



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



MINISTERO
DELL'INTERNO



COMUNE
DI PADOVA

MOBILITA' SOSTENIBILE BICIPOLITANA MURA SUD TRATTO BASSANELLO-MANDRIA

DM 04/04/2022

MISSIONE 5 - Coesione e inclusione

COMPONENTE 2 - Infrastrutture sociali, famiglie, comunità e terzo settore

INVESTIMENTO 2.1 - Investimenti in progetti di rigenerazione urbana, volti a ridurre
situazioni di emarginazione e degrado sociale



Aprile 2023

LLPP
OPI 2021/098

CUP
H91B21001710001

PFTE

APPR_05_OPI2021_098_GEOTECNICA

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Progettisti

arch. Andrea Sardena

Rup

ing. Massimo Benvenuti

Capo Servizio

ing. Massimo Benvenuti

Capo Settore

ing. Matteo Banfi



GEOLOGIA TECNICA sas
di Vorlice P.A. & C
Azienda certificata UNI EN ISO 9001:2015



Provincia di	PADOVA
Comune di	PADOVA
Committente	SETTORE LL.PP PADOVA



RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Provincia di	PADOVA
Comune di	PADOVA
Committente	SETTORE LL.PP PADOVA

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

INTRODUZIONE	3
RELAZIONE GEOLOGICA.....	4
ANALISI SISMICA.....	11
RELAZIONE GEOTECNICA.....	16
CONCLUSIONI	20
ALLEGATI	20



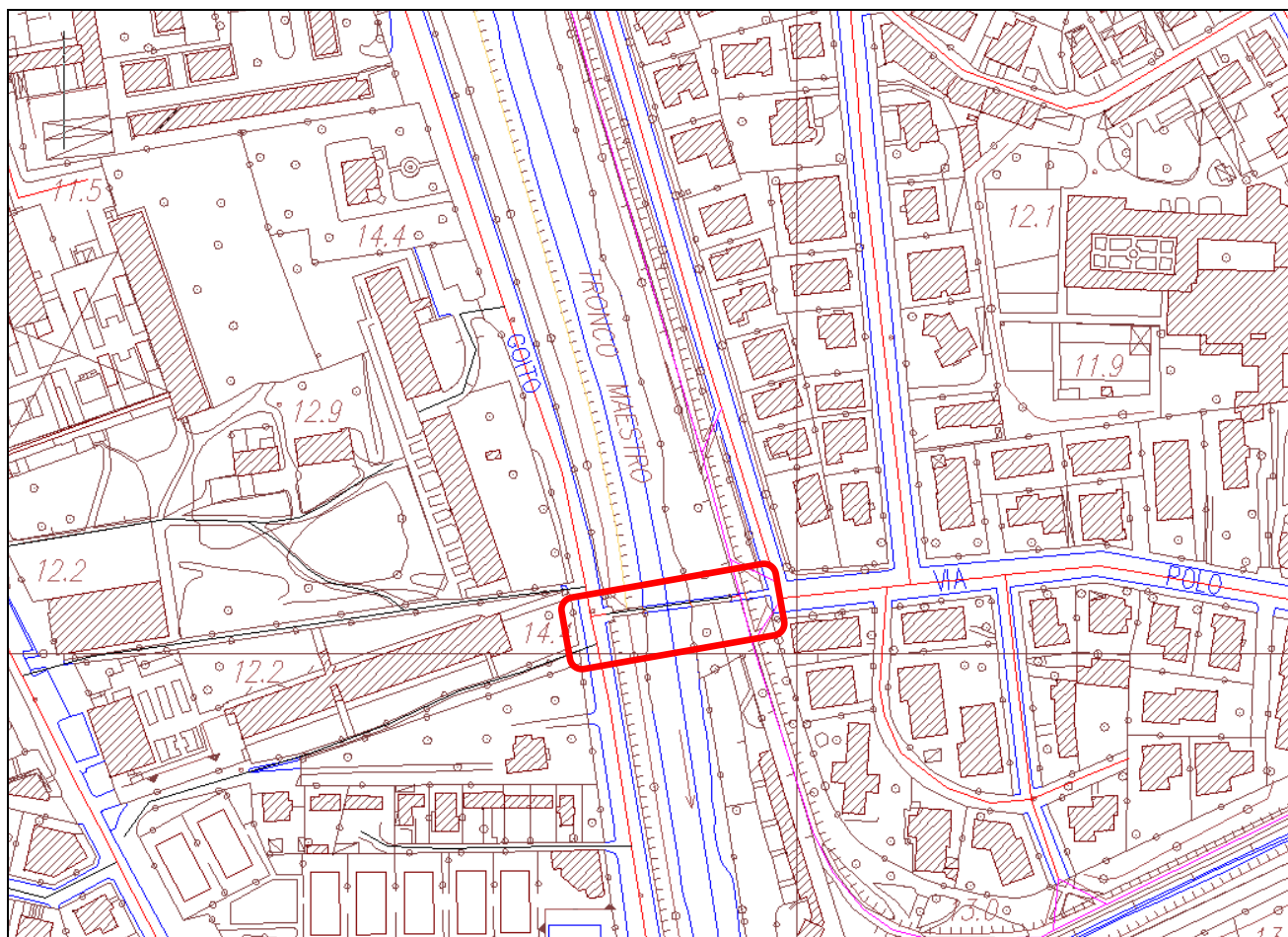
INTRODUZIONE

Al fine di verificare la fattibilità geologica e di fornire indicazioni geotecniche per la ristrutturazione della passerella ciclo pedonabile sul canale Tronco Maestro che collega via Goito con via Pio X nel comune di Padova sono state eseguite le seguenti indagini:

1. Una ricerca bibliografica inerente all'area in esame
2. Esecuzione di una indagine sismica MASW
3. L'esecuzione di 2 prove penetrometriche statiche

Le indagini sono state realizzate considerando le indicazioni fornitoci dalla arch. Sardena.

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 territorio del comune di Padova è situato nella zona di transizione tra la media e la bassa pianura alluvionale Veneta. L'assetto geologico della pianura alluvionale Veneta è principalmente il risultato dell'azione combinata del trasporto e deposizione operati in epoca quaternaria dai corsi d'acqua di origine alpina.

Il progressivo sovrapporsi di livelli a diversa natura litologica, che costituiscono il sottosuolo del territorio in esame, può essere spiegato dall'abbondante trasporto e deposizione di materiale sia solido che in sospensione ad opera del libero divagare dei fiumi.

Nel territorio i rapporti tra le varie litologie sono generalmente concordanti (stratificazioni subparallele), inoltre in superficie non vi sono evidenze di disturbi tettonici di nessun tipo.



Estratto carta geologica del P.A.T. di Padova, cerchiata in rosso l'area di indagine.

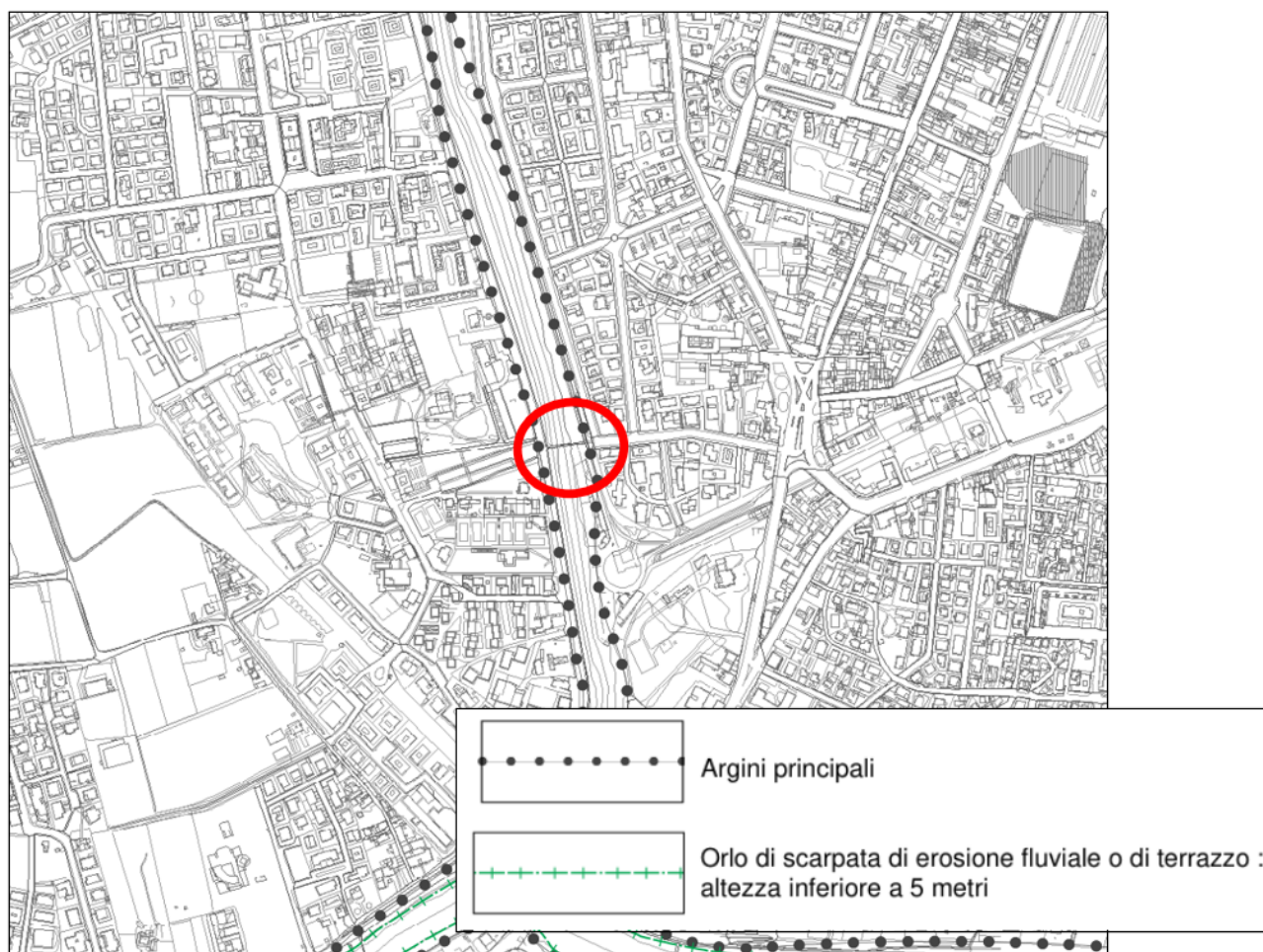
In base ai dati bibliografici utilizzati (vedi stralcio P.A.T. sopra riportato) è possibile stimare le litologie presenti nell'area, al di sotto del riporto antropico si riscontra la presenza di terreni di natura prevalentemente limo-

argillosa. Le prove effettuate hanno evidenziato per i primi 5 metri la presenza di alternanze di limi argillosi e argille poco consistenti e di banchi sabbiosi fino ai 30 m da p.c. nei primi metri in particolare in corrispondenza della prova cpt2 prevalgono terreni limoso argillosi.

