

REGIONE VENETO 	VI.ABILITA' S.R.L. 	PROVINCIA DI VICENZA 
<p style="text-align: center;"><b>Lavori di demolizione e ricostruzione del ponte della Secula lungo la S.P. 20 Bacchiglione in Comune di Longare. Commessa 17/2018.</b></p>		
<p style="text-align: center;"><b>FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA</b></p>		
oggetto:	Relazione geologica	
Presidente del Consiglio di Amministrazione di Vi.abilità S.R.L. Dott.ssa Magda Dellai		Il Direttore Generale  Dott. Ing. Fabio Zeni
progettazione  Dott. Geol. D. Fincato	R.U.P. e Responsabile dei lavori (D.Lgs. 81/08)  Ing. Andrea Leonardi Vi.abilità Srl   coordinatore per la progettazione (D.Lgs. 81/08)    coordinatore per l'esecuzione dei lavori (D.Lgs. 81/08)	relazione  <b>ST RE 03</b>  data  Settembre 2019  aggiornamento/i data e numero  scala/e  Varie  commessa/e  17/2018  codice elaborato
direzione lavori		
eseguito  Ing. Cesare Gallo	controllato  Ing. Cesare Gallo	
Vi.abilità S.R.L. via Zamenhof, 829 36100 - Vicenza - Italy	tel. +39 0444 385711 fax +39 0444 385799 e-mail info@vi-abilita.it Web site www.vi-abilita.it	Capitale sociale: 5.050.000,00 euro i.v. Partita IVA: 02928200241 Registro Imprese di Vicenza: 02928200241 R.E.A. di Vicenza: n. 285329

COMUNE DI LONGARE

PROVINCIA DI VICENZA



**VI.ABILITA' S.R.L.**

Via Zamenhof, 829

36100 VICENZA (VI)

**RELAZIONE GEOLOGICA CON CARATTERIZZAZIONE  
GEOTECNICA E GEOFISICA PER I LAVORI DI  
DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL PONTE DELLA  
SECUA IN COMUNE DI LONGARE (VI).**

Dott. Geol. Devi Fincato  
Albo dei Geologi della Regione Veneto N. 549.



Rev.0/2019

Padova, 18 Settembre 2019

**SOCIETA' DI INDAGINI GEOTECNICHE GEOFISICHE E AMBIENTALI – SERVIZI E CONSULENZE**

S.I.R.GEO SEC S.R.L. – Via Pietro Bembo, 34 – 35124 Padova – Tel. 049 8024710

[sirgeosrl@gmail.com](mailto:sirgeosrl@gmail.com) – C.F. e P.IVA 04622000281 – C.C.I.A.A. n. 404776

## **SOMMARIO**

1.	GENERALITÀ.....	3
	<b>MODELLO GEOLOGICO .....</b>	<b>4</b>
2.	LOCALIZZAZIONE.....	4
3.	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	5
4.	IDROGEOLOGIA.....	7
5.	PENALITÀ DI CARATTERE TERRITORIALE .....	8
	<b>MODELLO GEOTECNICO E SISMICO DEI TERRENI.....</b>	<b>10</b>
6.	INDAGINI GEOTECNICHE.....	10
	6.1 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE.....	10
	6.2 UBICAZIONE .....	11
	6.3 INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA .....	11
7.	NOTE IDROGEOLOGICHE.....	15
8.	INDAGINE SISMICA .....	16
	8.1 PREMESSE .....	16
	8.2 STRUMENTAZIONE IMPIEGATA .....	16
	8.2.1 Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.).....	16
	8.2.2 Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.).....	19
	8.3 EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA .....	21
	8.4 CENNI TEORICI DI ANALISI DINAMICA AVANZATA (FLAC 2D – ITASCA, 2018) .....	23
	8.5 UBICAZIONE DELLE MISURE .....	30
	8.6 ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	31
	8.6.1 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate.....	31
	8.6.2 Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta HVSR 1.....	32
	8.6.3 Indagine sismica passiva in array (Re.Mi) con inversione congiunta con HVSR2.....	33
	8.6.4 Indagine sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.).....	35
	8.7 CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE SECONDO LE NORME TECNICHE SULLE COSTRUZIONI – D.M. 17 gennaio 2018. ....	36
9	MODELLAZIONE NUMERICA AVANZATA.....	38
10	TERRENI SUSCETTIBILI DI LIQUEFAZIONE .....	42
11	CONCLUSIONI .....	48
	Bibliografia essenziale .....	51
	<b>TAVOLE.....</b>	<b>53</b>

## **1. GENERALITÀ**

Su incarico e dietro indicazioni della committente è stata eseguita una caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni con lo studio della risposta sismica locale tramite modellazione numerica avanzata presso il ponte della Secula in comune di Longare (VI), al fine di esaminare i problemi geotecnici e sismici connessi con le opere da realizzare.

La presente indagine, oltre che rispondere all'esigenza di una corretta e razionale progettazione delle opere di fondazione, ha come riferimento la seguente normativa:

- *Ordinanza 20/03/2003 n° 3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per la costruzione in zona sismica" e successive modifiche ed integrazioni.*
- *D.M. 17/01/2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni e s.m.i.*

### **IN ALLEGATO SONO RIPORTATI:**

- **ALLEGATO 1:** Spettro di risposta elastico medio da modellazione numerica con Tr 712 anni e smorzamento 5% (SLV).
- Ubicazione indagini geotecniche e sismiche (Tav. 1);
- Indagini sismiche (Tav. 2Ae 2B);
- n° 2 diagrammi penetrometrici;
- n° 2 tabelle con la restituzione dei parametri geotecnici dei terreni;
- n° 2 diagrammi litologici;
- n° 2 restituzioni delle letture di campagna.

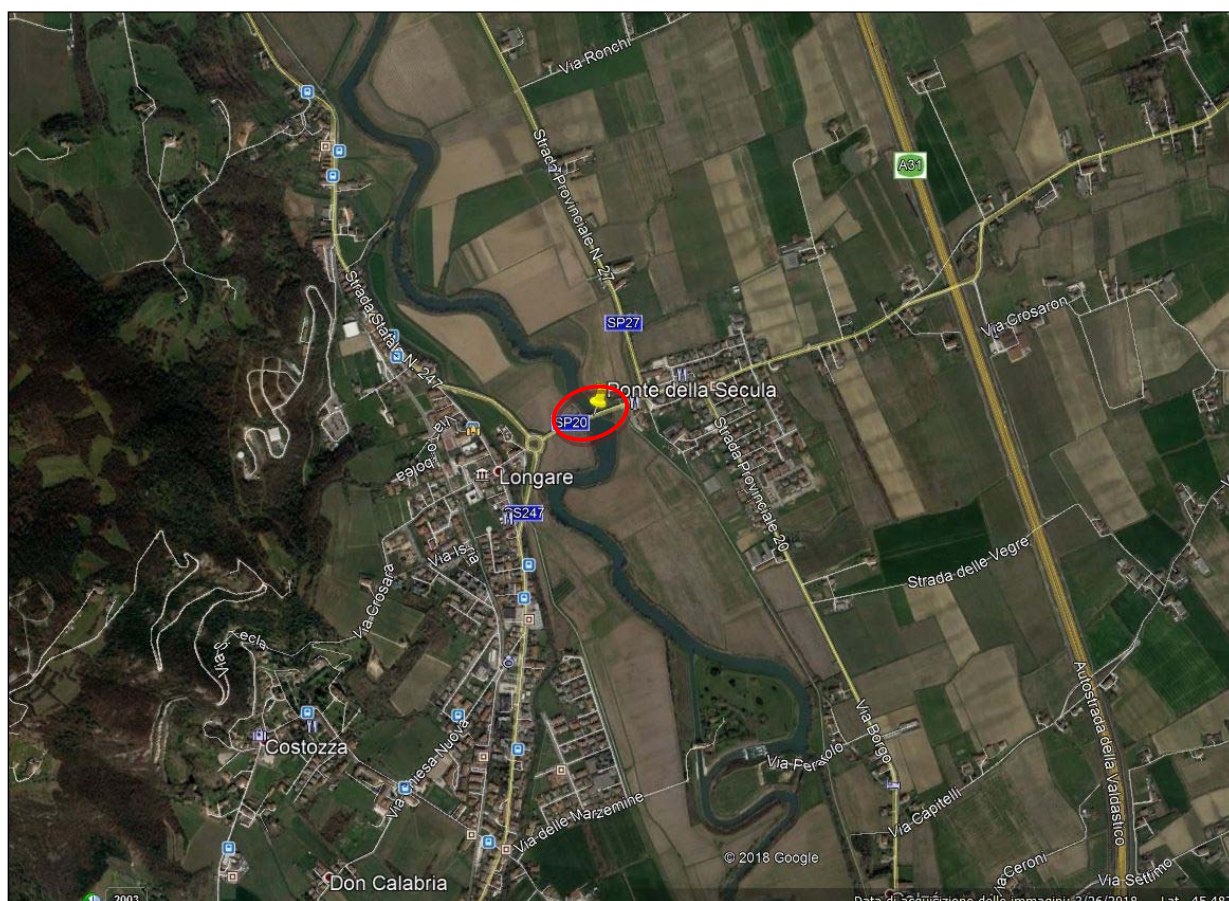


# **MODELLO GEOLOGICO**

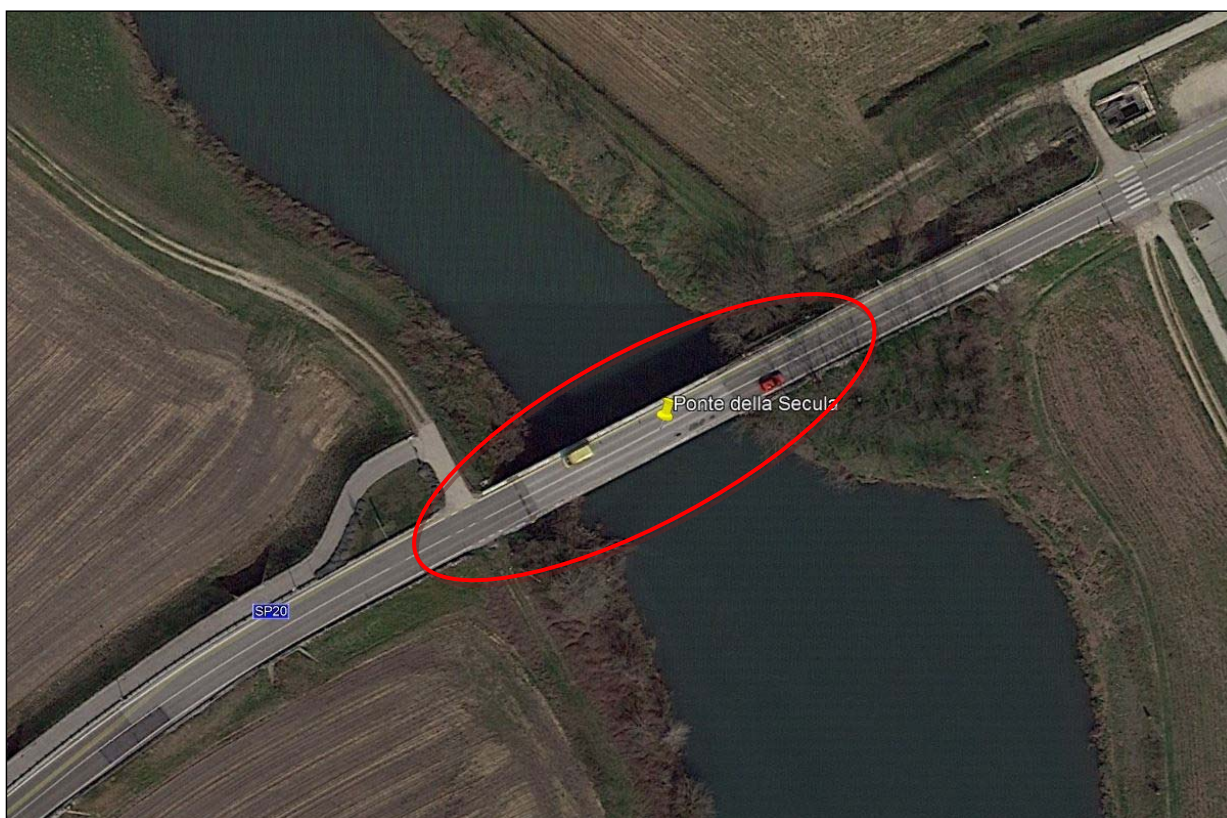
## **2. LOCALIZZAZIONE**

Il Ponte della Secula è ubicato a nord est dell'abitato di Longare in una'area di pianura a bassa antropizzazione in attraversamento del fiume Bacchiglione e che collega Longare con l'abitato di Secula (SP 20), il Ponte presenta due rampe in rilevato di accesso. Il sito ha le seguenti coordinate geografiche (datum WGS84) - Si veda estratti in Fig. 1 e 2:

Latitudine: 45,480579° N;  
Longitudine: 11,611944° E;



*Fig. 1 - Estratto aerofotogrammetrico*



*Fig. 2 - Estratto aerofotogrammetrico di dettaglio*

### **3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA**

L'area oggetto di verifica appartiene al Comune di Longare ed è collocato in zona pianeggiante caratterizzata da depositi alluvionali formatisi in concomitanza con le divagazioni dei corsi d'acqua principali che hanno solcato la pianura a partire dall'Olocene e che attualmente costituiscono il sistema idrografico del Fiume Bacchiglione e dei suoi tributari.

La complessità stratigrafica dei depositi alluvionali è determinata dal carattere meandriforme del corso d'acqua principale che ha colmato la pianura. Già in una stessa ansa fluviale si rileva una differenza nella tessitura del deposito: la parte convessa presenta i depositi sabbiosi più grossolani, legati ad una più alta energia di trasporto, mentre i depositi che si formano all'interno dell'ansa di un meandro presentano una granulometria limosa e limo-argillosa in quanto abbandonati con una ridotta velocità di trasporto. Inoltre, la presenza di condizioni stagnanti, come quelle che si presentano nelle circostanze di un taglio del meandro, al deposito fine argilloso si affiancano prodotti che contengono elevato contenuto di sostanza vegetale che in ambiente palustre riducendo si trasformano in strati lenticolari di torba.

In profondità i sedimenti sono presenti un materasso costituito da depositi periglaciali e fluvioglaciali caratterizzati da granulometria medio-fine; raramente sono presenti ghiaie e prevalgono le sabbie e i limi.



Dall'esame della carta geomorfologica e geolitologica tratta dal P.A.T. del comune di Longare (VI) (Fig.3) alla scala 1:10'000, si può notare come l'alveo del Fiume Brenta, in tale tratto di territorio, scorre in modo meandriforme con senso di scorrimento da nordovest a sudest con quote medie della piana di esondazione del terrazzamento di inferiore di circa 26.5 m s.l.m.m. I sedimenti presenti sono essenzialmente costituiti da depositi fluviali recenti con la presenza di materiali sciolti stabilizzati dalla vegetazione e soggetti a esondazioni anche in regime di piena non eccezionale.

I terreni che costituiscono i terrazzamenti a sud ovest verso Longare (rampa SP 20 di sud ovest) sono rappresentati da depositi alluvionali sciolti a tessitura sabbiosa o sabbioso limosa ben drenati.

Di rilievo risulta inoltre la presenza di paleoalvei sia a nord che a sud del ponte della Secula, assimilabili agli antichi rami fluviali del fiume Bacchiglione e caratterizzati da una scarsa consolidazione del deposito e per la quota topografica generalmente più depressa.

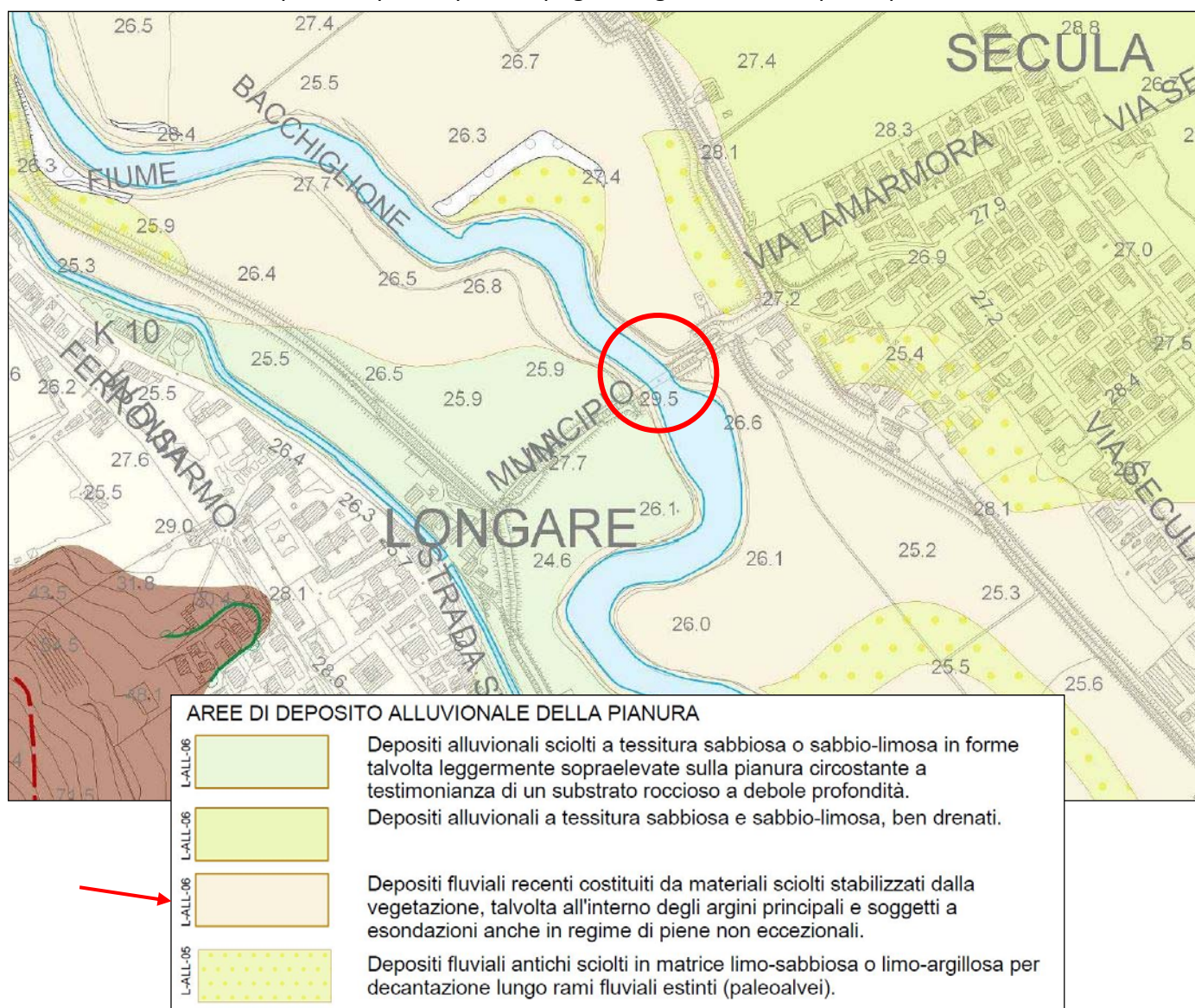


Fig. 3 - Carta geomorfologica e geolitologica - P.A.T. comune di Longare (VI) - Scala 1:10'000

#### 4. IDROGEOLOGIA

Dal punto di vista idrogeologico la zona è interessata da un acquifero di tipo freatico che attraversa sedimenti a medio bassa permeabilità. Dall'esame della carta idrogeologica tratta dal P.A.T. del comune di Longare (VI) (Fig.4) alla scala 1:10'000, si osserva come la direzione di deflusso locale di questo acquifero è Nordovest/Sudest (localmente anche Nord/Sud). Esso si trova in tale area ad una profondità compresa tra 2 e 5 metri da piano campagna, (si veda a tal proposito il Par. 7).

Tipico di questo settore della pianura vicentina è il sistema “*multifalde*” nel quale ai livelli argillosi impermeabili si intercalano livelli sabbiosi continui e permeabili che diventano sede delle falde in pressione. La presenza di acqua nei pozzi è da attribuire all’esistenza di un livello freatico che risiede nei livelli stratigrafici di natura sabbiosa posti a debole profondità dal piano di campagna.

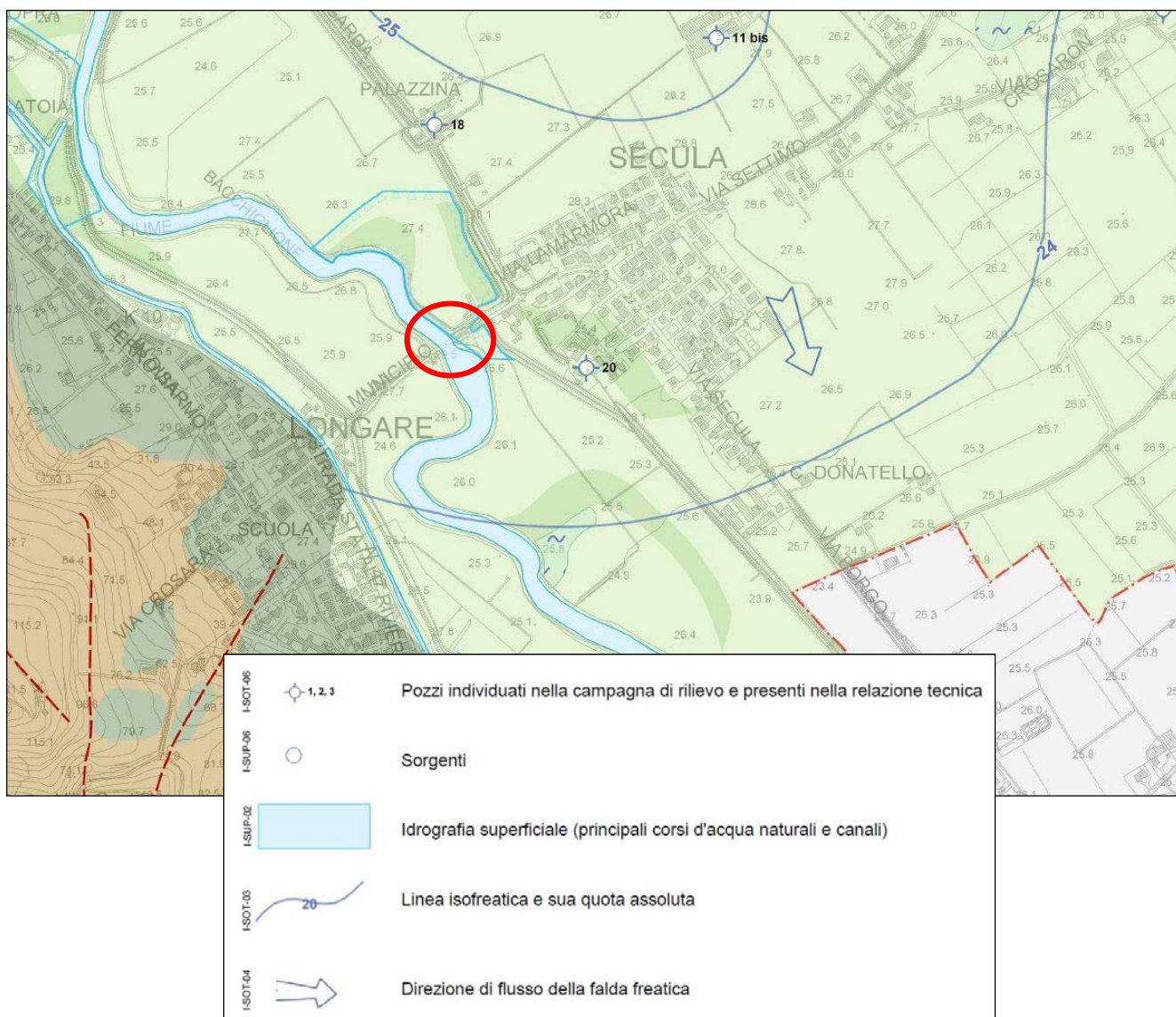


Fig. 4 - Carta idrogeologica – P.A.T. comune di Longare (VI) - Scala 1:10'000



## **5. PENALITÀ DI CARATTERE TERRITORIALE**

Allo scopo di valutare le penalità e i vincoli di carattere territoriale, è stata svolta una ricerca documentale riguardante la strumentazione tecnico – amministrativa cogente in materia di pianificazione territoriale.

Come si può osservare da Fig. 5 in cui si espone l'estratto della carta della compatibilità geologica e rischio geologico Idraulico del comune di Longare, Scala 1:10'000, l'alveo e l'area di golena risulta ad elevata esposizione e caratterizzata da sedimenti saturi ad elevata compressibilità e ovviamente definita come "area non idonea" ai fini edificatori.

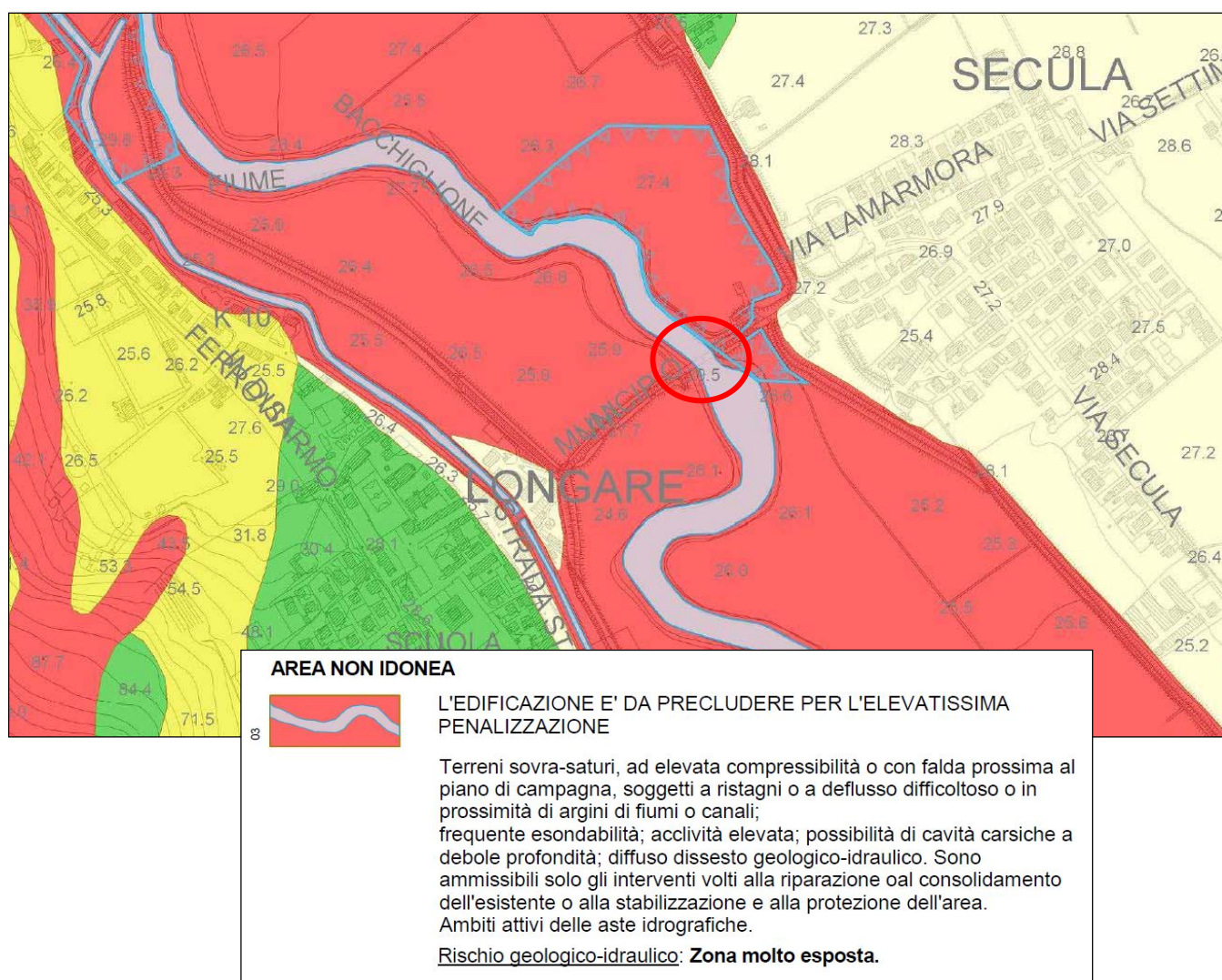


Fig. 5 – Estratto carta delle compatibilità geologica e rischio geologico idraulico P.A.T. comune di Longare (VI) - Scala 1:10'000

Dalla visione della carta della pericolosità idraulica dal Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione - Tavola 56 aggiornata al Decreto Segretariale n. 46 del 05/08/2014 (Fig. 6), l'area d'interesse si presenta in raea fluviale (di golena).

