

**DIREZIONE OPERE PUBBLICHE**

<b>SCR PIEMONTE S.p.a.</b>		<b>CITTA' DI TORINO</b>
LIVELLO PROGETTUALE		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>
CUP <b>C13D21002930001</b>	TITOLO INTERVENTO <b>"TORINO, IL SUO PARCO, IL SUO FIUME: MEMORIA E FUTURO"</b>	
CODICE OPERA <b>22043D02</b>	<b>INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE E RECUPERO AREE VERDI DEL PARCO DEL VALENTINO</b>	
Tavola n. <b>107</b>	TITOLO TAVOLA <b>PE - RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE</b>	
DATA <b>01 DICEMBRE 2023</b>	SCALA	AREA PROGETTUALE <b>GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>
FORMATO ELABORATO <b>A4</b>	CODICE GENERALE ELABORATO <b>22043D02 0 0 E GG 00 CL 107 0</b>	
NOME FILE <b>22043D02_0_0_E_GG_00_CL_107_0</b>		
VERSIONE	DATA	DESCRIZIONE
0	01 dicembre 2023	Prima redazione
<b>RTP PROGETTAZIONE</b>  <b>AG&amp;P greenscape srl (mandataria)</b> via Savona 50 20144 Milan - Italy  <b>m t a ASSOCIATI (mandante)</b> Via Benedetto Marcello 10, 20124 Milano		<b>TIMBRI - FIRME</b> Responsabile del progetto: Arch. Paolo Palmulli Responsabile progetto architettonico: Arch. Antonio Troisi
<b>RTI ESECUZIONE</b>  <b>CONSORZIO STABILE A.L.P.I. scarl</b> Viale Rimembranze 28 - 20045 Lainate (MI)		
<b>ORGANISMO DI CONTROLLO</b> Progetto Costruzione Qualità PCQ S.r.l. Responsabile di commessa: Ing. Nicola TORCIANTI		<b>S.C.R. PIEMONTE S.P.A.</b> Responsabile del Procedimento: Dott. Davide Ceraso

## Sommario

---

SOMMARIO .....	1
1. INTRODUZIONE .....	2
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	2
3. INQUADRAMENTO SISMICO .....	3
4. SISMICITÀ STORICA .....	5
5. STRUTTURE TETTONICHE E AREE SISMOGENETICHE .....	7
6. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE .....	8
7. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO .....	12
8. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE, CLASSI D'USO E TIPI DI COSTRUZIONI .....	18
9. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO .....	19
9.1. GENERALITÀ .....	19
9.2. VITA NOMINALE, VITA UTILE E PERIODI DI RITORNO DELL'AZIONE SISMICA .....	19
9.3. CALCOLO AZIONE SISMICA DELL'AREA IN STUDIO .....	20
10. VALUTAZIONE DEL PERICOLO DI LIQUEFAZIONE .....	23
11. CONCLUSIONI .....	25

## 1. Introduzione

---

Il presente elaborato si configura come relazione sismica e sulle strutture a supporto del progetto “Torino, il suo parco, il suo fiume: memoria e futuro” interventi di riqualificazione e recupero aree verdi del Parco del Valentino”.

## 2. Inquadramento geografico

---

L’area oggetto di studio è ubicata nei settori centro meridionali del territorio comunale di Torino, in sinistra idrografica del Fiume Po, ad una quota media di circa 225 m s.l.m.; in particolare, si tratta dell’area afferente al “Parco del Valentino”.

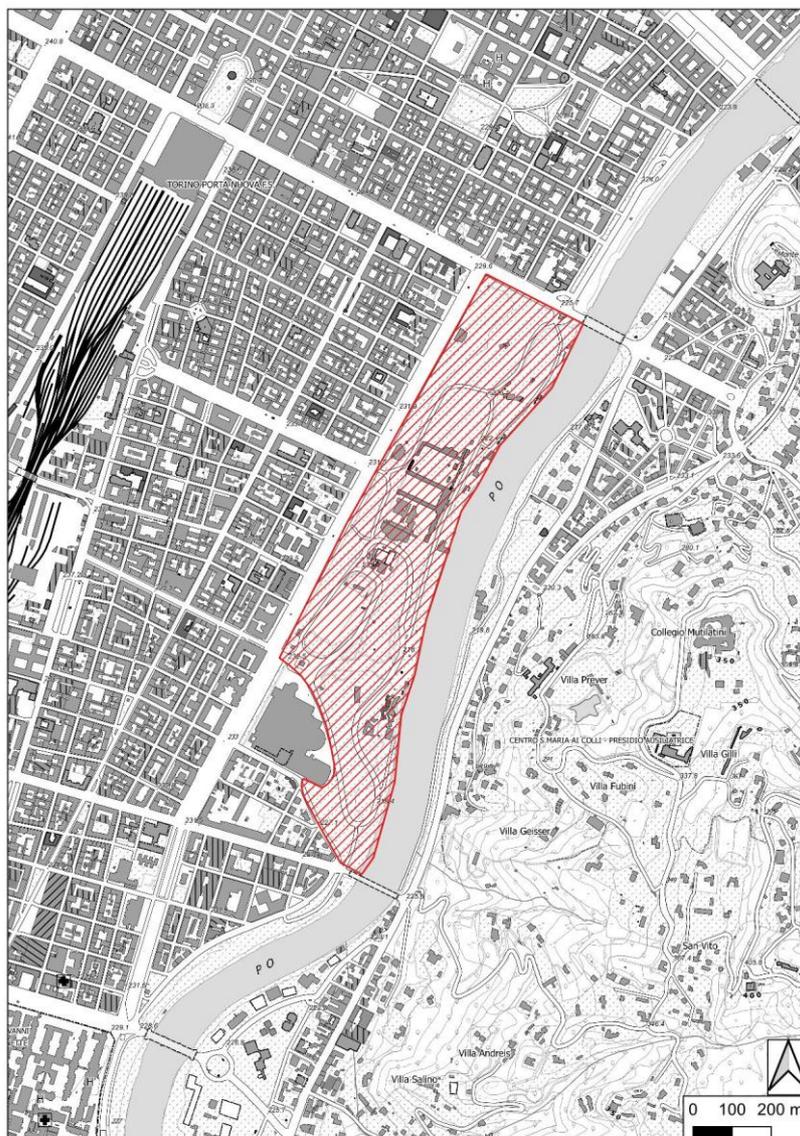


Figura 2.1: corografia dell’area in studio su base BdTre



Figura 2.2 corografia dell'area in studio su base ortofoto.

### 3. Inquadramento sismico

---

Nell'ambito delle valutazioni di tipo sismico si fa riferimento alla normativa di settore più recente, in particolare:

- “Deliberazione della Giunta Regionale n. 10-4161 del 26 novembre 2021 - procedure di gestione e controllo delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico, allineate con la nuova classificazione sismica individuata con D.G.R. 30 dicembre 2019, n. 6-887” e “Determinazione dirigenziale 12 gennaio 2022, n. 29 che ne approva le relative modalità attuative”.
- “Deliberazione della Giunta Regionale 30 dicembre 2019, n. 6- 887 “Preso d'atto e approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte, di cui alla D.G.R. del 21 maggio 2014, n. 65-7656”

- “Deliberazione della Giunta Regionale 12 dicembre 2011, n. 4-3084 - D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010. Approvazione delle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico attuative della nuova classificazione sismica del territorio piemontese”.
- “Deliberazione della Giunta Regionale 3 febbraio 2012, n. 7-3340 - Modifiche e integrazioni alle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. n. 4-3084 del 12/12/2011”.
- “Determinazione Dirigenziale n. 540/DB1400 del 09.03.2012 – approvazione delle modalità per la predisposizione degli studi finalizzati alla prevenzione del rischio sismico a supporto degli strumenti urbanistici generali e loro varianti generali e strutturali dei Comuni compresi nelle zone sismiche 3S e 3”.
- “Deliberazione della Giunta Regionale 21 maggio 2014, n. 65-7656 -individuazione dell'Ufficio Tecnico Regionale ai sensi del D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 e ulteriori modifiche e integrazioni alle procedure attuative di gestione e controllo delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. 12 dicembre 2011, n. 4-3084”.

Il livello di sismicità del sito in esame nel comune di Torino viene ascritto alla zona 3.

