

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.

R03.02

**RELAZIONE GEOLOGICA
INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE SILE**

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:

	<p>GEOLOGIA TECNICA sas di Vorlice P.A. & C Azienda certificata UNI EN ISO 9001:2015</p>	 
---	---	---

Provincia di	TREVISO
Comune di	TREVISO
Committente	ALTO TREVIGIANO SERVIZI



RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

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 – I stralcio

Provincia di	TREVISO
Comune di	TREVISO
Committente	ALTO TREVIGIANO SERVIZI

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

INTRODUZIONE.....	3
RELAZIONE GEOLOGICA	4
ANALISI SISMICA	11
RELAZIONE GEOTECNICA.....	16
CONCLUSIONI.....	27



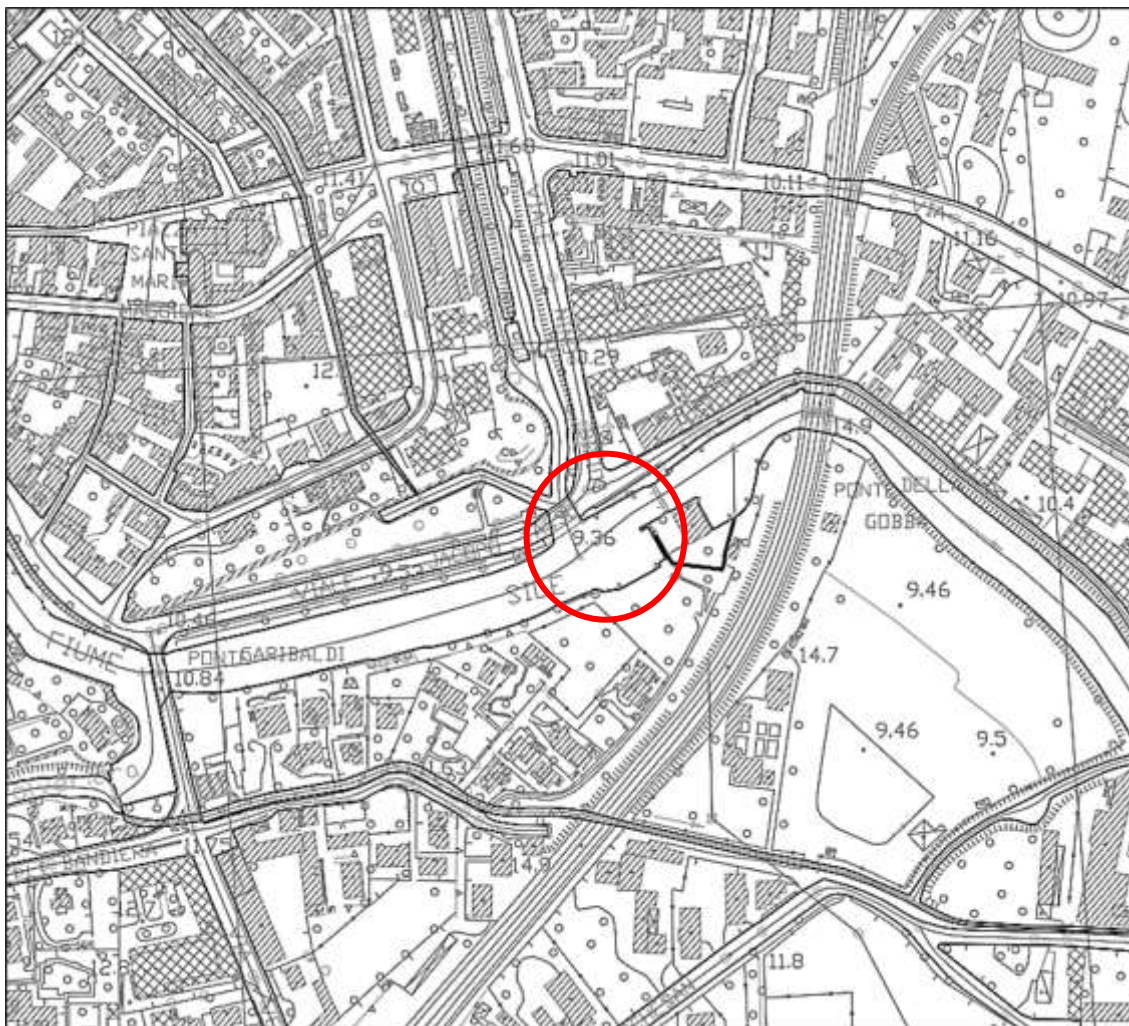
INTRODUZIONE

Al fine di verificare la fattibilità geologica e di fornire indicazioni geotecniche per la realizzazione della fognatura in attraversamento del fiume Sile nell'ambito del progetto “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 – I stralcio” sono state eseguite le seguenti indagini:

1. Una ricerca bibliografica inerente all'area in esame
2. L'esecuzione di una tomografia sismica
3. L'esecuzione di 3 sondaggi a geognostici fino alla prof. di -8,0 dal fondale fiume
4. L'esecuzione di indagini di laboratorio geotecnico

Le indagini sono state realizzate considerando le indicazioni di Alto Trevigiano Servizi.

Tale indagine è altresì necessaria per ottemperare alle NTC del D.M. 17/01/2018.



Estratto CTR 1:5000 (non in scala). Cerchiato in rosso tratto di indagine

RELAZIONE GEOLOGICA

Geologia

Il sito indagato si trova ad est del centro di Treviso. In quest'area secondo l'estratto della carta geologica 1:100.000 (sotto riportata), si trova in corrispondenza delle alluvioni del Piave (ghiaie, sabbie grossolane ed argille) in particolare limi e ghiaie.

