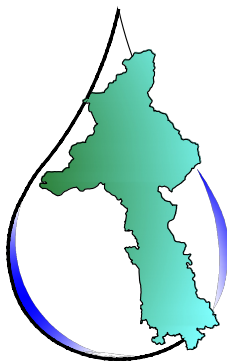


CITTA' DI VERBANIA



**ACQUA
NOVARA.VCO
S.p.A.**

Via Triggiani, 9 - 28100 NOVARA (NO)
Tel. 0321 413111 - Fax. 0321 458729
@mail: info@acquanovaravco.eu
@pec: segreteria@pec.acquanovaravco.eu

TITOLO COMMESSA:

***Approvvigionamento idrico Comune di Verbania
realizzazione nuova presa a lago "Villa Taranto" in Comune di Verbania***

OGGETTO:

Relazione Geologica e sismica con caratterizzazione geotecnica

SCALA:

AVANZAMENTO PROGETTO:

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA

Data Rev. N° 0:

GIUGNO 2024

Rev. N°	Modifiche	Data
1	INTEGRAZIONI TERRE E ROCCE DA SCAVO	11/02/25
2	—	-/-/-
3	—	-/-/-
4	—	-/-/-

Rif. N° Commessa:

X07N-10042772

CUP:

D52E23000180005

RUP:

GIUSEPPE CARANTI

Il Progettista

ISOLA BOASSO
STUDIO DI INGEGNERIA

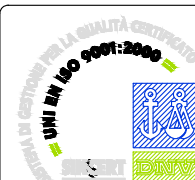
Dott. Ing. Riccardo ISOLA
Dott. Ing. Paolo BOASSO
Dott. Ing. Fabrizio RABAGLIO
STUDIO IDROGEO
Dott. Geol. Marco Carmine
STUDIO DI ARCHITETTURA
FERRARI&FERRARIS
Arch. Lucia Ferraris

Elaborato N°:

GE.01.001

PROPRIETA' RISERVATA

**QUESTO DISEGNO NON PUO' ESSERE RIPRODOTTO NE' COMUNICATO A TERZI SENZA
AUTORIZZAZIONE DI ACQUA NOVARA.VCO s.p.a.**



Sommario

1	PREMESSA.....	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
3	QUADRO NORMATIVO GEOLOGICO	5
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	9
5	MORFOLOGIA DEL FONDALE DEL LAGO	14
6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO	15
7	INQUADRAMENTO SISMICO LOCALE	17
8	INDAGINI SVILUPPATE IN SITO	19
8.1	Generalità sulle indagini effettuate.....	20
8.1.1	Prove SPT	20
8.1.2	Prove <i>Lefranc</i>	20
8.1.3	Prove di taglio diretto	20
8.1.4	Prove edometriche	21
8.2	Parametri ricavati dalle prove Spt	21
8.2.1	Peso di volume	21
8.2.2	Densità relativa (DR).....	21
8.2.3	Angolo di attrito efficace (Φ').....	21
8.2.4	Modulo di deformazione (o di Young).....	21
8.2.5	Modulo edometrico M_0	21
9	RISULTATI DELLE INDAGINI.....	22
9.1	Tracciato della tubazione	22
9.2	Settore ovest – impianto di potabilizzazione dell'acqua.....	24
9.2.1	Stratigrafia del terreno	24
9.2.2	Classificazione granulometrica	25
	GRANULOMETRIE	25
	LIMITI DI <i>ATTERBERG</i>	25
	SINTESI DEI RISULTATI	26
9.2.3	Permeabilità del terreno – Prova <i>Lefranc</i>	26
9.2.4	Prove SPT	27
	SPT SA	27
9.2.5	Prove di laboratorio.....	27

PROVA DI TAGLIO	27
Si riporta di seguito la sintesi dei risultati delle prove di taglio:	27
PROVA EDOMETRICA.....	28
9.2.6 Parametri dei terreni	28
9.2.7 Modello geologico e geotecnico.....	29
9.2.8 Indagine sismica	29
9.3 Settore est – impianto di presa	31
9.3.1 Stratigrafia del terreno	31
9.3.2 Classificazione granulometrica	32
GRANULOMETRIE	32
SINTESI DEI RISULTATI	32
9.3.3 Permeabilità del terreno – Prova <i>Lefranc</i>	33
9.3.4 Prove SPT	34
SPT SB	34
9.3.5 Parametri dei terreni	34
9.3.6 Modello geologico e geotecnico.....	35
9.3.7 Indagine sismica	35
10 STIMA DEI PARAMETRI SISMICI.....	37
11 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE.....	38
12 CAMPIONAMENTI TERRE E ROCCE DA SCAVO	39
13 CONCLUSIONI	41
ALLEGATI	
INDAGINI GEOGNOSTICHE	
PROVE DI LABORATORIO	
RDP TERRE E ROCCE DA SCAVO	

1 PREMESSA

Lo scrivente è stato incaricato di redigere la relazione geologica, sismica e la caratterizzazione geotecnica per la realizzazione della nuova presa a lago "Villa Taranto" a servizio dell'acquedotto comunale di Verbania. L'opera consiste nella realizzazione di un impianto di derivazione delle acque del Lago Maggiore, posto nei pressi del parcheggio di Villa Taranto in Via Vittorio Veneto a Pallanza, un impianto di potabilizzazione posto in Viale Giuseppe Azari e la posa di una condotta a collegamento dei due siti, al di sotto della sede stradale lungo la viabilità comunale.

La presente relazione è redatta in ottemperanza a quanto previsto dai cap. 3.2.2, 6.2.1 e 6.2.2 delle NTC 2018 e dalle NTA dello strumento urbanistico comunale.

La valutazione geologica è relativa alla zona di presa lago ed all'impianto di potabilizzazione, dove sono stati eseguiti i sondaggi geognostici e le prove geotecniche e sismiche.

Per quanto riguarda il tracciato della tubazione di collegamento, previsto lungo la viabilità esistente, si forniscono unicamente dati di carattere litologico e stratigrafico, così come forniti dalla Committenza.

La presente Revisione 1 è stata realizzata a seguito di richiesta di integrazione da parte del valutatore come da osservazione n. 7 *"Relativamente le indagini sviluppate in sito si indica che sono stati effettuati 4 pozzetti stratigrafici lungo il percorso per i campionamenti ambientali dei terreni ma non si ha evidenza dei risultati delle analisi"*, di cui si può trovare riscontro al Capitolo 12 – Terre e rocce da scavo.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il progetto prevede la realizzazione di un nuovo impianto a servizio dell'acquedotto comunale di Verbania, attraverso una presa a Lago nei pressi del parcheggio di Villa Taranto, una condotta lungo Via Prossano, Via Sanzio, Via Monte Zeda, SS34 e Viale Azari, ed un impianto di potabilizzazione in Viale Azari, secondo la planimetria allegata di seguito.



Figura 1: Ubicazione area d'intervento su foto aerea

3 QUADRO NORMATIVO GEOLOGICO

L'intervento in progetto (linea spezzata rossa) ricade nelle classi I, IIa, IIb e IIIb7 di pericolosità geomorfologica e idoneità all'utilizzazione urbanistica del Piano Regolatore di Verbania, come da stralcio seguente.

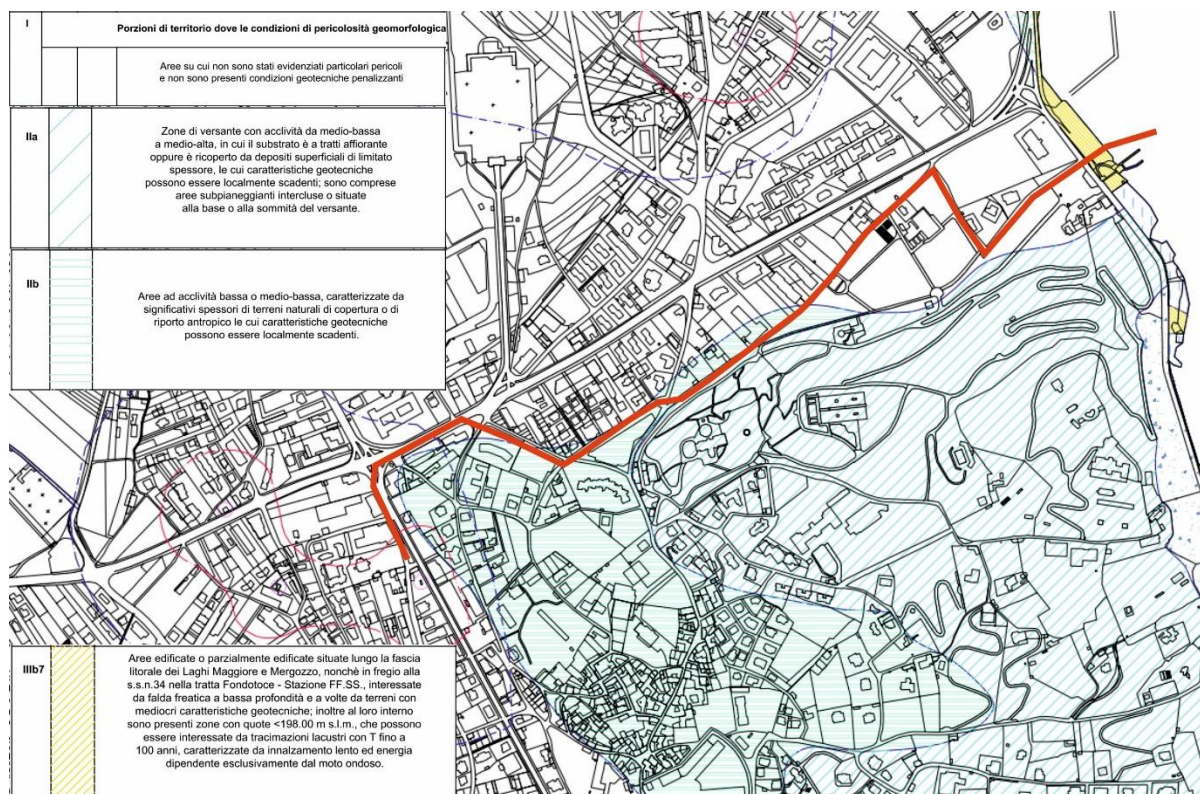


Figura 2: Stralcio della Carta di Sintesi del PRGC di Verbania

Le NTA dello strumento urbanistico comunale recitano quanto segue:

Art. 41 - INDAGINI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE A CORREDO DEI PROGETTI DI OPERE PUBBLICHE E PRIVATE

1. I progetti di opere pubbliche e private da realizzarsi sul territorio comunale devono essere corredati già in fase istruttoria da indagini geotecniche e, ove necessario, geologiche, redatte ai sensi del D.M. 11 Marzo 1988, n.47 e delle relative Istruzioni Applicative di cui alla Circ. LL.PP. del 24 Settembre 1988 n.30483.
2. I risultati delle indagini, degli studi e dei calcoli geotecnici devono essere esposti in una «Relazione geotecnica», che sarà parte integrante degli atti progettuali e firmata da professionisti abilitati.

Art. 45 - CLASSE I

1. Ai sensi della Circ. P.G.R. 7/LAP, la Classe I riguarda «Porzioni di territorio dove le condizioni di pericolosità geomorfologica sono tali da non porre limitazioni alle scelte urbanistiche; gli interventi sia pubblici che privati sono di norma consentiti nel rispetto delle prescrizioni del D.M. 11 Marzo 1988».
2. Nelle aree soggette a tale classe non si applicano norme particolari oltre a quelle previste dalla legislazione specifica sulle norme geotecniche e sul vincolo idrogeologico. L'assenza di problematiche particolari non esime i soggetti attuatori degli interventi ad adeguare gli interventi stessi alle condizioni del suolo e alla stabilità dell'area e alla possibile presenza di falda freatica.

Art. 46 - CLASSE II

1. Ai sensi della Circ. P.G.R. n.7/LAP la Classe II riguarda «Porzioni di territorio nelle quali le condizioni di moderata pericolosità geomorfologica possono essere agevolmente superate attraverso l'adozione e il rispetto di modesti accorgimenti tecnici esplicitati a livello di Norme di attuazione ispirate al D.M. 11 Marzo 1988 e realizzabili a livello di progetto esecutivo esclusivamente nell'ambito del singolo lotto. Tali interventi non dovranno in alcun modo incidere negativamente sulle aree limitrofe, né condizionare la propensione all'edificabilità».
2. In tutte le zone del territorio comunale soggette a Classe II ogni nuova opera sarà preceduta da approfondite verifiche locali di carattere geologico e geotecnico secondo quanto previsto dalle presenti norme e in coerenza con il D.M. 11 Marzo 1988.
3. Sulla base delle tipologie di pericolosità geologica sono state definite inoltre le seguenti sottoclassi, nelle quali oltre alle norme generali per la classe II sono previste norme specifiche.
 - 1) **Classe IIa:**
 - tale classe riguarda zone di versante con acclività da medio-bassa a medio-alta, in cui il substrato è a tratti affiorante, oppure è ricoperto da depositi superficiali, generalmente di non elevato spessore, le cui caratteristiche geotecniche possono rilevarsi a tratti scadenti e determinare locali condizioni di instabilità; la classe comprende anche aree subpianeggianti intercluse, oppure situate alla base e alla sommità del versante stesso;
 - in tale classe le relazioni geologiche e geotecniche dovranno esaminare prioritariamente le condizioni di stabilità naturale del pendio circostante e quelle determinate dall'intervento, con particolare riferimento alla stabilità dei fronti di scavo, dei riporti, delle opere di sostegno, ecc., soprattutto in relazione alla eventuale presenza di fenomeni di ruscellamento concentrato, di circolazione di acque sotterranee e di terreni geotecnicamente mediocri.
 - 2) **Classe IIb:**
 - tale classe riguarda aree ad acclività bassa o medio-bassa, caratterizzate dalla presenza di significativi spessori di terreni naturali di copertura o di riporto antropico le cui caratteristiche geotecniche possono rivelarsi localmente scadenti;
 - in tale classe le relazioni geologiche e geotecniche dovranno esaminare in particolare le condizioni di stabilità con particolare riferimento alle opere di scavo e di fondazione, soprattutto in relazione alla eventuale presenza di terreni a mediocri caratteristiche geotecniche e di acque sotterranee.

