



**REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA
COMUNE DI PAVIA DI UDINE
PROVINCIA DI UDINE**

COMMITTENTE : Amministrazione Comunale

**RELAZIONE GEOLOGICA
VARIANTE AL PRGC
REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLABILE IN PROSSIMITÀ DELLA CICLOVIA
ALPE ADRIA – RFVGI**



**Associazione Temporanea tra Professionisti
arch. Federico Fabris, arch. Giuseppe Liotta, geol. Enrico Massolino, arch. Maurizio
Sittaro, ing. Paolo Spadetto**



**Enrico Massolino - Geologo
Tel 3406184630
Via Settefontane 29 34141 Trieste
www.studiomassolino.com**

Rev 5 06/12/2022

1. PREMESSA.....	3
2. MORFOLOGIA E GEOLOGIA.....	4
3. IDROLOGIA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA	8
4. INDAGINI IN SITO	9
PROVE PENETROMETRICHE.....	10
MISURE HVSR.....	15
MASW	20
PERFORAZIONI CON CAROTIERE MANUALE.	22
PERMEABILITA' IN SITO 1	23
PERMEABILITA' IN SITO 2	24
5. MODELLO DEL TERRENO	25
6. SISMICITA'	25
7. CONCLUSIONI.....	28

Figura 1 Corografia.1/10000	3
Figura 2 Carta geologica Scala 1:10000 Zona sud ovest	5
Figura 3 Carta geologica Scala 1:1000 Zona nord est	6
Figura 4 Stratigrafie pozzi 120-27 e 120-1	7
Figura 5 Carta idrogeologica e della pericolosità idraulica. 1/5000	8
Figura 6 Permeabilità terreni.....	9
Figura 7 Foto prova penetrometrica 1	12
Figura 8 Foto prova penetrometrica 2	12
Figura 9 Foto prova penetrometrica 3 (sin) e 4 (dx)	13
Figura 10 Foto prova penetrometrica 4	14
Figura 11 HVSR 1.....	16
Figura 12 HVSR 2.....	17
Figura 13 HVSR 3.....	18
Figura 14 HVSR 4.....	19
Figura 15 Foto profilo sismico	20
Figura 16 Perforazione con carotiere manuale e prelievo di campioni rimaneggiati.....	22
Figura 17 Pericolosità sismica.....	26



I. PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Pavia di Udine viene di seguito redatta la relazione geologica per la realizzazione di una pista ciclabile in prossimità della ciclovia Alpe Adria – RFVG I.

La presente indagine ha lo scopo di verificare la compatibilità tra le previsioni contenute nello Strumento Urbanistico in esame e le condizioni geomorfologiche ed idrogeologiche del territorio.

Per la stesura di questo lavoro si è reso necessario:

- valutare le condizioni geomorfologiche ed idrologiche delle aree interessate dall'intervento in progetto.
- ricostruire la situazione litostratigrafica dei terreni nei primi metri dal piano campagna; definire le eventuali pericolosità naturali incombenti sull'area.

L'indagine è stata condotta in ottemperanza alla L.R. n. 27/88 e successivo DPRG 1989.

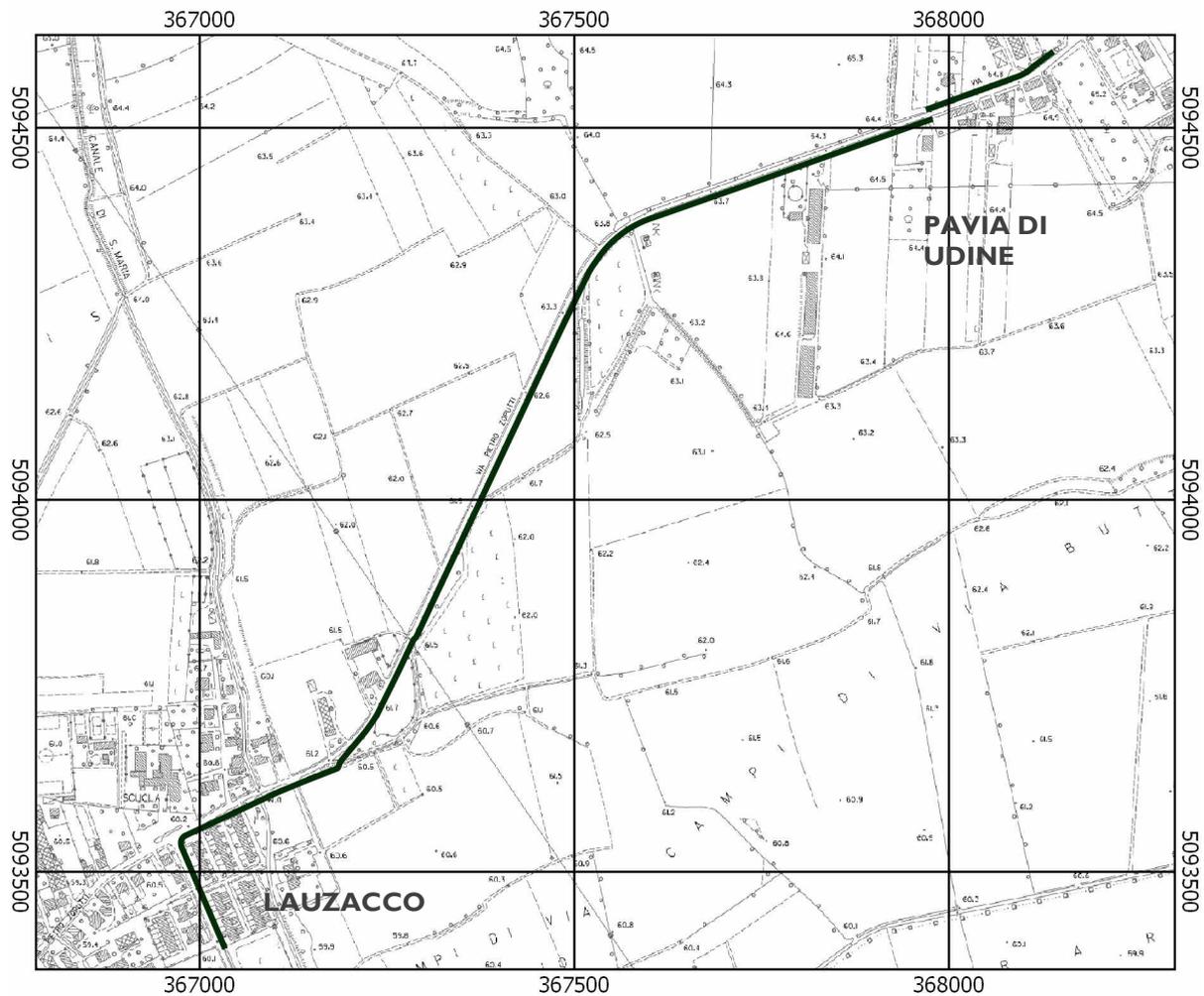


Figura I Corografia.I/10000



La perizia é stata elaborata tra novembre e dicembre 2021 ed ha compreso, dopo una preliminare fase di documentazione e analisi critica dei dati già esistenti, un rilievo di dettaglio sui siti con particolare riguardo alle pericolosità naturali eventualmente incombenti su di essi. Sono state effettuate nella zona di interesse, delle prove penetrometriche dinamiche, delle indagini HVSR e MASW e due perforazioni con carotiere manuale finalizzate alla misura della permeabilità in sito.

2. MORFOLOGIA E GEOLOGIA

Il percorso della ciclovia in esame si colloca su un'area a morfologia pianeggiante, ubicata nell'alta pianura friulana al di sopra della linea delle risorgive sulla destra orografica del Torre ad una quota compresa fra i 60 ed i 65 metri s.l.m.m. La prossimità del Torre spiega facilmente l'origine di questi terreni in oggetto che risultano essere sedimenti alluvionali pleistocenici ghiaiosi del sub sistema di Remanzacco SPB4 per la parte occidentale e più recenti, appartenenti all'unità di Grado per la parte Orientale.

La tessitura dei terreni secondo quanto riportato nella cartografia geologica, è costituita da sedimenti limoso argillosi nella parte orientale del tracciato, mentre nella parte ovest sono presenti sedimenti maggiormente sabbiosi e ghiaiosi misti a terreni più fini.

La variabilità granulometrica dei terreni rispecchia le variazioni di capacità di trasporto delle acque esondanti e divaganti delle aste fluviali il cui elemento principale è il Torrente Torre. I materiali alluvionali possono presentare eterogeneità in senso verticale, mentre in senso orizzontale risulta una discreta regolarità.

Il tracciato della ciclabile non viene interessato da elementi strutturali presenti invece alcuni chilometri più a nord con i sovrascorrimenti che costituiscono la linea di Pozzuolo e quella di Udine.

Con la profondità le ghiaie ospitanti l'acquifero risultano cementate su diversi livelli a testimonianza della variazione del livello saturo fino ad essere classificabili come conglomerati.



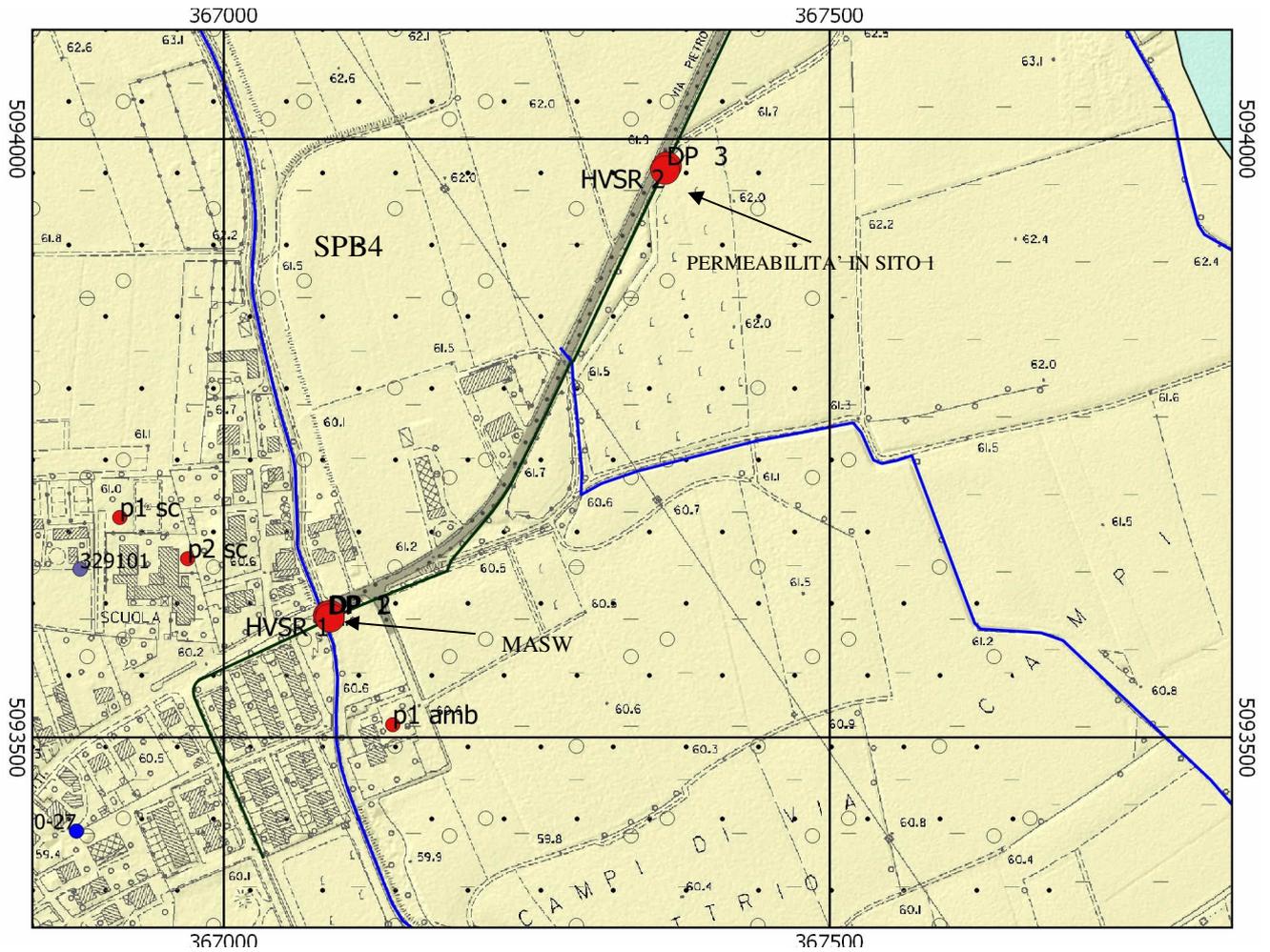


Figura 2 Carta geologica Scala 1:10000 Zona sud ovest

Successione quaternaria

	Unità di Grado - GRA (8000 B.P. - Attuale)		Subunità di Monastero - GRA2 (Olocene, IV/V sec. d.C. - Attuale)		RILEVATO
	Unità superiore dei bacini secondari - BTR (Post LGM - Attuale)		Subunità di Aquileia - GRA1 (Post LGM - IV/V sec. d.C.)		INDAGINI CICLABILE
	Unità di Palazzolo - PAL (Post LGM - Attuale)		Unità di Spilimbergo - SPB (Pleistocene sup.)		STRATIGRAFIE POZZI
	Subunità di Latisana - GRA4 (Olocene, IV/V sec. d.C. - Attuale)		Subunità di Remanzacco - SPB4 (Pleistocene sup.)		INDAGINI PREGRESSE
	Subunità di San Vito - GRA3 (Post LGM - IV/V sec. d.C.)		Subunità di Canodusso - SPB3 (Pleistocene sup.)		

