



Comune di SANGUINETTO

PROVINCIA DI VERONA

LAVORI DI REALIZZAZIONE PISTA CICLABILE PER GARANTIRE L'ACCESSO IN SICUREZZA AL CENTRO URBANO

INDAGINE GEOGNOSTICA

Rapporto sulle indagini

A CURA DI:

Dott. Geol. Luca Bersani

COMMITTENTE:

Comune di Sanguinetto

Verona, maggio 2021

DOTT. GEOL. LUCA BERSANI
Via Tiziano, 5 - 37138 Verona - Tel. 347 7993650
e-mail: luca.bersani@ltsht.com

INDICE

1.	Premessa	3
2.	Inquadramento Geografico	4
3.	Opera in progetto	6
4.	Indagini geognostiche.....	7
4.1.	Prove penetrometriche statiche (CPT)	9
4.2.	Prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH)	10
4.3.	Prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi.	11
4.4.	Registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R.	11
5.	Allegati	13

1. PREMESSA

Il Comune di Sanguinetto ha conferito allo scrivente professionista, con Determinazione n° 121 del 16.12.2020, *l'incarico professionale per l'effettuazione di indagine geognostica e caratterizzazione dei terreni di scavo ai sensi del DPR n. 120/2017 nell'ambito dei lavori di "Lavori di realizzazione pista ciclabile per garantire l'accesso in sicurezza al centro urbano" (CIG ZE12FCFAC3).*

Il presente rapporto descrive le attività eseguite nel corso dell'indagine che si è così articolata:

- n° 4 prove penetrometriche statiche (CPT), spinte a profondità variabili tra 6,4÷19,4 m da p.c.;
- n° 1 prova penetrometrica dinamica (DPSH), spinta fino alla profondità di 12,4 m da p.c.;
- n° 2 prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor);
- n° 2 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

In allegato a fondo testo la scheda descrittiva di ogni singola prova, le tabelle, i grafici, il rapporto descrittivo dell'indagine geofisica e le sismostratigrafie desunte dalle Re.Mi.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il tracciato della pista ciclabile si svolge, con direzione approssimativa N-S, ad est del centro abitato di Sanguinetto; la quota topografica è compresa tra circa 15÷16 m s.l.m.

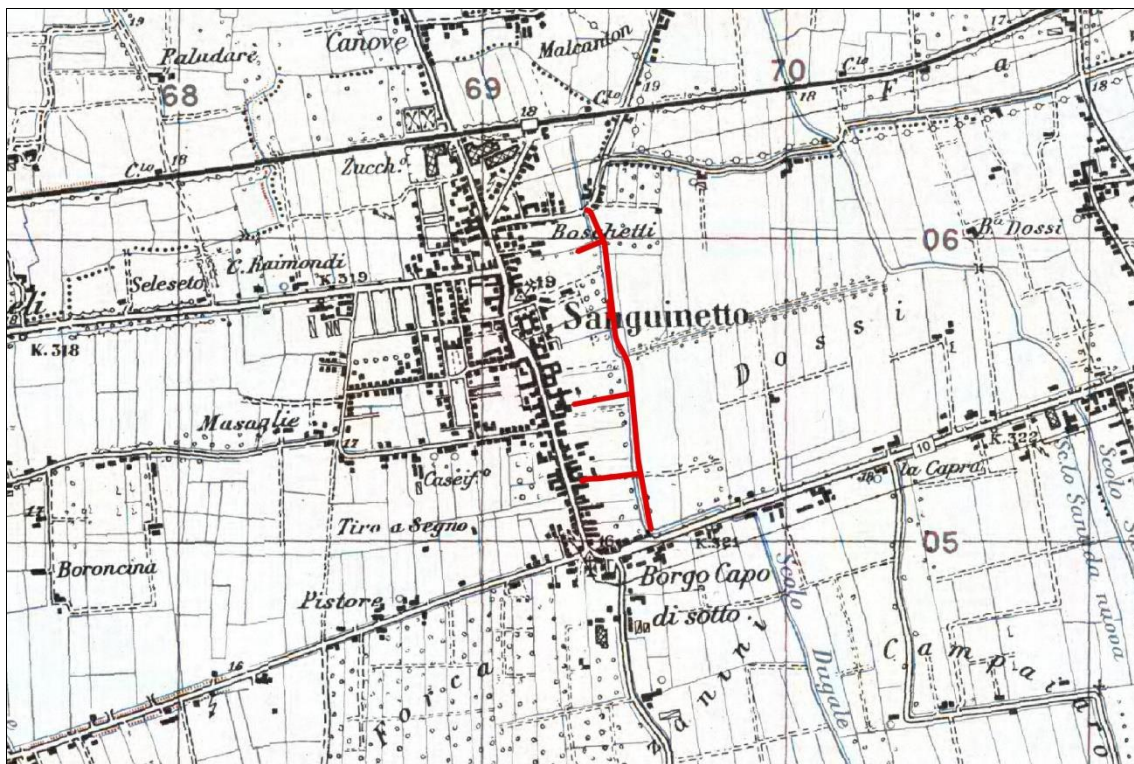


Figura 1: estratto della Carta Topografica d'Italia – scala 1:25000



Figura 2: immagine estratta da Google Earth

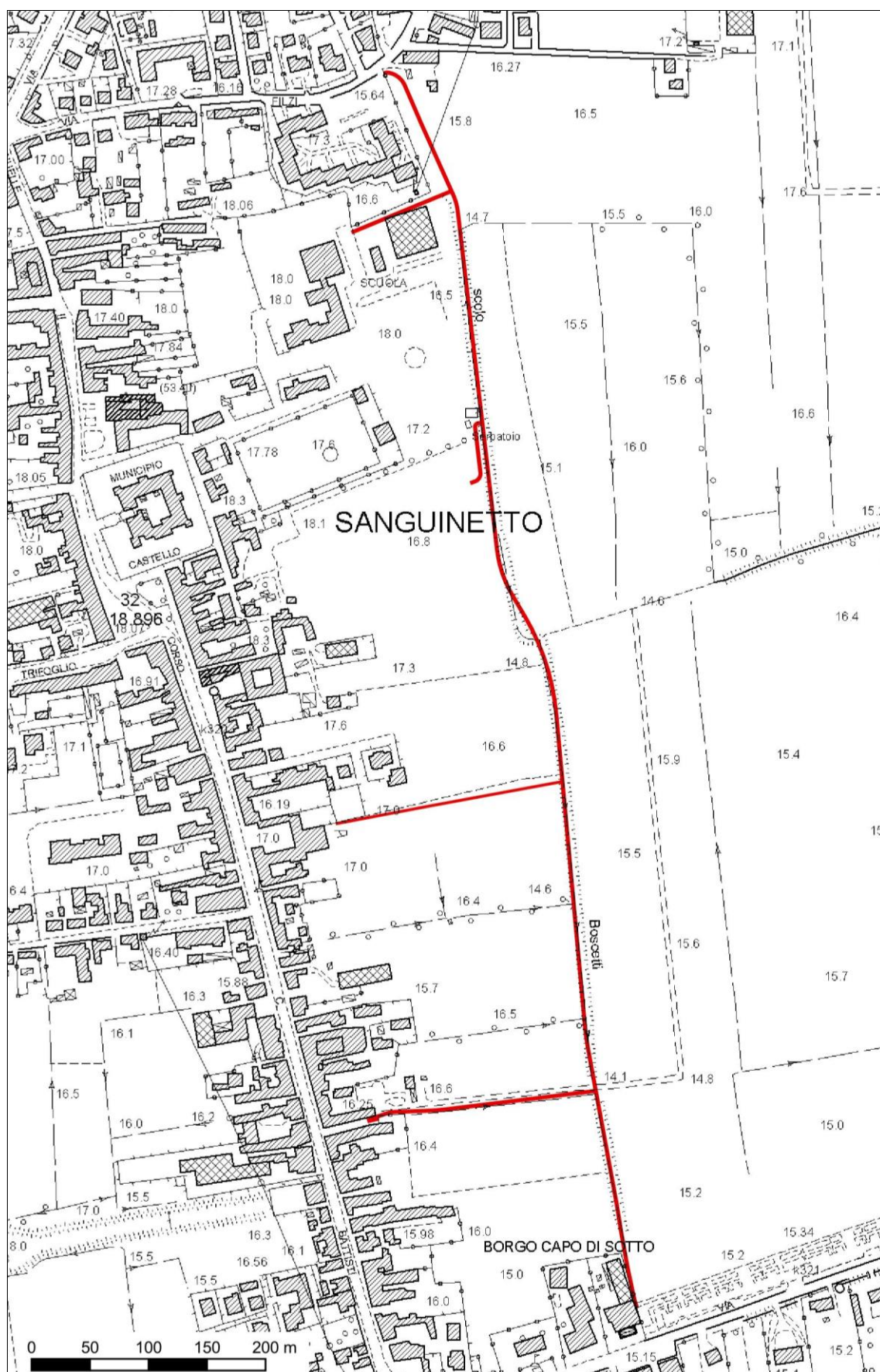


Figura 3: estratto della CTR – scala 1:10000 (ingrandita a 1:5000) – sezione n° 166020 “Sanguinetto”

3. OPERA IN PROGETTO

La pista ciclabile di progetto si sviluppa su un tracciato della lunghezza di circa 1 km su sede propria, sfruttando ove possibile il sedime demaniale dell'alveo dello scolo Boschetti, oggetto di tombamento e nuova alveazione.

La sezione prevista è di tipo bidirezionale e ha una larghezza di 2.50 m. Lungo il tracciato saranno realizzate aree di sosta.

La realizzazione della sede della pista ciclabile comprende:

- scotico preventivo di 20 cm;
- scavo per la realizzazione del cassonetto stradale/riporto di materiale per realizzazione di scarpata;
- costipazione del terreno;
- realizzazione di misto naturale tout-venant dello spessore di 20 cm;
- posa delle cordonate laterali singole di delimitazione o in forma di doppia cordonata di protezione per la realizzazione di aiuola piantumata;
- realizzazione di misto naturale stabilizzato dello spessore di 5 cm;
- posa di pavimentazione a finire per manto di usura superficiale dello spessore di 3 cm.

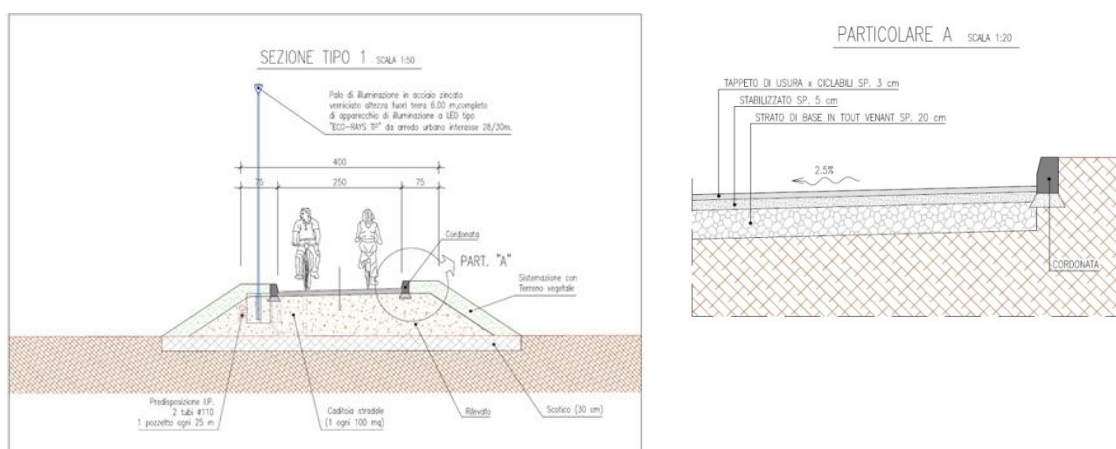


Figura 4: sezione tipologica di progetto

4. INDAGINI GEOGNOSTICHE

I terreni che costituiscono il sottosuolo dell'area in studio sono stati caratterizzati mediante la realizzazione di n° 5 prove penetrometriche statiche e/o dinamiche.

Si è preferito, ove possibile, eseguire **prove statiche (CPT)** per la qualità del dato ottenibile, raggiungendo le profondità massime in corrispondenza di **CPT1** (19.4 m da p.c.) e **CPT 5** (17.6 m da p.c.), indicativamente ubicate alle estremità rispetto allo sviluppo del tracciato della ciclabile, mentre in **CPT2** (10.6 m da p.c.) e **CPT4** (6.4 m da p.c.) è stata indagata solo la parte più superficiale. In particolare, la prova **CPT4** è stata interrotta alla profondità di 6.4 m da p.c. per la presenza di un banco sabbioso addensato, il cui attraversamento si è rivelato problematico anche per un insufficiente ancoraggio del penetrometro, presumibilmente a causa di riporti superficiali.

Solo in corrispondenza dell'area dei campi sportivi, è stato necessario eseguire una **prova dinamica (DPSH)** anziché statica poiché non stato possibile, per la presenza di riporto grossolano, ancorare con sufficiente stabilità al terreno il penetrometro.

La prova in oggetto, denominata **DPSH3**, ha raggiunto la profondità di 12.4 m da p.c.

L'amplificazione sismica dei terreni è stata invece valutata mediante l'esecuzione di **n° 2 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi.** (Refraction Microtremor), finalizzata alla determinazione della categoria di sottosuolo, come previsto dalle Norme Tecniche per Costruzioni (NTC 2018).

Inoltre, sono state eseguite **n° 2 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R.** (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), per la determinazione della frequenza caratteristica di sito.

La figura seguente schematizza l'ubicazione delle indagini eseguite.



Figura 5: ubicazione indagini

4.1. Prove penetrometriche statiche (CPT)

In data 19 maggio 2021, sono stati eseguite n° 4 prove penetrometriche statiche con punta meccanica tipo Begemann, mediante penetrometro PAGANI TG 63-200 montato su carro cingolato semovente a trazione idraulica, con forza di infissione pari a 200 KN.

Le prove hanno raggiunto le seguenti profondità:

CPT1 19,4 m da p.c.

CPT2 10,6 m da p.c.

CPT4 6,4 m da p.c.

CPT5 17,6 m da p.c.

La figura seguente confronta il valore di Q_c (espresso in kg/cm^2) misurato nel corso delle varie prove.

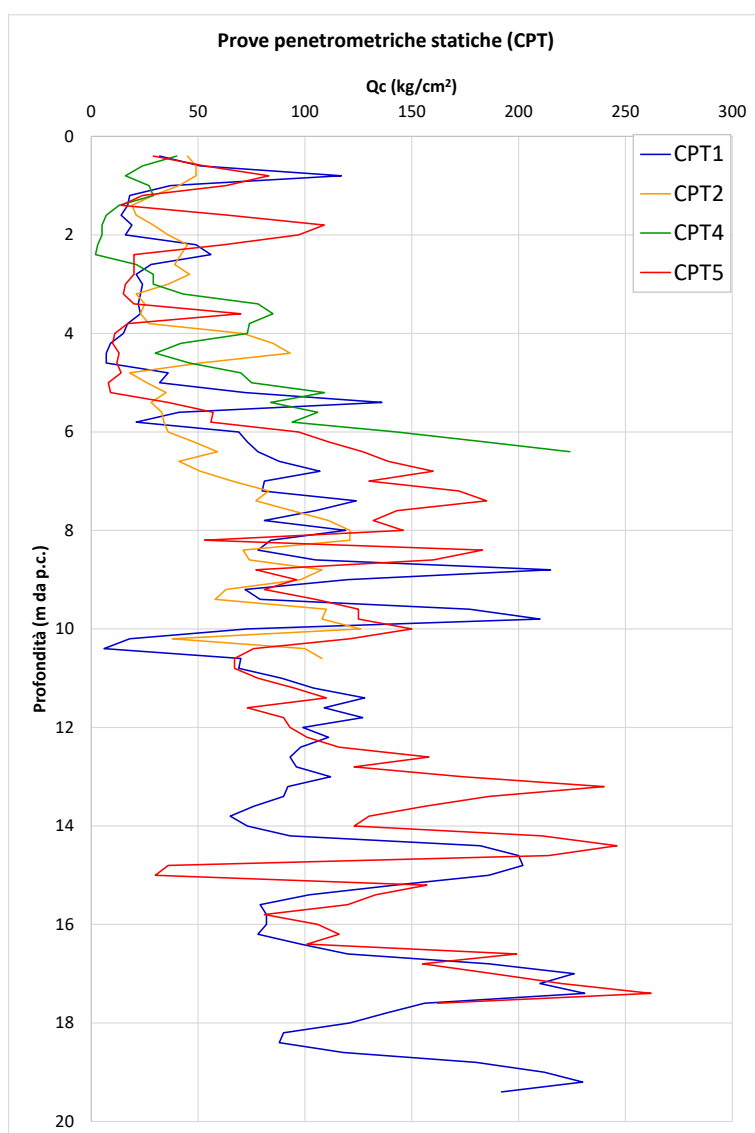


Figura 6: confronto parametro Q_c tra le CPT

In allegato a fondo testo la scheda descrittiva di ogni singola prova, le tabelle e i relativi grafici.

4.2. Prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH)

La prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH (Dynamic Probing Super Heavy), eseguita anch'essa col medesimo penetrometro PAGANI, consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno, per tratti successivi di 20 cm, una punta conica metallica posta all'estremità di una batteria d'aste di acciaio. L'infissione avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante (75 cm) un maglio di dato peso (63,5 kg) e contando i colpi necessari all'avanzamento della punta.