Art. 49 - CLASSE IIIb

1. Ai sensi della Circ. P.G.R. n. 7/LAP tale classe comprende: «Porzioni di territorio edificate nelle quali gli elementi di pericolosità geologica e di rischio sono tali da imporre in ogni caso interventi di riassetto territoriale di carattere pubblico a tutela del patrimonio urbanistico esistente. In assenza di tali interventi di riassetto saranno consentite solo trasformazioni che non aumentino il carico antropico quali, a titolo di esempio, interventi di manutenzione ordinaria, manutenzione straordinaria, risanamento conservativo, ecc.; per le opere di interesse pubblico non altrimenti localizzabili varrà quanto previsto all'Art.31 della L.R. n.56/77. Nuove opere o nuove costruzioni saranno ammesse solo a seguito dell'attuazione degli interventi di riassetto e dell'avvenuta eliminazione e/o minimizzazione della pericolosità. Gli strumenti attuativi del riassetto idrogeologico e i Piani Comunali di Protezione Civile dovranno essere reciprocamente coerenti.»
2. Si tratta di aree edificate o parzialmente edificate, in cui si rende necessaria la realizzazione di interventi di attenuazione o eliminazione della pericolosità, oppure di controllo periodico dell'efficienza delle opere di difesa esistenti.
3. Sulla base delle tipologie di pericolosità geologica sono state definite le seguenti sottoclassi, di cui è normata la fruibilità urbanistica allo stato attuale e a seguito della realizzazione di Progetti Pubblici di Riassetto Idrogeologico secondo quanto previsto dalle presenti norme:
 - 7) **Classe IIIb 7:**
 - tale classe comprende le aree edificate o parzialmente edificate situate lungo la fascia litorale del Lago Maggiore e del Lago di Mergozzo, nonché parzialmente in fregio alla s.s.34 nella tratta Fondotoce - Stazione FF.SS., interessate da falda freatica a bassa profondità e, a volte, da terreni con mediocri caratteristiche geotecniche adiacenti a versanti subacquei con stabilità incerta; all'interno di tali aree sono presenti inoltre zone con quota inferiore a 198.00 m s.l.m., che possono quindi essere interessate da tracimazioni lacustri con tempi di ritorno fino a 100 anni, caratterizzate da innalzamento lento ed energia dipendente esclusivamente dal moto ondoso;
 - in tali aree non sono prevedibili, nell'ambito dell'attuazione del P.R.G., interventi di riassetto idrogeologico atti a diminuire la pericolosità

dovuta alle sommersioni lacustri;

– pertanto non saranno ammessi nuovi piani residenziali e produttivi, costruzioni accessorie e strutture tecniche al di sotto della quota 198.50 m s.l.m., considerata quota minima di sicurezza (riferita ad eventi con tempo di ritorno indicativamente di 100 anni); sono possibili deroghe solo per particolari motivazioni documentate, in relazione a problematiche storico-architettoniche o tecnico-funzionali e previa esplicita accettazione del relativo aumentato rischio da parte del richiedente;

– i progetti devono comunque sempre esplicitare l'accettazione delle condizioni di rischio connesse con la possibilità di allagamento per eventi con tempi di ritorno superiori a 100 anni, e quindi per quote superiori a quelle indicate come quote minime di sicurezza, nonché gli accorgimenti tecnici atti al loro superamento, con presa d'atto da parte dei titolari del permesso di costruire dell'entità del rischio con riferimento agli studi idrologici e idrogeologici presenti nelle analisi di piano, e in relazione alle condizioni di vulnerabilità e al valore dei beni a rischio;

– in ogni caso ogni nuova opera o parte di opera eseguita al di sotto delle quote di sicurezza dovrà essere progettata e costruita con criteri che consentano la sommersione periodica senza particolari danni e con caratteristiche di resistenza al moto ondoso;

– sono ammesse quote inferiori a quelle di sicurezza per le strutture tecniche legate all'utilizzo del litorale, alla navigazione e all'attività sportiva e ricreativa;

– le misure delle quote di progetto vanno presentate mediante rilievo altimetrico di precisione appoggiato su quote geodetiche sicure;

– in ogni caso le eventuali riquotature del p.c. per il raggiungimento delle quote di sicurezza dovranno essere giustificate da uno studio specifico che motivi le necessità dell'innalzamento, le caratteristiche dello stesso in termini di quote, di materiali utilizzati, di effetti geotecnici sui terreni naturali, nonché la mancanza di effetti negativi sulle aree limitrofe dal punto di vista del deflusso delle acque e del drenaggio;

La verifica della cartografia relativa all'ultimo aggiornamento del Piano di Gestione Rischio Alluvioni inserisce parte dell'opera in progetto nell'area con probabilità elevata di allagamento per esondazione del Lago Maggiore, con tempi di ritorno di 20 anni.

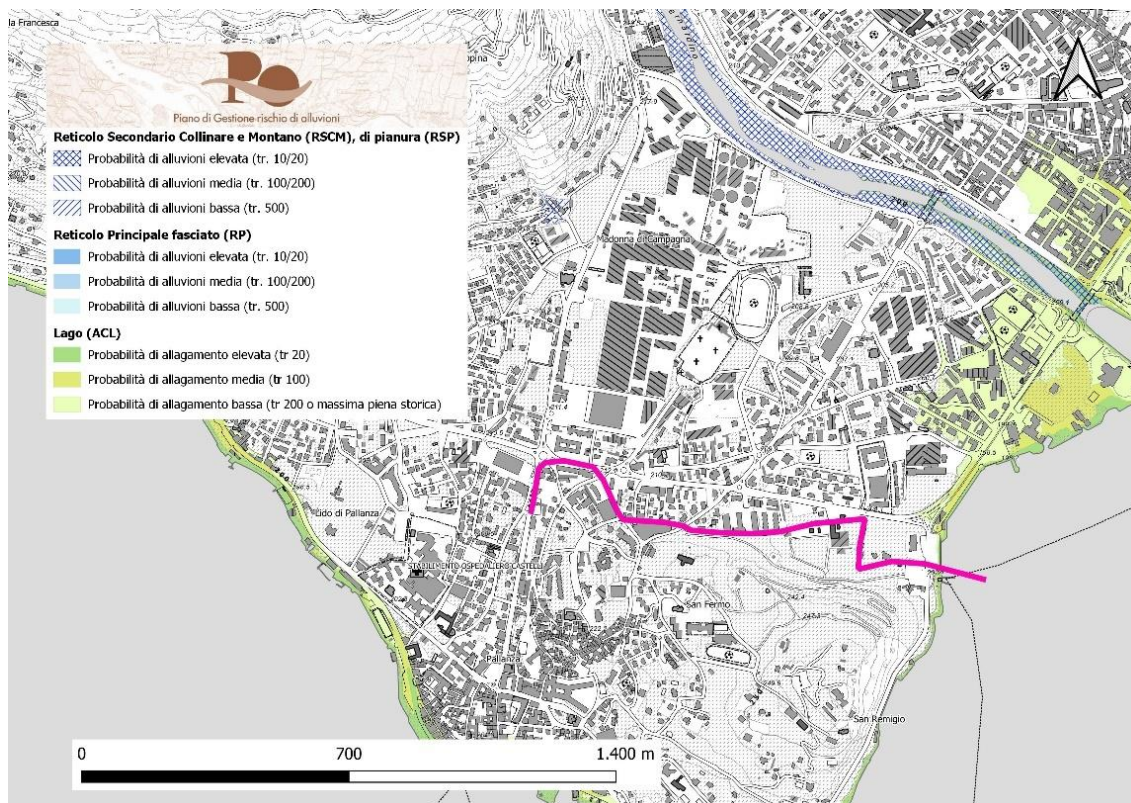


Figura 3: Stralcio del PGRA nell'area di intervento

L'opera risulta esterna alle aree sottoposte a Vincolo Idrogeologico (L. R. n°45/1989), come da stralcio seguente:

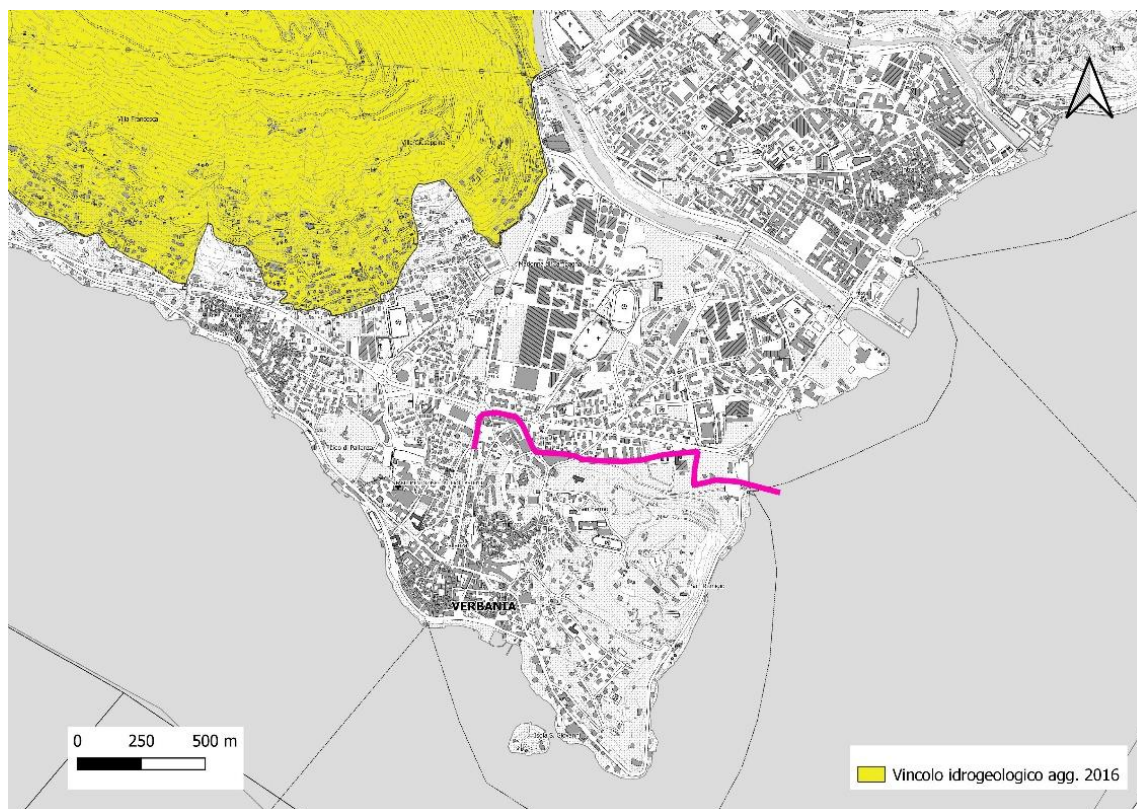


Figura 4: Aree sottoposte a Vincolo Idrogeologico nell'intorno dell'area in esame

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame è ubicata nel territorio comunale di Verbania (VB), ad una quota compresa tra 193 e 214 m s.l.m., ed è rappresentata nel Foglio 31 della Carta Geologica d'Italia (VARESE), allegata di seguito in stralcio non in scala.

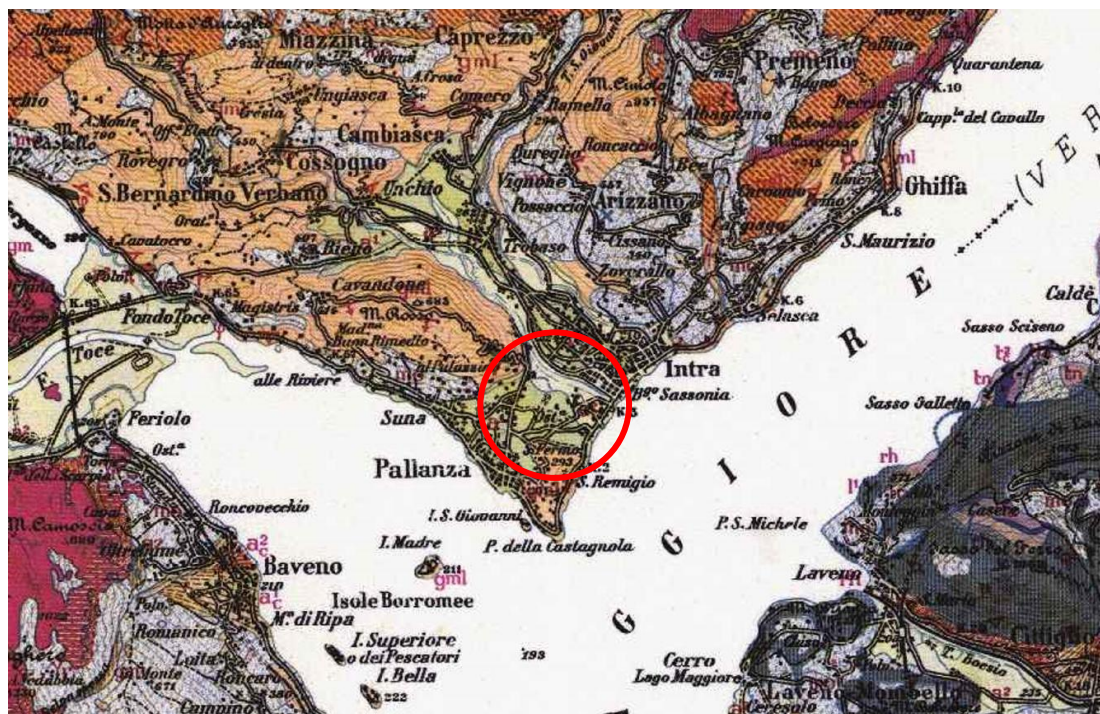
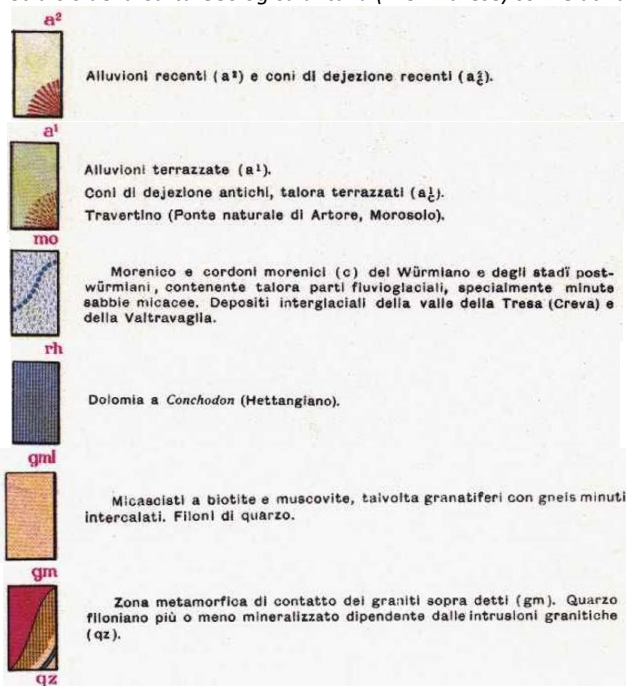


Figura 5: Stralcio della Carta Geologica d'Italia (F. 31 Varese) con relativa legenda



L'assetto attuale della porzione di territorio analizzata, è dovuto in gran parte all'azione dei ghiacciai quaternari; in particolare si assiste alla messa in posto del Ghiacciaio del Verbano e del Ghiacciaio dell'Ossola, che confluivano proprio in questo punto.

Il modellamento del territorio avviene in gran parte nel Pleistocene, mediante l'azione combinata di due fenomeni entrambi collegati alle meccaniche deposizionali di natura glaciale: da un lato l'azione d'accumulo esercitata dal ghiacciaio stesso che, mettendo in gioco enormi quantità di materiale proveniente dal proprio bacino d'alimentazione, dà luogo alla formazione di creste moreniche assai ben evidenti; dall'altro l'azione erosiva dei torrenti proglaciali, che rimodellano la superficie topografica durante la fase di ritiro dei ghiacciai, formando morfologie depresse dalla tipica forma di valloni a fondo debolmente concavo. Connessa a queste dinamiche erosive è la genesi dei numerosi terrazzi che, insieme con le morene e le aree a morfologia depressa, caratterizzano il paesaggio di origine glaciale.

Il paesaggio periglaciale viene sovente spazzato da forti correnti eoliche, che determinano l'accumulo di coltri di sedimenti fini e ben classati nelle zone riparate dal vento. Tali depositi detti loess, sono caratterizzati dalla quasi totale presenza nella composizione tessiturale di limi, dal tipico colore giallastro ed assumono talora spessori intorno al metro. Il diverso grado di alterazione dei loess è spesso un buon indice dell'età dei depositi glaciali s. l. cui sono correlati, favorendo così la ricostruzione della cronologia degli eventi susseguiti nell'area.

L'intervento in progetto si colloca, così come buona parte della Città di Verbania, sugli antichi conoidi alluvionali dei Torrenti San Bernardino e San Giovanni. I terreni caratterizzanti l'area in esame sono costituiti superficialmente da depositi alluvionali ghiaioso sabbiosi e ciottolosi, passanti in profondità a terreni progressivamente più fini, con lenti di sabbie e limi. Al di sotto dei terreni alluvionali si trovano depositi fini sabbioso limosi o anche torbosi, depositi in ambiente lacustre.

Per quanto riguarda il substrato roccioso, la zona in esame appartiene all'unità strutturale nota come "Serie dei Laghi". La "Serie dei Laghi" è suddivisa a sua volta in due subunità, gli "Scisti dei Laghi" e la "Zona Strona-Ceneri", separate dalla Zona Marginale della Strona Ceneri costituita da anfiboliti e paragneiss anfibolici; tutta l'unità è poi attraversata da corpi di ortogneiss di forma, estensione e composizione variabile. Nell'area in esame sono presenti solo gli "Scisti dei Laghi", che affiorano a monte della Città di Verbania ed in corrispondenza dell'altura su cui sorge Villa Taranto. Si tratta di alternanze di paragneiss e micascisti, con sporadiche intercalazioni di filoni aplitici (talvolta anche metrici) e più raramente pegmatitici. Per la caratterizzazione geologica di dettaglio dell'area in questione si allega di seguito uno stralcio della Carta Geologica allegata alla Proposta Tecnica del Progetto Preliminare di Variante Generale del PRGC di Verbania.

