

ALTO TREVIGIANO SERVIZI S.r.l.

MONTEBELLUNA



ALTO TREVIGIANO SERVIZI

**REALIZZAZIONE DI FOGNATURA NERA IN ATTRAVERSAMENTO
DEL FIUME SILE E DELLA LINEA FERROVIARIA
TREVISO-UDINE A RIDOSSO DI PONTE DELLA GOBBA
IN COMUNE DI TREVISO**

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Tavola n.

R03.01

RELAZIONE GEOLOGICA

ALTO TREVIGIANO SERVIZI S.R.L.



ALTO TREVIGIANO SERVIZI

DIRETTORE - ing. Roberto Durigon
via Schiavonesca Priula, 86 - 31044 Montebelluna (TV)

Servizio Tecnico: UFFICIO NUOVE OPERE
tel. 0423-2928
fax 0423-292929
info@altotrevigianoservizi.it

PROGETTAZIONE



ing. Andrea Mazzetti - Enki s.r.l.

viale G.B. Lulli, 62 - 50144 Firenze
T. 055.3247209
info@enki.it

Data:

Novembre 2021

Aggiornato:

00

Codice Piano d'Ambito:

Codice commessa:

PROVINCIA DI TREVISO

COMUNE DI TREVISO



**RELAZIONE GEOLOGICA FINALIZZATA AL PROGETTO
DI REALIZZAZIONE DI FOGNATURA NERA IN
ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME SILE E DELLA LINEA
FERROVIARIA TREVISO-UDINE A RIDOSSO DEL PONTE
DELLA GOBBA IN COMUNE DI TREVISO**

COMMITTENTE:
ALTO TREVIGIANO SERVIZI

	n.° documento 090/2019/S	Data Settembre 2019	Certificato 090/2019/S-R
--	-----------------------------	------------------------	-----------------------------

Georicerche Srl
Sede Amministrativa
Via Veneto 1,
35020 Due Carrare (PD)
Tel. 049-9125045
Fax 049-9125122

Sede Legale
Via Z.I. Ora Nord, 5
39040 Ora (BZ)
Tel. 0471-279846

www.georicerche.com
mail@georicerche.com
C.F./P.Iva 02352180216
Cap. Soc. € 100.000,00 I.V.



INDICE

Capitolo	Pagina
1. PREMESSA	3
2. SITUAZIONE GEOLOGICO-STRATIGRAFICA GENERALE E LOCALE	6
3. ANALISI DEI VINCOLI E DELLE FRAGILITÀ DI NATURA GEOLOGICA	27
4. INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA	31
5. INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	33
6. ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO	52
7. MODELLO LITOSTRATIGRAFICO E DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI TERRENI	55
8. ATTIVITÀ PER LA VERIFICA DELLA QUALITÀ CHIMICA DEI TERRENI	62
9. CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI RELATIVE AL PROGETTO	63

1. PREMESSA

Per incarico e su indicazione della società Alto Trevigiano Servizi S.r.l. si redige la presente relazione geologica destinata alla determinazione delle caratteristiche meccaniche dei terreni, nell'ambito del progetto di realizzazione di una fognatura nera in attraversamento del fiume Sile e della linea ferroviaria Treviso-Udine a ridosso del Ponte della Gobba in comune di Treviso.

La relazione mira a delineare il modello geologico del terreno investigato a supporto della progettazione, in particolare nell'ottica di realizzare lo scavo con la tecnologia del *microtunneling*.



Fig. 1 Estratto di ripresa aerea da Google Earth con evidenziata l'area di indagine.

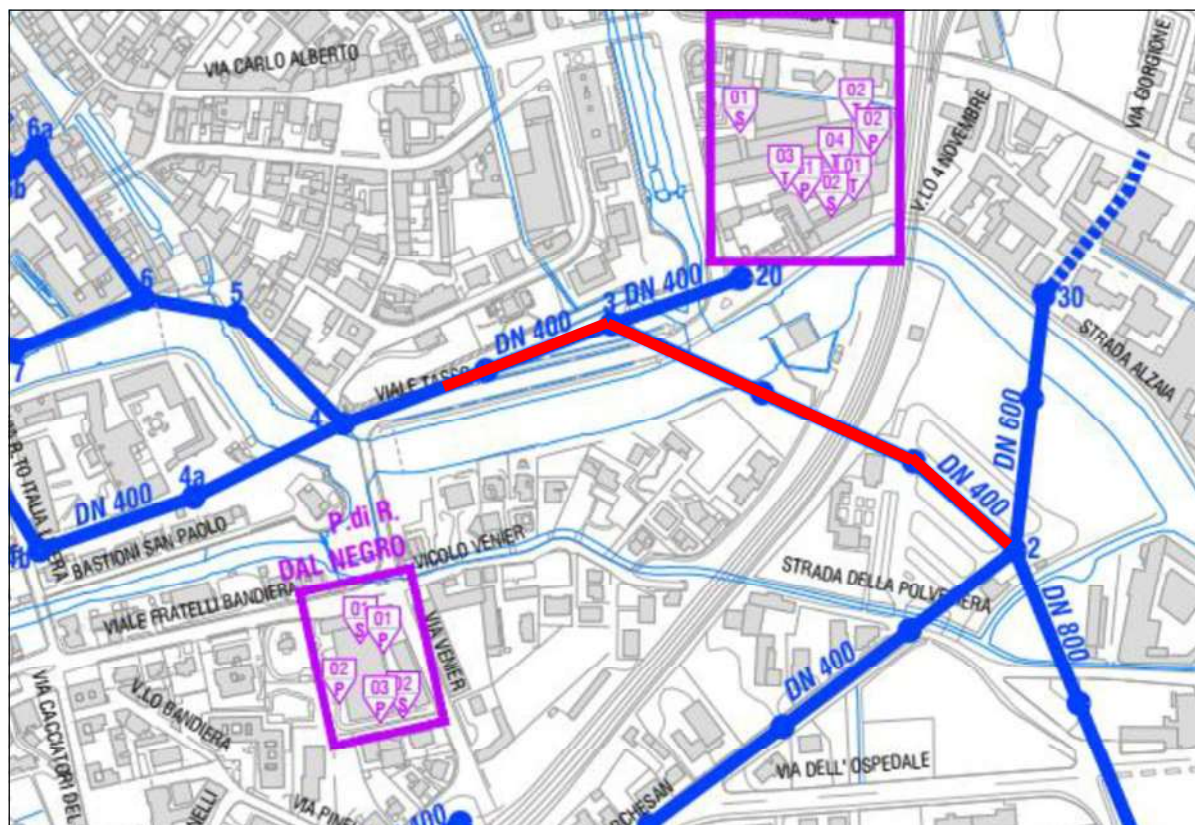


Fig. 2 Estratto di carta tecnica. Evidenziata in rosso la porzione di nuova condotta, oggetto di indagini, in attraversamento del Fiume Sile e della ferrovia.

La presente ricerca si basa sui dati forniti dall'esecuzione di:

- Nr. 2 prove penetrometriche dinamiche eseguite mediante l'utilizzo di penetrometro dinamico *Pagani TG63*, che hanno consentito di analizzare le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo fino alla profondità massima di 10.00 m da p.c.;
- Nr. 3 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità massima di 15.00 m da p.c. con l'esecuzione di prove SPT e Lefranc in avanzamento e la posa di tubi piezometrici all'interno dei fori di sondaggio;
- Prove di laboratorio geotecnico eseguite su campioni rimaneggiati prelevati nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo;
- Prove di laboratorio chimico su campioni prelevati nel corso dei carotaggi, al fine di fornire indicazioni sulla qualità ambientale dei terreni di scavo.

L'indagine è stata inoltre svolta in ottemperanza a quanto disposto dalle seguenti normative:

- ✓ Decreto Ministeriale 17/01/2018, recante: "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»";
- ✓ Norme A.G.I. (1977) relative all'esecuzione delle indagini geotecniche.

Alla presente relazione sono allegate:

- Planimetria generale di progetto con l'ubicazione delle prove e dei sondaggi in sito;
- Rapporti di prova delle prove penetrometriche dinamiche riportanti il diagramma che illustra il numero di colpi alle varie profondità, i valori di resistenza alla punta (Rpd) e stima stratigrafica;
- Tavole contenenti le colonne stratigrafiche con la descrizione dei terreni estratti nel corso dei sondaggi a rotazione, con la documentazione fotografica dei terreni attraversati;
- Proposta di parametri geotecnici dei terreni, attraversati durante le prove penetrometriche dinamiche e le prove SPT in foro di sondaggio, calcolati in relazione ai dati prodotti;
- Certificati relativi alle prove Lefranc realizzate nel corso dei sondaggi;
- Certificati del laboratorio geotecnico;
- Certificati di laboratorio chimico.

2.SITUAZIONE GEOLOGICO-STRATIGRAFICA GENERALE E LOCALE

L'inquadramento riportato di seguito è stato eseguito tramite una ricerca bibliografica specifica relativa alla zona di pertinenza del progetto; in particolare si sono presi in considerazione ed a tratti si citano integralmente, gli studi geologici a supporto del P.A.T. comunale (stilato da: *arch. Giuseppe Cappochin* in collaborazione con il *dott. geol. Maurizio Olivotto*) e del "Piano d'Ambito" dell'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "Veneto Orientale" (redatto da: *Piave Servizi e Alto Trevigiano Servizi S.r.l.*).

L'area d'indagine si colloca ai margini sud orientali del nucleo storico della città di Treviso, in un'area a vocazione prettamente residenziale, che rientra a far parte di una più ampia zona pianeggiante localizzata al passaggio tra l'alta pianura e la bassa pianura veneta, compresa tra i fiumi Brenta e Piave; ossia nella porzione più meridionale dei conoidi alluvionali tardo-glaciali, formatisi allo sbocco in pianura dei corsi d'acqua sopracitati, che si interdigitano progressivamente con i depositi più fini della bassa pianura.

2.1 GEOLOGIA E LITOLOGIA

Dal punto di vista geologico, l'area si inserisce quindi nella porzione di Pianura Padana posta al passaggio fra i depositi di "Alta Pianura" e "Bassa Pianura", a ridosso della fascia delle risorgive. Ci troviamo in quella porzione di pianura dove il semplice ed omogeneo accumulo di materiali grossolani (che caratterizzano i depositi cosiddetti di "Alta Pianura") lascia il posto, gradualmente verso Sud – Sud Est, ad un sistema multistrato in cui i singoli letti ghiaiosi si assottigliano sempre più fino ad esaurirsi, penetrando entro depositi sempre più potenti di materiali fini limoso-argillosi, con il progressivo innalzamento della superficie piezometrica della falda freatica (sistema di "Bassa Pianura") (figura 3).

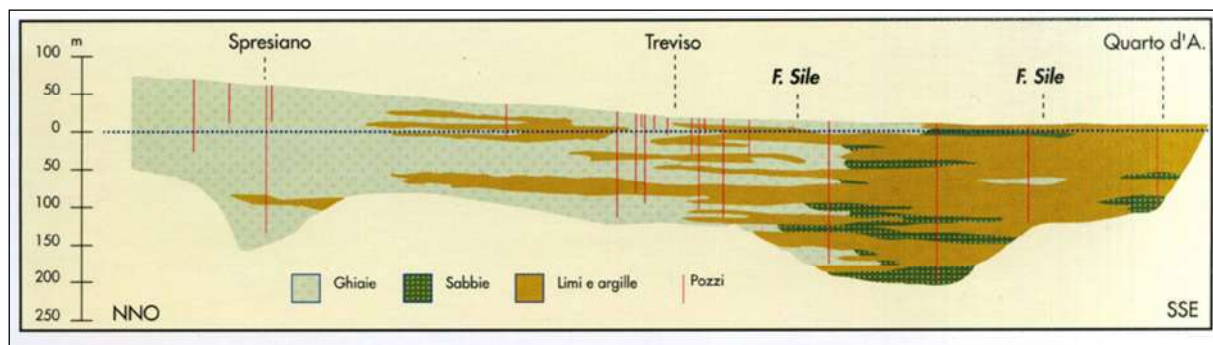


Fig. 3 Sezione tipo della Pianura Veneta.

Su scala regionale, dopo la trasgressione marina verificatasi durante il Quaternario inferiore, si registra una lunga fase di intenso apporto sedimentario che ha portato al progressivo riempimento del bacino marino, facendo regredire la linea di costa fino alla posizione attuale.

I principali fiumi che ne hanno contribuito alla formazione sono il Brenta ed il Piave per quanto concerne il territorio in esame.

L'emersione della pianura alluvionale non è stata un fenomeno regolare e costante, perché si sono alternati nel tempo fenomeni di sommersione e di emersione, correlabili rispettivamente con i periodi caldi interglaciali e con le glaciazioni.

La natura dei sedimenti è quindi di due tipi: fluvio-glaciale e marina. I sedimenti marini intercalati a quelli continentali sono da mettere in relazione alle regressioni e trasgressioni occorse in seguito ad oscillazioni glacioeustatiche e alle variazioni del rapporto tra apporto detritico e subsidenza mentre, quelli continentali, sono dovuti all'azione deposizionale dei corsi d'acqua principali che solcano la Pianura Padano-Veneta.

La distribuzione granulometrica dei sedimenti risulta comunque strettamente legata all'energia di trasporto degli eventi di divagazione dei corsi d'acqua ed evidenzia una diminuzione di granulometria spostandosi dall'alveo verso le zone laterali dei corsi d'acqua, con localizzazione di depositi più grossolani in corrispondenza dei paleoalvei.

In generale, i depositi più grossolani, che caratterizzano le zone di alta e medio-alta pianura, sono costituiti da sabbie e ghiaie eterodimensionali, talora con blocchi di notevoli dimensioni, di natura poligenica. I depositi a granulometria più fine, costituiti

da limi e le argille, sono invece distribuiti nelle aree più distali delle conoidi stesse e sono attribuibili ad ambienti sedimentari di minor energia rispetto ai precedenti e caratterizzano le porzioni di medio-bassa e bassa pianura.

Analizzando più in dettaglio il territorio del comune di Treviso, come indicato nella Relazione geologica del PAT comunale:

“Le ghiaie e ghiaie con sabbie predominano quindi nella parte nord-occidentale del territorio, a monte della linea delle risorgive, e in corrispondenza di un dosso del Piave, di direzione nord-sud, nella parte nord-orientale.

I sedimenti prevalentemente sabbiosi sono indicati in corrispondenza dei dossi fluviali meridionali e nord-orientali mentre i sedimenti prevalentemente limoso-argillosi occupano la parte restante del territorio comunale e le aree delle bassure morfologiche centrali e meridionali.”

Quanto detto trova riscontro dall'estratto del Carta Geologica della Regione Veneto 1:250.000, l'area di indagine si colloca infatti in terreni caratterizzati da “alternanze di ghiaie e sabbie con limi e argille (4b); cioè in quella fascia di passaggio tra i depositi di alta pianura di origine fluvioglaciale costituiti da alluvioni prettamente ghiaiose (4a) ed i depositi di costituiti da alluvioni limoso argillose prevalenti (4c) (figura 4).

