



CITTÀ DI VIAREGGIO

**VARIANTE SEMPLIFICATA AL REGOLAMENTO URBANISTICO PER  
CAMBIO DI DESTINAZIONE D'USO DI AREA ADIACENTE AL CANALE  
GORA DI STIAVA, DA "VERDE PRIVATO- VR\*" A "VERDE ATTREZZATO -  
VA\*"**

**ALLEGATI**

(ai sensi del D.P.G.R. n.5R/2020)

**Sindaco**

**Assessore alla Pianificazione Strategica della Città**

**Dirigente Settore Opere Pubbliche e Pianificazione Urbanistica - R.P.**

**Garante della Comunicazione**

Giorgio Del Ghingaro

Federico Pierucci

Silvia Fontani

Iva Pagni

**Settore Opere Pubbliche e Pianificazione Urbanistica**

Giulia Bernardini | Ilaria Conti

Eleonora Panettella | Lorenzo Spadaccini

**Studi Geologici**

Claudia Giannecchini

ADOZIONE  
Settembre 2023

# ELABORATI ALLEGATI ALLA RELAZIONE GEOLOGICA

## Allegato 1

### INDAGINI GEOGNOSTICHE

- PROVE PENETROMETRICHE STATICHE
- SONDAGGI
- PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT IN FORO

## Allegato 2

### INDAGINI GEOFISICHE

- MASW
- HVSR

# Allegato 1

## INDAGINI GEOGNOSTICHE



	COORDINATE WGS84	
	N	E
<b>CPT1</b>	43,869663	10,262476
<b>CPT2</b>	43,870364	10,265601
<b>CPT3</b>	43,870768	10,26805
<b>S1</b>	43,870465	10,265719
<b>S2</b>	43,869563	10,262439
<b>MASW 1</b>	43,870227	10,263627
<b>MASW 2</b>	43,870996	10,269155
<b>T1</b>	43,870017	10,263447
<b>T 2</b>	43,870308	10,265864
<b>T 3</b>	43,871077	10,269778

Dott. Geol. Claudia Giannecchini



# Allegato 1a

Prove Penetrometriche Statiche  
**CPT**



**PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT**

*Il presente certificato è composto da n. 5 pagine*

*norma di riferimento: Raccomandazioni AGI 1977*  
*deviazioni dalla norma:*

verbale di accettazione n. **162/2020** del **02/12/2020**  
certificato di prova n. **314/2020** del **03/12/2020**

Comm.te: **Consorzio 1 Toscana Nord**  
Località: **Via Tobino, Viareggio (LU)**  
prova n. **1**

**CARATTERISTICHE DEL SISTEMA**

*penetrometro: Pagani TG 63-100/200 n. matricola P 001138*  
*sistema di ancoraggio  $\phi$ : 100 x 1000*  
*sistema di misura: selettore con cella di carico e scheda elettronica acquisizione dati manuale*  
*punta: conica meccanica*

<i>diametro</i>	3.57	cm
<i>area punta</i>	10	cm <sup>2</sup>
<i>angolo di apertura</i>	60	°
<i>area manicotto</i>	150	cm <sup>2</sup>

**DATI DI PROVA**

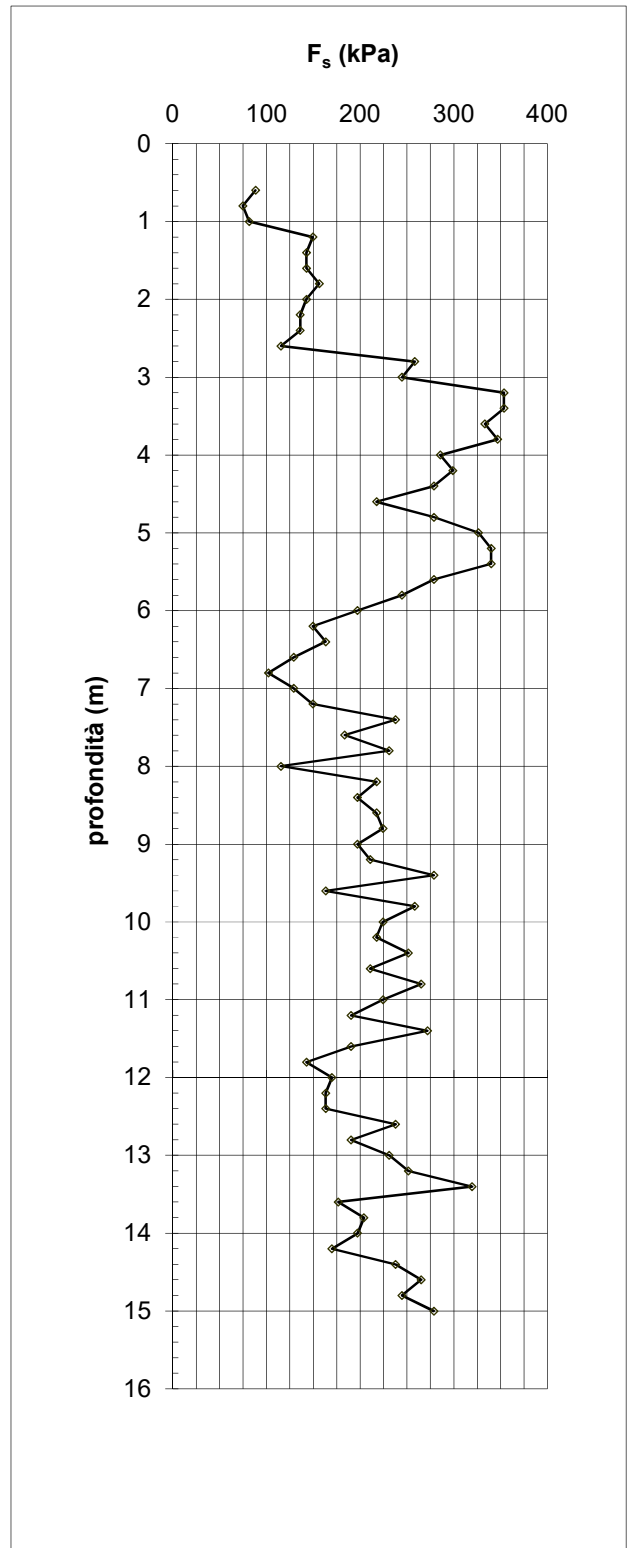
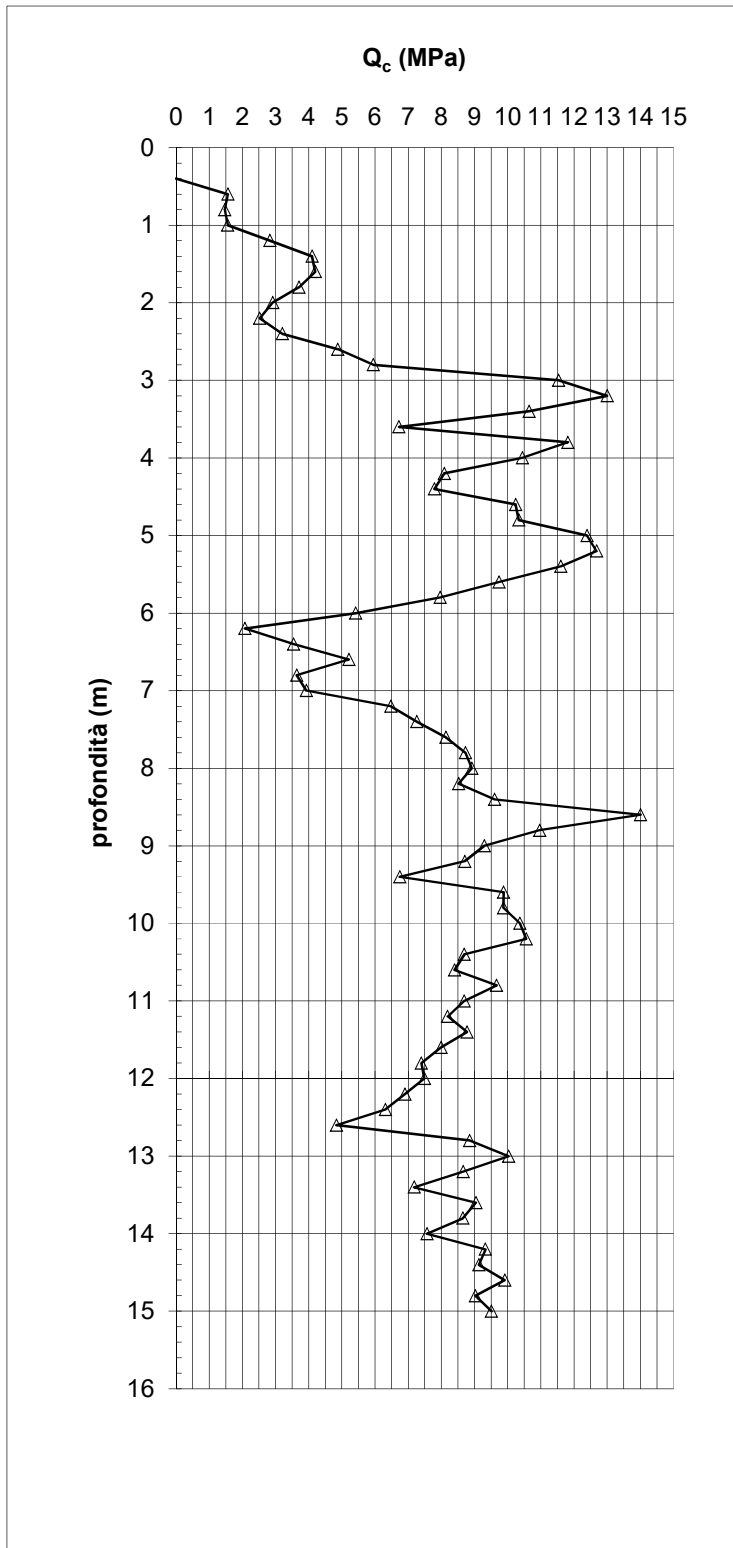
<i>data inizio lavori: 02/12/2020</i>	<i>prof. inizio prova (m): -</i>	0.00	da p.c.
<i>data fine lavori: 02/12/2020</i>	<i>prof. fine prova (m): -</i>	15.00	da p.c.
<b>Prescavo profondità</b> metri 0.00	<i>totale metri prova:</i>	15.00	m
<b>Installato piezometro</b> metri 9.00	<i>livello di falda (m): -</i>	0.00	da p.c.

profondità base strato da p.c. (m)	Lecture di campagna (kg/cm <sup>2</sup> )		Forza assiale (kN)		Resistenza alla punta - $q_c$ (MPa)	Attrito laterale unitario - $f_s$ (kPa)	$q_c/f_s$	note
	punta	punta + manicotto	punta	punta + manicotto				
0.20								
0.40								
0.60	16.00	29.00	1.56	2.84	1.56	74.78	20.89	
0.80	15.00	26.00	1.46	2.54	1.46	81.58	17.92	
1.00	16.00	28.00	1.56	2.73	1.56	149.56	10.41	
1.20	29.00	51.00	2.83	4.99	2.83	142.76	19.82	

profondità da p.c. (m)	Lecture (kg/cm <sup>2</sup> )		Forza assiale (kN)		Resistenza alla punta - q <sub>c</sub> (MPa)	Attrito laterale unitario - f <sub>s</sub> (kPa)	q <sub>c</sub> /f <sub>s</sub>	note
	punta	punta + manicotto	punta	punta + manicotto				
1.40	42.00	63.00	4.10	6.16	4.10	142.76	28.73	
1.60	43.00	64.00	4.20	6.26	4.20	156.36	26.84	
1.80	38.00	61.00	3.70	5.96	3.70	142.76	25.95	
2.00	30.00	51.00	2.92	4.98	2.92	135.96	21.45	
2.20	26.00	46.00	2.52	4.48	2.52	135.96	18.55	
2.40	33.00	53.00	3.21	5.17	3.21	115.57	27.74	
2.60	50.00	67.00	4.87	6.54	4.87	258.33	18.85	
2.80	61.00	99.00	5.95	9.67	5.95	244.73	24.30	
3.00	118.00	154.00	11.53	15.06	11.53	353.50	32.63	
3.20	133.00	185.00	13.00	18.10	13.00	353.50	36.78	
3.40	109.00	161.00	10.65	15.75	10.65	333.11	31.96	
3.60	69.00	118.00	6.72	11.53	6.72	346.70	19.38	
3.80	121.00	172.00	11.82	16.82	11.82	285.52	41.39	
4.00	107.00	149.00	10.44	14.56	10.44	299.12	34.91	
4.20	83.00	127.00	8.09	12.40	8.09	278.72	29.01	
4.40	80.00	121.00	7.79	11.81	7.79	217.54	35.80	
4.60	105.00	137.00	10.24	13.38	10.24	278.72	36.73	
4.80	106.00	147.00	10.33	14.35	10.33	326.31	31.67	
5.00	127.00	175.00	12.39	17.10	12.39	339.91	36.45	
5.20	130.00	180.00	12.68	17.58	12.68	339.91	37.31	
5.40	119.00	169.00	11.60	16.50	11.60	278.72	41.62	
5.60	100.00	141.00	9.73	13.75	9.73	244.73	39.77	
5.80	82.00	118.00	7.97	11.50	7.97	197.15	40.41	
6.00	56.00	85.00	5.41	8.26	5.41	149.56	36.20	
6.20	22.00	44.00	2.08	4.23	2.08	163.15	12.73	
6.40	37.00	61.00	3.55	5.90	3.55	129.16	27.45	
6.60	54.00	73.00	5.21	7.07	5.21	101.97	51.09	
6.80	38.00	53.00	3.64	5.11	3.64	129.16	28.16	
7.00	41.00	60.00	3.93	5.79	3.93	149.56	26.27	
7.20	67.00	89.00	6.48	8.63	6.48	237.93	27.22	
7.40	75.00	110.00	7.26	10.69	7.26	183.55	39.54	
7.60	84.00	111.00	8.14	10.79	8.14	231.14	35.21	
7.80	90.00	124.00	8.72	12.06	8.72	115.57	75.49	
8.00	92.00	109.00	8.92	10.58	8.92	217.54	40.99	
8.20	88.00	120.00	8.52	11.66	8.52	197.15	43.23	
8.40	99.00	128.00	9.60	12.44	9.60	217.54	44.12	
8.60	144.00	176.00	14.01	17.15	14.01	224.34	62.45	
8.80	113.00	146.00	10.97	14.20	10.97	197.15	55.63	
9.00	96.00	125.00	9.30	12.14	9.30	210.74	44.11	

profondità da p.c. (m)	Lecture (kg/cm <sup>2</sup> )		Forza assiale (kN)		Resistenza alla punta - q <sub>c</sub> (MPa)	Attrito laterale unitario - f <sub>s</sub> (kPa)	q <sub>c</sub> /f <sub>s</sub>	note
	punta	punta + manicotto	punta	punta + manicotto				
9.20	90.00	121.00	8.71	11.75	8.71	278.72	31.23	
9.40	70.00	111.00	6.74	10.76	6.74	163.15	41.32	
9.60	102.00	126.00	9.88	12.23	9.88	258.33	38.23	
9.80	102.00	140.00	9.87	13.60	9.87	224.34	44.02	
10.00	107.00	140.00	10.36	13.60	10.36	217.54	47.63	
10.20	109.00	141.00	10.56	13.69	10.56	251.53	41.97	
10.40	90.00	127.00	8.69	12.32	8.69	210.74	41.23	
10.60	87.00	118.00	8.39	11.43	8.39	265.13	31.66	
10.80	100.00	139.00	9.66	13.49	9.66	224.34	43.08	
11.00	90.00	123.00	8.68	11.92	8.68	190.35	45.61	
11.20	85.00	113.00	8.19	10.93	8.19	271.92	30.11	
11.40	91.00	131.00	8.77	12.70	8.77	190.35	46.10	
11.60	83.00	111.00	7.99	10.73	7.99	142.76	55.95	
11.80	77.00	98.00	7.40	9.46	7.40	169.95	43.52	
12.00	78.00	103.00	7.49	9.94	7.49	163.15	45.92	
12.20	72.00	96.00	6.90	9.25	6.90	163.15	42.29	
12.40	66.00	90.00	6.31	8.66	6.31	237.93	26.52	
12.60	51.00	86.00	4.84	8.27	4.84	190.35	25.41	
12.80	92.00	120.00	8.85	11.60	8.85	231.14	38.31	
13.00	104.00	138.00	10.03	13.36	10.03	251.53	39.87	
13.20	90.00	127.00	8.65	12.28	8.65	319.51	27.08	
13.40	75.00	122.00	7.18	11.79	7.18	176.75	40.62	
13.60	94.00	120.00	9.04	11.59	9.04	203.94	44.32	
13.80	90.00	120.00	8.64	11.59	8.64	197.15	43.85	
14.00	79.00	108.00	7.56	10.41	7.56	169.95	44.50	
14.20	97.00	122.00	9.33	11.78	9.33	237.93	39.19	
14.40	95.00	130.00	9.13	12.56	9.13	265.13	34.43	
14.60	103.00	142.00	9.91	13.73	9.91	244.73	40.49	
14.80	94.00	130.00	9.02	12.55	9.02	278.72	32.37	
15.00	99.00	140.00	9.51	13.53	9.51			
15.20								
15.40								
15.60								
15.80								
16.00								
16.20								
16.40								
16.60								
16.80								
17.00								

