

**Comune di Seriate
Provincia di Bergamo**



Comune di Seriate

**Realizzazione nuova tettoia ad uso autorimessa per
Auser Mimosa Onlus
via Deco e Canetta, 52 - Seriate (BG)**

RELAZIONE GEOLOGICA R1 AI SENSI DELLE NTC 2018 CAP. 6.2.1

RELAZIONE GEOTECNICA R2 AI SENSI DEL DM 17/01/2018 (NTC) CAP. 6.2.2

RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITÀ R3 AI SENSI DELLA DGR 2616/2011 CAP. 4

Bergamo 15 gennaio 2025

Arnaldo Zanich Geologo



INDICE

1. PREMESSA	4
2. DOCUMENTAZIONE CONSULTATA	5
3. RELAZIONE GEOLOGICA (DGR 2616/2011 CAP. 4 E DM 17/01/2018)	6
3.1. COROGRAFIA DEL SITO	6
3.2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	7
3.3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRATIGRAFICO	8
3.4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	9
3.4.1. <i>La Falda Freatica nel Territorio di Seriate</i>	10
4. INDAGINI DI SITO	11
4.1. PROVE PENETROMETRICHE SCPT	11
4.1.1. <i>Strumentazione Impiegata</i>	11
4.1.2. <i>Metodologia di Prova</i>	11
4.1.3. <i>Restituzione dei Dati</i>	12
4.2. INDAGINE HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO)	12
4.2.1. <i>Risultati</i>	13
4.2.1.1. <i>Tracce in Imput</i>	13
4.2.1.1. <i>Grafici degli Spettri</i>	16
4.2.1.2. <i>Rapporto spettrale H/V</i>	17
5. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO	18
5.2. PERICOLOSITÀ SISMICA	19
5.2.1. <i>Vita Nominale, Classi d'Uso e Periodo di Riferimento</i>	20
5.2.2. <i>Stati Limite, Probabilità di Ritorno e Periodo di Riferimento</i>	21
5.2.3. <i>Definizione Della Pericolosità Sismica di Base</i>	22
5.2.4. <i>Pericolosità Sismica di Sito</i>	25
5.2.4.1. <i>Coefficienti sismici</i>	25
5.2.4.2. <i>Stabilità dei pendii e fondazioni</i>	25
5.2.5. <i>Risultati</i>	26
5.2.5.1. <i>Pericolosità sismica di base</i>	26
5.2.5.2. <i>Pericolosità sismica di sito</i>	28
5.3. PERICOLOSITÀ SISMICA AI SENSI DELLA DGR IX/2616 DEL 30.11.2016.....	30
5.3.1. <i>Analisi Sismica di I Livello</i>	30
5.3.2. <i>Analisi di Secondo Livello</i>	31
5.4. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	31
5.5. VERIFICA DI FATTIBILITÀ AI SENSI DELLA DGR IX/2616 DEL 30.11.2016.....	33
5.5.1. <i>Carta dei Vincoli</i>	33
5.5.2. <i>Carta Della Fattibilità per le Azioni di Piano</i>	34
6. RELAZIONE GEOTECNICA (DM 17/01/18 CAP 6.2.2)	35

6.1. PROFILO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO	35
6.1.1. <i>Profilo Stratigrafico</i>	35
6.1.2. <i>Unità Litotecniche</i>	35
6.2. ELABORAZIONE PROVE SCPT	35
6.2.1. <i>Correlazione con NSPT</i>	35
6.2.2. <i>Normalizzazione dei Valori di NSPT</i>	36
6.3. PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA.....	36
6.3.1. <i>Profilo Geotecnico di Riferimento</i>	37

ALLEGATO A : Prove SCPT

1. PREMESSA

Su incarico di Arpostudio e per conto del Comune di Seriate è stato eseguito lo studio geologico, sismico e geotecnico a supporto del progetto per la realizzazione di una nuova tettoia ad uso autorimessa per Auser Mimosa Onlus in via Deco e Canetta 52 a Seriate .

Con riferimento agli elaborati indicati dalla DGR 5001/2016 di Regione Lombardia sono state elaborate:

- la relazione geologica di fattibilità R3 ai sensi della DGR 2616/2011 cap. 4
- la relazione geologica R1 ai sensi del DM 17/01/2018 (NTC) cap. 6.2.1
- la relazione geotecnica R2 ai sensi del DM 17/01/2018 (NTC) cap. 6.2.2

Considerato che i contenuti delle relazioni in parte si sovrappongono e che la loro redazione è stata affidata ad un unico soggetto, esse sono state unite in una sola relazione, che nella procedura informatica prevista dalla Regione Lombardia per il deposito delle pratiche sismiche potrà essere allegato nelle 3 posizioni previste per questi 3 elaborati.

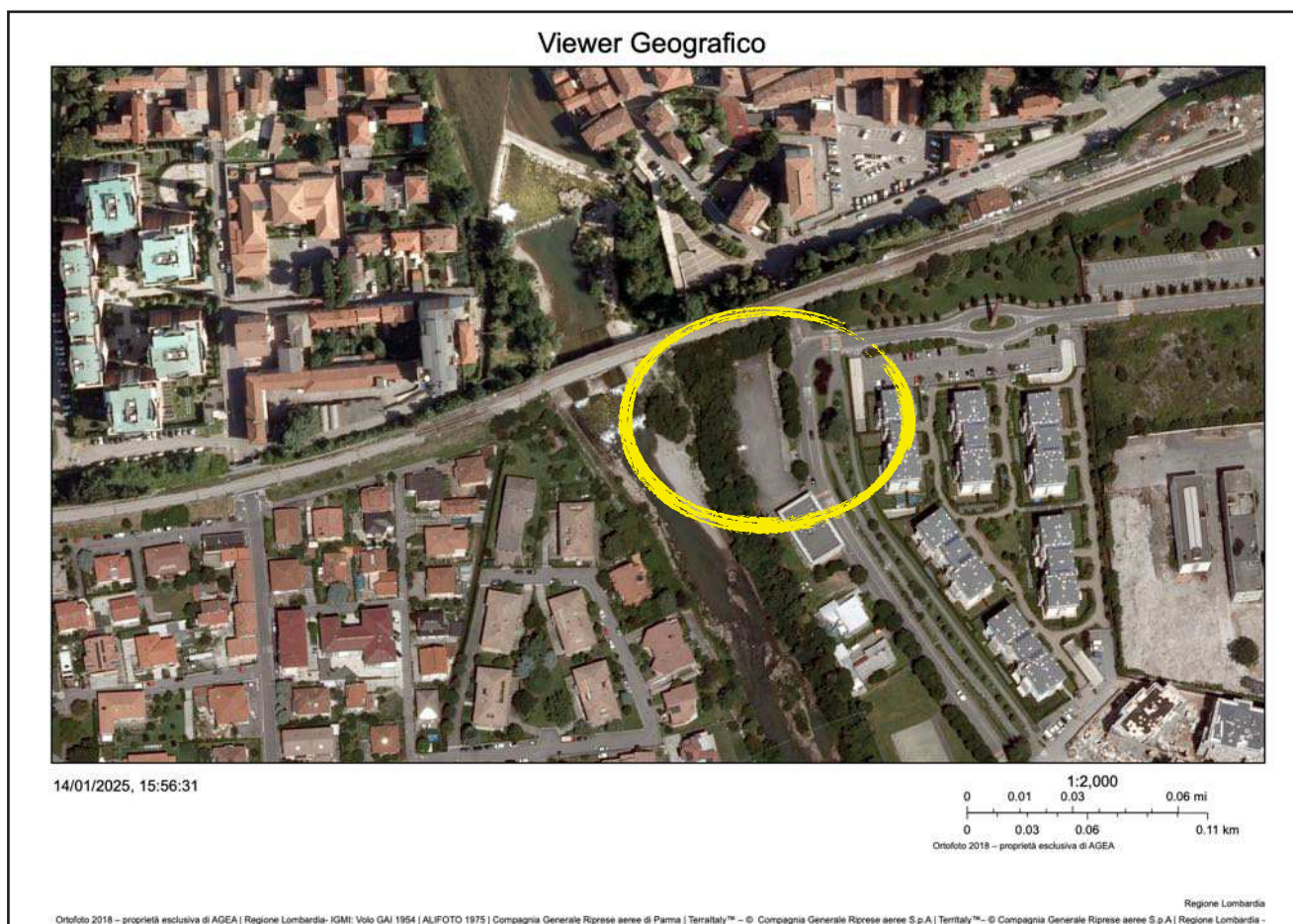


Fig. 1: Corografia su ortofoto da Geoportale Regione Lombardia

2. DOCUMENTAZIONE CONSULTATA

- Istruzioni per l'applicazione delle NTC 2018 (Circolare n 7 del 21 Gennaio 2019)
- Nuove norme tecniche delle costruzioni (D.M. 17 Gennaio 2018);
- D.g.r. 30 marzo 2016 - n. X/5001 Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015);
- D.g.r. 30 novembre 2011 - n. IX/2616 Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12", approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374;
- Istruzioni per l'applicazione delle NTC 2008 (Circolare n 617 del 2 Febbraio 2009)
- Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (OPCM n.3519 del 28/04/2006);
- Comune di Seriate "Studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT Comunale - Relazione Generale" - GeologicaToscana 2012;
- Comune di Seriate "Aggiornamento della componente geologica, idrogeologica e sismica ai sensi dei criteri attuativi dell'Art. 57 della L.R. 12/052 - C. Reguzzi Geologo - 2012;
- Comune di Seriate "Norme Geologiche di piano" - GeologicaToscana 2022;

3. RELAZIONE GEOLOGICA (DGR 2616/2011 CAP. 4 E DM 17/01/2018)

La relazione geologica di fattibilità ai sensi della DGR 2616/2011 è finalizzata a valutare la fattibilità del progetto in rapporto agli elementi di criticità e vincolistica geologica individuati nello strumento urbanistico comunale.

La relazione geologica per il progetto esecutivo ai sensi del DM 17/01/2018 è finalizzata ad analizzare le caratteristiche geomorfologiche, litologiche, stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche, sismiche dell'area oggetto dell'intervento; scopo della relazione geologica è quello di redigere un modello geologico di riferimento a supporto della progettazione geotecnica.

3.1. COROGRAFIA DEL SITO

L'area di progetto è ubicata in sponda sinistra del fiume Serio ad una quota di 244,00 m s.l.m. in corrispondenza di via Deco e Canetta.

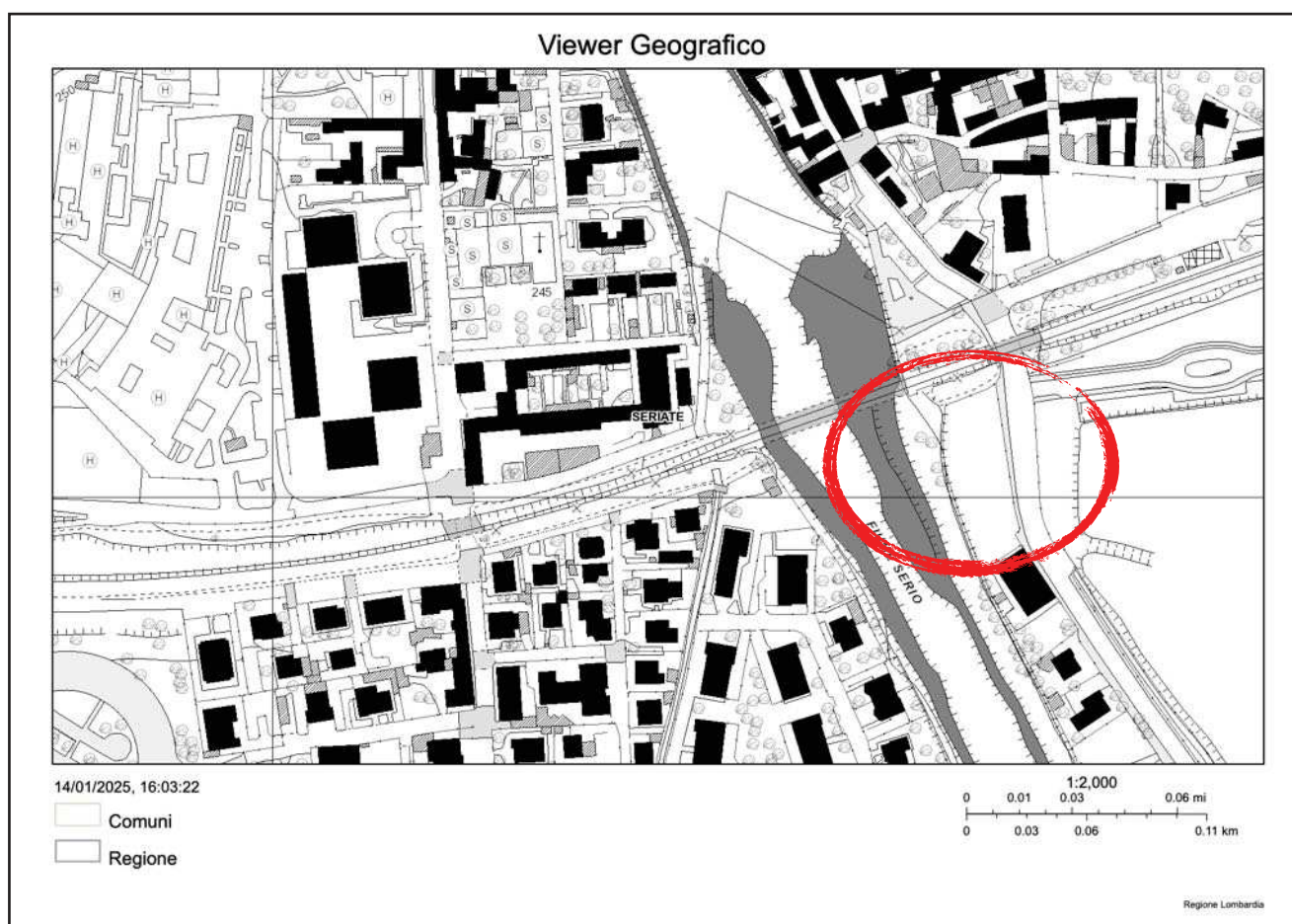


Fig. 2: Ubicazione del sito su DBGT dal geoportale di Regione Lombardia

3.2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area di progetto è ubicata a scala provinciale sulla media pianura bergamasca.