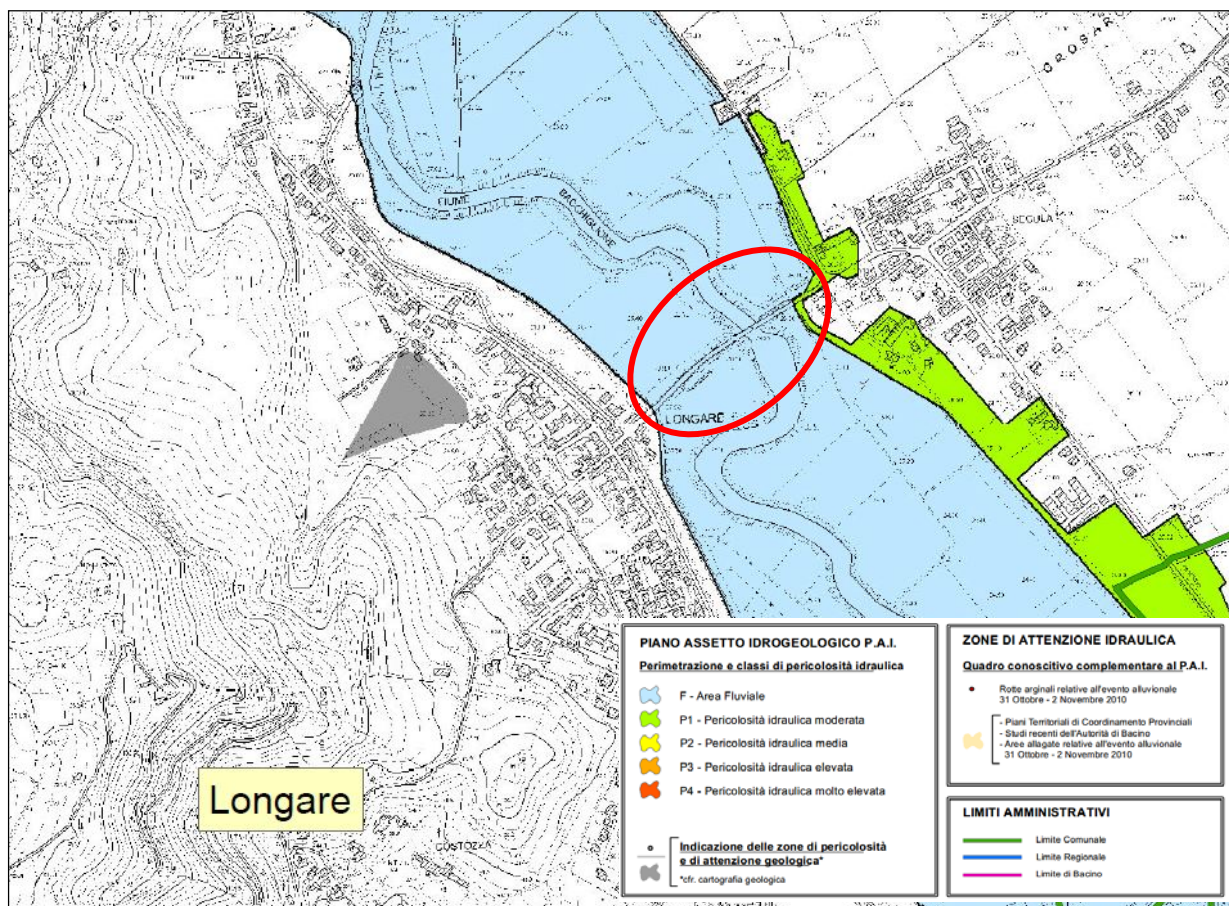


Fig. 6 – Estratto carta Piano stralcio per l'Assetto idrogeologico del bacino idrografico del fiume Brenta - Bacchiglione" – Tav. 56; Agg. Decreto segretariale n. 46 del 05/08/2014.

## **MODELLO GEOTECNICO E SISMICO DEI TERRENI**

### **6. INDAGINI GEOTECNICHE**

La campagna d'indagine è stata effettuata mediante l'esecuzione di complessive n° 2 prove penetrometriche statiche (CPT) spinte alla profondità massima di -25 m da p.c., effettuate in data 09/09/2019 secondo la norma UNI EN ISO 22476-12:2009.

- CPT n° 1 : -25.0 m;
- CPT n° 2 : -25.0 m;

#### **6.1 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE**

Il penetrometro statico adottato è di tipo "Geopan" da 20 Ton di spinta nominale con mono-ancoraggio disassato.

L'indagine e' eseguita tramite una colonna di aste prolungate a mano che precede la penetrazione. La colonna e' cava e all'interno presenta una serie di barre metalliche: agendo alternativamente sulle barre e sulla colonna delle aste e' possibile fare avanzare la punta e lo speciale manicotto che misura l'attrito laterale: mediante cella di carico vengono lette le resistenze istantanee a tale penetrazione.

L'ancoraggio al terreno per contrastare la spinta è ottenuto mediante l'infissione di un contrasto singolo (ancoraggio) posto frontalmente alla batteria d'infissione. Le modalità operative con tale apparecchiatura sono le seguenti:

- a) Avanzamento di 4 cm della sola punta, con misura della resistenza della punta  $R_p$ .
- b) Avanzamento di altri 4 cm del complesso (punta + manicotto) con misura della resistenza (punta + attrito locale); la pressione viene sempre esercitata sulle stesse aste, in quanto la punta trascina automaticamente il manicotto, dopo 4 cm di corsa;
- c) Infissione del rivestimento (8 cm) fino a raggiungere la punta e quindi di tutto il complesso per altri 12 cm.

#### **DIMENSIONI DELLE ASTE E DELLE PUNTE:**

- 1) Diametro esterno della colonna di penetrazione: 26 mm;
- 2) Superficie terminale del cono di penetrazione: 10 cm<sup>2</sup>;
- 3) Apertura del cono: 60°;



## 6.2 UBICAZIONE

L'ubicazione delle prove penetrometriche è stata fortemente influenzata dalla presenza di sottoservizi e manufatti idraulici che andranno attentamente individuati e valutati in sede di progettazione definitiva. In particolare si riportano le seguenti ubicazioni (si veda Tav. 1 e documentazione fotografica):

- CPT n° 1: Vicinanza spalla sud ovest posta sul primo terrazzamento alla fine della rampa di accesso all'area a verde in destra idrografica del fiume Bacchiglione;
- CPT n° 2: In vicinanza spalla nord est posta sul rilevato arginale in sinistra idrografica del fiume Bacchiglione:

I punti d'indagine sono riferiti al piano campagna – luogo esecuzione prova. Resta a carico della committente la quotatura dei punti di prova rispetto a un capo saldo (c.s.) di riferimento essendo poste a quote abbastanza differenti.

## 6.3 INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA

Nel diagramma penetrometrico allegato sono riportate, in funzione della profondità, le misure effettuate per ogni 0.20 m di avanzamento, della:

- *Resistenza alla punta  $q_c$  espressa in  $Kg/cm^2$ ;*
- *Resistenza di attrito laterale locale  $f_s$  in  $Kg/cm^2$ ;*

Per la differente ubicazione e quota di partenza delle verticali geotecniche eseguite e data la presenza di alcune discrepanze stratigrafiche, di seguito si riportano separatamente le interpretazioni stratigrafiche per ciascuna spalla investigata.

I valori di  $R_p$  (Resistenza di punta),  $C_u$  (coesione non drenata) e  $\phi$  (angolo di attrito interno) sono da considerarsi valori medi dello strato ottenuti indirettamente da valori ricavati da prove puntuali.

La descrizione stratigrafica, anch'essa ottenuta indirettamente dall'elaborazione dei dati medi dei valori meccanici sopra descritti, per poter rappresentare correttamente la situazione reale, deve essere sempre verificata mediante un sondaggio stratigrafico con il recupero dei materiali carotati e/o direttamente con prove in situ.

Si riporta in Fig. 7 i diagrammi penetrometrici.

Il Software utilizzato per l'analisi delle prove CPT è **Fondazio 7.31** del Dr. Diego Merlin.



Prendendo come quota di riferimento il piano esecuzione prova e procedendo verticalmente risultano individuati i seguenti livelli:

**CPT N° 1 – spalla sud ovest – destra idrografica.**

PROFONDITA' Da metri	a metri	qc Kg/cm <sup>2</sup>	Cu Kg/cm <sup>2</sup>	φ °	INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA
0.00	2.00	45 80 (41)	- - (1.3)	31 33 (30)	Terreno superficiale costituente il rilevato arginale (zona terrazzo inferiore) in matrice sabbiosa e sabbioso limosa di medio baso addensamento.
2.00	3.20	26 36 (20)	- - (0.8)	28 29 (27)	Limo e limo debolmente sabbioso.
3.20	7.80	7 9 4 3 10	0.35 0.45 0.2 0.15 0.5	- - - - -	Argilla di media bassa consistenza e argille molli e organiche.
7.80	9.00	42 60	- -	30 32	Sabbia da mediamente a poco addensata limosa.
9.00	17.80	84 120 160	- - -	33 35 36	Sabbia da mediamente a ben addensate (con decimetrici interlivelli sabbioso limosi a -11.6 m e a -17.8 m).
17.80	20.60	32 54 22	1.0 - 0.85	29 31 28	Sabbia da poco addensata a sciolta e limo.
20.60	25.00	110 130 80	- - -	34 35 33	Sabbia addensata e mediamente addensata.

Param. 068-2019 [1]							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H.m da	a	qc U.M.	qc/fs	γ' t/m <sup>3</sup>	σ'vo U.M.	Vs m/s	Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	FLs	FLI	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.
0.20	2.00	59.9	36.77	1.9	0.22	251	1.12	58.2	190.1	285.2	98	84	41	37	35	32	41	31			99.8	149.7	179.7
2.00	3.20	26.2	29.07	1.9	0.50	189	0.89	13.7	151.6	227.4	73	42	36	29	26	25	33	28			43.6	65.4	78.5
3.20	7.80	9.3	22.07	0.8	0.79	125	0.42	3.0	160.3	240.5	31	6	32	23	19	18	26	26			20.3	30.5	36.6
7.80	9.00	50.3	62.92	0.9	1.03	239	--	--	--	--	--	46	37	29	26	24	33	31			83.9	125.8	151.0
9.00	17.80	117.4	90.12	1.0	1.54	328	1.45	5.7	429.8	644.7	129	65	39	31	28	26	35	34			195.6	293.4	352.1
17.80	20.60	31.9	28.81	0.9	2.12	199	0.85	2.0	466.9	700.3	68	16	33	24	20	19	27	29			60.2	90.2	108.3
20.60	25.00	106.3	52.91	1.0	2.48	319	--	--	--	--	--	51	37	28	25	24	32	34			177.1	265.7	318.8

**Sezione geotecnica – CPT 1**



(Ubicazione CPT n° 1)

**CPT N° 2– spalla nord est – sinistra idrografica.**

PROFONDITA' Da metri	a metri	qc Kg/cm <sup>2</sup>	Cu Kg/cm <sup>2</sup>	φ °	INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA
0.00	2.40	55 45 26	- - -	31 31 28	Terreno superficiale costituente il rilevato arginale (zona terrazzo superiore) in matrice sabbiosa e limoso sabbiosa di basso addensamento.
2.40	3.80	15 18	0.67 0.75	- -	Limo argilloso e/o argilla limosa compatta.
<b>3.80</b>	<b>7.80</b>	<b>12</b> <b>10</b> <b>7</b> <b>5</b>	<b>0.6</b> <b>0.5</b> <b>0.35</b> <b>0.25</b>	- - - -	<b>Argilla di media consistenza con livelli argillosi molli e argilloso organici.</b>
7.80	9.40	13 24 39	1.25 0.9 -	- 28 30	Alternanze di argille limose e limi con sabbie poco addensate/sciolte.

9.40	15.20	84 120	- -	33 35	Sabbia mediamente addensate a tratti con sabbie limose (con decimetrico interlivello limosi a -12 m).
15.20	17.80	9 12 23 38	0.45 0.6 0.85 -	- - 28 30	Alternanze di livelli argillosi consistente con livelli limosi e sabbiosi poco addensati.
17.80	21.20	90 110 150 46	- - - -	33 34 36 32	Predominati sabbie addensate passanti a -19.6 ad alternanze di livelli sabbiosi da mediamente a poco addensati e livelli limosi.
21.20	23.40	13 15 18	0.6 0.67 075	- - -	Argilla consistente e argilla limosa.
23.40	25.00	120 150	- -	35 36	Sabbia addensata.

Param. 068-2019 [2]							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H.m da	a	qc U.M.	qc/fs	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	$\sigma'_{vo}$ U.M.	Vs m/s	Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	FLs	FLI	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.
0.20	2.40	43.8	46.04	1.9	0.26	226	0.97	39.4	164.1	246.2	84	73	40	36	33	31	39	30			73.0	109.5	131.5
2.40	3.80	17.9	19.53	1.9	0.59	163	0.74	8.6	152.8	229.2	57	46	37	30	27	25	34	28			46.7	70.0	84.0
3.80	7.80	9.6	21.17	1.2	1.00	128	0.46	2.6	215.6	323.4	37	--	31	21	18	17	25	26			17.5	26.3	31.5
7.80	9.40	22.5	46.63	0.9	1.26	174	0.69	3.0	329.5	494.2	54	17	33	24	21	19	28	28			41.1	61.7	74.0
9.40	15.20	75.0	82.09	1.0	1.61	274	0.63	2.0	353.5	530.2	48	50	37	29	26	24	33	33			132.6	198.9	238.7
15.20	17.80	21.2	25.92	0.9	2.01	168	0.61	1.4	355.4	533.1	48	17	33	24	20	19	27	29			58.3	87.5	105.0
17.80	21.20	90.4	80.64	1.0	2.30	288	1.07	2.4	507.3	761.0	89	44	37	27	24	23	31	33			158.6	238.0	285.6
21.20	23.40	21.9	24.72	0.9	2.57	172	0.73	1.3	431.5	647.2	56	10	32	22	19	18	26	29			55.4	83.1	99.8
23.40	25.00	127.0	75.09	1.0	2.76	341	--	--	--	--	--	54	38	29	26	24	32	35			211.7	317.5	381.0

**Sezione geotecnica – CPT 2**



*(Ubicazione CPT n° 2)*

## **7. NOTE IDROGEOLOGICHE**

Al termine dell'esecuzione delle prove penetrometriche si è misurato, per mezzo di una sonda freaticometrica, il livello dell'acqua all'interno dei fori di prova, così rilevati in data 09/09/2019:

- CPT n° 1 : -3.50 m;
- CPT n° 2 : -5.30 m;

I valori esposti sono puramente indicativi, data la metodologia di misura, e potrebbero subire delle variazioni a seconda delle condizioni meteorologiche. La misura risulta inoltre fortemente influenzata dalla quota topografica di ubicazione e dal regime idraulico del fiume Bacchiglione.

## **8. INDAGINE SISMICA**

### **8.1 PREMESSE**

Il giorno 6 Settembre 2019 è stata condotta la presente campagna d'indagine geofisica presso il Ponte della Secula in comune di Longare (VI). Al fine di caratterizzare, dal punto di vista sismico, il sottosuolo dell'area in esame sono stati utilizzati i metodi di prospezione sismica **Re.Mi. (Refraction Microtremor)** e **H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)**, due metodologie che consentono di ottenere un modello verticale delle Vs, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh, e non attraverso quelle di volume come invece accade per i metodi propri della sismica più tradizionale. Inoltre, la tecnica di Nakamura (HVSR) permette di stimare le frequenze fondamentali di risonanza del terreno, indispensabili per una corretta progettazione antisismica.

In particolare, sono state effettuate:

- **n°1 prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor)** sviluppata in un *array* lineare con n°16 geofoni a 4,5 Hz ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo e per l'assegnazione della categoria del sottosuolo di fondazione come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni – D.M. 17/01/2018*);
- **n°2 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)** per individuare le frequenze di risonanza del terreno al fine di eseguire una corretta progettazione sismica delle strutture.

Successivamente, la risposta sismica dei terreni oggetto d'indagine è stata indagata mediante un approccio al continuo in condizioni di monodimensionalità. La tecnica di risoluzione numerica adoperata è quella alle differenze finite (FDM) implementata nel codice di calcolo **FLAC 8.0 (ITASCA, 2018)**, operante nel dominio del tempo. Il codice effettua un'analisi lagrangiana del continuo risolto mediante uno schema di avanzamento temporale di tipo esplicito.

### **8.2 STRUMENTAZIONE IMPIEGATA**

#### **8.2.1 Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.)**

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Questo comportamento viene definito **dispersione in frequenza** ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al

contrario, le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico – matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati con caratteristiche elastiche lineari.

La procedura Re.Mi. è un metodo di prospezione sismica sviluppato presso l'Università di Reno in Nevada (Louie, 2001) e viene classificato come metodo passivo in quanto utilizza il rumore ambientale. I vantaggi promossi da questo metodo sono molteplici: è molto veloce e semplice da usare in fase di acquisizione, raggiunge una buona profondità e risoluzione d'indagine ma soprattutto permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati.

La fase di acquisizione deve essere effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni da prendere in sito e nella pianificazione della registrazione. Tutto è finalizzato alla registrazione di dati contenenti la miglior informazione possibile riguardo alla propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale - rumore.

Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, nel caso Re.Mi. rappresenta la fonte del segnale utile che si vuole registrare. I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh da quelli superiori e dall'aliasing spaziale. C'è, in questo caso, la necessità di soddisfare la condizione di "omnidirezionalità" delle sorgenti, cioè si suppone che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni.

I tempi di registrazione dei microtremori sono decisamente più elevati rispetto alle indagini di tipo attivo. La registrazione sarà analizzata in finestre temporali che variano dai 10 ai 30 secondi.

Sono da considerare la lunghezza dello stendimento  $L$  e la distanza intergeofonica  $\Delta x$ . Quest'ultima agisce sul segnale come una specie di filtro in frequenza. Supponendo, infatti, che il segnale arrivi da tutte le direzioni, maggiore è la spaziatura, minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa. Se la frequenza è più bassa aumenta la profondità d'indagine.

La fase più delicata è quella del *data processing*, che consiste nel trattamento dei dati acquisiti con l'obiettivo di stimare la velocità di fase delle onde di Rayleigh ( $V_r$ ) che sono correlabili con le velocità  $V_s$  di propagazione delle onde S ( $V_s \approx 1,1 V_r$ ).

Le varie tecniche di processing trasformano l'informazione registrata nel dominio  $x - t$  (spazio tempo), in un dominio dove l'energia associata all'evento è funzione della frequenza e di altre variabili. Tutto questo allo scopo, attraverso lo spettro, di localizzare la densità di energia maggiore, alla quale sono di solito associate le onde di Rayleigh. Con procedura manuale vengono selezionati dei punti sullo spettro, che andranno a formare la curva di dispersione sperimentale. La scelta di questi valori, denominata *picking*, è condizionata da alcune indicazioni ma è imprescindibile dall'abilità e dall'esperienza dell'interprete anche in base ad altre conoscenze in merito al sito in esame.



Il *sampling rate* utilizzato è stato di 512 Hz in modo da ottenere un elevato dettaglio del segnale. La durata (lunghezza temporale) del segnale registrato è stato di circa 6 minuti. Il software utilizzato per l'analisi spettrale è [Grilla v.7.0 beta release 2018](#).

Data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 10 Hz), sono stati utilizzati n° 16 geofoni verticali a 4.5 Hz uniti in un *array* lineare totalmente digitale (*SoilSpy Rosina*). Ogni geofono è munito di un digitalizzatore che converte il segnale e lo trasmette al sismografo tramite un'interfaccia USB. Tale sistema permette di avere elevati rapporti di rumore, un perfetto sincronismo e una estrema leggerezza. La spaziatura utilizzata tra i geofoni è stata di 3 m quindi la lunghezza complessiva di ogni profilo è risultata essere di 45 m. Non sono presenti sostanziali variazioni di quota e quindi il sito può essere considerato orizzontale.



Per una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde Vs è necessario adottare una modellizzazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$\hat{v}_s = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}} \quad [2.1]$$

Vs = valore di velocità delle onde di taglio [m/s];

H = profondità alla quale si desidera stimare Vs [m] (30 m in caso di Vs30);

hi = spessore dello strato i - esimo [m];

vi = velocità delle onde Vs all'interno dello strato i - esimo [m/s].

**In via puramente indicativa**, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano i valori tabulati da Borchardt (1992; 1994) assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004).

TIPO DI SUOLO	Vs min [m/s]	Vs media [m/s]	Vs max [m/s]
<b>ROCCE MOLTO DURE</b> (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
<b>ROCCE DURE</b> (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate)	700	1050	1400
<b>SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE</b> (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti,	375	540	700

ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)			
<b>ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - GHIAIOSI</b> (es. ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
<b>TERRENI TENERI</b> (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere)	100	150	200

### 8.2.2 Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)

La tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali o H.V.S.R., Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non richiede nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nel costruire edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito (*free field*) e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **velocità media delle onde di taglio Vs** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. Sarà quindi possibile calcolare la Vs,30 e la relativa categoria di sottosuolo come esplicitamente richiesto dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008*;
- la **stratigrafia del sottosuolo** con un *range* di indagine compreso tra 0,5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostante per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.



Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito  $x$  da uno strumento dipende:

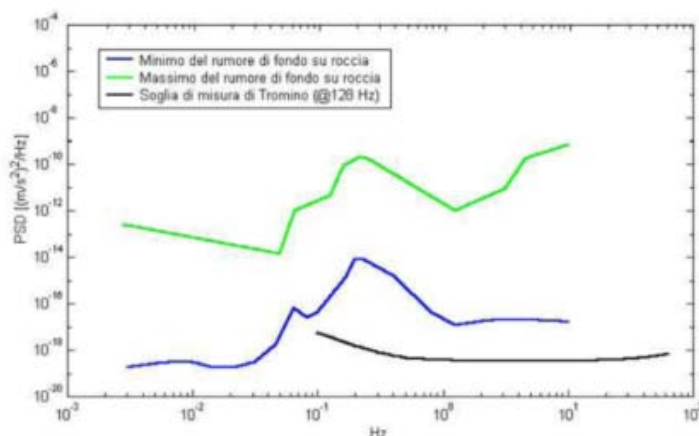
- dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente  $s$ ;
- dal percorso dell'onda dalla sorgente  $s$  al sito  $x$  (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
- dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

$$\text{segnale registrazione al sito } x = \text{sorgente} * \text{effetti di percorso} * \text{funzione trasferimento strumento}$$

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche *microtremore* poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi poiché il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nel tragitto dalla sorgente  $s$  al sito  $x$  le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione riguardante la sorgente è persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni concernenti il percorso del segnale e, in particolare, relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali del sottosuolo; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta MoHo S.r.l. modello "Tromino ENGY-PLUS" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra - leggeri e ultra - compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo



strumento racchiude al suo interno una terna velocimetrica con i sensori ortogonali tra loro e con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. Nella figura a fianco si riporta la curva di rumore di *“Tromino”* a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

### 8.3 EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA

La storia della classificazione sismica Italiana comincia dopo il terribile terremoto di Reggio Calabria e Messina del 1908 (XI grado MCS) che provocò la morte di circa 80.000 persone. In seguito a questo evento ci fu un deciso impegno dello Stato a tradurre in legge le conoscenze scientifiche e tecniche sulle costruzioni sino ad allora maturate. Fu così emanato il Regio decreto n°193 [1909] nel quale è contenuta la prima classificazione sismica del territorio Italiano. Negli anni a seguire si continuò ad aggiornare la normativa tecnica ampliando la classificazione in base alle zone colpite da eventi sismici. Nel 1962 fu pubblicata la Legge n°1684, in seguito ai terremoti di Carnia (1956), Valle del Velino (1961) e Irpinia (1962) dove, per la prima volta, si prescrisse l'applicazione delle norme sismiche ai comuni *“soggetti a intensi movimenti sismici”* e non solo a quelli colpiti dal terremoto. In seguito ai terremoti dei Monti Nebroli (1967), della Valle del Belice (1968) e di Toscana (1971), fu emanata la Legge n°64 [1974], che costituisce una pietra miliare nel panorama della normativa sismica poiché stabilì che la classificazione sismica dovesse procedere sulla base di comprovate motivazioni tecniche scientifiche.

La promulgazione dell'Ordinanza P.C.M. n°3274 del 20/3/2003 e successive modifiche ed integrazioni ha determinato sul panorama nazionale un grande rinnovamento sul fronte della normativa tecnica in zona sismica, rappresentata fino ad allora dai contenuti del D.M. 16 gennaio 1996. La principale novità introdotta dall'O.P.C.M. n°3274 è l'abbandono del carattere puramente prescrittivo e convenzionale che caratterizzava le norme tecniche di vecchia concezione, come il D.M. 16/01/1996, per abbracciare un'impostazione puramente prestazionale, in cui gli obiettivi della progettazione e quindi il livello di sicurezza sono esplicitamente dichiarati, a seconda della risposta sismica attesa per la struttura e il sito di costruzione, per un prefissato livello di severità dell'azione sismica.

Le attuali norme tecniche per le costruzioni (N.T.C. D.M. - 17 gennaio 2018) ereditano gran parte dei contenuti dell'O.P.C.M. n°3274 e delle N.T.C. D.M. - 14 gennaio 2008 in merito alla progettazione in zone sismiche; tuttavia rispetto a quest'ultimo documento sono anche stati apportati importanti cambiamenti, di cui forse il più rilevante riguarda la definizione dell'**azione sismica**.

Per comprendere pienamente il significato della nuova normativa è necessario rifarsi al concetto di **risposta sismica locale**. Dal punto di vista strettamente fisico, per effetto di sito (risposta sismica locale) s'intende l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S). Nel presente lavoro si sfrutterà la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale  $H / V = 1$ ) con quello effettivamente misurato in superficie.

Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze che corrispondono alle frequenze naturali  $f_n$  di vibrazione del deposito:

$$f_n = 1 / T_n = (V_s * (2n - 1)) / (4 * H) \quad \text{con } n = 1, 2, \dots, \quad [3.1]$$

mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito denominata frequenza fondamentale di risonanza:

$$f_1 = 1 / T_1 = V_s / 4H \quad [3.2]$$

E' quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di "**doppia risonanza**", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero gravose.

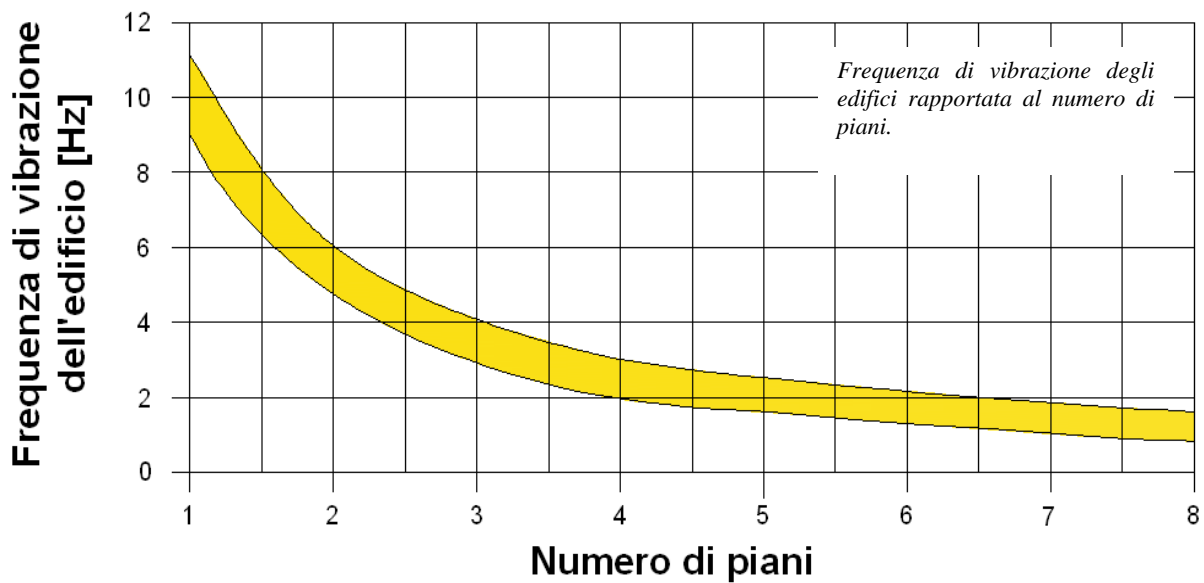
Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$freq. \text{ naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}. \quad [3.3]$$

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$freq. \text{ naturale edificio} \approx freq. \text{ fondamentale di risonanza del sito} \quad [3.4]$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché da luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.



#### 8.4 CENNI TEORICI DI ANALISI DINAMICA AVANZATA (FLAC 2D – ITASCA, 2018)

Il codice di calcolo FLAC 2D v.8.0 (Fast Lagrangian Analysis of Continua) della Itasca (2018) è basato sul metodo delle differenze finite con un procedimento di tipo esplicito. La flessibilità nella modellazione della geometria del problema, la disponibilità di elementi strutturali, l'elevato numero di modelli costitutivi implementati e la possibilità di svilupparne nuovi, rendono FLAC idoneo allo studio di praticamente tutti i problemi riguardanti il comportamento meccanico di mezzi continui (terreni, rocce, ecc.) e di strutture interagenti. Sviluppato inizialmente per le applicazioni di ingegneria geotecnica e ingegneria mineraria in campo statico ha trovato successivamente, con l'introduzione del modulo dinamico, largo impiego anche per la soluzione di problemi di risposta sismica locale. Il codice di calcolo FLAC, anche per i problemi in campo statico, risolve le equazioni di equilibrio dinamico di un mezzo continuo:

$$\rho \cdot \frac{\partial \dot{u}_i}{\partial t} = \sum_j \frac{\partial \tau_{ji}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (3.10)$$

di

- $\rho$  è la densità
- $x_i$  la componente  $i$ -esima del vettore posizione
- $\dot{u}_i$  la componente  $i$ -esima del vettore velocità
- $g_i$  la componente dell'accelerazione di gravità (forze di volume) lungo la direzione  $i$
- $\tau_{ji}$  la generica componente del tensore degli sforzi.