Di seguito, un'immagine con le fasi esecutive della prova DPSH3, spinta fino alla profondità di 12,4 m da p.c., e il relativo grafico.

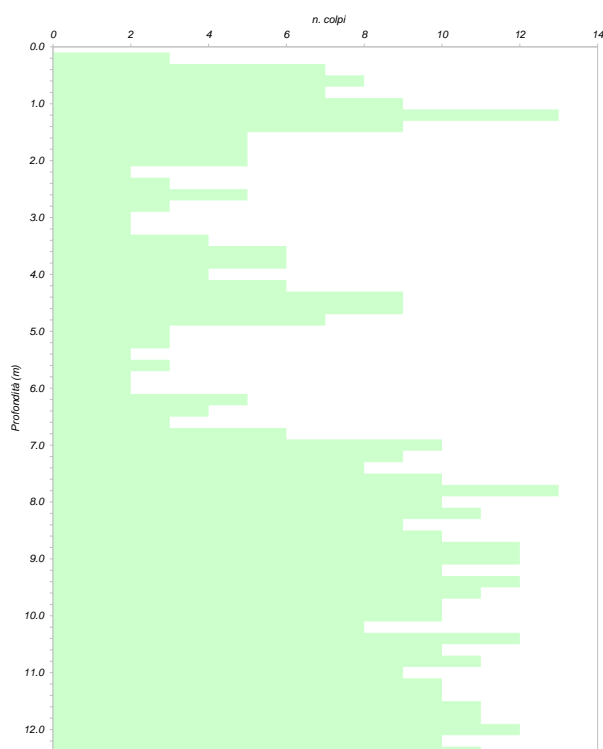


Figura 7: grafico DPSH

In allegato a fondo testo la scheda descrittiva della prova DHPS3, la tabella e il relativo grafico.

4.3. Prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi.

Le prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor) sono state sviluppate in array lineari lunghi 46 m allo scopo di ricavare la curva di dispersione delle onde di superficie ed ottenere una stima preliminare della sismostratigrafia del sottosuolo.

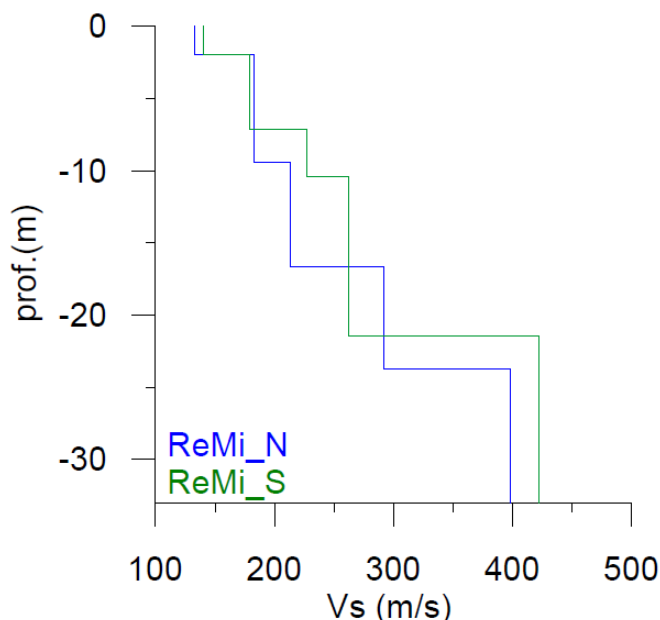


Figura 8: sismostratigrafie sovrapposte

I modelli proposti prevedono un graduale aumento del grado di addensamento fino ad una ventina di metri. A questa quota ci sarebbe il contatto con materiali di maggior rigidità con Vs dell'ordine di 400-420m/s. Le sismostratigrafie mostrano una leggera differenza in termini di velocità e spessore degli strati, differenze compatibili con un contesto deposizionale di piana alluvionale di medio-bassa energia.

La **Categoria sismica**, calcolata sulla base dei valori di $V_{s,30}$, inferiori a 360m/s, è chiaramente la **C**.

4.4. Registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R.

Le acquisizioni a stazione singola consentono di ottenere le curve dei rapporti spettrali (H/V) tra le componenti orizzontale e verticale delle onde di superficie generate dal noise ambientale. Da questa, se evidente perché le caratteristiche della struttura geologica lo consentono, si può quantificare la frequenza di risonanza del sito testato.

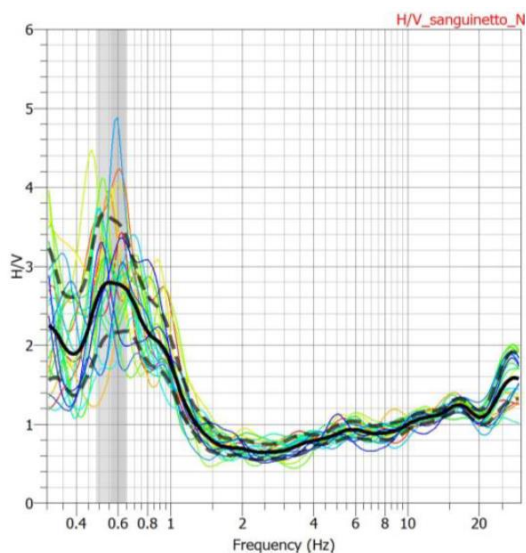


Figura 9: curva H/V di HVSr_N

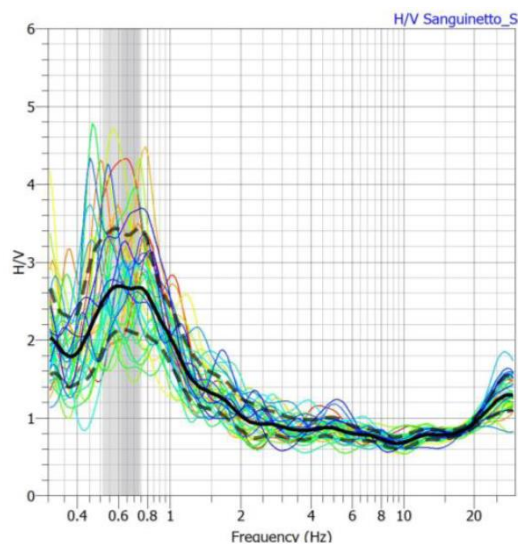


Figura 10: curva H/V di HVSr_S

Le curve H/V presentano un massimo a frequenza compresa tra 0.56Hz e 0.61Hz e la leggera discrepanza rientra nella categoria dell'errore strumentale. Le frequenze sono quindi sostanzialmente identiche, considerato il contesto geologico dell'area dove il bedrock è sicuramente profondo e l'interfaccia subplanare.

Sintetizzando, si può quindi concludere che il sito presenta una **frequenza di risonanza f_0 di circa 0.6Hz**.

In allegato a fondo testo il rapporto completo dell'indagine geofisica e le sismostratigrafie ottenute con le Re.Mi.

Verona, 31 maggio 2021

Dott. Geol. LUCA BERSANI

5. ALLEGATI

- ❑ Schede descrittive, tabelle e grafici CPT e DPSH
- ❑ Rapporto indagine geofisica (*“Caratterizzazione del sottosuolo di fondazione per la costruzione di una nuova pista ciclabile per accesso in sicurezza al centro urbano”*) e tabelle riepilogative (ReMi_N e ReMi_S)

Prova

Data:

Luogo:

Committente:

Prof. Finale:

Prof. Falda:

Penetrometro Pagani TG63-200

CPT1

19-mag-21

Sanguinetto (VR)

Comune di Sanguinetto

19.4 m da p.c.

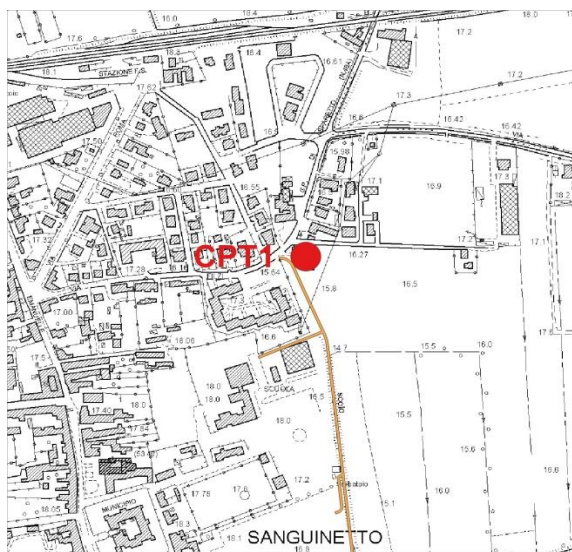
1.8 m da p.c.

Est WGS84 (EPSG 4326)

11.154943°

Nord WGS84 (EPSG 4326)

45.186187°



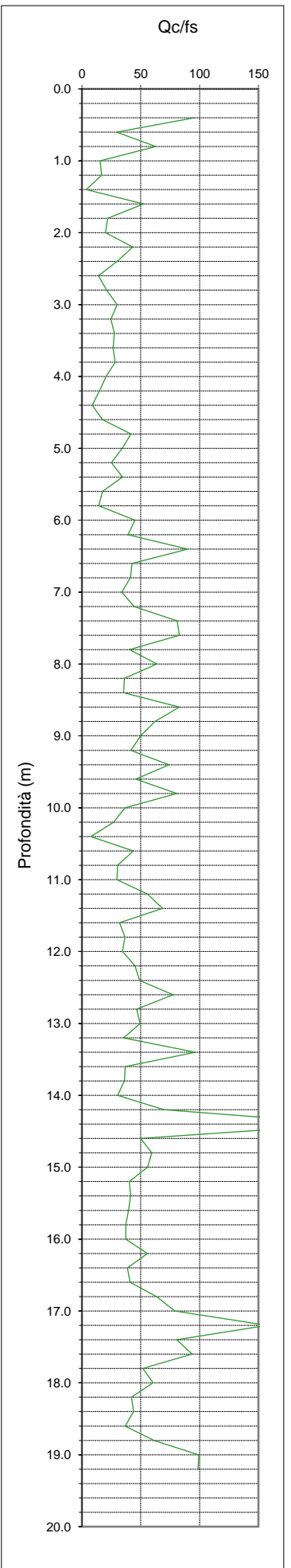
Ubicazione CPT1 su CTR scala 1:10000



Ubicazione CPT1 su estratto da Google Satellite

Penetrometro Pagani TG63-200

1.80 m da p.c.



Prova
 Data: 19-mag-21
 Luogo: Sanguinetto (VR)
 Committente: Comune di Sanguinetto
 Prof. Finale: 19.4 m da p.c.
 Prof. Falda: 1.8 m da p.c.
 Penetrometro Pagani TG63-200

CPT1

Prof.	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI	Litologia (AGI)
0.2				
0.4	32	0.33	96	Sabbie e sabbie con ghiaia
0.6	51	1.73	29	Limi e Argille
0.8	117	1.87	63	Sabbie e sabbie con ghiaia
1.0	37	2.40	15	Limi e Argille
1.2	18	1.07	17	Limi e Argille
1.4	17	4.60	4	Torbe ed argille organiche
1.6	14	0.27	53	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.8	19	0.87	22	Limi e Argille
2.0	16	0.80	20	Limi e Argille
2.2	49	1.13	43	Limi sabbiosi e sabbie limose
2.4	56	1.87	30	Limi e Argille
2.6	28	2.00	14	Torbe ed argille organiche
2.8	21	1.00	21	Limi e Argille
3.0	24	0.80	30	Limi e Argille
3.2	23	0.93	25	Limi e Argille
3.4	22	0.80	28	Limi e Argille
3.6	23	0.87	27	Limi e Argille
3.8	17	0.60	28	Limi e Argille
4.0	15	0.73	20	Limi e Argille
4.2	9	0.60	15	Torbe ed argille organiche
4.4	7	0.80	9	Torbe ed argille organiche
4.6	7	0.40	18	Limi e Argille
4.8	36	0.87	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.0	32	0.93	34	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.2	72	2.87	25	Limi e Argille
5.4	136	3.93	35	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.6	41	2.33	18	Limi e Argille
5.8	21	1.47	14	Torbe ed argille organiche
6.0	69	1.53	45	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.2	73	1.87	39	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.4	78	0.87	90	Sabbie e sabbie con ghiaia
6.6	88	2.07	43	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.8	107	2.60	41	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.0	81	2.40	34	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.2	80	1.80	44	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.4	124	1.53	81	Sabbie e sabbie con ghiaia
7.6	105	1.27	83	Sabbie e sabbie con ghiaia
7.8	81	2.00	41	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.0	119	1.87	64	Sabbie e sabbie con ghiaia
8.2	84	2.33	36	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.4	78	2.20	35	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.6	105	1.27	83	Sabbie e sabbie con ghiaia
8.8	215	3.47	62	Sabbie e sabbie con ghiaia
9.0	120	2.40	50	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.2	72	1.73	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.4	79	1.07	74	Sabbie e sabbie con ghiaia
9.6	177	3.87	46	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.8	210	2.60	81	Sabbie e sabbie con ghiaia
10.0	73	2.00	37	Limi sabbiosi e sabbie limose

Prova
 Data: 19-mag-21
 Luogo: Sanguinetto (VR)
 Committente: Comune di Sanguinetto
 Prof. Finale: 19.4 m da p.c.
 Prof. Falda: 1.8 m da p.c.
 Penetrometro Pagani TG63-200

CPT1

Prof.	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI	Litologia (AGI)
10.2	18	0.67	27	Limi e Argille
10.4	6	0.80	8	Torbe ed argille organiche
10.6	70	1.60	44	Limi sabbiosi e sabbie limose
10.8	69	2.27	30	Limi sabbiosi e sabbie limose
11.0	89	3.00	30	Limi e Argille
11.2	104	1.87	56	Limi sabbiosi e sabbie limose
11.4	128	1.87	69	Sabbie e sabbie con ghiaia
11.6	109	3.40	32	Limi sabbiosi e sabbie limose
11.8	127	3.47	37	Limi sabbiosi e sabbie limose
12.0	99	2.87	35	Limi sabbiosi e sabbie limose
12.2	111	2.47	45	Limi sabbiosi e sabbie limose
12.4	98	2.00	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
12.6	93	1.20	78	Sabbie e sabbie con ghiaia
12.8	96	2.07	46	Limi sabbiosi e sabbie limose
13.0	112	2.27	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
13.2	92	2.60	35	Limi sabbiosi e sabbie limose
13.4	90	0.93	96	Sabbie e sabbie con ghiaia
13.6	76	2.07	37	Limi sabbiosi e sabbie limose
13.8	65	1.80	36	Limi sabbiosi e sabbie limose
14.0	73	2.40	30	Limi sabbiosi e sabbie limose
14.2	93	1.33	70	Sabbie e sabbie con ghiaia
14.4	182	0.80	228	Sabbie e sabbie con ghiaia
14.6	200	4.00	50	Limi sabbiosi e sabbie limose
14.8	202	3.40	59	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.0	186	3.33	56	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.2	142	3.53	40	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.4	102	2.47	41	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.6	79	2.00	40	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.8	82	2.20	37	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.0	82	2.20	37	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.2	78	1.40	56	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.4	98	2.53	39	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.6	120	2.93	41	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.8	186	2.93	63	Sabbie e sabbie con ghiaia
17.0	226	2.87	79	Sabbie e sabbie con ghiaia
17.2	210	1.33	158	Sabbie e sabbie con ghiaia
17.4	231	2.87	81	Sabbie e sabbie con ghiaia
17.6	156	1.67	94	Sabbie e sabbie con ghiaia
17.8	138	2.67	52	Limi sabbiosi e sabbie limose
18.0	121	2.00	61	Sabbie e sabbie con ghiaia
18.2	90	2.13	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
18.4	88	2.00	44	Limi sabbiosi e sabbie limose
18.6	118	3.20	37	Limi sabbiosi e sabbie limose
18.8	180	2.93	61	Sabbie e sabbie con ghiaia
19.0	212	2.13	99	Sabbie e sabbie con ghiaia
19.2	230	2.33	99	Sabbie e sabbie con ghiaia
19.4	192			

Prova
Data: 19-mag-21
Luogo: Sanguinetto (VR)
Committente: Comune di Sanguinetto
Prof. Finale: 10.6 m da p.c.
Prof. Falda: 1.8 m da p.c.
Penetrometro Pagani TG63-200

CPT2

Est WGS84 (EPSG 4326) 11.154976°
Nord WGS84 (EPSG 4326) 45.185392°



Ubicazione CPT2 su CTR scala 1:10000



Ubicazione CPT2 su estratto da Google Satellite

Prova

Data:19-mag-21

Luogo:Sanguinetto (VR)