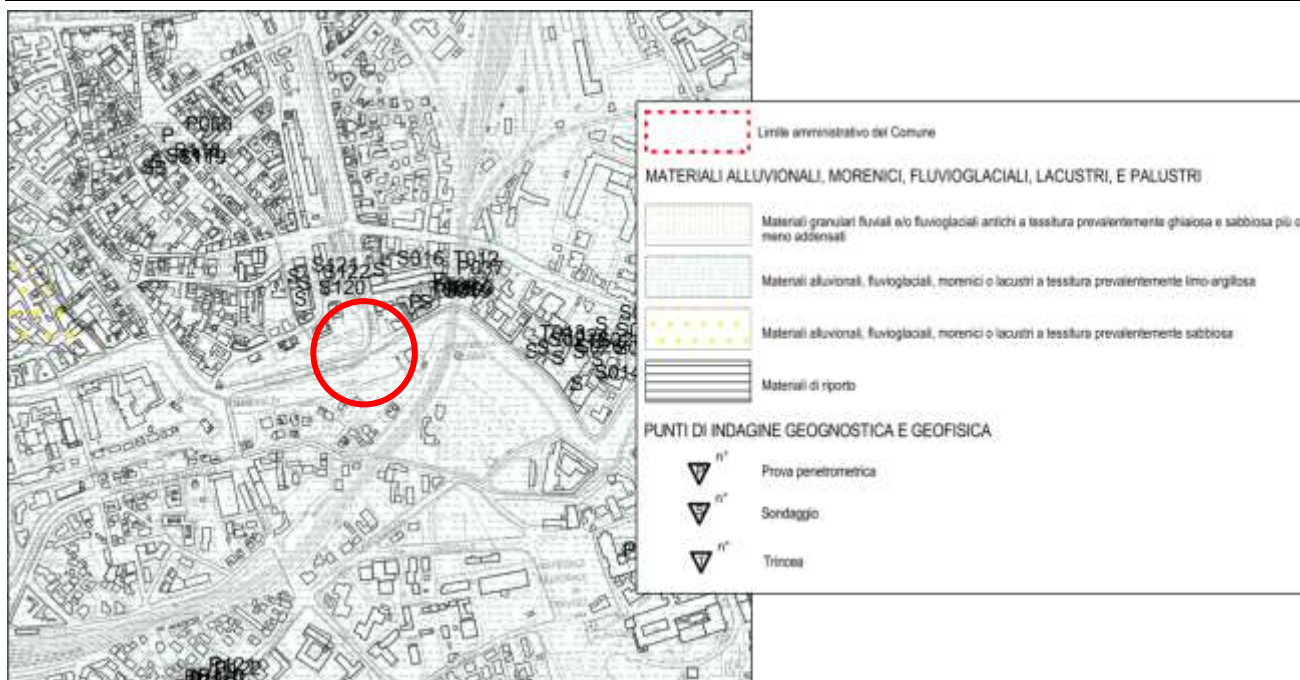


Estratto carta geologica foglio 51 Venezia; cerchiato in rosso il sito in esame

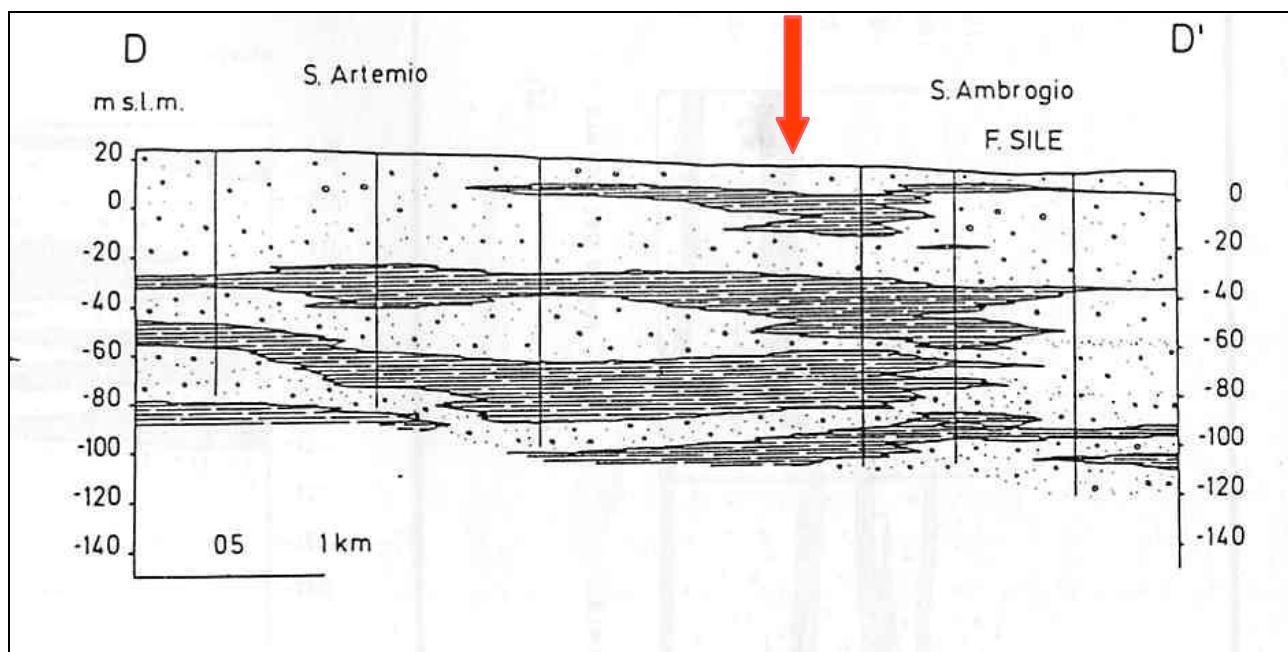
In generale, dal punto di vista geolitologico, nel territorio affiorano terreni di origine alluvionale, depositati dalle imponenti divagazioni dei fiumi Brenta e Piave e, in misura minore e solo in superficie, dal Sile e da altri fiumi di risorgiva. Le direttrici di sedimentazione hanno generato propri con di deposizione che si sono sovrapposti e compenetrati gli uni negli altri, determinando facies diverse in base alla granulometria dei materiali e all'energia idraulica della corrente. Alla differenziazione e progressiva riduzione delle ghiaie verso sud, corrisponde l'aumento rapido dei materiali fini, da sabbiosi a limoso-argillosi. I corpi canalizzati, prevalentemente ghiaioso-sabbiosi si assottigliano e la maggior parte di essi si esaurisce entro i materiali limoso-argillosi. Tali successioni sono caratterizzate da un'estrema variabilità, sia in senso orizzontale sia verticale, e non sempre è possibile estrapolare correlazioni stratigrafiche. La variabilità è legata alla natura alluvionale dei depositi, organizzati in strati lentiformi e con frequenti interdigitazioni causate da passaggi repentini di ambienti sedimentari differenti ma contigui.

Si riporta a seguito un estratto della carta litologica del PAT comunale, nel quale il sito ricade all'interno dei "materiali alluvionali, fluvio-glaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente limo-argillosa".

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA



Estratto carta litologica del PAT, comune di Treviso; cerchiato in rosso il sito in esame



Sezione stratigrafica con posizionamento indicativo del sito

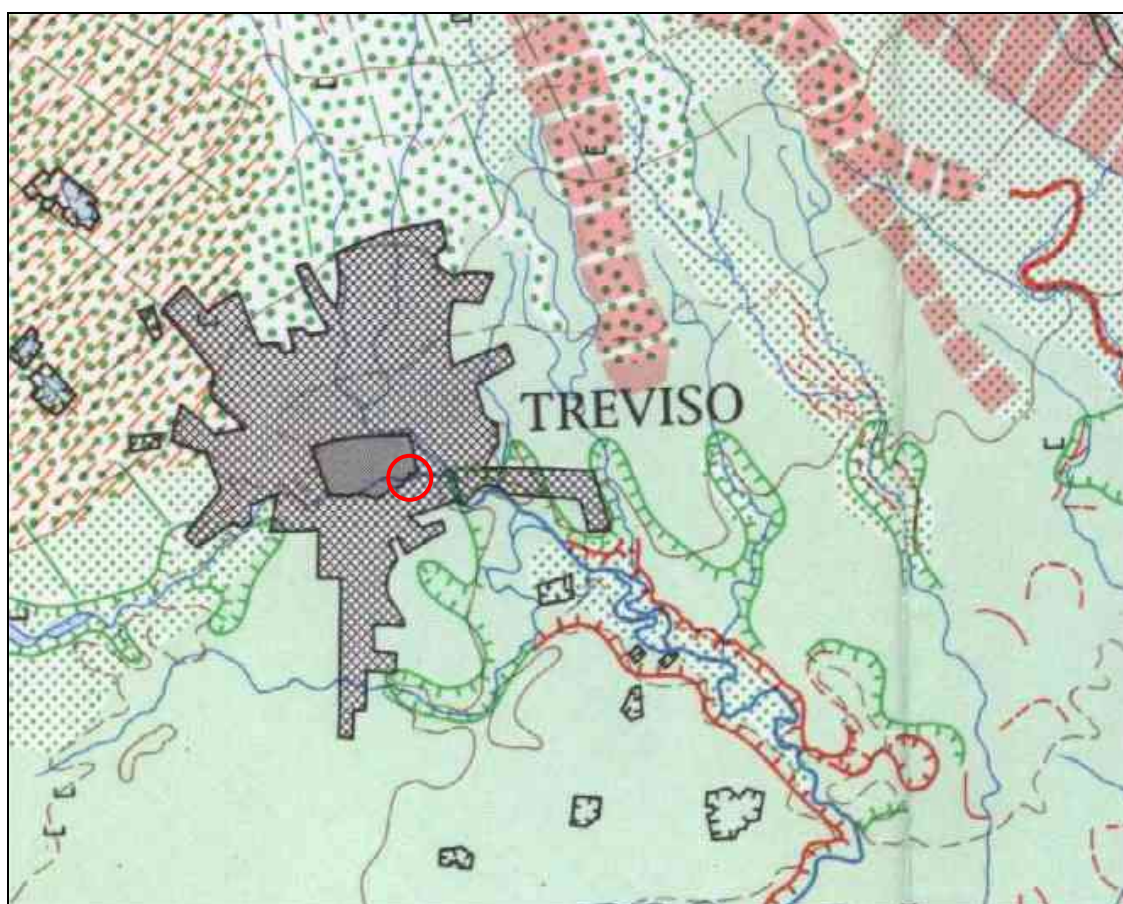
La sezione D-D', sopra riportata è ubicata a ovest del sito indagato, con direzione N-S, e indica la presenza per i primi 10 m circa di depositi ghiaiosi sabbiosi seguiti da litologie fini.

Le cartografie riportate sono riferite sicuramente ad indagini fuori dal fiume, ovviamente le energie di trasporto coinvolte nell'area fluviale sono molto forti tanto da trasportare materiali a tessitura grossolana come sabbie e ghiaie, come lo dimostra la presenza di tali litologie nella coltre superficiale del letto del fiume

Le indagini eseguite nel letto del fiume, evidenziano la presenza di una coltre di sabbie / ghiaie in matrice argilloso limose per circa 0,5 m di spessore susseguiti da un livello di argilla limosa mediamente fino a circa - 1,70 m dal fondo, dopo fino a circa 8 m la prevalenza di terreni ghiaiosi a in matrice limosa argillosa a sabbiosa. Per una valutazione più precisa si rimanda alle stratigrafie e alle sezioni riportate in allegato.

Geomorfologia

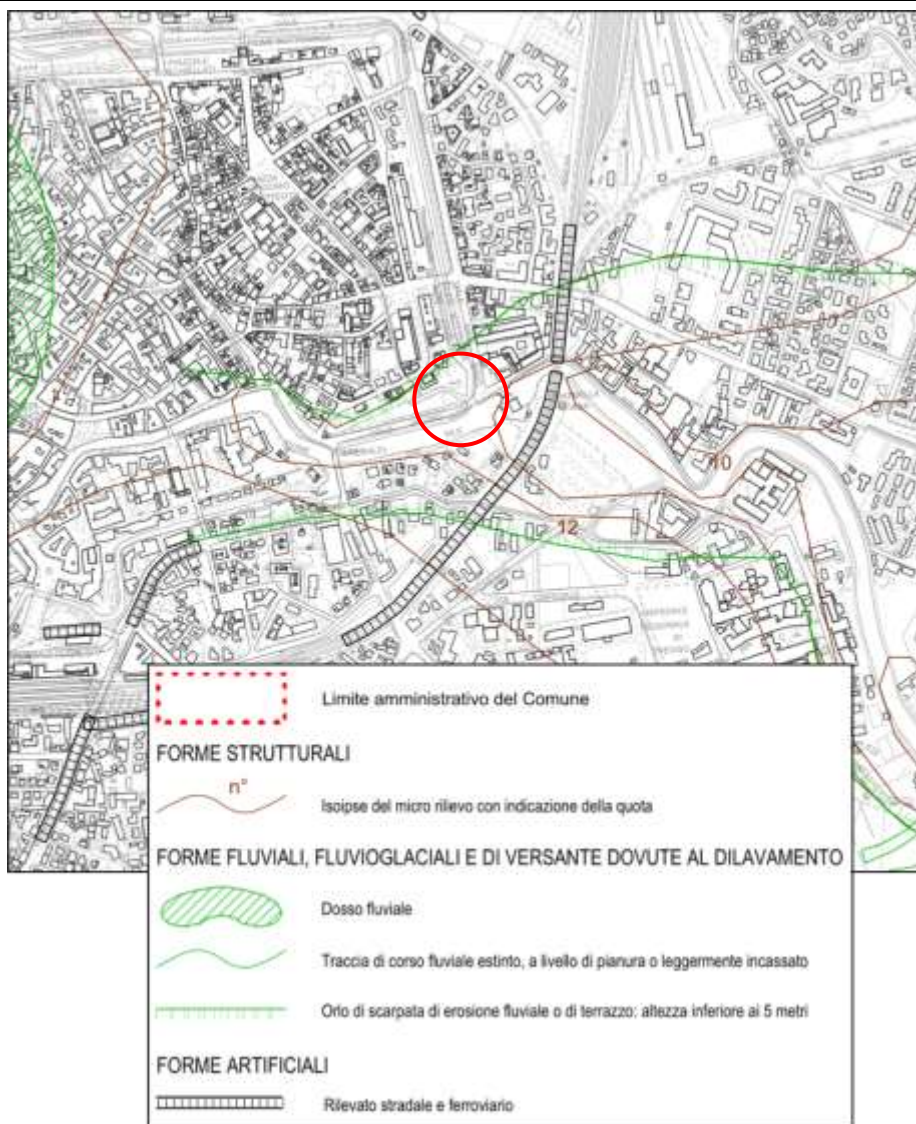
L'area indagata appartiene alla media pianura e ad ampia scala osservando l'estratto della carta geomorfologica della pianura padana, si riconoscono nell'area a nord est di Treviso depositi ghiaiosi (puntinato verde) e tracce di dossi fluviali (rosa) che si estendono da nord a sud. A livello locale risulta difficile riconoscere queste forme per la presenza di una forte urbanizzazione dell'intera area. La morfologia del sito è sicuramente segnata dell'andamento meandriforme dell'alveo dei fiumi Sile. La quota media del sito è di circa 9,36 m s.l.m.m. (CTR 1:5000).