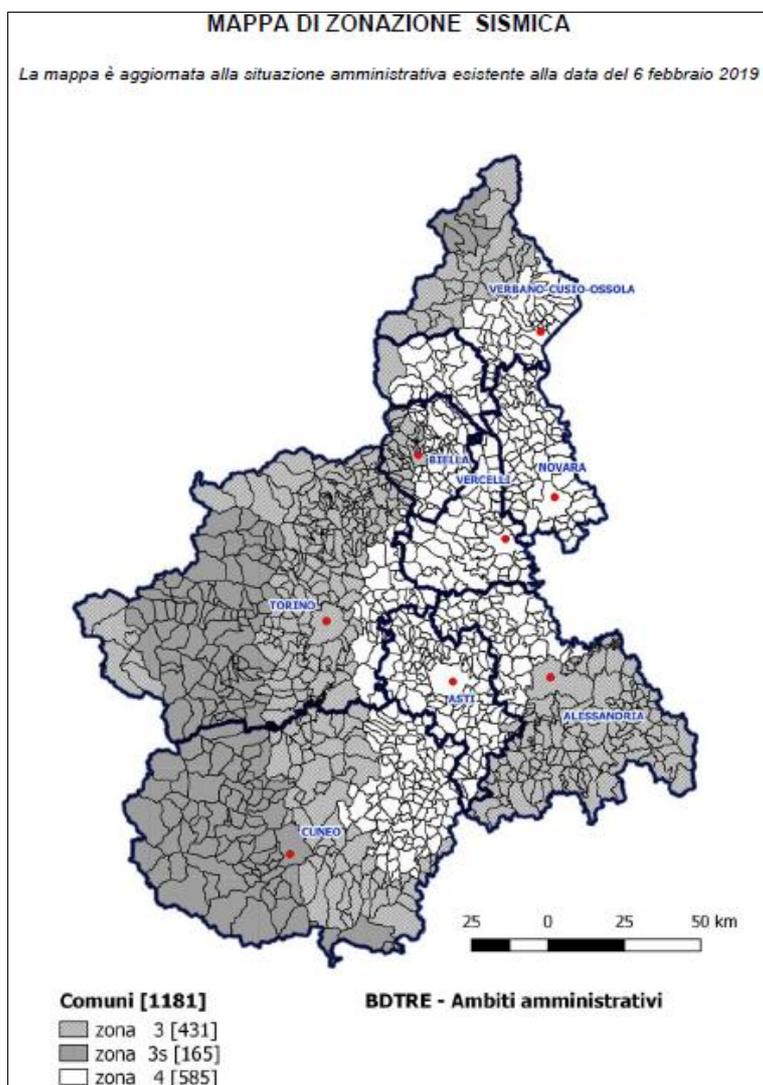


Figura 3.1: zonazione sismica dei comuni ex DGR 30 dicembre 2019, n. 6- 887

Nei paragrafi seguenti si fornisce un inquadramento sismico dell'area, a partire dall'individuazione delle sorgenti sismiche di interesse e degli effetti macrosismici registrati al sito nel corso di terremoti storici. Successivamente, è stata definita l'azione sismica di progetto facendo riferimento alle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni (nel seguito NTC2018), in funzione delle probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento dell'azione sismica, per la vita nominale delle opere, la loro classe d'uso e i diversi Stati Limite considerati.

#### 4. Sismicità storica

Le registrazioni della sismicità storica possono essere dedotte dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (INGV), v. DBMI15, del quale viene riprodotto uno stralcio relativo ad un intorno significativo dell'area di intervento.

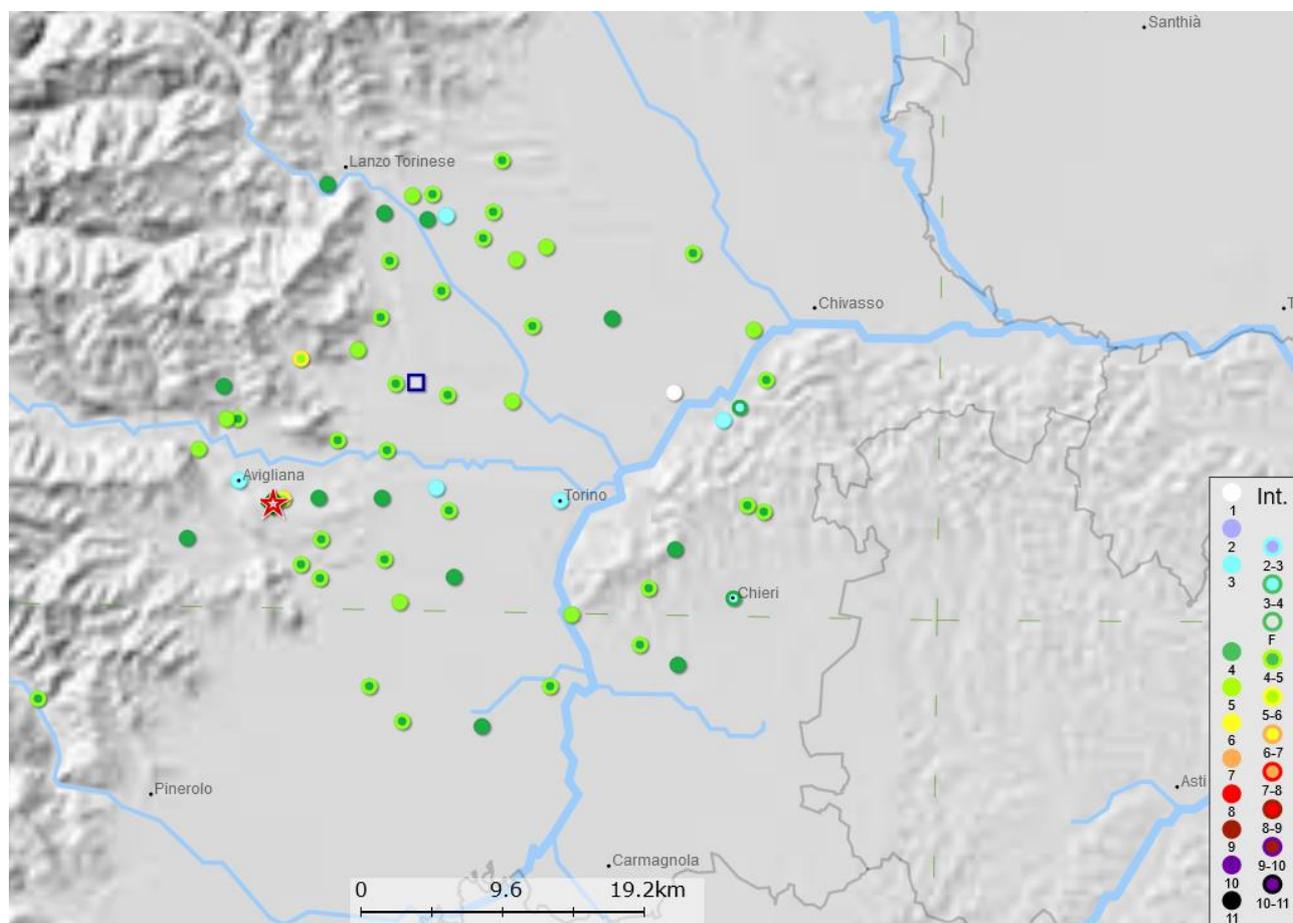


Figura 4.1: stralcio del CPTI - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani riferito al settore limitrofo all'area di intervento. Fonte INGV

Si presenta nel seguito una raccolta delle serie temporali tratte dal CPTI testimonianti la sismicità storica riferita ai comuni lungo il tracciato in progetto (Fonte: <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>).

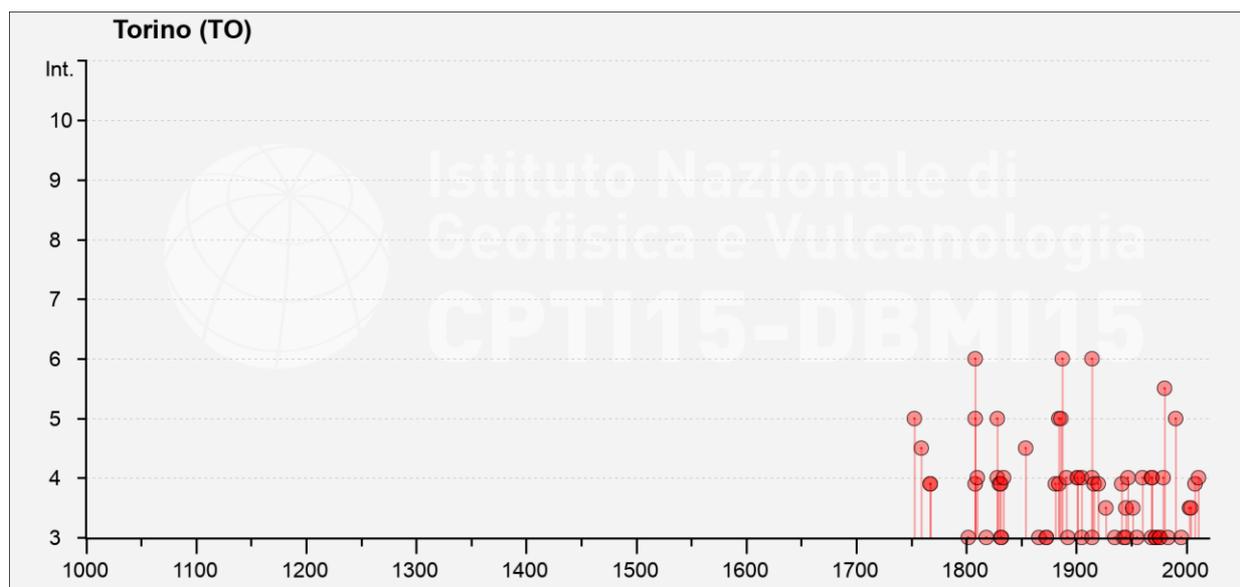


Figura 4.2: stralcio del CTPI - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani riferito al comune di Torino. Fonte INGV

Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
3-4	1927	12	11	15	49		Val di Susa	13	5	4.36
3	1935	03	19	07	27	1	Embrunais	254	7	5.25
2-3	1938	12	23	17	37	4	Canavese	28	5	4.22
F	1941	02	23	20	12	4	Cuneese	5		
3	1943	05	22	19	03		Val di Susa	3	4	3.70
2-3	1945	06	14	05	03	4	Oltrepò Pavese	6	6-7	4.78
3-4	1945	06	29	15	37	1	Oltrepò Pavese	31	7-8	5.10
3	1945	12	15	05	27		Oltrepò Pavese	12	6	4.72
4	1947	02	17	00	12	3	Alpi Cozie	283	5-6	4.74
3-4	1951	05	15	22	54		Lodigiano	179	6-7	5.17
2	1955	05	12	14	15		Cuneese	39	6-7	4.66
3	1955	06	20	04	47		Cuneese	104	6	4.77
4	1960	03	23	23	10		Vallese	178	7	5.00
2	1966	04	07	19	38	5	Cuneese	101	6	4.51
3	1968	04	18	19	38	1	Liguria occidentale	51	7-8	4.93
4	1968	06	18	05	27		Valle d'Aosta	60	6	4.86
4	1969	10	09	03	31	3	Val di Susa	36	5	4.25

2-3	1970	12	31	22	04	4	Liguria occidentale	79	6	4.62
3	1972	01	18	23	26		Liguria occidentale	41	6-7	4.60
3	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
3	1976	05	06	20	00	1	Friuli	770	9-10	6.45
3	1976	09	15	09	21	1	Friuli	54	8-9	5.95
4	1979	02	09	14	44		Bergamasco	73	6	4.78
5-6	1980	01	05	14	32	2	Torinese	120	6-7	4.82
2	1980	12	23	12	01	0	Piacentino	69	6-7	4.57
3	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
5	1990	02	11	07	00	3	Torinese	201	6	4.69
3	1995	11	21	04	04	3	Torinese	64	5-6	4.07
3-4	2003	04	11	09	26	5	Valle Scrivia	78	6-7	4.81
3-4	2004	11	24	22	59	3	Garda occidentale	176	7-8	4.99
NF	2005	06	12	21	16	1	Val di Susa	102	5	3.79
F	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36
4	2011	07	25	12	31	2	Torinese	105	5	4.67
NF	2016	10	30	06	40	1	Valnerina	379		6.61

## 5. Strutture tettoniche e aree sismogenetiche

Ai fini di un inquadramento sismotettonico dell'area di studio, si riporta nel seguito uno stralcio della mappa delle zone sismogenetiche tratta dal progetto DISS 3.3.0 (Database of Individual Seismogenic Sources, INGV).

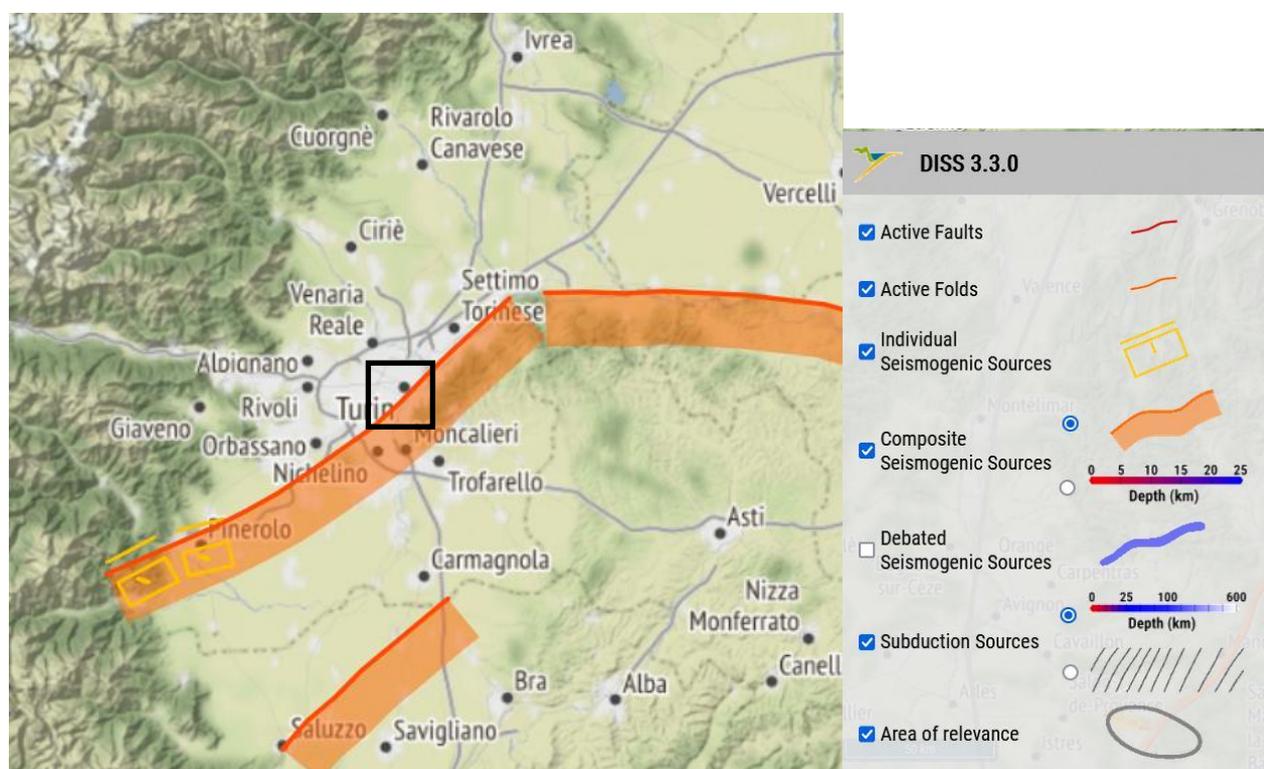


Figura 5.1: stralcio dell'inventario delle zone sismogenetiche italiane – DISS 3.3.0 (Fonte: INGV)

Come è possibile evincere dall'analisi della mappa di cui sopra, le zone sismogenetiche più prossime al settore di intervento corrispondono con il fronte di sovrascorrimento del Monferrato e Collina di Torino e con le strutture deformative del bacino di Savigliano.

L'area sismogenetica più prossima al sito di studio (ITCS023-Piemonte occidentale) si connota per i requisiti sotto riportati.

<b>PARAMETRIC INFORMATION</b>			
<b>Parameter</b>		<b>Quality</b>	<b>Evidence</b>
<b>Min depth [km]</b>	1.0	OD	Based on inference from intensity data of the 1808 earthquakes.
<b>Max depth [km]</b>	8.0	OD	Based on the maximum depth of the individual seismogenic sources.
<b>Strike [deg] min... max</b>	45...80	LD	Based on geological observations.
<b>Dip [deg] min... max</b>	40...50	EJ	Inferred from geological considerations.
<b>Rake [deg] min... max</b>	130...155	EJ	Inferred from geological data, constrained by orientation of T axes.
<b>Slip Rate [mm/y] min... max</b>	0.1400... 0.2000	OD	Based on modeling of subsurface geological data.
<b>Max Magnitude [Mw]</b>	7.1	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.
<b>LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement</b>			

Figura 5.2: requisiti dell'area sismogenetica ITCS023-Piemonte occidentale

## 6. Pericolosità sismica di base

A scala regionale il recente aggiornamento normativo della Regione Piemonte ha portato alla zonazione di pericolosità ripresa nella DGR 30 dicembre 2019, n. 6- 887, che viene riportata nel seguito in termini di PGA – Peak Ground Acceleration (accelerazione di picco sul suolo rigido), espressa come frazione dell'accelerazione di gravità.