SISTEMA DEPOSIZIONALE

Depositi alluvionali

						
Ghiaia	Ghiaia e sabbia	Ghiaia con sabbia e limo	Sabbia	Sabbia e limo	Limo e argilla	Argilla e argilla organica

Tratto da Carta di sintesi geologica GEO-CGT Direzione centrale Ambiente e lavori Pubblici –servizio geologico FOGLIO 087 sezione 087040. Modificata.



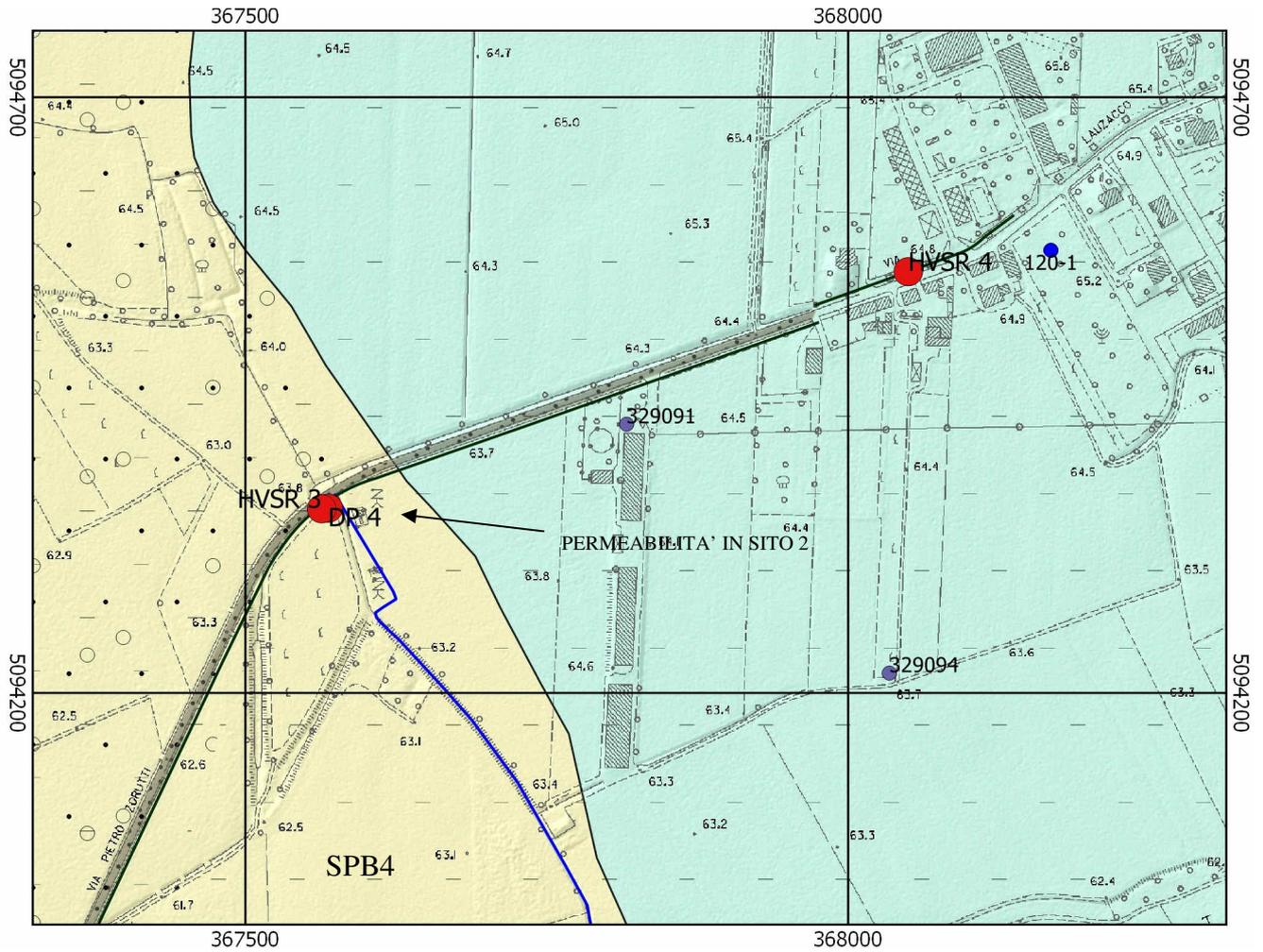
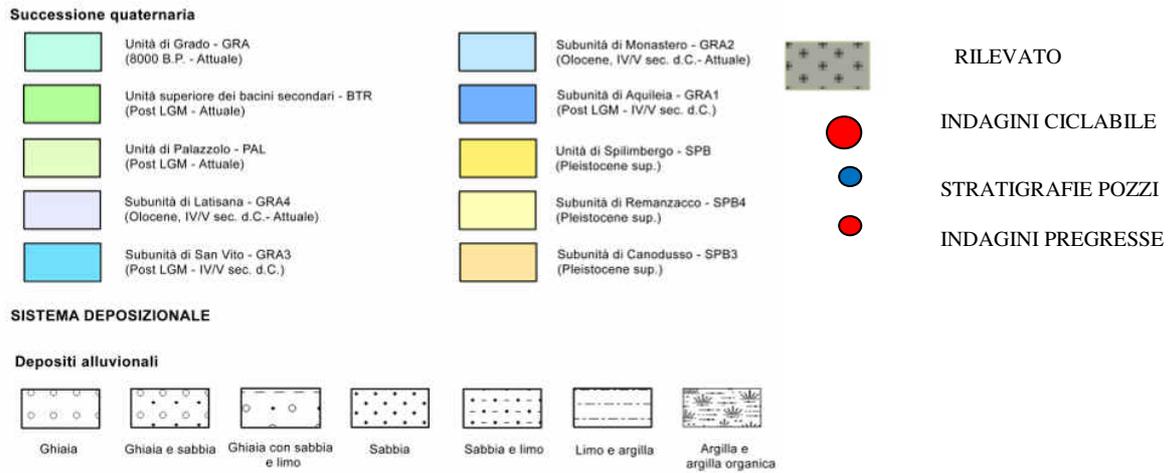


Figura 3 Carta geologica Scala 1:1000 Zona nord est



Tratto da Carta di sintesi geologica GEO-CGT Direzione centrale Ambiente e lavori Pubblici –servizio geologico FOGLIO 087 sezione 087040. Modificata.

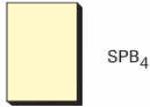


subsistema di Remanzacco (Bacino del F. Tagliamento e del T. Torre)

Ghiaie grossolane subangolose-arrotondate, stratificazione orizzontale e inclinata, matrice sabbiosa debolmente limosa, tessitura da parzialmente aperta a supporto di matrice, con livelli, lenti e lingue di sabbia e peliti; localmente sabbia e peliti aumentano fino a diventare prevalenti sui clasti (depositi fluvio-glaciali) (SPB_{4b}); ghiaie subangolose e sabbie, localmente cementate, stratificazione inclinata, tessitura a supporto di clasti (depositi di contatto glaciale) (SPB_{4b5}); *diamicton* massivo contenente blocchi, con livelli, lenti e lingue di sabbia e limo ghiaiosi da massivi a laminati, clasti da angolosi a subarrotondati, striati, sfaccettati e localmente levigati, matrice limosa o sabbioso-limosa, deposito da addensato a molto addensato, tessitura a supporto di matrice (*till* indifferenziato) (SPB_{4c1}); *diamicton* massivo, molto addensato, con blocchi, clasti da subarrotondati a subangolosi, striati, sfaccettati e levigati, matrice limosa, tessitura a supporto di matrice (*till* di alloggiamento) (SPB_{4c4}); *diamicton* massivo, addensato, con numerosi blocchi, clasti da angolosi a subangolosi, striati, matrice sabbioso-limosa, tessitura variabile da supporto di matrice a supporto di clasti (*till* di ablazione) (SPB_{4c5}); limi sabbiosi laminati, con *dropstone* (depositi glaciolacustri) (SPB_{4c6}); limite superiore in parte erosivo, in parte costituito dall'originaria superficie deposizionale rimodellata e caratterizzata da suoli con profilo tipo A-B-C o A-C (colore 7,5YR - 10YR), limite inferiore erosivo.

Sono distinte l'unità di Muris (SPB_{4A}), l'unità di Majano (SPB_{4B}) e l'unità di Collalto (SPB_{4C}) relative a tre diversi lobi del ghiacciaio del Tagliamento.

PLEISTOCENE sup.



SPB₄



GRA

Unità di Grado (GRA) (8000 B.P. Attuale)

Questa unità informale coincide con il "Sintema del Po" cartografato nei fogli CARG "Udine", "Maniago" e "San Vito al Tagliamento". Questa unità raggruppa in modo indifferenziato i depositi dei bacini principali sedimentati durante il postglaciale, ovvero dalla fase successiva al ritiro dei ghiacciai pleistocenici fino all'Attuale.

Il sottosuolo è dunque caratterizzato, da un potente complesso alluvionale formato da ghiaie prevalenti con modeste matrici sabbiose limose (cfr.: "CATASTO REGIONALE DEI POZZI PER ACQUA E DELLE PERFORAZIONI ESEGUITE NELLE ALLUVIONI QUATERNARIE E NEI DEPOSITI SCIOLTI DEL FRIULI-VENEZIA GIULIA, Direzione Regionale dell'Ambiente. Trieste, settembre 1990. III° VOLUME."). Si riporta la stratigrafia di un pozzo ubicato in prossimità alla zona in studio e sostanzialmente conforme al modello di terreno ipotizzato.