Estratto carta geomorfologica della pianura padana

Si riporta a seguito un estratto della carta geomorfologica del PAT comunale, nel quale l'unico elemento morfologico rilevato poco a nord del sito e a sud dell'area in esame, risulta un orlo di scarpata di erosione fluviale o di terrazzo di altezza inferiore a 5 m.

Sede: v. Martiri Libertà 29, 35042 Este (PD) tel. 0429601986 fax 04291702351 e-mail info@geologiatecnica.net sito web: www.geologiatecnica.net		
File: Treviso_alveso Sile_ATS.doc	Redatto da: Vorlicek P. A.	Data 07/10/2021
Rev. 00	Controllato da: Sacramati M.	Pag. 6



Estratto carta geomorfologica del PAT, comune di Treviso; cerchiato in rosso il sito in esame

Idrologia

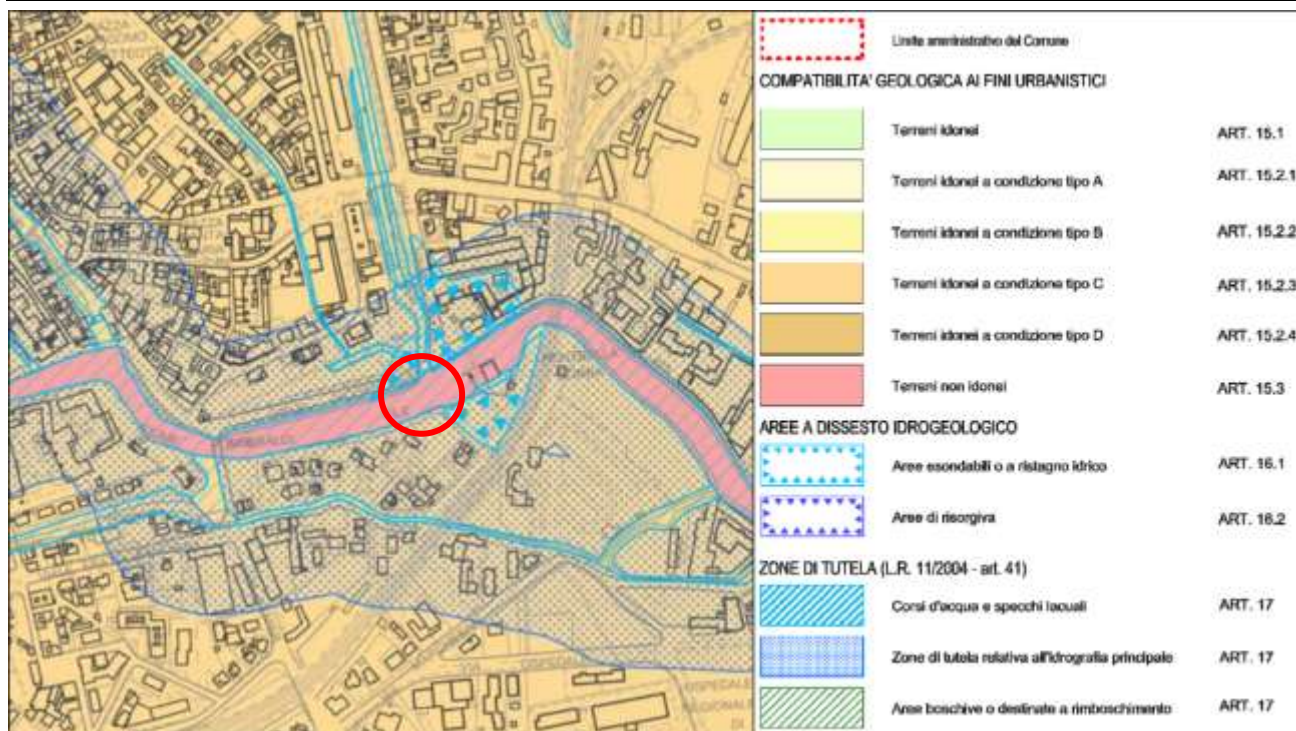
L'idrologia locale è segnata dalla presenza del Fiume Sile (che nasce da varie risorgive distribuite tra le provincie di Treviso e Padova), dal vicino fiume Limbraga (corso d'acqua di risorgiva che nasce a nord di Treviso per poi proseguire con percorso meandriforme a est del centro abitato e confluire nel Fiume Sile) e dai vari canali consortili.

In base alla cartografia della fragilità del PAT comunale a seguito riportata, il sito indagato risulta essere posto in un'area definita "Terreni non idonei" all'edificazione ed è posta in un'area di tutela all'idrografia principale, inoltre confina ad est con un'area esondabile o a ristagno idrico.

Appena ad est inoltre si segnala la presenza di una opera idraulico per il controllo delle portate (vedi foto a seguito).

Sede: v. Martiri Libertà 29, 35042 Este (PD) tel. 0429601986 fax 04291702351 e-mail info@geologiatecnica.net sito web: www.geologiatecnica.net		
File: Treviso_alveso Sile_ATS.doc	Redatto da: Vorlicek P. A.	Data 07/10/2021
Rev. 00	Controllato da: Sacramati M.	Pag. 7

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

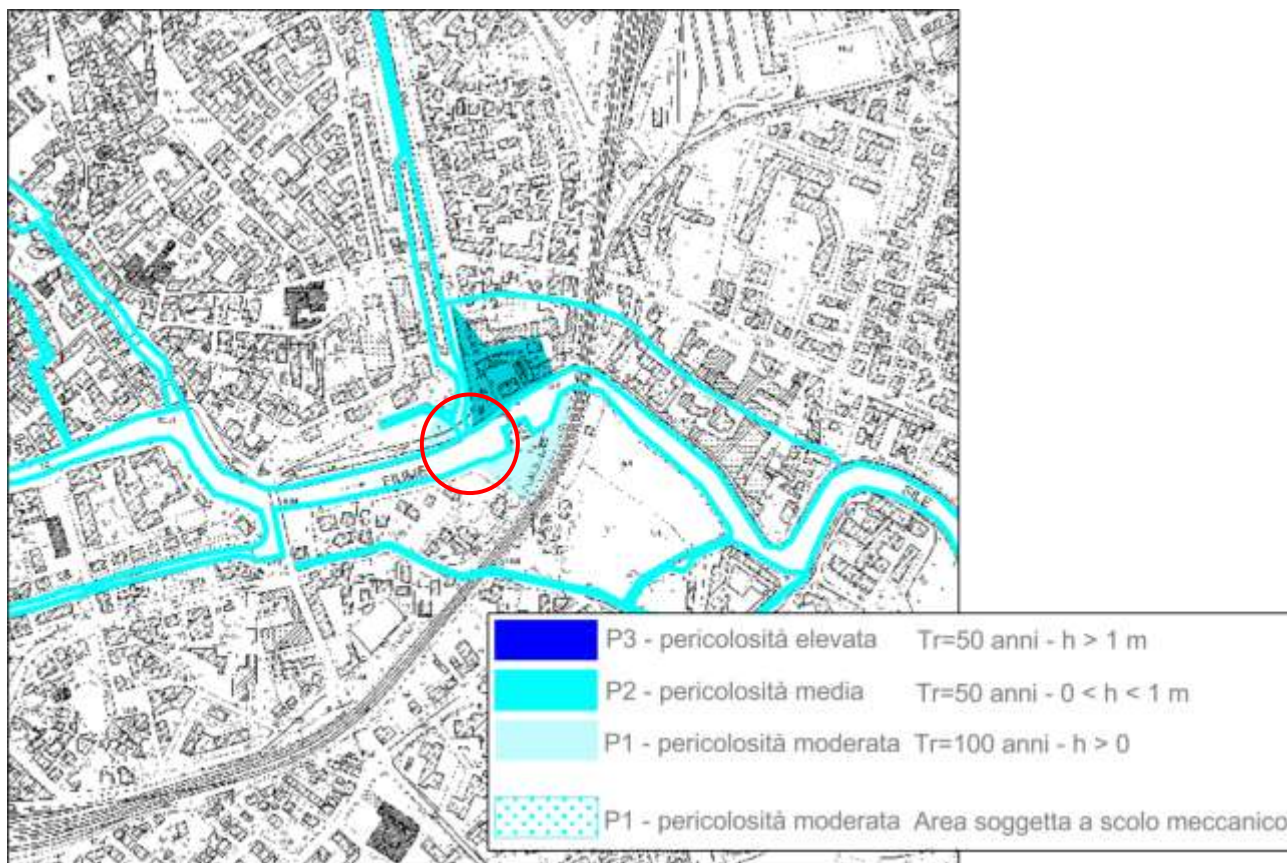


Estratto carta della fragilità del PAT, comune di Treviso; cerchiato in rosso il sito in esame



Foto dell'opera idraulica posta a est dell'area di studio

Si riporta inoltre un estratto della carta idrogeologica del PAI del fiume Piave in cui si evidenzia come il tratto attorno il fiume Sile sia evidenziato a pericolosità media P2.