DIAGRAMMI



## UBICAZIONE DELLA PROVA





**PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT**

*Il presente certificato è composto da n. 5 pagine*

*norma di riferimento: Raccomandazioni AGI 1977*  
*deviazioni dalla norma:*

verbale di accettazione n. **162/2020** del **02/12/2020**  
certificato di prova n. **315/2020** del **03/12/2020**

Comm.te: **Consorzio 1 Toscana Nord**  
Località: **Via Tobino, Viareggio (LU)**  
prova n. **2**

**CARATTERISTICHE DEL SISTEMA**

*penetrometro:* Pagani TG 63-100/200 n. matricola P 001138  
*sistema di ancoraggio  $\phi$ :* 100 x 1000  
*sistema di misura:* selettore con cella di carico e scheda elettronica acquisizione dati manuale  
*punta:* conica meccanica

*diametro* 3.57 cm  
*area punta* 10 cm<sup>2</sup>  
*angolo di apertura* 60 °  
*area manicotto* 150 cm<sup>2</sup>

**DATI DI PROVA**

*data inizio lavori:* 02/12/2020 *prof. inizio prova (m):* - 0.00 da p.c.  
*data fine lavori:* 02/12/2020 *prof. fine prova (m):* - 15.00 da p.c.  
*Prescavo profondità* metri 0.00 *totale metri prova:* 15.00 m  
*Installato piezometro* metri 0.00 *livello di falda (m):* - 0.00 da p.c.

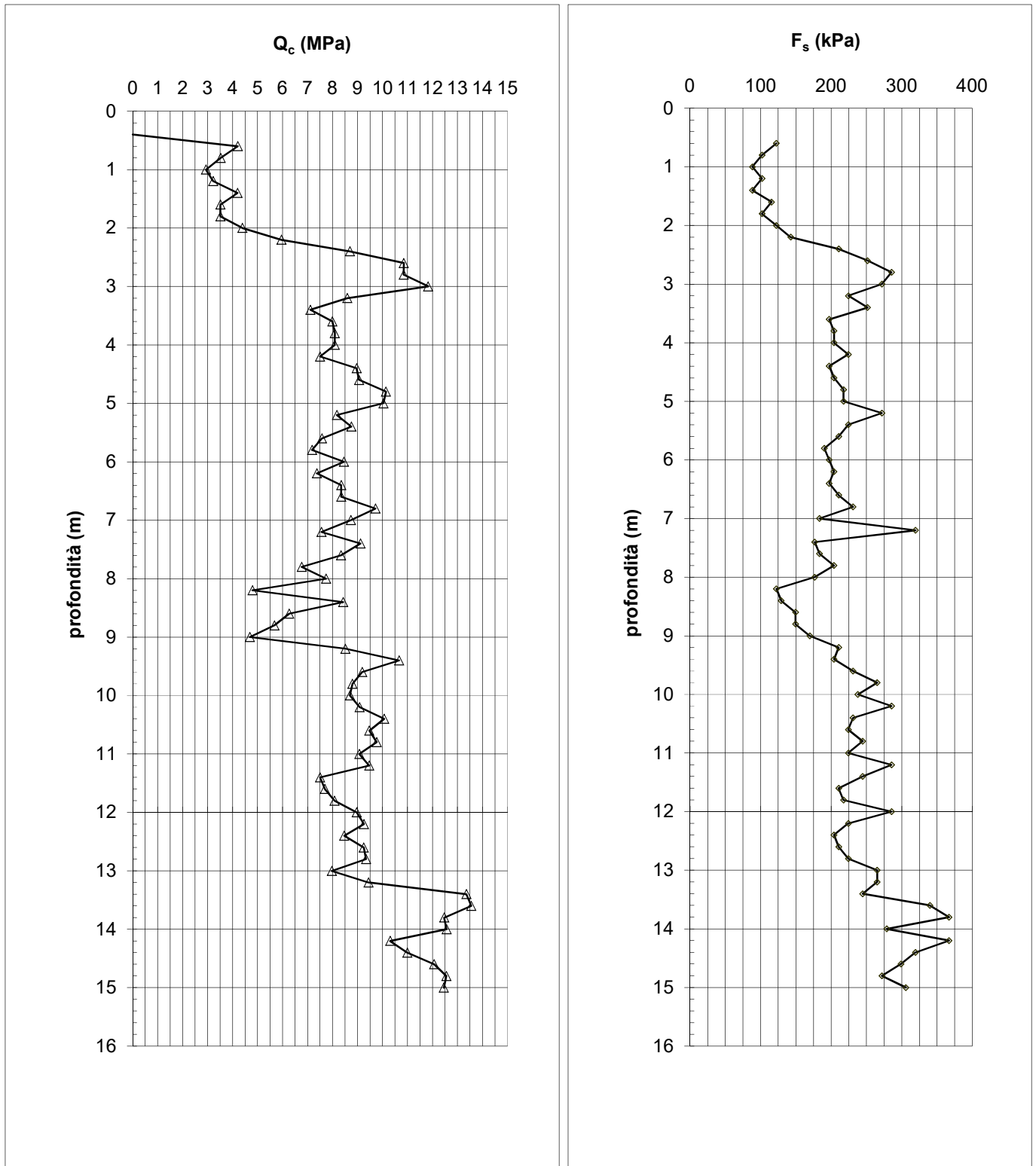
profondità base strato da p.c. (m)	Lecture di campagna (kg/cm <sup>2</sup> )		Forza assiale (kN)		Resistenza alla punta - $q_c$ (MPa)	Attrito laterale unitario - $f_s$ (kPa)	$q_c/f_s$	note
	punta	punta + manicotto	punta	punta + manicotto				
0.20								
0.40								
0.60	43.00	61.00	4.21	5.98	4.21	101.97	41.29	
0.80	36.00	51.00	3.52	4.99	3.52	88.38	39.84	
1.00	30.00	43.00	2.93	4.20	2.93	101.97	28.73	
1.20	33.00	48.00	3.22	4.69	3.22	88.38	36.45	

profondità da p.c. (m)	Lecture (kg/cm <sup>2</sup> )		Forza assiale (kN)		Resistenza alla punta - q <sub>c</sub> (MPa)	Attrito laterale unitario - f <sub>s</sub> (kPa)	q <sub>c</sub> /f <sub>s</sub>	note
	punta	punta + manicotto	punta	punta + manicotto				
1.40	43.00	56.00	4.20	5.47	4.20	115.57	36.34	
1.60	36.00	53.00	3.51	5.18	3.51	101.97	34.43	
1.80	36.00	51.00	3.51	4.98	3.51	122.37	28.67	
2.00	45.00	63.00	4.39	6.15	4.39	142.76	30.74	
2.20	61.00	82.00	5.95	8.01	5.95	210.74	28.25	
2.40	89.00	120.00	8.70	11.74	8.70	251.53	34.58	
2.60	111.00	148.00	10.85	14.48	10.85	285.52	38.01	
2.80	111.00	153.00	10.85	14.97	10.85	271.92	39.90	
3.00	121.00	161.00	11.83	15.75	11.83	224.34	52.72	
3.20	88.00	121.00	8.59	11.83	8.59	251.53	34.15	
3.40	73.00	110.00	7.12	10.74	7.12	197.15	36.09	
3.60	82.00	111.00	8.00	10.84	8.00	203.94	39.20	
3.80	83.00	113.00	8.09	11.03	8.09	203.94	39.67	
4.00	83.00	113.00	8.09	11.03	8.09	224.34	36.05	
4.20	77.00	110.00	7.50	10.73	7.50	197.15	38.03	
4.40	92.00	121.00	8.97	11.81	8.97	203.94	43.96	
4.60	93.00	123.00	9.06	12.00	9.06	217.54	41.65	
4.80	104.00	136.00	10.14	13.27	10.14	217.54	46.60	
5.00	103.00	135.00	10.04	13.17	10.04	271.92	36.91	
5.20	84.00	124.00	8.17	12.09	8.17	224.34	36.42	
5.40	90.00	123.00	8.76	11.99	8.76	210.74	41.55	
5.60	78.00	109.00	7.58	10.62	7.58	190.35	39.80	
5.80	74.00	102.00	7.18	9.93	7.18	197.15	36.43	
6.00	87.00	116.00	8.45	11.30	8.45	203.94	41.45	
6.20	76.00	106.00	7.37	10.31	7.37	197.15	37.40	
6.40	86.00	115.00	8.35	11.19	8.35	210.74	39.62	
6.60	86.00	117.00	8.35	11.39	8.35	231.14	36.12	
6.80	100.00	134.00	9.72	13.05	9.72	183.55	52.94	
7.00	90.00	117.00	8.73	11.38	8.73	319.51	27.34	
7.20	78.00	125.00	7.56	12.16	7.56	176.75	42.74	
7.40	94.00	120.00	9.12	11.67	9.12	183.55	49.70	
7.60	86.00	113.00	8.33	10.98	8.33	203.94	40.87	
7.80	70.00	100.00	6.76	9.70	6.76	176.75	38.26	
8.00	80.00	106.00	7.74	10.29	7.74	122.37	63.26	
8.20	50.00	68.00	4.80	6.56	4.80	129.16	37.13	
8.40	87.00	106.00	8.42	10.29	8.42	149.56	56.31	
8.60	65.00	87.00	6.26	8.42	6.26	149.56	41.87	
8.80	59.00	81.00	5.67	7.83	5.67	169.95	33.37	
9.00	49.00	74.00	4.69	7.14	4.69	210.74	22.24	

profondità da p.c. (m)	Lecture (kg/cm <sup>2</sup> )		Forza assiale (kN)		Resistenza alla punta - q <sub>c</sub> (MPa)	Attrito laterale unitario - f <sub>s</sub> (kPa)	q <sub>c</sub> /f <sub>s</sub>	note
	punta	punta + manicotto	punta	punta + manicotto				
9.20	88.00	119.00	8.51	11.55	8.51	203.94	41.72	
9.40	110.00	140.00	10.66	13.61	10.66	231.14	46.14	
9.60	95.00	129.00	9.19	12.52	9.19	265.13	34.66	
9.80	91.00	130.00	8.80	12.62	8.80	237.93	36.97	
10.00	90.00	125.00	8.69	12.13	8.69	285.52	30.45	
10.20	94.00	136.00	9.08	13.20	9.08	231.14	39.30	
10.40	104.00	138.00	10.06	13.40	10.06	224.34	44.85	
10.60	98.00	131.00	9.47	12.71	9.47	244.73	38.70	
10.80	101.00	137.00	9.76	13.29	9.76	224.34	43.52	
11.00	94.00	127.00	9.07	12.31	9.07	285.52	31.78	
11.20	98.00	140.00	9.46	13.58	9.46	244.73	38.67	
11.40	78.00	114.00	7.50	11.03	7.50	210.74	35.59	
11.60	80.00	111.00	7.69	10.73	7.69	217.54	35.36	
11.80	84.00	116.00	8.08	11.22	8.08	285.52	28.31	
12.00	93.00	135.00	8.96	13.08	8.96	224.34	39.95	
12.20	96.00	129.00	9.25	12.49	9.25	203.94	45.38	
12.40	88.00	118.00	8.47	11.41	8.47	210.74	40.18	
12.60	96.00	127.00	9.25	12.29	9.25	224.34	41.23	
12.80	97.00	130.00	9.34	12.58	9.34	265.13	35.24	
13.00	83.00	122.00	7.97	11.79	7.97	265.13	30.06	
13.20	98.00	137.00	9.44	13.26	9.44	244.73	38.56	
13.40	138.00	174.00	13.36	16.89	13.36	339.91	39.30	
13.60	140.00	190.00	13.55	18.45	13.55	367.10	36.91	
13.80	129.00	183.00	12.47	17.76	12.47	278.72	44.74	
14.00	130.00	171.00	12.56	16.59	12.56	367.10	34.23	
14.20	107.00	161.00	10.31	15.60	10.31	319.51	32.26	
14.40	114.00	161.00	10.99	15.60	10.99	299.12	36.74	
14.60	125.00	169.00	12.07	16.38	12.07	271.92	44.37	
14.80	130.00	170.00	12.55	16.48	12.55	305.91	41.04	
15.00	129.00	174.00	12.45	16.87	12.45			
15.20								
15.40								
15.60								
15.80								
16.00								
16.20								
16.40								
16.60								
16.80								
17.00								



DIAGRAMMI



## UBICAZIONE DELLA PROVA



**PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT**

*Il presente certificato è composto da n. 5 pagine*

*norma di riferimento:* Raccomandazioni AGI 1977  
*deviazioni dalla norma:*

verbale di accettazione n. **162/2020** del **02/12/2020**  
certificato di prova n. **316/2020** del **03/12/2020**

Comm.te: **Consorzio 1 Toscana Nord**  
Località: **Via Tobino, Viareggio (LU)**  
prova n. **3**

**CARATTERISTICHE DEL SISTEMA**

*penetrometro:* Pagani TG 63-100/200 n. matricola P 001138  
*sistema di ancoraggio  $\phi$ :* 100 x 1000  
*sistema di misura:* selettore con cella di carico e scheda elettronica acquisizione dati manuale  
*punta:* conica meccanica

*diametro* 3.57 cm  
*area punta* 10 cm<sup>2</sup>  
*angolo di apertura* 60 °  
*area manicotto* 150 cm<sup>2</sup>

**DATI DI PROVA**

*data inizio lavori:* 02/12/2020 *prof. inizio prova (m):* - 0.00 da p.c.  
*data fine lavori:* 02/12/2020 *prof. fine prova (m):* - 15.00 da p.c.  
*Prescavo profondità* metri 0.00 *totale metri prova:* 15.00 m  
*Installato piezometro* metri 0.00 *livello di falda (m):* - 0.00 da p.c.