Il comportamento meccanico dei materiali è espresso dalla legge costitutiva:

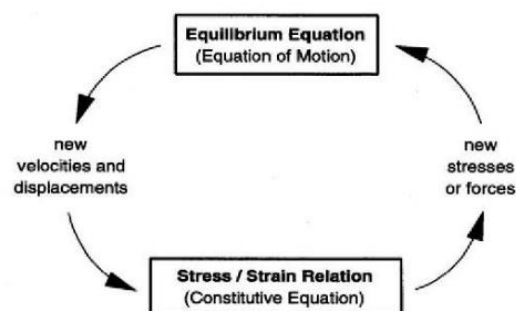
$$\tau_{ji} = M(\tau_{ji}; \dot{e}_{ij}; k) \quad (3.11)$$

dove  $k$  è un parametro che tiene conto della storia di carico,  $M$  un funzionale e  $\dot{e}_{ij}$  il tensore velocità di deformazione espresso dalla:

$$\dot{e}_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \dot{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.12)$$

I materiali vengono rappresentati da elementi quadrilateri, o zone, che formano una griglia (mesh) che può essere configurata dall'utente in modo da modellare contatti stratigrafici e morfologie superficiali anche complesse e irregolari. A ciascuna zona si assegnano le proprietà fisiche e meccaniche che ne caratterizzano il comportamento nell'analisi. I vertici di ogni zona costituiscono i nodi della griglia.

I metodi alle differenze finite come quelli agli elementi finiti traducono un sistema di equazioni differenziali come le (3.10) in un sistema di equazioni algebriche. Se i metodi agli elementi finiti hanno come punto centrale la definizione delle funzioni di forma che descrivono la variazione delle grandezze che interessano il problema (tensioni, deformazioni) attraverso ciascun elemento, nei metodi alle differenze finite si prescinde da questa definizione delle funzioni di forma, e le equazioni algebriche vengono scritte direttamente in termini di variabili di campo (tensioni, spostamenti) definite nei nodi della mesh. In sintesi, l'algoritmo risolutivo dell'approccio esplicito si articola secondo il ciclo indicato nella seguente figura.

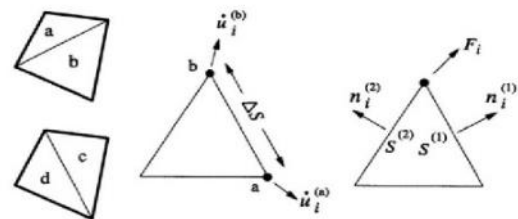


Ad ogni nuovo passo di calcolo (step), vengono risolte le equazioni di equilibrio dinamico, per cui dalle tensioni e dalle forze si ottengono i valori corrispondenti delle velocità di deformazione e degli spostamenti; successivamente dalle velocità di deformazione, attraverso le equazioni dei legami costitutivi, si giunge a valori aggiornati delle tensioni.

L'ipotesi base dell'approccio esplicito consiste nel fatto che, durante ciascuna fase, le grandezze vengono ricavate da altre grandezze i cui valori sono assunti costanti durante l'operazione. Ad esempio, i valori delle velocità di deformazione sono considerati fissi durante l'operazione di

calcolo delle tensioni mediante le leggi costitutive; in altre parole, i nuovi valori calcolati delle tensioni non influenzano le velocità. Questo può apparire poco accettabile dal punto di vista fisico poiché se c'è una variazione di tensione in un punto, questa necessariamente influenza i punti vicini alterandone le velocità di deformazione. Tuttavia se l'intervallo di tempo  $\Delta t$  (timestep) corrispondente al singolo ciclo di calcolo è sufficientemente piccolo, tale alterazione non può propagarsi da un elemento all'altro in tale intervallo. Tale approccio si è dimostrato particolarmente efficiente nella modellazione di problemi non lineari in presenza di grandi deformazioni. Per contro, essendo il  $\Delta t$  richiesto generalmente molto piccolo, sono necessari un gran numero di passi di integrazione cui corrispondono tempi di calcolo molto elevati.

Gli elementi quadrangolari della griglia vengono automaticamente suddivisi dal programma in due set sovrapposti di triangoli a deformazioni costanti. Le equazioni alle differenze finite



per ogni triangolo si ottengono dalla forma generalizzata del teorema della divergenza di Gauss:

$$\int_S \mathbf{f} \cdot \hat{\mathbf{n}} \cdot d\mathbf{s} = \int_A \text{div } \mathbf{f} \cdot dA \quad (3.13)$$

in cui:

$\mathbf{n}$  è il versore normale al contorno  $S$  del dominio triangolare

$\mathbf{f}$  la funzione generica (scalare, vettore o tensore)

$A$  la superficie del dominio triangolare di contorno  $S$

$ds$  la lunghezza incrementale lungo il contorno  $S$ .

Sostituendo ad  $\mathbf{f}$  un valore medio del vettore velocità la relazione precedente consente di scrivere:

$$\frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x_i} \cong \frac{1}{2A} \sum_s \left( \dot{u}_i^{(a)} + \dot{u}_i^{(b)} \right) n_j \Delta s \quad (3.14)$$

dove (a) e (b) sono due nodi consecutivi sul generico lato del triangolo. Attraverso la (3.12) e la (3.14) è quindi possibile calcolare tutte le componenti del tensore velocità di deformazione. La legge costitutiva è poi utilizzata per calcolare un nuovo valore del tensore delle tensioni. Calcolate le tensioni vengono calcolate le forze equivalenti applicate ai nodi. Le tensioni agiscono in ciascun triangolo come trazioni sui lati del triangolo stesso; ogni trazione è considerata equivalente a due forze agenti sui due nodi all'estremità del lato. Su ogni nodo del triangolo quindi agiscono due forze relative ai due lati convergenti nel nodo stesso:

$$\mathbf{F}_i = \frac{1}{2} \tau_{ji} \left( n_i^{(1)} S^{(1)} + n_i^{(2)} S^{(2)} \right) \quad (3.15)$$

Infine per ciascun nodo vengono sommate tutte le forze dovute ai triangoli convergenti nel nodo, le forze dovute a eventuali carichi esterni applicati e le forze di volume dovute alla gravità. In tal modo viene determinata la forza nodale netta  $\Sigma F_i$ ; se  $\Sigma F_i = 0$  il nodo è in equilibrio altrimenti subirà un'accelerazione espressa dalla seconda legge di Newton, nient'altro che la (3.10) espressa in termini incrementali:

$$\dot{u}_i \left( t + \frac{\Delta t}{2} \right) = \dot{u}_i \left( t - \frac{\Delta t}{2} \right) + \left[ \sum F_i^{(t)} \right] \frac{\Delta t}{m} \quad (3.16)$$

dove l'apice indica il tempo in corrispondenza del quale è valutata la variabile e  $m$  è la massa associata a ciascun nodo pari alla somma di un terzo delle masse dei triangoli convergenti

nel nodo. Dalla relazione precedente si determinano nuovi valori della velocità e quindi del tensore velocità di deformazione per un nuovo ciclo.

Come detto, condizione essenziale dell'algoritmo descritto, è che il time step  $\Delta t$  corrispondente al singolo ciclo di calcolo sia sufficientemente piccolo da rendere accettabile l'approssimazione di tensioni e velocità costanti sul singolo step di calcolo. In particolare  $\Delta t$  deve essere inferiore ad un time step critico  $\Delta t_{crit}$  definito dalla:

$$\Delta t_{cr} = \min \left\{ \frac{A}{V_p \Delta x_{max}} \right\} \quad (3.17)$$

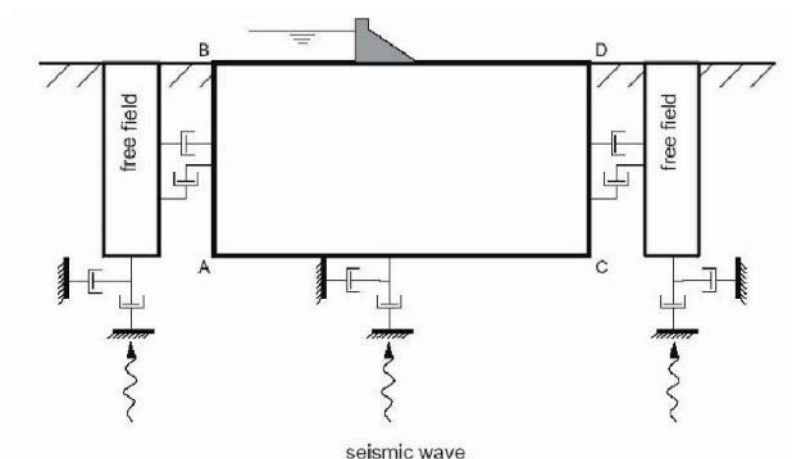
dove A è la superficie del sub-elemento triangolare,  $\Delta x_{max}$  la dimensione massima della zona (in genere la diagonale) e  $V_p$  la velocità delle onde di compressione. La funzione minimo è presa su tutte le zone. Il timestep critico è tanto più piccolo (e i tempi di calcolo quindi tanto più elevati) quanto più la rigidità del materiale è elevata e quanto più piccolo è l'elemento. Il  $\Delta t$  di calcolo viene determinato internamente da FLAC applicando un coefficiente di sicurezza due al valore fornito dalla (3.17).

Particolare attenzione va posta nella scelta delle dimensioni degli elementi della mesh in quanto queste condizionano in maniera fondamentale l'accuratezza numerica della trasmissione delle onde. In particolare, per un'accurata modellazione viene consigliato di scegliere una altezza degli elementi  $h$  almeno pari ad un valore compreso tra un decimo ed un ottavo della minima lunghezza d'onda di interesse  $\lambda_{min}$ :

$$h \leq \frac{\lambda_{min}}{10} \quad (3.18)$$

La lunghezza d'onda che corrisponde alla massima frequenza di interesse ed è legata ad essa dalla velocità di propagazione delle onde di taglio. I metodi alle differenze finite, così come quelli agli elementi finiti, si basano sulla discretizzazione, tramite una mesh di nodi, di una porzione finita dello spazio per cui appropriate condizioni al contorno vanno imposte ai confini artificiali di tale regione. In ogni problema di propagazione di onde sismiche, parte dell'energia si allontana indefinitamente dalla regione di interesse verso il semispazio circostante per fenomeni di diffrazione e riflessione dando luogo ad una "perdita" di energia indicata come smorzamento di radiazione. Al fine di modellare correttamente questo fenomeno, FLAC consente di minimizzare la riflessione delle onde sui contorni della mesh imponendo su questi condizioni di campo libero (free field boundaries) o viscose (quiet boundaries). La definizione delle condizioni al contorno è strettamente correlata all'applicazione della sollecitazione dinamica, come discusso in seguito.

I contorni free-field consistono sostanzialmente in colonne monodimensionali di larghezza unitaria, situate ai lati del modello, che simulano il comportamento di un mezzo infinitamente esteso (figura seguente).



In pratica, essi riproducono il moto libero del terreno che si avrebbe in assenza della configurazione bidimensionale ed allo stesso tempo impediscono la riflessione ai bordi della mesh delle onde diffratte verso l'esterno. Come illustrato, i singoli nodi dei contorni laterali della griglia principale vengono accoppiati alla griglia free-field attraverso smorzatori viscosi che materialmente assorbono l'energia delle onde incidenti sui contorni, applicando delle forze viscosi proporzionali alla differenza tra il campo di velocità esistente al bordo e quello in condizioni free-field. Prima dell'applicazione delle condizioni free-field durante l'analisi dinamica il modello deve essere in condizioni di equilibrio statico, per cui è necessario eseguire una analisi statica preliminare per determinare lo stato tensionale e deformativo all'interno del modello. All'atto dell'applicazione delle condizioni free-field quindi tutte le variabili di stato determinate dall'equilibrio statico vengono applicate alle colonne monodimensionali ai bordi del modello. I contorni free-field sono di notevole utilità in quanto consentono di evitare l'allontanamento dei confini laterali altrimenti necessario, in assenza di confini assorbenti, per la minimizzazione delle onde riflesse dai contorni.

I contorni quiet sono invece costituiti, secondo la formulazione di Lysmer e Kuhlemeyer (1969), da smorzatori viscosi attaccati alla griglia ed agenti in direzione normale e tangenziale al contorno stesso; essi consentono un pressoché completo assorbimento delle onde di volume che incidono sul contorno. I contorni quiet possono essere applicati su contorni verticali, orizzontali o inclinati. Essi vanno applicati al confine inferiore della mesh per simulare la base elastica mentre ai bordi del modello, come detto, è preferibile l'utilizzo dei contorni free-field.

Le sollecitazioni dinamiche possono essere applicate sia ai bordi della mesh sia ai suoi nodi interni in una delle seguenti forme:

- ✓ storia temporale di accelerazioni
- ✓ storia temporale di velocità
- ✓ storia temporale di tensioni
- ✓ storia temporale di forze.

Nell'applicare la sollecitazione dinamica, bisogna però tenere conto di alcune limitazioni che derivano da particolari incompatibilità tra forme di applicazione dell'input e delle condizioni al contorno. Se, ad esempio, queste sono rappresentate da quiet boundaries (come avviene solitamente per il bordo inferiore della mesh) il loro effetto viene annullato se si applica un accelerogramma o una storia di velocità. In questo caso quindi la base è modellata come rigida cioè perfettamente riflettente dando luogo a irrealistiche sovrastime del moto sismico.



Per simulare correttamente una base elastica occorre applicare ai quiet boundaries alla base della mesh una storia temporale di tensioni. A tal fine, un accelerogramma di input deve essere integrato per ottenere una storia temporale di velocità e questa viene infine convertita in tensioni tramite le seguenti relazioni:

$$\sigma_n = 2(\rho V_p) v_n \quad \sigma_s = 2(\rho V_s) v_s \quad (3.19)$$

dove:

$\rho$  è la densità

$\sigma_n, \sigma_s$  rispettivamente tensione applicata in direzione normale e tangenziale al contorno

$V_p, V_s$  rispettivamente velocità delle onde di compressione e di taglio del materiale che viene simulato al di sotto del contorno inferiore (costituente la base elastica)

$v_n, v_s$  rispettivamente la velocità di input normale e tangente al contorno.

In definitiva quindi un input costituito da onde SV sarà applicato come una storia temporale di tensioni tangenziali mentre le onde P tramite una storia temporale di tensioni normali al contorno. Entrambe le sollecitazioni sono applicate con incidenza verticale.

La non linearità e le proprietà dissipative dei terreni possono essere modellate in FLAC secondo differenti modalità: attraverso l'adozione di un legame costitutivo propriamente non lineare o, a partire dalla versione 8.0 (Itasca, 2016), tramite semplici modelli di smorzamento isteretico. Le proprietà dissipative possono altresì essere modellate attraverso la formulazione di Rayleigh.

L'adozione di una legge sforzi-deformazione non lineare rappresenta, teoricamente, il modo più efficace per tenere conto della degradazione di rigidità al procedere della deformazione e della dissipazione di energia per isteresi. Questi modelli possono essere accoppiati con modelli di filtrazione per simulare la generazione e dissipazione di eccessi di pressioni neutre e/o fenomeni di liquefazione e consentono inoltre la valutazione delle deformazioni permanenti. Dal punto di vista pratico però spesso i modelli non lineari sono complessi e richiedono la definizione di molti parametri e lunghi processi di calibrazione.

La complessità dei modelli non lineari e la comodità di un utilizzo diretto delle curve  $G/G_0$ - $\gamma$  e  $D$ - $\gamma$  generalmente fornite dalle prove di laboratorio e dalle correlazioni empiriche ha portato all'introduzione di semplici modelli di smorzamento isteretico (hysteretic damping) nella recente versione 5.0 del codice. Durante ciascun step di calcolo, in funzione del valore medio del tensore di velocità di deformazione, viene restituito un fattore moltiplicativo da usarsi nel legame costitutivo in modo da correggere il valore del modulo tangente di taglio associato a ciascun elemento. Il modello isteretico implementato utilizza solo curve continue che esprimono la variazione del modulo di taglio con la deformazione tangenziale, quindi i parametri da fornire in input, che definiscono la forma di tali curve, vanno ricavati attraverso regressione dei dati sperimentali. Analisi di calibrazione dello smorzamento isteretico sono necessarie prima di un suo uso nella pratica corrente.

Nel caso di analisi lineari, o per modellare comunque lo smorzamento a basse deformazioni che spesso i legami costitutivi non lineari non riescono a cogliere, si può utilizzare la

formulazione di Rayleigh. Essa conduce ad uno smorzamento dipendente dalla frequenza in contrasto con le evidenze sperimentali sul comportamento dei terreni. Il suo impiego richiede pertanto una oculata scelta dei parametri che lo definiscono per limitare la variazione dello smorzamento con la frequenza (Lanzo et al., 2003 e 2004). Lo smorzamento di Rayleigh è stato originariamente formulato per le analisi strutturali ed è espresso in forma matriciale attraverso la definizione di una matrice di smorzamento  $C$  proporzionale alla matrice di massa  $M$  e a quella di rigidezza  $K$ :

$$C = \alpha_R M + \beta_R K \quad (3.20)$$

dove  $\alpha_R$  e  $\beta_R$  sono i coefficienti di Rayleigh che hanno dimensione rispettivamente di  $s^{-1}$  e  $s$ . E' possibile dimostrare (Chopra, 1995) che lo smorzamento  $\xi_j$  associato al  $j$ -esimo modo di vibrazione del deposito è espresso dalla:

$$\xi_j = \frac{1}{2} \left( \frac{\alpha_R}{\omega_j} + \beta_R \omega_j \right) \quad (3.21)$$

dove  $\omega_j$  è la frequenza circolare relativa al modo  $j$ .

I coefficienti di Rayleigh vengono comunemente determinati attraverso due procedure, a seconda che si fissi il valore dello smorzamento modale in corrispondenza di una o due frequenze naturali opportunamente selezionate (dette frequenze di controllo). Il codice FLAC adotta la prima procedura in accordo alla quale i coefficienti di Rayleigh sono espressi dalle:

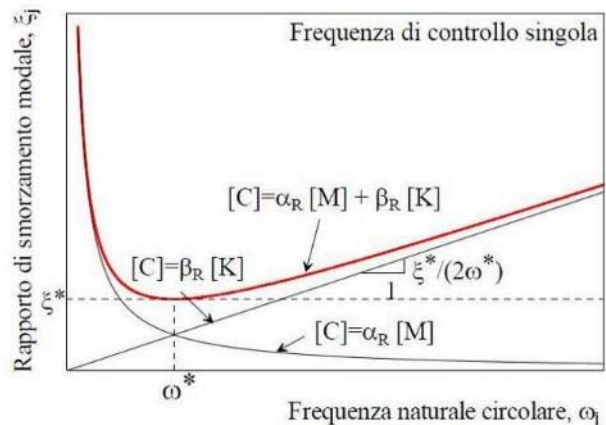
$$\alpha_R = \xi^* \omega^* \quad , \quad \beta_R = \frac{\xi^*}{\omega^*} \quad (3.22)$$

avendo fissato lo smorzamento modale al valore  $\xi$  in corrispondenza della singola frequenza  $\omega$ .

Per ciascun elemento della mesh occorre specificare il rapporto di smorzamento  $\xi^*$  del materiale e la frequenza  $\omega^*$ . A titolo di esempio, nel caso di smorzamento  $\xi^*$  e frequenza  $\omega^*$  costante per tutto il deposito, è possibile dimostrare che un'analisi lineare eseguita con FLAC fornisce gli stessi risultati di un'analisi modale con rapporto di smorzamento modale dell'intero sistema variabile con la frequenza circolare naturale  $\omega_j$  secondo la:

$$\xi_j = \frac{\xi^*}{2} \left( \frac{\omega^*}{\omega_j} + \frac{\omega_j}{\omega^*} \right) \quad (3.23)$$

riportata nella figura seguente, nella quale si nota come  $\xi_j$  assuma un minimo (pari al valore imposto  $\xi^*$ ) in corrispondenza della frequenza di controllo  $\omega^*$  mentre sia sovrastimato nel campo dei valori maggiori e minori di  $\omega^*$ . La formulazione di Rayleigh viene applicata a livello del singolo elemento della mesh per cui, tra i dati di input, occorre specificare per ciascun elemento il valore del rapporto di smorzamento del materiale che lo costituisce  $\xi^*$  e la frequenza di controllo  $\omega^*$  (o meglio il valore  $f^*$ ). La scelta di  $f^*$  è cruciale per fissare il campo di frequenza in corrispondenza del quale lo smorzamento mostra variazioni contenute rispetto a  $\xi^*$ . In generale,  $f^*$  deve essere scelta nel campo di frequenza significativo per il problema in esame sia in termini di frequenze naturali del sistema che di frequenze predominanti dell'input. In prima approssimazione si può collocare  $f^*$  tra la frequenza fondamentale del sistema e la frequenza predominante dell'input (frequenza corrispondente al massimo dello spettro di Fourier o di risposta). Se questi valori sono distanti è comunque opportuno esaminare con analisi parametriche l'influenza sui risultati delle diverse scelte di  $f^*$ .



In definitiva occorre quindi fornire in input, per ciascun materiale, i seguenti parametri:

- peso dell'unità di volume
- nel caso di analisi lineari modulo di taglio ( $G_0$ ) e di elasticità volumetrico ( $k$ ), o, in alternativa modulo di Young ( $E$ ) e coefficiente di Poisson ( $\nu$ ); nel caso di analisi non lineari occorre fornire i parametri caratteristici del modello adottato
- rapporto di smorzamento ( $\xi^*$ ) e frequenza di controllo ( $f^*$ ) se si adotta la formulazione di Rayleigh.

In uscita il codice offre notevoli potenzialità potendo restituire la storia temporale di tutte le grandezze di interesse: spostamenti, velocità, accelerazioni, deformazioni e tensioni. L'interfaccia grafica consente inoltre di costruire ed esportare grafici delle sopra citate grandezze in funzione della profondità o lungo un generico profilo.

## 8.5 UBICAZIONE DELLE MISURE

Si riporta di seguito l'ubicazione delle misure effettuate come indicato anche in Tav. 1.



## 8.6 ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

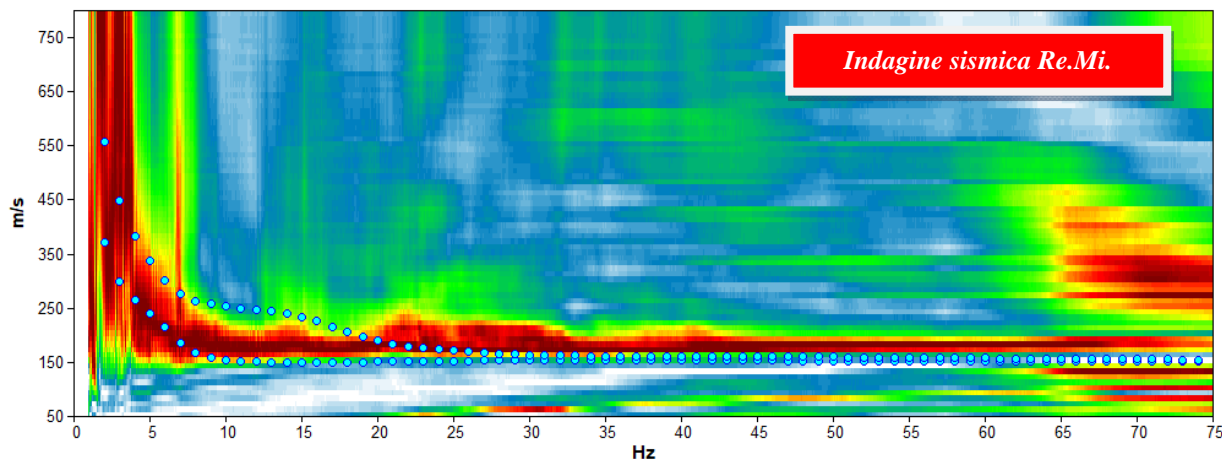
### 8.6.1 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate

L'utilizzo incrociato delle due tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismo-stratigrafico del sottosuolo robusto e affidabile in corrispondenza della zona d'interesse. L'indagine Re.Mi. ha individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle onde S mentre la prospezione passiva a stazione singola (H.V.S.R.), tramite inversione congiunta, ha stimato il grado di rigidità della copertura profonda. Inoltre, la misura H.V.S.R. ha determinato le frequenze di risonanza di sito cioè i valori di frequenza attesi in superficie in occasione di evento sismico.

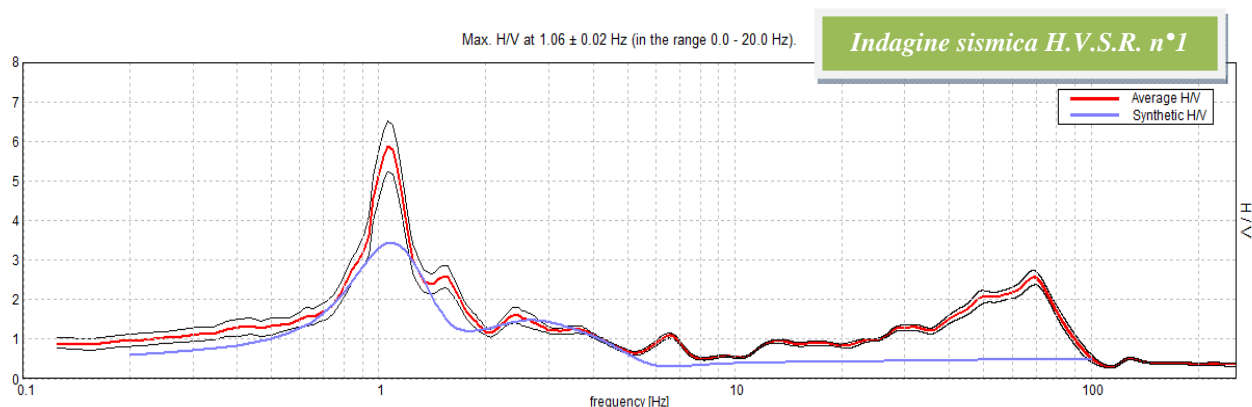
**L'attendibilità del modello sismo-stratigrafico desunto è da considerarsi elevata** poiché la coerenza del segnale è buona e lo spettro di velocità è ben definito nel modo fondamentale per quasi tutte le frequenze campionate. Il programma di elaborazione utilizzato permette di considerare non solo il modo fondamentale ma, una volta individuati, anche i modi superiori per vincolare con maggior attendibilità la ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo.



## 8.6.2 Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta HVSR 1

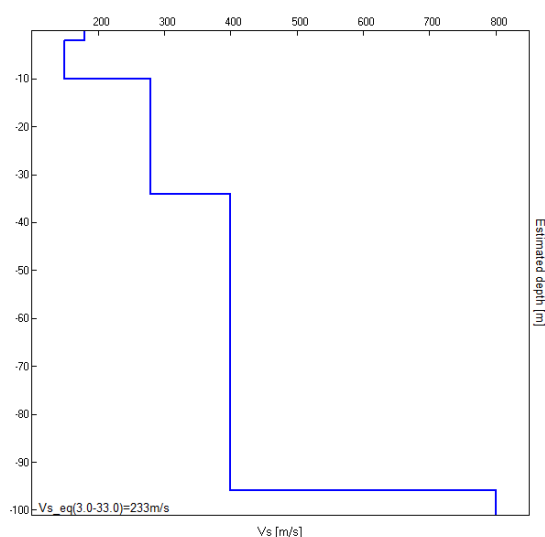


*Spettro di velocità: il modo fondamentale è presente in tutte le frequenze campionate. Il segnale si presenta con una buona coerenza. In blu le curve sintetiche create da una modellizzazione diretta delle onde S.*



*La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo.*

La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 9 m dal p.c. locale caratterizzato da una  $V_s$  di circa 150 - 180 m/s mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità aumenta con valori di circa 280 m/s (vedi *modello sismo – stratigrafico interpretativo* riportato a seguire).



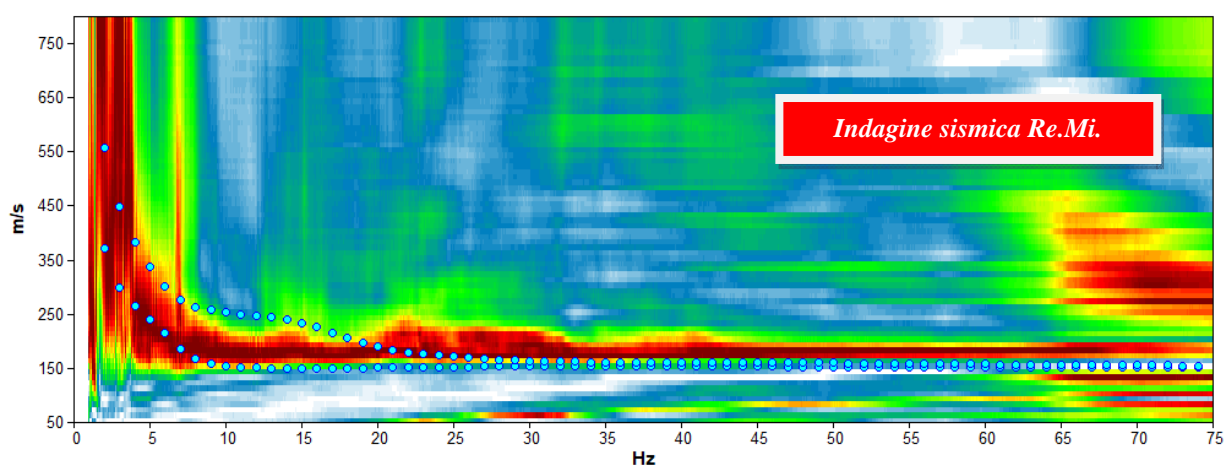
Un ulteriore incremento delle velocità è stato riscontrato a circa 33 m dal piano campagna con le Vs che raggiungono valori di circa 400 m/s.

Il *bedrock* geofisico ( $V_s=800$  m/s), inteso come quel materiale con Vs maggiori di 800 m/s, è stato individuato a circa 95 m dal p.c. locale.

