



GEOALPI CONSULTING

Geologia - Idrogeologia - Geotecnica - Geologia strutturale

GEOLOGI ASSOCIATI

Marco BARBERO - Raffaella CANONICO - Francesco PERES

P.iva 09303590013

REGIONE PIEMONTE - PROVINCIA DI TORINO
COMUNE DI CANTALUPA

III AMPLIAMENTO CIMITERO

STUDIO GEOTECNICO-SISMICO
ai sensi del D.M. 14/01/08

ALLEGATI: Indagini geognostiche e geofisiche

IL TECNICO INCARICATO
Dott. Geol. Raffaella Canonico

Il Sindaco

gennaio 2015



Via Saluzzo, 52 - 10064 Pinerolo (TO)



Telefono / Fax +39 0121 375017



info@geoalpiconsulting.it



www.geoalpiconsulting.it

APPENDICE 01
INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO

EXAMINA



EXAMINA s.a.s.
di Ugo Dela Pierre & C.
L.go Dora Colletta 113/10 - 10153 Torino
tel e fax 011/2475839
e-mail examinatorino@tin.it

LIMITI DI ATTERBERG	
Committente:	Geoalpi
Località:	Comune di Cantalupa (To)
Cantiere:	Centro sportivo
Sondaggio:	S1
Profondità (1,200-2,50)	Campione: C1
	Data: 27/03/03

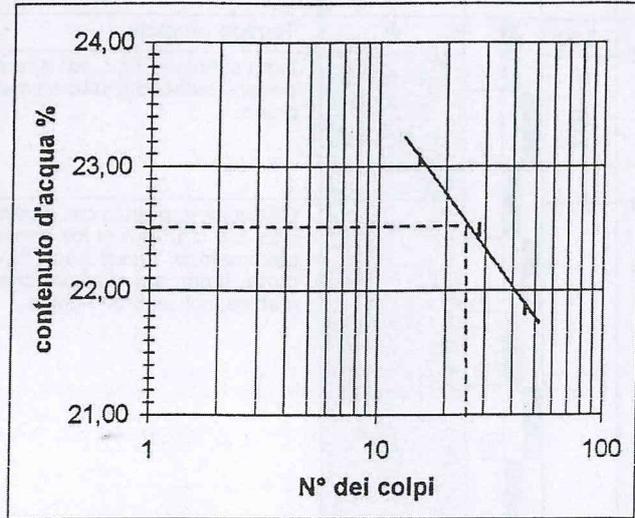
SABBIA E GHIAIA LIMOSA DEBOLMENTE ARGILLOSA

Limite liquido

N° colpi	15	28	45
contenitore n°	I	J	K
peso lordo umido g	41,99	41,13	41,19
peso lordo secco g	40,75	40,19	39,87
peso acqua g	1,24	0,94	1,32
tara contenitore g	35,37	36,01	33,83
peso netto secco g	5,38	4,18	6,04
contenuto acqua %	23,05	22,49	21,85

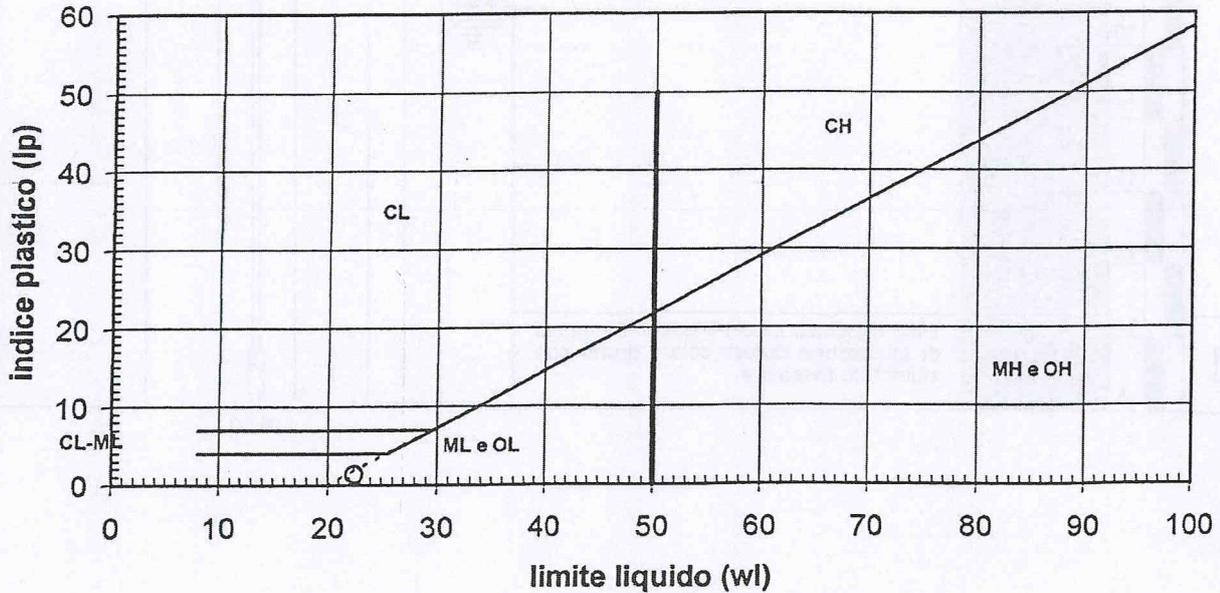
Limite plastico

contenitore n°	L	M
peso lordo umido g	48,46	46,16
peso lordo secco g	46,02	44,39
peso acqua g	2,44	1,77
tara contenitore g	34,72	35,94
peso netto secco g	11,30	8,45
contenuto acqua %	21,59	20,95



wl	wp	lp
22,51	21,27	1,24

Carta di Plasticità



Il tecnico di laboratorio
dott. S. Santoro

Il responsabile
dott. geol. Ugo Dela Pierre

EXAMINA



EXAMINA s.a.s.
di Ugo Dela Pierre & C.
L.go Dora Colletta 113/10 - 10153 Torino
tel e fax 011/2475839
e-mail examinatorenc@tin.it

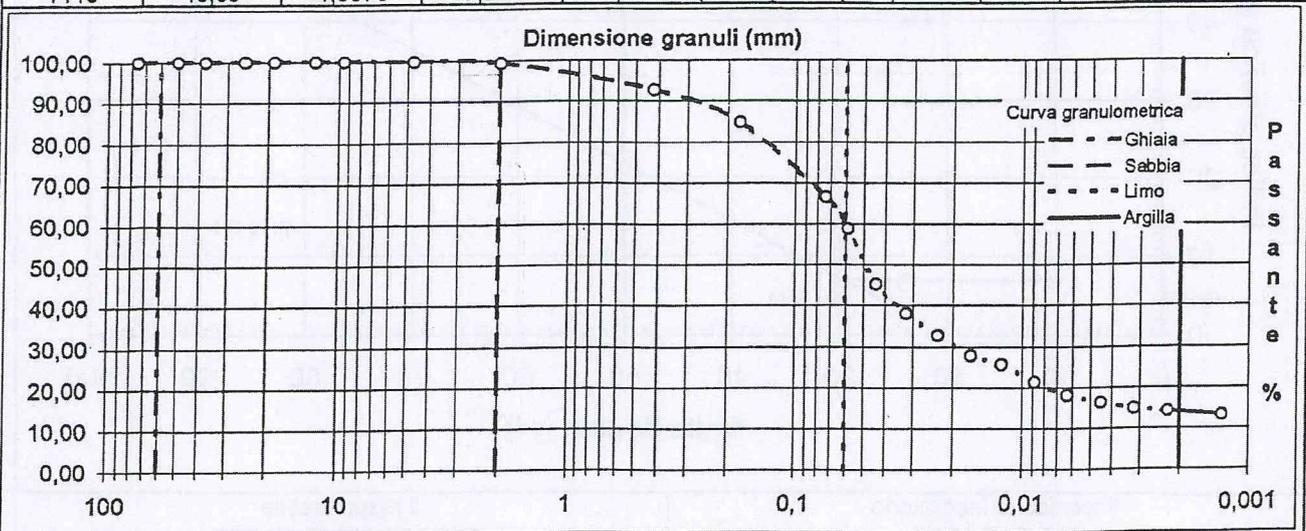
ANALISI GRANULOMETRICA	
Committente Geolpi	
Località:	Comune di Cantalupa (To)
Cantiere:	Centro sportivo
Sondaggio	2 Campione: 2
Profondità (n 0,30-0,70)	Data: 27/03/03

(A.G.I.):	LIMO CON SABBIA DEBOLMENTE ARGILLOSO	(USCS):		(CNR/UNI10006):	A 4	Indice Gruppo	6
-----------	---	---------	--	-----------------	-----	---------------	---

analisi con setacci			terreno analizzato (g):			Frazioni: (A.G.I.): Ghiaia (%) = 0,56 Sabbia (%) = 32,82 Limo (%) = 52,47 Argilla (%) = 14,15
Setaccio nr.	Apertura maglie (mm)	Peso inerte trattenuto (g)	Parziali Trattenuti (%)	Totale Trattenuti (%)	Totale Passante (%)	
3"	76,200	0,00	0,00	0,00	100,00	Note:
2"	50,800	0,00	0,00	0,00	100,00	
1"½	38,200	0,00	0,00	0,00	100,00	
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00	
¾"	19,050	0,00	0,00	0,00	100,00	
½"	12,700	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,525	0,00	0,00	0,00	100,00	
4	4,760	0,96	0,10	0,10	99,90	
10	2,000	4,43	0,46	0,56	99,44	
40	0,425	64,84	6,75	7,31	92,69	
80	0,177	74,68	7,77	15,08	84,92	
200	0,074	175,89	18,30	33,38	66,62	
fondo	-	640,20	66,62	100,00	-	

analisi con aerometro		Peso specifico della parte < 0,074 mm = γ_s		Peso specifico del liquido = γ_l	
Peso campione secco (g) = P_{sp}	40,00			2,68	
Dispersivo:	125 cc soluzione al 4% di sodio esametafosfato e carbonato di sodio			1,00	
		costante K = $\frac{100 \cdot \gamma_s}{P_{sp} \cdot \gamma_l - \gamma_l}$ =		3,99	

tempo	temp. °C	R	R+Cm	R'=R+Ct	Hr (mm)	diam (mm)	%pass. parz.	%pass. totale
0,5	19,00	1,0244	24,900	22,150	95,550	0,0590	88,34	58,85
1	19,10	1,0193	19,800	17,075	107,280	0,0442	68,10	45,36
2	19,10	1,0166	17,100	14,375	113,490	0,0321	57,33	38,19
4	19,30	1,0145	15,000	12,325	118,320	0,0232	49,15	32,74
8	19,50	1,0126	13,100	10,475	122,690	0,0167	41,78	27,83
15	19,50	1,0118	12,300	9,675	124,530	0,0123	38,58	25,70
30	19,80	1,0101	10,600	8,050	128,440	0,0088	32,10	21,39
60	20,10	1,0088	9,300	6,825	131,430	0,0063	27,22	18,13
120	20,10	1,0081	8,600	6,125	133,040	0,0045	24,43	16,27
240	20,10	1,0076	8,100	5,625	134,190	0,0032	22,43	14,94
480	20,10	1,0073	7,800	5,325	134,880	0,0023	21,24	14,15
1440	19,80	1,0070	7,500	4,950	135,570	0,0013	19,74	13,15

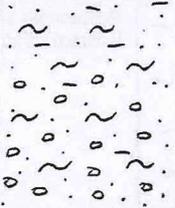


Il tecnico di laboratorio dott. S. Santoro	Il responsabile dott. geol. Ugo Dela Pierre
---	--

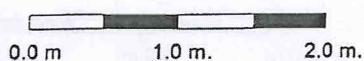
PROFONDITA' DA F.D.E.	POTENZA DELLO STRATO	SEZIONE STRATIGRAFICA	FORMAZIONI ATTRAVERSATE		LIVELLO STABILIZZATO DELLE FALDE		POSIZIONE RIVESTIMENTI E LURO Ø	METODO DI PERFORAZIONE	RECUPERO %	R. O. D. %	RESISTENZA PENETROMETRICA Kg/cm ²	CAMPIONI INDISTURBATI	PIEZOMETRO Ø 1" - 2"	INCLINOMETRO	S.P.T. IN FORO	NOTE
			DESCRIZIONE LITOLOGICA DEL TERRENO		UMIDITÀ											
			1	2	1	2										
0.00	0.50		Terreno vegetale.				127									
0.50	2.00		Limo sabbioso con una debole percentuale di ghiaia fine e frammenti rocciosi, colore bruno.													
2.00	3.00		Trovanti di gneiss porfirioide.													
3.00	4.80		Sabbia grossolana e/o sabbia ghiaiosa, scarsa matrice fine limosa, colore nocciola.											4.00		N = 12 - 11 - 15
4.80	5.10		Trovanti di gneiss porfirioide.											1		
5.10	5.70		Sabbia medio grossolana debolmente ghiaiosa colore nocciola.													
5.70	6.00		Trovanti di gneiss porfirioide.													
6.00	7.40		Sabbia medio grossolana con ghiaia fine, colore bruno rossastro.											7.00		N = 15 - 20 - 16
7.40	9.20		Sabbia medio fine e/o sabbia limosa con una debole percentuale ghiaiosa, colore nocciola con locali arrossamenti.											2		
9.20	11.60		Limo sabbioso con ghiaia e frammenti rocciosi colore nocciola.		8	80								10.00		N = 19 - 18 - 22
11.60	12.80		Ghiaia medio fine, matrice fine limoso-sabbiosa, colore nocciola.											3		
12.80	13.70		Sabbia ghiaiosa colore brunastro.													
13.70	15.60		Sabbia ghiaiosa con grossi ciottoli e trovanti (Ø max 40 cm), colore nocciola con locali arrossamenti.													
15.60	20.00		Sabbia limosa debolmente ghiaiosa con rari ciottoli, colore bruno rossastro.													

ROTAZIONE CON CAROTAGGIO CONTINUO
60 + 90%

SEZIONE STRATIGRAFICA DEL POZZETTO GEOGNOSTICO N. 1

Profondità dal p.c.	Potenza del livello	Sezione stratigrafica	Descrizione litologica
0.00 m.			
1.50 m.	1.50 m.		Paleosuolo argilloso-limoso di colore rossastro. Il livello è stato rimaneggiato a causa dei ripetuti interventi di scavo e di conseguenza risulta frammisto ai depositi ghiaioso-ciottolosi dell'orizzonte sottostante.
2.20 m.	0.70 m.		Ghiaie grossolane con ciottoli ($\varnothing_{med} = 2$ cm) a matrice limoso-sabbiosa.

Scala verticale 1: 50



Osservazioni:

Falda: assente

Metodo di scavo: escavatore meccanico a benna rovescia

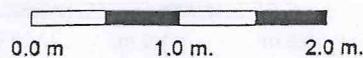
Data: 21 gennaio 2003

Terreni distinti a catasto: Foglio 13

SEZIONE STRATIGRAFICA DEL POZZETTO GEOGNOSTICO P1

Profondità dal p.c.	Potenza del livello	Sezione stratigrafica	Descrizione litologica
0.00 m.			
0.30 m.	0.30 m.	× × ×	Terreno agrario prevalentemente limoso, colore bruno.
1.40 m.	1.10 m.		Ghiaia e blocchi lapidei di gneiss occhiadini a basso grado di alterazione, ossidati in superficie ($\varnothing_{max} = 100$ cm), immersi in una matrice sabbioso-limosa parzialmente argillificata.
2.00 m.	0.60 m.		Ghiaia grossolana e sabbia limosa con livelli di sabbie limose parzialmente argillificate.
2.80 m.	0.80 m.		Ghiaie grossolane con ciottoli e blocchi lapidei ad arrotondamento medio-elevato ($\varnothing_{max} = 50$ cm) a matrice limoso-sabbiosa.

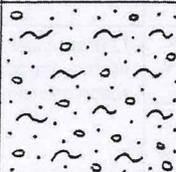
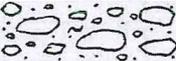
Scala verticale 1: 50



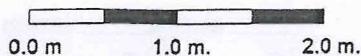
Osservazioni:

Falda: assente
 Metodo di scavo: escavatore meccanico a benna rovescia
 Data: 19 marzo 2003

SEZIONE STRATIGRAFICA DEL POZZETTO GEOGNOSTICO P3

Profondità dal p.c.	Potenza del livello	Sezione stratigrafica	Descrizione litologica
0.00 m.			
0.30 m.	0.30 m.	× × ×	Terreno agrario prevalentemente limoso, colore bruno.
1.50 m.	1.20 m.		Limi sabbiosi con ghiaie fini. Matrice parzialmente argillificata di colore rosso-bruno.
2.60 m.	1.10 m.		Ghiaia grossolana e sabbia limosa con livelli di sabbie arcose parzialmente argillificate.
3.05 m.	0.45 m.		Ghiaie grossolane con ciottoli ad arrotondamento medio-basso ($\varnothing_{max} = 60$ cm) matrice limoso-sabbiosa.

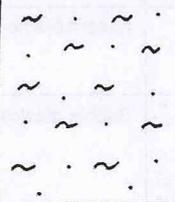
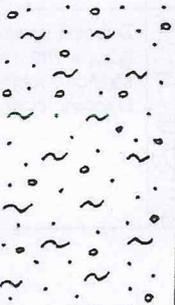
Scala verticale 1: 50



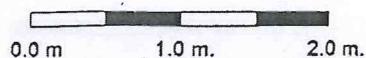
Osservazioni:

Falda: assente
 Metodo di scavo: escavatore meccanico a benna rovescia
 Data: 19 marzo 2003

SEZIONE STRATIGRAFICA DEL POZZETTO GEOGNOSTICO P1

Profondità dal p.c.	Potenza del livello	Sezione stratigrafica	Descrizione litologica
0.00 m.			
0.30 m.	0.30 m.		Terreno di riporto ghiaioso sabbioso con laterizi.
1.80 m.	1.50 m.		Limi sabbiosi poco consolidati
4.00 m.	2.20 m.		Sabbie limose debolmente ghiaiose poco consolidate.

