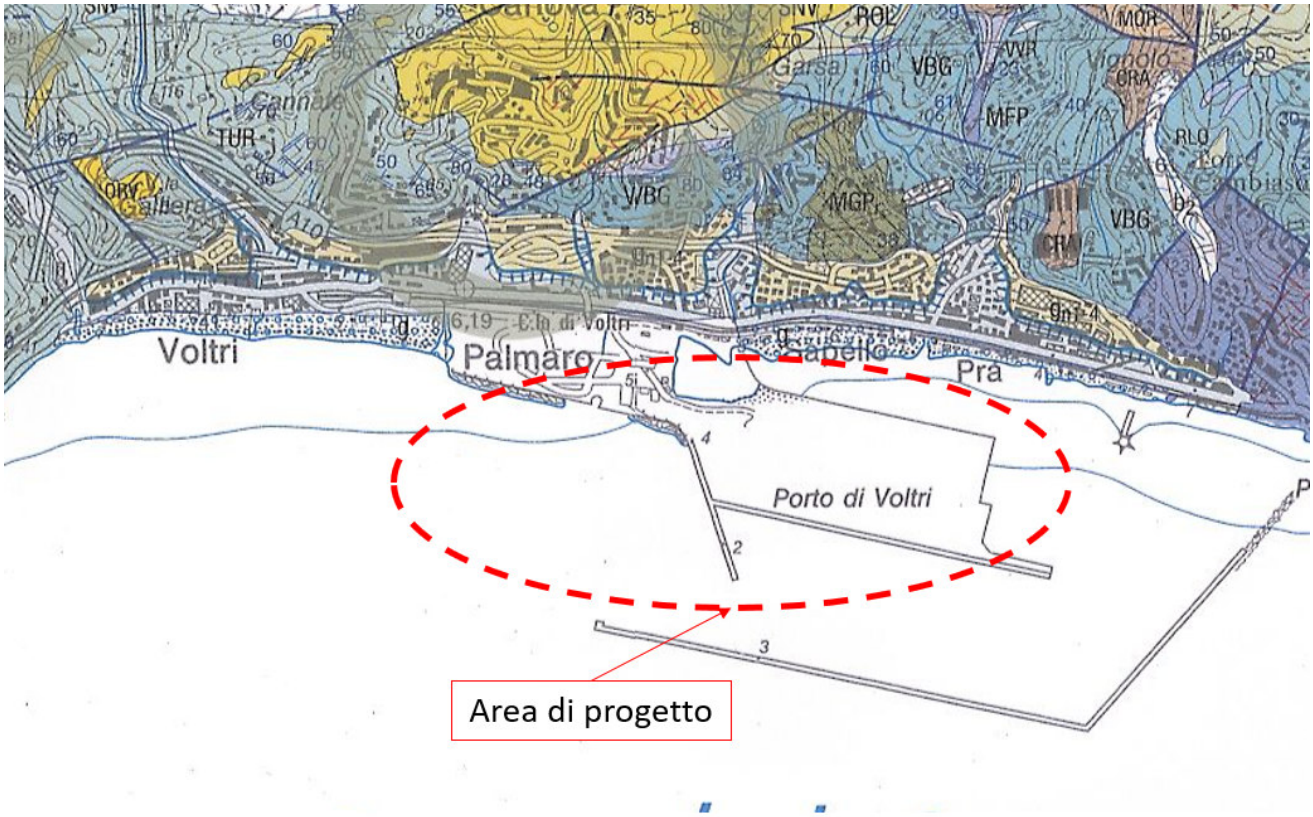


Figura 3: Estratto della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50 000, Foglio 213 Genova

4 INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO E SISMICITÀ STORICA

4.1 Pericolosità sismica

La pericolosità sismica è stata valutata sia sulla base di un catalogo macrosismico locale sia mediante la consultazione del Database of Individual Seismogenic Sources - DISS (Basili et al., 2008; DISS Working Group, 2015). Le informazioni estratte sono state utilizzate per ottenere le coppie magnitudo-distanza rappresentative della sismicità dell'area in esame.

4.1.1 Sorgenti sismogenetiche

Nell'area specifica di Genova non sono presenti sorgenti sismogenetiche, le quali invece sono localizzate principalmente nella parte orientale della regione, ove l'orogenesi appenninica ha visto il dominio ligure sovrapporsi al dominio toscano tramite una serie di accavallamenti iniziati nell'Eocene-Oligocene. La regione Liguria, dal punto di vista tettonico, è infatti stata coinvolta sia dall'evoluzione alpina sia dall'evoluzione appenninica. La zona di subduzione visibile nella figura sottostante raoppresenta l'interfaccia tra la catena appenninica e la placca adriatica.

I lineamenti di faglia più prossimi al sito di progetto sono mostrati in Figura 4, estratto dal database italiano delle zone sismogenetiche DISS.

