

LAVORI DI AMPLIAMENTO DEL CIMITERO DI PALAZZOLO

Loc. Palazzolo

Comune di Figline e Incisa Valdarno (FI)

CANTIERE Ampliamento cimitero	SONDAGGIO N. S1	DIREZIONE TECNICA Dott. Geol. Giorgio Cotroneo	IMPRESA ESECUTRICE Geotecnica Palazzi-Giomarelli	RESPONSABILE DELL'IMPRESA Dott. Geol. Enrico Giomarelli
QUOTA P.C. 167,5 m s.l.m.	COORDINATE 1696292.90; 840063.05	TIPO DI SONDA Beretta T45	TIPO DI FLUIDO acqua	STRUMENTAZIONE IN FORD E SUA PROFONDITA' Inclinometro (20,00 m da p.c.)
DATA INIZIO/FINE 30.11.2020/02.12.2020	METODO DI PERFORAZIONE carotaggio continuo, aste e carotiere	CASSETTE CATALOGATRICI N. 4	PROFONDITA' RAGGIUNTA 20,00 m d p.c.	

Cantiere	Data inizio	Data fine	Meteo	Vento	Temperatura	Umidità	Prestazioni	Profondità	Quota di riferimento	STRATIGRAFIA (disegno)	DESCRIZIONE DEI TERRENI ATTRAVERSATI	Profondità S.P.T.	Numero colpi S.P.T.	Sonda	Vene Test	Altre prove	Campioni	Quota campioni (m)	Recupero %	R.O.D. %	Struttura	Resistenza rocce	Inclinazione	Indice di fratturazione	Descrizione delle discontinuità				Attribuzione formazionale							
																									Tipo	Scalzo	Spessore	Permeabilità								
30/11/2020		01/12/2020		111/127 mm		1	1,50	1,50	1,50	1,50	1	Limo argilloso di colore marrone, con granuli millimetrici, rari laterizi e screziature ocre. Da 0,50 m dal p.c. presenza di clasti subangolari prevalentemente calcarei. A 1,30 m dal p.c. trovante calcareo.							0,75 1,05											Argille di Palazzolo						
						2	3,00	3,00	3,00	2	Argilla limosa di colore grigio con rare tracce di sostanza organica.										1,90 2,20															
						3	4,50	4,50	4,50	3	Argilla limosa di colore nocciola con resti di sostanza organica e screziature ocre.																									
						4	6,10	6,10	6,10	4	Sabbia fine di colore marrone.																									
						5	8,00	8,00	8,00	5	Argilla sabbiosa di colore grigio-marrone con rari clasti centimetrici.																									
						6	9,20	9,20	9,20	6	Argilla limosa di colore nocciola con resti di sostanza organica e screziature grigie.																									
						7	9,95	9,95	9,95	7	Argilla sabbiosa di colore marrone.																									
						8	11,30	11,30	11,30	8	Sabbia fine di colore marrone.																									
						9	11,60	11,60	11,60	9	Argilla limosa di colore nocciola con abbondanti resti di sostanza organica.																									
						10	12,20	12,20	12,20	10	Sabbia fine di colore marrone.																									
						11	14,75	14,75	14,75	11	Argilla limosa di colore nocciola con resti di sostanza organica, screziature ocre e concrezioni carbonatiche.																									
						12	15,00	15,00	15,00	12	Argilla limosa di colore grigio-azzurro.																									
						13	15,30	15,30	15,30	13	Argilla sabbiosa di colore marrone.																									
						14	17,80	17,80	17,80	14	Argilla di colore grigio e grigio scuro. Da 17,80 m presenza di screziature violacee.																									
						15	18,60	18,60	18,60	15	Argilla debolmente sabbiosa di colore marrone.																									
						16	19,00	19,00	19,00	16	Sabbia limosa di colore marrone.																									
						17	19,30	19,30	19,30	17	Argilla di colore grigio-azzurro con screziature violacee.																									
						18	20,00	20,00	20,00	18																										
						19				19																										
						20				20																										
21				21																																
22				22																																
23				23																																
24				24																																
25				25																																
26				26																																
27				27																																
28				28																																
29				29																																
30				30																																

NOTE:
C1: campioni indisturbati estratti mediante campionatore di tipo Shelby.



Postazione Sonda Beretta T45 per sondaggio S1 (vista da N).



Postazione Sonda Beretta T45 per sondaggio S1 (vista da E).



Sondaggio S1, cassetta n. 1 (da 0 a 5,00 m dal p.c.).



Sondaggio S1, cassetta n. 2 (da 5,00 a 10,00 m dal p.c.).



Sondaggio S1, cassetta n. 3 (da 10,00 a 15,00 m dal p.c.).



Sondaggio S1, cassetta n. 4 (da 15,00 a 20,00 m dal p.c.).

RAPPORTO MISURA INCLINOMETRICA
CIMITERO PALAZZOLO – FILGINE- INCISA VALDARNO

In data 17/12/2021 è stata eseguita dal sottoscritto dr. Geol. Enrico Giomarelli, le lettura inclinometrica “03” sul tubo denominato “**Cannuce**” (prof. 20 m.l.) ubicato nei pressi del Cimitero in loc. Palazzolo nel Comune di Figline e Incisa Valdarno.

La misura è stata eseguita su 4 guide con sonda Sisgeo, Modello S242SV30, ed acquirente modello “Archimede”.

Durante la misura non sono state riscontrate anomalie.

Si allegano alla presente i diagrammi di elaborazione integrale e locale dal basso eseguiti con software Incl2.

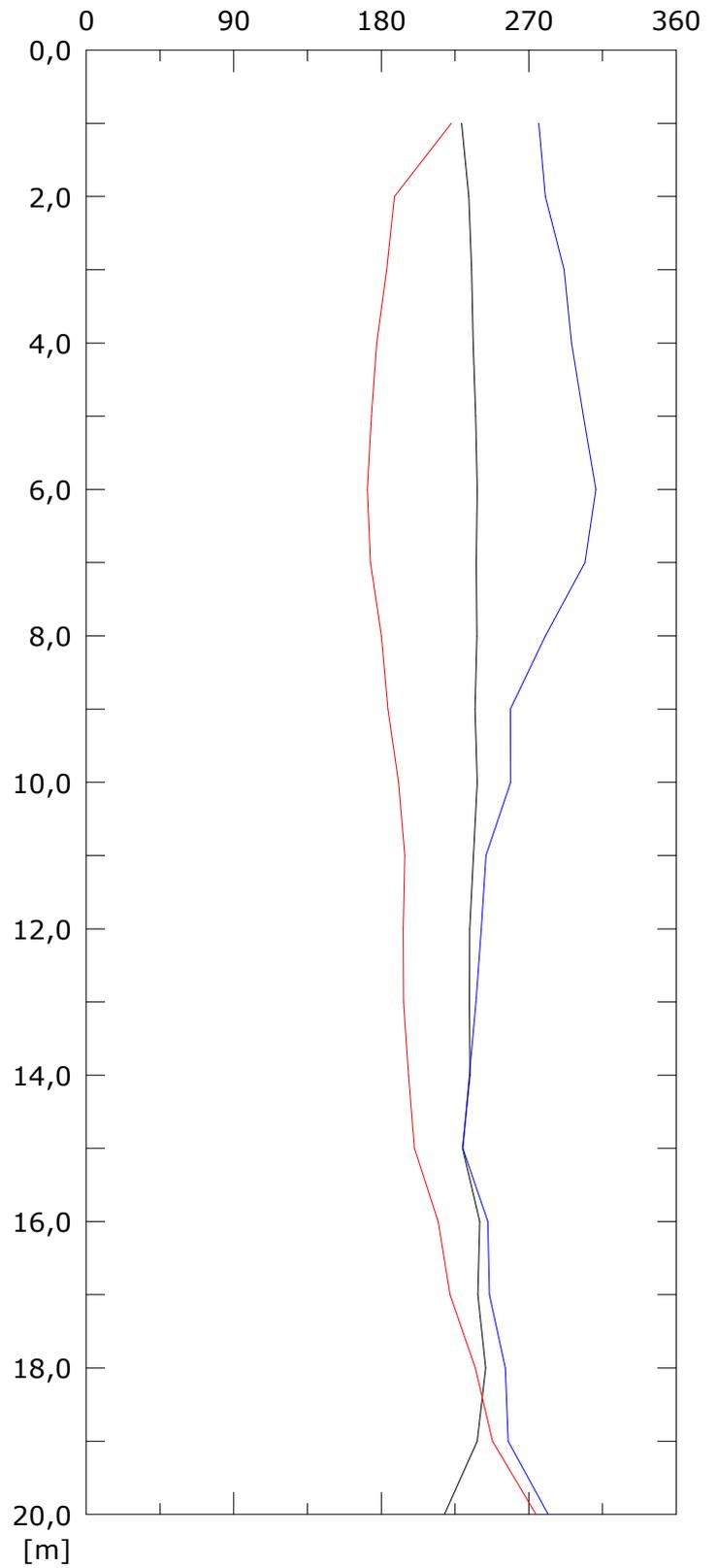
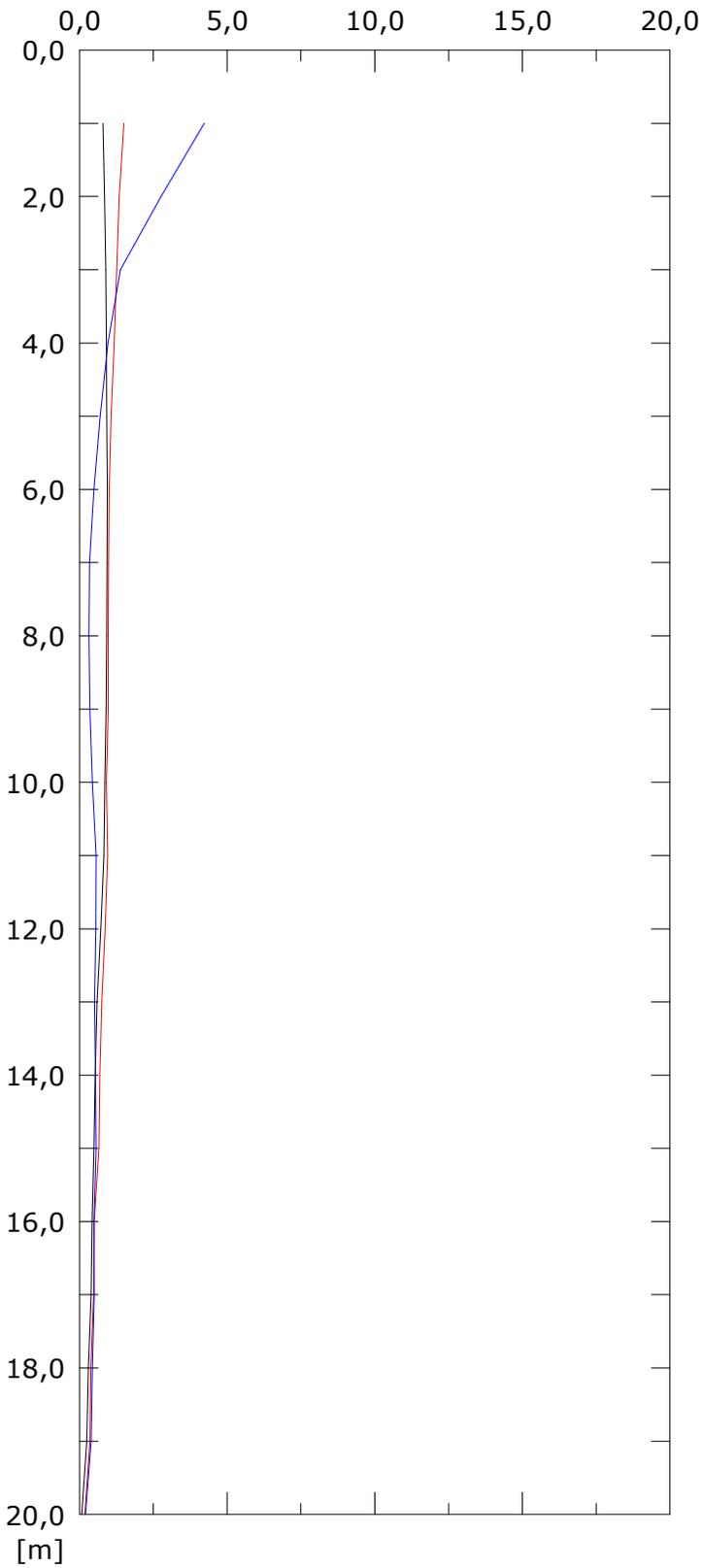
Chianciano Terme 21/12/2021

Geotecnica Palazzi-Giomarelli S.r.l.



Risultante spost. [mm]

Angolo [gradi]