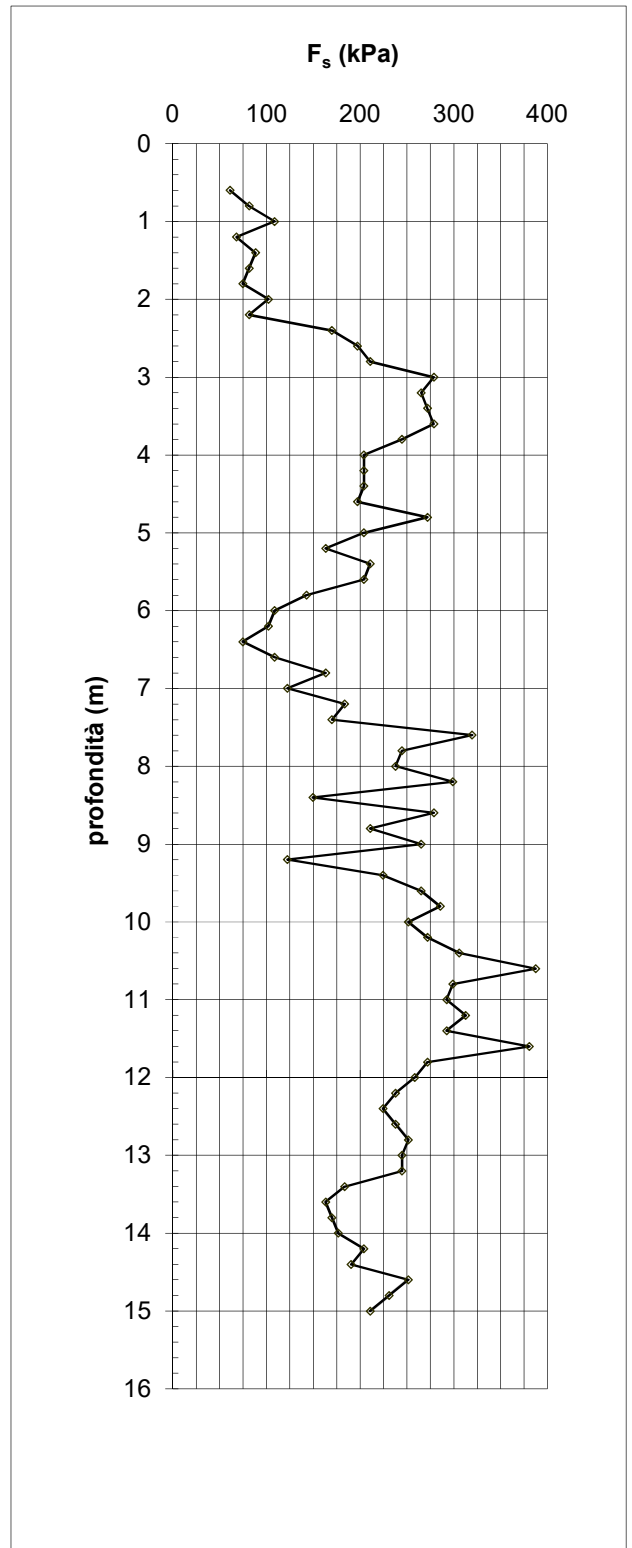
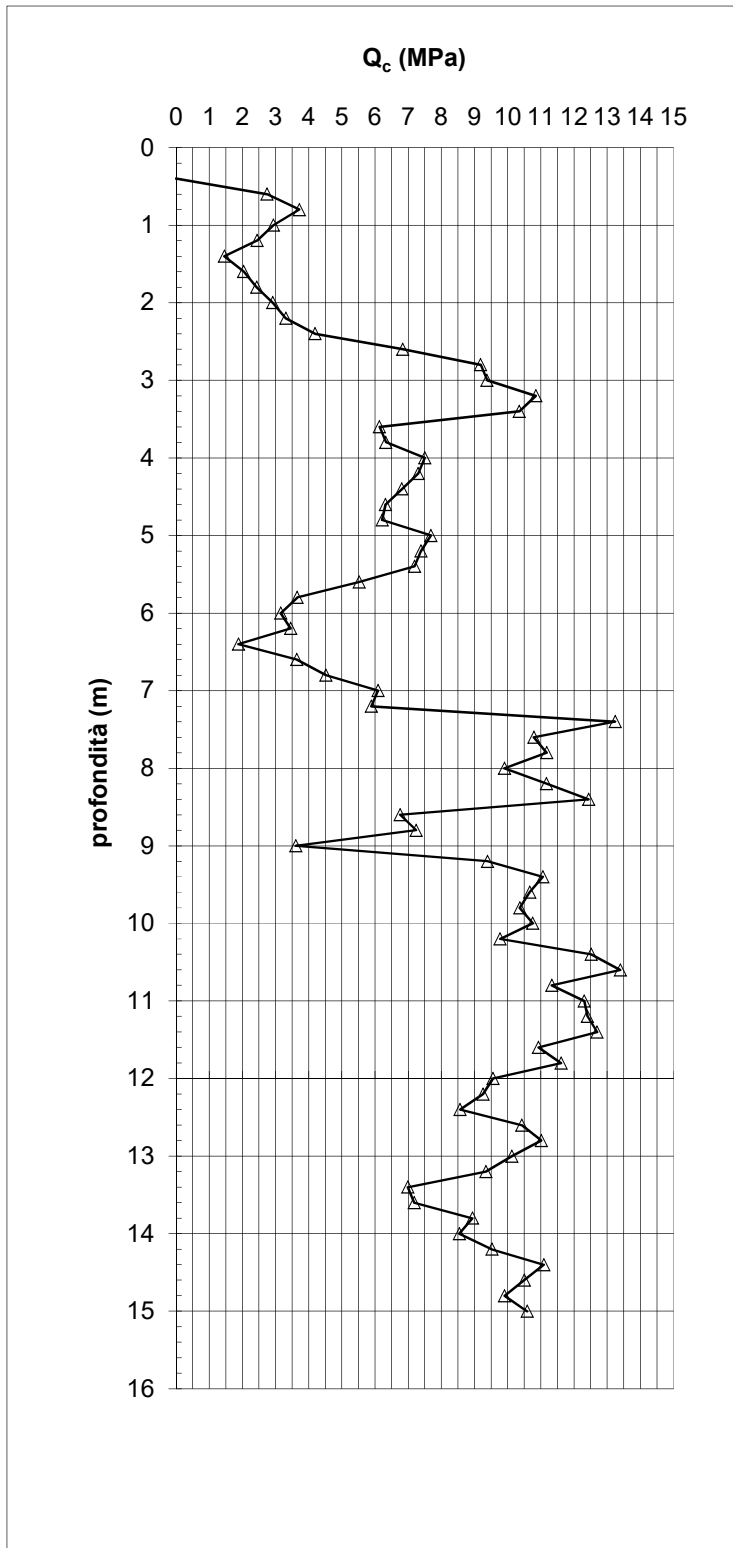
profondità base strato da p.c. (m)	Lecture di campagna (kg/cm <sup>2</sup> )		Forza assiale (kN)		Resistenza alla punta - $q_c$ (MPa)	Attrito laterale unitario - $f_s$ (kPa)	$q_c/f_s$	note
	punta	punta + manicotto	punta	punta + manicotto				
0.20								
0.40								
0.60	28.00	37.00	2.74	3.62	2.74	81.58	33.58	
0.80	38.00	50.00	3.72	4.89	3.72	108.77	34.18	
1.00	30.00	46.00	2.93	4.50	2.93	67.98	43.10	
1.20	25.00	35.00	2.44	3.42	2.44	88.38	27.58	

profondità da p.c. (m)	Letture (kg/cm <sup>2</sup> )		Forza assiale (kN)		Resistenza alla punta - q <sub>c</sub> (MPa)	Attrito laterale unitario - f <sub>s</sub> (kPa)	q <sub>c</sub> /f <sub>s</sub>	note
	punta	punta + manicotto	punta	punta + manicotto				
1.40	15.00	28.00	1.45	2.73	1.45	81.58	17.82	
1.60	21.00	33.00	2.04	3.22	2.04	74.78	27.27	
1.80	25.00	36.00	2.43	3.51	2.43	101.97	23.82	
2.00	30.00	45.00	2.92	4.39	2.92	81.58	35.76	
2.20	34.00	46.00	3.31	4.48	3.31	169.95	19.46	
2.40	43.00	68.00	4.19	6.64	4.19	197.15	21.24	
2.60	70.00	99.00	6.83	9.68	6.83	210.74	32.42	
2.80	94.00	125.00	9.18	12.22	9.18	278.72	32.94	
3.00	96.00	137.00	9.38	13.40	9.38	265.13	35.36	
3.20	111.00	150.00	10.84	14.67	10.84	271.92	39.88	
3.40	106.00	146.00	10.35	14.27	10.35	278.72	37.14	
3.60	63.00	104.00	6.13	10.15	6.13	244.73	25.06	
3.80	65.00	101.00	6.33	9.86	6.33	203.94	31.02	
4.00	77.00	107.00	7.50	10.44	7.50	203.94	36.77	
4.20	75.00	105.00	7.30	10.24	7.30	203.94	35.80	
4.40	70.00	100.00	6.81	9.75	6.81	197.15	34.53	
4.60	65.00	94.00	6.31	9.16	6.31	271.92	23.22	
4.80	64.00	104.00	6.21	10.14	6.21	203.94	30.47	
5.00	79.00	109.00	7.68	10.62	7.68	163.15	47.09	
5.20	76.00	100.00	7.39	9.74	7.39	210.74	35.05	
5.40	74.00	105.00	7.19	10.23	7.19	203.94	35.24	
5.60	57.00	87.00	5.52	8.46	5.52	142.76	38.65	
5.80	38.00	59.00	3.65	5.71	3.65	108.77	33.57	
6.00	33.00	49.00	3.16	4.73	3.16	101.97	30.97	
6.20	36.00	51.00	3.45	4.92	3.45	74.78	46.13	
6.40	20.00	31.00	1.88	2.96	1.88	108.77	17.27	
6.60	38.00	54.00	3.64	5.21	3.64	163.15	22.31	
6.80	47.00	71.00	4.52	6.87	4.52	122.37	36.94	
7.00	63.00	81.00	6.09	7.85	6.09	183.55	33.16	
7.20	61.00	88.00	5.89	8.54	5.89	169.95	34.65	
7.40	136.00	161.00	13.24	15.69	13.24	319.51	41.44	
7.60	111.00	158.00	10.79	15.40	10.79	244.73	44.07	
7.80	115.00	151.00	11.18	14.71	11.18	237.93	46.97	
8.00	102.00	137.00	9.90	13.33	9.90	299.12	33.09	
8.20	115.00	159.00	11.17	15.49	11.17	149.56	74.69	
8.40	128.00	150.00	12.44	14.60	12.44	278.72	44.64	
8.60	70.00	111.00	6.75	10.77	6.75	210.74	32.04	
8.80	75.00	106.00	7.24	10.28	7.24	265.13	27.31	
9.00	38.00	77.00	3.61	7.43	3.61	122.37	29.49	

profondità da p.c. (m)	Lecture (kg/cm <sup>2</sup> )		Forza assiale (kN)		Resistenza alla punta - q <sub>c</sub> (MPa)	Attrito laterale unitario - f <sub>s</sub> (kPa)	q <sub>c</sub> /f <sub>s</sub>	note
	punta	punta + manicotto	punta	punta + manicotto				
9.20	97.00	115.00	9.39	11.16	9.39	224.34	41.87	
9.40	114.00	147.00	11.06	14.29	11.06	265.13	41.70	
9.60	110.00	149.00	10.66	14.49	10.66	285.52	37.34	
9.80	107.00	149.00	10.36	14.48	10.36	251.53	41.21	
10.00	111.00	148.00	10.75	14.38	10.75	271.92	39.55	
10.20	101.00	141.00	9.77	13.69	9.77	305.91	31.94	
10.40	129.00	174.00	12.51	16.93	12.51	387.49	32.30	
10.60	138.00	195.00	13.39	18.98	13.39	299.12	44.78	
10.80	117.00	161.00	11.33	15.65	11.33	292.32	38.77	
11.00	127.00	170.00	12.31	16.53	12.31	312.71	39.37	
11.20	128.00	174.00	12.41	16.92	12.41	292.32	42.44	
11.40	131.00	174.00	12.70	16.91	12.70	380.69	33.35	
11.60	113.00	169.00	10.93	16.42	10.93	271.92	40.19	
11.80	120.00	160.00	11.61	15.54	11.61	258.33	44.95	
12.00	99.00	137.00	9.55	13.28	9.55	237.93	40.14	
12.20	96.00	131.00	9.25	12.69	9.25	224.34	41.25	
12.40	89.00	122.00	8.57	11.80	8.57	237.93	36.00	
12.60	108.00	143.00	10.43	13.86	10.43	251.53	41.45	
12.80	114.00	151.00	11.01	14.64	11.01	244.73	44.99	
13.00	105.00	141.00	10.13	13.66	10.13	244.73	41.38	
13.20	97.00	133.00	9.34	12.87	9.34	183.55	50.88	
13.40	73.00	100.00	6.98	9.63	6.98	163.15	42.80	
13.60	75.00	99.00	7.18	9.53	7.18	169.95	42.23	
13.80	93.00	118.00	8.94	11.39	8.94	176.75	50.57	
14.00	89.00	115.00	8.54	11.09	8.54	203.94	41.89	
14.20	99.00	129.00	9.52	12.46	9.52	190.35	50.02	
14.40	115.00	143.00	11.09	13.83	11.09	251.53	44.08	
14.60	109.00	146.00	10.50	14.13	10.50	231.14	45.42	
14.80	103.00	137.00	9.91	13.24	9.91	210.74	47.01	
15.00	110.00	141.00	10.59	13.63	10.59			
15.20								
15.40								
15.60								
15.80								
16.00								
16.20								
16.40								
16.60								
16.80								
17.00								



DIAGRAMMI



## UBICAZIONE DELLA PROVA



# Allegato 1b

Sondaggi a carotaggio continuo



Cantiere: Viale Mario Tobino Località: Viareggio (LU) Data inizio: 03/12/2020 Data fine: 03/12/2020  
Sondaggio n.: 1 Metodo perfor.: Sondaggio a carotaggio continuo Diamm. (mm): 101/127

Il presente certificato è composto da n. 4 pagine

## SONDAGGIO GEOGNOSTICO



Norma di riferimento: *raccomandazioni AGI 1977.*

Deviazione dalla norma: Nessuna

Verbale di accettazione n. 162/2020 Del. 02/12/2020

Certificato di prova n. 345/2020 del. 30/12/2020

## CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

Perforatrice: Sonda IPC DRILL 650










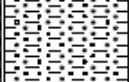


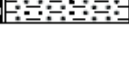


Caratteristiche tecniche della perforatrice: Il gruppo rotary è costituito da un motore di 315 cm<sup>3</sup> che consente una coppia massima di 745 daNm e un numero di giri massimi di 289 r.p.m. Il gruppo morsa-svitatore, una forza di serraggio di 15904 daN e una coppia di sviamento pari a 3000 daNm.

Diametro perforazione  $\phi$ : 101

Diametro rivestimento  $\phi$ : 127

Sistema di perforazione: Carotaggio continuo   
Distruzione di nucleo

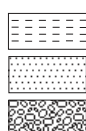
Cantiere: Viale Mario Tobino Località: Viareggio (LU) Data inizio: 03/12/2020 Data fine: 03/12/2020  
 Sondaggio n.: 1 Metodo perfor.: Sondaggio a carotaggio continuo Diamm. (mm): 101/127  
 Liv. falda (m da p.c.): \_\_\_\_\_ Quota p.c. (m s.l.m.): \_\_\_\_\_ Redattore stratigrafia Dott. Geol. Giorgio Seghieri

σ mm	R V	A R	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T. S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
				1									1.2	Terreno vegetale.
				2									3.0	Sabbie limose medie di colore grigio/nocciola.
				3		1) She - 3,00 3,50				12-16-18	34		4.8	Sabbie medio/grosse debolmente limose di colore grigio/beige.
				4									4.8	Sabbie medio/grosse debolmente limose di colore grigio/beige.
				5									4.8	Sabbie medie/grossolane di colore grigio.
				6		2) She - 6,00 6,50							4.8	Sabbie medie/grossolane di colore grigio.
				7						18-19-24	43		4.8	Sabbie medie/grossolane di colore grigio.
				8									4.8	Sabbie medie/grossolane di colore grigio.
				9									4.8	Sabbie medie/grossolane di colore grigio.
				10									10.2	Sabbie medie limose di colore grigio.
				11									10.2	Sabbie medie limose di colore grigio.
				12									10.2	Sabbie medie limose di colore grigio.
				13									10.2	Sabbie medie limose di colore grigio.
				14									10.2	Sabbie medie limose di colore grigio.
				15									15.0	Sabbie medie limose di colore grigio.