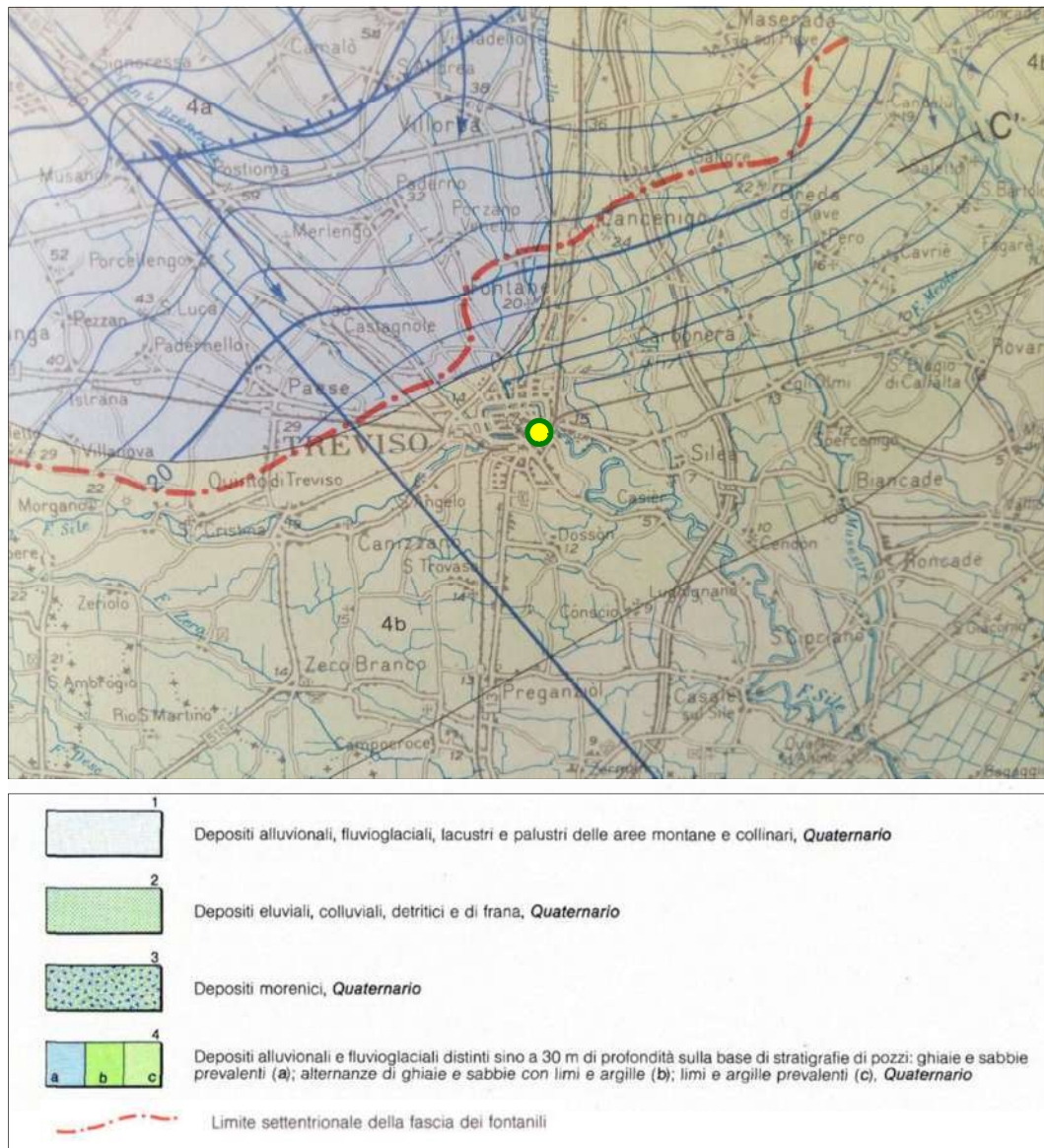


Fig. 4 Estratto Carta Geologica del Veneto 1:250.000.

Un'accurata descrizione dei depositi superficiali (fino a 3 - 4 metri) presenti nel territorio comunale, viene fornita nella Relazione Geologica del PAT comunale della quale si riporta di seguito in estratto:

“Le ghiaie si presentano con facies molto variabili: granulometria da fine alla dimensione di ciottoli di 30 cm di diametro (rilevati in località S. Bona); presenza di matrice, anche abbondante, sabbiosa e limosa.

Le sabbie, in varia proporzione con elementi ghiaiosi, sono più o meno limose e si presentano generalmente da sciolte a leggermente compatte.

I sedimenti limoso-argillosi sono prevalenti, nella parte più o meno superficiale, nella parte centrale e meridionale del territorio comunale. Lo spessore è variabile: minimo nelle aree di dosso fluviale, raggiunge con continuità 4 m nelle aree più depresse.

Nei termini più fini è riscontrabile anche la presenza sub-superficiale (compresa fra la superficie e circa 1 m di profondità dal p.c.) di un paleosuolo con concrezioni calcaree che rappresenta la superficie dell'antica pianura alluvionale glaciale. Lo spessore del paleosuolo varia da qualche decina di cm a qualche metro, in base alla litologia.

I termini più fini sono essenzialmente limi e argille. Le prove penetrometriche, dove non sono rilevati i paleosuoli, registrano basse resistenze alla punta almeno fino a 1,5 m per poi alzarsi più in profondità fino a 20-30 kg/cm².

In corrispondenza delle aree più depresse sono possibili intercalazioni di debole spessore di argille organiche o comunque presenza di frustoli carboniosi, raramente torbe, probabilmente legate al fenomeno risorgivo, a paludi o alla chiusura di canali fluviali.”

Osservando la Carta Litologica del PAT comunale (figura 5), nell'areale oggetto di studio, sono indicati in affioramento depositi alluvionali a prevalente tessitura limoso-argillosa.

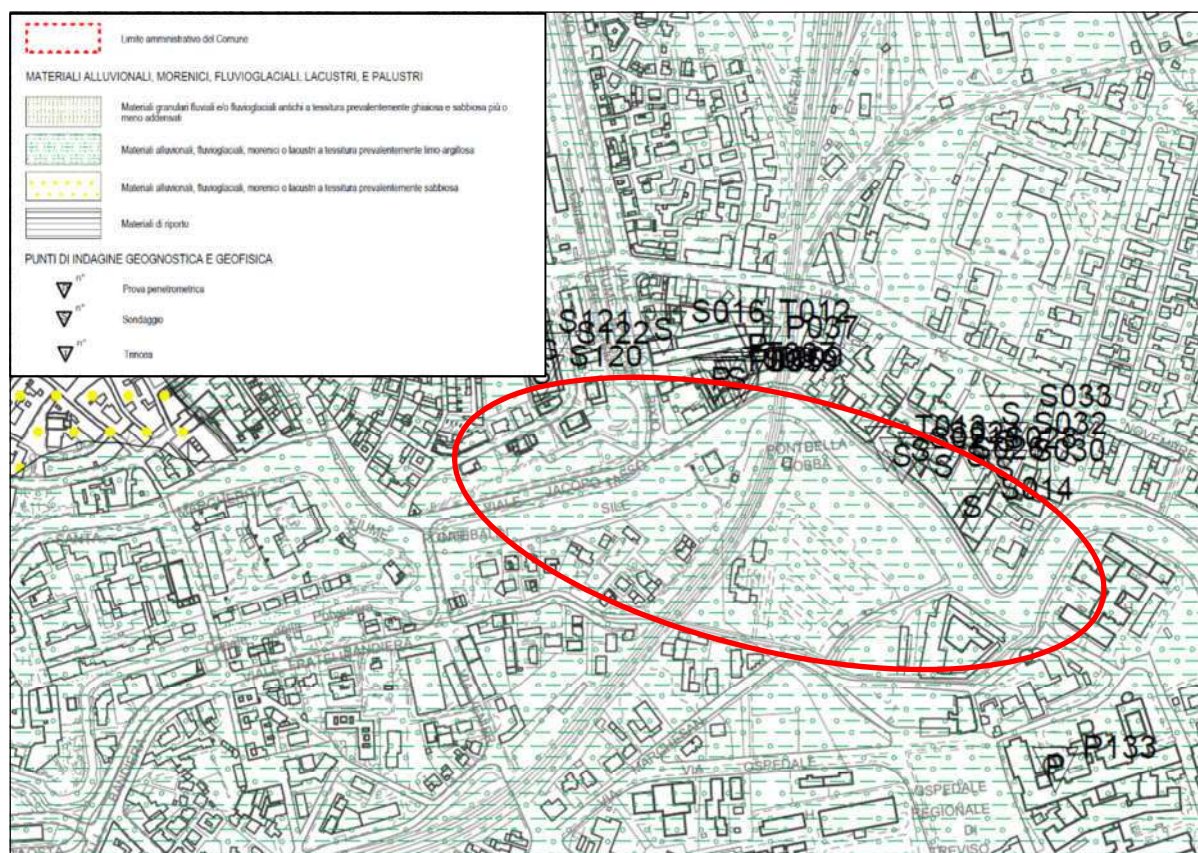


Fig. 5 Estratto Carta Litologica PAT di Treviso – 1:10.000 (figura non in scala), con evidenziata l'area di indagine.

La classificazione litologica dei depositi più profondi trova invece conferma dalla consultazione della stratigrafia di un pozzo terebrato nelle vicinanze dell'area di indagine (archivio ISPRA delle indagini nel sottosuolo L. 464/84).

Come si può osservare, viene confermata, come sopra descritto, la presenza di terreni superficiali a granulometria fine e di seguito un assetto “multistrato” caratterizzato dalla presenza di strati grossolani ghiaioso-sabbiosi intercalati da livelli impermeabili a granulometria fine di natura argilloso limosa.

Di seguito si riporta la scheda di dettaglio riportante tutte le caratteristiche della perforazione.

Dati generali		Ubicazione indicativa dell'area d'indagine			
Codice: 187471 Regione: VENETO Provincia: TREVISO Comune: TREVISO Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 48,00 Quota pc slm (m): 15,00 Anno realizzazione: 1997 Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): ND Portata esercizio (l/s): ND Numero falde: 2 Numero filtri: 1 Numero piezometrie: 0 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 5 Longitudine WGS84 (dd): 12,254311 Latitudine WGS84 (dd): 45,662989 Longitudine WGS84 (dms): 12° 15' 15.52" E Latitudine WGS84 (dms): 45° 39' 46.77" N (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia					
DIAMETRI PERFORAZIONE					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	0,00	48,00	48,00	121	
FALDE ACQUIFERE					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)		
1	9,00	17,50	8,50		
2	21,50	44,50	23,00		
POSIZIONE FILTRI					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	41,00	44,00	3,00	89	
STRATIGRAFIA					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	9,00	9,00		MISTO TERRA / SABBIA / ARGILLA
2	9,00	17,50	8,50		SASSI
3	17,50	21,50	4,00		MISTO ARGILLA E SABBIA
4	21,50	44,50	23,00		SASSI
5	44,50	48,00	3,50		MISTO SABBIA GROSSA E SASSI

Fig. 6 Scheda di pozzo da archivio ISPRA delle indagini nel sottosuolo L. 464/84.

2.2 GEOMORFOLOGIA

Per quanto riguarda l'aspetto geomorfologico, come accennato, l'area si colloca in posizione mediana e distale tra i megafan del Brenta e del Piave.

Come indicato nella Relazione geologica del PAT:

“Nell’area sono affioranti terreni di origine alluvionale, depositati dai sistemi dei fiumi Brenta e Piave in processi di sovrapposizione e interdigitazione di sedimenti e in un periodo compreso dall’ultimo massimo glaciale al tardiglaciale: prevalentemente sabbioso-ghiaiosi quelli del Piave; più fini in virtù della loro posizione distale quelli del Brenta.

I due sistemi si estendono in forma di megafan che, in quest’area di pianura, si compenetrano, creando la bassura lungo la quale scorre il F. Sile”.

In generale, le antiche forme del territorio sono parzialmente riconoscibili, anche se mascherate dagli interventi di urbanizzazione, dall’attività agricola o modificate dagli interventi sulla rete fluviale e di bonifica.

Tutti i corsi d’acqua furono soggetti inoltre, sia a forti variazioni di regime, sia a frequenti e radicali modificazioni del loro corso. La variazione nel tempo e nello spazio degli apporti sedimentari, generò vaste e piatte aree subsidenti che inevitabilmente si trasformarono in paludi, torbiere e lagune.

Laddove invece il fiume stabilì per un lungo periodo il proprio corso, avvenne la deposizione prevalente di sabbie e ghiaie (paleoalvei). Una volta che il corso d’acqua iniziò la migrazione verso altre aree, restarono quindi lunghe e strette fasce di territorio interessate dalla presenza di materiali relativamente più grossolani di quelli deposti nei bacini interfluviali e nelle depressioni lacustri.

Il costipamento naturale del sottosuolo, associato a quello derivante dal prosciugamento dovuto alla recente bonifica e arginatura dei corsi d’acqua, comportò infine un abbassamento differenziale del livello del piano campagna: maggiore per i terreni torbosi ed a tessitura fine, minore per i sedimenti più grossolani, con la conseguente frequente messa in rilievo dei paleoalvei (dosso fluviale).

L'opera di arginazione artificiale dei corsi d'acqua, operata dall'uomo durante gli ultimi secoli, ha reso stabili i loro alvei impedendone la divagazione che causava temporanee inondazioni di aree abitate. L'azione antropica si è rivelata particolarmente incisiva nel corso degli ultimi anni con lo sviluppo delle attività agricole e, successivamente, di nuove aree residenziali che hanno mascherato i caratteri superficiali del preesistente ambiente naturale.

In linea generale si distinguono qui i seguenti terreni, in relazione alla diversa dinamica ed ambiente deposizionale:

- Terreni tendenzialmente argillosi, geneticamente connessi alla deposizione in ambiente fluvio-palustre di contributi solidi a finissima granulometria, trasportati e deposti dalle acque di piena ristagnanti in aree depresse; date le peculiarità dell'ambiente di sedimentazione, questi depositi di stanca possono contenere localmente elevati tenori di sostanza organica;
- Terreni tendenzialmente limosi, attribuibili alla deposizione di correnti fluviali a bassa competenza, costituenti terreni di transizione tra le aree depresse a litologia argillosa prevalente e gli alvei (attuali e paleoalvei) a litologia sabbiosa;
- Terreni tendenzialmente sabbiosi e ghiaiosi, ascrivibili alla sedimentazione diretta del corso d'acqua in condizioni di elevata energia.

Analizzando più nel dettaglio la zona di indagine, osservando la Carta Geomorfologica del PAT comunale (figura 7), si osserva che l'areale oggetto di studio ricade all'interno della fascia di divagazione del fiume Sile con la presenza degli orli di terrazzo fluviale ai margini.