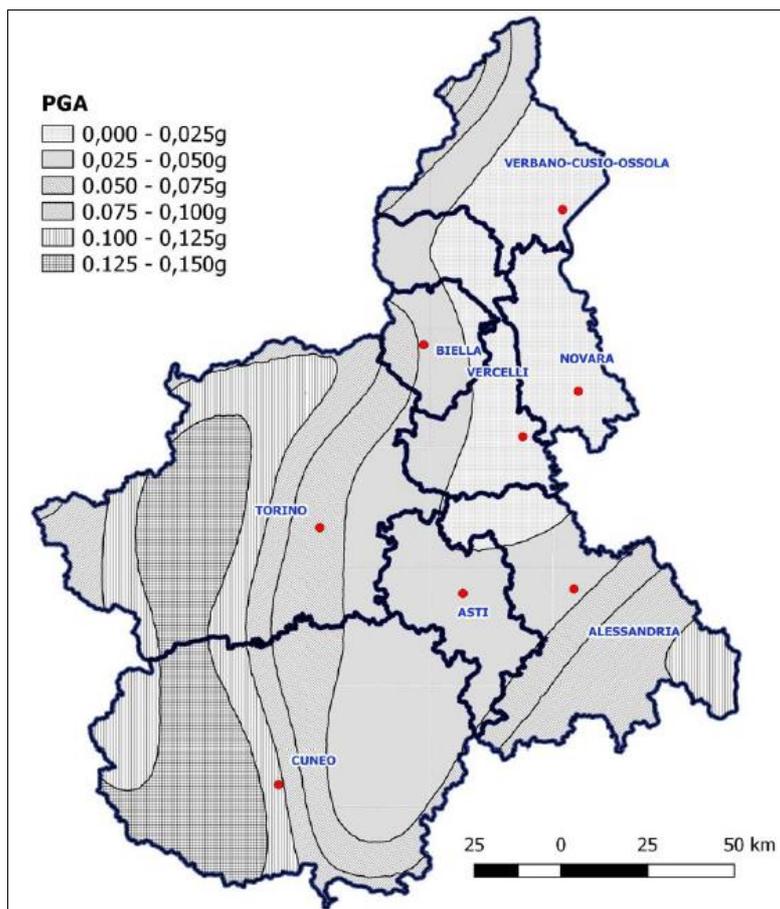


Figura 6.1: zonazione sismica dei comuni ex DGR 30 dicembre 2019, n. 6- 887

La pericolosità sismica del territorio nazionale è stata approvata dalla Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, recepita dalla O.P.C.M. n° 3519 del 28 Aprile 2006 e divenuta infine la Mappa di riferimento prevista dal D.M. 14 Gennaio 2018 – Norme tecniche per le costruzioni.

Tale mappa ha subito successivi affinamenti, sino all'attuale Modello di pericolosità sismica MPS04-S1, attraverso il quale è possibile stimare la P.G.A. - "Peak ground acceleration" (accelerazione di picco in condizione di campo libero - senza manufatti - per substrato rigido / categoria tipo A e piano campagna orizzontale / categoria T1), per gli eventi sismici attesi per il sito in oggetto, attraverso il processo di disaggregazione desunto dal sito internet dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Si riporta nel seguito stralcio della mappa di pericolosità sismica riferita al comune di Torino, da cui si evince che i valori dell'accelerazione massima del suolo sono compresi fra 0.050 e 0.075.

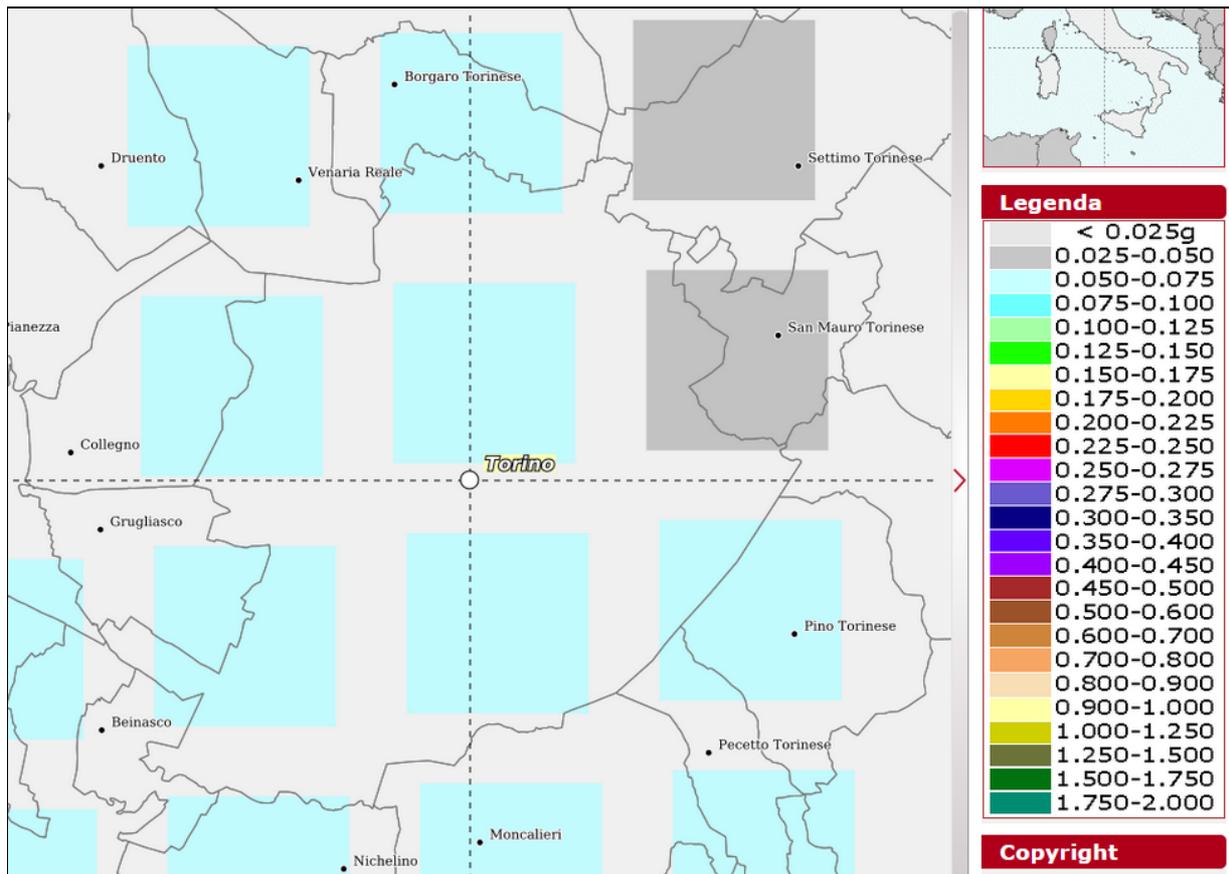


Figura 6.2: mappa della pericolosità sismica nell'intorno dell'area in esame (Fonte: INGV)

“Il sistema consente di visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo  $0.05^\circ$ . Le mappe riportano due parametri dello scuotimento:  $a(g)$  (accelerazione orizzontale massima del suolo, come definita dall'OPCM 3519/2006, corrispondente a quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA) e  $Se(T)$  (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo  $T$ , in accelerazione); l'unità di misura è g. Le mappe in  $a(g)$  sono state calcolate per differenti probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%). Per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime. Le mappe in  $Se(T)$  sono state pure calcolate per le stesse probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%) e per differenti periodi (in totale 10, da 0.1 a 2 secondi). Anche in questo caso per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime. L'analisi della disaggregazione dei valori di  $a(g)$  riporta, per ogni nodo della griglia di calcolo, la valutazione del contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori di magnitudo e distanza; questa informazione è riportata sia in forma grafica sia in forma tabellare. Per ogni nodo della griglia sono anche riportati, dopo la tabella, i valori medi di  $M-D-\epsilon$ . Questo tipo di analisi è utile nell'individuazione della sorgente sismogenetica che contribuisce maggiormente a produrre il valore di scuotimento stimato in termini probabilistici ed è utile in analisi di microzonazione” (INGV, 2007).

Vengono riportati, i nodi significativi della griglia di calcolo suddetta nel seguito elencati, i grafici e le tabelle di disaggregazione derivati mediante l'applicazione della procedura suddetta.

