COMUNE di PONTASSIEVE

(Città Metropolitana di Firenze)

45° Variante semplificata ai sensi degli artt. 30 e 238 della L.R. 65/2014 per nuova disciplina ambito di trasformazione P11 ex aree ferroviarie

° ° °

Relazione geologico tecnica di fattibilità

(ex DPGR n. 5/R/2020 e L.R. n. 41/2018)

FASCICOLO DELLE INDAGINI

Consulenti:
Prof. Geol. Eros Aiello
Dott. Geol. Gabriele Grandini

Ottobre 2023

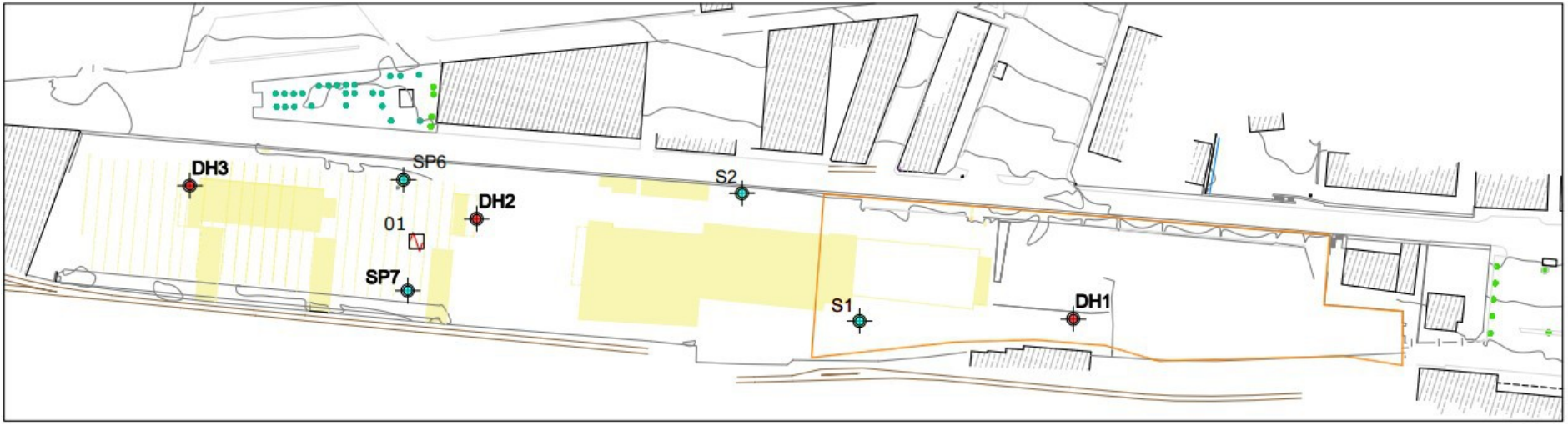
IL FASCICOLO CONTIENE:

Stratigrafie e Documentazione fotografica Sondaggi a carotaggio continuo

Analisi di laboratorio di meccanica delle terre – scheda riassuntiva

Certificazioni prove di permeabilità di tipo Lefranc

Relazione indagini geofisiche (Indagine di sismica attiva di tipo Down-Hole e passiva Hvsr)



INDAGINI GEOGNOSTICHE

DH3 — Sondaggio geognostico a carotaggio continuo di profondità pari a 35 m dal p.c. strumentato con tubo per prova sismica down-hole.

SP6 — Sondaggio geognostico a carotaggio continuo di profondità pari a 10 m dal p.c. strumentato con piezometro a tubo aperto.

01 — Indagine di sismica passiva di tipo Hvsr.

ALTRE NOTAZIONI

Edifici e altri manufatti demoliti

Area di Intervento

TECNA Srl
Sede Legale : Via Ser Gorello, 11/a - 52100 AREZZO - Cod. fiscale e Part. IVA: 01358250510
Uffici e Deposito : Via A. Grandi, 51 - 52100 AREZZO - tel: 0575 – 323501 - fax e tel: 0575 - 1979797
E-mail: info@geognostica.it - tecna@geognostica.it - Skype : tecna.ufficio - tecna.porta
Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad effettuare e certificare prove geotecniche sui terreni n. 4542 del 13/04/2012

STRATIGRAFIA

Committente	Località	Certificato n° / Data
Comune di Pontassieve	Pontassieve (FI)	030A del 21/02/2023