She = Shelby Den = Denison Osl = Osterberg  
 Ar = Livello acqua rinvenuta  
 As = Livello acqua stabilizzata  
 Pz = Piezometro  
 Rp = Penetrometro tascabile  
 V.T. = Vane Test (kg/cmq) max-residuo  
 S.P.T. = Standard Penetration Test  
 N = Nspt  
 R.Q.D. = Rock Quality Designation



Riporto  
 Terreno vegetale  
 Argilla



Limo  
 Sabbia  
 Ghiaia, ciottoli

NOTE: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Cantiere: Viale Mario Tobino Località: Viareggio (LU) Data inizio: 03/12/2020 Data fine: 03/12/2020  
Sondaggio n.: 1 Metodo perfor.: Sondaggio a carotaggio continuo Diamm. (mm): 101/127

## UBICAZIONE INDAGINE





Cantiere: Viale Mario Tobino Località: Viareggio (LU) Data inizio: 03/12/2020 Data fine: 03/12/2020  
Sondaggio n.: 1 Metodo perfor.: Sondaggio a carotaggio continuo Diamm. (mm): 101/127

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA CAROTE DI SONDAGGIO



Cassetta n. 1: da 0,0 m a - 5,0 m



Cassetta n. 2: da - 5,0 m a - 10,0 m



Cassetta n. 3: da - 10,0 m a - 15,0 m

Cantiere: Viale Mario Tobino Località: Viareggio (LU) Data inizio: 04/12/2020 Data fine: 10/12/2020  
Sondaggio n.: 2 Metodo perfor.: Sondaggio a carotaggio continuo Diamm. (mm): 101/127

Il presente certificato è composto da n. 4 pagine

## SONDAGGIO GEOGNOSTICO



Norma di riferimento: *raccomandazioni AGI 1977.*

Deviazione dalla norma: Nessuna

Verbale di accettazione n. 162/2020 Del. 02/12/2020

Certificato di prova n. 346/2020 del. 30/12/2020

## CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

Perforatrice: Sonda IPC DRILL 650

Caratteristiche tecniche della perforatrice: Il gruppo rotary è costituito da un motore di 315 cm<sup>3</sup> che consente una coppia massima di 745 daNm e un numero di giri massimi di 289 r.p.m. Il gruppo morsa-svitatore, una forza di serraggio di 15904 daN e una coppia di sviamento pari a 3000 daNm.

Diametro perforazione  $\phi$ : 101

Diametro rivestimento  $\phi$ : 127

Sistema di perforazione: Carotaggio continuo   
Distruzione di nucleo

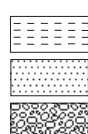
Cantiere: Viale Mario Tobino Località: Viareggio (LU) Data inizio: 04/12/2020 Data fine: 10/12/2020  
 Sondaggio n.: 2 Metodo perfor.: Sondaggio a carotaggio continuo Diamm. (mm): 101/127  
 Liv. falda (m da p.c.): \_\_\_\_\_ Quota p.c. (m s.l.m.): \_\_\_\_\_ Redattore stratigrafia Dott. Geol. Giorgio Seghieri

o	R	A	Pz	metri	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. %	S.P.T.	RQD %	prof.	DESCRIZIONE
mm	V	I	S	bat.					0 --- 100	S.P.T.	0 --- 100	m	
										N			
				1	Terreno vegetale.								
				2								1.8	
				3		1) She = 3,00 3,50				9-13-15	28		
				4									
				5									
				6		2) SDI = 6,50 7,00							
				7						5-8-9	17	7.0	Sabbie medie di colore grigio con resti conchigliari..
				8									
				9									
				10								10.5	Sabbie medio/fini limose di colore grigio/nocciola.
				11									
				12									
				13									
				14									
				15								15.0	Sabbie limose fini di colore grigio.
				16									
				17									
				18									
				19									
				20								20.0	

She = Shelby Den = Denison Osl = Osterberg  
 Ar = Livello acqua rinvenuta  
 As = Livello acqua stabilizzata  
 Pz = Piezometro  
 Rp = Penetrometro tascabile  
 V.T. = Vane Test (kg/cmq) max-residuo  
 S.P.T. = Standard Penetration Test  
 N = Nspt  
 R.Q.D. = Rock Quality Designation



Riporto  
 Terreno vegetale  
 Argilla



Limo  
 Sabbia  
 Ghiaia, ciottoli

NOTE: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



Cantiere: Viale Mario Tobino Località: Viareggio (LU) Data inizio: 04/12/2020 Data fine: 10/12/2020  
Sondaggio n.: 2 Metodo perfor.: Sondaggio a carotaggio continuo Diamm. (mm): 101/127

## UBICAZIONE INDAGINE





Cantiere: Viale Mario Tobino Località: Viareggio (LU) Data inizio: 04/12/2020 Data fine: 10/12/2020  
Sondaggio n.: 2 Metodo perfor.: Sondaggio a carotaggio continuo Diamm. (mm): 101/127

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA CAROTE DI SONDAGGIO



Cassetta n. 1: da 0,0 m a - 5,0 m



Cassetta n. 2: da - 5,0 m a - 10,0 m



Cassetta n. 3: da - 10,0 m a - 15,0 m



Cassetta n. 4: da - 15,0 m a - 20,0 m



# Allegato 1c

Prove Penetrometriche Dinamiche in foro  
**SPT**

<b>Numero sondaggio</b>	<b>Prove SPT</b>	<b>Profondità SPT (m dal p.c.)</b>	<b>VALORI PROVA SPT</b>
<b>S1</b>	<b>SPT1</b>	4.50	12-16-18
	<b>SPT2</b>	7.50	18-19-24
<b>S2</b>	<b>SPT1</b>	4.50	9-13-15
	<b>SPT2</b>	7.50	5-8-9

# Allegato 2

## INDAGINI SISMICHE

### MASW HVSR



	COORDINATE WGS84	
	N	E
<b>MASW 1</b>	43,870227	10,263627
<b>MASW 2</b>	43,870996	10,269155
<b>T1</b>	43,870017	10,263447
<b>T2</b>	43,870308	10,265864
<b>T3</b>	43,871077	10,269778

Dott. Geol. Claudia Gianecchini



# Allegato 2a

Indagini sismiche MASW





## PREMESSE

La presente relazione sintetizza e illustra i risultati di n. 2 indagini sismiche effettuate, mediante il metodo MASW, lungo un tratto del viale M. Tobino nel comune di Viareggio per l'intervento di "sistemazione del canale Gora di Stiava"

Le indagini MASW sono state effettuate per la caratterizzazione della velocità delle onde Sh dei terreni presenti, per determinare il parametro VS30, necessario al fine della classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto, come richiesto dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 2018).

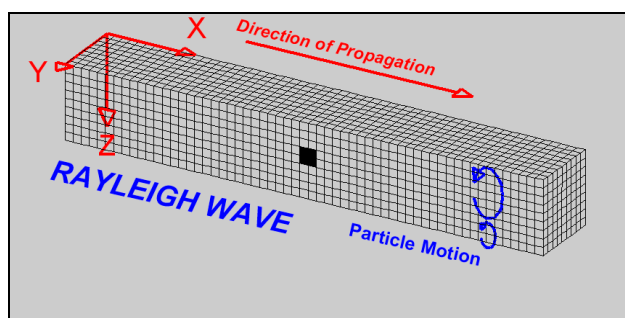
L'interpretazione dei dati acquisiti in campagna ha consentito di ricavare una sequenza sismo-stratigrafica relativamente all'area di indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche delle velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali.

E' stato possibile, per ottimizzare l'interpretazione, riferirsi al locale assetto geolitologico e geotecnica derivante da prove penetrometriche eseguite per il medesimo incarico.

## GENERALITÀ SUL METODO MASW

Le onde sismiche che si propagano in un mezzo si dividono, principalmente, in Onde di corpo e onde di superficie. Fra queste ultime si hanno le onde di Rayleigh, le onde di Love e le onde di Lamb.

Le onde di Rayleigh, in particolare, sono originate dall'interazione fra le onde di pressione e le onde di taglio verticali quando esista una superficie libera in un mezzo omogeneo e isotropo.

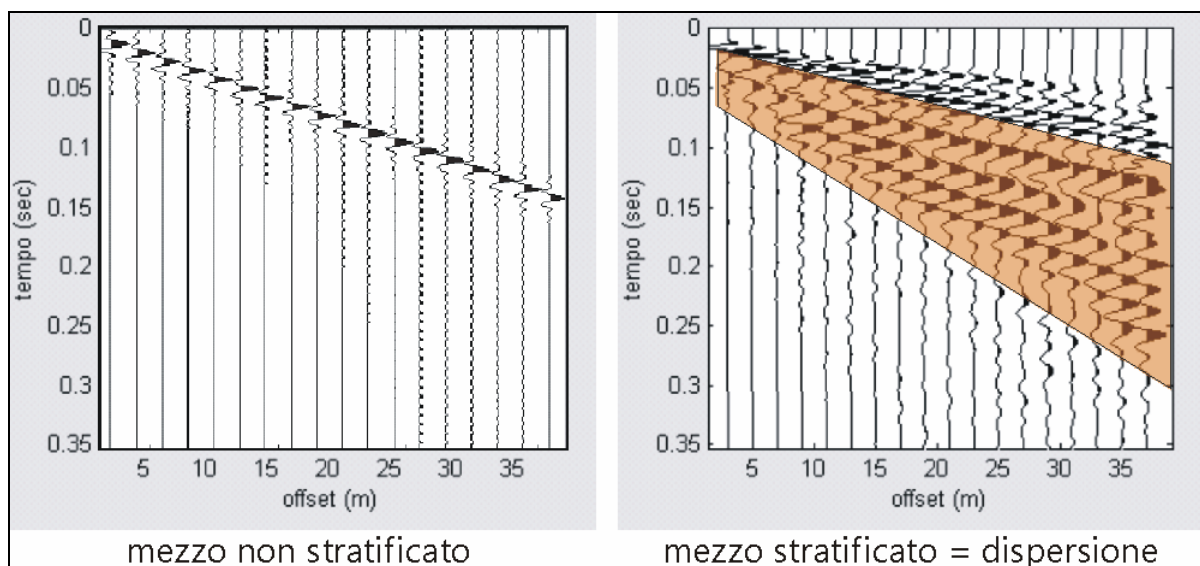


Il moto delle particelle è di tipo ellittico retrogrado, il quale si inverte a una profondità di  $\lambda/2\pi$ . L'ampiezza dello spostamento decresce secondo una legge esponenziale.



L'energia convertita in onde di Rayleigh è, in percentuale, molto maggiore rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P ed S. Inoltre l'ampiezza delle onde di superficie varia con la radice quadrata di  $r$ , e non con  $r$  come avviene per le onde di corpo. Le onde di Rayleigh presentano una velocità del 90% circa rispetto a quella delle onde di taglio.

In presenza di un semispazio omogeneo, la velocità di tali onde non varia in funzione della frequenza, non si ha cioè *dispersione*, la deformazione di un treno di onde dovuta alla variazione della velocità di propagazione in funzione della frequenza. Questa deformazione si manifesta invece quando il terreno presenti una stratificazione; la velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda viene influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino a una profondità dell'ordine di  $\lambda/2$  circa.



Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Quindi una metodologia che utilizzi le onde superficiali è in grado di rilevare variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità.

Nel caso che l'obiettivo sia di verificare le caratteristiche delle velocità delle onde S nel terreno, questo tipo di indagine è molto utile, in quanto la  $V_s$  è il fattore che governa le caratteristiche della dispersione.

Inoltre il metodo non è limitato dalla presenza di inversioni di velocità, e presenta una buona risoluzione.

L'indagine secondo la tecnica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) prevede l'energizzazione mediante sorgente attiva, con registrazione simultanea su 12 o più canali. Vengono utilizzati geofoni a componente verticale sensibili alle basse frequenze (un valore tipico sono 4,5 Hz).

La distanza dalla sorgente di energizzazione e il primo ricevitore condiziona  $\lambda_{max}$ , e quindi la profondità di indagine; anche la lunghezza dello stendimento geofonico è in relazione alla profondità di indagine, mentre la distanza intergeofonica condiziona lo spessore dello strato più sottile rilevabile.

E' importante osservare che nel sismogramma possono comparire diversi tipi di onde: onde di corpo, onde superficiali non piane, onde riverberate dalle disomogeneità superficiali, oltre al rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Questo comporta una difficoltà aggiuntiva nella "lettura" dello spettro di velocità e quindi nella successiva individuazione della curva di dispersione.

Le onde di corpo sono di solito riconoscibili; le onde superficiali riverberate (back scattered) possono risultare prevalenti in un sismogramma quando siano presenti discontinuità orizzontali. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

In sintesi l'indagine comporta:

- l'acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);
- la determinazione di uno spettro di velocità, con velocità di fase in funzione della frequenza;
- l'identificazione della curva di dispersione, cioè la determinazione dei punti che, sullo spettro di velocità, appartengono a un certo modo di propagazione dell'onda superficiale di Rayleigh;
- l'inversione della curva di dispersione, al fine di ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .



L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando come riferimento la curva di dispersione precedentemente ottenuta. Per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione è necessaria l'assunzione di valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità.

La procedura di inversione utilizzata dal software *winMASW* è legata agli "algoritmi genetici", il quale approccio consente di ottenere risultati più affidabili rispetto ai metodi di inversione basati sulla matrice Jacobiana.

E' estremamente utile, per una interpretazione affidabile, poter disporre di dati di riferimento, sia per fornire uno spazio di ricerca iniziale al processo di inversione, sia per effettuare una "modellazione diretta" di ausilio a un corretto "picking" della curva di dispersione.

#### ATTREZZATURA E METODOLOGIE IMPIEGATE

Per l'indagine in oggetto si è impiegata un'attrezzatura *AMBROGEO* "ECHO 12-24/2002 *Sismic Unit*", avente le seguenti caratteristiche:

- . numero di canali: 24
- . sampler interval: 0,296 msec
- . A/D conversion: 16 bit
- . input impedance: 1KOhm
- . Gain: 10 dB – 100 dB (step 1 dB)
- . saturation tension: +/- 2,3 V
- . saturation level: 100 dB
- . distortion: 0,01%
- . sampler:
  - 25 msec (191 punti)
  - 50 msec (383 punti)
  - 100 msec (756 punti)
  - 200 msec (1530 punti)
  - 400 msec (3060 punti)
  - 1000 msec (7560 punti)
- . sampling: 130 microsec
- . filter low pass: 50/950 Hz, step 1 Hz
- . digital filter low pass: 1000-50
- . digital filter high pass: 0-250
- . frequency response: 7-950 Hz, filter at 950 Hz
- . dynamic range: 93 dB
- . noise: 0,66 uV RMS, gain = 55 dB
- . crosstalk: 52 dB, gain = 55 dB
- . power: 12 V.

A stylized map of Italy is visible in the bottom right corner of the page, partially obscured by the contact information box.

**Mappo Geognostica Srl**

Loc. Biagioni, 60

55010 Spianate (LU)

Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069

P.IVA 02019570460

[www.mappogeognostica.it](http://www.mappogeognostica.it)

Il software di acquisizione dati è “ECHO 12-24” vers. 7.00. L’attrezzatura è completata da 1 cavo sismico a 24 takes out spazati a 3 m, con connettori *cannon*, montati su rullo, geofoni “Geospace” a 4,5 Hz, cannoncino per cartucce industriali, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, geofono starter, cavo trigger da 200 m montato su rullo.

Gli stendimenti impiegati per i profili MASW in oggetto hanno le seguenti caratteristiche, in particolare:

- n. geofoni: 24
- spaziatura fra i geofoni: 2 m
- n. shots: sono state effettuate 2 rilevazioni, impiegando esclusivamente la mazza di battuta, a distanze di 8.0 e 10.0 metri dalla linea geofonica.
- tempo di acquisizione: 1.000 msec.