Scala verticale 1: 50



Osservazioni:

Falda: 3.60 m dal p.c.
 Metodo di scavo: escavatore meccanico a benna rovescia
 Data: 3 aprile 2003

EXAMINA



EXAMINA s.a.s.
di Ugo Dela Pierre & C.
L.go Dora Colletta 113/10 - 10153 Torino
tel e fax 011/2475839
e-mail examinatorino@tin.it

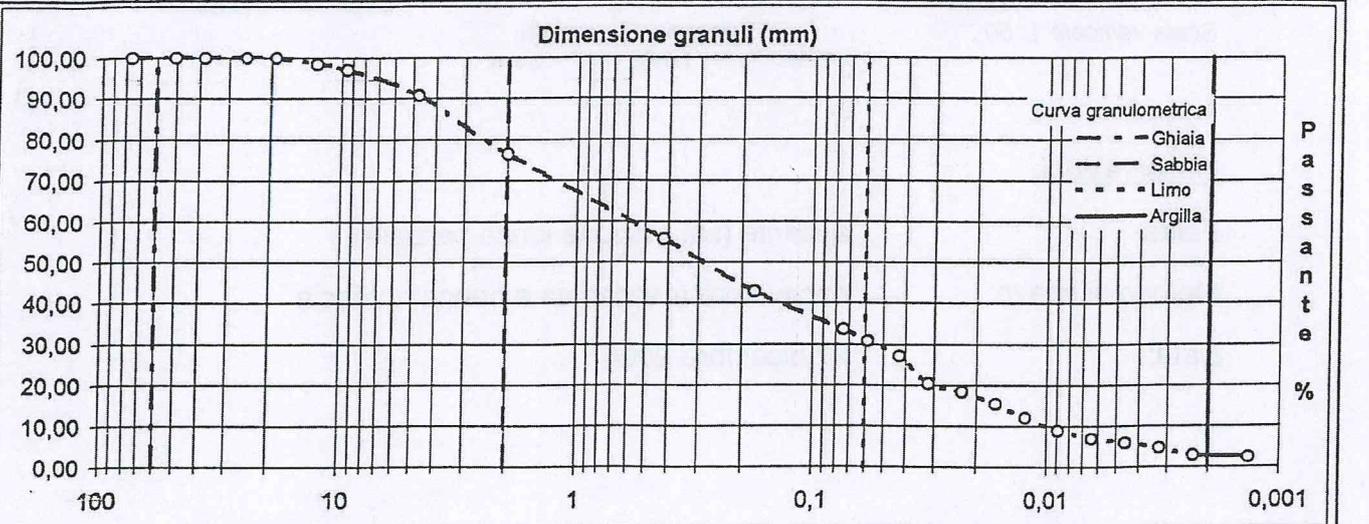
ANALISI GRANULOMETRICA

Committente:	Geoalpi		
Località:	Comuna di Cantalupa (To)		
Cantiere:	Progetto residenza atleti		
Sondaggio:	Pz1	Campione:	C1
Profondità (m):	3,50	Data:	11/04/03

(A.G.I.): SABBIA E LIMO			(USCS):			(CNR/UNI10006):		Indice Gruppo
analisi con setacci			terreno analizzato (g):			Frazioni:		
Setaccio nr.	Apertura maglie (mm)	Peso inerte trattenuto (g)	Parziali Trattenuti (%)	Totale Trattenuti (%)	Totale Passante (%)	(A.G.I.): Ghiaia (%) = 23,58 Sabbia (%) = 42,77 Limo (%) = 30,79 Argilla (%) = 2,85		
3"	76,200	0,00	0,00	0,00	100,00	Note:		
2"	50,800	0,00	0,00	0,00	100,00			
1"½	38,200	0,00	0,00	0,00	100,00			
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00			
¾"	19,050	0,00	0,00	0,00	100,00			
½"	12,700	8,06	1,53	1,53	98,47			
3/8"	9,525	7,51	1,43	2,96	97,04			
4	4,760	33,02	6,28	9,24	90,76			
10	2,000	75,46	14,35	23,58	76,42			
40	0,425	108,99	20,72	44,30	55,70			
80	0,177	67,34	12,80	57,11	42,89			
200	0,074	48,64	9,25	66,35	33,65			
fondo	-	176,98	33,65	100,00	-			

analisi con aerometro		Peso campione secco (g) = P _{sp}	40,00	Peso specifico della parte < 0,074 mm = γ _s	2,68
Dispersivo:	125 cc soluzione al 4% di sodio esametafosfato e carbonato di sodio			Peso specifico del liquido = γ _l	1,00
				costante K = $\frac{100 \cdot \gamma_s}{P_{sp} \cdot \gamma_s - \gamma_l}$	3,99

tempo	temp. °C	R	R+Cm	R'=R+Ct	Hr (mm)	diam (mm)	%pass. parz.	%pass. totale
0,5	19,50	1,0251	25,600	22,975	93,940	0,0585	91,63	30,83
1	19,50	1,0223	22,800	20,175	100,380	0,0428	80,46	27,07
2	19,50	1,0174	17,900	15,275	111,650	0,0319	60,92	20,50
4	19,70	1,0158	16,300	13,725	115,330	0,0229	54,74	18,42
8	19,70	1,0136	14,100	11,525	120,390	0,0166	45,96	15,46
15	19,70	1,0111	11,600	9,025	126,140	0,0124	35,99	12,11
30	19,70	1,0087	9,200	6,625	131,660	0,0089	26,42	8,89
60	19,90	1,0073	7,800	5,275	134,880	0,0064	21,04	7,08
120	20,10	1,0064	6,900	4,425	136,950	0,0046	17,65	5,94
240	20,10	1,0055	6,000	3,525	139,020	0,0032	14,06	4,73
480	20,10	1,0041	4,600	2,125	142,240	0,0023	8,47	2,85
1440	19,50	1,0039	4,400	1,775	142,700	0,0013	7,08	2,38



Il tecnico di laboratorio
dott. S. Santoro

Il responsabile
dott. geol. Ugo Dela Pierre



Committente: Com. di Cantalupa (TC) Cantiere: Cantalupa (TO)

Località: Impianto sportivo com. Data: 25/03/03

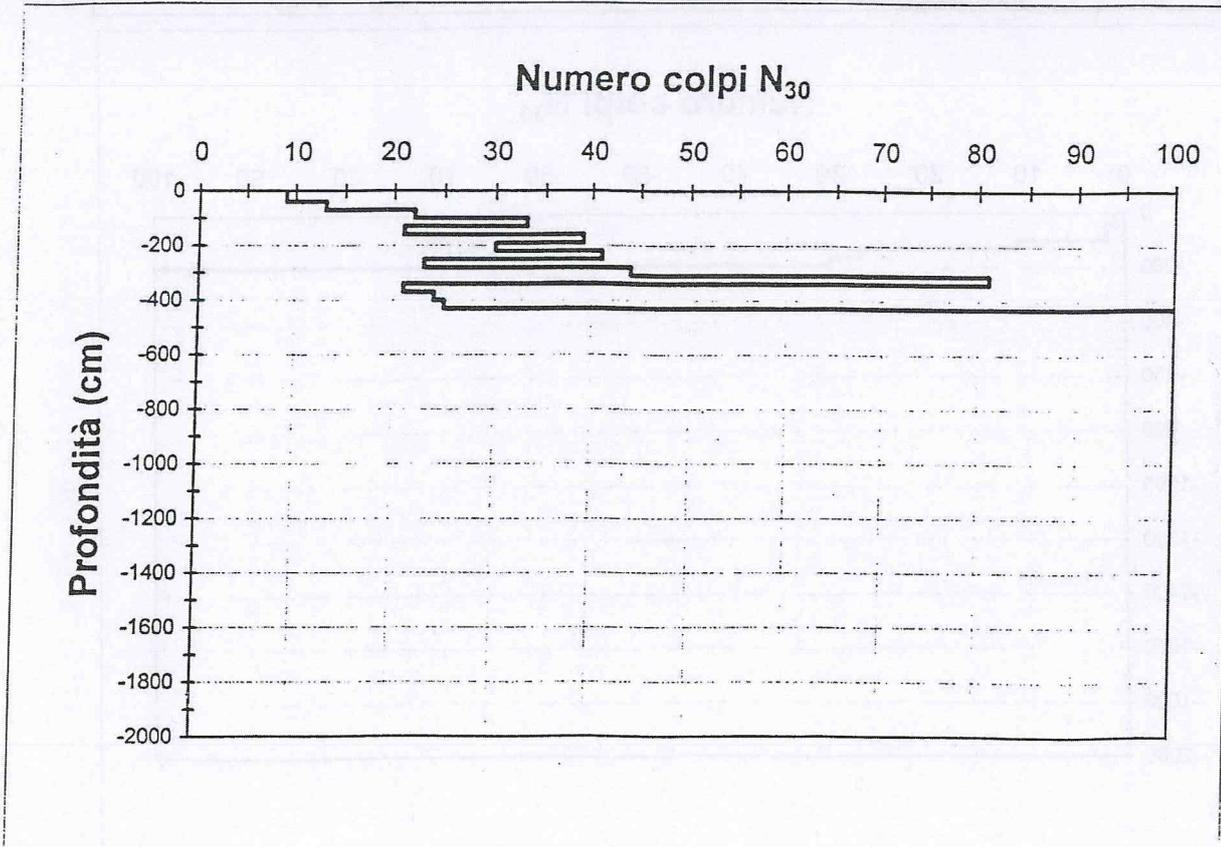
Prova n°1

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 72/100

Livello falda alla data di esecuzione:

Quota di riferimento:

Quota (cm)	N° colpi						
		520		1030		1540	
40	9	550		1060		1570	
70	13	580		1090		1600	
100	22	610		1120		1630	
130	33	640		1150		1660	
160	21	670		1180		1690	
190	39	700		1210		1720	
220	30	730		1240		1750	
250	41	760		1270		1780	
280	23	790		1300		1810	
310	44	820		1330		1840	
340	81	850		1360		1870	
370	21	880		1390		1900	
400	24	910		1420		1930	
430	25	940		1450		1960	
460	100	970		1480		1990	
490		1000		1510		2020	





Committente: Com. di Cantalupa (TO) Cantiere: Cantalupa (TO)

Località: Impianto sportivo com. Data: 25/03/03

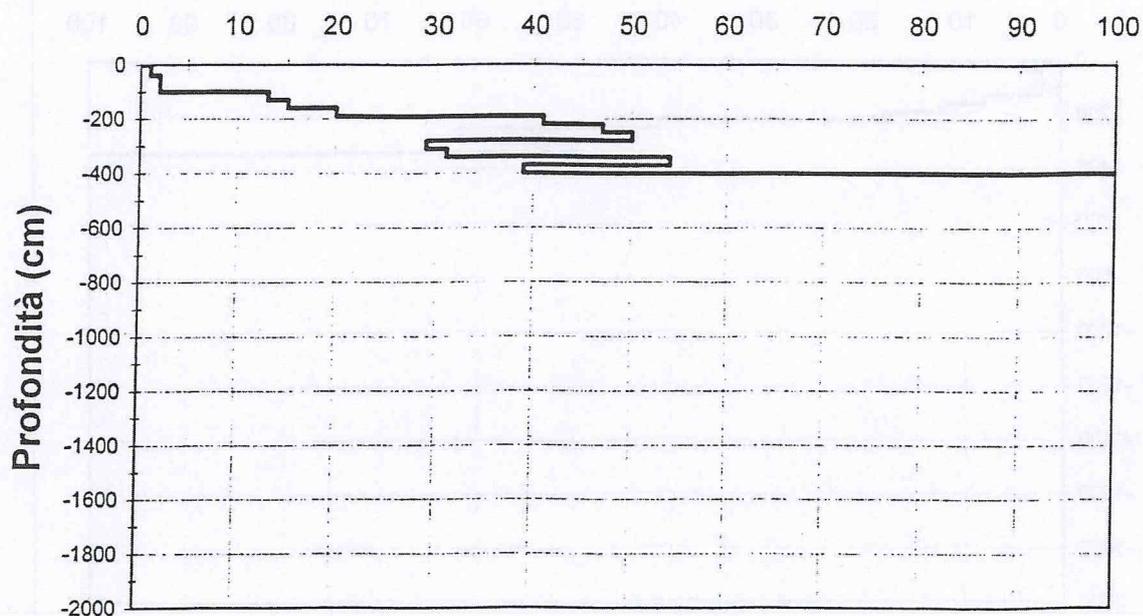
Prova n° 2B

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 72/100

Livello falda alla data di esecuzione: 2,40 m
piezometro installato.

Quota (cm)	N° colpi						
		520		1030		1540	
40	1	550		1060		1570	
70	2	580		1090		1600	
100	2	610		1120		1630	
130	13	640		1150		1660	
160	15	670		1180		1690	
190	20	700		1210		1720	
220	41	730		1240		1750	
250	47	760		1270		1780	
280	50	790		1300		1810	
310	29	820		1330		1840	
340	31	850		1360		1870	
370	54	880		1390		1900	
400	39	910		1420		1930	
430	100	940		1450		1960	
460		970		1480		1990	
490		1000		1510		2020	

Numero colpi N₃₀





Committente: Comune di Cantalupa
Località: Cantalupa (TO)

Cantiere: Scuola Reg. dello s
Data: 02/03/2004

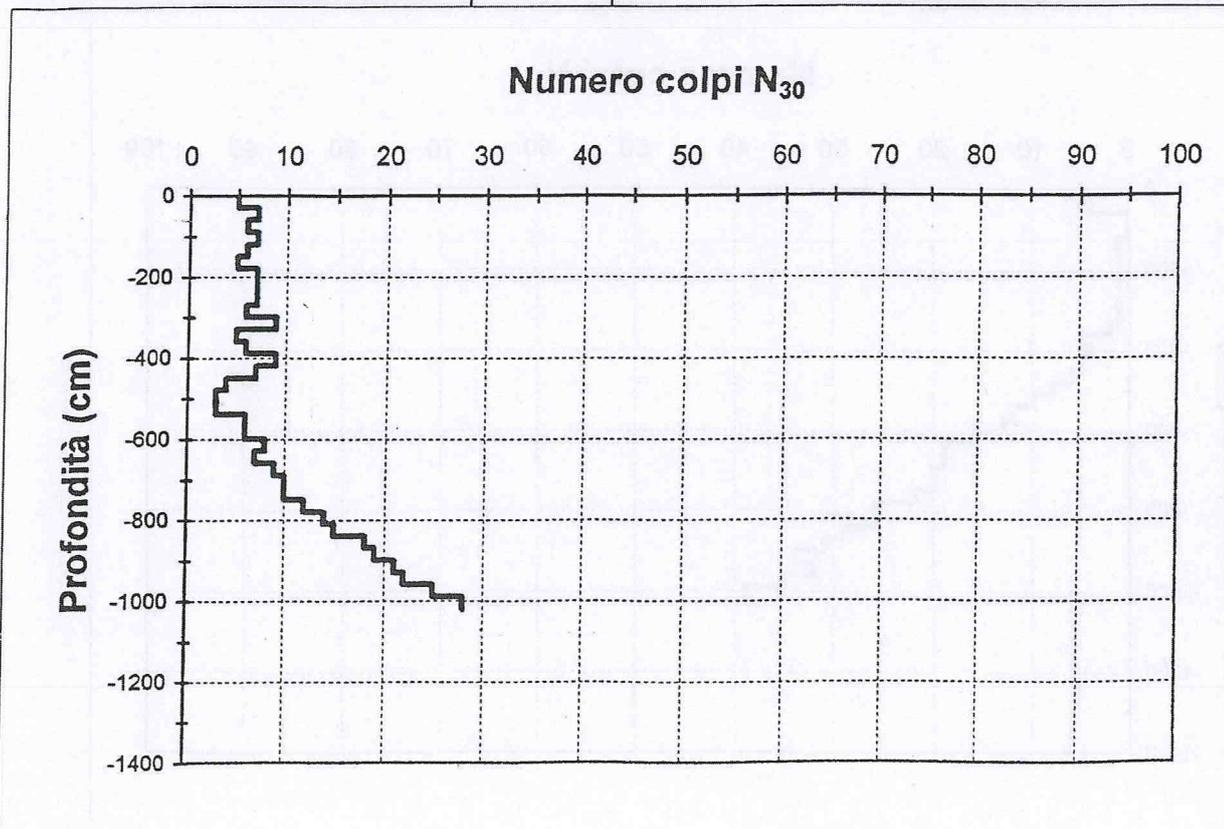
Prova n°1

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 73/100

Livello falda alla data di esecuzione:

Quota di riferimento:

Quota (cm)	N° colpi	Quota (cm)	N° colpi	Quota (cm)	N° colpi	Quota (cm)
		510	3	1020	28	1530
30	5	540	3	1050		1560
60	7	570	6	1080		1590
90	6	600	6	1110		1620
120	7	630	8	1140		1650
150	6	660	7	1170		1680
180	5	690	9	1200		1710
210	7	720	10	1230		1740
240	7	750	10	1260		1770
270	7	780	12	1290		1800
300	6	810	14	1320		1830
330	9	840	15	1350		1860
360	5	870	18	1380		1890
390	6	900	19	1410		1920
420	9	930	21	1440		1950
450	7	960	22	1470		1980
480	4	990	25	1500		2010





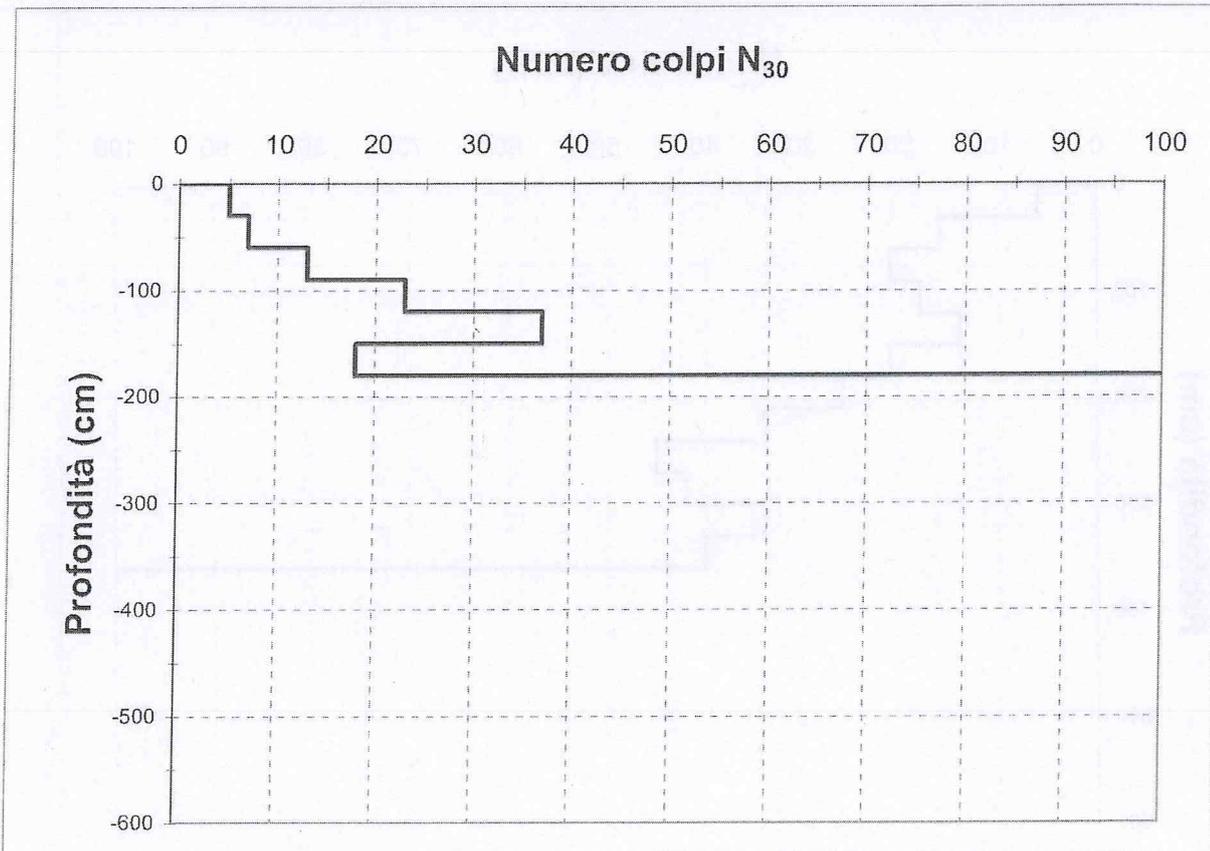
Committente: FITARCO
Località: Centro allenamento federale

Cantiere: Cantalupa (TO)
Data: 19/04/2007

Prova n°1
Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 73/100

Livello falda alla data di esecuzione:
Quota di riferimento: p.c.