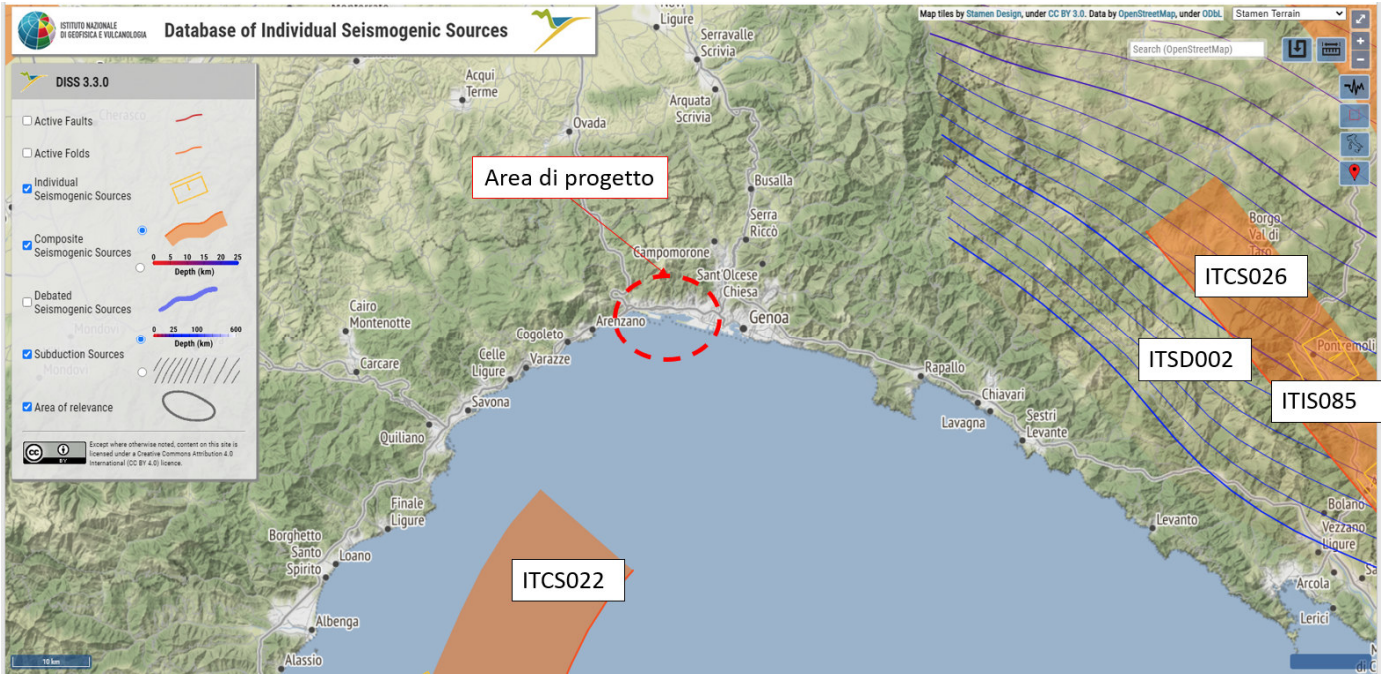


Figura 4: Sorgenti sismogenetiche prossime all'area di progetto, DISS

Le strutture più prossime al tracciato sono sinteticamente descritte in Tabella 1 ed indicate con la relativa sigla nella figura precedente:

ID	Nome	Sorgente	Magnitudo massima attesa M_w
ITCS022	Imperia Promontory	Composita	7.4
ITCS026	Lunigiana	Composita	7.0
ITIS085	Pontremoli	Individuale	5.7
ITSD002	Northern Apennines Arc	Area di Subduzione	8.1

Tabella 1: Sorgenti sismogenetiche prossime all'area di progetto, DISS

4.1.2 Faglie capaci

Il catalogo delle faglie capaci (ISPRA) è stato consultato e non risultano presenti faglie capaci nella specifica area di progetto. Le faglie capaci più prossime all'area in oggetto sono ubicate in mare, a circa 5-10km dalla costa, come si può vedere in Figura 5. Si tratta di faglie normali orientate W-E.



Figura 5: Faglie capaci prossime all'area di progetto, ITHACA - ISPRA

4.1.3 Catalogo di sito

Per la definizione della sismicità storica dell'area oggetto degli interventi di progetto è stato inizialmente consultato il Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Locati et al., 2016). Tabella 2 e Figura 6 riportano per ogni evento sismico risentito entro il comune di Genova, i seguenti dati: data

(anno, mese, anno), area epicentrale, intensità epicentrale I_0 (valori in scala MCS), e magnitudo momento M_W (stimata da correlazioni empiriche o misurata).

L'esame della storia sismica nel catalogo, evidenzia che i massimi risentimenti con I_S=6-7 MCS, sono stati raggiunti in occasione dei terremoti nel Genovese nel 1767 e nella Liguria occidentale nel 1887, con magnitudo M_W pari rispettivamente a 4.98 e 6.27.

#	Anno	Mese	Giorno	Area epicentrale	I_0 (MSC)	M_w	I_s (MSC)
1	1182	8	15	Genova	6	4.63	6
2	1217	1	8	Genova	5-6	4.4	5-6
3	1222	12	25	Bresciano-Veronese	7-8	5.68	5-6
4	1276	7	29	Monferrato	5	4.81	5
5	1536	8	10	Genova	6	4.63	6
6	1541	10	22	Valle Scrivia	7	5.26	5
7	1612	1	31	Liguria occidentale	6-7	4.86	4-5
8	1644	2	15	Alpes Niçoises	8	5.74	4
9	1695	2	25	Asolano	10	6.4	4
10	1703	12	21	Piemonte-Liguria	4	3.7	F
11	1704	5	13	Riviera Ligure	5	4.16	5
12	1704	5	14	Riviera Ligure	5	4.16	5
13	1720	1	10	Toscana settentrionale	4-5	3.93	3
14	1730	3	29	Versilia	4	3.7	3
15	1732	5	21	Livorno	4-5	3.93	F
16	1738	11	5	Emilia occidentale	7	5.1	F
17	1740	3	6	Garfagnana	8	5.64	5
18	1742	1	27	Livornese	6	4.87	3
19	1751	11	21	Liguria	4	3.7	5
20	1759	5	26	Pavese	5	4.16	4-5
21	1767	1	21	Lunigiana	7	5.27	F
22	1767	1	21	Lunigiana	5-6	4.6	F
23	1767	2	7	Genovese	6	4.98	6-7
24	1775	1	4	Appennino emiliano	4	4.43	3
25	1775	1	5	Appennino emiliano	5	4.55	3
26	1778	2	18	Lunigiana	4-5	3.93	F
27	1786	12	25	Riminese	8	5.66	3
28	1796	10	22	Emilia orientale	7	5.45	3-4
29	1802	5	12	Valle dell'Oglio	8	5.6	4
30	1806	2	12	Reggiano	7	5.21	3-4
31	1806	3	31	Liguria occidentale	5	4.62	5
32	1807	9	5	Liguria occidentale	5-6	4.81	2
33	1808	4	2	Val Pellice	8	5.64	3
34	1808	4	16	Val Pellice	7	5.34	3