La media pianura è contraddistinta, in corrispondenza del margine prealpino, da un sistema di conoidi che va a raccordarsi con i complessi morenici delle glaciazioni più recenti e che, procedendo verso l'area centro-padana, forma un ampio terrazzo rilevato rispetto agli alvei dei principali corsi d'acqua di provenienza alpina.

Nel territorio comunale di Seriate la quota topografica varia tra i 254 m s.l.m. della porzione settentrionale ed i 200 m s.l.m. di quella meridionale; andando invece da ovest ad est la topografia è condizionata dalla presenza del fiume Serio, che ha creato nel tempo il sistema di terrazzi alluvionali disposti all'incirca simmetricamente sulle sponde del Serio. La presenza di un terrazzo alluvionale è testimoniata a sua volta dall'orlo e dalla scarpata che lo separa dal terrazzo contiguo: non sempre questi passaggi sono così visibili, talora restano soltanto frammenti di orli a causa delle modificazioni antropiche succedutesi nel tempo. Le morfologie naturali sono in parte state modificate dall'attività antropica con lo sviluppo dell'edilizia residenziale e della viabilità.

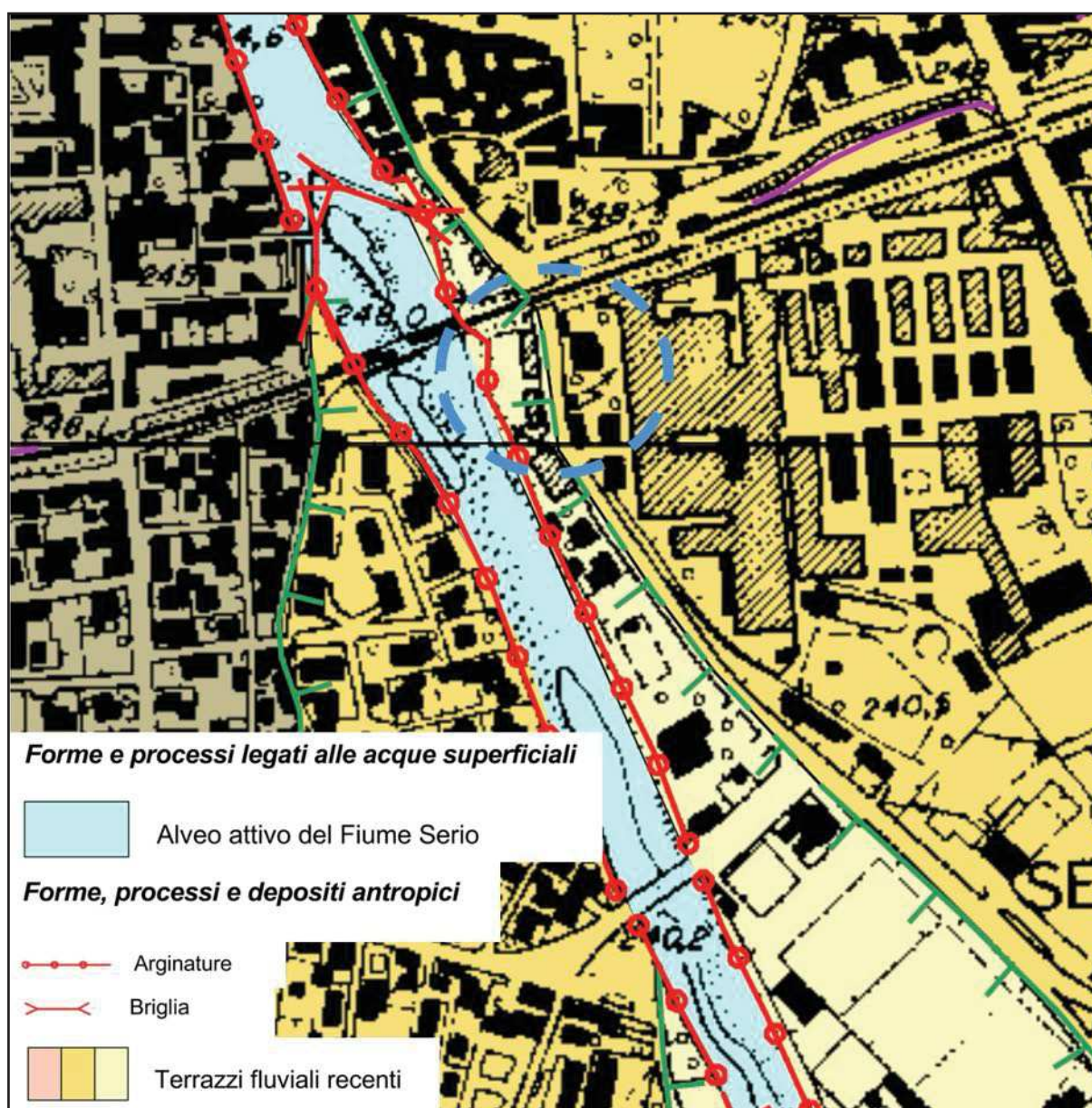


Fig. 3: Estratto dalla Carta geomorfologica del PGT

3.3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRATIGRAFICO

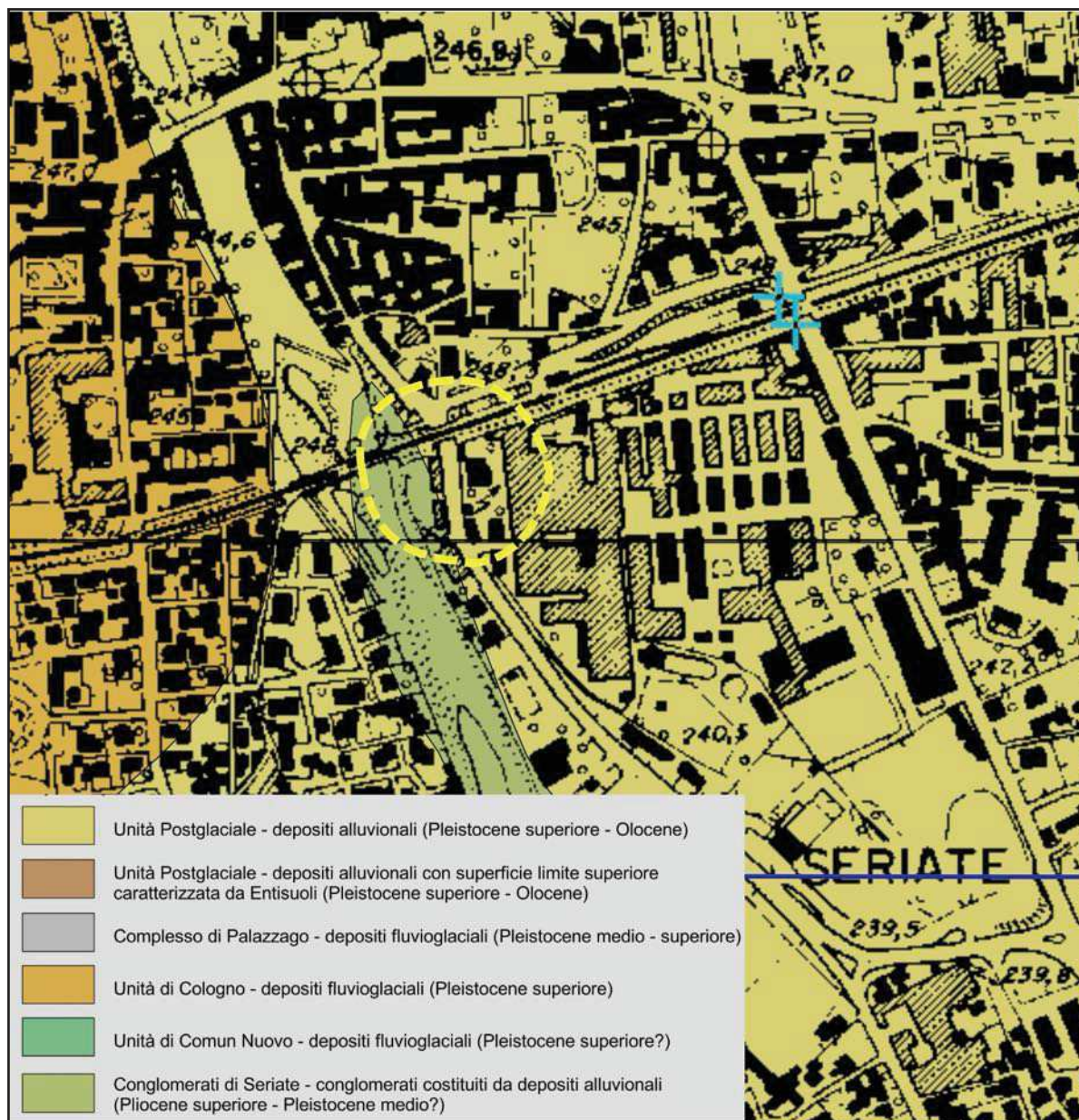


Fig. 4: Estratto della carta geologica del PGT comunale

Da fig. 4 è possibile vedere che i terreni di fondazione sono indicati come appartenenti ai conglomerati di Seriate. In realtà questi ultimi sono coperti dai depositi alluvionali dell'Unità Postglaciale.

L'Unità postglaciale è costituita da depositi alluvionali distinti in funzione del bacino idrografico di appartenenza.

I sedimenti fluviali del Serio sono stati raggruppati in un'unica unità all'interno della quale sono stati differenziate le aree immediatamente a lato dell'alveo attuale, in quanto separate dal resto dell'unità da orli morfologici evidenti, ovvero ben definite pedologicamente (per la presenza di Entisuoli).

L'Unità Postglaciale è composta da ghiaie da fini a grossolane con matrice sabbiosa a supporto clastico, in strati prevalentemente planari, con intercalazioni di orizzonti sabbiosi, limosi e argillosi.

Superiormente tale unità è ricoperta in modo discontinuo da una coltre di limi sabbiosi, limi e limi argillosi di spessore variabile fra 60 e 100 cm. Tale deposito è probabilmente legato agli eventi di piena del fiume Serio.

L'Unità Postglaciale affiora lungo il fiume Serio sia in destra che in sinistra idrografica: in destra è rinvenibile a partire dal ponte della ferrovia e costituisce la porzione meridionale del centro di Seriate e la zona denominata Campo Serio; in sinistra costituisce un'ampia fascia continua da nord a sud, avente larghezza massima attorno ai 1000 m e delimitata lateralmente da un orlo di terrazzo ben visibile.

Il suolo ha una profondità variabile fra 35 e 70 cm, con scheletro da scarso ad abbondante verso l'alveo, franco o franco sabbioso, alcalino, drenaggio buono, con superficie ad elevata pietrosità. Verso il corso del fiume i suoli sono meno evoluti, più sottili, a drenaggio rapido (Entisols), tipici di un ambiente in continua evoluzione morfologica; in particolare il suolo è classificato, secondo la U.S.D.A., come "Typic Udorthents sandy-skeletal, carbonatic, mesic" (suolo 7). Allontanandosi dall'alveo attivo del Serio i suoli sono mediamente evoluti (Inceptiols), con orizzonte cambrico povero in scheletro, subalcalino, denominato "Typic Eutrochrepts coarse-loamy, mixed, mesic" (suoli 5 e 6).

I Conglomerati di Seriate sono contraddistinti da depositi fluviali cementati suddivisibili in due membri:

membro superiore: ghiaie fluviali ben cementate eteropiche a supporto sia clastico che di matrice, con stratificazione molto grossolana; i ciottoli sono da arrotondati a subarrotondati con presenza di livelli di materiale più fine sabbioso;

membro inferiore: ghiaie fluviali a supporto di matrice fortemente cementate, con ciottoli grossolani ben arrotondati.

I Conglomerati di Seriate sono la testimonianza di almeno due cicli deposizionali fluviali, non coevi e di origine seriana, che hanno riempito l'antica valle del Serio; essi affiorano quasi esclusivamente lungo le sponde dell'alveo attuale del fiume Serio.