Geomorfologia

La superficie del Comune di Padova è situata in quella fascia della Pianura Padano - Veneta caratterizzata da pendenze inferiori al 5 per mille, cioè tipiche della pianura intermedia, ne segue una morfologia blandamente ondulata, ma priva di strutture morfologiche chiaramente riconoscibili per origine e/o processo. La quota topografica locale, stimata dal ctr 1:5000 è di 12 m s.l.m.

In base all'estratto della carta geomorfologica del P.A.T. di Padova non sono segnalate in prossimità del sito forme geomorfologiche particolare a parte l'arginatura del canale "Tronco Maestro" attraversato dalla passerella oggetto d'intervento.



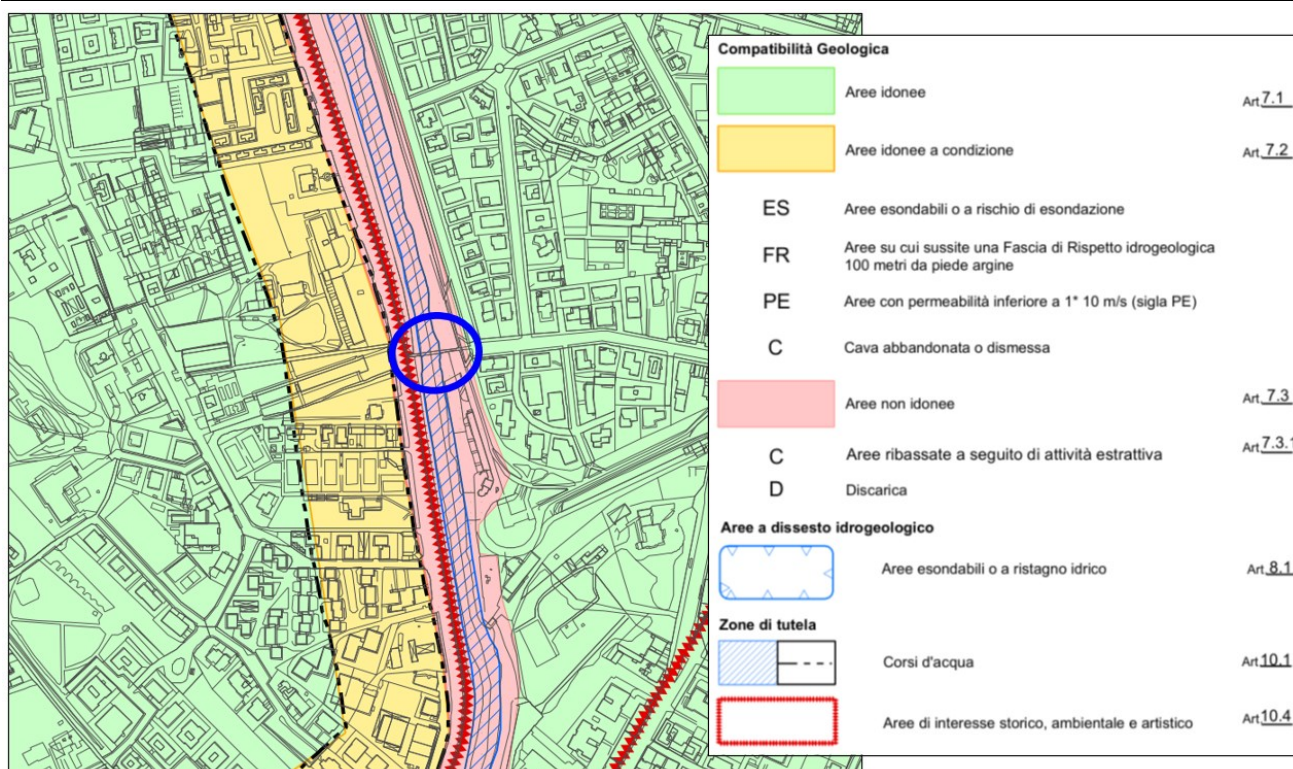
Estratto carta geomorfologica del P.A.T. di Padova, cerchiata in rosso l'area di indagine.



Carta satellitare, cerchiato in rosso il sito di indagine

Idrologia

Il sito indagato si trova in corrispondenza del canale "Tronco Maestro" che si collega, circa 0.75 km a sud, al Bacchiglione. La carta della fragilità del P.A.T. sotto riportata, segnala il sito come "Area non idonea" dato che ci ritroviamo all'interno delle pertinenze idrauliche del corso d'acqua e la cartografia del P.A.I. del rischio idraulico del Brenta e Bacchiglione non segnala nessuna classe di pericolosità nell'area di studio.



Estratto carta geologica del P.A.T. di Padova, cerchiata in rosso l'area di indagine

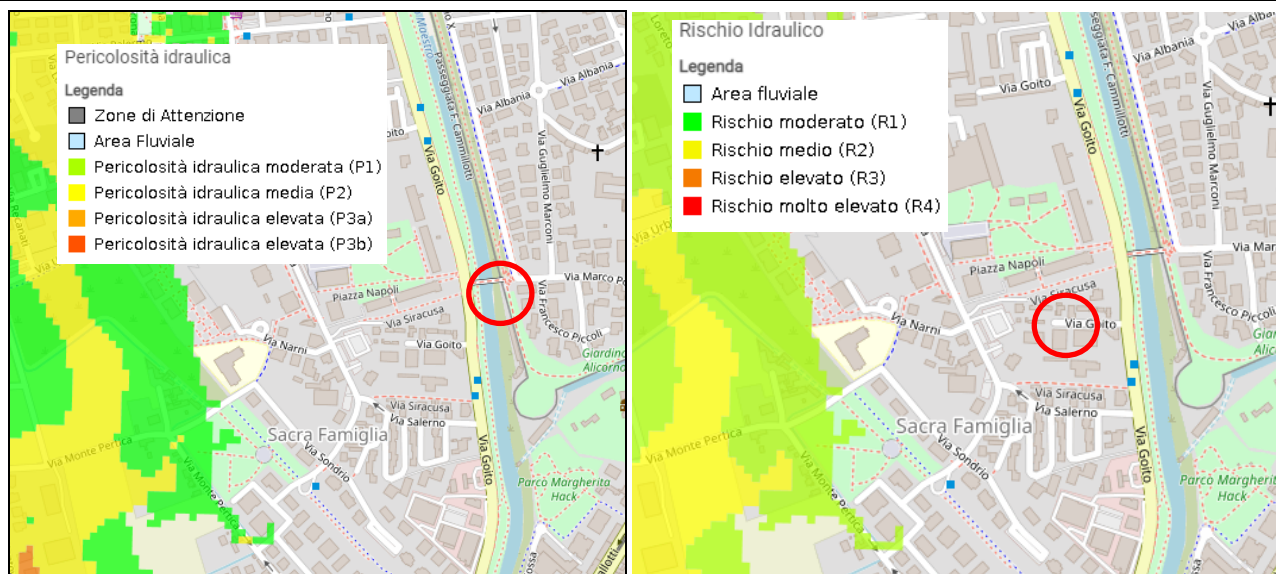
A seguito dell'entrata in vigore del nuovo Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto delle Alpi Orientali (aggiornamento 2021-2017), i Piani per l'Assetto Idrogeologico cessano di avere efficacia per la parte idraulica e continuano ad esprimere le conoscenze, le disposizioni e le mappature relative alla pericolosità e al rischio geologico dovuto a fenomeni gravitativi e valanghivi.

Segue uno stralcio della carta di pericolosità idraulica del P.G.R.A. determinata per le porzioni di territorio che possono essere inondate a seguito del sormonto sponale e/o al cedimento delle arginature durante eventi di piena valutati per tempi di ritorno pari a 30, 100 e 300 anni.