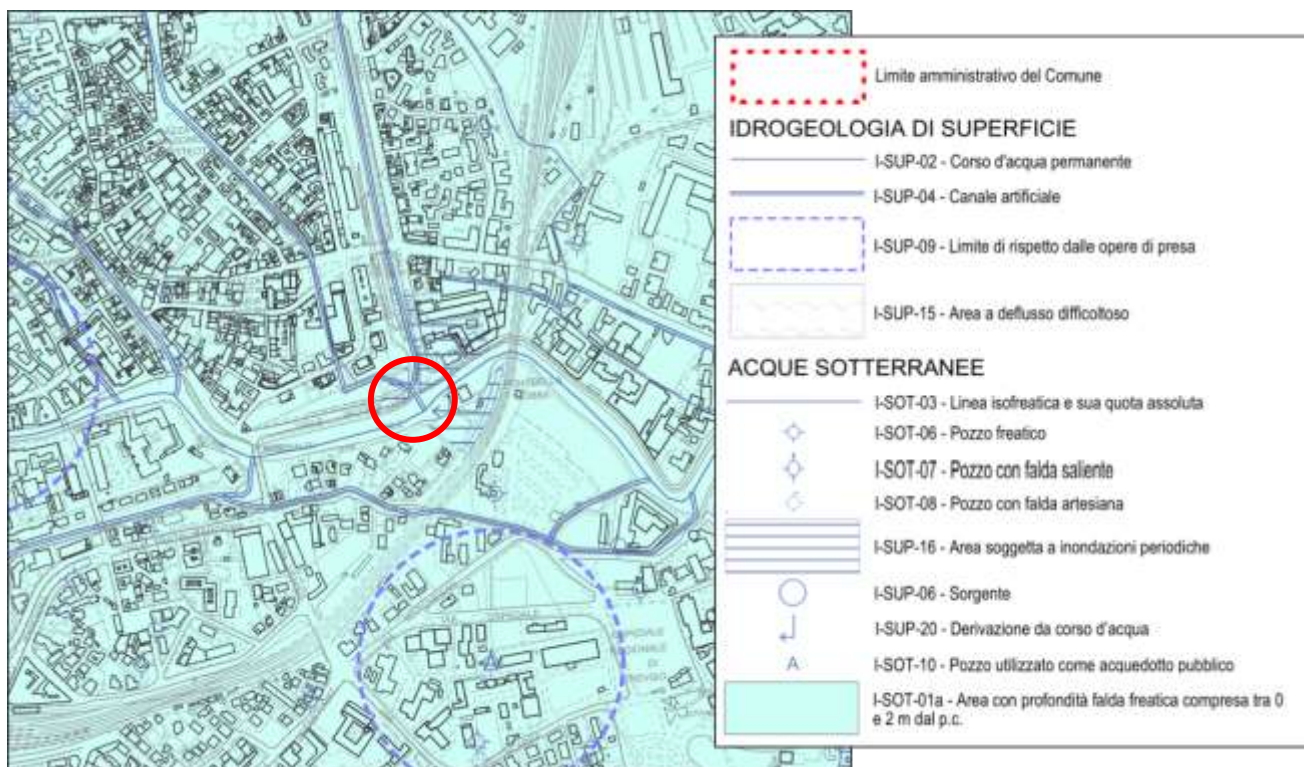
estratto della carta idrogeologica del PAI del fiume Piave. Cerchiato in rosso il sito di studio

Idrogeologia

In generale la complessa interdigitazioni stratigrafica, crea i presupposti per la venuta a giorno di parte delle acque sotterranee (risorgive) e nello stesso tempo, la formazione di quel sistema multifalda della bassa pianura veneta, caratterizzato dalla sequenza di acquiferi alloggiati in formazioni sabbiose, separate da formazioni limoso-argillose più impermeabili. La complessità stratigrafica si riflette sulla situazione idrogeologica, condizionando la forma degli acquiferi e i loro reciproci rapporti.

Il sito indagato si trova all'interno della fascia delle risorgive, a monte delle quale è presente un acquifero indifferenziato che diviene un sistema multifalde nel momento in cui i depositi prevalentemente ghiaiosi si interdigitano con livelli a minor permeabilità (limi e argille). In tale fascia è appunto il contatto con queste litologie a minor permeabilità il fautore della venuta a giorno dell'acqua di falda (linea dei fontanili).

In base all'estratto della carta idrogeologica del PAT comunale, nel sito di studio ci si attende una falda freatica tra 0 e 2 m dal p.c., in linea con la differenza di quote tra il livello dell'acqua del Piave e il piano campana ai lati del corso d'acqua. Essendo infatti presenti in sito materiali a tessitura ghiaiosa con una alta permeabilità, l'acqua di falda è in equilibrio con il livello del fiume.



Estratto carta geomorfologica del PAT, comune di Treviso; cerchiato in rosso il sito in esame

ANALISI SISMICA

Classificazione sismica del sito

Il comune di Treviso (Secondo la classificazione sismica indicati nell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n°3274/03) è classificato dal punto di vista sismico in classe 3 con quindi i seguenti parametri edificatori minimi.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g/g)
3	$0,05 < a_g \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g

La classificazione sismica in zone 1 2 3 4 dopo l'entrata in vigore delle NTC08 ha solo valore amministrativo, vale solo per i controlli sui progetti da parte del GC. L'azione sismica va sempre calcolata tenendo conto della griglia. Per l'identificazione della zona sismica in cui ricade ciascun comune o porzione di esso, occorre fare riferimento alle disposizioni emanate ai sensi dell'art. 83, comma 3, del DPR 6.6.2001, n. 380.

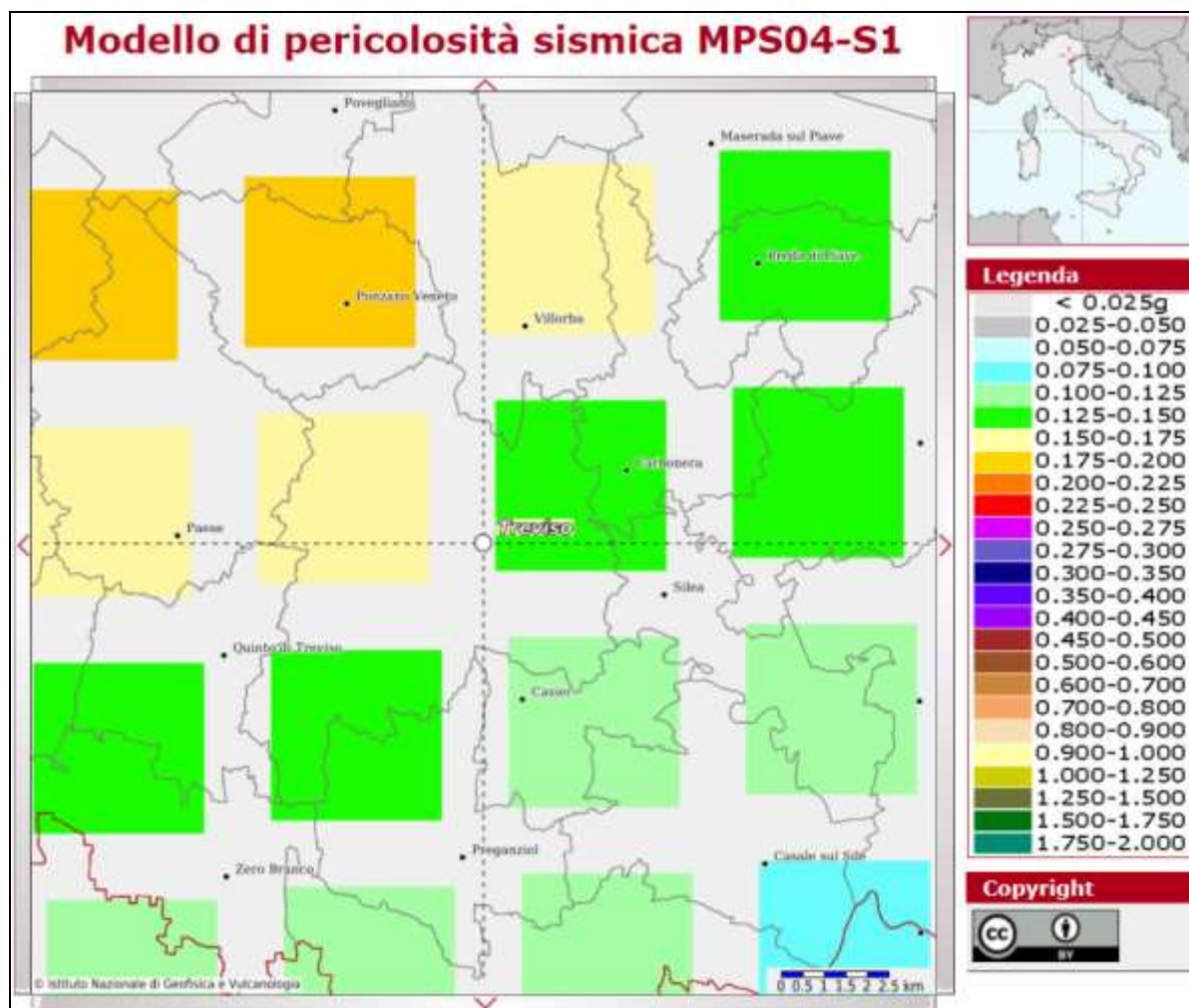
Inoltre è stata approvata la delibera di aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto e una nuova mappa delle stesse, rilevante ai fini dell'individuazione degli adempimenti amministrativi previsti dalla vigente normativa in materia. Si segnala l'entrata in vigore della nuova zonazione sismica del territorio Veneto avvenuta dopo 60 giorni dalla pubblicazione sul BUR del provvedimento: *Bur n. 38 del 16 marzo 2021 DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE n. 244 del 09 marzo 2021 Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto. D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, articolo 83, comma 3; D. Lgs 31 marzo 1998, n. 112, articoli 93 e 94. D.G.R./CR n. 1 del 19/01/2021.*

Il criterio di assegnazione dei comuni alle diverse zone sismiche si basa sul valore di accelerazione sismica massima attesa a_{max} con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Sono assegnati alla zona 1 i comuni con $a_{max} > 0,250g$, alla zona 2 quelli con accelerazione compresa tra 0,250 e 0,150g, e alla zona 3 quelli con accelerazione $< 0,150g$ in coerenza con le disposizioni contenute nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274. Il criterio di attribuzione dei comuni alle tre zone è quello più cautelativo, vale a dire i comuni sono inseriti nella fascia corrispondente all'accelerazione massima ricadente nel territorio comunale. La nuova mappa delle pericolosità sismica del veneto è riportata nell'ALLEGATO A DGR n. 244 del 09 marzo 2021 e la nuova classificazione dei singoli comuni è riportata nell'ALLEGATO B DGR n. 244 del 09 marzo 2021.

Il comune di Treviso (Secondo DGR n. 244 del 09 marzo 2021) è classificato dal punto di vista sismico in classe 2 con quindi i seguenti parametri edificatori minimi.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g/g)
2	$0,15 < a_g \leq 0,25 \text{ g}$	0,25 g

Sulla base delle mappe interattive dell'I.N.G.V., l'area comunale di Treviso 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 (Classe A), compreso tra 0,150 (a_g/g) e 0,175 (a_g/g) (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni).