35	1810	12	25	Pianura emiliana	6	5.06	F
36	1811	7	15	Modenese-Reggiano	6-7	5.13	4
37	1814	4	3	Costa pisano-livornese	6-7	5.12	F
38	1818	2	23	Liguria occidentale	7	5.32	3
39	1818	12	9	Parmense	7	5.24	3
40	1824	2	4	Oltrepò Pavese	5	4.49	NF
41	1826	6	24	Garda occidentale	5	4.62	F
42	1828	10	9	Oltrepò Pavese	8	5.72	6
43	1828	10	9	Oltrepò Pavese			4
44	1828	10	10	Oltrepò Pavese			4
45	1831	5	26	Liguria occidentale	8	5.56	4
46	1831	9	11	Pianura emiliana	7-8	5.48	2-3
47	1832	3	11	Carpi	5	4.51	2
48	1832	3	11	Parmense			3
49	1832	3	13	Reggiano	7-8	5.51	4
50	1834	2	14	Val di Taro-Lunigiana	9	5.96	5
51	1834	7	4	Val di Taro-Lunigiana	6-7	5.08	4-5
52	1837	4	11	Lunigiana	9	5.94	3
53	1843	10	25	Mugello	6-7	5.03	2
54	1846	8	14	Colline Pisane	9	6.04	3
55	1849	11	28	Val di Taro	6	4.63	4
56	1851	2	5	Valtellina	5	4.72	3
57	1854	12	29	Liguria occidentale	7-8	5.72	4-5
58	1857	2	1	Parmense-Reggiano	6-7	5.11	NF
59	1861	3	16	Varese Ligure	6	4.63	4
60	1869	12	13	Sassuolo	5	4.57	3
61	1873	3	12	Appennino marchigiano	8	5.85	2-3
62	1873	6	29	Alpago Cansiglio	9-10	6.29	3
63	1873	9	17	Appennino tosco-ligure	6-7	5.26	4-5
64	1878	9	10	Lunigiana	6-7	4.98	3
65	1882	2	15	Val Borbera	6	4.77	NF
66	1886	9	5	Torinese	7	5.22	3
67	1887	2	23	Liguria occidentale	9	6.27	6-7
68	1891	6	7	Valle d'Illasi	8-9	5.87	4
69	1894	11	27	Bresciano	6	4.89	F
70	1897	7	6	Mar Ligure	5	4.22	2-3
71	1898	3	4	Parmense	7-8	5.37	3
72	1901	1	23	Oltrepò Pavese	5	4.23	3
73	1901	10	30	Garda occidentale	7-8	5.44	4
74	1902	8	4	Lunigiana	6	4.78	3
75	1903	7	27	Lunigiana	7-8	5.19	3-4
76	1906	8	11	Liguria occidentale	5	4.41	2-3

77	1909	1	13	Emilia Romagna orientale	6-7	5.36	4
78	1910	1	23	Piacentino	5	4.39	3
79	1913	12	7	Valle Scrivia	5	4.57	2-3
80	1914	10	26	Torinese	7	5.24	3-4
81	1914	10	27	Lucchesia	7	5.63	4
82	1915	10	10	Reggiano	6	4.87	3
83	1916	8	16	Riminese	8	5.82	F
84	1917	1	7	Savonese	5	4.35	3
85	1919	6	29	Mugello	10	6.38	F
86	1920	9	7	Garfagnana	10	6.53	6
87	1924	9	21	Genovese	5	4.32	5
88	1926	1	1	Carniola interna	7-8	5.72	2
89	1927	10	28	Alta Val di Taro	6	4.66	3
90	1929	4	19	Bolognese	6-7	5.13	2-3
91	1929	4	20	Bolognese	7	5.36	3-4
92	1929	4	22	Bolognese	6-7	5.1	3
93	1929	4	29	Bolognese	6	5.2	4
94	1929	5	11	Bolognese	6-7	5.29	3-4
95	1935	3	19	Embrunais	7	5.25	2
96	1937	12	10	Frignano	6	5.3	3
97	1939	10	15	Garfagnana	6-7	4.96	3
98	1939	10	31	Lunigiana	5-6	4.85	3
99	1940	1	24	Appennino emiliano			3
100	1945	12	15	Oltrepò Pavese	6	4.72	3
101	1951	5	15	Lodigiano	6-7	5.17	3-4
102	1959	1	26	Alta Val di Taro	5	4.27	3
103	1963	7	19	Mar Ligure		5.95	F
104	1968	4	18	Liguria occidentale	7-8	4.93	F
105	1970	12	31	Liguria occidentale	6	4.62	3
106	1971	7	15	Parmense	8	5.51	3
107	1971	9	25	Mar Ligure	5-6	4.33	3-4
108	1972	10	25	Appennino settentrionale	5	4.87	4
109	1975	11	16	Appennino piacentino	4-5	4.93	3-4
110	1976	5	6	Friuli	9-10	6.45	3-4
111	1976	8	22	Alta Val di Taro	5	4.54	3
112	1976	9	15	Friuli	8-9	5.95	3
113	1978	12	5	Romagna	4-5	4.61	NF
114	1979	2	9	Bergamasco	6	4.78	3
115	1980	1	5	Torinese	6-7	4.82	F
116	1980	6	7	Garfagnana	6-7	4.64	2-3
117	1980	12	23	Piacentino	6-7	4.57	3-4
118	1983	11	9	Parmense	6-7	5.04	4

119	1984	4	29	Umbria settentrionale	7	5.62	NF
120	1989	12	26	Mar Ligure		4.46	3
121	1993	7	17	Liguria occidentale	5	4.34	4
122	1995	10	10	Lunigiana	7	4.82	NF
123	1996	10	15	Pianura emiliana	7	5.38	3
124	2000	8	21	Monferrato	6	4.94	2
125	2001	2	6	Mar Ligure	4-5	4.17	3-4
126	2003	4	11	Valle Scrivia	6-7	4.81	4-5
127	2004	11	24	Garda occidentale	7-8	4.99	4
128	2005	4	13	Valle del Trebbia	4	3.68	NF
129	2005	4	18	Valle del Trebbia	4	3.97	NF
130	2008	12	23	Parmense	6-7	5.36	4
131	2016	10	30	Valnerina		6.61	F

Tabella 2: Storia sismica del comune di Genova (Fonte DBMI15)