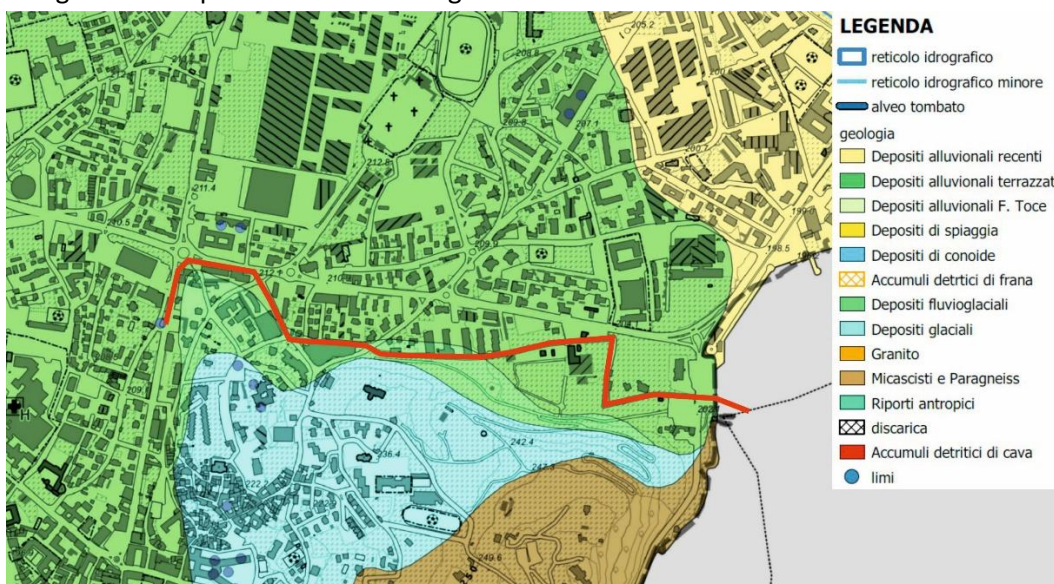
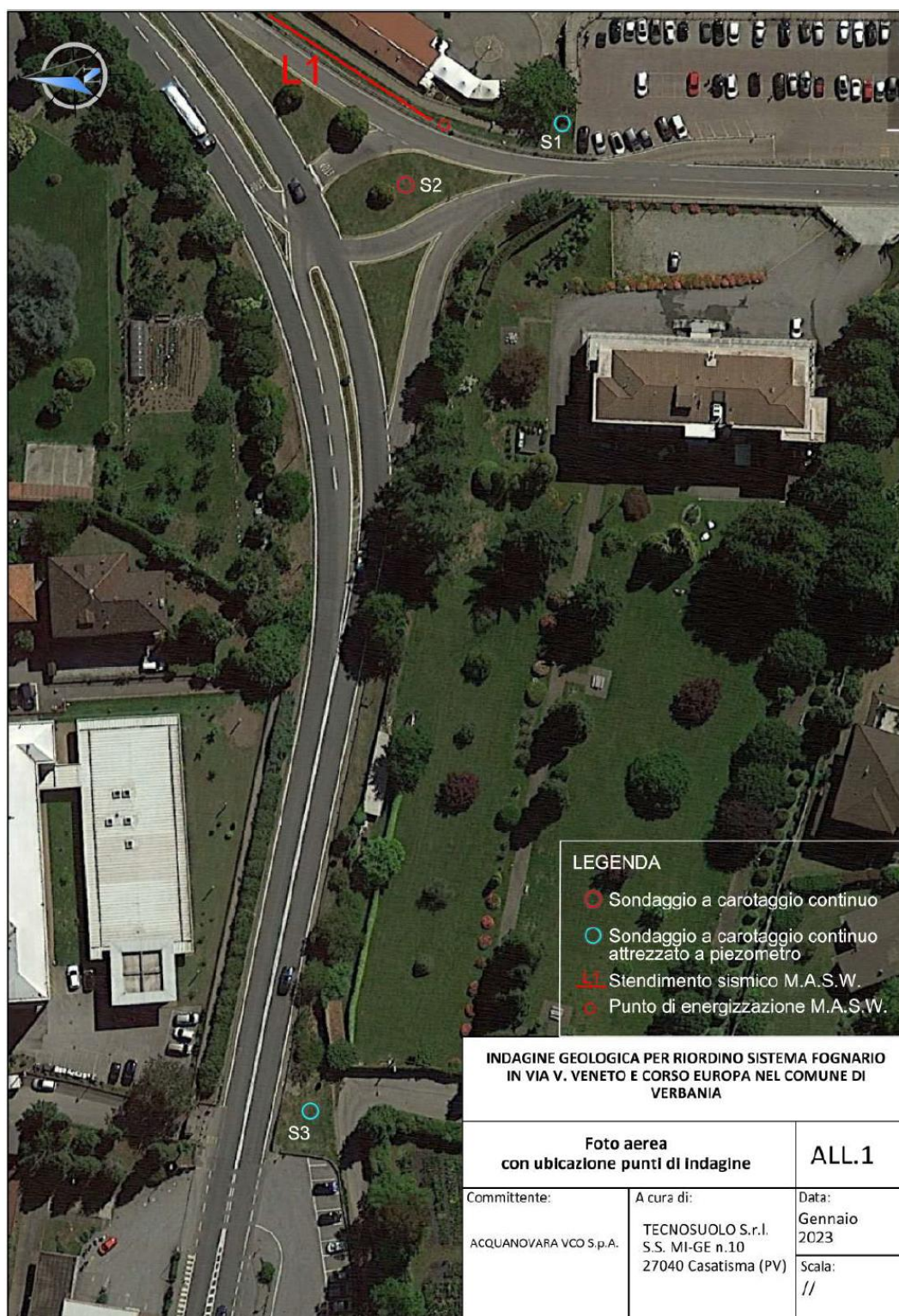


Figura 6: Stralcio della Carta Geologica allegata alla proposta Tecnica di Variante di PRGC di Verbania

Dalle tavole geologiche di PRGC del Comune di Verbania, non sono segnalati dissesti per l'area di progetto, ad eccezione delle escursioni lacustri sulla sponda.

Per la caratterizzazione dei terreni presenti in sito si fa riferimento, in termini generali, anche ai sondaggi geognostici effettuati nel gennaio 2023 da Tecnosuolo nei pressi del parcheggio di Villa Taranto, per il progetto di riordino del sistema fognario di Via V. Veneto e Corso Europa:



Relazione Geologica e sismica con caratterizzazione geotecnica

Febbraio 2025

Pag. 12

Tecnosuolo s.r.l. 27040 Casatisma (Pv) S.S Mi-Ge n° 10 Tel. (0383) 891852				COMMITTENTE: ACQUA NOVARA VCO				SONDAGGIO N° S1			
INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE				LOCALITA': VERBANIA				DATA 11.01.2023			
QUOTA INIZIO: p.c.											
profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafico	CAMPIONI carotaggio	DESCRIZIONE LITOLOGICA	K cm/s	P.P. Kg/cmq	schema piezometro	S.P.T.	NOTE		
0.00			tipo prof. mt.	H ₂ O							
0.70											
1.40											
4.00											
10.00											

Tecnosuolo s.r.l. 27040 Casatisma (Pv) S.S Mi-Ge n° 10 Tel. (0383) 891852				COMMITTENTE: ACQUA NOVARA VCO				SONDAGGIO N° S2			
INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE				LOCALITA': VERBANIA				DATA 12.01.2023			
QUOTA INIZIO: p.c.											
profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafico	CAMPIONI carotaggio	DESCRIZIONE LITOLOGICA	K cm/s	P.P. Kg/cmq	schema piezometro	S.P.T.	NOTE		
0.00			tipo prof. mt.	H ₂ O							
1.90											
2.50											
3.00											
10.00											

Tecnosuolo s.r.l. 27040 Casatisma (Pv) S.S. Mi-Ge n° 10 Tel. (0383) 891852				COMMITTENTE: ACQUA NOVARA VCO				SONDAGGIO N° S3			
INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE				LOCALITA': VERBANIA				DATA 13.01.2023			
QUOTA INIZIO: p.c.											
profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	CAMPIONI carotaggio	DESCRIZIONE LITOLOGICA	K cm/s	P.P. Kg/cmq	schema piezometro	S.P.T.			NOTE
0.00			tipo prof. mt.								
0.90				Sabbia fine limosa di colore marrone con rara ghiaia fine							
1.90				Ciottoli e blocchi							
4.30				Ghiaia eterometrica e locali ciottoli in matrice sabbioso-limosa, colore grigio				m 2.00-2.45			
5.40				Sabbia media e fine limosa con ghiaia e ciottoli, colore nocciola				Rif 8cm			
7.30				Ghiaia eterometrica in matrice sabbioso-limosa, colore grigio				m 4.00-4.45			
10.00				Sabbia media e fine con ghiaia eterometrica, colore nocciola				13 15 17			
								m 6.00-6.45			
								9 14 19			
								m 8.00-8.45			
								7 7 10			
								m 10.00-10.45			
								8 9 9			

Figura 7 Stratigrafie dei sondaggi effettuati presso via Veneto e Corso Europa a Verbania

5 MORFOLOGIA DEL FONDALE DEL LAGO

Il progetto prevede la realizzazione di un'opera di captazione delle acque del Lago presso il parcheggio di Villa Taranto, dove la morfologia subacquea è caratterizzata da una scarpata in roccia molto acclive a breve distanza dalla linea di costa, con profondità nell'ordine di 50 metri a circa 45 metri al largo. A tal proposito si allega di seguito una sezione geologica tracciata in corrispondenza dell'opera di presa in progetto.

La sezione si basa sui dati del sondaggio geognostico SB e sull'affioramento del substrato lapideo lungo la costa, come osservabile grazie ad un'immagine satellitare Google Earth di ottobre 2016.

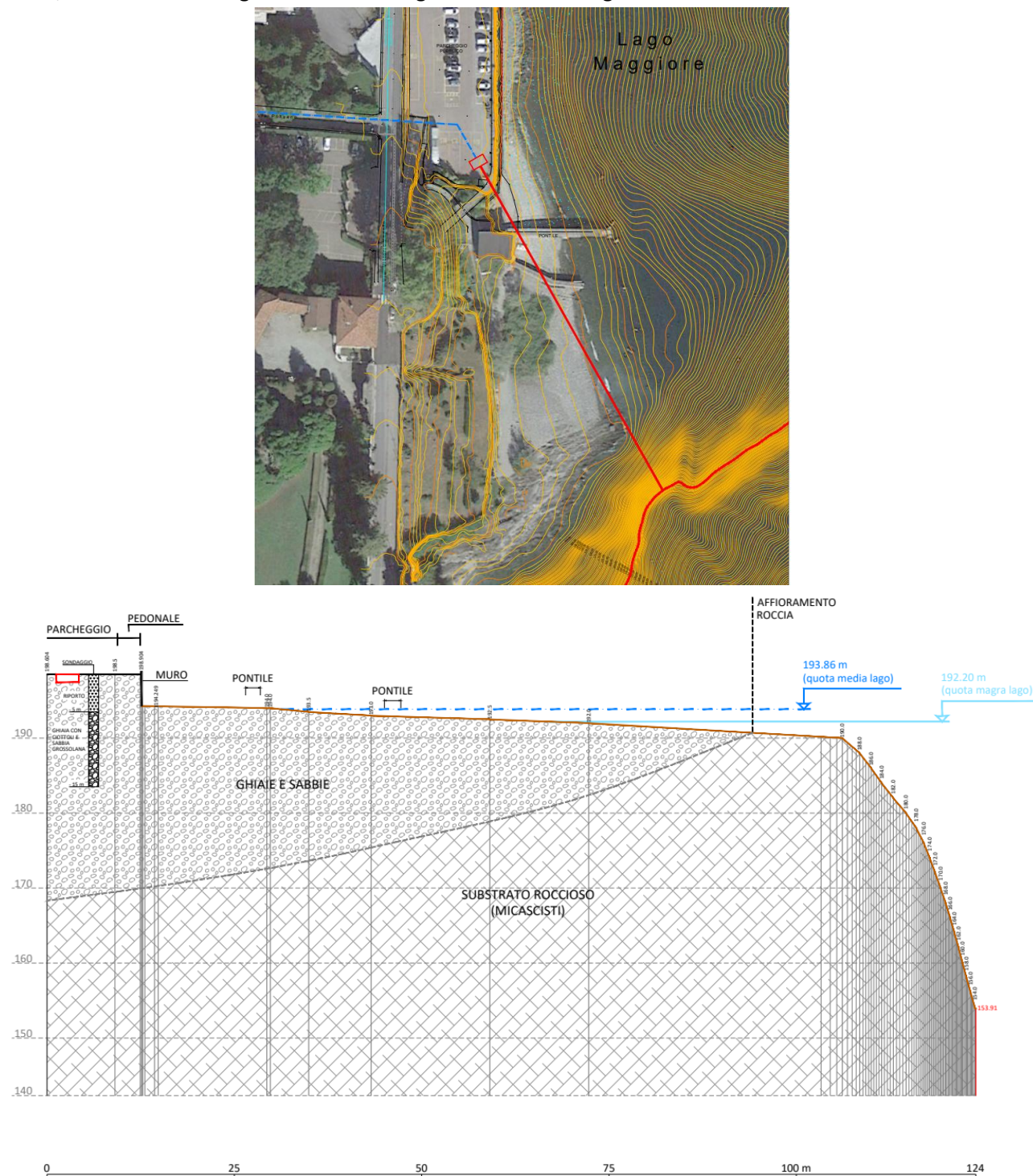


Figura 8: Sezione topografica con relativa traccia in planimetria dei fondali lacustri presso Villa Taranto

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO

Dal punto di vista idrogeologico, l'area in esame è caratterizzata dalla presenza di terreni alluvionali appartenenti ai conoidi dei torrenti San Bernardino e San Giovanni, costituiti da ghiaie e sabbie con livelli sabbioso – argillosi. La falda freatica è contenuta nei depositi ghiaioso sabbiosi, poggianti su sedimenti fini impermeabili o su roccia, costituenti il letto di tale falda. L'oscillazione della falda è dovuta essenzialmente alla variazione del livello del Lago Maggiore e dal regime di portata dei Torrenti San Bernardino e San Giovanni, che alimentano la falda attraverso perdite di sub-alveo. La direzione di deflusso è prevalentemente NW-SE, con superficie piezometrica sub-parallela alla morfologia del conoide. La quota della falda è di circa 200 m s.l.m. sul lato ovest dell'intervento in progetto, mentre è prossima al livello del lago in corrispondenza del lato est dell'intervento. La permeabilità è assai variabile e fortemente condizionata dalla granulometria dei depositi, ma è comunque generalmente media o elevata.