Quota (cm)	N°colpi						
		510		1020		1530	
30	5	540		1050		1560	
60	7	570		1080		1590	
90	13	600		1110		1620	
120	23	630		1140		1650	
150	37	660		1170		1680	
180	18	690		1200		1710	
210	100	720		1230		1740	
240		750		1260		1770	
270		780		1290		1800	
300		810		1320		1830	
330		840		1350		1860	
360		870		1380		1890	
390		900		1410		1920	
420		930		1440		1950	
450		960		1470		1980	
480		990		1500		2010	



Sondeco

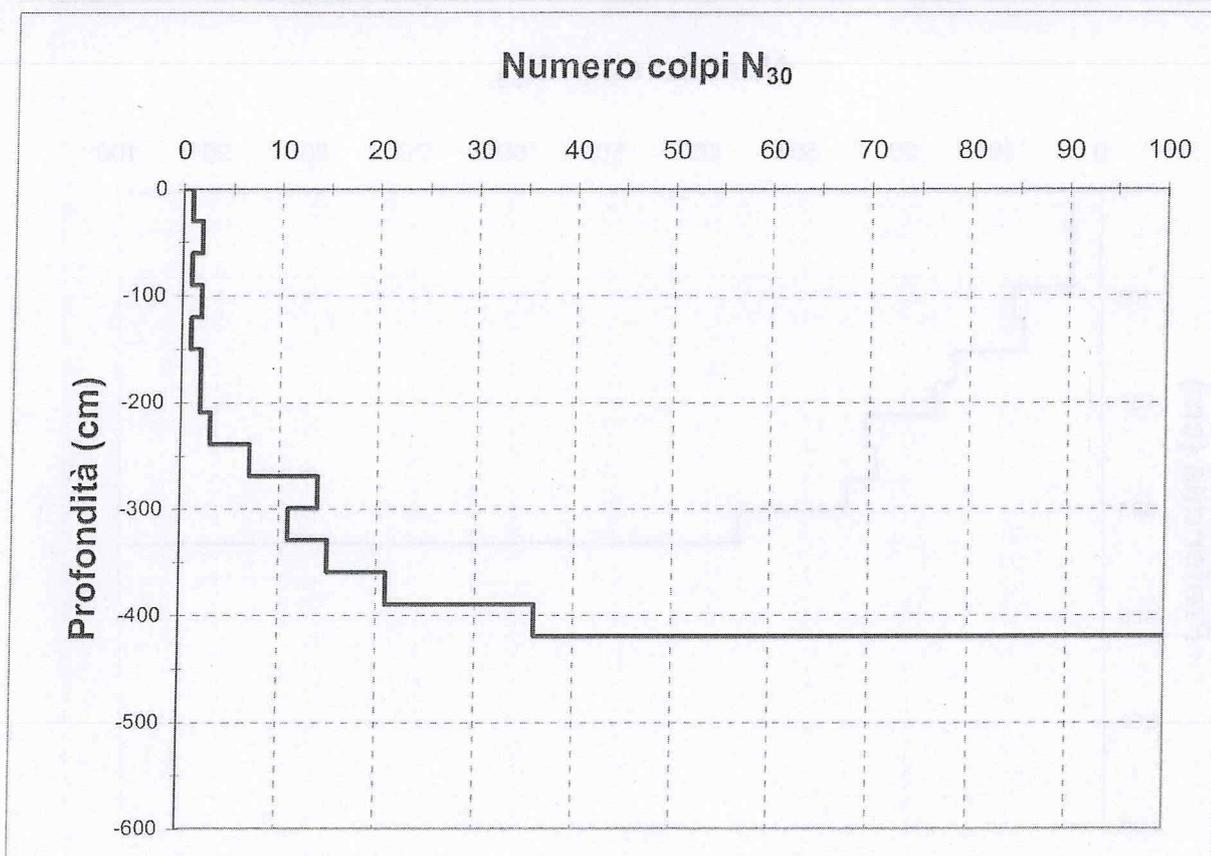
**Committente: FITARCO****Cantiere: Cantalupa (TO)****Località: Centro allenamento federale****Data: 19/04/2007****Prova n°3**

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 73/100

Livello falda alla data di esecuzione:

Quota di riferimento: p.c.

Quota (cm)	N° colpi						
		510		1020		1530	
30	1	540		1050		1560	
60	2	570		1080		1590	
90	1	600		1110		1620	
120	2	630		1140		1650	
150	1	660		1170		1680	
180	2	690		1200		1710	
210	2	720		1230		1740	
240	3	750		1260		1770	
270	7	780		1290		1800	
300	14	810		1320		1830	
330	11	840		1350		1860	
360	15	870		1380		1890	
390	21	900		1410		1920	
420	36	930		1440		1950	
450	100	960		1470		1980	
480		990		1500		2010	



Sondeco

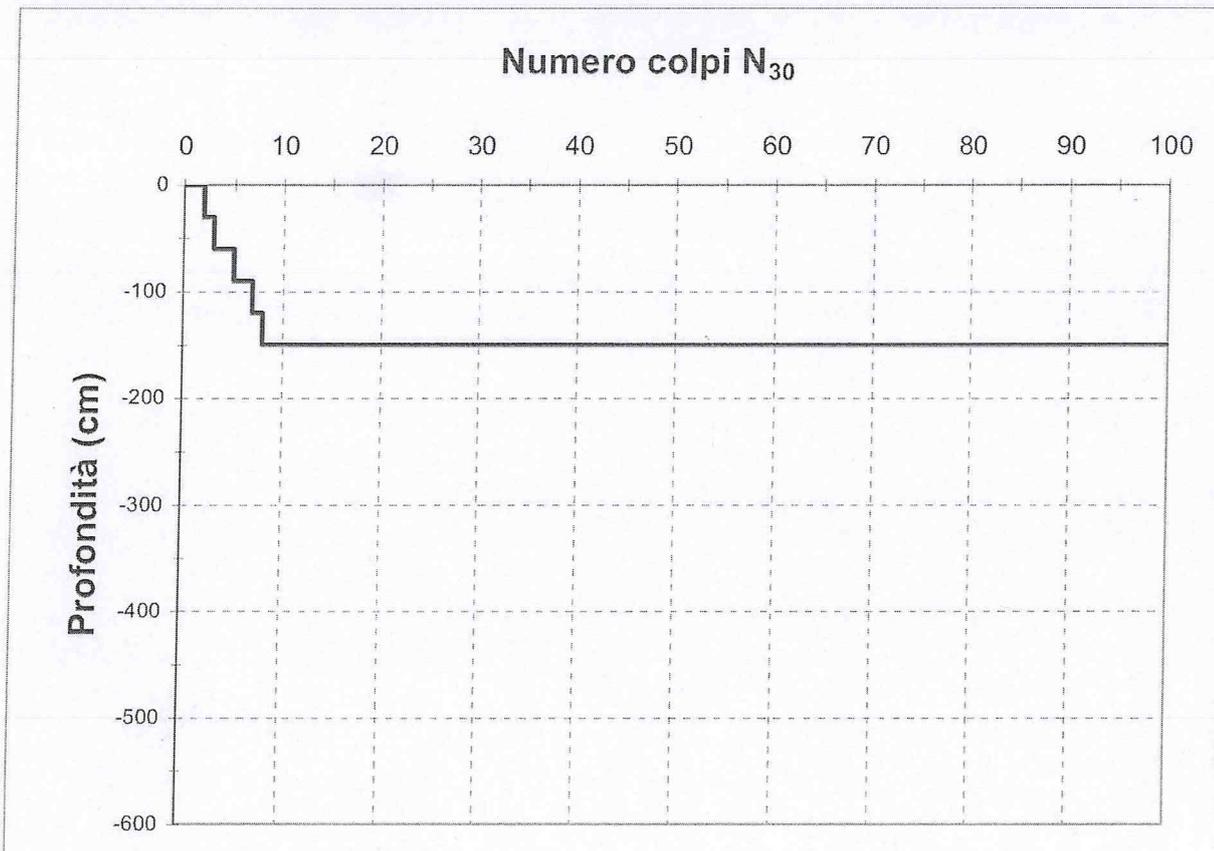
**Committente: FITARCO****Cantiere: Cantalupa (TO)****Località: Centro allenamento federale****Data: 19/04/2007****Prova n°5**

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 73/100

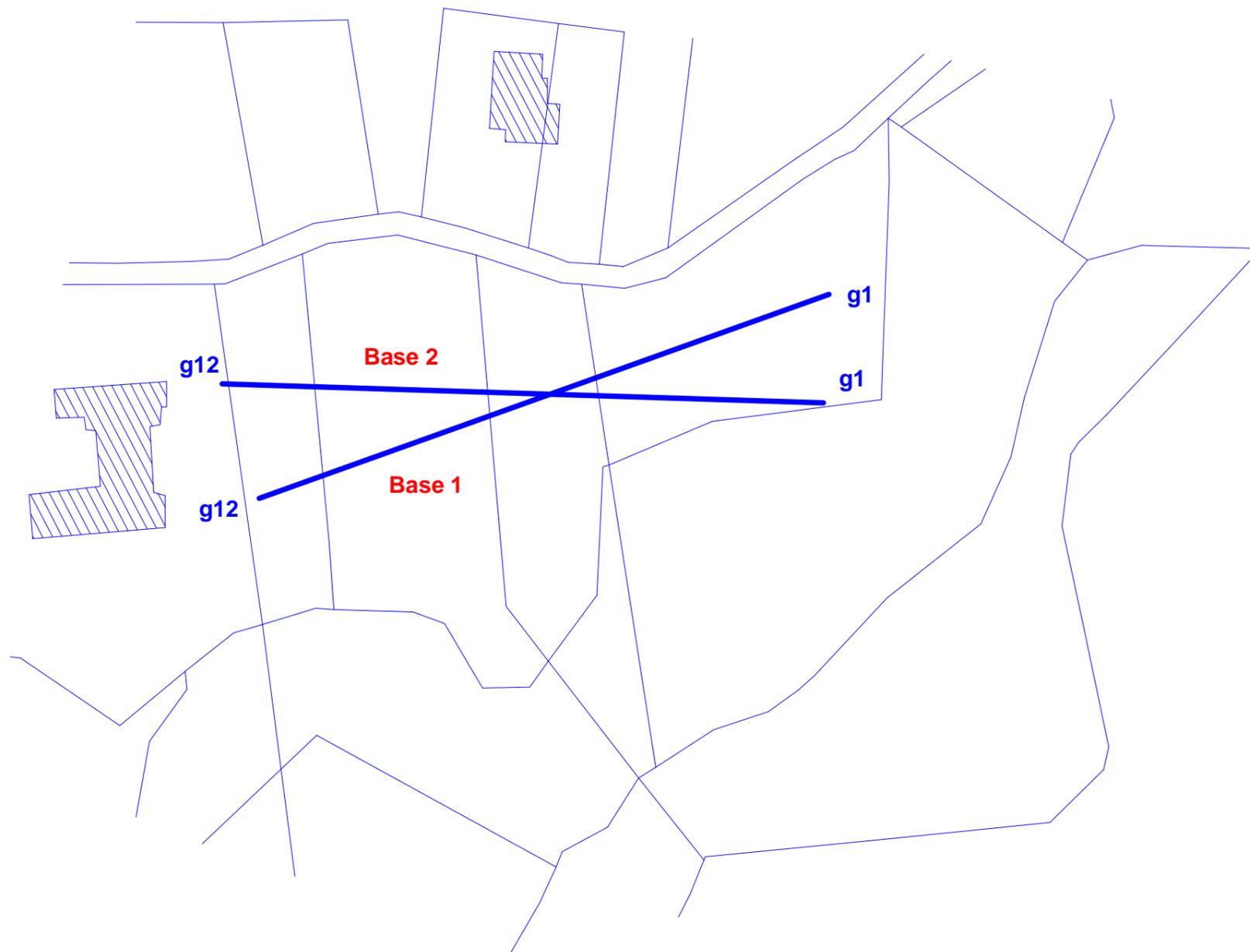
Livello falda alla data di esecuzione:

Quota di riferimento: p.c.

Quota (cm)	N° colpi						
		510		1020		1530	
30	2	540		1050		1560	
60	3	570		1080		1590	
90	5	600		1110		1620	
120	7	630		1140		1650	
150	8	660		1170		1680	
180	100	690		1200		1710	
210		720		1230		1740	
240		750		1260		1770	
270		780		1290		1800	
300		810		1320		1830	
330		840		1350		1860	
360		870		1380		1890	
390		900		1410		1920	
420		930		1440		1950	
450		960		1470		1980	
480		990		1500		2010	



APPENDICE 02
INDAGINI GEOFISICHE DI RIFERIMENTO



LEGENDA

Base 1 **g12**

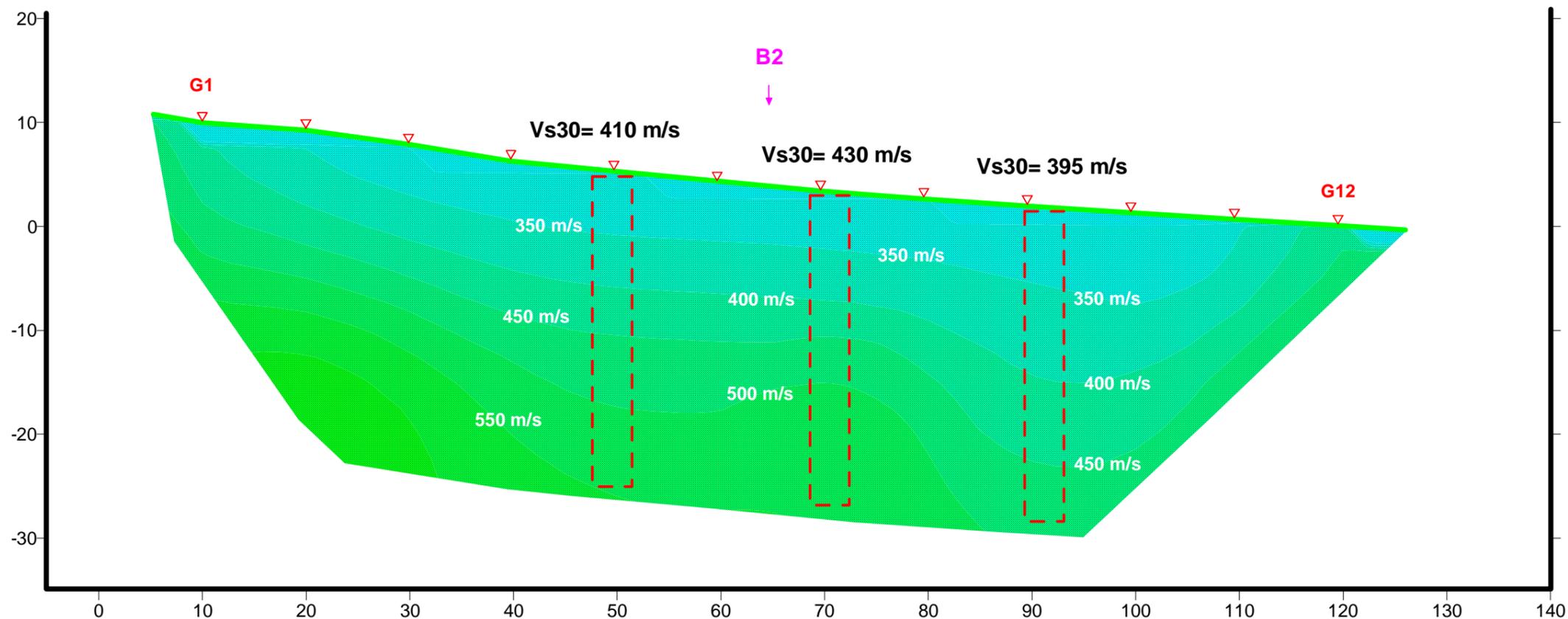
g1

Ubicazione della stesa sismica
nome, orientazione geofoni SH

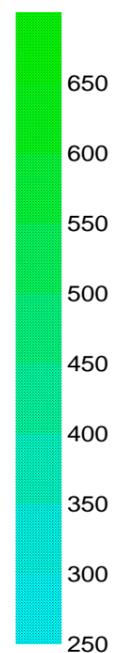
Scala 1 : 100

INDAGINE GEOFISICA		
Comune di Cantalupa (To)		
Variante P.E.C. area PR 3.1		
Area di Prossima edificazione		
Ubicazione delle sezioni		
All.1	Marzo 2007	 CIS Geofisica s.r.l.