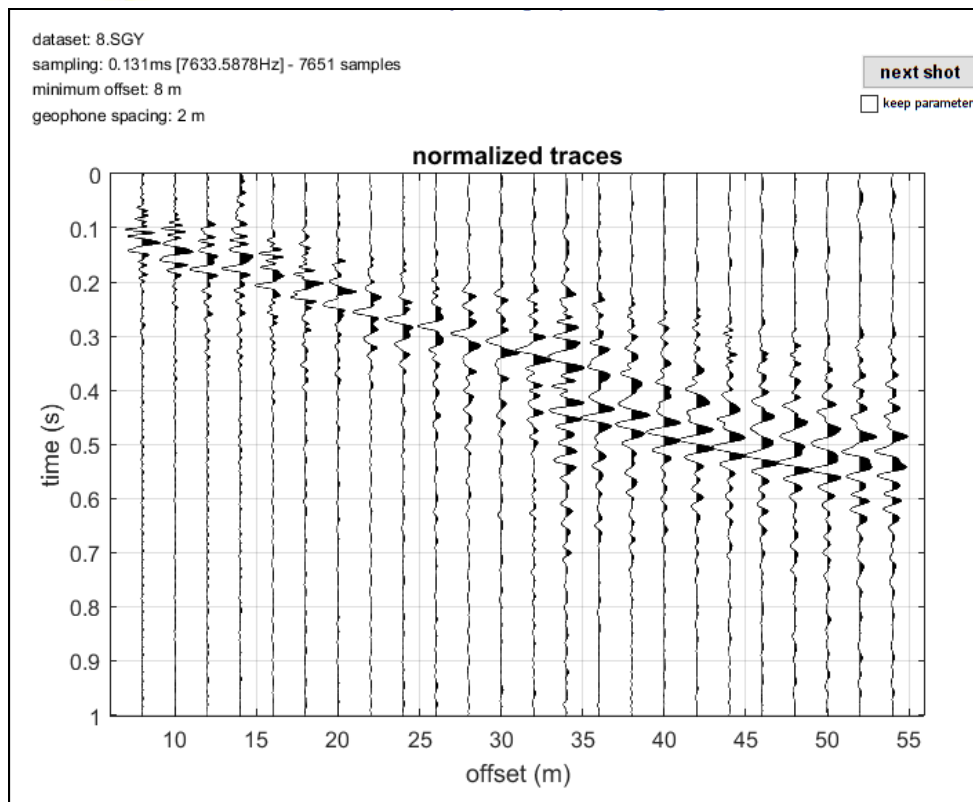
I profili sono da considerare orizzontali, in quanto i dislivelli massimi lungo lo stendimento sono modesti (nell’ordine dei centimetri).

#### MASW N. 1 - INTERPRETAZIONE DEI DATI

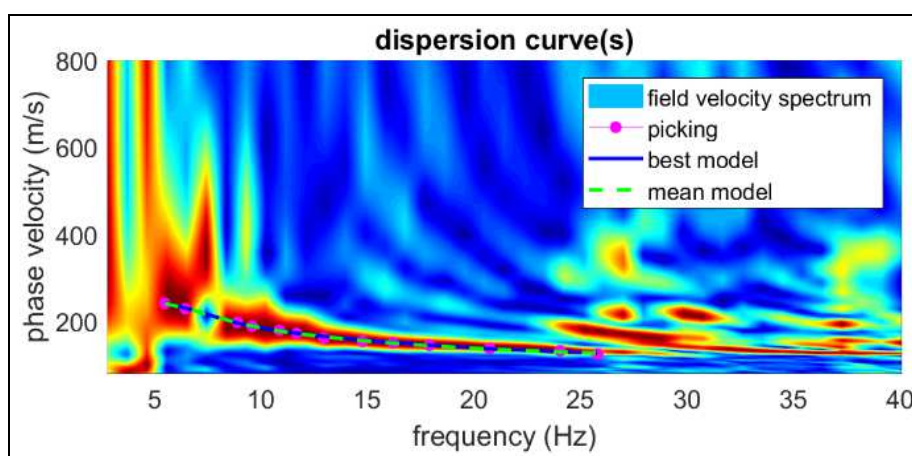
Per il processo di interpretazione è stato utilizzata la curva di dispersione relativa allo “shot” posto a un offset di 8,0 m dalla linea geofonica.

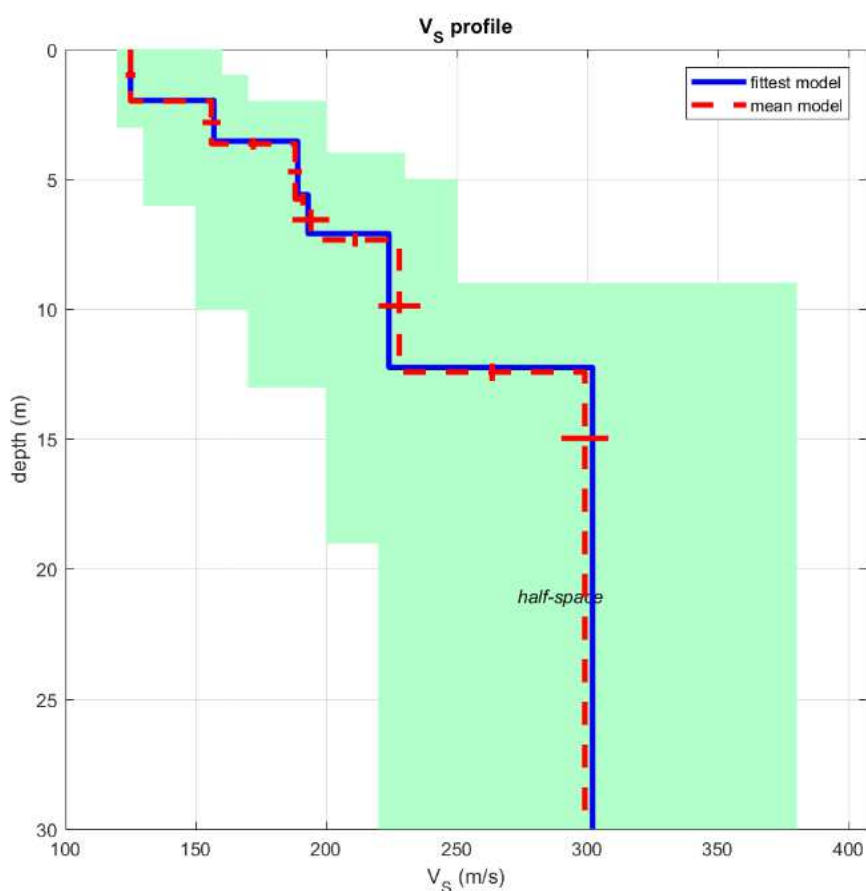
Per l’interpretazione dei dati è stato impiegato il software winMASW, il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio Vs tramite l’inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi “genetici”. Tale programma è in grado di operare sui records in formato SGY prodotti dalla strumentazione Ambrogeo secondo la procedura specifica descritta nel capitolo introduttivo.

La rappresentazione del file dei dati acquisiti (“common-shot gather” – segnale per i vari geofoni nel tempo di acquisizione di 1000 msec) è la seguente:



Quello che segue è lo *spettro di velocità* (velocità di fase in funzione della frequenza), con relativo picking della curva di dispersione delle onde di superficie, cioè la determinazione dei punti che si ritengono appartenere, in questo caso, al *modo fondamentale* di propagazione dell'onda superficiale di Rayleigh:





Sono stati perciò individuati 6 strati a diversa velocità Vsh, e precisamente:

- secondo il MODELLO MEDIO:

strato	1	2	3	4	5	6
VSh (m/sec)	125	156	188	194	228	299
Spessore(m)	2.0	1.6	2.1	1.6	5.1	

Si rimanda alla valutazione del progettista circa la definizione della categoria di suolo di fondazione in funzione della tipologia e delle caratteristiche dell'opera prevista.

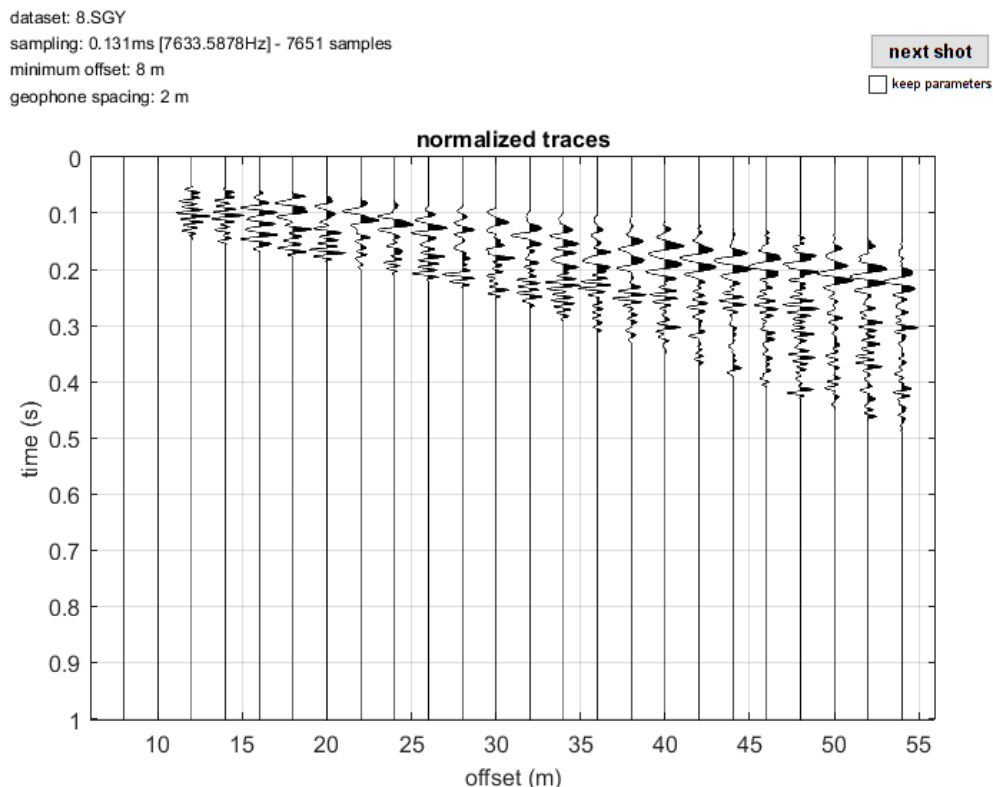


## MASW N. 2 - INTERPRETAZIONE DEI DATI

Per il processo di interpretazione sono state utilizzate le curve di dispersione relative allo “shot” posto a un offset di 8,0 m dalla linea geofonica.

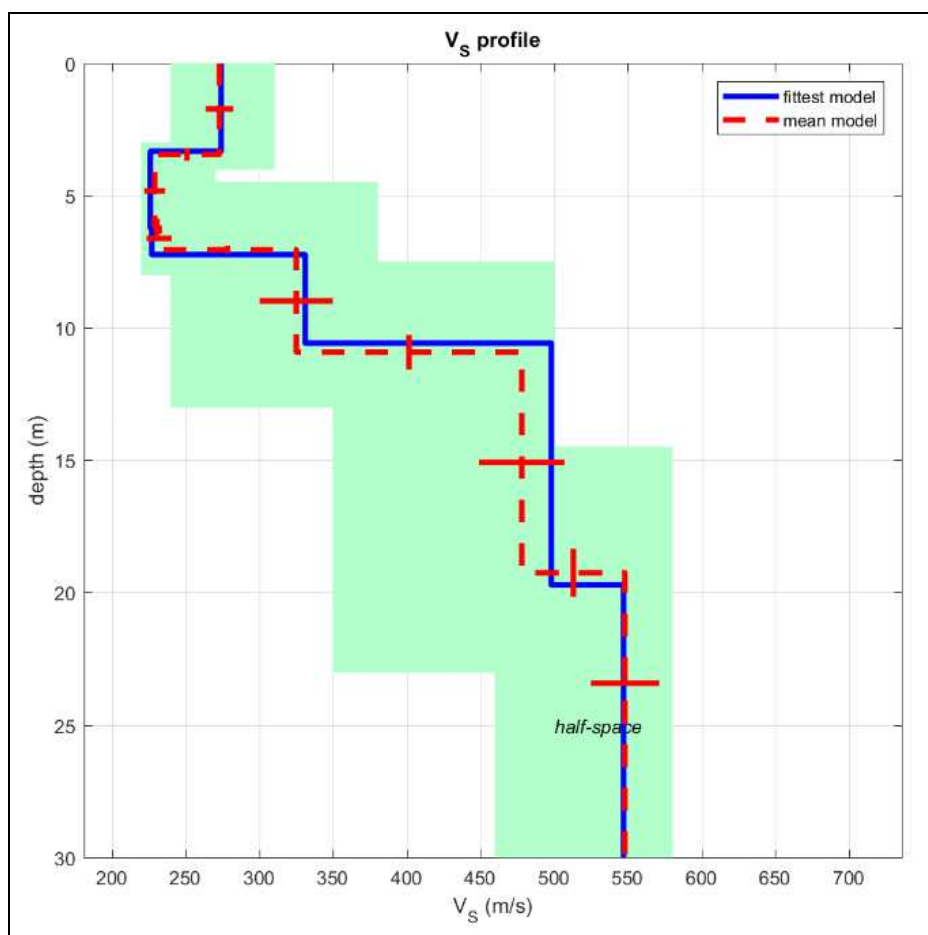
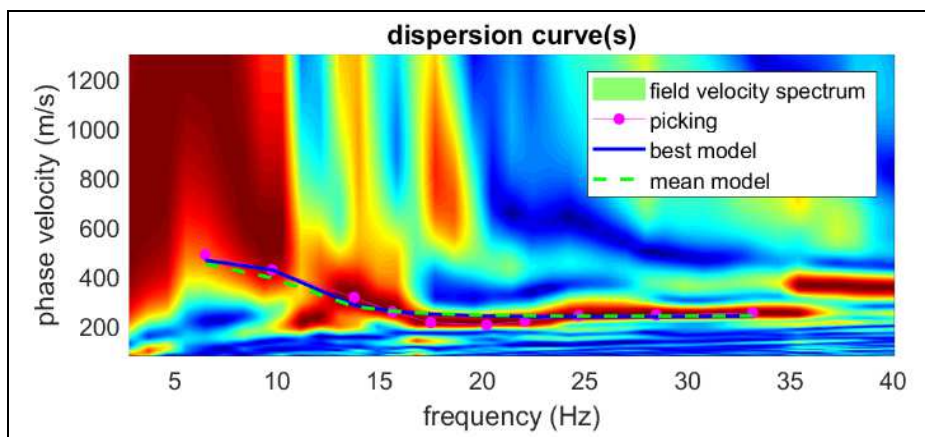
Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software winMASW, il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio  $V_s$  tramite l'inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi “genetici”. Tale programma è in grado di operare sui records in formato SGY prodotti dalla strumentazione Ambrogeo secondo la procedura specifica descritta nel capitolo introduttivo.

La rappresentazione del file dei dati acquisiti (“common-shot gather” – segnale per i vari geofoni nel tempo di acquisizione di 1000 msec) è la seguente:



Quello che segue è lo *spettro di velocità* (velocità di fase in funzione della frequenza), con relativo picking della curva di dispersione delle onde di superficie, cioè la determinazione dei punti che si ritengono

appartenere, in questo caso, al *modo fondamentale* di propagazione dell'onda superficiale di Rayleigh:



Sono stati perciò individuati 6 strati a diversa velocità Vsh, e precisamente:

- secondo il MODELLO MEDIO:

strato	1	2	3	4	5	6
VSh (m/sec)	273	229	232	325	478	548
Spessore(m)	3.4	2.7	0.8	3.9	8.3	

Si rimanda alla valutazione del progettista circa la definizione della categoria di suolo di fondazione in funzione della tipologia e delle caratteristiche dell'opera prevista.

