



COMUNE DI LAVAGNO

PROVINCIA DI VERONA

AMPLIAMENTO DEL CIMITERO DI VAGO DI LAVAGNO

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

3

RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA

Progettista

Ing. Ilario Rossi

Data

Gennaio 2023

Studio Ingegneri Rossi

Via Perlasca, 4 - 37036 San Martino Buon Albergo (VR)
Tel. / Fax. 045 8799318 e mail: ing.iliorossi@gmail.com

**COMUNE DI
LAVAGNO**

**PROVINCIA DI
VERONA**

**PROGETTO PER
L'AMPLIAMENTO DEL CIMITERO DI VAGO DI LAVAGNO**



**RELAZIONE GEOLOGICA
CON PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI**

Committente:
Ing. Ilario Rossi

Relazione a cura di:
Dott. geol. Dario Gaspari

(Firmato digitalmente)



Roverè Veronese li: 19 aprile 2021

Dario Gaspari
Via Dante Alighieri, 3 - 37028 Roverè Veronese (VR). P.Iva 02667510234, CF GSPDRA62H11L781O
cell 3472227454, e-mail geogasp@tiscali.it

INDICE

1	INTRODUZIONE	2
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	4
4	IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA	6
5	MODELLO GEOLOGICO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO	9
6	PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO	12
6.1	Pericolosità sismica di base	12
6.2	Pericolosità locale	15
6.2.1	Condizione topografica	15
6.2.2	Categoria di sottosuolo	16
6.2.3	Fattori di amplificazione litologica e geometrica per il sito di progetto	16
7	VERIFICHE GEOTECNICHE PRELIMINARI	19
7.1	Metodologie di analisi utilizzate	19
7.1.1	Resistenza del terreno di fondazione	19
7.1.2	Calcolo dei cedimenti	20
7.2	Risultato delle analisi effettuate	20
8	COMPATIBILITA' GEOLOGICA AI FINI EDIFICATORI	22
9	PRESCRIZIONI TECNICHE PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGETTO	23
10	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	24

ALLEGATI:

Allegato 1) Prove penetrometriche statiche con piezzocono (CPTU).

Allegato 2) Indagine sismica MASW.

1 INTRODUZIONE

Il presente studio è stato redatto allo scopo di definire l'assetto geologico e geotecnico di un'area interessata dal progetto di ampliamento del Cimitero della frazione Vago, in Via Alcide De Gasperi, Lavagno.

In particolare la presente indagine è stata finalizzata a:

- descrivere l'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico della zona;
- definire il modello stratigrafico del sito;
- individuare i parametri geotecnici caratteristici del terreno di fondazione;
- fornire una classificazione sismica del sito di indagine;
- fare le verifiche geotecniche preliminari;

Si è quindi proceduto mediante:

- raccolta e consultazione dei dati bibliografici e cartografici esistenti;
- rilievo geologico e geomorfologico di campagna;
- esecuzione di due prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) e di una prova sismica (MASW);
- elaborazione e descrizione dei dati raccolti.

Normativa di riferimento consultata nell'ambito della presente indagine:

- **D.M. LL.PP. del 11/03/1988**
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- **Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003 (s.m.i.)**
Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- **Ordinanza P.C.M. n. 3519 del 28.4.2006**
Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n.108 del 11/05/2006)
- **Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018** (GU n. 42 del 20-2-2018- Suppl. Ordinario n. 8)
Nuove Norme tecniche per le Costruzioni” (nel seguito NTC-2018);
- **Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio dei Lavori Pubblici (nel seguito C-NTC),**
Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018;
- **D. L.gs 152/2006 (s.m.i.)**
"Norme in materia ambientale" (testo unico dell'Ambiente)
- **Piano di tutela delle acque della Regione Veneto (PTA)**
(ai sensi dell'art. 121 del D.Lgs 152/2006) approvato dalla Regione con deliberazione del Consiglio regionale n.107 del 5 novembre 2009.
- **Decreto del Presidente della Repubblica del 10 settembre 1990, n. 285**
«Approvazione del regolamento di polizia mortuaria».
- **Legge regionale 04 marzo 2010, n. 18, “Norme in materia funeraria”**
- **Piano di Assetto del Territorio Intercomunale (P.A.T.I.) dei comuni di Befiore, Caldiero, Colognola ai Colli e Lavagno;**
- **Piano degli Interventi (P.I.) del Comune di Lavagno.**

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il lotto interessato dal progetto si trova in Via Alcide De Gasperi, nella frazione Vago di Lavagno, ad una quota di 41,5 m s.l.m.

Per l'ubicazione del lotto di progetto si è fatto riferimento alla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000, elemento 124142 "Vago".



Fig. 1: Corografia estratta dalla Carta Tecnica Regionale a scala 1:5.000

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area studiata si localizza nell'alta pianura veronese, in corrispondenza dello sbocco della Val d'Illasi nella piana di divagazione del Fiume Adige.

Quest'ultima è caratterizzata da un complesso sistema di terrazzi che costituisce il risultato dell'evoluzione erosivo-deposizionale legata alle dinamiche fluviali - fluvioglaciali dell'Adige a partire dall'epoca wurmiana fino all'attuale.

Il conoide formato dai Progni di Mezzane e d'Illasi presenta la tipica forma convessa a Nord degli abitati di Caldierino Rota e Caldiero, mentre a Sud di queste località appare troncato da una netta scarpata di circa 10 metri interpretabile come la prosecuzione verso Est dell'orlo del terrazzo appartenente all'unità geomorfologica conosciuta come "Antica Conoide dell'Adige".

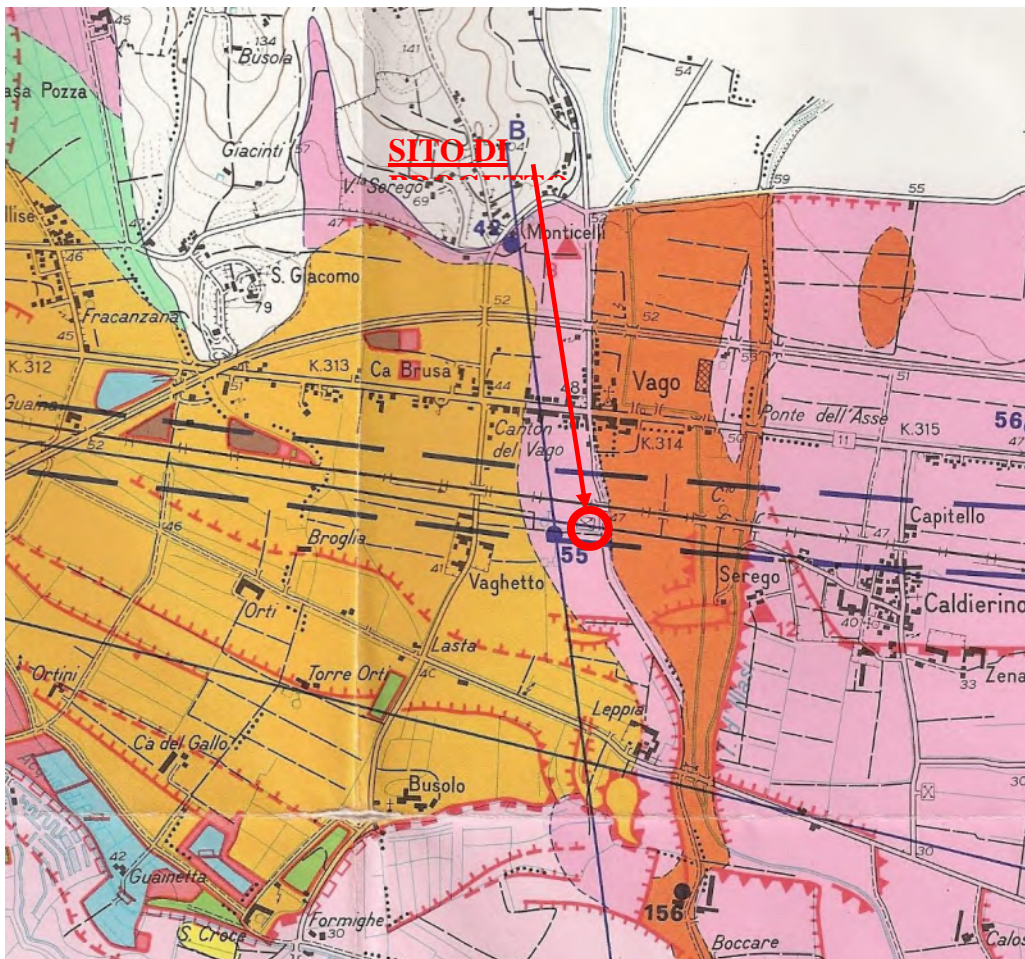
Il limite a Sud e a Ovest del conoide dell'Illasi con le alluvioni dell'Adige è poco evidente dal punto di vista morfologico e distinguibile solo sulla base della diversa composizione litologica dei sedimenti. E' infatti presente, in questa zona, una complessa interdigitazione tra alluvioni di diversa provenienza.

Sulla superficie di questa conoide sono inoltre riconoscibili paleoalvei, con andamento mediamente da N-S, che presentano una morfologia leggermente depressa, e alcuni dossi, non molto espressi, allungati nella stessa direzione che rappresentano le tracce della paleoidrografia del Torrente Illasi quando esso scorreva in posizioni diverse da quella attuale.


A sud di Caldierino Rota e Caldiero gli antichi sedimenti prodotti da episodi di esondazione dei Progni d'Illasi e di Mezzane ricoprono, spesso con spessori modesti, parte del piano di divagazione dell'Adige.

La composizione granulometrica dei conoidi delle principali valli provenienti dai lessini, tra le quali la Val d'Illasi, mostra una prevalenza di sedimenti limosi. Non mancano depositi ghiaiosi, prodotti da una maggiore energia di trasporto, specie in corrispondenza alle aste attuali e relitte dei torrenti.


Dati bibliografici (*cfr.* "Geologia e Geomorfologia di una porzione della pianura a SE di Verona; Sorbini *et alii*) riferiti alle stratigrafie di alcuni pozzi ubicati poco lontano lotto (vedi in particolare il pozzo n° 55 in Fig. 2) indicano in questa zona spessori notevoli di alluvioni fini (circa 10 metri).





 Alluvioni fluvioglaciali e fluviali, prevalentemente ghiaiose, che costituiscono l'unità geomorfologica dell'Antica Conoide dell'Adige. **RISS-WURM**


 Alluvioni prevalentemente limose, appartenenti al piano di divagazione dell'Adige, incassato nel conoide. **WURM – ATTUALE**

 Alluvioni dei torrenti dei Lessini, prevalentemente limose, **WURM – ATTUALE**

 Alluvioni prevalentemente ghiaiose, in corrispondenza delle aste attuali o relitte dei torrenti dei Lessini. **WURM – ATTUALE**

 Orli di terrazzo tra i conoidi e il piano di divagazione dell'Adige. Maggiore di 3 metri; minore di 3 metri; poco evidente.

 Orlo di terrazzo di altezza maggiore di 3 metri

 Orlo di terrazzo e limite di dosso di altezza inferiore a 3 metri


 Orlo di terrazzo e limite di dosso poco evidente

Fig. 2: Carta Geomorfologica, alla scala 1:25.000 (estratto da “Carta Geomorfologica di una porzione della pianura a Sud – Est di Verona”, tratta da Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona – 1984)

4 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA

Idrograficamente l'area è dominata dalla presenza del fiume Adige che scorre, a Sud dell'area di indagine, con andamento meandriforme, secondo una direzione generale di deflusso che va da NW verso SE, e dai suoi affluenti in sinistra idrografica, di provenienza dai Lessini.