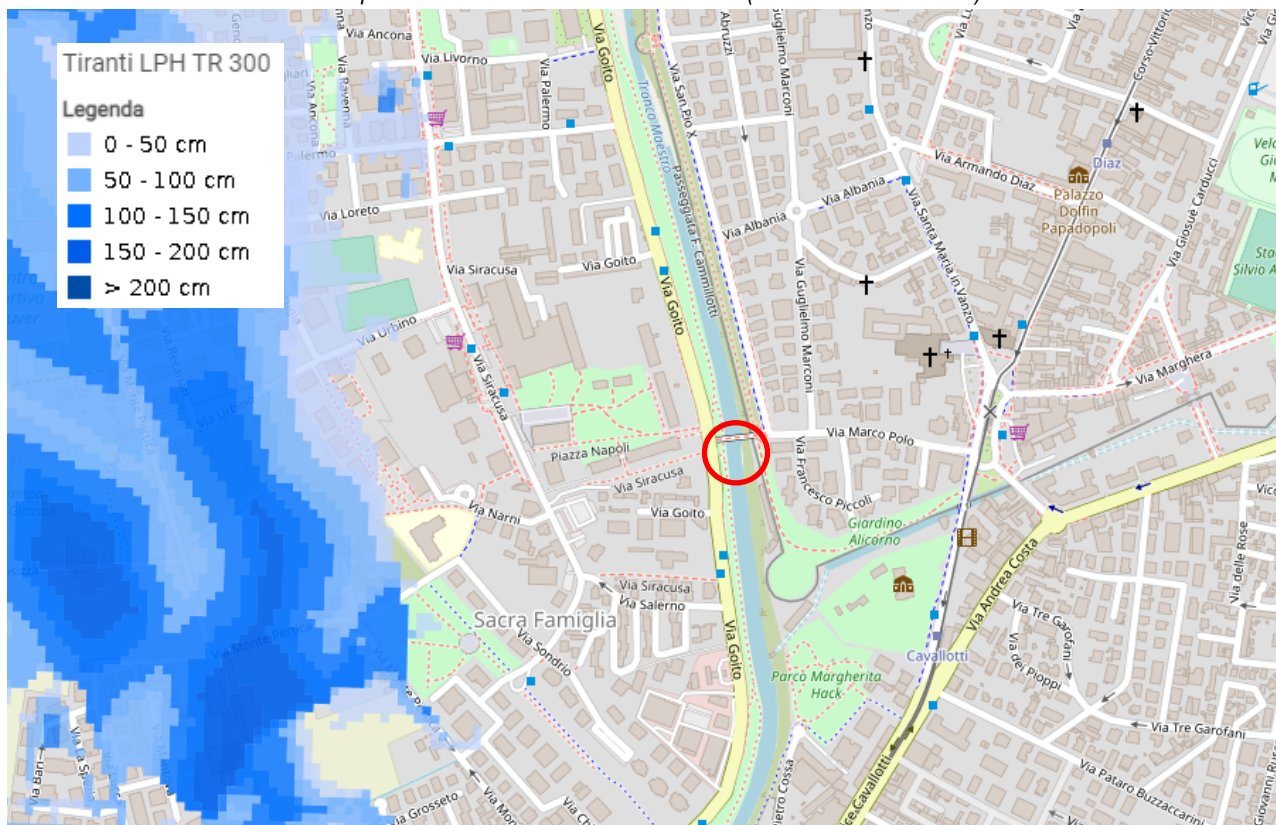
Sul sito web del PRGA delle Alpi O. (<https://sigma.distrettoalpiorientali.it/portal/index.php/servizi/formazione-convegni/formazione-base-pgrga/>), è presente un documento "Aspetti Operativi delle Norme Tecniche di attuazione" in cui sono descritte le tipologie di opera e le relative prescrizioni, si rimanda a questo documento per i dettagli operativi.

Come si nota dagli estratti cartografici del PRGA riportati, il sito di studio non è classificato a Pericolosità Idraulica né a rischio Idraulico e non è coinvolto da inondazioni secondo i diversi scenari ipotizzati dei 30, 100 e 300 anni.

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA



Carta pericolosità idraulica e rischio idraulico. (in rosso area in esame)



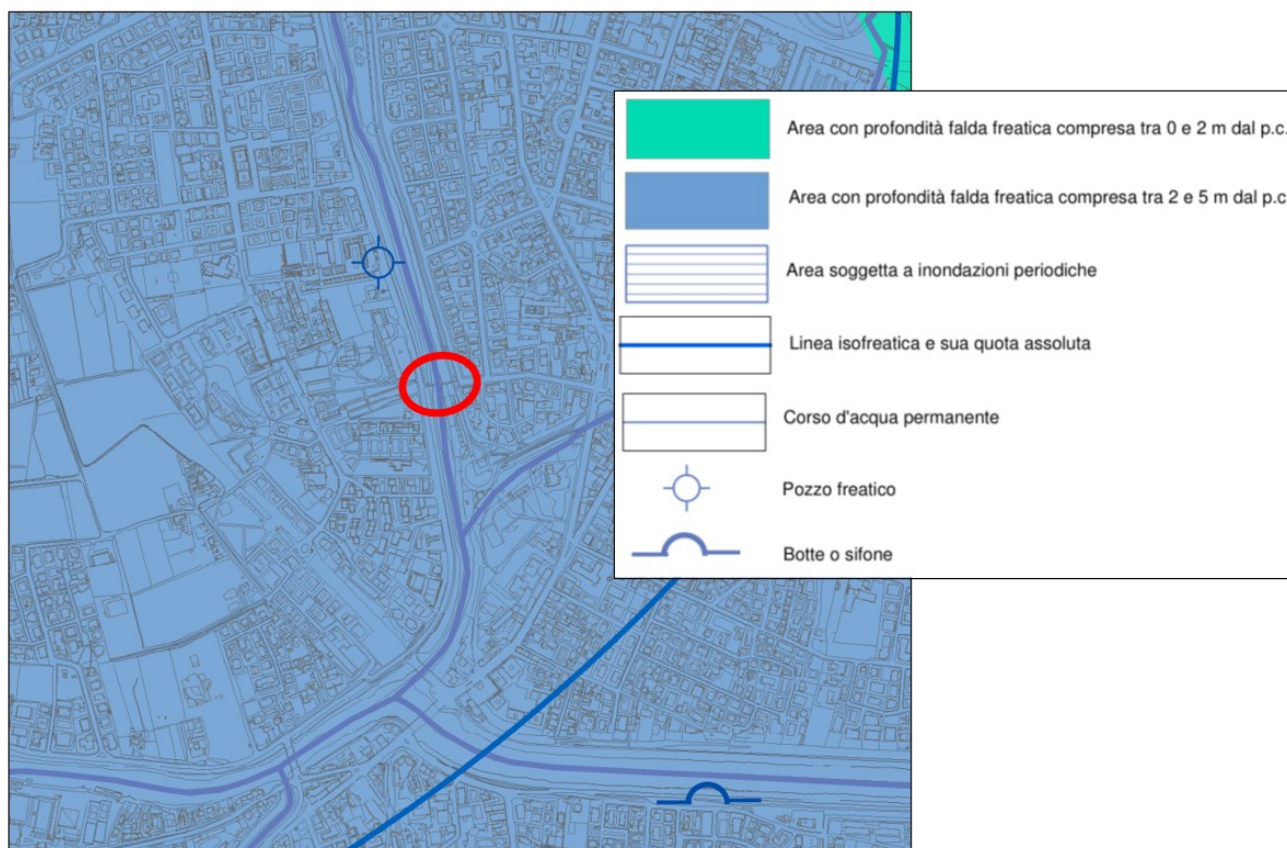
Cartografia tiranti HPH Tr30, Tr 100 e TR 300 del PRGA sigma.distrettoalporientali.it. Cerchiato in rosso il sito di studio

Idrogeologia

La situazione idrogeologica dell'area indagata è caratteristica di quel tratto della media Pianura Padana, situata alcuni chilometri a Sud della linea delle risorgive nella quale gli acquiferi, costituiti da materiali prevalentemente fini (sabbie), sono quasi completamente differenziati. La sedimentazione delle alluvioni della media pianura e quindi anche della zona oggetto di studio, è avvenuta principalmente ad opera dei fiumi Adige e Brenta, in concomitanza soprattutto allo scioglimento dei ghiacci verificatosi nei periodi interglaciali del quaternario antico e recente. Questo tipo di "sovralluvionamento" verificatosi specialmente alla fine del Würm ha improntato una stratigrafia della pianura estremamente eterogenea in senso sia verticale che orizzontale, coinvolgendo per lo più materiali fini. Per questo motivo appare improprio parlare di "prima falda" unica e continua; si tratta piuttosto di un insieme di lenti di materiali più permeabili, parzialmente comunicanti fra loro, confinate tra materiali fini (o comunque meno permeabili) entro cui esiste, in funzione del regime di alimentazione delle falde principali, dell'acqua dotata di determinate, e parzialmente autonome, pressioni neutrali. Tale falda è contenuta nei livelli maggiormente sabbioso – limosi probabilmente in parte idraulicamente interconnessi da formare un unico acquifero. La falda si presenta libera (freatica). L'alimentazione è da attribuirsi all'infiltrazione delle acque meteoriche nonché da apporti di infiltrazione dai corpi idrici superficiali.

Nella cartografia idrogeologica del P.A.T. di Padova, di cui sotto è riportato uno stralcio, si evince che la falda freatica è ad una profondità compresa tra 2 e 5 m dal p.c. la direzione del deflusso idrico sotterraneo è all'incirca sud-est.

Le indagini in sito hanno permesso di rilevare il livello della falda tramite il piezometro temporaneo messo in opera nel foro della prova cpt 1, eseguita sulla riva del canale, la falda è risultata, in data 24/11/2022, a -0.57m da p.c. in equilibrio con il livello del canale.



Estratto carta idrogeologica del P.A.T. di Padova, cerchiata in rosso l'area di indagine.