Cantiere	Sondaggio n.	Inizio / Fine Esecuzione	Commessa n° / Data
Ex. Area Ferroviaria di Pontassieve	DH1	Dal 01/02/2023 al 08/02/2023	030 del 21/01/2023

Responsabile di sito	Operatore	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Diametro perforazione / Diametro rivestimento
Dr. Alessio Costantini	D'Andrea e Puppo	continuo	Beretta T51	101 mm / 127 mm

Descrizione	Quota
Materiale di riporto ghiaioso.	0.70
Materiale di riporto composto da limo sabbioso argilloso ghiaioso.	1.50
Limo argilloso debolmente sabbioso marrone contenente patine d'ossidazione nere rossastre e concrezioni di calcite dell'ordine della ghiaia.	2.50
Campione indisturbato.	3.20
Argilla limosa bruna contenente patine d'ossidazione nere rossastre e concrezioni di calcite biancastre dell'ordine della ghiaia.	4.00
Campione indisturbato.	4.50
Limi con argille brunastre debolmente sabbiose con patine d'ossidazione nere rossastre contenenti ghiaie e concrezioni di calcite grigio biancastre.	8.00
Argilla limosa bruna rossastra compatta.	9.00
Trovante lapideo centimetrico calcareo marnoso.	9.20
Argille limose compatte bruno grigiastre.	9.50
Argilliti siltose grigio biancastre contenenti localmente pezzame e interstrati lapidei calcareo marnosi. Trovanti lapidei calcareo marnosi centimetrici alle quote di 10.50 m, 12.00 m, 20.90 m e 26.50 m. Strato frantumato alterato a 29.70 m.	34.00
Argilliti siltose color grigio vinaccia.	35.00

S.P.T. (n° Colpi)	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.
6-7-11 3.10 PC	S 2.70 3.20			
11-16-21 4.50 PC	S 4.00 4.50			# 1
15-18-20 6.50 PC				# 2
				# 3
				# 4
				# 5
			(RM)	# 6
		(CS) 35.00		# 7

Tubo Down Hole: I-(1) — A 35.00

Scala (mt): 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35

34.50

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
Carotaggio: continuo
Sonda: Beretta T51
Campioni prelevati n° (data prelievo) 02 (Dal 01/02/23 al 06/02/23)

Responsabile di sito
Dr. Alessio Costantini

Direttore laboratorio
Dr. Moretti Giuliano

TECNA Srl
Sede Legale : Via Ser Gorello, 11/a - 52100 AREZZO - Cod. fiscale e Part. IVA: 01358250510
Uffici e Deposito : Via A. Grandi, 51 - 52100 AREZZO - tel: 0575 – 323501 - fax e tel: 0575 - 1979797
E-mail: info@geognostica.it - tecna@geognostica.it - Skype : tecna.ufficio - tecna.porta
Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad effettuare e certificare prove geotecniche sui terreni n. 4542 del 13/04/2012

STRATIGRAFIA

Committente	Località	Certificato n° / Data
Comune di Pontassieve	Pontassieve (FI)	030B del 21/02/2023

Cantiere	Sondaggio n.	Inizio / Fine Esecuzione	Commessa n° / Data
Ex. Area Ferroviaria di Pontassieve	DH2	Dal 15/02/2023 al 16/02/2023	030 del 21/01/2023

Responsabile di sito	Operatore	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Diametro perforazione / Diametro rivestimento
Dr. Alessio Costantini	D'Andrea e Puppo	continuo	Beretta T51	101 mm / 127 mm