I torrenti più vicini a sito di progetto è il Mezzane e l'Illasi, che distano rispettivamente circa 350 m e 450 m in direzione Est. Procedendo verso Sud invece scorrono il Fibbio, con il suo affluente Torrente Antanello, il canale artificiale S.A.V.A, e, ancora più a Sud, l'Adige.

I torrenti dei Lessini hanno regimi di tipo periodico e quindi portate condizionate dalle precipitazioni. Diversamente da questi il Fiume Fibbio ha un regime perenne in quanto è un fiume di risorgiva, che si origina nei pressi di Montorio.

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici la falda freatica dell'alta pianura veronese, presenta una direzione generale di deflusso NNW-SSE.

Nella zona in destra idrografica dell'Adige la falda è alimentata principalmente dalla dispersione dell'alveo fluviale e presenta un regime di tipo alpino, con massimi nel periodo estivo, in corrispondenza delle piene del fiume.

Il settore in sinistra Adige, nel quale ricade la zona di interesse per il presente studio, risente anche degli apporti idrici provenienti dai Lessini e il regime della falda è condizionato dalla piovosità che tende ad essere concentrata nella stagione primaverile e autunnale.

Dai dati reperibili in bibliografia la superficie di falda viene indicata, per i periodi di magra, ad una quota assoluta di 36,5 m s.l.m. e quindi ad una profondità dal piano campagna mediamente di 5 metri (vedi Fig. 3).

Con le prove penetrometriche effettuate in sito è stata individuata la falda alla profondità di 8,0 e 6,2 m.

I materiali presenti nell'area costituiscono per la maggior parte un sottosuolo poco drenante. Ai depositi costituiti da limo e sabbia molto fine è attribuibile una permeabilità molto bassa, che si stima sull'ordine di 1×10^{-7} m/sec. Ai livelli sabbiosi è possibile attribuire una permeabilità da discreta a bassa, che si stima di circa 1×10^{-5} m/sec.

Secondo quanto indicato dal PAI dell'Autorità Nazionale di Bacino del Fiume Adige non è presente alcuna "Aree a rischio idraulico" nella zona di intervento o nelle sue vicinanze.

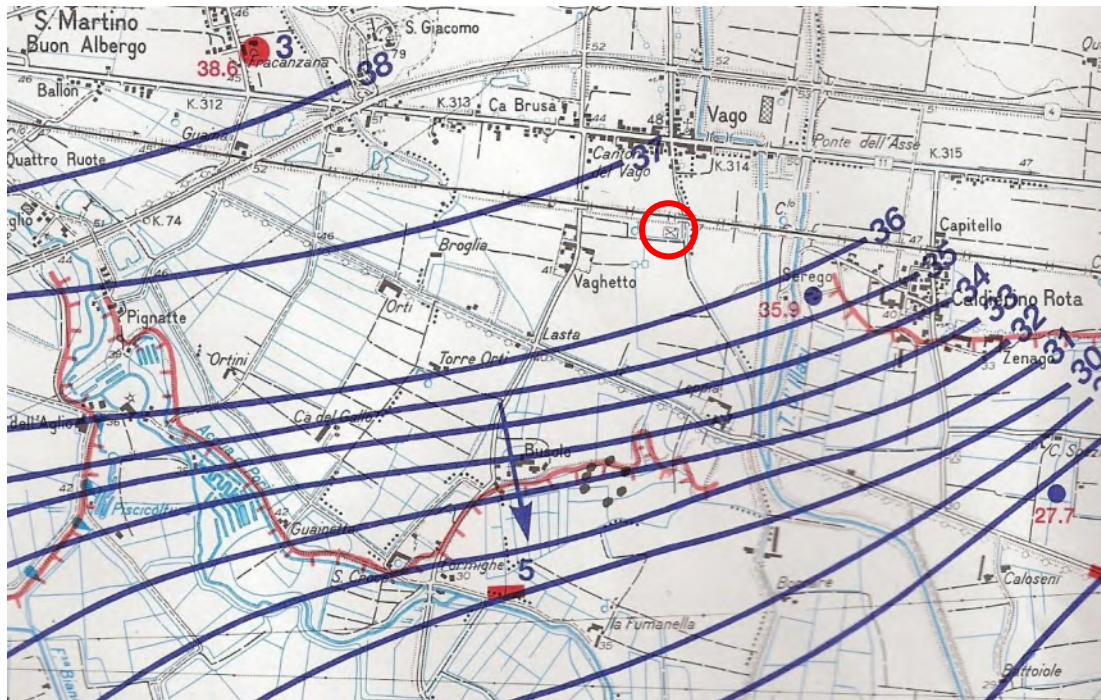


Fig. 3: Carta Idrogeologica tratta da: “Carta Idrogeologica dell’Alta Pianura dell’Adige” di A. Dal Prà e P. De Rossi, con indicata la localizzazione del lotto in esame.

Per valutare, come previsto dalla normativa vigente in materia di polizia mortuaria, la minima profondità della falda dal p.c. in condizioni di massima quota, si fa riferimento a quanto riportato nel grafico di Fig. 4, estratto da Sorbini et alii, 1984, “Geologia e Geomorfologia di una porzione di pianura a sud-est di Verona” e riferito ad un pozzo in località Vago di Lavagno.

Dall’analisi del diagramma suddetto che mette in relazione i dati freaticometrici con l’andamento delle precipitazioni, misurato nella stazione di Rovere V.se, è possibile osservare l’attestarsi del livello della falda a massimi primaverili e minimi nella tarda estate, a conferma dell’influenza degli apporti provenienti dai Lessini.

E’ inoltre possibile ricavare le seguenti informazioni:

- L’escursione della falda tra il livello minimo e quello massimo è mediamente inferiore a 3 metri;
- i livelli minimi stagionali della quota di falda sono mediamente compresi tra 7 e 8 metri di profondità dal piano campagna;
- i livelli massimi della quota di falda sono mediamente compresi tra 4,5 e 5,5 metri di profondità dal p.c.;
- i valori più alti registrati, nell’intervallo di 10 anni analizzato, si riferiscono al periodo compreso tra il 1976 e il 1979, che sono stati gli anni più piovosi dell’intervallo considerato; il valore massimo della quota della falda registrato è quello del 1977, corrispondente ad una profondità dal piano campagna di 3,8 metri (vedi fig. 5).

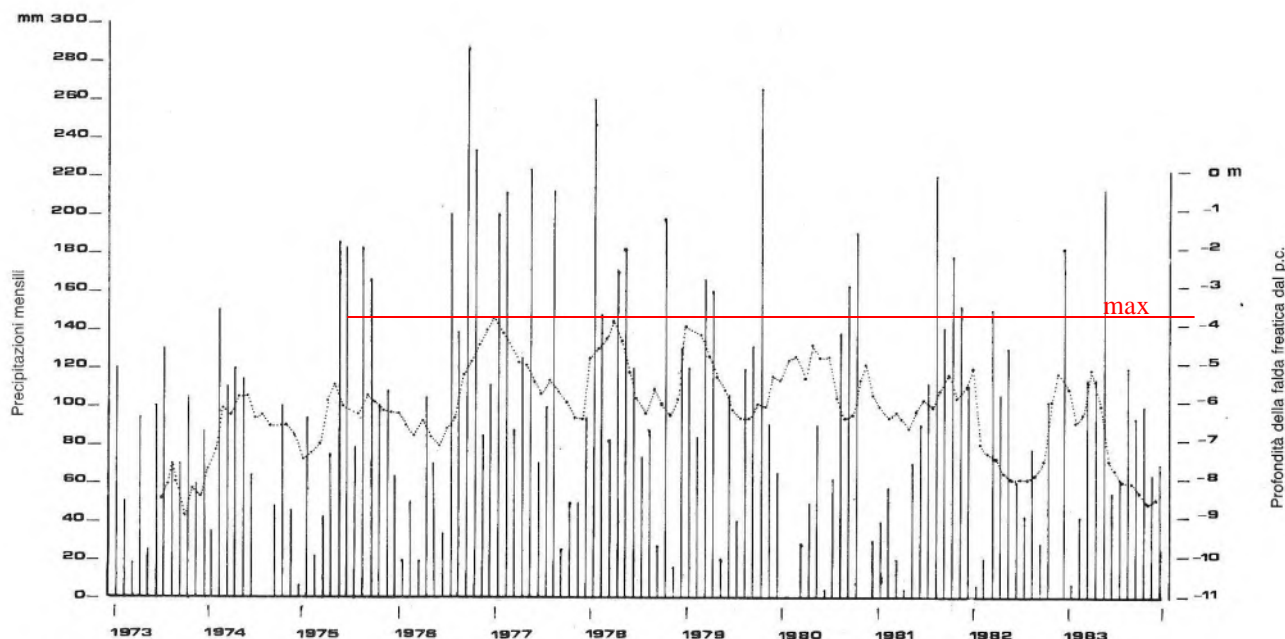


FIG. 9 – Oscillazione della superficie freatica, misurata in un pozzo in località Vago di Lavagno negli anni dal 1973 al 1983, e piovosità mensile nei medesimi anni, misurata a Roverè Veronese. Si nota una tendenza a massimi primaverili e minimi nella tarda estate; tuttavia, l'andamento delle precipitazioni in Lessinia può portare a variazioni rispetto alla norma, come accaduto negli anni 1982 e, in minor misura, 1981, quando le precipitazioni invernali furono molto scarse rispetto alla media

Fig. 4: Oscillazione della superficie freatica misurata in un pozzo a Vago di Lavagno, 1973 – 1983 e piovosità mensile nei medesimi anni, misurata a Roverè Veronese; in rosso è evidenziata la minore profondità dal p.c. raggiunta dalla superficie di falda.

Considerando che il progetto per l'ampliamento del cimitero prevede che il piano di calpestio interno sia realizzato riportando del materiale, idoneo all'inumazione, spesso 1,6 metri al di sopra dell'attuale piano di campagna, la massima quota della falda freatica si verrà a trovare ad una profondità di 5,4 m dal piano di calpestio stesso.

Tale livello sarà quindi ampiamente al di sotto del livello basale dello strato per l'inumazione (sicuramente ad una distanza > 0,5 metri), così come previsto dalla normativa vigente in materia.

Il Piano di Assetto Idrogeologico del Fiume Adige non prevede pericolosità idraulica sull'area di progetto.

5 MODELLO GEOLOGICO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO

Per definire la stratigrafia e le caratteristiche geotecniche e sismiche del materiale che costituisce il sottosuolo del sito studiato sono state fatte due prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) e uno stendimento sismico (MASW).



Fig. 5: Ubicazione e fotografia delle indagini effettuate (DPSH = Penetrometrica dinamica, MASW = Indagine sismica).

L'area interessata dal progetto si trova in una zona il cui substrato è ben noto grazie a studi eseguiti in passato; si veda ad esempio: Geologia e Geomorfologia di una porzione a sud-est di Verona (Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona - 1984), e altri.

Per definire la stratigrafia profonda del sito di progetto è stato consultato un pozzo dell'archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984) estratto dal sito ufficiale ISPRA e posizionato circa 500 m in direzione Nord dal sito di progetto.