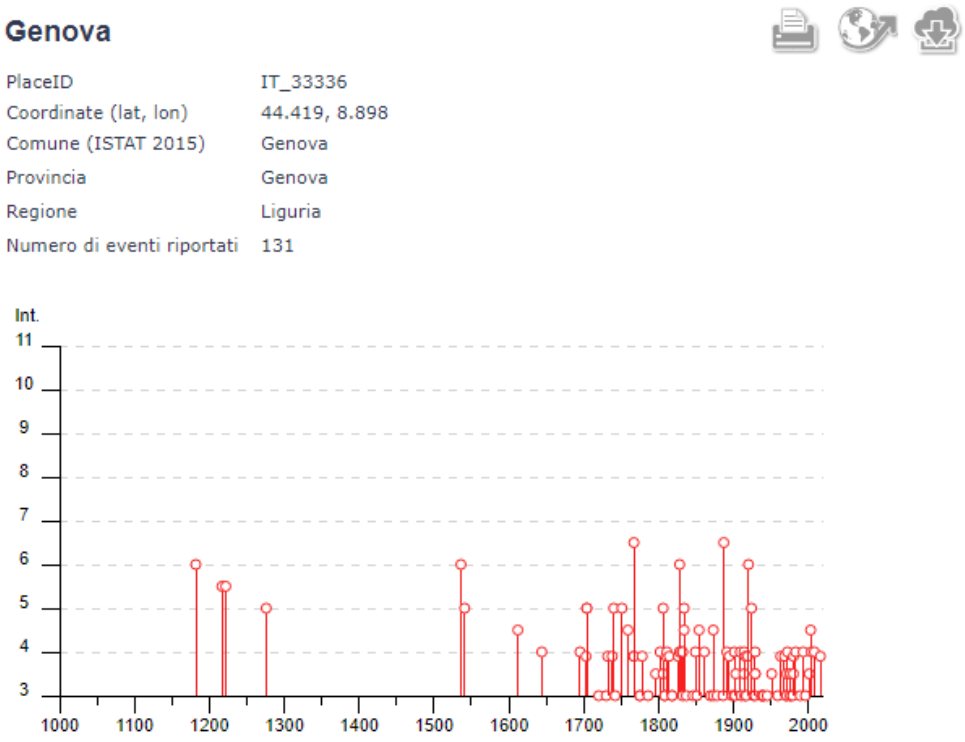


Figura 6: Istogramma degli eventi sismici registrati nel comune di Genova (Fonte DBMI15)

4.1.4 Magnitudo attesa

L'accelerazione di picco a_{max} da approccio probabilistico (e quindi relativa ad un certo TR) è il risultato non di un singolo valore di magnitudo ma del contributo delle differenti magnitudo che concorrono alla pericolosità di un sito. Per la determinazione della Magnitudo rappresentativa dell'area in esame, si è fatto ricorso al metodo della disaggregazione di a(g). Questo metodo consente di definire il contributo alla pericolosità di un sito di diverse sorgenti sismogenetiche a

distanza D capaci di generare terremoti di magnitudo M. In altri termini il processo di disaggregazione in M-D fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza D dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso. È stata eseguita la disaggregazione calcolando i valori di magnitudo e distanza epicentrale relativamente all'area in esame. Figura 7 e Tabella 3 mostrano i risultati ottenuti per il comune di Genova.

I maggiori contributi alla magnitudo si concentrano in corrispondenza di una distanza epicentrale di 0-10 km e 10-20km negli intervalli di M_w compresi tra 4.0÷4.5, 4.5÷5.0, e 5.0÷5.5 ovvero rispettivamente 9.4%, 15.1%, e 6.7% a distanza 0-10km e 10.9%, 22.8%, e 14.4% a distanza 10-20km. Il valore medio di Mw risulta pari a 4.89.

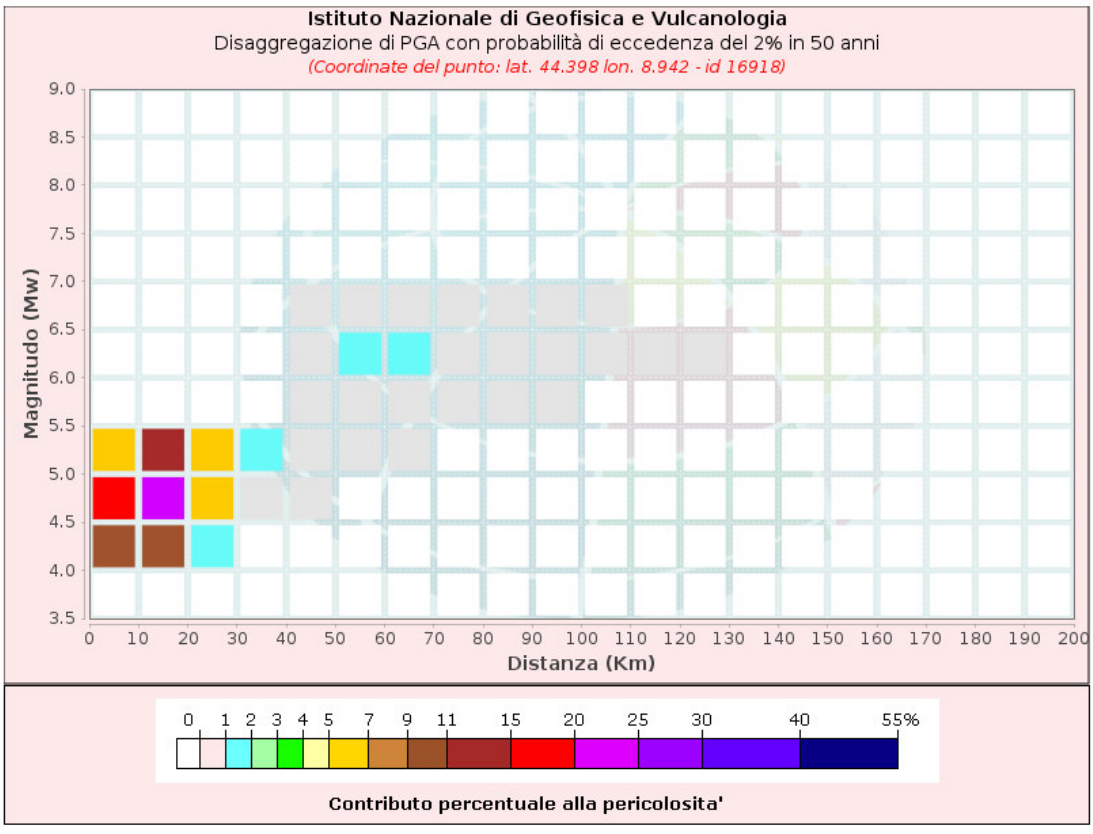


Figura 7: Elaborazione grafica della disaggregazione di PGA nel comune di Genova (fonte INGV)

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 44.398 lon. 8.942 - id 16918)											
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	9.4000	15.1000	6.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	10.9000	22.8000	14.4000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	1.2500	5.3600	5.6900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.4840	1.7300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0005	0.3470	0.2440	0.3360	0.0669	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0855	0.6020	1.0400	0.1480	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0233	0.4280	1.0100	0.1190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2040	0.6720	0.0598	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0670	0.4080	0.0281	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0083	0.2190	0.0120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1010	0.0031	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0327	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	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
4.89	16.9	1.41

Tabella 3: Disaggregazione di PGA nel comune di Genova (fonte INGV)

Ai fini delle verifiche riportate nei capitoli a seguire, si considera, in via cautelativa, una magnitudo di progetto M_W = 5.0.