Lat 45.095 Long 7.684 (ID 13571)

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 45.095 lon. 7.684 - id 13571)											
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	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	6.4700	10.5000	4.6500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	7.7700	14.6000	7.7400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	3.9600	9.0400	5.9200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	1.5100	4.8500	3.9700	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.1830	1.7100	2.0900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.3660	1.0600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0711	0.6300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0468	0.5370	0.4370	0.3760	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0781	0.8930	1.6700	1.3500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0108	0.5430	1.3600	1.1500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.3050	1.0900	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.1030	0.6380	0.5860	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0228	0.2930	0.2770	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0260	0.0198	0.0016	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0097	0.0230	0.0067	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0060	0.0158	0.0053	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0025	0.0101	0.0041	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.0084	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.94	49.4	1.74

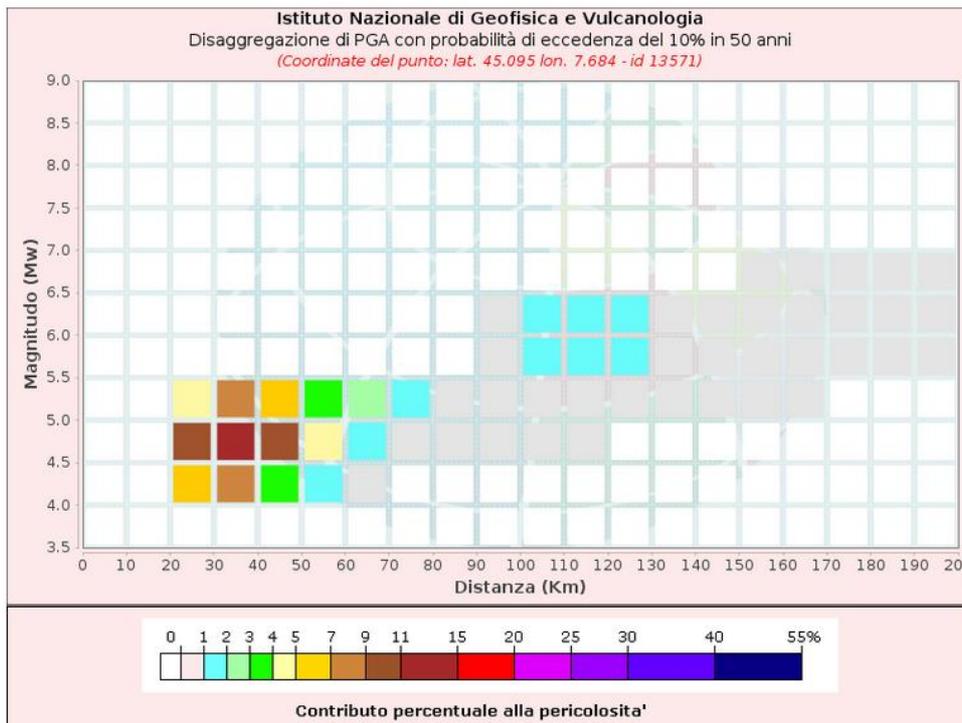


Figura 6.3: valori di magnitudo ottenuti con il processo di disaggregazione, riferiti al punto della griglia in selezionato (tabella tratta dal sito internet dell'I.N.G.V.)

In sintesi, l'analisi sopra eseguita evidenzia che le magnitudo di progetto attese sono nell'ordine di Mw = 4.9, riferite a sismi generati a distanze medie superiori ai 30 km.

## 7. Categorie di sottosuolo

---

el seguito si riportano le indicazioni tratte dall'aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» approvate con Decreto Ministeriale delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17/1/2018, in vigore dal 22/3/2018 e dalla Circolare del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP., riportante le “Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle “norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

“Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § C.7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, 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, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § C.6.2.2. I valori di VS 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 e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

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 VS,eq è definita dal parametro VS,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 nella tabella seguente.

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grava grossa molto addensati o terreni a grava 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.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grava grossa mediamente addensati o terreni a grava 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.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grava grossa scarsamente addensati o di terreni a grava 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.</i>
E	<i>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.</i>

Figura 7.1: categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato contenute nel DM 14/1/2018 e nella circolare del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL. PP

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § C.3.2.3 delle Norme. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

AI fini della valutazione della risposta sismica locale, sono stati presi in esame i dati derivanti dagli studi e dalle prove elencati nel seguito.

- 2 stendimenti ERT,
- 2 prove MASW,
- 1 prova HVSR

eseguite nel mese di Novembre 2022, nell'ambito degli approfondimenti geologici e geotecnici a supporto del "Progetto Torino, il suo parco, il suo fiume: memoria e futuro - Realizzazione della Biblioteca Civica e riqualificazione del Teatro Nuovo" (Enydrión STP S.r.l.)

- 2 indagini MASW eseguite nell'ambito degli approfondimenti geologici per gli interventi di consolidamento del sistema fondazionale della torre d'angolo del Borgo medievale (AG3 S.r.l.)
- 4 prospezioni sismiche a rifrazione elaborate con metodologia MASW, eseguite nell'ambito del progetto di fattibilità della riqualificazione del Padiglione 5 del complesso Torino Esposizioni (Dott. Geol. Andrea Valente Arnaldi – Studio Associato Anselmo – Dott. Ing. Luca Rossi).

Per quanto concerne il progetto di realizzazione della Biblioteca Civica e riqualificazione del Teatro Nuovo, si riporta in figura seguente l'ubicazione degli approfondimenti geofisici eseguiti.

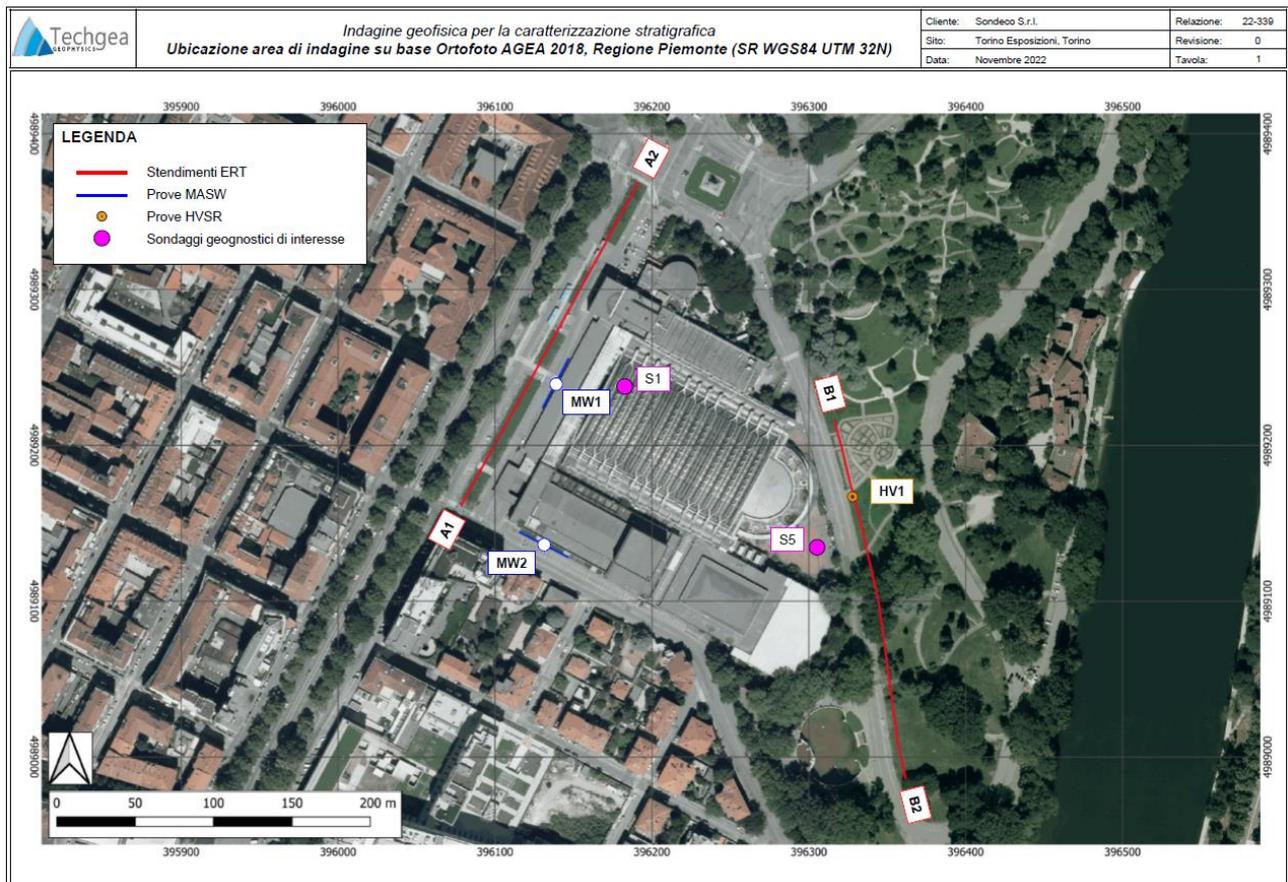


Figura 7.2: ubicazione delle prove geofisiche eseguite nel Novembre 2022

Nelle figure seguenti si riportano le sezioni tomografiche A1-A2 e la B1-B2.