Dalle indagini effettuate e dai dati bibliografici esistenti si è visto che la stratigrafia del sito è rappresentata da argille limose fino a profondità di 4 m, che ricoprono sabbie fini intercalate a livelli argillosi fino alla profondità di 10 m



Fig. 6: Pozzo 153572 dell'Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (L. 464/1984).

Nella seguente tabella è riassunta la stratigrafia del sito fino alla profondità utile per il progetto.

Tabella 1: Stratigrafia del sito di progetto.

Profondità (m)	Unità	Litologia
0,0 – 4,7	A	Argilla limosa
4,7 – 5,6	B	Sabbia limosa
5,6 – 5,8	A	Argilla limosa
5,8 – 8,0	B	Sabbia limosa
8,0 – 8,9	A	Argilla limosa
8,9 – 9,25	C	Limo sabbioso
9,25 – 10,0	B	Sabbia limosa
10,0 – 13,0	D	Ghiaia sabbiosa

I parametri geotecnici del terreno di fondazione, riportati nella seguente tabella, sono stati ottenuti dall'elaborazione dei dati misurati con le prove penetrometriche.

Tabella 2: Parametri Geotecnici Caratteristici del terreno di fondazione.

Unità'	DESCRIZIONE	γ (KN/m ³)	γ_{sat} (KN/m ³)	ϕ	C' (KN/m ²)	Cu (KN/m ²)	Ed (MPa)	Ey (MPa)
A	Argilla limosa	17,5	18,3	23	10	51	10	
B	Sabbia limosa	18,6	19,2	33				80
C	Limo sabbioso	17,8	18,5	29				50
D	Ghiaia sabbiosa	19,0	19,6	35				130

**Fig. 7:** Trincea esplorativa realizzata nell'anno 2007 per il progetto del precedente ampliamento.

6 PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO

La pericolosità sismica di un territorio è rappresentata dalla frequenza e dalla forza dei terremoti che lo interessano, ovvero dalla sua sismicità.

Schematicamente si specifica una pericolosità di base ed una pericolosità locale.

La *pericolosità di base* è connessa alle caratteristiche sismologiche di un'area (modello strutturale e tettonico, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti); calcolata per una certa regione ed in un determinato periodo di tempo. La definizione della pericolosità di base si sviluppa su scala regionale, ovvero con la finalità di una classificazione sismica su vasta scala territoriale, e costituisce la base per la definizione del terremoto di riferimento per gli studi di MS.

La *pericolosità locale*, partendo ovviamente da quella di base, è legata alle specifiche caratteristiche del sito e precisamente agli aspetti geologici, morfologici e litologici.

In questo capitolo sarà valutata la "Pericolosità sismica di base" e la "Pericolosità sismica locale" del sito di progetto attuando quanto previsto dall'OPCM 3519/2006 e dalle NTC 2018.

6.1 Pericolosità sismica di base

L'archivio DISS - 3.2.1 raccoglie sorgenti sismotettoniche catalogate come singolarità o zone complesse formate da più sistemi.

La zona studiata non è direttamente interessata da strutture sismogenetiche, come si può vedere in figura 8, ed è posizionata tra le strutture più esterne delle Alpi.

La struttura sismogenica più vicina è la struttura "Veronese" a cui viene attribuito l'evento sismico catastrofico veronese del 1117.

Alla struttura Veronese viene attribuita una Magnetudo $M_w = 6.7$, mentre alla struttura "Solferino" una Magnetudo $M_w = 6.0$.

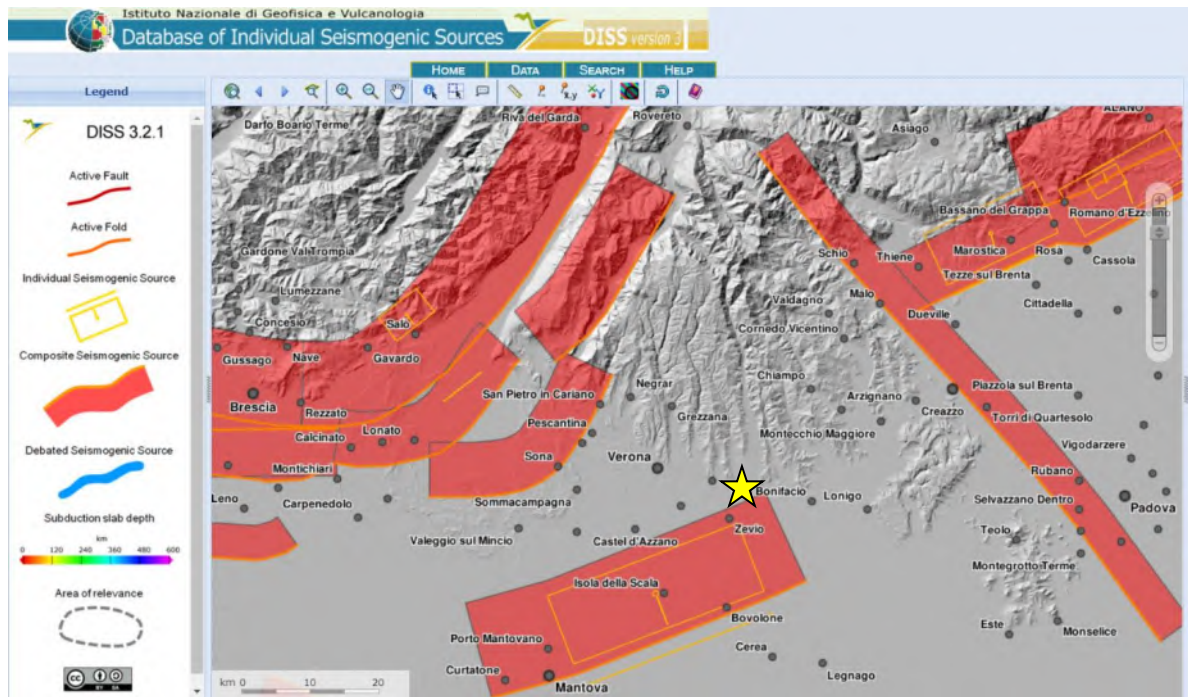


Fig. 8: Sorgenti sismotettoniche; Database of Individual Seismogenic Sources DISS 3.2.1 (fonte INGV: <http://diss.rm.ingv.it/diss>)

Secondo la recente zonazione sismotettonica nazionale (ZS-9) proposta dal Gruppo di Lavoro dell'INGV (Meletti & Valensise, 2004), l'area veronese si pone all'interno della zona sismogenetica 906 (estesa da Bassano a Brescia).

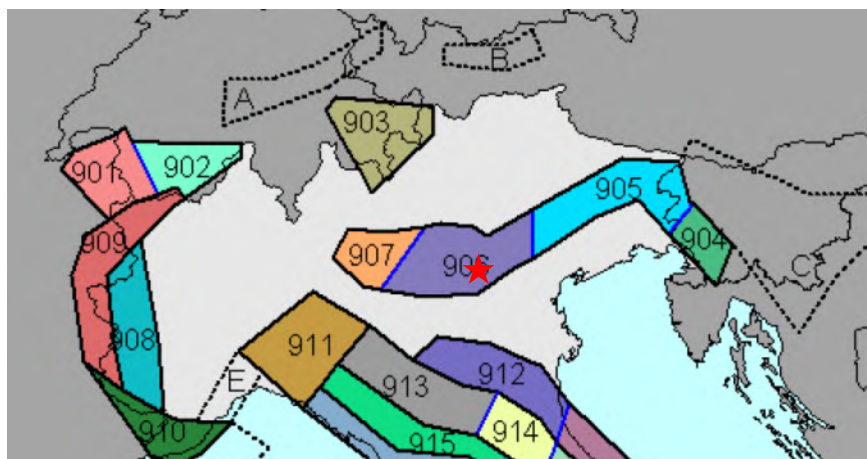


Fig. 9: Zonazione sismogenetica ZS9 dell'Italia (settore nord). La stella rossa indica la zona esaminata

La magnitudo massima prevista per questa zona è la seguente

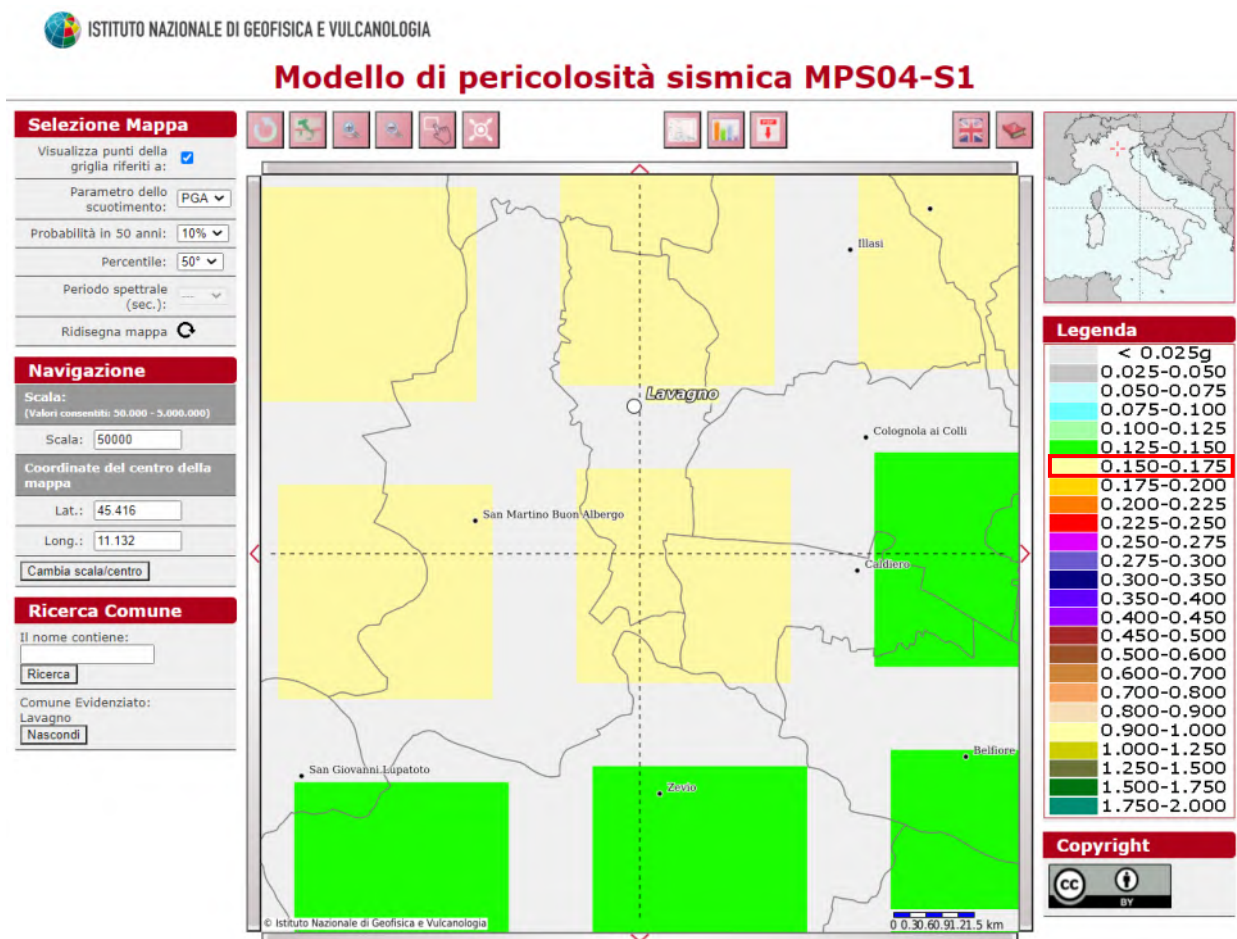
ZS	Magnitudo massima della zona (Mw-max)
906	6,60

La zonizzazione sismica ZS-9 ha permesso di definire la pericolosità sismica del territorio nazionale in termini di accelerazione sismica ag (accelerazione di picco – PGA) su substrato rigido

(ovvero con velocità delle onde sismiche di taglio $V_s > 800$ m/s) in relazione al tempo di ritorno ed alla probabilità di superamento in un intervallo di tempo. In particolare il territorio nazionale è stato suddiviso secondo una griglia di $0,05^\circ$ di lato, in 12 fasce di a_g con intervallo di $0,25g$, per un evento con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni. La suddetta macrozonizzazione è stata adottata con OPCM 3519/2006. Alla luce di tale classificazione il sito in esame ed il territorio comunale di Verona ricadono nella fascia con accelerazione su bed-rock (valore di base) compreso nella fascia $0,150$ e $0,175g$.