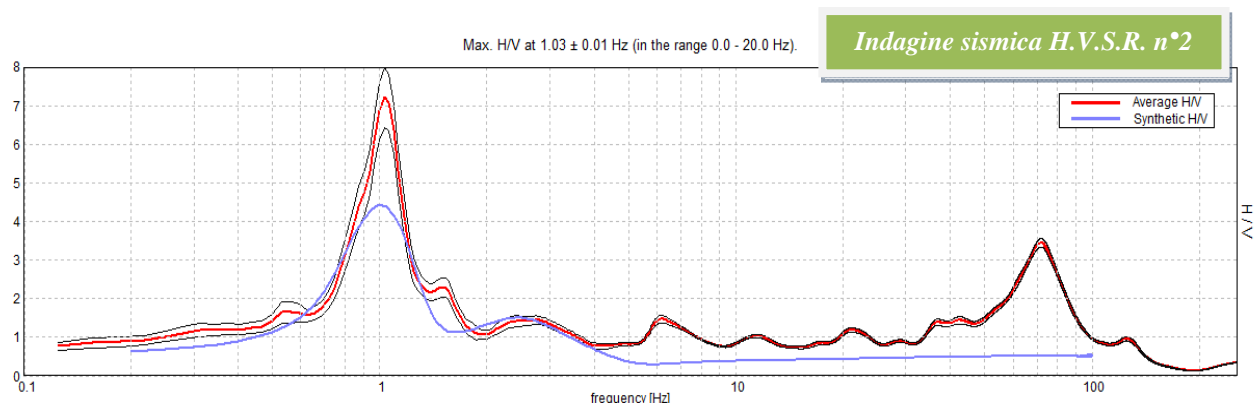
Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (*modello sismo - stratigrafico interpretativo*):

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	180	2	0,0 – 2,0
II SISMOSTRATO	150	7	2,0 – 9,0
III SISMOSTRATO	280	24	9,0 – ≈33
IV SISMOSTRATO	400	62	≈33 – ≈95
V SISMOSTRATO	800	Semisp.	≈95 – Semisp.

#### 8.6.3 Indagine sismica passiva in array (Re.Mi) con inversione congiunta con HVSR2



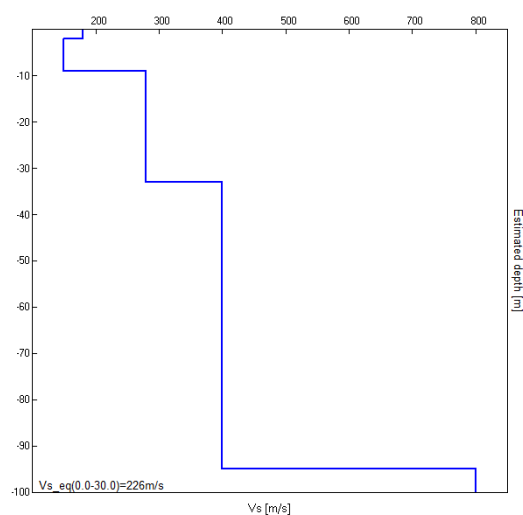
*Spettro di velocità: il modo fondamentale è presente in tutte le frequenze campionate. Il segnale si presenta con una buona coerenza. In blu le curve sintetiche create da una modellizzazione diretta delle onde S.*



*La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo.*

La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 9,2 m dal p.c. locale caratterizzato da una  $V_s$  di circa 150-190 m/s mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità aumenta con valori di circa 270 m/s (vedi *modello sismo – stratigrafico interpretativo* riportato a seguire). Un ulteriore incremento delle velocità è stato riscontrato a circa 31 m dal piano campagna con le  $V_s$  che raggiungono valori di circa 380 m/s.

Il *bedrock* geofisico ( $V_s=840$  m/s), inteso come quel materiale con  $V_s$  maggiori di 800 m/s, è stato individuato a circa 100 m dal p.c. locale.



Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (*modello sismo - stratigrafico interpretativo*):

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	190	2,2	0,0 – 2,2
II SISMOSTRATO	150	7	2,2 – 9,2
III SISMOSTRATO	270	22	9,2 – ≈31
IV SISMOSTRATO	380	68	≈31 – ≈99
V SISMOSTRATO	840	Semisp.	≈99 – Semisp.

#### 8.6.4 Indagine sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.)

Nel caso specifico del sito in esame si è cercato di correlare i valori di picco, dello spettro di risposta HVSR, con le frequenze fondamentali di risonanza di sito.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si sono potute ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica.

E' ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l'ipotesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un'onda sismica e quella naturale dell'edificio.

Le misura H.V.S.R. effettuate nei due punti sono state sovrapposte tra loro nell'immagine seguente (la linea rossa corrisponde alla misura n°2; la linea verde alla misura n° 1).

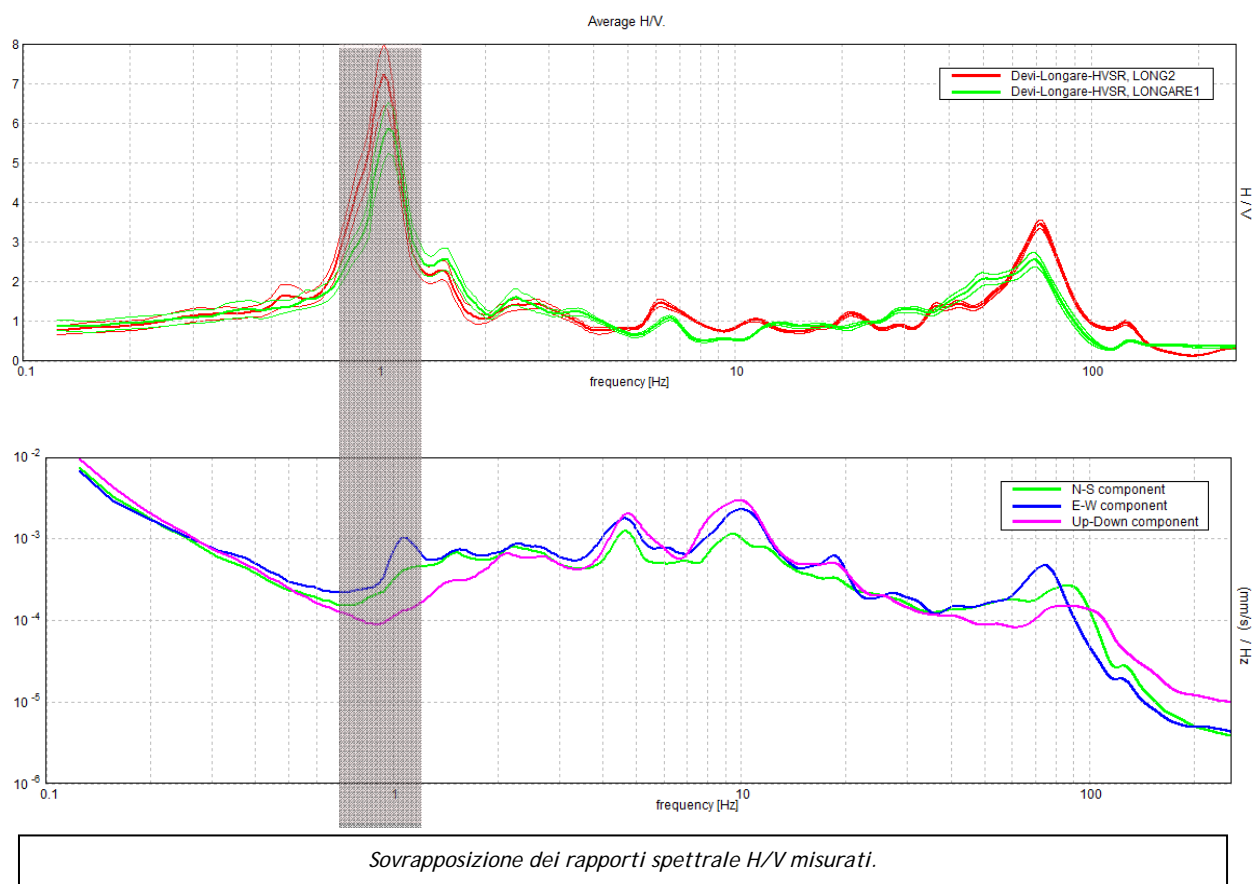
La frequenza fondamentale di risonanza di sito, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale ( $H/V \approx 7$ ) nell'intervallo di interesse ingegneristico-strutturale (0,0 – 20,0 Hz), è di circa 1 Hz.

<b>Frequenza fondamentale di risonanza</b>
<b>1.03 – 1.06 Hz</b>

Si dovrà porre attenzione nell'edificare strutture aventi lo stesso periodo di vibrazione naturale del terreno poiché il rapporto H/V calcolato è tale da ipotizzare un rilevante fattore di amplificazione del moto sismico in superficie.

Si segnala tuttavia, che, come è visibile nell'andamento delle tre componenti del moto sismico relativo all'HVSR n°1 riportata a seguire, al picco H/V considerato è associato anche un artefatto di natura antropica che ne altera l'ampiezza e non la rende proporzionale all'effettivo contrasto di impedenza che genera il picco stesso.





## 8.7 CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE SECONDO LE NORME TECNICHE SULLE COSTRUZIONI – D.M. 17 gennaio 2018.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi o in rapporto ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di Categorie di Sottosuolo di riferimento.

Per definire le Categorie, il D.M. 17 gennaio 2018 prevede il calcolo del parametro  $V_{s,eq}$ , ovvero della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  dei terreni posti al di sopra del substrato di riferimento ( $V_{s,30}$  per depositi con profondità del substrato superiore a 30 m). La profondità del substrato è riferita al piano di posa delle fondazioni superficiali, alla testa dei pali per fondazioni indirette, al piano di imposta delle fondazioni per muri di sostegno di terrapieni o alla testa delle opere di sostegno di terreni naturali.

Dall'assetto sismostratigrafico desunto dalle indagini sismiche effettuate, è possibile constatare la presenza del *bedrock* geofisico (substrato di riferimento) a profondità superiori a 30 m dal p.c. locale.

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Pertanto, come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni – D.M. 17/01/2018*), si è calcolata la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni ( $V_{s,30}$ ), a partire da varie profondità dal piano campagna:

Profondità piano di posa delle	$V_{s,30}$ - Misura Re.Mi. - HVSR1	$V_{s,30}$ - Misura Re.Mi. - HVSR2
0 m dal p.c.	$V_s (0 - 30) \approx 226$ m/s	$V_s (0 - 30) \approx 222$ m/s
1 m dal p.c.	$V_s (1 - 31) \approx 229$ m/s	$V_s (1 - 31) \approx 224$ m/s
2 m dal p.c.	$V_s (2 - 32) \approx 233$ m/s	$V_s (2 - 32) \approx 228$ m/s
3 m dal p.c.	$V_s (3 - 33) \approx 239$ m/s	$V_s (3 - 33) \approx 235$ m/s

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si prevede l'inserimento del sito d'indagine nella **Categoria di Sottosuolo denominata C**, così definita:

**Categoria C** – *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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

Tuttavia, in virtù dall'importanza della struttura in progetto, e dei contrasti sismici evidenziati dalle indagini eseguite, si è condotto uno studio di risposta sismica locale (RSL 1D), i cui contenuti e risultati sono riportati nel capitolo successivo.

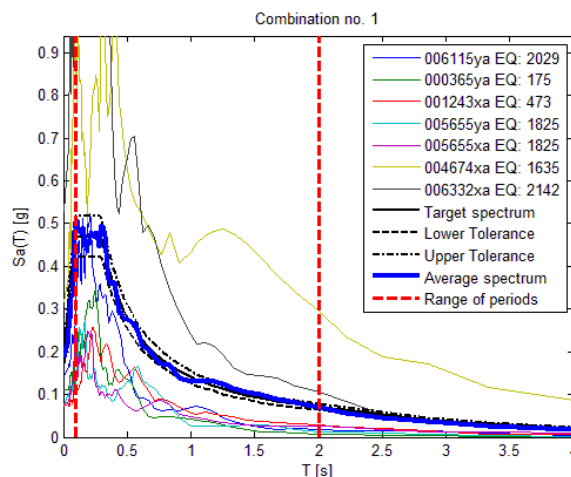
## CATEGORIA TOPOGRAFICA E COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA ST

L'area in esame è modellizzabile nella **Categoria T1** (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$  - cfr. Tabella 3.2.V del par. 3.2.2 delle NTC); il coefficiente di amplificazione topografica ST si può quindi assumere pari ad **1,0** come indicato nella Tabella 3.2.V del paragrafo 3.2.3.2.1 delle NTC.

## 9 MODELLAZIONE NUMERICA AVANZATA

Come anticipato nelle premesse, è stato effettuato uno studio di risposta sismica locale tramite una modellazione numerica monodimensionale avanzata in modalità dinamica. Nel rispetto della normativa vigente è stata effettuata una modellazione numerica assegnando una severità dell'azione sismica con la probabilità di superamento,  $P$ , e con il periodo di ritorno,  $T_r$ , relativi agli stati limite considerati. In particolare, è stata considerata una vita nominale della costruzione ( $V_n$ ) di 100 anni, una classe d'uso ( $C_u$ ) di III con il relativo coefficiente pari a 1,5 e quindi una vita di riferimento  $V_r = 150$  anni. A partire da queste indicazioni si è determinato un periodo di ritorno dell'azione sismica di 1424 anni corrispondenti allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV).

Gli *input* sismici utilizzati sono rappresentati da una settupla di storie accelerometriche applicate alla base del modello per lo stato limite considerato e riferite agli spettri di normativa calcolati per il sito in esame, considerando un sottosuolo di roccia affiorante (classe A) con topografia sub-orizzontale (T1) e correttamente deconvoluto (v. Dynamic Analysis della ITASCA, 2018).



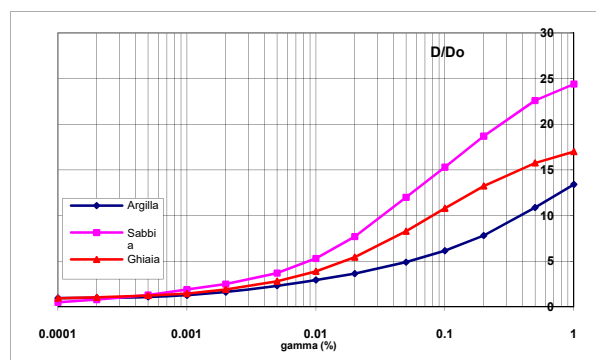
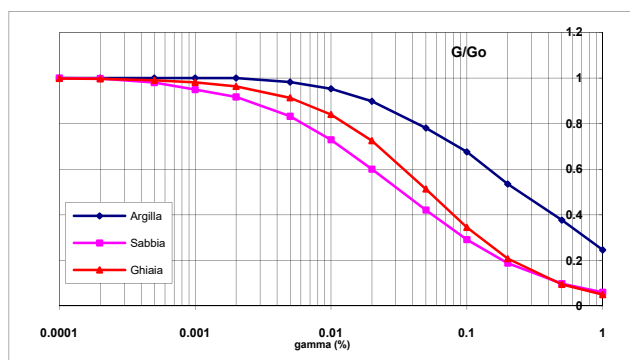
In particolare, gli accelerogrammi sono stati ricavati tramite l'utilizzo del software REXEL - *computer aided record selection for code-based seismic structural analysis*.

Nella modellazione numerica, è stata utilizzata la sismo – stratigrafia e i valori di rigidità ricavati dall'indagine geofisica eseguita e precedentemente illustrata. Il modello geometrico, sezione trasversale alla valle, è stato discretizzato con una maglia ad elementi quadrangolari, le dimensioni dei quali sono state stabilite in funzione delle lunghezze d'onda minime

caratterizzanti il fenomeno di propagazione sismica, determinabili con la relazione di Kuhlemeyer & Lysmer ( $h_{max} < V_s / 10 * f_{max}$ ) in funzione delle velocità delle onde di taglio nei diversi terreni del modello e della frequenza massima di interesse dei segnali accelerometrici selezionati ( $f_{max}=10$  Hz).

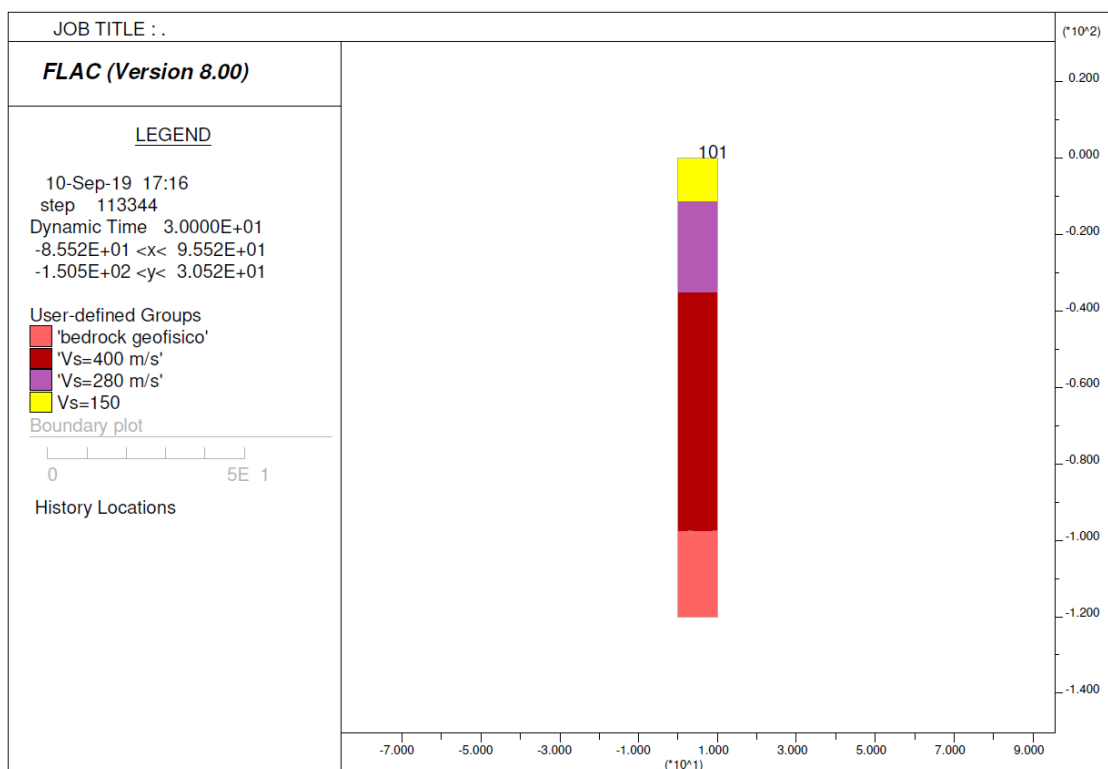
Lungo le frontiere laterali sono stati introdotti particolari elementi assorbenti (*free-field boundaries*), che, oltre ad evitare la riflessione delle onde in maniera analoga agli smorzatori viscosi introdotti da Lysmer & Kuhlemeyer (1969), forzano i nodi delle frontiere laterali a riprodurre il moto di *free-field*, essenziali per le analisi di risposta sismica locale 1D.

Per limitare la riflessione delle onde in corrispondenza della frontiera inferiore del modello sono stati utilizzati degli smorzatori viscosi (*quiet boundaries*) mentre le proprietà dissipative dei materiali sono state ottenute attraverso lo smorzamento isteretico per i materiali più superficiali tramite le curve di degrado  $G/G_0$  e  $D/D_0$  indicate negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" del 2008 e sotto riportate.



Le *history* (storie temporali) ricavate al tetto del modello rappresentano le storie accelerometriche orizzontali attese nel sito d'indagine. Le n°7 *history* ottenute sono state successivamente plottate in uno spettro di risposta elastico e mediate in una curva rappresentativa (*Step n.1*), confrontabile con gli spettri di normativa provenienti dall'approccio semplificato (*Step n.2*).

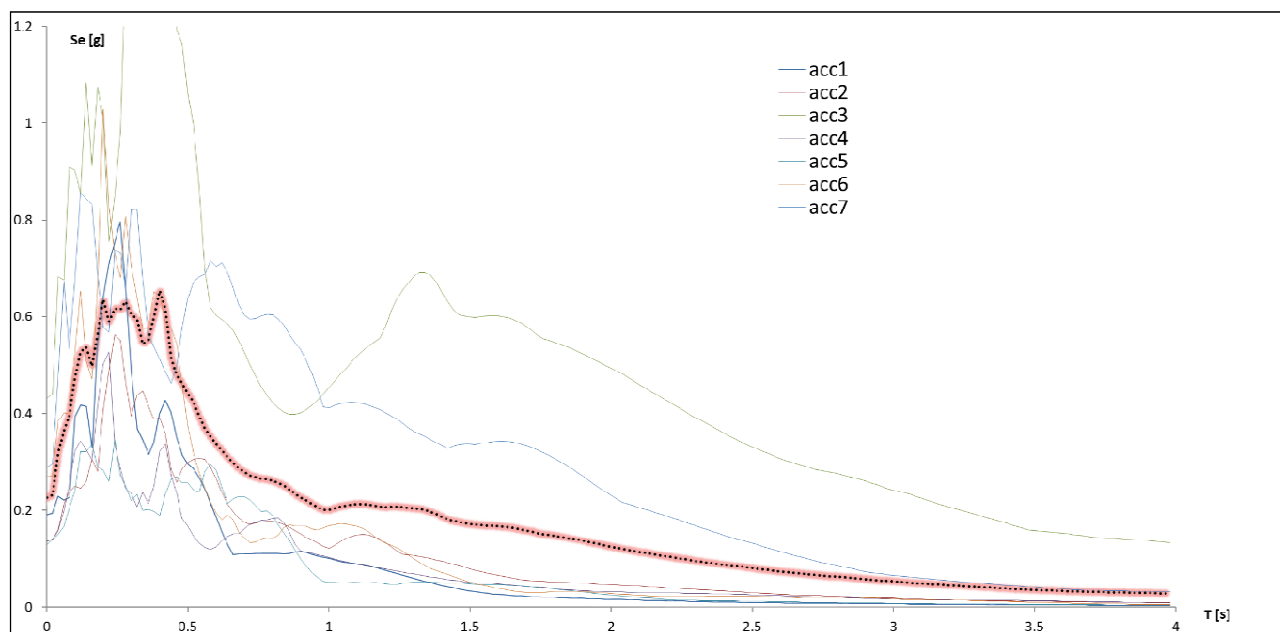
A seguire si mostra il modello sismo - stratigrafico impiegato per la simulazione numerica e gli spettri elastici risultanti.



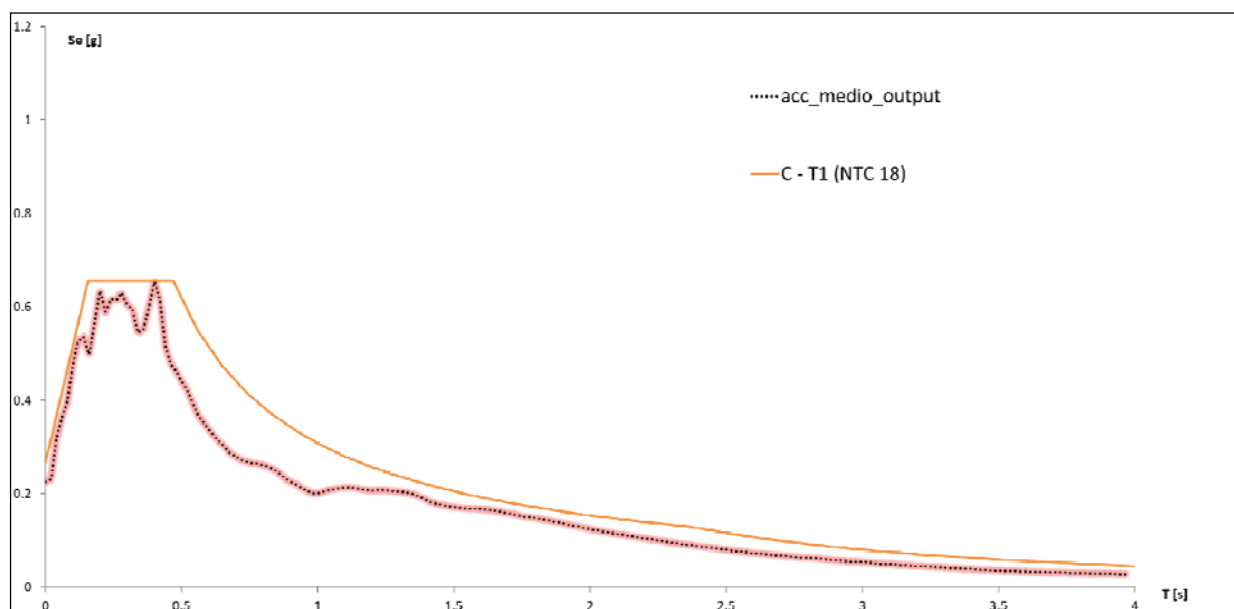
*Modello sismo – stratigrafico utilizzato per lo studio di RSL*

### ANALISI ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV)

**Step n.1:** le linee acc1, acc2, acc3, acc4, acc5, acc6 e acc7 rappresentano gli spettri di risposta elastica calcolati in superficie (tetto del modello) per ogni evento sismico modellizzato. La media di questi è rappresentata dalla linea nera (acc medio; v. Tabella seguente).



*Step n.2: lo spettro di risposta medio viene confrontato con quelli derivanti dalla procedura semplificata di risposta sismica locale e identificabile nelle categorie di sottosuolo.*



Dalla ricostruzione del quadro sismico-stratigrafico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si dovrebbe prevedere l’inserimento del sito d’indagine nella Categoria di Sottosuolo denominata C.

Lo spettro di risposta elastico ottenuto dallo studio di RSL con un periodo di ritorno dell’azione sismica di 1424 anni corrispondenti allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), presenta valori massimi di  $a_g$  compresi tra 0,47 – 0,65  $ag/g$  nell’intervallo 0,10s e 0,46s.

Dal grafico sopra riportato, si può osservare che la Categoria C unita alla Categoria Topografica T1 appare appropriata per modellare lo spettro numerico ottenuto, riuscendo a quantificare correttamente la spinta sismica da utilizzare in fase di progettazione e/o adeguamento.

*Resta di stretta competenza del Sig. Progettista la scelta definitiva dell’input sismico da adottare per i calcoli strutturali, che sarà subordinata all’individuazione dei parametri progettuali definitivi.*

*Si ricorda che qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione utilizzata e di problematiche incontrate durante la fase di acquisizione. Infine, i profili di Vs ricavati con questa metodologia, come tutti i metodi indiretti, non presentano una soluzione univoca e quindi più modelli possono fornire curve sintetiche simili tra loro.*

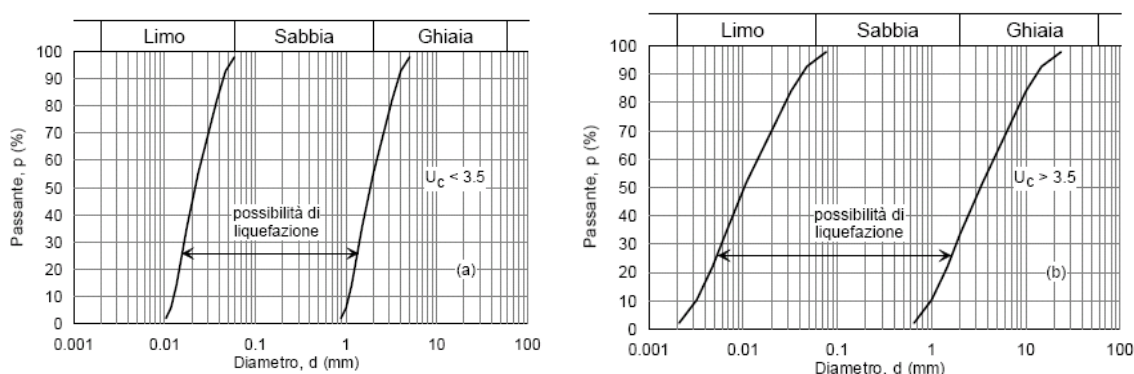
- ALLEGATO 1: Spettro di risposta elastico medio da modellazione numerica con Tr 712 anni e smorzamento 5% (SLV).

## 10 TERRENI SUSCETTIBILI DI LIQUEFAZIONE

Il termine “liquefazione” denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidezza causata dall’aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l’annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. Deve essere verificata la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

Ai sensi del D.M. 17/01/2018 la verifica di stabilità nei confronti della 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  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  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 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$  (rif. fig. 7.11(a) – NTC 2018).



*Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione*

Si è pertanto proceduto alla verifica di liquefazione degli strati come previsto dalla normativa vigente.

Il rischio di liquefazione viene espresso attraverso un coefficiente di sicurezza ( $F_s$ ) dato dal rapporto tra la resistenza alla liquefazione ( $R$ ) del deposito sciolto e lo sforzo dinamico di taglio ( $T$ ) che lo sollecita durante l’evento sismico.