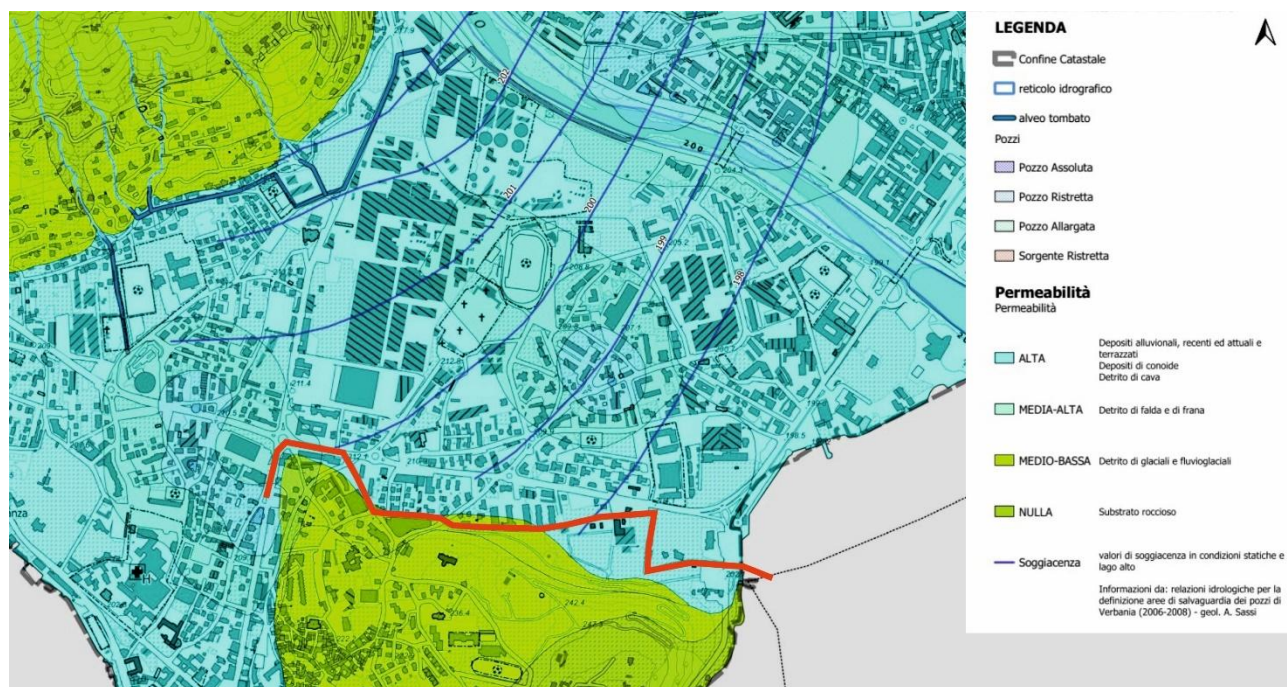


Figura 9: Stralcio della Carta Geoidrologica allegata alla proposta Tecnica di Variante di PRGC di Verbania

Dal punto di vista idrografico, nell'area interessata dall'intervento, non sono presenti corsi d'acqua naturali o artificiali, fatto salvo il Torrente San Bernardino che scorre circa 700 metri a nord dell'intervento, senza alcun tipo di interferenza con il progetto in esame. Parte dell'opera è invece direttamente interferente col Lago Maggiore, con modalità descritte negli elaborati progettuali.

Il livello lacustre medio si attesta tra circa 193 e 194 m s.l.m., con massimi nei mesi autunnali e primaverili in occasione delle precipitazioni più abbondanti. La quota minima raggiungibile dal Lago è di circa 192.20 metri s.l.m., corrispondenti alla quota della soglia della diga di Miorina, posta presso Castelletto Sopra Ticino. Per quanto riguarda invece i livelli di massima, si cita il massimo livello raggiunto negli ultimi decenni pari a 197.94 m s.l.m. nell'ottobre del 2000.

Dalla Relazione geologica della Proposta Tecnica del Progetto Preliminare del PRG è stata estratta la seguente tabella con relativo commento.

Valutazione statistico-probabilistica dei livelli lacustri

La disponibilità dei dati per il periodo dal 1952 al 2000 (comprensivi quindi anche dei valori raggiunti nell'ultimo evento alluvionale) ha permesso di eseguire su di essi delle elaborazioni per definire le possibilità di piene a vari tempi di ritorno; la tabella risultante è la seguente:

ESTRAPOLAZIONE CON CORRELAZIONE DI GUMBELL SU DATI LIVELLI MASSIMI ANNUALI LAGO MAGGIORE									
TEMPO RITORNO (anni)	2.33	10	20	50	100	200	300	400	500
LIVELLI MASSIMI (m s.l.m.)	195.55	196.67	197.15	197.78	198.25	198.71	198.99	199.18	199.30

Secondo tale elaborazione il livello di 197.61 m s.l.m. avutosi nel 1993 deve considerarsi a tempo di ritorno quarantennale, mentre il livello di 197.94 dell'ottobre 2000 risulta riferibile ad un tempo di ritorno di circa 75 anni.

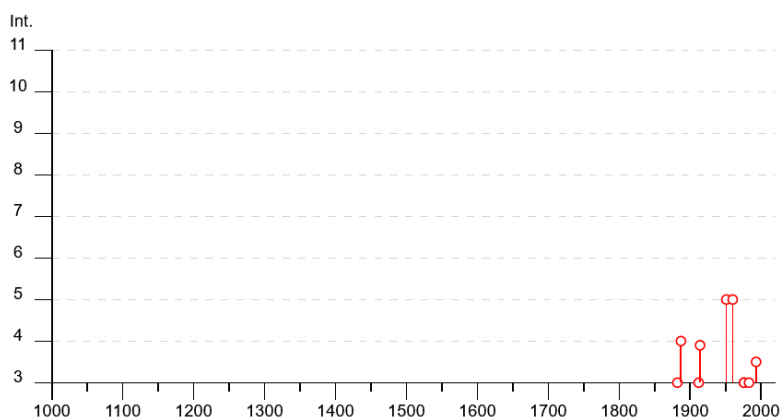
*Figura 10: Stralcio della valutazione statistica-probabilistica dei livelli lacustri
allegata alla proposta Tecnica di Variante di PRGC di Verbania*

7 INQUADRAMENTO SISMICO LOCALE

La consultazione del catalogo DBMI15, dal sito INGV, *Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E., Antonucci A. (2019). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.2>* ha fornito i seguenti dati per il Comune di Verbania:

Verbania (Pallanza)

PlaceID IT_04782
Coordinate (lat, lon) 45.924, 8.552
Comune (ISTAT 2015) Verbania
Provincia Verbano-Cusio-Ossola
Regione Piemonte
Numero di eventi riportati 11



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3	1882	02	27	06	30		Valle Seriana	37	6-7	4.81
4	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
3	1912	05	31	21	40		Canavese	51	5-6	4.71
F	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
2	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
5	1951	05	15	22	54		Lodigiano	179	6-7	5.17
5	1960	03	23	23	10		Vallese	178	7	5.00
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
3	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
3-4	1993	06	14	12	28	3	Val d'Ossola	139	5-6	4.34

Figura 11: Grafico e tabella delle intensità massime registrate in occasione degli eventi sismici accaduti nei dintorni di Verbania

Località	EQs	Distanza (km)
Intra	4	2
Baveno	3	4
Arizzano	1	4
San Bernardino Verbano (Santino)	1	5
Stresa	4	5
Laveno-Mombello (Laveno)	6	6
Miazzina	1	6
Caprezzo	1	6
Mombello	1	6
Premeno	2	7
Leggiuno	1	8
Gignese	1	8
Sangiano	1	8
Aurano	1	9
Mergozzo	1	9
Caravate	2	9
Brovello	1	9
Gravellona Toce	1	9
Castelveccana (Pessina)	1	10

Figura 12: Tabella degli eventi sismici accaduti nei dintorni di Verbania

Il quadro delle zone sismogenetiche, tratto dal sito del Gruppo Nazionale per la Difesa dei terremoti, è rappresentato nella seguente carta, in riferimento alla quale l'area in esame si colloca nella zona background, con $M_s < 5.0$.

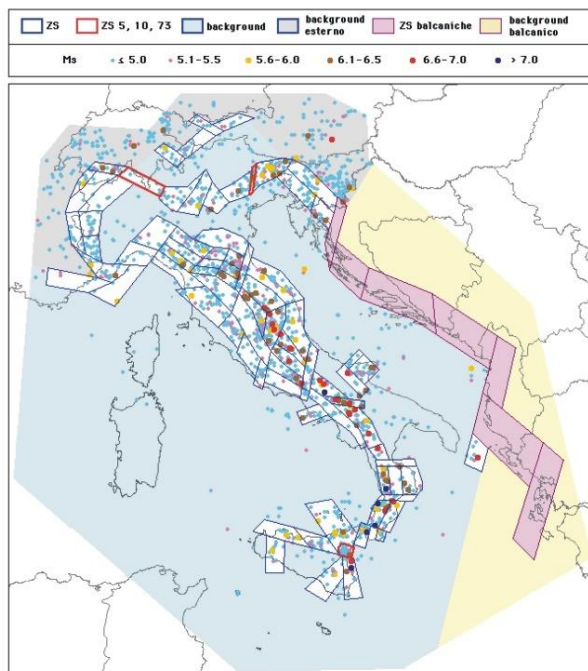


Figura 13: Zone sismogenetiche

Nel catalogo DISS dell'INGV (Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), *The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics; doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014*) sono riportati i seguenti elementi relativi alle sorgenti potenziali di terremoti con magnitudo maggiore di 5.5.

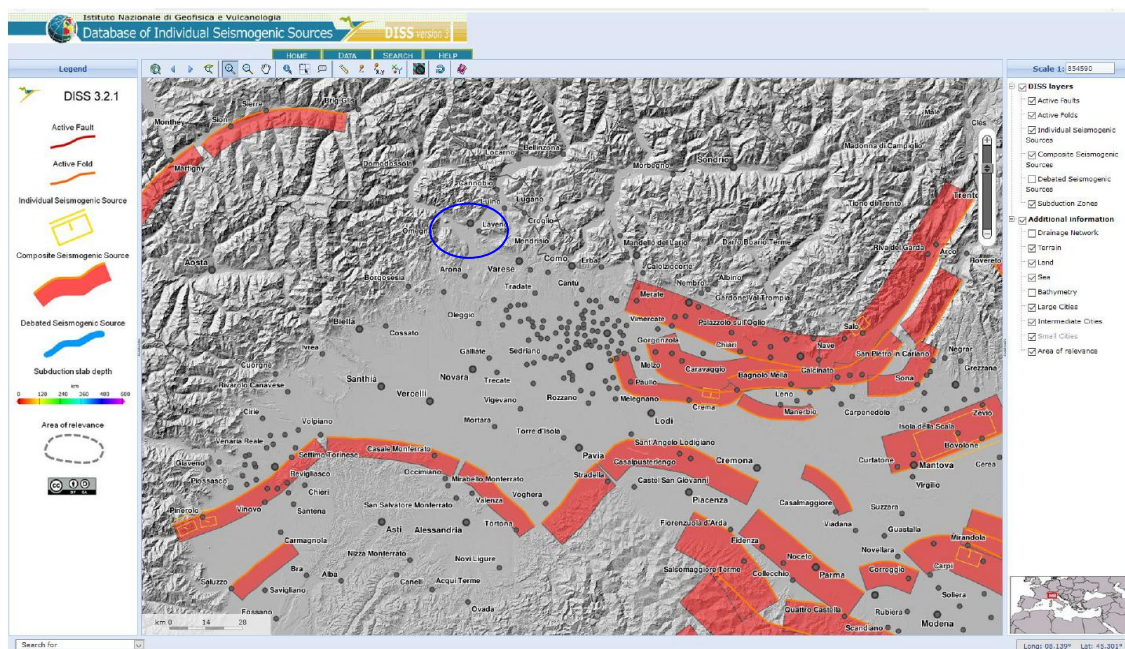


Figura 14: Principali sorgenti potenziali di terremoti

8 INDAGINI SVILUPPATE IN SITO

Le indagini eseguite in sito, effettuate dalla ditta Tecnosuolo sono consistite in 2 sondaggi a carotaggio continuo e 2 stendimenti MASW, oltre che 4 pozzetti stratigrafici lungo il percorso per i campionamenti ambientali.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite 12 prove SPT e sono stati prelevati: n.1 campione indisturbato di terreno tramite fustella Shelby in acciaio inox nel sondaggio SA, nell'unico livello di materiali fini riscontrato, e n. 10 campioni rimaneggiati nei terreni granulari, da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio (SA: peso di volume, limiti di *Atterberg*, resistenza al taglio "di picco", prova di consolidazione edometrica; SB: granulometria per setacciatura e sedimentazione).

Sono state inoltre effettuate anche 2 prove di permeabilità *Lefranc* nei sondaggi SA e SB.

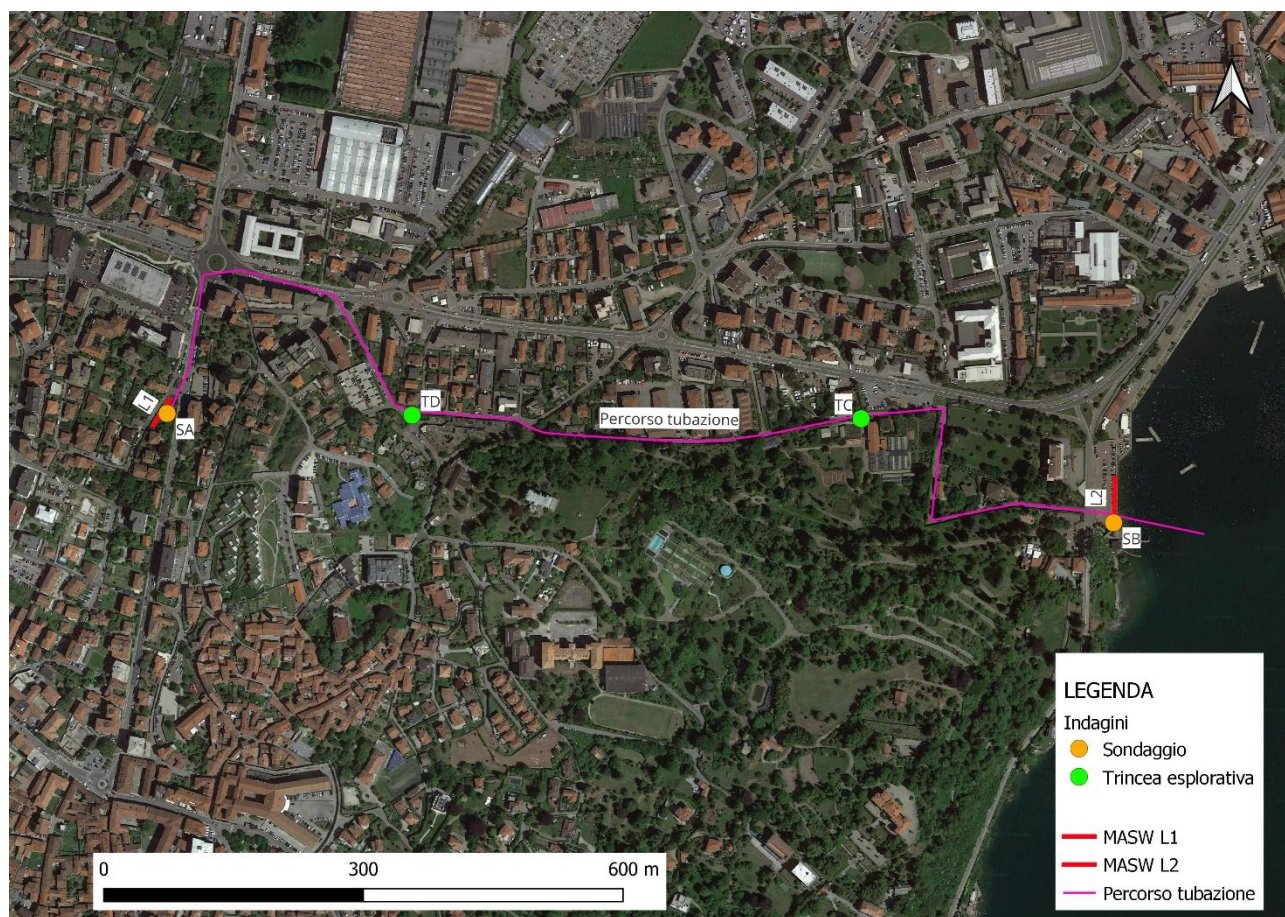


Figura 15: Planimetria delle indagini effettuate

8.1 Generalità sulle indagini effettuate

8.1.1 Prove SPT

La prova SPT si esegue durante la perforazione e consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, o una punta conica, collegato alla superficie mediante batteria di aste, in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63.5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0.76 m.