Il loro limite superiore è sempre di tipo erosionale, il limite inferiore non è visibile, se non attraverso le stratigrafie dei pozzi presenti sul territorio della

pianura, dove è possibile desumere che i conglomerati poggiano su depositi argilloso-sabbiosi a sud di Seriate e direttamente sul substrato roccioso a nord. Da

tali dati si ricava che il loro spessore varia da oltre 50 m a nord (con massimi di 80-90 m) a non oltre 20 m a sud.

3.4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La pianura è costituita da un complesso di depositi quaternari di origine prevalentemente fluvioglaciale e glaciale che poggiano su di un substrato più antico di età Terziaria, la cui morfologia ha condizionato la sedimentazione. I depositi fluvioglaciali sono stati successivamente incisi dai corsi d'acqua che attualmente attraversano la pianura e nei cui solchi vallivi hanno depositato alluvioni ghiaioso sabbiose secondo vari ordini di terrazzamento. Considerando la situazione della pianura del comune di Seriate si identificano due acquiferi distinti; freatico semiconfinato e artesianesimo.

L'acquifero freatico ha sede nei depositi grossolani compresi fra il piano campagna e il primo orizzonte argilloso continuo in tutta la pianura, costituito dal "conglomerato poligenico" e dalle ghiaie e sabbie delle alluvioni recenti ed attuali deposte dal Serio.

I materiali clastici che costituiscono l'acquiclude condizionano le caratteristiche idrogeologiche: nel conglomerato la falda ha sede solo nei livelli porosi ed in quelli fratturati, mentre è assente in quelli più compatti; nei livelli ghiaioso-sabbiosi la falda satura tutto il volume. Nel territorio di Seriate tali livelli sono scarsamente presenti, mentre è quasi esclusivamente diffuso il conglomerato cementato. Al suo interno sono intercalati orizzonti argillosi, generalmente discontinui, che comportano un passaggio dell'acquifero da condizioni freatiche a locali condizioni di semi-confinamento.

Lo spessore dell'acquifero freatico varia dai 60 m a 80 m e la sua ricarica è diretta nella aree di affioramento dei depositi fluvioglaciali e fluviali, mentre è impedita o difficoltosa dove affiora la copertura loessica (in particolare nella porzione più occidentale del comune dove è presente l'"Unità di Comun Nuovo"). L'orizzonte impermeabile basale di questo acquifero corrisponde al primo livello argilloso presente nel "Fluvioglaciale Valtellinese", presente con continuità nell'alta pianura.

3.4.1. La Falda Freatica nel Territorio di Seriate

L'andamento della superficie piezometrica ad ovest del Serio è variabile da N-S a NNO-SSE con un gradiente compreso fra 0,8% a nord di Grassobbio e 0,3% a sud.

Mentre l'andamento della superficie piezometrica ad est del Serio ha una direzione all'incirca N-S con andamento parallelo al corso d'acqua ma leggermente spostato rispetto all'alveo attuale ed elevato gradiente (pari a circa 1,5%); la direzione cambia in NE-SO allontanandosi dal Serio ed il gradiente piezometrico varia da 0,8% a 0,3% a sud di Cassinone.

L'andamento della superficie piezometrica è condizionata a nord-est dalla presenza del substrato roccioso che potrebbe determinare la formazione di falde sospese eventualmente circolanti nelle fratture del bedrock.

La soggiacenza della falda è circa 50 m a nord dell'autostrada, con tendenza all'innalzamento fino ai 30-35 m a sud.

Il corso del fiume Serio non è un limite idrogeologico, infatti i livelli piezometrici sono sempre notevolmente inferiori alla quota topografica dell'alveo, ciò consente di definire un'azione alimentante del fiume verso l'acquifero sottostante.

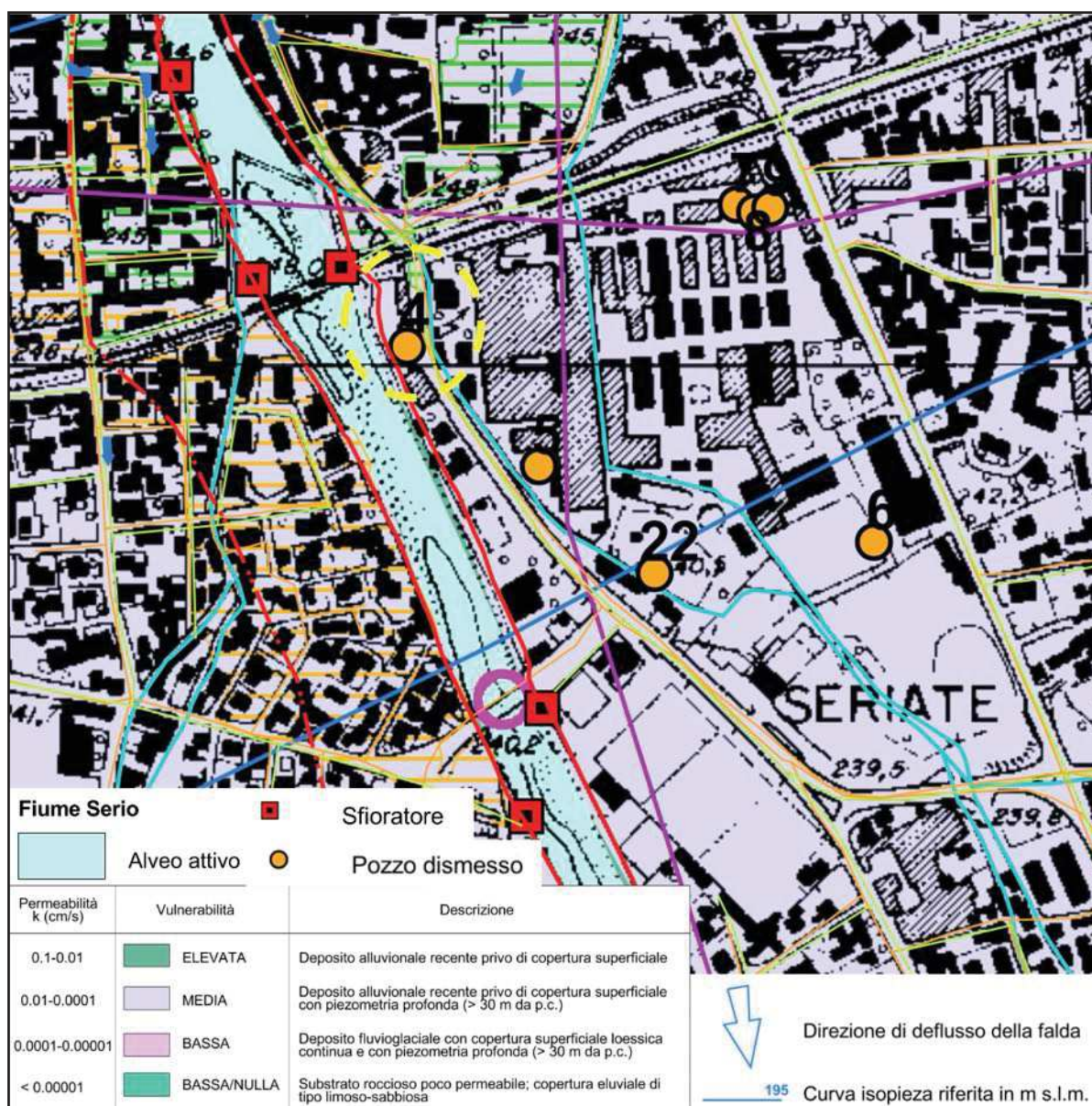


Fig. 5: Estratto dalla carta idrogeologica del PGT

4. INDAGINI DI SITO

Per il presente studio geologico e geotecnico sono stati utilizzati risultati di indagini di sito eseguiti dallo scrivente sulla stessa unità litotecnica presente nel Comune di Seriate. si tratta di n. 2 prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT) ed un indagine sismica passiva HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

4.1. PROVE PENETROMETRICHE SCPT

4.1.1. Strumentazione Impiegata

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche è stato impiegato un penetrometro cingolato statico-dinamico super pesante PAGANI TG 63-100 equipaggiato con motore a scoppio da 16 cv di potenza

4.1.2. Metodologia di Prova

Le prove sono state eseguite secondo le norme Meardi-AGI modificate utilizzando una attrezzatura standardizzata.

La prova consiste nel misurare il numero di colpi di maglio necessari all'avanzamento della punta nel terreno per un tratto di 30 cm (N_{30}).

L'operazione viene ripetuta fino al raggiungimento della profondità massima di prova prevista o comunque fino a quando, dopo 100 colpi, non è stato ottenuto un avanzamento di 30 cm. In questo ultimo caso si annotano i centimetri d'avanzamento della punta ottenuti con i 100 colpi battuti (Rifiuto).

Le norme Meardi-AGI modificate prevedono l'impiego di un rivestimento metallico provvisorio per "scaricare" l'attrito laterale e misurare la sola resistenza di punta all'avanzamento. Ogni metro di prova, il rivestimento viene infisso impiegando la stessa tecnica utilizzata per l'avanzamento della punta.

Data la natura detritica dei terreni con eterogeneità granulometriche significative e quindi il forte pericolo di deviazioni della punta dalla verticale il rivestimento non è stato utilizzato per scongiurare incagli tra le aste di prova e i tubi del rivestimento stesso.

4.1.3. Restituzione dei Dati

I risultati della prova vengono restituiti nei certificati contenuti nell'Allegato A.

4.2. INDAGINE HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO)

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{sequ} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x, y, z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{sequ} .

4.2.1. Risultati

4.2.1.1. Tracce in Input

Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	900 s
Frequenza di campionamento:	300.00 Hz
Numero campioni:	270000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici delle tracce:

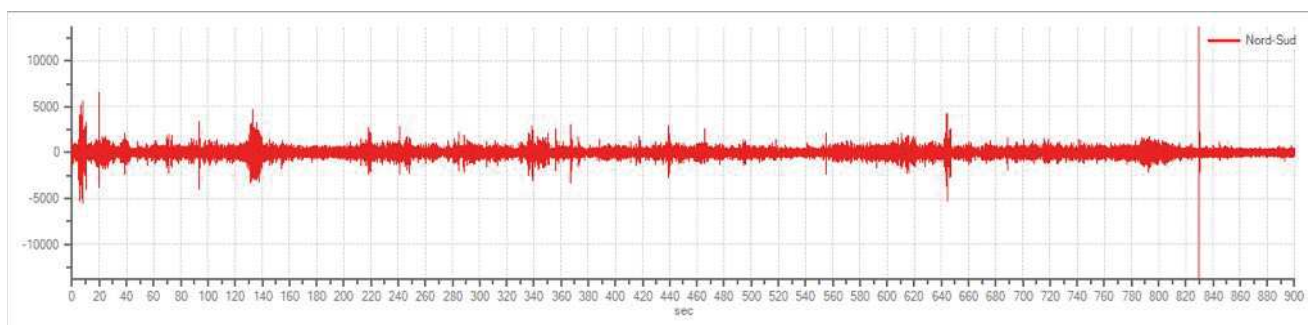


Fig. 6: Traccia in direzione Nord-Sud

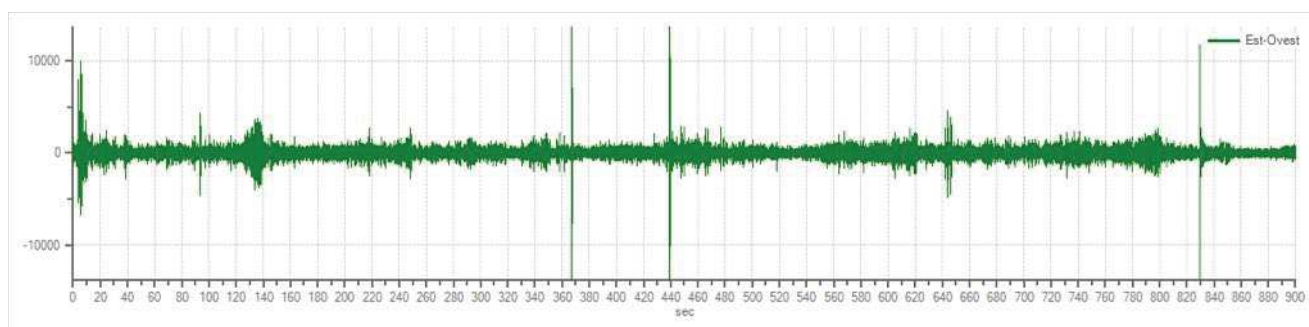


Fig. 7: Traccia in direzione Est-Ovest

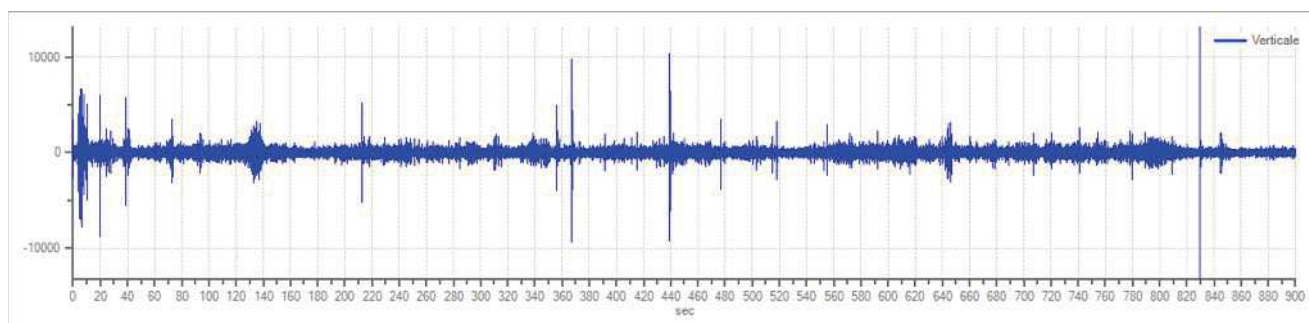


Fig. 8: Traccia in direzione verticale

Numero totale finestre selezionate: 44
 Numero finestre incluse nel calcolo: 26
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s
 Tipo di lisciamiento: Triangolare proporzionale
 Percentuale di lisciamiento: 10.00 %
 Tabelle finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Esclusa
2	20	40	Esclusa
3	40	60	Inclusa
4	60	80	Esclusa
5	80	100	Inclusa
6	100	120	Inclusa
7	120	140	Inclusa
8	140	160	Inclusa
9	160	180	Inclusa
10	180	200	Inclusa
11	200	220	Esclusa
12	220	240	Inclusa
13	240	260	Esclusa
14	260	280	Inclusa
15	280	300	Inclusa
16	300	320	Inclusa
17	320	340	Esclusa
18	340	360	Esclusa
19	360	380	Esclusa
20	380	400	Inclusa
21	400	420	Inclusa
22	420	440	Esclusa