001:19/03/2021

002:12/07/2021

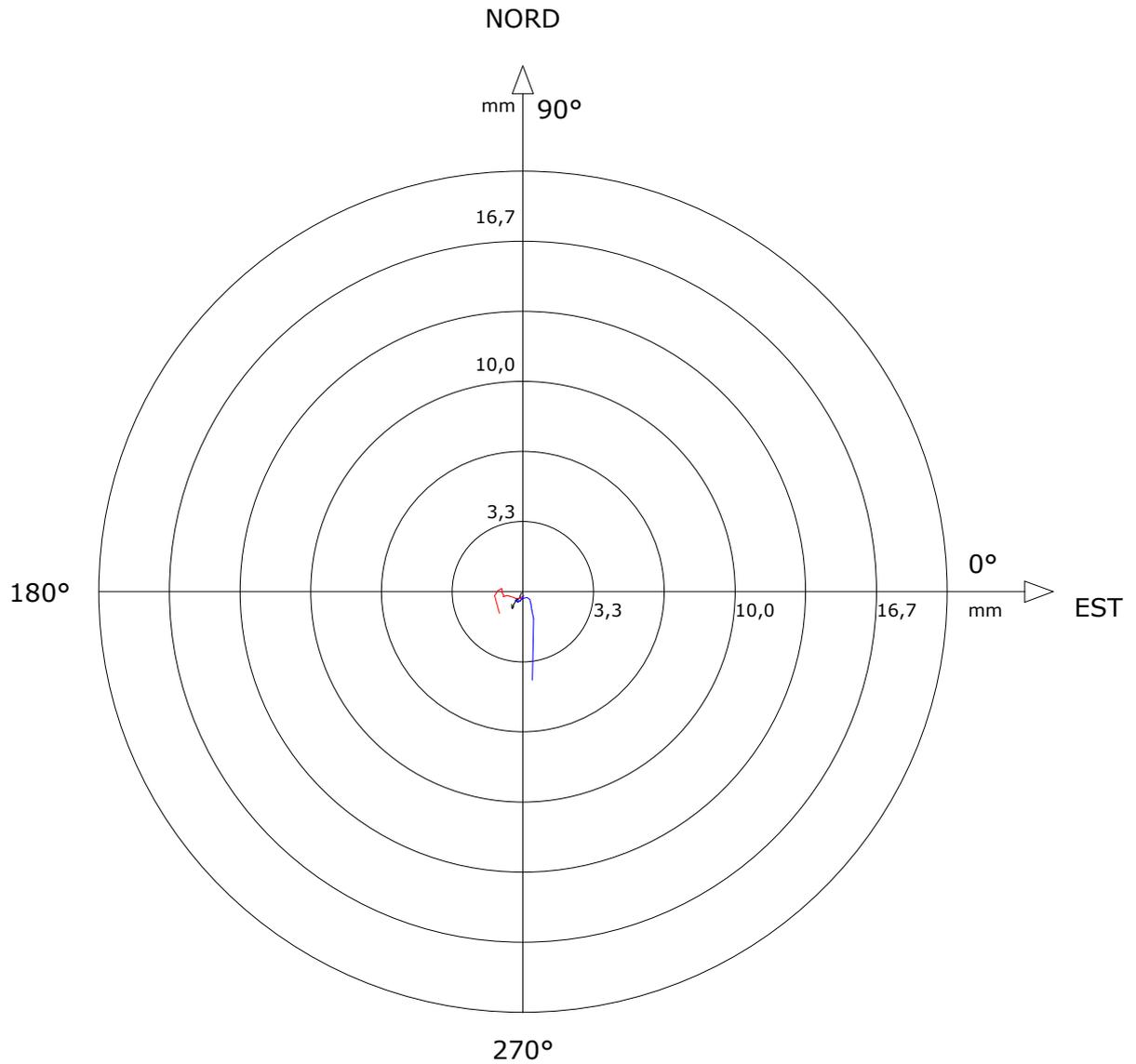
003:17/12/2021

Sito: CIMI_CANNU Tubo: CANNUCCE

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:18/12/2020

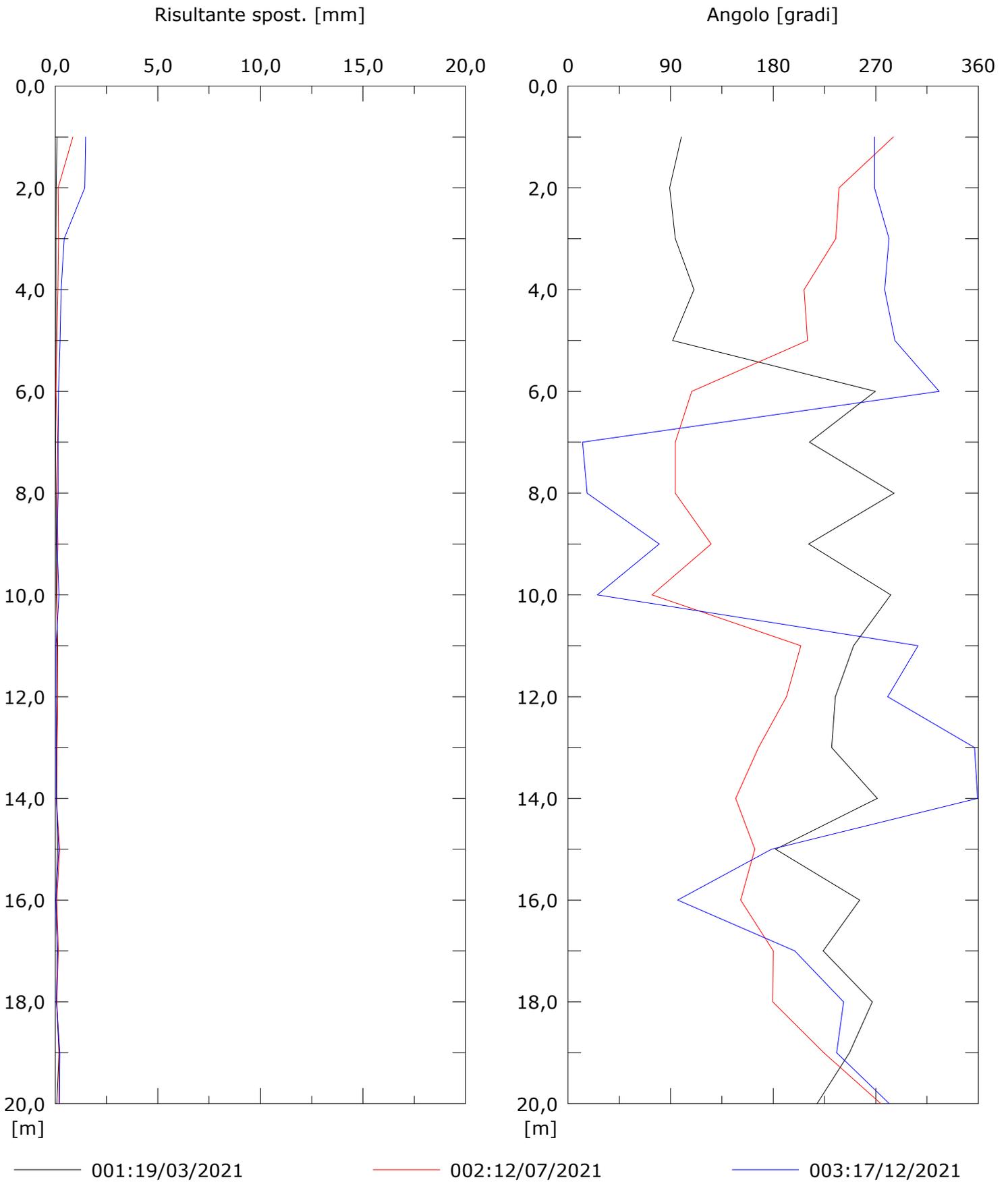
Diagramma polare della deviazione



— 001:19/03/2021

— 002:12/07/2021

— 003:17/12/2021



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI	CPT	1
	Riferimento	230-2020

Committente	Dott. Geologo Giorgio Cotroneo	U.M.:	kg/cm²	Data esec.	22/10/2020
Cantiere	ampliamento cimitero Cannucce	Pagina	1	Falda	Non rilevata
Località	Palazzolo, Figline ed Incisa Valdarno (FI)	Elaborato			

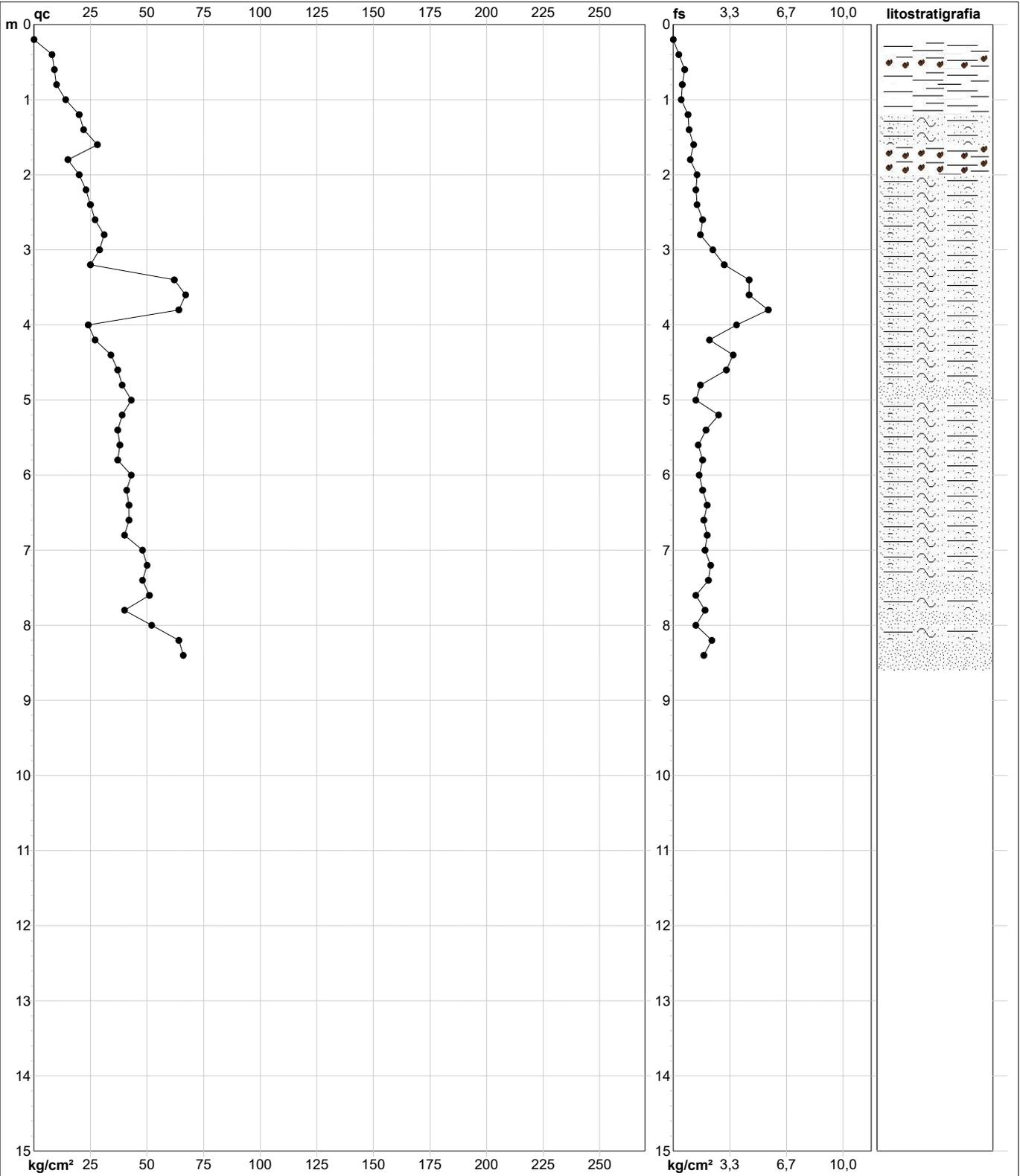
H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm ²	kg/cm ²	-	%	m	-	-	-	kg/cm ²	kg/cm ²	-	%
0,20	0,0	0,0		0,0	0,00										
0,40	8,0	13,0		8,0	0,33	24	4,1								
0,60	9,0	19,0		9,0	0,67	13	7,4								
0,80	10,0	18,0		10,0	0,53	19	5,3								
1,00	14,0	21,0		14,0	0,47	30	3,4								
1,20	20,0	33,0		20,0	0,87	23	4,4								
1,40	22,0	36,0		22,0	0,93	24	4,2								
1,60	28,0	46,0		28,0	1,20	23	4,3								
1,80	15,0	30,0		15,0	1,00	15	6,7								
2,00	20,0	41,0		20,0	1,40	14	7,0								
2,20	23,0	43,0		23,0	1,33	17	5,8								
2,40	25,0	46,0		25,0	1,40	18	5,6								
2,60	27,0	53,0		27,0	1,73	16	6,4								
2,80	31,0	55,0		31,0	1,60	19	5,2								
3,00	29,0	64,0		29,0	2,33	12	8,0								
3,20	25,0	70,0		25,0	3,00	8	12,0								
3,40	62,0	129,0		62,0	4,47	14	7,2								
3,60	67,0	134,0		67,0	4,47	15	6,7								
3,80	64,0	148,0		64,0	5,60	11	8,8								
4,00	24,0	80,0		24,0	3,73	6	15,5								
4,20	27,0	59,0		27,0	2,13	13	7,9								
4,40	34,0	87,0		34,0	3,53	10	10,4								
4,60	37,0	84,0		37,0	3,13	12	8,5								
4,80	39,0	63,0		39,0	1,60	24	4,1								
5,00	43,0	63,0		43,0	1,33	32	3,1								
5,20	39,0	79,0		39,0	2,67	15	6,8								
5,40	37,0	66,0		37,0	1,93	19	5,2								
5,60	38,0	60,0		38,0	1,47	26	3,9								
5,80	37,0	63,0		37,0	1,73	21	4,7								
6,00	43,0	66,0		43,0	1,53	28	3,6								
6,20	41,0	67,0		41,0	1,73	24	4,2								
6,40	42,0	72,0		42,0	2,00	21	4,8								
6,60	42,0	69,0		42,0	1,80	23	4,3								
6,80	40,0	70,0		40,0	2,00	20	5,0								
7,00	48,0	76,0		48,0	1,87	26	3,9								
7,20	50,0	83,0		50,0	2,20	23	4,4								
7,40	48,0	79,0		48,0	2,07	23	4,3								
7,60	51,0	71,0		51,0	1,33	38	2,6								
7,80	40,0	68,0		40,0	1,87	21	4,7								
8,00	52,0	72,0		52,0	1,33	39	2,6								
8,20	64,0	98,0		64,0	2,27	28	3,5								
8,40	66,0	93,0		66,0	1,80	37	2,7								

H = profondità	qc = resistenza punta
L1 = prima lettura (punta)	fs = resistenza laterale
L2 = seconda lettura (punta + laterale)	alla stessa quota di qc
Lt = terza lettura (totale)	F = rapporto Begemann (qc / fs)
CT = 10,00 costante di trasformazione	Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT	1
Riferimento	230-2020

Committente	Dott. Geologo Giorgio Cotroneo	U.M.:	kg/cm²	Data esec.	22/10/2020
Cantiere	ampliamento cimitero Cannucce	Scala:	1:75	Quota inizio:	Piano Campagna
Località	Palazzolo, Figline ed Incisa Valdarno (FI)	Pagina	1	Falda	Non rilevata
		Elaborato			



		Litology:	Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone	preforo	m
		Penetrometro:	TG63-200	Corr.astine:	kg/ml
		Responsabile:		Cod. tip:	
		Assistente:			

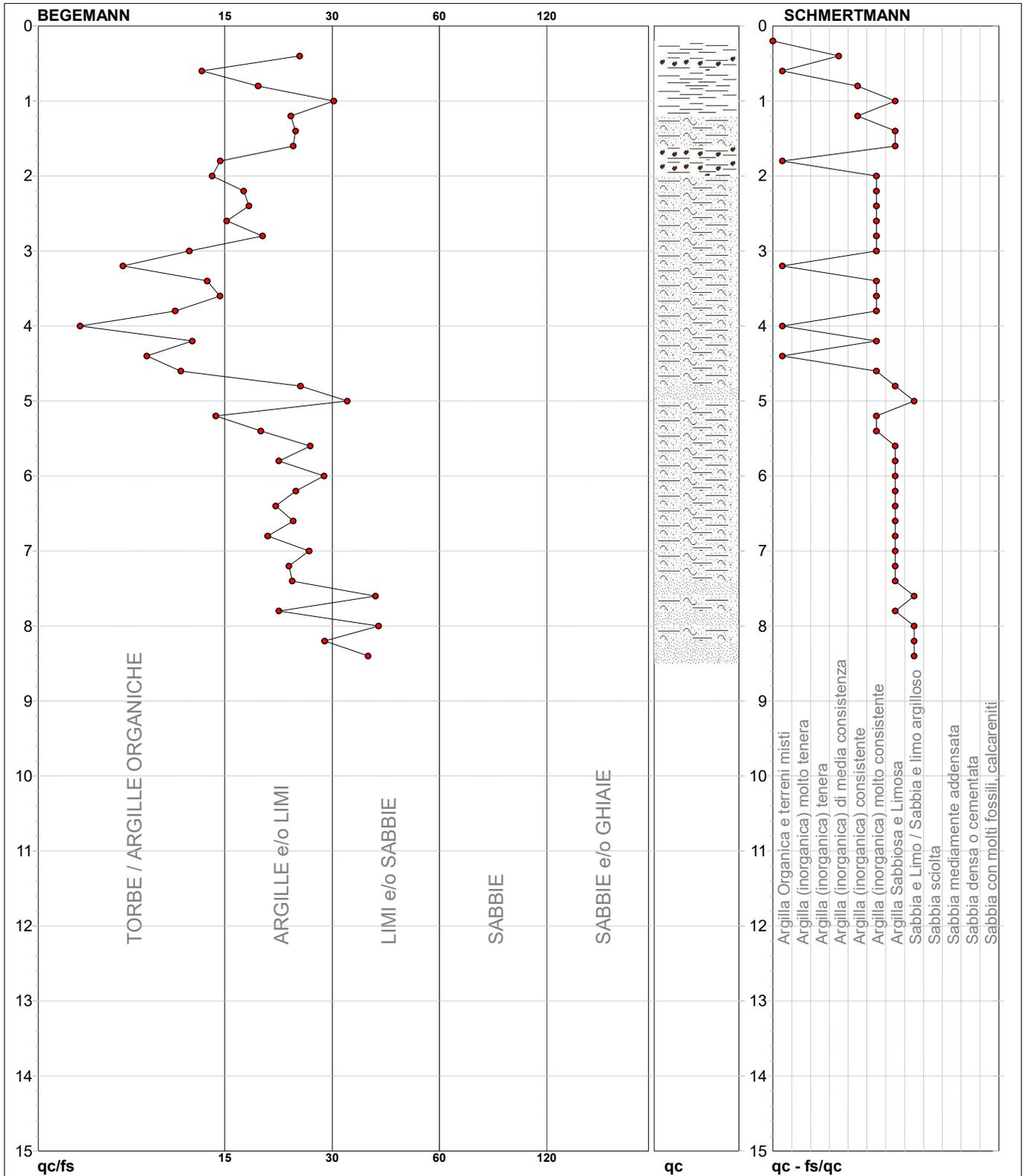
note: FON050

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	1
Riferimento	230-2020

Committente **Dott. Geologo Giorgio Cotroneo**
 Cantiere **ampliamento cimitero Cannucce**
 Località **Palazzolo, Figline ed Incisa Valdarno (FI)**