Estratto mappa pericolosità sismica INGV

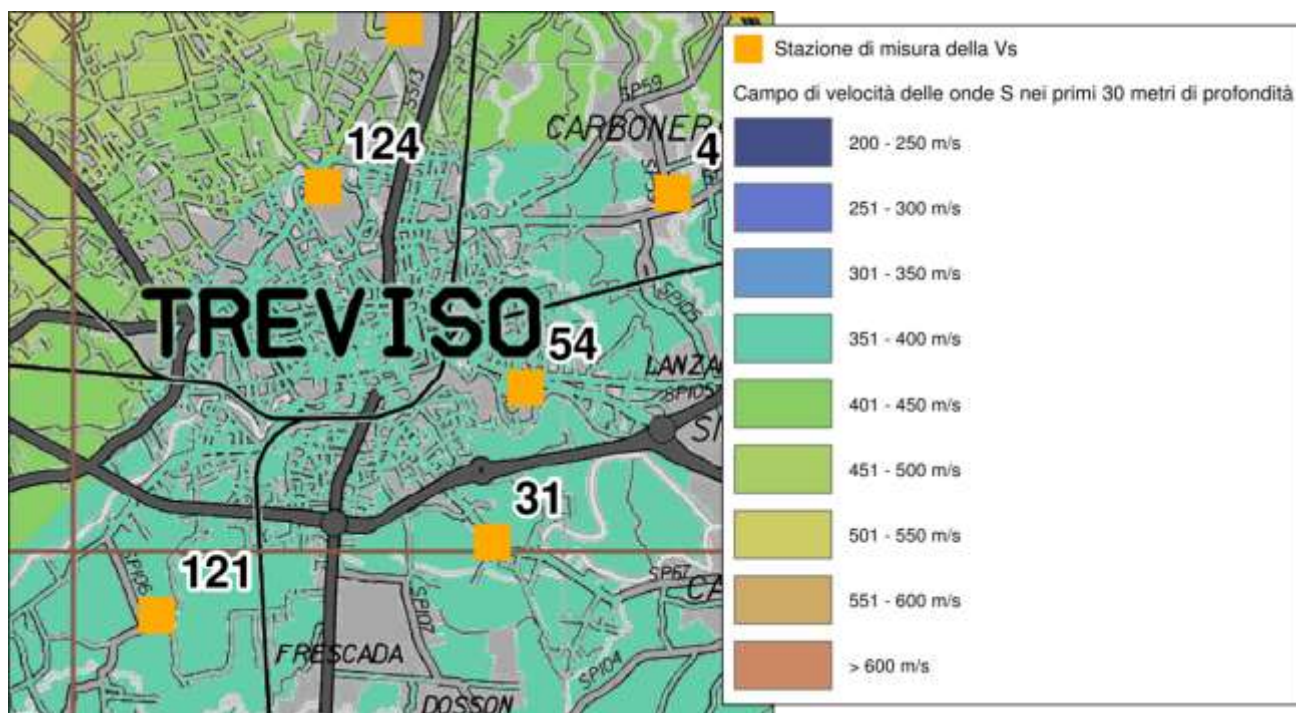
Categoria sismica sottosuolo e condizioni topografiche

Categoria sismica sottosuolo

A seguito si riporta quanto indicato nelle NTC del D.M. 17/01/2018 nel capitolo "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche" nel punto 3.2.2. per la determinazione della categoria sismica di sottosuolo.

Qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S . Valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Dai dati delle prove in sito e dai dati bibliografici, si evidenzia la presenza in sito di terreni prevalentemente granulari a tessitura ghiaiosa in matrice sabbiosa limosa e argilloso limosa, compatibili con una Vs30 indicata dalla cartografia sismica della pianura della Provincia di Treviso, di cui a seguito se ne riporta un estratto, che evidenzia valori di VS30 compresi tra 351 – 400 m/s. In base quindi ai dati raccolti si stima che i terreni appartengono alla **categoria di sottosuolo C**.



Estratto Cartografia sismica della pianura della Provincia di Treviso – Mappa delle VS30. Cerchiato in rosso il sito di studio

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

Categoria	Categoria del sottosuolo
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.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

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

All'area oggetto di studio si può attribuire la **condizione topografica T1**.

Liquefazione terreni

In base alle indicazioni del paragrafo 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione del DM 17/01/2018, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

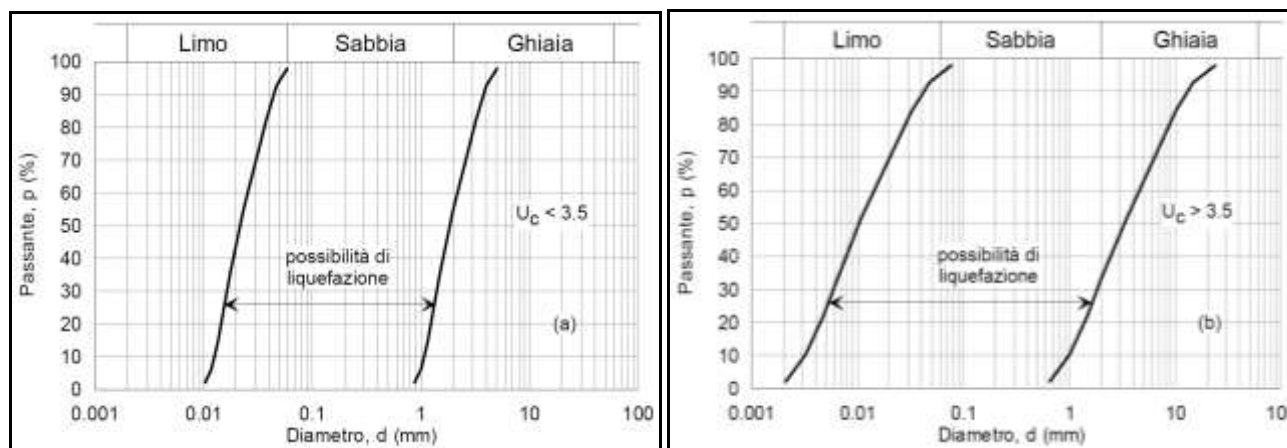


Fig. 7.11.1. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione

	GEOLOGIA TECNICA sas di Vorlicek P.A. & C	Azienda certificata UNI EN ISO 9001:2015 da: Kiwa Cermet Italia S.p.A.
RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA		

Verifica alla liquefazione dei suoli incoerenti

L' accelerazione sismica a_g per lo stato limite SLV è 0,136. L'accelerazione massima attesa al piano campagna è data dalla formula:

$$A_{gmax} = S_s * S_t * a_g$$

Con il valore 1,50 di amplificazione stratigrafica S_s e 1,00 di amplificazione topografica S_t , A_{gmax} attesa= 0,204
Nella tabella a seguito si riportano le verifiche alla liquefazione per i principali banchi sabbiosi posti al di sotto del piano di fondazione. La liquefazione è assente per $F_s > 1,25$, possibile per $F_s < 1,25$ e probabile per $F_s < 1,00$.
In base ai risultati delle prove di laboratorio geotecnico i terreni in sito non appartengono al fuso granulometrico con possibilità di liquefazione.

Sede: v. Martiri Libertà 29, 35042 Este (PD) tel. 0429601986 fax 04291702351 e-mail info@geologiatecnica.net sito web: www.geologiatecnica.net		
File: Treviso_alveso Sile_ATS.doc	Redatto da: Vorlicek P. A.	Data 07/10/2021
Rev. 00	Controllato da: Sacramati M.	Pag. 15

RELAZIONE GEOTECNICA

Sondaggio a carotaggio continuo

I sondaggi S1, S2 e S3 sono stati eseguiti a carotaggio continuo con circolazione di fluidi (i cui logs stratigrafici completi e le foto delle cassette catalogatrici sono presenti in allegato) spinti fino alla profondità massima di 8,00 m dal fondo. Nell'avanzamento della perforazione è stato usato un carotiere semplice diam. 101 mm. e rivestimento diam 126. Le carote sono state deposte in cassette catalogatrici e sulle stesse, in corrispondenza delle litologie coesive, sono state effettuate delle verifiche con il torvane (T, scissometro tascabile) per determinare la resistenza al taglio e con il PP (pocket penetrometer test).

La prova SPT consiste nella misura del numero di colpi necessari per l'infissione di un campionatore Raymond sotto i colpi di un maglio della massa di 63.5kg (± 0.5 kg) e volata di 0.76m (± 0.02 m). La prova viene eseguita al fondo di un foro di sondaggio spinto alla profondità desiderata. Per le operazioni di pulizia e approfondimento del foro non è possibile eseguire la prova con frequenza maggiore di una al metro. Il campionatore viene infisso per tre avanzamenti successivi di 150 mm ciascuno. Il primo tratto, detto di avviamento, comprende l'eventuale penetrazione iniziale per peso proprio; se il numero di colpi $N_1=50$ l'avanzamento è minore di 15 cm, l'infissione deve essere sospesa, la prova è considerata conclusa, e si annota la relativa penetrazione (ad esempio $N_1=50/13$ cm). La resistenza alla penetrazione è caratterizzata dalla somma del numero di colpi necessari all'avanzamento del secondo e terzo tratto entrambi da 150mm:

$$N_{SPT} = N_2 + N_3$$

In questo modo si elimina o si riduce al minimo l'influenza di fattori estranei quali presenza di detrito a fondo foro e il disturbo prodotto dal rilascio tensionale durante la perforazione. Se con $N_2+N_3=100$ non si raggiunge l'avanzamento di 30cm, si dice che la prova è andata "a rifiuto", l'infissione è sospesa e la prova è considerata conclusa, annotando la relativa penetrazione.

Sono inoltre stati prelevati diversi campioni indisturbati per eseguire prove geotecniche di laboratorio.

A seguito ubicazione e foto esecuzione dei sondaggi, in allegato stratigrafie, foto delle cassette e sezioni geologiche ricavate dai dati di cantiere.