Per l'esecuzione delle prove, data la presenza di sedimenti grossolani, è stata utilizzata la punta conica.

Durante la prova si misura:

N1 = numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm, assunti come tratto di "avviamento";

N2 = numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N3 = numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:

$$NSPT = N2 + N3$$

Per cercare di uniformare e standardizzare i risultati, Skempton (1986) propone una serie di fattori di correzione da applicare al valore di N misurato in sito, riportando il valore di N a un'energia standardizzata al 60% secondo la seguente espressione: $N_{60} = N \cdot CB \cdot CS \cdot CR$

N_{60} = valore di N corretto per un'efficienza del 60%

N = numero dei colpi per l'affondamento di 30 cm misurato nella prova

CB = correzione per il diametro del foro (pari a 1 per sondaggio 101 mm)

CS = correzione per il metodo di campionamento secondo Mohan (=1 per campionatore standard; 0.75 per la punta conica)

CR = correzione per la lunghezza delle aste

8.1.2 Prove Lefranc

La prova *Lefranc* consiste in una prova di permeabilità del terreno eseguita in foro; nel caso oggetto di studio è stata eseguita una prova a carico variabile, che consiste nel riempire di acqua il foro fino ad un livello prefissato, misurando successivamente gli abbassamenti del livello in funzione del tempo, ripetendo le letture in intervalli definiti. La relazione che esprime il coefficiente di permeabilità, in funzione degli abbassamenti registrati lungo la colonna di rivestimento, è la seguente (tratta da: "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" – A.G.I., giugno 1977):

$$k = \frac{A}{C_L(t_2 - t_1)} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2}$$

k = coefficiente di permeabilità [ms^{-1}];

A = area di base del foro di sondaggio [m^2];

h_1 e h_2 = altezza dei livelli d'acqua nel foro rispetto al fondo agli istanti t_1 e t_2 [m];

t_1 e t_2 = tempi ai quali vengono misurati h_1 e h_2 [s];

C_L = coefficiente di forma dipendente dall'area del foro di sondaggio e della lunghezza del tratto di foro scoperto (l); in base ai suggerimenti A.G.I., tale coefficiente è stato assunto pari a 1 (ipotesi valida nel caso $l > d$, con d = diametro del rivestimento).

8.1.3 Prove di taglio diretto

Le prove di taglio diretto forniscono risultati in termini di resistenza al taglio in condizioni drenate, nelle condizioni di rottura (angolo di attrito e coesione di picco).

Le limitazioni della prova di taglio sono le seguenti:

- la superficie di rottura è predeterminata;
- le tensioni orizzontali al contorno non sono misurabili, pertanto sia i cerchi di Mohr che i percorsi tensionali sono ignoti fino alla rottura;

- le deformazioni tangenziali (concentrate intorno alla superficie di rottura) non sono deducibili dagli spostamenti orizzontali misurati.

8.1.4 Prove edometriche

Le prove edometriche sono prove di laboratorio effettuate per la valutazione della compressibilità di un terreno.

8.2 Parametri ricavati dalle prove Spt

8.2.1 Peso di volume

È stata utilizzata la formulazione di Bruschi: $98,1 \cdot (1,39 + 0,053 \cdot N_{60} - 0,0011 \cdot N_{60}^2 + 0,0000076 \cdot N_{60}^3)$ e quella di Chaigneau: $(1,27 \cdot \ln(r_d) + 14,63)$, mediando i risultati.

8.2.2 Densità relativa (DR)

Disponendo del valore normalizzato di NSPT $[(N_1)_{60}]$, la migliore classificazione risulta quella proposta da Terzaghi e Peck (1948) e da Skempton (1986), utilizzando la correlazione $(N_1)_{60}/Dr^2 = 60$, per $Dr > 35\%$.

Ai valori ottenuti è necessario apportare una riduzione di 55/60, nel caso di sabbie fini, ed un incremento di 65/60 nel caso di sabbie grossolane.

8.2.3 Angolo di attrito efficace (Φ')

Innanzitutto, si deve sottolineare che, a causa della variabilità nei valori N_{SPT} , la valutazione della prova in termini di resistenza al taglio deve essere considerata come una stima la cui attendibilità dipende da vari fattori, da valutare attentamente in funzione del contesto in cui si opera.

Nel caso in esame è stata scelta la formulazione di Wolff per il valore di angolo di attrito di picco e la formula di De Mello che approssima l'angolo di attrito a volume costante. Per i terreni fini a profondità > 8 m è stata utilizzata la formulazione del *Road Bridge Specification* in sostituzione di quella di Wolff.

8.2.4 Modulo di deformazione (o di Young)

Per la valutazione del modulo di Young è stata utilizzata la relazione di Schmertmann, valida per sabbie in genere e la relazione di Menzenbach (1961, cfr. tabella) per i terreni limoso argillosi.

Terreni	C_i [kg/cm ²]	C_i [kg/cm ²]
Sabbia fine sopra falda	52	3.3
Sabbia fine sotto falda	71	4.9
Sabbia media	39	4.5
Sabbia grossa	38	10.5
Sabbia e ghiaia	43	11.8
Sabbia limosa	24	5.3
Limo	12	5.8

Il modulo di deformabilità operativo, dato il comportamento non lineare dei terreni, dipende dalle effettive deformazioni indotte e/o dal grado di mobilitazione della resistenza al taglio e può essere assunto pari a quello corrispondente a tensioni di circa il 25% di quelle a rottura (E_{25}), calcolabile con le formule di Stroud (1989) o di Jamiolkowski (1988).

8.2.5 Modulo edometrico M_0

Per valutare questo modulo si utilizza la relazione di Mayne & Frost (1988) o la relazione di Menzebach e Malcev, valida per terreni incoerenti, e quella di Schultze & Menzebach (1961), per i terreni coesivi.

9 RISULTATI DELLE INDAGINI

9.1 Tracciato della tubazione

Lungo il tracciato della tubazione in progetto sono state scavate 4 trincee esplorative che hanno restituito le seguenti stratigrafie:

Tecnosuolo s.r.l. 27040 Casatisma (Pv) S.S. Mi-Ge n° 10 Tel. (0383) 891852 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE	COMMITTENTE: Acqua Novara VCO S.p.A.
	LOCALITA': Verbania - presa lago "Villa Taranto"
	QUOTA INIZIO: p.c.

TRINCEA
N° TA
DATA 19.03.2024

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	CAMPIONI	H ₂ O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	K cm/s	P.P. Kg/cm ²	NOTE
			carotaggio					
0.00			tipo	prof. mt.				
				0.00 △ 0.70	Riporto: sabbia media e fine limosa con ghiaia eterometrica e ciottoli e con locali frammenti di mattoni e c.l.s.			
				0.70 △ 1.50				
2.00				1.50 △ 2.00				

Figura 16: Stratigrafia trincea TA

TRINCEA
N° TB
DATA 19.03.2024


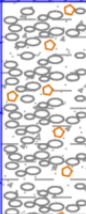
profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	CAMPIONI		H ₂ O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	K cm/s	P.P. Kg/cm ²	NOTE
			carotaggio	tipo prof. mt.					
0.00									
0.20						Asfalto.			
			0.20 △ 0.80 0.80 △ 1.30 1.30 △ 1.80			Ghiaia, ciottoli e trovanti con sabbia media e fine da debolmente a limosa, rari frammenti di mattoni.			
1.80									

Figura 17: Stratigrafia trincea TB

TRINCEA
N° TC
DATA
19.03.2024

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	CAMPIONI	H ₂ O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	K cm/s	P.P. Kg/cmq	NOTE
			carotaggio					
0.00			tipo	prof. mt.				
0.50					Ghiaia e ciottoli con sabbia da grossolana a fine, colore grigio.			
			0.00 △ 0.70					
			0.70 △ 1.50		Sabbia media e fine limosa con ghiaia eterometrica e locale presenza materiale biancastro.			
2.00			1.50 △ 2.00					

Figura 18: Stratigrafia trincea TC

TRINCEA
N° TD
DATA
19.03.2024

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	CAMPIONI	H ₂ O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	K cm/s	P.P. Kg/cmq	NOTE
			carotaggio					
0.00			tipo	prof. mt.				
0.20					Asfalto.			
			0.00 △ 0.50					
			0.50 △ 1.00		Sabbia media e fine di colore nocciola con ghiaia media e fine.			
1.50			1.00 △ 1.50					

Figura 19: Stratigrafia trincea TD

Le trincee scavate in sito, lungo il percorso della tubazione in progetto, con profondità medie comprese tra i 1,5 e i 2 metri da p.c. hanno permesso di caratterizzare i terreni dal punto di vista litologico. Fatta salva la trincea TA, caratterizzata da depositi di riporto, i terreni presenti sono generalmente costituiti da sabbie e ghiaie di colore nocciola localmente limose.

9.2 Settore ovest – impianto di potabilizzazione dell'acqua

9.2.1 Stratigrafia del terreno

Nel settore coincidente con il nuovo impianto di potabilizzazione delle acque è stato effettuato il sondaggio SA, che ha restituito la seguente stratigrafia:

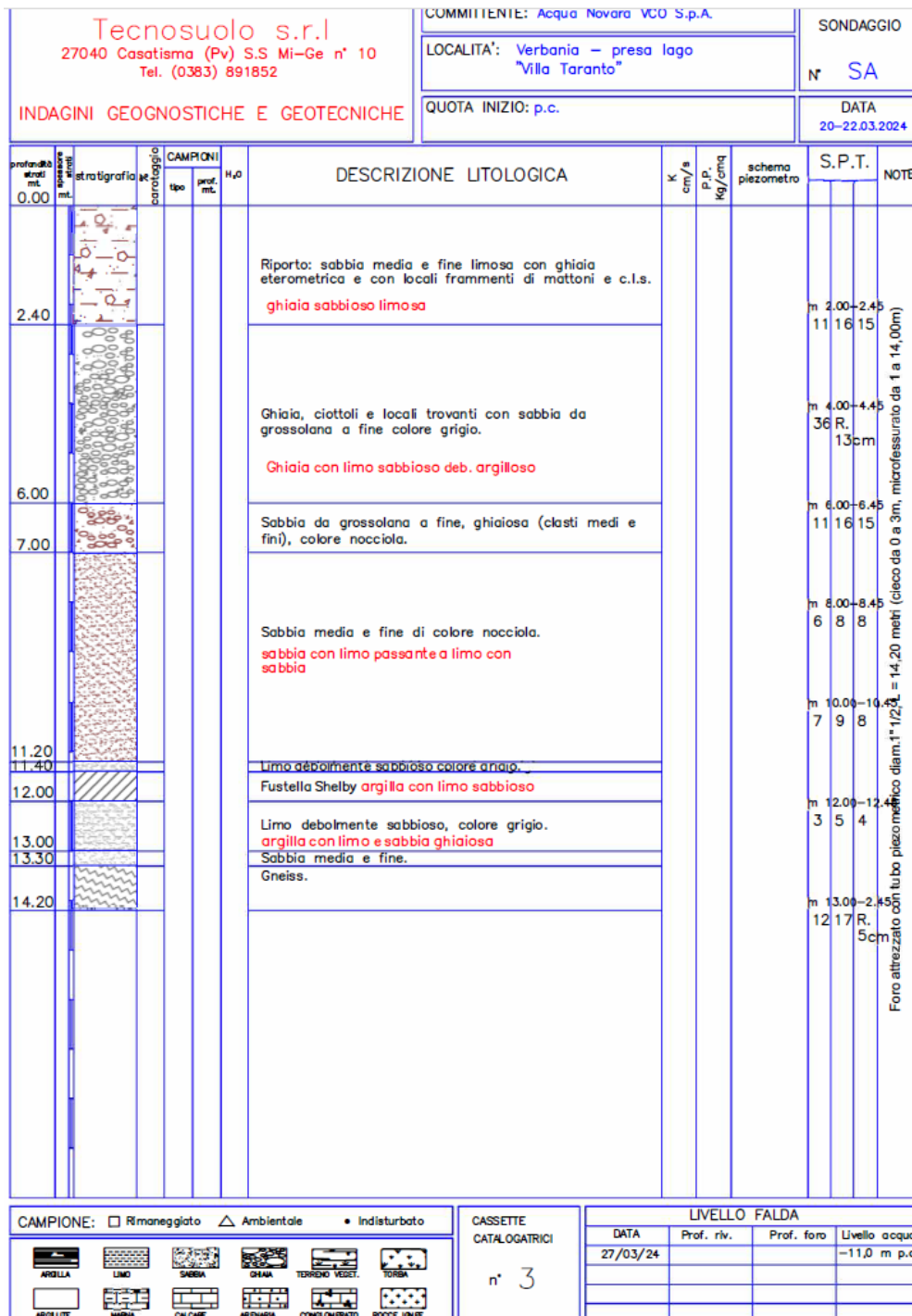


Figura 20: Stratigrafia sondaggio SA – in rosso le descrizioni AGI dalle analisi granulometriche

9.2.2 Classificazione granulometrica

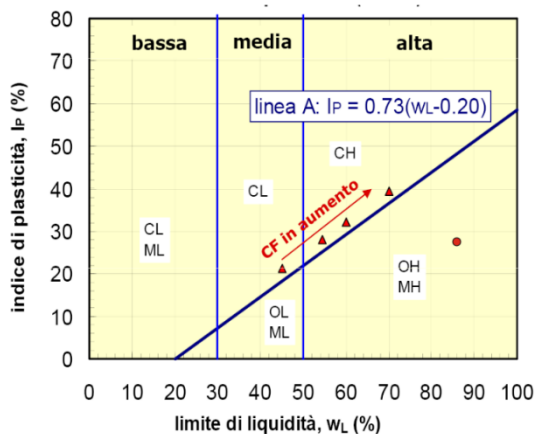
GRANULOMETRIE

Si riporta una sintesi delle prove granulometriche effettuate in laboratorio

Parametri	Fisici	-- SA da 0 a 2	-- SA da 4 a 5	-- SA da 8 a 9	-- SA da 10 a 11	-- SA da 12 a 13	-- SA da 14 a 15
USCS	Ghiaia (%)	58,35	38,12	0,22	0,00	7,67	0,00
	Sabbia (%)	27,11	18,48	61,56	45,95	28,09	22,77
	Fine (%)	14,54	43,40	38,22	54,05	64,24	77,23
	Nome	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	MH
ONRUNI	Nome	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	A7-5
AG	Qotoli (%)		39,93				
	Ghiaia (%)	63,80	41,75	0,26	0,00	10,25	0,00
	Sabbia (%)	21,74	15,89	63,07	48,15	25,82	22,82
	Limo (%)	13,41	36,45	33,99	50,57	27,43	30,00
	Argilla (%)	1,05	5,91	2,68	1,28	36,50	47,18

Figura 21: Tabella di sintesi delle granulometrie

LIMITI DI ATTERBERG



fu M = limi
C = argille
O = sostanze organiche
L = bassa plasticità
H = alta plasticità

ML	Limi inorganici da bassa a media plasticità
CL	Argille inorganiche da bassa a media plasticità
OL	Limi e argille organiche di bassa plasticità
MH	Limi inorganici di alta plasticità
CH	Argille inorganiche di alta plasticità
OH	Argille organiche da media a alta plasticità

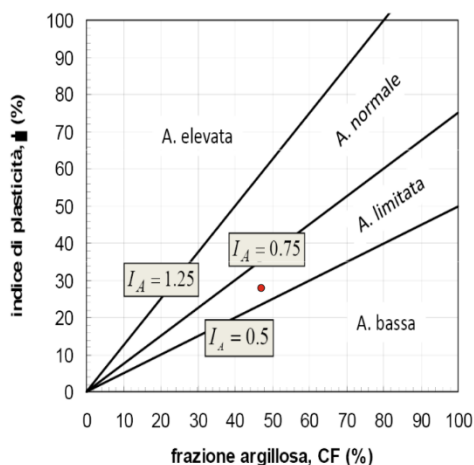


Figura 23: Grafico tra indici di plasticità e frazione argillosa

Dai risultati di laboratorio il terreno si classifica come argilla limosa inorganica ad alta plasticità ed attività limitata.