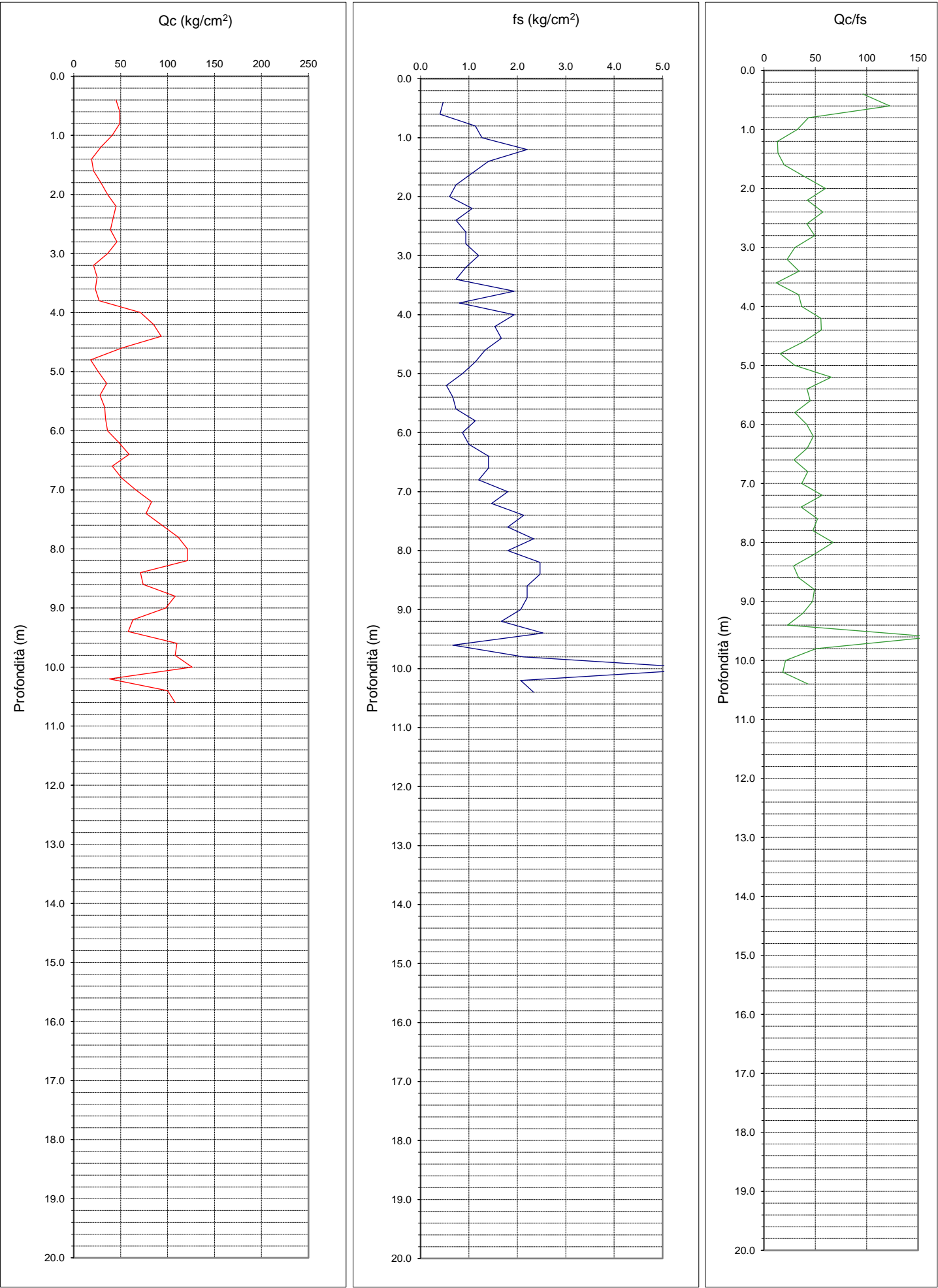
Committente:Comune di Sanguinetto

Prof. Finale:10.60m da p.c.

Prof. Falda:1.80m da p.c.

Penetrometro Pagani TG63-200

CPT2



Prova
 Data: 19-mag-21
 Luogo: Sanguinetto (VR)
 Committente: Comune di Sanguinetto
 Prof. Finale: 10.6 m da p.c.
 Prof. Falda: 1.8 m da p.c.
 Penetrometro Pagani TG63-200

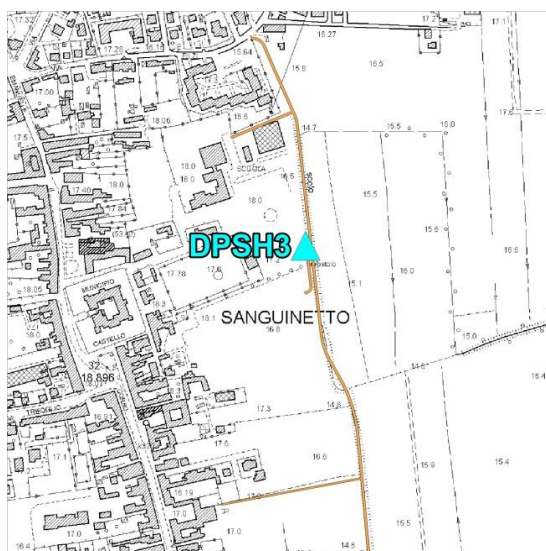
CPT2

Prof.	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI	Litologia (AGI)
0.2				
0.4	45	0.47	96	Sabbie e sabbie con ghiaia
0.6	49	0.40	123	Sabbie e sabbie con ghiaia
0.8	49	1.13	43	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.0	41	1.27	32	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.2	29	2.20	13	Torbe ed argille organiche
1.4	19	1.40	14	Torbe ed argille organiche
1.6	21	1.07	20	Limi e Argille
1.8	29	0.73	40	Limi sabbiosi e sabbie limose
2.0	36	0.60	60	Limi sabbiosi e sabbie limose
2.2	45	1.07	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
2.4	42	0.73	57	Limi sabbiosi e sabbie limose
2.6	39	0.93	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
2.8	46	0.93	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
3.0	36	1.20	30	Limi e Argille
3.2	21	0.93	23	Limi e Argille
3.4	25	0.73	34	Limi sabbiosi e sabbie limose
3.6	23	1.93	12	Torbe ed argille organiche
3.8	27	0.80	34	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.0	71	1.93	37	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.2	85	1.53	55	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.4	93	1.67	56	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.6	51	1.33	38	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.8	18	1.13	16	Limi e Argille
5.0	26	0.87	30	Limi e Argille
5.2	35	0.53	66	Sabbie e sabbie con ghiaia
5.4	28	0.67	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.6	33	0.73	45	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.8	34	1.13	30	Limi e Argille
6.0	36	0.87	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.2	48	1.00	48	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.4	59	1.40	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.6	41	1.40	29	Limi e Argille
6.8	51	1.20	43	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.0	66	1.80	37	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.2	83	1.47	57	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.4	77	2.13	36	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.6	94	1.80	52	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.8	111	2.33	48	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.0	121	1.80	67	Sabbie e sabbie con ghiaia
8.2	121	2.47	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.4	71	2.47	29	Limi e Argille
8.6	74	2.20	34	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.8	108	2.20	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.0	98	2.07	47	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.2	63	1.67	38	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.4	58	2.53	23	Limi e Argille
9.6	110	0.67	165	Sabbie e sabbie con ghiaia
9.8	108	2.13	51	Limi sabbiosi e sabbie limose
10.0	126	6.00	21	Limi e Argille
10.2	38	2.07	18	Limi e Argille
10.4	100	2.33	43	Limi sabbiosi e sabbie limose
10.6	108	0.00		

Prova
Data: 19-mag-21
Luogo: Sanguinetto (VR)
Committente: Comune di Sanguinetto
Prof. Finale: 12.4 m da p.c.
Prof. Falda: 2.9 m da p.c.
Penetrometro Pagani TG63-200

DPSH 3

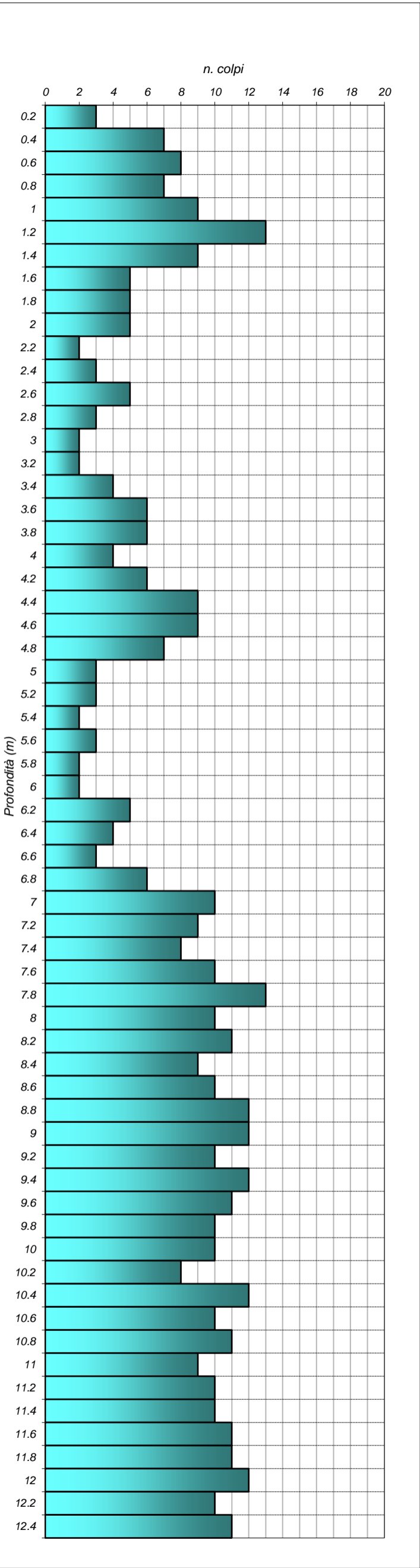
Est WGS84 (EPSG 4326) 11.155354°
Nord WGS84 (EPSG 4326) 45.183590°



Ubicazione DPSH3 su CTR scala 1:10000

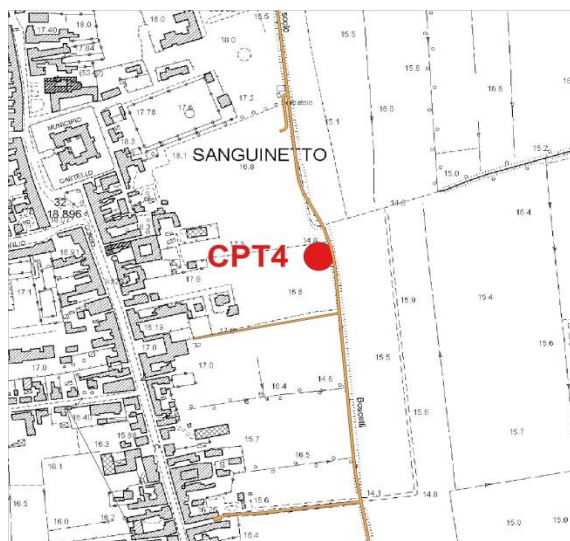
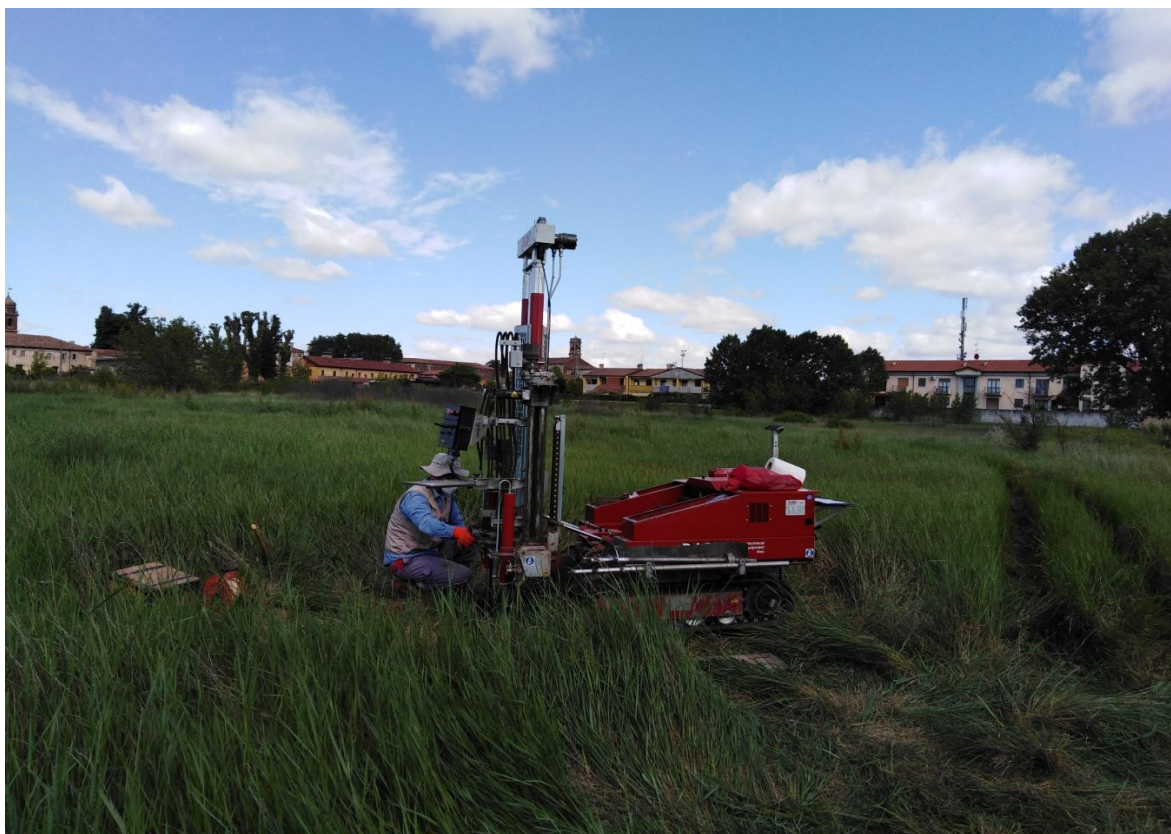
Ubicazione DPSH3 su estratto da Google Satellite

DPSH 3		
Data esecuzione: 19-mag-21		
Prof.	N. punta	N. rivest.
0.2	3	
0.4	7	
0.6	8	
0.8	7	
1	9	
1.2	13	
1.4	9	
1.6	5	
1.8	5	
2	5	
2.2	2	
2.4	3	
2.6	5	
2.8	3	
3	2	
3.2	2	
3.4	4	
3.6	6	
3.8	6	
4	4	
4.2	6	
4.4	9	
4.6	9	
4.8	7	
5	3	
5.2	3	
5.4	2	
5.6	3	
5.8	2	
6	2	
6.2	5	
6.4	4	
6.6	3	
6.8	6	
7	10	
7.2	9	
7.4	8	
7.6	10	
7.8	13	
8	10	
8.2	11	
8.4	9	
8.6	10	
8.8	12	
9	12	
9.2	10	
9.4	12	
9.6	11	
9.8	10	
10	10	
10.2	8	
10.4	12	
10.6	10	
10.8	11	
11	9	
11.2	10	
11.4	10	
11.6	11	
11.8	11	
12	12	
12.2	10	
12.4	11	
Prof. falda (m da p.c.):		2.90

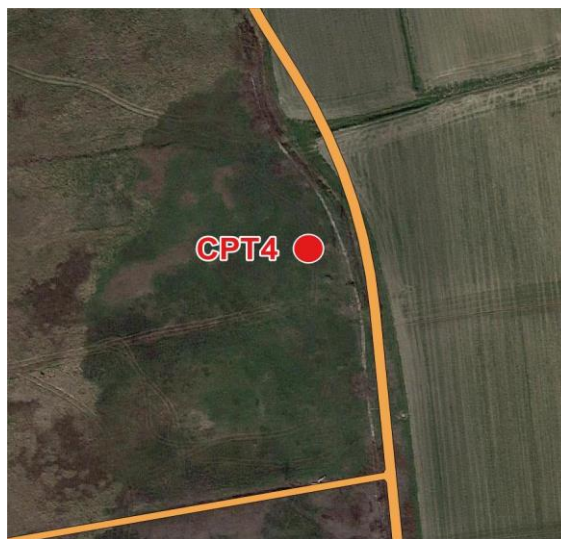


Prova **CPT4**
Data: 19-mag-21
Luogo: Sanguinetto (VR)
Committente: Comune di Sanguinetto
Prof. Finale: 6.4 m da p.c.
Prof. Falda: 1.5 m da p.c.
Penetrometro Pagani TG63-200

Est WGS84 (EPSG 4326) 11.155912°
Nord WGS84 (EPSG 4326) 45.181415°



Ubicazione CPT4 su CTR scala 1:10000



Ubicazione CPT4 su estratto da Google Satellite

Prova

Data:19-mag-21

Luogo:Sanguinetto (VR)

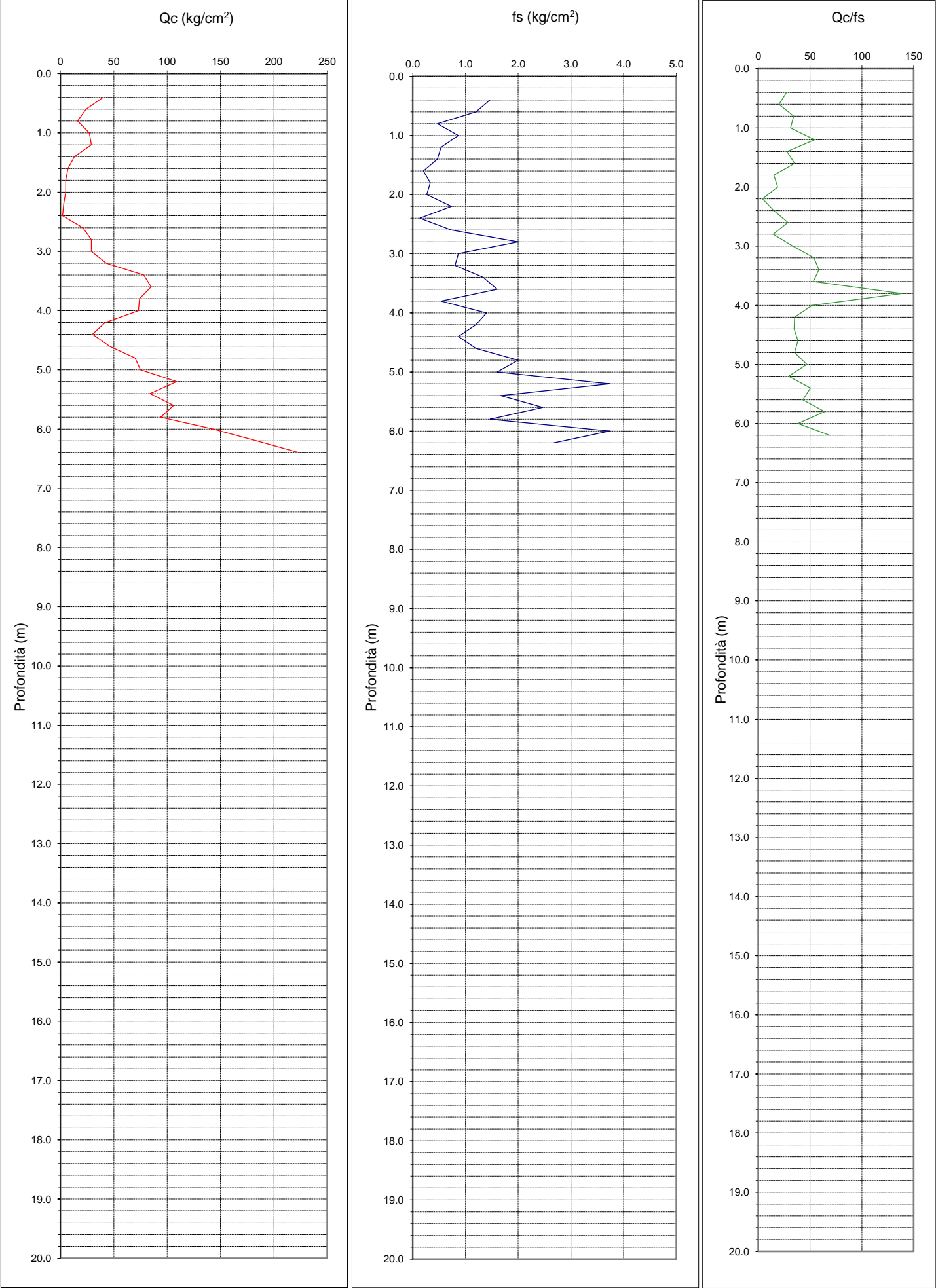
Committente:Comune di Sanguinetto

Prof. Finale:6.40m da p.c.