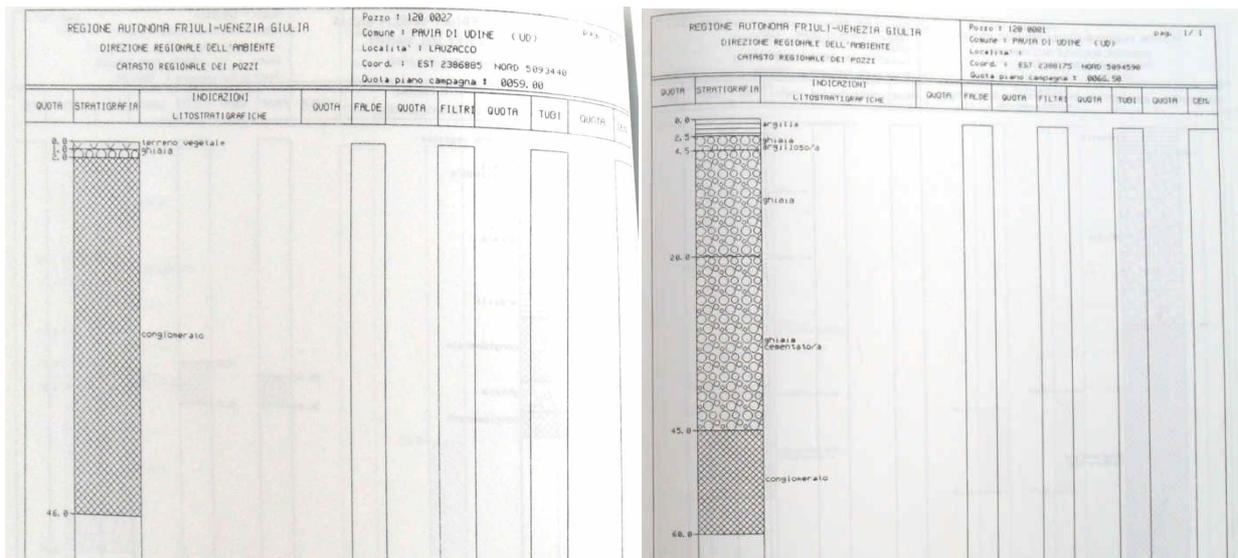


Figura 4 Stratigrafie pozzi 120-27 e 120-1



3. IDROLOGIA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA

I terreni indagati sono molto permeabili in profondità. L'acquifero sotterraneo è contenuto nella spessa coltre alluvionale, di cui si è detto, ed è alimentato sia dagli importanti corsi d'acqua che solcano il territorio (Sistema Torre-Natisone) che dalle precipitazioni locali che s'infiltrano entro i depositi permeabili; il livello dell'acquifero è collocato a profondità variabili di circa 48 m l.m.m, nella fase di piena, e 30 m l.m.m. nella fase di magra; l'escursione freatica, piuttosto sensibile, può raggiungere quasi i 18 metri.

Nel territorio comunale sono segnalate zone interessate dal pericolo di allagamento; il tracciato in studio risulta compreso in una zona a pericolosità moderata P1.

Per meglio definire la profondità massima di falda si riportano in planimetria i massimi e minimi livelli registrati nel 1977 per il massimo e nel 1993 per il minimo.

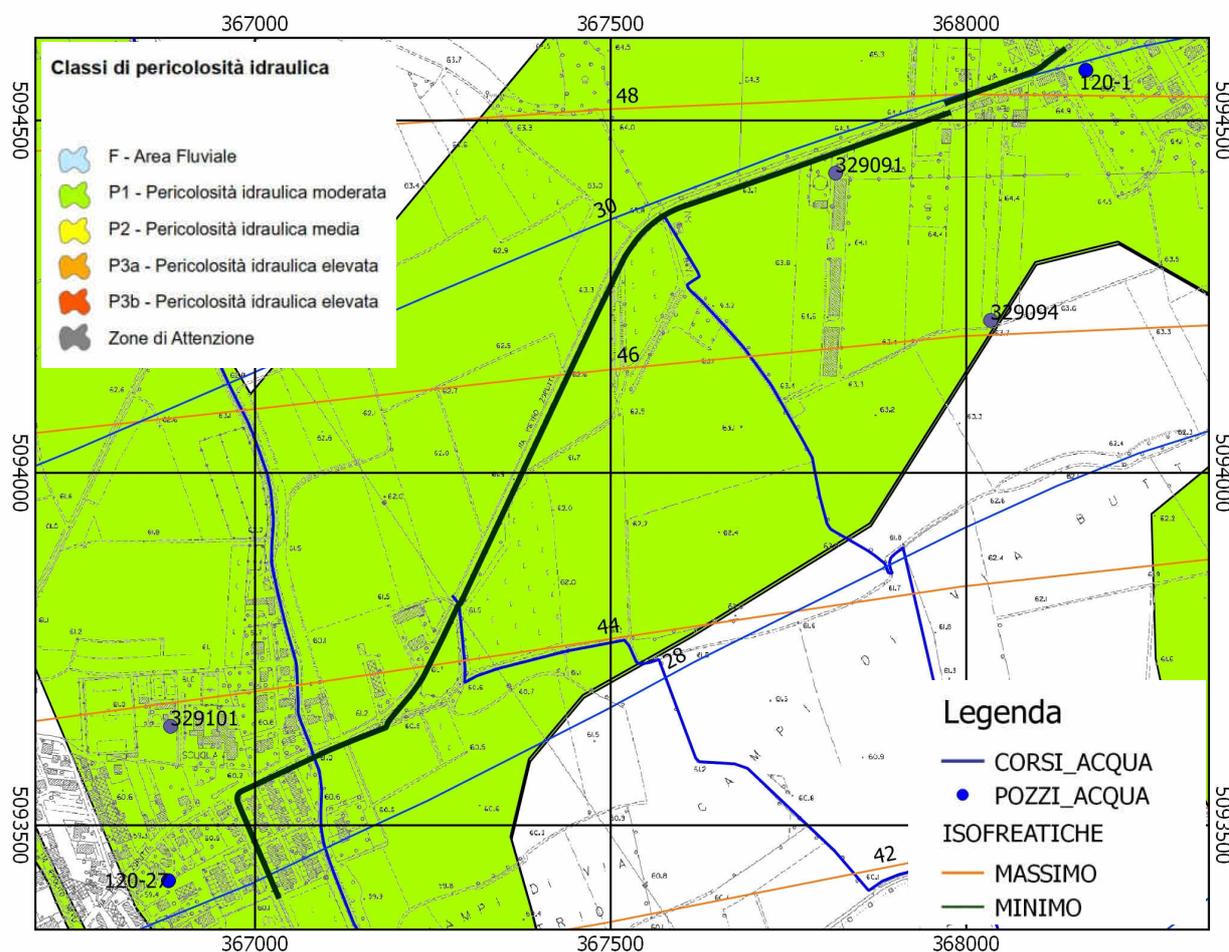


Figura 5 Carta idrogeologica e della pericolosità idraulica. 1/10000

E' stato pubblicato in Gazzetta Ufficiale il primo aggiornamento del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni dell'Autorità' di bacino distrettuale delle Alpi orientali di cui all'art. 7 della direttiva 2007/60/CE e all'art. 7 del decreto legislativo n. 49/2010; (Adozione della delibera n. 3 del 21 dicembre 2021 (22A00823) (GU Serie Generale n.29 del 04-02-2022).

In tale documento vengono perimetrare le zone a diversa pericolosità idraulica.



Il Piano classifica il territorio esterno alle aree fluviali in funzione delle diverse condizioni di pericolosità, nonché in funzione delle aree e degli elementi a rischio, nelle seguenti classi:

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| P3 (pericolosità elevata) | R4 (rischio molto elevato) |
| P2 (pericolosità media) | R3 (rischio elevato) |
| P1 (pericolosità moderata) | R2 (rischio medio) |
| | R1 (rischio moderato) |

La zona è interessata da pericolosità idraulica PI come risulta da PGRA Piano Gestione Rischio Alluvioni. La quota di sicurezza per tale pericolosità è di 50 cm da piano campagna.

Ai fini della dispersione delle acque per garantire l'invarianza idraulica come dispone il Decreto del Presidente della Regione 27 marzo 2018 n.083, si può fare affidamento alla permeabilità dei terreni che aumenta con la profondità, prendendo a riferimento preliminarmente la tabella sotto riportata e sempre considerando la profondità della falda.

k (cm/s)	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
k (m/s)	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta	Bassa	BB	Impermeabile					
Tipi di terreno	Ghiaie pulite		Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie	Sabbie fini	Miscele di sabbie e limi		Limi argillosi e argille limose, fanghi argillosi	Argille omogenee e compatte				
Determinazione diretta di K	Prove dirette in situ mediante pompaggio											
	Infiltrimetri – Permeametri a carico costante											
Determinazione indiretta di K	Permeametri a carico variabile											
	Analisi granulometrica (applicabile a sabbie e ghiaie pulite)				Prove di consolidamento							

Figura 6 Permeabilità terreni

Vista la necessità di disperdere le acque superficialmente sono state eseguite due misure di permeabilità in sito.

4. INDAGINI IN SITO

Prendendo in considerazione la morfologia del sito, i dati dei pozzi e la stratigrafia tipo dell'alta pianura friulana, per l'esecuzione dell'incarico sono state eseguite delle indagini volte a caratterizzare i terreni con particolare riguardo al primo livello di ricoprimento e alla risposta sismica della stratificazione.



Sono inoltre state eseguite delle perforazioni con carotiere manuale che hanno permesso di effettuare delle misure di permeabilità in sito ad una profondità di -1,2 m da piano campagna e di verificare la composizione e la granulometria dei terreni interessati dalla fondazione della futura pista ciclabile.

Lungo il tragitto della ciclabile, come indicato in premessa, sono state eseguite 4 prove penetrometriche dinamiche i cui diagrammi ed i relativi parametri sono riportati nelle pagine seguenti.

Per la verifica del modello del suolo e per la caratterizzazione sismica del sito sono state eseguite una indagine MASW ed tre HVSR. L'indagine MASW è stata eseguita con lo scopo di fornire una classe di suolo per l'attraversamento del Canale Ledra di s. Maria.

PROVE PENETROMETRICHE

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Correlazione con N_{spt}

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

$$N_{spt} = B_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{spt}}$$

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

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:



$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

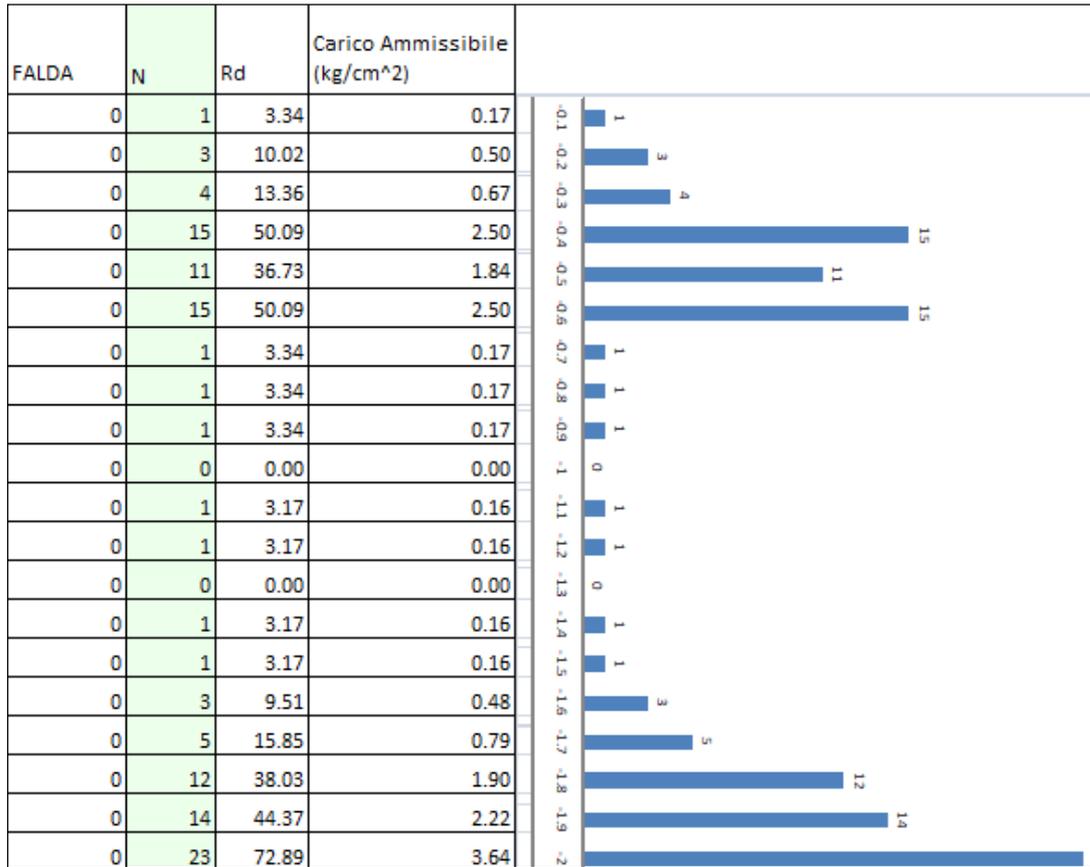
in cui

M = peso massa battente; M' = peso aste; H = altezza di caduta; A = area base punta conica; d = passo di avanzamento.