ANALISI SISMICA

Classificazione sismica del sito

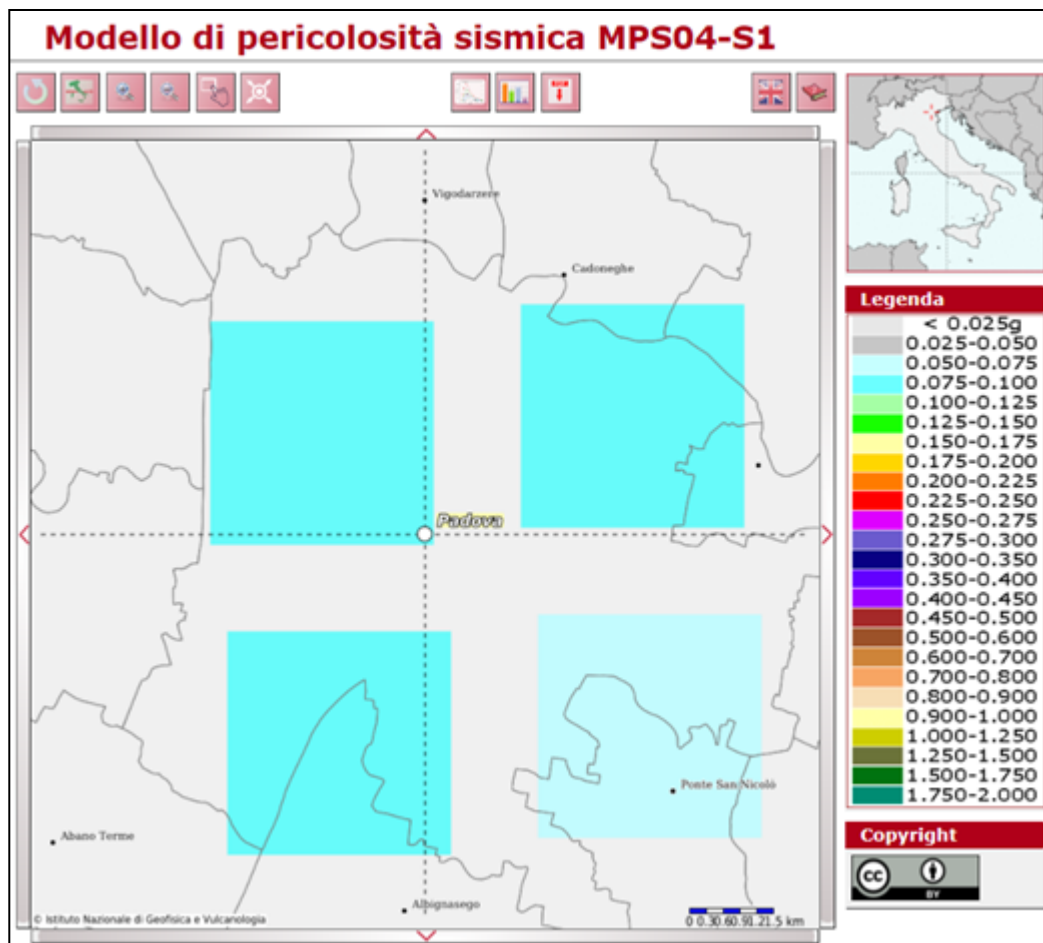
La Regione Veneto ha approvato la delibera di aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto e una nuova mappa delle stesse, rilevante ai fini dell'individuazione degli adempimenti amministrativi previsti dalla vigente normativa in materia. Si segnala l'entrata in vigore della nuova zonazione 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 Padova (Secondo DGR n. 244 del 09 marzo 2021) 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)
1	$0,25 < a_g \leq 0,35 g$	0,35 g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25 g$	0,25 g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15 g$	0,15 g

Sulla base delle mappe interattive dell'I.N.G.V., l'area comunale di Padova 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 0.075 (a_g/g) e 0.100 (a_g/g) (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni).



Estratto mappa pericolosità sismica INGV. <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

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, VS. Valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

In base ai risultati delle indagini sismica descritta nel paragrafo in allegato “Caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica MASW” i terreni in sito appartengono alla **categoria sismica di sottosuolo C**

Sede: v. Martiri Libertà 29, 35042 Este (PD) tel. 0429601986 fax 04291702351 e-mail info@geologiatecnica.net sito web: www.geologiatecnica.net		
File: Padova passerelle via Goito GEO.doc	Redatto da: Simonetto G.	Data 07/02/2023
Rev. 00	Controllato da: Vorliceck P.A.	Pag. 12

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 $U_c > 3,5$.

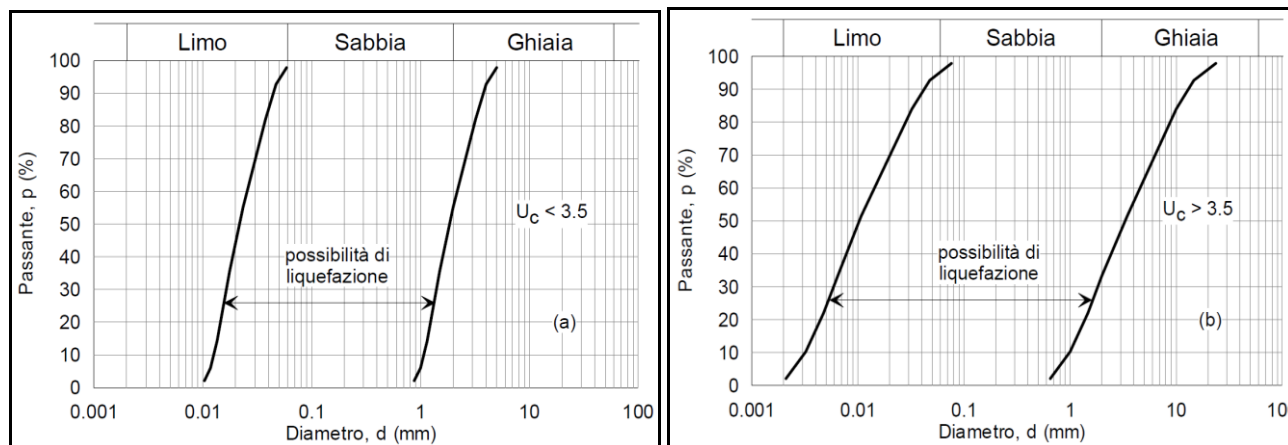


Fig. 7.11.1. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione

Verifica alla liquefazione dei suoli incoerenti

L' accelerazione sismica a_g per lo stato limite SLV è 0.081. L'accelerazione massima attesa al piano campagna è data dalla formula:

$$A_{g_{max}} = S_s * S_t * a_g$$

Con il valore 1.50 di amplificazione stratigrafica S_s e 1.00 di amplificazione topografica S_t , $A_{g_{max}}$ attesa = 0.121

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 alla verifica effettuata, il rischio di liquefazione dei terreni risulta assente.

Prova penetrometrica cpt 1

Profondità strato cm da p.c.	Rp (kg/cm ²)	litologia	Nspt	Na	Resistenza alla liquefazione (R)	Sforzo di taglio normalizzato (T)	Coefficiente di sicurezza ($F_s = R / T$)
400-800	71	Sabbia, sabbia limosa	71	15	0.25	0.13	1.91
1300-1520	110	Sabbia, sabbia limosa	110	25	0.28	0.13	2.17

Resistenza alla liquefazione (R); Sforzo di taglio normalizzato (T); Coefficiente di sicurezza ($F_s = R / T$); Numero di colpi SPT o SCPT (Nspt); Numero di colpi standard corretto (Na), resistenza di punta dinamica/statica (Rp). I valori di Nspt sono ricavati dai dati delle prove penetrometriche statiche in relazione ai valori della resistenza di punta e litologia (fonte F. Cestari 1986)

Prova penetrometrica cpt 2

Profondità strato cm da p.c.	Rp (kg/cmq)	litologia	Nspt	Na*	Resistenza alla liquefazione (R)	Sforzo di taglio normalizzato (T)	Coefficiente di sicurezza (Fs = R / T)
480	620	Sabbia, sabbia limosa	13	21	0.23	0.13	1.76
1000	1100	Sabbia, sabbia limosa	14.5	19	0.21	0.13	1.59
1400	1650	Sabbia, sabbia limosa	23	23	0.25	0.13	1.99

Resistenza alla liquefazione (R); Sforzo di taglio normalizzato (T); Coefficiente di sicurezza ($F_s = R / T$); Numero di colpi SPT o SCPT (Nspt); Numero di colpi standard corretto (Na), resistenza di punta dinamica/statica (Rp). I valori di Nspt sono ricavati dai dati delle prove penetrometriche statiche in relazione ai valori della resistenza di punta e litologia (fonte F. Cestari 1986)

La verifica è stata eseguita, con il metodo Seed e Idriss (1982), di cui si riporta a seguito la formula.

La resistenza alla liquefazione (resistenza al taglio mobilitata R) può essere stimata con la seguente formula:

$$R = Na / 90$$

dove Na è dato dalla formole :

$$Na = (N_{SPT} * (1,7 / (s_{vo} + 0,7))) + N_f$$

dove:

- $\sigma'v$ (kg/cm) è la pressione verticale efficace;
- $N_f = 0$ se $D50(mm) > 0,25$, $N_f = 7,5$ se $D50(mm) \leq 0,25$.