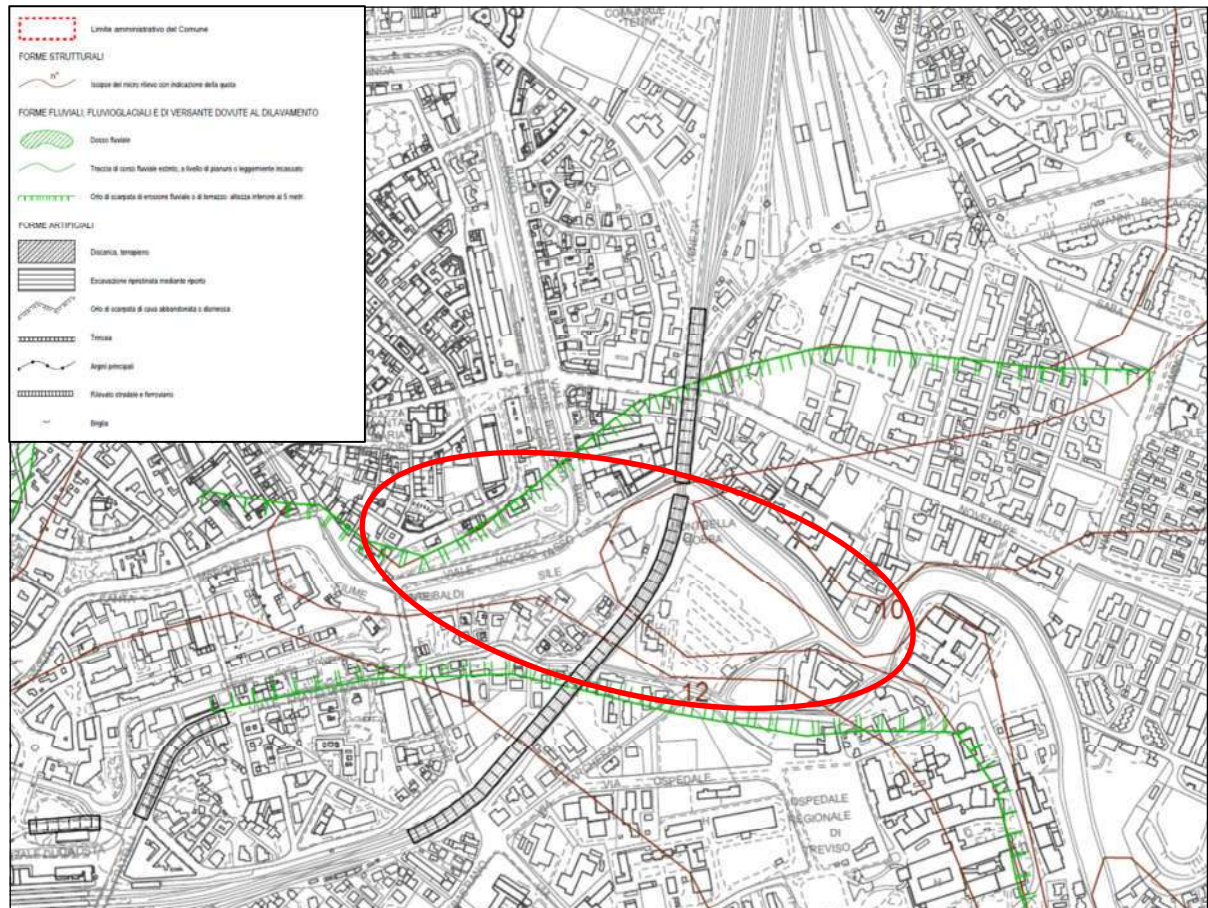


Fig. 7 Estratto Carta Geomorfologica PAT di Treviso – 1:10.000 (figura non in scala), con evidenziata l'area di indagine.

2.3 IDROGRAFIA

L'elemento maggiormente caratteristico dell'idrografia del territorio comunale di Treviso è la fascia delle risorgive che dà origine ed alimenta i corsi d'acqua della zona durante tutto l'anno.

La fascia delle risorgive (figura 8) si crea per variazioni litologiche in termini di tessitura e permeabilità dei terreni superficiali, causando un graduale innalzamento della superficie freatica della falda che viene parzialmente a giorno nei punti più depressi (fontanili, tipiche sorgenti di pianura), mentre in profondità si creano falde sovrapposte, per lo più in pressione, alloggiate in acquiferi ghiaioso-sabbiosi, separate da strati argillosi impermeabili (sistema multifalda).

Il limite superiore di questa fascia di sorgenti puntuali e diffuse passa alcuni chilometri a nord-ovest della città.

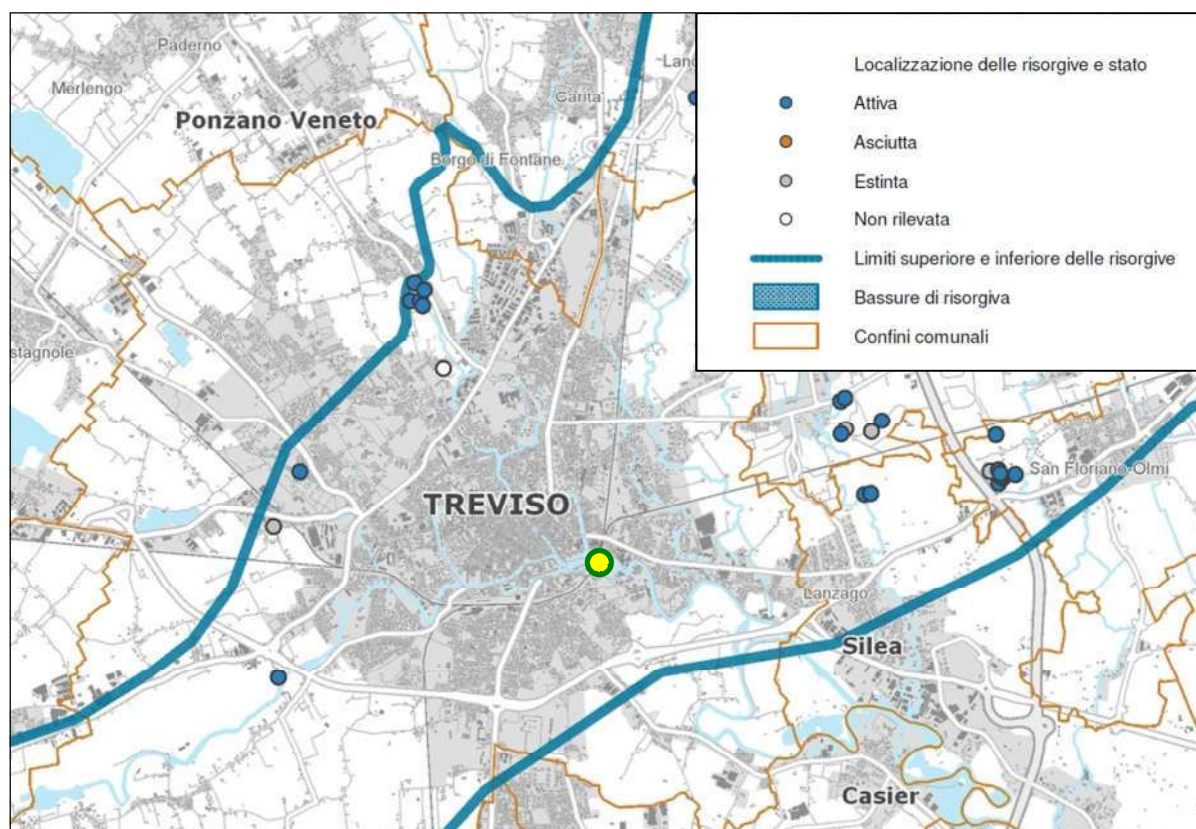


Fig. 8 Estratto Carta delle risorgive – Provinciale di Treviso – 1:75.000 (figura non in scala), con evidenziata l'area di indagine.

Come indicato nella relazione geologica del PAT:

“Il principale fiume di risorgiva è il F. Sile che riceve a monte di Treviso il contributo di piccole rogge. A Treviso città riceve altri corsi d’acqua di risorgiva, i più importanti dei quali sono il Pegorile, il Botteniga, il Piovesan, lo Storga; mentre più a valle affluiscono il Dosson e il Melma.

La gran parte dell’idrografia presenta un regime permanente poiché è alimentata direttamente dalle acque di risorgiva.”

Oltre che dai corsi d'acqua naturali che scorrono entro arginature artificiali, il territorio è interessato da un complesso reticolo artificiale di canali di bonifica o di irrigazione o promiscui, prevalentemente a scolo naturale, di grande importanza per funzione di drenaggio della pianura, l'adduzione di acqua per l'irrigazione e per l'allontanamento delle acque di drenaggio urbano sia nere sia miste sia di pioggia.

Il regime dei deflussi nei corsi d'acqua è governato dalle risorgive e quindi relativamente costante; *“tuttavia, eventi meteorologici di intense precipitazioni, pendenze modeste dell’asta fluviale, apporti dal reticolo irriguo esterno ai bacini idrografici, possono determinare fasi di piena.”* (Relazione geologica PAT di Treviso).

2.4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE E LOCALE

Dal punto di vista idrogeologico, l'assetto generale della pianura veneta è strettamente legato all'assetto deposizionale precedentemente descritto; che vede un progressivo differenziamento del materasso alluvionale, passando dall'alta pianura, a ridosso dei rilievi della fascia pedemontana, alla bassa pianura.

I sedimenti che contraddistinguono il territorio di alta pianura (ghiaie di origine fluviale e fluvioglaciale a matrice più o meno sabbiosa) permettono l'esistenza di un'unica potente falda acquifera di tipo freatico ("acquifero indifferenziato").

Procedendo verso sud, nella media e bassa pianura, le ghiaie vengono progressivamente sostituite da materiali fini a bassa permeabilità (limi e argille, alternati da orizzonti sabbiosi o ghiaiosi), si passa quindi da un sistema monofalda ad un sistema multifalde. Quest'ultimo sistema è composto da una falda freatica a debole profondità (che viene a giorno in corrispondenza della "fascia delle risorgive") e da più falde in pressione, separate tra loro. I due sistemi sono strettamente collegati tra loro e la fascia dell'alta pianura rappresenta l'area di ricarica dell'intero sistema idrogeologico (figura 9).

La direzione di deflusso principale della falda freatica, nel comune Treviso, è all'incirca NNW-SSE in accordo con l'assetto idrogeologico di tale porzione di pianura, anche se localmente influenzato da punti di drenaggio centripeto indotto dagli emungimenti.

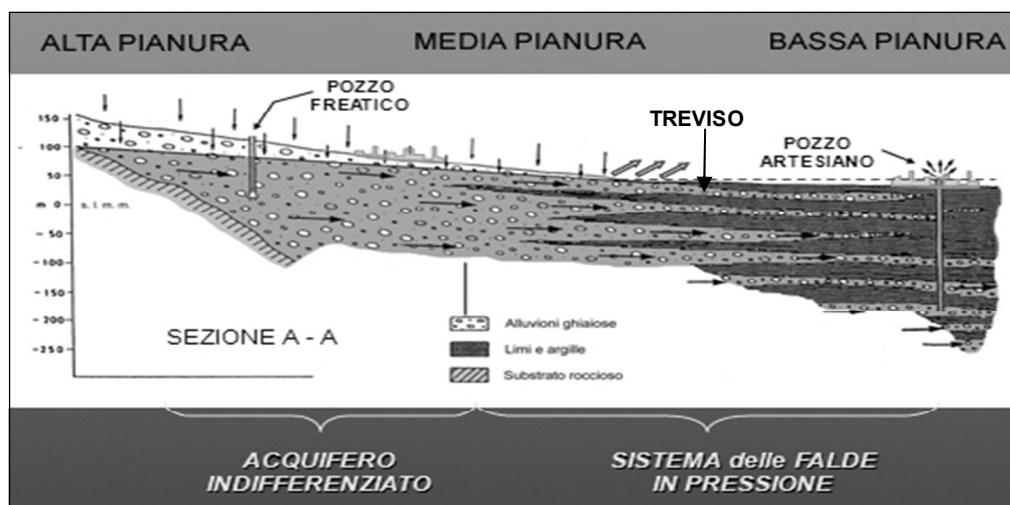


Fig. 9 Sezione idrogeologica tipo della Pianura Veneta.

A scala comunale, la relazione geologica allegata al PAT del Comune di Treviso offre una descrizione accurata della geometria del sistema idrogeologico locale, si riportano alcuni estratti:

“I rapporti geometrici fra queste formazioni sono caratterizzati da variabilità riferibili alle differenti associazioni di facies di ambienti deposizionali contigui. Tale complessità stratigrafica si riflette sulla situazione idrogeologica, condizionando la forma degli acquiferi e i loro reciproci rapporti.

Nel territorio considerato vi è una certa variabilità laterale e verticale di litotipi prevalentemente argilloso-limosi a bassa o bassissima permeabilità e di litotipi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi a permeabilità medio-alta.

Sedimenti ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi, talora limosi, appartenenti al megafan plavense di età pleistocenica, sono presenti estesamente nella parte nord-occidentale del territorio, con spessori di decine di metri. Essi sono sede di una notevole circolazione d’acqua freatica.”

Per quanto riguarda il livello della falda freatica:

“Dalla sintesi riportata nella Carta Idrogeologica del PAT e utilizzata per definire le aree di compatibilità geologica, si ricava che il livello della falda freatica è massimo e superiore a 10 m dal p.c. nell’angolo nord-occidentale del territorio e decresce rapidamente in direzione sud-est fino a diventare prossimo al piano campagna, o almeno compreso fra 0 e -2 m dal piano campagna a sud della linea della risorgive. [...] Il regime della falda è caratterizzato da un andamento stagionale, con due periodi di alimentazione massima in tarda primavera e nel tardo autunno, mentre un marcato regime di magra si registra nei mesi invernali.”

Per quanto riguarda gli acquiferi più profondi:

“Nel sottosuolo si trovano falde artesiane collegate ad acquiferi profondi, molto sfruttati nel territorio soprattutto a sud della città con migliaia di pozzi privati, in

maggior parte a erogazione spontanea.

Sono, in effetti, in funzione molti pozzi destinati alle irrigazioni, agricole e domestiche, a usi artigianali e industriali. La falda confinata più superficiale è individuata tra 20 e 30 m di profondità dal piano campagna. Il livello piezometrico supera quello di campagna, anche se l'intenso sfruttamento lo sta generalmente deprimendo”.

Quanto sopra descritto trova riscontro negli estratti della Carta Idrogeologica del PAT del comune di Treviso e nella Carta Freatimetrica Provinciale (figure 10 e 11).