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...
Prova eseguita in data
Profondità prova

DPM (DL030 10) (Medium)
14/12/2021
2.0 mt



N°	Profondità strato	Granulare	Coesivo	NSPT	Φ° (Shoi & Fukuni Road Bridge Specification)	Cu (kg/cm ²) Terzaghi Peck (1967)	γ t/m ³
1	-0.3	g		2.0	20.5	0.0	1.5
2	-0.6	g	c	10.4	27.5	0.6	1.6
3	-1.6		c	0.9	0.0	0.1	1.5
4	-2	g	c	10.2	27.4	0.6	1.6
5	0			0.0	0.0	0.0	0.0





Figura 7 Foto prova penetrometrica 1

PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)
 Prova eseguita in data 14/12/2021
 Profondità prova 2.0 mt

PROFONDITA'	FALDA	N	Rd	Carico Ammissibile (kg/cm ²)
-0.1	0	2	6.68	0.33
-0.2	0	2	6.68	0.33
-0.3	0	4	13.36	0.67
-0.4	0	3	10.02	0.50
-0.5	0	22	73.47	3.67
-0.6	0	25	83.49	4.17
-0.7	0	30	100.19	5.01

N°	Profondità strato	Granulare	Coesivo	NSPT	Φ ^s (Shai & Fukuni Road Bridge Specification)	Cu (kg/cm ²) Terzaghi Peck (1967)	γ t/m ³
1	-0.4	g		2.1	20.6	0.0	1.5
2	-0.7	g	c	19.4	32.1	1.2	1.7



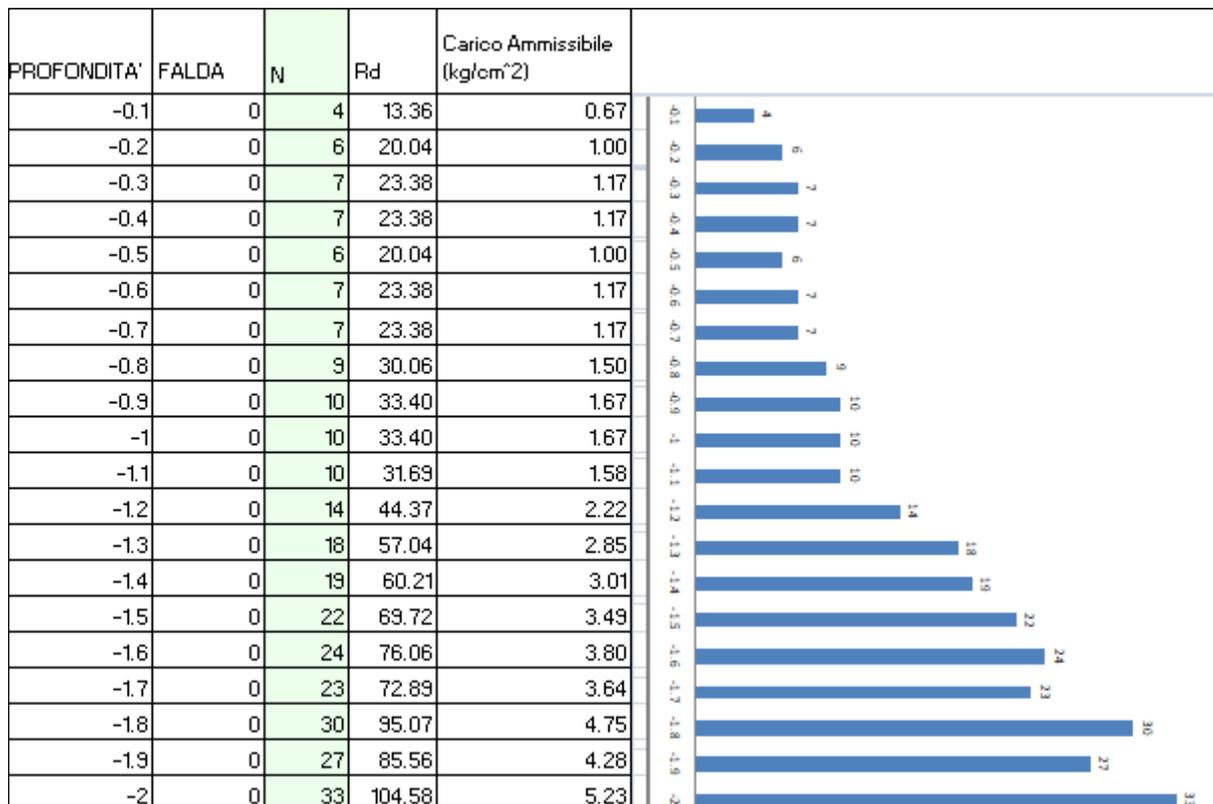
Figura 8 Foto prova penetrometrica 2



PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato...
 Prova eseguita in data
 Profondità prova

DPM (DL030 10) (Medium)
 14/12/2021
 2.0 mt



N°	Profondità strato	Granulare	Coesivo	NSPT	Φ ^o (Shai & Fukuni Road Bridge Specification)	Cu (kg/cm ²) Terzaghi Peck (1967)	γ t/m ³
1	-1.1	g	c	5.7	24.3	0.3	1.6
2	-1.7	g	c	15.2	30.1	0.9	1.7
3	-2.0	g		22.7	33.5	0.0	1.7



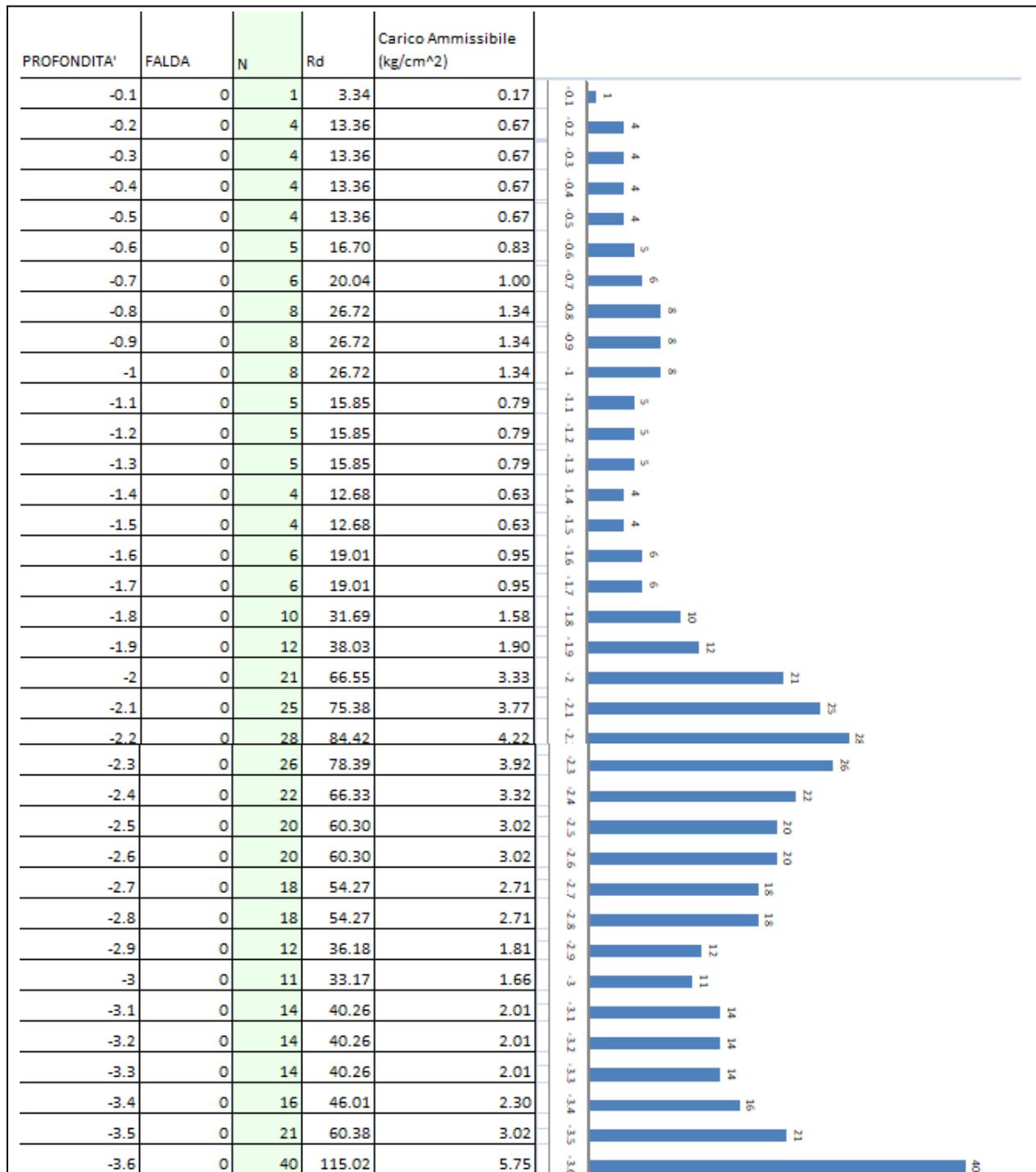
Figura 9 Foto prova penetrometrica 3 (sin) e 4 (dx)



PROVA ... Nr.4

Strumento utilizzato...
 Prova eseguita in data
 Profondità prova

DPM (DL030 10) (Medium)
 18/12/2021
 3.6 mt



N°	Profondità strato	Granulare	Coesivo	NSPT	Φ ° (Shoi & Fukuni Road Bridge Specification)	Cu (kg/cm ²) Terzaghi Peck (1967)	γ t/m ³
1	-1.8		c	4.1	0.0	0.2	1.5
2	-2.8	g	c	15.9	30.4	1.0	1.7
3	-3.5		c	11.0	0.0	0.7	1.6
4	-3.6	g	c	30.3	36.3	1.8	1.8



MISURE HVSR

Per estendere la validità delle indagini puntuali sono state eseguite delle misure HVSR che hanno permesso di confermare il modello di suolo ricavato dalle prove in sito eseguite.

La risposta in frequenza di un'area sottoposta a microtrempi viene affrontata attraverso l'analisi di microtrempi analizzando la propagazione delle onde di Rayleigh.

Ad esempio la presenza di uno strato morbido sovrastante un semispazio rigido provoca un potenziale effetto di amplificazione.

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), originariamente proposta da Nogoshi e Igarashi (1971) e ampiamente ripresa da Nakamura (1989), consiste nello stimare il rapporto fra gli spettri di ampiezza di Fourier delle componenti orizzontali e verticali del rumore ambientale registrato su una singola stazione mediante il rapporto H/V.

Il metodo prevede la registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x, y, z) con una singola stazione. Utilizzando come linee guida i dati del progetto SESAME (Site Effect assessment using Ambient Excitations) è stata effettuata una registrazione di una durata pari a 20 minuti. Successivamente le tre tracce registrate sono suddivise in finestre temporali di prefissata durata.

Le curve individuano dei picchi a una frequenza pari a circa 18 Hz.

NOME INDAGINE	PICCO f0	AMPIEZZA	QUALITA'	PROFONDITA' STIMATA Vs 180	PROFONDITA' STIMATA Vs 300
P1	17.30	4.5	NETTO	2.6	4.3
P2	18.45	7.5	NETTO	2.4	4.1
P3	17.97	4.61	NETTO	2.5	4.2
P2	16.42	5.18	NETTO	2.7	4.6

F0 (Hz)	h (m)
< 1	>100
1 -2	50-100
2 -3	30-50
3 -5	20-30
5 -8	10-20
8 -20	5-10
>20	<5

(Albarello e Castellaro 2011)

In tabella vengono riportate le profondità stimate del livello che ha generato il picco in corrispondenza della prova eseguita.