SINTESI DEI RISULTATI

			0-2 m	4-5 m	8-9 m	10-11 m	12-13 m	11.4 -12 m
			19.04.2024	19.04.2024	19.04.2024	19.04.2024	19.04.2024	19.04.2024
Limite Liquido	(WL)	%	-	-	-	-	-	86
Limite Plastico	(WP)	%	-	-	-	-	-	58
Indice di Plasticità	(IP)	%	-	-	-	-	-	28
Indice di Gruppo	(IG)		-	-	-	-	-	19
AGI			Ghiaia sabbioso limosa	Ghiaia con limo sabbioso debolmente argilloso	Sabbia con limo	Limo con sabbia	Argilla con limo e sabbia ghiaiosa	Argilla con limo sabbioso

Figura 24: Tabella di sintesi delle granulometrie

9.2.3 Permeabilità del terreno – Prova Lefranc

Si riportano i risultati della prova Lefranc effettuata nel sondaggio SA

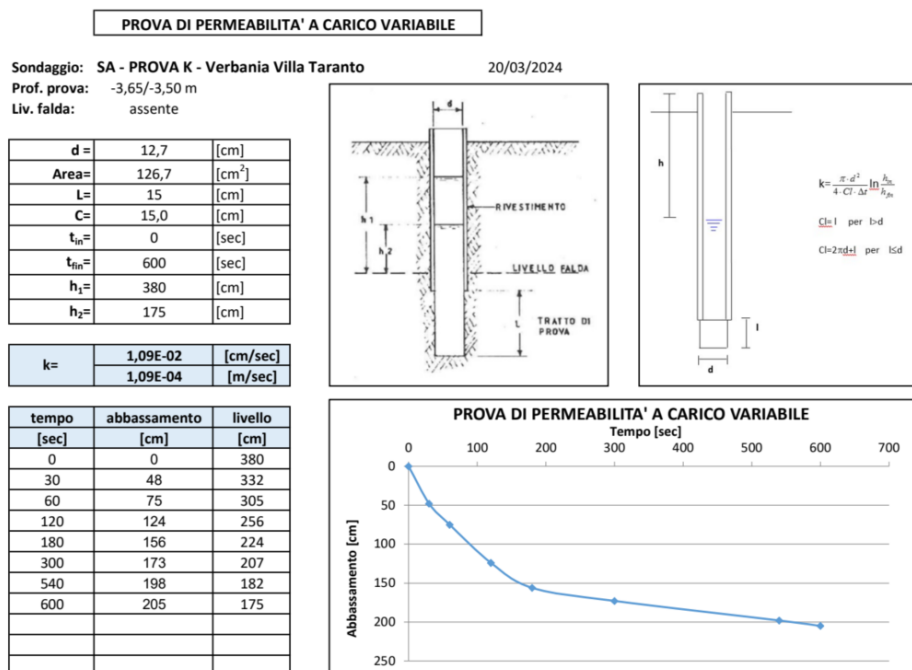


Figura 25: Risultati della Prova Lefranc

Coefficiente di permeabilità K (m/s)		10 ¹	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Granulometria	Omogenea	Ghiaia			Sabbia		Sabbia fine			Silt		Argilla		
	Varia	Ghiaia grossa e media		Ghiaia e sabbia		Sabbia con argilla e limi								
Gradi di permeabilità		ELEVATA			BUONA			BASSA			NULLA			
Tipi di formazioni		PERMEABILI					SEMI-PERMEABILI					IMPERMEABILI		

(G. Castany, 1963)

Figura 26: Tabella dei coefficienti di permeabilità secondo Castany, 1963

I terreni hanno una permeabilità di $1.09 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$, valutabile come BUONA secondo Castany, 1963.

9.2.4 Prove SPT

SPT SA

Litologia	Prof. <i>m</i>	N <i>N</i>	CB <i>65-115</i>	CS <i>Mohan</i>	CR	N ₆₀	peso terreno <i>t/mc</i>	tensione totale <i>t/mq</i>	pressione neutra <i>t/mq</i>	tensione efficace <i>Kg/cmq</i>	CN	N ₁₆₀
Ghiaia sabbioso limosa	2.00	31	1	0.75	0.75	17	1.86	3.72	0.00	0.37	1.26	22
Ghiaia con limo sabbioso	4.00	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sabbia ghiaiosa	6.00	31	1	0.75	0.95	22	1.90	12.70	0.00	1.27	0.92	20
Sabbia con limo	8.00	16	1	0.75	0.95	12	1.75	16.20	0.00	1.62	0.76	9
Limo con sabbia	10.00	17	1	0.75	1.00	13	1.76	19.71	0.00	1.97	0.67	9
Argilla con limo	12.00	9	1	0.75	1.00	7	1.61	22.94	1.00	2.19	0.63	4
Gneiss	13.00	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 27: Tabella risultati prove SPT

n.	Interpretazione Litologica	Prof. <i>m</i>	N ₁₆₀	γ KN/m ³	D _R %	Φ'° De Mello	Φ'° Wolff/ <u>RBS</u>	E kg/cm ² Sch. / <u>Mez</u>	E25 kg/cm ² Stroud	M kg/cm ² Mezenbach
1	Ghiaia sabbioso limosa	2.00	22	18.6	59	29.1	33.4	209	95	220
2	Ghiaia con limo sabbioso	4.00	R	-	-	-	-	-	-	-
3	Sabbia ghiaiosa	6.00	20	19.0	49	29.1	33.0	265	114	269
4	Sabbia con limo	8.00	9	17.5	35	26.4	26.7	88	71	92
5	Limo con sabbia	10.00	9	17.6	35	26.3	26.3	92	74	95
6	Argilla con limo	12.00	4	16.1	25	23.7	23.0	51	45	68
7	Gneiss	13.00	R	-	-	-	-	-	-	-

Figura 28: Tabella Elaborazioni prove SPT

9.2.5 Prove di laboratorio

PROVA DI TAGLIO

Si riporta di seguito la sintesi dei risultati delle prove di taglio:

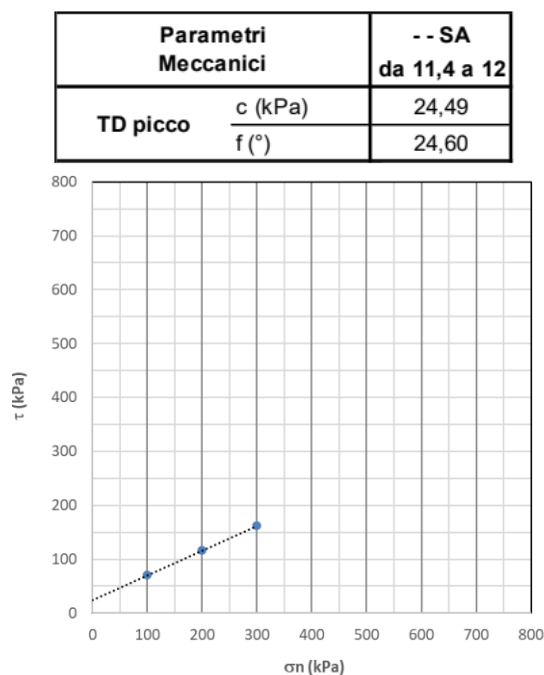


Figura 29: Risultati prova di taglio

PROVA EDOMETRICA

Utilizzando il metodo grafico di Casagrande, riportato di seguito, si ottiene il valore della pressione di preconsolidazione, pari a 200 kPa, a fronte di una tensione verticale efficace, alla profondità di 11.5 m pari a 207 kPa.

Il rapporto σ'_p / σ'_{v0} risulta pari a 0.97, ad indicare un terreno normalconsolidato.

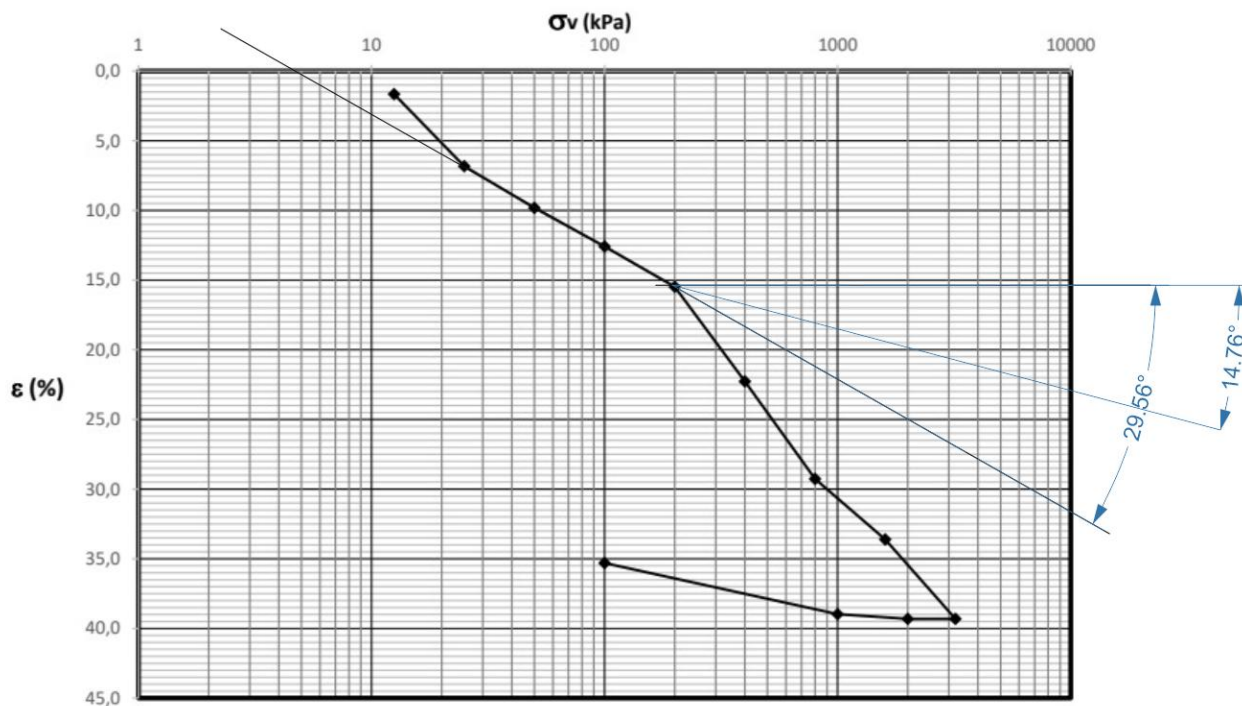


Figura 30: Risultati prova edometrica

9.2.6 Parametri dei terreni

Le Norme Tecniche richiedono, per la scelta dei valori caratteristici, un procedimento in due fasi:

Identificazione dei parametri appropriati al progetto: in caso di modesti volumi coinvolti è preferibile ricorrere al ϕ_{cv} mentre con grandi volumi di terreno coinvolti, può essere utilizzato il valore del ϕ' ;

Valutazione dei valori caratteristici: valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con compensazione delle eterogeneità, o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di sufficiente rigidità; valori prossimi ai minimi invece sono giustificati quando sono coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo o in caso di strutture non sufficientemente rigide.

Il calcolo dei valori caratteristici è stato effettuato con la seguente formula, valida con pochi dati (media ignota e variabilità nota o estrapolabile), per grandi volumi di rottura (5° percentile di distribuzione della media - ϕ'_k):

$$x_k = \bar{x} - 1.645 \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

\bar{x} con barra valore medio del parametro geotecnico;

σ deviazione standard;

n numero campioni;

il coefficiente di variazione, ottenuto dal rapporto tra deviazione standard e parametro medio, è stato valutato in base alle indicazioni di bibliografia ed al numero di dati disponibili;

X = -1,645: valore fissato dall'EC7, corrispondente a una probabilità di non superamento del 5% in una distribuzione Gaussiana.

Per la stima dei valori caratteristici E ed M, è stato utilizzato il parametro medio

Per la stima dei valori caratteristici della coesione, per grandi volumi di rottura e pochi dati, si utilizza la formula di Cox, con un COV pari al 30% e media campione uguale al valore del singolo dato o media popolazione:

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$$

La parametrizzazione geotecnica risulta la seguente:

n.	Interpretazione Litologica	N ₁₆₀	γ _{med} KN/m ³	Φ° _{med} De Mello	Φ°° _{med} Wolff/RBS	COV	Φ° _k De Mello	Φ°° _k Wolff/RBS	E _{med} kg/cm ²	E _{25 med} kg/cm ²	M med kg/cm ²	C _k (KPa)
1	Ghiaia sabbiosa/sabbia ghiaiosa	21	18.8	29.1	33.2	6	27	31	237	104	244	-
2	Sabbia con limo/limo con sabbia	9	17.5	26.3	26.5	7	24	24	90	72	93	-
3	Argilla con limo	4	16.1	24.1	23.8	5	23	23	51	45	68	14

Figura 30: Tabella dei parametri dei terreni

9.2.7 Modello geologico e geotecnico

Il sottosuolo in esame è caratterizzato dalla presenza di sedimenti medio - grossolani (ghiaie e sabbie) con buone caratteristiche geotecniche, fino ad una profondità di circa 6 – 7 metri, al di sotto di uno strato di terreni di riporto con spessore di circa 2,5 metri. Al di sotto dei sedimenti grossolani troviamo terreni sabbiosi con discrete caratteristiche geotecniche fino a circa 11 metri, seguiti da argille limose con scarse proprietà geotecniche.

9.2.8 Indagine sismica

Al fine di ottenere i valori della Vs30 del sito oggetto di intervento è stata effettuata un'indagine sismica MASW, indicata in carta come L1, di cui si riporta i risultati.

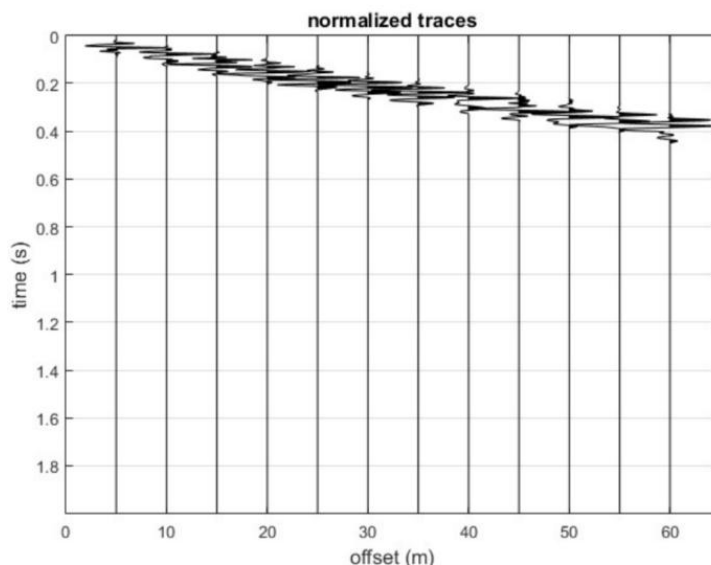


Figura 31: Sismogramma ZVF

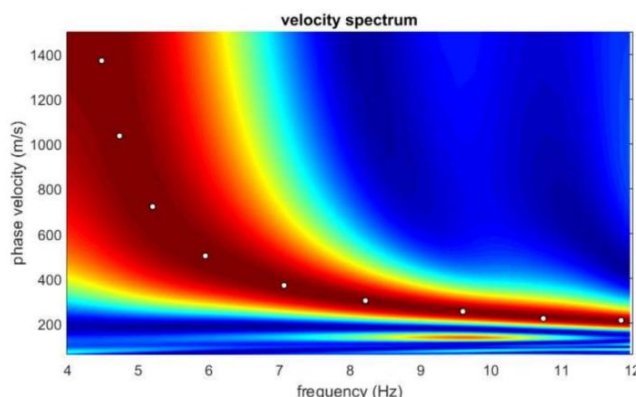


Figura 32: Spettro di velocità

L1		
Spessore (m)	Profondità (m)	V _s (m/sec)
2,2	0,0-2,2	207
2,4	2,2-4,6	283
2,1	4,6-6,7	266
1,8	6,7-8,5	288
3,7	8,5-12,2	302
1,9	12,2-14,1	264
4,2	14,1-18,3	445
5,5	18,3-23,8	498
3,3	23,8-27,1	544
2,9	27,1-30,0	565

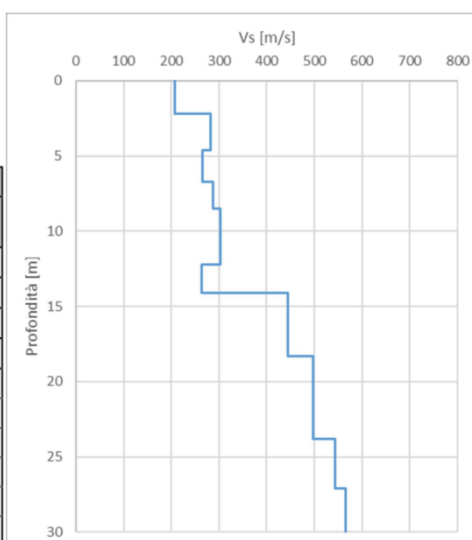


Figura 33: Tabella e diagramma delle velocità

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Figura 34: Categorie di sottosuolo

Il sottosuolo è formato da un terreno di tipo C con categoria topografica T1.