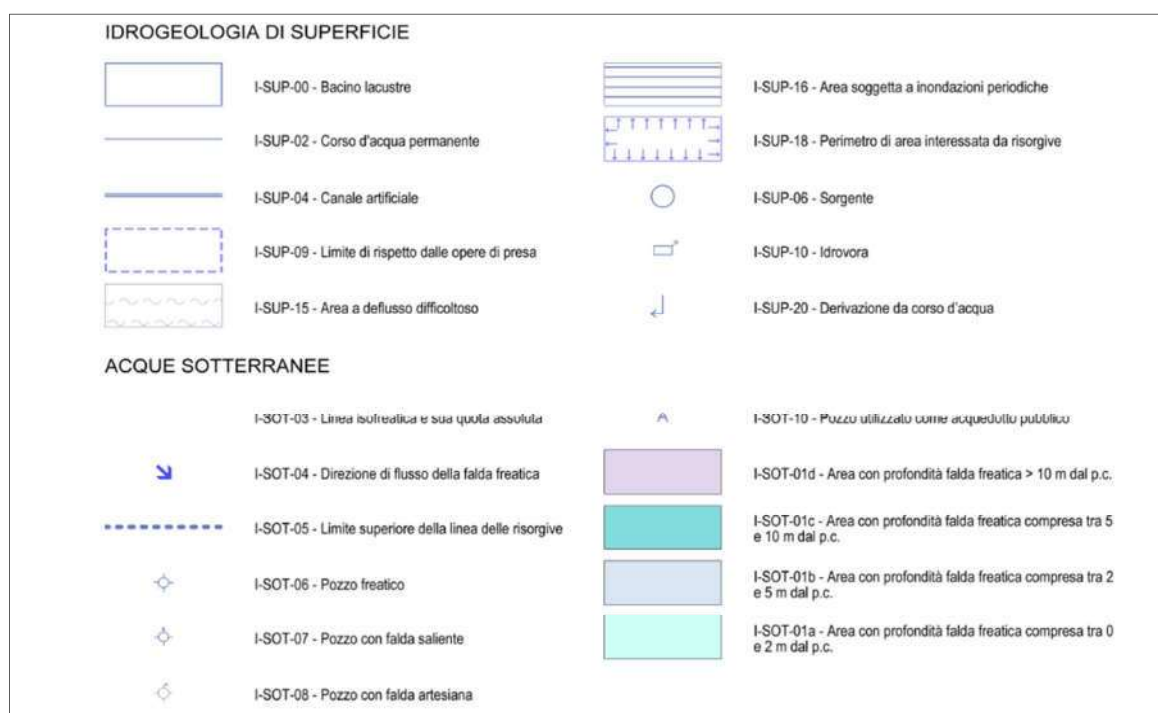
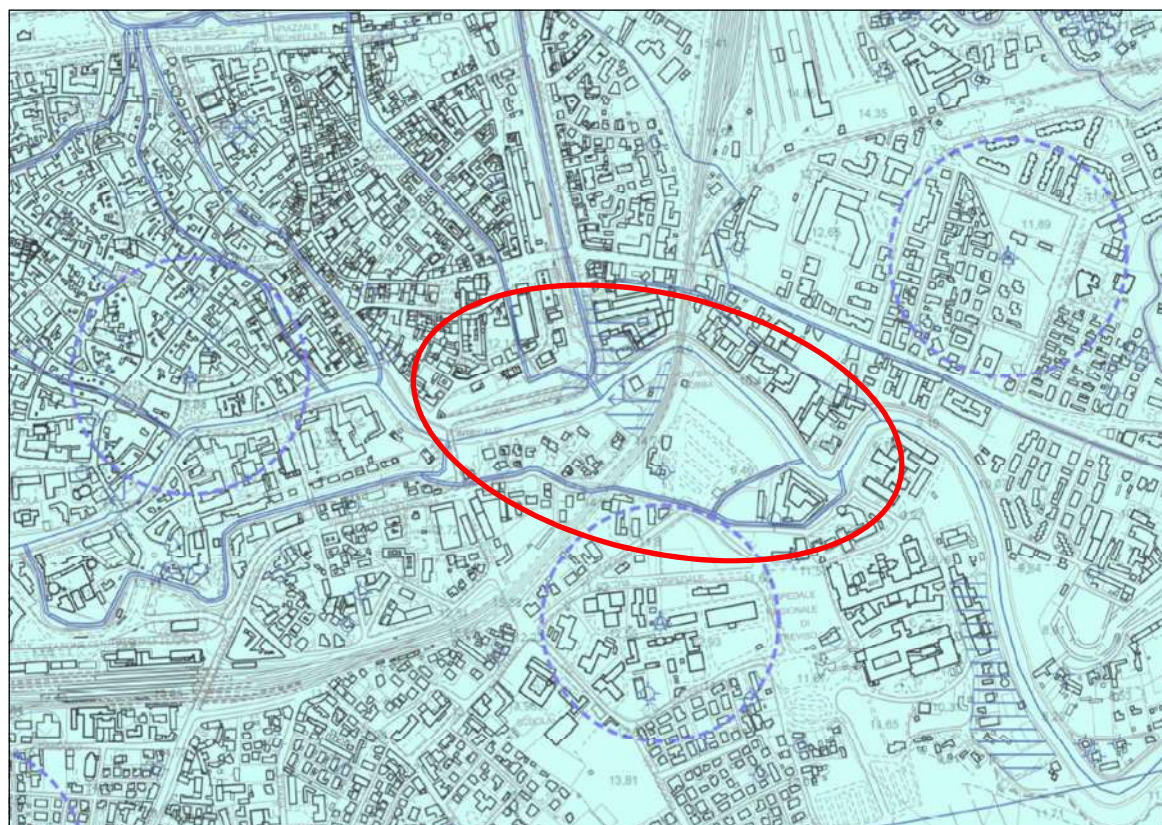


Fig. 10 Estratto Carta Idrogeologica PAT di Treviso – 1:10.000 (figura non in scala), con evidenziata l'area di indagine.

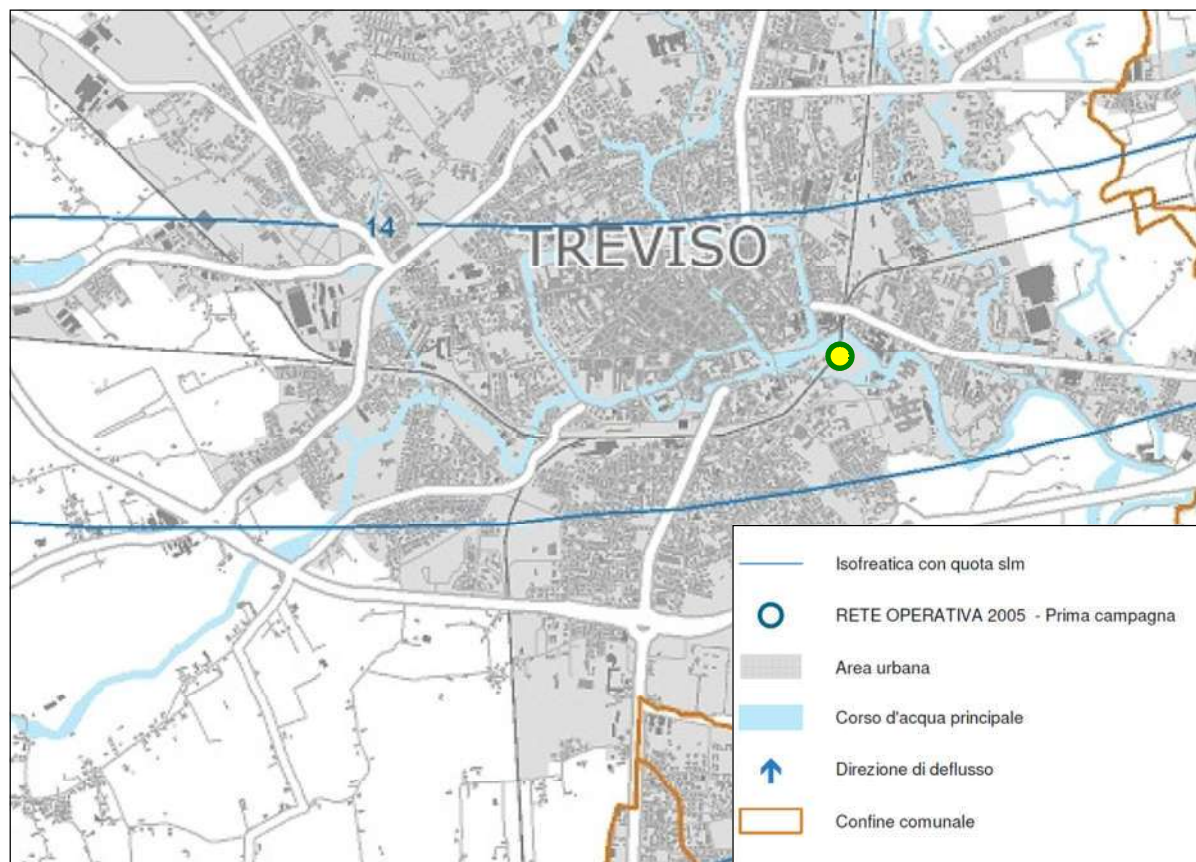


Fig. 11 Estratto Carta Freatimetrica Provinciale – Provinciale di Treviso – 1:75.000 (figura non in scala), con evidenziata l'area di indagine.

Un ulteriore approfondimento delle caratteristiche dell'assetto idrogeologico dell'area in esame viene fornito dalla Relazione del "Piano d'Ambito" dell'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "Veneto Orientale", la quale, al capitolo 3, fornisce un dettagliato inquadramento dell'unità idrogeologiche interessate dal proprio ambito di competenza.

Nella fattispecie la figura 12 conferma che l'area di indagine si colloca una zona caratterizzata da un assetto idrogeologico proprio della media e bassa pianura (UNITA' 5), mentre la figura 13 riporta una scheda riepilogativa delle caratteristiche di tale unità idrogeologica.

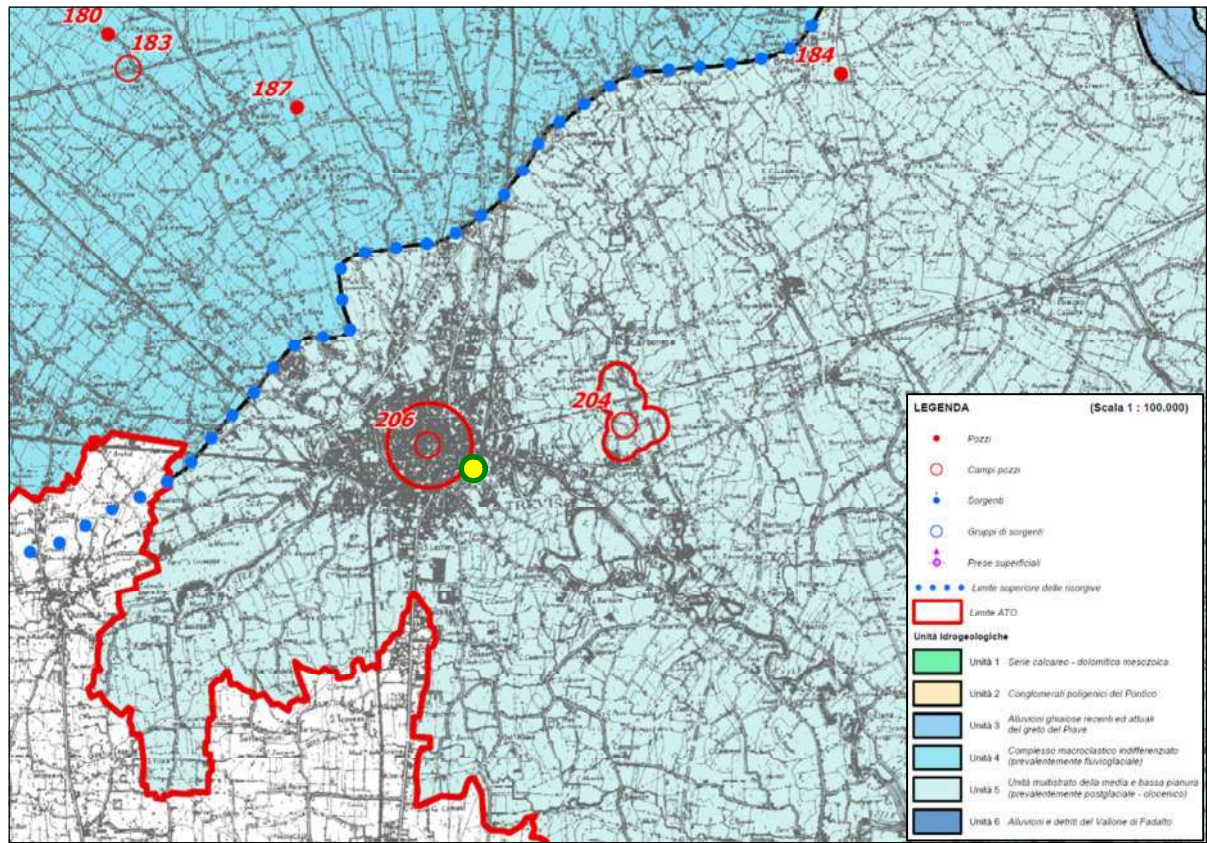


Fig. 12 Estratto Carta delle Unità Idrogeologiche – Regione Veneto – 1:100.000 (figura non in scala), con evidenziata l'area di indagine.

UNITA' 5 – ACQUIFERO MULTISTRATO DELLA MEDIA E BASSA PIANURA

Areale di affioramento:	Corrisponde alla porzione della pianura che si estende al di sotto del limite settentrionale delle risorgive.
Litologia:	Livelli di sabbie e ghiaie intervallati a materiali argilloso limosi. A partire dalla fascia delle risorgive le macroclastiti pedemontane sono sostituite da alternanze di sabbie ed argille, da quaternarie a recenti, prevalentemente fluviali con episodi marini che crescono in frequenza ed entità da nord a sud. Si riconosce quindi una prima fascia (media pianura - fascia delle falde artesiane) di 15 km in cui le ghiaie si digitano in orizzonti che tendono a chiudersi verso valle, cui segue la fascia della bassa pianura nel cui sottosuolo limo argilloso si intercalano livelli sabbiosi e sottili livelli di ghiaia.
Struttura:	Passando da monte a valle si rileva una rapida differenziazione e rastremazione degli orizzonti grossolani dell'indifferenziato, cui fa riscontro un rapido aumento dei livelli fini che smembrano la conoide pedemontana in digitazioni nastriformi sovrapposte, progressivamente più sottili; questo determina l'esistenza nella zona di pianura di un complesso con un acquifero superficiale discontinuo ed una serie di falde in pressione (fino a sei) presenti entro i primi 350 m di profondità (a Venezia sono 8 nei primi 321 m).
Tipologia acquifero:	Permeabile per porosità: multistrato, presenza di un acquifero freatico - semiconfinato entro i primi 25 m (privo di interesse produttivo) e di una successione di più falde in pressione, talvolta risalenti, con buone potenzialità produttive; l'acquifero più utilizzato è il primo artesiano, posto tra 25 e 60 m; il secondo, tra 70 e 100 m, è ancora discretamente utilizzato; il terzo tra 170 e 200 ha ridotte potenzialità; il quarto si sviluppa tra 210 e 240, mentre gli ultimi sono tra 260 e 290 e tra 320 e 380.
Tipo di falda:	Multifalda con stato di acquifero libero/semiconfinato nell'orizzonte più superficiale, confinato in quelli più profondi. Ricarica: a sud e della linea delle risorgive, i contatti diretti tra acque di superficie e falde si riducono in maniera piuttosto netta fino ad annullarsi. Nella fascia settentrionale dell'unità, a ridosso delle risorgive l'esistenza di una falda freatica di discreto spessore permette ancora meccanismi di scambio superficiale del tipo: infiltrazione diretta di acqua meteorica, re-infiltrazione di acque dei canali di risorgiva, re-infiltrazione di acque irrigue; tuttavia poiché l'acquifero freatico assume rapidamente condizioni di semiconfinamento e non comunica con la superficie, e poiché la maggior parte di questi meccanismi sono già stati considerati come fonti di ricarica della sovrastante unità 4 è possibile ammettere che la loro entità complessiva a favore dell'unità 5 sia scarsamente rilevante. Ciò trova indirettamente conferma nelle impostazioni dei modelli matematici messi a punto alla fine degli anni '80 e nei primi anni '90 per l'ex Consorzio Tergola il cui input di ricarica per lo strato superficiale di questa zona è nullo. Il meccanismo fondamentale è quindi il deflusso in entrata lungo il confine settentrionale dell'unità