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T. (n° Colpi)	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Tubo Down Hole I-(1)
		Materiali riporto ghiaioso.	0.90						
1		Limo con argilla debolmente sabbioso contenente concrezioni di calcite biancastre e ghiaie nerastre.	2.00						
2		Argilla limosa bruna con patine d'ossidazione nere rossastre contenenti ghiaie e concrezioni di calcite grigio biancastre.	2.50	3-8-10	2.50 S				
3		Campione indisturbato.	3.00	3.00 PC	3.00				
4		Argilla limosa bruna sabbiosa debolmente compatta con patine d'ossidazione nere rossastre, contenenti ghiaie e concrezioni di calcite grigie.		5-8-10	4.50 S				
5			4.00	5.00 PC	5.00			# 1	
6		Argilla limosa bruna compatta con patine d'ossidazione nere rossastre contenenti ghiaie e concrezioni di calcite grigio biancastre.	4.50						
7		Campione indisturbato.	5.00	7-12-15 7.50 PC					
8		Argilla limosa bruna compatta con patine d'ossidazione nere rossastre contenenti localmente ghiaie e concrezioni di calcite grigio biancastre.							
9			10.00					# 2	
10		Limo sabbioso argilloso bruno grigiastro compatto contenente patine rossastre e concrezioni di calcite dell'ordine della ghiaia.							
11			11.50						
12		Argilliti siltose grigie biancastre. Tratti debolmente consolidati.							
13									
14			15.00					# 3	
15		Argilliti siltose a tratti alterate grigio verdastre con tratti color vinaccia contenenti interstrati e pezzame lapideo calcareo marnoso. Trovante lapideo a 16.70 m.							
16			17.00						
17		Argilliti siltose a tratti alterate frantumate grigio biancastre contenenti localmente interstrati e pezzame lapideo marnoso. Trovante lapideo a 19.80 m.							
18									
19			20.00					# 4	
20		Argilliti siltose consolidate grigio biancastre con tratti vinaccia contenenti interstrati e pezzame lapideo calcareo marnoso. Trovante lapideo a 24.50 m e 24.90 m.							
21									
22									
23									
24			25.00					# 5	
25		Argilliti siltose a tratti alterate grigio verdastre biancastre contenenti localmente interstrati e pezzame lapideo calcareo marnoso. Interstrato lapideo frantumato tra 25.40 m - 25.60 m.							
26									
27									
28							(RM)		
29									
30								# 6	
31							30.00		
32									
33									
34			35.00						A
35						(CS) 35.00		# 7	34.00

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
Carotaggio: continuo
Sonda: Beretta T51
Campioni prelevati n° (data prelievo) 02 (15/02/23)

Responsabile di sito
Dr. Alessio Costantini

Direttore laboratorio
Dr. Moretti Giuliano

TECNA Srl
Sede Legale : Via Ser Gorello, 11/a - 52100 AREZZO - Cod. fiscale e Part. IVA: 01358250510
Uffici e Deposito : Via A. Grandi, 51 - 52100 AREZZO - tel: 0575 – 323501 - fax e tel: 0575 - 1979797
E-mail: info@geognostica.it - tecna@geognostica.it - Skype : tecna.ufficio - tecna.porta
Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad effettuare e certificare prove geotecniche sui terreni n. 4542 del 13/04/2012

STRATIGRAFIA

Committente	Località	Certificato n° / Data
Comune di Pontassieve	Pontassieve (FI)	030C del 21/02/2023

Cantiere	Sondaggio n.	Inizio / Fine Esecuzione	Commessa n° / Data
Ex. Area Ferroviaria di Pontassieve	DH3	Dal 10/02/2023 al 13/02/2023	030 del 21/01/2023

Responsabile di sito	Operatore	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Diametro perforazione / Diametro rivestimento
Dr. Alessio Costantini	D'Andrea e Puppo	continuo	Beretta T51	101 mm / 127 mm