Il valore di Sforzo di taglio normalizzato (T) è dato dalla formula

$$T = 0,65 * ((a_{max}/g) * (s_{vo}/s_{vo'})) * r_d$$

dove:

- a max accelerazione sismica massima;
- g accelerazione di gravità = 980,7 cm/s² ;
- $\sigma'vo$ pressione verticale totale alla profondità z dal piano campagna;
- $\sigma'vo$ pressione verticale efficace alla profondità z dal piano campagna
- r_d coefficiente di riduzione sismica, funzione della profondità z dal piano campagna

Prove penetrometriche

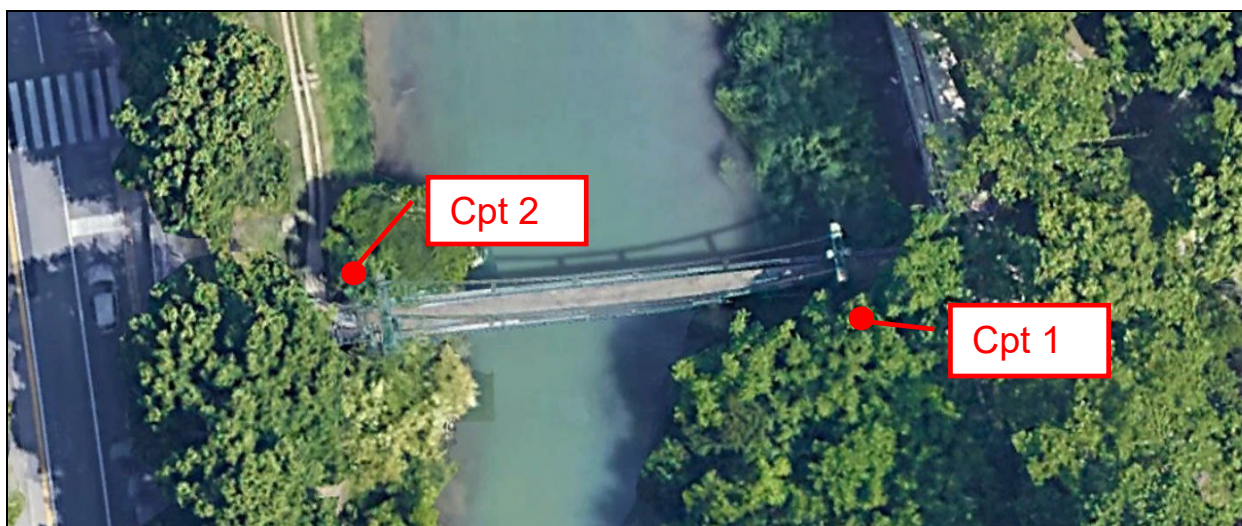
In prossimità dei plinti che sorreggono la passerella sono state eseguite n° 2 prove penetrometriche statiche (CPT Cone Penetration Test) spinte fino alla profondità massima di circa 27 m da p.c. Per le CPT è stato usato un penetrometro statico da 10 t, munito di Jacket Friction Cone con determinazione ogni 20 cm di infissione, della Resistenza alla punta e della Resistenza di Attrito Laterale Locale; velocità di infissione costante pari a 20 mm/sec. Sono allegati i diagrammi con i risultati delle prove e a seguito le foto e la planimetria con l'ubicazione delle medesime.



Esecuzione Cpt1



Esecuzione Cpt2



Ubicazione delle indagini

Caratteristiche meccaniche del terreno

Le caratteristiche meccaniche dei terreni in esame sono desunte tramite correlazioni con dati penetrometrici, in particolare R_p (resistenza di punta) e R_l (resistenza laterale). In base a tali dati è possibile esprimere:

Coesione non drenata C_u e angolo d'attrito dei terreni granulari (in relazione al grafico di Searle)
 Coefficiente di compressibilità volumetrica $m_v = 1 / \alpha * R_p$ con α = parametro dipendente dal tipo di terreno (Sanglerat, Mitchell e Gardner) e quindi il modulo confinato $M = 1/m_v$.

Interpretazione media dei dati della prova penetrometrica statica

In tabella si riporta l'interpretazione dei dati della prova Cpt 1 e Cpt 2.

Si ricorda che i primi 60-80 cm di terreno indagato, possono presentare parametri geotecnici estremamente variabili in funzione delle caratteristiche meteo-climatiche relative al periodo d'indagine.

Parametri geotecnici medi ricavati dalla prova Cpt 1

Strato	m da p.c.	INTERPRETAZIONE LITOLOGICA ⁽¹⁾	PARAMETRI GEOTECNICI				
			R_p Kg/cm ²	C_u Kg/cm ²	ϕ°	$\gamma_{d/s}$ g/cm ³	α
1	0.0-0.8	Terreno limoso argilloso	/	/	/	/	/
2	0.8-1.8	Argilla con livello granulare tra -1.2-1.40 m da p.c.	5	0.25	/	1.65	2-5
3	1.8-2.8	Sabbia, sabbia limosa	30-70	/	28-31	1.80	/
4	2.8-3.6	Da limo argilloso sabbioso ad argilla limosa	5	0.25	/	1.65	2-5
5	3.6-4.0	Argilla limosa	25	0.85	/	1.78	3-6
6	4.0-7.8	Da sabbia a sabbia limosa	40-100	/	28-32	1.95	/
7	7.8-9.0	Da limo argilloso a argilla limosa	10	0.45	/	1.75	2-5
8	9.0-12.0	Fitta alternanza di livelli di limo argilloso e sabbia limosa	30-100	0.65	32	1.95	3-6
9	12.0-13.0	Da limo argilloso ad argilla limosa	10	0.45	/	1.75	3-6
10	13.0-15.8	Sabbia, sabbia limosa con livello di argilla	110-160	/	32-34	2.05	/

(1) L'interpretazione litologica si basa sui dati delle prove penetrometriche ed ha valore indicativo delle litologie presenti

Parametri geotecnici medi ricavati dalla prova Cpt 1

Strato	m da p.c.	INTERPRETAZIONE LITOLOGICA ⁽¹⁾	PARAMETRI GEOTECNICI				
			R_p Kg/cm ²	C_u Kg/cm ²	ϕ°	$\gamma_{d/s}$ g/cm ³	α
1	0.0-0.4	Terreno limoso argilloso	/	/	/	/	/
2	0.4-4.2	Alternanze di livelli di limo argilloso e argilla limosa	5-10	0.25-0.4	/	1.70	2-5
3	4.2-6.2	Sabbia limosa, limo sabbioso	50-60	/	30-32	1.90	/

4	6.2-7.6	Limo argilloso sabbioso con livelli di argilla	8-15	0.35-0.55		1.75	3-6
5	7.6-8.4	Sabbia, sabbia limosa	80-100	/	30-32	1.98	/
6	8.4-10.0	Argilla, argilla limosa	8-12	0.4-0.5	/	1.75	3-6
7	10.0-13.0	Sabbia con livelli di sabbia limosa argillosa e limo sabbioso argilloso (livelli di argilla a -11.2 e -12.0 m da p.c.)	40-70	/	29-32	1.95	/
8	13.0-14.0	Limo argilloso e argilla limosa	10	0.45	/	1.75	3-6
9	14.0-16.6	Sabbia limosa argillosa, sabbia limosa con livelli di argilla a -15.4	40-130	/	29-33	2.00	/
10	16.6-24.4	Limo argilloso, limo argilloso sabbioso con livelli di sabbia limosa	10-60	0.45	30	1.80	3-6
11	24.4-26.4	Sabbia con livello di argilla a-25.4	100	/	32	2.00	/

(1) L'interpretazione litologica si basa sui dati delle prove penetrometriche ed ha valore indicativo delle litologie presenti

Valori di progetto dei parametri geotecnici

I valori di progetto **P(1)** dei parametri geotecnici, X_d , possono essere ricavati dai valori caratteristici, utilizzando la seguente equazione:

$$X_d = X_k / \gamma_m$$

I valori di progetto, X_d (Φ_d , c'_d , C_{ud} ...) sono quelli da utilizzare nelle verifiche. Si ricavano a partire dai valori caratteristici, **X_k** ai quali va applicato un fattore riduttivo **γ_m** (FS parziale), tabellato nel NTU.

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito.

Indicazioni sulla scelta di valori caratteristici si ritrovano non nel NTC ma nel EC7.

“La selezione dei valori caratteristici sarà basata sui valori derivati da prove di laboratorio o in situ “Il valore caratteristico di un parametro di un terreno o di una roccia deve essere scelto in base ad una valutazione cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite” la maggiore varianza di c' rispetto a quella di ϕ' deve essere considerata quando si determinano i loro valori caratteristici. L'estensione della zona di sottosuolo che influisce sul comportamento di una struttura geotecnica in condizioni di stato limite è di solito molto più ampia di quella interessata da una prova su terreno o roccia e, pertanto, il parametro che determina il comportamento è spesso il valore medio nell'ambito di una certa superficie o di un certo volume di sottosuolo. Il valore caratteristico corrisponde ad una valutazione cautelativa del suddetto valore medio. Se si utilizzano metodi statistici, il valore caratteristico dovrebbe essere ricavato in maniera tale che la probabilità calcolata di valori più sfavorevoli, che determinano la manifestazione dello stato limite, non sia maggiore del 5%.”. Segue che il valore caratteristico è una stima cautelativa di cui si riporta a seguito un metodo di calcolo (t-student) per dati “numerici”.

$$\mu = t(n-1) \left(\frac{s}{\sqrt{n-1}} \right) + \bar{x}$$

Media della popolazione: $t(n-1)$ = distribuzione di Student con $n-1$ gradi di libertà

La distribuzione della media è sensibile al numero n dei dati, e al valore s della deviazione standard del campione

A seguito si riporta il valore caratteristico per il parametro coesione C_u calcolato sui dati delle prove penetrometriche relativo ai banchi limoso-argillosi al disotto del piano di una fondazione superficiale, all'interno della "superficie di rottura" (volume "significativo" di terreno coinvolto dall'azione dell'opera in progetto)

5° percentile distribuzione della media				
N° prove	N° dati(*)	Dev. Stand.	Media dati	Valore caratteristico
Cpt 1	9	4.56	38.1	35.1

(*) I dati inseriti sono i valori di coesione C_u , (circa 1 dato ogni 20 cm) relativo ai livelli coesivi, determinati inserendo i valori di R_p e del rapporto R_p/R_I nel grafico per l'interpretazione delle litologie e determinazione di parametri geotecnici (Metodo di Searle 1979).

5° percentile distribuzione della media				
N° prove	N° dati(*)	Dev. Stand.	Media dati	Valore caratteristico
Cpt 2	20	12.49	41.75	36.8

(*) I dati inseriti sono i valori di coesione C_u , (circa 1 dato ogni 20 cm) relativo ai livelli coesivi, determinati inserendo i valori di R_p e del rapporto R_p/R_I nel grafico per l'interpretazione delle litologie e determinazione di parametri geotecnici (Metodo di Searle 1979).

Il valore caratteristico, relativo al parametro geotecnico coesione non drenata, utilizzato per le verifiche agli stati limite delle opere in progetto, è **35.1 kN/mq** in corrispondenza della prova cpt 1 e **36.8 kN/mq** in corrispondenza della prova cpt 2. Tale valore caratteristico diventerà valore di progetto dividendo lo stesso per i diversi coefficienti parziali.