Secondo l'O.P.C.M. n.3274/2003 la liquefazione è correlata al coefficiente di sicurezza nel seguente modo:

$F_s \geq 1,25$	Liquefazione Assente
$1,0 < F_s < 1,25$	Liquefazione Possibile
$1,0 < F_s$	Liquefazione Molto Probabile

Per la verifica di liquefazione i parametri utilizzati (valori di input) per le azioni sismiche di progetto sono i seguenti:


- Comune di Longare (VI);
- Coordinate Sito: Lat. 45,480579° N – Long. 11,611944°E;
- Categoria del terreno : “C”;
- Categoria Topografica: “T1”;
- Vita nominale:  $V_n = “100 \text{ anni}”$ ;
- Classe d’uso: “III” - coefficiente d’uso: “ $C_u = 1.5$ ”;

#### STATO LIMITE




Classe Edificio

III. Affollamento significativo...



Vita Nominale

100



Interpolazione

Media ponderata

CU = 1.5

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	90	0.062	2.524	0.272
Danno (SLD)	151	0.079	2.497	0.279
Salvaguardia vita (SLV)	1424	0.191	2.444	0.300
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0.232	2.423	0.308
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	150			



### COEFFICIENTI SISMICI

	Cat. Sottosuolo	C			
	Cat. Topografica	T1			
		SLO	SLD	SLV	SLC
	SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,42	1,36
	CC Coeff. funz categoria	1,61	1,60	1,56	1,55
	ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Dal punto di vista sismogenetico la zona a nord est del comune di Longare (VI) risulta posta ad una distanza di circa 2 km a sud ovest della zona sismogenetica ITCS 175 "Schio-Vicenza" (Fig. 7) che può sviluppare sismi con magnitudo massima attesa  $M_w$  di 5.5 (basati sui maggiori terremoti occorsi in zona).

Di seguito in Fig. 8 si riporta la procedura di disaggregazione del sito in esame ottenuto mediante il programma REXEL (*© Iunio Iervolino, Carmine Galasso and Eugenio Chioccarelli 2008-2013 - Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, Italy*) che permette di conoscere il contributo alla sismicità (pericolosità) di un dato sito. 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.

Dall'analisi del diagramma di disaggregazione, si può osservare come per un periodo di ritorno come quello considerato di 1424 anni, con classe del manufatto pari a "III" ( $C_u = 1.5$ ) e con riferimento alla magnitudo ( $M$ ) e alla distanza ( $R$ ) si ha la possibilità di un'intensità di magnitudo pari a  $M_w = 5.5$  con una distanza di circa 10 km dalla sorgente.

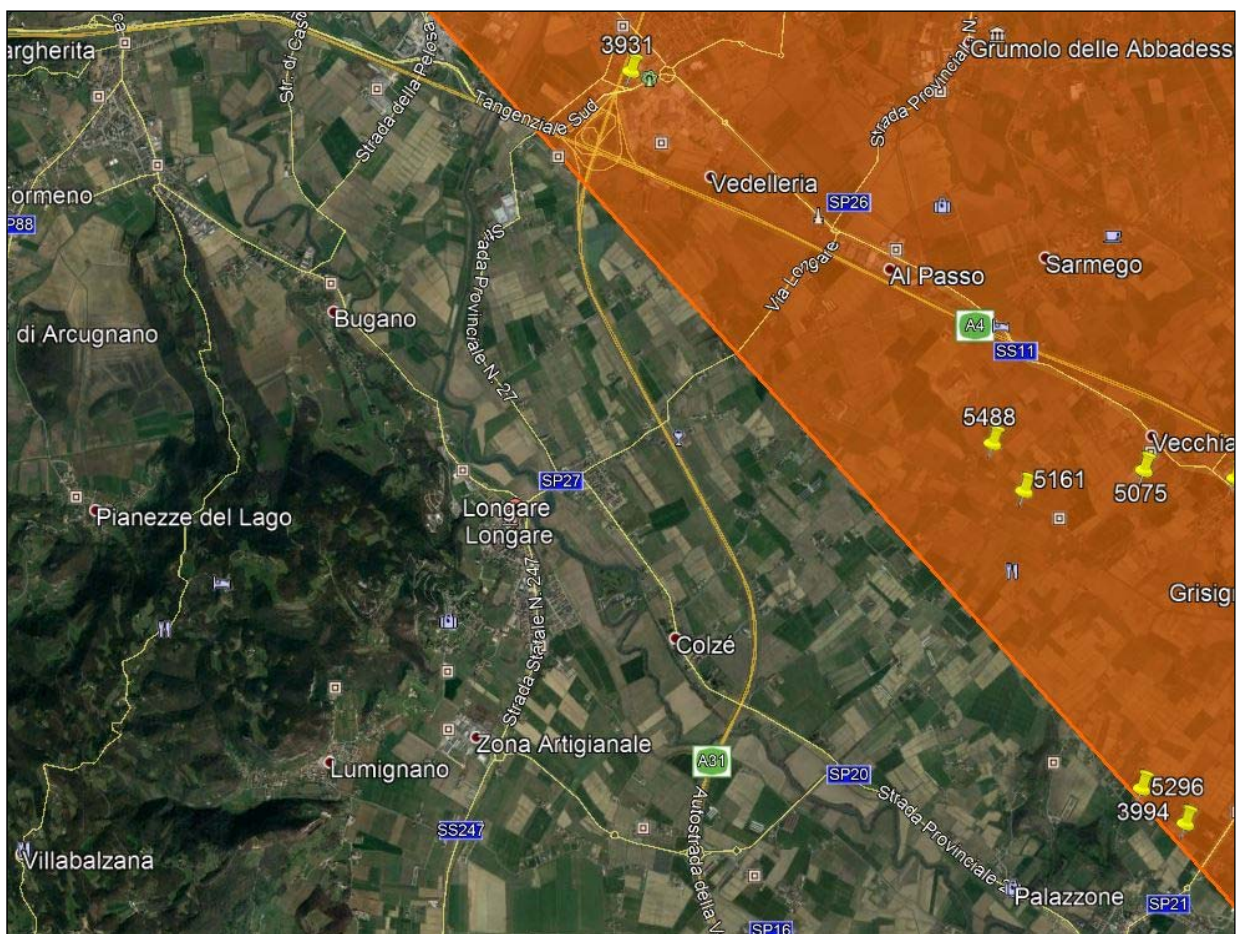


Fig. 7 - estratto zone sismogenetiche – DISS 3 fonte INGV

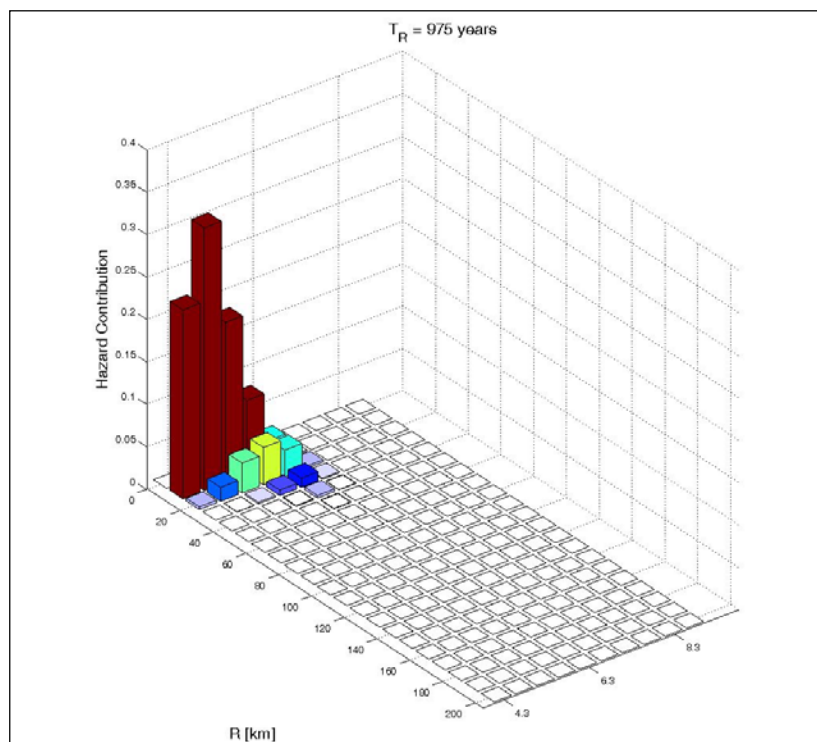
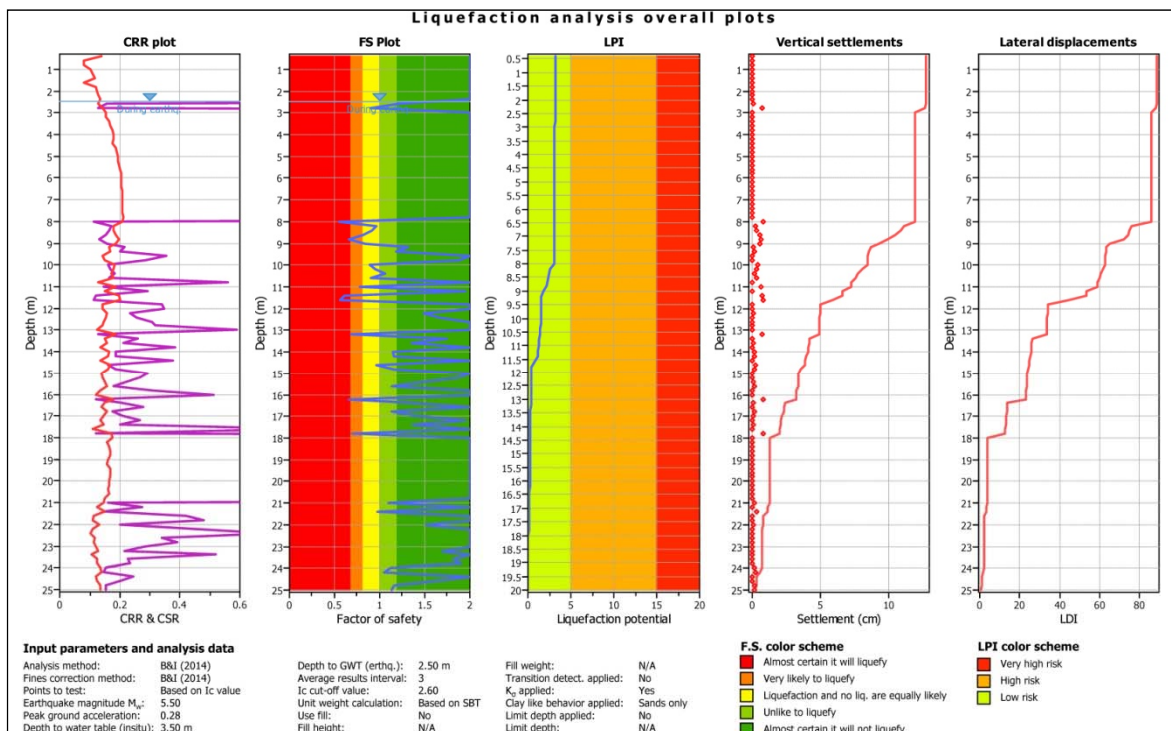
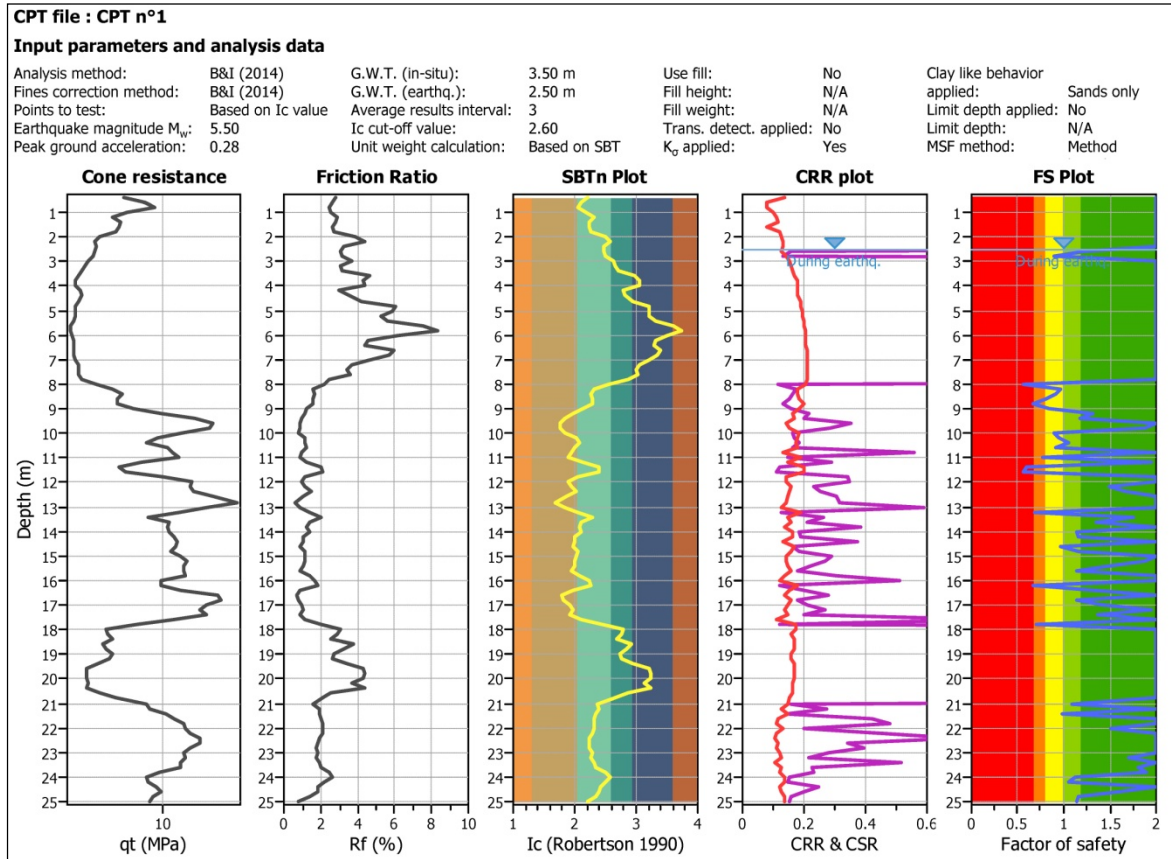


Fig. 8 – Diagramma di disaggregazione – REXEL

Dalle considerazioni sopra riportate si è proceduto all'analisi alla verifica della suscettibilità alla liquefazione dei sedimenti in entrambi le verticali geotecniche eseguite. Il software utilizzato è stato CLiq v.2.1.6.11 della Geologismiki.

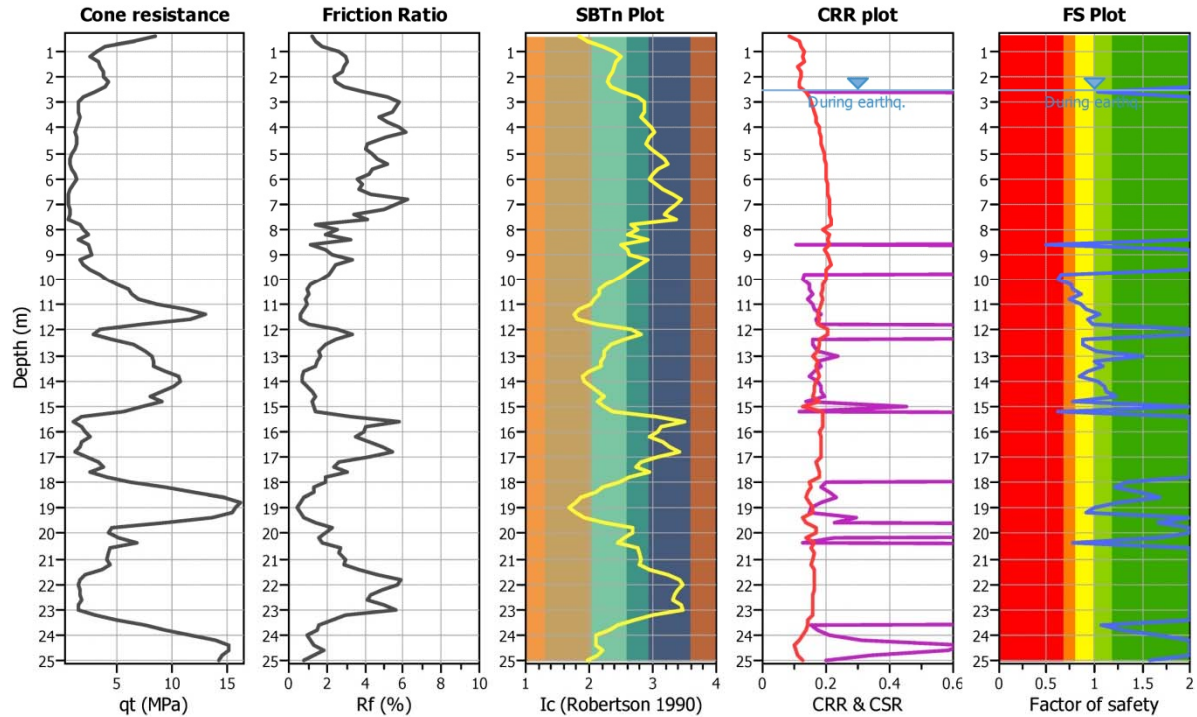




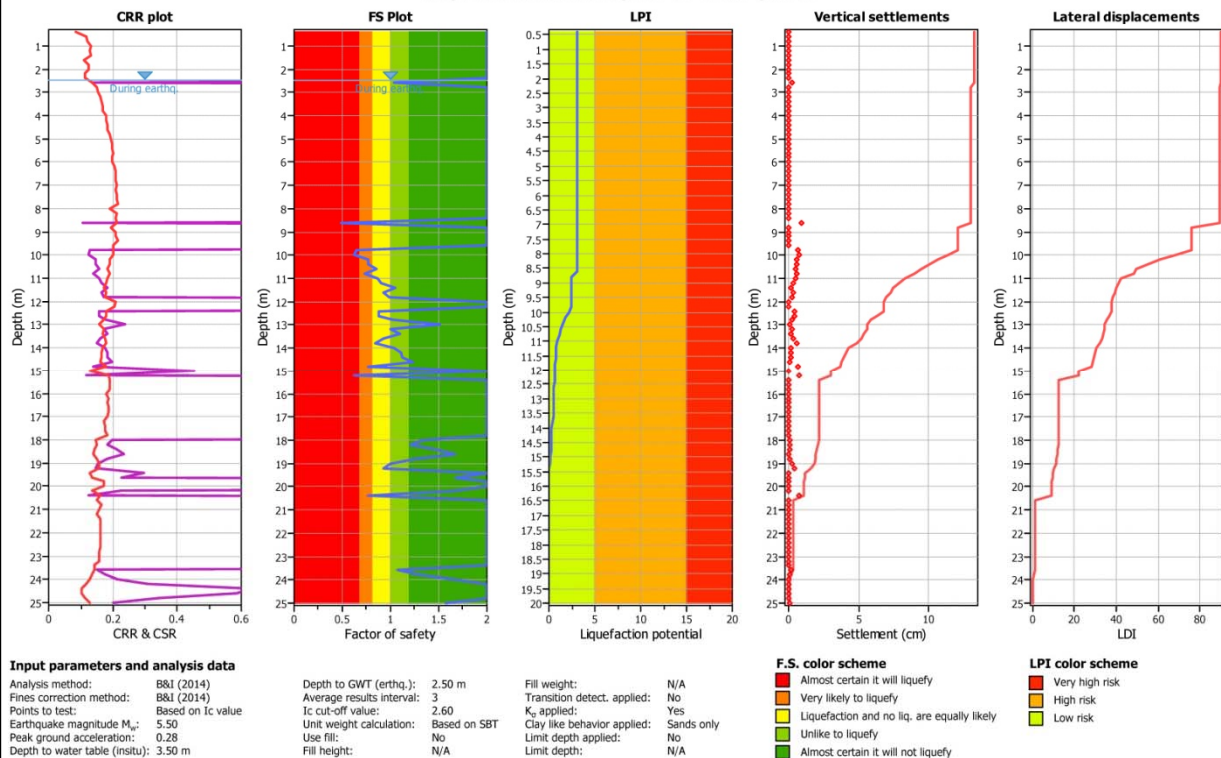
CPT file : CPT n°2

### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	3.50 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.50 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.50	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.28	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_0$ applied:	Yes	MSF method:	Method



### Liquefaction analysis overall plots



L'analisi evidenzia problematiche relative alla possibilità di liquefazione dei terreni granulari immersi caratterizzati da un basso stato di addensamento in particolare riscontrati in corrispondenza della prova CPT 1 tra -8 e -9 m e tra -10 e -12 m e localmente (in maniera puntuale) fino a -18 m ed in corrispondenza della prova CPT 2 tra -8.5 e -11 m e localmente a -15.5 m (con  $F_s < 1$ ).

Dall'analisi dei risultati ottenuti risulta che il rischio di potenziale liquefazione, in entrambi le prove eseguite, è da considerarsi "basso" ( $0 < LPI < 5$ ) con valori massimi riscontrati di LPI compresa tra 3 e 4.

Dall'analisi degli spostamenti verticali e laterali, nel caso di innesto del fenomeno, si evince una notevole riduzione degli spostamenti a partire da -18 m in corrispondenza della prova CPT 1 e a partire da -15.5 m in corrispondenza della CPT n° 2 (quota riferita all'esecuzione della prova).

Risulta pertanto consigliabile l'adozione di fondazioni profonde impostate su sedimenti dotati di buone caratteristiche meccaniche e che non possano essere interessate da tale tipo di fenomeno.

## **11 CONCLUSIONI**

Dall'esame della cartografia geologica si evince che l'area in esame, a carattere pianeggiante, presenta sedimenti costituiti da depositi fluviali recenti con la presenza di materiali sciolti stabilizzati dalla vegetazione e soggetti a esondazioni anche in regime di piena non eccezionale. I terreni che costituiscono i terrazzamenti a sud ovest verso Longare (rampa SP 20 di sud ovest) sono rappresentati da depositi alluvionali sciolti a tessitura sabbiosa o sabbioso limosa. L'alveo del Fiume Bacchione, in tale tratto di territorio, scorre in modo meandriforme con senso di scorrimento da nordovest a sudest con quote medie della piana di esondazione del terrazzamento di inferiore di circa 26.5 m s.l.m.m.

La direzione di deflusso locale dell'acquifero più superficiale è Nordovest/Sudest (localmente anche Nord/Sud). Esso si trova in tale area ad una profondità compresa tra 2 e 5 metri da piano campagna, si veda a tal proposito le considerazioni esposte il Par. 7.

Nella ricerca documentale analizzando la carta della compatibilità geologica e rischio geologico Idraulico del comune di Longare, Scala 1:10'000, l'alveo e l'area di golena risulta ad elevata esposizione e caratterizzata da sedimenti saturi ad elevata compressibilità.

In base all'analisi dei risultati ottenuti dalle indagini geotecniche e geofisiche eseguite si traggono le seguenti conclusioni:

- A. Per la differente ubicazione e quota di partenza delle verticali geotecniche eseguite e data la presenza di alcune discrepanze stratigrafiche in par. 6.3 si sono riportate separatamente le interpretazioni stratigrafiche per ciascuna spalla investigata assieme alle principali caratteristiche meccaniche dei terreni incontrati. Nelle tavole allegate si riportano i parametri meccanici di dettaglio.
- B. La falda freatica è stata individuata mediamente con quote superiori ai 3.5 m. Tale valore è puramente indicativo, data la metodologia di misura, e potrebbe subire delle variazioni a seconda delle condizioni meteorologiche. La misura risulta inoltre fortemente influenzata dalla quota topografica di ubicazione e dal regime idraulico del fiume Bacchiglione.
- C. La frequenza fondamentale di risonanza di sito, generata dalla discontinuità sismica a più elevato rapporto spettrale ( $H/V \approx 7$ ) nell'intervallo di interesse ingegneristico-strutturale (0,0 – 20,0 Hz), è di circa 1 Hz.

Frequenza fondamentale di risonanza
1.03 – 1.06 Hz

- D. Dalla ricostruzione del quadro sismo-stratigrafico emerso dal presente studio il sito si colloca in **Categoria di Sottosuolo "C"** mentre la categoria topografica risulta **"T1"** secondo l'approccio semplificato previsto dal D.M. 17 gennaio 2018.
- E. A seguito dello studio della risposta sismica locale (RSL) tramite modellazione numerica avanzata in modalità dinamica si osserva Dal grafico sopra riportato, si può osservare che la Categoria C unita alla Categoria Topografica T1 appare appropriata per modellare lo spettro numerico ottenuto, riuscendo a quantificare correttamente la spinta sismica da utilizzare in fase di progettazione e/o adeguamento (si veda Allegato 1).

- F. La verifica alla liquefazione in caso di terremoto effettuata con le considerazioni esposte a pag. 42 e 43 **evidenzia problematiche relative alla possibilità di liquefazione dei terreni granulari** immersi caratterizzati da un basso stato di addensamento e riscontrati in corrispondenza della prova **CPT 1** tra -8 e -9 m e tra -10 e -12 m e localmente (in maniera puntuale) fino a -18 m ed in corrispondenza della prova **CPT 2** tra -8.5 e -11 m e localmente a -15.5 m (con  $F_s < 1$ ). Il rischio di potenziale liquefazione, in entrambi le prove eseguite, è da considerarsi comunque “basso” ( $0 < LPI < 5$ ) con valori massimi riscontrati compresa tra 3 e 4. Dall’analisi degli spostamenti verticali e laterali, nel caso di innesto del fenomeno, si evince una notevole riduzione degli spostamenti a partire da -18 m in corrispondenza della prova CPT 1 e a partire da -15.5 m in corrispondenza della CPT n° 2 (quota riferita all’esecuzione della prova).
- G. Risulta consigliabile l’adozione di fondazioni profonde impostate su sedimenti dotati di buone caratteristiche meccaniche e che non possano essere interessate da tale tipo di fenomeno.

Dott. Geol. Devi Fincato  
Albo dei Geologi della Regione Veneto N. 549.



## **BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE**

- ✓ Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, p. 665 – 666.
- ✓ Arai H. e Tokimatsu K., 2004. S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 94, p. 53 – 63.
- ✓ Castellaro S., Mulargia F. Bianconi L., 2005. Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *Geologia Tecnica Regionale*, vol. 3.
- ✓ D'Amico V., Picozzi M., Albarello D., Naso G. e Tropenscovino S., 2004. Quick estimates of soft sediments thicknesses from ambient noise horizontal to vertical spectral ratios: a case study in southern Italy, *J. Eartq. Eng.*, 8, p. 895 – 908.
- ✓ Dal Moro G., 2008b, Rapporto sulla campagna Vs30 in Friuli Venezia Giulia, Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine, Università di Trieste.
- ✓ Dal Moro G & Pipan M., 2007, Joint Inversion of Surface Wave Dispersion Curve and Reflection Travel Times via Multi-Objective Evolutionary Algorithms, *J. Appl. Geophysics*, 61, 56-81.
- ✓ Gallipoli R., La Penna V., Lorenzo P. et al., 2000. Comparison of geological and geophysical prospecting techniques in the study of a landslide in southern Italy, *European J. Environm. and Eng. Geophys.*, 4, p. 117 – 128.
- ✓ Ibs-von Seht M. e Wohlenberg J., 1999. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seismol. Soc. America*, 89, p. 250 – 290.
- ✓ Ivanov, J., Miller, R.D., Xia, J., Steeples, D., and Parck, C.B., 2006, Joint Analysis of Refractions with Surface Waves. An Inverse Refraction-Traveltime Solution: *Geophysics*, 71, R131-R138.
- ✓ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2001. A critical review of 10 Years of microtremor HVSR technique, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 42, P. 255 – 266.
- ✓ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2006. Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy, *Conf. Eartq. Eng. And Seismol.*, Ginevra, 3-8 Sept. no 270.
- ✓ Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L., 2007. Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica", *Il geologo – Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna*.
- ✓ Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTRI*, 30, p. 25 – 30.
- ✓ Roth M. & Holliger K- 1999. Inversion of Sourcegenerated noise in high-resolution seismic data. *The Leading Edge*, 18, 1402-1406.
- ✓ [SESAME Project](#): "Site Effects Assessment Using Ambient Excitations", 2005.