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
23	440	460	Esclusa
24	460	480	Inclusa
25	480	500	Inclusa
26	500	520	Inclusa
27	520	540	Inclusa
28	540	560	Esclusa
29	560	580	Esclusa
30	580	600	Inclusa
31	600	620	Inclusa
32	620	640	Esclusa
33	640	660	Inclusa
34	660	680	Inclusa
35	680	700	Inclusa
36	700	720	Esclusa
37	720	740	Esclusa
38	740	760	Esclusa
39	760	780	Inclusa
40	780	800	Inclusa
41	800	820	Inclusa
42	820	840	Esclusa
43	840	860	Inclusa
44	860	880	Esclusa

Grafici tracce con finestre selezionate:

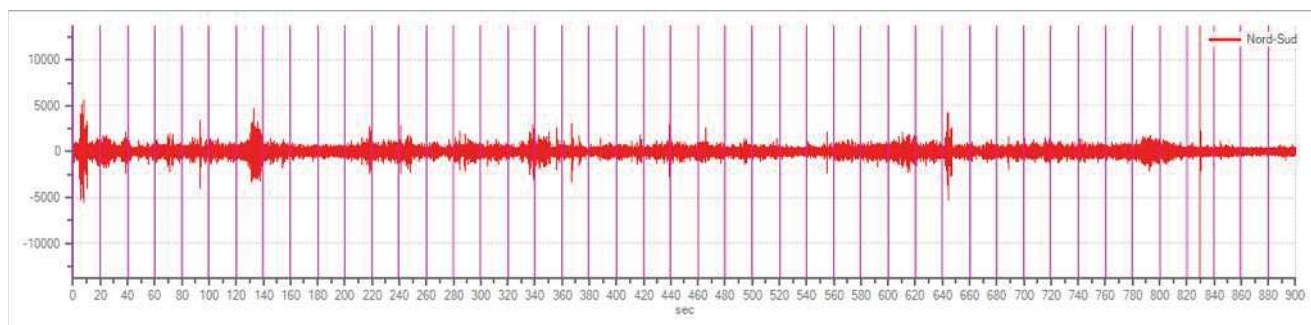


Fig. 9: Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

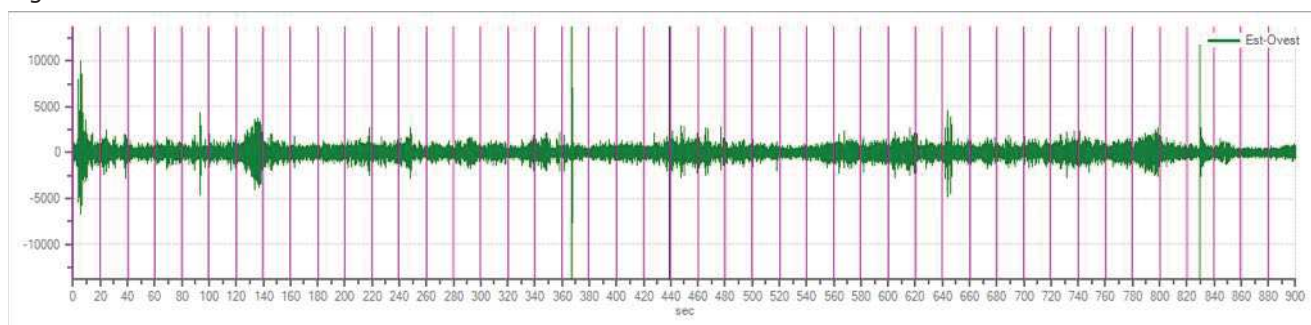


Fig. 10: Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

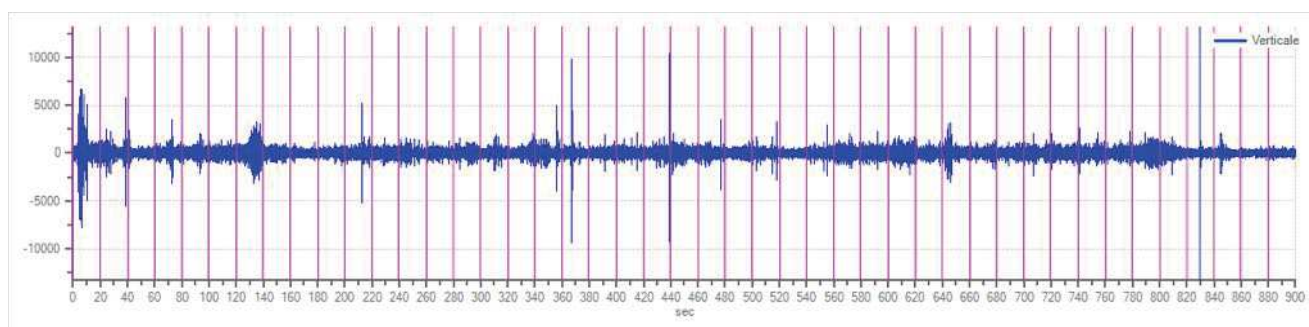


Fig. 11: Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale i

4.2.1.1. *Grafici Degli Spettri*

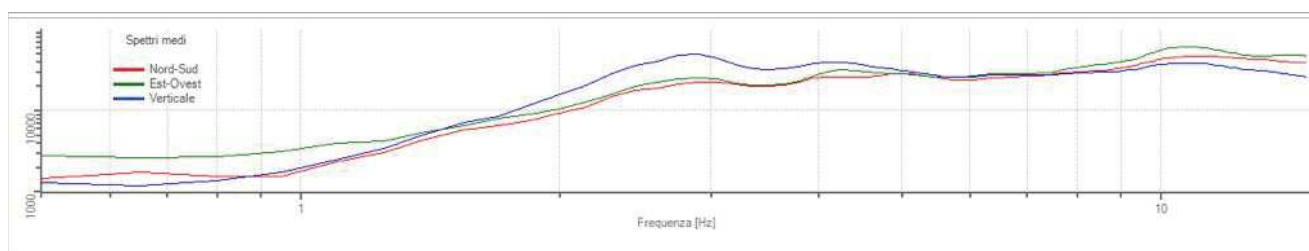


Fig. 12: Spettri medi nelle tre direzioni

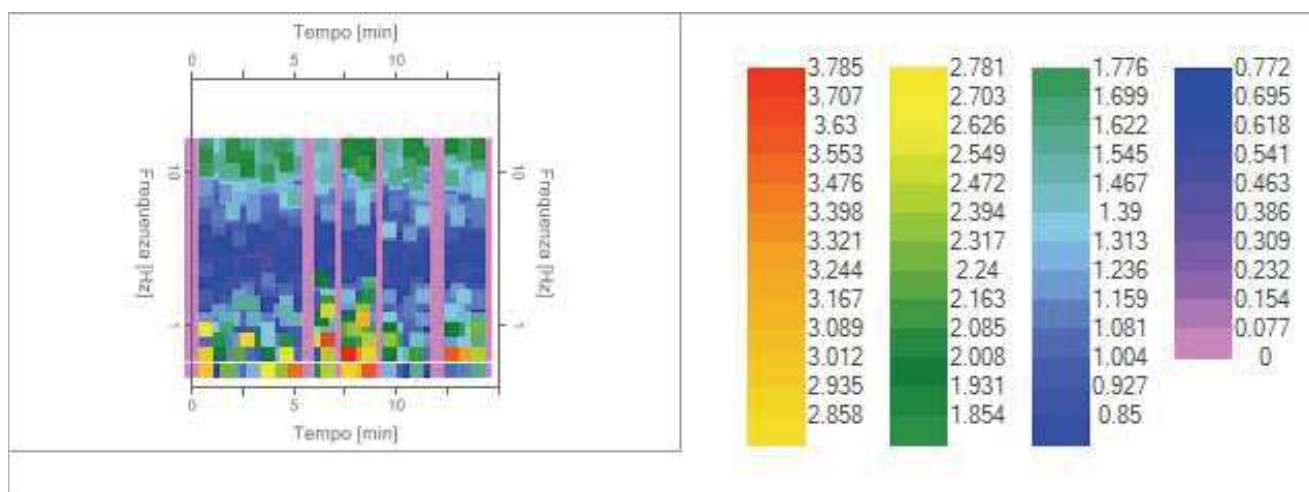


Fig. 13: Mappa della stazionarietà degli spettri

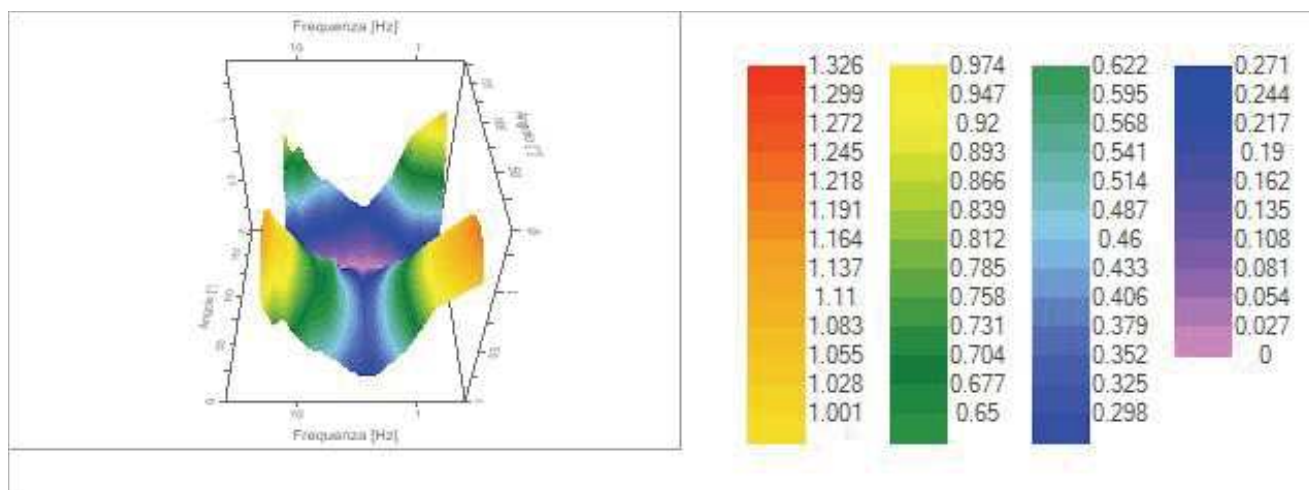


Fig. 14: mappa della direzionalità degli spettri

4.2.1.2. Rapporto Spettrale H/V

Frequenza massima: 15.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Passo frequenze: 0.15 Hz
 Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica
 Frequenza del picco rapporto H/V: 0,65 Hz ± 0.49 Hz

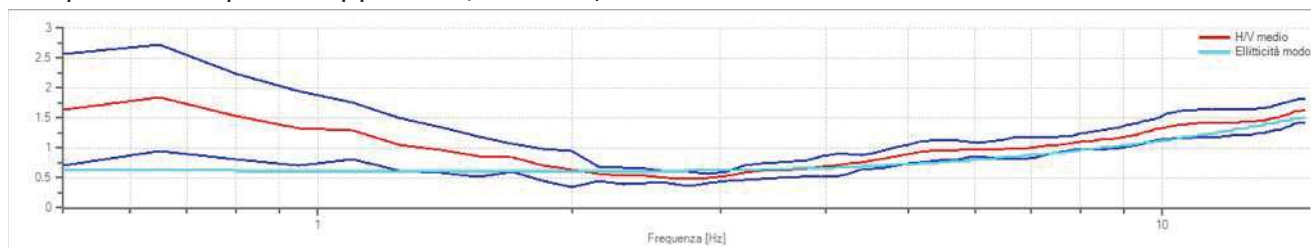


Fig. 15: Rapporto spettrale H/V

4.2.1.3. Modello stratigrafico e sismico

Numero strati: 4
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 14,75 Hz
 Valore di disadattamento: 0.19
 Valore $V_{sequ.}$: 825,81 m/s
 Dati della stratigrafia sismica:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	5.95	19	0.3	425
2	5.95	18.45	23	0.29	1200
3	24.4	8.74	18	0.3	805
4	33.14	1	18	0.3	980