HVSR I - CICLABILE PAVIA DI UDINE

Data 2021/12/14. Durata registrazione: 20 minuti. - Freq. Campionamento: 250 Hz. - Note:

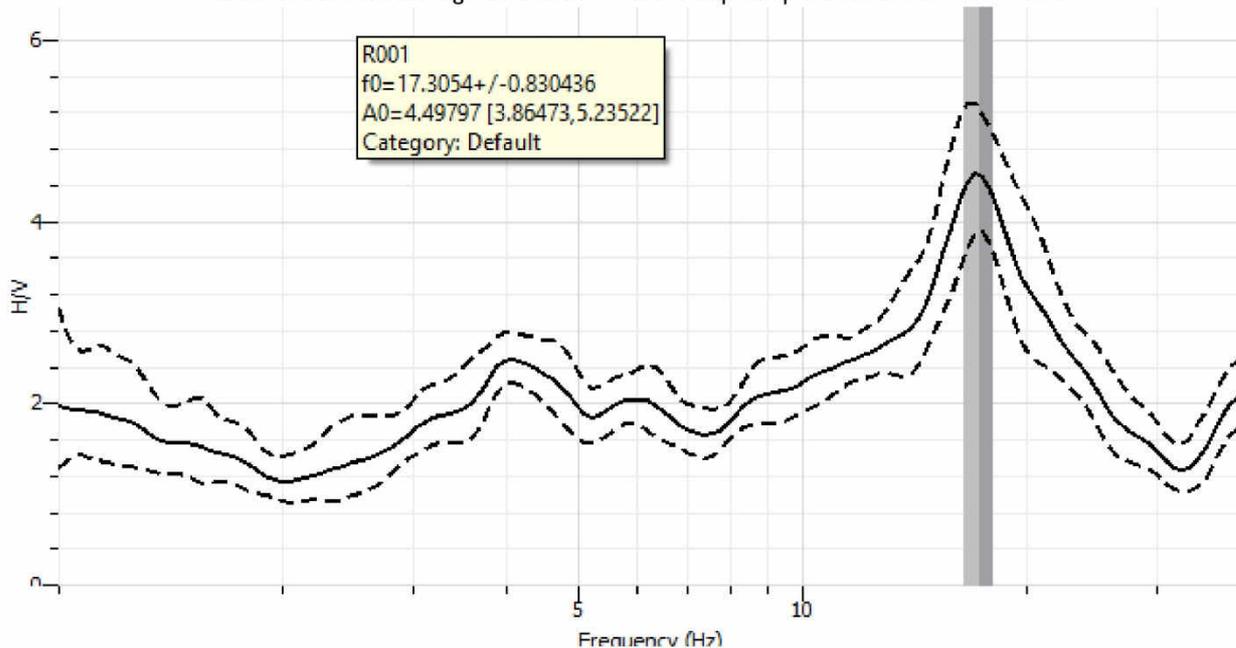


Figura 1 Rapporto H/V medio (linea continua) e relative curve di confidenza (linee tratteggiate).

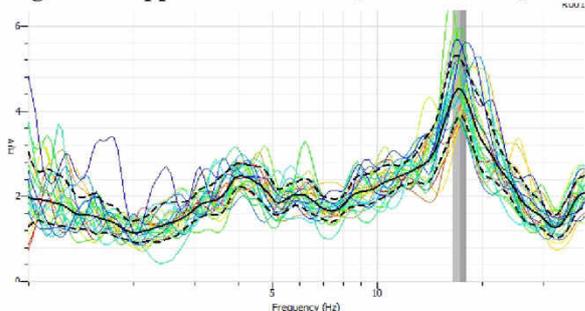


Figura 2 Rapporti H/V per ogni singola finestra

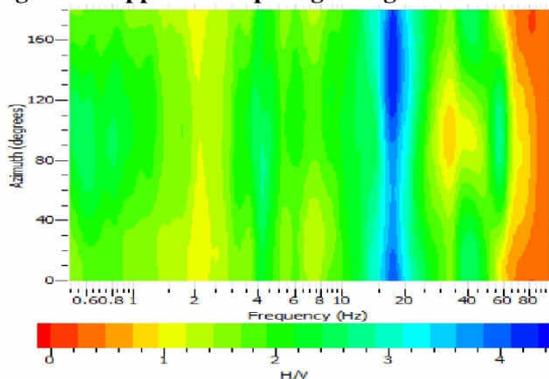


Figura 3 Direzionalità H/V

Criteria for a reliable HVRS curve [all should be fulfilled]	
$f_0 > 10/n_w$	ok
$n_c(f_0) > 200$	ok
$\sigma_a < 2$ for $f_0 > 0,5$ Hz	ok
Criteria for a clear HVSR peak [at least 5 out of 6 should be fulfilled]	
$E f$ in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f) < A_0/2$	ok
$E f$ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f) < A_0/2$	ok
$A_0 > 2$	ok
$f_{peak} [A_{H/V}(f) + \sigma_a(f)] = f_0 \pm 5\%$ and	
$f_{peak} [A_{H/V}(f) - \sigma_a(f)] = f_0 \pm 5\%$	ok
$\sigma_f(f) < \sigma_f(f_0)$	ok
$\sigma_a(f_0) < \sigma_a(f_0)$	ok

Figura 4 Parametri SESAME

Figura 11 HVSR 1

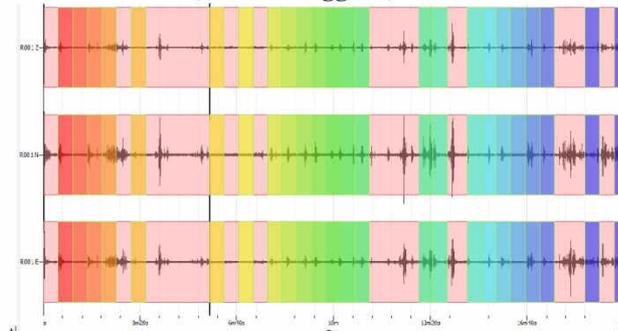


Figura 5 Componenti del segnale (Z: verticale; N e E orizzontali) con sovrapposte le finestre per l'analisi

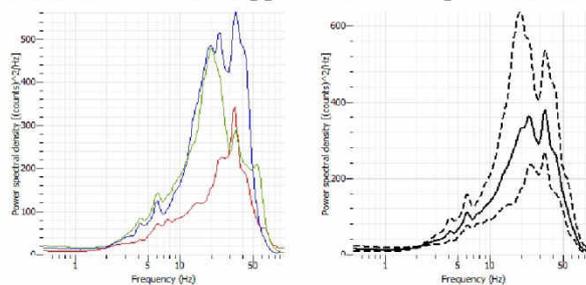


Figura 6 Spettri medi delle tre componenti (a sx) Rosso = Verticale, Blu = Nord. Verde = est; Spettro medio complessivo (a dx).



Figura 7 Foto sito



HVSR 2 - CICLABILE PAVIA DI UDINE

Data 2021/12/14. Durata registrazione: 20 minuti. - Freq. Campionamento: 250 Hz. - Note:

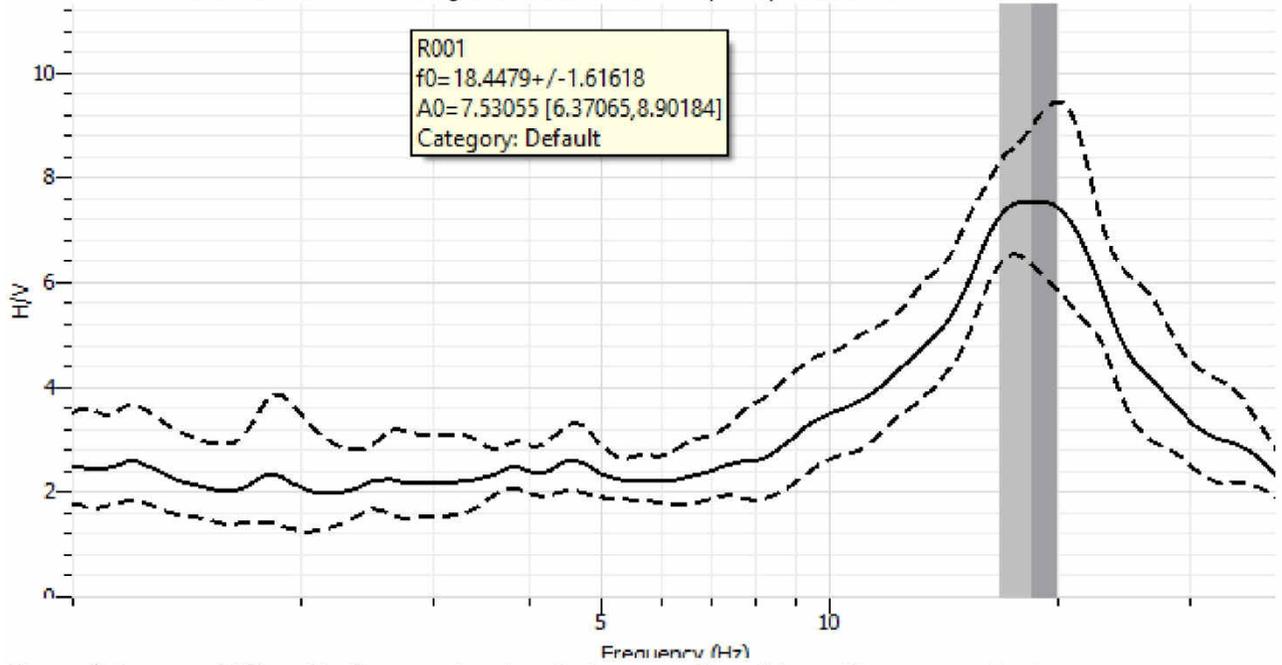


Figura 1 Rapporto H/V medio (linea continua) e relative curve di confidenza (linee tratteggiate).

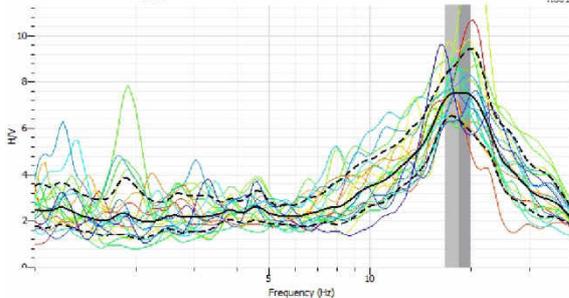


Figura 2 Rapporti H/V per ogni singola finestra

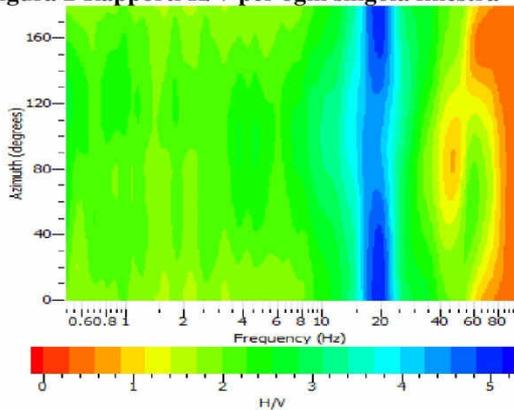


Figura 3 Direzionalità H/V

Criteria for a reliable HVRS curve [all should be fulfilled]	
$f_0 > 10/l_w$	ok
$n_c(f_0) > 200$	ok
$\sigma_a < 2$ for $f_0 > 0,5$ Hz	ok
Criteria for a clear HVSR peak [at least 5 out of 6 should be fulfilled]	
$E f$ in $[f_0/4, f_0]$ $AH/V(f) < A_0/2$	ok
$E f$ in $[f_0, 4f_0]$ $AH/V(f) < A_0/2$	ok
$A_0 > 2$	ok
$f_{peak} [A_{H/V}(f) + \sigma_a(f)] = f_0 \pm 5\%$ and	no
$f_{peak} [A_{H/V}(f) - \sigma_a(f)] = f_0 \pm 5\%$	
$\sigma_f(f) < \sigma(f_0)$	no
$\sigma_a(f_0) < \Theta(f_0)$	ok

Figura 4 Parametri SESAME

Figura 12 HVSR 2

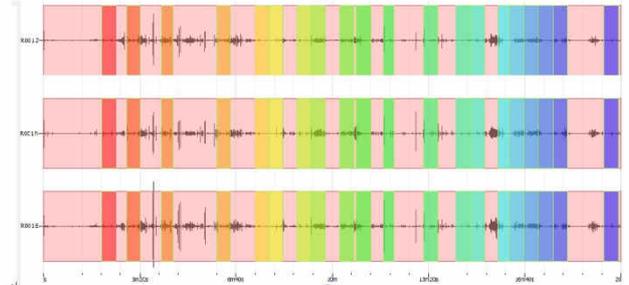


Figura 5 Componenti del segnale (Z: verticale; N e E orizzontali) con sovrapposte le finestre per l'analisi

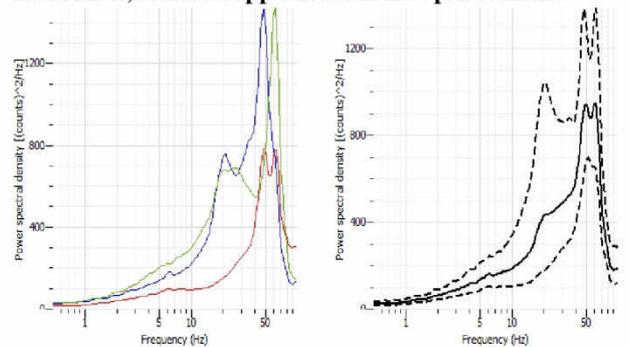


Figura 6 Spettri medi delle tre componenti (a sx) Rosso = Verticale, Blu = Nord, Verde = est; Spettro medio complessivo (a dx).