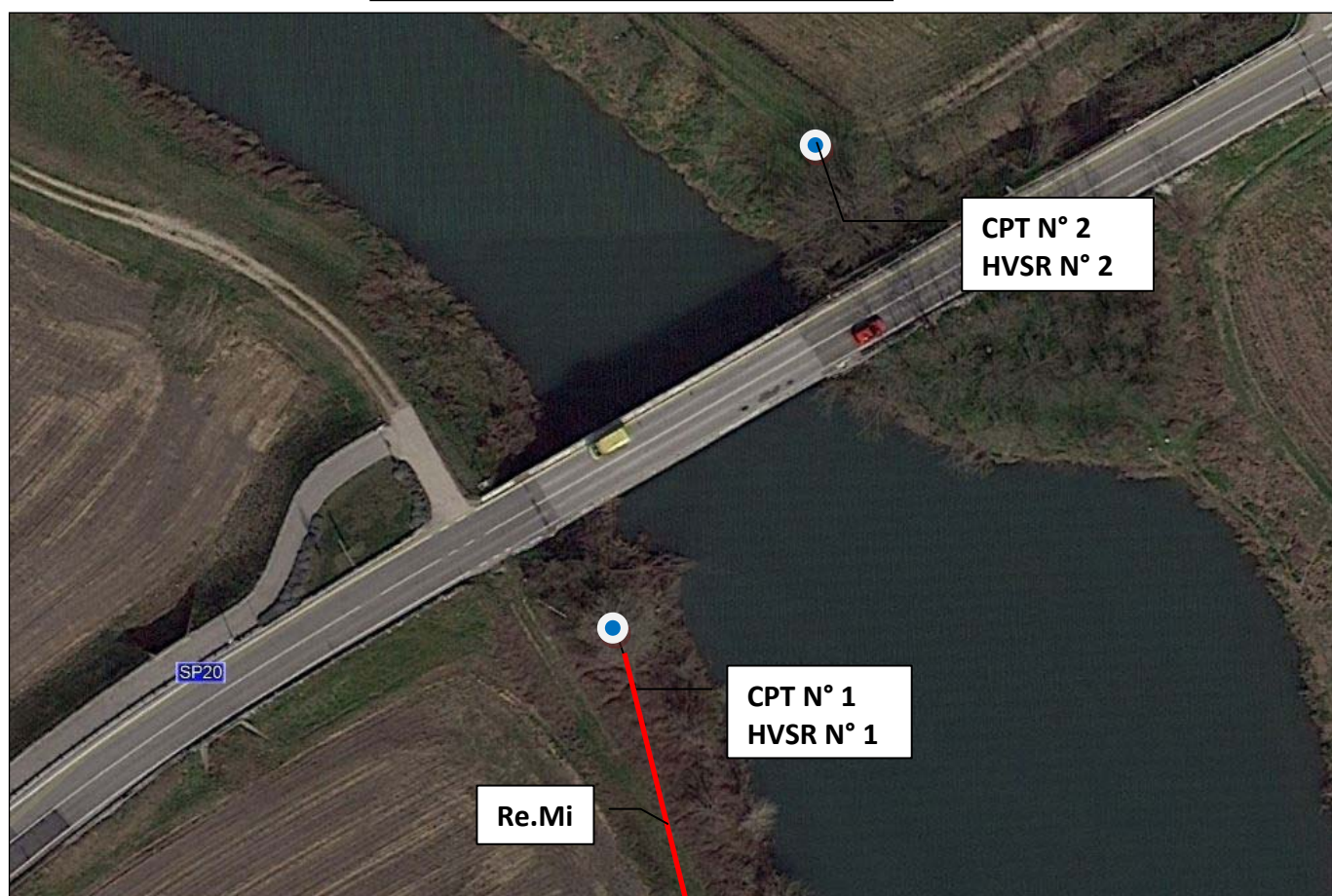


**ALLEGATO 1 - Spettro di risposta elastico medio da modellazione numerica con Tr 1424 anni e smorzamento 5% (SLV)**

T [s]	Se [g]	T [s]	Se [g]	T [s]	Se [g]	T [s]	Se [g]
0	0.225386	1.04	0.206848	2.08	0.11546	3.12	0.047992
0.02	0.231158	1.06	0.209434	2.10	0.113562	3.14	0.047225
0.04	0.319895	1.08	0.211211	2.12	0.111659	3.16	0.046477
0.06	0.364336	1.10	0.212152	2.14	0.109792	3.18	0.045802
0.08	0.393932	1.12	0.212191	2.16	0.107938	3.20	0.045118
0.10	0.472195	1.14	0.211288	2.18	0.106073	3.22	0.044436
0.12	0.527012	1.16	0.209596	2.20	0.1042	3.24	0.04375
0.14	0.536115	1.18	0.206925	2.22	0.102373	3.26	0.043049
0.16	0.4977	1.20	0.206499	2.24	0.100622	3.28	0.042342
0.18	0.56431	1.22	0.207684	2.26	0.098949	3.30	0.04163
0.20	0.63488	1.24	0.207173	2.28	0.097268	3.32	0.040909
0.22	0.589711	1.26	0.206246	2.30	0.095579	3.34	0.040203
0.24	0.615865	1.28	0.205151	2.32	0.093947	3.36	0.039495
0.26	0.613761	1.30	0.204436	2.34	0.092331	3.38	0.038779
0.28	0.629788	1.32	0.203031	2.36	0.090705	3.40	0.038062
0.30	0.604067	1.34	0.200285	2.38	0.089085	3.42	0.037341
0.32	0.595028	1.36	0.196449	2.40	0.087459	3.44	0.03662
0.34	0.543254	1.38	0.19175	2.42	0.085862	3.46	0.035886
0.36	0.552225	1.40	0.185868	2.44	0.084317	3.48	0.035209
0.38	0.600631	1.42	0.180382	2.46	0.082777	3.50	0.034827
0.40	0.653938	1.44	0.177375	2.48	0.081246	3.52	0.034456
0.42	0.614414	1.46	0.174884	2.50	0.079799	3.54	0.034082
0.44	0.514283	1.48	0.173188	2.52	0.078388	3.56	0.033707
0.46	0.477904	1.50	0.171069	2.54	0.076991	3.58	0.033326
0.48	0.462662	1.52	0.169342	2.56	0.075598	3.60	0.032941
0.50	0.441521	1.54	0.168731	2.58	0.074216	3.62	0.032555
0.52	0.423402	1.56	0.168086	2.60	0.072842	3.64	0.03216
0.54	0.395709	1.58	0.167439	2.62	0.071511	3.66	0.031759
0.56	0.368245	1.60	0.166651	2.64	0.07025	3.68	0.031409
0.58	0.352477	1.62	0.165514	2.66	0.069057	3.70	0.031076
0.60	0.336816	1.64	0.163972	2.68	0.068014	3.72	0.030732
0.62	0.323006	1.66	0.162085	2.70	0.067014	3.74	0.030473
0.64	0.309733	1.68	0.159854	2.72	0.066002	3.76	0.030226
0.66	0.298222	1.70	0.15759	2.74	0.065116	3.78	0.029989
0.68	0.286245	1.72	0.155419	2.76	0.064291	3.80	0.029757
0.70	0.278269	1.74	0.152976	2.78	0.063419	3.82	0.029524
0.72	0.271533	1.76	0.15095	2.80	0.062516	3.84	0.029287
0.74	0.267658	1.78	0.149243	2.82	0.061601	3.86	0.029068
0.76	0.265302	1.80	0.147316	2.84	0.06065	3.88	0.028857
0.78	0.264342	1.82	0.145293	2.86	0.059693	3.90	0.028646
0.80	0.260915	1.84	0.143202	2.88	0.05877	3.92	0.028428
0.82	0.255844	1.86	0.140979	2.90	0.057804	3.94	0.028203
0.84	0.250655	1.88	0.13865	2.92	0.0568	3.96	0.027974
0.86	0.242164	1.90	0.136283	2.94	0.055855	3.98	0.02774
0.88	0.232878	1.92	0.133827	2.96	0.054879		
0.9	0.225811	1.94	0.131334	2.98	0.053955		
0.92	0.219727	1.96	0.128872	3.00	0.05306		
0.94	0.212434	1.98	0.126443	3.02	0.052184		
0.96	0.205978	2.00	0.123994	3.04	0.051295		
0.98	0.200684	2.02	0.121559	3.06	0.050451		
1.00	0.20107	2.04	0.119238	3.08	0.049633		
1.02	0.20416	2.06	0.117384	3.10	0.048798		

# **TAVOLE**

UBICAZIONE INDAGINE  
GEOTECNICA E GEOFISICA



VI.ABILITA' S.R.L.

LONGARE (VI) – PONTE DELLA SECULA

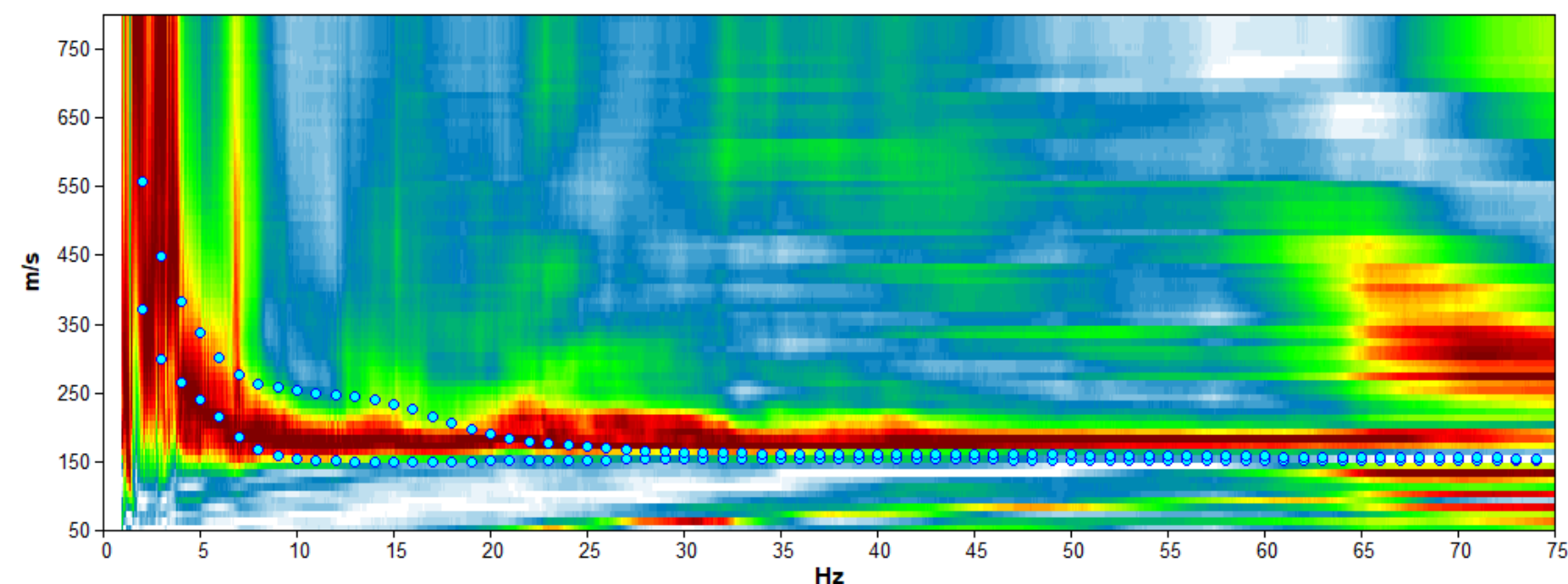


CPT - PROVA PENETROMETRICA STATICA  
HVSR – MICROTREMORE SISMICO A STAZIONE SINGOLA

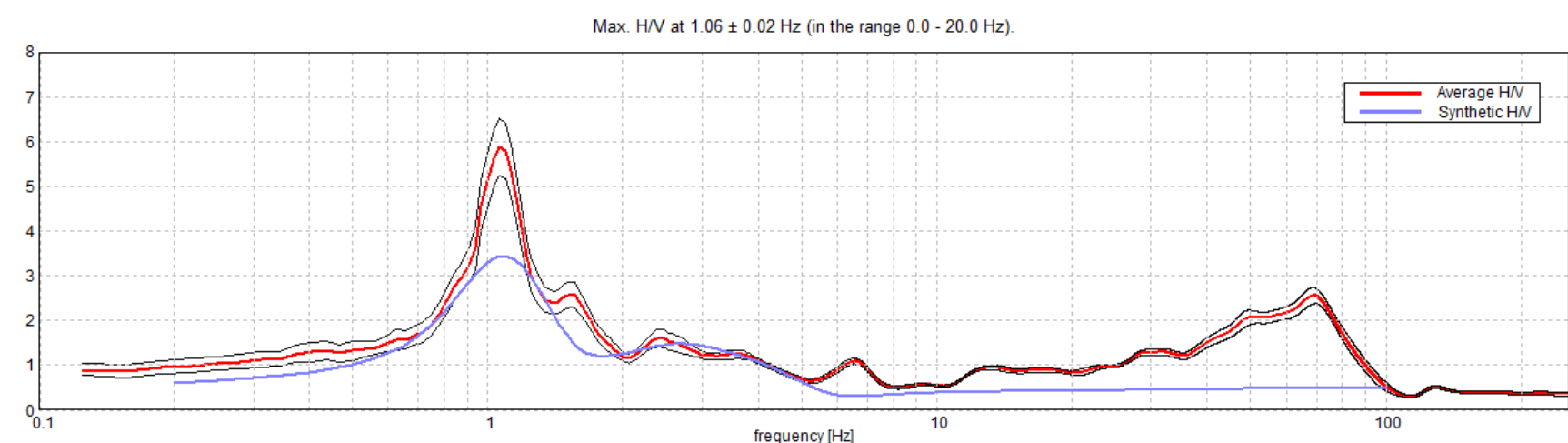


INDAGINE SISMICA PASSIVA IN ARRAY (Re.Mi.)

TAV. 1



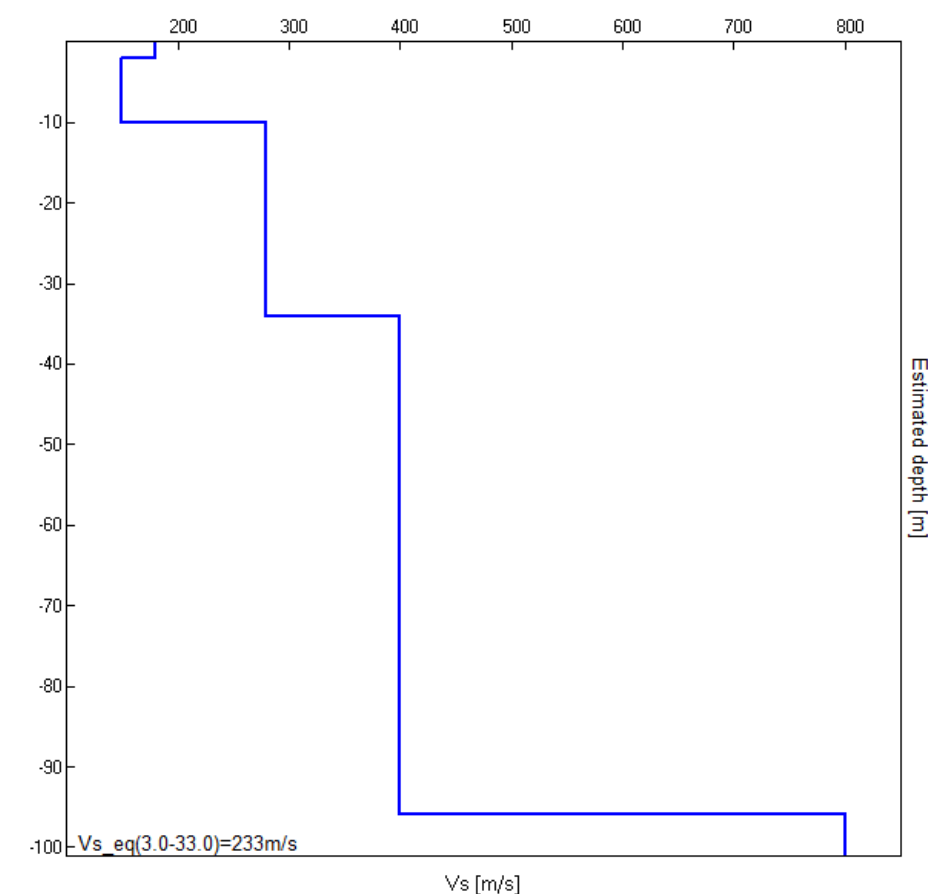
Spettro di velocità e curve sintetiche da indagine sismica in array (Re.Mi.)



Spettro sismico a curva sintetica da misura a stazione singola (H.V.S.R.)

Profondità piano di posa e Vs,30 calcolati

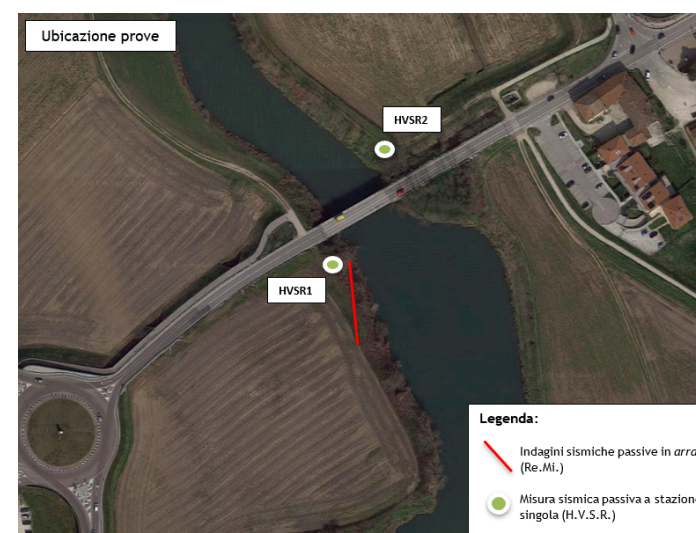
0 m dal p.c.	226 m/s	<i>Categoria C</i>
1 m dal p.c.	229 m/s	<i>Categoria C</i>
2 m dal p.c.	233 m/s	<i>Categoria C</i>
3 m dal p.c.	239 m/s	<i>Categoria C</i>



Profilo verticale onde S (Vs)

### Modello sismo-stratigrafico interpretativo

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	180	2	0,0 - 2,0
II SISMOSTRATO	150	7	2,0 - 9,0
III SISMOSTRATO	280	24	9,0 - ~33
IV SISMOSTRATO	400	62	~33 - ~95
V SISMOSTRATO	800	Semisp.	~95 - Semisp.



### INDAGINE GEOFISICA

Ubi: Via Secula - Longare (VI)

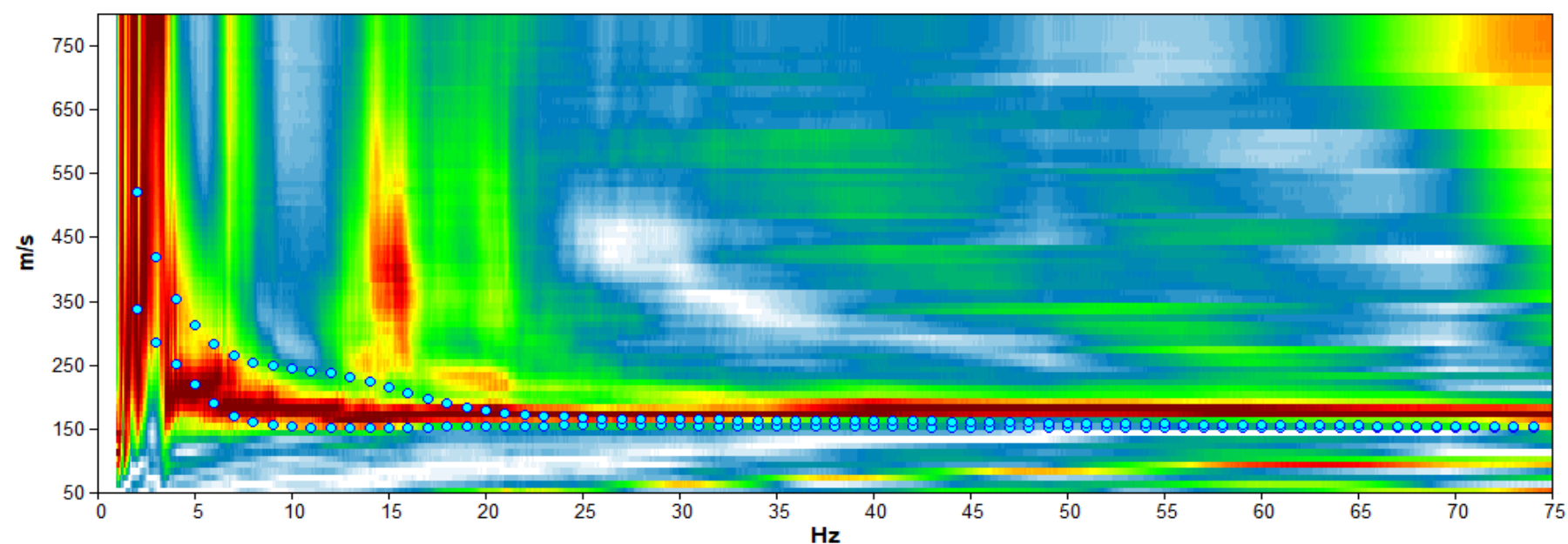
Lat. 45,480579°N - Lon. 11,611940°E (WGS-84)

Tav. 2A

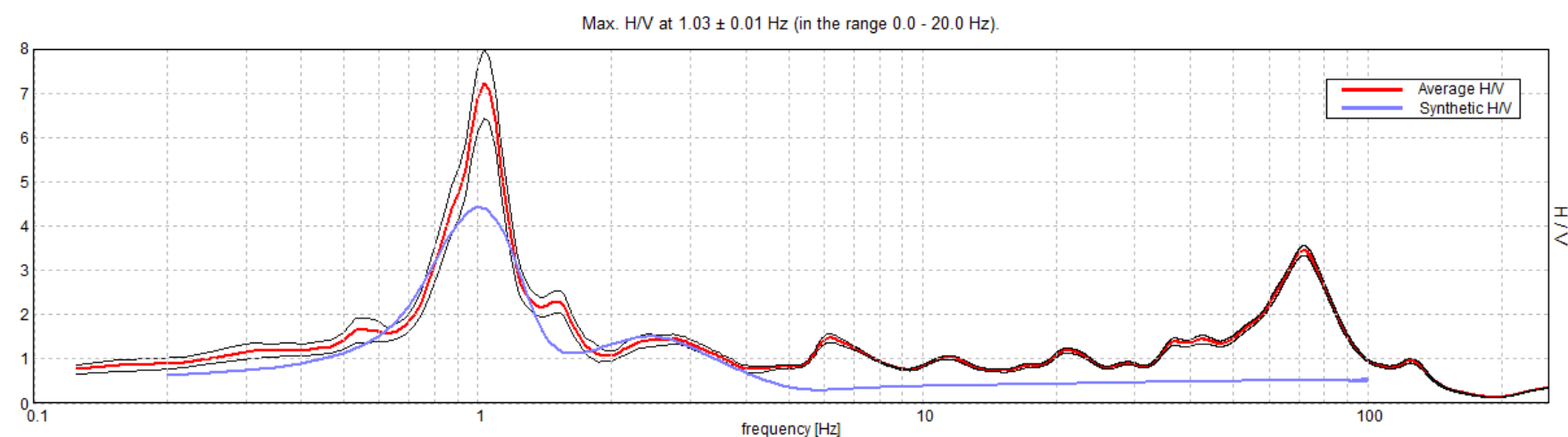
**Indagine sismica  
Re.Mi. e H.V.S.R. n°1**

Settembre 2019





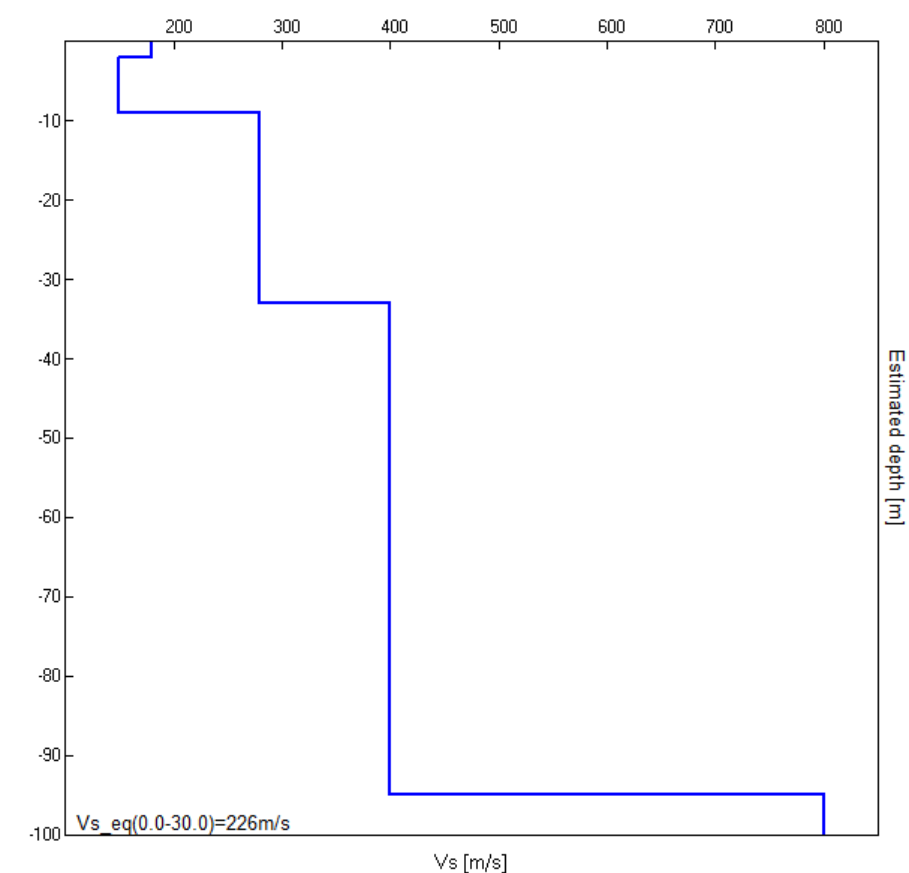
Spettro di velocità e curve sintetiche da indagine sismica in array (Re.Mi.)



Spettro sismico a curva sintetica da misura a stazione singola (H.V.S.R.)

Profondità piano di posa e Vs,30 calcolati

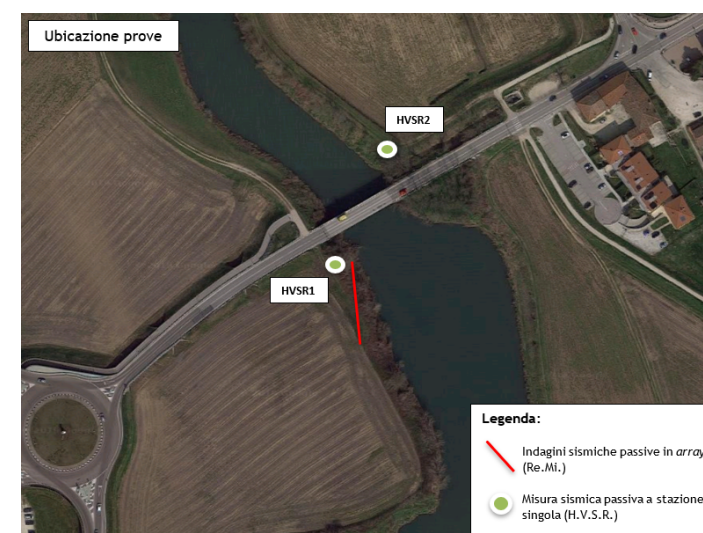
0 m dal p.c.	222 m/s	Categoria C
1 m dal p.c.	224 m/s	Categoria C
2 m dal p.c.	228 m/s	Categoria C
3 m dal p.c.	235 m/s	Categoria C



Profilo verticale onde S (Vs)

### Modello sismo-stratigrafico interpretativo

Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	190	2,2	0,0 - 2,2
II SISMOSTRATO	150	7	2,2 - 9,2
III SISMOSTRATO	270	22	9,2 - ≈31
IV SISMOSTRATO	380	68	≈31 - ≈99
V SISMOSTRATO	840	Semisp.	≈99 - Semisp.