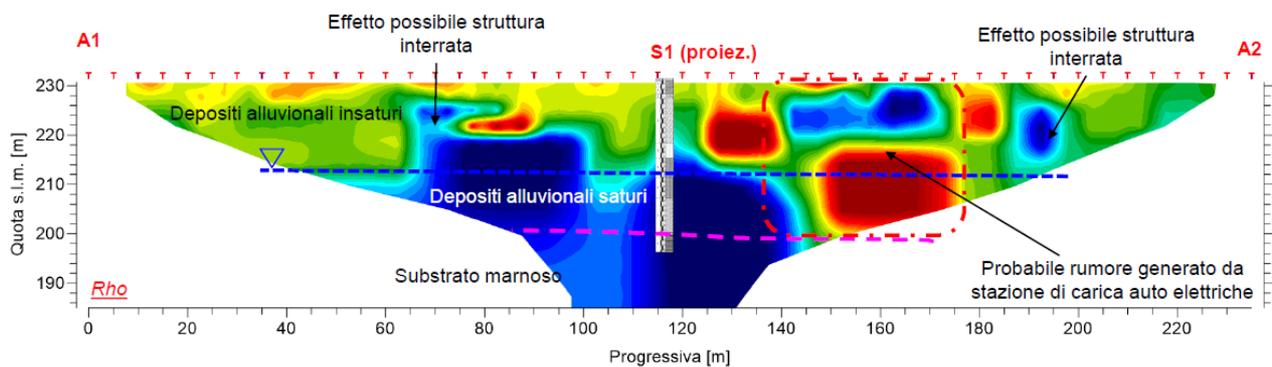


Figura 7.3: modello tomografico di resistività elettrica (Rho) - Stendimento ERT1 (A1-A2)

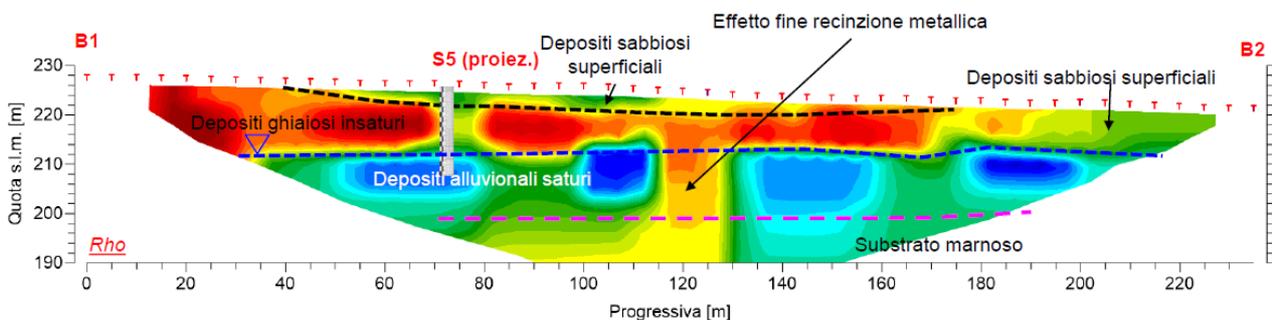


Figura 7.4: modello tomografico di resistività elettrica (Rho) - Stendimento ERT2 (B1-B2)

Esse sono state poste a confronto con i sondaggi più prossimi, rispettivamente S1 ed S5, al fine di effettuare una taratura dei valori di resistività del terreno e distinguere le diverse unità litologiche.

In entrambe le sezioni è ben evidenziato il passaggio di resistività fra la successione dei “*depositi alluvionali insaturi*” e quelli “*saturo*”, a circa 17 m da p.c., come misurato nel foro di sondaggio.

Nella seconda sezione, è stato riconosciuto il passaggio di resistività fra i depositi alluvionali ed il substrato marnoso.

Dai risultati delle indagini MASW della campagna 2022, si evince che i terreni investigati sono ascrivibili alla categoria di sottosuolo B della normativa, in quanto i valori di  $V_{s,30}$  ottenuti sono pari a 450 m/s e 392 m/s, rispettivamente per i profili sismici MASW1 e MASW2.

Nell’ambito degli approfondimenti geologici per gli interventi di consolidamento del sistema fondazionale della torre d’angolo del Borgo medievale, sono state realizzate due indagini MASW, la cui ubicazione è riportata nell’immagine seguente.

INDAGINI SISMICHE  
Borgo Medievale di Torino  
AG3 S.r.l.

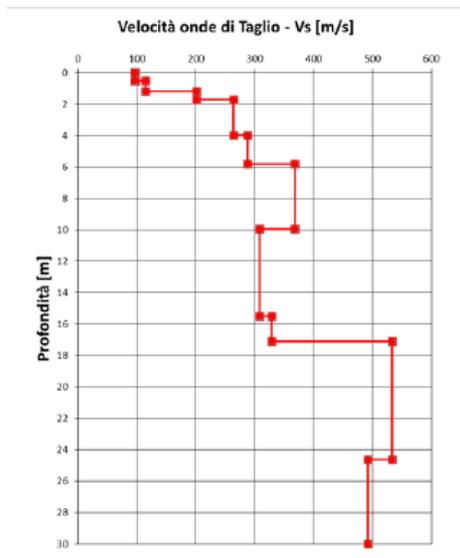
UBICAZIONE INDAGINI



Figura 7.5: ubicazione delle indagini MASW eseguite nei pressi della torre d'angolo del Borgo Medievale

La prova sismica MASW ha ottenuto un valore di  $V_s$  equivalente pari a 341 m/s, che corrisponde ad un suolo di categoria C.

## Grafico $V_s$



## Risultati

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	$V_s$ [m/sec]	$h/V_s$
1	0.0	0.51	97	0.0053
2	0.5	0.68	115	0.0059
3	1.2	0.54	201	0.0027
4	1.7	2.26	264	0.0086
5	4.0	1.81	288	0.0063
6	5.8	4.15	368	0.0113
7	9.9	5.55	308	0.0180
8	15.5	1.59	329	0.0048
9	17.1	7.55	533	0.0142
10	24.6	5.36	492	0.0109

$\Sigma h/V_s$	$V_s$ equivalente
0.0879	341
<b>Substrato sismico [m]</b>	<b>CATEGORIA SUOLO</b>
n.r.	C

Figura 7.6: risultati delle indagini MASW eseguite nei pressi della torre d'angolo del Borgo Medievale

Le 4 prospezioni sismiche a rifrazione MASW eseguite dall'ATI Geosolving-Sondecò per la riqualificazione del Padiglione 5 del complesso Torino Esposizioni, hanno consentito la determinazione del parametro VS30.



Figura 7.7: ubicazione delle indagini MASW

Il contesto esaminato è stato classificato come sottosuolo di categoria "B".

Prova MASW	Coordinate UTM WGS84 (fuso 32N)		V <sub>s30</sub> [m/s]	CLASSE DI SUOLO
	EST	NORD		
M1	396268	4989524	419	<b>B</b>
M2	396313	4989575	374	
M3	396404	4989522	382	
M4	396371	4989453	382	

Tabella 7.1: risultato delle indagini MASW

È stato altresì individuato il seguente modello sismo-stratigrafico medio costituito da:

livello superficiale esteso fino a 2.5 metri da p.c. costituito da riporti, materiali rimaneggiati e depositi in condizioni di scarso addensamento (velocità onde di taglio 120 ÷ 200 m/s);

secondo sismo-strato esteso fino a circa 8 metri da p.c. e caratterizzato da materiali a grado d'addensamento medio crescente con la profondità (velocità 280 ÷ 410 m/s);

terzo sismo-strato esteso oltre la massima profondità di indagine, caratterizzato da materiali a medio-alto addensamento (velocità 490 ÷ 590 m/s) e da alternanze di livelli a differente rigidità.

Tutte le indagini prese in esame ascrivono coerentemente il sottosuolo dell'area in esame ad una categoria B, ad eccezione della prova eseguita al Borgo del Valentino, che lo ascrive ad una C, ma con valori di Vs prossimi al limite superiore della categoria stessa.



Figura 7.8: linee sismiche MASW e relativa classe di suolo individuata

## 8. Condizioni topografiche, classi d'uso e tipi di costruzioni

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale, mentre per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione della tabella seguente. Nel caso specifico, ci si riferisce alla condizione T1.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

Figura 8.1: categorie caratteristiche della superficie topografica contenute nel DM 14/1/2018 e nella circolare del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL. PP

In riferimento ai tipi e alle classi d'uso delle costruzioni di cui al D.M. 14/01/2018 e alla circolare n. 7 C.S.LL. PP 21/01/2019, gli interventi vengono classificati come nelle tabelle seguenti.

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

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

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

*Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Figura 8.2: classi d'uso delle costruzioni contenute nel DM 14/1/2018 e nella circolare del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL. PP

Tab. 2.4.I – *Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni*

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 8.1: tipi di costruzione e relativa vita contenute nel DM 14/1/2018 e nella circolare del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL. PP

Per quanto concerne le caratteristiche topografiche, si attribuisce l'area alla categoria T1. In via preliminare si può affermare che gli interventi in progetto ricadano rispettivamente nella classe III e nel tipo 2.