Prof. Falda:1.50m da p.c.

Penetrometro Pagani TG63-200

CPT4



Prova
 Data: 19-mag-21
 Luogo: Sanguinetto (VR)
 Committente: Comune di Sanguinetto
 Prof. Finale: 6.4 m da p.c.
 Prof. Falda: 1.5 m da p.c.
 Penetrometro Pagani TG63-200

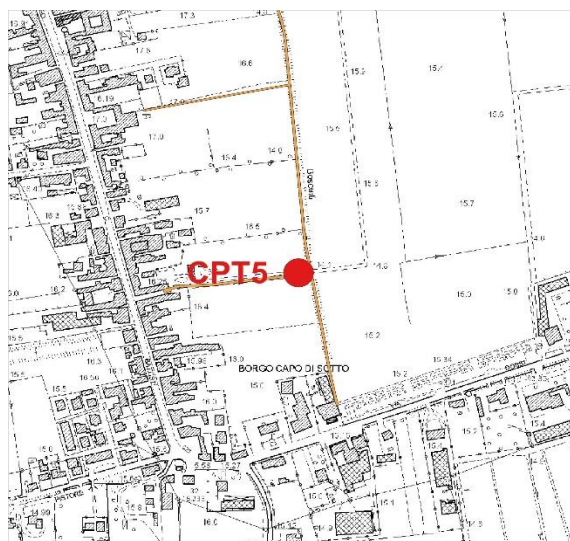
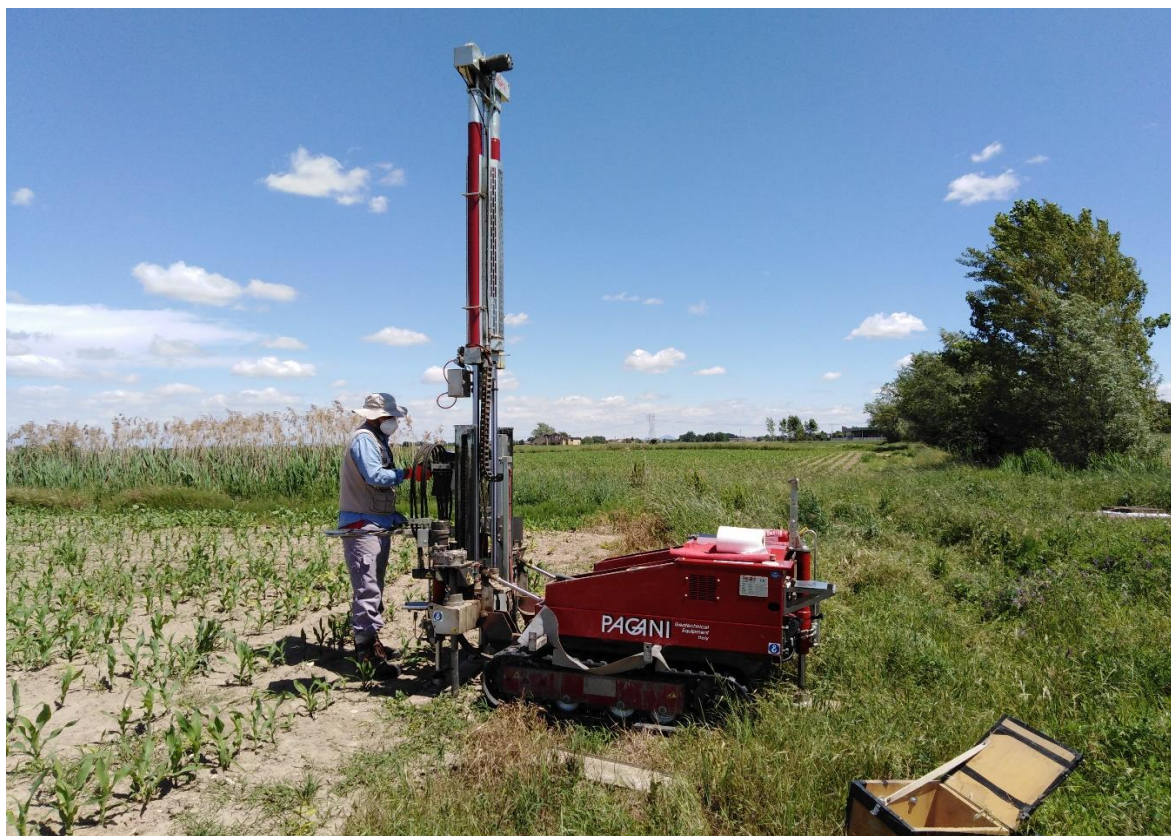
CPT4

Prof.	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI	Litologia (AGI)
0.2				
0.4	40	1.47	27	Limi e Argille
0.6	24	1.20	20	Limi e Argille
0.8	16	0.47	34	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.0	27	0.87	31	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.2	29	0.53	54	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.4	13	0.47	28	Limi e Argille
1.6	7	0.20	35	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.8	5	0.33	15	Torbe ed argille organiche
2.0	5	0.27	19	Limi e Argille
2.2	3	0.73	4	Torbe ed argille organiche
2.4	2	0.13	15	Torbe ed argille organiche
2.6	21	0.73	29	Limi e Argille
2.8	29	2.00	15	Torbe ed argille organiche
3.0	29	0.87	33	Limi sabbiosi e sabbie limose
3.2	43	0.80	54	Limi sabbiosi e sabbie limose
3.4	78	1.33	59	Limi sabbiosi e sabbie limose
3.6	85	1.60	53	Limi sabbiosi e sabbie limose
3.8	74	0.53	139	Sabbie e sabbie con ghiaia
4.0	73	1.40	52	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.2	42	1.20	35	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.4	30	0.87	35	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.6	46	1.20	38	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.8	70	2.00	35	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.0	75	1.60	47	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.2	109	3.73	29	Limi e Argille
5.4	84	1.67	50	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.6	106	2.47	43	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.8	94	1.47	64	Sabbie e sabbie con ghiaia
6.0	143	3.73	38	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.2	184	2.67	69	Sabbie e sabbie con ghiaia
6.4	224			

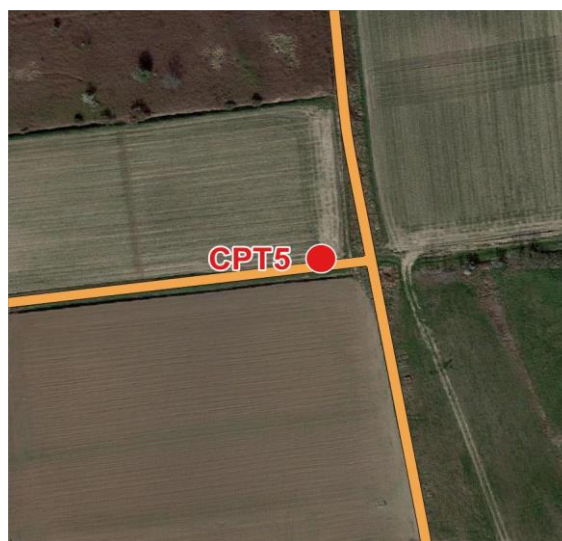
Prova
Data: 19-mag-21
Luogo: Sanguinetto (VR)
Committente: Comune di Sanguinetto
Prof. Finale: 17.6 m da p.c.
Prof. Falda: 0.7 m da p.c.
Penetrometro Pagani TG63-200

CPT5

Est WGS84 (EPSG 4326) 11.156295°
Nord WGS84 (EPSG 4326) 45.178321°



Ubicazione CPT5 su CTR scala 1:10000



Ubicazione CPT5 su estratto da Google Satellite

Prova

Data:

Luogo:

Committente:

Prof. Finale:

Prof. Falda:

Penetrometro Pagani TG63-200

CPT5

19-mag-21

Sanguinetto (VR)

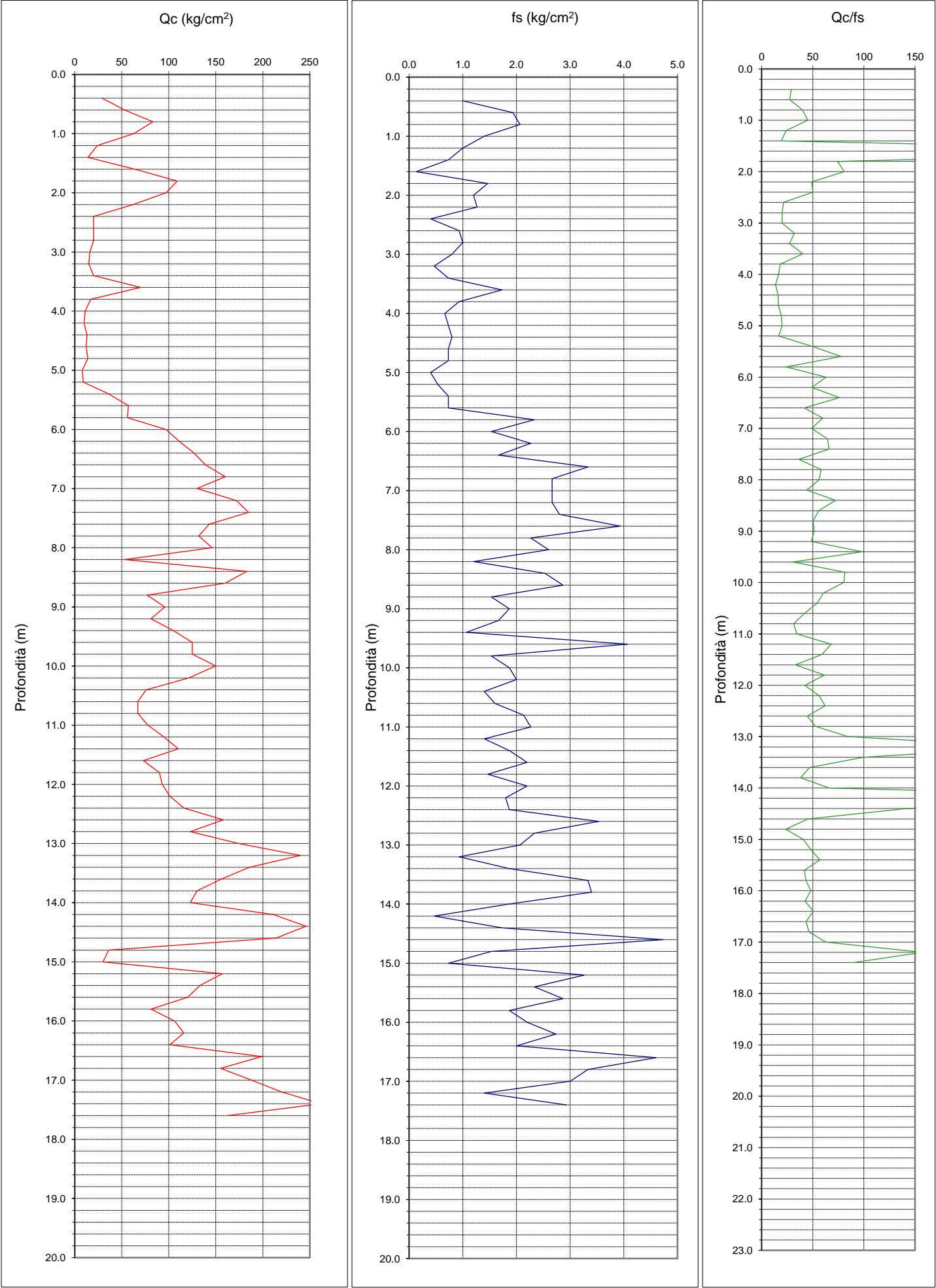
Comune di Sanguinetto

17.60

0.70

m da p.c.

m da p.c.



Prova
 Data: 19-mag-21
 Luogo: Sanguinetto (VR)
 Committente: Comune di Sanguinetto
 Prof. Finale: 17.6 m da p.c.
 Prof. Falda: 0.7 m da p.c.
 Penetrometro Pagani TG63-200

CPT5

Prof.	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI	Litologia (AGI)
0.2				
0.4	29	1.00	29	Limi e Argille
0.6	53	1.93	27	Limi e Argille
0.8	83	2.07	40	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.0	63	1.40	45	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.2	24	1.00	24	Limi e Argille
1.4	14	0.73	19	Limi e Argille
1.6	64	0.13	480	Sabbie e sabbie con ghiaia
1.8	109	1.47	74	Sabbie e sabbie con ghiaia
2.0	97	1.20	81	Sabbie e sabbie con ghiaia
2.2	62	1.27	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
2.4	20	0.40	50	Limi sabbiosi e sabbie limose
2.6	20	0.93	21	Limi e Argille
2.8	20	1.00	20	Limi e Argille
3.0	16	0.80	20	Limi e Argille
3.2	15	0.47	32	Limi sabbiosi e sabbie limose
3.4	20	0.73	27	Limi e Argille
3.6	70	1.73	40	Limi sabbiosi e sabbie limose
3.8	17	0.93	18	Limi e Argille
4.0	11	0.67	17	Limi e Argille
4.2	10	0.73	14	Torbe ed argille organiche
4.4	13	0.80	16	Limi e Argille
4.6	12	0.73	16	Limi e Argille
4.8	14	0.73	19	Limi e Argille
5.0	8	0.40	20	Limi e Argille
5.2	9	0.53	17	Limi e Argille
5.4	36	0.73	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.6	57	0.73	78	Sabbie e sabbie con ghiaia
5.8	56	2.33	24	Limi e Argille
6.0	97	1.53	63	Sabbie e sabbie con ghiaia
6.2	111	2.27	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.4	127	1.67	76	Sabbie e sabbie con ghiaia
6.6	139	3.33	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.8	160	2.67	60	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.0	130	2.67	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.2	172	2.67	65	Sabbie e sabbie con ghiaia
7.4	185	2.80	66	Sabbie e sabbie con ghiaia
7.6	143	3.93	36	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.8	132	2.27	58	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.0	146	2.60	56	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.2	53	1.20	44	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.4	183	2.53	72	Sabbie e sabbie con ghiaia
8.6	160	2.87	56	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.8	77	1.53	50	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.0	96	1.87	51	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.2	81	1.67	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.4	105	1.07	98	Sabbie e sabbie con ghiaia
9.6	125	4.07	31	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.8	125	1.53	82	Sabbie e sabbie con ghiaia
10.0	150	1.87	80	Sabbie e sabbie con ghiaia

Prova
 Data: 19-mag-21
 Luogo: Sanguinetto (VR)
 Committente: Comune di Sanguinetto
 Prof. Finale: 17.6 m da p.c.
 Prof. Falda: 0.7 m da p.c.
 Penetrometro Pagani TG63-200

CPT5

Prof.	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI	Litologia (AGI)
10.2	121	2.00	61	Sabbie e sabbie con ghiaia
10.4	76	1.40	54	Limi sabbiosi e sabbie limose
10.6	67	1.60	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
10.8	67	2.13	31	Limi sabbiosi e sabbie limose
11.0	78	2.27	34	Limi sabbiosi e sabbie limose
11.2	95	1.40	68	Sabbie e sabbie con ghiaia
11.4	110	1.87	59	Limi sabbiosi e sabbie limose
11.6	73	2.20	33	Limi sabbiosi e sabbie limose
11.8	90	1.47	61	Sabbie e sabbie con ghiaia
12.0	93	2.20	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
12.2	101	1.80	56	Limi sabbiosi e sabbie limose
12.4	116	1.87	62	Sabbie e sabbie con ghiaia
12.6	158	3.53	45	Limi sabbiosi e sabbie limose
12.8	123	2.33	53	Limi sabbiosi e sabbie limose
13.0	174	2.07	84	Sabbie e sabbie con ghiaia
13.2	240	0.93	257	Sabbie e sabbie con ghiaia
13.4	186	1.87	100	Sabbie e sabbie con ghiaia
13.6	156	3.33	47	Limi sabbiosi e sabbie limose
13.8	130	3.40	38	Limi sabbiosi e sabbie limose
14.0	123	1.87	66	Sabbie e sabbie con ghiaia
14.2	211	0.47	452	Sabbie e sabbie con ghiaia
14.4	246	1.73	142	Sabbie e sabbie con ghiaia
14.6	214	4.73	45	Limi sabbiosi e sabbie limose
14.8	36	1.53	23	Limi e Argille
15.0	30	0.73	41	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.2	157	3.27	48	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.4	133	2.33	57	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.6	120	2.87	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.8	81	1.87	43	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.0	106	2.20	48	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.2	116	2.73	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.4	101	2.00	51	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.6	199	4.60	43	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.8	155	3.33	47	Limi sabbiosi e sabbie limose
17.0	188	3.00	63	Sabbie e sabbie con ghiaia
17.2	220	1.40	157	Sabbie e sabbie con ghiaia
17.4	262	2.93	89	Sabbie e sabbie con ghiaia
17.6	162	0.00		

**Caratterizzazione del sottosuolo di
fondazione per la costruzione di una nuova
pista ciclabile per accesso in sicurezza al
centro urbano**



GG Service sas

via Bellavista, 13/A
38069 Torbole s/G (TN)
P.Iva/C.F./Reg. TN: 01999920224
tel/fax: 0464-664799/506041
infoggservice@gmail.com

1. INTRODUZIONE

La GG Service s.a.s. ha provveduto a caratterizzare mediante metodi sismici passivi i terreni di fondazione di due punti chiave per il progetto di realizzazione della nuova pista ciclabile nei pressi di Sanguinetto(VR).