Elaborazione tomografica in onde S - Base 1



Velocità sismiche misurate



Scala delle velocità sismiche ONDE S in m/s

LEGENDA

G1 G12 Posizione geofoni

Superficie topografica

Deposito non consolidato

INDAGINE GEOFISICA

Comune di Cantalupa (To)

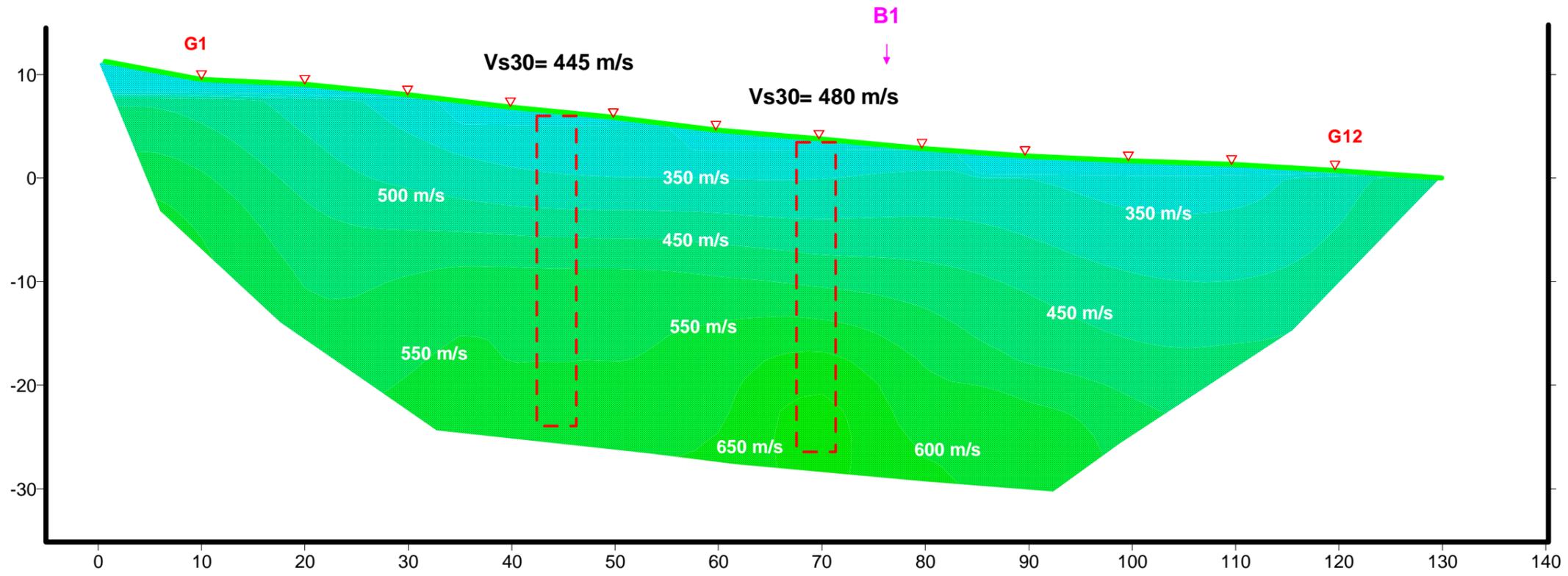
Variante P.E.C. area PR 3.1

Area di Prossima edificazione

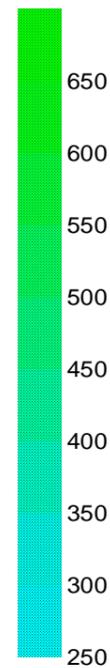
Microzonazione Sismica

All.2/a	Marzo 2007	 CIS Geofisica s.r.l.
---------	------------	--

Elaborazione tomografica in onde S - Base 2



Velocità sismiche misurate



Scala delle velocità sismiche ONDE S in m/s

LEGENDA

G1 G12 Posizione geofoni

Superficie topografica

Deposito non consolidato

INDAGINE GEOFISICA

Comune di Cantalupa (To)

Variante P.E.C. area PR 3.1

Area di Prossima edificazione

Microzonazione Sismica

All.2/b	Marzo 2007	 CIS Geofisica s.r.l.
---------	------------	--

Geoalpi Consulting

Ampliamento area cimiteriale Cantalupa (TO)

Prove geotecniche di laboratorio

2011_r01

B					
A					
Ø	08/01/2015	Dott. G. Zanotto 	Dott. R. Tomai 	Ing. A. Morino 	Emissione
REV	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE	DESCRIZIONE

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E SEDIMENTAZIONE (AEROMETRIA)

Rapporto di prova n. **R868/2011** Data emissione: **08/01/2015** Archivio n. **2011**

Committente: **Geoalpi Consulting**

Lavoro: **Ampliamento area cimiteriale - Cantalupa (TO)**
Prove geotecniche di laboratorio

IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE

Apparecchiatura e strumentazione utilizzata

Sondaggio: pozzetto espl. N°1	Codice provino: \	Serie unificata di setacci ISO 3310	<input type="checkbox"/>
Campione: C1	Ricevuto il: 18/12/14	Forno elettrico	<input type="checkbox"/>
Profondità (m): 1,00	Aperto il: 22/12/14	Bilancia digitale	<input type="checkbox"/>
Tipo di terreno (AGI): LIMO CON SABBIA DEBOLMENTE GHIAIOSO ARGILLOSO		Set di cilindri graduati per aerometrie e densimetro	<input type="checkbox"/>
Data esecuzione prova: 23/12/14		Termometro digitale	<input type="checkbox"/>

Riferimenti normativi: **UNI CEN ISO/TS 17892-4; RACCOMANDAZIONI AGI 1994**

TABELLE DATI DI PROVA

ANALISI CON I SETACCI: Peso secco terreno analizzato (g): 1116,0

Apertura maglie (mm)	Peso inerte trattenuto (g)	Parziali Trattenuti (%)	Totale Trattenuti (%)	Totale Passante (%)
100,0	0,0	0,00	0,00	100,00
90,0	0,0	0,00	0,00	100,00
75,0	0,0	0,00	0,00	100,00
63,0	0,0	0,00	0,00	100,00
50,0	0,0	0,00	0,00	100,00
37,5	0,0	0,00	0,00	100,00
25,0	0,0	0,00	0,00	100,00
19,0	0,0	0,00	0,00	100,00
12,5	4,7	0,42	0,42	99,58
9,50	5,5	0,50	0,92	99,08
4,75	24,9	2,23	3,15	96,85
2,00	65,0	5,82	8,98	91,02
0,425	136,0	12,18	21,16	78,84
0,180	111,1	9,96	31,11	68,89
0,063	136,8	12,26	43,37	56,63
fondo	632,0	56,63	100,00	-

PERCENTUALI FRAZIONI GRANULOMETRICHE:

Ciottoli (%): **0,0**
Ghiaia (%): **9,0**
Sabbia (%): **34,4**
Limo (%): **51,0**
Argilla (%): **5,6**

ANALISI CON L'AEROMETRO: Peso secco terreno analizzato (g): 50,00 Peso specifico granuli stimato (g/cm³): 2,70

tempo (min)	temp. °C	r	R'=R+Cm	R''=R'+Ct+Cd	Hr (cm)	D (mm)	%pass. parz.	%pass. totale
0,5	16,0	1,0345	35,000	30,000	7,781	0,0557	95,29	53,96
1	16,0	1,0320	32,500	27,500	8,381	0,0409	87,35	49,47
2	16,0	1,0290	29,500	24,500	9,101	0,0301	77,82	44,07
4	16,0	1,0250	25,500	20,500	10,061	0,0224	65,12	36,88
8	16,5	1,0205	21,000	16,125	11,141	0,0166	51,22	29,01
15	16,5	1,0160	16,500	11,625	12,221	0,0127	36,93	20,91
30	16,5	1,0140	14,500	9,625	12,701	0,0091	30,57	17,31
60	17,0	1,0115	12,000	7,250	13,301	0,0066	23,03	13,04
120	17,0	1,0100	10,500	5,750	13,661	0,0047	18,26	10,34
240	18,0	1,0080	8,500	4,000	14,141	0,0033	12,71	7,20
480	18,5	1,0070	7,500	3,125	14,381	0,0024	9,93	5,62
1440	20,0	1,0060	6,500	2,500	14,621	0,0014	7,94	4,50

NOTE/VARIAZIONI/AGGIUNTE/ESCLUSIONI EVENTUALMENTE NON NORMALIZZATE:

Lo sperimentatore (Dr. Gabriele Zanotto):

Il direttore del laboratorio (Dr. Romualdo Tomai):

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E SEDIMENTAZIONE (AEROMETRIA)

Rapporto di prova n. **R868/2011** Data emissione: **08/01/2015** Archivio n. **2011**
 Committente: **Geoalpi Consulting**
 Lavoro: **Ampliamento area cimiteriale - Cantalupa (TO)**
Prove geotecniche di laboratorio

IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE

Sondaggio: **pozzetto espl. N°1** Codice provino: ****
 Campione: **C1** Ricevuto il: **18/12/14**
 Profondità (m): **1,00** Aperto il: **22/12/14**
 Tipo di terreno (AGI): **LIMO CON SABBIA DEBOLMENTE GHIAIOSO ARGILLOSO**
 Data esecuzione prova: **23/12/14**

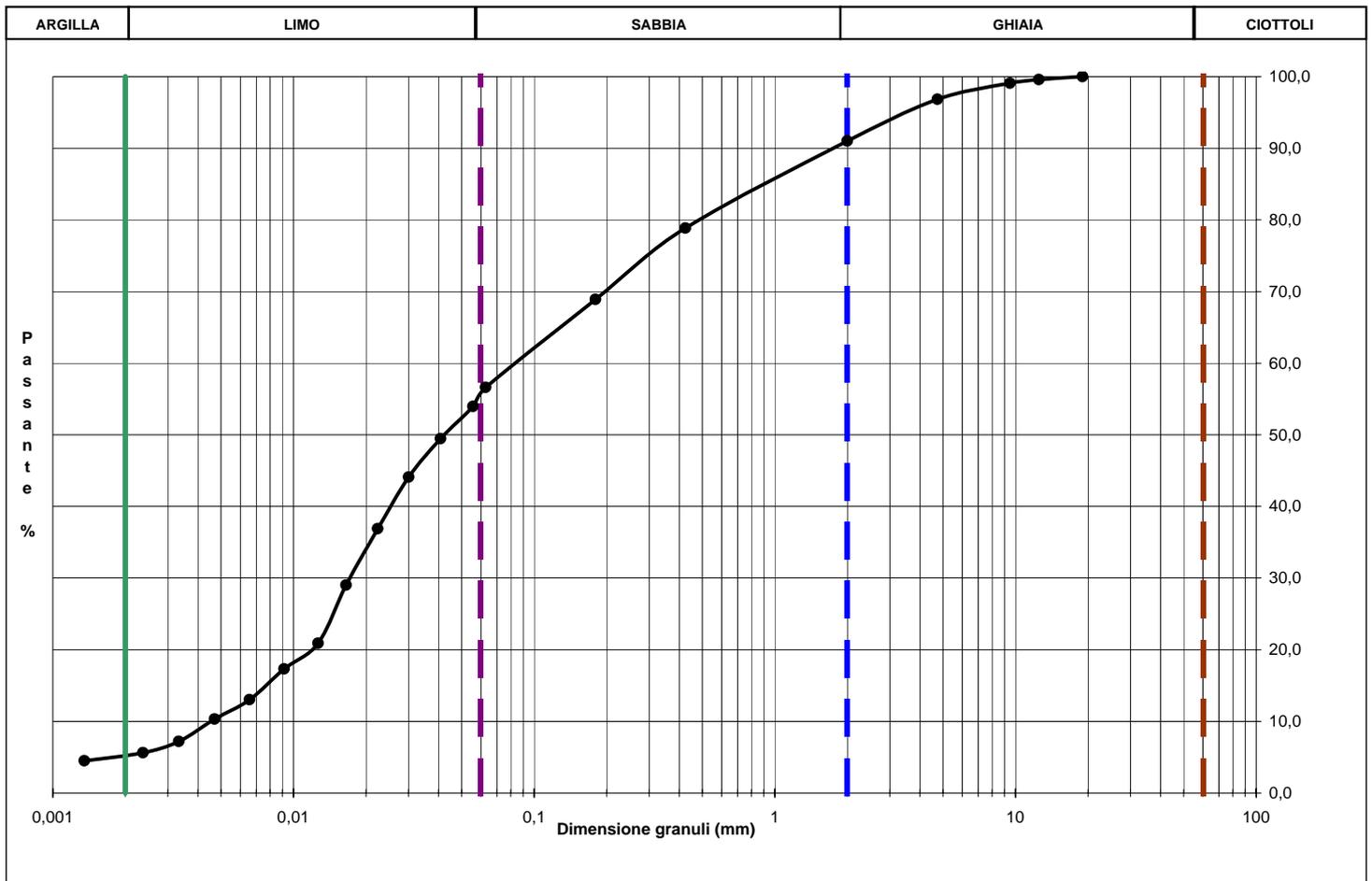
Apparecchiatura e strumentazione utilizzata

Serie unificata di setacci ISO 3310
 Forno elettrico
 Bilancia digitale
 Set di cilindri graduati per aerometrie e densimetro
 Termometro digitale

Riferimenti normativi:

UNI CEN ISO/TS 17892-4; RACCOMANDAZIONI AGI 1994

CURVA GRANULOMETRICA



NOTE/VARIAZIONI/AGGIUNTE/ESCLUSIONI EVENTUALMENTE NON NORMALIZZATE:

Lo sperimentatore (Dr. Gabriele Zanotto):

Il direttore del laboratorio (Dr. Romualdo Tomai):

PROVA DI TAGLIO DIRETTO CON APPARECCHIO DI CASAGRANDE

Rapporto di prova n. **R869/2011** Data emissione: **08/01/15** Archivio n.: **2011**
 Committente: **Geoalpi Consulting**
 Lavoro: **Ampliamento area cimiteriale - Cantalupa (TO)**
Prove geotecniche di laboratorio

IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE		Apparecchiatura e strumentazione utilizzata	
Sondaggio: pozzetto espl. N°1	Codice provino: \	Macchina per taglio diretto con pesi asolati	<input type="checkbox"/>
Campione: C1	Ricevuto il: 18/12/14	Anelli dinamometrici	<input type="checkbox"/>
Profondità (m): 1,00	Aperto il: 22/12/14	Comparatori analogici 0,01 mm	<input type="checkbox"/>
Tipo di terreno (AGI): LIMO CON SABBIA DEBOLMENTE GHIAIOSO ARGILLOSO		Set di pietre porose	<input type="checkbox"/>
Data esecuzione prova: 29/12/14		Bilancia con 0,01 g di accuratezza	<input type="checkbox"/>

Riferimenti normativi: **UNI CEN ISO/TS 17892-10**

CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO E CARATTERISTICHE DEI PROVINI

PROVINO	DIMENSIONI		DENSITA' UMIDA INIZIALE	DENSITA' UMIDA FINALE	DENSITA' SECCA FINALE	UMIDITA'	
	Diametro (mm)	Altezza (mm)	γ_i (kN/mc)	γ_f (kN/mc)	γ_{di} (kN/mc)	INIZIALE w_i	FINALE w_f
n°						(%)	
1	71,0	22,50	14,67	20,28	16,31	12,4	24,0
2	71,0	22,50	14,59	20,58	16,47	12,3	22,8
3	71,0	22,50	14,52	20,82	13,36	12,1	21,9

FASE DI CONSOLIDAZIONE

PROVINO	CARICO VERTICALE	t_{100}	Sv 24 h	Svf	Sf	VELOCITA' DI PROVA
n°	σ'_{vn} (kPa)	(min)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm/min)
1	50	6,0	4,15	0,41	5,0	0,066
2	100	8,0	4,51	0,55	5,0	0,049
3	150	12,0	4,75	0,68	5,0	0,033

FASE DI ROTTURA

PROVINO	VALORI DI PICCO	
n°	τ (kPa)	Sh (mm)
1	25,62	5,00
2	58,37	5,80
3	83,71	6,90

Legenda :

t_{100} = tempo necessario per raggiungere il 100% della consolidazione primaria; Sv 24 h= cedimento verticale dopo 24 h di consolidazione; Svf = cedimento verticale durante la fase di rottura; Sf = avanzamento orizzontale stimato a rottura

NOTE/VARIAZIONI/AGGIUNTE/ESCLUSIONI EVENTUALMENTE NON NORMALIZZATE:

I provini sono stati ricostituiti a partire da materiale passante al setaccio 2 mm

Lo sperimentatore (Dr. Gabriele Zanotto):	Il direttore del laboratorio (Dr. Romualdo Tomai):
---	--

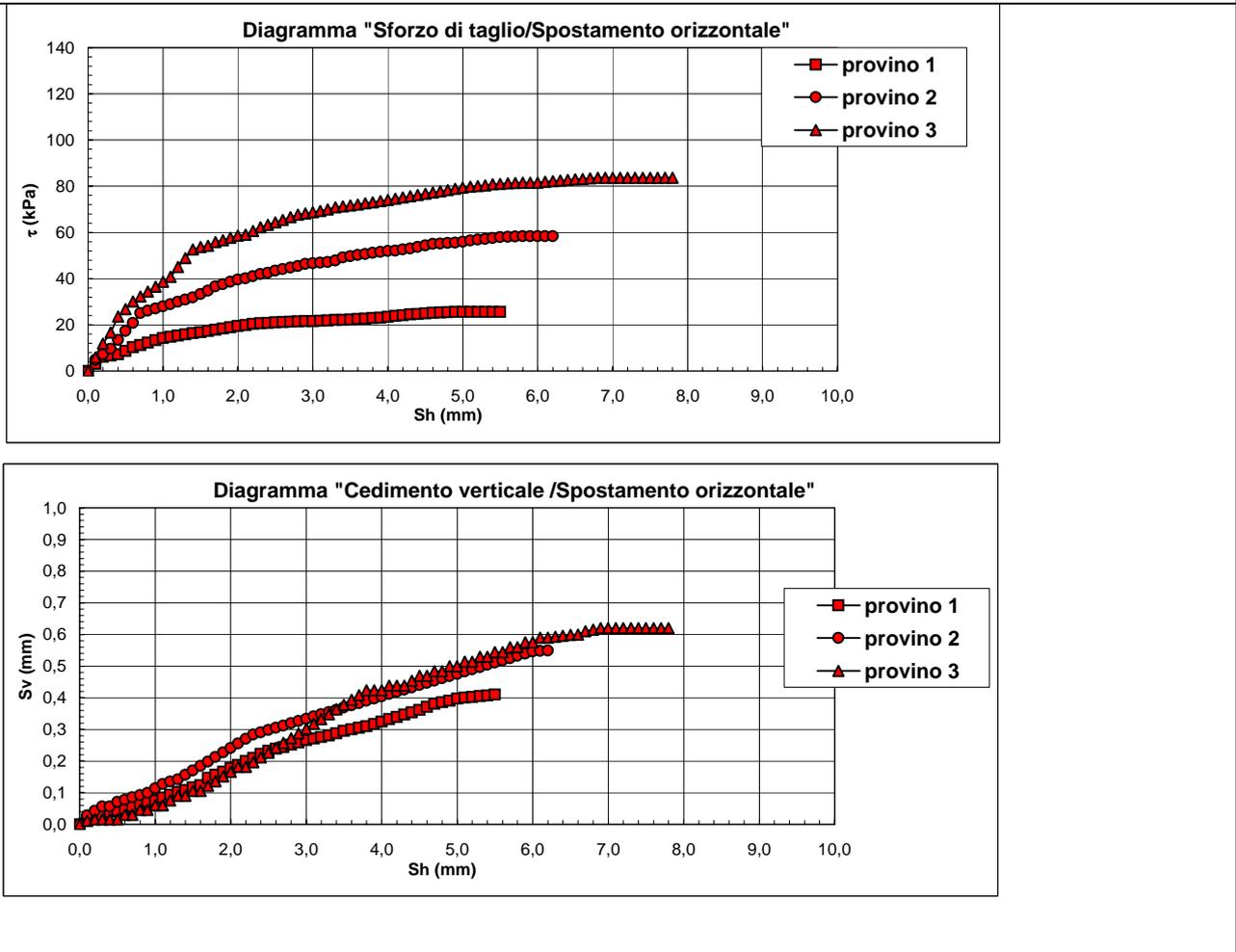
PROVA DI TAGLIO DIRETTO CON APPARECCHIO DI CASAGRANDE

Rapporto di prova n. **R869/2011** Data emissione: **08/01/15** Archivio n.: **2011**
 Committente: **Geoalpi Consulting**
 Lavoro: **Ampliamento area cimiteriale - Cantalupa (TO)**
Prove geotecniche di laboratorio

IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE		Apparecchiatura e strumentazione utilizzata	
Sondaggio:	pozzetto espl. N°1	Codice provino:	\
Campione:	C1	Ricevuto il:	18/12/14
Profondità (m):	1,00	Aperto il:	22/12/14
Tipo di terreno (AGI):	LIMO CON SABBIA DEBOLMENTE GHIAIOSO ARGILLOSO		
Data esecuzione prova:	29/12/14		

Riferimenti normativi: **UNI CEN ISO/TS 17892-10**

RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI RISULTATI OTTENUTI



NOTE/VARIAZIONI/AGGIUNTE/ESCLUSIONI EVENTUALMENTE NON NORMALIZZATE:

Lo sperimentatore (Dr. Gabriele Zanotto): _____ Il direttore del laboratorio (Dr. Romualdo Tomai): _____