ID	Latitudine	Longitudine
S1	45,663722°	12,255611°
S2	45,663722°	12,255556°
S3	45,663639°	12,255611°

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA



Foto esecuzione sondaggi S1, S2 e S3



Ubicazione sondaggi S1, S2 e S3

Sondaggio	Profondità	N ₁ (n° colpi) 0-15 cm	N ₂ (n° colpi) 15-30 cm	N ₃ (n° colpi) 30-45 cm	NSPT N ₂ + N ₃	[Φ] Shioi e Fukuni R.B.S (1982)	[Φ] Shioi e Fukuni J.N.R. (1982)
S1	1,50 – 1,95	17	13	17	30	36,2	36,0
S2	3,00 – 3,45	7	9	13	22	33,2	33,6
	6,00 – 6,45	21	25	28	53	43,2	42,9
S3	1,90 – 2,35	15	14	16	30	36,2	36,0

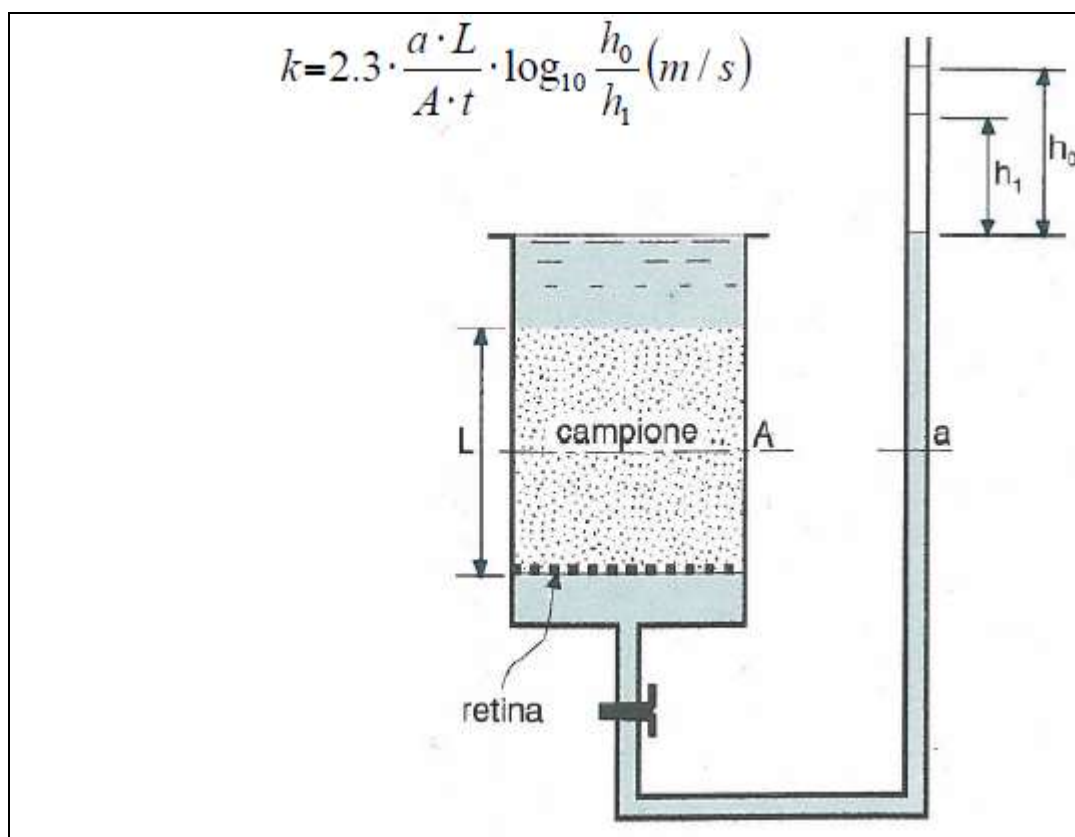
Sui campioni prelevati dai sondaggi sono state seguite delle prove di laboratorio geotecnico. I risultati delle indagini sono riportati nella tabella seguito, mentre in allegato sono presenti i certificati delle prove di laboratorio.

Tipo di prova	Sondaggio	Quota prelievo m dal fondo	Risultati prova
Analisi Granulometrica	S1	3,80-4,00	Ghiaia sabbiosa
Analisi Granulometrica	S1	6,20-6.30	Ghiaia sabbiosa
Analisi Granulometrica	S2	2,00-2.20	Ghiaia con sabbia limoso-argillosa
Analisi Granulometrica	S2	4,00-4.20	Ghiaia sabbiosa
Analisi Granulometrica	S3	4,00-4.40	Ghiaia sabbiosa
Analisi Granulometrica	S3	6,00-6.30	Ghiaia sabbiosa
Limiti di Atterberg CNR UNI 10014	S2	1.00-1.20	Limite liquido Wl 22%
			Indice di plasticità Ip 6.0%
			Classificazione USC "CL-ML: Limo inorganico, argilla inorganica, poco plastico"

Permeabilità acquifero

Prove di laboratorio permeabilità carico variabile

Il permeametro a carico variabile viene utilizzato normalmente per prove su materiali a medio e bassa permeabilità, poiché le caratteristiche dell'apparecchiatura consentono di eseguire le misure della variazione del carico idraulico e del tempo per un largo campo di valori del coefficiente di permeabilità k .



Schema del permeametro a carico variabile

Nella tabella successiva si riportano i valori delle permeabilità ottenuti con la prova a carico variabile applicando la formula riportata nella figura. Le prove sono state seguite su campioni costituiti dalla frazione passante al setaccio 4 mm.

sondaggio	profondità	litologia	permeabilità cm/sec	permeabilità m/sec
S3	2,0-2,3	Ghiaia matrice limosa sabbiosa	4,35E-03	4,35E-05
S2	3,0-3,2	Ghiaia limosa argillosa	7,20E-03	7,20E-05

Lefranc

Sul foro dei sondaggi S1, S2 e S3 sono stati eseguiti delle prove di permeabilità tipo Lefranc. A seguito si riporta il grafico delle prove con indicata la variazione del carico idraulico, in m dal livello della falda, in funzione del tempo in secondi. Le prove di permeabilità sono state realizzate nei tratti ghiaiosi e argillosi più superficiali per testare la permeabilità di tale livello.

Coefficienti di permeabilità sono stati calcolati con formule che utilizzano intervalli ove il variare del livello con il tempo è costante:

1. Formula $K=A/(C*(T_2-T_1)) * (\ln H_1) / H_2$: nella formula C corrisponde al coefficiente forma e T_1 T_2 l'intervallo di tempo ove si verifica l'abbassamento di livello H_1 - H_2 .

A seguito i risultati delle prove eseguite nei fori dei diversi sondaggi.

sondaggio	Tratto esecuzione prova in metri dal fondo.	litologia	permeabilità m/sec
S1-LEF.1	1.0-1.5	Ghiaia limosa argillosa	2,16E-04
S2-LEF.1	2.0-2.5	Ghiaia limosa argillosa	1,76E-04
S3-LEF.1	1.0-1.5	argilla	Livello acqua rimasto costante durante la prova: permeabilità molto bassa/impermeabile
S3-LEF.2	2.0-2.5	Ghiaia limosa argillosa	1,37E-04

I risultati delle prove di permeabilità, eseguite sui materiali, costituiti da ghiaie con matrice limosa argillosa, indicano:

- Prove in sito (Lefranc): il materiale presenta valori di permeabilità tra i 1.4 E-04 e 2.2-04 m/s
- prove eseguite in laboratorio (permeametro carico variabile): il materiale presenta valori di permeabilità tra i 4.3 E-05 e 7.2 -05 m/s

Secondo la classificazione di Casagrande e Fadum, tali valori corrispondono ad un grado di permeabilità medio, imputabile a miscele di ghiaia e sabbia.

La prova Lefranc n° 1 è stata eseguita nel sondaggio 3 in corrispondenza di un livello argilloso: il livello dell'acqua è rimasto praticamente costante durante la prova indice di una permeabilità molto bassa/impermeabile, come ci si attende appunto per terreni argillosi.

A seguito si riporteranno i grafici della variazione del rapporto del livello h (carico idraulico) con il tempo.