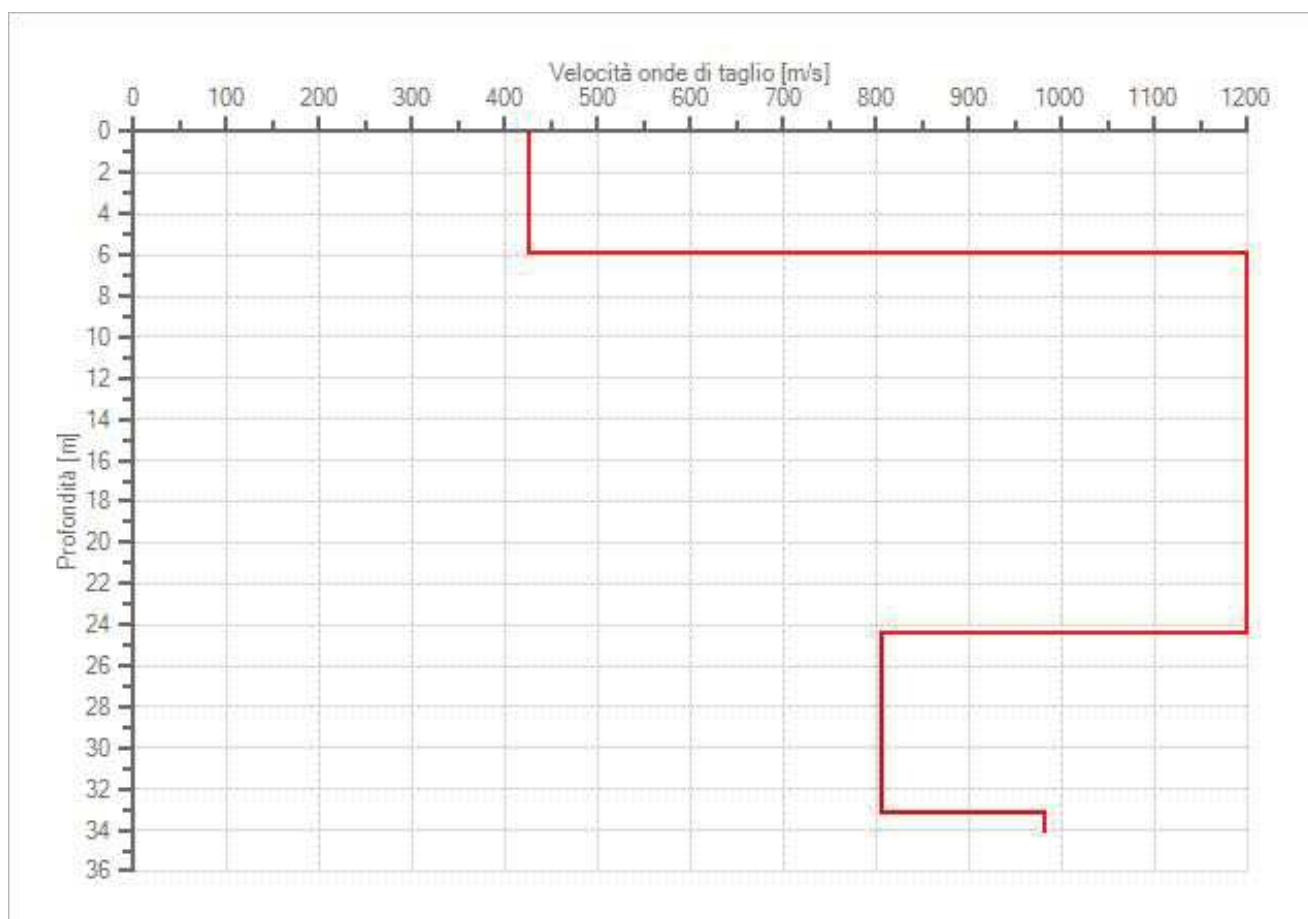


Fig. 16. Grafico delle v_{s30}

5. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

5.1. CATEGORIA SISMICA DEL SOTTOSUOLO

Per la classificazione del sito e determinare l'eventuale amplificazione sismica, le norme tecniche sulle costruzioni (NTC 2018), riprendono quanto riportato nell'Eurocodice 8 (con particolare riferimento alla prima parte EN1998-1 in cui si definiscono le regole generali, le azioni sismiche e regole specifiche per edifici).

Classe	Descrizione
A	Ammassi rocciosi o terreno molto rigidi caratterizzati da 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 o depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra i 360 m/s e 800 m/s
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresa tra 180 m/s e 360 m/s

Classe	Descrizione
D	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresa tra 100 m/s e 180 m/s
E	Terreni con caratteristiche e valore di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore ai 30 metri.

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

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

dove:

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, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/sec.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,i}$ è definita dal parametro V_{S30} , ottenuto ponendo $H=30$ nella precedente espressione e considerando le proprietà del terreno fino a tale profondità.

Considerando i risultati della sismica passiva a stazione singola HVSR eseguita si considera una classe **B** ovvero: "Rocce tenere o depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra i 360 m/s e 800 m/s"

5.2. PERICOLOSITÀ SISMICA

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli stati limite che possono verificarsi durante un determinato periodo di riferimento della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la vita nominale dell'opera, che congiuntamente alla classe d'uso, permette di determinare il periodo di riferimento;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, dopo aver definito le relative probabilità di superamento è possibile stabilire il periodo di ritorno associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la pericolosità sismica di base per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto

S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

5.2.1. Vita Nominale, Classi d'Uso e Periodo di Riferimento

Nel DM 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N * C_U$$

dove

V_R = periodo di riferimento

V_N = vita nominale

C_U = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale V_N , secondo le NTC 2018, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 1 Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo:

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

Tab. 1: Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

Nel caso specifico $V_N = 50$ anni.

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

Le NTC 2018 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici di tipo agricoli. $C_U = 0.7$;
- 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. $C_U = 1.0$;
- 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. $C_U = 1.5$;

- 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. $C_U = 2.0$;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la classe d'uso II a cui è associato il coefficiente d'uso $C_U = 1$.

Ricavati i valori di V_N e C_U , è possibile calcolare il periodo di riferimento V_R , che qui vale:
 $V_R = 50 * 1,0 = 50$ anni.

5.2.2. Stati Limite, Probabilità di Ritorno e Periodo di Riferimento

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili stati limite (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono stati limite di esercizio (SLE) e due sono stati limite ultimi (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Ad ogni stato limite è associata una probabilità di superamento P_{VR} (Tabella 2), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento V_R , si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di a_g prefissata avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/T_R$

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$P_{VR} = 81\%$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$P_{VR} = 63\%$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$P_{VR} = 10\%$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$P_{VR} = 5\%$

Tab. 2: Stati limite e rispettive probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R

Fissati V_R e P_{VR} associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni, mediante l'espressione:

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

Tale relazione tra P_{VR} (probabilità) e T_R (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è $V_R = 50$ anni, il tempo di ritorno T_R si ricava dalla tabella 3:

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$T_R = 30$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$T_R = 50$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$T_R = 475$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$T_R = 975$

Tab. 3: Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento V_R

5.2.3. Definizione Della Pericolosità Sismica di Base

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno T_R (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'Allegato A delle NTC08:

- a_g = accelerazione orizzontale massima;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

- TC^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

- ag , il valore previsto dalla pericolosità sismica $S1$
- Fo e TC^* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC18 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica $S1$ (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabelle contenute nell'Allegato B delle NTC08 (a cui le NTC 2018 fanno riferimento), per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno T_R corrispondente alla V_R e P_{VR} fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (Fig. 17), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) * \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) * \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (ag , Fo , TC^*) corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato, mentre $p_{1,2}$ è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno $T_{R1,2}$.

Per un punto del non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (ag , Fo , TC^*) corrispondente al punto considerato, p_i è il valore di tale parametro nell' i -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo vertice della suddetta maglia.

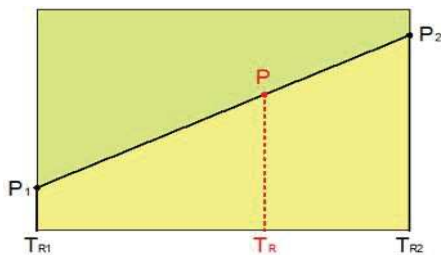


Fig. 17: Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella Fig. 18

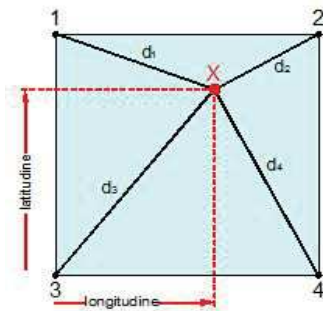


Fig. 18: Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC18, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza d tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R * \arccos[\sin(lat\beta) * \sin(lat\alpha) + \cos(lat\beta) * \cos(lat\alpha) * \cos(lon\alpha - lon\beta)]$$

dove $R = 6371$ è il raggio medio terrestre in km, mentre $lat\alpha$, $lon\alpha$, $lat\beta$ e $lon\beta$ sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di $\pm 0,01g$ ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

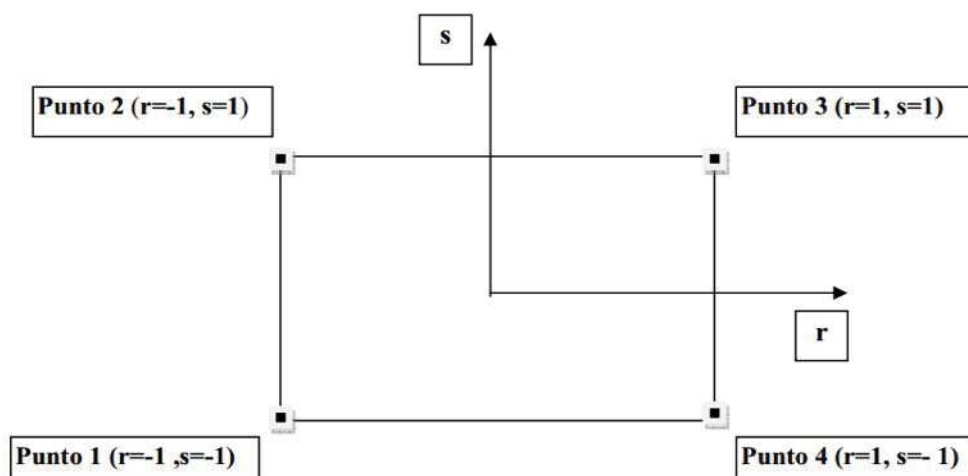


Fig. 19: Applicazione dell'interpolazione bilineare

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r) * (1-s) / 4$$

$$h_2 = (1-r) * (1+s) / 4$$

$$h_3 = (1+r) * (1+s) / 4$$

$$h_4 = (1+r) * (1-s) / 4$$

Tra le coordinate x, y di un punto generico e le coordinate r, s dello stesso punto valgono le relazioni seguenti:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i * x_i = [(1-r) * (1-s) * x_1 + (1-r) * (1+s) * x_2 + (1+r) * (1+s) * x_3 + (1+r) * (1-s) * x_4]$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i * y_i = [(1-r) * (1-s) * y_1 + (1-r) * (1+s) * y_2 + (1+r) * (1+s) * y_3 + (1+r) * (1-s) * y_4]$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s, si determinano i parametri ag, F0, Tc* dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i * p_i = [(1-r) * (1-s) * p_1 + (1-r) * (1+s) * p_2 + (1+r) * (1+s) * p_3 + (1+r) * (1-s) * p_4]$$

Dove p rappresenta il parametro cercato.

5.2.4. Pericolosità Sismica di Sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

5.2.4.1. Coefficienti Sismici

I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

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

Con V_R vita di riferimento della costruzione e P_{VR} probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni.

5.2.4.2. Stabilità dei Pendii e Fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii e fondazioni i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_s * \left(\frac{a_{\max}}{g} \right)$$

$$k_v = \pm 0,5 * k_h$$

Con

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

I valori di β_s sono riportati nella tabella 4 seguente:

	Categoria di sottosuolo	
	A, B	C, D, E
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0,28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_s * S_T * a_g$$

S_s (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq S_s \leq 1.80$) è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E). e del rapporto a_g/g .

S_T (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche: T1: $S_T = 1.0$; T2: $S_T = 1.20$; T3: $S_T = 1.20$; T4: $S_T = 1.40$.