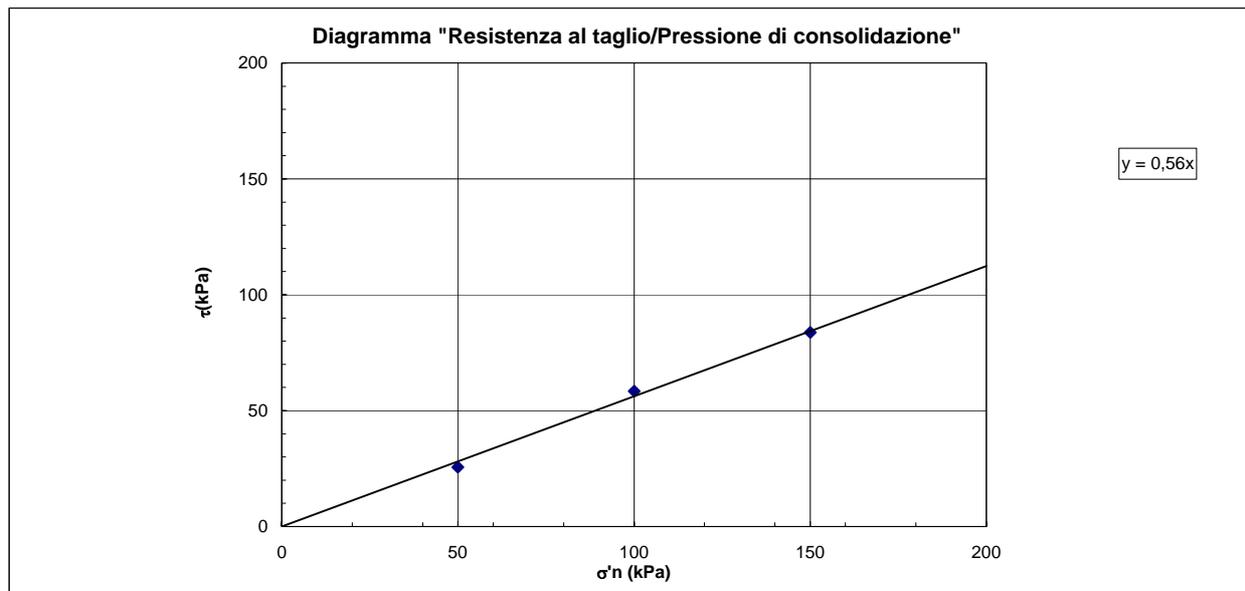
PROVA DI TAGLIO DIRETTO CON APPARECCHIO DI CASAGRANDE

Rapporto di prova n. **R869/2011** Data emissione: **08/01/15** Archivio n.: **2011**
 Committente: **Geoalpi Consulting**
 Lavoro: **Ampliamento area cimiteriale - Cantalupa (TO)**
Prove geotecniche di laboratorio

IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE		Apparecchiatura e strumentazione utilizzata	
Sondaggio: pozzetto espl. N°1	Codice provino: \	Macchina per taglio diretto con pesi asolati	<input type="checkbox"/>
Campione: C1	Ricevuto il: 18/12/14	Anelli dinamometrici	<input type="checkbox"/>
Profondità (m): 1,00	Aperto il: 22/12/14	Comparatori analogici 0,01 mm	<input type="checkbox"/>
Tipo di terreno (AGI): LIMO CON SABBIA DEBOLMENTE GHIAIOSO ARGILLOSO		Set di pietre porose	<input type="checkbox"/>
Data esecuzione prova: 29/12/14		Bilancia con 0,01 g di accuratezza	<input type="checkbox"/>

Riferimenti normativi: **UNI CEN ISO/TS 17892-10**

INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI



Angolo di resistenza al taglio (ϕ):	29,2 °
Coesione (c'):	0,0 kPa

NOTE/VARIAZIONI/AGGIUNTE/ESCLUSIONI EVENTUALMENTE NON NORMALIZZATE:

Lo sperimentatore (Dr. Gabriele Zanotto):

Il direttore del laboratorio (Dr. Romualdo Tomai):

APPENDICE 04
INDAGINI GEOGNOSTICHE EFFETTUATE
PROVE PENETROMETRICHE

Certificato n° 405 del 31/12/2014



COMUNE DI CANTALUPA

CANTIERE: CIMITERO COMUNALE
VIA MONASTERO - CANTALUPA (TO)

INDAGINE GEOGNOSTICA

Note tecnico – esecutive

Rev.	Data	Redazione	Verifica	Approvazione	Descrizione
∅	31/12/2014	dott. Stellato S. 	dott. geol. Mosso E. 	dott. geol. Chiesa G. 	Prima Emissione

Sondeco S.r.l. – Strada della Commenda 11 – 10149 Torino – Tel/Fax 011.7393610
sondeco@tiscali.it - sondeco@pec.it - www.sondeco.it
C.F. e P. IVA 06855970015 – CCIAA TO 818733 – Cap. Soc. € 16.640,00 i.v.

Certificato n° 405 del 31/12/2014

Comune di Cantalupa

INDAGINE GEOGNOSTICA

Cimitero Comunale - Via Monastero - Cantalupa (TO)

Su incarico dell'Amministrazione Comunale è stata eseguita nella giornata del 15 dicembre 2014 una indagine geognostica costituita da n° 3 prove penetrometriche dinamiche (SCPT) presso il Cimitero Comunale sito in via Monastero, nel territorio comunale di Cantalupa (TO).

L'indagine aveva lo scopo di verificare l'assetto litostratigrafico e le caratteristiche geotecniche dei materiali presenti in corrispondenza all'area di progetto di nuovi edifici funerari.

Per l'esecuzione dell'indagine si è utilizzato un penetrometro dinamico superpesante (DPSH - "Meardi - AGI") tipo Pagani modello TG 63/100, semovente, avente le seguenti caratteristiche standard:

CARATTERISTICHE TECNICHE PENETROMETRO DINAMICO "PAGANI 63/100"	
Peso massa battente	73 kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base della punta	20,43 cm ²
Angolo di apertura della punta	60°
Lunghezza delle aste	1,00 m
Peso di 1 asta	6.31 Kg/m
Avanzamento punta	0,30 m
Numero colpi	N ₍₃₀₎
Norma di riferimento	A.G.I. 1977

Tabella 1

Certificato n° 405 del 31/12/2014

Le verticali penetrometriche, denominate *P1*, *P2* e *P3*, sono state spinte fino alla profondità di rifiuto alla penetrazione o fino alla profondità massima di m 5.10 dal piano campagna.

La **Tabella 2** seguente riporta le profondità raggiunte per ciascuna prova:

Prova n°	Profondità da p.c. (m)
P1	2.70 (Rifiuto)
P2	3.00 (Rifiuto)
P3	5.10

Tabella 2

La verticale P3 è stata successivamente completata con la posa in opera di un tubo piezometrico $\varnothing \frac{1}{2}$ ", fenestrato fino a fondo foro. Il livello piezometrico statico rilevato alla data di esecuzione della prova è riportato nel relativo tabulato.

Si trasmettono in allegato i risultati ed i diagrammi delle prove.

Certificato n° 405 del 31/12/2014

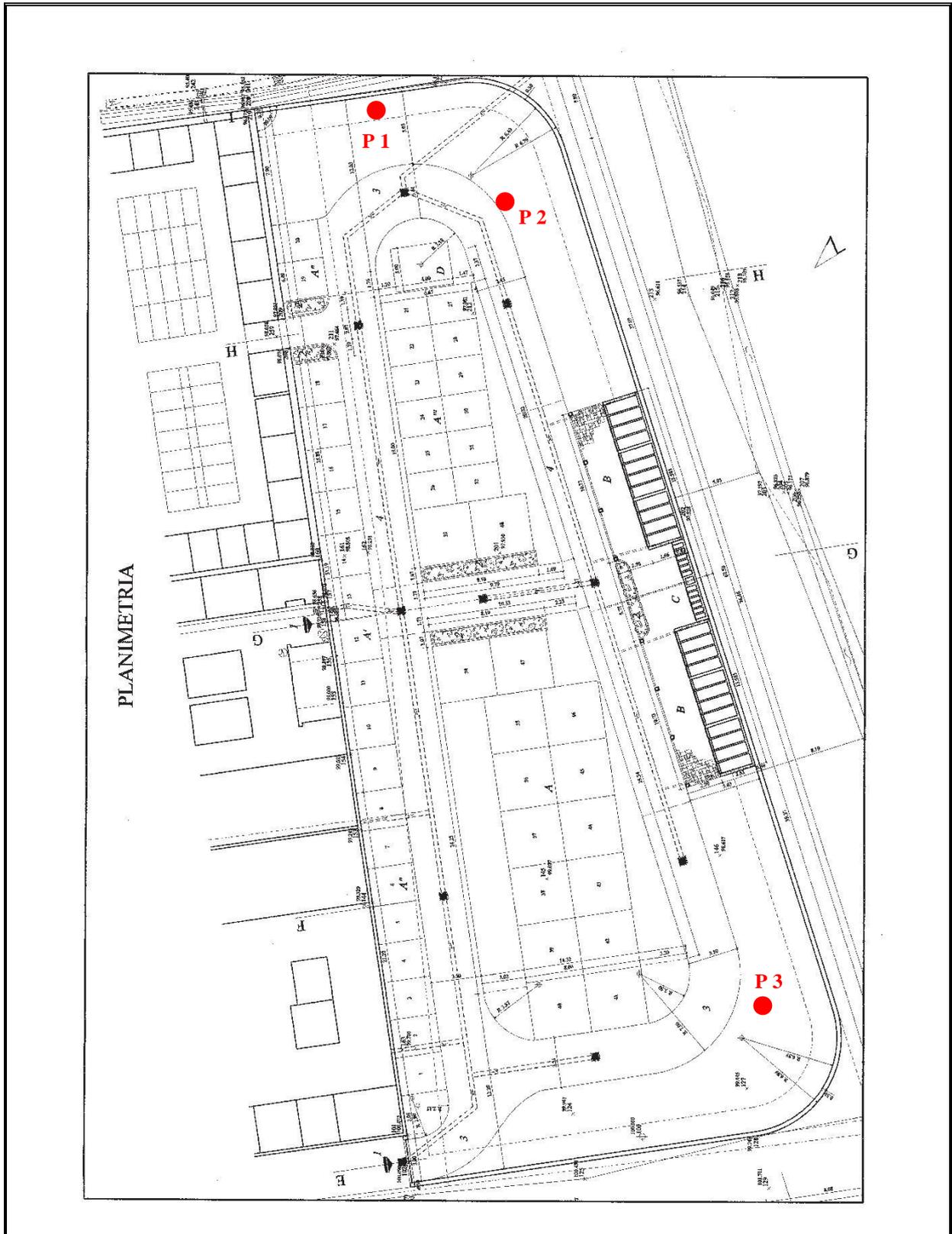


Fig. 1: Ubicazione delle indagini eseguite (in rosso).

Certificato n° 405 del 31/12/2014

**Allegato
penetrometrico**

Certificato n° 405 del 31/12/2014



Committente: Comune di Cantalupa
Località: Cantalupa (TO)
Cantiere: Cimitero Comunale - Via Monastero
Data: 15/12/14

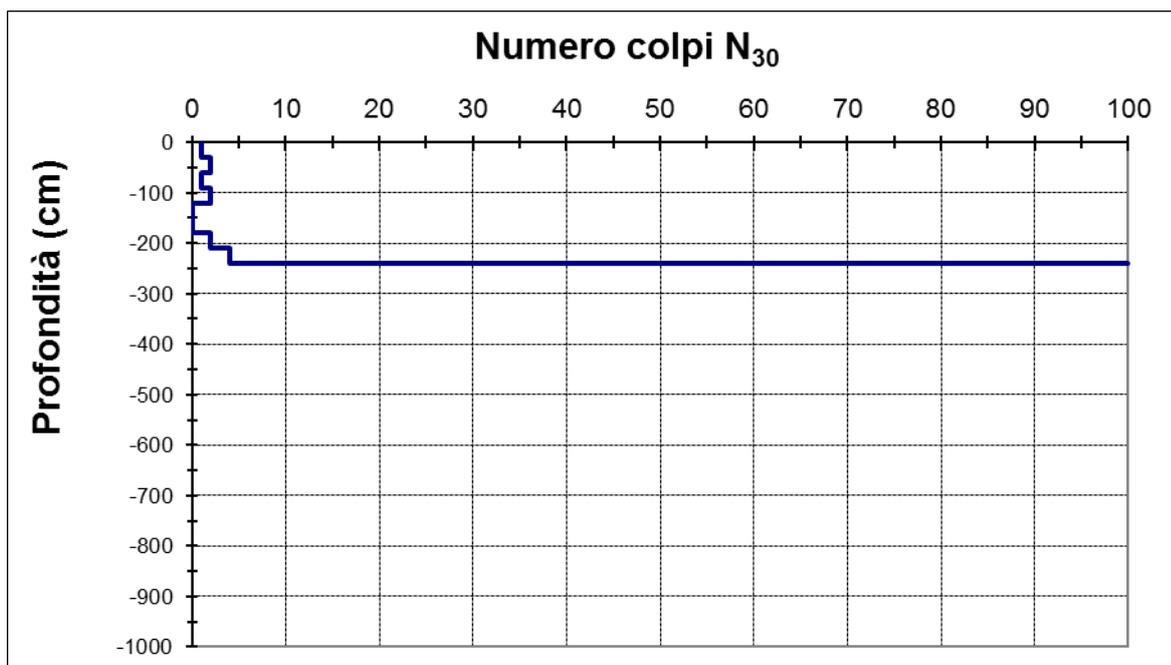
Prova n° 1

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 63/100

Livello falda alla data di esecuzione: non rilevata

Quota di riferimento: p.c.

Quota (cm)	N° colpi						
		510		1020		1530	
30	1	540		1050		1560	
60	2	570		1080		1590	
90	1	600		1110		1620	
120	2	630		1140		1650	
150	0	660		1170		1680	
180	0	690		1200		1710	
210	2	720		1230		1740	
240	4	750		1260		1770	
270	R	780		1290		1800	
300		810		1320		1830	
330		840		1350		1860	
360		870		1380		1890	
390		900		1410		1920	
420		930		1440		1950	
450		960		1470		1980	
480		990		1500		2010	



Certificato n° 405 del 31/12/2014



Committente: Comune di Cantalupa
Località: Cantalupa (TO)
Cantiere: Cimitero Comunale - Via Monastero
Data: 15/12/14

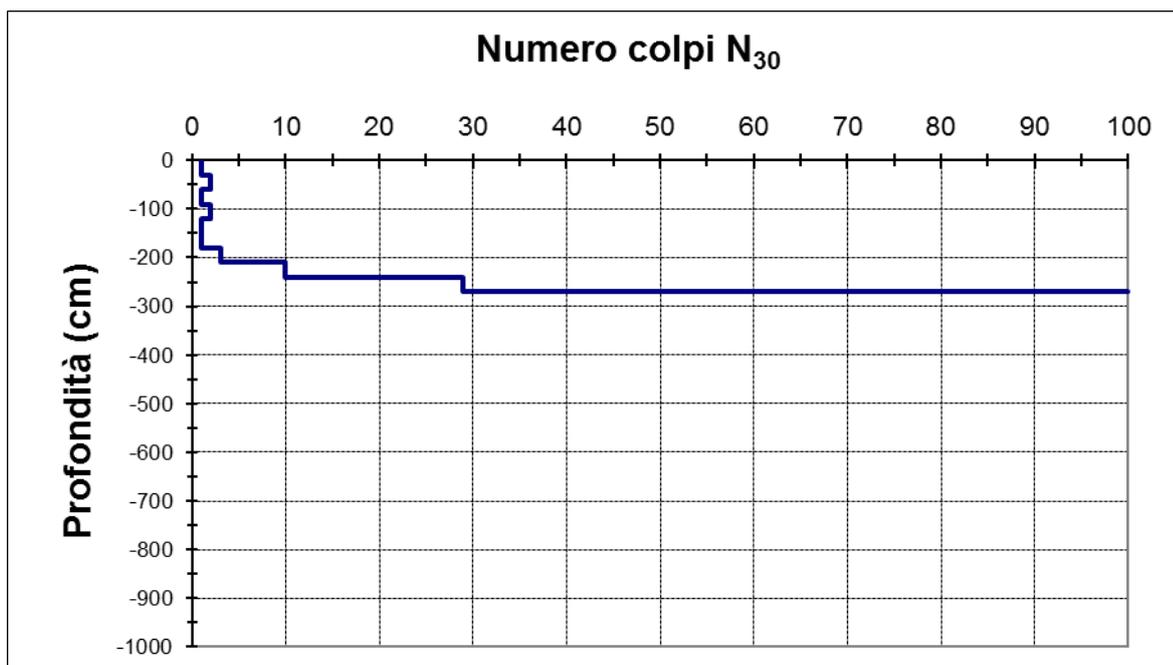
Prova n° 2

Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 63/100

Livello falda alla data di esecuzione: non rilevata

Quota di riferimento: p.c.

Quota (cm)	N° colpi						
		510		1020		1530	
30	1	540		1050		1560	
60	2	570		1080		1590	
90	1	600		1110		1620	
120	2	630		1140		1650	
150	1	660		1170		1680	
180	1	690		1200		1710	
210	3	720		1230		1740	
240	10	750		1260		1770	
270	29	780		1290		1800	
300	R	810		1320		1830	
330		840		1350		1860	
360		870		1380		1890	
390		900		1410		1920	
420		930		1440		1950	
450		960		1470		1980	
480		990		1500		2010	



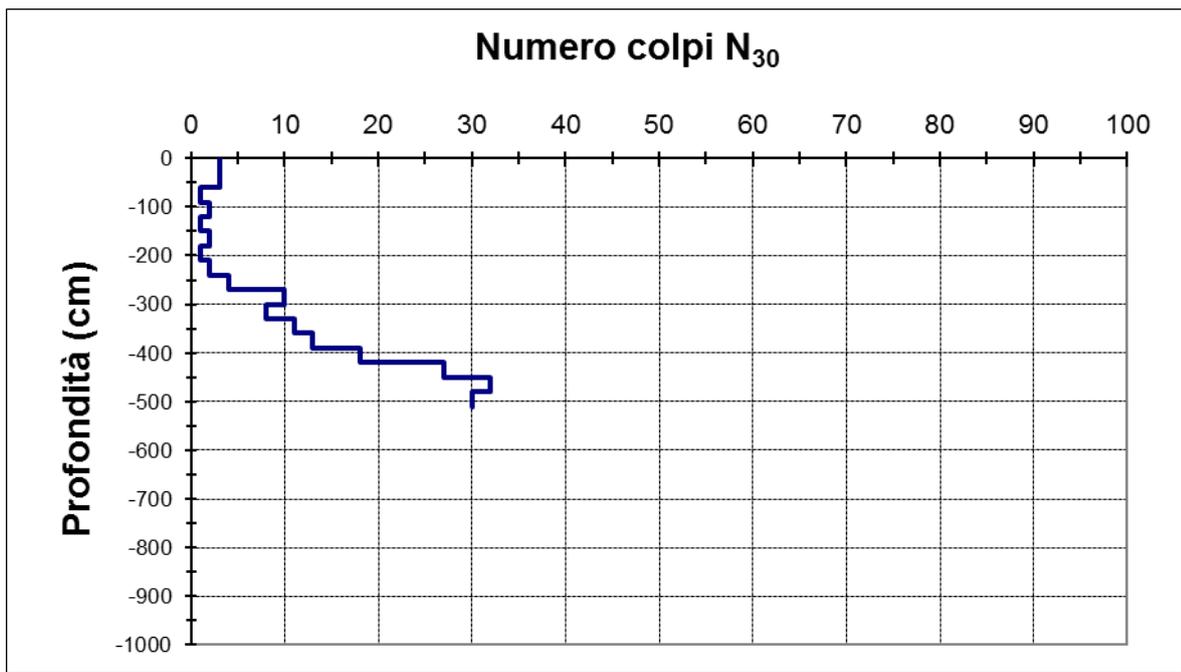
Certificato n° 405 del 31/12/2014



Committente: Comune di Cantalupa
Località: Cantalupa (TO)
Cantiere: Cimitero Comunale - Via Monastero
Data: 15/12/14

Prova n° 3 Penetrometro dinamico tipo Pagani Tg 63/100	Livello falda alla data di esecuzione: m -1,70 da p.c. Quota di riferimento: p.c.
--	--

Quota (cm)	N° colpi						
		510	30	1020		1530	
30	3	540		1050		1560	
60	3	570		1080		1590	
90	1	600		1110		1620	
120	2	630		1140		1650	
150	1	660		1170		1680	
180	2	690		1200		1710	
210	1	720		1230		1740	
240	2	750		1260		1770	
270	4	780		1290		1800	
300	10	810		1320		1830	
330	8	840		1350		1860	
360	11	870		1380		1890	
390	13	900		1410		1920	
420	18	930		1440		1950	
450	27	960		1470		1980	
480	32	990		1500		2010	



Certificato n° 405 del 31/12/2014

**Allegato
fotografico**

Certificato n° 405 del 31/12/2014



Foto 1: Posizionamento prova penetrometrica dinamica P1.