Figura 7 Foto sito



HVSR 3 - CICLABILE PAVIA DI UDINE

Data 2021/12/18. Durata registrazione: 20 minuti. - Freq. Campionamento: 250 Hz. - Note:

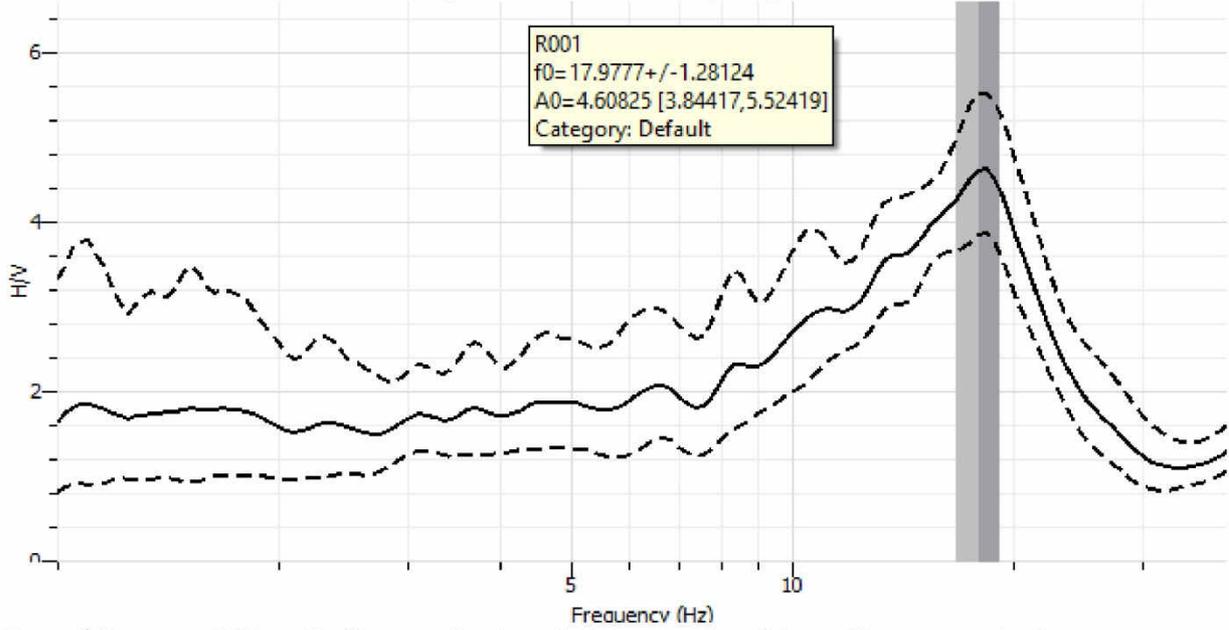


Figura 1 Rapporto H/V medio (linea continua) e relative curve di confidenza (linee tratteggiate).

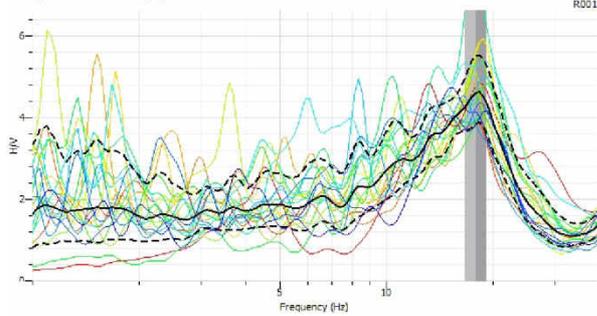


Figura 2 Rapporti H/V per ogni singola finestra

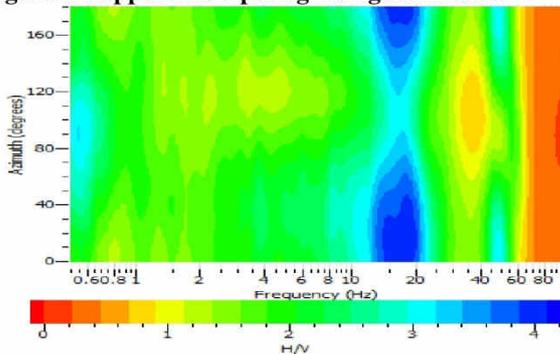


Figura 3 Direzionalità H/V

Criteria for a reliable HVRS curve [all should be fulfilled]	
$f_0 > 10/w$	ok
$n_c(f_0) > 200$	ok
$\sigma_a < 2$ for $f_0 > 0,5$ Hz	ok
Criteria for a clear HVSR peak [at least 5 out of 6 should be fulfilled]	
$E^* \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f) < A_0/2$	ok
$E^* \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f) < A_0/2$	ok
$A_0 > 2$	ok
$f_{peak} [AH/V(f) + \sigma_a(f)] = f_0 \pm 5\%$ and	
$f_{peak} [AH/V(f) - \sigma_a(f)] = f_0 \pm 5\%$	ok
$\sigma_f(f) < e(f_0)$	no
$\sigma_a(f_0) < \Theta(f_0)$	ok

Figura 4 Parametri SESAME

Figura 13 HVSR 3

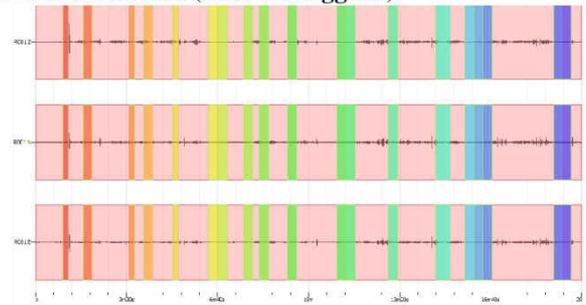


Figura 5 Componenti del segnale (Z: verticale; N e E orizzontali) con sovrapposte le finestre per l'analisi

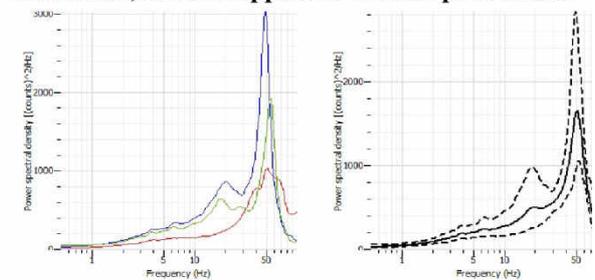


Figura 6 Spettri medi delle tre componenti (a sx)

Rosso = Verticale, Blu = Nord, Verde = est;

Spettro medio complessivo (a dx).



Figura 7 Foto sito



HVSR 4 - CICLABILE PAVIA DI UDINE

Data 2021/12/18. Durata registrazione: 20 minuti. - Freq. Campionamento: 250 Hz. - Note:

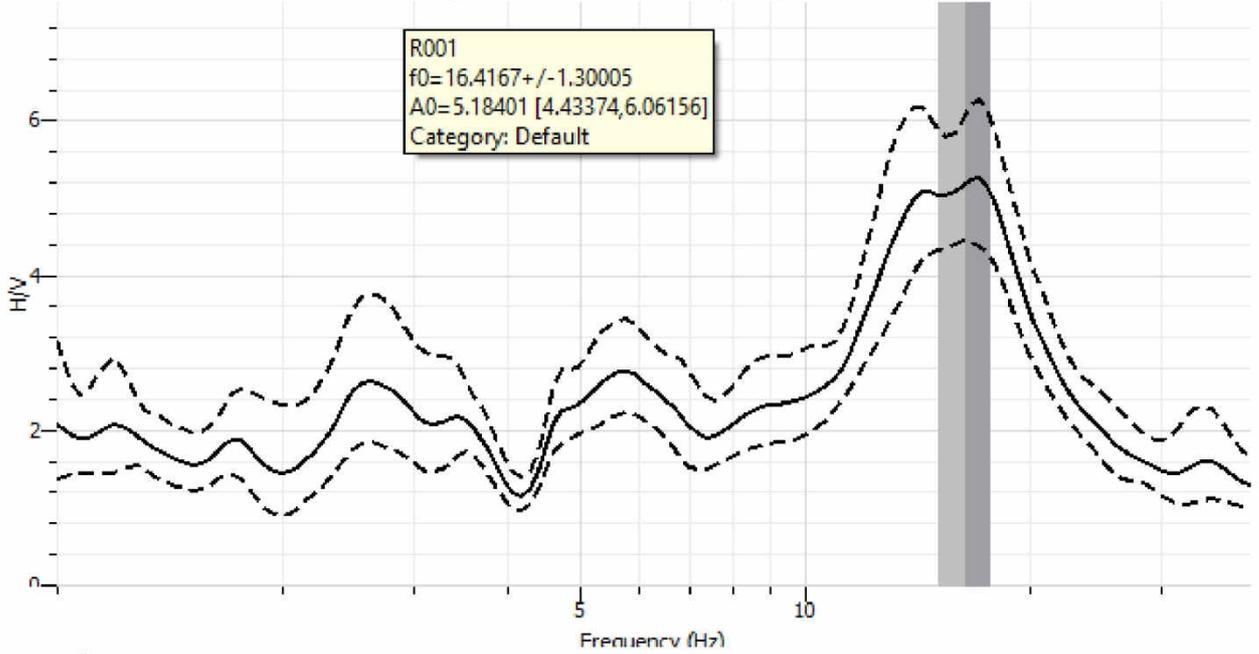


Figura 1 Rapporto H/V medio (linea continua) e relative curve di confidenza (linee tratteggiate).