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T. (n° Colpi)	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Tubo Down Hole I-(1)
		Materiale di riporto ghiaioso sabbioso limoso.	1.20						
1		Materiale di riporto limoso sabbioso contenente ghiaie bruno.	1.80						
2		Limo argilloso debolmente sabbioso marrone contenente ghiaie,patine nere rossastre e concrezioni di calcite biancastre.	3.00	5-7-9	S 3.00				
3		Campione indisturbato.	3.50	3.50 PC	3.50				
4		Argilla limosa bruna con patine d'ossidazione nere rossastre contenenti ghiaie e concrezioni di calcite grigio biancastre.						# 1	
5			6.00						
6		Campione indisturbato.	6.50	6-7-12	S 6.00				
7		Argille con limo brunastre debolmente sabbiose con patine d'ossidazione nere rossastre contenenti ghiaie e concrezioni di calcite grigio biancastre.		6.50 PC	6.50				
8			8.00	3-4-9					
9		Limi argillosi sabbiosi brunastri di consistenza plastica contenenti localmente ghiaie.	10.00	8.50 PC					
10		Argille limose compatte bruno grigiastre.	10.30					# 2	
11		Argilliti siltose bruno grigiastre biancastre.	11.30						
		Argilliti siltose bruno grigiastre frammentate, alterate.	11.50						
12		Marna calcarea grigio biancastra.	12.50						
13		Argilliti grigio biancastre alterate contenenti pezzame lapideo calcareo marnoso grigio biancastro dell'ordine della ghiaia. A 14.00 m trovante lapideo calcareo centimetrico.							
14			15.00						
15		Argilliti siltose grigio biancastre compatte.	16.00					# 3	
16		Argilliti alterate scagliose plastiche grigio scure.	17.00						
17		Argilliti siltose grigio biancastre compatte contenenti pezzame ed interstrati lapidei calcareo marnosi biancastri. Interstrati lapidei tra 18.00 m e 18.40 m, tra 21.00 m e 21.40 m (Trovante lapideo).							
18									
19									
20								# 4	
21									
22									
23									
24			25.00						
25		Siltiti grigio biancastre compatte scagliose.	26.00					# 5	
26		Siltiti grigio brunastre alterate frantumate scagliose.	26.60						
		Argilliti siltose grigio biancastre.	27.00						
27		Argilliti siltose alterate grigio biancastre con tratti bruni.	28.50						
28		Argilliti siltose grigio biancastre contenenti localmente pezzame calcareo marnoso ordine della ghiaia.							
29								# 6	
30									
31									
32									
33							(RM)		
34			35.00			(CS) 35.00		# 7	A
35							34.50		35.00

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
Carotaggio: continuo
Sonda: Beretta T51
Campioni prelevati n° (data prelievo) 02 (10/02/23)

Responsabile di sito
Dr. Alessio Costantini

Direttore laboratorio
Dr. Moretti Giuliano

Comune di Pontassieve – DH1 Pontassieve (FI)

Cassetta 1 - 0,00 ÷ 5,00 m.

Cassetta 2 - 5,00 ÷ 10.00 m.

Cassetta 3 - 10,00 ÷ 15.00 m.

Cassetta 4 - 15,00 ÷ 20.00 m.

Cassetta 5 - 20,00 ÷ 25.00 m.

Cassetta 6 - 25,00 ÷ 30.00 m.

Cassetta 7 - 30,00 ÷ 35.00 m.

Comune di Pontassieve – DH2 Pontassieve (FI)

Cassetta 1 - 0,00 ÷ 5,00 m.

Cassetta 2 - 5,00 ÷ 10.00 m.

Cassetta 3 - 10,00 ÷ 15.00 m.

Cassetta 4 - 15,00 ÷ 20.00 m.

Cassetta 5 - 20,00 ÷ 25.00 m.

Cassetta 6 - 25,00 ÷ 30.00 m.

Cassetta 7 - 30,00 ÷ 35.00 m.

Comune di Pontassieve – DH3 Pontassieve (FI)

Cassetta 1 - 0,00 ÷ 5,00 m.

Cassetta 2 - 5,00 ÷ 10.00 m.

Cassetta 3 - 10,00 ÷ 15.00 m.

Cassetta 4 - 15,00 ÷ 20.00 m.

Cassetta 5 - 20,00 ÷ 25.00 m.

Cassetta 6 - 25,00 ÷ 30.00 m.

Cassetta 7 - 30,00 ÷ 35.00 m.

TECNA Srl
Sede Legale : Via Ser Gorello, 11/a - 52100 AREZZO - Cod. fiscale e Part. IVA: 01358250510
Uffici e Deposito : Via A. Grandi, 51 - 52100 AREZZO - tel: 0575 – 323501 - fax e tel: 0575 - 1979797
E-mail: info@geognostica.it - tecna@geognostica.it - Skype : tecna.ufficio - tecna.porta
Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad effettuare e certificare prove geotecniche sui terreni n. 4542 del 13/04/2012

STRATIGRAFIA

Committente	Località	Certificato n° / Data
Comune di Pontassieve	Pontassieve (FI)	030D del 25/10/2023

Cantiere	Sondaggio n.	Inizio / Fine Esecuzione	Commessa n° / Data
Ex Area Ferroviaria Borgo Verde	S1	23/06/2023	030 del 21/01/2023

Responsabile di sito	Operatore	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Diametro perforazione / Diametro rivestimento
Dr. Alessio Costantini	Sereni e Pioli	continuo	T41	101 mm / 127 mm