Le indagini sono costituite dall'unione di prove sismiche passive ReMi in array lineare da 46m e da test puntuale HVSR a tre componenti.



Ubicazione indagini

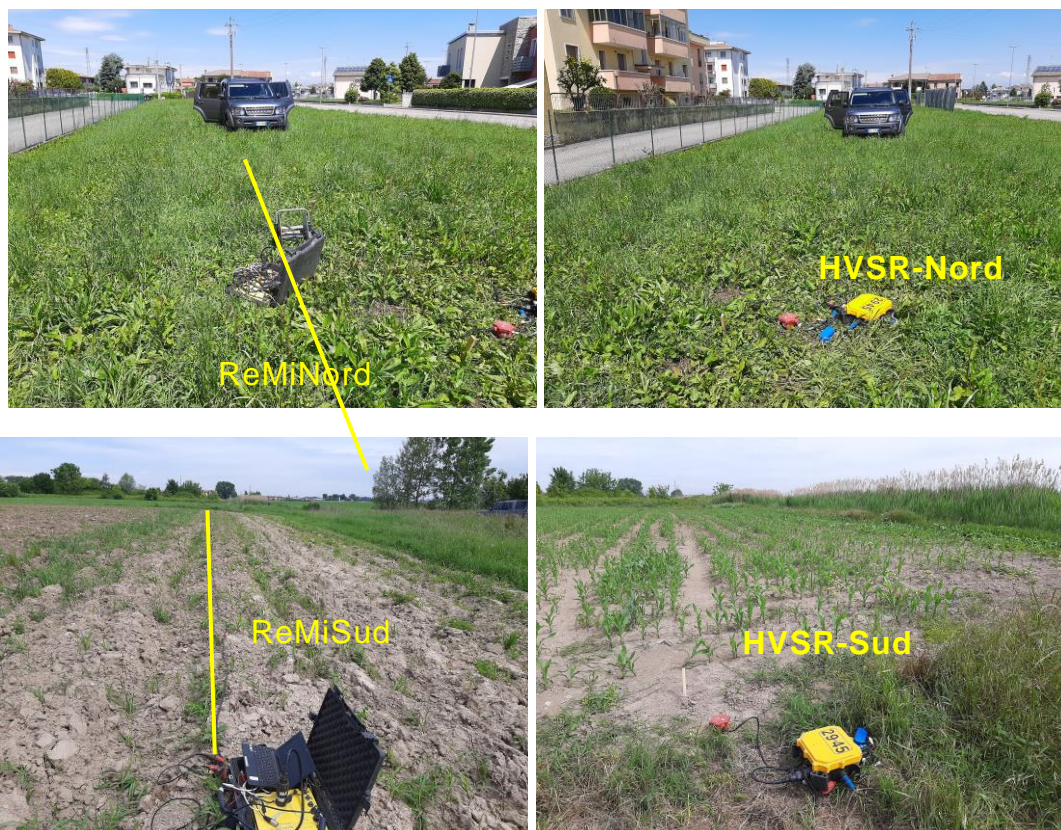


Immagine degli stendimenti sismici

Le prove lineari (profili ReMi) hanno la funzione di ricavare la curva di dispersione delle onde di superficie ed ottenere una stima preliminare della sismostratigrafia del sottosuolo.

Le acquisizioni a stazione singola 3C servono invece a ottenere le curve dei rapporti spettrali (H/V) tra le componenti orizzontali e verticale delle onde di superficie generate dal noise ambientale. Da questa, se evidente perché le caratteristiche della struttura geologica lo consentono, si può quantificare la frequenza di risonanza del sito testato. Questa informazione è importante per il dimensionamento fondazionale delle opere in progetto per evitare fenomeni di doppia risonanza qualora la frequenza del modo fondamentale del terreno rientri nel range di conflitto con quelle proprie del manufatto.

I dati H/V e quelli della curva di dispersione vanno poi sottoposti ad un processo di inversione congiunta per ricostruire un corretto profilo verticale di velocità dei materiali naturali e gli spessori dei differenti sismostrati fino al bedrock. Questo a patto che ci siano le condizioni di contrasto di V_s necessarie per far emergere l'interfaccia sulla curva H/V. Un ruolo fondamentale compete però anche alle caratteristiche tecniche e di sensibilità degli apparati di acquisizione, alle caratteristiche geologiche del sito ed alle condizioni ambientali (qualità del rumore antropico che rappresenta la sorgente sismica naturale).

2. ANALISI DATI ARRAY LINEARE

Curva di dispersione

In un mezzo verticalmente eterogeneo le onde di superficie sono dispersive: la loro velocità varia con la frequenza che, a sua volta, controlla la profondità di penetrazione.

La principale ipotesi per l'utilizzo delle vibrazioni ambientali è che esse siano principalmente composte da onde di superficie, fatto questo che consente di utilizzare le proprietà della dispersione.

Le misure dei microtremori ambientali vengono fatte mediante array di sensori prevalentemente 2D e, solamente nelle applicazioni pratiche in campo ingegneristico, con stendimenti lineari utilizzando la normale strumentazione per la rifrazione. Si tratta di tecniche di acquisizione passiva che presuppongono che il campo d'onda sia attraversato da onde piane.

Utilizzando stendimenti lineari di geofoni, anziché stazioni geofoniche (mono o tricomponenti) non possono essere applicati i principi che stanno alla base delle acquisizioni SPAC o F-K (*investigazione statistica nel tempo e nello spazio dove si assume che il segnale sia un rumore stocastico stazionario nel dominio del tempo e dello spazio*) ed il relativo trattamento dati che avviene nel dominio dei numeri d'onda.

Il presupposto per questo tipo di acquisizione passiva (conosciuta con l'acronimo ReMi – Refraction Microtremor) è che la struttura geologica sia monodimensionale e che il rumore ambientale non abbia marcata direttività.

Processing

L'elaborazione del dataset, composto da record di 20s di lunghezza, non separabili come eventi singoli in fase di processing, avviene applicando una trasformata doppia di Fourier (chiamata p-f) implementata in maniera che nell'immagine spettrale mostrino coerenza solo i modi di propagazione propri delle onde di superficie. L'energia viene rappresentata in un plot, come già anticipato, di tipo p-f (p slowness=reciproco della velocità di fase – f = frequenza).

Questo processing mette così in immediato risalto la struttura del modo di propagazione delle onde di superficie a discapito delle onde body (P ed S) che, anche se in misura energeticamente minoritaria, sono presenti nel corpus delle vibrazioni ambientali.

Un'operazione di stacking tra i differenti piani spettrali che presentano condizioni di omogeneità modale, permette di migliorare la risposta finale enfatizzando le coerenze e minimizzando gli effetti del noise incoerente.

Quindi, quando sussistono le condizioni teoriche ottimali (contesto 1D, elevata dispersività della struttura geologica, sorgenti sismiche azimuthalmente ben distribuite) il modo fondamentale di propagazione dell'onda di Rayleigh (se i geofoni sono verticali) o di Love (se i geofoni sono orizzontali) appare in grande evidenza in

quanto è quello maggiormente energetico, se raffrontato con quelli di ordine superiore.

In questo caso la curva di dispersione può essere costruita mediante un picking manuale che segue il trend modale lungo il suo minimo energetico. Ciò è imposto dal fatto che, non conoscendo l'azimut dal quale si propagano i segnali sismici, si potrebbe commettere una sovrastima delle velocità di fase andando a campionare i massimi energetici modali (come invece è obbligo fare nell'acquisizione attiva Masw dove la posizione della sorgente è nota).

La risposta del contesto reale è comprensibilmente diversa da quella teorica poiché giocano un ruolo importante, nell'alea dell'incertezza del risultato, anche la spaziatura geofonica e l'orientazione dell'array, per quanto concerne il problema dell'aliasing (sia spaziale che temporale). È questo un aspetto che è parzialmente risolvibile solo ampliando il numero di sensori e ottimizzando la loro separazione.

Non è raro poi che vi sia insicurezza nell'individuazione del modo fondamentale che può anche non apparire sullo spettro per un fenomeno di sovrapposizione da parte dei modi di ordine superiore. Ciò si può verificare quando la geometria dell'array non "possiede" la necessaria sensitività per separare due eventi, magari molto vicini in termini di frequenza, o quando la struttura del sottosuolo è tale da favorire la risonanza e quindi la non emergenza del fondamentale, se non alle basse frequenze. Questo avviene quando esiste uno strato soffice compresso tra due più rigidi che intrappola l'energia, oppure quando il contrasto di velocità in prossimità della superficie è elevato. Può accadere anche in presenza di una forte anisotropia laterale dei terreni superficiali o in caso di osculazione (allorché due modi si avvicinano fino a lambirsi in un punto portando ad ambiguità per il loro riconoscimento al diminuire della frequenza).

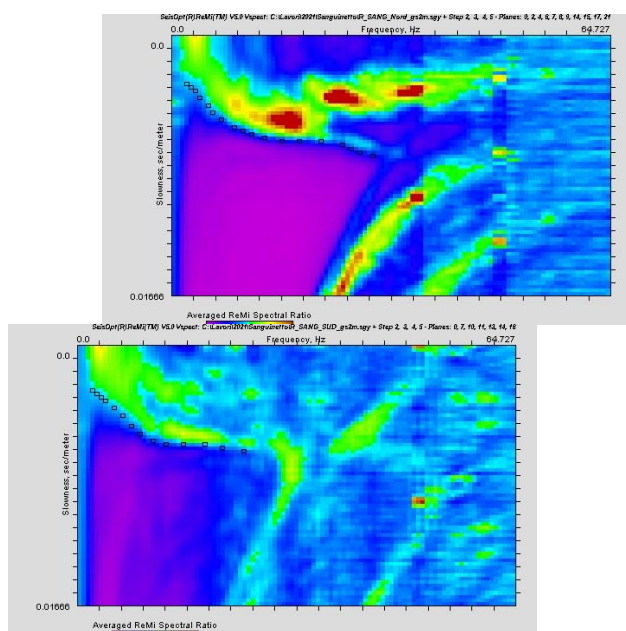
Queste situazioni non sono frequentissime, ma spesso, non conoscendo la geologia del luogo, sorge il dubbio nell'interprete di non aver campionato il modo fondamentale che, si ricorda, è quello preferibilmente utilizzato per fornire una curva di dispersione significativa del profilo di velocità. Possono essere utilizzati anche i modi di ordine superiore, ma elaborandoli con algoritmi specifici, differenti da quello per il modo fondamentale.

Infine l'aspetto probabilmente più importante è quello che non esiste la possibilità di un picking automatico come avviene per il Masw e questo condiziona non poco la "credibilità" della curva di dispersione ottenuta in quanto il suo andamento può avere una morfologia fortemente soggettiva.

Risultati

I siti in esame ricadono in un'area pianeggiante alla periferia NE dell'abitato (ReMi_N e hvsr_N) e in territorio agricolo all'interno del gomito che la SR10 forma prima di prendere la direzione E (ReMi_S e hvsr_S).

Le immagini spettrali, costruite utilizzando una velocità minima di fase di 60m/s ed una frequenza massima di 65Hz, presentano, come prevedibile, una struttura del tutto simile e di facile lettura. Il modo fondamentale è chiaramente definito dal contatto ben confinato dal limite superiore della zona a rumore incoerente (in viola nelle immagini) che ne traccia il trend. La qualità dei dati appare decisamente migliore nello spettro di ReMi_N dove si possono anche apprezzare almeno altri due modi di ordine superiore, oltre agli effetti dell'aliasing spaziale (trend antitetici a quelli modali). Essi cadono a frequenze superiori a quelle del picking della curva di dispersione che segue il limite modale a minor energia. La rappresentazione spettrale interessa una range di frequenza decisamente maggiore di quello strettamente necessario (sarebbero stati sufficienti 35Hz come frequenza di corner), ma in tal modo si ottiene una miglior “visuale” di campionamento delle velocità di fase che andranno a costituire le curve di dispersione. Secondo lo standard delle linee guida delle prove sismiche passive sopra citate, queste curve di dispersione possono essere definite come affidabili.



ReMi_N

ReMi_S

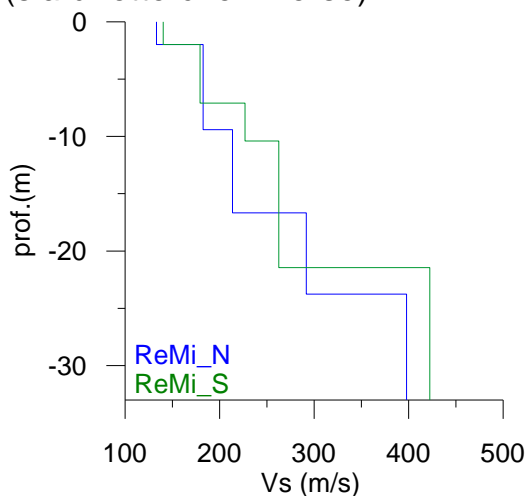
La loro morfologia è indicativa di una struttura del primo sottosuolo caratterizzata da sedimenti poco addensati la cui velocità tende a farsi più importante con la profondità.

Il bedrock non è stato raggiunto.

Modellazione Diretta

Le curve di dispersione campionate sono state quindi sottoposte ad una modellazione diretta interattiva con ReMi™ per ottenere profili verticali di Vs compatibili con le condizioni di input,

facendo però rilevare l'esistenza del principio di non univocità per le modellazioni singole (sia dirette che inverse).



I modelli proposti prevedono un graduale aumento del grado di addensamento fino ad una ventina di metri. A questa quota ci sarebbe il contatto con materiali di maggior rigidità con Vs dell'ordine di 400-420m/s. Le sismostratigrafie mostrano una leggera differenza in termini di velocità e spessore degli strati, differenze compatibili con un contesto deposizionale di piana alluvionale di medio-bassa energia.

La Categoria sismica, calcolata sulla base dei valori di Vs₃₀, inferiori a 360m/s, è chiaramente la **C**.

3. ANALISI DATI HVSR

La misura *stand alone* del rumore ambientale viene eseguita mediante un sensore tridimensionale collegato ad un acquisitore in grado di registrare, per un periodo di tempo conveniente, le componenti del campo d'onda (wavefield) generato dalle vibrazioni naturali ed antropiche. Questo campo d'onda è costituito principalmente da onde di superficie e, secondariamente, da onde body (P ed S). Le caratteristiche del sensore e del digitalizzatore sono fattori determinanti, come è facilmente comprensibile, per definire a priori il range di frequenza utilmente campionabile.

La prima finalità di questa misura è quella di determinare la frequenza del cosiddetto picco (o massimo) H/V, se esistente, che sulla base dei lavori di Nakamura, quantifica la frequenza di risonanza di un sito ed in particolare dello strato (o degli strati) che ricoprono un semispazio infinito chiamato bedrock dove, per convenzione, la velocità delle onde S deve essere >800m/s.

Nel corso degli ultimi trent'anni sono sostanzialmente tre le interpretazioni fisiche attribuite all'interpretazione fisica del rapporto H/V:

- 1) I picchi predominanti sono riferiti alla ellitticità delle onde di Rayleigh attorno alla frequenza dominante del sito quando c'è un significativo contrasto di impedenza tra suolo e roccia;

2) Nakamura suggerisce che il rapporto H/V è riferito alla funzione di trasferimento a causa dell'incidenza verticale delle onde Sh. Il successo delle misure H/V è spettacolare, ma è controversa l'interpretazione dei risultati del rapporto spettrale.