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 medio-basso rischio idrogeologico s.l. (v. par. idrologia).

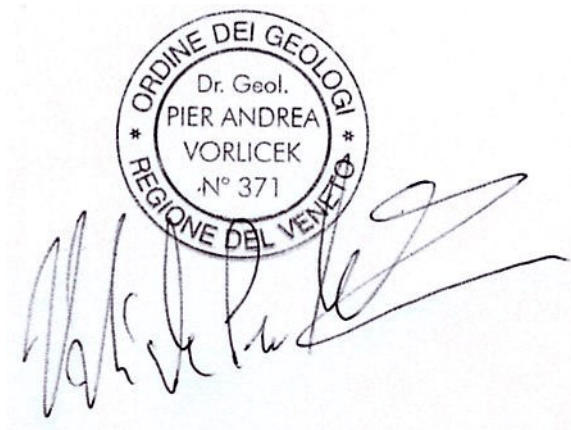
Fattibilità geotecnica; le indagini in sito indicano la presenza di terreni con scadenti proprietà geotecniche nei primi 3-4 m da piano esecuzione prove. Seguono alternanze di banchi sabbiosi, mediante addensati con spessore variabile dal metro a 3 metri circa, e di argille limose, limi argillosi.

Analisi sismica; I terreni in sito, non risultano liquefacibili. I terreni in sito appartengono alla categoria sismica di sottosuolo C e condizione topografica T1.

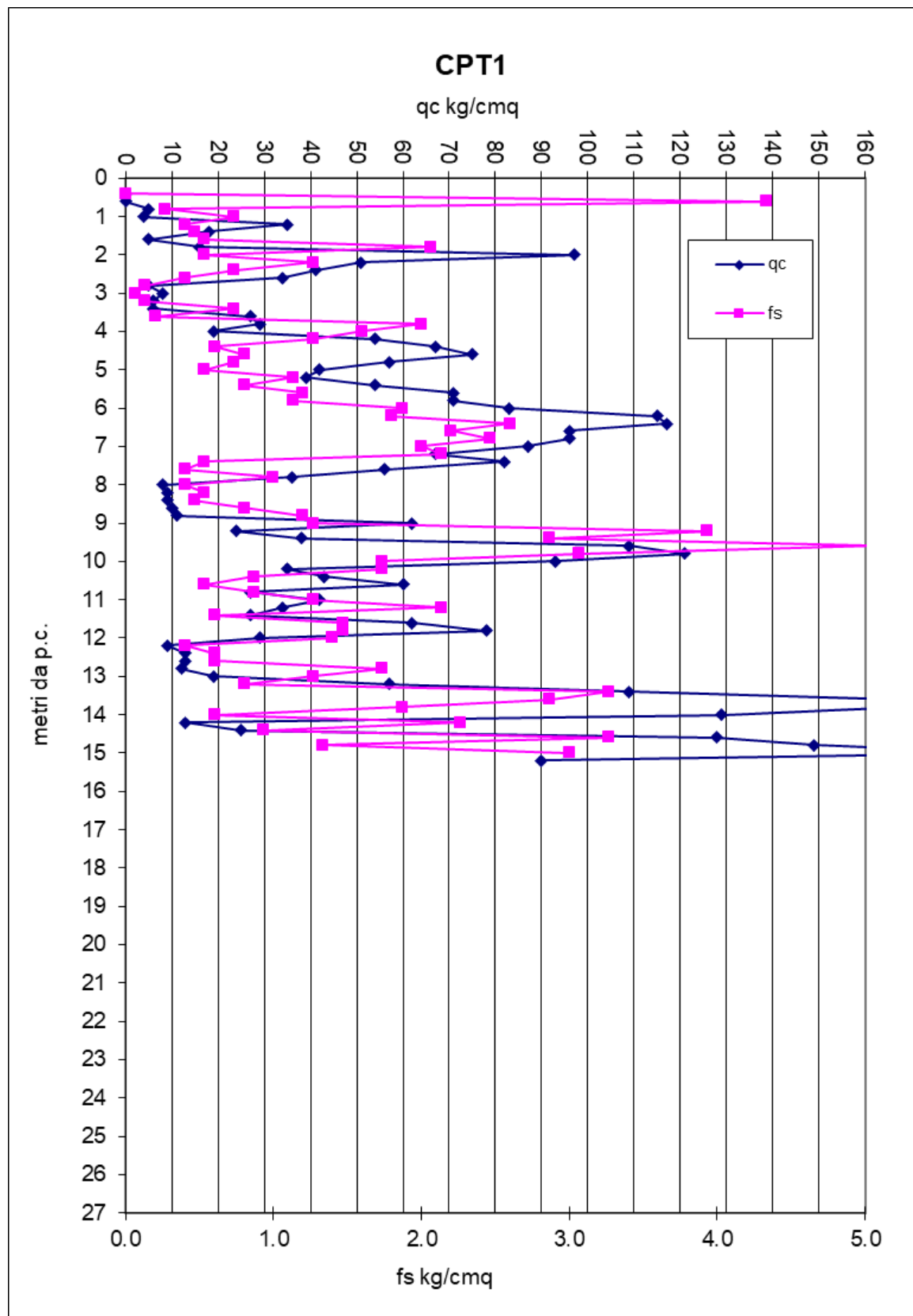
Relazione e indagini eseguite nel mese di dicembre 2022

In allegato:

- grafici delle prove penetrometriche
- Caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica Masw