***Allegati:***

- Risultato elaborazione masw

***Altopascio, dicembre 2020***

**Mappo Geognostica**  
MAPPO GEOGNOSTICA s.r.l.  
Loc. Biagioni, 60 - 55010 Spianate (LU)  
Tel. 0583.20799 - 337-7215712  
C.F.P. IVA 02019570460  
-Reg. Imprese di Lucca/02019570460  
Capitale versato € 12.000,00

**Mappo Geognostica Srl**  
Loc. Biagioni, 60  
55010 Spianate (LU)  
Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069  
P.IVA 02019570460  
www.mappogeognostica.it

**ESECUZIONE DI N. 2 INDAGINI GEOFISICHE MASW ESEGUITE PER  
IL PROGETTO DI SISTEMAZIONE DEL CANALE GORA DI STIAVA  
LUNGO UN TRATTO DI VIALE M. TOBINO, VIAREGGIO**

**MASW N. 1**



==o== SECTION#1

ataset: 8.SGY

sampling (ms): 0.131

minimum offset (m): 8

geophone spacing (m): 2

Number of individuals: 32

Number of generations: 33



Rayleigh-wave dispersion analysis

Analyzing phase velocities

Adopted search space (minimum Vs): 120 130 150 170 200 220

Adopted search space (maximum Vs): 160 170 200 230 250 380

Adopted search space (minimum Poisson): 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.175

Adopted search space (maximum Poisson): 0.497 0.497 0.497 0.497 0.497 0.497

SECTION#2

Rayleigh-wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -3.2707 -0.72238

Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -3.1758 -0.72238

Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -3.0864 -0.72238

Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -3.1346 -0.72238

Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -2.5304 -0.72238

Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -2.2714 -0.71995

Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -2.434 -0.71995

Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -2.6368 -0.71995

Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -2.7514 -0.71995

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):

Vs (m/s): 125 157 189 193 224 302

Thickness (m): 2 1.6 2.1 1.5 5.2

Number of models considered to calculate the average model: 65

#####  
RESULTS winMASW Pro  
#####

Dataset: 8.SGY

Analyzed curve/spectrum: 8pick.cdp

SECTION#3

MEAN MODEL

Vs (m/s): 125 156 188 194 228 299

Standard deviations (m/s): 2 3 3 7 8 9

Thickness (m): 2.0 1.6 2.1 1.6 5.1

Standard deviations (m): 0.1 0.2 0.2 0.3 0.3

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 212 353 541 382 483 586

Density (gr/cm3): 1.68 1.80 1.91 1.82 1.88 1.92

Vp/Vs ratio: 1.70 2.26 2.88 1.97 2.12 1.96

Poisson: 0.23 0.38 0.43 0.33 0.36 0.32

Shear modulus (MPa): 26 44 67 69 98 172

Fundamental mode

Mean model

f(Hz)	VR(m/s)
5.4897	240.9133
6.44976	229.7137
8.90326	196.0549
9.59664	188.4581
10.8767	177.2492
11.6768	171.6228
12.9569	164.0737
14.7703	155.3566
16.2104	149.533
17.9172	143.5948
20.744	135.7476
24.0509	129.2252
25.8111	126.6654

SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 125 157 189 193 224 302  
thickness (m): 1.9639 1.5689 2.0567 1.5033 5.1518

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 206 351 922 357 467 578  
Density (gr/cm3): 1.67 1.80 2.03 1.81 1.87 1.92  
Vp/Vs ratio: 1.65 2.24 4.88 1.85 2.08 1.91  
Poisson: 0.21 0.37 0.48 0.29 0.35 0.31  
Shear modulus (MPa): 26 44 73 67 94 175

dispersion curve (frequency - velocity)

Fundamental mode)

best model

F(Hz)	VR(m/s)
5.4897	242.2805
6.44976	230.2699
8.90326	195.3835
9.59664	187.9965
10.8767	177.3934
11.6768	172.1621
12.9569	165.1493
14.7703	156.8653
16.2104	151.0871
17.9172	144.9336
20.744	136.472
24.0509	129.3588
25.8111	126.5971

SECTION#5

Maximum penetration depth according to the "Steady State Rayleigh Method": 30 m

## MASW N. 2



==o== SECTION#1

dataset: 8.SGY

sampling (ms): 0.131

minimum offset (m): 8

geophone spacing (m): 2

Dispersion curve: 8pick.cdp

Number of individuals: 32

Number of generations: 33

Analyzing phase velocities

Adopted search space (minimum Vs): 240 220 220 240 350 460

Adopted search space (maximum Vs): 310 270 250 380 500 580

Adopted search space (minimum Poisson): 0.175 0.175 0.175 0.175 0.175 0.15

Adopted search space (maximum Poisson): 0.499 0.499 0.499 0.499 0.499 0.45

SECTION#2

Rayleigh-wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -4.7583 -4.1982

Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -4.9549 -4.1982

Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -5.1544 -4.1891

Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -5.1802 -4.1891

Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -5.4011 -4.1859

Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -5.1237 -4.1859

Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -5.0824 -4.1859

Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -5.1024 -4.1704

Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -5.1381 -4.1704

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):

Vs (m/s): 274 226 227 331 498 547

Thickness (m): 3.3 2.9 1 3.3 9.1

Number of models considered to calculate the average model: 1029

#####

RESULTS winMASW Pro

#####

Dataset: 8.SGY

Analyzed curve/spectrum: 8pick.cdp

SECTION#3

MEAN MODEL

Vs (m/s): 273 229 232 325 478 548

Standard deviations (m/s): 9 7 8 25 29 23

Thickness (m): 3.4 2.7 0.8 3.9 8.3

Standard deviations (m): 0.2 0.3 0.1 0.7 0.9

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 525 464 640 915 1022 1022

Density (gr/cm3): 1.90 1.87 1.95 2.03 2.06 2.06

Vp/Vs ratio: 1.92 2.03 2.76 2.82 2.14 1.86

Poisson: 0.31 0.34 0.42 0.43 0.36 0.30

Shear modulus (MPa): 141 98 105 215 470 618



Fundamental mode

Mean model

f(Hz)	VR(m/s)
6.5031	452.4008
9.75665	394.9995
13.7569	279.7615
15.6237	260.5408
17.4905	250.887
20.2107	244.2791
22.0775	242.2116
24.691	240.9659
28.4779	240.8416
33.1715	241.7923

SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 274 226 227 331 498 547  
thickness (m): 3.3242 2.9108 0.99613 3.3421 9.1347

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 488 521 796 1538 1535 1144  
Density (gr/cm3): 1.88 1.90 2.00 2.16 2.16 2.09  
Vp/Vs ratio: 1.78 2.31 3.51 4.65 3.08 2.09  
Poisson: 0.27 0.38 0.46 0.48 0.44 0.35  
Shear modulus (MPa): 141 97 103 236 535 624

dispersion curve (frequency - velocity)

Fundamental mode)

best model

F(Hz)	VR(m/s)
6.5031	466.6564
9.75665	427.9164
13.7569	285.7294
15.6237	260.1418
17.4905	248.5721
20.2107	241.2125
22.0775	239.0515
24.691	237.8496
28.4779	237.8931
33.1715	239.0643

SECTION#5

Maximum penetration depth according to the "Steady State Rayleigh Method": 30 m

winMASW - Surface Waves & Beyond

[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)

# Allegato 2b

Indagini sismica passiva HVSR (tromini)

**ESECUZIONE DI N. 3 INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE PER IL  
PROGETTO DI SISTEMAZIONE DEL CANALE GORA DI STIAVA  
LUNGO UN TRATTO DEL VIALE M. TOBINO NEL COMUNE DI  
VIAREGGIO**

**Committente:  
CONSORZIO 1 TOSCANA NORD**

**DICEMBRE 2020**

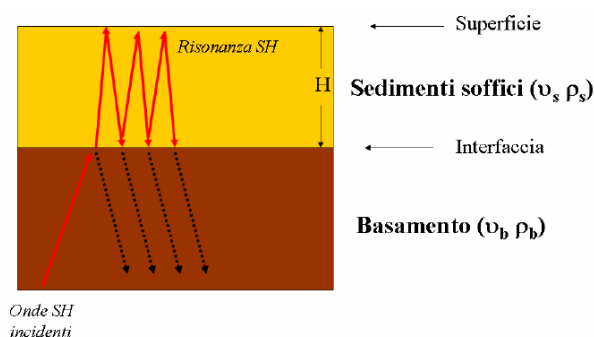
## GENERALITÀ

La sismica passiva studia il *microtremore sismico ambientale* (rumore sismico); questa sfrutta il fatto che il “rumore”, pur non recando l’informazione relativa alla sua sorgente, risulta sensibile alla locale struttura presso la stazione di misura.

La strumentazione per eseguire misure di sismica passiva può operare in spazi ridotti, non necessita di energizzazioni e permette di indagare profondità molto elevate. I tempi di esecuzione sono relativamente bassi.

Il rumore sismico ambientale deriva dalla composizione di molte sorgenti che agiscono in tempi diversi e in zone diverse nel campo del rumore sono rappresentate sia *onde di volume* (fronte d’onda sferico) sia *onde di superficie* (fronte d’onda cilindrico), ma le onde di superficie hanno carattere dominante, perché caratterizzate da minore attenuazione.

Quando fra 2 superfici esiste una variazione significativa dell’impedenza acustica si ha il fenomeno della *risonanza*, che deriva dall’intrappolamento di energia sismica (essenzialmente delle fasi SH) all’interno delle coperture ovvero fra la superficie e un basamento rigido qui inteso come una formazione “caratterizzata da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti” delle onde.





L'equazione della risonanza è la seguente:

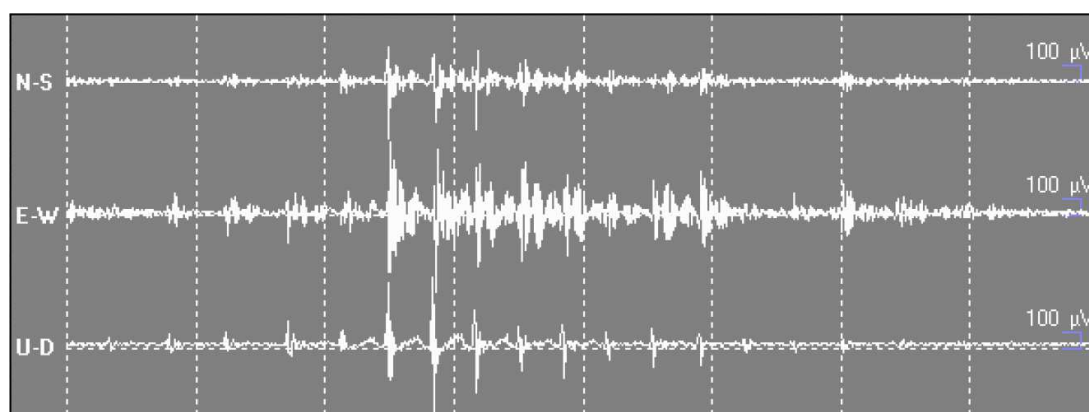
$$f = n \frac{Vs}{4H} \quad n=1,3,5,\dots$$

dove  $n$  indica l'ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore ecc.),  $Vs$  è la velocità delle onde di taglio nello strato oggetto di risonanza e  $H$  è lo spessore di detto strato.

Nella maggior parte dei casi, a causa dell'attenuazione delle coperture, il solo modo visibile è il fondamentale.

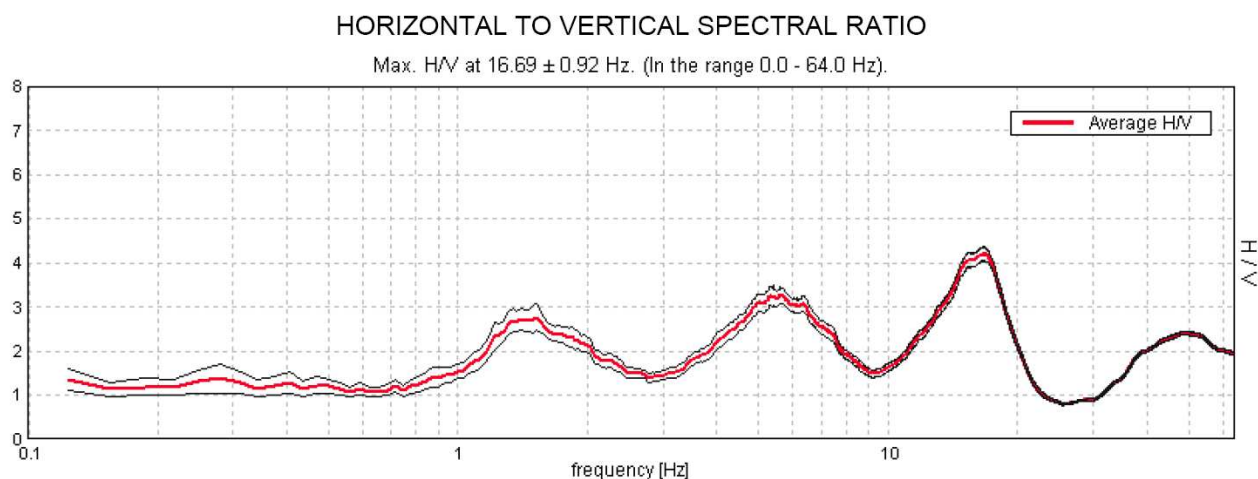
Le registrazioni in campagna vengono effettuate mediante un *tromografo*, che consiste in un'apparecchiatura che riunisce una terna di sensori velocimetrici orientati su tre direzioni ortogonali:

- 2 nella componente orizzontale dello spostamento (tra loro ortogonali) per misure su suoli ordinariamente corrispondenti alle direzioni NS ed EW;
- 1 nella componente verticale (up-down).



I diagrammi relativi a tali registrazioni vengono elaborati attraverso la determinazione dell'intensità del segnale in sottofinestre di determinata durata, e trasformati in *spettri H/V*. nella pratica si utilizza il rapporto H/V perché è un buon *normalizzatore* e un buon estimatore delle frequenze di risonanza dei terreni; i valori assoluti degli spettri orizzontali e verticali variano infatti con il livello assoluto del rumore ambientale, mentre la forma dello spettro e in particolare il rapporto tra le ampiezze orizzontale e verticale si mantiene più stabile, e per il suo carattere stocastico mostra caratteristiche correlabili con la struttura locale del suolo.

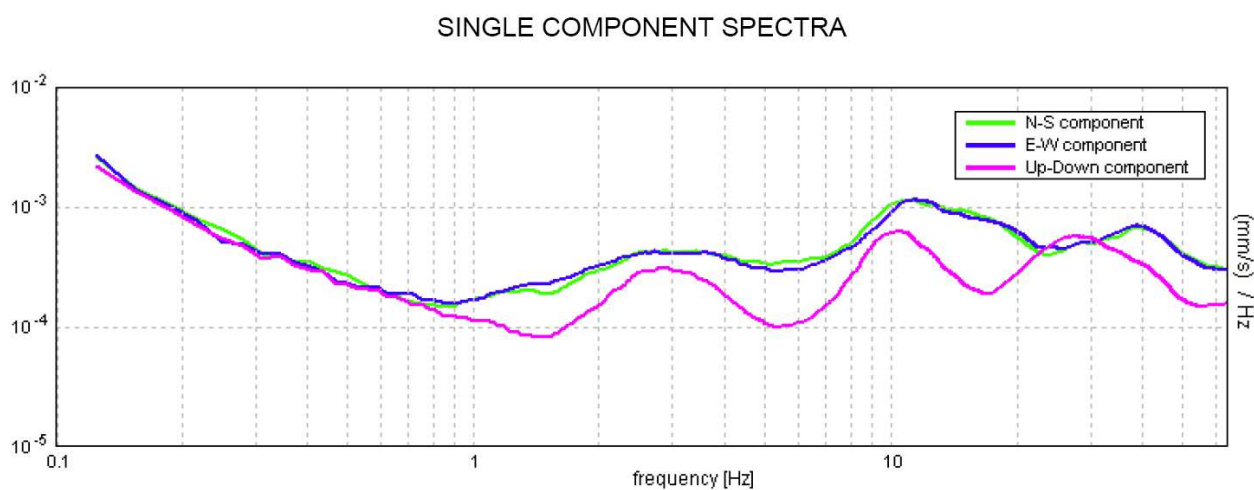
Alle frequenze caratteristiche di vibrazione dei suoli corrisponde infatti un decremento del segnale della componente verticale, che determina un picco nel rapporto spettrale rappresentato dal grafico seguente.