3) Sanchez-Sesma et al. hanno recentemente proposto il concetto che i microtremori formino un campo diffuso (DFA) contenente tutti i tipi di onda body (P e S) e di superficie (Rayleigh e Love).

La tabella, di seguito riportata e facente parte delle linee guida SESAME, indica i parametri minimi di registrazione in funzione della frequenza del target.

f_0 [Hz]	Minimum value for I_w [s]	Minimum number of significant cycles (n_c)	Minimum number of windows	Minimum useful signal duration [s]	Recommended minimum record duration [min]
0.2	50	200	10	1000	30'
0.5	20	200	10	400	20'
1	10	200	10	200	10'
2	5	200	10	100	5'
5	5	200	10	40	3'
10	5	200	10	20	2'

Durata raccomandata della registrazione (linee guida SESAME)

La durata minima del segnale utile (minimum useful signal duration) è imposta dal fatto che ci sono dei transienti che devono essere rimossi dal segnale da processare. Quindi, il tempo teorico di registrazione deve essere aumentato di una quantità adeguata, al fine di avere le condizioni temporali minime caratterizzate da finestre con segnale di buona qualità. Nel nostro caso, non conoscendo la struttura geologica e in considerazione della peculiarità del sito in termini di rumore antropico, abbiamo preferito poter disporre di una mole consistente di dati per avere garanzie sulla attendibilità dei risultati.

Le linee guida SESAME hanno indicato una serie di criteri (definiti di affidabilità per una curva H/V e di chiarezza per un massimo H/V) che devono contrassegnare il picco perchè possa essere definito "naturale" (generato cioè da un'interfaccia geologica). I relativi valori soglia sono elencati nella sotto riportata tabella. È richiesto che almeno 5 dei 6 criteri per la chiarezza di un picco siano rispettati per esprimere un giudizio di naturalità.

Criteri di affidabilità per una curva H/V					
-	$f_0 > 10/l_w$				
-	$n_c(f_0) > 200$				
-	$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$	per $f_0 > 0.5\text{Hz}$			
-	$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$	per $f_0 < 0.5\text{Hz}$			
Criteri per la chiarezza di un picco H/V					
Condizioni di ampiezza					
-	$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \text{ I } A_{H/V}(f^-) < A_0/2$				
-	$\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \text{ I } A_{H/V}(f^+) < A_0/2$				
-	$A_0 > 2$				
Condizioni di stabilità					
-	$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$				
-	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$				
-	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$				
Valori soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
range di frequenza	<0.2	0.2-0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	>2.0
$\varepsilon(f_0)[\text{Hz}]$	$0.25f_0$	$0.20f_0$	$0.15f_0$	$0.1f_0$	$0.05f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58

Definizione dei simboli utilizzati

l_w = lunghezza finestra (s)

n_w = numero di finestre selezionate per la curva media H/V

$n_c = l_w * n_w * f_0$ = numero di cicli significativi

f = frequenza

f_0 = frequenza del picco H/V

σ_f = deviazione standard della frequenza del picco H/V

$\varepsilon(f_0)$ = valore di soglia per condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$

A_0 = ampiezza del picco H/V alla frequenza f_0

$A_{H/V}(f)$ = ampiezza della curva H/V alla frequenza f

f^- = frequenza tra $f_0/4$ e f_0 per la quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$

f^+ = frequenza tra f_0 e $4*f_0$ per la quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$

$\sigma_A(f)$ = deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale deve essere moltiplicato o diviso il valore medio $A_{H/V}(f)$ della curva

$\theta(f_0)$ = valore soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

La curva mostra sempre un massimo H/V. A prescindere dalla sua ampiezza il programma indicherà come massimo il valore di maggior ampiezza che la curva presenta: è questo un dato oggettivo, poco condizionato dal trattamento dei dati, che necessita di un'analisi per definire il suo "significato" in termini di risposta elastica della struttura geologica. Ci deve essere, cioè, la verifica dei citati criteri di "affidabilità e chiarezza", ma ci sono anche altre valutazioni che possono essere fatte per l'interpretazione del massimo H/V. Nello spettro di potenza delle componenti singole un picco naturale deve essere il risultato di un massimo di energia delle sole componenti orizzontali, oppure di un flesso accentuato della componente verticale (risposta 2D e risposta 1D) stante l'assunto che la sorgente geologica non è superficiale (contatto riflettore-copertura) e che, di conseguenza, la componente verticale non ne deve risultare perturbata. Quando tutte e tre le componenti appaiono amplificate, e in fase, è certo che la sorgente sarà antropica e quindi la frequenza del picco non deve essere considerata nell'interpretazione. Ulteriore

analisi può essere eseguita con il plottaggio dei dati H/V sul piano orizzontale: si potrà apprezzare l'eventuale effetto di polarizzazione e la dipendenza da azimut specifici.

La misura del rapporto spettrale tra componenti orizzontali e verticale (la curva H/V) non rappresenta la curva di ellitticità del fondamentale dell'onda di Rayleigh, bensì contiene il contributo anche delle onde Love e di quelle Sh, oltre che di eventuale noise strumentale.

Infatti le componenti verticale e radiale del sensore acquisiscono le onde di Rayleigh e quella trasversale le onde Love ed esistono, in presenza di un picco, due condizioni nelle quali i due tipi di onda diventano evanescenti: in coincidenza del massimo le onde di Rayleigh raggiungono il loro minimo energetico, mentre lo stesso succede alle onde Love in corrispondenza del primo minimo della curva successivo al picco.

Dalle linee guida SESAME, ma non solo ovviamente, sappiamo che la frequenza di risonanza di uno strato è data dalla relazione $F = V_s/4H$.

Pertanto, se la curva del rapporto spettrale viene utilizzata per la ricostruzione della sismostruttura mediante inversione congiunta con la curva di dispersione (che è costituita, in teoria, dal modo fondamentale dell'onda di Rayleigh) è indispensabile "pulire" la curva H/V misurata per ottenere la curva di ellitticità, corrispondente al modo fondamentale di Rayleigh, dall'influenza delle onde Love e body.

Vi sono alcuni metodi per estrarre la curva di ellitticità da quella H/V. Il più semplice e sbrigativo è quello di considerare il solo fianco destro del picco e ridurne il valore dell'ampiezza applicando un fattore pari a radice di 2.

Un secondo applica una tecnica conosciuta come CWT (Continuous Wavelet Transform) utilizzando l'ondina di Morlet. Dopo opportune elaborazioni sul segnale la curva di ellitticità viene ricavata da un istogramma di frequenza PDF (Probability Density Function) sulla base del trend dei massimi di probabilità.

Un terzo (Raydec) utilizza il metodo del Random Decrement di Dunand già conosciuto per lo studio degli effetti delle vibrazioni ambientali sulle strutture degli edifici per arrivare ad ottenere una curva di ellitticità con sole onde Rayleigh.

Le curve di ellitticità vengono definite come con *singularità* oppure *prive di singularità*. Nel primo caso significa che la curva esprime uno (o più) massimi e minimi accentuati. Nel secondo caso ci si riferisce a situazioni di "broad peak" (massimo ampio con fianco destro la cui ampiezza decresce lentamente verso le alte frequenze).

Nelle curve con *singularità* si può in considerazione per l'inversione congiunta, oltre alla frequenza del picco, *il solo fianco destro della curva di ellitticità che è stato dimostrato essere prevalentemente costituito da onde di Rayleigh*. Nell'altra condizione può essere utilizzata l'intera curva oltre la frequenza di picco.

Il processo di inversione congiunta è fondamentale per ottenere il profilo verticale delle velocità e la geometria dei sismostrati in maniera da ridurre drasticamente il principio di non univocità che affligge il procedimento di inversione quando i parametri vengono considerati singolarmente. L'inversione congiunta di due parametri che danno informazioni differenti sulla struttura (curva di dispersione=velocità dei

materiali, ellitticità=geometrie) restringe notevolmente l'alea di incertezza sul modello finale che compendia velocità e geometrie.

Il software di inversione congiunta (HV-DC) utilizzato è **Geopsy Dinverdc** (www.Geopsy.org). Il programma utilizza l'algoritmo di Neighborhood (Sambridge, 2002) modificato da Wathelet. Il suo obiettivo, come quello degli algoritmi simili Monte Carlo, Simulate Annealing e algoritmo genetico, è quello di investigare l'interno dello spazio dei parametri cercando il dataset dei parametri che fornisce il miglior fitting con i dati.

Esso consente l'inclusione di informazioni "a priori" sui differenti parametri.

Si tratta di un metodo stocastico a ricerca diretta dei modelli di accettabile datafit all'interno di uno spazio dei parametri multidimensionale.

Per l'inversione delle onde di superficie e delle curve di ellitticità i principali parametri sono la V_s , la V_p , la densità e lo spessore di ogni singolo strato.

Esso genera campioni pseudo-casuali (un campione è un set di parametri corrispondenti ad un modello del terreno) nello spazio parametrico e vengono calcolate le curve (di dispersione ed ellitticità) per tutti i modelli (problema diretto). La densità di probabilità "a priori" è scelta come uniforme nell'intero spazio dei parametri, i limiti del quale sono definiti da quelli scelti "a priori" per tutti i parametri. Il confronto tra i risultati del calcolo e le curve DC e HV fornisce il valore di misfit che indica quanto lontano è il modello generato dalla soluzione vera.

L'originalità dell'algoritmo è l'uso dei precedenti campioni come guida per la ricerca dei modelli migliorati. Una volta che la funzione di misfit dei dati è nota a tutti i campioni precedenti (fwd di calcolo) l'algoritmo fornisce una strada semplice tramite l'interpolazione di una distribuzione irregolare di punti, utilizzando la geometria di Voronoi, per trovare ed investigare le parti più promettenti dello spazio dei parametri.

Rispetto ad altri metodi stocastici di ricerca esso ha minori parametri di ottimizzazione (solo 2). Con parametri scarsamente vincolati i risultati possono differire quando si avviano due separate inversioni. Quindi la robustezza dei risultati finali viene generalmente controllata eseguendo la stessa inversione più volte con diversi semi casuali e un valore intero che inizializza il generatore pseudo casuale (si riparte con una popolazione differente e medesimo modello di input).

Nel calcolo dell'inversione congiunta l'input di partenza è stato un modello a cinque strati senza confinamento dei parametri.

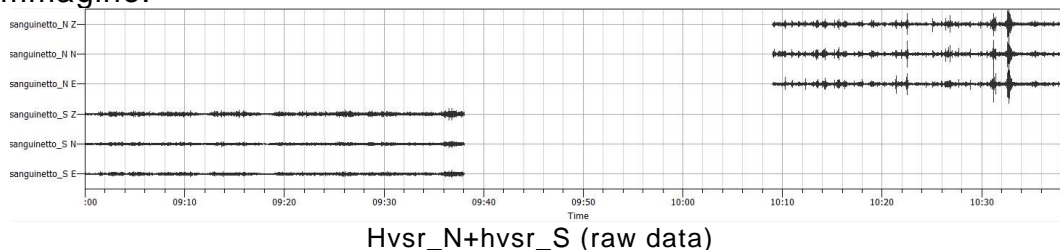
Nella definizione della sismostratigrafia definitiva si è anche tenuto in considerazione che la profondità dell'interfaccia geologica, deve soddisfare la relazione $H \approx V_s/4F$ come previsto dalle Linee Guida.

Processing

I dati sono stati elaborati con il pacchetto **Geopsy** (www.Geopsy.org).

Le due misure del rumore ambientale hanno avuto la durata rispettivamente di 30' (hvsr_N) e 38' (hvsr_S) alla frequenza di 125Hz.

Di seguito verrà esposto il procedimento adottato. I sismogrammi bruti delle due stazioni sono rappresentati in un'unica immagine.

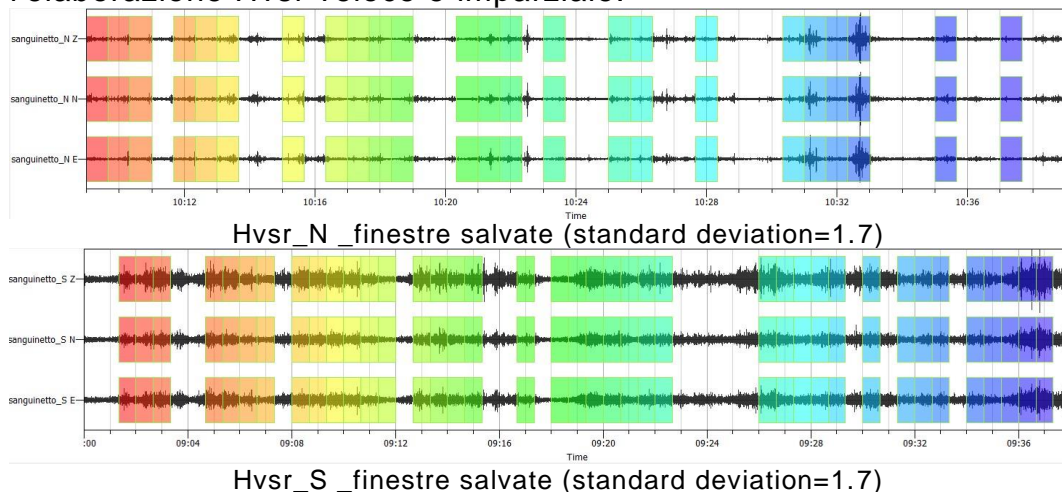


Il primo passo è quello di applicare un filtro bp 0.2-30Hz e un tapering del 5%.

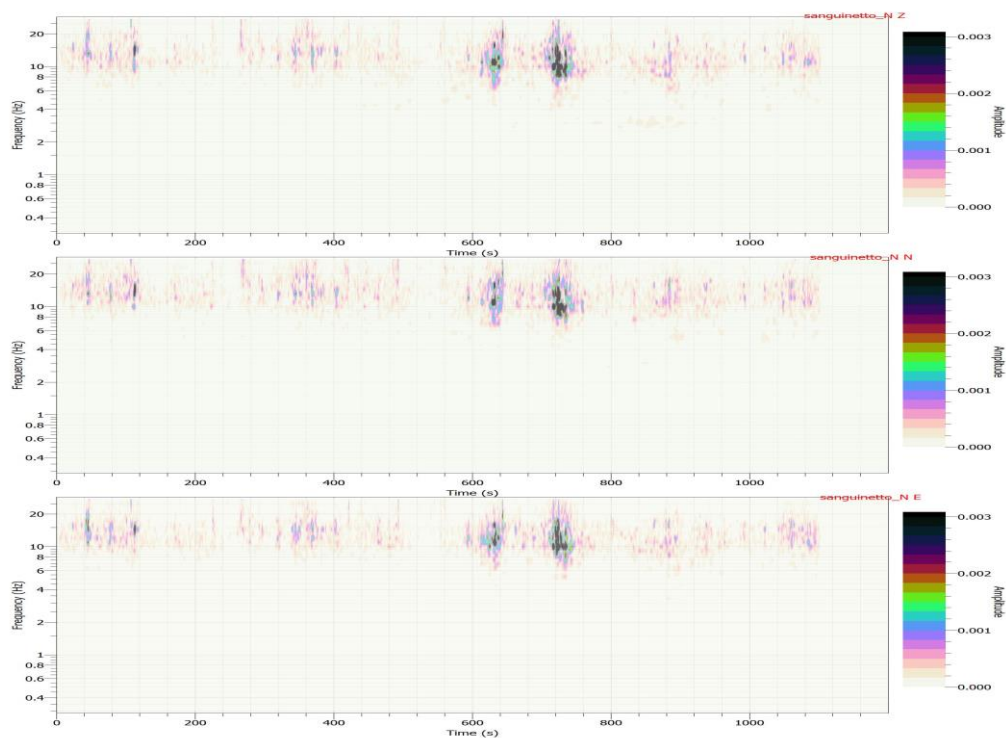
Quindi viene definita la lunghezza delle finestre temporali (nel presente caso 40s) il cui valore è condizionato dalla frequenza del presunto massimo H/V, valore che è indicato nelle linee guida SESAME con $f_0 > 10/l_w$ (lunghezza finestra). Quindi con una lunghezza di 40s può essere correttamente ricostruito e analizzato un picco H/V di 0.25Hz, a condizione che vengano soddisfatti anche gli altri criteri previsti dalle linee guida. Tale scelta è dettata dalla consapevolezza della profondità del bedrock sismico in quest'area sicuramente < 1 Hz.