Con l'OPCM 3519/06 il territorio comunale di Lavagno è passato dalla zona sismica 3 ($0.05 < a_g/g < 0.15$), prevista dall'OPCM 3275/03, alla zona sismica 2 ($0.15 < a_g/g < 0.25$).

La zonizzazione OPCM 3519/2006 supera ed aggiorna la precedente riferita alla OPCM 3274/2003.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coord. Del punto: lat. 45,412, lon. 11,142)		
Magnitudo	Distanza	Epsolon
4,99	9,75	0,624

Fig. 10: Pericolosità sismica in termini di a_g (OPCM 3519/2006 - fonte INGV)

Per definire lo spettro elastico in accelerazione oltre ad a_g sono necessari anche i parametri

Fo e T_c^* . dove:

- a_g è l'accelerazione orizzontale massima al sito su suolo di riferimento rigido.
- F_o è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- T_c^* è il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Ad ogni punto del reticolo della zonazione sismica nazionale vengono assegnate le 9 terne di valori: a_g , F_o , T_c^* per i vari periodi di ritorno (T_r).

La maglia elementare del reticolo di riferimento contenete il sito di intervento è:

1) ID: 12731	Lat: 45,4106	Lon: 11,0713	Distanza: (Km) 5320,253
2) ID: 12732	Lat: 45,4120	Lon: 11,1424	Distanza: (Km) 585,195
3) ID: 12510	Lat: 45,4620	Lon: 11,1404	Distanza: (Km) 5040,757
4) ID: 12509	Lat: 45,4606	Lon: 11,0693	Distanza: (Km) 7305,294

Per un qualunque punto del territorio nazionale non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto vengono calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

6.2 Pericolosità locale

Per valutare l'amplificazione sismica locale del sito di intervento occorre definire le condizioni stratigrafiche e morfologiche del sito stesso.

Le NTC 2018, individuano 2 parametri amplificativi dell'azione sismica, riferiti alla condizione topografica ed al tipo di sottosuolo.

6.2.1 Condizione topografica

Relativamente alle caratteristiche topografiche delle aree in cui si vuole intervenire sono state definite le quattro categorie qui di seguito elencate:

Tabella 3: 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 $i > 30^\circ$

Il terreno interessato dal progetto rientra nella Categoria topografica T1 in quanto caratterizzato da una inclinazione del versante inferiore a 15° . Tale categoria non comporta alcuna amplificazione sismica.

6.2.2 Categoria di sottosuolo

Le NTC 2018 hanno definito differenti categorie di sottosuolo alle quali viene attribuito un differente coefficiente di amplificazione stratigrafica. Tali categorie sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 4: Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

L'individuazione della categoria di sottosuolo a cui appartiene il sito di progetto è stata ottenuta dalla valutazione delle V_{s30} fatta tramite un'indagine sismica di tipo MASW (Allegato 2).

La sismostratigrafia in V_s , dedotta da questa indagine, propone una sequenza caratterizzata da una $V_{s30}=276$ m/s.

Vista la V_{s30} e il modello geologico stratigrafico è possibile affermare che il sito di intervento appartiene alla Categoria di sottosuolo C

6.2.3 Fattori di amplificazione litologica e geometrica per il sito di progetto

Sulla base del modello geologico - stratigrafico precedentemente descritto, dell'indagine sismica (HVSr) effettuata e delle disposizioni riportate nella normativa sismica (OPCM-3274/2003, modificata con DGP 2813/2003, e la OPCM-3519/2006) e dalle NTC-2018 e s.m.i., la tipologia sismica dei terreni nelle aree considerate risponde ai requisiti qui di seguito riportati.

Dall'indagine sismica effettuata (HVSr), dal modello geologico e stratigrafico precedentemente descritto e da quanto previsto nella normativa sismica (OPCM-3274/2003, modificata con DGP 2813/2003, e la OPCM-3519/2006) e dalle NTC-2018, la tipologia sismica dei terreni nelle aree considerate risponde ai requisiti qui di seguito riportati:

CATEGORIA DI PROFILO STRATIGRAFICO DEL SUOLO

Il sito è costituito da suoli di **Tipo 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 compresi tra 180 m/s e 360 m/s”.

CATEGORIA TOPOGRAFICA:

La morfologia dell'area è descrivibile come **Categoria T1**

Superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

L'accelerazione orizzontale (a_g), in conformità a quanto appena precisato ed interpolando i quattro punti più vicini della maglia definiti dall'O.P.C.M. 3519/2006, è pari a: **$a_g = 0,152$** .

$$a_{g \max} = S * a_g = S_s * S_T * a_g$$

che avendo: $S_s=1,48$ $S_T=1,00$ $a_g=0,152$

$a_{g \max} = 0,225g$, e quindi **$A_{max} = 0,225 \times 9,80665 \text{ m/s}^2 = 2,206 \text{ m/s}^2$** .

Questo valore corrisponde all'accelerazione massima da adottarsi secondo le NTC-2008, avente una probabilità di superamento del 10% in 50 anni e un tempo di ritorno di 475 anni.

I coefficienti sismici orizzontale e verticale sono dati dalle seguenti equazioni:

$$K_h = \beta_s * \frac{A_{max}}{g} = \beta * a_{g \max} \quad K_v = 0,5 * K_h$$

Dove:

$a_{g \max}$ = accelerazione massima attesa al sito

g = accelerazione di gravità

S_s : coefficiente di amplificazione stratigrafica

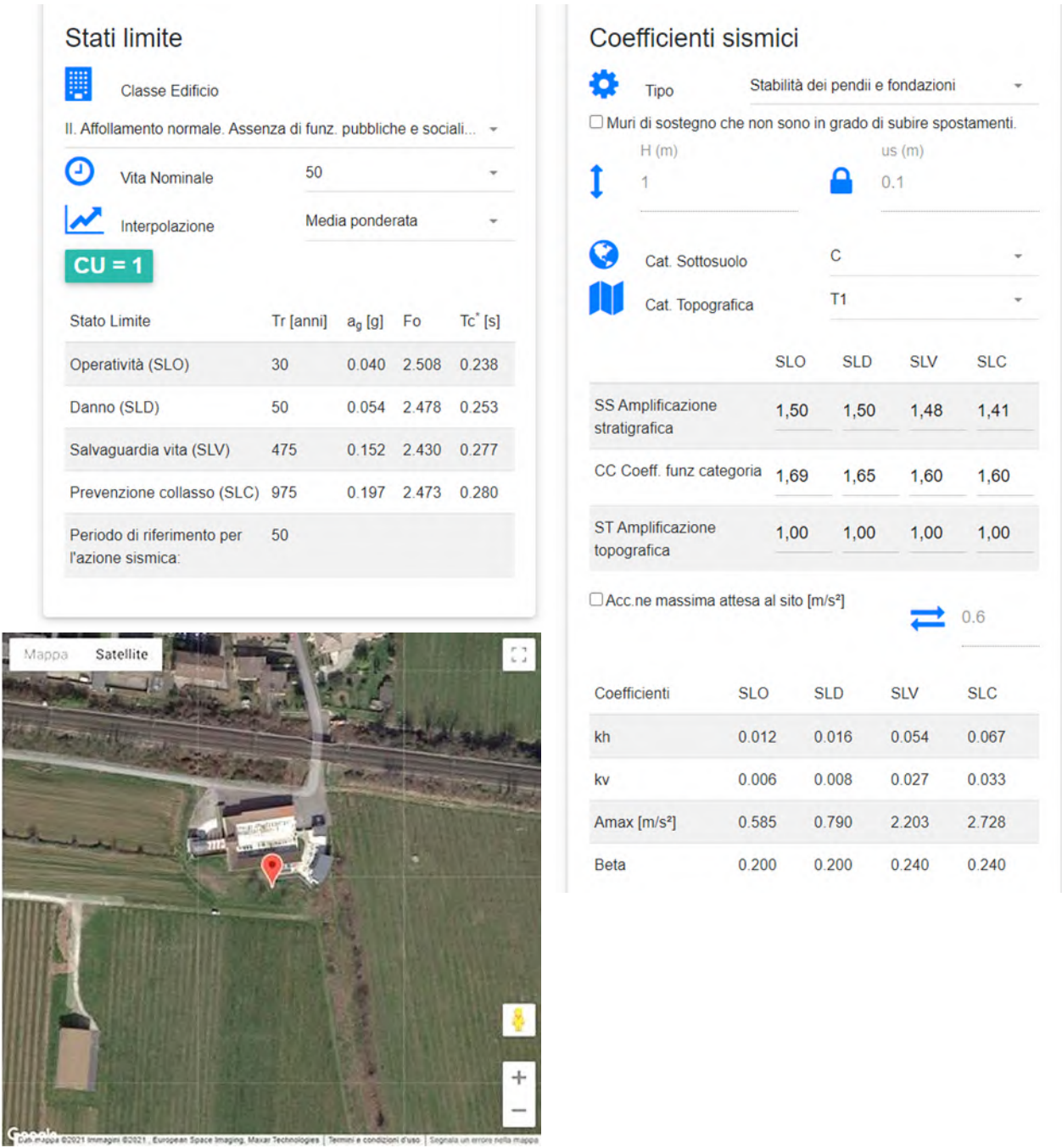
S_T : coefficiente di amplificazione topografica

K_h : coefficiente di accelerazione orizzontale

K_v : coefficiente di accelerazione verticale

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

I coefficienti sismici del sito di progetto sono riassunti nella seguente figura, ottenuta utilizzando il software “GeoStru PS”.



7 VERIFICHE GEOTECNICHE PRELIMINARI

In questo capitolo vengono trattate le verifiche geotecniche previste dalla normativa vigente in materia di costruzioni (Decreto del 17 gennaio 2018) che prevede le seguenti analisi:

1. stabilità globale dell'opera;
2. stabilità dell'opera sotto l'azione sismica (liquefazione del terreno);
3. resistenza del terreno di fondazione;
4. tensione ammissibile in funzione dei cedimenti attesi sul piano di fondazione;
5. stabilità dei fronti di scavo in fase di cantiere.