Foto 2: Posizionamento prova penetrometrica dinamica P2.

Certificato n° 405 del 31/12/2014



Foto 3: Posizionamento prova penetrometrica dinamica P3.

APPENDICE 05
INDAGINI GEOFISICHE EFFETTUATE
MASW E HVSR

Committente
Comune di Cantalupa

Sito di indagine:
Cimitero comunale



**Indagine sismica con metodologia MASW e misure di rumore sismico
ambientale finalizzate alla determinazione del parametro V_{s30}
per la classificazione sismica dei suoli**

Relazione Tecnica

Relazione n.: 2915/14
Redatto da: Dott. Geol. Emmanuele Duò
Controllato da: Dott. Geol. Mario Naldi
Data: Novembre 2014
Revisione: 0

1	INTRODUZIONE	1
2	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	1
3	UBICAZIONE INDAGINI E ACQUISIZIONE DATI	2
4	ELABORAZIONE DATI.....	3
5	RISULTATI DELLE PROVE MASW	3
5.1	NORMATIVA VIGENTE	3
5.2	PROFILO DI VELOCITA' E VALUTAZIONE DEL PARAMETRO Vs30	5
5.3	RISULTATI DELLE MISURE DI RUMORE SISMICO	5
5.3.1	Premessa	5
5.3.2	Rapporto spettrale H/V e frequenze di risonanza	6
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	7

ALLEGATO A	Certificato esito prova MASW
ALLEGATO B	Certificato prova HVSR
ALLEGATO C	Cenni sulla metodologia MASW
ALLEGATO D	Cenni sulla metodologia HVSR

1 INTRODUZIONE

La presente relazione illustra e descrive le indagini geofisiche di tipo sismico (MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves) realizzate nei pressi del comprensorio cimiteriale di Cantalupa dove sono previsti interventi edilizi di ampliamento.

Scopo dell'indagine è definire il parametro V_{s30} per la classificazione sismica dei suoli (in accordo al D.M. 14.01.2008 e successivi aggiornamenti).

Allo scopo di fornire informazioni di complemento alla misura di V_{s30} effettuata mediante metodologia MASW attiva, è stata eseguita a breve distanza dallo stesso sito una misura di rumore sismico ambientale (HVSr).

In quanto segue si illustrano i metodi utilizzati e si analizzano i risultati ottenuti i cui elaborati grafici sono contenuti negli allegati A e B.

2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'acquisizione dei dati sismici è stata realizzata con un sismografo a 24 canali dotato di un convertitore analogico/digitale a 24 bit (unità Daq Link III, Seismic Source Ltd.). Lo strumento è fornito di una connessione di rete standard 10/100 (base RJ45) per la comunicazione con un computer portatile su cui è installato un apposito programma (VibraScope® v.2.4.40) che gestisce la visualizzazione, l'analisi e la memorizzazione delle forme d'onda registrate.

I geofoni utilizzati (Weihai Sunfull) possiedono una frequenza di risonanza pari 4.5 Hz con distorsione inferiore allo 0.2%.

L'energizzazione si è ottenuta con massa battente da 10 Kg su piastra metallica. Per l'innesco (trigger) si è utilizzato uno "shock sensor" collegato alla mazza battente e connesso via cavo al sismografo.

Cenni relativi alla metodologia di indagine sono riportati in Allegato C.

L'acquisizione dei dati di rumore ambientale è stata effettuata con il sismometro SL06 prodotto da SARA Electronic Instruments. Lo strumento è costruito con 3 sensori (velocimetri da 2 Hz di frequenza naturale), un digitalizzatore a 24 bit, un ricevitore GPS ed un'unità di calcolo/datalogger.

Lo strumento utilizzato è in grado di riprodurre fedelmente il segnale in arrivo (ossia mantiene una risposta costante per tutte le frequenze contenute nel segnale in arrivo) come evidenziato nel Technical Report n°26 "Test of seismic recorders with 4,5 Hz sensors: GBV 316 from GeoSig and SL07 from SARA" del Norwegian National Seismic Network e certificato nel documento del costruttore "Noise performance of the SADC20 A/D Converter".

Cenni relativi alla metodologia di indagine sono riportati in Allegato D.

3 UBICAZIONE INDAGINI E ACQUISIZIONE DATI

L'indagine ha previsto la realizzazione di una prova MASW che, compatibilmente con gli spazi disponibili in sito, è stata posizionata lungo il perimetro nord-occidentale dell'area cimiteriale (ubicazione riportata in Allegato A – pag. 1). Lo stendimento è stato realizzato posizionando 24 geofoni a 4.5 Hz equispaziati di 2 m, per un totale di 46 m lineari di stendimento.

Per l'acquisizione dei dati si sono individuati 5 punti di energizzazione; tali punti sono stati ubicati ad una estremità dello stendimento, alla distanza massima di 20 metri dal primo geofono. Per ogni punto di energizzazione sono stati generati almeno 3 impulsi sismici.

Tabella 1 - Disposizione geometrica ottimale su linea MASW in relazione alla profondità di indagine

Depth (Z_{max}) ¹ (m)	Source (S) ² (lb)	Receiver (R) ³ (Hz)	Receiver Spread (RS) (m)			
			Length ⁴ (D)	Source Offset ⁵ (X ₁)	Receiver Spacing (dx)	
					24-ch*	48-ch
≤ 1.0	≤ 1 (1)**	4.5–100 (40)	1–3 (2.0)	0.2–3.0 (0.4)	0.05–0.1 (0.1)	0.02–0.05 (0.05)
1–5	1–5 (5)	4.5–40 (10)	1–15 (10)	0.2–15 (2)	0.05–0.6 (0.5)	0.02–0.3 (0.25)
5–10	5–10 (10)	≤ 10 (4.5)	5–30 (20)	1–30 (4)	0.2–1.2 (1.0)	0.1–0.6 (0.5)
10–20	≥ 10 (20)	≤ 10 (4.5)	10–60 (30)	2–60 (10)	0.4–2.5 (1.5)	0.2–1.2 (1.0)
20–30	≥ 10 (20)	≤ 4.5 (4.5)	20–90 (50)	4–90 (10)	0.8–3.8 (2.0)	0.4–1.9 (1.5)
30–50	≥ 10 (20) or passive	≤ 4.5 (4.5)	30–150 (70)	6–150 (15)	1.2–6.0 (3.0)	0.6–3.0 (2.0)
> 50	≥ 10 (20) or passive	≤ 4.5 (4.5)	> 50 (150)	> 10 (30)	> 2.0 (6.0)	> 1.0 (4.0)

Le coordinate geografiche assolute del punto di riferimento dei profili di velocità delle onde di taglio sono:

DATUM: WGS84
PROIEZIONE: UTM
ZONA: 32T
EST: 368493.38
NORD: 4977381.39

Il sismografo SL06 per la misura di rumore sismico ambientale è stato posizionato a circa 25 metri di distanza (in direzione sud) dal centro degli stendimenti MASW, come si può osservare sullo schema planimetrico riportato in allegato A, pagina 1. Particolare attenzione è stata dedicata alla messa in bolla dello strumento onde evitare distorsioni nella risposta.

La registrazione di rumore sismico è iniziata alle ore 07:27 UTC (ore 08:27 locali) ed è terminata alle ore 08:30 circa. Si è utilizzata una frequenza di campionamento pari a 200Hz.

Le coordinate geografiche assolute (gradi, minuti, secondi) del punto di misura HVSR sono:

DATUM:	WGS84
PROIEZIONE:	UTM
ZONA:	32T
EST:	368480.70
NORD:	4977360.54

4 ELABORAZIONE DATI

I dati acquisiti sono stati elaborati con il software Surfseis V. 4.02 (Kansas University, USA), che analizza la curva di dispersione sperimentale per le onde di Rayleigh. L'inversione numerica della curva, secondo un processo iterativo ai minimi quadrati, consente di ottenere un profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo.

Le misure di rumore sismico a stazione singola sono state elaborate attraverso il software Geopsy (open source) nato durante il SESAME European Project e sviluppato da una collaborazione tra l'ISTerre di Grenoble (France), l'IGUP di Postdam (Germany) l'UNLV (Las Vegas, USA) e l'USGS (Nevada USA).

5 RISULTATI DELLE PROVE MASW

5.1 NORMATIVA VIGENTE

Secondo la normativa sismica vigente, rappresentata per il Piemonte dalla D.G.R. 12/12/2011, n. 4-3084 modificata secondo la D.G.R. 3/02/2012, n. 7-3340 e secondo la D.G.R. 21/05/2014, n. 65-7656, **il Comune di Cantalupa ricade in zona 3S.**

La normativa individua come parametro di riferimento per la classificazione sismica dei suoli la velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano

campagna (V_{s30}) e viene calcolato con la seguente formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità (in m/s) delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Nella Tabella 2, riportata nella pagina seguente, si presenta la classificazione sismica prevista dal Decreto Ministeriale del 14.01.2008 (T.U. costruzioni).

Tabella 2: Classificazione del tipo di suolo secondo la vigente normativa sismica italiana

Suolo	Descrizione geotecnica	V_{s30} (m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	>800
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).	360+800
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	180+360
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).	<180
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).	-
S1	Depositati di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < cu_{,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	<100
S2	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.	-

5.2 PROFILO DI VELOCITA' E VALUTAZIONE DEL PARAMETRO V_{s30}

Alla pagina 2 dell'Allegato A è illustrata la curva di dispersione risultante dall'elaborazione dei dati sismici acquisiti e il profilo sismico di velocità delle onde di taglio calcolato mediante l'inversione numerica. L'assetto sismo-stratigrafico è definito da:

1. un livello superficiale costituito da materiali sciolti, esteso fino a circa 5 m di profondità (V_s compresa tra 200 e 250 m/s);
2. un secondo sismostrato, compreso tra 5 e 10 metri di profondità, caratterizzato da materiali a rigidità media (V_s pari a circa 420 m/s);
3. un terzo sismostrato, esteso fino a circa 20 metri di profondità, costituito da materiali a rigidità medio-bassa (velocità delle onde di taglio compresa tra 300 e 330 m/s).
4. un sismostrato di fondo esteso oltre i 20 metri di profondità, caratterizzato da materiali a rigidità medio-elevata (velocità delle onde di taglio compresa tra 470 e 610 m/s)

Il valore di V_{s30} calcolato al piano campagna è pari a 361 m/s e consente di definire il contesto geotecnico esaminato come suolo di classe sismica "B".

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

5.3 RISULTATI DELLE MISURE DI RUMORE SISMICO

5.3.1 Premessa

Le misure di rumore sismico a stazione singola, effettuate in condizioni ottimali e secondo precise prescrizioni tecniche (vedi Allegato D), consentono di ottenere informazioni sulle frequenze di risonanza di sito, cioè i periodi propri di vibrazione del volume di materiali compreso tra il substrato e la superficie topografica.

Tale tipologia di indagini è di particolare utilità negli studi di risposta sismica locale (RSL) ossia le analisi volte a determinare l'insieme di modifiche che un moto sismico generato ad una certa profondità subisce attraversando gli strati sovrastanti fino alla superficie.

Gli studi di RSL possono essere effettuati a diversa scala di approfondimento in funzione del tipo di intervento in progetto. In questa sede si ricercano informazioni di tipo quantitativo, utili come complemento e validazione della classificazione sismica effettuata per mezzo della tecnica MASW attiva.

5.3.2 Rapporto spettrale H/V e frequenze di risonanza

Nel grafico riportato in Allegato B (pagina 4) è mostrato l'andamento del rapporto spettrale tra le componenti orizzontali (mediate) e verticale del moto sismico al suolo nel sito di indagine.

La misura mostra un'attendibilità elevata, valutabile in relazione a:

- durata complessiva della registrazione;
- stazionarietà dei rapporti spettrali per le finestre temporali considerate (alta per frequenze superiori a 0.9 Hz, bassa per frequenze inferiori);
- debole direzionalità del segnale (misura isotropa);
- soddisfazione complessiva dei criteri SESAME ottenuta per la frequenza di risonanza individuata (6 criteri su 6).

La misura di rumore sismico fornisce indicazioni che completano il quadro della classificazione sismica del sito in oggetto, individuando due picchi nel rapporto spettrale alla frequenze di 2,43 Hz e 13.8 Hz.

Entrambe i picchi evidenziati sono associati a risonanza stratigrafica; il picco alla frequenza inferiore rappresenta il periodo di vibrazione fondamentale per il sito in esame.

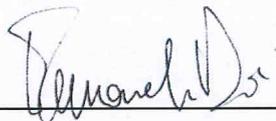
Effettuando una verifica di tipo quantitativo per localizzare l'interfaccia risonante legata al periodo fondamentale, utilizzando i dati del profilo di rigidità risultanti dalla prova sismica MASW, applicando la relazione che lega la frequenza di risonanza alla velocità delle onde di taglio ed alla profondità ⁽¹⁾, si ricavano valori di profondità del substrato roccioso pari a 45-50 metri.

$${}^1 v_0 = \frac{\hat{V}_s}{4H} \text{ dalla quale derivano: } \hat{V}_s = \frac{4H}{T_0} \text{ e } H = \frac{\hat{V}_s * T_0}{4}$$

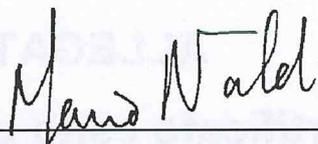
6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I risultati della prova sismica con metodologia MASW realizzata nel territorio comunale di Cantalupa, per il progetto di ampliamento dell'area cimiteriale, hanno evidenziato valori del parametro V_{s30} compatibili con un suolo di classe sismica "B". La frequenza caratteristica di sito misurata con metodo HVSr è risultata essere pari a 2.43 Hz; tale contrasto di impedenza è compatibile con una profondità del substrato roccioso (substrato sismico) superiore a 40 metri.

Relazione redatta da:
Dott. Geol. Emmanuele Duò



Controllata da:
Dott. Geol. Mario Naldi



ALLEGATO A
Certificato esito prova MASW

COMMITTENTE	Comune di Cantalupa
RELAZIONE	2949/15
LOCALITA'	Cimitero
DATA	Gennaio 2015

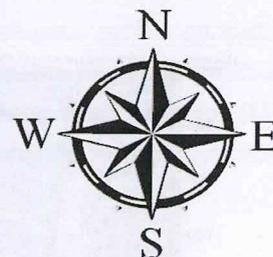
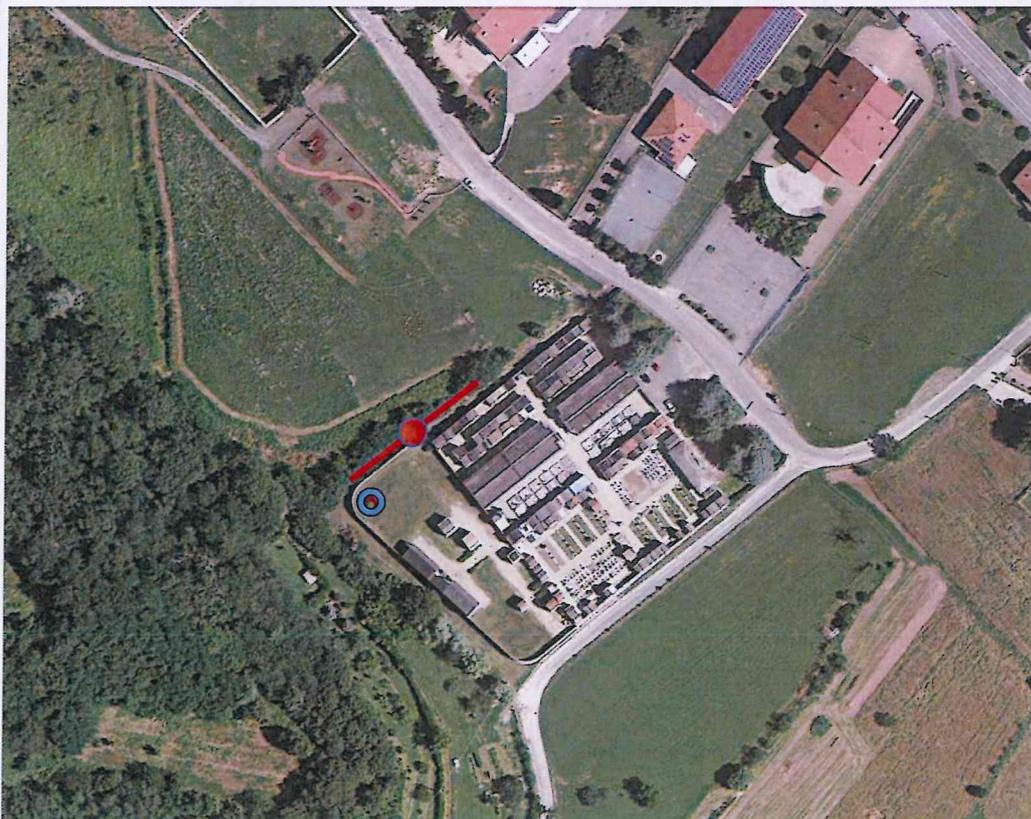
ISO 9001

BUREAU VERITAS
Certification
11246983



Certificato Prova MASW 1
Pagina 1

UBICAZIONE INDAGINE MASW



LEGENDA

- Stendimento linea MASW
- Centro linea MASW Ubicaz. profilo Vs₃₀
- Misura di rumore sismico ambientale