La tecnica hvsr è un potente strumento utilizzato per stimare la frequenza di risonanza di un sito. Tuttavia, poiché le misurazioni del rumore hvsr si basano su eventi casuali e possono essere influenzate da transitori in near field, da scarso accoppiamento del ricevitore e da condizioni ambientali avverse (come quelle di elevata ventosità), i dati hvsr devono essere presentati utilizzando un solido approccio statistico. È stato così proposto un nuovo metodo per quantificare l'incertezza nella frequenza di risonanza ottenuta dalle misurazioni hvsr. L'utilizzazione dell'antitrigger per la selezione delle finestre temporali (basato sul rapporto LTA/STA) consente di eliminare i transienti che, tuttavia, possono contenere anche segnale "buono" che andrebbe così perso. Il nuovo metodo proposto da Cox et al. (*A statistical representation and frequency-domain window-rejection algorithm for single-station HVSR measurements*, *Geophys. J. Int.* (2020) **221**, 2170–2183) e qui adottato, è basato sull'utilizzo di una LD (distribuzione logaritmica) e di un algoritmo di rifiuto automatico della finestra nel dominio della frequenza. L'uso di una LD, piuttosto che della tipica ND (distribuzione normale) assunta, consente un trasferimento regolare delle statistiche hvsr, in termini di frequenza, al suo reciproco, il periodo, che è un parametro comunemente usato nell'ingegneria sismica. Il nuovo algoritmo di rigetto è stato a lungo testato e ha dimostrato di essere efficace nel rifiutare finestre rumorose in set di dati ad alta varianza, senza che ci

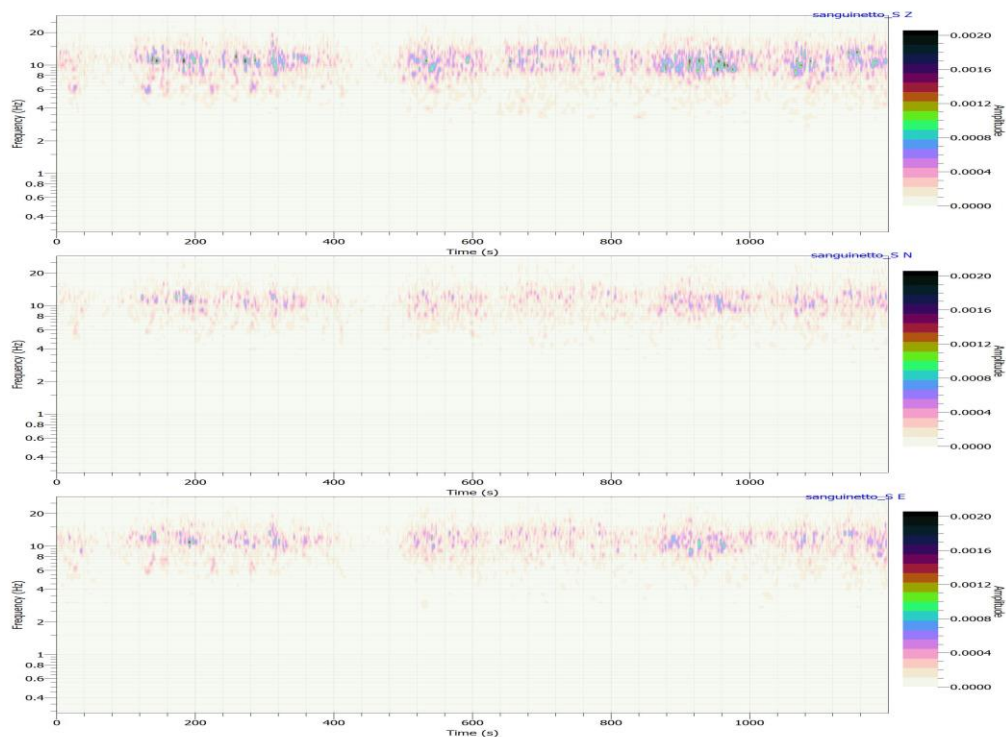
sia un rifiuto eccessivo di finestre buone in set di dati a bassa varianza. L'algoritmo richiede all'utente un solo parametro di input (ovvero il numero di deviazioni standard, n , nello spazio log consentito nello screening/rifiuto) e fornisce un metodo per l'elaborazione Hvsr veloce e imparziale.



Quelle sopra rappresentate sono le serie temporali delle tre componenti dove appaiono le finestre temporali da 40s utilizzate per ottenere la curva del rapporto spettrale H/V. Sui sismogrammi sono anche evidenti le perturbazioni prodotte da sorgenti vibrazionali transienti che paiono essere di differente ampiezza e frequenza (minori a S) come appare dalle TFA (Time Frequency Analysis) normalizzate alla medesima scala.

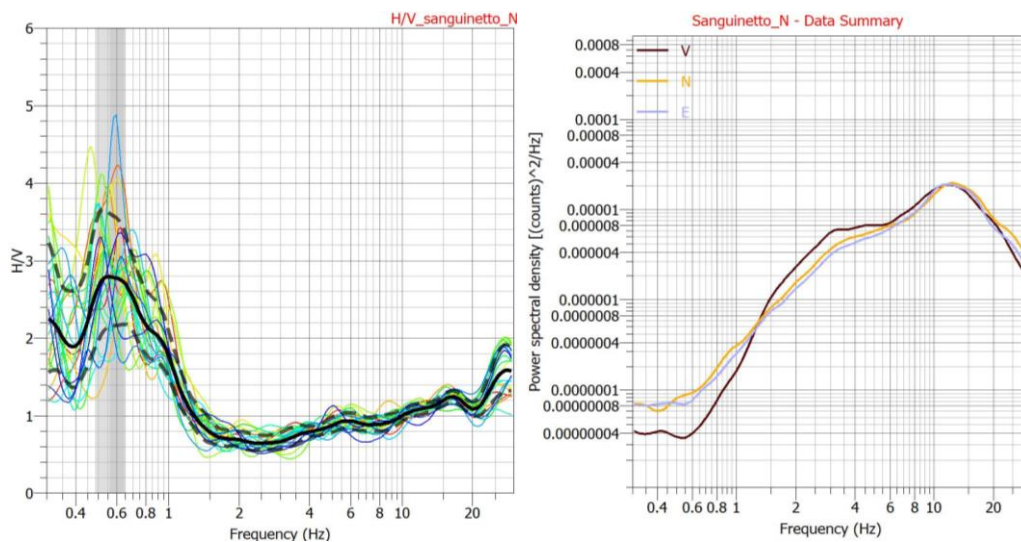


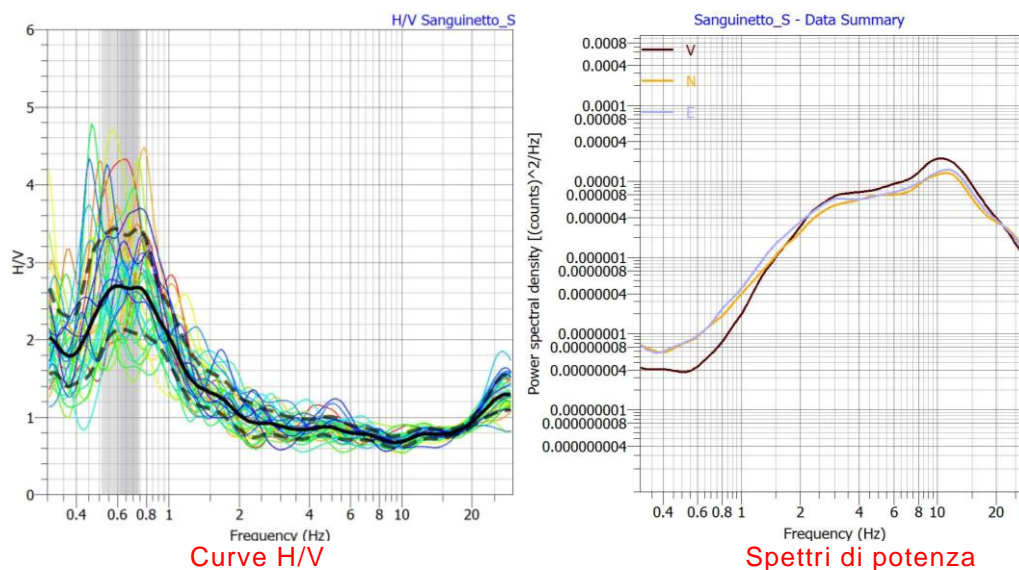
TFA_N



TFA_S

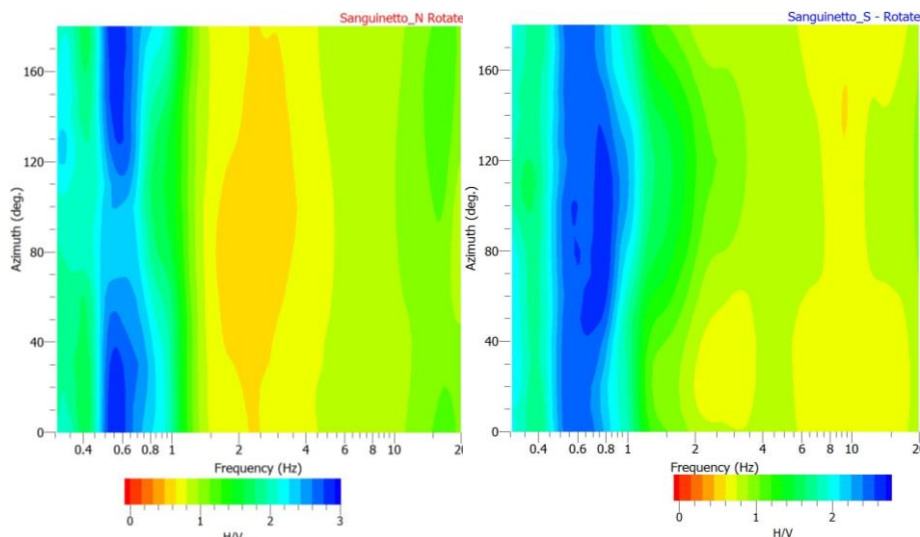
La costruzione delle curve H/V è conseguente all'operazione di rigetto delle finestre temporali che non rientrano nei criteri statistici sopra descritti.





Le curve H/V presentano un massimo a frequenza compresa tra 0.56Hz e 0.61Hz e la leggera discrepanza rientra nella categoria dell'errore strumentale. Le frequenze sono quindi sostanzialmente identiche come deve anche essere, considerato il contesto geologico dell'area dove il bedrock è sicuramente profondo e l'interfaccia subplanare. Dagli spettri di potenza si ricava, alle frequenze di interesse, la presenza di un flesso della componente verticale a cui corrisponde un trend coerente di quelle orizzontali. Da ciò si deduce che il contesto geologico sia chiaramente monodimensionale.

Il sensore 3C acquisisce i segnali delle onde di superficie di tipo Rayleigh con la componente verticale ed orizzontale radiale e quelle di Love con quella trasversale. Mediante la sistematica sfasatura degli acquisitori orizzontali per step di 10° (nell'intervallo 0°-180°), il ricalcolo del rapporto spettrale ed il plottaggio su un grafico planimetrico (frequenza-azimut in gradi) dell'ampiezza del picco dei differenti step, si ottengono informazioni sugli effetti di polarizzazione. Dai grafici risulta chiaramente come non vi sia evidenza di polarizzazione, confermando il giudizio di monodimensionalità del sito sopra espresso.



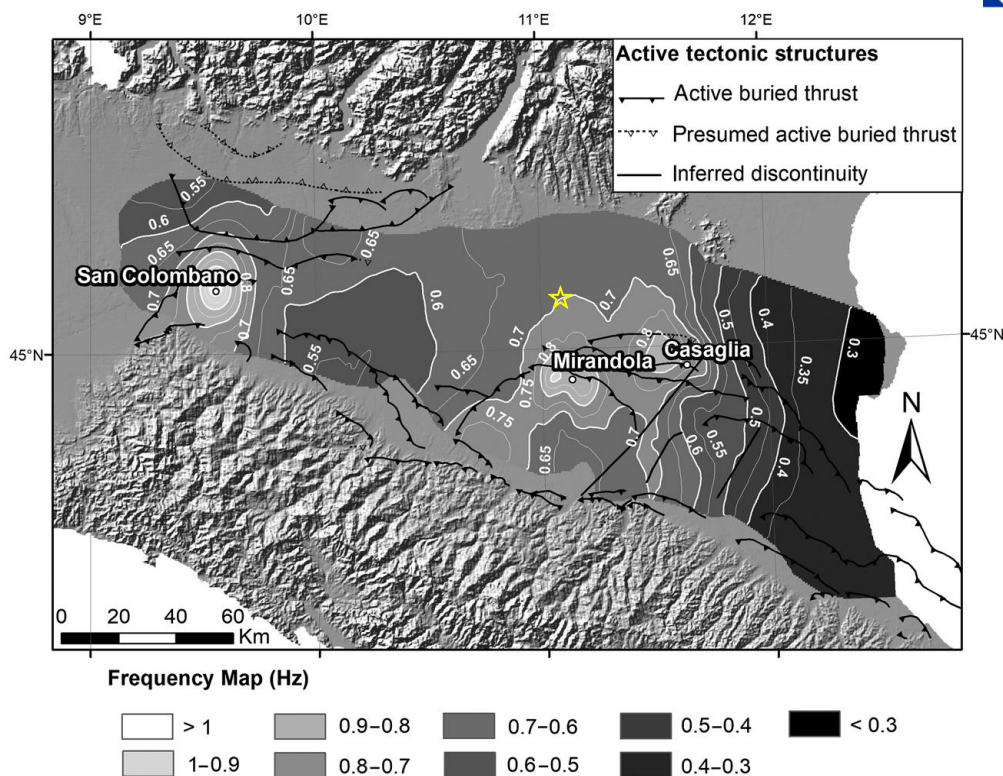
Directional resonance plots

I dati relativi alla curva H/V sono stati riportati nella griglia appositamente predisposta per una valutazione immediata della rispondenza dei requisiti per l'attribuzione di naturalità ai picchi H/V (linee guida SESAME). Come si può rilevare uno solo dei parametri supera la soglia e quindi si può concludere che i picchi sono di origine naturale e cioè generati da un'interfaccia geologica (contatto bedrocksismico-copertura).

f	Windows length l_w (s)	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c ($n_c > 200$)	frequency statistics from individual windows			
				f_0 (Hz) $> 20/l_w$	σ_f (Hz)	A_0	$\sigma_A(f_0)$
$f_{0,N}$	40	24	538	0.56	0.08	2.8	1.3
$f_{0,S}$	40	39	952	0.61	0.09	2.7	1.29
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						$f_{0,N} \checkmark$	$f_{0,S} \checkmark$
Esistenza di una frequenza f^- (tra $f_0/4$ e f_0) tale che $A_0/A_{H/V}(f^-) > 2$						\checkmark	\checkmark
Esistenza di una frequenza f^+ (tra f_0 e $4 \cdot f_0$) tale che $A_0/A_{H/V}(f^+) > 2$						\checkmark	\checkmark

Questo è il passo finale del processo di elaborazione dei dati hvsr dal quale, come possiamo vedere, emerge la condizione di naturalità del picco e quindi i massimi H/V sono stati generati da una interfaccia riflettente imputabile al contatto bedrock-copertura.

L'area investigata si colloca nella porzione centrale della regione padana oggetto di un approfondito studio per la mappatura del bedrock sismico (*Mapping the Seismic bedrock of the Po Plain (Italy) through Ambient-Vibrations Monitoring* by Mascandola et al, BSSA 2019). Con questo termine si intende una condizione dove i sedimenti assumono caratteristiche di addensamento paragonabili a quelle di un bedrock e quindi con V_s prossima o maggiore di 800m/s. Tuttavia esso non va confuso con il bedrock geologico che rappresenta invece il substrato litoide strutturale di un'area.



L'immagine sopra riportata è relativa alla mappatura delle frequenze dei massimi H/V relativi al citato bedrock sismico e possiamo notare come il sito in esame si trovi al limite settentrionale dell'"alto" strutturale di Mirandola contrassegnato da valori di frequenza prossimi a 0.7Hz. La conversione in profondità della frequenza è stata ottenuta attraverso funzioni empiriche che collegano queste due grandezze (h e f_r). I coefficienti del modello sono stati stimati usando una regressione ai minimi quadrati e i valori dei coefficienti di regressione del modello medio sono:

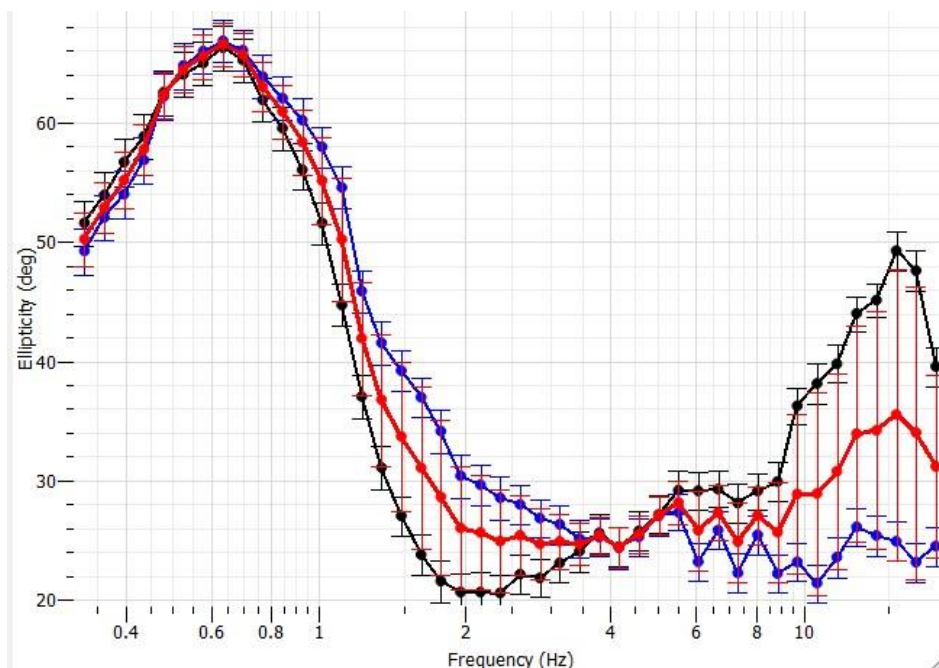
$$h = 98f_r^{-1.17}$$

Quindi, con questa relazione, avendo a disposizione anche il solo valore della frequenza si può stimare la profondità del bedrock sismico.