E' importante sottolineare che tutte le analisi geotecniche effettuate in questo capitolo hanno valore indicativo e sono finalizzate ad un dimensionamento preliminare delle fondazioni.

Le verifiche geotecniche agli SLU e SLE dovranno essere effettuate con i carichi che saranno effettivamente trasmessi al terreno di fondazione e quindi ottenuti dal calcolo strutturale.

Per quanto riguarda i punti n. 1, 2 e 5 è possibile affermare che:

- La morfologia pianeggiante del sito, la tipologia di intervento e la profondità del piano di posa delle fondazioni permettono di escludere problematiche relative alla stabilità globale dell'opera;
- La natura limoso argillosa del sottosuolo permette di escludere possibili fenomeni di liquefazione del terreno indotti dall'azione sismica;
- Non sono previsti scavi significativi (max 0,5 m).

7.1 Metodologie di analisi utilizzate

7.1.1 Resistenza del terreno di fondazione

Le resistenze del terreno di fondazione sono state calcolate nelle condizioni statiche e sismiche, utilizzando l'Approccio 2 (A1+M1+R3). In queste verifiche sono state assunte le metodologie di analisi qui di seguito elencate.

- Azioni: pressioni omogenee determinate da carichi centrati e verticali applicati alle fondazioni;
- Resistenze del terreno: calcolate con il metodo di Brinch - Hansen (1970);
- Condizioni sismiche: considerando l'accelerazione sismica legata allo Stato limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e utilizzando il Metodo di calcolo proposto da Paolucci & Pecker;
- Condizioni drenate;
- Livello falda posto a 6,0 m.

I coefficienti parziali utilizzati nella verifica sono riassunti nelle tabelle 5 e 6, estratte dalle N.T.C. (DM 17.01.2018).

Tabella 5: coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (tab. 6.2.II NTC 2018).

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 6: coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali (tab. 6.4.I NTC 2018).

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

7.1.2 Calcolo dei cedimenti

La valutazione del cedimento “s” è stata calcolata con il metodo della consolidazione monodimensionale di Terzaghi, che si basa sull'equazione di seguito riportata:

$$s = H_0 \times \Delta p / E_d$$

dove:

- **H_0** = Spessore iniziale dello strato argilloso-limoso considerato
- **Δp** = incremento di pressione effettiva trasmesso dalla fondazione; è stato calcolato con la teoria di Boussinesq, che consente di determinare la distribuzione dei carichi in profondità.
- **E_d** = modulo edometrico

La propagazione delle pressioni in profondità è stata calcolata con la teoria di Boussinesq.

7.2 Risultato delle analisi effettuate

In questo paragrafo, non essendo disponibili le Azioni di progetto, si riportano i risultati delle verifiche al collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno (D.M. 17 Gennaio 2018) e si ribadisce che sono finalizzate unicamente a fornire un valore indicativo per il dimensionamento preliminare delle fondazioni.

Per il calcolo è stata considerata una fondazione continua (trave rovescia) e una fondazione a platea.

La platea ha le dimensioni di progetto mentre per la fondazione continua è stata considerata una lunghezza di 20,0 m e larghezza variabile (0,8 m – 1,2 m). Nel calcolo è stato assunto un incastrato della fondazione nel terreno pari a 0,5 m e pressioni omogenee determinate da carichi centrati e verticali.

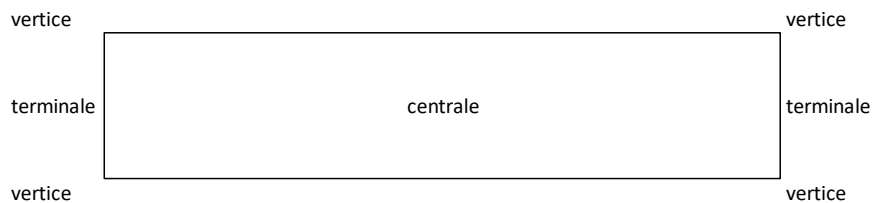
I valori di resistenza ottenuti dalle analisi effettuate sono qui di seguito riportati.

Tabella 7: fondazioni tipo trave rovescia – resistenza del terreno al variare delle dimensioni e stima dei cedimenti.

Larghezza (m)	Incastro (m)	Autore	Tipologia di verifica		Carico limite (KN/m ²)	Resistenza di progetto (KN/m ²)	Cedimento (cm)
0,8	0,5	Brinch - Hansen 1970	Approcio 2	drenata	363,28	157,95	2,01
				non drenata	273,69	118,99	1,48
			Sismica	drenata	353,00	153,48	1,96
1,0	0,5	Brinch - Hansen 1970	Approcio 2	drenata	364,68	158,56	2,37
				non drenata	274,34	119,30	1,76
			Sismica	drenata	254,14	153,97	2,29
1,2	0,5	Brinch - Hansen 1970	Approcio 2	drenata	369,67	160,73	2,74
				non drenata	275,08	119,60	1,99
			Sismica	drenata	358,77	155,99	2,64

Tabella 8: fondazione a platea – resistenza del terreno e stima dei cedimenti.

Larghezza (m)	Incastro (m)	Carico limite (KN/m ²)	Resistenza di progetto (KN/m ²)	Cedimenti				
				Pressione (KN/m ²)	Centrale (cm)	Terminale (cm)	Vertice (cm)	Diff. (cm)
7	0,5	290,55	126,33	70	2,93	1,69	1,11	1,82
7	0,5			60	2,43	1,42	0,88	1,55
7	0,5			50	1,98	1,15	0,85	1,13



8 COMPATIBILITA' GEOLOGICA AI FINI EDIFICATORI

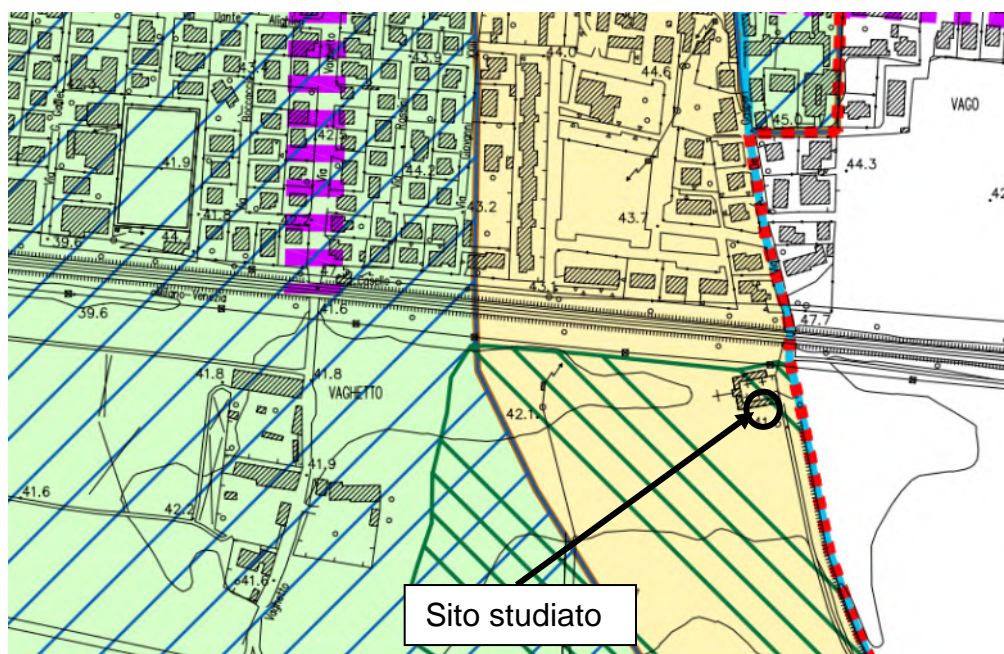
Il Piano di Assetto del Territorio di Lavagno non prevede vincoli o invarianti a carattere geologico sul lotto di progetto.

La Carta delle Fragilità del Piano di Assetto del Territorio classifica l'area oggetto di intervento come "Area Idonea a condizione - Terreni con scadenti caratteristiche geotecniche".

In questa tipologia di aree lo studio geologico deve verificare le caratteristiche geologico-tecniche del sito, valutare la fattibilità dell'opera e l'eventuale necessità di consolidamenti o fondazioni speciali.

Con il presente studio sono state confermate le scadenti caratteristiche geotecniche del sito e non si è evidenziata la necessità di consolidamenti del terreno o di fondazioni speciali.

Da quanto sopra riportato si può quindi affermare che il progetto rispetta le disposizioni del Piano di Regionale di Tutela delle Acque e quanto stabilito dal P.A.T. del Comune di Lavagno.



Compatibilità geologica a fini edificatori






	Aree idonee	art. 7.2
	Aree idonee a condizione: Terreni con penalità geomorfologiche	art. 7.2
	Aree idonee a condizione: Terreni con penalità idrogeologiche	art. 7.2
	Aree idonee a condizione: Terreni con scadenti caratteristiche meccaniche	art. 7.2
	Aree non idonee	art. 7.2

Fig. 12: P.A.T.I. - Carta della Fragilità' (Tav. 3)

Il Piano di Assetto Idrogeologico del Fiume Adige non attribuisce pericolosità idraulica al sito di progetto.

9 PRESCRIZIONI TECNICHE PER LA REALIZZAZIONE DEL PROGETTO

I punti essenziali, a carattere geologico ed idrogeologico, ai quali deve ottemperare il progetto, in base a quanto previsto dalle norme di legge in materia cimiteriale, sono qui di seguito riassunti:

- a) terreno sciolto almeno fino a 2,5 m di profondità dal piano di calpestio;
- b) terreno di inumazione asciutto, e dotato di un adatto grado di porosità e di capacità per disperdere l'acqua al fine consentire i processi di mineralizzazione;
- c) la quota massima della falda freatica, e della sua risalita capillare, deve essere ad una distanza di almeno 50 cm dal fondo della fossa di inumazione.

Alla luce di quanto osservato, in merito alla composizione del terreno e alle condizioni geomorfologiche e idrogeologiche del sito in esame, è evidente che la condizione “a” è soddisfatta mentre sarà necessario procedere ad una sostituzione del terreno in sito, per una profondità di circa 1,0 m dall'attuale piano di campagna, con altro terreno avente caratteristiche granulometriche, di porosità e permeabilità più idonee a soddisfare alle prescrizioni di cui al punto “b”.

Il terreno presente nel sito è composto prevalentemente da argille a bassissima permeabilità, uguale o minore a 1×10^{-7} m/sec e quindi non adatto ai processi di mineralizzazione dei corpi.

Un terreno adatto per l'inumazione può essere rappresentato da un terreno vegetale con dimensioni dei grani comprese tra 0,02 mm (limo) e 30 mm (ghiaia), ben distribuite, dove il limo non deve superare il 25% al fine di garantire una permeabilità compresa tra 10^{-5} e 10^{-6} m/sec.

Quanto prescritto al punto “c” è soddisfatto essendo la falda freatica, in condizioni di massima piena, posizionata a 5,4 m dal piano di calpestio previsto a progetto ultimato; tale livello sarà quindi ampiamente al di sotto del livello di inumazione (sicuramente ad una distanza > 0,5 metri), così come previsto dalla normativa vigente in materia.

10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dalle indagini svolte nel presente lavoro è possibile trarre le seguenti considerazioni.