5 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO

5.1 Classificazione sismica secondo normativa nazionale

L'Ordinanza del Presidente del C.d.M. n. 3274 del 20/3/2003 ha introdotto la nuova classificazione sismica del territorio italiano che viene diviso in 4 zone sismiche, ciascuna caratterizzata da un diverso valore del parametro a_g (accelerazione massima convenzionale su suolo di categoria A).

Con le Norme Tecniche per le Costruzioni del settembre 2005 è stato specificato che per le zone 1, 2 e 3 è possibile una suddivisione in sottozone caratterizzate da valori di a_g intermedi rispetto a quelli citati e intervallati da valori non minori di 0.025.

La Gazzetta Ufficiale del 11/5/2006 ha pubblicato l'Ordinanza del PdCM del 28 aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" (Ordinanza n. 3519) con la quale sono approvati i criteri generali e la mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale. Le valutazioni di a_g sono calcolate su un numero sufficiente di punti (griglia non inferiore a 0.05°), corredate da stime dell'incertezza. I valori di a_g sulle griglie suddette sono stati pubblicati sul sito web dell'INGV.

La documentazione di interesse è riportata in Figura 8 e Figura 9, dalle quali risulta una massima accelerazione attesa tra 0.05 e 0.075g. Si tratta dunque di zona sismica 3, la quale per definizione è caratterizzata da accelerazioni attese tra 0.05 e 0.150g con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni.

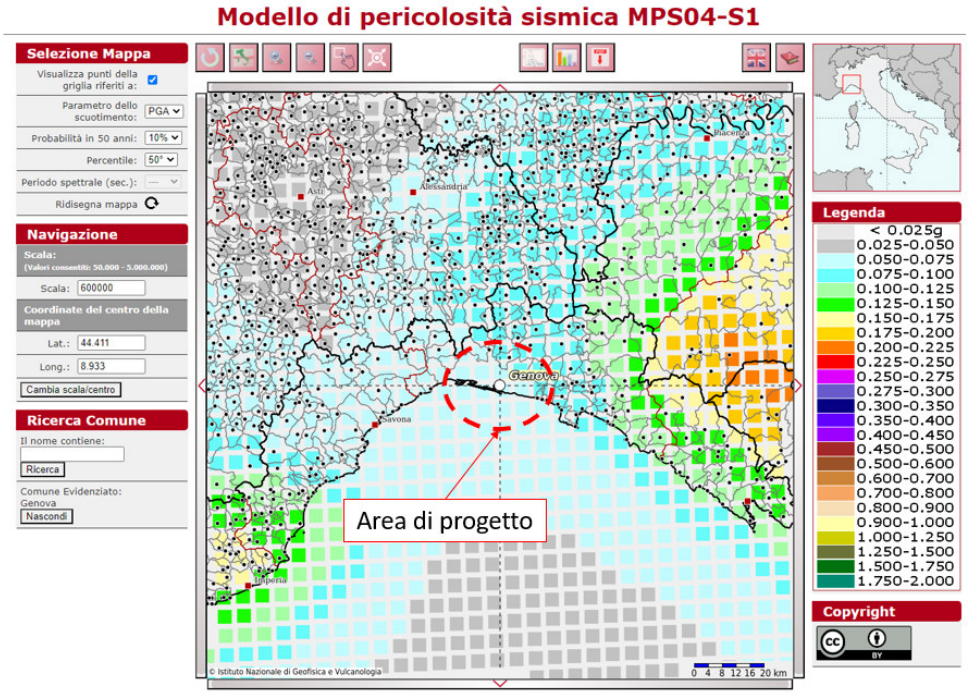


Figura 8: Mappa della sismicità della regione Liguria (fonte INGV)

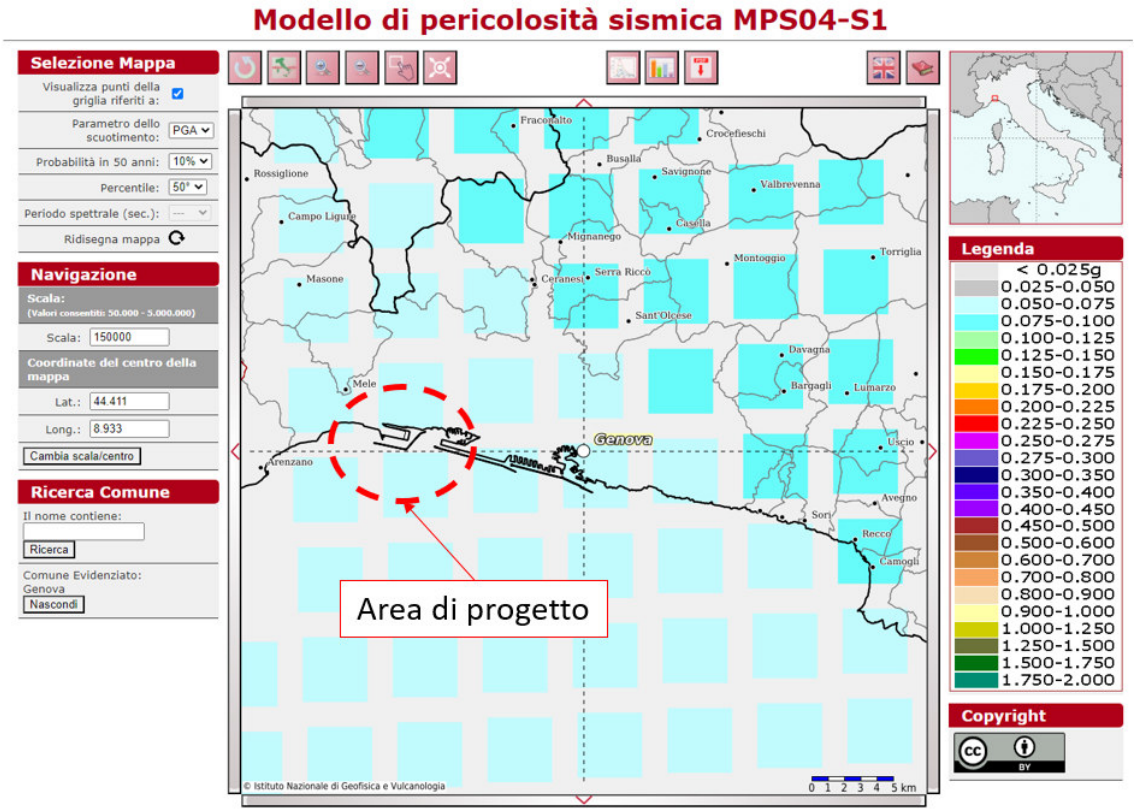


Figura 9: Mappa della sismicità dell'area di progetto (fonte INGV)