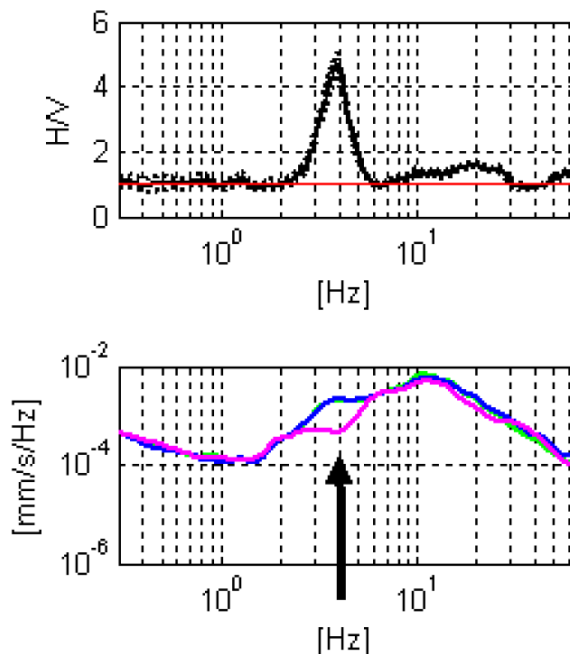
In un mezzo senza contrasti di impedenza (per esempio un ammasso roccioso sano) la curva H/V risulta teoricamente piatta e con valore medio tra 0,7 e 1,0 (in funzione del modulo  $\mu$ ).

La presenza di un picco nella curva H/V può essere data da un fenomeno di *risonanza*, causato da una variazione di velocità delle onde sismiche nel terreno, e quindi di passaggi stratigrafici caratterizzati da un notevole contrasto tra le velocità sismiche stesse.

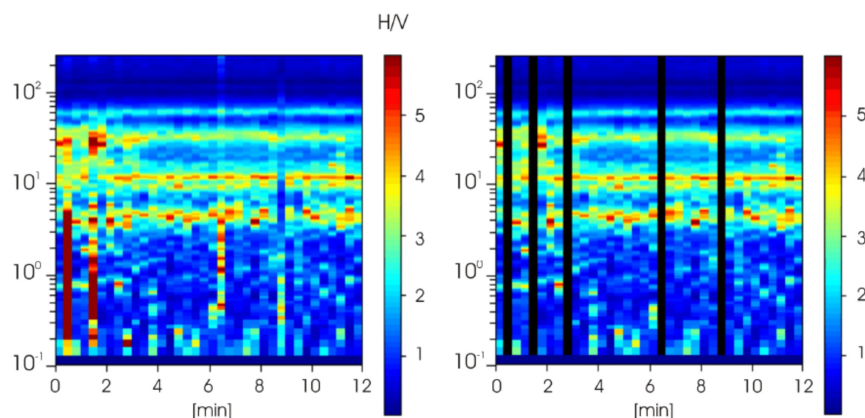
Dato che tali picchi su H/V possono essere dovuti anche ad *artefatti* e *transienti*, H/V deve essere sempre analizzato alla luce degli spettri delle singole componenti.



Un picco di natura stratigrafica (e non artefattuale) presenta un minimo locale della componente spettrale verticale, mentre picchi spettrali (di solito aguzzi) su tutte le 3 componenti del moto sono di origine antropica.



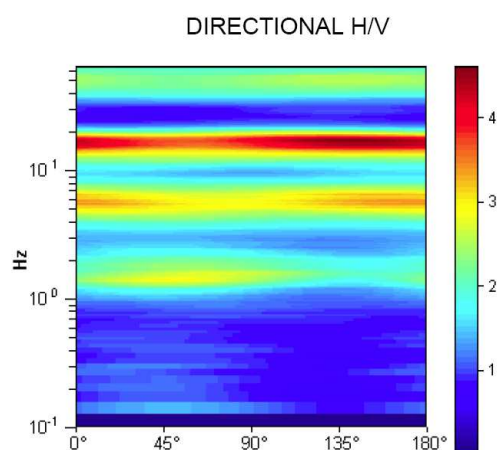
L'elaborazione degli spettri H/V comporta quindi un'analisi ragionata dei vari picchi, uno *smoothing* (nel nostro caso triangolare al 10%) e una valutazione sugli spettri nelle varie "finestre" di tempo in cui è stata suddivisa l'acquisizione, in modo da poter eventualmente rimuovere gli intervalli di misura caratterizzati da disturbi.



Di solito è consigliabile effettuare le correzioni nel dominio delle frequenze, e non

operare nel dominio del tempo, in quanto in tale contesto non è agevole identificare quali siano artefatti e transienti.

Altro aspetto importante da considerare è la *stabilità direzionale* del segnale, che è un elemento a favore della valenza stratigrafica del picco analizzato.



## CAMPAGNA DI PROSPEZIONI IN OGGETTO

Le prospezioni sono state eseguite mediante l'utilizzo di uno strumento TROMINO® della Società *Micromed Geophysics* di Mogliano Veneto (TV), espressamente progettato per misure di microtremore.



TROMINO® è uno strumento efficiente per la misura del rumore sismico; presenta ridotte dimensioni e peso, e bassissimo consumo di energia.



---

L'alta risoluzione dell'elettronica digitale impiegata consente di ottimizzare la misura del microtremore nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.1 e 200 Hz; i sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati criticamente che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore a dinamica non inferiore a 23 bit. Le caratteristiche progettuali consentono una accuratezza relativa maggiore di  $10^{-4}$  sulle componenti spettrali al di sopra di 0.1 Hz.

L'assenza di cavi esterni consente inoltre di lasciare virtualmente imperturbato il campo d'onda presente nell'ambiente.

Lo strumento dispone di tre canali analogici connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione disposti secondo tre direzioni ortogonali. Il moto del terreno viene amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e salvato su una memoria digitale di tipo Flash.

I dati registrati da TROMINO® possono essere scaricati, organizzati, archiviati, visualizzati e analizzati tramite il programma *Grilla* fornito assieme allo strumento. Esso include inoltre procedure per l'analisi spettrale di base e per l'analisi *HVSR* e la classificazione anche secondo le direttive fornite dal progetto di ricerca europeo *SESAME*.

\* \* \* \* \*

Nel caso in oggetto, su incarico della committenza, sono state realizzate n. 3 postazioni di misura per il progetto di sistemazione del canale Gora di S.tiava. Le registrazioni sono state eseguite, con durata dell'acquisizione pari a 20' suddivisa nella successiva analisi in "finestre" temporali di 20", in un'area attualmente ricoperta da vegetazione spontanea posta lungo un tratto del Viale Tobino.

Le allegate schede-report illustrano le varie stazioni di misura, riportandone le note identificative. Per ciascuna postazione è riportata l'analisi effettuata sul picco di H/V ritenuto più significativo, oltre alle osservazioni generali che ne descrivono i risultati.

---

## CRITERI DI ANALISI DELLE MISURE

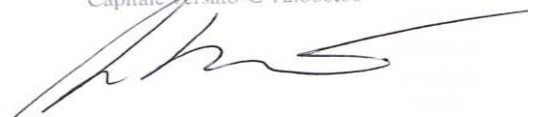
I dati di campagna sono stati in primo luogo trattati con una procedura di analisi o trattamento consistente in:

- ❖ lisciatura triangolare al 10%
- ❖ analisi temporale dell'intero spettro (0-64 Hz) in sottofinestre di 20 s
- ❖ analisi direzionale con step di 5°

Successivamente sono stati analizzati i dati ottenuti, scelto il dataset della stazione di misura, ed effettuata se necessario la pulizia tramite eliminazione delle sottofinestre temporali contenenti sollecitazioni transienti, ed eventuale nuova analisi sulle sole finestre selezionate, fino al raggiungimento di un risultato il più possibile chiaro.

*Spianate, dicembre 2020*

**MAPPO GEOGNOSTICA srl**  
Tel. 0583-20799 - 335-7215712  
C.F. e P. IVA 02019570460  
**Geol. Massimo Benedetti**  
Capitale versato € 12.000,00



## **ALLEGATI**

- ❖ *Report elaborazioni acquisizioni con ubicazione postazioni*

---

## INDAGINE HVSR N. 1

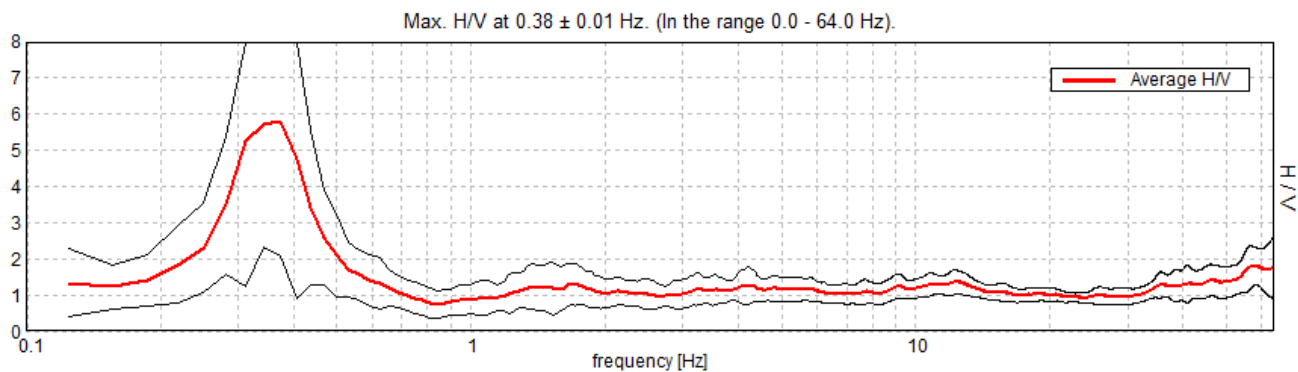


Orientamento > N  
Contesto Globale: PIANURA  
Contesto locale: AREA ANTROPIZZATA  
Condizioni atmosferiche: SERENO

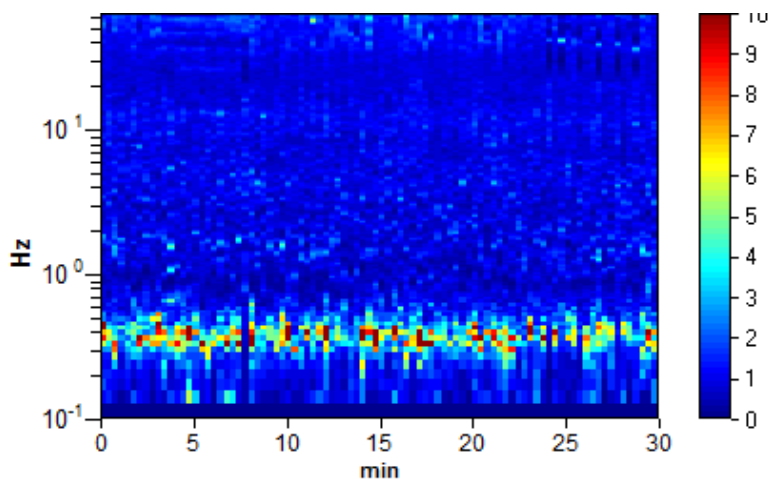
Strumento: TRZ-0158/01-11  
Inizio registrazione: 02/12/20 11:01:22 Fine registrazione: 02/12/20 11:31:21  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 5%

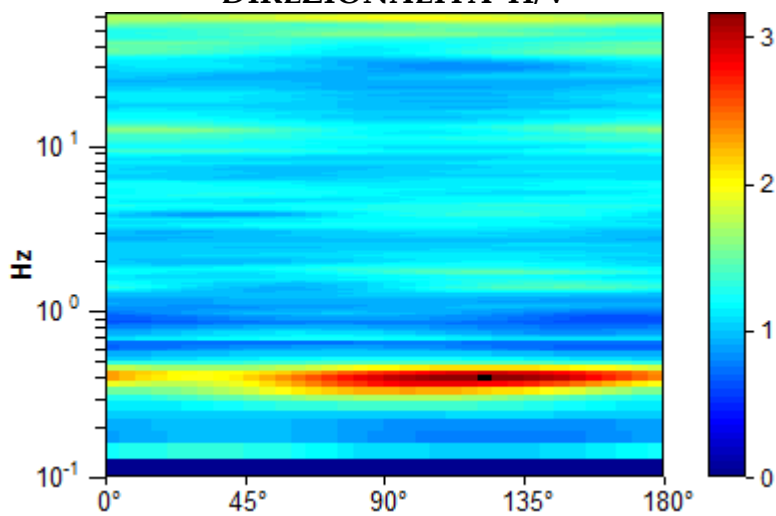
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE SERIE TEMPORALE H/V



## SERIE TEMPORALE H/V

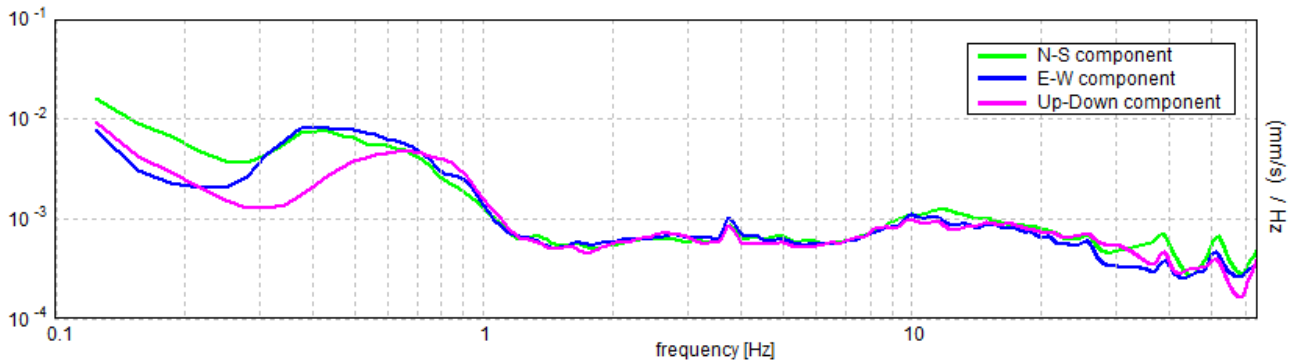


## DIREZIONALITA' H/V





## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Secondo le linee guida SESAME (2005).

Picco H/V a  $0.38 \pm 0.01$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$ :

$n_c(f_0) > 200.675.0 > 200$  [ OK ]

$\sigma_A(f) < 2$  per  $0.5f_0 < f < 2f_0$  se  $f_0 > 0.5$ Hz

$\sigma_A(f) < 3$  per  $0.5f_0 < f < 2f_0$  se  $f_0 < 0.5$ Hz

.....