- Il sottosuolo del sito di progetto è costituito da argilla limosa, caratterizzata da permeabilità molto bassa, stimabili sull'ordine di 1×10^{-7} m/s;
- Al fine di evitare fenomeni di ristagno idrico dovrà essere previsto un adeguato sistema di scoli per il rapido smaltimento delle acque superficiali che dovranno essere recapitate esternamente al cimitero;
- La scarsa permeabilità e la porosità efficace molto bassa dell'argilla che costituisce il sottosuolo non sono adatte a garantire un regolare andamento dei processi di mineralizzazione dei cadaveri; lo strato di inumazione, come previsto dalla normativa vigente, dovrà avere uno spessore di almeno 2,5 m ed essere costituito da materiale della tipologia indicata nel capitolo 8 della presente relazione.
- L'intervento in progetto non andrà ad interferire con la falda freatica che, in condizioni di massima piena, si posiziona a 5,4 m dal piano di calpestio previsto a progetto ultimato; tale livello sarà quindi ampiamente al di sotto dello strato di inumazione (2,5 m), così come previsto dalla normativa vigente in materia;
- Il terreno di fondazione presente in sito ha caratteristiche geotecniche scadenti e, data la sua natura argillosa, reagisce ai carichi trasmessi dalle fondazioni addensandosi e quindi determinando dei cedimenti alle strutture soprastanti;
- L'analisi geotecnica, eseguita per fondazioni trave rovescia e a platea, ha permesso di calcolare le pressioni ammissibili in funzione del carico di rottura del terreno di fondazione e una stima dei cedimenti; i dati ottenuti, considerando il caso di carichi verticali e centrati, sono riportati nelle tabelle 7 e 8.
- La tipologia delle fondazioni da adottare dovrà essere scelta in funzione delle pressioni trasmesse al terreno di fondazione e dei cedimenti calcolati e riportati nelle tabelle 7 e 8.
- L'assenza di indicatori cinematici e la disposizione topografica dell'area di intervento permettono di escludere la presenza di problematiche geologiche particolari in atto o potenziali relativamente alla stabilità globale dell'intervento in progetto.
- Ai fini della caratterizzazione sismica si è visto che il lotto interessato dal progetto appartiene alla Categoria topografica T1 e che il sottosuolo rientra nella Categoria "C". I parametri sismici da adottare nei calcoli o i dati ottenuti con le verifiche geotecniche sono riportati nel Capitolo 6.

Con la presente indagine geologica non sono state riscontrate ostative alla realizzazione dell'opera in progetto.

Roverè Veronese li: 19 aprile 2021

Dott. geol DARIO GASPARI



(Firmato digitalmente)

ALLEGATO 1

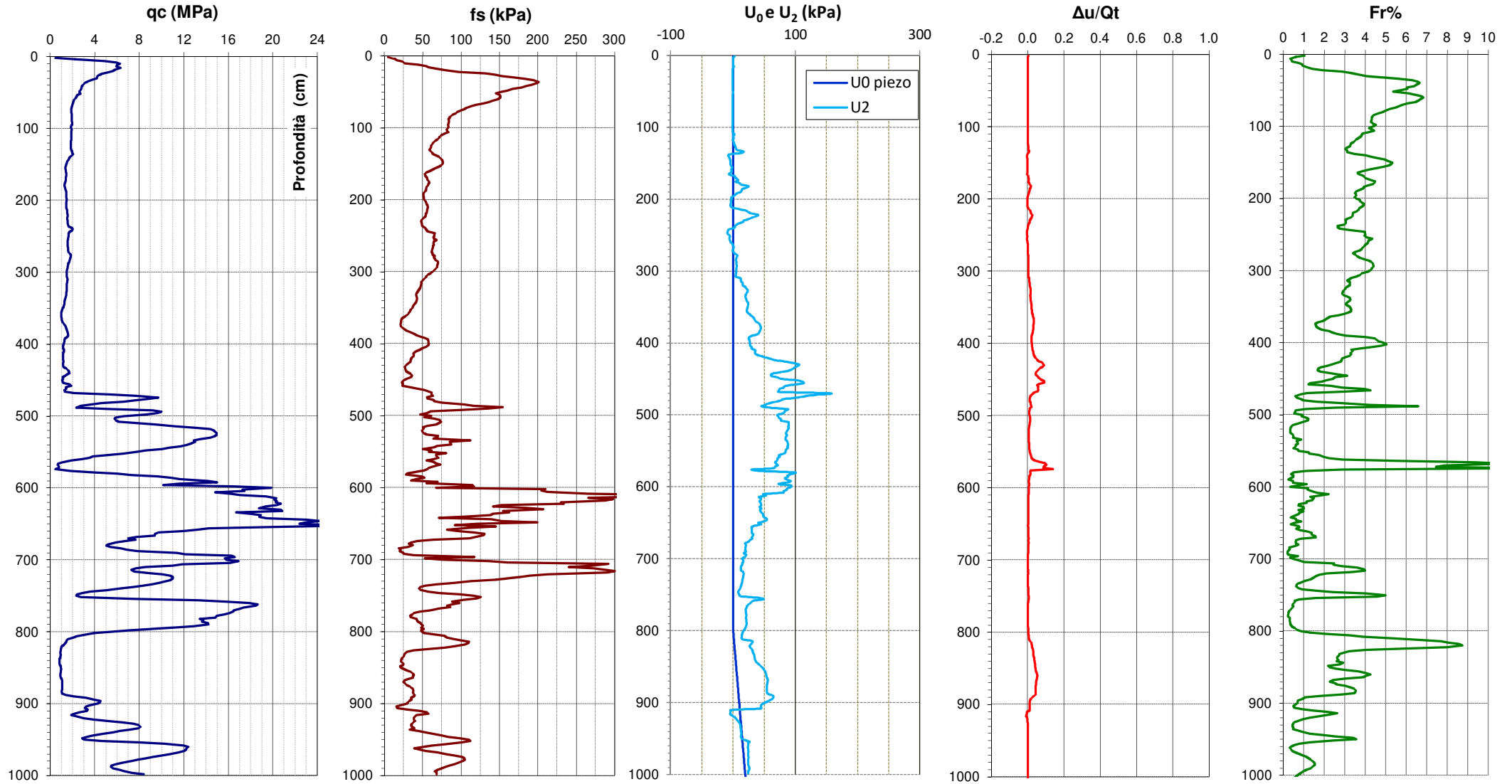
Prove penetrometriche statiche con piezzocono (CPTU)

DIAGRAMMI DI RESISTENZA e CLASSIFICAZIONE

Comm.: Ing. Ilario Rossi
Località : Lavagno (VR)
Indirizzo : Cimitero di Vago

Prova: CPTu 1
Latitudine: 45.41565
Longitudine: 11.137948

Livello di Falda : - metri da p.c.
Livello piezometrico: 8.00 metri da p.c.
Data di indagine : 20 marzo 2021