U.M.: **kg/cm²** Data esec. **22/10/2020**
 Scala: **1:75**
 Pagina **1**
 Elaborato **Falda** Non rilevata

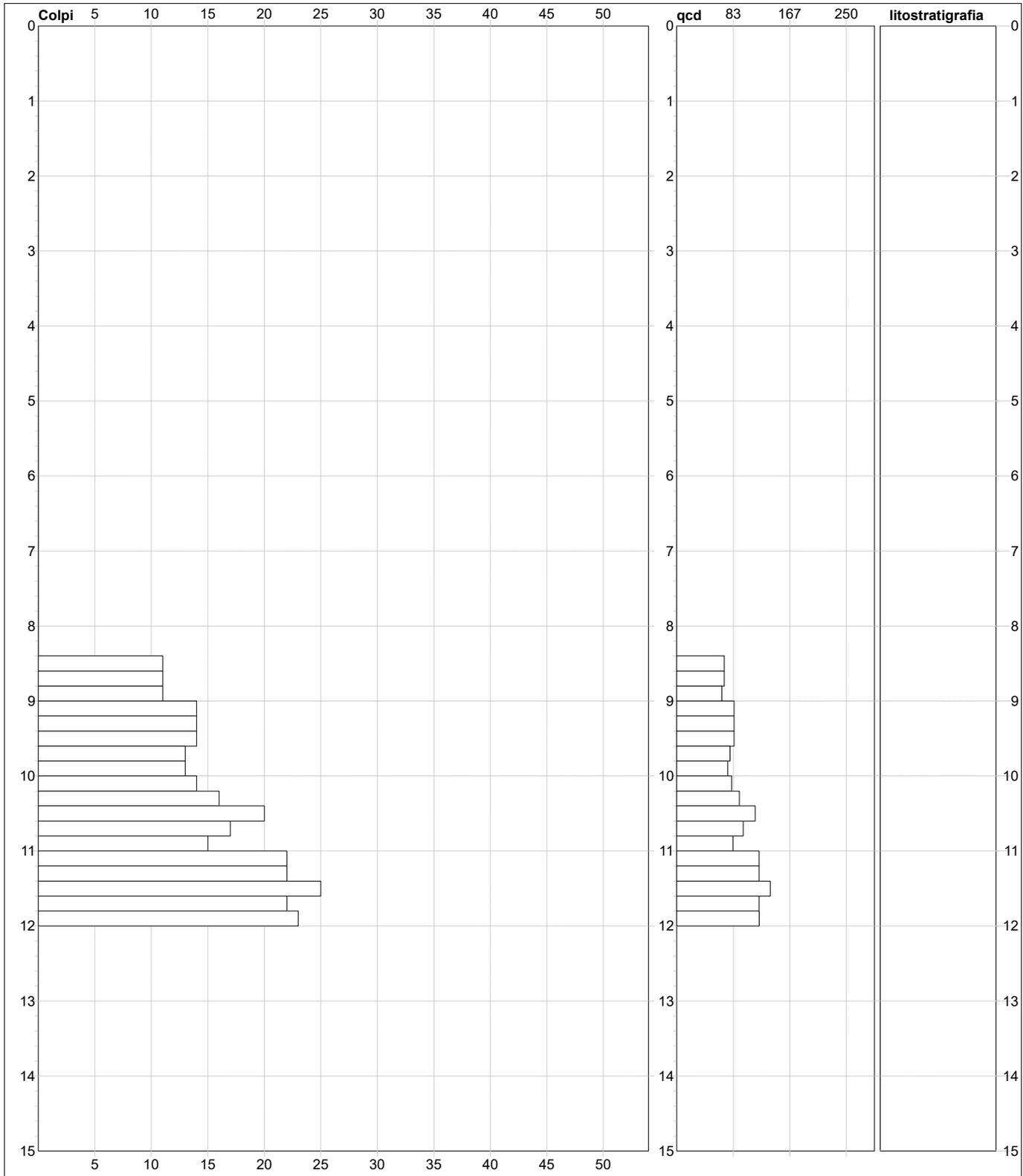


TORBE / ARGILLE ORGANICHE	4 punti, 32,56%	Argilla Organica e terreni misti	5 punti, 11,63%	Argilla Sabbiosa e Limosa	15 punti, 34,88%
ARGILLE e/o LIMI	24 punti, 55,81%	Argilla (inorganica) di media consistenza	1 punti, 2,33%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	5 punti, 11,63%
LIMI e/o SABBIE	4 punti, 9,30%	Argilla (inorganica) consistente	2 punti, 4,65%		
		Argilla (inorganica) molto consistente	13 punti, 30,23%		

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN	1
Riferimento	231-2020

Committente	Dott. Geologo Giorgio Cotroneo	U.M.:	kg/cm²	Data esec.	22/10/2020
Cantiere	ampliamento cimitero Cannucce	Scala:	1:75	Quota inizio: : Piano Campagna	
Località	Palazzolo, Figline ed Incisa Valdarno (FI)	Pagina	1	Falda	Non rilevata
		Elaborato			



Penetrometro: DPSH (S. Heavy) 63,50 kg 0,75 m 0,20 m	sist.litologico: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone Responsabile: Assistente::	preforo m Corr.astine: : kg/ml Cod.ISTAT: 0
----------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------

note: FON050

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA	DIN	1
	Riferimento	231-2020

Committente	Dott. Geologo Giorgio Cotroneo	U.M.:	kg/cm²	Data esec.	22/10/2020
Cantiere	ampliamento cimitero Cannucce	Pagina	1	Falda	Non rilevata
Località	Palazzolo, Figline ed Incisa Valdarno (FI)	Elaborato			

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rp kg/cm ²	qc kg/cm ²	Vs m/sec	G kg/cm ²	Q kg/cm ²	natura	descrizione
1	8,40 : 11,00	Media	14	1,52	21	83,4	55,2	196	137	4,17	Coes./Gran.	
2	11,00 : 12,00	Media	23	1,52	35	124,6	81,9	241	206	6,23	Coes./Gran.	

NATURA COESIVA	NATURA GRANULARE
-----------------------	-------------------------

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm ²	Ysat t/m ³	W %	e -	Mo kg/cm ²	Dr %	ø °	E' kg/cm ²	Ysat t/m ³	Yd t/m ³	Mo kg/cm ²	Liq. -
1	8,40 : 11,00	21	1,31	2,03	23,98	0,65	71	52	33	353	2,00	1,60	301	---
2	11,00 : 12,00	35	2,19	2,10	20,20	0,55	100	70	37	461	2,08	1,73	420	---

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI	CPT	2
	Riferimento	230-2020

Committente	Dott. Geologo Giorgio Cotroneo	U.M.:	kg/cm²	Data esec.	22/10/2020
Cantiere	ampliamento cimitero Cannucce	Pagina	1	Falda	Non rilevata
Località	Palazzolo, Figline ed Incisa Valdarno (FI)	Elaborato			

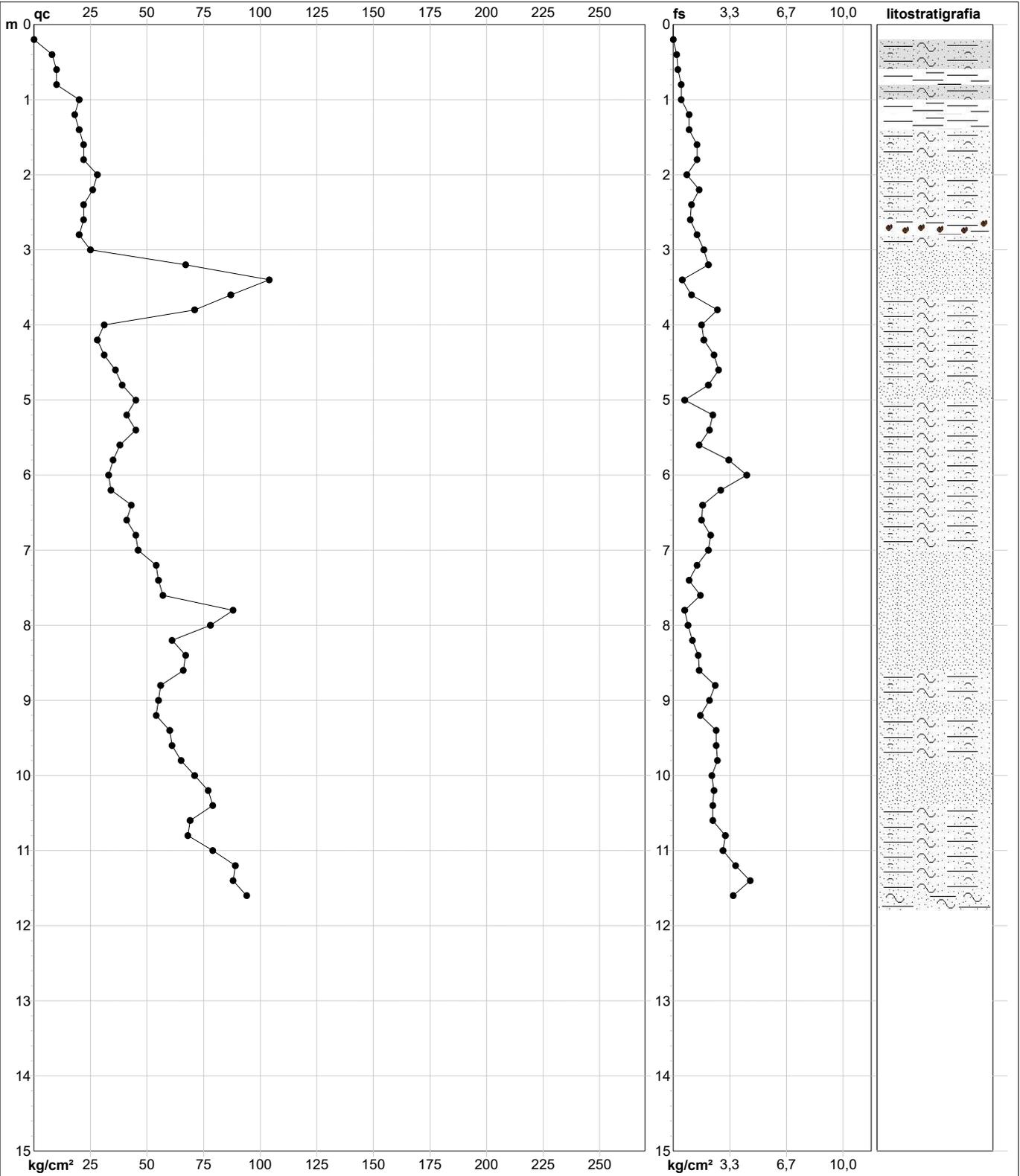
H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm ²	kg/cm ²	-	%	m	-	-	-	kg/cm ²	kg/cm ²	-	%
0,20	0,0	0,0		0,0	0,00										
0,40	8,0	11,0		8,0	0,20	40	2,5								
0,60	10,0	14,0		10,0	0,27	37	2,7								
0,80	10,0	17,0		10,0	0,47	21	4,7								
1,00	20,0	27,0		20,0	0,47	43	2,4								
1,20	18,0	32,0		18,0	0,93	19	5,2								
1,40	20,0	34,0		20,0	0,93	22	4,7								
1,60	22,0	43,0		22,0	1,40	16	6,4								
1,80	22,0	43,0		22,0	1,40	16	6,4								
2,00	28,0	40,0		28,0	0,80	35	2,9								
2,20	26,0	49,0		26,0	1,53	17	5,9								
2,40	22,0	38,0		22,0	1,07	21	4,9								
2,60	22,0	37,0		22,0	1,00	22	4,5								
2,80	20,0	41,0		20,0	1,40	14	7,0								
3,00	25,0	52,0		25,0	1,80	14	7,2								
3,20	67,0	98,0		67,0	2,07	32	3,1								
3,40	104,0	112,0		104,0	0,53	196	0,5								
3,60	87,0	103,0		87,0	1,07	81	1,2								
3,80	71,0	110,0		71,0	2,60	27	3,7								
4,00	31,0	56,0		31,0	1,67	19	5,4								
4,20	28,0	55,0		28,0	1,80	16	6,4								
4,40	31,0	67,0		31,0	2,40	13	7,7								
4,60	36,0	76,0		36,0	2,67	13	7,4								
4,80	39,0	70,0		39,0	2,07	19	5,3								
5,00	45,0	55,0		45,0	0,67	67	1,5								
5,20	41,0	76,0		41,0	2,33	18	5,7								
5,40	45,0	77,0		45,0	2,13	21	4,7								
5,60	38,0	61,0		38,0	1,53	25	4,0								
5,80	35,0	84,0		35,0	3,27	11	9,3								
6,00	33,0	98,0		33,0	4,33	8	13,1								
6,20	34,0	76,0		34,0	2,80	12	8,2								
6,40	43,0	69,0		43,0	1,73	25	4,0								
6,60	41,0	66,0		41,0	1,67	25	4,1								
6,80	45,0	78,0		45,0	2,20	20	4,9								
7,00	46,0	77,0		46,0	2,07	22	4,5								
7,20	54,0	75,0		54,0	1,40	39	2,6								
7,40	55,0	69,0		55,0	0,93	59	1,7								
7,60	57,0	81,0		57,0	1,60	36	2,8								
7,80	88,0	98,0		88,0	0,67	131	0,8								
8,00	78,0	91,0		78,0	0,87	90	1,1								
8,20	61,0	78,0		61,0	1,13	54	1,9								
8,40	67,0	89,0		67,0	1,47	46	2,2								
8,60	66,0	89,0		66,0	1,53	43	2,3								
8,80	56,0	93,0		56,0	2,47	23	4,4								
9,00	55,0	87,0		55,0	2,13	26	3,9								
9,20	54,0	78,0		54,0	1,60	34	3,0								
9,40	60,0	98,0		60,0	2,53	24	4,2								
9,60	61,0	99,0		61,0	2,53	24	4,1								
9,80	65,0	104,0		65,0	2,60	25	4,0								
10,00	71,0	105,0		71,0	2,27	31	3,2								
10,20	77,0	113,0		77,0	2,40	32	3,1								
10,40	79,0	114,0		79,0	2,33	34	2,9								
10,60	69,0	104,0		69,0	2,33	30	3,4								
10,80	68,0	114,0		68,0	3,07	22	4,5								
11,00	79,0	123,0		79,0	2,93	27	3,7								
11,20	89,0	144,0		89,0	3,67	24	4,1								
11,40	88,0	156,0		88,0	4,53	19	5,1								
11,60	94,0	147,0		94,0	3,53	27	3,8								

H = profondità	qc = resistenza punta
L1 = prima lettura (punta)	fs = resistenza laterale
L2 = seconda lettura (punta + laterale)	alla stessa quota di qc
Lt = terza lettura (totale)	F = rapporto Begemann (qc / fs)
CT =10,00 costante di trasformazione	Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT	2
Riferimento	230-2020