### INDAGINE GEOFISICA

Ubi: Via Secula - Longare (VI)

Lat. 45,480579°N - Lon. 11,611940°E (WGS-84)

Tav. 2B

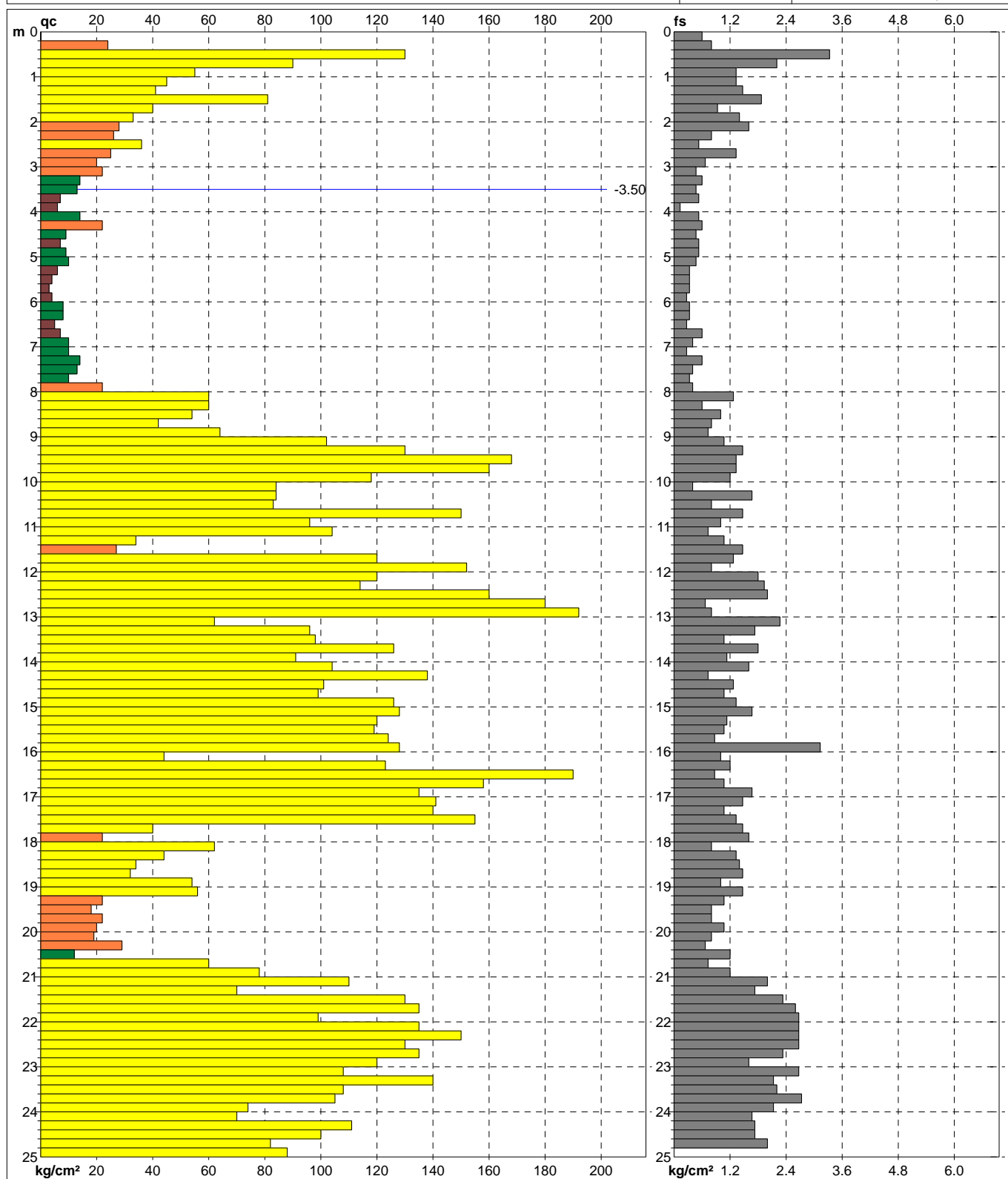
**Indagine sismica  
Re.Mi. e H.V.S.R. n°2**

Settembre 2019



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA	CPT	1
	Riferimento	068-2019

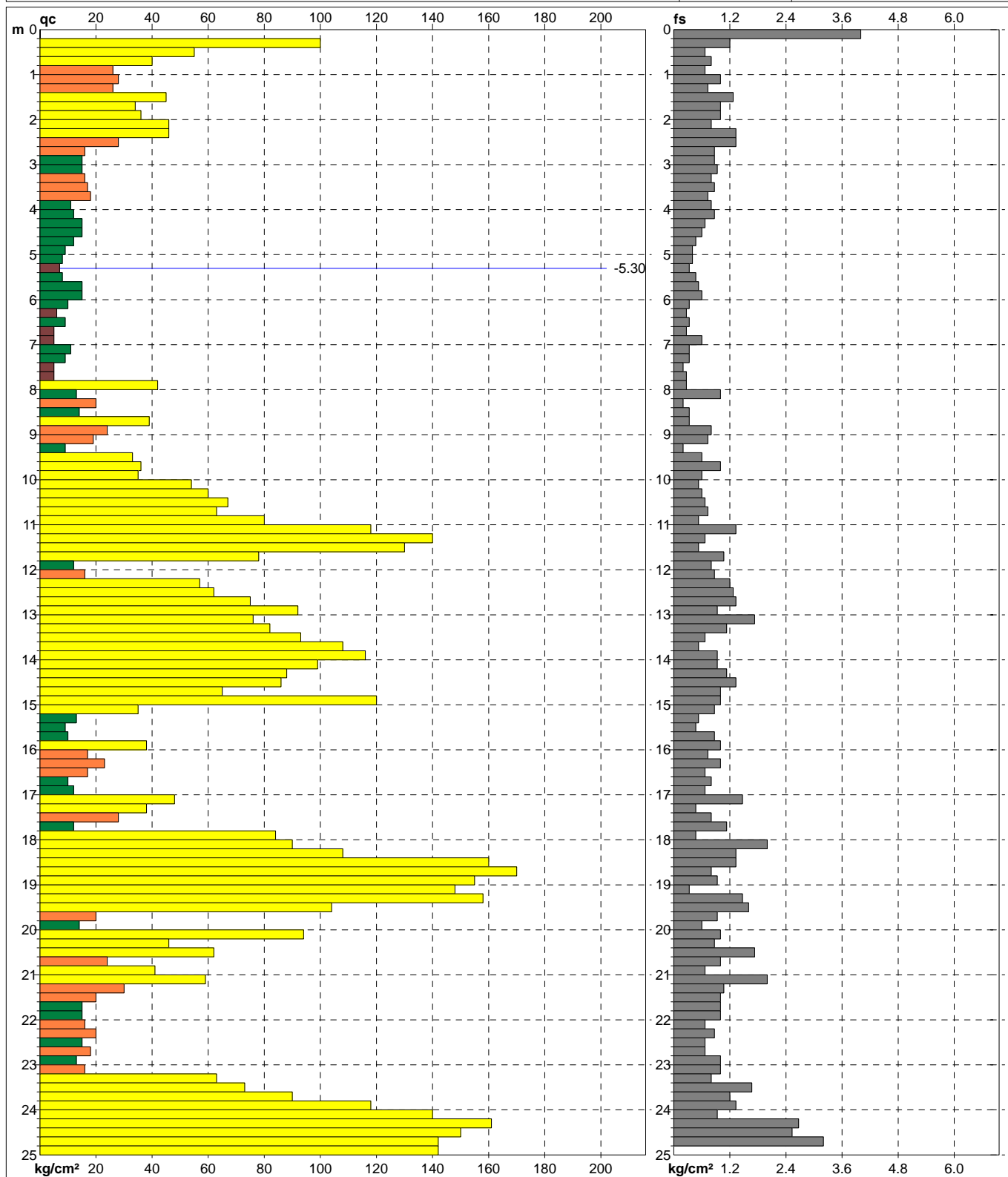
Committente	VIABILITA' S.R.L.	U.M.: kg/cm <sup>2</sup>	Data esec.	09/09/2019
Cantiere		Scala: 1:125		
Località	LONGARE (VI) - PONTE DELLA SECUA	Pagina 1	Quota inizio: Piano Campagna	
		Elaborato	Falda -3.50 m da quota inizio	



Penetrometro: GEOPAN 20T	preforo m
Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Assistente:	Cod. tip:

<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b> <b>DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA</b>	<b>CPT</b>	<b>2</b>
	Riferimento	<b>068-2019</b>

Committente	<b>VI.ABILITA' S.R.L.</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esec.	<b>09/09/2019</b>
Cantiere		Scala: <b>1:125</b>	Quota inizio: Piano Campagna Falda -5.30 m da quota inizio	
Località	<b>LONGARE (VI) - PONTE DELLA SECUA</b>	Pagina <b>1</b>		
		Elaborato		



		Penetrometro: <b>GEOPAN 20T</b>	preforo <b>m</b>
		Responsabile:	Corr.astine: <b>kg/ml</b>
		Assistente:	Cod. tip:

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA						CPT	1
PARAMETRI GEOTECNICI						Riferimento	068-2019

Committente	VI.ABILITA´ S.R.L.	U.M.:	kg/cm²	Data esec.	09/09/2019
Cantiere		Pagina	1		
Località	LONGARE (VI) - PONTE DELLA SECULA	Elaborato		Falda	-3.50 m da quota inizio

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE														
H	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2			
m	U.M.			t/m³	U.M.	m/s	U.M.	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.					
0.20	--	--		1.85	0.04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
0.40	24.00	30.00	4	1.85	0.07	183	0.89	99.9	151.1	226.7	72.0	86	42	38	36	33	42	28	40.0	60.0	72.0	--	--			
0.60	130.00	39.04	3	1.85	0.11	346	--	--	--	--	--	100	43	45	43	40	45	35	216.7	325.0	390.0	--	--			
0.80	90.00	40.91	3	1.85	0.15	302	--	--	--	--	--	100	43	42	39	36	45	33	150.0	225.0	270.0	--	--			
1.00	55.00	41.35	3	1.85	0.19	251	--	--	--	--	--	93	42	38	35	33	42	31	91.7	137.5	165.0	--	--			
1.20	45.00	33.83	3	1.85	0.22	232	--	--	--	--	--	81	41	36	33	31	40	31	75.0	112.5	135.0	--	--			
1.40	41.00	27.89	4	1.85	0.26	224	1.37	50.2	232.3	348.5	123.0	74	40	35	32	30	39	30	68.3	102.5	123.0	--	--			
1.60	81.00	43.32	3	1.85	0.30	290	--	--	--	--	--	94	43	38	35	33	41	33	135.0	202.5	243.0	--	--			
1.80	40.00	43.01	3	1.85	0.33	222	--	--	--	--	--	67	39	34	31	29	38	30	66.7	100.0	120.0	--	--			
2.00	33.00	23.57	4	1.85	0.37	207	1.10	24.5	187.0	280.5	99.0	58	38	32	29	27	36	29	55.0	82.5	99.0	--	--			
2.20	28.00	17.50	4	1.85	0.41	194	0.97	18.5	164.1	246.2	84.0	50	37	31	28	26	35	28	46.7	70.0	84.0	--	--			
2.40	26.00	32.50	3	1.85	0.44	189	--	--	--	--	--	46	37	30	27	25	34	28	43.3	65.0	78.0	--	--			
2.60	36.00	67.92	3	1.85	0.48	214	--	--	--	--	--	55	38	31	28	26	35	30	60.0	90.0	108.0	--	--			
2.80	25.00	18.80	4	1.85	0.52	186	0.91	12.7	154.5	231.8	75.0	40	36	29	26	24	33	28	41.7	62.5	75.0	--	--			
3.00	20.00	29.85	4	1.85	0.56	171	0.80	9.9	136.1	204.2	60.0	31	35	28	24	23	31	27	33.3	50.0	60.0	--	--			
3.20	22.00	46.81	3	1.85	0.59	177	--	--	--	--	--	33	35	28	25	23	31	28	36.7	55.0	66.0	--	--			
3.40	14.00	23.33	2	1.85	0.63	150	0.64	6.4	163.3	244.9	48.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
3.60	13.00	27.66	2	0.93	0.65	145	0.60	5.8	173.4	260.1	46.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
3.80	7.00	13.21	1	0.46	0.66	115	0.35	2.9	36.2	54.3	10.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
4.00	6.00	46.15	4	0.82	0.67	109	0.30	2.3	163.1	244.6	28.8	--	31	21	17	16	25	26	10.0	15.0	18.0	--	--			
4.20	14.00	26.42	2	0.94	0.69	150	0.64	5.7	186.2	279.3	48.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
4.40	22.00	36.67	3	0.86	0.71	177	--	--	--	--	--	28	35	27	24	22	30	28	36.7	55.0	66.0	--	--			
4.60	9.00	19.15	2	0.88	0.73	127	0.45	3.4	204.6	306.9	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
4.80	7.00	13.21	1	0.46	0.74	115	0.35	2.5	39.1	58.6	10.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
5.00	9.00	16.98	2	0.88	0.75	127	0.45	3.3	210.8	316.2	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
5.20	10.00	21.28	2	0.90	0.77	132	0.50	3.7	217.8	326.7	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
5.40	6.00	18.18	2	0.82	0.79	109	0.30	1.9	169.9	254.8	28.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
5.60	4.00	12.12	1	0.46	0.80	93	0.20	1.1	25.9	38.8	6.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
5.80	3.00	9.09	1	0.46	0.81	84	0.15	0.8	19.5	29.3	4.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
6.00	4.00	14.81	1	0.46	0.82	93	0.20	1.1	25.9	38.9	6.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
6.20	8.00	24.24	2	0.86	0.83	121	0.40	2.5	211.7	317.6	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
6.40	8.00	24.24	2	0.86	0.85	121	0.40	2.4	213.4	320.1	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
6.60	5.00	18.52	2	0.80	0.87	101	0.25	1.3	147.4	221.2	25.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
6.80	7.00	11.67	1	0.46	0.88	115	0.35	2.0	42.0	63.0	10.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
7.00	10.00	25.00	2	0.90	0.89	132	0.50	3.0	245.0	367.5	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
7.20	10.00	37.04	4	0.86	0.91	132	0.50	3.0	247.9	371.9	40.0	--	31	22	18	17	25	26	16.7	25.0	30.0	--	--			
7.40	14.00	23.33	2	0.94	0.93	150	0.64	3.9	260.5	390.7	48.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--				
7.60	13.00	32.50	4	0.88	0.95	145	0.60	3.6	267.3	400.9	46.5	3	32	23	19	18	26	26	21.7	32.5	39.0	--	--			
7.80	10.00	30.30	4	0.86	0.96	132	0.50	2.8	255.8	383.6	40.0	--	31	21	18	17	25	26	16.7	25.0	30.0	--	--			
8.00	22.00	55.00	3	0.86	0.98	177	--	--	--	--	--	20	34	25	22	21	29	28	36.7	55.0	66.0	--	--			
8.20	60.00	47.24	3	0.93	1.00	259	--	--	--	--	--	54	38	30	27	25	34	32	100.0	150.0	180.0	--	--			
8.40	60.00	100.00	3	0.93	1.02	259	--	--	--	--	--	54	38	30	27	25	34	32	100.0	150.0	180.0	--	--			
8.60	54.00	54.00	3	0.92	1.04	249	--	--	--	--	--	50	37	29	26	25	33	31	90.0	135.0	162.0	--	--			
8.80	42.00	52.50	3	0.90	1.06	226	--	--	--	--	--	41	36	28	25	23	32	30	70.0	105.0	126.0	--	--			
9.00	64.00	87.67	3	0.94	1.07	265	--	--	--	--	--	55	38	30	27	25	34	32	106.7	160.0	192.0	--	--			
9.20	102.00	95.33	3	1.00	1.09	316	--	--	--	--	--	70	40	32	29	27	37	34	170.0	255.0	306.0	--	--			
9.40	130.00	88.44	3	1.05	1.11	346	--	--	--	--	--	78	41	33	31	29	38	35	216.7	325.0	390.0	--	--			
9.60	168.00	126.32	3	1.10	1.14	382	--	--	--	--	--	87	42	35	32	30	39	37	280.0	420.0	504.0	--	--			
9.80	160.00	120.30	3	1.09	1.16	375	--	--	--	--	--	85	41	34	31	29	39	36	266.7	400.0	480.0	--	--			
10.00	118.00	98.33	3	1.03	1.18	334	--	--	--	--	--	74	40	33	30	28	37	35	196.7	295.0	354.0	--	--			
10.20	84.00	210.00	3	0.97	1.20	294	--	--	--	--	--	62	39	31	28	26	35	33	140.0	210.0	252.0	--	--			
10.40	84.00	50.30	3	0.97	1.22	294	--	--	--	--	--	61	39	31	28	26	35	33	140.0	210.0	252.0	--	--			
10.60	83.00	103.75	3	0.97	1.24	293	--	--	--	--	--	60	38	31	28	26	35	33	138.3	207.5	249.0	--	--			
10.80	150.00	102.04	3	1.08	1.26	366	--	--	--	--	--	80	41	34	31	29	38	36	250.0	375.0	450.0	--	--			
11.00	96.00	96.00	3	0.99	1.28	309	--	--	--	--	--	65	39	31	28	26	35	34	160.0	240.0	288.0	--	--			
11.20	104.00	142.47	3	1.01	1.30	319	--	--	--	--	--	67	39	32	29	27	36	34	173.3	260.0	312.0	--	--			
11.40	34.00	31.78	3	0.89	1.32	209	--	--	--	--	--	28	35	26	23	21	29	29	56.7	85.0	102.0	--	--			
11.60	27.00	18.37	4	0.95	1.34	192																				

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI										CPT		1											
										Riferimento		068-2019											
Committente VI.ABILITA´ S.R.L.										U.M.: kg/cm²		Data eseg. 09/09/2019											
Cantiere										Pagina 2													
Località LONGARE (VI) - PONTE DELLA SECULA										Elaborato		Falda -3.50 m da quota inizio											
							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m³	U.M.	m/s	U.M.	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
20.00	20.00	18.69	4	0.93	2.21	171	0.80	1.8	457.4	686.0	60.0	--	31	21	17	16	25	27	33.3	50.0	60.0		
20.20	19.00	23.75	2	0.99	2.23	168	0.78	1.7	446.4	669.7	58.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
20.40	29.00	43.28	3	0.87	2.24	197	--	--	--	--	--	10	32	22	19	18	26	29	48.3	72.5	87.0		
20.60	12.00	10.00	2	0.92	2.26	141	0.57	1.1	340.8	511.3	44.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
20.80	60.00	82.19	3	0.93	2.28	259	--	--	--	--	--	34	35	26	23	21	30	32	100.0	150.0	180.0		
21.00	78.00	65.00	3	0.96	2.30	286	--	--	--	--	--	43	36	27	24	23	31	33	130.0	195.0	234.0		
21.20	110.00	55.00	3	1.02	2.32	325	--	--	--	--	--	55	38	29	26	24	33	34	183.3	275.0	330.0		
21.40	70.00	40.46	3	0.95	2.34	274	--	--	--	--	--	39	36	27	23	22	30	32	116.7	175.0	210.0		
21.60	130.00	55.79	3	1.05	2.36	346	--	--	--	--	--	60	38	30	27	25	34	35	216.7	325.0	390.0		
21.80	135.00	51.92	3	1.05	2.38	351	--	--	--	--	--	61	39	30	27	25	34	35	225.0	337.5	405.0		
22.00	99.00	37.08	3	1.00	2.40	313	--	--	--	--	--	50	37	28	25	24	32	34	165.0	247.5	297.0		
22.20	135.00	50.56	3	1.05	2.42	351	--	--	--	--	--	61	39	30	27	25	34	35	225.0	337.5	405.0		
22.40	150.00	56.18	3	1.08	2.44	366	--	--	--	--	--	64	39	30	27	25	34	36	250.0	375.0	450.0		
22.60	130.00	48.69	3	1.05	2.46	346	--	--	--	--	--	59	38	29	26	25	33	35	216.7	325.0	390.0		
22.80	135.00	57.94	3	1.05	2.49	351	--	--	--	--	--	60	38	30	27	25	34	35	225.0	337.5	405.0		
23.00	120.00	75.00	3	1.03	2.51	336	--	--	--	--	--	56	38	29	26	24	33	35	200.0	300.0	360.0		
23.20	108.00	40.45	3	1.01	2.53	323	--	--	--	--	--	52	37	28	25	24	32	34	180.0	270.0	324.0		
23.40	140.00	65.73	3	1.06	2.55	356	--	--	--	--	--	61	39	30	27	25	34	36	233.3	350.0	420.0		
23.60	108.00	49.09	3	1.01	2.57	323	--	--	--	--	--	52	37	28	25	24	32	34	180.0	270.0	324.0		
23.80	105.00	38.46	3	1.01	2.59	320	--	--	--	--	--	50	37	28	25	24	32	34	175.0	262.5	315.0		
24.00	74.00	34.74	3	0.96	2.61	280	--	--	--	--	--	38	36	26	23	22	30	32	123.3	185.0	222.0		
24.20	70.00	41.92	3	0.95	2.63	274	--	--	--	--	--	36	36	26	23	22	30	32	116.7	175.0	210.0		
24.40	111.00	64.16	3	1.02	2.65	326	--	--	--	--	--	52	37	28	25	24	32	34	185.0	277.5	333.0		
24.60	100.00	57.80	3	1.00	2.67	314	--	--	--	--	--	48	37	28	25	23	32	34	166.7	250.0	300.0		
24.80	82.00	41.00	3	0.97	2.69	291	--	--	--	--	--	41	36	27	24	22	30	33	136.7	205.0	246.0		
25.00	88.00	--	3	0.98	2.71	299	--	--	--	--	--	43	36	27	24	22	31	33	146.7	220.0	264.0		

FON106

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA						CPT	2
PARAMETRI GEOTECNICI						Riferimento	068-2019

Committente	VIABILITA' S.R.L.	U.M.:	kg/cm²	Data esec.	09/09/2019
Cantiere		Pagina	1		
Località	LONGARE (VI) - PONTE DELLA SECUA	Elaborato		Falda	-5.30 m da quota inizio

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m³	U.M.	m/s	U.M.	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
0.20	--	--	???	1.85	0.04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	100.00	83.33	3	1.85	0.07	314	--	--	--	--	--	100	43	46	43	40	45	34	166.7	250.0	300.0	--	--
0.60	55.00	82.09	3	1.85	0.11	251	--	--	--	--	--	100	43	41	38	35	44	31	91.7	137.5	165.0	--	--
0.80	40.00	50.00	3	1.85	0.15	222	--	--	--	--	--	87	42	38	35	33	41	30	66.7	100.0	120.0	--	--
1.00	26.00	38.81	3	1.85	0.19	189	--	--	--	--	--	67	39	34	32	29	39	28	43.3	65.0	78.0	--	--
1.20	28.00	28.00	4	1.85	0.22	194	0.97	39.4	164.1	246.2	84.0	65	39	34	31	29	38	28	46.7	70.0	84.0	--	--
1.40	26.00	35.62	3	1.85	0.26	189	--	--	--	--	--	59	38	33	30	28	37	28	43.3	65.0	78.0	--	--
1.60	45.00	35.43	3	1.85	0.30	232	--	--	--	--	--	74	40	35	32	30	39	31	75.0	112.5	135.0	--	--
1.80	34.00	34.00	3	1.85	0.33	209	--	--	--	--	--	62	39	33	30	28	37	29	56.7	85.0	102.0	--	--
2.00	36.00	36.00	3	1.85	0.37	214	--	--	--	--	--	61	39	33	30	28	37	30	60.0	90.0	108.0	--	--
2.20	46.00	57.50	3	1.85	0.41	234	--	--	--	--	--	67	39	33	30	28	38	31	76.7	115.0	138.0	--	--
2.40	46.00	34.59	3	1.85	0.44	234	--	--	--	--	--	65	39	33	30	28	37	31	76.7	115.0	138.0	--	--
2.60	28.00	21.05	4	1.85	0.48	194	0.97	15.0	164.1	246.2	84.0	46	37	30	27	25	34	28	46.7	70.0	84.0	--	--
2.80	16.00	18.39	2	1.85	0.52	157	0.70	9.1	123.0	184.4	51.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.00	15.00	17.24	2	1.85	0.56	154	0.67	7.9	133.7	200.6	49.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.20	15.00	16.13	2	1.85	0.59	154	0.67	7.3	146.4	219.6	49.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.40	16.00	20.00	2	1.85	0.63	157	0.70	7.1	156.8	235.3	51.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.60	17.00	19.54	2	1.85	0.67	161	0.72	7.0	167.4	251.2	54.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.80	18.00	24.66	2	1.85	0.70	164	0.75	6.8	178.2	267.3	56.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.00	11.00	13.75	2	1.85	0.74	137	0.54	4.2	206.7	310.0	42.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.20	12.00	13.79	2	1.85	0.78	141	0.57	4.3	217.0	325.5	44.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.40	15.00	22.39	2	1.85	0.81	154	0.67	4.9	225.3	338.0	49.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.60	15.00	25.00	2	1.85	0.85	154	0.67	4.6	236.9	355.4	49.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.80	12.00	25.53	2	1.85	0.89	141	0.57	3.6	250.7	376.1	44.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.00	9.00	22.50	2	1.85	0.93	127	0.45	2.6	237.0	355.4	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.20	8.00	20.00	2	1.85	0.96	121	0.40	2.1	221.9	332.8	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.40	7.00	21.21	2	0.84	0.98	115	0.35	1.7	200.6	300.9	32.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.60	8.00	17.02	2	0.86	1.00	121	0.40	2.0	223.8	335.8	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.80	15.00	28.30	2	0.95	1.02	154	0.67	3.7	286.4	429.6	49.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.00	15.00	25.00	2	0.95	1.03	154	0.67	3.6	291.9	437.9	49.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.20	10.00	30.30	4	0.86	1.05	132	0.50	2.5	265.7	398.5	40.0	--	31	21	18	17	25	26	16.7	25.0	30.0	--	--
6.40	6.00	22.22	2	0.82	1.07	109	0.30	1.3	177.4	266.1	28.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.60	9.00	27.27	2	0.88	1.09	127	0.45	2.1	249.8	374.7	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.80	5.00	18.52	2	0.80	1.10	101	0.25	1.0	150.0	225.0	25.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.00	5.00	8.33	1	0.46	1.11	101	0.25	1.0	32.5	48.8	7.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.20	11.00	33.33	4	0.87	1.13	137	0.54	2.5	285.1	427.6	42.5	--	31	21	18	17	25	26	18.3	27.5	33.0	--	--
7.40	9.00	27.27	2	0.88	1.15	127	0.45	2.0	253.1	379.7	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.60	5.00	25.00	2	0.80	1.16	101	0.25	0.9	150.0	225.0	25.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.80	5.00	18.52	2	0.80	1.18	101	0.25	0.9	150.0	225.0	25.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.00	42.00	155.56	3	0.90	1.20	226	--	--	--	--	--	38	36	27	24	23	31	30	70.0	105.0	126.0	--	--
8.20	13.00	13.00	2	0.93	1.21	145	0.60	2.6	315.2	472.9	46.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.40	20.00	100.00	4	0.93	1.23	171	0.80	3.7	348.0	522.0	60.0	12	33	24	20	19	27	27	33.3	50.0	60.0	--	--
8.60	14.00	42.42	4	0.89	1.25	150	0.64	2.7	328.5	492.8	48.2	--	31	22	18	17	25	26	23.3	35.0	42.0	--	--
8.80	39.00	118.18	3	0.90	1.27	220	--	--	--	--	--	34	35	27	24	22	30	30	65.0	97.5	117.0	--	--
9.00	24.00	30.00	4	0.94	1.29	183	0.89	4.0	360.1	540.1	72.0	17	33	24	21	20	28	28	40.0	60.0	72.0	--	--
9.20	19.00	26.03	2	0.99	1.31	168	0.78	3.3	365.1	547.7	58.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.40	9.00	45.00	4	0.85	1.32	127	0.45	1.6	260.1	390.1	37.8	--	31	19	16	15	25	26	15.0	22.5	27.0	--	--
9.60	33.00	55.00	3	0.88	1.34	207	--	--	--	--	--	27	34	26	22	21	29	29	55.0	82.5	99.0	--	--
9.80	36.00	36.00	3	0.89	1.36	214	--	--	--	--	--	29	35	26	23	21	30	30	60.0	90.0	108.0	--	--
10.00	35.00	58.33	3	0.89	1.38	211	--	--	--	--	--	28	35	26	23	21	29	29	58.3	87.5	105.0	--	--
10.20	54.00	101.89	3	0.92	1.40	249	--	--	--	--	--	43	36	28	25	23	32	31	90.0	135.0	162.0	--	--
10.40	60.00	100.00	3	0.93	1.41	259	--	--	--	--	--	46	37	28	25	24	32	32	100.0	150.0	180.0	--	--
10.60	67.00	100.00	3	0.95	1.43	270	--	--	--	--	--	49	37	29	26	24	33	32	111.7	167.5	201.0	--	--
10.80	63.00	86.30	3	0.94	1.45	264	--	--	--	--	--	47	37	29	25	24	32	32	105.0	157.5	189.0	--	--
11.00	80.00	150.94	3	0.97	1.47	289	--	--	--	--	--	55	38	30	27	25	34	33	133.3	200.0	240.0	--	--
11.20	118.00	88.72	3	1.03	1.49	334	--	--	--	--	--	68	39	31	29	27	36	35	196.7	295.0	354.0	--	--
11.40	140.00	208.96	3	1.06	1.51	356	--	--	--	--	--	73	40	32	29	27	37	36	233.3	350.0	420.0	--	--
11.60	130.00	245.28	3	1.05	1.53	346	--	--	--	--	--	71	40	32	29	27	36	35	216.7	325.0	390.0	--	--
11.80	78.00	72.90	3	0.96	1.55	28																	



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	2
	Riferimento	068-2019

Committente	VI.ABILITA´ S.R.L.	U.M.: kg/cm²	Data esec.	09/09/2019
Cantiere		Pagina 2		
Località	LONGARE (VI) - PONTE DELLA SECULA	Elaborato	Falda -5.30 m	da quota inizio

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H	qc	qc/fs	zone	γ´	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m³	U.M.	m/s	U.M.	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
20.00	14.00	23.33	2	0.94	2.21	150	0.64	1.3	375.4	563.0	48.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
20.20	94.00	94.00	3	0.99	2.23	307	--	--	--	--	--	50	37	28	25	24	32	34	156.7	235.0	282.0	--	--
20.40	46.00	52.87	3	0.91	2.24	234	--	--	--	--	--	26	34	25	22	20	28	31	76.7	115.0	138.0	--	--
20.60	62.00	35.84	3	0.94	2.26	262	--	--	--	--	--	36	36	26	23	22	30	32	103.3	155.0	186.0	--	--
20.80	24.00	24.00	4	0.94	2.28	183	0.89	1.9	500.9	751.4	72.0	3	32	21	18	17	25	28	40.0	60.0	72.0	--	--
21.00	41.00	61.19	3	0.90	2.30	224	--	--	--	--	--	21	34	24	21	20	27	30	68.3	102.5	123.0	--	--
21.20	59.00	29.50	4	1.02	2.32	257	1.97	5.1	638.1	957.2	177.0	33	35	26	23	21	29	32	98.3	147.5	177.0	--	--
21.40	30.00	28.04	4	0.96	2.34	199	1.00	2.2	550.5	825.8	90.0	10	32	22	19	18	26	29	50.0	75.0	90.0	--	--
21.60	20.00	20.00	4	0.93	2.36	171	0.80	1.6	462.5	693.7	60.0	--	31	20	17	16	25	27	33.3	50.0	60.0	--	--
21.80	15.00	15.00	2	0.95	2.38	154	0.67	1.3	394.3	591.4	49.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
22.00	15.00	15.00	2	0.95	2.40	154	0.67	1.3	394.6	591.9	49.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
22.20	16.00	23.88	2	0.96	2.41	157	0.70	1.3	410.4	615.6	51.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
22.40	20.00	22.99	4	0.93	2.43	171	0.80	1.6	464.6	696.9	60.0	--	31	20	17	16	25	27	33.3	50.0	60.0	--	--
22.60	15.00	22.39	2	0.95	2.45	154	0.67	1.2	395.4	593.1	49.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
22.80	18.00	26.87	2	0.98	2.47	164	0.75	1.4	440.0	660.0	56.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
23.00	13.00	13.00	2	0.93	2.49	145	0.60	1.1	361.6	542.4	46.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
23.20	16.00	16.00	2	0.96	2.51	157	0.70	1.3	411.9	617.8	51.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
23.40	63.00	78.75	3	0.94	2.53	264	--	--	--	--	--	33	35	26	23	21	29	32	105.0	157.5	189.0	--	--
23.60	73.00	43.71	3	0.96	2.55	279	--	--	--	--	--	38	36	26	23	22	30	32	121.7	182.5	219.0	--	--
23.80	90.00	75.00	3	0.98	2.57	302	--	--	--	--	--	45	37	27	24	23	31	33	150.0	225.0	270.0	--	--
24.00	118.00	88.72	3	1.03	2.59	334	--	--	--	--	--	54	38	29	26	24	33	35	196.7	295.0	354.0	--	--
24.20	140.00	150.54	3	1.06	2.61	356	--	--	--	--	--	60	38	30	27	25	34	36	233.3	350.0	420.0	--	--
24.40	161.00	60.30	3	1.09	2.63	376	--	--	--	--	--	65	39	30	27	25	34	36	268.3	402.5	483.0	--	--
24.60	150.00	59.29	3	1.08	2.65	366	--	--	--	--	--	62	39	30	27	25	34	36	250.0	375.0	450.0	--	--
24.80	142.00	44.38	3	1.06	2.67	358	--	--	--	--	--	60	38	30	26	25	33	36	236.7	355.0	426.0	--	--
25.00	142.00	--	3	1.06	2.70	358	--	--	--	--	--	60	38	29	26	25	33	36	236.7	355.0	426.0	--	--