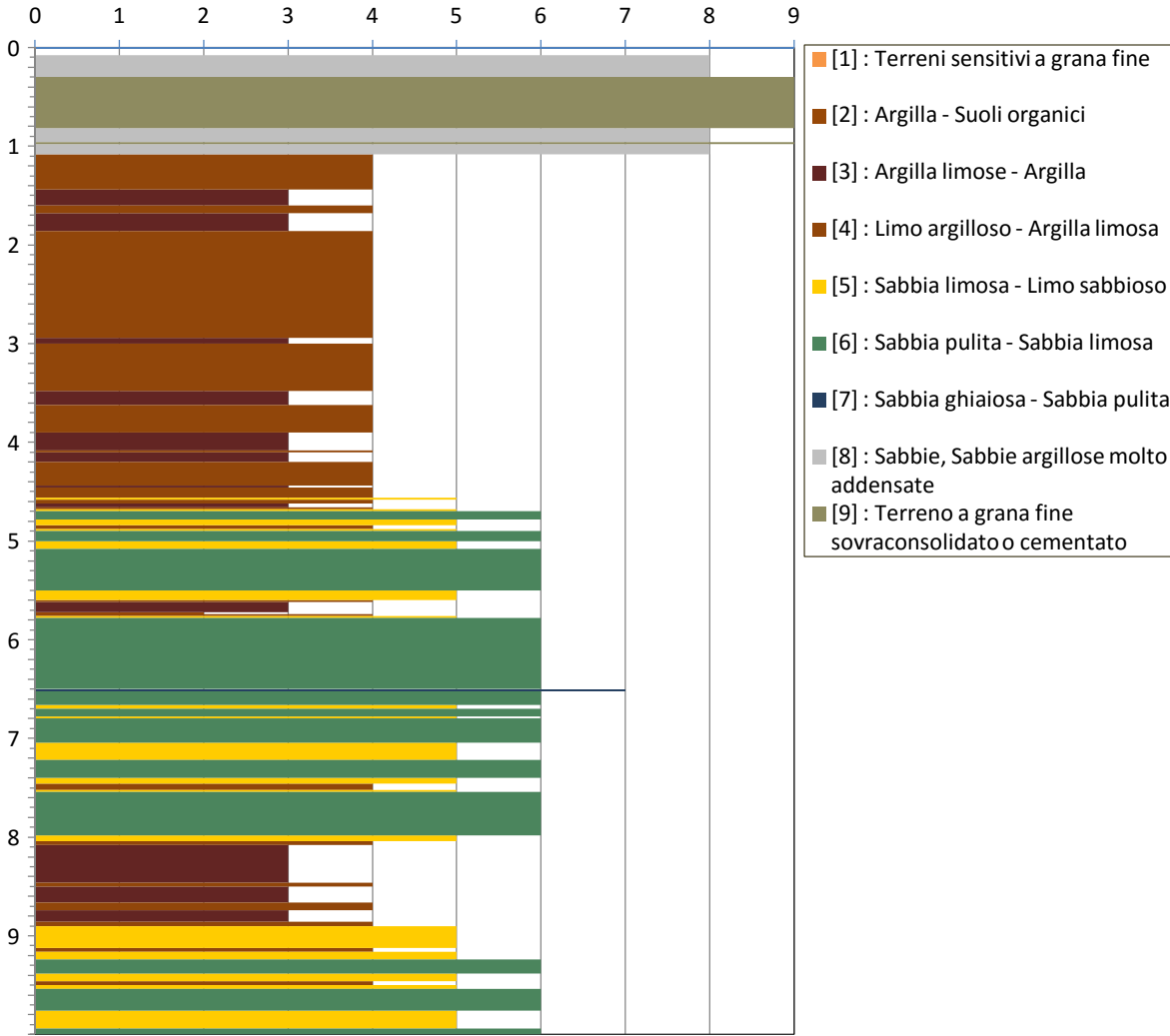
DIAGRAMMI DI CLASSIFICAZIONE LITOLOGICA

Comm.: Ing. Ilario Rossi
Località : Lavagno (VR)
Indirizzo : Cimitero di Vago

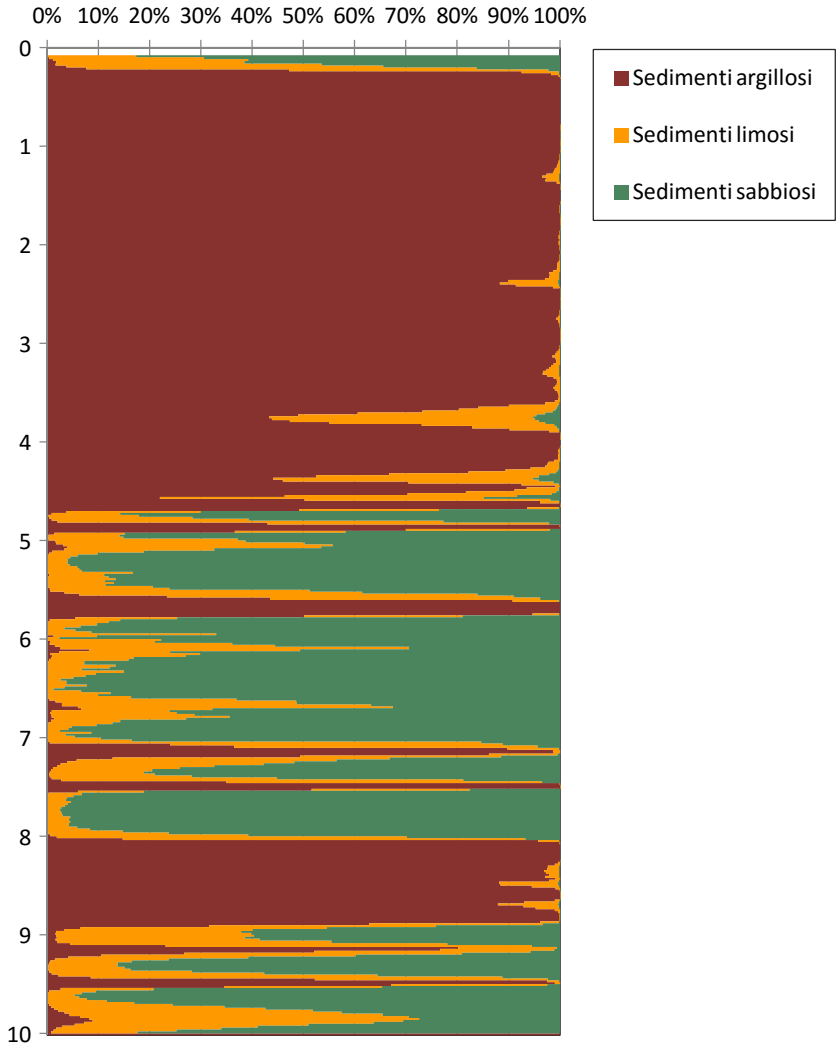
Prova: CPTu 1
Latitudine: 45.41565
Longitudine: 11.137948

Livello di Falda : - metri da p.c.
Livello piezometrico: 8.00 metri da p.c.
Data di indagine : 20 marzo 2021

Classificazione SBT - Soil Behaviour Type



Fuzzy Classification Method

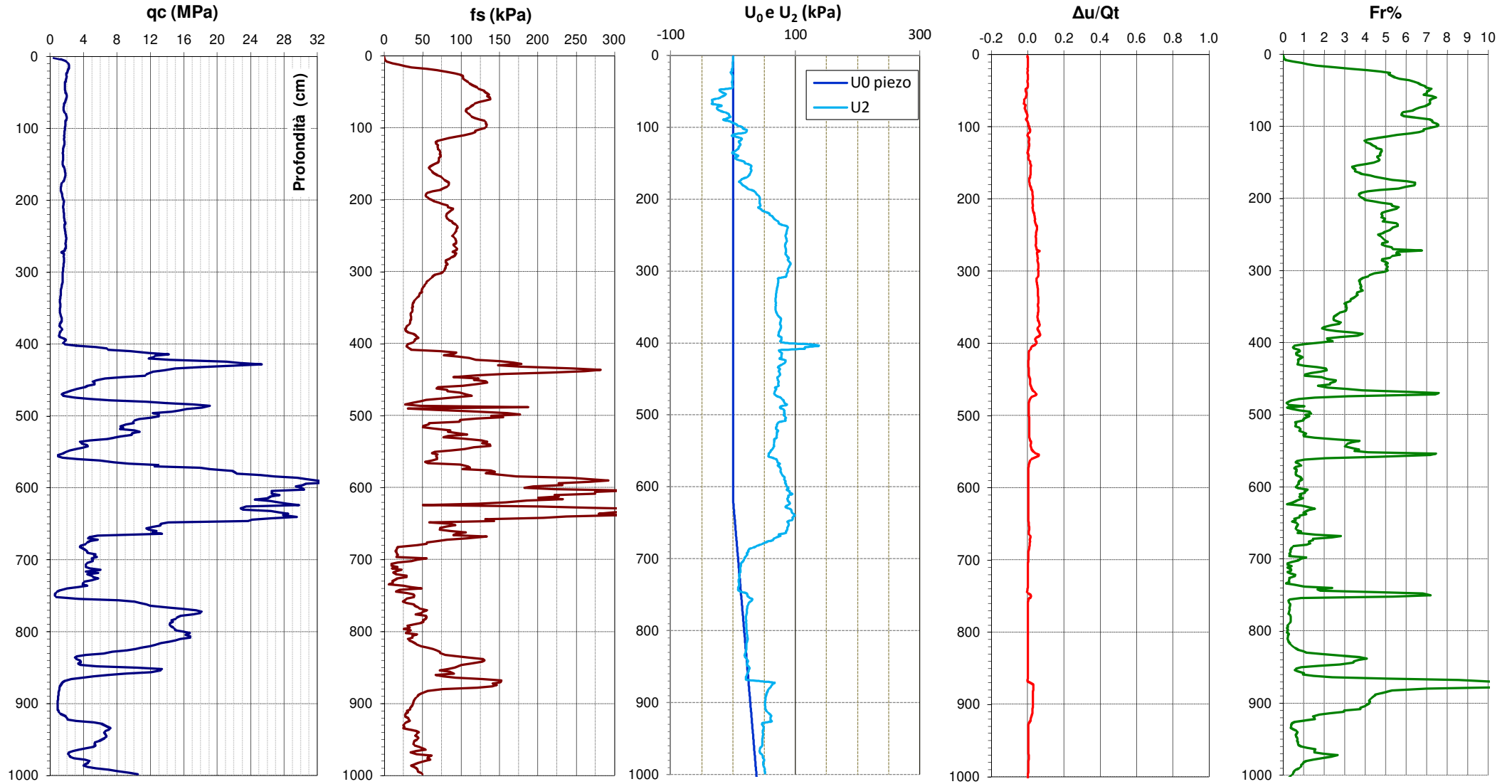


DIAGRAMMI DI RESISTENZA e CLASSIFICAZIONE

Comm.: Ing. Ilario Rossi
Località : Lavagno (VR)
Indirizzo : Cimitero di Vago

Prova: CPTu 2
Latitudine: 45.415702
Longitudine: 11.137635

Livello di Falda : - metri da p.c.
Livello piezometrico: 6.20 metri da p.c.
Data di indagine : 20 marzo 2021