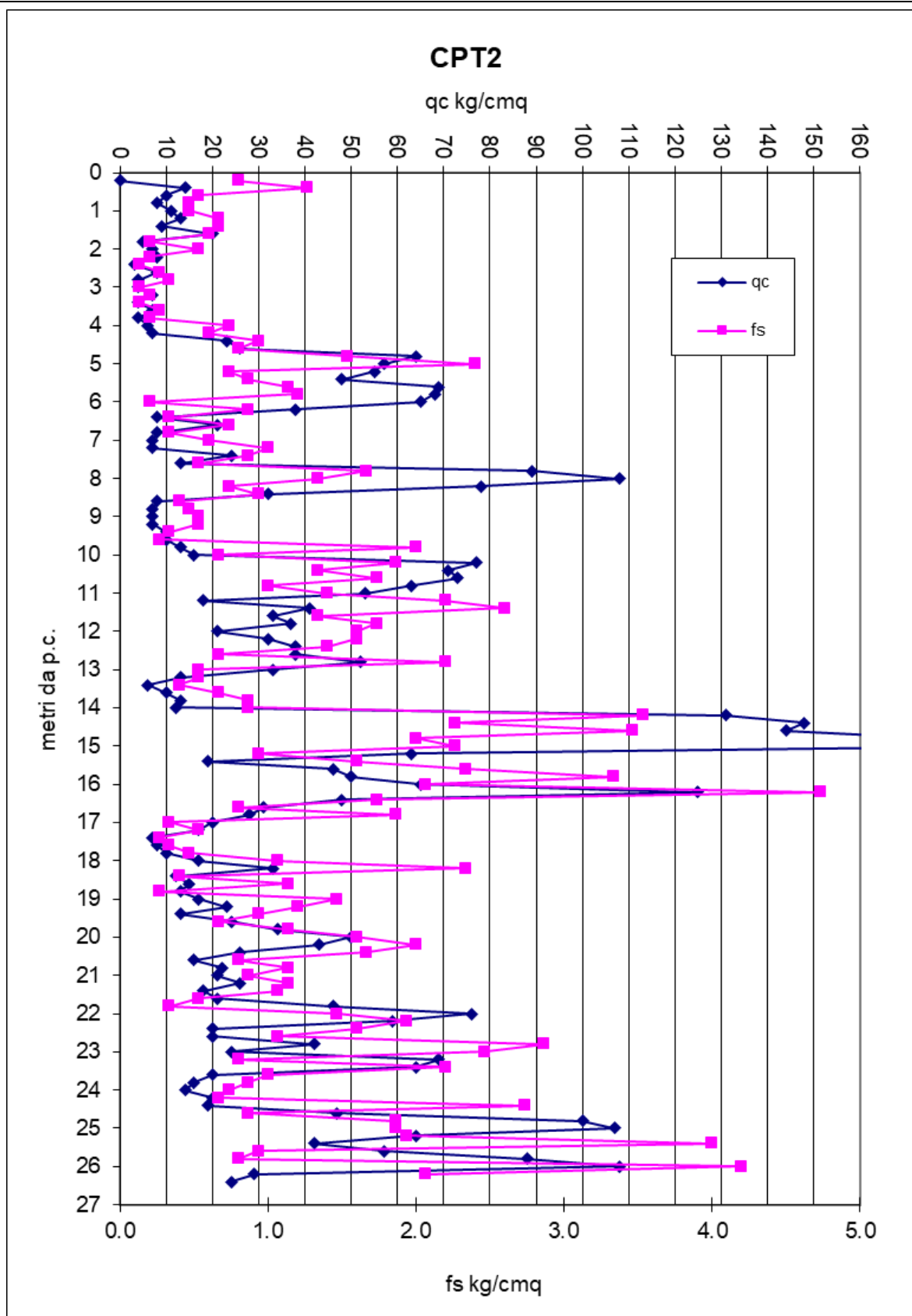


ALLEGATI



RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

CPT1 data 24/11/2022								
comune Padova			località			via Goito		
m p.c.	Rp kg/cmq	RI kg/cmq	m p.c.	Rp kg/cmq	RI kg/cmq	m p.c.	Rp kg/cmq	RI kg/cmq
0.0			10.2	35	1.73	20.2		
0.2			10.4	43	0.87	20.4		
0.4			10.6	60	0.53	20.6		
0.6		4.33	10.8	27	0.87	20.8		
0.8	5	0.27	11	42	1.27	21		
1.0	4	0.73	11.2	34	2.13	21.2		
1.2	35	0.40	11.4	27	0.60	21.4		
1.4	18	0.47	11.6	62	1.47	21.6		
1.6	5	0.53	11.8	78	1.47	21.8		
1.8	16	2.07	12	29	1.40	22		
2.0	97	0.53	12.2	9	0.40	22.2		
2.2	51	1.27	12.4	13	0.60	22.4		
2.4	41	0.73	12.6	13	0.60	22.6		
2.6	34	0.40	12.8	12	1.73	22.8		
2.8	5	0.13	13	19	1.27	23		
3.0	8	0.07	13.2	57	0.80	23.2		
3.2	6	0.13	13.4	109	3.27	23.4		
3.4	6	0.73	13.6	169	2.87	23.6		
3.6	27	0.20	13.8	169	1.87	23.8		
3.8	29	2.00	14	129	0.60	24		
4.0	19	1.60	14.2	13	2.27	24.2		
4.2	54	1.27	14.4	25	0.93	24.4		
4.4	67	0.60	14.6	128	3.27	24.6		
4.6	75	0.80	14.8	149	1.33	24.8		
4.8	57	0.73	15	192	3.00	25		
5.0	42	0.53	15.2	90		25.2		
5.2	39	1.13	15.4			25.4		
5.4	54	0.80	15.6			25.6		
5.6	71	1.20	15.8			25.8		
5.8	71	1.13	16			26		
6.0	83	1.87	16.2			26.2		
6.2	115	1.80	16.4			26.4		
6.4	117	2.60	16.6			26.6		
6.6	96	2.20	16.8			26.8		
6.8	96	2.47	17			27		
7.0	87	2.00	17.2			27.2		
7.2	67	2.13	17.4			27.4		
7.4	82	0.53	17.6			27.6		
7.6	56	0.40	17.8			27.8		
7.8	36	1.00	18			28		
8.0	8	0.40	18.2			28.2		
8.2	9	0.53	18.4			28.4		
8.4	9	0.47	18.6			28.6		
8.6	10	0.80	18.8			28.8		
8.8	11	1.20	19			29		
9.0	62	1.27	19.2			29.2		
9.2	24	3.93	19.4			29.4		
9.4	38	2.87	19.6			29.6		
9.6	109	5.07	19.8			29.8		
9.8	121	3.07	20			30		
10.0	93	1.73						



RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

CPT2 data 24/11/2022								
comune Padova			località via Goito					
m p.c.	Rp kg/cmq	RI kg/cmq	m p.c.	Rp kg/cmq	RI kg/cmq	m p.c.	Rp kg/cmq	RI kg/cmq
0.0			10.2	77	1.87	20.2	43	2.00
0.2		0.80	10.4	71	1.33	20.4	26	1.67
0.4	14	1.27	10.6	73	1.73	20.6	16	0.80
0.6	10	0.53	10.8	63	1.00	20.8	22	1.13
0.8	8	0.47	11	53	1.40	21	21	0.87
1.0	11	0.47	11.2	18	2.20	21.2	26	1.13
1.2	13	0.67	11.4	41	2.60	21.4	18	1.07
1.4	9	0.67	11.6	33	1.33	21.6	21	0.53
1.6	20	0.60	11.8	37	1.73	21.8	46	0.33
1.8	5	0.20	12	21	1.60	22	76	1.47
2.0	7	0.53	12.2	32	1.60	22.2	59	1.93
2.2	8	0.20	12.4	38	1.40	22.4	20	1.60
2.4	3	0.13	12.6	38	0.67	22.6	20	1.07
2.6	8	0.27	12.8	52	2.20	22.8	42	2.87
2.8	4	0.33	13	33	0.53	23	24	2.47
3.0	4	0.13	13.2	13	0.53	23.2	69	0.80
3.2	7	0.20	13.4	6	0.40	23.4	64	2.20
3.4	4	0.13	13.6	10	0.67	23.6	20	1.00
3.6	7	0.27	13.8	13	0.87	23.8	16	0.87
3.8	4	0.20	14	12	0.87	24	14	0.73
4.0	6	0.73	14.2	131	3.53	24.2	20	0.67
4.2	7	0.60	14.4	148	2.27	24.4	19	2.73
4.4	23	0.93	14.6	144	3.47	24.6	47	0.87
4.6	26	0.80	14.8	175	2.00	24.8	100	1.87
4.8	64	1.53	15	193	2.27	25	107	1.87
5.0	57	2.40	15.2	63	0.93	25.2	64	1.93
5.2	55	0.73	15.4	19	1.60	25.4	42	4.00
5.4	48	0.87	15.6	46	2.33	25.6	57	0.93
5.6	69	1.13	15.8	50	3.33	25.8	88	0.80
5.8	68	1.20	16	65	2.07	26	108	4.20
6.0	65	0.20	16.2	125	4.73	26.2	29	2.07
6.2	38	0.87	16.4	48	1.73	26.4	24	
6.4	8	0.33	16.6	31	0.80	26.6		
6.6	21	0.73	16.8	28	1.87	26.8		
6.8	8	0.33	17	20	0.33	27		
7.0	7	0.60	17.2	17	0.53	27.2		
7.2	7	1.00	17.4	7	0.27	27.4		
7.4	24	0.87	17.6	8	0.33	27.6		
7.6	13	0.53	17.8	10	0.47	27.8		
7.8	89	1.67	18	17	1.07	28		
8.0	108	1.33	18.2	33	2.33	28.2		
8.2	78	0.73	18.4	12	0.40	28.4		
8.4	32	0.93	18.6	15	1.13	28.6		
8.6	8	0.40	18.8	13	0.27	28.8		
8.8	7	0.47	19	17	1.47	29		
9.0	7	0.53	19.2	23	1.20	29.2		
9.2	7	0.53	19.4	13	0.93	29.4		
9.4	10	0.33	19.6	24	0.67	29.6		
9.6	10	0.27	19.8	34	1.13	29.8		
9.8	13	2.00	20	50	1.60	30		
10.0	16	0.67						

Caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica Masw (Multichannel Analysis of Surface Waves)

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (onde P, onde S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

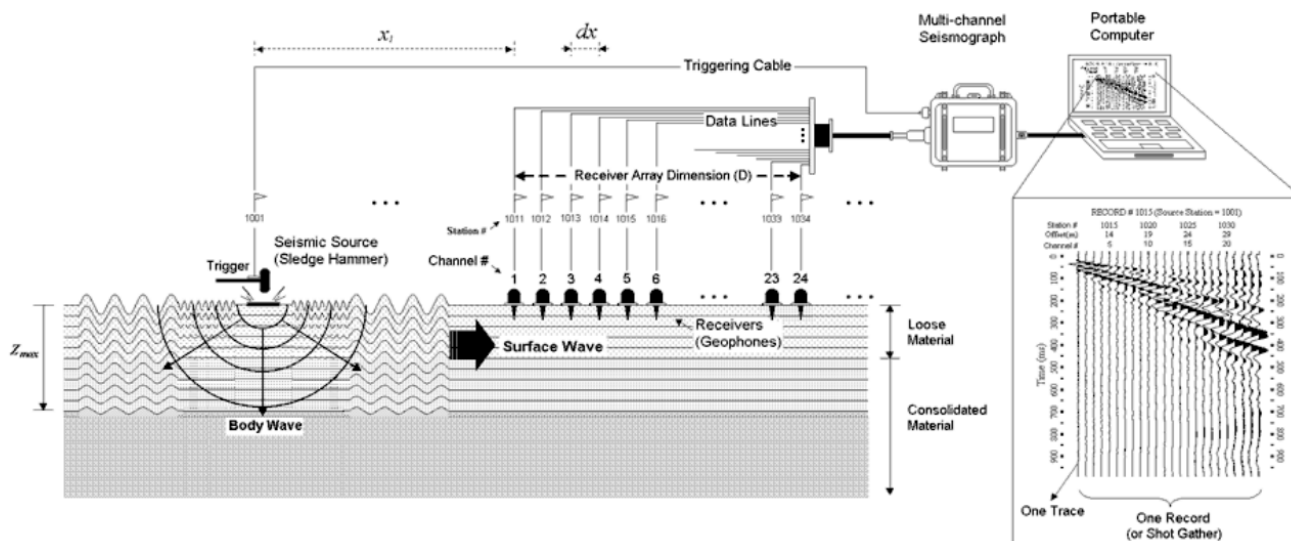
Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.



Schema acquisizione dati Masw

Strumentazione utilizzata

Per l'acquisizione dei dati è stata utilizzato un sismografo della "Ambrogeo" con le seguenti caratteristiche tecniche:

Number of channels	24
Sampler interval	0,296 msec
A/D Conversion	16 bit
Input impedance	1 KOhm
Gain	10 dB - 100 dB, step 1 dB
Saturation tension	+/- 2,3 V
Saturation level	100 dB
Distorsion	0,01%
Sampler	25 msec (191 points), 50 msec (383 points), 100 msec (756 points), 200 msec (1530 points), 800 msec (6121 points)
Sampling	130 micro/sec
Record lenght	25-50 -10 -20 -400-800 millisec
Filter low pass	from 50 to 950 Hz, step 1 Hz
Digital Filter (Fir) low pass	1000-900-800-700-600-500-400-300-200-100-50 Hz
Digital Filter (Fir) high pass	0-25-50-75-100-125-150-175-200-225-250 Hz
Frequency response	7-950 Hz, filter at 950 Hz
Dynamic range	93 dB
Noise	0,66 uV rms, gain = 55 dB
Crosstalk	52 dB, gain = 55 dB
Power	12 V

Sono stati inoltre utilizzati, due cavi multicanale (12) per il collegamento con i sensori e 24 geofoni verticali da 4,5 Hz.