5.2.5. Risultati

5.2.5.1. Pericolosità Sismica di Base

Vita nominale (V_n): 50[anni]

Classe d'uso: II

Coefficiente d'uso (C_u): 1,00

Periodo di riferimento (V_r): 50[anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLO: 30[anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLD: 50[anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLV: 475 [anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLC: 975 [anni]

Coordinate geografiche del punto in posizione baricentrica dell'area di progetto:

Latitudine (WGS84): 45,6854630 [°]

Longitudine (WGS84): 9,7101336 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame:

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	11380	45,675670	9,702266	1378,50
2	11381	45,677890	9,773620	4941,43
3	11159	45,727830	9,770541	6517,57
4	11158	45,725620	9,699125	4461,87

Parametri di pericolosità sismica per T_R diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento:

Punto1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,031	2,423	0,199
SLD	50	0,041	2,465	0,218
SLV	475	0,118	2,418	0,270
SLC	975	0,154	2,471	0,274

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,033	2,422	0,201
SLD	50	0,044	2,420	0,228
SLV	475	0,125	2,425	0,270
SLC	975	0,162	2,477	0,276

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,032	2,429	0,199
SLD	50	0,041	2,464	0,218
SLV	475	0,117	2,421	0,272
SLC	975	0,153	2,471	0,277

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,030	2,442	0,195
SLD	50	0,039	2,485	0,215
SLV	475	0,111	2,413	0,272
SLC	975	0,145	2,462	0,277

Punto d'indagine in posizione baricentrica

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,031	2,427	0,198
SLD	50	0,041	2,461	0,219
SLV	475	0,118	2,418	0,270
SLC	975	0,154	2,470	0,275

5.2.5.2. Pericolosità Sismica di Sito

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}:1,000$

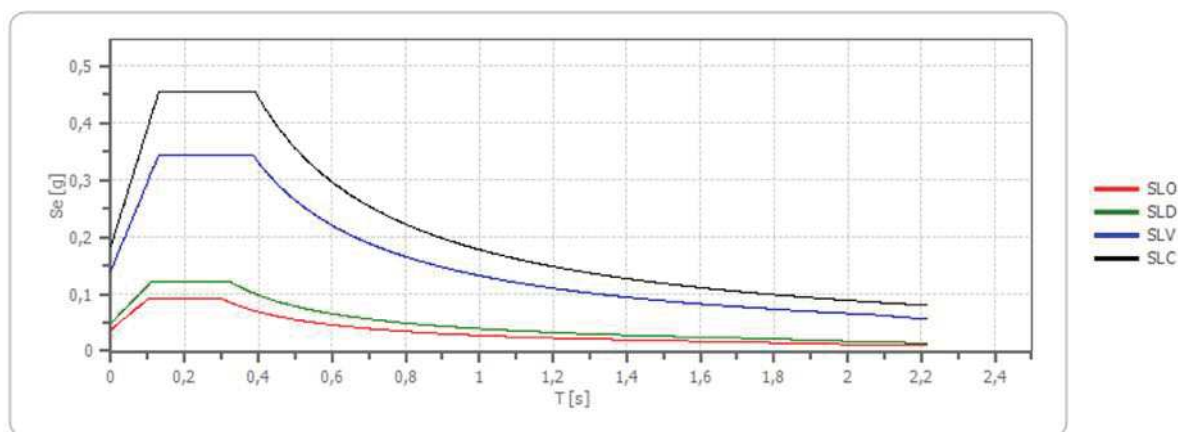
B: Rocce tenere o depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra i 360 m/s e 800 m/s

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

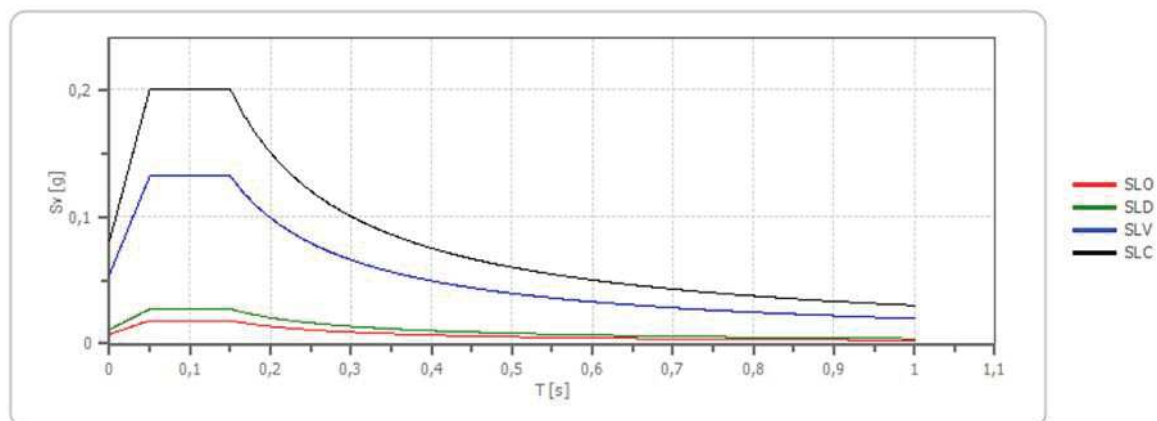
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
k_h	0,008	0,010	0,034	0,044
k_v	0,004	0,005	0,017	0,022
a_{max} [m/s ²]	0,370	0,480	1,387	1,806
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	S _T [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,031	2,427	0,198	1,200	1,520	1,000	1,20	1,000	0,101	0,302	1,726	0,038	0,091
SLD	1,0	0,041	2,461	0,219	1,200	1,490	1,000	1,20	1,000	0,109	0,326	1,763	0,049	0,120
SLV	1,0	0,118	2,418	0,270	1,200	1,430	1,000	1,20	1,000	0,129	0,387	2,071	0,141	0,342
SLC	1,0	0,154	2,470	0,275	1,200	1,420	1,000	1,20	1,000	0,130	0,391	2,214	0,184	0,455

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	S _T [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,031	2,427	0,198	1	1,520	1,00	1,00	1,000	0,050	0,150	1,000	0,008	0,018
SLD	1,0	0,041	2,461	0,219	1	1,490	1,00	1,00	1,000	0,050	0,150	1,000	0,011	0,027
SLV	1,0	0,118	2,418	0,270	1	1,430	1,00	1,00	1,000	0,050	0,150	1,000	0,055	0,132
SLC	1,0	0,154	2,470	0,275	1	1,420	1,00	1,00	1,000	0,050	0,150	1,000	0,081	0,201

5.3. PERICOLOSITÀ SISMICA AI SENSI DELLA DGR IX/2616 DEL 30.11.2016

5.3.1. Analisi Sismica di I Livello

Dall'analisi della carta di pericolosità sismica locale di I° livello (D.G.R. IX 2616/2011) per l'area di progetto si ipotizzano possibili scenari d'amplificazioni litologiche Z4a - zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi

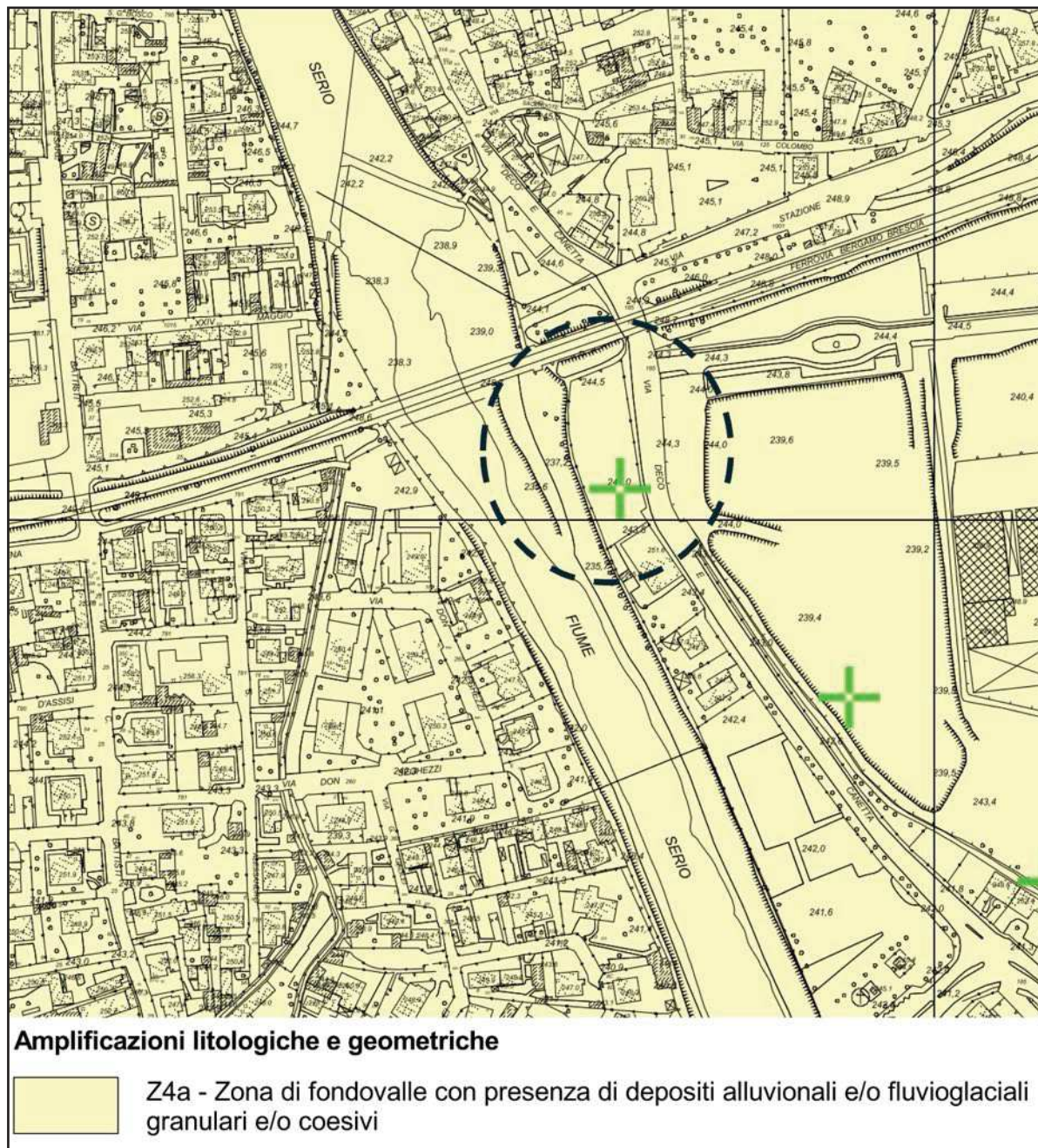


Fig. 20: Estratto della carta della pericolosità sismica del PGT

5.3.2. Analisi di Secondo Livello

Per l'approfondimento di 2° livello nello studio della componente geologica idrogeologica e sismica del PGT si cartografano i valori del FS per i due periodi $T_{0,1-0,5}$ e $T_{0,5-1,5}$

Considerando tale cartografia gli spettri di normativa, per entrambi i periodi di oscillazione T, sono sufficienti a salvaguardare dagli effetti dell'amplificazione sismica sia con effetti geometrici e stratigrafici.

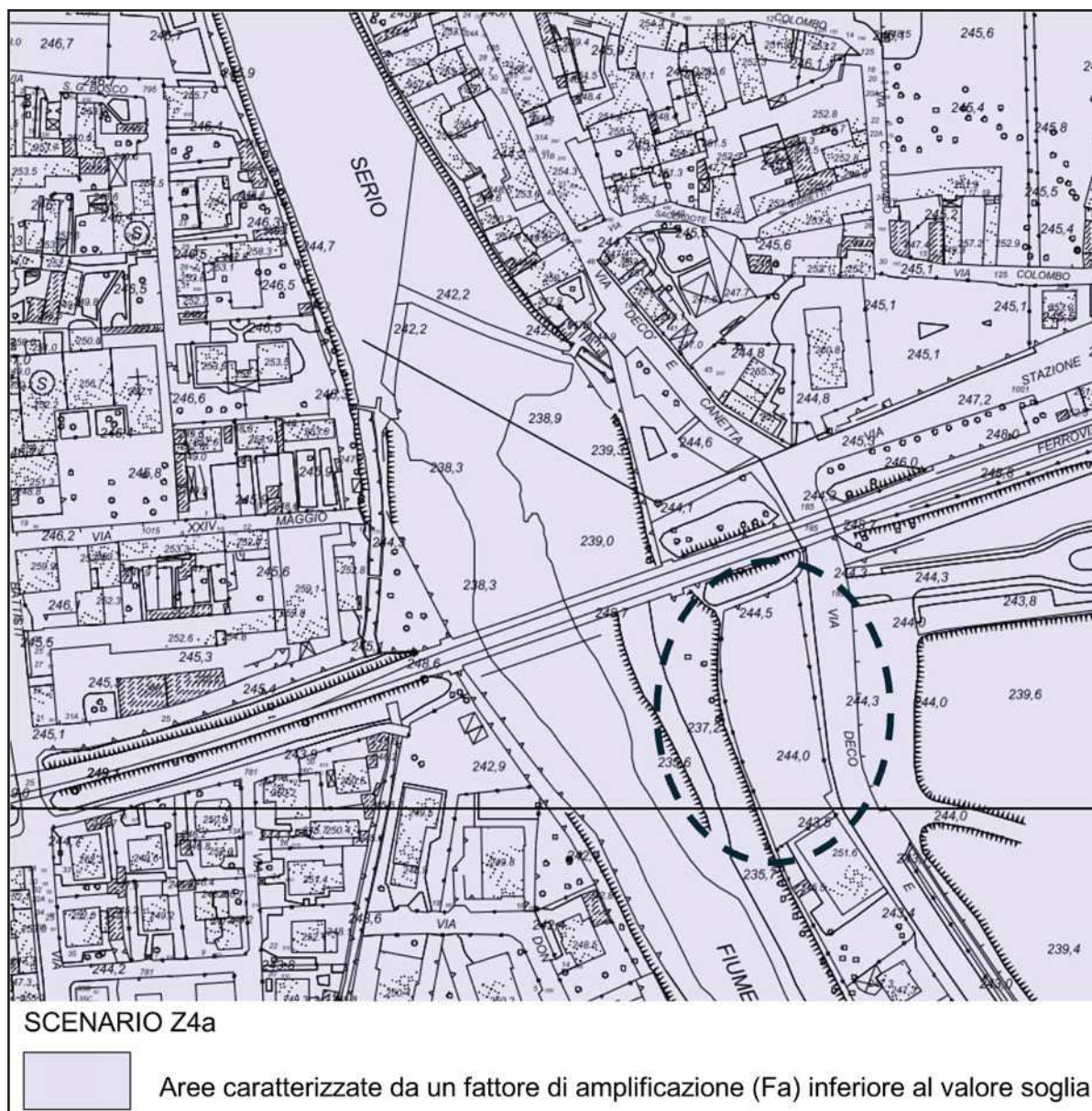


Fig. 21: Estratto della carta della pericolosità sismica con verifica di secondo livello