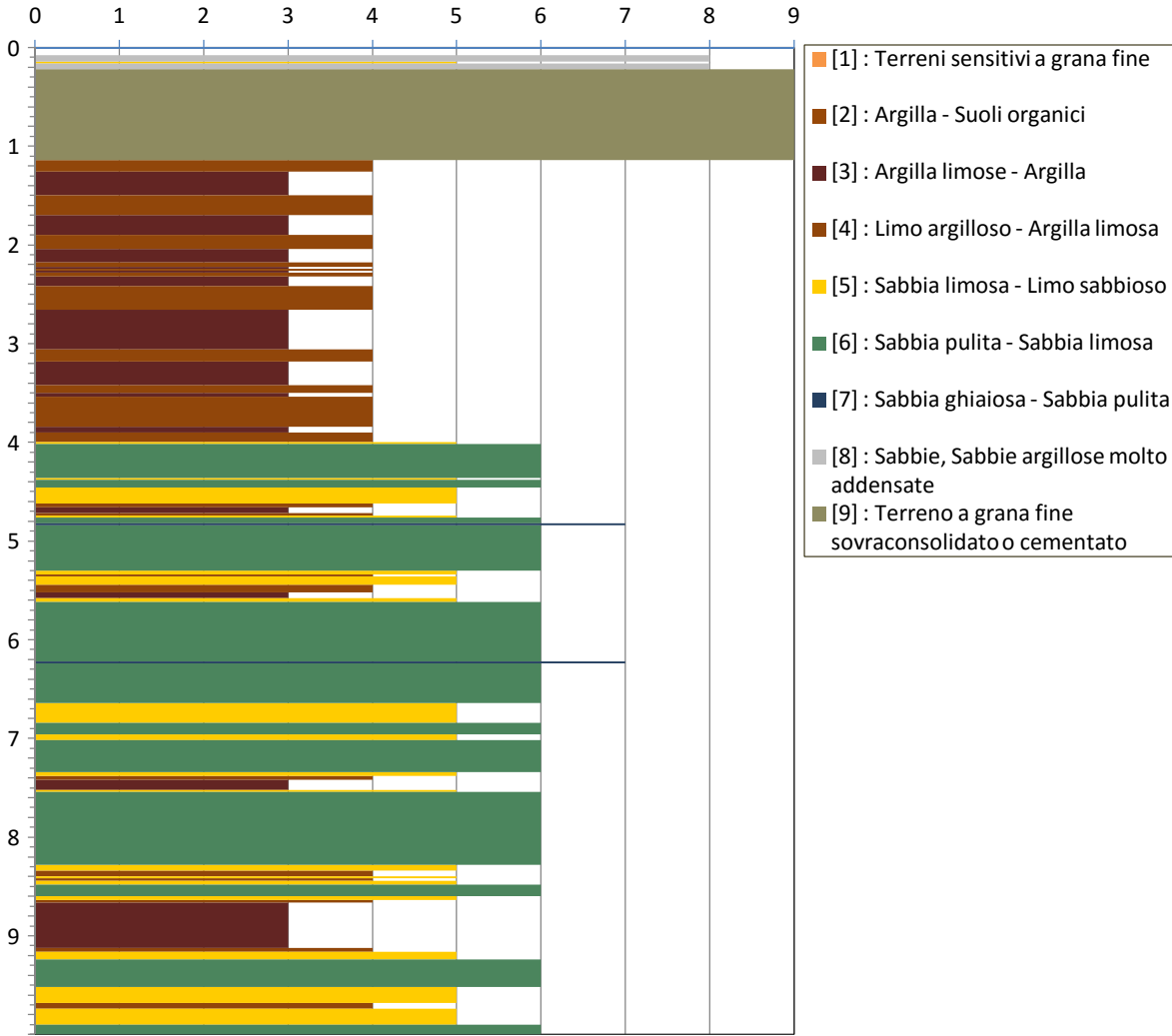
DIAGRAMMI DI CLASSIFICAZIONE LITOLOGICA

Comm.: Ing. Ilario Rossi
Località : Lavagno (VR)
Indirizzo : Cimitero di Vago

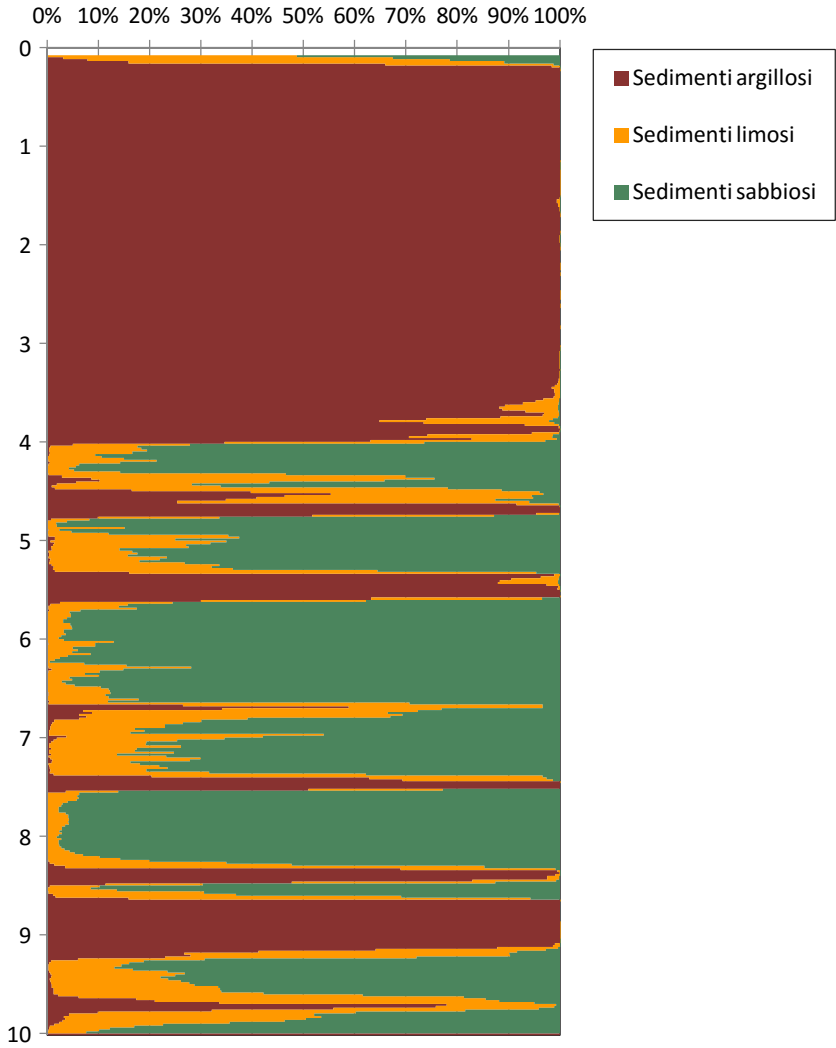
Prova: CPTu 2
Latitudine: 45.415702
Longitudine: 11.137635

Livello di Falda : - metri da p.c.
Livello piezometrico: 6.20 metri da p.c.
Data di indagine : 20 marzo 2021

Classificazione SBT - Soil Behaviour Type

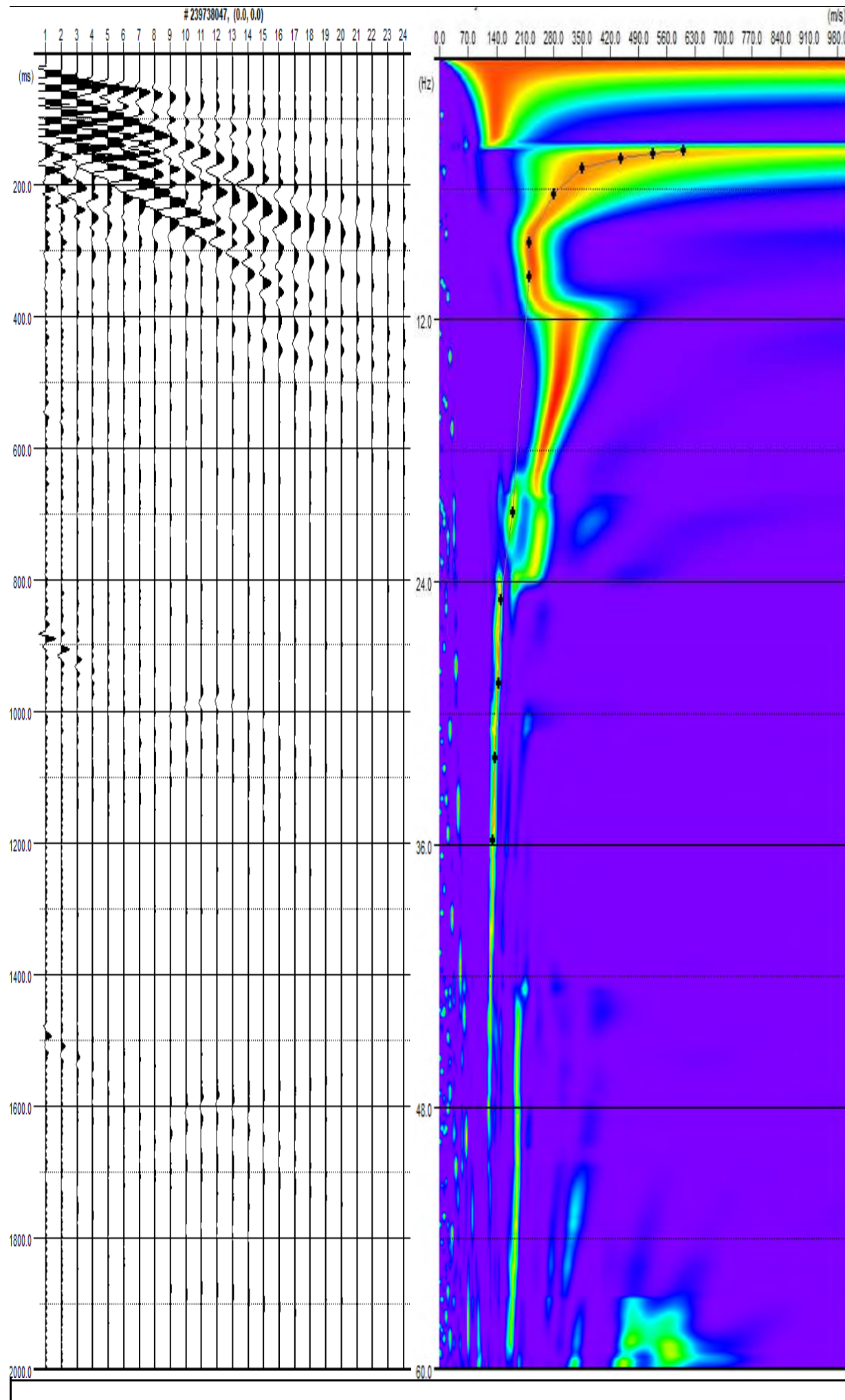


Fuzzy Classification Method



ALLEGATO 2

Indagine sismica MASW



V_{Seq} calcolata in base al art. 3.2.2. del NTC-18

Prof. posa fondazione in m da pc= 0.0

$$V_s \quad 0 / 30 = 276 \quad \text{m/sec}$$

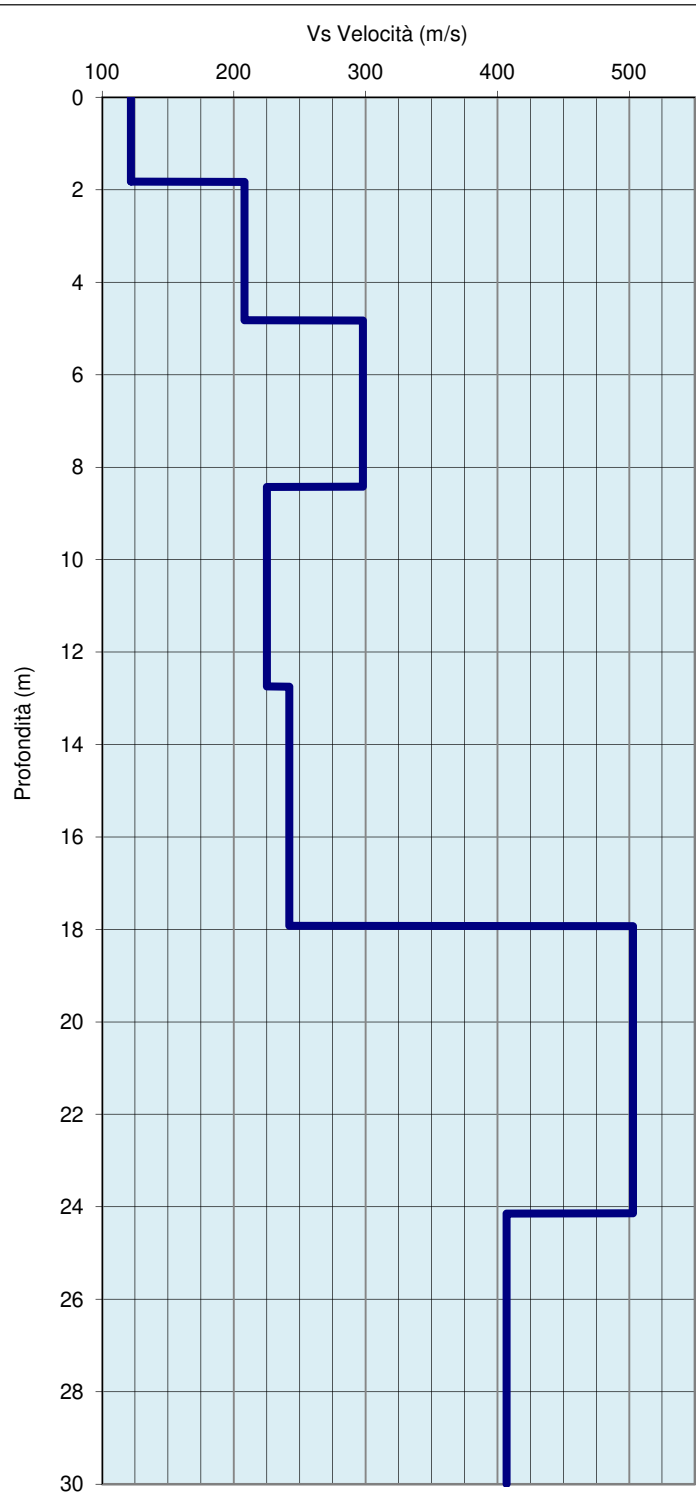


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

Risultati elaborazione

Strato	Profondità		Spessore	Vel m/sec
	da	a		
1	0.00	1.82	1.82	122
2	1.82	4.82	3.00	208
3	4.82	8.42	3.60	298
4	8.42	12.74	4.32	225
5	12.74	17.92	5.18	242
6	17.92	24.14	6.22	503
7	24.14	30.00	5.86	407

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

$$V_{S,eq} = 276 \quad \text{m/sec}$$

velocità calcolata tra p.c. e H = 30 m

*Si ricorda che in base all' art 3.2.2 del DM 17 gennaio 2018
la Vseq di progetto è riferita al piano di imposta delle
fondazioni superficiali o alla testa dei pali in caso di
fondazioni profonde od opere di sostegno di terreni naturali.*

Geometria indagine

Sismografo	PASI GEA24
Geofoni	Geospace
N° geofoni a 4,5Hz	24
Spaziatura geofoni	2.0 m
Lunghezza stendimento geofonico	46.0 m
Energizzazione	4.0 m
Lunghezza totale stendimento	50.0 m

PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE
METODOLOGIA MASW

COMMITTENTE:
Ing. Ilario Rossi

LOCALITÀ:
Lavagno (VR)
Vago

CANTIERE:
Ampliamento area cimiteriale

DATA: 20.03.21
FILE: masw_VAGO
Dir. Lavori:
Dr. Dario Gaspari
Rif. 34_21

G.S.C. Indagini Geognostiche
Via Carpi, 21
San Martino in Rio (RE)
tel. 333.42.73.452
gsc.inge@gmail.com