Committente	Dott. Geologo Giorgio Cotroneo	U.M.:	kg/cm²	Data esec.	22/10/2020
Cantiere	ampliamento cimitero Cannucce	Scala:	1:75	Quota inizio:	Piano Campagna
Località	Palazzolo, Figline ed Incisa Valdarno (FI)	Pagina	1	Falda	Non rilevata
		Elaborato			



		Litology:	Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone	preforo	m
		Penetrometro:	TG63-200	Corr.astine:	kg/ml
		Responsabile:		Cod. tip:	
		Assistente:			

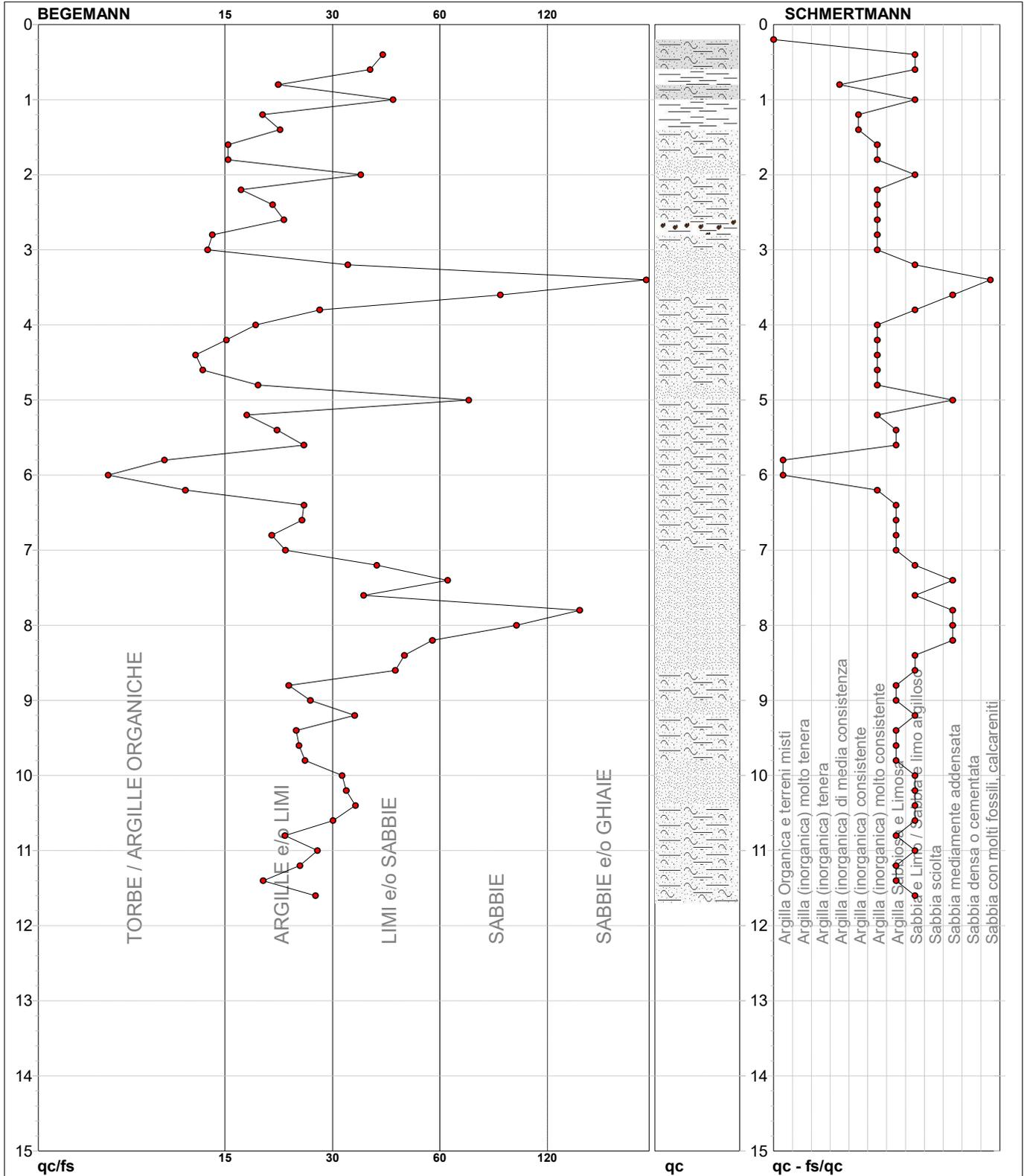
note: FON050

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	2
Riferimento	230-2020

Committente **Dott. Geologo Giorgio Cotroneo**
 Cantiere **ampliamento cimitero Cannucce**
 Località **Palazzolo, Figline ed Incisa Valdarno (FI)**

U.M.: **kg/cm²** Data esec. **22/10/2020**
 Scala: **1:75**
 Pagina **1**
 Elaborato **Falda** Non rilevata



TORBE / ARGILLE ORGANICHE	8 punti, 13,56%	Argilla Organica e terreni misti	2 punti, 3,39%	Argilla Sabbiosa e Limosa	14 punti, 23,73%
ARGILLE e/o LIMI	30 punti, 50,85%	Argilla (inorganica) di media consistenza	1 punti, 1,69%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	17 punti, 28,81%
LIMI e/o SABBIE	15 punti, 25,42%	Argilla (inorganica) consistente	2 punti, 3,39%	Sabbia mediamente addensata	6 punti, 10,17%
SABBIE	3 punti, 5,08%	Argilla (inorganica) molto consistente	14 punti, 23,73%	Sabbia con molti fossili, calcareniti	1 punti, 1,69%
SABBIE e/o GHIAIE	2 punti, 3,39%				

note:

FON050



Postazione CPT1.



Piezometro CPT1.



Postazione CPT2.



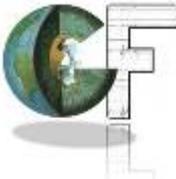
Piezometro CPT2.



Punta CPT.



Punta DPSH.

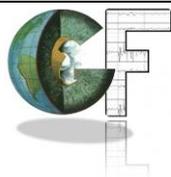
REV.	DESCRIZIONE DELLA REVISIONE	DATA
Committente:		
Dott. Geol. Giorgio Cotroneo		
<i>AMPLIAMENTO CIMITERO LE CANNUCCE</i>		
INDAGINI GEOFISICHE		
LOCALITÀ	COMUNE	PROVINCIA
PALAZZOLO	FIGLINE E INCISA VALARNO	FIRENZE
 <p style="text-align: center;">STUDIO DI GEOLOGIA GIORGI FILIPPO</p> <p style="text-align: center;">Sede: Strada d'Istieto n. 6 – 53100 SIENA – Tel: +39 3357309668 www.studiogf.eu e-mail: filippo.giorgi@studiogf.eu C.F.: GRGFPP70S30I726P – P.IVA: 01327030522</p>	Archivio n. 202067	DATA 09/111/2020
	IL TECNICO Dott. Geol. Filippo Giorgi	

INDICE

1.	PREMESSA.....	2
2.	INDAGINI SVOLTE	3
3.	FINALITA' DELLA PROSPEZIONE	4
4.	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA RILIEVI SISMICI	4
5.	ESECUZIONE DEI RILIEVI	5
6.	METODOLOGIE INTERPRETATIVE DELLE MISURE	8
7.	ANALISI DEI RISULTATI GEOFISICI.....	17

ALLEGATI

1	<i>PROFILO SISMICO 1 onde P e Onde S</i>
2	<i>PROFILO SISMICO 2 onde P e Onde S</i>
3	<i>Prova MASW</i>
4	<i>MISURA HVSR</i>



1. PREMESSA

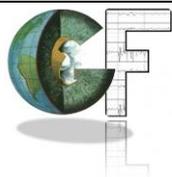
Nell'ambito della caratterizzazione geologica e geotecnica per il progetto di ampliamento del cimitero "Le Cannucce", è stata svolta un'indagine geofisica sviluppata con metodologia sismica con prove di superficie con misura delle onde P e S.

Questa indagine si è prefissa lo scopo di sviluppare una caratterizzazione dinamica dei terreni secondo il parametro velocità sismica.

Le indagini sismiche sono state condotte secondo il piano di lavoro e le specifiche tecniche presentate dalla Committenza e dalla Direzione Lavori nella persona del Dott. Geol. Giorgio Cotroneo; le loro ubicazioni con le relative interpretazioni sono state riportate nella cartografia reperita in rete.

Le finalità di questa indagine in ultima analisi sono state quelle di fornire elementi utili alla parametrizzazione dei sedimenti caratterizzati da un punto di vista fisico in riferimento alla propagazione delle onde sismiche.

Nella presente relazione sono descritte, secondo un criterio essenzialmente geofisico, le modalità d'esecuzione della fase di acquisizione dei dati sperimentali e le metodologie interpretative dei dati geofisici.



2. INDAGINI SVOLTE

La campagna di indagine è stata sviluppata in accordo con la Committenza, secondo il piano di lavoro concordato con la Direzione Lavori. Il rilievo sismico di superficie è stato svolto con interdistanza geofonica pari a 2,5 metri ed è stato acquisito sia con onde P sia con onde S_H . Inoltre su un allineamento sismico si è provveduto ad effettuare un rilievo MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) in riferimento alla zona di nuova edificazione è stata registrata una misura HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). L'ubicazione dettagliata delle indagini svolte è riportata nella tavola allegata. Di seguito si riporta il dettaglio metrico delle indagini eseguite:

RILIEVO SISMICO DI SUPERFICIE A RIFRAZIONE					
profilo sismico a rifrazione n°	interdistanza geofoni (m)	Tipo di acquisizione	Tipo di geofoni	punti di scoppio n°	lunghezza * (m)
Profilo 1	2,5	Onde P e S_H	Verticali - Orizzontali	7	60
Profilo 2	2,5	Onde P e S_H MASW	Verticali - Orizzontali	7	60

* Si ricorda che la misura riportata per il profilo è comprensiva dei punti di scoppio esterni allo stendimento geofonico realizzato.



Fig. 2.1 : Operazioni di acquisizione dati rilievo sismico di superficie

MISURA HVSR		
n°	Data e ora di inizio registrazione	Data e ora di fine registrazione
HVSR	20/10/2020 09:46	20/10/2020 11:01

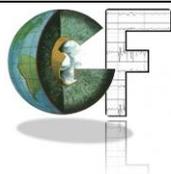




Fig. 2.2 : Operazioni di acquisizione dati rilievo sismico di superficie

3. FINALITA' DELLA PROSPEZIONE

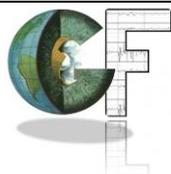
Le finalità della prospezione geofisica possono così essere sinteticamente riassunte:

- fornire elementi di supporto alla definizione del modello geologico dell'area;
- Fornire elementi utili alla definizione della geometria e gli spessori dei terreni ricadenti le aree di studio;
- definire le velocità sismiche (onde P e S) caratteristiche dei terreni di fondazione;
- definire la frequenza di risonanza dei terreni.

4. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA RILIEVI SISMICI

Il rilievo sismico di superficie è stato realizzato con la seguente strumentazione:

- Sismografo GEOMETRICS "GEODE" 24 ch- 24 bit
- Alimentazione: batteria a secco 12 V – 27 Ah
- P.C. portatile HP
- Cavo di collegamento con 24 prese intervallate di 5 m
- N 24 Geofoni Oyo-Geospace verticali con frequenza pari a 4,5 Hz
- N 24 Geofoni Oyo-Geospace orizzontali con frequenza pari a 14,0 Hz
- Piastra metallica per la generazione delle onde S_H
- Mazza battente di 6,5 kg
- Dispositivo di registrazione Dymas SOLGEO
- Dispositivo di acquisizione sismometro triassiale VELOGET SEISMOMETER



5. ESECUZIONE DEI RILIEVI

Profilo sismico tomografico a rifrazione onde "P"

Lo scopo della prova consiste nel determinare il profilo di rigidità del sito attraverso la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di compressione (V_p), secondo fasi d'acquisizione differenti e determinare le geometrie sepolte (spessori e superfici di contatto) dei sismostrati individuati.

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, delle sollecitazioni dinamiche verticali per la generazione delle onde P e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate mediante sensori a componente verticale (geofoni). Di seguito si riporta lo schema dell'array sismico realizzato per la base da 24 geofoni utilizzati per lo svolgimento dell'indagine:

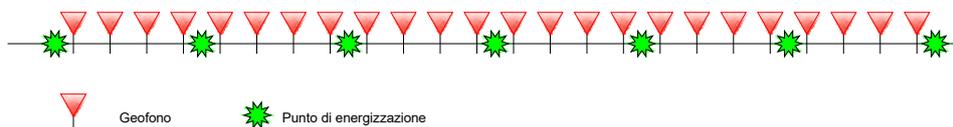


Fig. 5.1: Rappresentazione schematica di array sismico a rifrazione

Come sistema energizzante per la generazione delle onde P è stata adottata una massa battente in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza, con forme d'onda ripetibili, ovvero con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione.

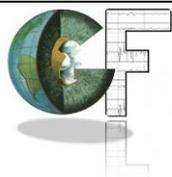
Riassumendo il profilo sismico a rifrazione eseguito presenta le seguenti caratteristiche:

- Numero geofoni: 24;
- Spaziatura dei geofoni: 2,5 metri;
- Frequenza geofoni: 4,5 Hz;
- Spaziatura dei tiri: 10 metri;
- Sorgente: massa battente

Profilo sismico tomografico a rifrazione onde "S_H"

Lo scopo della prova consiste nel determinare il profilo di rigidità del sito attraverso la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s), secondo fasi d'acquisizione differenti e determinare le geometrie sepolte (spessori e superfici di contatto) dei sismostrati individuati.

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, delle sollecitazioni dinamiche orizzontali per la generazione delle onde S_H e nel registrare le vibrazioni



prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate mediante sensori a componente orizzontale (geofoni).

In riferimento all'indagine geofisica di sismica a rifrazione con onde polarizzate S_H sono state adottate le seguenti caratteristiche:

- Numero geofoni: 24;
- Frequenza geofoni: 14 Hz;
- spaziatura dei geofoni: 2,5 metri;
- spaziatura dei punti di scoppio: 10 metri;
- Sorgente: massa battente.

Per quanto riguarda la generazione di onde polarizzate S_H si è proceduto, viste le condizioni di accessibilità del sito, ad energizzare con la duplice battuta orizzontale ed è avvenuta secondo la procedura seguente:

- a) disposizione dei geofoni di tipo orizzontale lungo la linea, con il sensore (geofono) libero di vibrare lungo l'asse orizzontale ortogonale alla linea dello stendimento
- b) posizionamento del sistema energizzante (piastra metallica e mazza) in modo da energizzare nel senso ortogonale all'allineamento geofonico
- c) STACK1: energizzazione in un senso, definita convenzionalmente *battuta destra* (dx), acquisita con polarità del sismografo *positiva*
- d) cambio di polarità sul sismografo, da positiva a negativa
- e) STACK2: energizzazione nel senso opposto al precedente (*battuta sinistra*)
- f) acquisizione del file generato dalla somma dello STACK1+STACK2 - onde S_H polarizzate

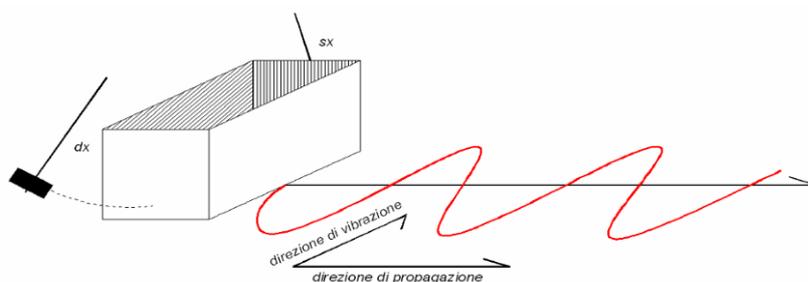
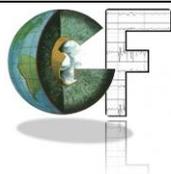


Fig. 5.2: Schema per la generazione di onde polarizzate S_H e schema di avanzamento del fronte d'onda

Onde superficiali MASW

La conoscenza dell'andamento nel primo sottosuolo della velocità di propagazione delle onde di taglio è, come noto, importante negli studi di microzonazione sismica dedicati alla stima di possibili effetti di sito, capaci di amplificare il moto del terreno durante un terremoto.