9.3 Settore est - impianto di presa

9.3.1 Stratigrafia del terreno

Nel settore presso il parcheggio di Villa Taranto, sul lungolago dove verrà posta l'opera di captazione delle acque, è stato effettuato il sondaggio SB, che ha restituito la seguente stratigrafia:

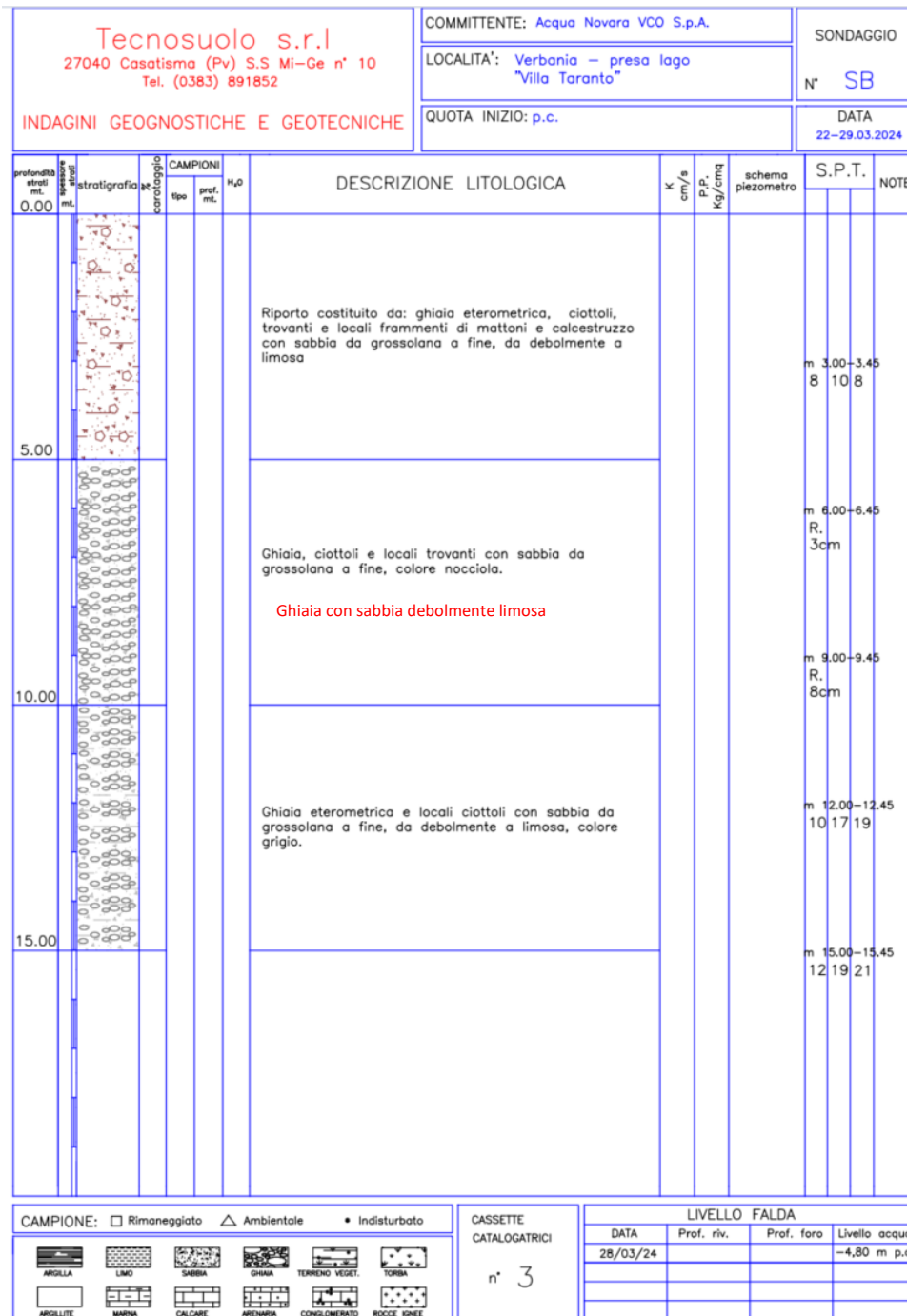


Figura 35: Stratigrafia sondaggio SB

9.3.2 Classificazione granulometrica

GRANULOMETRIE

Si riporta una sintesi delle prove granulometriche effettuate in laboratorio

Parametri Fisici		--SB da 0 a 2	--SB da 3 a 5	--SB da 6 a 7	--SB da 12 a 15
USCS	Ghiaia (%)	52,82	48,32	47,90	53,28
	Sabbia (%)	21,13	35,97	46,70	34,61
	Fine (%)	26,05	15,71	5,40	12,11
	Nome	N.E	N.E	N.E	N.E
ONRUNI	Nome	N.E	N.E	N.E	N.E
AGI	Qotoli (%)	29,03			
	Ghiaia (%)	57,18	54,67	52,59	59,20
	Sabbia (%)	16,92	29,74	42,05	28,76
	Limo (%)	23,43	13,30	5,22	10,39
	Argilla (%)	2,47	2,29	0,14	1,65

Figura 36: Tabella di sintesi delle granulometrie

SINTESI DEI RISULTATI

		0-2 m 19.04.2024	3-5 m 19.04.2024	6-7 m 19.04.2024	12-15 m 19.04.2024
AGI		Ghiaia limoso sabbiosa con tracce di argilla	Ghiaia con sabbia limosa con tracce di argilla	Ghiaia con sabbia debolmente limosa	Ghiaia con sabbia limosa

Figura 37: Tabella di sintesi delle litologie

9.3.3 Permeabilità del terreno – Prova Lefranc

Si riportano i risultati della prova *Lefranc* effettuata nel sondaggio SB.

PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE

Sondaggio: SB - PROVA K - Verbania Villa Taranto

22/03/2024

Prof. prova: -3,0/-3,15 m

Liv. falda: assente

d =	12,7	[cm]
Area =	126,7	[cm ²]
L =	15	[cm]
C =	15,0	[cm]
t _{in} =	0	[sec]
t _{fin} =	600	[sec]
h ₁ =	330	[cm]
h ₂ =	223	[cm]

k =	5,52E-03	[cm/sec]
	5,52E-05	[m/sec]

tempo [sec]	abbassamento [cm]	livello [cm]
0	0	330
30	33	297
60	51	279
120	75	255
180	86	244
300	98	232
540	105	225
600	107	223

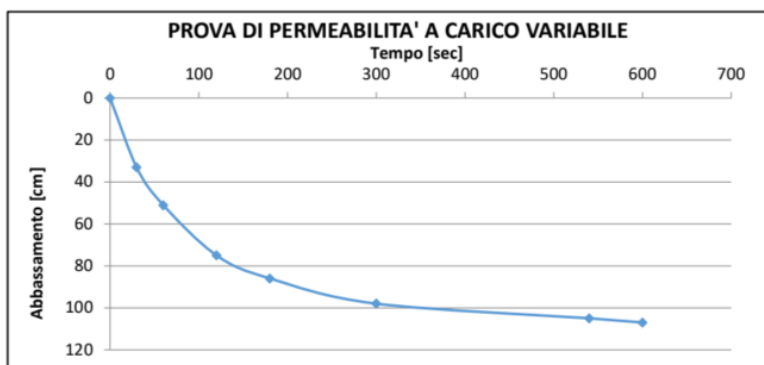
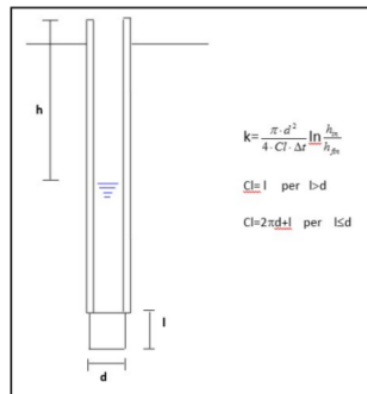
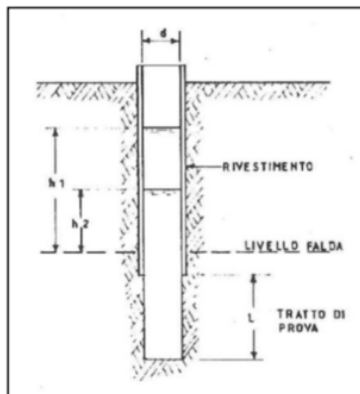


Figura 38: Risultati della Prova Lefranc

Coefficiente di permeabilità K (m/s)		10 ¹	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	
Granulometria	Omogenea	Ghiaia			Sabbia		Sabbia fine			Silt		Argilla			
	Varia	Ghiaia grossa e media		Ghiaia e sabbia		Sabbia con argilla e limi									
Gradi di permeabilità		ELEVATA			BUONA			BASSA			NULLA				
Tipi di formazioni		PERMEABILI						SEMI-PERMEABILI					IMPERMEABILI		

(G. Castany, 1963)

Figura 39: Tabella dei coefficienti di permeabilità secondo Castany, 1963

I terreni hanno una permeabilità di $5.52 \cdot 10^{-5}$ m/s, tra BUONA e BASSA secondo Castany, 1963

9.3.4 Prove SPT

SPT SB

Litologia	Prof. m	N	CB	CS	CR	N ₆₀	peso terreno t/mc	tensione totale t/mq	pressione neutra t/mq	tensione efficace Kg/cm ²	CN	N ₁₆₀
Riporto	3.00	18	1	0.75	0.75	10	1.72	5.17	0.00	0.52	1.19	12
Ghiaia con sabbia	6.00	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R
Ghiaia con sabbia	9.00	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R
Ghiaia con sabbia	12.00	36	1	0.75	1.00	27	1.93	26.43	7.40	1.90	0.77	21
Ghiaia con sabbia	15.00	40	1	0.75	1.00	30	1.95	32.27	10.40	2.19	0.72	22

Figura 40: Tabella risultati prove SPT

n.	Interpretazione Litologica	Prof. m	N ₁₆₀	γ KN/m ³	D _R %	Φ' ^o De Mello	Φ' ^o Wolff	E Schmertmann kg/cm ²	E25 Stroud kg/cm ²	M Mezenbach kg/cm ²
1	Riporto	2.00	12	17.2	40	26.9	30.6	-	-	-
2	Ghiaia con sabbia	4.00	R	-	-	-	-	-	-	-
3	Ghiaia con sabbia	6.00	R	-	-	-	-	-	-	-
4	Ghiaia con sabbia	8.00	21	19.3	51	29.2	33.1	324	133	358
5	Ghiaia con sabbia	10.00	22	19.5	52	29.3	33.3	360	145	393

Figura 41: Tabella Elaborazioni prove SPT

9.3.5 Parametri dei terreni

Le Norme Tecniche richiedono, per la scelta dei valori caratteristici, un procedimento in due fasi:
Identificazione dei parametri appropriati al progetto: in caso di modesti volumi coinvolti è preferibile ricorrere al ϕ_{cv} mentre con grandi volumi di terreno coinvolti, può essere utilizzato il valore del ϕ' ;

Valutazione dei valori caratteristici: valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con compensazione delle eterogeneità, o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di sufficiente rigidità; valori prossimi ai minimi invece sono giustificati quando sono coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo o in caso di strutture non sufficientemente rigide.

Il calcolo dei valori caratteristici è stato effettuato con la seguente formula, valida con pochi dati (media ignota e variabilità nota o estrapolabile), per grandi volumi di rottura (5° percentile di distribuzione della media - ϕ'_k):

$$x_k = \bar{x} - 1.645 \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

X con barra valore medio del parametro geotecnico;

σ deviazione standard;

n numero campioni;

il coefficiente di variazione, ottenuto dal rapporto tra deviazione standard e parametro medio, è stato valutato in base alle indicazioni di bibliografia ed al numero di dati disponibili;

X = -1,645: valore fissato dall'EC7, corrispondente a una probabilità di non superamento del 5% in una distribuzione Gaussiana.

Per la stima dei valori caratteristici E ed M, è stato utilizzato il parametro medio

La parametrizzazione geotecnica risulta la seguente:

n.	Interpretazione Litologica	N ₁₆₀	γ_{med} KN/m ³	Φ°_{med} De Mello	Φ°_{med} Wolff	COV	Φ°_k De Mello	Φ°_k Wolff	E _{med Sch} kg/cm ²	E _{25 med Str} kg/cm ²	M med Me _z kg/cm ²
1	Riporto	12	17.2	26.9	30.6	8	23	27	-	-	-
2	Ghiaia con sabbia	21	19.4	29.2	33.2	6	27	31	342	139	375

Figura 42: Tabella dei parametri dei terreni

9.3.6 Modello geologico e geotecnico

Il sottosuolo in esame è caratterizzato dalla presenza di sedimenti medio - grossolani (ghiaie e sabbie) con buone caratteristiche geotecniche, al di sotto di uno strato di terreni di riporto con spessore di circa 5 metri.

9.3.7 Indagine sismica

Al fine di ottenere i valori della Vs30 del sito oggetto di intervento è stata effettuata un'indagine sismica MASW, indicata in carta come L2, di cui si riporta i risultati.