## 9. Definizione dell'azione sismica di progetto

---

### 9.1. Generalità

---

La definizione dell'azione sismica di progetto per l'opera segue quanto disposto dalle NTC 2018. In particolare, l'azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi Stati Limite per le strutture in progetto (di esercizio – SLE e Ultimi - SLU) deve essere definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, a sua volta esprimibile in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale. La definizione dell'azione sismica comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione  $S_e(T)$  con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  per la vita utile della struttura. Data la probabilità di superamento nel periodo temporale di riferimento, funzione dello Stato Limite considerato per la verifica, la forma degli spettri di risposta di progetto è definita dai seguenti parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima per sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- $F_o$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato al Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, i valori dei suddetti parametri sono forniti per ognuno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento che copre il territorio nazionale. I valori corrispondenti a punti intermedi alla griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti.

Per definire i valori della pericolosità sismica di base, è stato scelto un punto baricentrico dell'area in esame.

### 9.2. Vita nominale, vita utile e periodi di ritorno dell'azione sismica

---

La Vita Nominale  $V_N$  di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa possa essere usata per lo scopo al quale è destinata, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2018:

- $V_N \leq 10$  anni, per opere provvisorie e opere provvisionali.
- $V_N \geq 50$  anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- $V_N \geq 100$  anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica, è stato assunto:

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita in base all'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. Nel caso in esame, sulla base delle indicazioni dei progettisti, le opere appartengono alla Classe d'Uso III, ossia:

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

Pertanto, sulla base delle indicazioni NTC2018, alla Classe d'Uso III corrisponde un coefficiente d'uso  $C_U$  pari a:

$$C_U = 1.5$$

Il periodo di riferimento  $V_R$  si ottiene moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ . Nel caso in esame:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.5 = 75 \text{ anni}$$

L'azione sismica di progetto va quindi determinata in funzione degli Stati Limite di verifica ed alle corrispondenti probabilità  $P_{VR}$  di realizzarsi nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2018 al par. 3.2.1 sono:

- Stati Limite Ultimi (SLU):
  - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
  - Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.
- Stati limite di Esercizio (SLE):
  - Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico.
  - Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.

Il tempo di ritorno  $T_R$  dell'azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento  $V_R$  ed alla probabilità di superamento  $P_{VR}$  dalla relazione:

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

### 9.3. Calcolo azione sismica dell'area in studio

---

Nel seguito si riporta il calcolo dell'azione sismica del sito, elaborato mediante l'utilizzo del foglio di calcolo "Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v.1.0.3b", distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009).

In particolare, si riportano rispettivamente:

- individuazione del sito e dei nodi del reticolo intorno ad esso;
- tabella dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  in funzione del periodo di riferimento ( $T_R$  di 45 anni, 75 anni, 712 anni, 1462 anni);
- spettri di risposta elastici per i diversi strati limite.



Figura 9.0.1: individuazione del sito e nodi del reticolo intorno ad esso

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	45	0,027	2,591	0,191
SLD	75	0,033	2,633	0,210
SLV	712	0,060	2,789	0,280
SLC	1462	0,071	2,854	0,289

Tabella 9.1: parametri  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$  in funzione del periodo di riferimento ( $T_R$  di 45 anni, 75 anni, 712 anni, 1462 anni) per il sito in esame

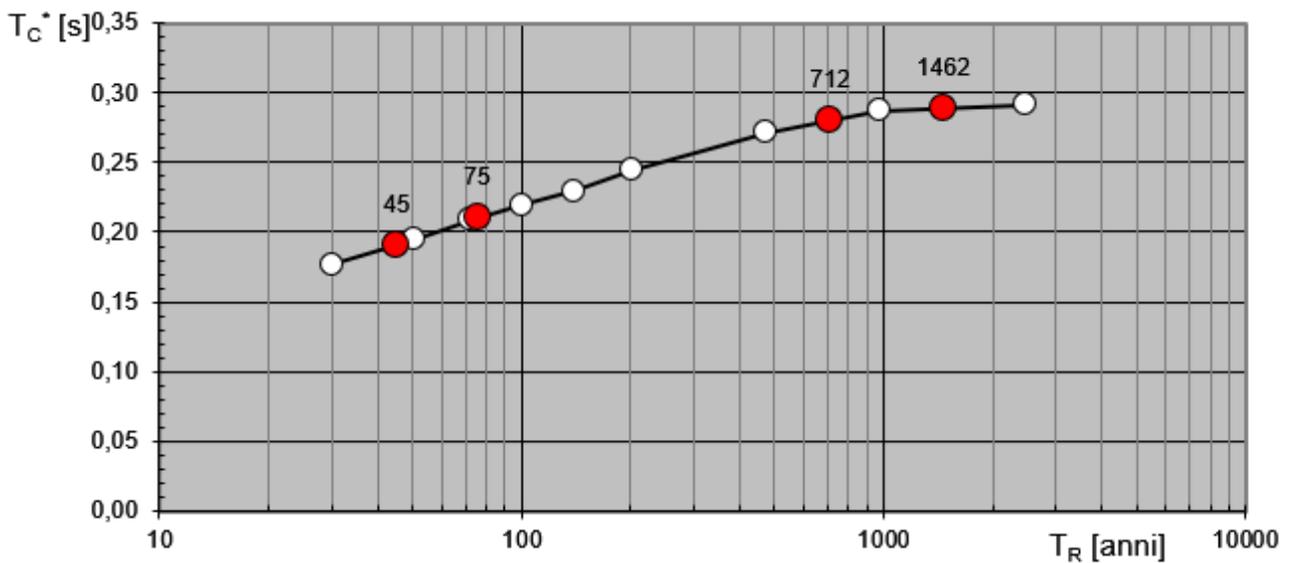
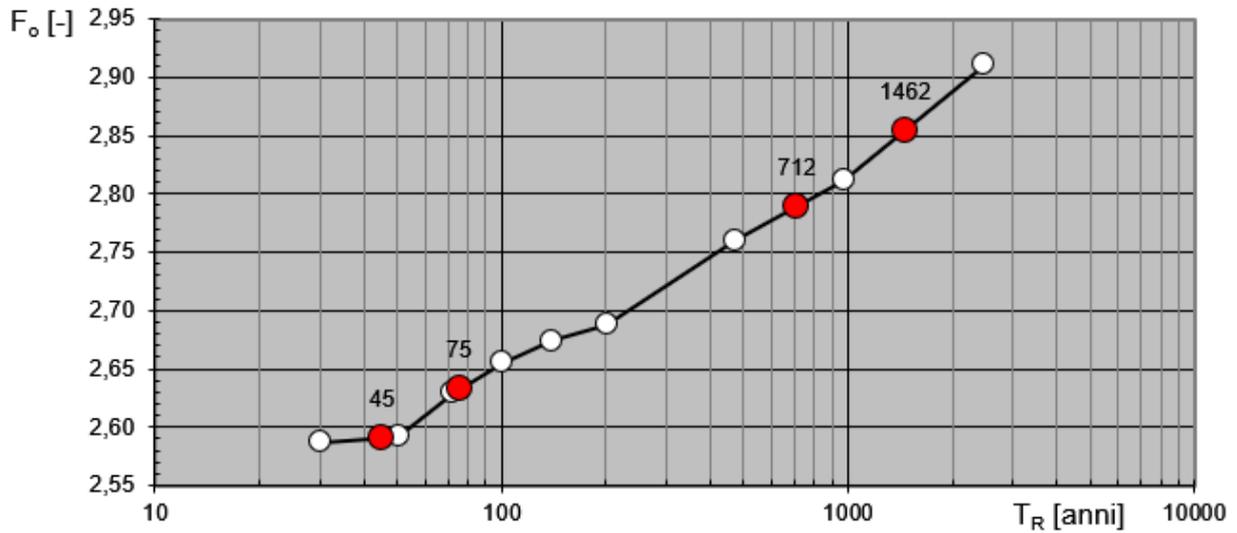
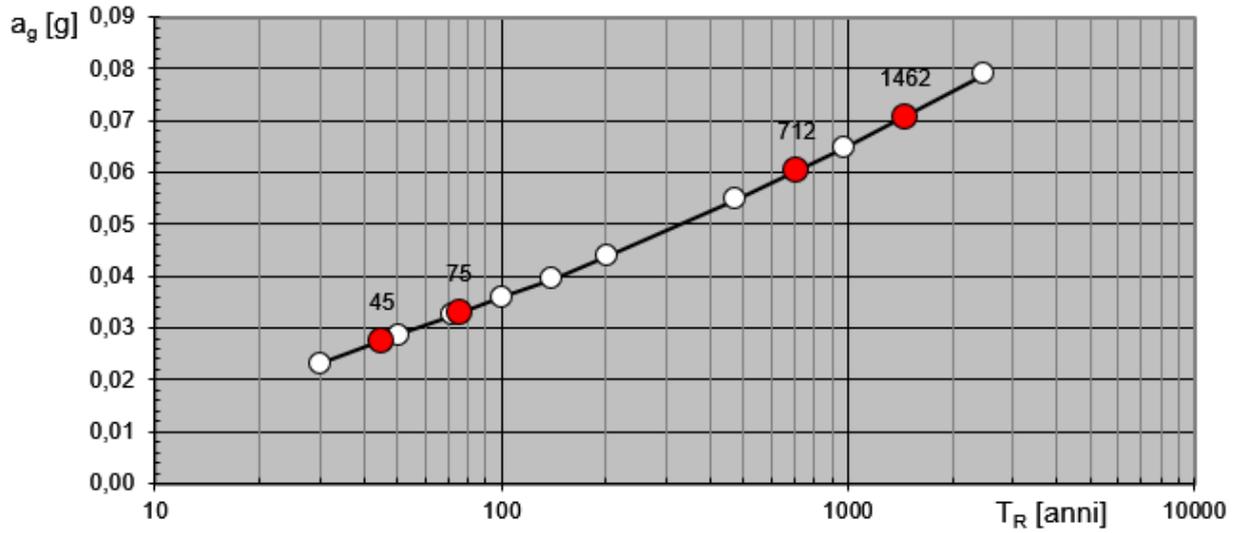