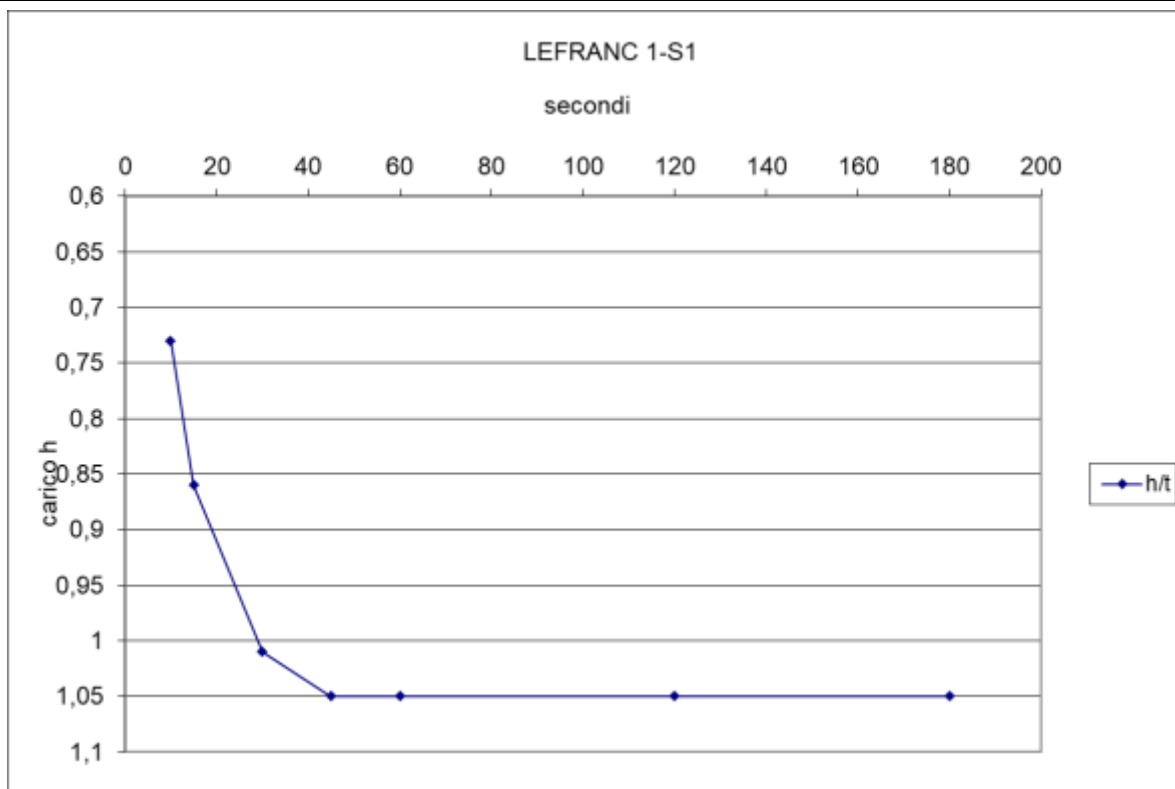


Grafico della variazione del livello h carico idraulico con il tempo

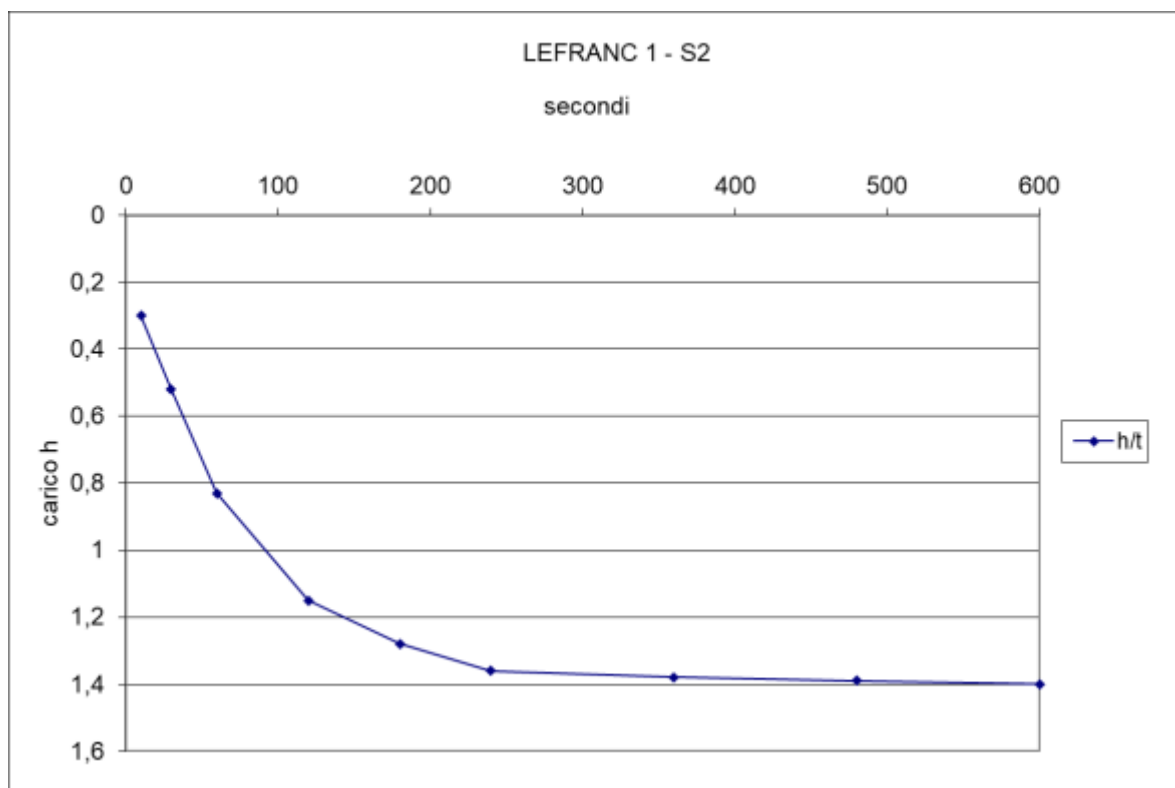


Grafico della variazione del livello h carico idraulico con il tempo

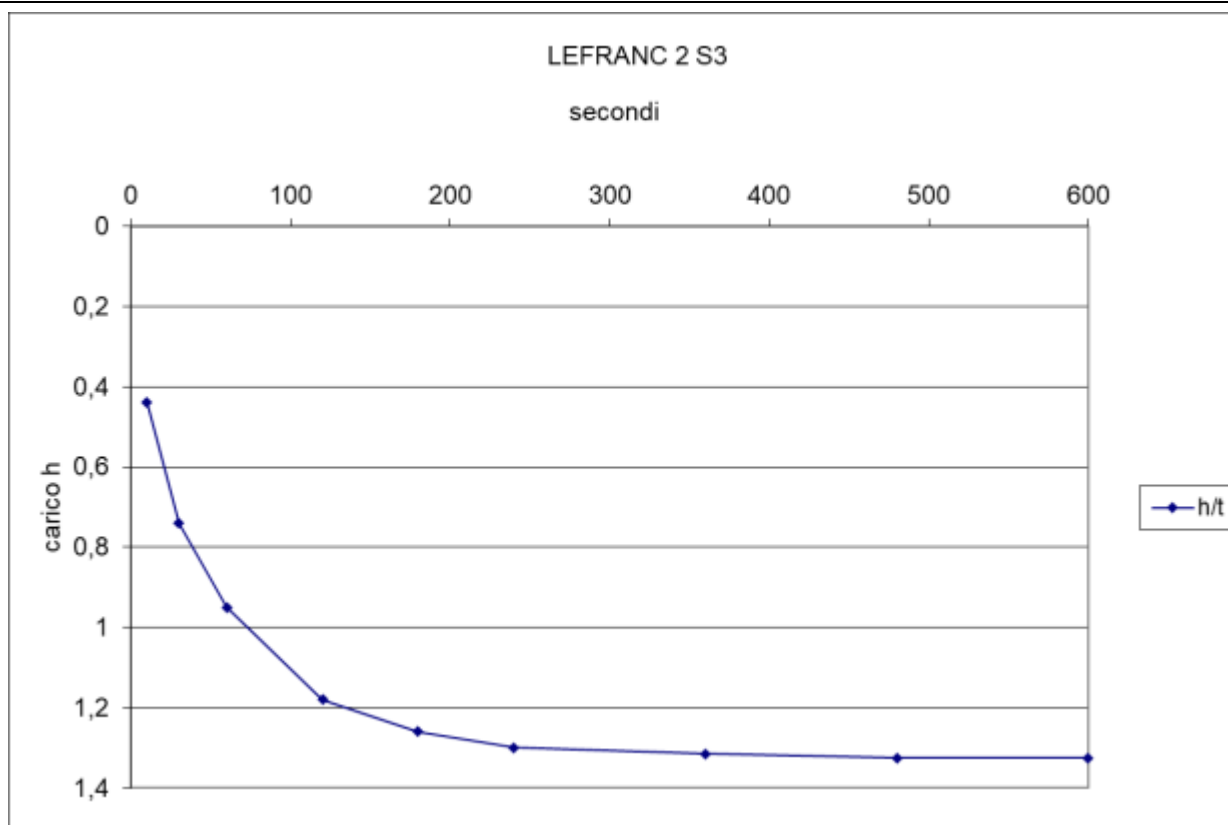
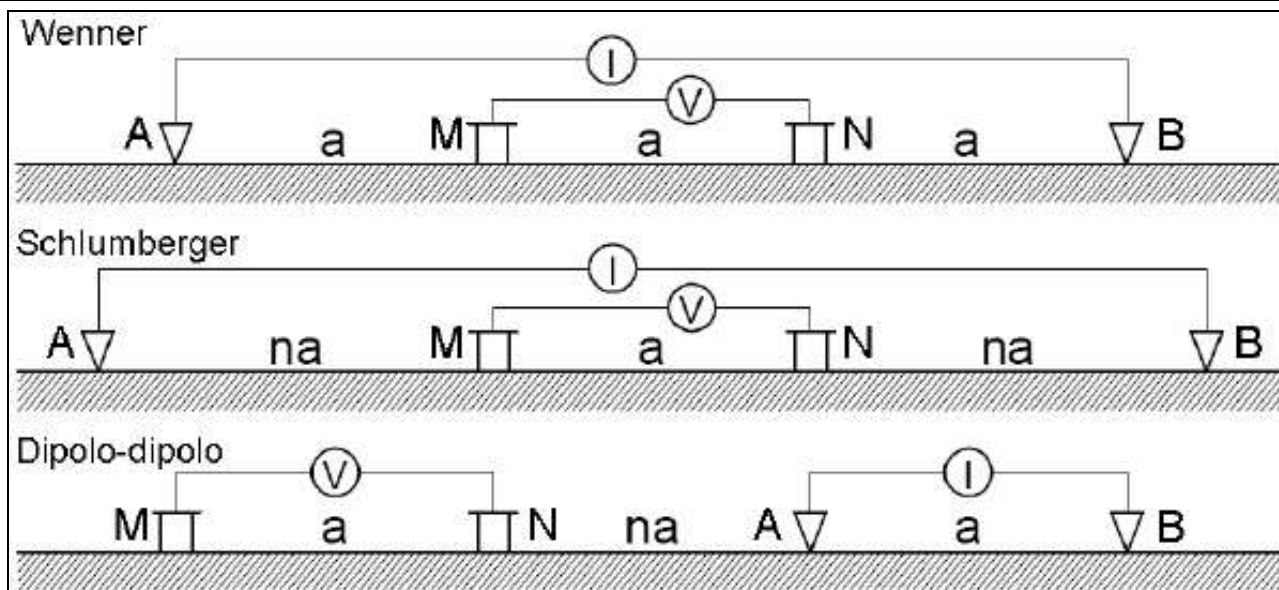


Grafico della variazione del livello h carico idraulico con il tempo

Tomografia elettrica

Durante la campagna indagini è stata eseguita una serie di test con tomografia elettrica, tale metodo geoelettrico consiste nella determinazione sperimentale dei valori di resistività elettrica che caratterizzano il sottosuolo. Per discriminare la struttura del sottosuolo è applicata al terreno una corrente elettrica continua, attraverso elettrodi infissi nel terreno. Dalla misura della corrente, del potenziale elettrico generato e dalle dimensioni del terreno si ricava la resistività dello stesso ρ , o conducibilità elettrica σ . Con la stessa metodologia si può anche misurare il potenziale residuo nel tempo che individua la polarizzazione indotta IP o Caricabilità. Le indagini geoelettriche di resistività, o conducibilità, si basano sugli effetti sotterranei della corrente elettrica, rilevabili in superficie attraverso misure di differenza di potenziale e di corrente. Il terreno presenta due tipi di conducibilità elettrica: "conducibilità di tipo elettronico" (propria dei metalli nei quali ρ aumenta con la temperatura o dei semiconduttori nei quali la resistività diminuisce all'aumentare della temperatura) e "conducibilità di tipo ionico" (propria dei dielettrici). Il generale il sottosuolo è composto in grandissima maggioranza da minerali dielettrici. Si riportano di seguito le due configurazioni utilizzate in sito, con A e B si individuano gli elettrodi di corrente e con M e N gli elettrodi di potenziale.