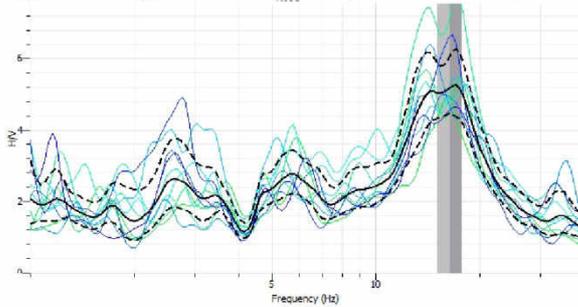


Figura 2 Rapporti H/V per ogni singola finestra

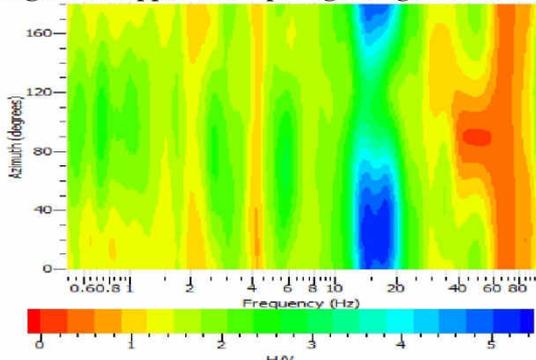


Figura 3 Direzionalità H/V

Criteria for a reliable HVSR curve [all should be fulfilled]	
$f_0 > 10/l_w$	ok
$n_c(f_0) > 200$	ok
$\sigma_a < 2$ for $f_0 > 0,5$ Hz	ok
Criteria for a clear HVSR peak [at least 5 out of 6 should be fulfilled]	
$E f$ in $[f_0/4, f_0]$ $AH/V(f) < A_0/2$	ok
$E f'$ in $[f_0, 4f_0]$ $AH/V(f') < A_0/2$	ok
$A_0 > 2$	ok
$f_{peak} [A_{HV}(f) + \sigma_a(f)] = f_0 \pm 5\%$ and	
$f_{peak} [A_{HV}(f) - \sigma_a(f)] = f_0 \pm 5\%$	ok
$\sigma_f(f) < \sigma(f_0)$	no
$\sigma_a(f_0) < \Theta(f_0)$	ok

Figura 4 Parametri SESAME

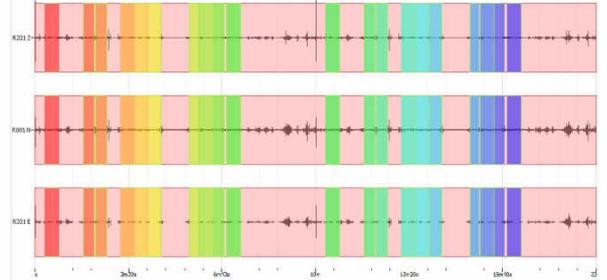


Figura 5 Componenti del segnale (Z: verticale; N e E orizzontali) con sovrapposte le finestre per l'analisi

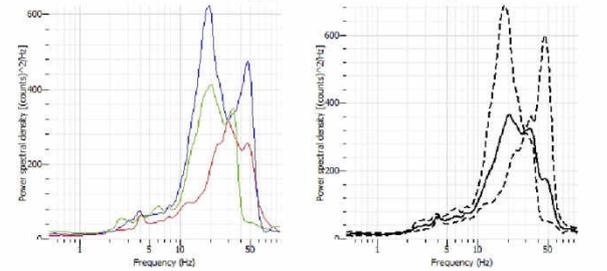


Figura 6 Spettri medi delle tre componenti (a sx) Rosso = Verticale, Blu = Nord. Verde = est; Spettro medio complessivo (a dx).



Figura 7 Foto sito

Figura 14 HVSR 4



MASW

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 (P,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.

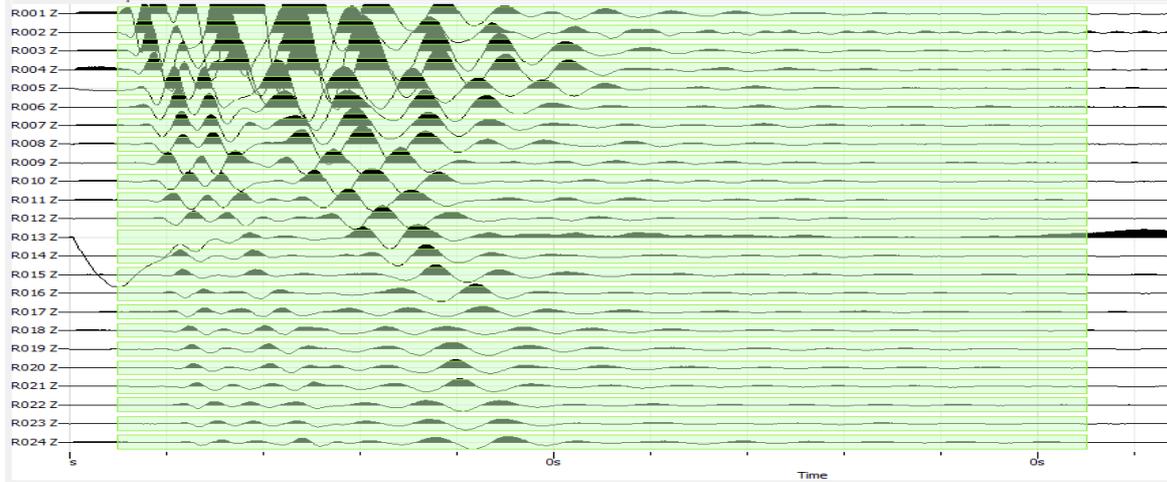
Profondità di indagineLe onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.



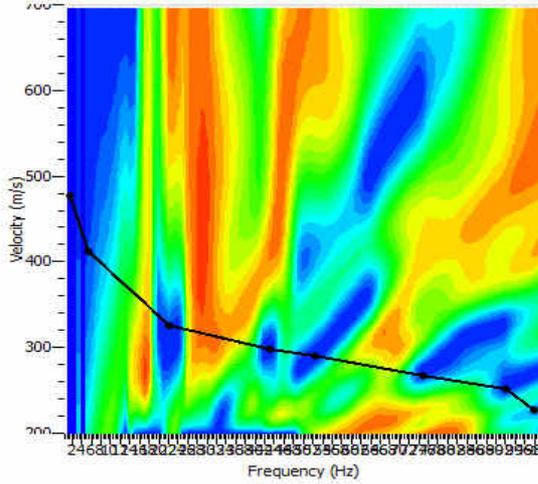
Figura 15 Foto profilo sismico



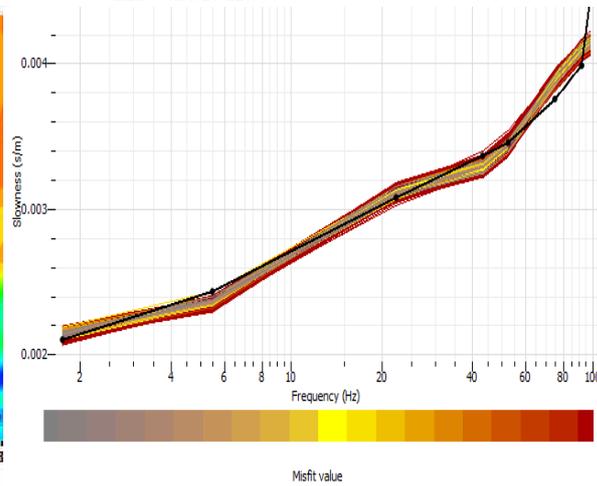
Tracce
N. tracce | 24
Durata acquisizione [msec] | 614.4
Interdistanza geofoni [m] | 1.0
Periodo di campionamento [msec] | 0.30



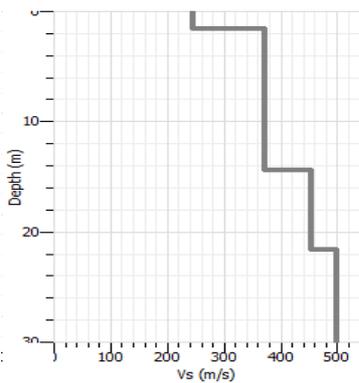
Analisi spettrale



Inversione



Profilo di velocità



PROFONDITA' POSA (m)	0	
STRATO	PROFONDITA'(m)	VS (m/s)
1	1.59	242
2	14.31	372
3	21.52	453
4	30	496
Vs Eq (m/s)=	407	

Categoria 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.

Cambiando la profondità di posa la classe di suolo non varia collocandosi in piena classe B.



PERFORAZIONI CON CAROTIERE MANUALE.

Vista la modesta profondità di imposta della pista ciclabile in progetto e dei fossati è stato utilizzato un carotiere manuale per analizzare la composizione dei terreni sia al fine di eventuali trattamenti a calce- cemento sia per la dispersione delle acque.

Questa modalità di perforazione ha permesso di prelevare dei campioni rimaneggiati di terreno e di osservare le terre attraversate.

Sono state eseguite due perforazioni e due prove Lefranc a carico variabile ubicate come in planimetria, alla profondità di -1,2 m da piano campagna.

La prima prova di permeabilità è stata intestata su del limo sabbioso, la seconda su una argilla limosa.

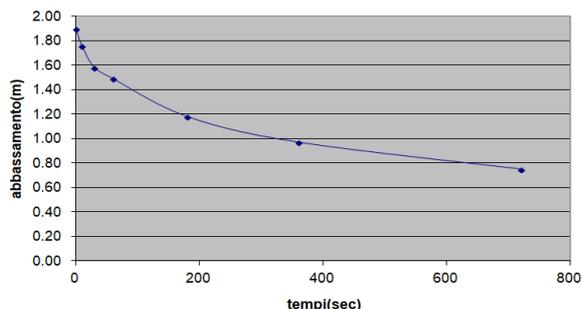


Figura 16 Perforazione con carotiere manuale e prelievo di campioni rimaneggiati.

PERMEABILITA' IN SITO I

La prova infiltro metrica tipo Lefranc a carico variabile è stata effettuata alla profondità prevista di esecuzione dei fossati e cioè pari a -1,2 m. La perforazione è stata eseguita con un carotiere manuale. Il livello di prova risultava costituito da una miscela di limo e sabbia fine.

T (sec)	H (m)	lettura (m)	K (m/s)	K(cm/s)
0	1.90	0		
10	1.76	0.14	1.75E-04	1.75E-02
30	1.58	0.32	1.23E-04	1.23E-02
60	1.49	0.41	4.46E-05	4.46E-03
180	1.18	0.72	4.44E-05	4.44E-03
360	0.97	0.93	2.49E-05	2.49E-03
720	0.75	1.15	1.63E-05	1.63E-03



I valori registrati sono stati pari a 2×10^{-5} m/s

Questo tipo di prova risulta facilmente affetta da imprecisioni dovute all'eterogeneità dei materiali, ai diversi gradi di saturazione del terreno o a irregolarità nella formazione della tasca. Per confermare il dato si fa quindi riferimento alla classificazione granulometrica del materiale per determinare la permeabilità in sito che può essere cautelativamente definita come:

k (cm/s)	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
k (m/s)	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta	Bassa	BB	Impermeabile					
Tipi di terreno	Ghiaie pulite		Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie		Sabbie fini	Miscela di sabbie e limi		Limi argillosi e argille limose, fanghi argillosi		Argille omogenee e compatte		
Determinazione diretta di K	Prove dirette in situ mediante pompaggio											
	Infiltrometri – Permeametri a carico costante											
Determinazione indiretta di K	Permeametri a carico variabile											
	Analisi granulometrica (applicabile a sabbie e ghiaie pulite)						Prove di consolidamento					

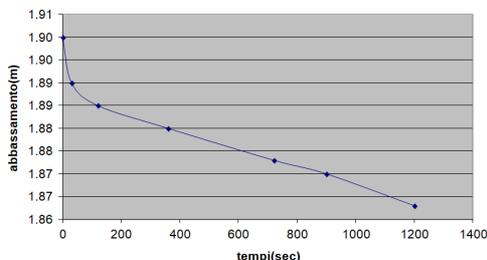
La permeabilità, caratteristica delle sabbie limose individuate, risulta pari a: $K = 2 \times 10^{-5}$ m/s



PERMEABILITA' IN SITO 2

La prova infiltro metrica tipo Lefranc a carico variabile è stata effettuata alla profondità prevista di esecuzione dei fossati e cioè pari a -1,2 m. La perforazione è stata eseguita con un carotiere manuale. Il livello di prova risultava costituito da una miscela di limo e argilla.