Negli ultimi anni hanno avuto ampio sviluppo tecniche geofisiche basate sull'analisi della propagazione delle onde superficiali ed, in particolare, delle onde di Rayleigh.

Le proprietà dispersive di tali onde in mezzi stratificati, nonché la stretta relazione esistente tra la loro velocità di propagazione e quella delle onde di taglio, consentono di risalire al profilo di velocità delle onde S. Tuttavia, diversi studi hanno messo in evidenza che la velocità delle onde P e la densità sono parametri di secondo ordine rispetto alle onde S nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh. Quindi, dato che le onde superficiali campionano una porzione di sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda e che la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato, la forma di questa curva è essenzialmente condizionata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con la profondità delle velocità delle onde S.

Pertanto, utilizzando appositi formalismi è possibile stabilire una relazione (analiticamente complessa ma diretta) fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. Tale relazione consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli.

L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curve di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S - profondità".

Il metodo di indagine attivo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è basato sullo studio spettrale delle onde superficiali presenti in un sismogramma realizzato per mezzo di un'energizzazione sismica artificiale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al., 1999).

Lo scopo della prova MASW è quello di ricostruire il profilo di rigidità del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh con un successivo processo d'inversione, attraverso il quale è fornita una stima indiretta della distribuzione delle onde Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio).

La prova consiste nel produrre in un punto sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione dinamica verticale e nel registrare tramite uno stendimento lineare di sensori le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

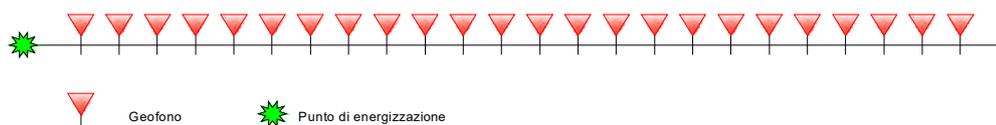
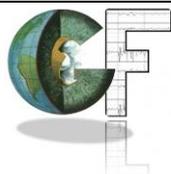


Figura 5.3: rappresentazione schematica di array per acquisizione di MASW



In riferimento all'indagine geofisica la prova MASW è stata acquisita con le seguenti caratteristiche:

- Numero geofoni: 24;
- Spaziatura dei geofoni: 2,5 metri;
- Frequenza geofoni: 4.5 Hz;
- Tempo di registrazione degli eventi: 2 s;
- Tempo di campionamento: 0.25×10^{-3} s;
- offset minimo 1,25 - 2,5 - 5 metri

Misure HVSR - Horizontal to Vertical Spectral Ratios

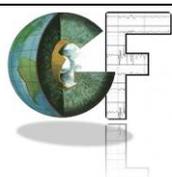
Il tipo di misura rientra nel campo delle indagini a sismica passiva, per la registrazione del rumore sismico ambientale. La prova consiste nel posizionare la strumentazione composta da una terna sismica secondo le componenti cartesiane allineate con i riferimenti geografici, e in modo da eliminare eventuali disturbi prodotti da sorgenti esterne locali. (vento, radici, vegetazione,..). Successivamente viene realizzata la registrazione per un tempo relativamente lungo in modo da campionare eventi significativi alla ricostruzione di uno spettro di frequenze indicativo del sito di studio. Nello specifico è stata realizzata 1 registrazione per una lunghezza di 75 minuti.

6. METODOLOGIE INTERPRETATIVE DELLE MISURE

Le indagini sismiche in sito hanno permesso di determinare direttamente la velocità di propagazione, all'interno del mezzo in esame, delle onde di compressione (onde "P") e delle onde di taglio (onde "S") ed indirettamente, utilizzando i valori delle velocità acquisite, alcune proprietà meccaniche delle litologie investigate.

Nell'ambito degli studi geognostici delle litologie si è provveduto alla parametrizzazione dinamica dei terreni. Nello specifico sono state acquisite misure della velocità delle onde sismiche che hanno permesso di determinare la rigidezza iniziale (G_0 o G_{max}), ossia la rigidezza a livelli di deformazione molto bassi. Nell'indagine geofisica svolta tale parametrizzazione è stata ottenuta attraverso misure delle onde di compressione (P) e di taglio (S), mediante rilievi sismici di superficie.

Per quanto riguarda le principali proprietà dinamiche dei terreni, è opportuno ricordare che per sottosuoli naturali, a causa della rapidità delle azioni e del fatto che questi si trovano per gran parte sotto falda, ci si trova in condizioni di drenaggio impedito e pertanto il fenomeno sismico produce deformazioni volumetriche trascurabili, rispetto a quelle distorsionali. Per questo motivo appare giustificato ricondurre la modellazione meccanica di un fenomeno sismico all'analisi degli effetti prodotti da un insieme d'onde "S", che si propagano dal substrato alla superficie, con un campo di spostamenti del terreno in pratica orizzontale. Tale assunzione è oltretutto giustificata dal



fatto che, da un punto di vista ingegneristico, il moto più verosimile ai fini della verifica sismica dei manufatti è quello orizzontale. In tal senso, a livelli di deformazione bassi, è assunta l'ipotesi che il terreno in esame presenti un comportamento tensione-deformazione di tipo elastico lineare (deformazioni inferiori a 10-3 %).

Le velocità delle onde P misurate per terreni perfettamente saturi ($S_r = 100\%$) dipendono talora in maniera decisiva dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale e perciò tali valori possono non essere rappresentativi delle proprietà meccaniche del materiale in questione secondo le relazioni matematiche espresse in precedenza; invece le velocità delle onde "S" e delle onde di superficie, sono caratteristiche delle vibrazioni trasmesse prevalentemente dal solo scheletro solido e perciò rappresentative delle proprietà meccaniche del terreno. Ne consegue che per alcuni terreni sotto falda, le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidezza del terreno sono quelle di taglio e, subordinatamente, le onde di superficie. Le onde elastiche si propagano nelle rocce con vari schemi e con diverse velocità. Secondo queste modalità le onde sismiche pertanto sono distinte in longitudinali, trasversali, superficiali (Stoneley, Love, Rayleigh, etc...). Nelle varie applicazioni della sismica s'impiegano impulsi artificiali d'energizzazione che producono onde elastiche di diversi tipi; tra queste sono prese in esame solo le onde longitudinali o "prime" (P) e quelle trasversali o "seconde" (S).

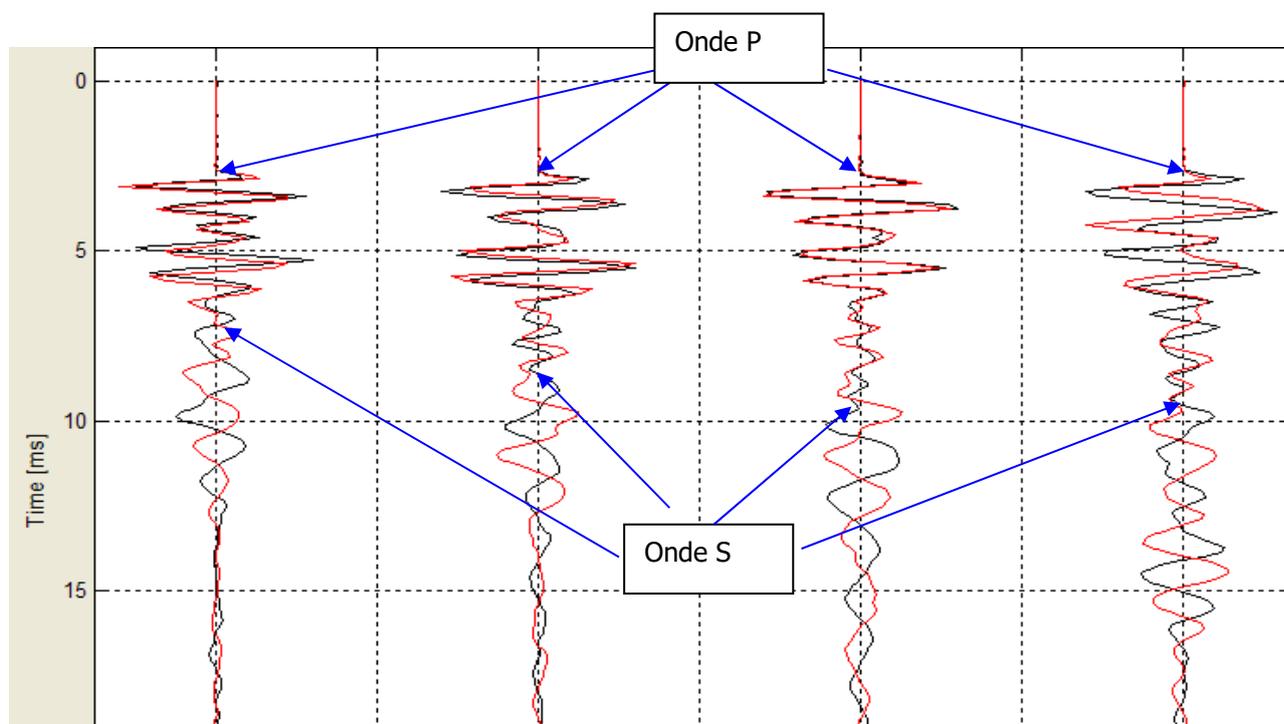
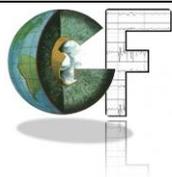


Fig. 6.1 : Sismogramma - Identificazione dei tempi onde P e onde S



Occorre ricordare che la componente dell'onda sismica compressionale (P) risulta più veloce dell'altra componente (S) e pertanto l'arrivo di queste onde di taglio deve essere ricercato all'interno del sismogramma registrato.

Le due onde, com'è noto, si differenziano per la diversa modalità di deformazione dei terreni durante la loro diffusione: la propagazione delle onde longitudinali avviene mediante compressioni e decompressioni delle rocce, mentre quella delle onde trasversali si basa sulla trasmissione di sforzi di taglio. Nella prova sismica effettuata, i tempi di primo arrivo delle onde P ed S (Figura 6.1) sono stati letti e tabellati attraverso specifici programmi di picking che permettono di rimontare insieme le tracce relative alle varie profondità, per ciascun trasduttore, con precisione di lettura fino a 0,001 millisecondi

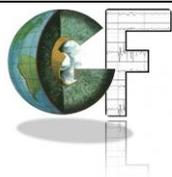
I tempi di arrivo delle onde P e delle onde S misurate permettono in funzione della distanza, attraverso specifiche elaborazioni, di calcolare le velocità sismiche delle varie litologie incontrate alle diverse profondità.

Profilo sismico tomografico a rifrazione

La fase d'interpretazione dei dati acquisiti in campagna è stata preceduta dalla lettura dei tempi sismici registrati. Dai sismogrammi registrati con il rilievo sismico eseguito con le caratteristiche sopra citate si ricavano i tempi di "primo arrivo" dell'onda sismica. Tali tempi sono riportati nel grafico dromocrone presenti per ogni profilo sulle tavole allegate. I tempi d'arrivo delle onde "P" e successivamente delle onde "S_H" sono stati letti attraverso uno specifico programma di picking ed in seguito tabellati. Dopo, per mezzo dello specifico programma SeisOpt@Prov2.5, è stata eseguita un'interpretazione con metodologia tomografica dei profili sismici.

I tempi sismici delle onde P e delle onde S_H sono stati elaborati con metodologia tomografica che prevede la suddivisione dello spazio bidimensionale in celle quadrate o rettangolari secondo una maglia prefissata, con l'attribuzione ad ognuna di un determinato valore di velocità sismica. Nell'elaborazione il programma di calcolo determina il tempo di transito ipotizzando dei valori di velocità sismica per ogni cella, tale processo cessa quando si raggiunge la minore discordanza tra i tempi calcolati e i tempi sismici sperimentali misurati sui sismogrammi. Il modello sismico derivato da tale processo, detto inverso, permette di ottenere una sezione in due dimensioni che ci consente di poter effettuare una interpretazione per definire un assetto stratigrafico in base alla velocità sismica e al gradiente di velocità.

Una dettagliata descrizione dei fondamenti teorici della tomografia sismica è stata pubblicata da Nolet (1987). L'interpretazione dei dati, che viene sviluppata effettuando un'analisi di modellazione del sottosuolo su base anisotropia attraverso la suddivisione dello spazio in celle regolari, fornisce,



previa elaborazione con tecniche di ricostruzione tomografica (ART, SIRT: Gilbert, 1972; Gordon, 1974; Miranda, 1989), il campo delle velocità sismiche del sottosuolo. Nel caso specifico per le sezioni tomografiche la scelta della dimensione delle celle (2,0 x 2,0 metri) è stata effettuata sulla base dei modelli interpretativi migliori. Per la determinazione di questi ultimi è stato utilizzato il metodo di inversione controllato "Monte Carlo" implementato su una modellizzazione avanzata, ove i modelli sono accettati o rifiutati basandosi su un criterio statistico. L'accuratezza del modello inverso è definita dallo scarto quadratico medio calcolato tra i tempi di primo arrivo sperimentali ed i calcolati. Per ogni cella investigata è stato calcolato un valore di velocità sismica e per renderne più immediata la comprensione, alle stesse celle è stato attribuito un colore secondo una scala con tonalità prefissate: da 150 a 1.500 m/s per le onde P e da 0 a 500 m/s per le onde S_H.

MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

La metodologia "MASW" consente di eseguire un'analisi dei dati sismici in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della velocità delle onde S. Il profilo verticale delle velocità sismiche delle onde S (Vs) è ottenuto tramite l'inversione (considerando tanto il modo fondamentale che quelli superiori) delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

Ottenuto il sismogramma si determina lo spettro di velocità sul quale si identifica la curva di dispersione.

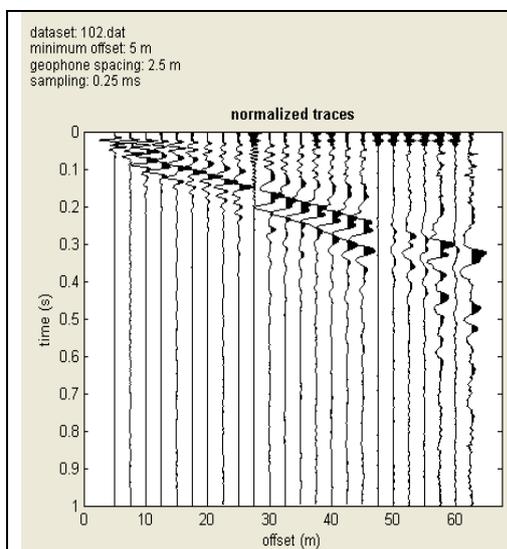


Figura 6.2: sismogramma

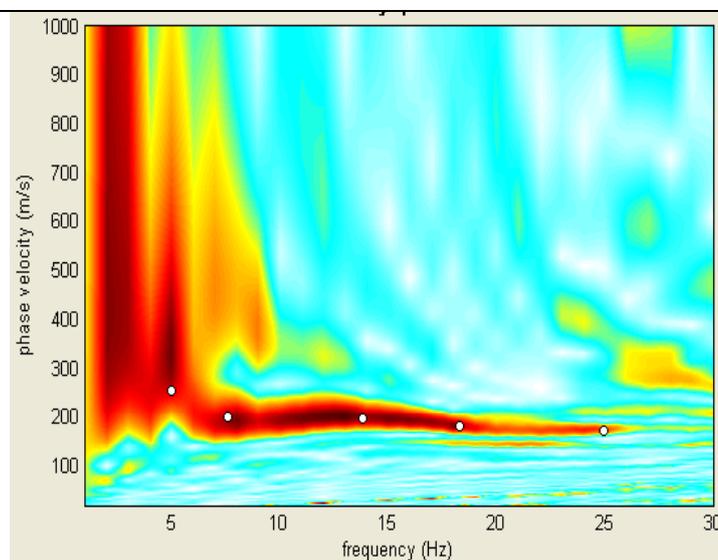
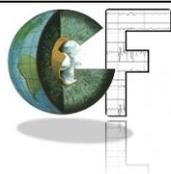


Figura 6.3 : spettro di velocità con curva di dispersione e picking

L'operazione di inversione è ottimizzata definendo uno spazio di ricerca i cui confini sono definiti da valori di Vs e spessori all'interno dei quali si cerca la soluzione. Tali assunzioni sono fatte sulla base delle conoscenze geologiche del sito e delle informazioni derivate dalla sismica a rifrazione.