La pericolosità sismica di un territorio è funzione di un complesso insieme di parametri naturali e rappresenta la probabilità che un evento sismico di data intensità si manifesti in una certa area in un determinato intervallo di tempo. Diverso è, invece, il concetto di rischio sismico che è il risultato catastrofico dell'evento naturale sul sistema antropico. Affinché si abbia rischio è necessario, pertanto, che uno o più degli elementi antropici esposti (vite umane, attività, beni) possieda un carattere di vulnerabilità tale da determinarne la perdita parziale o totale. La vulnerabilità, in tale accezione, è l'entità della perdita attesa derivante dal manifestarsi di un evento di data intensità nell'area in esame. Non potendo intervenire sulla pericolosità, che dipende esclusivamente da dinamiche naturali, si può intervenire sulla vulnerabilità degli elementi esposti al rischio e, quindi, sul rischio totale. Oltre alla conoscenza della probabilità di accadimento di un evento sismico, delle caratteristiche della sorgente sismogenetica e delle modalità di propagazione della perturbazione, è necessario analizzare le caratteristiche locali del sito di studio. Queste, infatti, condizionano la reazione del terreno all'input sismico in termini di variazione del contenuto in frequenza del segnale, amplificazione/smorzamento dell'onda e perdita o modificazione delle sue caratteristiche di resistenza e deformabilità.

All'indomani della riclassificazione sismica del territorio nazionale scaturita dal progetto S1 dell'INGV-DPC, si dispone di parametri sismici di riferimento aggiornati e di maggior dettaglio rispetto alla classificazione macrosismica nazionale cui faceva riferimento il D.M. LL.PP. 16 gennaio 1996 (Norme Tecniche per le Costruzioni in zone sismiche). La rappresentazione di sintesi delle caratteristiche sismologiche e sismogenetiche del territorio è contenuta nella "Mappa di Pericolosità Sismica" dell'Italia, che costituisce oggi la base di riferimento per la valutazione delle azioni sismiche di progetto sul sito in esame secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018). Con riferimento al D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018, sono stati determinati i parametri sismici di progetto per la realizzazione delle opere previste. In particolare, sulla base delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e dei dati relativi al progetto S1 dell'INGV-DPC, sono stati determinati i valori reticolari dei parametri di riferimento relativamente ad un suolo rigido, per un tempo di ritorno Tr pari a 475. I parametri forniti, in funzione di quanto previsto delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018, possono essere direttamente utilizzati per la ricostruzione degli spettri di risposta del sito e, quindi, per la progettazione di tutte le opere previste in conformità con le vigenti normative a livello nazionale.

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata, quindi, a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale. I risultati dello studio di pericolosità sono forniti, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km) e nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g, del valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale F_0, del periodo di inizio del tratto costante dello spettro in accelerazione orizzontale T_c^*;
- per diverse probabilità di superamento in 75 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 45 e 1462 anni, estremi inclusi.

5.2 Classificazione sismica secondo normativa regionale

La delibera della giunta regionale D.g.r. n. 962 del 23/11/2018 ha provveduto all'aggiornamento della classificazione sismica regionale precedentemente approvata con delibera D.g.r. n.216 del 17/03/2017. Secondo la suddetta normativa, il comune di Genova ricade in zona sismica 3, come mostrato in Figura 10.

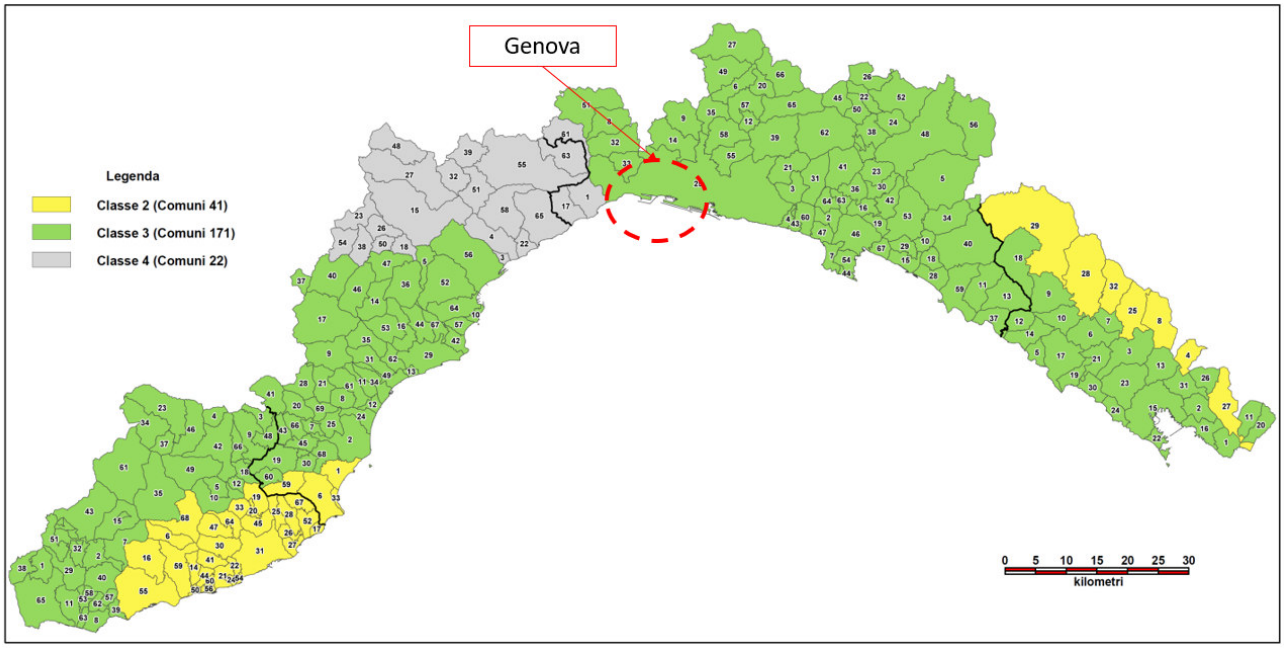


Figura 10: Classificazione sismica regionale secondo la regione Liguria

5.3 Definizione della categoria di sottosuolo e topografica

In osservanza delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (NTC 2018), ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tabella 4, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_S per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo. I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Con:

h_i = spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati:

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo H = 30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tabella 4.