	<p>che alimenta sia l'acquifero freatico sia i sottostanti orizzonti confinati. Per l'areale di esistenza entro il territorio ATO questa quantità è stata stimata in circa 12 mc/s. Sono inoltre attivi, anche se non quantificati, processi di leakage fra orizzonti acquiferi sovrapposti attraverso gli aquitard limo -argillosi che li separano.</p>
Geometria:	<p>Il sistema multifalda è composto da intervalli permeabili intervallati ad aquicludi o aquitardi. L'acquifero superficiale, freatico/semiconfinato, è contenuto in un orizzonte discontinuo.</p> <p>Al di sotto si susseguono da tre a sei-sette (nelle zone più distali) livelli acquiferi confinati, caratterizzati da variabilità di litologia e spessore.</p>
Piezometria:	<p>Andamento radiale a filetti convergenti verso l'asse fluviale all'interno della fascia delle risorgive, in cui è il Piave a drenare l'acquifero riassorbendo una parte delle portate disperse a monte. Direzione di flusso generalmente da NNW con quadro piezometrico localmente segnato da punti di drenaggio centripeto indotto dai notevoli emungimenti. A valle del tratto disperdente la portata media riassorbita è di 12-14 mc/s e non varia tanto in funzione del fluente in alveo ma del carico dell'acquifero drenato. Difficoltosa la distinzione tra la superficie piezometrica dei sistemi confinati e quella dell'acquifero freatico. I dati noti indicano che il carico delle falde artesiane è più basso del livello freatico nell'area settentrionale lungo l'asse del Piave (forte ricarica tutta a favore dell'acquifero freatico). Più a valle i rapporti tendono ad invertirsi per la progressiva chiusura e riduzione di permeabilità dell'acquifero freatico. Il carico degli acquiferi artesiani tende invece a conservarsi e ad assumere localmente valori superiori al piano campagna consentendo aree di prelievo con caratteristiche di risalienza quali quelle dei pozzi comunali di Treviso.</p> <p>Le oscillazioni piezometriche stagionali sono comprese tra 0.5 e 3 m nel sistema superficiale, mentre sono di pochi centimetri negli artesiani;</p>
Parametri idraulici:	<p>Sono disponibili i dati di due prove di portata nella zona di Ormelle che indicano una Trasmissività dell'ordine di 6×10^{-2} m²/s. Anche in assenza di prove specifiche, i parametri produttivi dei numerosi pozzi salienti delle aree Candellù, Roncadelle e Negrizia suggeriscono un valore di trasmissività molto simile o di poco inferiore. Il coefficiente d'immagazzinamento è tipico di acquiferi confinati, nell'ordine di 10-4.</p>
Vulnerabilità:	<p>Elevata per il freatico superficiale e bassa per gli orizzonti confinati sottostanti che comunque risultano anch'essi interessati da locali fenomeni di inquinamento fino alle profondità del primo artesiani.</p>
Caratteristiche qualitative:	<p>I dati qualitativi indicano acque scadenti nell'acquifero superficiale (elevata durezza, conduttività, ossidabilità e diffusa presenza di prodotti legati alle pratiche agricole). Tale acquifero non è però utilizzato ai fini acquedottistici.</p> <p>Gli acquiferi artesiani presentano generalmente acque di qualità sufficiente anche se quello più alto (il primo) è stato localmente interessato da composti organoalogenati (però al di sotto dei limiti normativi) e quelli più profondi (in genere dal terzo in poi) risultano interessati in misura variabile da scadimenti legati ad elevate concentrazioni di Ferro e di ammoniaca.</p>

	Alcuni pozzi petroliferi hanno individuato al di sotto del quarto acquifero confinato, una lente di acqua salmastra (di natura marina e/o di strato) che è stata rinvenuta in prossimità dell'area costiera fra San Donà di Piave, Eraclea, Jesolo e Venezia. La sua esistenza è stata correlata alla depressione piezometrica riscontrato dal CNR nel 1973 nell'area lagunare, depressione che però era già in regresso nel 1975 per la progressiva riduzione dei prelievi dai pozzi nel quaternario.
--	--

Fig. 13 Scheda acquifero Unità 5 – Relazione “Piano d’Ambito” Autorità d’Ambito Territoriale Ottimale “Veneto Orientale”.

3. ANALISI DEI VINCOLI E DELLE FRAGILITA' DI NATURA GEOLOGICA

Di seguito si valutano i vincoli e le fragilità di carattere geologico, idrogeologico ed ambientale in generale presenti nell'area di indagine, analizzando le carte tematiche dei vari strumenti urbanistici vigenti, in relazione alla tipologia delle lavorazioni previste.

Per quanto riguarda la vulnerabilità degli acquiferi, facendo riferimento al Piano d'Ambito" dell'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "Veneto Orientale", si osserva che l'area è inserita in una zona a vulnerabilità elevata per la falda freatica e bassa per le falde artesiane (figura 14).

La tecnica del microtunneling consiste nel far avanzare a spinta delle tubazioni rigide tra il pozzo di spinta ed il pozzo di arrivo all'interno di una micro-galleria, che è realizzata con scavo a piena sezione tramite fresa MTBM (Micro Tunnel Boring Machine). Questo tipo di opera non interagirà in modo permanente con acquiferi che verranno eventualmente attraversati: durante lo scavo verranno adottate tutte le precauzioni necessarie a minimizzare le interferenze e una volta ultimata l'opera la situazione idrogeologica locale rimarrà immutata.

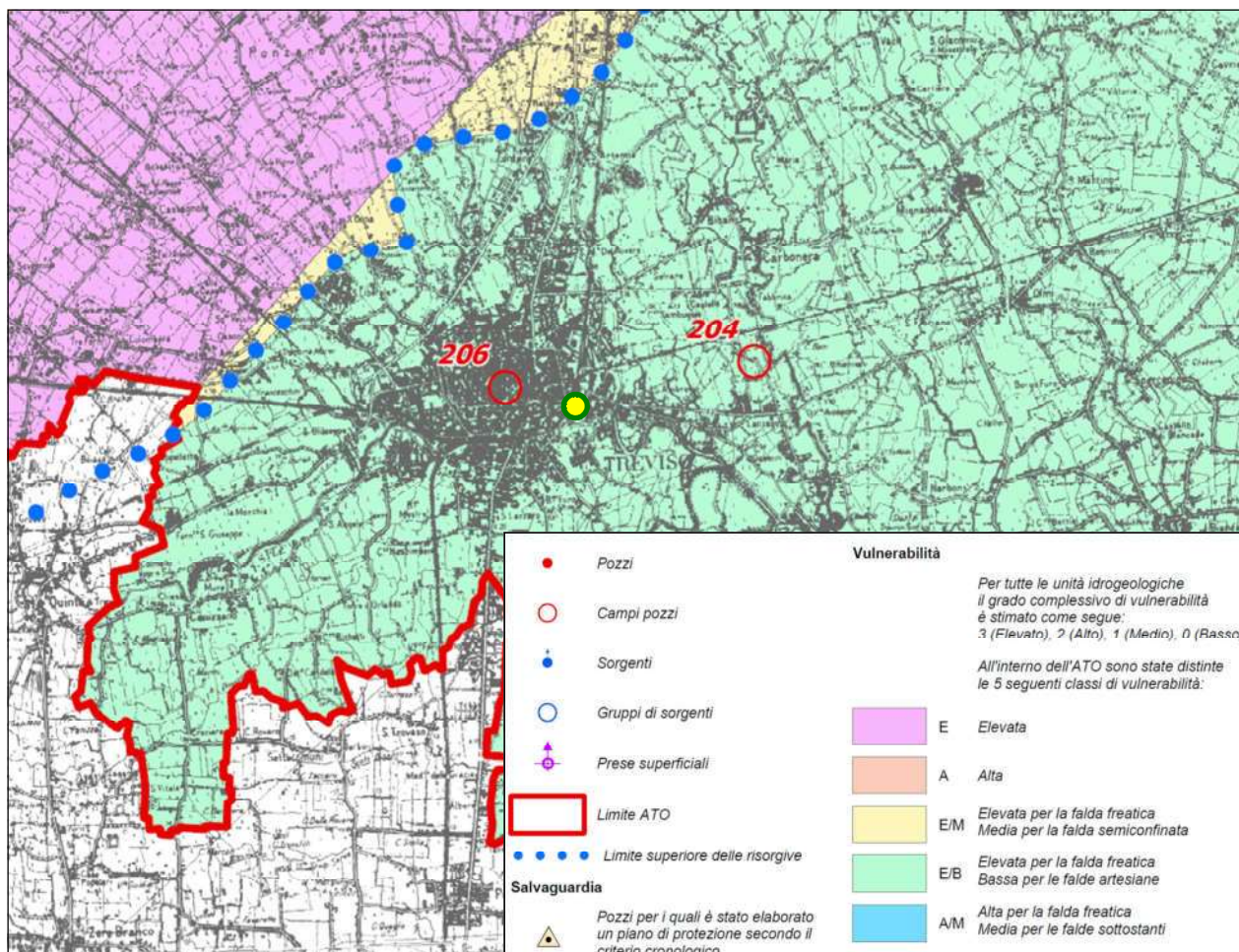


Fig. 14 Estratto Carta della vulnerabilità delle unità idrogeologiche- Regione Veneto-1:100.000, (figura non in scala), con evidenziata l'area di indagine.

Facendo riferimento alla Carta delle fragilità geologiche, idrogeologiche e zone di tutela, del PAT comunale, si osserva che l'area di indagine ricade in zona classificata "idonea a condizione" di tipo C.

Le norme tecniche indicano:

"Tipo c): in aree con falda sub-affiorante, a morfologia relativamente depressa (bassure) e costituite in prevalenza da depositi argillosi.

Tali aree sono costituite in prevalenza da depositi argillosi e limosi, in corrispondenza di bassure e aree in generale relativamente più depresse, dove sono possibili fenomeni di allagamento o ristagno idrico.

Prescrizioni

Le mediocri caratteristiche geotecniche, soprattutto degli strati più superficiali, rendono necessaria un'approfondita conoscenza delle caratteristiche geotecniche, chimiche e chimico-fisiche dei sedimenti interessati, che possono costituire un'insidia per interventi edilizi o infrastrutturali.

Valgono pertanto le notazioni tecniche dei tipi di condizionalità precedenti, aggravati dalla specificità dei sedimenti interessati, che possono costituire un'insidia per interventi edilizi o infrastrutturali.

La relazione geologica dovrà indicare la compatibilità degli interventi con i terreni interessati, gli eventuali interventi atti a eliminare le incompatibilità riscontrate e la tipologia fondazionale più appropriata.

Le indagini geotecniche potranno prevedere l'utilizzo di tecnologie indirette o dirette come prove penetrometriche statiche o dinamiche.

Nel caso di edifici di particolare importanza volumetrica o di carico, è necessaria la realizzazione di sondaggi con esecuzione di prove fondo foro e/o raccolta di campioni per la realizzazione di specifiche prove geotecniche di laboratorio.

Potranno essere adottate soluzioni per i manufatti di fondazione che prevedano la distribuzione del carico, la diminuzione del carico stesso o l'utilizzo di fondazioni profonde o indirette tramite l'utilizzo di pali, da prevedersi in relazione alla tipologia costruttiva e all'importanza dell'edificio stesso.

La scarsa permeabilità dei terreni va considerata in modo adeguato nei dimensionamenti idraulici per la bassa capacità del terreno di assorbire le acque meteoriche mentre per le strutture che prevedano volumetrie sotto al p.c. è necessario considerare l'attuazione di adeguati accorgimenti tecnici al fine di evitare infiltrazioni nelle strutture interrato.

Per queste aree, l'idoneità geologica è legata alle prescrizioni contenute nello Studio di Compatibilità Idraulica, cui si rimanda, ma si ricordano comunque le succitate disposizioni del Cap. 6 "Progettazione geotecnica" delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" del D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008."

Nell'area di indagine è poi presente una zona classificata come “area esondabile o a ristagno idrico”; per una completa lettura di tale fragilità di carattere idraulico si rimanda all' art. 16.1 delle NTA del PAT comunale.

E' poi presente l'area classificata come “non idonea” corrispondente all'alveo del fiume Sile e la relativa fascia di rispetto.

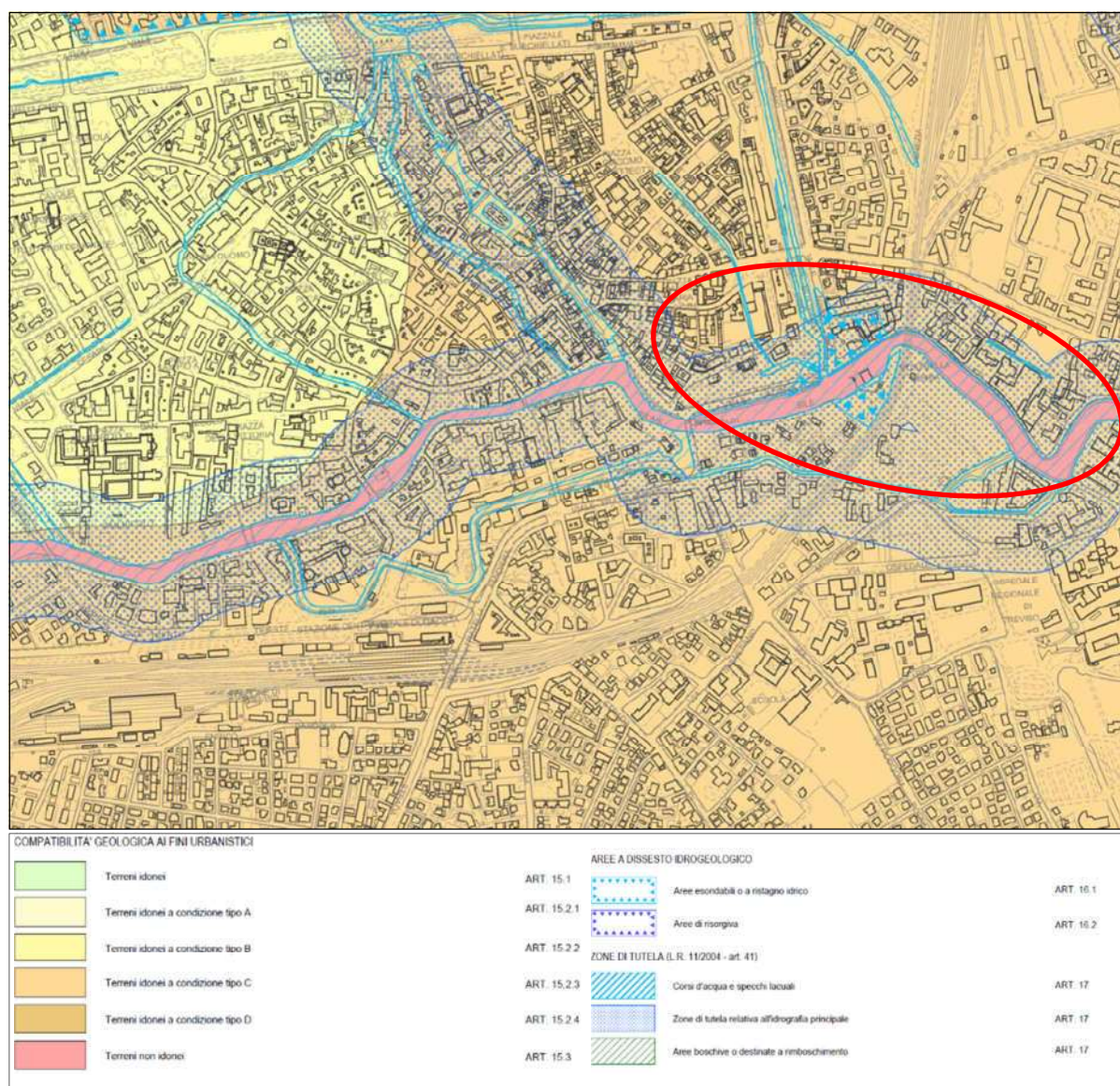


Fig. 15 Estratto Carta delle Fragilità geologiche, idrogeologiche e zone di tutela - PAT di Treviso – 1:10.000 (figura non in scala), con evidenziata l'area di indagine.

4. INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA

Secondo la classificazione sismica dei comuni italiani riportata nel P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006, il Comune di Treviso ricade in zona n°3 con valori stimati di accelerazione orizzontale compresi tra 0.05g e 0.150g.

In base al DM 17/01/2018 le verifiche del terreno di fondazione devono però essere eseguite tenendo conto delle massime sollecitazioni che la struttura trasmette al terreno.

Sulla base delle mappe interattive dell'INGV richiamate dal suddetto decreto l'area di Silea, in cui si trova il lotto di indagine, è inseribile nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale " a_g " riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s compreso tra 0.125g e 0.175g (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni – mappa 50° percentile).

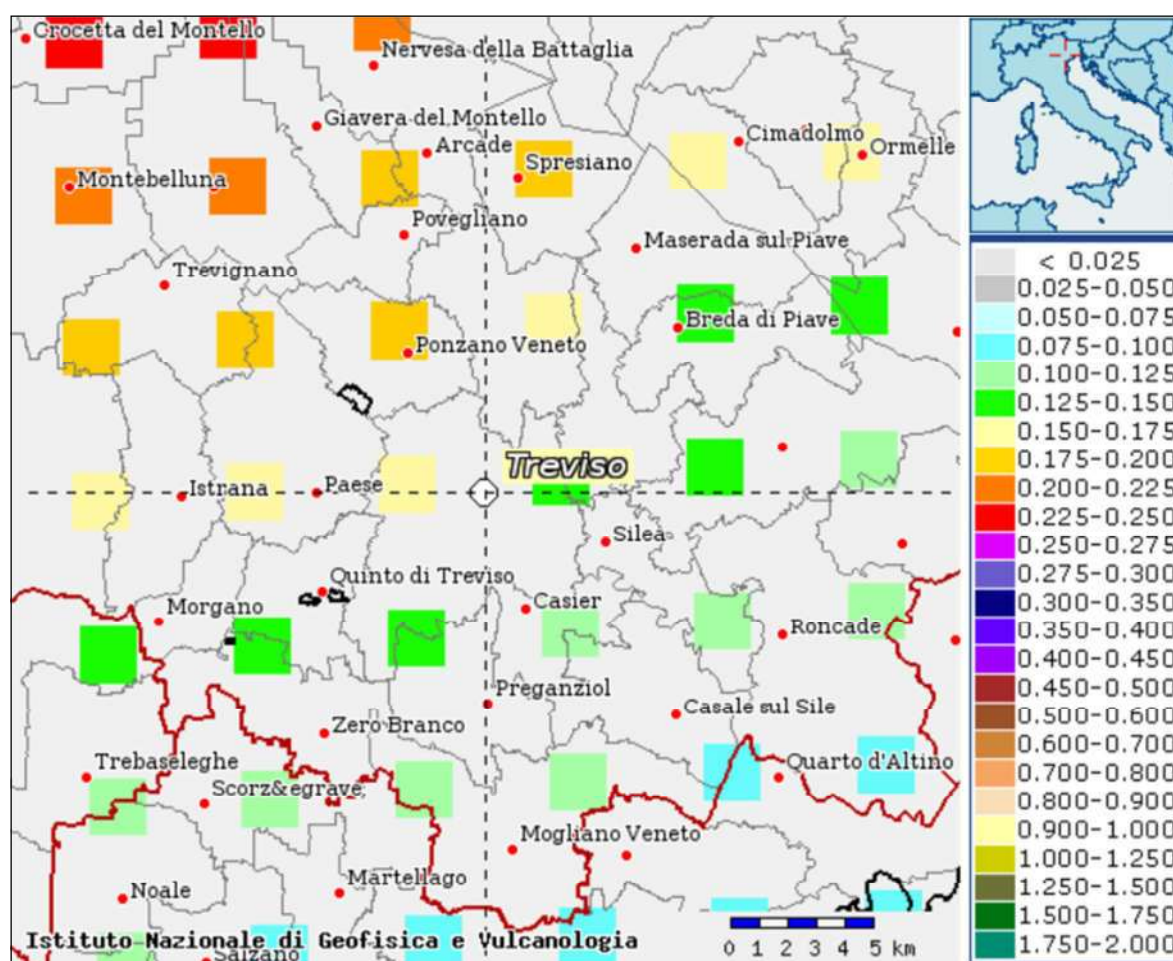


Fig. 16 Mappa di pericolosità sismica.

Si sono quindi ricercati i terremoti storici nell'area di Treviso ed i risultati ottenuti sono riportati nella figura di seguito riportata che comprende gli eventi principali (≥ 4 grado scala MCS) dall'anno 1000.

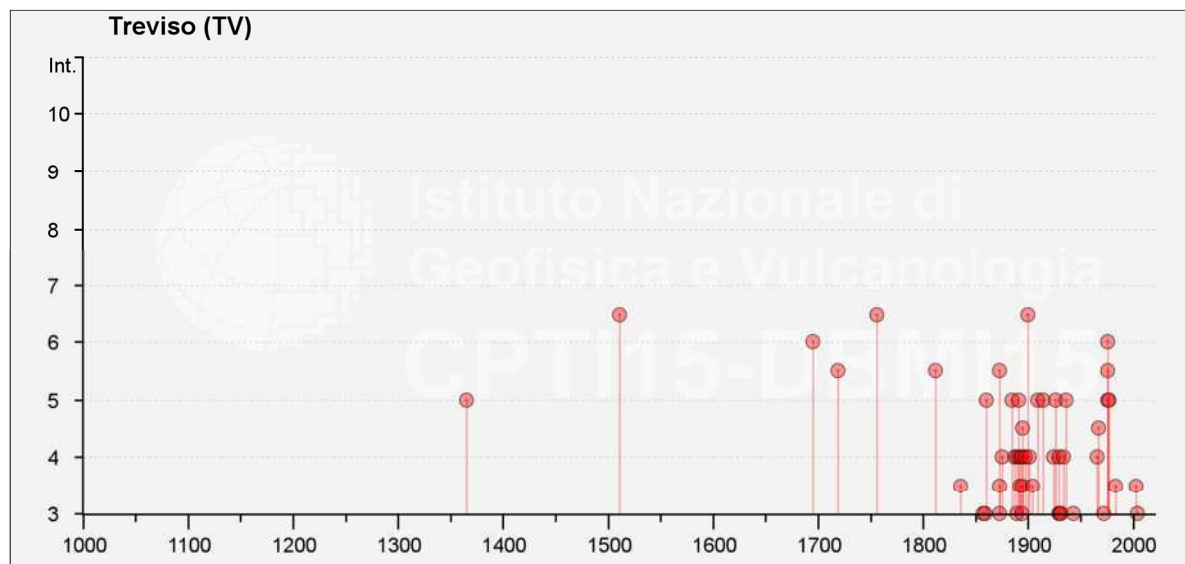


Fig. 17 Comune di Treviso - Database Macrosismico Italiano 2015.

5. INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO

Come accennato in premessa, la validazione del modello geologico sopra descritto, è stata realizzata mediante prove in sito, in dettaglio:

- ✓ due prove penetrometriche dinamiche;
- ✓ tre sondaggi a carotaggio continuo.

Le operazioni di campagna si sono svolte tra il 25 luglio ed il 06 agosto 2019.

Le indagini in sito sono state eseguite secondo le “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini” - AGI 1977.

L’ubicazione dei punti di indagine, decisa in accordo con la Committenza e i progettisti dell’opera, è riportata nell’ immagine di seguito e nella planimetria allegata al presente elaborato. Le verticali di indagine si trovano nelle immediate vicinanze o in corrispondenza dei punti dove verranno realizzati i manufatti di spinta e di arrivo delle diverse tratte del microtunnel.



Fig. 18 Ripresa aerea con ubicazione delle indagini in sito.

5.1 PROVE PENETROMETRICHE DPSH

Come accennato in premessa, sono state eseguite due prove penetrometriche dinamiche spinte fino alla profondità massima di 10.00 metri da p.c.

Le quote riportate si riferiscono al livello del piano campagna in corrispondenza di ciascun punto di indagine.

La scelta dei punti (la cui ubicazione è riportata nella planimetria in allegato) è stata fortemente influenzata dalle caratteristiche operative e logistiche del sito in particolare per la presenza di pavimentazioni, riporti e numerose strutture interrato.

ID Prova	Ubicazione	Data	Profondità (m da p.c.)
DPSH2a	45°39'48.52"N 12°15'28.17"E	30/07/2019	10.0
DPSH3a	45°39'49.67"N 12°15'14.08"E	30/07/2019	10.0

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici, tale tipo di prova è definita superpesante (massa battente $M > 60$ kg).

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere a battuta una punta conica nel terreno misurando il numero di colpi N necessari all'avanzamento per tratti consecutivi (δ) predeterminati.

L'infissione avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante (75 cm) un maglio di peso standard (DPSH = 73 Kg).

La resistenza del terreno è funzione inversa della penetrazione per ciascun colpo e diretta del numero di colpi (NDP) per una data penetrazione.

Correlazioni presenti in bibliografia permettono di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche da utilizzare per una corretta progettazione.



Fig. 19 Piazzamento DPSH 2a (a sinistra) e DPSH 3a (a destra).

Una buona interpretazione e correlazione con altre informazioni di tipo diretto e bibliografico, possono permettere di ottenere dati utili alla ricostruzione del modello geologico e geotecnico del terreno investigato come:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Come detto, nello specifico, sono state eseguite due prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH, con l'utilizzo di un penetrometro allestito su carro cingolato modello Pagani TG 63-200.

Durante queste prove è stato misurato il numero di colpi necessario ad infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica per tratte di 20 cm.

Dai risultati ottenuti dalla prova effettuata è stato possibile calcolare la Resistenza Dinamica alla penetrazione di punta (Rpd in kg/cm²) in funzione del numero di colpi N, utilizzando la seguente correlazione, nota come “Formula degli Olandesi”:

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

dove:

Rpd = Resistenza Dinamica alla punta

A = area di punta

e = infissione per colpo = δ / N

M = peso massa battente

P = peso totale aste e sistema di battitura

H = altezza di caduta

δ = passo di avanzamento.

Nelle tabelle riportate in allegato vengono indicati i parametri geotecnici caratteristici dei terreni rinvenuti, tali valori rappresentano una parametrizzazione dei dati ottenuti in base ai singoli valori di Rpd calcolati dalla prova.

DPSH 2a		
STRATO 1	Terreno di copertura vegetale frammisto a materiale di riporto seguito da terreno fine coesivo/granulare a bassa consistenza, fino alla profondità di circa 1.80 m da p.c.	$NPD_{medio}=23,82$
STRATO 2	Terreno sabbioso/ghiaioso a consistenza a medio-bassa, fino alla profondità di circa 3.30 m da p.c.	$NPD_{medio}=8.92$
STRATO 3	Terreno di natura coesiva a bassa consistenza, fino alla profondità di circa 4.50 m da p.c.	$NPD_{medio}=5.55$
STRATO 4	Terreno sabbioso/ghiaioso a consistenza a media, fino alla profondità di circa 7.20 m da p.c.	$NPD_{medio}=14.53$
STRATO 5	Terreno sabbioso/ghiaioso a consistenza elevata, fino al termine delle prova eseguita.	$NPD_{medio}=78.43$

DPSH 3a		
STRATO 1	Terreno di copertura vegetale seguito da terreno fine coesivo/granulare a bassa consistenza, fino alla profondità di circa 3.30 m da p.c.	$NPD_{medio}=3,52$
STRATO 2	Terreno sabbioso/ghiaioso a consistenza a medio-bassa, fino alla profondità di circa 4.50 m da p.c.	$NPD_{medio}=15.30$
STRATO 3	Terreno di natura coesiva a bassa consistenza, fino alla profondità di circa 5.40 m da p.c.	$NPD_{medio}=8.76$
STRATO 4	Terreno sabbioso/ghiaioso a consistenza medio-elevata, fino al termine delle prova eseguita.	$NPD_{medio}=26.72$

Le tabelle sotto riportate, riprese anche negli allegati alla presente relazione, schematizzano il modello stratigrafico sopra esposto:

PROVA DPSH 2a

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1,8	23,82	152,36	Incoerente - coesivo	2,5	2,5	0,23	1,8	42,88	sabbia e argilla sabbia con argilla
3,3	8,92	89,8	Incoerente	1,89	1,95	0,51	1,8	16,06	ghiaia e sabbia
4,5	5,55	47,43	Incoerente - coesivo	1,97	2,17	0,65	1,8	9,99	sabbia e argilla sabbia con argilla
7,2	14,53	117,06	Incoerente	2,0	1,98	0,86	1,8	26,15	ghiaia e sabbia
10,2	78,43	427,93	Incoerente	2,5	2,21	1,17	1,8	141,17	ghiaia e sabbia

PROVA DPSH 3a

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
3,3	3,52	29,97	Incoerente - coesivo	1,83	1,89	0,3	1,8	6,34	sabbia e argilla sabbia con argilla
4,5	15,3	148,45	Incoerente	2,02	1,99	0,51	1,8	27,54	ghiaia e sabbia
5,4	8,76	60,8	Incoerente - coesivo	2,07	2,28	0,63	1,8	15,77	sabbia e argilla sabbia con argilla
10,2	26,72	188,08	Incoerente	2,15	2,05	0,94	1,8	48,1	ghiaia e sabbia

5.2 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

Come già accennato, il piano di indagine ha previsto l'esecuzione di tre sondaggi a rotazione a carotaggio continuo:

ID sondaggio	Ubicazione	Data esecuzione	Profondità (m da p.c.)
S2	45°39'45.70"N 12°15'31.95"E	25-26/07/2019	10.0
S2b	45°39'47.75"N 12°15'22.94"E	02-06/08/2019	15.0
S3	45°39'50.34"N 12°15'17.07"E	29-30/07/2019	15.0



Fig. 20 Postazione sondaggio S2.



Fig. 21 Postazione sondaggio S2b.



Fig. 22 Postazione sondaggio S3.

Per portare a termine l'incarico sono state utilizzate una perforatrice idraulica Comacchio MC-T10 con 800 Kgm di coppia, allestita su carro gommato ed una perforatrice Puntel PX-600 allestita su carro cingolato.

Durante le operazioni di perforazione sono stati prelevati campioni rimaneggiati ordinati in cassette catalogatrici e un tecnico specializzato ha provveduto alla redazione della colonna stratigrafica ed alla documentazione fotografica.

I campioni di terreno prelevati sono stati classificati e descritti analiticamente nelle tavole allegate, le quali, oltre a rappresentare le successioni dei terreni attraversati, riportano anche le profondità delle prove eseguite in foro, dei campioni prelevati nonché tutti i dati relativi al sondaggio (\varnothing carotiere, rivestimento etc.).