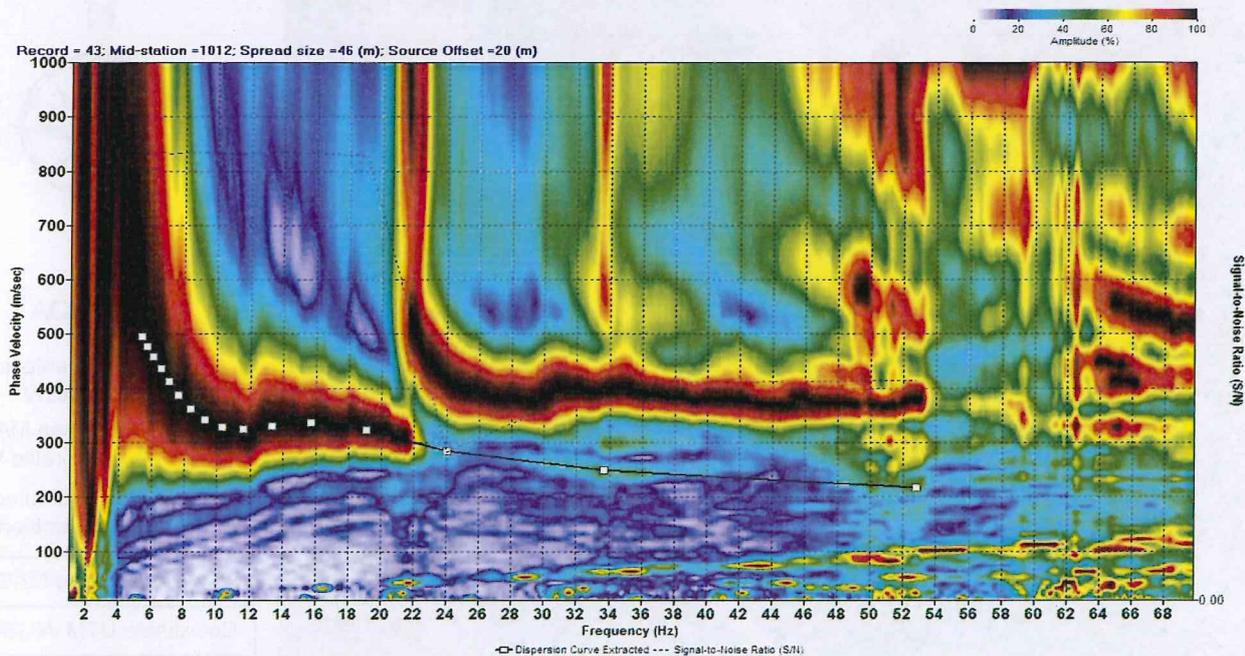
Ubicazione centro MASW	
Coordinate UTM WGS84	
Zona	32T
EST	368493.38
NORD	4977381.39

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

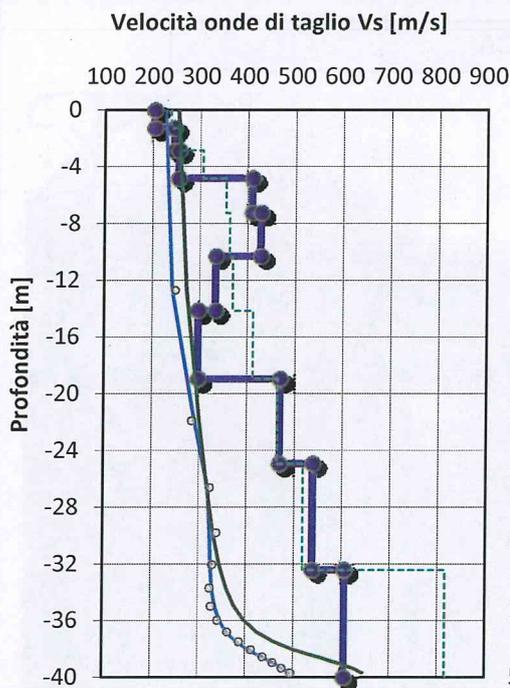


COMMITTENTE	Comune di Cantalupa	SISMOGRAFO	DAQ LINK III	
RELAZIONE	2949/15	GEOFONI	24 (freq. 4.5 Hz)	
LOCALITA'	Cimitero	ACQUISITION TIME	1.0 s	Certificato Prova MASW 1 Pagina 2
DATA	Gennaio 2015	SAMPLE INTERVAL	0.250 ms	

PROVA MASW - CURVA DI DISPERSIONE DELLE VELOCITA' DI FASE



PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



LEGENDA

Modello di velocità Vs

- Vs iniziale
- Vs finale

Curva di dispersione V_{fase}/f

- Curva di disp. iniziale
- Curva di disp. Finale
- Modo fond. misurato

MODELLO Vs A 10 STRATI

Strato	Profondità [m]		Vs [m/s]
	da	a	
1	0.0	-1.3	204
2	-1.3	-2.8	245
3	-2.8	-4.8	255
4	-4.8	-7.2	410
5	-7.2	-10.3	428
6	-10.3	-14.1	334
7	-14.1	-18.9	297
8	-18.9	-24.9	470
9	-24.9	-32.4	540
10	-32.4	-40.0	607

Codice di calcolo: SurfSeis 4.02

SUOLO	DESCRIZIONE GEOTECNICA	Vs ₃₀ [m/s]
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	361 (media pesata sugli spessori compresi tra 0 e -30 m)

ALLEGATO B

Report HVSR

STATION INFORMATION

Station code: S01

Model: SARA SL06

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Comune di Cantalupa

Address: Cimitero

Latitude: 4977360.54

Longitude: 368480.70

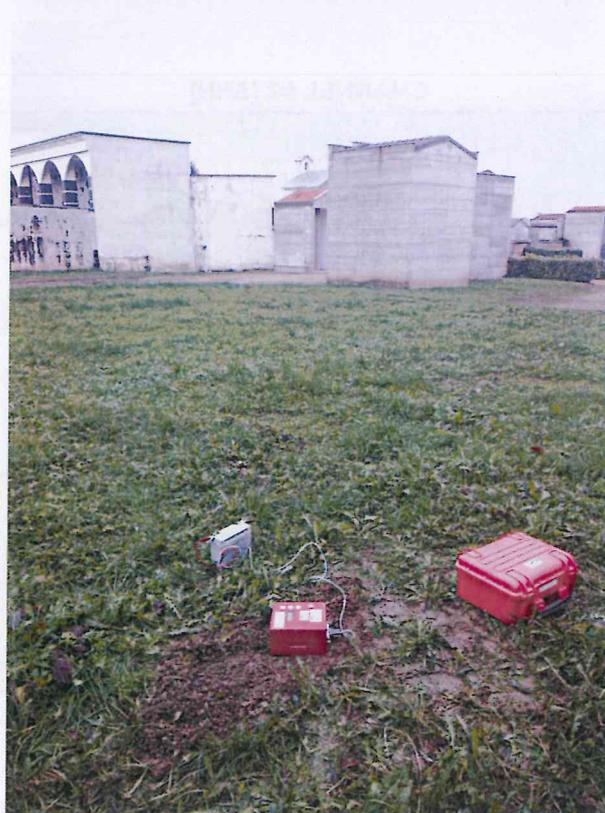
Coordinate system: WGS84

Elevation: 443 m s.l.m.

Weather: Partly cloudy

Notes: Geographic north = Instrumental Y axis

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

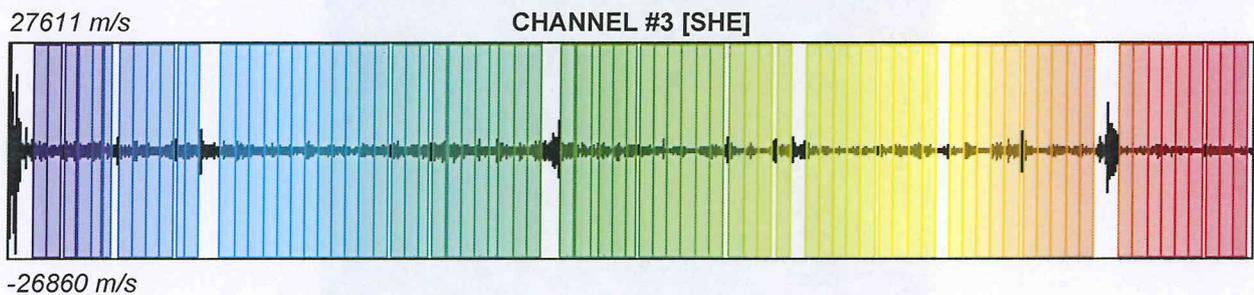
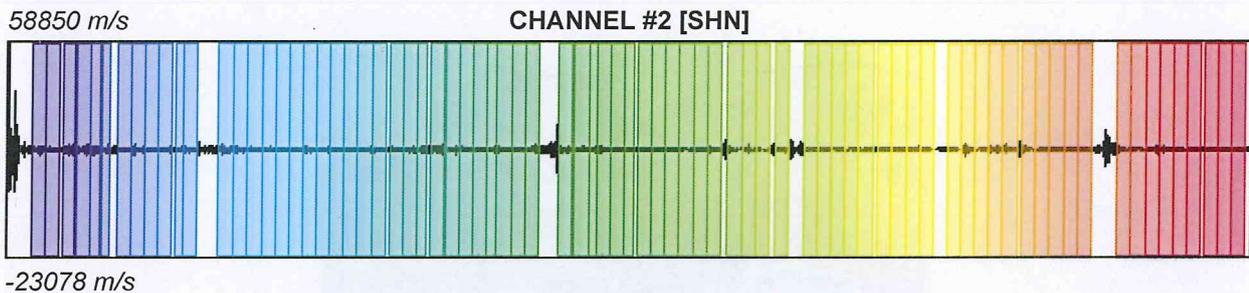
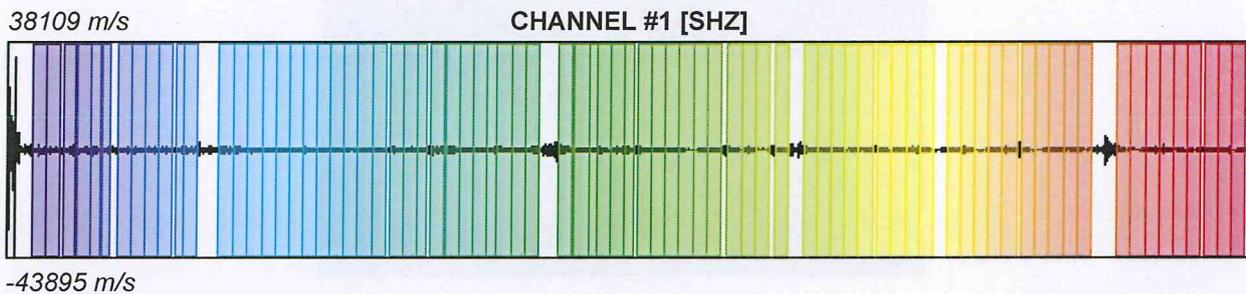
Recording start time: 2014/12/15 07:27:00

Recording length: 60 min

Windows count: 79

Average windows length: 38.6

Signal coverage: 84.7%



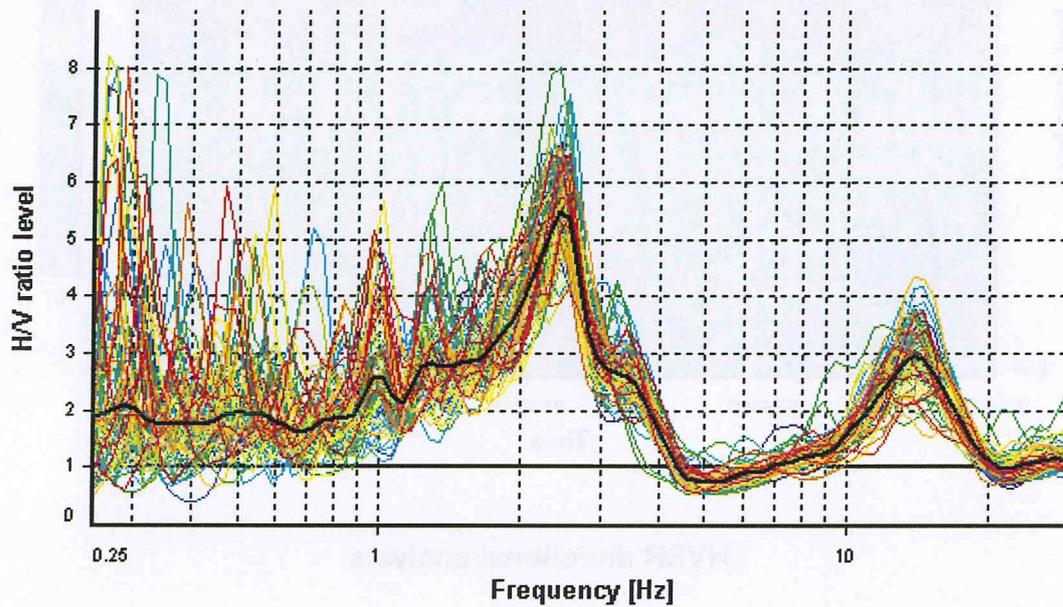
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

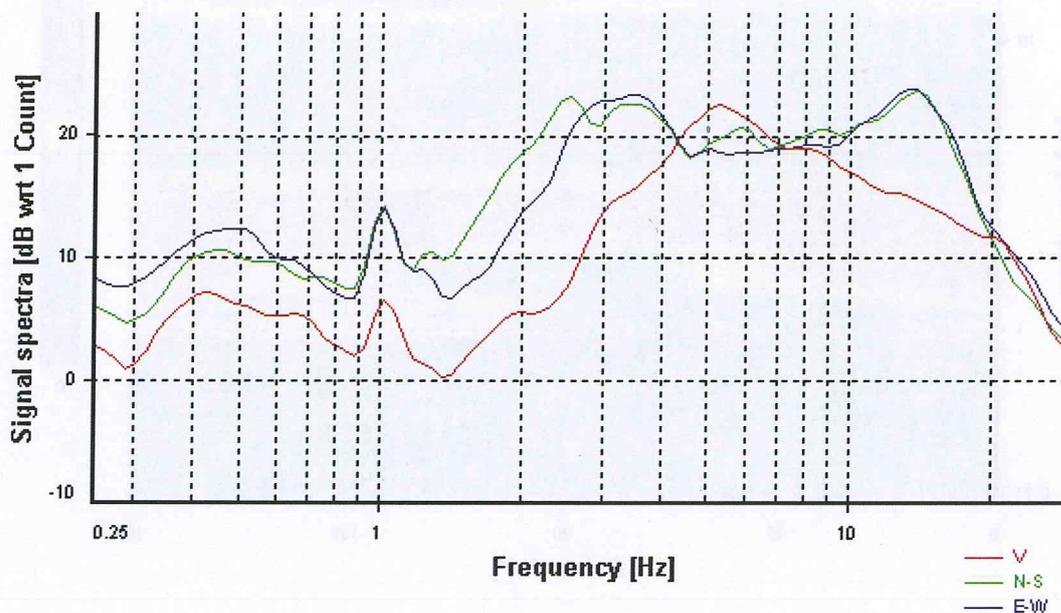
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

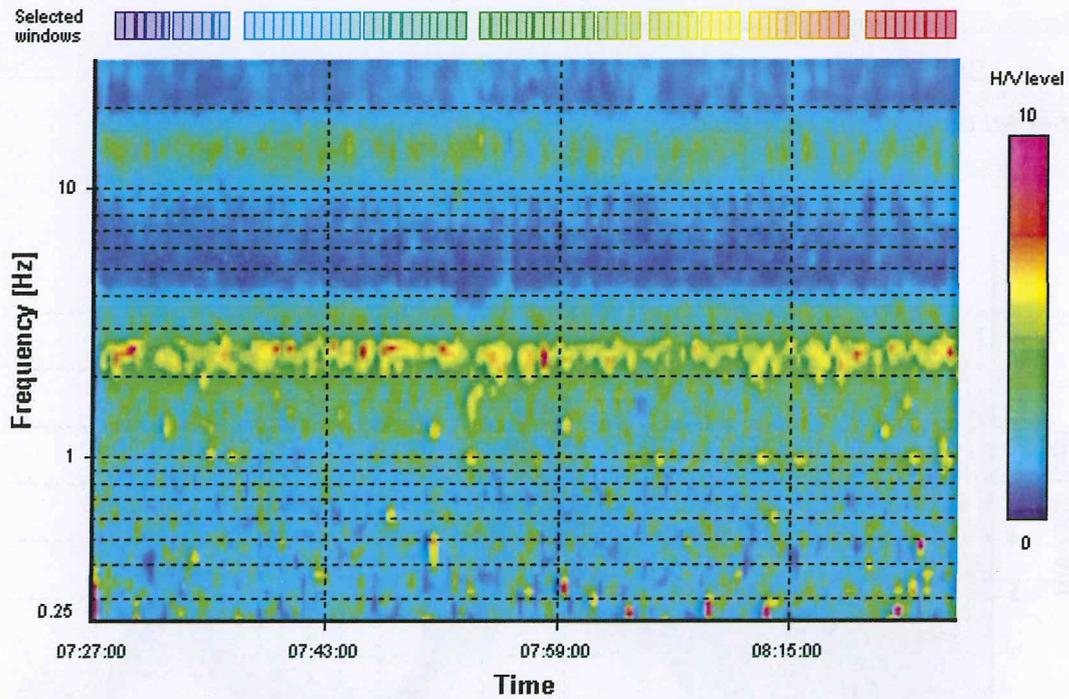
HVSR average



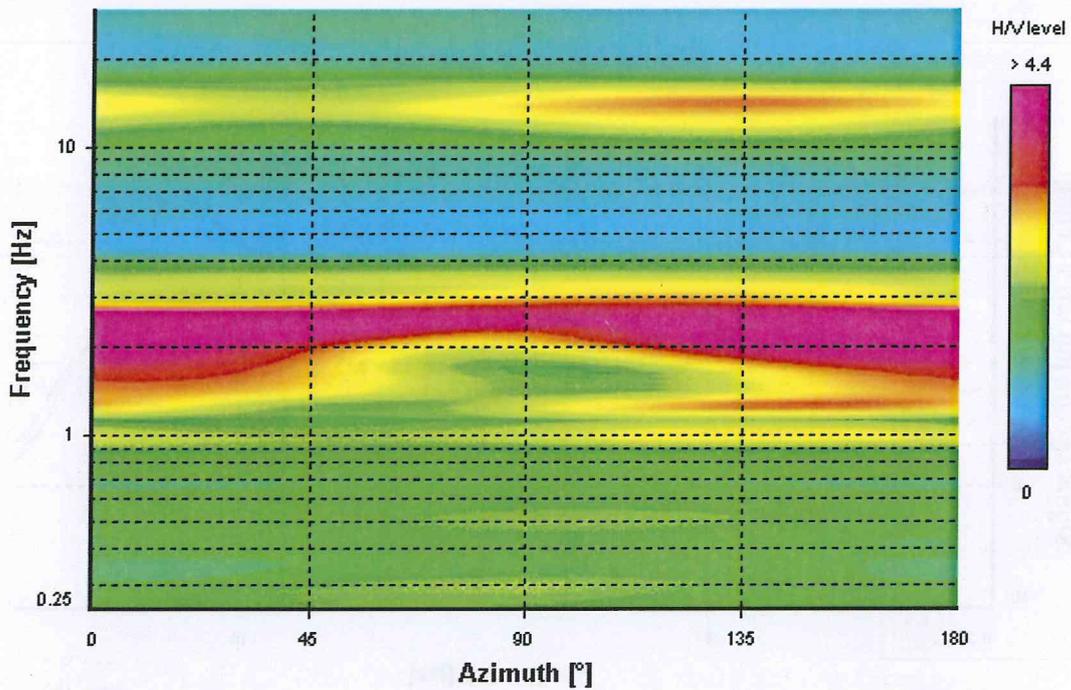
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