Una volta fissati i limiti minimi e massimi dello spazio di ricerca, sono quindi impostati i parametri genetici che definiscono sia il numero di individui (ossia il numero di modelli che costituiscono la popolazione che si evolverà verso soluzioni sempre migliori) sia il numero di generazioni al passare delle quali sono esplorati modelli sempre migliori.

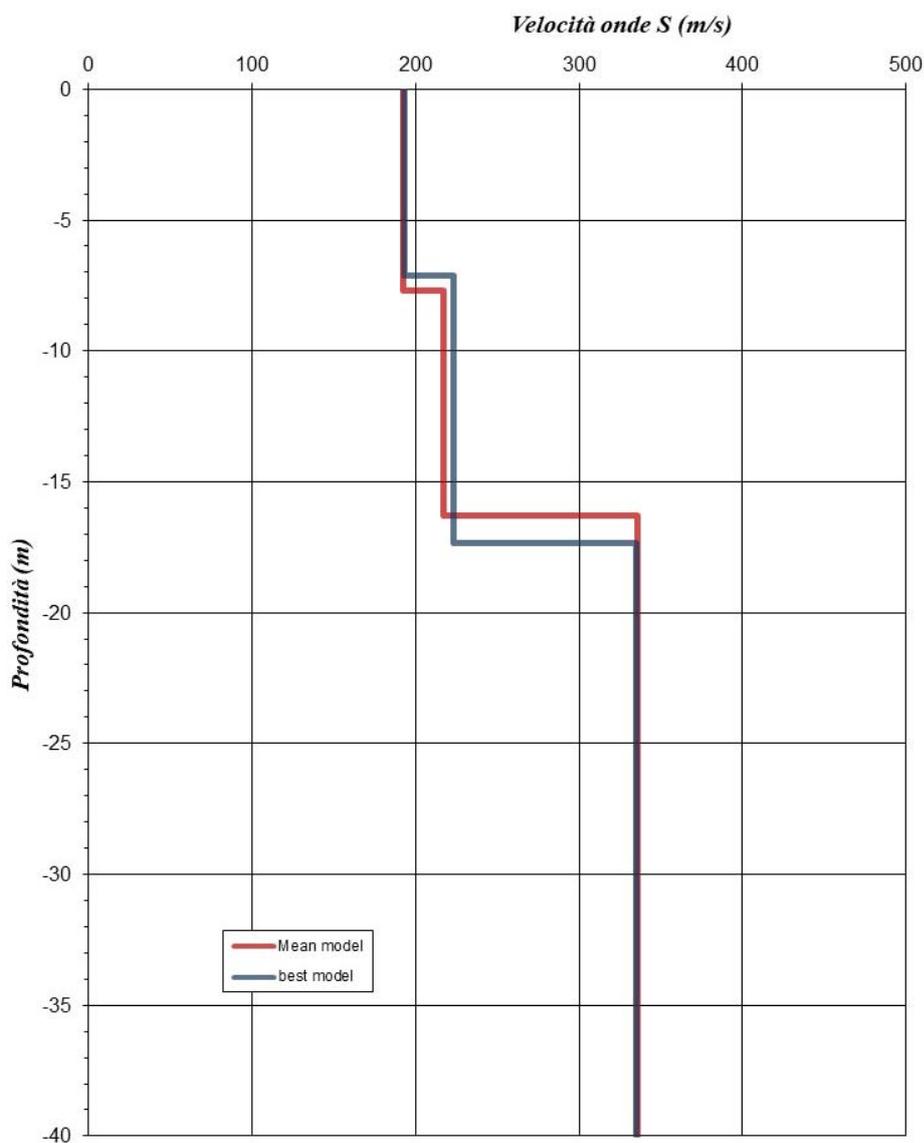
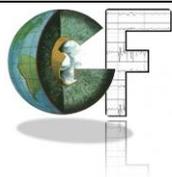


Figura 6.4: modello interpretativo

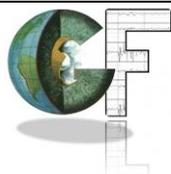


ANALISI DEI RAPPORTI SPETTRALI H/V

La tecnica HVSZ (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. Le frequenze di risonanza corrispondono ai massimi della funzione che rappresenta rapporti spettrali medi in funzione della frequenza (funzione H/V). L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura. L'idea di base è quella secondo cui il rapporto H/V consente in media di eliminare il ruolo delle variazioni di intensità delle sorgenti nel corso della registrazione mettendo in evidenza il ruolo della struttura. Sperimentalmente si vede che, in presenza di un campo d'onde diffuso, la forma della funzione (e in particolare la posizione dei suoi valori massimi) risulta con buona approssimazione stabile nel tempo e fortemente correlata con le caratteristiche del sottosuolo al di sotto del sito di misura. In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza f_r relativa a quella configurazione strutturale (con f_r circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Si osserva anche una certa correlazione (fortemente non lineare) fra l'entità della variazione di velocità responsabile dei fenomeni di risonanza e l'ampiezza del massimo della funzione H/V (maggiore è il contrasto di impedenza sismica, maggiore è l'entità del massimo).

La struttura del campo d'onde presente nel terreno (rumore sismico ambientale, microtremore, rumore sismico o seismic noise) è condizionata dalle caratteristiche delle sorgenti che lo determinano (siano esse naturali o antropiche) e dalle proprietà meccaniche dei terreni. Infatti, ciascuna sorgente genera un treno d'onde che raggiunge il punto di misura con caratteristiche che dipendono dall'entità delle sollecitazioni nelle componenti orizzontali e verticali del moto e dalle modalità di propagazione fra la sorgente e il sito in funzione dei fenomeni di riflessione, rifrazione e diffrazione che hanno luogo in corrispondenza di variazioni delle proprietà meccaniche dei terreni nel sottosuolo. In genere, nel campo di rumore ambientale, saranno presenti sia onde di volume (P e S in quantità variabili) che onde superficiali (Love e Rayleigh).

Se si considera un intervallo di tempo opportunamente lungo (dell'ordine delle decine di minuti), le proprietà medie di un campo d'onde sismiche generato da una molteplicità di sorgenti differenti, distribuite casualmente attorno a un punto di misura, tendono ad avere un andamento che non dipende dalle singole sorgenti che hanno generato il campo, ma solo dalle proprietà del mezzo in cui le onde si propagano e dal livello energetico medio dell'attività antropica o naturale. In

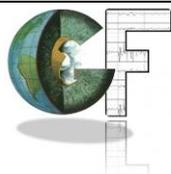


particolare, si può immaginare che, in media, le componenti orizzontali e verticali del moto del suolo tendano a essere sollecitate in modo equivalente, con un'ampiezza media pari al livello medio del rumore in quell'intervallo temporale. In questa ipotesi, i rapporti fra le ampiezze verticali e orizzontali del moto (H/V) saranno statisticamente indipendenti dalle caratteristiche delle sorgenti (dato che le ampiezze delle sollecitazioni sul piano orizzontale e verticale sono mediamente le stesse) e saranno condizionate dai soli effetti di propagazione ovvero dalle caratteristiche del mezzo interessato dal moto sismico. Queste ultime influenzeranno l'ampiezza relativa delle diverse fasi sismiche (onde P, S, Rayleigh e Love) e le direzioni di emergenza delle onde al punto di misura.

Si può dimostrare che la frequenza di risonanza ν_0 di una copertura sedimentaria di spessore H sovrapposta a un basamento rigido e in condizioni di stratificazione piana è data dal rapporto fra la velocità media delle onde S nel sedimento (V_s) e 4 volte lo spessore H ($\nu_0 = V_s/4H$). Utilizzando questa relazione è possibile risalire dalla frequenza di risonanza misurata allo spessore della copertura una volta nota la velocità delle onde di taglio o, viceversa a questa ultima se lo spessore H è noto. Studi teorici mostrano che se il rumore è effettivamente dominato da onde di volume emergenti da direzioni sub-verticali, l'andamento e l'ampiezza della funzione H/V riflettono quelle della funzione di risposta del deposito sedimentario analizzato. In caso contrario si vede che l'ampiezza dei massimi della funzione H/V è correlata (ma non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica presente alla base della copertura. L'assenza di massimi della funzione H/V suggerisce l'assenza di fenomeni di amplificazione sismica dovuti a fenomeni di risonanza.

La misura della funzione H/V è stata effettuata tramite l'acquisizione del rumore sismico ambientale per ogni punto per un tempo di venti minuti. Questa durata ha lo scopo di garantire la misura del campo di rumore generato da una molteplicità di sorgenti dalle diverse direzioni dello spazio. La misura è stata effettuata utilizzando un sistema di acquisizione tri-direzionale caratterizzato da sufficiente sensibilità. I risultati di ogni analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software NAKAS, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, la serie di rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 10 secondi) per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto. Su ciascuna di queste finestre viene calcolato lo spettro di ampiezza del segnale nelle tre componenti. In questa fase è stato applicato un sistema di lisciamiento (smoothing) adottato per la determinazione dello spettro.

Dopo un opportuno lisciamiento, le ordinate spettrali del moto sul piano orizzontale, ottenute mediando opportunamente i valori ottenuti nelle due direzioni principali, sono state divise per quelle ottenute nella direzione verticale. L'andamento dei rapporti spettrali è stato quindi ottenuto



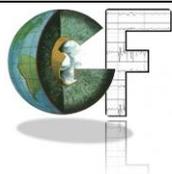
mediando i valori ottenuti per le diverse finestre temporali considerate. Per definire la qualità delle misure sono state anche valutate le variazioni temporali e azimutali dei rapporti spettrali nel corso della sessione di misura e fatta una stima del relativo intervallo di confidenza.

Di seguito sarà brevemente descritta la procedura di analisi seguita:

- Ciascuna delle tracce è suddivisa in segmenti o finestre di 10 secondi.
- In ogni finestra e per ciascuna delle tracce viene eseguita:
 - un'analisi preliminare: eliminazione di trend lineari (detrend) e tapering delle estremità.
 - la trasformata di Fourier (FFT)
 - il lisciamento degli spettri con finestra triangolare ampia una frazione della frequenza centrale.
- Le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali vengono mediate in modo geometrico, e vengono calcolati i rapporti HVSR (f), in ciascuna finestra temporale.
- Si calcolano i rapporti HVSR medi ed il relativo intervallo di confidenza al 95%. Alla frequenza di risonanza viene associata una stima dell'incertezza sperimentale.

Lo spettro relativo alla componente orizzontale viene ottenuto effettuando la media (solitamente geometrica) delle due componenti spettrali del rumore sul piano orizzontale. La combinazione delle stime ottenute nelle diverse finestre temporali viene poi utilizzata per costruire la funzione H/V finale e stimare il relativo intervallo di confidenza. In particolare, la funzione H/V è ottenuta facendo la media dei valori delle funzioni H/V calcolate in ogni finestra temporale. Per verificare se le misure sono state effettuate in condizioni ottimali per i fini geognostici (campo d'onde diffuso), oltre alla stima della curva H/V, risulta quindi utile valutare l'eventuale presenza di fenomeni direzionali (eterogeneità del campo di rumore) e la stabilità nel tempo della funzione H/V durante la misura (stazionarietà). In presenza di un campo di rumore diffuso il valore della funzione H/V non deve cambiare nel tempo o al variare della direzione. Al contrario, la presenza di sorgenti dominanti o il cattivo posizionamento dello strumento (basculamento) si manifesta come una variazione direzionale e/o temporale dei rapporti H/V.

Sperimentalmente, l'analisi di qualità della misura può essere effettuata confrontando le ampiezze spettrali medie del rumore misurato lungo le due componenti orizzontali, oppure calcolare diversi valori della funzione H/V di volta in volta proiettando lungo direzioni differenti le ampiezze spettrali ottenute sul piano orizzontale (Figura 6.5). La stazionarietà nel tempo, invece, può essere valutata rappresentando in funzione del tempo le funzioni H/V ottenute nelle diverse finestre temporali considerate.



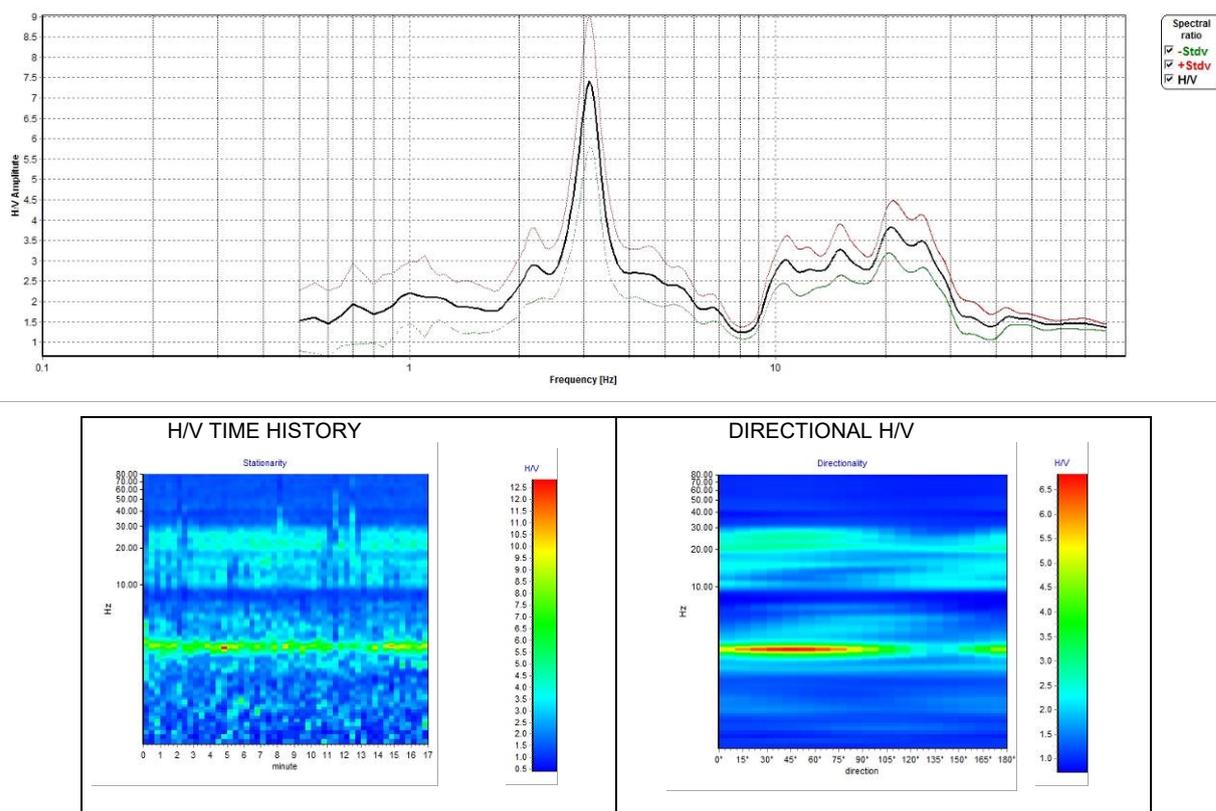
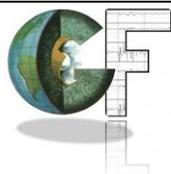


Figura 6.5: Risultati delle analisi di rumore sismico relative a una corretta misura H/V. In alto sono riportati i valori del rapporto spettrale H/V in funzione della frequenza con il relativo intervallo di confidenza al 95%. Sono anche indicati i valori delle frequenze corrispondenti ai massimi della funzione H/V. In basso a sinistra è riportato l'andamento nel tempo (ascissa) dei valori H/V (colori) in funzione della frequenza (ordinata): il grafico ha lo scopo di valutare la stabilità nel tempo della curva H/V. In basso a destra sono invece riportati i valori della funzione H/V (colore) in funzione della frequenza (in ordinata) al variare della direzione del segnale (ascissa): il grafico serve a valutare la direzionalità del segnale registrato.