Principali configurazioni elettrode simmetriche utilizzate nelle misure di resistività. AB è chiamata coppia elettrode di corrente, MN è la coppia elettrode di potenziale

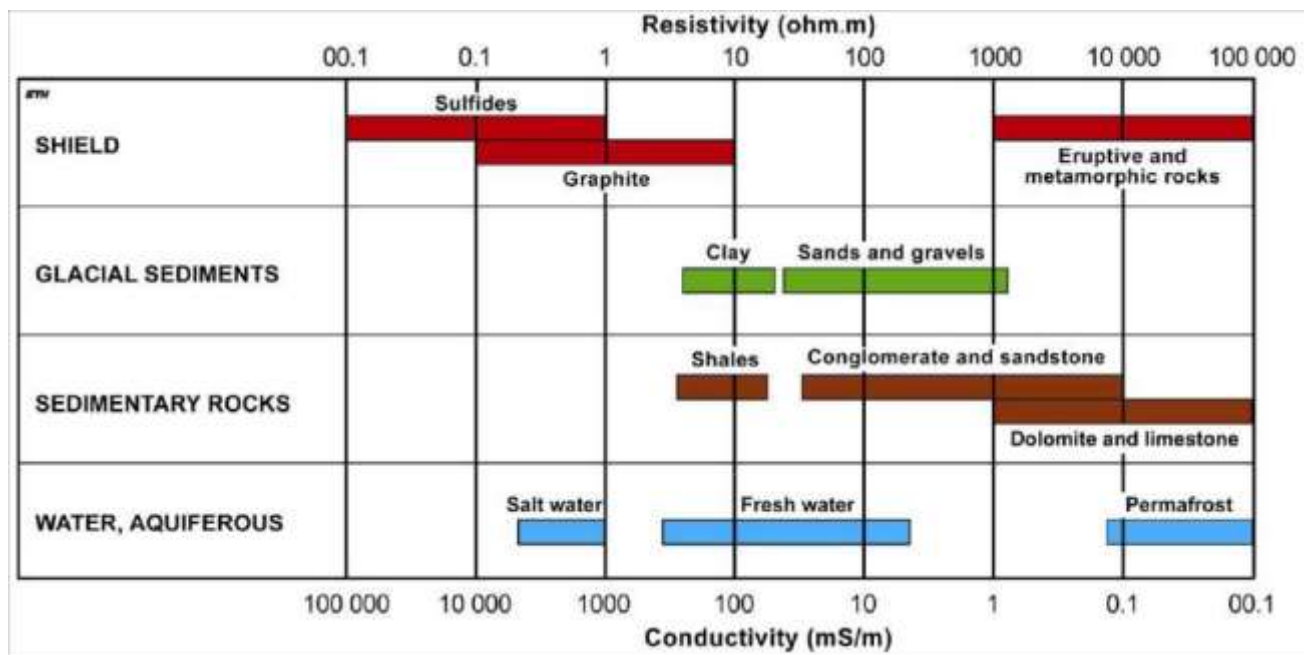
Nel quadripolo Wenner gli elettrodi sono sistemati in linea in modo da essere equidistanti tra loro secondo lo schema A M N B. Questo metodo risulta essere particolarmente sensibile ai cambiamenti verticali di resistività al di sotto del centro dello stendimento, ma meno sensibile alle variazioni di resistività orizzontali. Esso, pertanto, risulta essere adeguato nel caso si vogliano individuare strutture orizzontali (quali stratificazioni o pavimentazioni). In presenza di strutture verticali (ovvero con variazioni di resistività orizzontali) questo metodo risulta essere meno adatto.

Nel quadripolo Schlumberger lo schema d'acquisizione rimane A M N B, ma la distanza tra gli elettrodi A-M e N-B risulta essere un **multiplo n** (Questo fattore n corrisponde al rapporto tra AM MN = n) della distanza degli elettrodi di corrente A e B. Questa configurazione è discretamente sensibile sia alle strutture orizzontali sia alle strutture verticali.

Nella disposizione dipolo-dipolo, infine, il potenziale elettrico è misurato al di fuori della linea ideale che congiunge gli elettrodi di corrente: lo schema del quadripolo è dunque A B M N. Questo assetto è particolarmente sensibile alle strutture verticali, ma poco adatto all'indagine stratigrafica orizzontale: per questa ragione può essere particolarmente efficace in contesti archeologici il cui obiettivo spesso è quello di evidenziare strutture antropiche (muri, cisterne, trincee, ecc.) che provocano forti discontinuità orizzontali di resistività.

Durante l'interpretazione dei dati, va considerato oltre alle inevitabili anisotropie e disomogeneità del terreno che impediscono una ricostruzione univoca del modello geometrico, che la resistività del sottosuolo dipende da diversi fattori quali porosità, presenza di fluidi, composizione mineralogica, grado di fratturazione, grado di saturazione nonché presenza di sostanze organiche (idrocarburi, solventi, etc.). In particolare, la resistività delle rocce è sempre maggiore a quella dell'acqua nei pori, è minima in corrispondenza del grado di saturazione massimo ed è tanto minore quanto maggiore è la porosità. Come risulta evidente osservando i valori riportati nella tabella a seguito, anche per singole classi di rocce o terreni si registra una grande variabilità di valori di resistività (I valori di resistività a volte variano per diversi ordini di grandezza). I sedimenti non consolidati generalmente hanno resistività inferiore rispetto alle rocce sedimentarie, tuttavia, proprio perché poco consolidati, risulta difficile stimare il valore della loro resistività, che dipende dalla porosità e dal contenuto in argilla. I terreni argillosi possiedono comunemente valori di resistività inferiori a quelli dei terreni sabbiosi. Il contenuto idrico, infine, ricopre un ruolo importante nella determinazione della resistività apparente del terreno, provocandone un abbassamento della resistività media. Alla luce di queste considerazioni del tutto generali è evidente che non esiste una corrispondenza biunivoca tra valore di resistività riscontrato nel modello e materiale presente nel suolo e

nel sottosuolo: solo un'interpretazione che tenga conto delle caratteristiche geologiche, archeologiche e fisiche del sito indagato può dipanare il rebus dato dalla variabilità dei valori di resistività.



Resistività dei più comuni litotipi

La strumentazione utilizzata (fino a 48 canali, espandibile) è Mangusta System MC 48-96 della Ambrogeo mentre l'inversione tomografica viene eseguita mediante il software Res RES2DINV della GEOTOMO INTERNATIONAL.

È stata eseguita una tomografia elettrica sul letto corso d'acqua del fiume tendendo il cavo con le resistenze da una sponda all'altra del fiume Sile nel tratto di indagine di interesse. I dati sono poi stati elaborati tramite software e correlati utilizzando la stratigrafia del sondaggio S3 che era in linea con lo stendimento in campo. A seguito foto e ubicazione della tomografia elettrica e in allegato tavola con i risultati della stessa.



Fase di preparazione dello stendimento geoelettrica nel fiume Piave

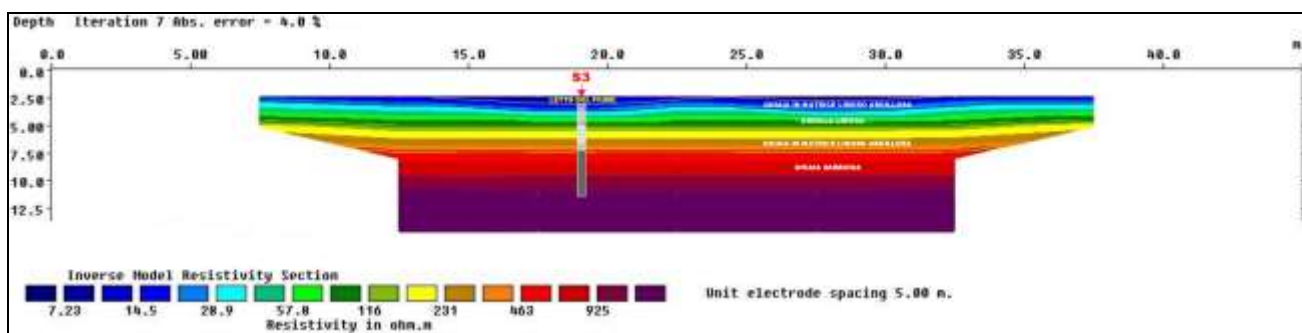


Foto esecuzione della prova di geoelettrica in sito



Ubicazione tomografia elettrica e sondaggi eseguiti in sito

A seguito i risultati della tomografia elettrica, per un maggior dettaglio dei risultati, vedi tavola in allegato.



Risultati indagini tomografia elettrica

CONCLUSIONI

Fattibilità geologica: dal punto di vista geologico l'area può ritenersi stabile non presentando particolari problemi. In base a quanto descritto nella perizia l'area è da considerarsi a basso rischio idrogeologico s.l. (v. par. idrologia).

Fattibilità geotecnica.

I sondaggi realizzati in alveo indicano, come si evince dalla sezione stratigrafia in allegato, la presenza del fondo di circa 40-70 cm di ghiaia in matrice limosa seguita da un livello coesivo poco plastico. Lo spessore è variabile intorno a 1.0 m nei sondaggi S2 e S3 mentre risulta di esiguo spessore, circa 40 cm, in corrispondenza del sondaggio S1. Al disotto del livello argilloso proseguono litologie prevalentemente ghiaiose con matrice sabbiosa talora limo sabbiosa argillosa, fino alla profondità massima d'indagine di 8 m dal fondo. I risultati delle prove di permeabilità in sito (Lefranc) e in laboratorio (permeometro) indicano che i materiali costituiti da ghiaie con matrice limosa argillosa presentano valori di permeabilità tra i $4.3E-05$ e $2.2-04$ m/s corrispondente secondo la classificazione di Casagrande e Fadum, ad un grado di permeabilità medio. Il livello argilloso sopra indicato presenta permeabilità tra molto bassa e impermeabile.

Analisi sismica: I terreni in sito, (visto il fuso granulometrico dei terreni in sito) non risultano liquefacibili. I terreni in sito appartengono alla categoria sismica di sottosuolo C e condizione topografica T1.



Relazione e indagini eseguite nel mese di agosto-settembre, 2021
In allegato:

- Stratigrafie sondaggi
- Foto cassette catalogatrici
- Sezioni geologiche
- Sezione tomografica
- Certificati di laboratorio geotecnico



Fotografia sondaggio S1 con litologie dai 0.0 ai 5.0 m dal fondo



Fotografia sondaggio S1 con litologie dai 0.0 ai 5.0 m dal fondo



Fotografia S2 con litologie dai 0.0 ai 5.0 m dal fondo



Fotografia S2 con litologie dai 5.0 ai 8.0 m dal fondo



Fototecca sondaggio S3 con litologie dai 0.0 ai 5.0 m dal fondo



Fototecca sondaggio S3 con litologie dai 5.0 ai 8.0 m dal fondo