5.4. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

La normativa esclude il pericolo di liquefazione quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda maggiore di 15m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

- depositi costituite da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $N_{160} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$, dove N_{160} è il valore della resistenza determinata da prove SPT normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa e dove qc_{1N} è il valore della resistenza determinata da prove CPT normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in Figura 22(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 22(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

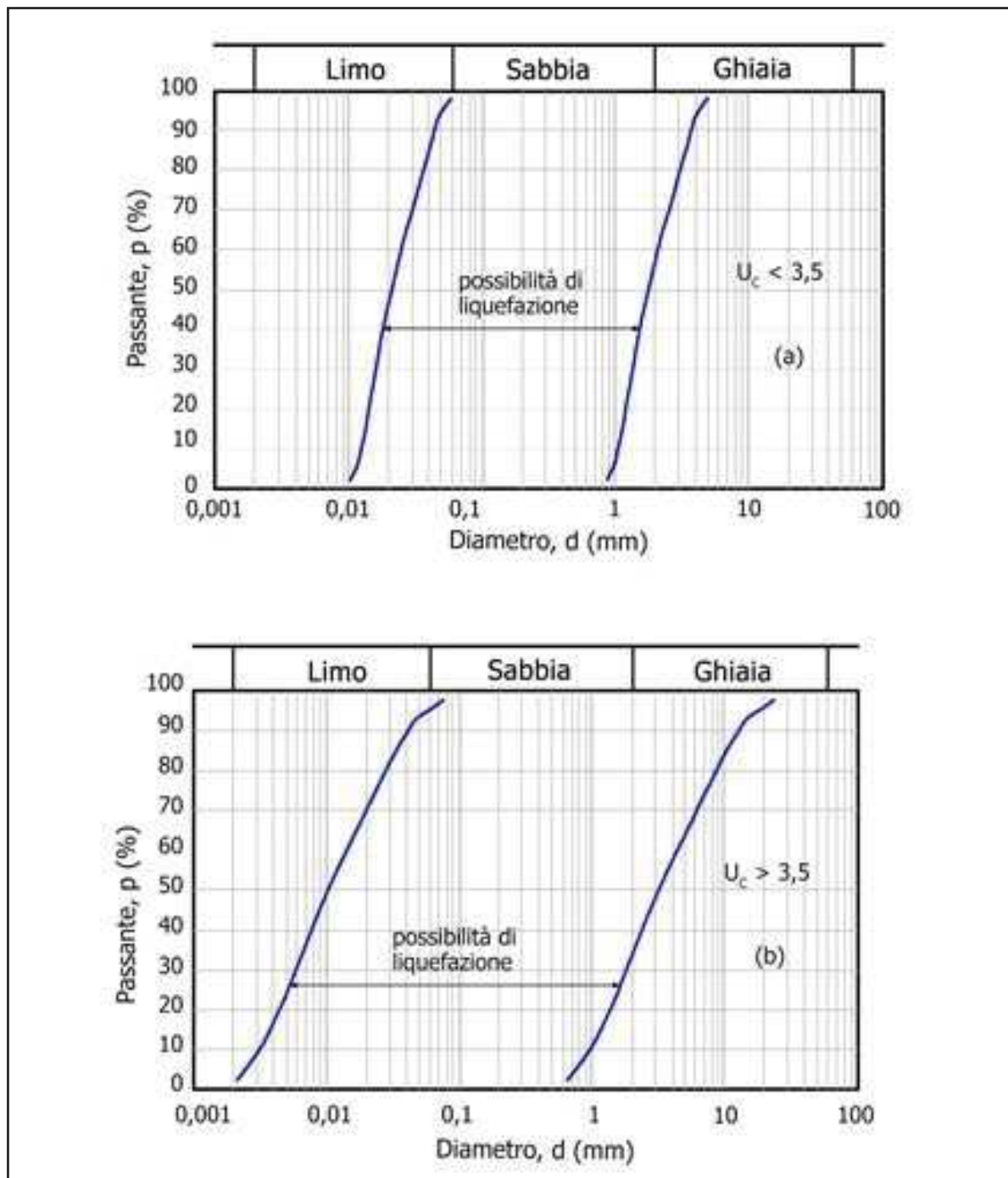


Fig. 22: fusi granulometrici

Per l'area di progetto non sussistono problemi di liquefazione per i terreni di fondazione.

5.5. VERIFICA DI FATTIBILITÀ AI SENSI DELLA DGR IX/2616 DEL 30.11.2016

Le verifiche con lo studio geologico a supporto della pianificazione territoriale sono state eseguite considerando le prescrizioni di carattere geologico a corredo dello Studio geologico del Piano di Governo del Territorio.

5.5.1. Carta dei Vincoli

Il territorio comunale di Seriate è sottoposto ai seguenti vincoli di carattere geologico e idrogeologico:

- Le fasce fluviali del PAI (art. 29-30-31-38-38bis-38ter-39-41 delle N.d.A. del PAI;
- Vincolo di Polizia Idraulica, ai sensi della DGR 25 Gennaio 2002, n. 7/7868 e successive modificazioni;
- Aree di salvaguardia di captazioni ad uso idropotabile (D.G.R. n.6/15137 del 27/6/1996);
- Aree allagabili

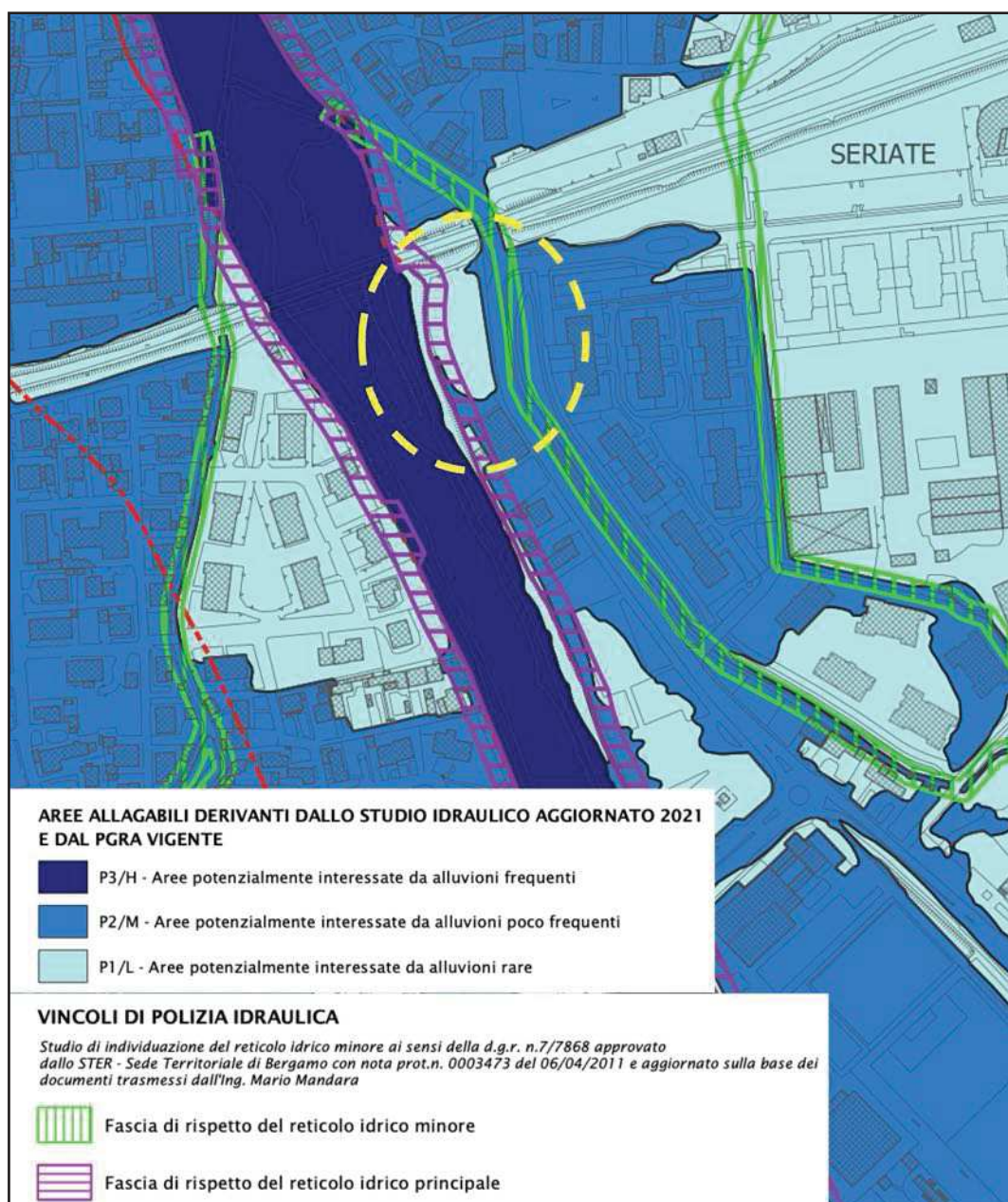


Fig. 23: Estratto dalla carta dei vincoli del PGT

Dalla carta di Fig. 23 risulta che l'area di progetto è un'area potenzialmente interessata da alluvioni rare (P1/L) e probabilmente in minima parte come area potenzialmente interessata da alluvioni poco frequenti.

5.5.2. Carta Della Fattibilità per le Azioni di Piano

L'area di progetto ricade in classe di fattibilità 2I (Fattibilità con modeste limitazioni).

Classe 2- Sottoclasse 2I – Aree potenzialmente interessate da alluvioni rare

Caratteristiche: aree pianeggianti o sub - pianeggianti costituite da terreni prevalentemente di origine alluvionale, da mediamente addensati ad addensati, caratterizzate da variabile permeabilità e vulnerabilità, in relazione alla soggiacenza della falda e alle caratteristiche dei terreni affioranti. Aree potenzialmente interessate da alluvioni rare e con modesti valori di velocità ed altezza d'acqua, tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche.

Fattori limitanti: problematiche connesse alla pericolosità idraulica ed alla vulnerabilità idrogeologica.

Opere ammissibili: è ammissibile qualsiasi tipologia edificatoria citata all'articolo 3 del D.P.R. n. 380/2001.