I sondaggi sono stati realizzati con carotiere semplice \varnothing 131 mm, vista la natura dei terreni, si è provveduto al rivestimento del foro mediante utilizzo di tubi di rivestimento in acciaio \varnothing 152 mm, con lunghezza di ogni elemento pari a 1.50 m e con scarpa ad inserti in widia.

Come si può osservare nel dettaglio dalle stratigrafie allegate, i sondaggi hanno messo in luce la presenza di:

SONDAGGIO S2	
RIPORTO	Terreno di riporto antropico, fino a 3.00 m da p.c.
STRATO 1	Terreni di natura mista granulare e coesiva (limi sabbiosi e argillosi), fino alla profondità di circa 3.70 m da p.c.
STRATO 2	Terreni a comportamento granulare (ghiaia in matrice sabbioso-limosa), fino alla profondità di circa 4.90 m da p.c.
STRATO 3	Terreni coesivi (argille e limi) a consistenza bassa e molto bassa con presenza di livelli organici, fino alla profondità di circa 7.80 m da p.c.
STRATO 4	Terreni a comportamento granulare (ghiaiosi), fino al termine del sondaggio eseguito.

SONDAGGIO S2b	
STRATO 1	Terreni di natura mista granulare e coesiva (limi sabbiosi e argillosi), fino alla profondità di circa 2.30 m da p.c.
STRATO 2	Terreni a comportamento granulare (ghiaia in matrice sabbioso-limosa), fino alla profondità di circa 5.10 m da p.c.
STRATO 3	Terreni coesivi (argille e limi) a consistenza bassa e molto bassa con presenza di livelli organici, fino alla profondità di circa 6.00 m da p.c.
STRATO 4	Terreni a comportamento granulare (ghiaiosi), fino al termine del sondaggio eseguito. Tale strato risulta essere intercalato da un sottile livello a granulometria fine di natura coesiva tra circa 10.35 e 10.90 m da p.c.

SONDAGGIO S3	
RIPORTO	Terreno di riporto antropico, fino a 0.80 m da p.c.
STRATO 1	Terreni di natura mista granulare e coesiva (limi sabbiosi e argillosi), fino alla profondità di circa 1.80 m da p.c.
STRATO 2	Terreni a comportamento granulare (ghiaia in matrice sabbioso-limosa), fino alla profondità di circa 5.00 m da p.c.
STRATO 3	Terreni fini coesivi (argille e limi) e granulari (sabbie) a consistenza bassa, fino alla profondità di circa 6.00 m da p.c.
STRATO 4	Terreni a comportamento granulare ghiaiosi fino al termine del sondaggio eseguito.

5.2.1 Prove SPT in foro

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni, come da specifica tecnica, sono state eseguite delle prove SPT in foro.

La prova Standard Penetration Test consiste nella infissione a percussione, secondo una procedura standardizzata, di una punta di acciaio nel fondo di un foro di sondaggio e nella registrazione dei colpi necessari per una penetrazione di 30 cm (NSPT). Se i colpi necessari all'infissione risultano superiori a 50, si considera la prova a rifiuto (R).

Di seguito si riportano le caratteristiche del sistema di infissione e i relativi valori registrati:

- ✓ Peso maglio: 63.5 Kg
- ✓ Corsa caduta maglio: 760 mm
- ✓ Diametro punta: 51 mm
- ✓ Lunghezza campionatore: 457 mm

Di seguito si schematizza la distribuzione di tutti gli SPT eseguiti e i valori di battuta:

ID sondaggio	Inizio prova (m da p.c.)	N. Colpi			Nspt
		15 cm	30 cm	45 cm	
S2	4.5	1	2	1	3
	6.0	2	3	2	5
	9.0	8	31	49	80

ID sondaggio	Inizio prova (m da p.c.)	N. Colpi			Nspt
		15 cm	30 cm	45 cm	
S2b	3.0	3	3	2	5
	4.5	4	4	7	11
	6.0	22	23	24	47
	9.0	10	38	50	Rif
	12.0	15	36	50	Rif

ID sondaggio	Inizio prova (m da p.c.)	N. Colpi			Nspt
		15 cm	30 cm	45 cm	
S3	3.0	5	4	3	7
	4.5	4	6	6	12
	6.0	15	17	25	42
	9.0	12	24	34	58
	12.0	3	2	11	13

I risultati delle prove S.P.T. sono stati elaborati e correlati empiricamente con i parametri geotecnici ricavati anche dalle altre prove eseguite al fine di creare il modello geotecnico successivamente descritto.

Prima di ciò i valori di N_{SPT} sono stati però normalizzati per tener conto dell'influenza delle caratteristiche del sistema di battitura, della lunghezza delle aste e del diametro del foro, arrivando ad ottenere un valore N_{60} , secondo la formula di Ghionna-Robertson 1987:

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot ER/60 \cdot Cs \cdot Cr \cdot Cd$$

dove:

- ✓ ER/60: rendimento del sistema di infissione, normalizzato al 60% del valore teorico massimo. Il sistema utilizzato (Nenzi) garantisce un sistema di rendimento pari a circa 0.65, quindi non viene effettuata nessuna correzione considerando il parametro uguale a 1.08.
- ✓ Cs=1.2: Fattore di correzione legato all'assenza di controcamicia interna del tubo campionario
- ✓ Cr: Fattore di correzione legato alla lunghezza delle aste

Lunghezza aste (m)	3-4	4-6	6-10	>10
Cr	0.75	0.85	0.95	1

- ✓ Cd=1: per diametro del foro di sondaggio compreso tra 65 e 113 mm.

Oltre alle correzioni già viste, si è corretto il valore di N_{SPT} alla pressione del terreno sovrastante, riferendolo ad un valore unitario della pressione litostatica efficace $\sigma_{v0}'=0,1$ MPa, utilizzando la seguente formula suggerita da Jamiolkowski (1985):

$$N_{60}^1 = C_n \cdot N_{60}$$

ove

N_{60} = numero di colpi normalizzato al sistema di battitura

N_{60}^1 = numero di colpi normalizzato alla pressione litostatica

$C_n = 1/(\sigma_{v0}')^{0,56}$

Nelle tabelle riportate di seguito e riprese in allegato, vengono indicati i parametri geotecnici caratteristici dei terreni rinvenuti. Tali valori rappresentano una parametrizzazione dei dati ottenuti in base ai singoli valori di N_{spt} calcolati dalle prove.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI SPT SONDAGGIO S2

Prof. (m)	NSPT	Tipo	γ (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	ϕ (°)	C_u (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)
4.50- 4,95	3	Coesivo Incoerente	1,63	1,86	28,84	--	32,39	30,00	0,35	182,56
6.00- 6,45	5	Coesivo	1,76	1,88	--	--	52,79	50,00	--	--
9.00- 9,45	80	Incoerente	1,96	2,22	≥ 45	--	191,79	475,00	0,19	3997,77

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI SPT SONDAGGIO S2b

Prof. (m)	NSPT	Tipo	γ (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	ϕ (°)	C_u (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)
3.00 3,45	5	Coesivo Incoerente	1,76	1,88	29,4	--	52,79	50,00	0,34	295,08
4.50- 4,95	11	Coesivo Incoerente	1,99	2,19	31,08	--	113,99	110,00	0,33	619,19
6.00- 6,45	47	Incoerente	1,83	2,14	41,16	--	124,00	310,00	0,26	2424,85
9.00- 9,45	88	Incoerente	1,97	2,22	≥ 45	--	208,22	515,00	0,17	4372,47
12.00- 12,45	86	Incoerente	1,97	2,22	≥ 45	--	204,11	505,00	0,18	4279,00

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI SPT SONDAGGIO S3

Prof. (m)	NSPT	Tipo	γ (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	ϕ (°)	C_u (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)
3.00 3,45	7	Coesivo Incoerente	1,86	1,90	29,96	--	73,19	70,00	0,34	404,86
4.50- 4,95	12	Incoerente	1,50	1,94	31,36	--	52,11	135,00	0,33	671,96
6.00- 6,45	42	Incoerente	1,80	2,12	39,76	--	113,73	285,00	0,27	2181,56
9.00- 9,45	58	Incoerente	1,90	2,18	44,24	--	146,60	365,00	0,24	2954,85
12.00- 12,45	13	Incoerente	1,51	1,94	31,64	--	54,17	140,00	0,33	724,47

In corrispondenza dei terreni di natura coesiva, sono state eseguite in sito, prove speditive sulla “carota” collocata nella cassa catalogatrice, poiché, in considerazione della natura dei terreni incontrati non è stato possibile prelevare campioni indisturbati, pur programmati nella campagna di indagine, per eseguire prove di laboratorio geotecnico.

Si sono effettuate prove di penetrazione con il penetrometro tascabile (detto sclerometro o pocket penetrometer) e prove scissometriche con lo scissometro tascabile (torvane).

La prova penetrometrica misura la resistenza alla penetrazione della punta dello sclerometro sulla superficie della carota.

La prova scissometrica misura la resistenza alla torsione delle palette del torvane infisse nella carota (la lettura è associata al valore di momento torcente con il quale si verifica la rottura del terreno).

Le indagini vengono eseguite sulla superficie di un tratto pressoché integro di carota appena estratta, privato di un paio di centimetri di superficie (alterata e compattata in fase di perforazione ed estrazione e pertanto poco significativa).

I risultati ottenuti sono riportati nelle tavole stratigrafiche.

5.2.2 Piezometri a tubo aperto

Al termine delle operazioni di perforazione, i fori di sondaggio sono stati attrezzati con una camicia in PVC adeguatamente microfessurata, avente diametro ext. 90 mm.

In corrispondenza della parte fessurata, l'intercapedine tra la parete del foro ed il piezometro è stata riempita con un dreno composto da ghiaia silicea calibrata, mentre la parte sommitale dell'intercapedine, in corrispondenza del tratto cieco, è stata sigillata con una miscela di cemento e bentonite.

Il piezometro è stato attrezzato secondo lo schema riportato nella tabella sottostante:

Piezometro	S2	S2b	S3
Cieco da m a m	0.00÷1.0	0.00÷1.0	0.00÷1.0
Fessurato da m a m	1.0÷10.0	1.0÷15.0	1.0÷15.0

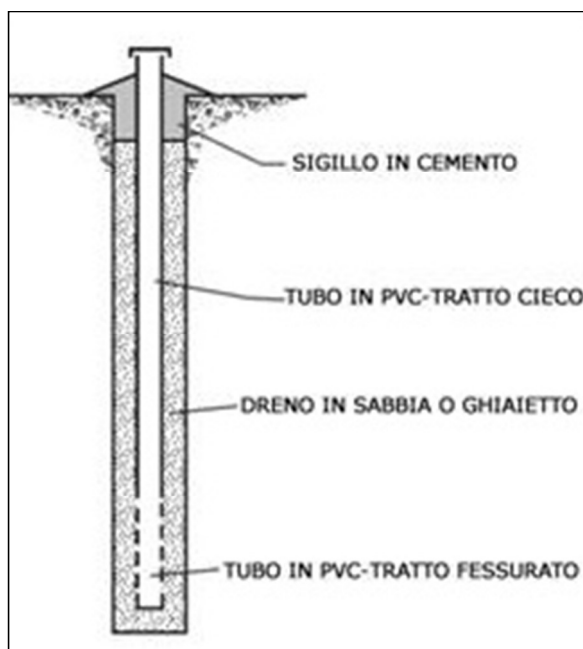


Fig. 23 Schema di un piezometro a tubo aperto.

All'interno dei piezometri installati si è riscontrata la presenza di acqua di falda alla profondità di:

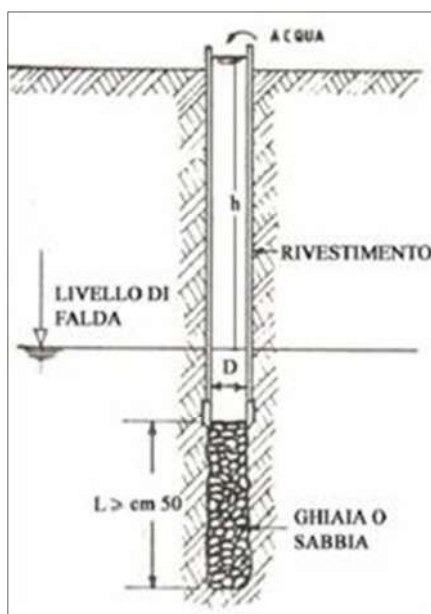
Piezometro	S2	S2b	S3
Profondità di falda m da p.c.	1.04	2.22	0.17

5.2.3 Prove Lefranc

Per una valutazione delle caratteristiche di permeabilità dei terreni attraversati nel corso dei sondaggi, sono state eseguite prova di permeabilità tipo “Lefranc” a carico variabile.

Nelle prove a carico variabile si misura la velocità di riequilibrio del livello idrostatico dopo averlo alterato immettendo acqua in foro; correlando quindi la velocità di discesa dell'acqua con parametri legati alla geometria del tratto di prova si riesce a ricavare un valore medio del coefficiente di permeabilità dei terreni interessati dalla prova.

Il foro di sondaggio viene preparato come illustrato nella figura seguente.



Schema esecutivo di prova di permeabilità a carico variabile.

I risultati ottenuti esposti in forma tabellare ed in forma grafica, sono riportati nelle tavole allegate dove si riporta anche il calcolo della permeabilità.

Sono state eseguite un totale di n. 5 prove Lefranc, per tre prove è stato possibile eseguire le misure del livello d'acqua (h) a frequenti intervalli di tempo. Per le altre due prove, invece, è stato possibile annotare solamente il tempo impiegato dal terreno circostante al foro ad assorbire un certo quantitativo d'acqua immesso.

I valori ottenuti sono i seguenti:

ID sondaggio	Tratto di prova (m da p.c.)	Tipo di prova	K (m/s)	Quantità di acqua (l)	Tempo (s)
S2	4.00-5.00	A carico variabile	> 1E-04	-	-
S2	9.00-9.50	<i>Non raggiunta saturazione del foro</i>	-	200	38
S2b	4.20-5.00	A carico variabile	> 2E-04	-	-
S3	5.00-6.00	A carico variabile	> 7E-07	-	-
S3	8.00-8.70	<i>Non raggiunta saturazione del foro</i>	-	200	52

Per il calcolo della permeabilità K, espressa in *m/s* è stata utilizzata la seguente espressione derivata dalla legge di Darcy (1856):

$$K = \frac{A_F}{C \cdot (t_1 - t_0)} \cdot \ln(h_{t_0} / h_{t_1})$$

dove:

A_F = area del foro (m^2)

$$C = \frac{3\pi L}{\ln \left[1.5 \frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{1.5L}{D} \right)^2} \right]} = \text{coefficiente di forma del foro (m)}$$

dove:

L è la lunghezza del tratto di prova e D il diametro interno del foro.

$t_1 - t_0$ = intervallo di tempo che intercorre tra due misure (s).

h_t = carico idraulico nel foro misurato nel momento t (m).

Il carico idraulico si considera come l'altezza della colonna d'acqua presente dal livello di falda alla bocca pozzo.

I risultati delle prove eseguite sono visibili nel dettaglio nelle tavole allegate.

6. ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO

Per una completa caratterizzazione dei terreni presenti nell'area, durante le operazioni di sondaggio, sono stati prelevati dieci campioni rimaneggiati.

I campioni sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio geotecnico, come di seguito descritto.

Nella tabella che segue si riepilogano le profondità di prelievo dei campioni oggetto di analisi riportate anche nelle tavole stratigrafiche allegate (All. 4).