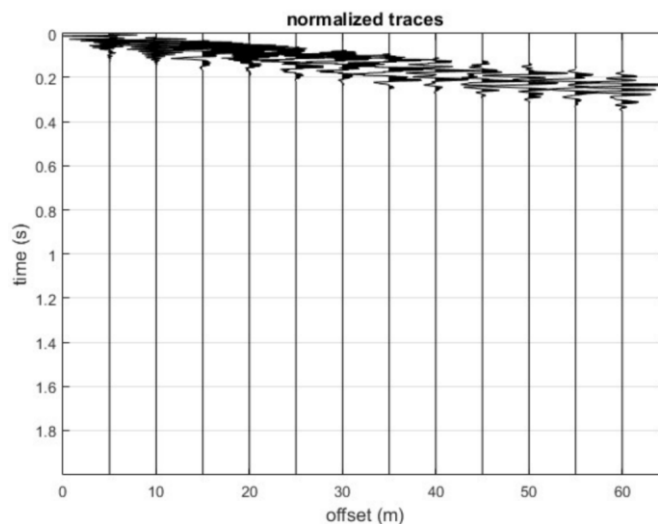


Figura 43: Sismogramma ZVF

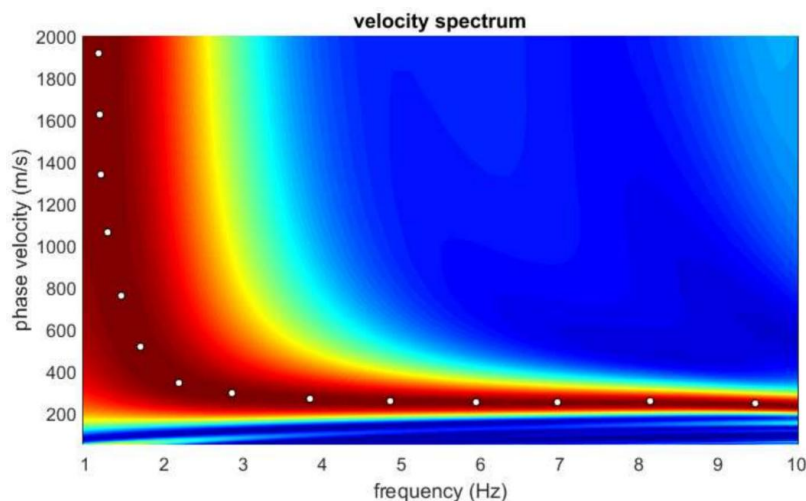


Figura 44: Spettro di velocità

L2		
Spessore (m)	Profondità (m)	V _s (m/sec)
1,2	0,0-1,2	176
2,2	1,2-3,4	231
2,4	3,4-5,8	212
3,9	5,8-9,7	264
5,7	9,7-15,4	363
4,7	15,4-20,1	387
5,4	20,1-25,5	413
4,5	25,5-30,0	457

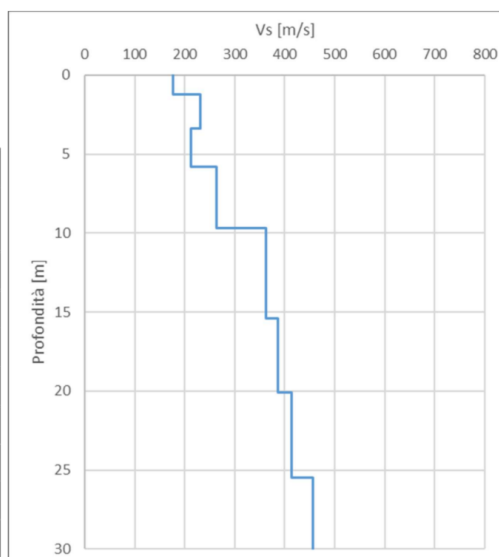


Figura 45: Tabella e diagramma delle velocità

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Figura 46: Categorie di sottosuolo

Il sottosuolo è formato da un terreno di tipo C con categoria topografica T1.

10 STIMA DEI PARAMETRI SISMICI

Geostru PS consente di individuare la pericolosità sismica secondo le **NTC** di tutte le località Italiane direttamente su mappa geografica. I due siti hanno uguale categoria di sottosuolo e topografica (C, T1) e appartengono alla stessa maglia; la stima dei parametri sismici è quindi identica per tutti e due i siti.

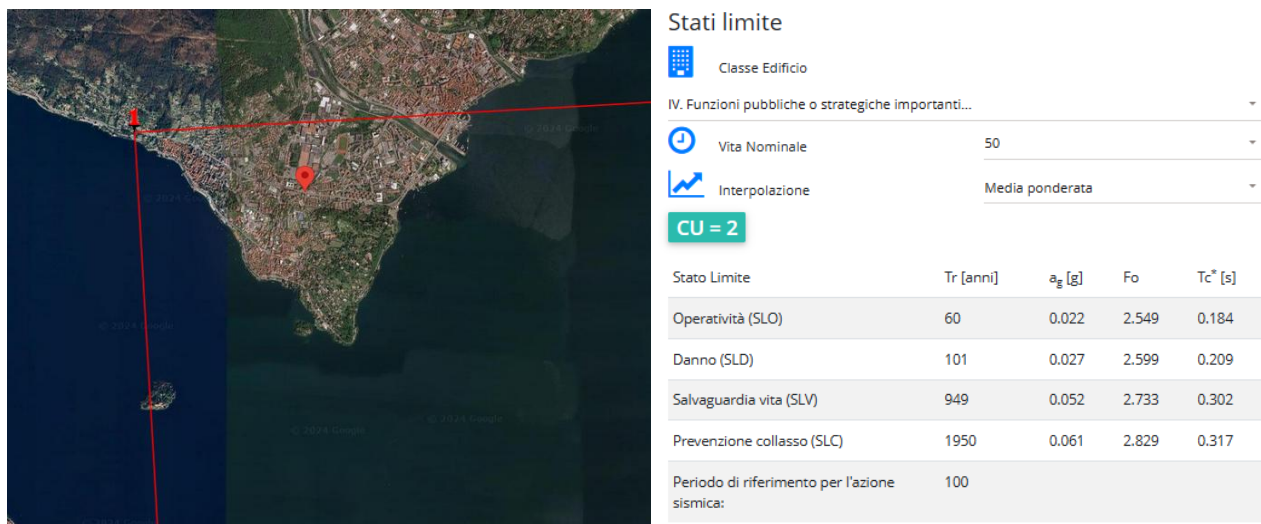


Figura 47: Localizzazione intervento e tabella stati limite

Coefficienti sismici

Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

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

H (m) 1 us (m) 0.1

Cat. Sottosuolo C

Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,50
CC Coeff. funz categoria	1,83	1,76	1,56	1,53
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.007	0.008	0.016	0.018
kv	0.003	0.004	0.008	0.009
Amax [m/s ²]	0.319	0.397	0.765	0.902
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

Figura 48: Tabella coefficienti sismici

11 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

La normativa richiede di valutare l'eventuale suscettibilità dei terreni di fondazione alla liquefazione, cioè una perdita di resistenza al taglio e/o di rigidità dovuta all'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico che possa produrre deformazioni permanenti significative, o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno tuttavia la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti cinque circostanze:

- Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 1 seguente nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Figura 2 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$. (U_c rapporto D_{60}/D_{10} , dove D_{60} e D_{10} sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa).

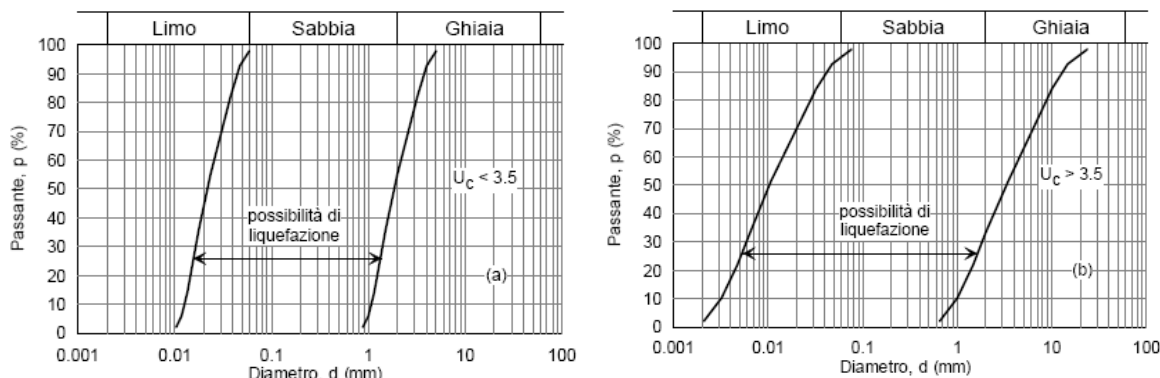


Figura 49: Tabella distribuzioni granulometriche

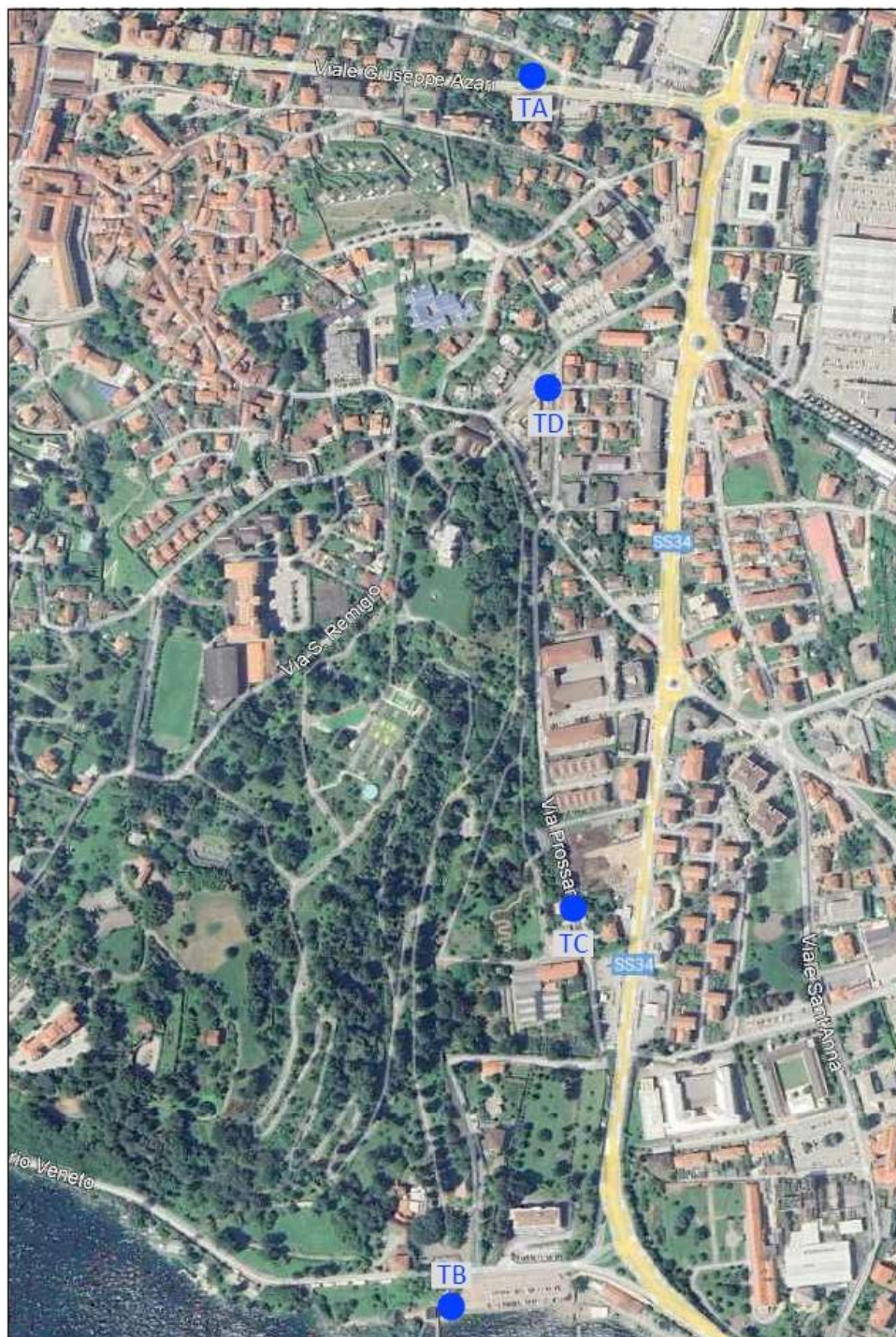
Relativamente al punto 1, sulla base dei parametri sismici individuati nel corso delle indagini sismiche che hanno fornito un valore di $a_{max} = 0.765$, che va diviso per il valore di g pari a 9.81 m/s^2 , la condizione $ag < 0.1g$ risulta soddisfatta per tutti i settori del progetto.

12 CAMPIONAMENTI TERRE E ROCCE DA SCAVO

Acqua Novara VCO S.p.A. ha affidato alla ditta Tecnosuolo S.r.l. l'incarico di eseguire campionamenti ambientali del terreno, mediante la realizzazione di quattro trincee spinte fino a una profondità di 1,5/2,0 m da pc. e ubicate lungo il tracciato della tubazione, in prossimità dei punti di indagine geotecnica.

L'obiettivo di tali campionamenti è verificare la possibilità di un eventuale riutilizzo in cantiere del terreno estratto, in conformità con quanto previsto dalla normativa "terre e rocce da scavo" – DPR 120/17.

Nello stralcio riportato di seguito sono state ubicate le trincee oggetto di campionamento.



Per ciascuna trincea sono stati prelevati tre campioni, come previsto dall'Allegato 2 del DPR 120/17: uno superficiale, uno intermedio e uno a fondo scavo.

Poiché i campionamenti sono stati effettuati lungo la viabilità, i risultati ottenuti sono stati confrontati con le CSC stabilite dal D.Lgs. n. 152 del 03/04/2006, Parte IV, Allegato 5, Tabella 1, Colonna B, che indica i limiti di soglia per il suolo e il sottosuolo in siti destinati a uso commerciale e industriale.

I parametri considerati sono i seguenti:

- **Metalli pesanti: (As, Cd, Co, Cr, CrVI, Cu, Hg, Pb, Ni, Zn)**
- **Idrocarburi C>12**
- **BTEX**
- **IPA**
- **Amianto**

I campioni prelevati sono stati inviati al laboratorio Indam S.r.l., accreditato ACCREDIA n. 0059L, per l'esecuzione delle analisi chimiche previste.

I risultati delle analisi, di cui si riportano in allegato i RdP, evidenziano la piena conformità dei risultati rispetto alle CSC previste dal D.Lgs. n.152 del 03/04/2006 - Parte IV - Allegato 5 Tabella 1 Colonna B- Limiti di soglia nel suolo e nel sottosuolo per siti ad uso commerciale, industriale.

13 CONCLUSIONI

Nello specifico si riassumono i seguenti aspetti:

- le indagini eseguite hanno permesso di ricostruire i modelli geologici dei siti interessati dall'intervento in progetto;
- in corrispondenza del parcheggio "Villa Taranto", nel punto in cui andrà collocata l'opera di presa, i terreni sono costituiti da depositi di riporto e da ghiaie e sabbie con buone caratteristiche geotecniche;
- presso l'impianto di potabilizzazione si trovano depositi di riporto e depositi grossolani con buone proprietà geotecniche sino a circa 7 m di profondità, seguiti da sedimenti sabbioso limosi ed argillosi, con caratteristiche geotecniche inferiori;
- lungo il percorso della tubazione i terreni sono costituiti da sabbie e ghiaie poco addensate;
- la falda freatica risulta collocata a circa 11 metri da p.c. presso l'impianto di potabilizzazione e a quota lago presso il parcheggio "Villa Taranto".
- è stata fornita una parametrizzazione dei terreni attraversati, utilizzando i dati ricavati dalle prove SPT, dai sondaggi e dalle analisi di laboratorio;
- la categoria di sottosuolo risulta di tipo C, quella topografica di tipo T1;
- Il PGRA colloca l'area dell'opera di presa nello scenario con probabilità elevata di allagamento, per esondazione del Lago Maggiore.

Sotto l'aspetto delle modalità operative da prendere in considerazione nella fase esecutiva dell'intervento, si richiamano le seguenti indicazioni:

- le terre e rocce da scavo dovranno essere gestite con le modalità previste dal DPR 120/2017;
- eventuali scavi verticali dovranno essere adeguatamente sostenuti con opere provvisorie, come da disposizioni normative vigenti, con particolare riferimento agli scavi per la posa della condotta lungo le strade comunali; in alternativa, gli scavi dovranno essere provvisti di adeguati angoli di scarpa, da verificare in fase esecutiva, in funzione delle profondità da raggiungere.
- quanto in progetto andrà comunque realizzato a regola d'arte e tenendo sempre in preminente considerazione, in ogni fase e circostanza, la stabilità generale dell'area e dei manufatti esistenti. La validità delle ipotesi di progetto dovrà, comunque, essere verificata durante la realizzazione dei manufatti considerando, oltre ai dati raccolti in questa fase, anche quelli ottenuti con misure ed osservazioni nel corso dei lavori per adeguare, eventualmente, l'opera alle situazioni riscontrate.

Al termine delle considerazioni riassunte ai punti precedenti è possibile affermare che, alle condizioni sopra esposte, la realizzazione di quanto in progetto risulterà compatibile con l'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico locale, sia considerando il punto di vista geologico-tecnico sia circa la stabilità dell'area di prevista trasformazione.