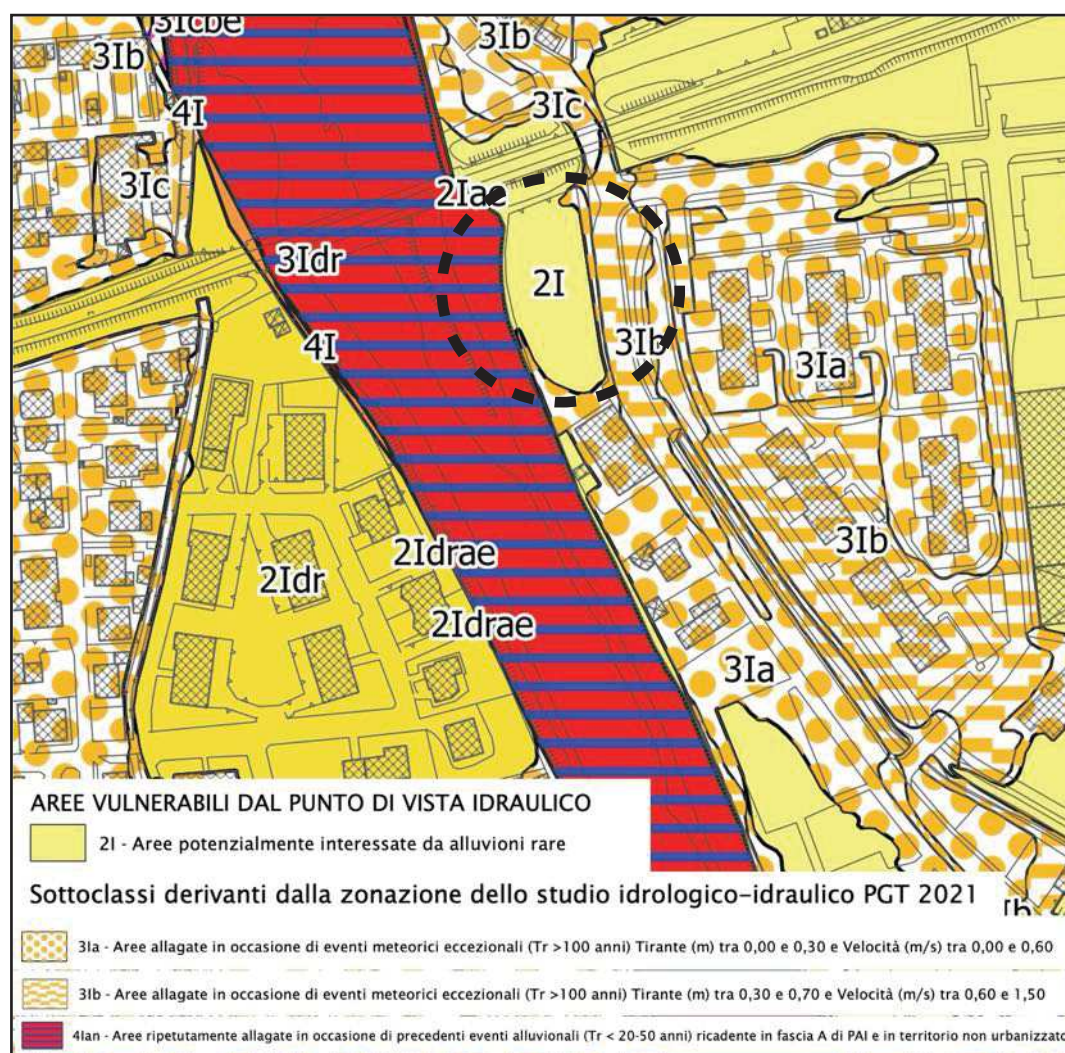


Fig. 24: Estratto dalla carta di Fattibilità del PGT

6. RELAZIONE GEOTECNICA (DM 17/01/18 CAP 6.2.2)

La relazione geotecnica per il progetto esecutivo ai sensi del cap. 6.2.2 delle NTC 2018 è finalizzata a definire le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nell'area oggetto dell'intervento, da riassumere in un modello geotecnico del sito, utili al progettista per condurre le verifiche sulle fondazioni previste dal successivo cap. 6.2.3 delle NTC 2018.

6.1. PROFILO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO

6.1.1. Profilo Stratigrafico

Dai risultati delle indagini di sito svolte il profilo stratigrafico conferma la presenza dei depositi falluvionali dell'Unità postglaciale che separati da una superficie erosionale poggiano sui conglomerati di Seriate come evidenziato dall'indagine sismica HVSR.

6.1.2. Unità Litotecniche

Completato il quadro stratigrafico occorre definire degli strati il più possibili omogenei da un punto di vista meccanico (unità litotecniche) da utilizzare per la definizione del profilo geotecnico di riferimento.

Con la prove geotecniche di sito eseguite le unità litotecniche sono state definite in funzione della loro resistenza all'avanzamento della punta penetrometrica.

Per i terreni di fondazione sono state individuate 4 unità litotecniche le cui caratteristiche sono riepilogate nella tabella seguente:

Unità litotecnica	Sottotipo	Descrizione stratigrafica
LITOTIPO A		Massicciata piazzale
LITOTIPO B		Sabbie limose con sparsa ghiaia
LITOTIPO C		Ghiaia e sabbia
LITOTIPO D		Conglomerato di Seriate

6.2. ELABORAZIONE PROVE SCPT

6.2.1. Correlazione con NSPT

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{SPT} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{SPT} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta t N_{DPM}$$

Dove:

$$\beta = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{SPT} è quella riferita alla prova SPT.

6.2.2. Normalizzazione dei Valori di NSPT

I valori di N_{SPT} devono essere normalizzati per tener conto dell'influenza della pressione del terreno sovrastante, riferendoli ad un valore unitario della tensione verticale efficace.

$(N1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N1)_{60} = C_N \times N_{60}$$

con

$$C_N = \left(\frac{P_A}{\sigma'_{v0}} \right) \quad P_A = 98,1 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} * \frac{E_R}{60'} * C_s * C_r * C_d$$

$\frac{E_R}{60'}$: Rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60% posto uguale a 1.

C_s : Parametro funzione della contro camicia (1,2 se assente).

C_d : Funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).

C_r : Parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Dalla letteratura geotecnica si nota che C_N nell'applicazione pratica non può essere superiore a 2 e preferibilmente non deve essere superiore a 1,3.

Tale correzione C_N va applicata solo per il calcolo della densità relativa e dell'angolo d'attrito e non per i parametri di deformazione.

6.3. PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

Alla luce delle caratteristiche stratigrafiche si assume un comportamento incoerente per i terreni di fondazione. In questi terreni le forze d'interazione tra i singoli granuli sono principalmente di tipo meccanico e risultano trascurabili le interazioni di tipo elettrostatico. Conseguentemente le grandezze indice e parametri di deformabilità da considerare sono:

- peso di volume naturale (kN/m^3);
- densità relativa (%);
- angolo d'attrito interno efficace ($^\circ$);
- modulo di deformazione elastica drenato (MPa);
- modulo confinato (MPa)
- rapporto di Poisson.

Per la loro determinazione sono state usate le seguenti correlazioni con N_{60} o $(N1)_{60}$ in funzione del valore di C_N e quest'ultimo solo per la DR e angolo d'attrito efficace:

- **Densità relativa (DR)**: è stata utilizzata la correlazione di Terzaghi & Peck :

$$D_R = 100 \times \sqrt{\frac{N1_{60}}{60}}$$

- **Peso di volume naturale (γ_n):** Il peso di volume viene stimato con la correlazione di Bruschi dalla formula:

$$\gamma = 9,81 * (1,39 + 0,053 * N_{60} - 0,0011 * N_{60}^2 + 0,0000076 * N_{60}^3)$$

- **Angolo di attrito interno efficace (ϕ'):** è stata usata la correlazione di Shioi - Fukuni.

$$\phi' = 0,3 * N_{60} + 27$$

- **Modulo di deformazione elastica drenato (E):** si è scelta la correlazione di Jamiolkowski et al. per terreni NC:

$$E = (10,5 - 3,5 * D_R) * N_{60}$$

- **Modulo di Poisson (μ):** la correlazione AGI

$$\mu = \frac{1 - \sin \phi}{2 - \sin \phi}$$

6.3.1. Profilo Geotecnico di Riferimento

Nella tabella seguente vengono riepilogati i parametri geotecnici determinati.

γ_n : peso di volume naturale;

E : modulo di deformazione elastica drenato

Dr : densità relativa

μ : rapporto di Poisson

ϕ' : angolo d'attrito interno

Profilo riferimento										
Litotipo	N _{SCPT}	N ₆₀	CN	N ₁₆₀	Prof. m	Dr (%)	γ_n (kN/m ³)	ϕ'	E (MPa)	μ
Litotipo A	19	21	>3	84	0,60	59	20	33	17,70	0,31
Litotipo B	8	8	2,37	19	1,20	37	17	29	7,38	0,34
Litotipo C	28	30	1,59	48	2,70	71	21	36	24,08	0,29
Litotipo D(*)	-	-	-	-	-	80	18	38	65,00	-

(*) dati ricavati dallo Studio della componente geologica del PGT

Arnaldo Zanchi Geologo

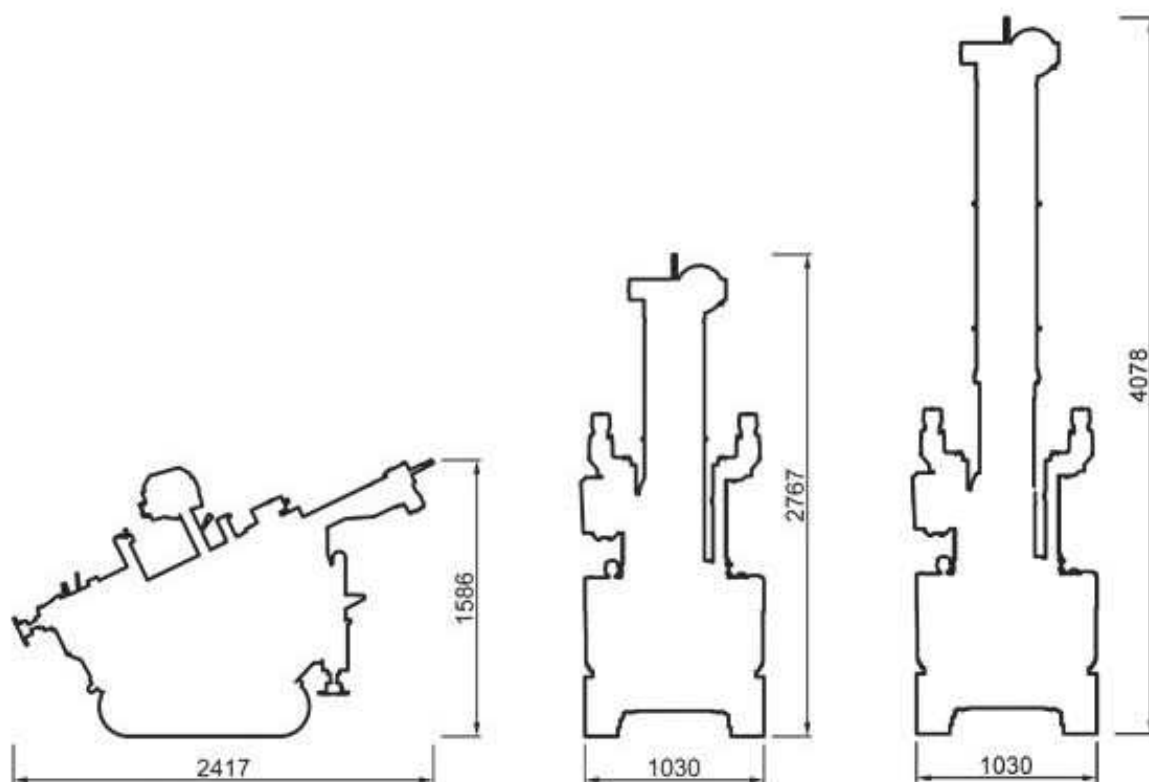


ALLEGATO A
Prove SCPT

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SCPT

Caratteristiche Tecniche-Strumentali PAGANI TG 63-100

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	73 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	0.63 Kg
Diametro punta conica	51.00 mm
Area di base punta	20.43 cm ²
Angolo di apertura punta	60 °
Lunghezza delle aste	1,00 m
Peso aste a metro	6.31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.30 m
Avanzamento punta	0.30 m
Numero colpi per punta	N(30)
Rivestimento/fanghi	No



PROVA DP1

Strumento utilizzato PAGANI TG 63-100
 Prova eseguita in data 13/01/2023
 Profondità prova 3,00 mt
 Rifiuto per alta resistenza alla punta

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. Riduzione(*)	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,30	16	0,803	10,27	12,80	513,70	639,98
0,60	22	0,747	12,19	16,31	609,25	815,59
0,90	2	0,842	1,25	1,48	62,40	74,14
1,20	13	0,786	7,58	9,64	378,93	481,94
1,50	22	0,731	11,11	15,20	555,70	759,99
1,80	29	0,726	14,55	20,04	727,64	1001,80
2,10	55	0,622	23,62	38,00	1181,11	1899,97
2,40	30	0,717	13,92	19,40	695,78	970,21
2,70	29	0,713	13,37	18,76	668,53	937,87
3,00	100	0,809	-	-	-	-

(*) per svergolamento delle aste con la profondità

Prof. (m)	N _{SCPT}	Rd (Mpa)	Peso unita' di volume (KN/m ³)	Tensione efficace (KPa)	N ₆₀	Descrizione
0,6	19	14,56	19,71	5,91	21	Litotipo A
1,2	7,5	5,56	16,28	16,71	8	Litotipo B
2,7	27,5	18,35	20,99	37,34	30	Litotipo C
3	100	-	-	-	-	Rifiuto 2 cm

PROVA DP2

Strumento utilizzato PAGANI TG 63-100
 Prova eseguita in data 23/01/2023
 Profondità prova 2,70 mt
 Rifiuto per alta resistenza alla punta

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. Riduzione(*)	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,30	17	0,803	10,92	13,60	545,81	679,97
0,60	16	0,797	9,45	11,86	472,75	593,16
0,90	27	0,742	14,84	20,02	742,24	1000,95
1,20	8	0,836	4,96	5,93	248,02	296,58
1,50	22	0,731	11,11	15,20	555,70	759,99
1,80	23	0,726	11,54	15,89	577,09	794,53
2,10	36	0,672	16,71	24,87	835,27	1243,62
2,40	29	0,717	13,45	18,76	672,59	937,87
2,70	100	0,613	-	-	-	-

(*) per svergolamento delle aste con la profondità

Prof. (m)	N _{SCPT}	Rd (Mpa)	Peso unita' di volume (KN/m ³)	Tensione efficace (KPa)	N ₆₀	Descrizione
0,9	20	15,16	19,91	5,91	21	Litotipo A
1,2	8	5,93	16,67	16,71	8	Litotipo B
2,4	28	18,68	20,99	37,34	30	Litotipo C
2,7	100	-	-	-	-	Rifiuto 8 cm