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT**

Riferimento

**1**

**068-2019**

Committente **VIABILITA' S.R.L.**

Cantiere

Località **LONGARE (VI) - PONTE DELLA SECUA**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**

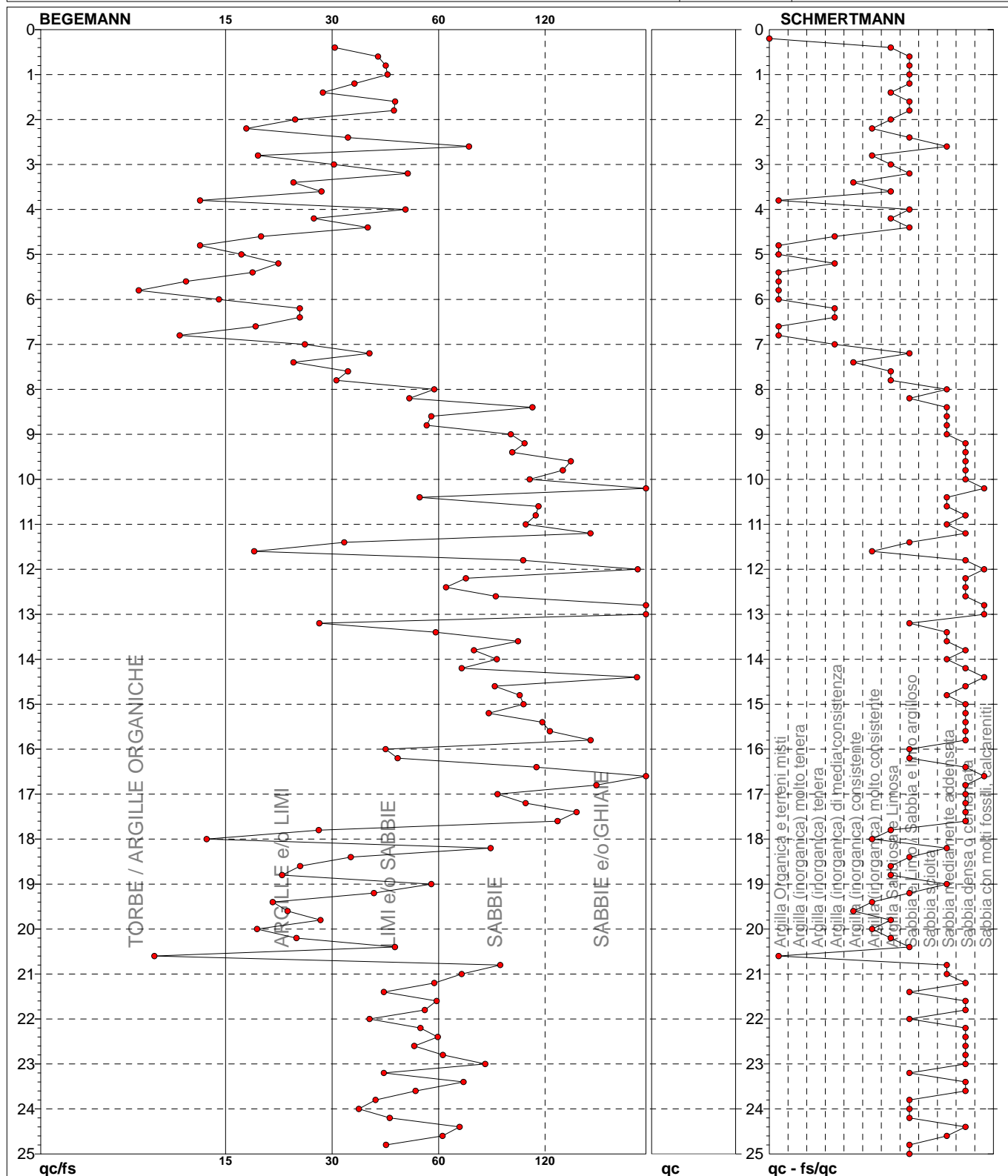
Scala: **1:125**

Pagina **1**

Elaborato

Data esec. **09/09/2019**

Falda **-3.50 m** da quota inizio



● 068-2019 [1] : 25.00 m

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT**

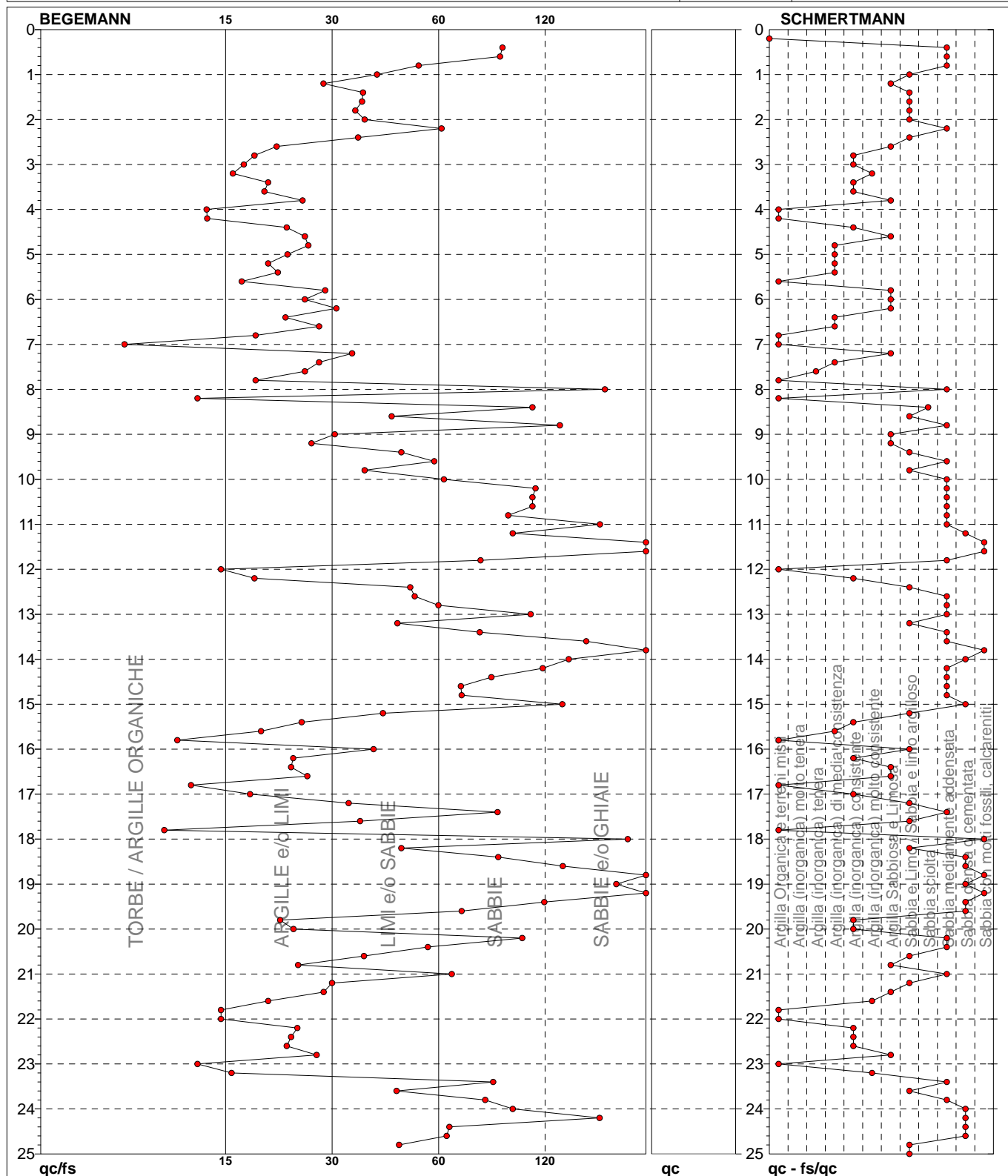
Riferimento

**2****068-2019**Committente **VIABILITA' S.R.L.**

Cantiere

Località **LONGARE (VI) - PONTE DELLA SECUA**U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**Scala: **1:125**Pagina **1**

Elaborato

Data esec. **09/09/2019**Falda **-5.30 m** da quota inizio

● 068-2019 [2] : 25.00 m

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI					CPT	1
					Riferimento	068-2019

Committente	VIABILITA' S.R.L.	U.M.:	kg/cm <sup>2</sup>	Data esec.	09/09/2019
Cantiere		Pagina	1		
Località	LONGARE (VI) - PONTE DELLA SECUA	Elaborato		Falda	-3.50 m da quota inizio

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %
0.20	0.0	0.0		0.00	0.60	0		15.20	128.0	148.0		128.00	1.67	77	1.3
0.40	24.0	33.0		24.00	0.80	30	3.3	15.40	120.0	145.0		120.00	1.13	106	0.9
0.60	130.0	142.0		130.00	3.33	39	2.6	15.60	119.0	136.0		119.00	1.07	111	0.9
0.80	90.0	140.0		90.00	2.20	41	2.4	15.80	124.0	140.0		124.00	0.87	143	0.7
1.00	55.0	88.0		55.00	1.33	41	2.4	16.00	128.0	141.0		128.00	3.13	41	2.4
1.20	45.0	65.0		45.00	1.33	34	3.0	16.20	44.0	91.0		44.00	1.00	44	2.3
1.40	41.0	61.0		41.00	1.47	28	3.6	16.40	123.0	138.0		123.00	1.20	103	1.0
1.60	81.0	103.0		81.00	1.87	43	2.3	16.60	190.0	208.0		190.00	0.87	218	0.5
1.80	40.0	68.0		40.00	0.93	43	2.3	16.80	158.0	171.0		158.00	1.07	148	0.7
2.00	33.0	47.0		33.00	1.40	24	4.2	17.00	135.0	151.0		135.00	1.67	81	1.2
2.20	28.0	49.0		28.00	1.60	18	5.7	17.20	141.0	166.0		141.00	1.47	96	1.0
2.40	26.0	50.0		26.00	0.80	33	3.1	17.40	140.0	162.0		140.00	1.07	131	0.8
2.60	36.0	48.0		36.00	0.53	68	1.5	17.60	155.0	171.0		155.00	1.33	117	0.9
2.80	25.0	33.0		25.00	1.33	19	5.3	17.80	40.0	60.0		40.00	1.47	27	3.7
3.00	20.0	40.0		20.00	0.67	30	3.4	18.00	22.0	44.0		22.00	1.60	14	7.3
3.20	22.0	32.0		22.00	0.47	47	2.1	18.20	62.0	86.0		62.00	0.80	78	1.3
3.40	14.0	21.0		14.00	0.60	23	4.3	18.40	44.0	56.0		44.00	1.33	33	3.0
3.60	13.0	22.0		13.00	0.47	28	3.6	18.60	34.0	54.0		34.00	1.40	24	4.1
3.80	7.0	14.0		7.00	0.53	13	7.6	18.80	32.0	53.0		32.00	1.47	22	4.6
4.00	6.0	14.0		6.00	0.13	46	2.2	19.00	54.0	76.0		54.00	1.00	54	1.9
4.20	14.0	16.0		14.00	0.53	26	3.8	19.20	56.0	71.0		56.00	1.47	38	2.6
4.40	22.0	30.0		22.00	0.60	37	2.7	19.40	22.0	44.0		22.00	1.07	21	4.9
4.60	9.0	18.0		9.00	0.47	19	5.2	19.60	18.0	34.0		18.00	0.80	23	4.4
4.80	7.0	14.0		7.00	0.53	13	7.6	19.80	22.0	34.0		22.00	0.80	28	3.6
5.00	9.0	17.0		9.00	0.53	17	5.9	20.00	20.0	32.0		20.00	1.07	19	5.4
5.20	10.0	18.0		10.00	0.47	21	4.7	20.20	19.0	35.0		19.00	0.80	24	4.2
5.40	6.0	13.0		6.00	0.33	18	5.5	20.40	29.0	41.0		29.00	0.67	43	2.3
5.60	4.0	9.0		4.00	0.33	12	8.3	20.60	12.0	22.0		12.00	1.20	10	10.0
5.80	3.0	8.0		3.00	0.33	9	11.0	20.80	60.0	78.0		60.00	0.73	82	1.2
6.00	4.0	9.0		4.00	0.27	15	6.8	21.00	78.0	89.0		78.00	1.20	65	1.5
6.20	8.0	12.0		8.00	0.33	24	4.1	21.20	110.0	128.0		110.00	2.00	55	1.8
6.40	8.0	13.0		8.00	0.33	24	4.1	21.40	70.0	100.0		70.00	1.73	40	2.5
6.60	5.0	10.0		5.00	0.27	19	5.4	21.60	130.0	156.0		130.00	2.33	56	1.8
6.80	7.0	11.0		7.00	0.60	12	8.6	21.80	135.0	170.0		135.00	2.60	52	1.9
7.00	10.0	19.0		10.00	0.40	25	4.0	22.00	99.0	138.0		99.00	2.67	37	2.7
7.20	10.0	16.0		10.00	0.27	37	2.7	22.20	135.0	175.0		135.00	2.67	51	2.0
7.40	14.0	18.0		14.00	0.60	23	4.3	22.40	150.0	190.0		150.00	2.67	56	1.8
7.60	13.0	22.0		13.00	0.40	33	3.1	22.60	130.0	170.0		130.00	2.67	49	2.1
7.80	10.0	16.0		10.00	0.33	30	3.3	22.80	135.0	175.0		135.00	2.33	58	1.7
8.00	22.0	27.0		22.00	0.40	55	1.8	23.00	120.0	155.0		120.00	1.60	75	1.3
8.20	60.0	66.0		60.00	1.27	47	2.1	23.20	108.0	132.0		108.00	2.67	40	2.5
8.40	60.0	79.0		60.00	0.60	100	1.0	23.40	140.0	180.0		140.00	2.13	66	1.5
8.60	54.0	63.0		54.00	1.00	54	1.9	23.60	108.0	140.0		108.00	2.20	49	2.0
8.80	42.0	57.0		42.00	0.80	53	1.9	23.80	105.0	138.0		105.00	2.73	38	2.6
9.00	64.0	76.0		64.00	0.73	88	1.1	24.00	74.0	115.0		74.00	2.13	35	2.9
9.20	102.0	113.0		102.00	1.07	95	1.0	24.20	70.0	102.0		70.00	1.67	42	2.4
9.40	130.0	146.0		130.00	1.47	88	1.1	24.40	111.0	136.0		111.00	1.73	64	1.6
9.60	168.0	190.0		168.00	1.33	126	0.8	24.60	100.0	126.0		100.00	1.73	58	1.7
9.80	160.0	180.0		160.00	1.33	120	0.8	24.80	82.0	108.0		82.00	2.00	41	2.4
10.00	118.0	138.0		118.00	1.20	98	1.0	25.00	88.0	118.0		88.00			
10.20	84.0	102.0		84.00	0.40	210	0.5								
10.40	84.0	90.0		84.00	1.67	50	2.0								
10.60	83.0	108.0		83.00	0.80	104	1.0								
10.80	150.0	162.0		150.00	1.47	102	1.0								
11.00	96.0	118.0		96.00	1.00	96	1.0								
11.20	104.0	119.0		104.00	0.73	142	0.7								
11.40	34.0	45.0		34.00	1.07	32	3.1								
11.60	27.0	43.0		27.00	1.47	18	5.4								
11.80	120.0	142.0		120.00	1.27	94	1.1								
12.00	152.0	171.0		152.00	0.80	190	0.5								
12.20	120.0	132.0		120.00	1.80	67	1.5								
12.40	114.0	141.0		114.00	1.93	59	1.7								
12.60	160.0	189.0		160.00	2.00	80	1.3								
12.80	180.0	210.0		180.00	0.67	269	0.4								
13.00	192.0	202.0		192.00	0.80	240	0.4								
13.20	62.0	74.0		62.00	2.27	27	3.7								
13.40	96.0	130.0		96.00	1.73	55	1.8								
13.60	98.0	124.0		98.00	1.07	92	1.1								
13.80	126.0	142.0		126.00	1.80	70	1.4								
14.00	91.0	118.0		91.00	1.13	81	1.2								
14.20	104.0	121.0		104.00	1.60	65	1.5								
14.40	138.0	162.0		138.00	0.73	189	0.5								
14.60	101.0	112.0		101.00	1.27	80	1.3								
14.80	99.0	118.0		99.00	1.07	93	1.1								
15.00	126.0	142.0		126.00	1.33	95	1.1								

H = profondità  
 L1 = prima lettura (punta)  
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
 Lt = terza lettura (totale)  
 CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza punta  
 fs = resistenza laterale  
 0.20 m sopra quota qc  
 F = rapporto Begemann (qc / fs)  
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI	CPT	2
	Riferimento	068-2019

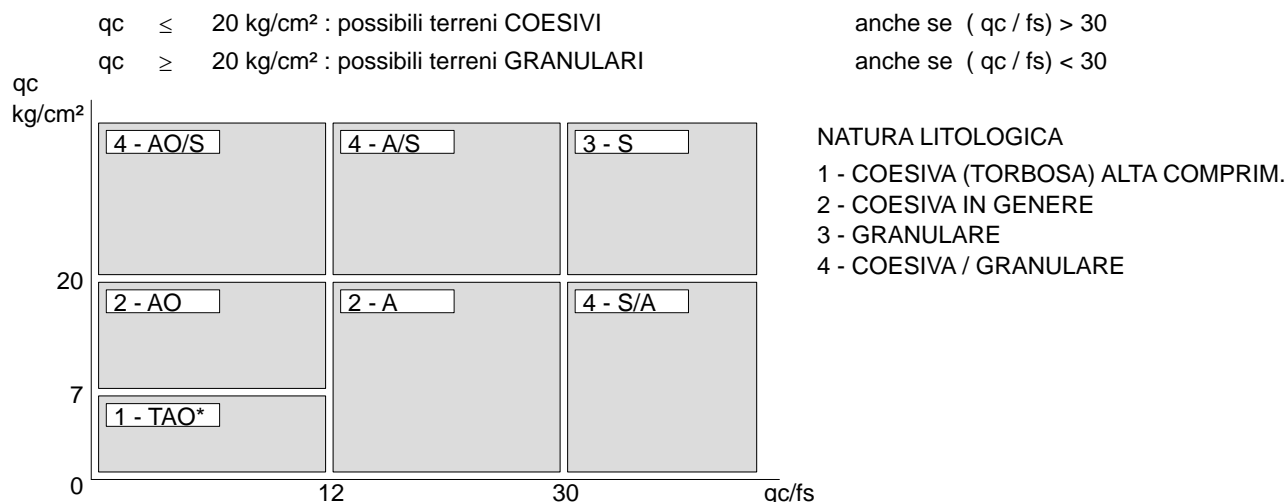
Committente	VIABILITA' S.R.L.	U.M.:	kg/cm²	Data esec.	09/09/2019
Cantiere		Pagina	1		
Località	LONGARE (VI) - PONTE DELLA SECULA	Elaborato		Falda	-5.30 m da quota inizio

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm²	kg/cm²	-	%	m	-	-	-	kg/cm²	kg/cm²	-	%
0.20	0.0	0.0		0.00	4.00	0		15.20	35.0	50.0		35.00	0.87	40	2.5
0.40	100.0	160.0		100.00	1.20	83	1.2	15.40	13.0	26.0		13.00	0.53	25	4.1
0.60	55.0	73.0		55.00	0.67	82	1.2	15.60	9.0	17.0		9.00	0.47	19	5.2
0.80	40.0	50.0		40.00	0.80	50	2.0	15.80	10.0	17.0		10.00	0.87	11	8.7
1.00	26.0	38.0		26.00	0.67	39	2.6	16.00	38.0	51.0		38.00	1.00	38	2.6
1.20	28.0	38.0		28.00	1.00	28	3.6	16.20	17.0	32.0		17.00	0.73	23	4.3
1.40	26.0	41.0		26.00	0.73	36	2.8	16.40	23.0	34.0		23.00	1.00	23	4.3
1.60	45.0	56.0		45.00	1.27	35	2.8	16.60	17.0	32.0		17.00	0.67	25	3.9
1.80	34.0	53.0		34.00	1.00	34	2.9	16.80	10.0	20.0		10.00	0.80	13	8.0
2.00	36.0	51.0		36.00	1.00	36	2.8	17.00	12.0	24.0		12.00	0.67	18	5.6
2.20	46.0	61.0		46.00	0.80	58	1.7	17.20	48.0	58.0		48.00	1.47	33	3.1
2.40	46.0	58.0		46.00	1.33	35	2.9	17.40	38.0	60.0		38.00	0.47	81	1.2
2.60	28.0	48.0		28.00	1.33	21	4.8	17.60	28.0	35.0		28.00	0.80	35	2.9
2.80	16.0	36.0		16.00	0.87	18	5.4	17.80	12.0	24.0		12.00	1.13	11	9.4
3.00	15.0	28.0		15.00	0.87	17	5.8	18.00	84.0	101.0		84.00	0.47	179	0.6
3.20	15.0	28.0		15.00	0.93	16	6.2	18.20	90.0	97.0		90.00	2.00	45	2.2
3.40	16.0	30.0		16.00	0.80	20	5.0	18.40	108.0	138.0		108.00	1.33	81	1.2
3.60	17.0	29.0		17.00	0.87	20	5.1	18.60	160.0	180.0		160.00	1.33	120	0.8
3.80	18.0	31.0		18.00	0.73	25	4.1	18.80	170.0	190.0		170.00	0.80	213	0.5
4.00	11.0	22.0		11.00	0.80	14	7.3	19.00	155.0	167.0		155.00	0.93	167	0.6
4.20	12.0	24.0		12.00	0.87	14	7.3	19.20	148.0	162.0		148.00	0.33	448	0.2
4.40	15.0	28.0		15.00	0.67	22	4.5	19.40	158.0	163.0		158.00	1.47	107	0.9
4.60	15.0	25.0		15.00	0.60	25	4.0	19.60	104.0	126.0		104.00	1.60	65	1.5
4.80	12.0	21.0		12.00	0.47	26	3.9	19.80	20.0	44.0		20.00	0.93	22	4.7
5.00	9.0	16.0		9.00	0.40	23	4.4	20.00	14.0	28.0		14.00	0.60	23	4.3
5.20	8.0	14.0		8.00	0.40	20	5.0	20.20	94.0	103.0		94.00	1.00	94	1.1
5.40	7.0	13.0		7.00	0.33	21	4.7	20.40	46.0	61.0		46.00	0.87	53	1.9
5.60	8.0	13.0		8.00	0.47	17	5.9	20.60	62.0	75.0		62.00	1.73	36	2.8
5.80	15.0	22.0		15.00	0.53	28	3.5	20.80	24.0	50.0		24.00	1.00	24	4.2
6.00	15.0	23.0		15.00	0.60	25	4.0	21.00	41.0	56.0		41.00	0.67	61	1.6
6.20	10.0	19.0		10.00	0.33	30	3.3	21.20	59.0	69.0		59.00	2.00	30	3.4
6.40	6.0	11.0		6.00	0.27	22	4.5	21.40	30.0	60.0		30.00	1.07	28	3.6
6.60	9.0	13.0		9.00	0.33	27	3.7	21.60	20.0	36.0		20.00	1.00	20	5.0
6.80	5.0	10.0		5.00	0.27	19	5.4	21.80	15.0	30.0		15.00	1.00	15	6.7
7.00	5.0	9.0		5.00	0.60	8	12.0	22.00	15.0	30.0		15.00	1.00	15	6.7
7.20	11.0	20.0		11.00	0.33	33	3.0	22.20	16.0	31.0		16.00	0.67	24	4.2
7.40	9.0	14.0		9.00	0.33	27	3.7	22.40	20.0	30.0		20.00	0.87	23	4.4
7.60	5.0	10.0		5.00	0.20	25	4.0	22.60	15.0	28.0		15.00	0.67	22	4.5
7.80	5.0	8.0		5.00	0.27	19	5.4	22.80	18.0	28.0		18.00	0.67	27	3.7
8.00	42.0	46.0		42.00	0.27	156	0.6	23.00	13.0	23.0		13.00	1.00	13	7.7
8.20	13.0	17.0		13.00	1.00	13	7.7	23.20	16.0	31.0		16.00	1.00	16	6.3
8.40	20.0	35.0		20.00	0.20	100	1.0	23.40	63.0	78.0		63.00	0.80	79	1.3
8.60	14.0	17.0		14.00	0.33	42	2.4	23.60	73.0	85.0		73.00	1.67	44	2.3
8.80	39.0	44.0		39.00	0.33	118	0.8	23.80	90.0	115.0		90.00	1.20	75	1.3
9.00	24.0	29.0		24.00	0.80	30	3.3	24.00	118.0	136.0		118.00	1.33	89	1.1
9.20	19.0	31.0		19.00	0.73	26	3.8	24.20	140.0	160.0		140.00	0.93	151	0.7
9.40	9.0	20.0		9.00	0.20	45	2.2	24.40	161.0	175.0		161.00	2.67	60	1.7
9.60	33.0	36.0		33.00	0.60	55	1.8	24.60	150.0	190.0		150.00	2.53	59	1.7
9.80	36.0	45.0		36.00	1.00	36	2.8	24.80	142.0	180.0		142.00	3.20	44	2.3
10.00	35.0	50.0		35.00	0.60	58	1.7	25.00	142.0	190.0		142.00			
10.20	54.0	63.0		54.00	0.53	102	1.0								
10.40	60.0	68.0		60.00	0.60	100	1.0								
10.60	67.0	76.0		67.00	0.67	100	1.0								
10.80	63.0	73.0		63.00	0.73	86	1.2								
11.00	80.0	91.0		80.00	0.53	151	0.7								
11.20	118.0	126.0		118.00	1.33	89	1.1								
11.40	140.0	160.0		140.00	0.67	209	0.5								
11.60	130.0	140.0		130.00	0.53	245	0.4								
11.80	78.0	86.0		78.00	1.07	73	1.4								
12.00	12.0	28.0		12.00	0.80	15	6.7								
12.20	16.0	28.0		16.00	0.87	18	5.4								
12.40	57.0	70.0		57.00	1.20	48	2.1								
12.60	62.0	80.0		62.00	1.27	49	2.0								
12.80	75.0	94.0		75.00	1.33	56	1.8								
13.00	92.0	112.0		92.00	0.93	99	1.0								
13.20	76.0	90.0		76.00	1.73	44	2.3								
13.40	82.0	108.0		82.00	1.13	73	1.4								
13.60	93.0	110.0		93.00	0.67	139	0.7								
13.80	108.0	118.0		108.00	0.53	204	0.5								
14.00	116.0	124.0		116.00	0.93	125	0.8								
14.20	99.0	113.0		99.00	0.93	106	0.9								
14.40	88.0	102.0		88.00	1.13	78	1.3								
14.60	86.0	103.0		86.00	1.33	65	1.5								
14.80	65.0	85.0		65.00	1.00	65	1.5								
15.00	120.0	135.0		120.00	1.00	120	0.8								

H = profondità	qc = resistenza punta
L1 = prima lettura (punta)	fs = resistenza laterale
L2 = seconda lettura (punta + laterale)	0.20 m sopra quota qc
Lt = terza lettura (totale)	F = rapporto Begemann (qc / fs)
CT =10.00 costante di trasformazione	Rf = rapporto Schmertmann (fs /qc)*100

## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto  $q_c / f_s$  (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :



PARAMETRI GEOTECNICI ( validità orientativa ) - simboli - correlazioni - bibliografia

- $\gamma'$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno immerso in falda [ correlaz.:  $\gamma' - q_c - \text{natura}$  ]  
( Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982 )
- $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma'$  )
- $C_u$  = coesione non drenata (terreni coesivi ) [ correlazioni :  $C_u - q_c$  ]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi ) [ correlazioni : OCR -  $C_u - \sigma'_{vo}$  ]  
( Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983 )
- Eu = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [ correl. : Eu -  $C_u$  - OCR -  $I_p$   $I_p = \text{ind.plast.}$  ]  
Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976 )
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [ correlazioni : E' -  $q_c$  ]  
E'50 - E'25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza F = 2 - 4 rispettivamente )  
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983 )
- Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [ correl. : Mo -  $q_c$  - natura]  
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )
- Dr = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)  
[ correlazioni : Dr -  $R_p - \sigma'_{vo}$  (Schmertmann 1976 )]
- $\phi'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\phi' - Dr - q_c - \sigma'_{vo}$  ]  
 $\phi'_{Ca}$  - Caquot (1948)  $\phi'_{Ko}$  - Koppejan (1948)  
 $\phi'_{DB}$  - De Beer (1965)  $\phi'_{Sc}$  - Schmertmann (1978)  
 $\phi'_{DM}$  - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.)  $\phi'_{Me}$  - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- F.L. = fattore di liquefazione (F.L.1 = Sabbie Pulite, F.L.2 = Sabbie Limose)
- Vs = velocità di propagazione delle onde sismiche ( Iyisan 1996 )