Esecuzione operativa dell'indagine Masw in cantiere

L'acquisizione è stata eseguita posizionando 24 ricevitori da 4,5 Hz ad una distanza inter-geofonica pari a 2 m, ed energizzando mediante mazza battente su piastra in ferro-alluminio a distanze diverse, di 12, 9, 6, 3 m dal primo geofono (eseguendo registrazioni ripetute);



Foto esecuzione indagine Masw in sito

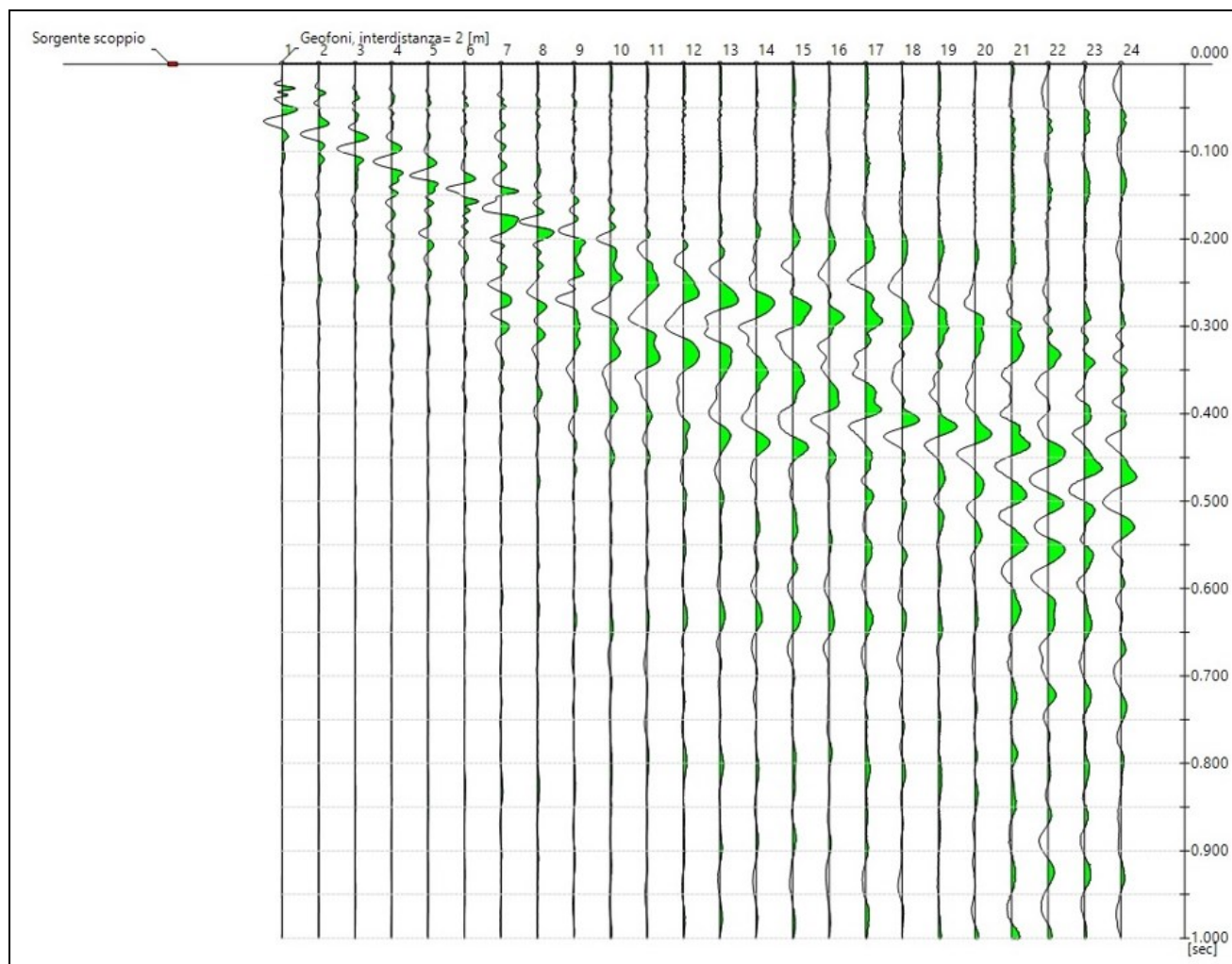


Ubicazione indagine Masw su ortofoto (Google.com)

Elaborazione dati

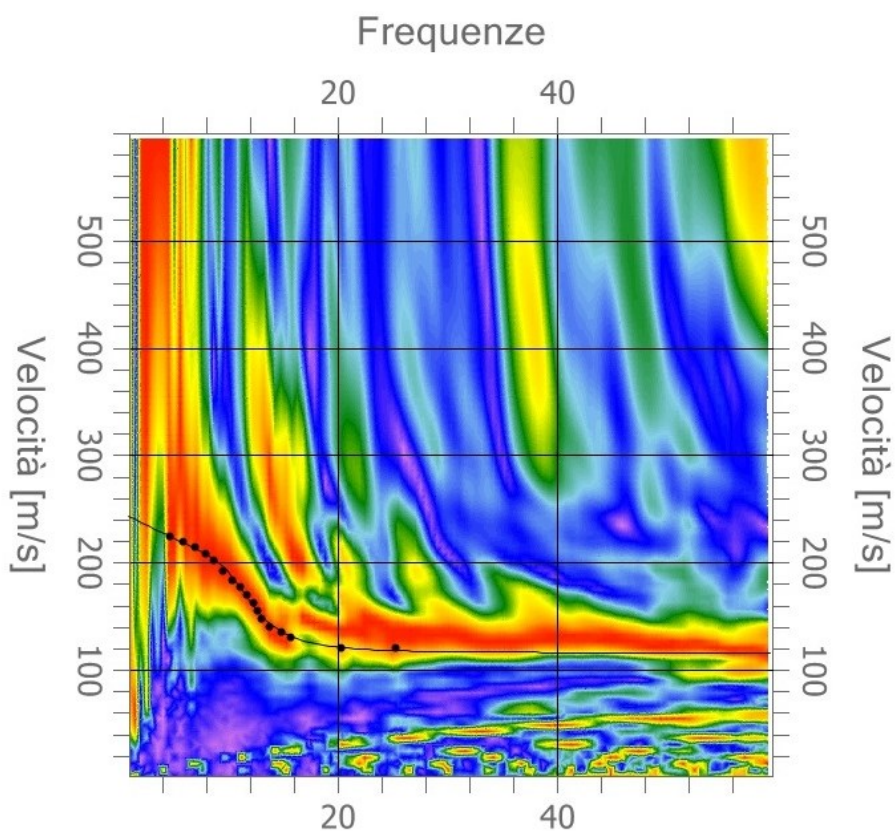
L'elaborazione è stata eseguita tramite il software Easy Masw della GEOSTRU unitamente al software Front per il processamento dei dati di ingresso.

Nome del file delle tracce	SHOT6_amp65
Numero di ricevitori usati per l'analisi	24
Numero canali usati per l'analisi	24
Distanza tra i sensori	2 m
Passo temporale di acquisizione	0.000131 s
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a [s]	0 s
L'intervallo considerato per l'analisi termina a [s]	1,0023 s

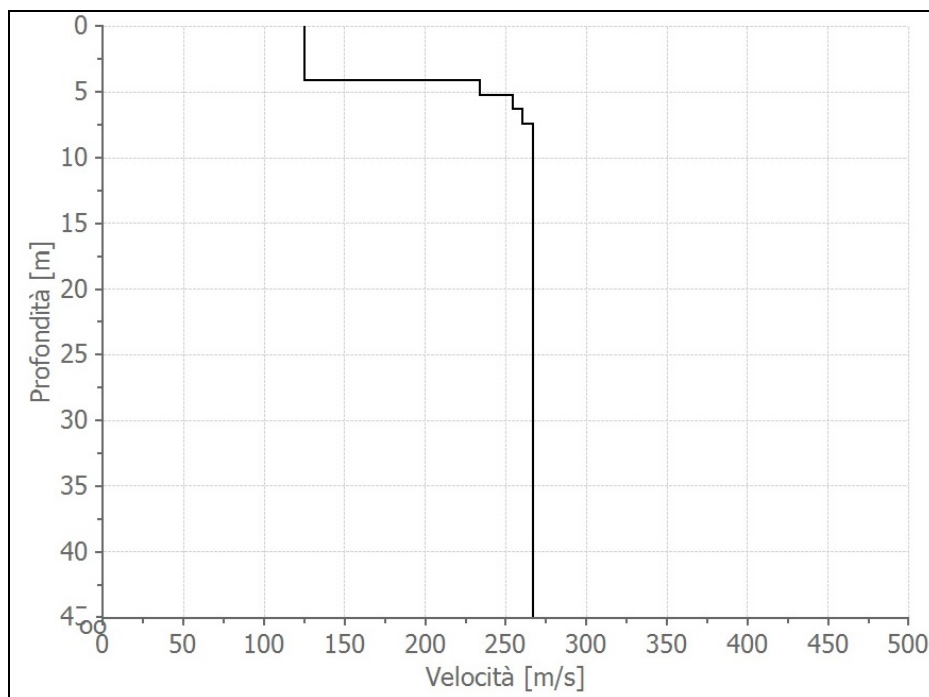


Tracce sperimentali

Risultati delle analisi



Curva di dispersione sperimentale con relativo Picking e curva di modello



Modello velocità onde S nel sottosuolo

Analisi dei risultati ottenuti

L'elaborazione dell'indagine Masw ha permesso di determinare una curva di dispersione in cui risulta evidente come gli strati superficiali (caratterizzati da alte frequenze tra 60 e 15 Hz) siano contraddistinti da velocità che crescono linearmente fino ad una velocità di fase di circa 120 m/s; Da 15 Hz le velocità incrementano fino ad una velocità massima di fase di circa 250 m/s. Si rammenta che la velocità di fase non è la V_s ($V_s \approx 1,1 \cdot$ velocità di fase).

Nella tabella a seguito si riporta la velocità media delle onde di taglio fino alla profondità di 30 m dal piano di posa della fondazione dell'opera.

Piano di posa fondazione in [m] da p.c.	V_{s30}
0,0	229