T (min)	T (sec)	H (m)	lettura (m)	K (m/s)	K(cm/s)
0.00	0	1.90	0		
0.50	30	1.89	0.01	4.02E-06	4.02E-04
2.00	120	1.89	0.015	6.72E-07	6.72E-05
6.00	360	1.88	0.02	2.53E-07	2.53E-05
12.00	720	1.87	0.027	2.37E-07	2.37E-05
15.00	900	1.87	0.03	2.03E-07	2.03E-05
20.00	1200	1.86	0.037	2.85E-07	2.85E-05



I valori registrati sono stati pari a 2×10^{-7} m/s

Questo tipo di prova risulta facilmente affetta da imprecisioni dovute all'eterogeneità dei materiali, ai diversi gradi di saturazione del terreno o a irregolarità nella formazione della tasca. Per confermare il dato si fa quindi anche riferimento alla classificazione granulometrica del materiale per determinare la permeabilità in sito che può essere cautelativamente definita come:

k (cm/s)	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
k (m/s)	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta	Bassa	BB	Impermeabile					
Tipi di terreno	Ghiaie pulite		Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie		Sabbie fini	Miscele di sabbie e limi	Limi argillosi e argille limose, fanghi argillosi		Argille omogenee e compatte			
Determinazione diretta di K	Prove dirette in situ mediante pompaggio											
	Infiltrimetri – Permeametri a carico costante											
Determinazione indiretta di K	Permeametri a carico variabile											
	Analisi granulometrica (applicabile a sabbie e ghiaie pulite)						Prove di consolidamento					

La permeabilità, caratteristica delle limi sabbioso argillosi individuati, risulta pari a: $K = 2 \times 10^{-7}$ m/s



5. MODELLO DEL TERRENO

Con questi dati per i sedimenti indagati si possono definire, a titolo indicativo, i valori medi dei principali parametri geotecnici per il terreno su cui si imposterà la pista ciclabile.

*	f	angolo d'attrito interno	0°
*	y	peso di volume	1.6 t/mc
*	c	coesione	0.3 t/mq

Tali caratteristiche dovranno comunque essere verificate durante lo scavo dell'imposta per scongiurare anisotropie laterali, tramite sopralluogo dello scrivente che è da considerare parte integrante del presente lavoro.

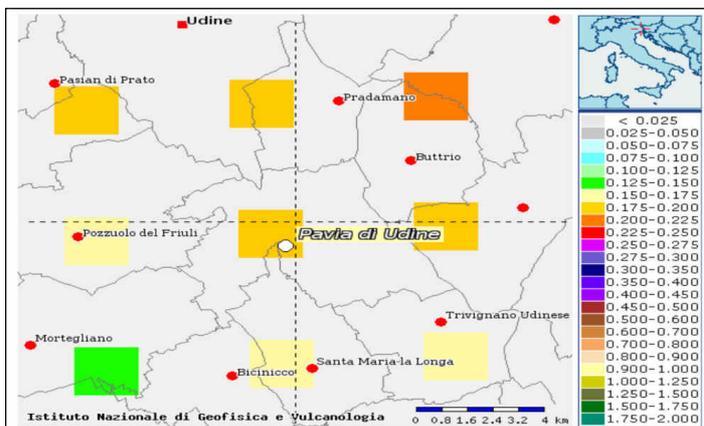
6. SISMICITA'

Secondo la delibera della giunta regionale 6 maggio 2010 n°845 "Classificazione delle zone sismiche e indicazione delle aree di alta e bassa sismicità" Il Comune di Pavia di Udine è stato classificato come riportato di seguito:

Codice ISTAT	Comune	Nuove zone sismiche	Aree di Alta/Bassa sismicità	Zone sismiche previgenti (d.g.r. 2325/2003)
6030074	Pavia di Udine	3	Bassa	3

Con pericolosità sismica si intende lo scuotimento del suolo atteso in un sito a causa di un terremoto.

Nel 2004 è stata rilasciata questa mappa della pericolosità sismica (<http://zonesismiche.mi.ingv.it>) che fornisce un quadro delle aree più pericolose in Italia. La mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (GdL MPS, 2004; rif. Ordinanza PCM del 28 aprile 2006, n. 3519, All. 1b) è espressa in termini di accelerazione orizzontale del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005). L'Ordinanza PCM n. 3519/2006 ha reso tale mappa uno strumento ufficiale di riferimento per il territorio nazionale.



La disaggregazione della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro and Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. Espresso in altri termini, il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

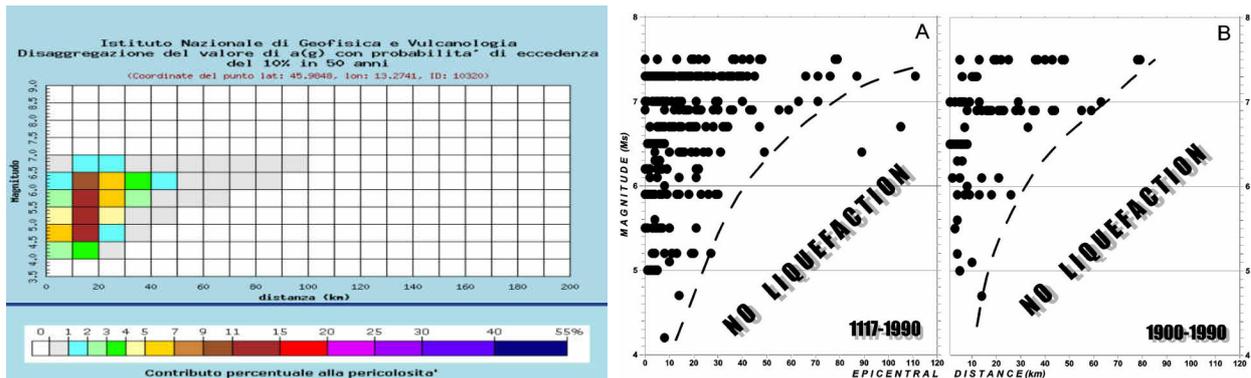


Figura 17 Pericolosità sismica

Facendo riferimento ai diagrammi di Relazione tra Ms e distanza dall'epicentro degli effetti di liquefazione per eventi italiani. A per il periodo 1117-1900, B per il periodo 1900-1990 (da Galli 2000) e considerando la profondità della falda e la composizione del suolo si può escludere tale fenomeno.

L'accelerazione sismica non può essere direttamente utilizzata per calcolare l'accelerazione indotta sulla struttura perché filtrata dal terreno interessato dalla fondazione che può essere classificato in categoria B con profilo topografico T1

Come risulta dall'analisi della cartografia e banca dati delle strutture tettoniche attive edita dalla Regione Friuli Venezia Giulia, non vi sono linee tettoniche che intersechino il percorso della ciclabile.

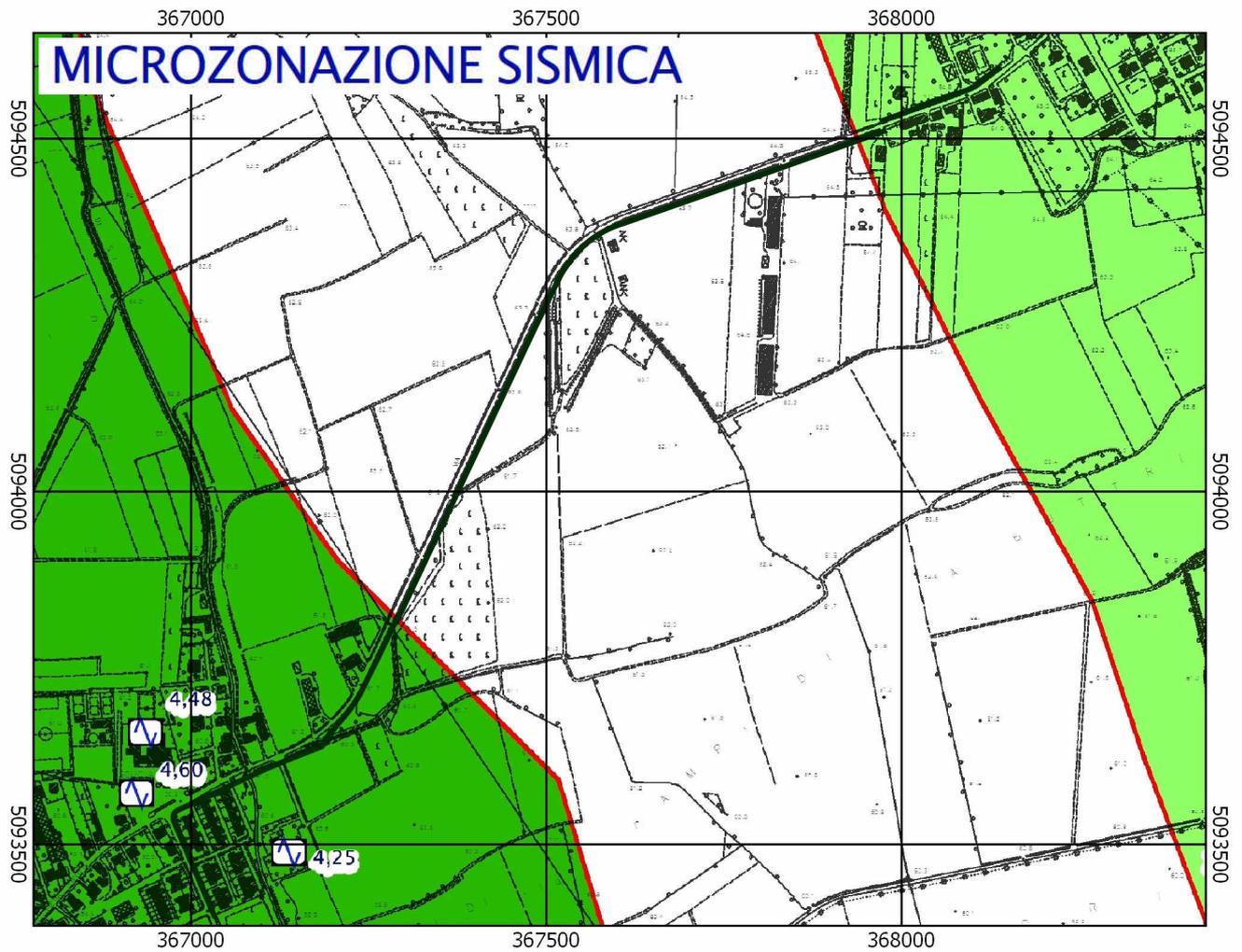
“Marchesini A., Poli M.E., Bonini L., Busetti M., Piano C., Dal Cin M., Paiero G., Areggi G., Civile D., Ponton M., Patricelli G., Tamaro A. & Gruppo di lavoro Faglie attive FVG, 2021. Linee guida per l'utilizzo della banca dati georiferita delle faglie attive della Regione Friuli Venezia Giulia. Servizio Geologico - Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 83 pp.”

7. INQUADRAMENTO DA MICROZONAZIONE SISMICA

Di seguito viene riportato l'inquadramento da Microzonazione sismica di livello I redatto dallo scrivente. Il tracciato della ciclabile si svolge su aree stabili suscettibili di amplificazione sismica.

Non sono presenti zone liquefabbili per composizione dei terreni e caratteristiche della falda.





Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- 2001 Zona 1: riporti antropici di spessore compreso tra 3 e 5 m poggiati su depositi ghiaiosi con subordinati sabbia e limo
- 2002 Zona 2: depositi ghiaiosi con subordinati sabbia e limo, caratterizzati da frequenze di risonanza comprese tra 7 e 9 Hz e cementati a partire da 15 –20 m di profondità
- 2003 Zona 3: depositi ghiaiosi con subordinati sabbia e limo, caratterizzati da frequenze di risonanza comprese tra 3 e 5 Hz e cementati a profondità maggiori di 20 m

Figura 18 Inquadramento da carta delle M.O.P.S. Microzonazione sismica 1/10000

La pista ciclabile in progetto consiste in un'opera non particolarmente sensibile a eventi sismici.



8. CONCLUSIONI.

Nel corso delle indagini eseguite non sono state rinvenute situazioni geologiche che precludano le attività in progetto.

Il percorso della futura pista ciclabile si imposta su zona a pericolosità idraulica moderata PI del P.G.R.A.

Il livello su cui si imposterà la futura pista ciclabile è costituito da terreni fini limosi.

A seguito del presente lavoro si certifica che le condizioni geologiche, geomorfologiche ed idrologiche dell'area in studio sono compatibili con le previsioni contenute nella Variante al PRGC per la realizzazione della ciclovia in progetto.



The image shows a handwritten signature in black ink that reads "Enrico Massolino". Below the signature is a blue circular professional stamp. The stamp contains the text: "ORDINE DEI GEOLOGI" at the top, "ENRICO MASSOLINO" in the center, "GEOLOGO" below the name, and "N° 348" at the bottom. The outer ring of the stamp reads "REGIONE FRIULI-VENEZIA GIULIA".

Enrico Massolino