Esiste  $f^-$  in  $[f_0/4, f_0]$  |  $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$  0.25.0 Hz [ OK ]

Esiste  $f^+$  in  $[f_0, 4f_0]$  |  $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$  0.469 Hz [ OK ]

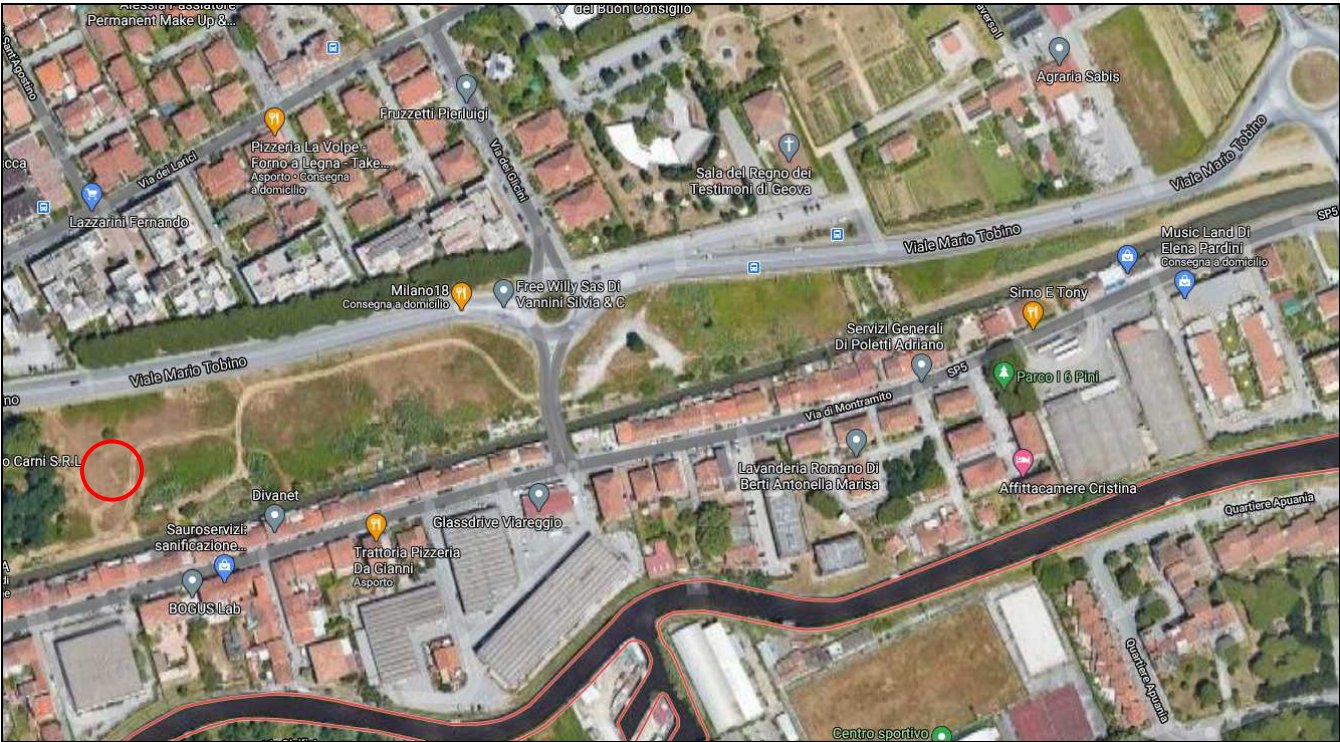
$A_0 > 2$ : 5.80 > 2 [ OK ]

$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$  | 0.00989 | < 0.05 [ OK ]

$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ : 0.00371 < 0.075 [ OK ]

$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ : 1.8669 < 2.5 [ OK ]

# UBICAZIONE INDAGINE HVSR N. 1





## INDAGINE HVSR N. 2

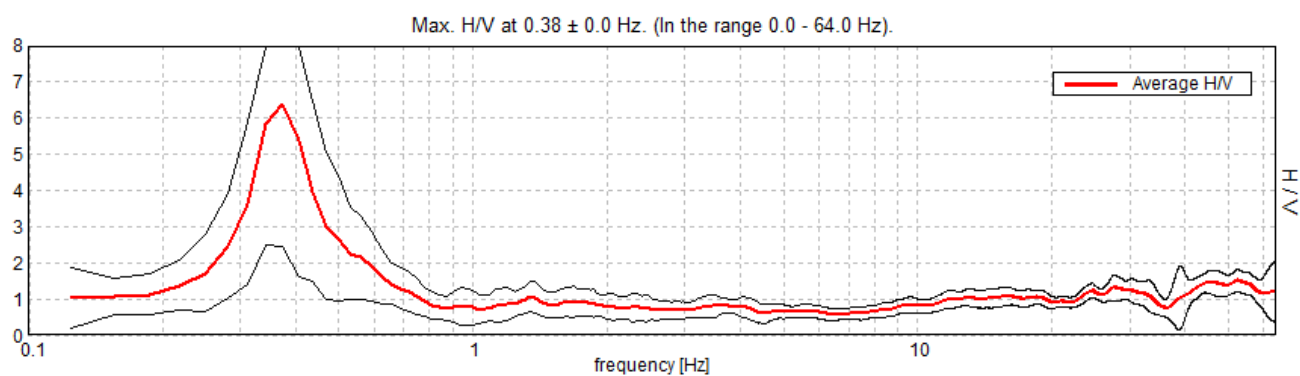


Orientamento > N  
Contesto Globale: PIANURA  
Contesto locale: : AREA ANTROPIZZATA  
Condizioni atmosferiche: SERENO

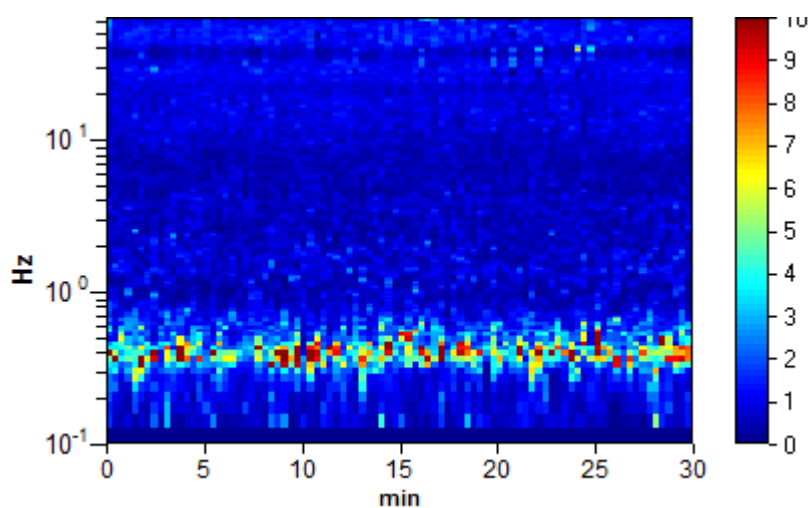
Strumento: TRZ-0158/01-11  
Inizio registrazione: 02/12/20 14:00:02 Fine registrazione: 02/12/20 14:30:01  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 5%

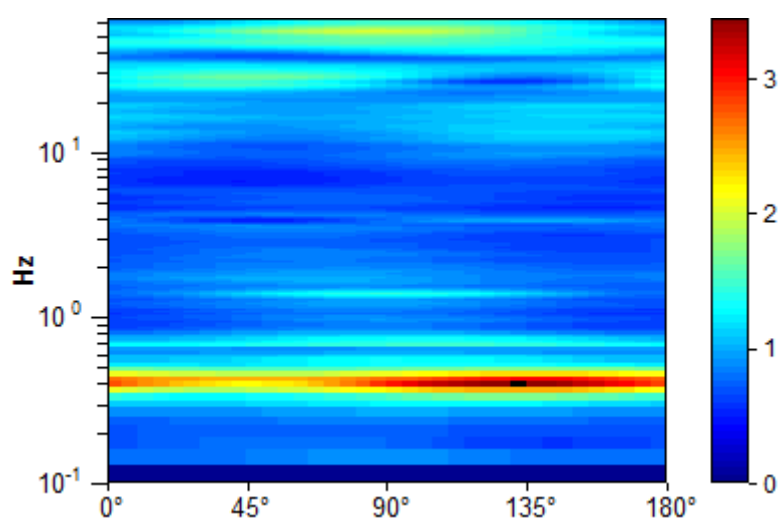
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE SERIE TEMPORALE H/V



### SERIE TEMPORALE H/V

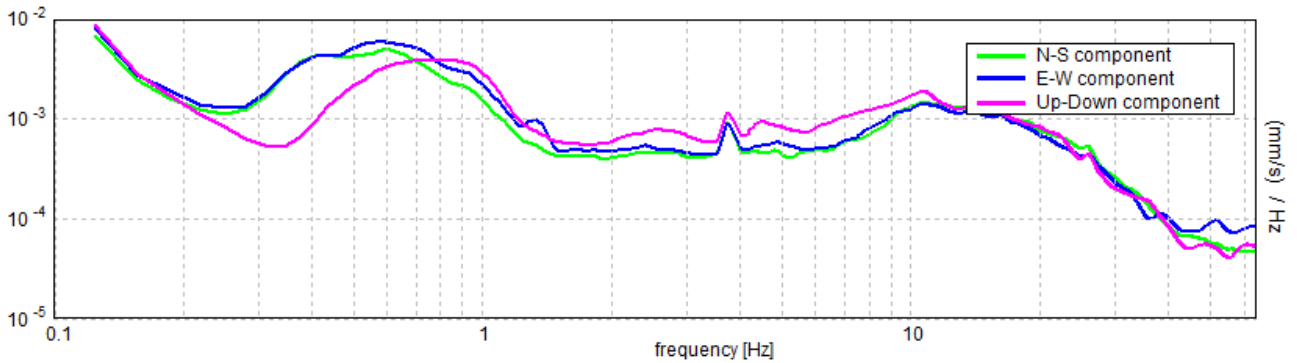


### DIREZIONALITA' H/V





## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Secondo le linee guida SESAME (2005).

Picco H/V a  $0.38 \pm 0.00$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$ :

$n_c(f_0) > 200$ : **675.0 > 200 [ OK ]**

$\sigma_A(f) < 2$  per  $0.5f_0 < f < 2f_0$  se  $f_0 > 0.5$ Hz

$\sigma_A(f) < 3$  per  $0.5f_0 < f < 2f_0$  se  $f_0 < 0.5$ Hz

.....

Esiste  $f^-$  in  $[f_0/4, f_0]$  |  $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$  **0.281 Hz [ OK ]**

Esiste  $f^+$  in  $[f_0, 4f_0]$  |  $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$  **0.469 Hz [ OK ]**

$A_0 > 2$ : **6.38 > 2 [ OK ]**

$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$

$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ : **0.00246 < 0.075 [ OK ]**

$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ : **1.9716 < 2.5 [ OK ]**

## UBICAZIONE INDAGINE HVSR N. 2





## INDAGINE HVSR N. 3



Orientamento > N

Contesto Globale: PIANURA

Contesto locale: AREA ANTROPIZZATA

Condizioni atmosferiche: SERENO

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 02/12/20 14:39:26 Fine registrazione: 02/12/20 15:09:25

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.

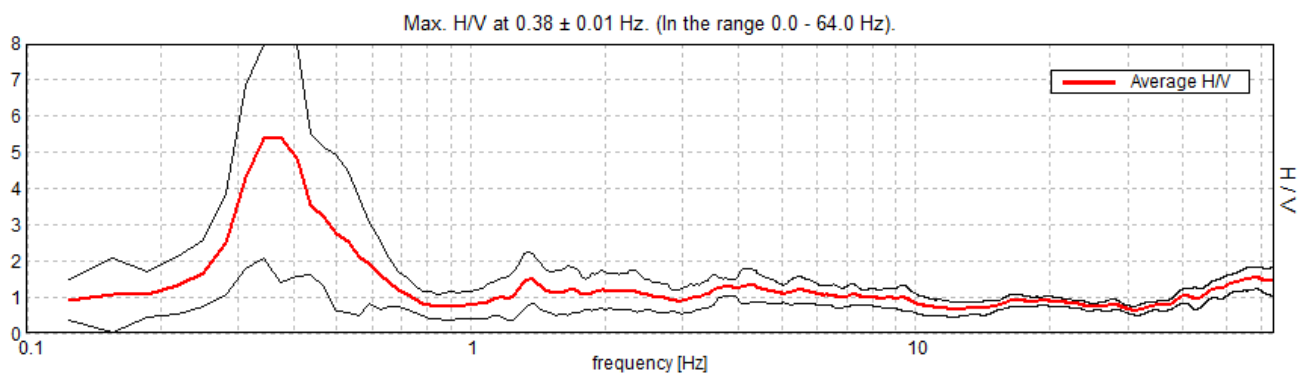
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

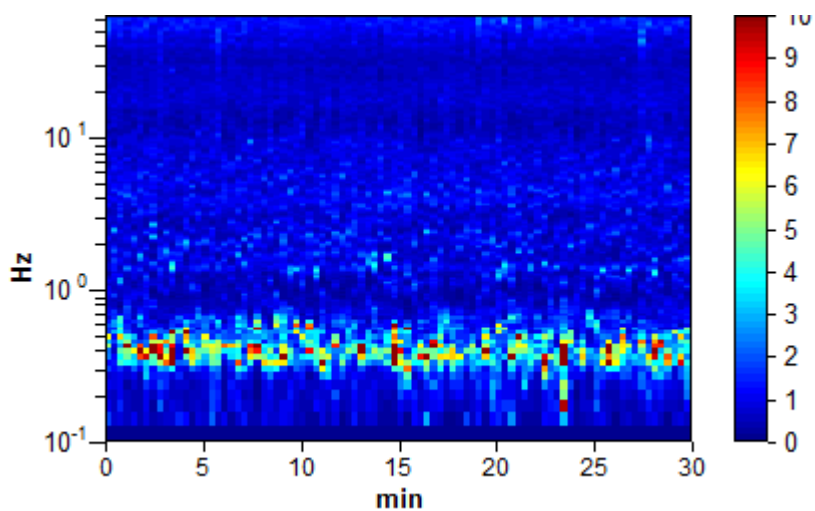
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 5%

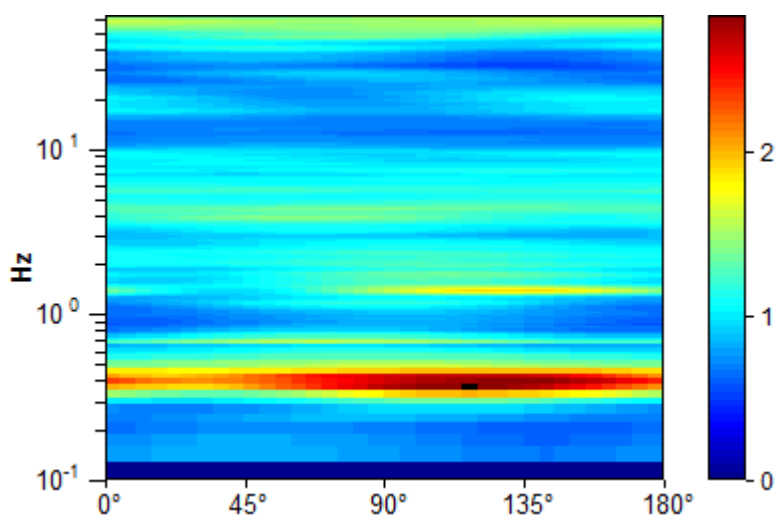
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE SERIE TEMPORALE H/V



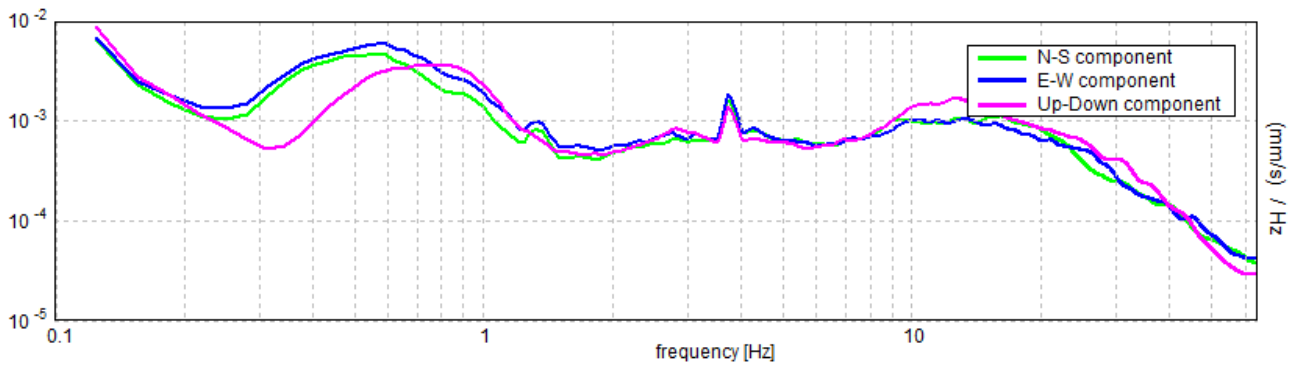
### SERIE TEMPORALE H/V



### DIREZIONALITA' H/V



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Secondo le linee guida SESAME (2005).

Picco H/V a  $0.38 \pm 0.01$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$ :

$n_c(f_0) > 200$ : **675.0 > 200 [ OK ]**

$\sigma_A(f) < 2$  per  $0.5f_0 < f < 2f_0$  se  $f_0 > 0.5$ Hz

$\sigma_A(f) < 3$  per  $0.5f_0 < f < 2f_0$  se  $f_0 < 0.5$ Hz

.....

Esiste  $f_-$  in  $[f_0/4, f_0]$  |  $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$  **0.281 Hz [ OK ]**

Esiste  $f_+$  in  $[f_0, 4f_0]$  |  $A_{-H/V}(f_+) < A_0 / 2$  **0.531 Hz [ OK ]**

$A_0 > 2$ : **5.43 > 2 [ OK ]**

$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$  **0.00693 < 0.05 [ OK ]**

$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ : **0.0026 < 0.075 [ OK ]**

$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ : **2.0268 < 2.5 [ OK ]**



## UBICAZIONE INDAGINE HVSR N. 3