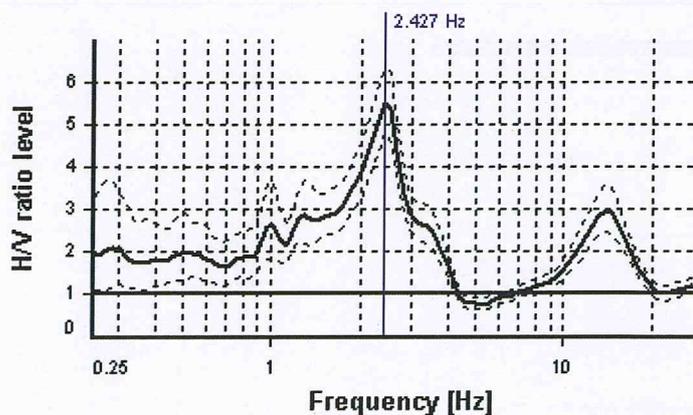
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

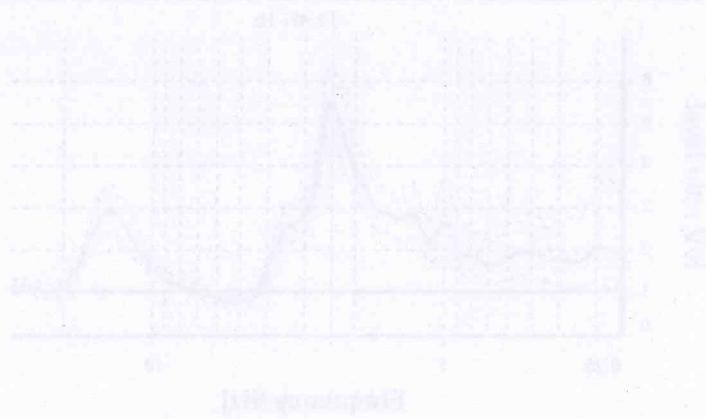
2.427 Hz

A_0 amplitude = 5.510

Average $f_0 = 2.425 \pm 0.119$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	79 valid windows (length > 4.12 s) out of 79	OK
$n_c(f_0) > 200$	7399.23 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0$	1.42563 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^+) < A_0$	3.09055 Hz	OK
$A_0 > 2$	5.51 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.11895 < 0.12134	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.1474 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK



ALLEGATO C

Cenni sulla metodologia MASW

Step	Description	Parameters
1	Signal Acquisition	Sampling Rate: 1000 Hz
2	Waveform Processing	Windowing: Hanning
3	Frequency Analysis	FFT Length: 1024
4	Dispersion Curve Identification	Frequency Range: 0 - 10 Hz
5	Phase Velocity Calculation	Phase Shift: 0 - 360 degrees
6	Shear Modulus Estimation	Depth: 0 - 10 m
7	Soil Profile Generation	Soil Type: Sand

CENNI TEORICI SULLA METODOLOGIA MASW

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multi-modale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente.

La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche col metodo SWM (surface waves multichannel) è una curva apparente derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione, e che per i limiti indotti dal campionamento non necessariamente coincide con singoli modi nei diversi intervalli di frequenza campionati.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali, schematizzato in Figura 1 e 2, può essere suddiviso in tre fasi:

- 1) Acquisizione (Figura 1);
- 2) Elaborazione (Figura 2);
- 3) Inversione (Figura 3).

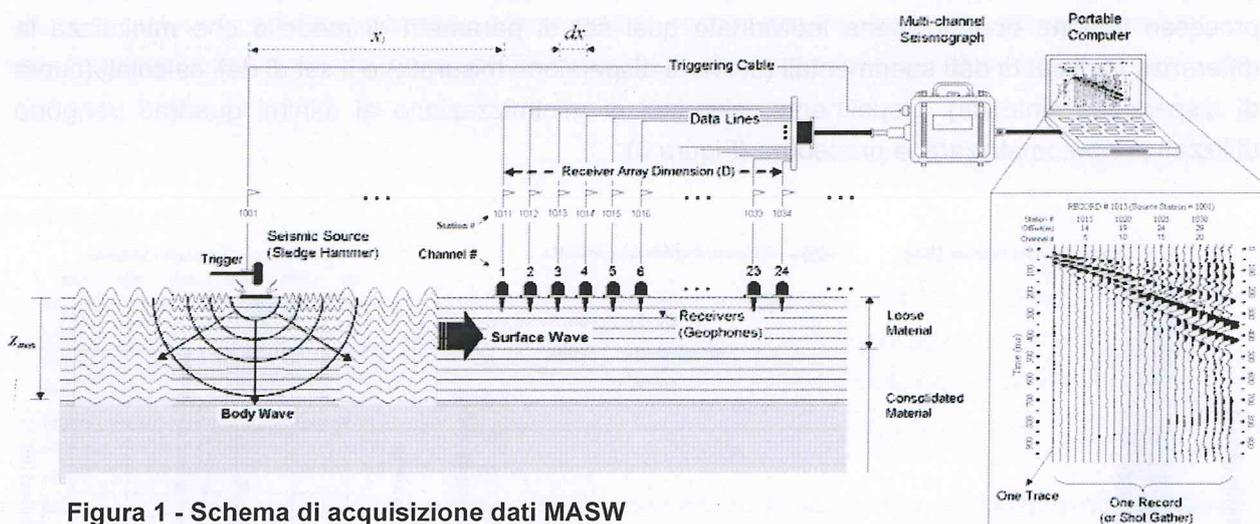


Figura 1 - Schema di acquisizione dati MASW

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto ovvero, la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (il codice di calcolo utilizzato è SurfSeis ® versione 2.0, Kansas University USA).

Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti a una doppia trasformata di Fourier che consente di

passare dal dominio x-t (spazio tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh, e se le caratteristiche del sito sono tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. Si dimostra infatti che la velocità delle onde di Rayleigh è associata ai massimi dello spettro f-k; si può ottenere facilmente una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza il picco spettrale, al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_R , determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_R(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori (V_R, f) in un grafico, si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione (Figura 2). La fase di inversione deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati.

Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura (Figura 3).

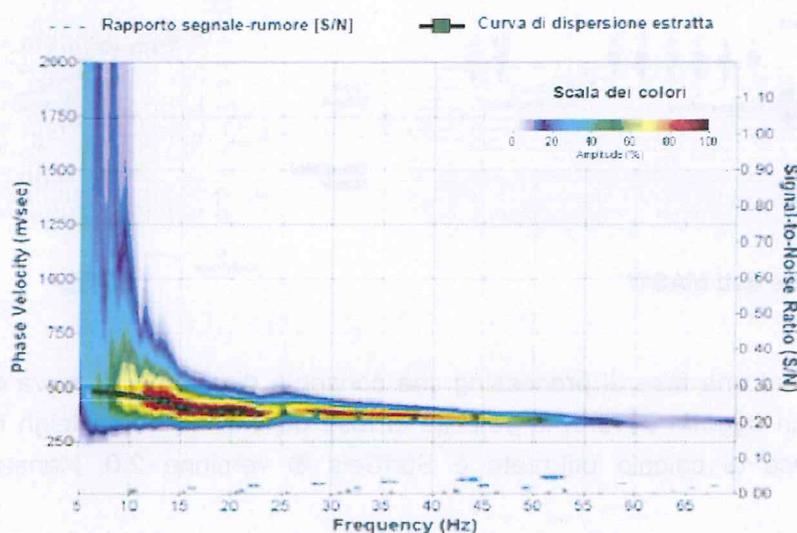


Figura 2 - Curva di dispersione della velocità V_s in funzione della frequenza e della velocità di fase

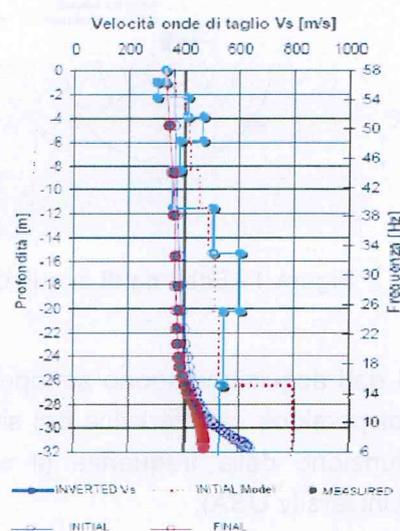


Figura 3 - Modello di propagazione delle velocità delle onde V_s

GENNIO TEORICI SULLA METODOLOGIA HVSR

La ricerca geofisica è basata sulla misura di anomalie di campo elettromagnetico che
derivano dalla presenza di correnti elettriche nel terreno. La metodologia HVSR (Horizontal
Vibrations Spectral Ratio) è basata sulla misura di queste anomalie in un campo
di vibrazioni sismiche. Questa tecnica è basata sulla misura di vibrazioni sismiche
in un campo di vibrazioni sismiche. Questa tecnica è basata sulla misura di vibrazioni
sismiche in un campo di vibrazioni sismiche.

La tecnica HVSR è basata sulla misura di anomalie di campo elettromagnetico che
derivano dalla presenza di correnti elettriche nel terreno. La metodologia HVSR
(Horizontal Vibrations Spectral Ratio) è basata sulla misura di queste anomalie
in un campo di vibrazioni sismiche. Questa tecnica è basata sulla misura di
vibrazioni sismiche in un campo di vibrazioni sismiche.

Per l'applicazione di questa tecnica è necessario un campo di vibrazioni sismiche
che sia sufficientemente ampio da permettere la misura di anomalie di campo
elettromagnetico. Questa tecnica è basata sulla misura di vibrazioni sismiche
in un campo di vibrazioni sismiche.

ALLEGATO D

Cenni sulla metodologia HVSR

La metodologia HVSR è basata sulla misura di anomalie di campo elettromagnetico
che derivano dalla presenza di correnti elettriche nel terreno. Questa tecnica
è basata sulla misura di vibrazioni sismiche in un campo di vibrazioni
sismiche.

È un documento

La metodologia HVSR è basata sulla misura di anomalie di campo elettromagnetico
che derivano dalla presenza di correnti elettriche nel terreno. Questa tecnica
è basata sulla misura di vibrazioni sismiche in un campo di vibrazioni
sismiche.

La metodologia HVSR è basata sulla misura di anomalie di campo elettromagnetico
che derivano dalla presenza di correnti elettriche nel terreno. Questa tecnica
è basata sulla misura di vibrazioni sismiche in un campo di vibrazioni
sismiche.

La metodologia HVSR è basata sulla misura di anomalie di campo elettromagnetico
che derivano dalla presenza di correnti elettriche nel terreno. Questa tecnica
è basata sulla misura di vibrazioni sismiche in un campo di vibrazioni
sismiche.

(1) - (2)

La metodologia HVSR è basata sulla misura di anomalie di campo elettromagnetico
che derivano dalla presenza di correnti elettriche nel terreno. Questa tecnica
è basata sulla misura di vibrazioni sismiche in un campo di vibrazioni
sismiche.

(1) - (2)

CENNI TEORICI SULLA METODOLOGIA HVSR

La sismica passiva a stazione singola fornisce informazioni sui terreni di indagine relativamente alle frequenze naturali e di risonanza. La metodologia, chiamata anche tecnica di Nakamura (1989), è stata introdotta da Nogoshi e Igarashi (1971) sulla base degli studi di Kanai e Tanaka (1961). Questa tecnica si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti locali (sismici) di sito.

La tecnica proposta da Nakamura assume che i microtremori (il cosiddetto rumore di fondo registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali, le onde di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato sovrice su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

Per l'applicazione e l'interpretazione di questa tecnica è fondamentale una buona conoscenza dell'ingegneria sismologica combinata con un background di informazioni relative alle caratteristiche geologiche, geofisiche e geotecniche del sito. Questa tecnica presenta il vantaggio di poter essere adoperata pressoché ovunque, purché siano garantite l'assenza di forti vibrazioni indotte da attività umane nelle vicinanze del punto di misura. Il metodo è generalmente applicato per studi di microzonazione e per valutare la risposta sismica locale. Questa tecnologia è stata oggetto del progetto di ricerca SESAME (Site Effects assessment using AMBient Excitations) ed a questo si rimanda per le linee guida della tecnica H/V spectral ratio (<http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>).

Basi teoriche

Le basi teoriche dell'HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D) è abbastanza semplice.

Si consideri un sistema in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene parzialmente riflessa dall'orizzonte che separa i due strati, e questa, una volta riflessa, interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore h del primo strato.

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{p1}/(4h)$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$f_r = V_{s1}/(4h)$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima della velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati. Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto, ma la prassi di usare il rapporto degli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo. Si rileva inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994). Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

L'applicabilità pratica della semplice formula sopra riportata relativa alle onde S è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica sia nell'ambito ingegneristico. Poiché la situazione illustrata è tipica delle coltri sedimentarie sovrastanti basamenti rocciosi, il metodo HVSR è parso immediatamente applicabile alla determinazione dello spessore delle coltri sedimentarie (Ibs-Von Seht e Wohleberg, 1999).

Attrezzature e modalità esecutive

La misura prevede la registrazione, senza utilizzo di alcun strumento di energizzazione del terreno, del microtremore sismico ambientale nel dominio del tempo, sulle tre componenti dello spazio attraverso il posizionamento di adeguati strumenti sismometrici costituiti da sensori tridimensionali. Per queste misure è sconsigliato l'impiego di accelerometri, non sufficientemente sensibili a frequenze inferiori a 1 Hz, né di accelerometri sismologici. Essendo la stabilità una caratteristica fondamentale non sono impiegabili sismometri broadband con periodo naturale > 20 sec. in quanto richiedono lunghi tempi di stabilizzazione, come non sono raccomandabili sensori con frequenza naturale inferiore alla più bassa frequenza di interesse. Indicativamente, la frequenza di sito è funzione diretta della vicinanza del bedrock dalla superficie topografica e della rigidità dei materiali.

Per l'installazione lo strumento di misura dovrà essere orientato secondo le direzioni geografiche (E e W) e dovrà essere dotato di bolla sferica per il posizionamento mentre l'accoppiamento con la superficie dovrà essere diretto o assicurato con piedini o puntazze in terreni morbidi. Bisognerà altresì fare attenzione alla presenza di radici, sottoservizi, vicinanza edifici, vento ecc., in quanto creano disturbo nel segnale HV inducendo una forte perturbazione a bassa frequenza.

Per uno studio di risposta di sito è consigliabile effettuare almeno tre misure per punto, possibilmente in tempi diversi durante la giornata, da cui derivare il valore di frequenza di risonanza.

La strumentazione di acquisizione presenta le seguenti specifiche:

- 1 trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza (< 1-2 Hz);
- 2 amplificatori;
- 3 digitalizzatore;
- 4 frequenza di campionamento: > 50 Hz;
- 5 convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit;
- 6 durata registrazione: >10 minuti;
- 7 collegamento al tempo GPS per la referenziazione temporale.

Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati raccolti impiega un software (**Geopsy**) in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations, 2005).

Il processing dei dati verte sul rapporto spettrale tra il segnale del sensore verticale e quelli orizzontali operando su finestre di selezione del segnale che dovranno essere non meno di 10 per un segnale complessivo utile non inferiore a 200-400 secondi.

I principali passi del processing sono i seguenti:

- 1 FFT (incluso il tapering);
- 2 operatore di smoothing (Konno & Ohmachi);
- 3 merging dei componenti orizzontali;
- 4 H/V Spectral Ratio per ogni finestra utilizzata (>10);
- 5 media degli spettri H/V;
- 6 valutazione della deviazione standard.

Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di f_0 – Frequenza/e di risonanza e la sua deviazione standard.

Il certificato finale della prova presenta (<http://www.geo.uib.no/seismo/REPORTS/SESAME/USER-GUIDELINES/SESAME-HV-User-Guidelines.doc>):

- 1 i criteri di attendibilità della misura;
- 2 i criteri di validità del picco di f_0 ;
- 3 i valori di soglia delle condizioni di stabilità;

- 4 l'analisi dei criteri in particolare con verifica rispetto alla frequenza del sensore ed alla presenza di rumore di origine industriale;
- 5 l'interpretazione di f_0 e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche del sito.

Per gli scopi e finalità dell'indagine le misure HVSR offrono la possibilità di determinare:

- 1 valutazione dell'omogeneità del sito rispetto alle frequenze di risonanza;
- 2 spessori della coltre di copertura.

Frequenze

Per quanto riguarda la mappatura delle frequenze principali di risonanza, tale elaborazione permette di valutare il grado di omogeneità sulla risposta di sito relativamente alle frequenze dei materiali.

L'analisi di queste permette di definire il campo delle frequenze significative di risonanza da utilizzare direttamente nella progettazione degli edifici.

Spessori¹

L'assunzione di base è che, per un modello di sottosuolo monodimensionale (stratificazione piana e parallela) costituito da sedimenti soffici sovrastanti il substrato, la frequenza di risonanza f_r dovuta alla propagazione di onde S incidenti perpendicolarmente la base del substrato è data dalla relazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

da cui la frequenza di risonanza

$$f_r = \frac{1}{T}$$

dove h è lo spessore dello strato di sedimenti e V_s dipende dalla velocità delle onde di taglio al suo interno. In base a tale relazione, quindi, a partire da valori misurati di f_r e V_s ricavati è possibile stimare lo spessore della coltre sedimentaria di un bacino.

Tuttavia, non essendo sempre presente la misura di V_s come profilo sismico fino al bedrock geofisico, allora si può far riferimento alla relazione di Ibs-von Seht e Wohlenberg (1999).

Poiché l'andamento del log in V_s in terreni sedimentari è principalmente regolato dall'incremento del modulo di rigidità al crescere della pressione di confinamento e quindi della profondità, a partire dai valori di V_s

¹ Ibs-von Seht M. and Wohlenberg J. (1999). Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments. Bull. Seism. Soc. Am., 89 (1): 250-259. Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, QR Railway Tech. Res. Inst., 30: 25-33.

per la porzione più superficiale del terreno, è possibile estrapolare l'andamento delle Vs a profondità più elevate tramite l'impiego di relazioni empiriche.

A questo scopo, Ibs-von Seht e Wohlenberg (1999) suggeriscono la seguente funzione:

$$V_s = V_0(1+Z)^a$$

dove V_0 è la velocità al tetto dello strato ed a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.).

Questa relazione, combinata con la precedente, consente infatti la stima dello spessore della coltre di sedimenti soffici:

$$Z = \left[\frac{V_0(1-a)}{4f_r} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

Nei casi più complessi è possibile invertire le curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale fino a considerare ottimale il modello teorico più prossimo alle curve sperimentali.

Per l'inversione delle curve si può far riferimento alle procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004)² usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love.

²Arai H. e Tokimatsu, 2004. S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum. Bull. Seismol. Soc. Am., 94, p. 53-63.