Ai fini dell'affidabilità e della chiarezza del massimo della funzione H/V, infine è stata effettuata una analisi secondo i criteri determinati nell'ambito del progetto europeo SESAME per l'eliminazione di massimi spuri della funzione H/V, la cui presenza è frutto delle caratteristiche del campo d'onde sismiche e non della struttura locale del sottosuolo. Infine, un buon indicatore della qualità del picco H/V può essere ottenuto dall'esame degli spettri singoli. Infatti, massimi fisicamente significativi sono generalmente associati a valori di ampiezza spettrale minima sulla componente verticale.



7. ANALISI DEI RISULTATI GEOFISICI

Rilievo sismico tomografico a rifrazione

Il rilievo di superficie sviluppato con sismica a rifrazione elaborato con metodologia tomografica è stato acquisito sia con onde P che con onde S_H. Dall'analisi delle sezioni sismiche tomografiche (tavola allegata), possiamo asserire che il modello stratigrafico può essere sintetizzato secondo una successione rappresentata da 3 orizzonti sismici, definibili in funzione della velocità e del gradiente di velocità sismica disposti nella seguente successione sismostratigrafica:

Sismostrato A: strato superficiale caratterizzato da velocità sismica mediamente inferiore a 600 m/s per le onde P e inferiore a 200 m/s per le onde S, associabile a terreni superficiali e in particolare alla coltre di copertura.

Sismostrato B: strato caratterizzato da velocità sismica compresa fra 600 m/s e 1.400 m/s per le onde P e tra 200 e 250 m/s per le onde S.

Sismostrato C: strato caratterizzato da velocità superiore a 1.400 m/s per le onde P e superiore 250 m/s per le onde S. Tale livello può essere associato a litologie mediamente addensate.

Rilievo con metodologia MASW

L'interpretazione della prova MASW, relativamente alle onde S, ha reso evidente le seguenti successioni:

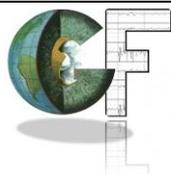
PROVA MASW					
Best model			Mean model		
Profondità da P.C (m)		Velocità Onde S (m/s)	Profondità da P.C (m)		Velocità Onde S (m/s)
0	7,1	193	0	7,7	192
7,1	17,4	223	7,7	16,3	217
17,4	40	335	16,3	40	336
Vseq = 249 m/s			Vseq = 249 m/s		

ANALISI DEI RAPPORTI SPETTRALI - HVSR

L'indagine sismica sviluppata con HVSR ha permesso di definire la frequenza caratteristica di sito.

Misura HVSR n	Frequenza di picco (Hz)	Rapporto H/V
1	1,44	3,04

Dall'analisi delle misure HVSR si rileva la presenza di un picco nel rapporto tra gli spettri orizzontali e verticali principalmente in corrispondenza della frequenza di 1,44 Hz.

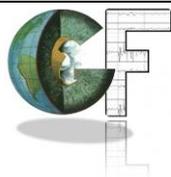


L'area in esame, in relazione alle indagini sismiche effettuate, può essere collocata, secondo la normativa italiana, in classe **C** – *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*

Siena, Novembre 2020

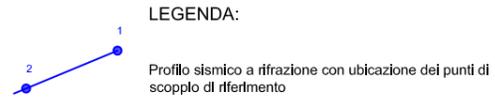
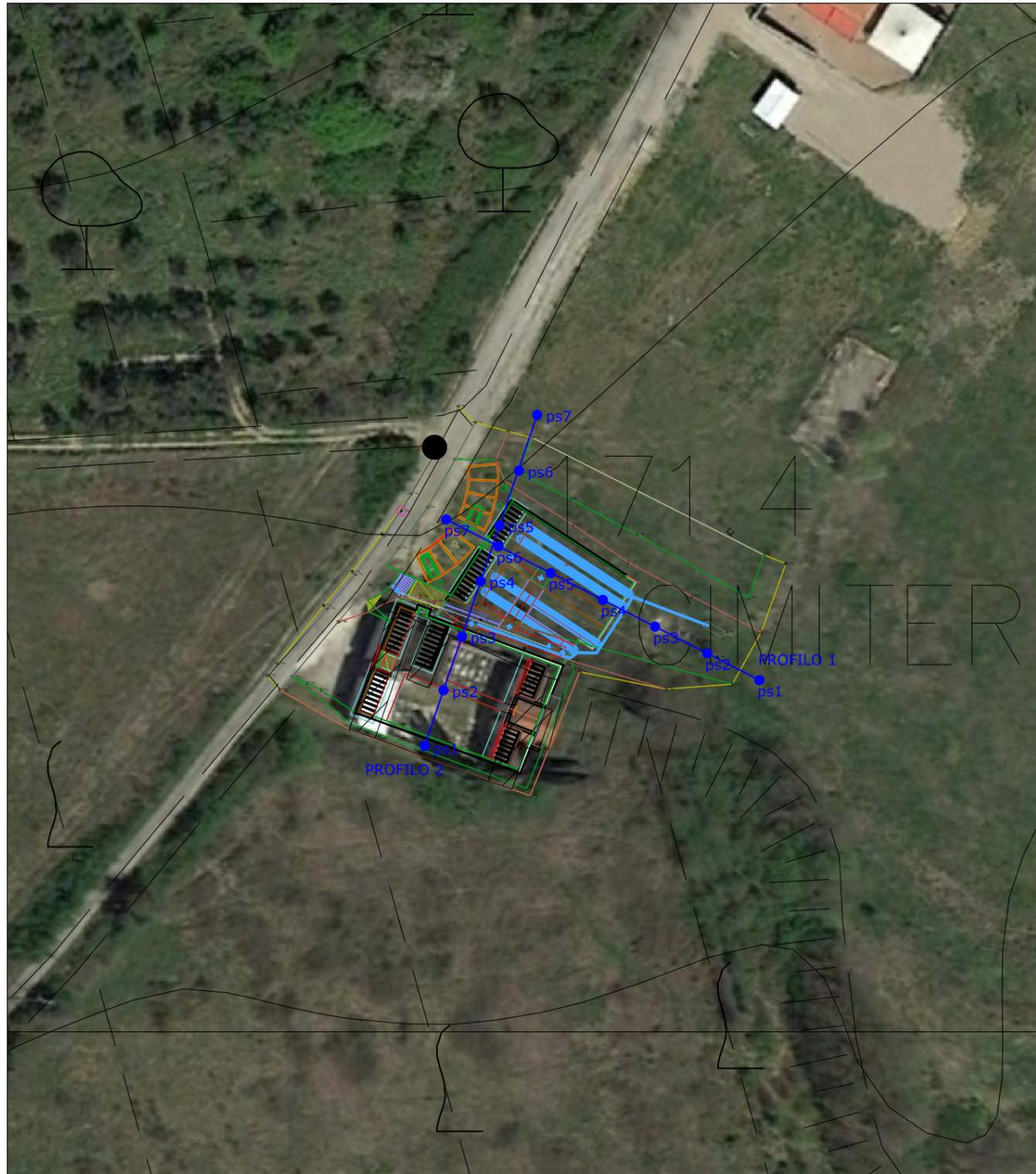
IL TECNICO
Dr. Geol. Filippo GIORGI



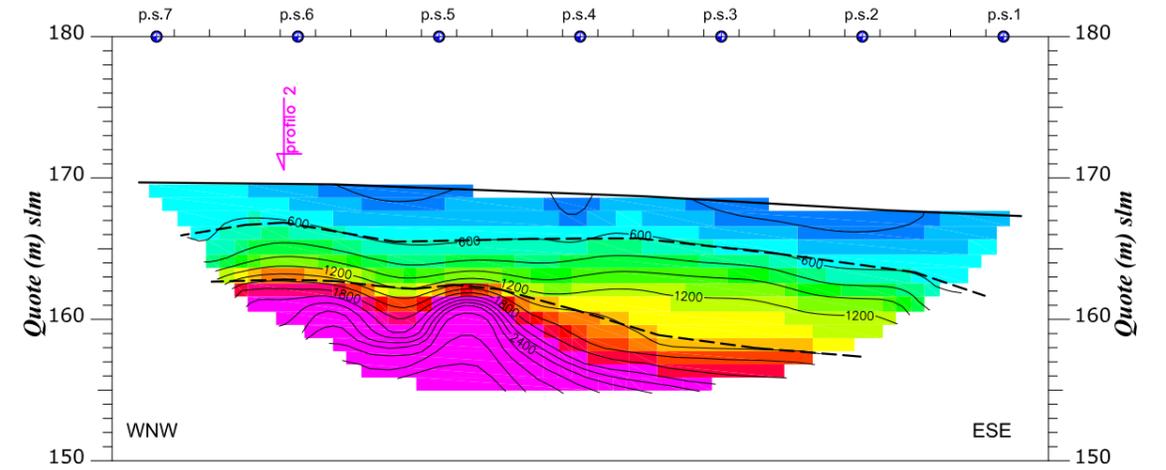


PLANIMETRIA UBICATIVA

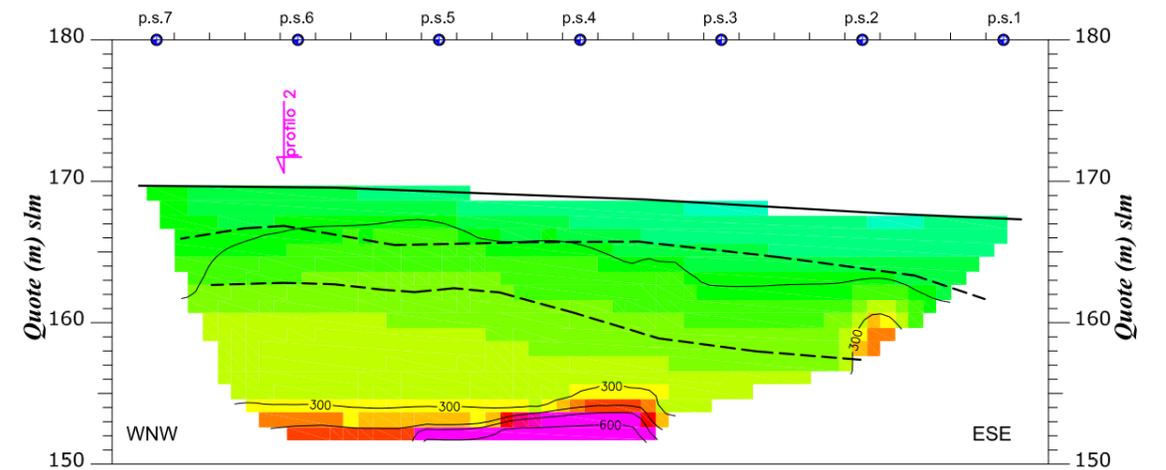
scala 1:1.000



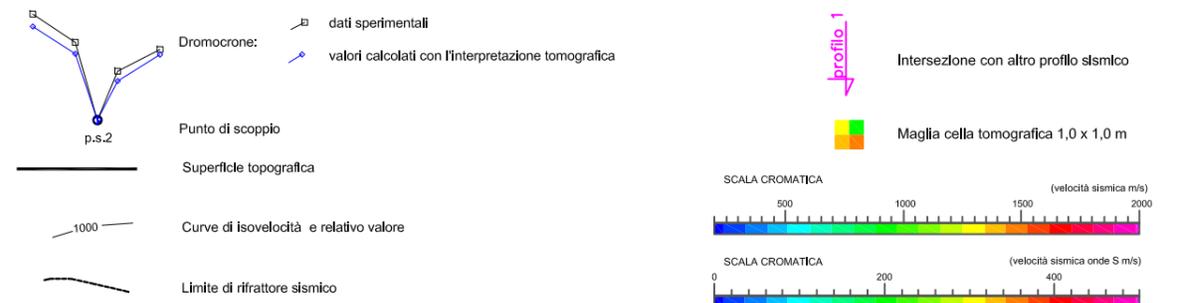
PROFILO SISMICO 1 onde P



PROFILO SISMICO 1 onde S

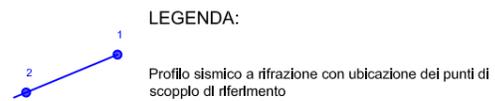


LEGENDA:

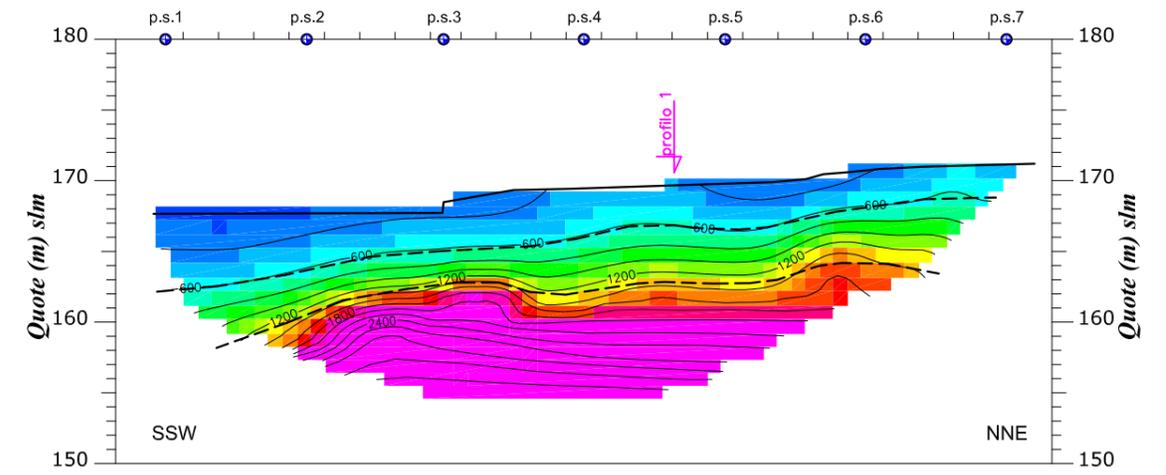


PLANIMETRIA UBICATIVA

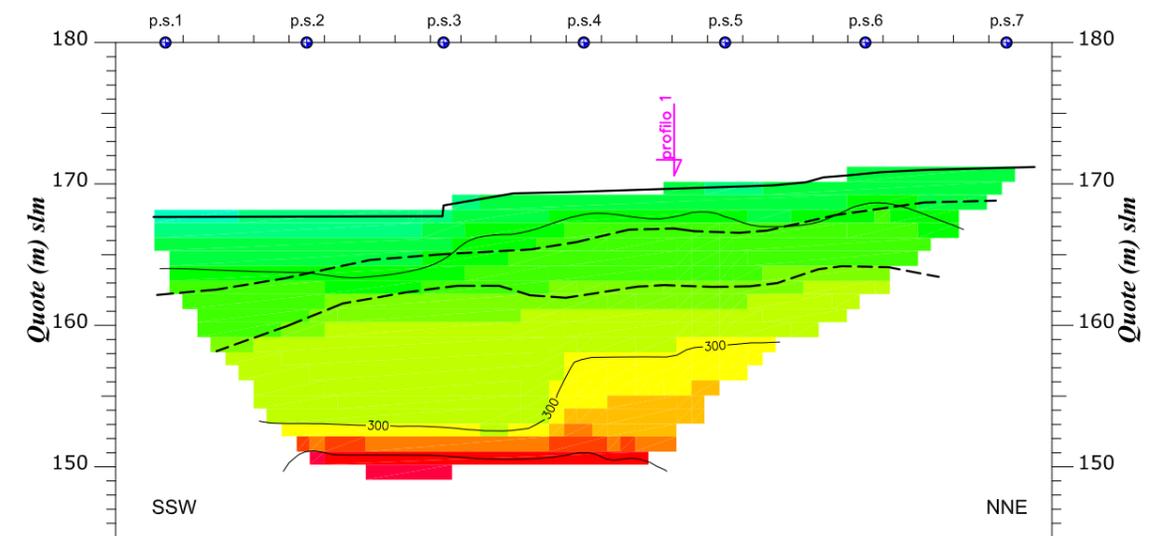
scala 1:1.000



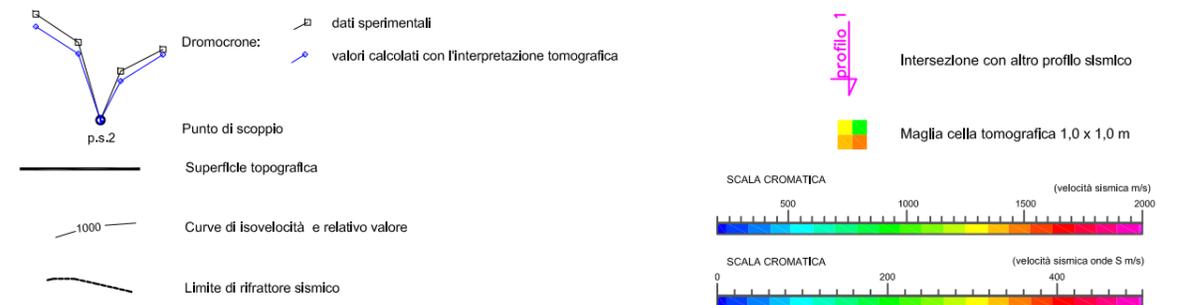
PROFILO SISMICO 2 onde P



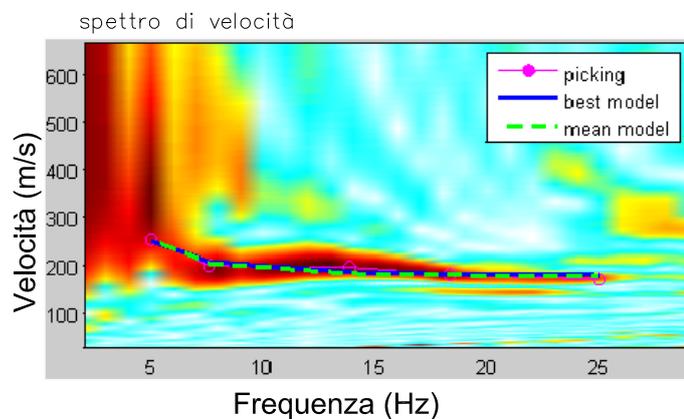
PROFILO SISMICO 2 onde S



LEGENDA:



PROVA MASW

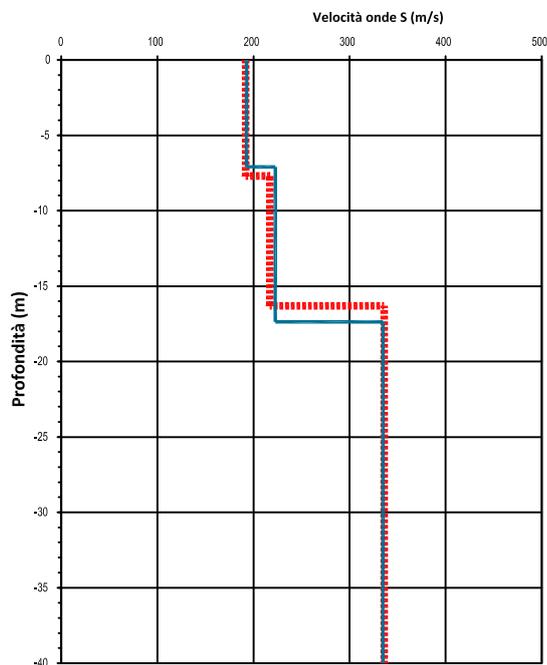


best model

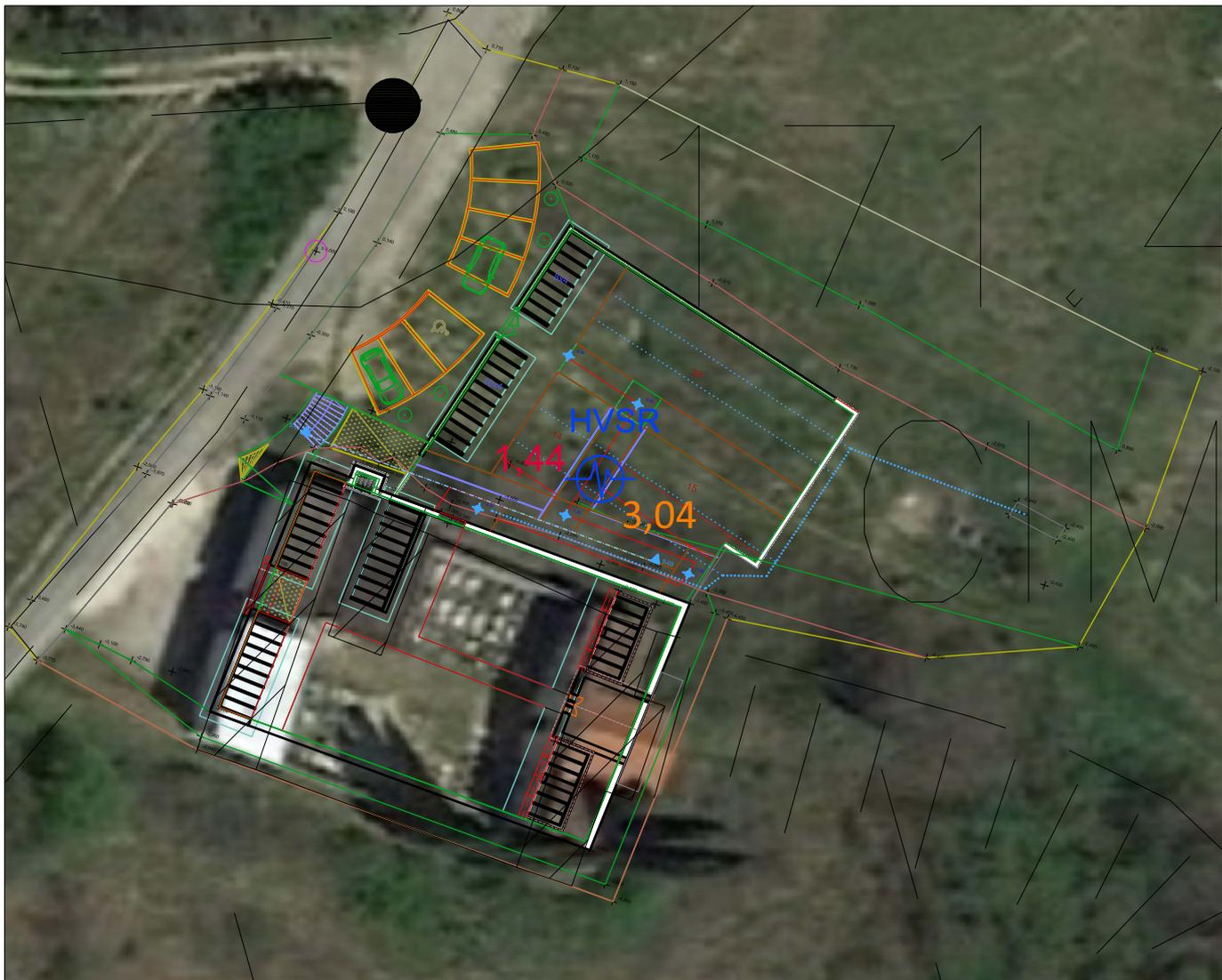
— $V_{seq} = 249 \text{ m/s}$
Site Class C

mean model

..... $V_{s30} = 249 \text{ m/s}$
Site Class C



Ricostruzione sismostratigrafica onde S mediante analisi MASW



LEGENDA:

-  **HVSr**
Misura HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratios)
-  **1,44**
H/V peak frequency f_0 (Hz)
-  **3,04**
Ampiezza H/V

H/V Spectral ratio

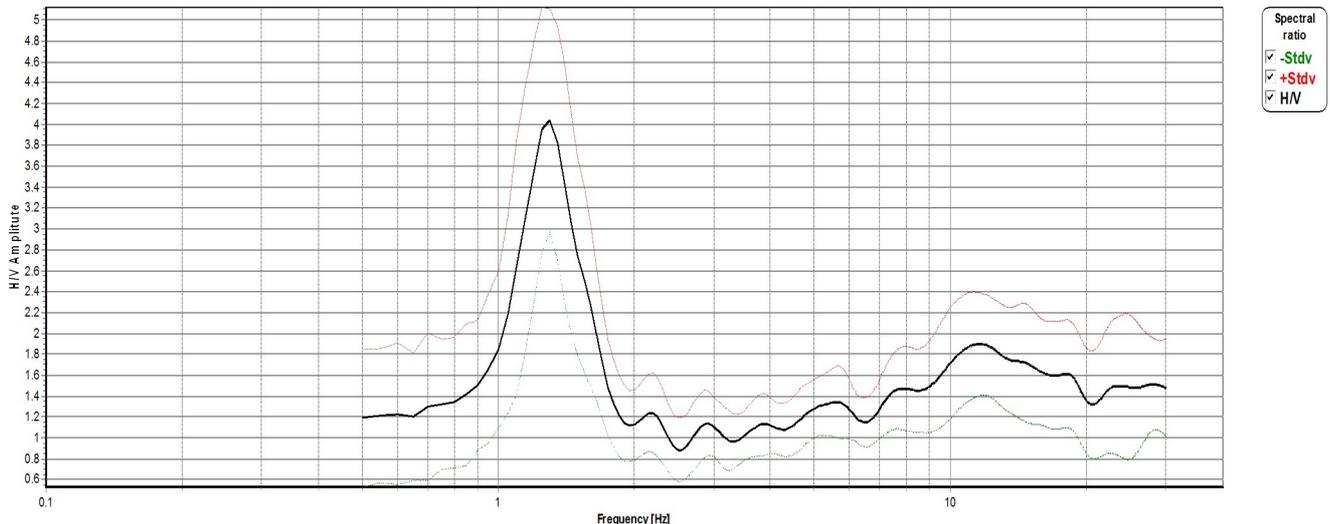
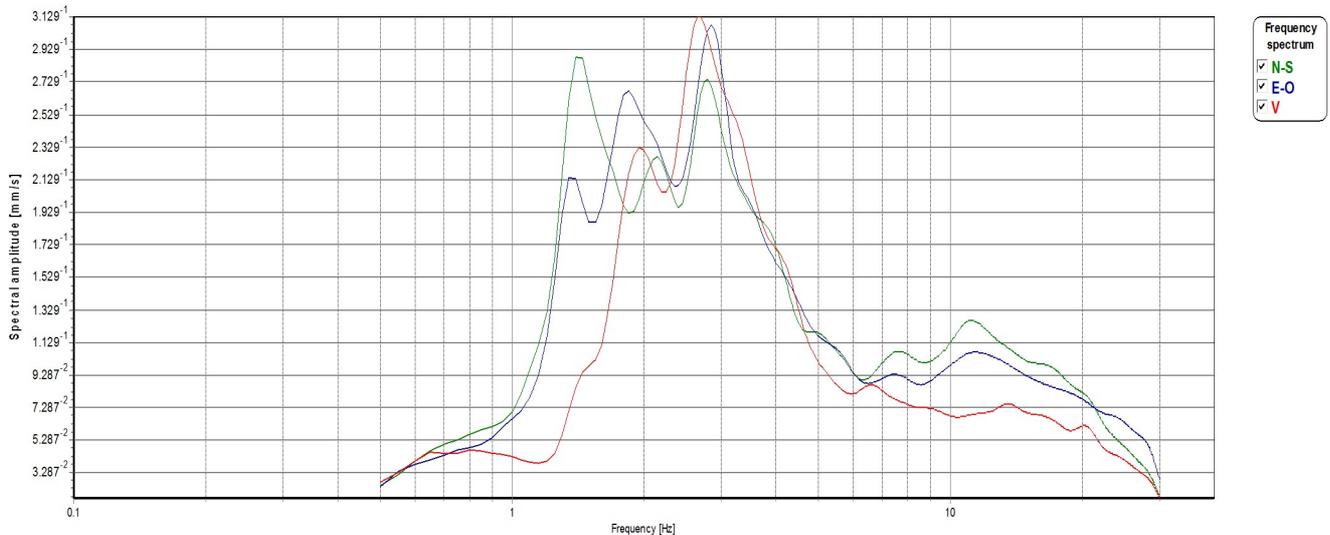
Analysis site: **HVSR_LeCannucce**

Measure point: **Le Cannucce**

Note:

Analysis parameters			
Sample frequency [Hz]:	250.00	Start recordings:	20/10/2020 09:46:55
Automatic spike removal:	No	Stop recordings:	20/10/2020 11:01:55
LTA [s]:	5.0	High pass frequency [Hz]:	0.50
STA [s]:	0.5	Low pass frequency [Hz]:	30.00
Ratio:	1.9	Nw number of windows:	172
Lw Windows [s]:	20	Recording length [s]:	4500
Overlap Windows s]:	0.0	Discarded windows:	53
Konno-Ohmachi parameter:	40		

Analysis results			
H/V peak frequency f_0 [Hz]:	1.441	Standard deviation [Hz]:	2.186



H/V Spectral ratio

Analysis site: **HVSR_LeCannucce**

Measure point: **Le Cannucce**

Criteria for a reliable H/V curve		
$f_0 > 10/Lw$	1.44 \geq 0.50	Yes
$Nc(f_0) > 200$	4958.00 \geq 200.00	Yes
$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	exceeded 0 out of 43	Yes
Criteria for a clear H/V peak		
Exists f in $[f_0/4, f_0]$ where $A(f) < A_0/2$	0.500	Yes
Exists f in $[f_0, 4f_0]$ where $A(f) < A_0/2$	1.750	Yes
$A_0 > 2$	3.04 $>$ 2.00	Yes
Criteria for a stable H/V peak		
$F_{peak}[A(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm \%$	13.27% $>$ 5.00%	No
$sf < e(f_0)$	2.1861 $>$ 0.1441	No
$sA(f_0) < ?(f_0)$	1.0443 $<$ 1.7800	Yes

Lw	window length
Nw	number of windows used in the analysis
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
sf	standard deviation of H/V peak frequency
$Nc = f_0 \times Lw \times Nw$	number of significant cycles
AH/V(f)	H/V curve amplitude at frequency f
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
sA(f)	standard deviation of AH/V(f)
$sA(f_0)$	standard deviation of AH/V(f) at f_0 frequency
$e(f_0)$	threshold value for the stability condition $sf < e(f_0)$
$?(f_0)$	threshold value for the stability condition $sA(f_0) < ?(f_0)$
$F_{peak}[A(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm \%$	maximum deviation from the f_0 peak, expressed as a percentage

Threshold values for sf and $sA(f_0)$					
f_0 frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$e(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.1 f_0	0.05 f_0
$?(f_0)$ for $sA(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58

H/V Spectral ratio

Analysis site: **HVSR_LeCannucce**

Measure point: **Le Cannucce**