Figura 9.2: grafici dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  in funzione del periodo di ritorno ( $T_R$  di 68 anni, 113 anni, 1068 anni, 2193 anni) per il sito

## Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

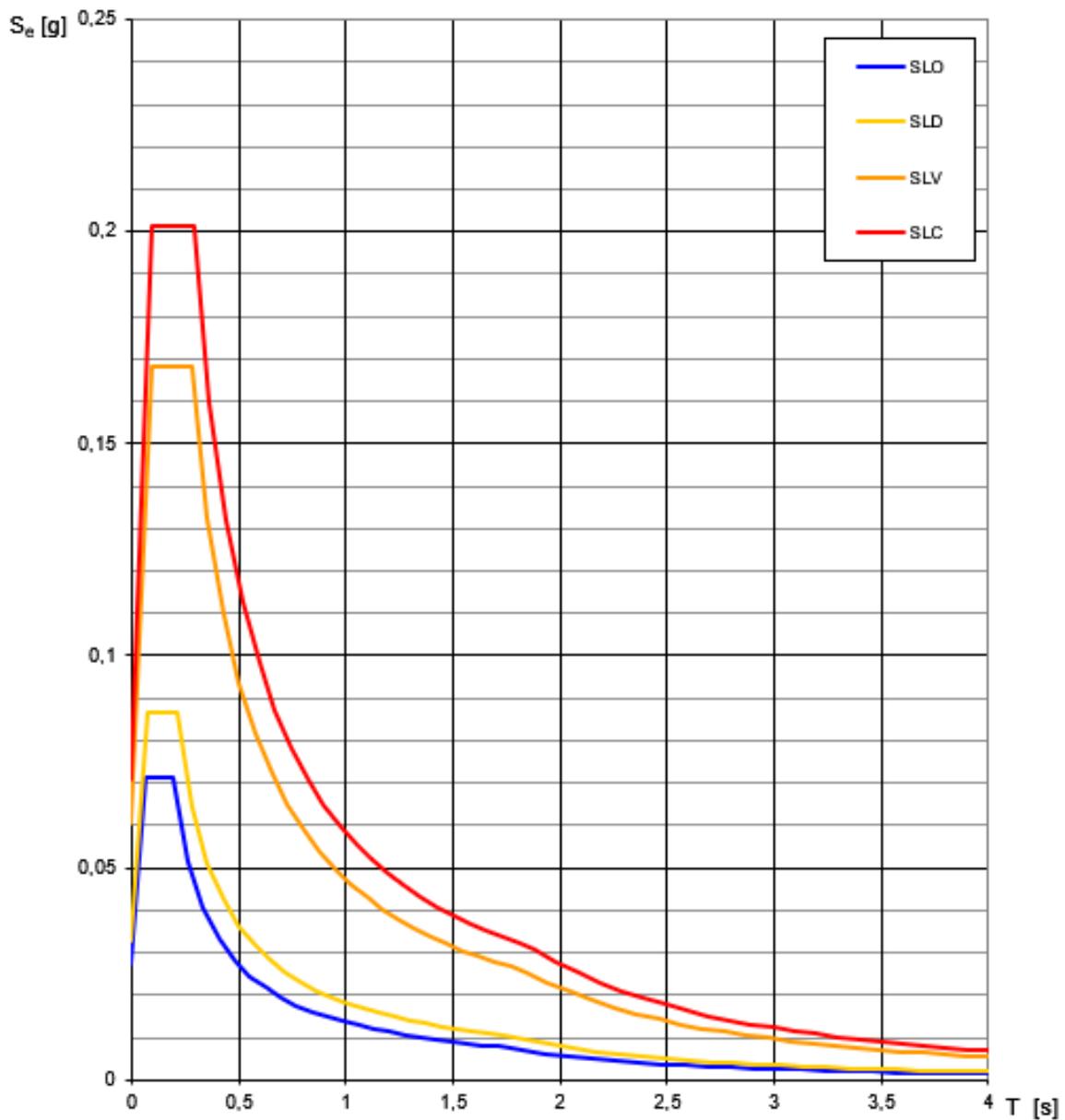


Figura 9.3: spettri di risposta elastici per i diversi strati limite per il sito in esame

## 10. Valutazione del pericolo di liquefazione

Con il termine liquefazione si intendono quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad un accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in

condizioni non drenate. Tali fenomeni possono avere come effetti, ad esempio, rotture per flusso, dislocazione laterale, oscillazione del terreno, perdita di capacità portante e cedimenti differenziali.

La liquefazione è una delle cause più importanti di danneggiamento e crollo di manufatti fondati su terreni non coesivi saturi ed è il risultato dell'effetto combinato di due principali categorie di fattori: fattori predisponenti e fattori scatenanti.

Fattori predisponenti:

- il terreno deve essere saturo, non compattato, non consolidato, sabbioso o limoso o un miscuglio con poca argilla;
- distribuzione granulometrica, uniformità, saturazione, densità relativa, pressioni efficaci di confinamento, stato tensionale iniziale;

Fattori scatenanti:

- la sismicità: magnitudo, durata del sisma, distanza dall'epicentro, accelerazione massima superficiale; la sollecitazione sismica deve essere intensa e di una certa durata.
- un criterio guida generale per la definizione di suoli liquefacibili considera i seguenti indici caratteristici:
  - granulometria media  $D_{50}=0.02-1.00$  mm;
  - contenuto di fini non superiore al 10%;
  - coefficiente di uniformità  $D_{60}/D_{10}$  inferiore a 10;
  - densità relativa  $D_r < 75\%$ ;
  - indice di plasticità  $I_p < 10$ .

La verifica del pericolo di liquefazione dei terreni di fondazione può essere esclusa nel caso in cui uno screening preliminare del sito fornisca l'evidenza di potenziale di liquefazione estremamente basso o nullo per:

- 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  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  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, dove  $qc_{1N}$  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 ai fusi granulometrici indicati delle NTC2018.

Nel sito in esame la verifica a liquefazione PUÒ ESSERE OMESSA in quanto si rientra nella circostanza 1).

## 11. Conclusioni

---

L'area in esame ricade in un settore classificato in zona sismica 3.

Come è possibile evincere dall'analisi della mappa delle zone sismogenetiche tratta dal progetto DISS 3.3.0 (Database of Individual Seismogenic Sources, INGV), le zone sismogenetiche più prossime al settore di intervento corrispondono con il fronte di sovrascorrimento del Monferrato e Collina di Torino e con le strutture deformative del bacino di Savigliano.

Secondo la mappa di pericolosità sismica riferita al comune di Torino, i valori dell'accelerazione massima del suolo sono compresi fra 0.050 e 0.075. Tale accelerazione consente di omettere la verifica a liquefazione.

Tutte le indagini prese in esame ascrivono coerentemente il sottosuolo dell'area in esame ad una categoria B, ad eccezione della prova eseguita al Borgo del Valentino, che lo ascrive ad una C, ma con valori di Vs prossimi al limite superiore della categoria stessa.

Per quanto concerne le caratteristiche topografiche, si attribuisce l'area alla categoria T1. In via preliminare si può affermare che gli interventi in progetto ricadano rispettivamente nella classe III e nel tipo 2.

È stata calcolata l'azione sismica del sito, elaborata mediante l'utilizzo del foglio di calcolo "Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v.1.0.3b", distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009), individuando i parametri  $a_g$ , FO e TC\* in funzione del periodo di riferimento (TR di 45 anni, 75 anni, 712 anni, 1462 anni) e gli spettri di risposta elastici per i diversi strati limite.