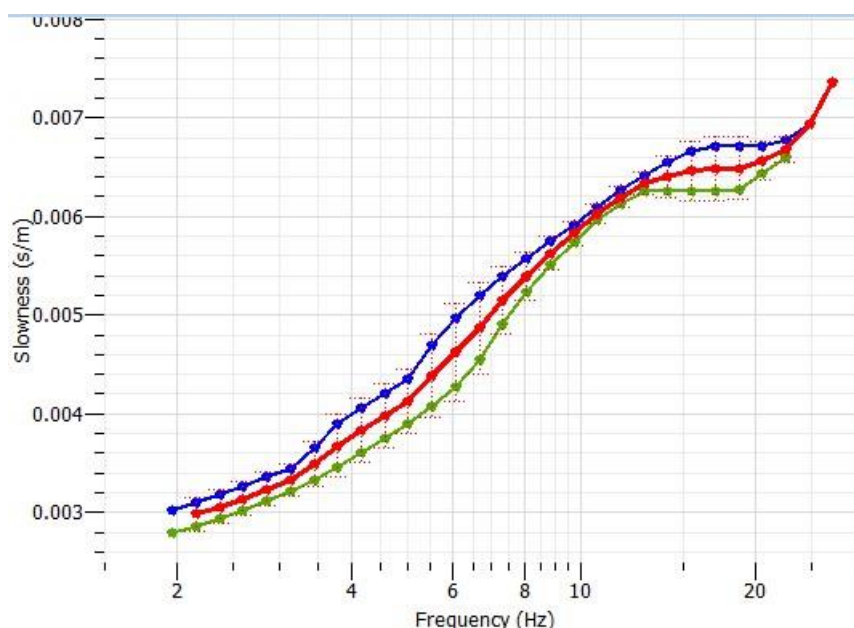
I massimi H/V delle due prove sono di 0.6Hz e quindi inferiori a quelli che dovrebbero competere a quella regione. Sappiamo anche, però, che il contouring definisce il valore medio prodotto dall'algoritmo adottato e quindi una "piccola" variazione rientra agevolmente nella normalità.

Abbiamo comunque voluto effettuare l'inversione congiunta dei dati di dispersione e di quelli di frequenza (HV-DC) prendendo in considerazione le curve media di dispersione e di ellitticità.

Sono state quindi calcolate le curve di ellitticità applicando il metodo CWT e definita la curva di ellitticità come valore medio dell'istogramma PDF usando $m=8$ per il valore dell'ordina di Morlet e 4 come $nppm$ (numero di picchi per minuto) per la rappresentazione.



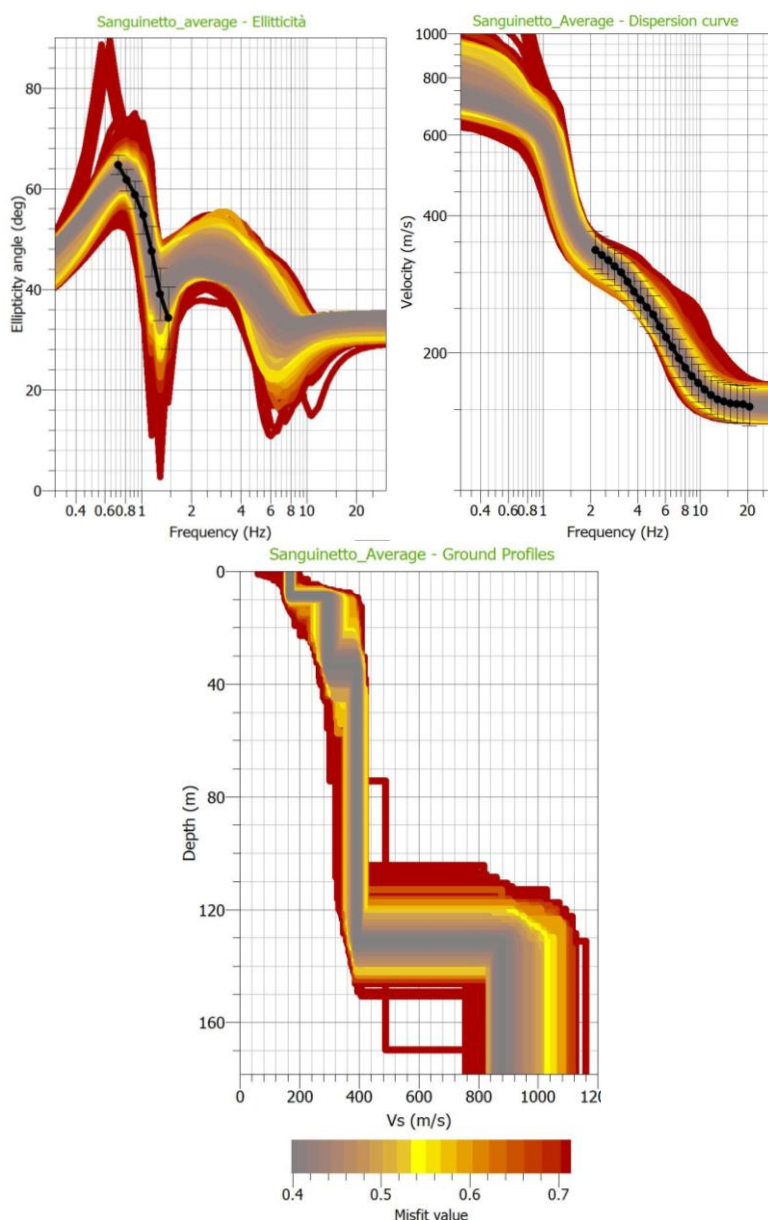
Curva di ellitticità media (rossa, ell_N, nera e ell_S, blu)



Curva di dispersione media (rossa)

La curva di ellitticità media è stata valutata come *con singolarità* e per questa ragione sono stati presi in considerazione, per l'inversione congiunta HV-DC, il solo fianco destro e la frequenza del picco.

Il risultato è decisamente buono in termini di misfit, ma insoddisfacente per quanto concerne il fitting tra curve di ellitticità teoriche e quella sperimentale. La frequenza del picco teorica appare infatti più alta (0.8Hz) di quella sperimentale e non siamo riusciti a definire una struttura di input in grado di soddisfare entrambe le grandezze considerate, né variando il numero degli strati né le loro velocità. Notiamo invece come la curva di dispersione appaia ben confinata al centro del range di valori assunti per la modellazione.



Il profilo di velocità prevede una struttura ad addensamento crescente con la profondità ed il posizionamento del riflettore (bedrock sismico $V_s=850\text{m/s}$) a circa 130m.

Applicando la relazione sopra citata per il calcolo della profondità a partire dal solo dato di frequenza e ritenuta valida per la regione padana studiata, dovremmo trovare il bedrock sismico a quasi 180m di profondità. Una discrepanza che può trovare spiegazione nell'imprecisa collocazione del picco H/V nel processo di inversione (0.75Hz anziché 0.6Hz del dato sperimentale), ma questa stima della profondità non sarebbe così distante da quella che risulta dall'applicazione della relazione basica della frequenza di risonanza con la profondità e la velocità $h=V_s/4f$. Dal profilo di V_s risulta una velocità media della copertura pari a 337m/s: inserendo questa informazione e quella della frequenza del massimo H/V, troveremo una profondità $h=140\text{m}$ prossima a quella ottenuta con l'inversione (130m). Citiamo infine l'esito della caratterizzazione sismica eseguita da INGV sulla sito della stazione accelerometrica di Mantova (IV.MNTV) in un contesto geologicamente analogo, distante una trentina di chilometri verso W da

Sanguinetto. A fronte di un picco H/V di 0.66Hz l'inversione congiunta HV-DC ha fornito un profilo di Vs che pone il bedrock sismico tra 120m e 130m.

I dati di Vs₃₀, calcolati sul profilo medio di velocità dal processo di inversione congiunta sulle curve medie, sono congruenti con quelli ReMi nel classificare in **Categoria C** il sottosuolo di fondazione (Vs<360m/s).

Le schede allegate, relative alle prove ReMi, riportano i dati come calcolati con la modellazione diretta ReMi™ in quanto appare migliore il dettaglio sismostratigrafico della prima ventina di metri che rappresenta il volume significativo del sottosuolo per le opere in progetto.

*Si può quindi concludere che il sito ricade in **categoria sismica C** e che la frequenza di risonanza **f₀** è dell'ordine di **0.6Hz**.*

Torbole S.G. 25/05/2021

GG Service s.a.s.
di
Garbari Tomas &C.



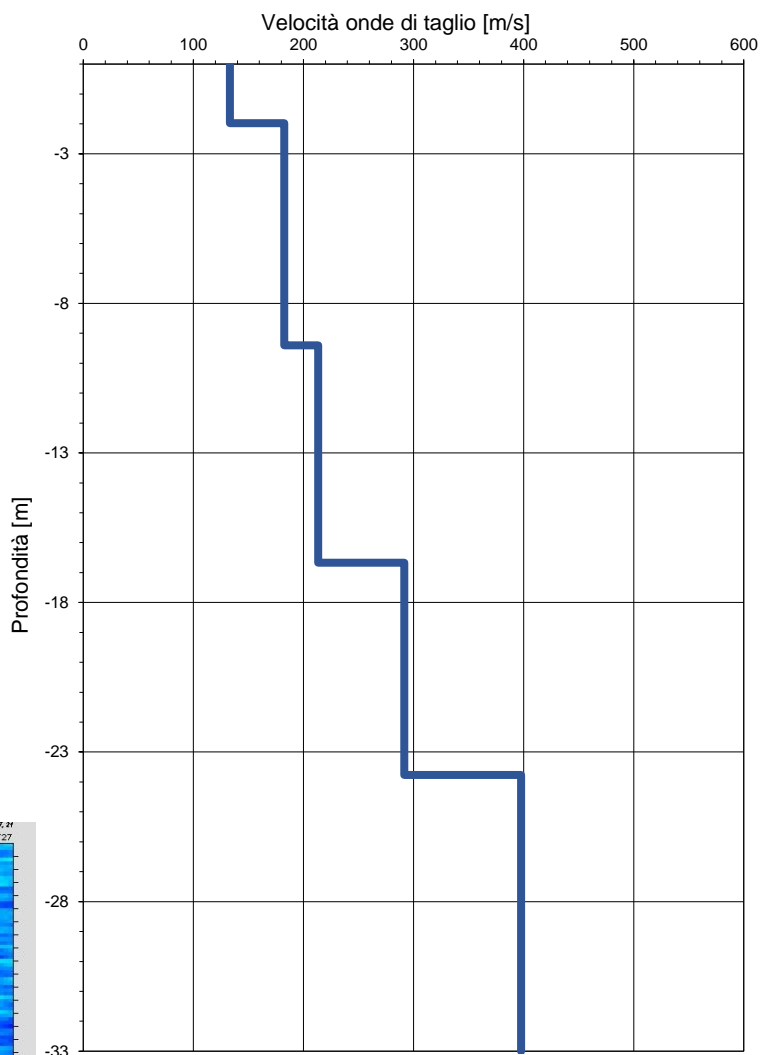
Caratterizzazione sismica per nuova ciclovia a Sanguinetto (Vr) ReMi_N

Vs Refraction Microtremor

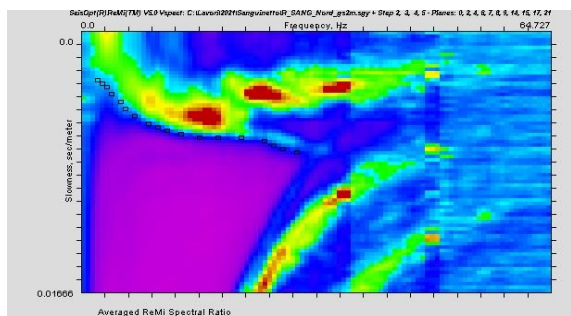
Profondità piano di fondazione;
Vs30;
Categoria sottosuolo di
fondazione

0m	232	C
1m	241	C
2m	251	C
3m	257	C

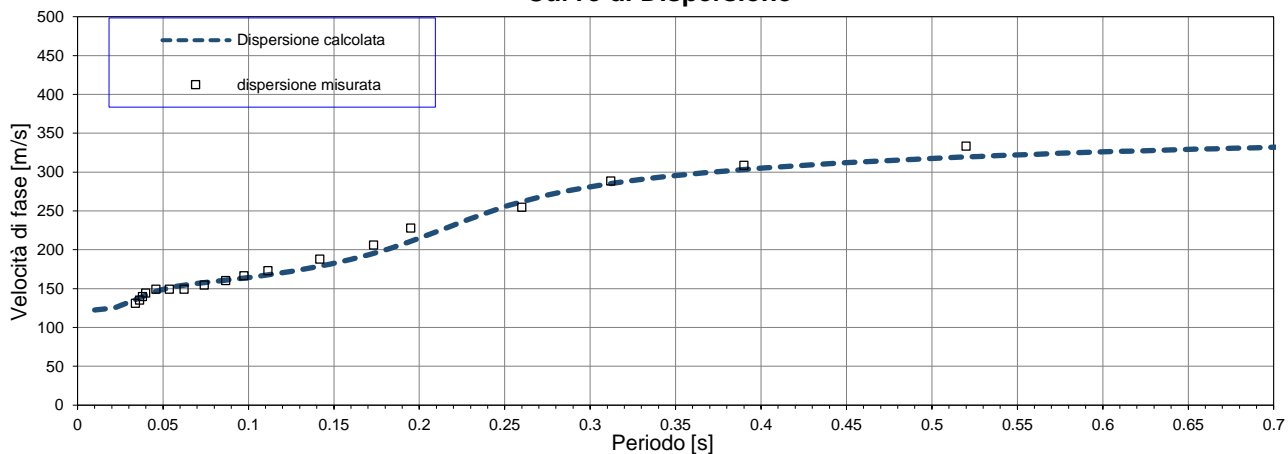
Profilo verticale (Vs)



Spettro di potenza p-f



Curve di Dispersione



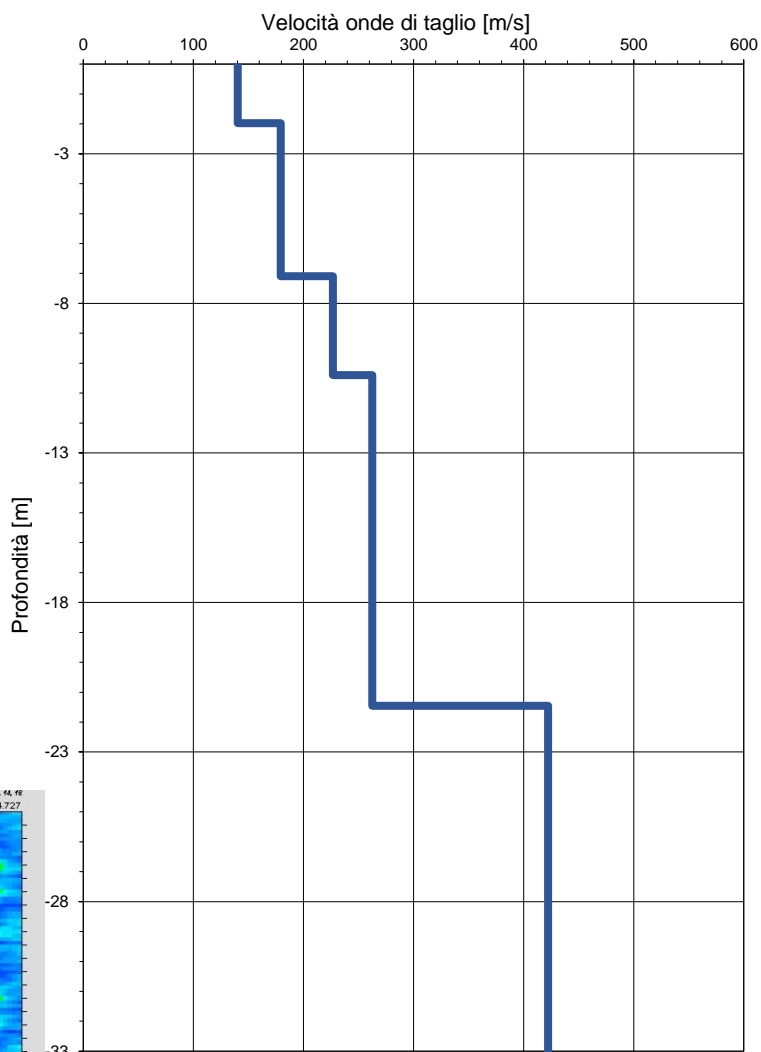
Caratterizzazione sismica per nuova ciclovia a Sanguinetto (Vr) ReMi_S

Vs Refraction Microtremor

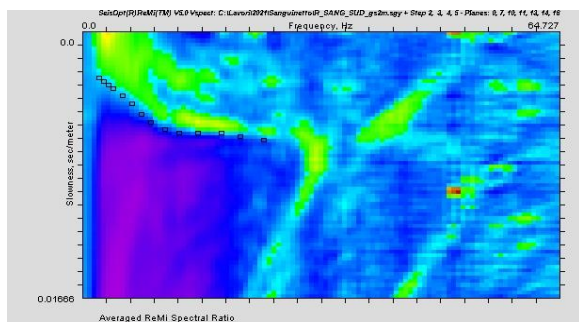
Profondità piano di fondazione;
Vs30;
Categoria sottosuolo di
fondazione

0m	251	C
1m	261	C
2m	273	C
3m	281	C

Profilo verticale (Vs)



Spettro di potenza p-f



Curve di Dispersione