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 4: Categorie di sottosuolo secondo la normativa NTC 2018

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione mostrata in Tabella 5.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

Tabella 5: Categorie topografiche secondo la normativa NTC 2018

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

5.4 Indagini sismiche a disposizione

Nel sito in esame sono state eseguite le seguenti indagini sismiche al fine di definire i parametri sismici di progetto:

- n.4 prove sismiche di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- n. 4 prove sismiche passive di tipo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios).

I risultati delle suddette indagini hanno permesso di individuare il valore della $V_{S,eq}$, e quindi la relativa classe di sottosuolo, ai sensi del D.M. 17/01/2018.

L'ubicazione delle indagini geofisiche è mostrata in Figura 11.



Figura 11: Ubicazione delle indagini geofisiche

5.4.1 Risultati indagini sismiche

In Figura 12 si riportano i profili di velocità delle onde di taglio V_S in funzione della profondità, per le prove MASW eseguite. Si nota come tutte le prove abbiano raggiunto, a diverse profondità, il valore di 800 m/s corrispondente al bedrock sismico, il quale si ricorda che può essere costituito sia da roccia sia da terreno molto rigido.

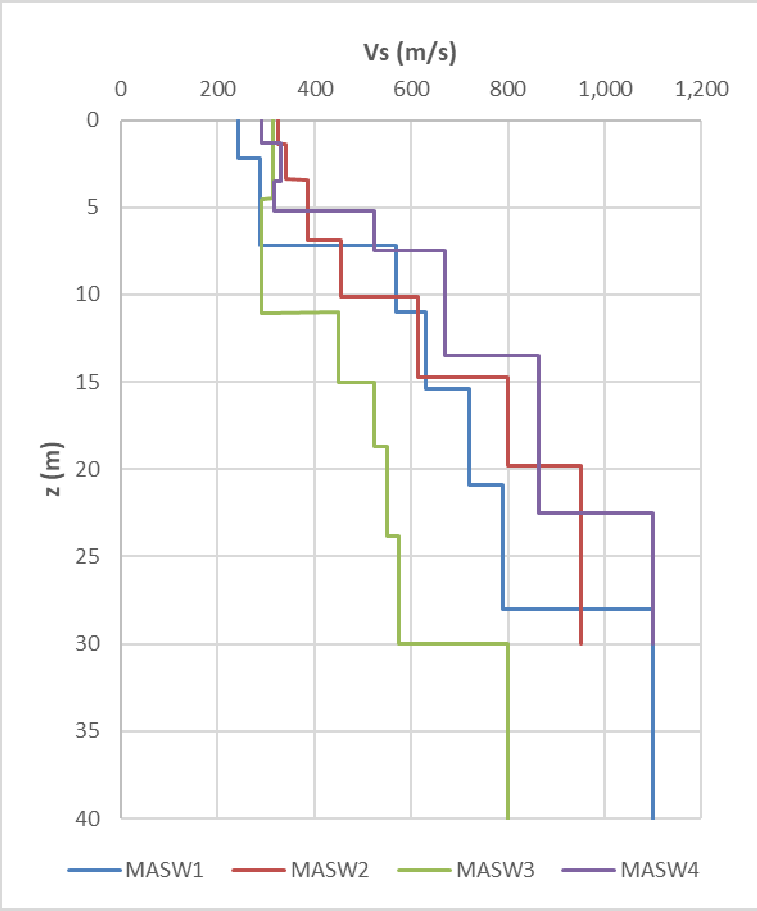


Figura 12: Risultati delle prove geofisiche, profilo delle Vs con la profondità

5.4.2 Categoria di sottosuolo

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, il calcolo del valore di $V_{S,eq}$ deve essere condotto in funzione dell'opera di riferimento. In particolare, per le opere fuori terra (ad esempio i rilevati) la profondità del substrato può essere riferita al piano campagna, per le fondazioni superficiali al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali alla testa dei pali. Per tali motivo, a seguire si riporta il calcolo di $V_{S,eq}$ con riferimento al piano campagna. I valori di $V_{S,eq}$ risultanti dalle prove geofisiche eseguite sono riassunti in Tabella 6. I valori ottenuti sono nel range 411 – 493 m/s, corrispondente ad una **categoria di sottosuolo B** (velocità equivalente compresa tra 360 e 800 m/s).

ID Prova	Profondità (m)		Vs (m/s)	h/Vs	$V_{s,eq}$ (m/s)
	Da	A			
MASW1	0	2.2	243	0.009053	493.5
	2.2	7.2	288	0.017361	
	7.2	11.0	568	0.00669	
	11.0	15.4	630	0.006984	
	15.4	20.9	720	0.007639	
	20.9	28.0	788	0.00901	
	28.0	40.0	1100	-	
MASW2	0	1.4	325	0.004308	435.0
	1.4	3.4	340	0.005882	
	3.4	6.9	385	0.009091	
	6.9	10.1	455	0.007033	
	10.1	14.7	615	0.00748	
	14.7	19.8	800	-	
	19.8	30.0	950	-	
MASW3	0	4.5	315	0.014286	411.8
	4.5	11.1	290	0.022759	
	11.1	15.0	450	0.008667	
	15.0	18.7	525	0.007048	
	18.7	23.8	550	0.009273	
	23.8	30.0	573	0.01082	
	30.0	45.0	800	-	
MASW4	0	1.3	289	0.004498	452.3
	1.3	3.5	330	0.006667	
	3.5	5.2	318	0.005346	
	5.2	7.5	525	0.004381	
	7.5	13.5	670	0.008955	
	13.5	22.5	863	-	
	22.5	30	1100	-	

Tabella 6: Sintesi dei risultati delle prove MASW con calcolo di $V_{s,eq}$

5.5 Azioni sismiche di progetto

Per l'individuazione dell'azione sismica di progetto si è fatto riferimento a quanto riportato nel D.M. 17/01/2018. Per le opere in progetto si prevede di considerare:

- Vita Nominale $V_N \geq 75$ anni;
- Classe d'uso IV, a cui corrisponde il coefficiente d'uso $C_U = 2.0$.