Sondaggio	Tipo	Sigla	Profondità
S2	rimaneggiato	1	3.00-4.00
S2	rimaneggiato	2	5.00-6.00
S2	rimaneggiato	3	8.00-9.00
S2b	rimaneggiato	2	4.00-5.00
S2b	rimaneggiato	4	7.00-8.00
S2b	rimaneggiato	5	8.00-9.00
S3	rimaneggiato	2	5.00-6.00
S3	rimaneggiato	3	6.00-7.00
S3	rimaneggiato	4	7.00-8.00
S3	rimaneggiato	5	8.00-9.00

La distribuzione delle profondità di prelievo e a quali prove sottoporre ciascun campione sono state decise in modo da ottenere le informazioni sui parametri geotecnici dei terreni, al fine di ottenere un modello geologico completo del sottosuolo investigato in funzione delle opere in progetto.

I campioni sono stati inviati al laboratorio geotecnico Geodata s.a.s. (autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti ai sensi dell'art. 59 del DPR 380/2001) per l'esecuzione delle prove di seguito elencate:

- classificazione geotecnica visiva
- L=determinazione dei limiti di Atterberg;
- D=analisi granulometriche per setacciatura via umida;
- Aer=aerometria della frazione inferiore al vaglio 0.075 mm

Nelle tabelle di seguito riportate vengono sinteticamente mostrati sinteticamente i risultati delle prove di laboratorio eseguite e le interpretazioni conseguenti per ogni singolo sondaggio:

Tipo di prova	sondaggio	S2			S2b		
	indisturbato						
	rimaneggiato	1	2	3	2	4	5
	profondità	3,00-4,00	5,00-6,00	8,00-9,00	4,00-5,00	7,00-8,00	8,00-9,00
Classificazione geotecnica		ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa grigio scura	limo con argilla grigio scuro	ghiaia sabbiosa e limosa grigia	limo argilloso grigio con ghiaia debolmente sabbioso	ghiaia con sabbia debolmente limosa grigia	ghiaia sabbiosa e limosa grigia
Pocket Penetrometer	P.P. kPa	---	---	---	---	---	---
Torvane	Torv. kPa	---	---	---	---	---	---
Contenuto naturale d'acqua	(w %)	---	---	---	---	---	---
Peso dell'unità di volume	(γ kN/m ³)	---	---	---	---	---	---
Peso di volume secco	(γ_s kN/m ³)	---	---	---	---	---	---
Peso specifico dei grani	(γ_s kN/m ³)	---	---	---	---	---	---
Porosità totale	(n, %)	---	---	---	---	---	---
Limiti di Atterberg	WL %	50	50	n.e.	44	n.e.	n.e.
	WP %	34	27	---	22	---	---
	IP %	16	29	n.p.	22	n.p.	n.p.
Analisi granulometrica con vagliatura	ciottoli %	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ghiaia %	41,08	1,18	57,39	29,59	68,77	67,26
	sabbia %	40,18	3,11	22,89	10,31	21,16	19,75
	limo %	14,39	61,06	17,89	46,53	8,38	11,30
	argilla %	4,35	34,64	1,83	13,57	1,68	1,69
Classificazione UNI 11531-1	classe	A2-7	A7-6	A1-b	A7-6	A1-a	A1-a
	lg	0	15	0	7	0	0

Tipo di prova	sondaggio	S3					
	indisturbato						
	rimaneggiato	2	3	4	5		
	profondità	5,00-6,00	6,00-7,00	7,00-8,00	8,00-9,00		
Classificazione geotecnica		sabbia limosa grigia con ghiaia	ghiaia sabbiosa debolmente limosa grigia	ghiaia sabbiosa debolmente limosa grigia	ghiaia sabbiosa e limosa grigia		
Pocket Penetrometer	P.P. kPa	---	---	---	---		
Torvane	Torv. kPa	---	---	---	---		
Contenuto naturale d'acqua	(w %)	---	---	---	---		
Peso dell'unità di volume	(γ kN/m ³)	---	---	---	---		
Peso di volume secco	(γ_d kN/m ³)	---	---	---	---		
Peso specifico dei grani	(γ_s kN/m ³)	---	---	---	---		
Porosità totale	(n_t %)	---	---	---	---		
Limiti di Atterberg							
	WL %	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.		
	WP %	---	---	---	---		
	IP %	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.		
Analisi granulometrica con vagliatura							
	ciottoli %	7,01	0,00	0,00	0,00		
	ghiaia %	25,12	65,22	73,98	63,92		
	sabbia %	47,98	23,05	15,16	17,17		
	limo %	17,13	10,23	9,63	16,50		
	argilla %	2,76	1,50	1,23	2,40		
Classificazione UNI 11531-1							
	classe	A1-b	A1-a	A1-a	A1-b		
	Ig	0	0	0	0		

7. MODELLO LITOSTRATIGRAFICO E DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI TERRENI

In base ai dati ricavati dalle prove penetrometriche e dai sondaggi a carotaggio continuo, si fornisce di seguito una schematizzazione delle caratteristiche dei terreni, attraverso i principali parametri geotecnici.

Tale determinazione è stata eseguita applicando il metodo della discretizzazione degli strati di terreno, suddividendo cioè la sequenza stratigrafica in strati omogenei con caratteristiche assimilabili; l'attribuzione degli specifici parametri è stata eseguita a seguito di una stima ragionata e cautelativa confrontando i valori ottenuti dalle prove eseguite.

Considerata l'estensione dell'area e la distribuzione delle indagini in sito si propongono due diverse schematizzazioni riferite l'una alle indagini eseguite sulla sponda destra del fiume Sile (S3-DSPH3a) e l'altra a quelle eseguite sulla sponda sinistra (S2b-DPSH2-S2).

Come già precedentemente riportato si rileva comunque una certa eterogeneità, che rende ciascun sondaggio unico a causa dell'estrema variabilità deposizionale caratteristica di quest'area, come diffusamente spiegato nei paragrafi precedenti.

Si rimanda quindi ad una lettura attenta delle colonne stratigrafiche e di ciascun certificato di prova allegato alla presente relazione per un'analisi puntuale di ciascuna verticale indagata.

SONDAGGIO S2b - DPSH2 - SONDAGGIOS2 (Sponda sinistra del Sile)

RIPORTO

Terreni di riporto attribuibili a rimaneggiamento/messa in posto per cause antropiche.

S2b	Assente
DPSH2a	p.c. – 0.90 m da p.c.
S2	p.c. – 3.0 m da p.c.

STRATO 1

Terreni di natura mista (granulare e coesiva) a bassa consistenza.

Sabbie debolmente limose e limi argillosi debolmente sabbiosi.

S2b	p.c.-2.30 m da p.c.
DPSH2a	0.90-1.80 m da p.c.
S2	3.00-3.70 m da p.c.

Parametri geotecnici

Comportamento prevalente	granulare/coesivo
Ang. di attrito ϕ' (°)	30
Cu (Kg/cm ²)	0.9
Modulo M (Kg/cm ²)	40
Modulo E (Kg/cm ²)	40

STRATO 2

Terreni di natura granulare a consistenza da medio-bassa a media.

Ghiaie e sabbie in abbondante matrice limoso sabbiosa e limoso argillosa.

S2b 2.30-5.10 m da p.c.

DPSH2a 1.80-3.30 m da p.c.

S2 3.70-4.90 m da p.c.

Nel sondaggio S2b matrice prevalente su componente granulare.

Parametri geotecnici

Comportamento prevalente	granulare
Ang. di attrito ϕ' (°)	29-31
Cu (Kg/cm ²)	-
Modulo M (Kg/cm ²)	-
Modulo E (Kg/cm ²)	60-100

STRATO 3

Terreni di natura coesiva a consistenza bassa.

Argille limose e limi argillosi grigi.

S2b 5.10-6.00 m da p.c.

DPSH2a 3.30-4.50 m da p.c.

S2 4.90-7.80 m da p.c.

Parametri geotecnici

Comportamento prevalente	coesivo
Ang. di attrito ϕ' (°)	-
Cu (Kg/cm ²)	0.3-0.6
Modulo M (Kg/cm ²)	30-45
Modulo E (Kg/cm ²)	-

STRATO 4

Terreni di natura granulare a media ed elevata consistenza.

Ghiaie eterodimensionali in matrice limoso-sabbiosa.

S2b 6.0-15.0 m da p.c.

DPSH2a 4.50-10.0 m da p.c.

S2 7.80-10.0 m da p.c.

Il sondaggio S2b ha evidenziato al suo interno la presenza di un livello coesivo tra 10.35 e 10.90 metri da p.c.

Parametri geotecnici ghiaie

Comportamento prevalente	granulare
Ang. di attrito ϕ' (°)	35-40
Cu (Kg/cm ²)	-
Modulo M (Kg/cm ²)	-
Modulo E (Kg/cm ²)	≥200

SONDAGGIO S3-DPSH3a

(Sponda destra del Sile)

RIPORTO

Terreni di riporto attribuibili a rimaneggiamento/messa in posto per cause antropiche.

S3 p.c.-0.80 m da p.c.

DPSH3a p.c. – 0.30 m da p.c.

STRATO 1

Terreni di natura mista (granulare e coesiva) a bassa consistenza.

Sabbie debolmente limose e limi argillosi debolmente sabbiosi.

S3 0.80-1.80 m da p.c.

DPSH3a 0.30-3.30 m da p.c.

Parametri geotecnici

Comportamento prevalente	granulare/coesivo
Ang. di attrito ϕ' (°)	29
Cu (Kg/cm ²)	0.9
Modulo M (Kg/cm ²)	50
Modulo E (Kg/cm ²)	50

STRATO 2

Terreni di natura granulare a consistenza da medio-bassa a media.

Ghiaie e sabbie in abbondante matrice limoso sabbiosa e limoso argillosa.

S3 1.80-5.0 m da p.c.

DPSH3a 3.30-4.50 m da p.c.

Parametri geotecnici

Comportamento prevalente	granulare
Ang. di attrito ϕ' (°)	30-32
Cu (Kg/cm ²)	-
Modulo M (Kg/cm ²)	-
Modulo E (Kg/cm ²)	70-150

STRATO 3

Terreni di natura granulare a consistenza bassa

Sabbie limo-argillose

S3 5.00-6.00 m da p.c.

DPSH3a 4.50-5.40 m da p.c.

Parametri geotecnici

Comportamento prevalente	granulare
Ang. di attrito ϕ' (°)	31
Cu (Kg/cm ²)	-
Modulo M (Kg/cm ²)	-
Modulo E (Kg/cm ²)	150

STRATO 4

Terreni di natura granulare a media ed elevata consistenza.

Ghiaie eterodimensionali in matrice limoso-sabbiosa.

S2b 6.00-15.0 m da p.c.

DPSH2 5.40-10.0 m da p.c.

Il sondaggio S3 ha evidenziato al suo interno la presenza di un livello coesivo tra 10.00 e 10.70 metri da p.c.

Parametri geotecnici ghiaie

Comportamento prevalente	granulare
Ang. di attrito ϕ' (°)	36
Cu (Kg/cm ²)	-
Modulo M (Kg/cm ²)	-
Modulo E (Kg/cm ²)	150-250

8. ATTIVITÀ PER LA VERIFICA DELLA QUALITÀ CHIMICA DEI TERRENI

Nel corso dell'indagine, si è provveduto a prelevare campioni di terreno dalle cassette catalogatrici da sottoporre ad analisi chimiche secondo indicazioni della DLL.

Sono stati prelevati:

- N.2 campioni di terreno dalle carote del sondaggio S2
- N.2 campioni di terreno dalle carote del sondaggio S2b
- N.2 campioni di terreno dalle carote del sondaggio S3

I campioni prelevati, una volta etichettati, e codificati sono stati inviati, a temperatura controllata, al laboratorio chimico accreditato "Centro Analisi Chimiche"; le analisi di laboratorio sono state svolte secondo quanto indicato dalla DLL.

In totale sono stati quindi prelevati 6 campioni di terreno analizzati così come indicato nella tabella sottostante:

Punto di prelievo	Matrice	Profondità di prelievo	Rapporto di prova	Analiti
S2	Terreno	3.00-4.00	191906-003	Arsenico, Piombo, Cadmio, Cobalto, Cromo tot, Cromo VI, Mercurio, Nichel, Rame, Zinco, Idrocarburi C>12
S2	Terreno	6.00-7.00	191906-005	
S2b	Terreno	2.00-3.00	191906-002	
S2b	Terreno	7.00-8.00	191906-006	
S3	Terreno	1.00-2.00	191906-001	
S3	Terreno	3.00-4.00	191906-004	

Per una lettura dettagliata degli esiti analitici si rimanda ad una lettura dei certificati di laboratorio allegati.

9. CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI RELATIVE AL PROGETTO

In base ai risultati della campagna di indagine svolta è stato possibile ottenere:

- ✓ una ricostruzione stratigrafica dettagliata delle verticali investigate;
- ✓ la caratterizzazione geologica e geotecnica dei terreni attraversati;
- ✓ la profondità della falda nei punti di indagine, alcuni dei quali attrezzati con piezometri a tubo aperto per permettere un rilievo nel tempo.

Quanto evidenziato nel corso delle indagini in sito ha validato il modello geologico ricavato dall'analisi delle fonti bibliografiche.

In generale appare evidente come il sottosuolo sia costituito da un'alternanza di terreni di natura coesiva a consistenza bassa e molto bassa e terreni grossolani con buone caratteristiche meccaniche e di permeabilità, ma con distribuzione verticale ed orizzontale eterogenea.

Sono presenti livelli superficiali di riporto storico/antropico con spessore variabile da pochi centimetri fino a 3 metri.

Entro i primi 6-7 metri da p.c. in generale si osserva una fitta alternanza di terreni coesivi di natura limoso-argillosa e granulari di natura sabbioso-ghiaiosa. Tale stratificazione risulta essere non regolare ed i vari livelli mostrano differenze di spessore rilevanti anche su brevi distanze

Al di sotto di 6-7 metri da p.c. si rinviene la presenza di materiali granulari prettamente ghiaiosi in matrice sabbioso-limosa caratterizzati da buona consistenza.

Dal punto di vista geotecnico, il sottosuolo dell'area indagata è stato suddiviso in strati omogenei per caratteristiche, per quanto possibile in considerazione dell'elevata variabilità verticale ed orizzontale dei terreni attraversati.

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico locale, esso è caratterizzato da litologie sciolte a granulometria variabile sia verticalmente che orizzontalmente, in conseguenza dell'energia deposizionale di origine fluviale.

Nell' area dei sondaggi S2 e S2b è presente una prima falda freatica alloggiata nei terreni fini superficiali a profondità comprese tra 2.5-3.0 metri da p.c. la cui oscillazione sarà strettamente legata al regime di portata del fiume Sile.

Vi possono poi essere lenti più superficiali di natura granulare che, in virtù della loro maggiore permeabilità, ospitano locali falde superficiali di impregnazione.

È poi presente una falda nelle ghiaie sottostanti che localmente può essere risaliente come nell' area del piezometro S3 ove si rileva un livello piezometrico prossimo al piano campagna.

Considerato che i parametri geotecnici risultano ricavati da verifiche di tipo puntuale ed indiretto e considerata soprattutto la presenza di depositi di natura eterogenea per pezzatura e compattezza, si raccomanda di tenere in debito conto tale variabilità nella progettazione e nelle fasi realizzative dell'opera.

Due Carrare, settembre 2019