La Vita di Riferimento V_R in base alla quale vengono valutate le azioni sismiche risulta pari a:

$V_R = V_N * C_U = 75 * 2.0 = 150$ anni

Sono presi in considerazione gli stati limite SLV, cui corrispondono le probabilità di superamento P_{VR} indicate ed i periodi di ritorno T_R calcolati secondo la formula seguente:

$T_R = -V_R / \ln(1-P_{VR})$ periodo di ritorno

$P_{VR} = 10\%$, $T_R = 1424$ anni

Utilizzando una categoria di sottosuolo B e la vita nominale e il coefficiente d'uso qui sopra riportati, e assumendo una categoria topografica di tipo T1, è possibile definire tutti i parametri sismici necessari alla costruzione degli spettri di risposta. Le espressioni dello spettro elastico di risposta in accelerazione sono riportate a seguire.

$$0 \le T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$$

$$T_B \le T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \le T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$$

$$T_D \le T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$$

5.5.1 Parametri sismici di progetto

Assumendo una **categoria di sottosuolo di tipo B** e una **categoria topografica di tipo T1**, è possibile definire tutti i parametri sismici necessari alla costruzione degli spettri di risposta. Le espressioni dello spettro elastico di risposta in accelerazione sono riportate a seguire.

STATO LIMITE	TR (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
SLO	90	0.037	2.553	0.236
SLD	151	0.045	2.522	0.266
SLV	1424	0.100	2.528	0.301
SLC	2475	0.120	2.522	-

Il valore di a_{max} determinato è pari a 0.120.

Parametri indipendenti			Parametri dipendenti	
STATO LIMITE	SLV		**S (-)**	1.2
a_g (g)	0.100		**N (-)**	1.25
F_0 (-)	2.528		**T_B (s)**	0.140
T_c^* (s)	0.301		**T_C (s)**	0.421
S_s (-)	1.200		**T_D (s)**	2
C_c (-)	1.399			
S_T (-)	1.0		**a_{max} (g)**	0.120
q (-)	0.8			

6 LIQUEFAZIONE

6.1 Generalità

Allo scopo di accertare la stabilità nei confronti della liquefazione, sono state effettuate specifiche verifiche. La liquefazione è un fenomeno per cui durante un sisma la rigidezza e la resistenza del terreno possono ridursi significativamente. Ad essa sono associati la perdita di resistenza al taglio o l'accumulo di deformazioni plastiche che avvengono in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, a causa delle azioni cicliche e dinamiche che si verificano in condizioni non drenate. Tali fenomeni sono legati allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali che, se positive, causano una diminuzione della tensione media efficace nel terreno e una riduzione della resistenza al taglio. Questa riduzione può essere una condizione temporanea o può indurre una condizione di collasso definitiva.

Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli N del terremoto, dalla densità relativa D_R e dalla granulometria del terreno. Un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di N (cicli del terremoto).

Il raggiungimento della condizione di liquefazione può dare origine ad effetti di varia natura, quali, nei casi più eclatanti:

- affondamento di edifici nel terreno;
- scorrimento di pendii;
- collasso di terrapieni, rilevati stradali e opere di terra in genere;
- collasso di palificate per perdita di connessione laterale;
- zampillio di copiosi getti d'acqua e di sabbia con formazione dei caratteristici coni eruttivi;
- collasso di opere di sostegno per sovraspinta del terreno a monte.

In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità del piano campagna ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa. In altre parole, è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove devono essere realizzati gli interventi in progetto.

6.2 Condizioni di esclusione da verifica a liquefazione

Le NTC18 al paragrafo 7.11.3.4.2 affermano che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 g;

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 $(N_1)_{60}$ > 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;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in Figura 13 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3.5 e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3.5.

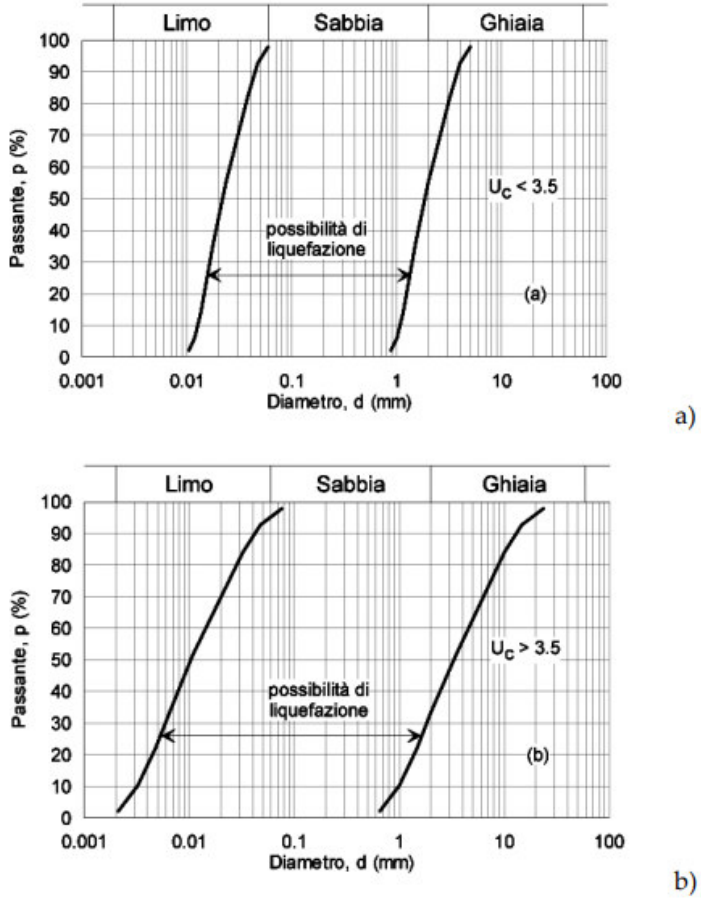


Figura 13: Classi granulometriche nelle quali possono verificarsi fenomeni di liquefazione

Considerando il punto 1 riguardante l'accelerazione massima attesa al piano campagna, è stato evidenziato in Figura 9 come l'accelerazione massima attesa sia compresa tra 0.050 e 0.075g, pertanto risulta verificata la condizione 1 e si ritiene dunque di poter omettere la verifica a liquefazione dei terreni.