Scala (mt)	Descrizione	Quota	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Piezometro P-(1)
	Calcestruzzo.	0.15					
	Terreno di riporto costituito da limo con sabbia ghiaioso color bruno scuro.	0.45					
1	Terreno di riporto costituito da elementi ghiaiosi eterogenei e blocchetti litoidi di natura sabbiosa debolmente limosa color marrone grigiastro.	1.80					
2	Limo sabbioso ghiaioso color marrone brunastro, rimaneggiato.	2.40					
	Limo con argilla e argilla con limo con macule carboniose e rare concrezioni calcaree.	3.00	3.00				
3	Campione indisturbato.	3.50	S				
	Limo con argilla ghiaioso color marrone brunastro.	3.60	3.50				
4	Limo con argilla e argilla con limo color marrone bruno con concrezioni calcaree e macule carboniose.						
5						# 1	
6							
7		7.90					
8	Limo con argilla e argilloso color marrone con macule carboniose e concrezioni calcaree.	8.80			(RM)		
9	Limo sabbioso e con sabbia debolmente ghiaioso e debolmente argilloso color marrone bruno rossastro.	10.00		(CS) 10.00	9.00	# 2	A 10.00
10							

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Carotaggio: continuo
Sonda: T41

Responsabile di sito
Dr. Alessio Costantini

Direttore laboratorio
Dr. Moretti Giuliano

Campioni prelevati n° (data prelievo) 01 (23/06/23)

TECNA Srl
Sede Legale : Via Ser Gorello, 11/a - 52100 AREZZO - Cod. fiscale e Part. IVA: 01358250510
Uffici e Deposito : Via A. Grandi, 51 - 52100 AREZZO - tel: 0575 – 323501 - fax e tel: 0575 - 1979797
E-mail: info@geognostica.it - tecna@geognostica.it - Skype : tecna.ufficio - tecna.porta
Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad effettuare e certificare prove geotecniche sui terreni n. 4542 del 13/04/2012

STRATIGRAFIA

Committente	Località		Certificato n° / Data
Comune di Pontassieve	Pontassieve (FI)		030E del 25/10/2023
Cantiere	**Sondaggio n.**	**Inizio / Fine Esecuzione**	**Commessa n° / Data**
Ex Area Ferroviaria Borgo Verde	S2	20/06/2023	030 del 21/01/2023

Responsabile di sito	Operatore	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Diametro perforazione / Diametro rivestimento
Dr. Alessio Costantini	Sereni e Pioli	continuo	T41	101 mm / 127 mm

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Piezometro P-(1)
		Terreno di riporto costituito da elementi ghiaiosi con matrice sabbioso limosa color marrone bruno rossastro.	0.40					
1		Terreno di riporto e rimaneggiato costituito da limo ghiaioso sabbioso debolmente argilloso color marrone con tracce di laterizi sparsi e, tra 1,2 m e 1,3 m, materiale brunastro di possibile origine antropica.	1.50					
		Limo con argilla debolmente sabbiosa color marrone con concrezioni calcaree e macule carboniose.	2.00					
2		Campione indisturbato.	2.50	2.00 S 2.50				
3		Limo con argilla debolmente sabbiosa e argilla con limo debolmente sabbiosa color marrone con concrezioni calcaree e macule carboniose.						
4								
5							# 1	
6			6.50					
		Campione indisturbato.	7.00	6.50 S 7.00				
7		Limo con argilla debolmente sabbiosa e argilla con limo debolmente sabbiosa color marrone con concrezioni calcaree e macule carboniose.						
8						(RM)		
9			9.45			9.00		
		Limo con ghiaia e talora ciottoli (dmax 8 cm) sabbioso color marrone. Elementi ghiaiosi eterogenei, da subarrotondati a subspigolosi.	9.60					
		Argilliti marnose color rosso vinaccia.	10.00					
10					(CS) 10.00		# 2	A 10.00

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Carotaggio: continuo
Sonda: T41

Responsabile di sito
Dr. Alessio Costantini

Direttore laboratorio
Dr. Moretti Giuliano

Campioni prelevati n° (data prelievo) 02 (20/06/23)

TECNA Srl
Sede Legale : Via Ser Gorello, 11/a - 52100 AREZZO - Cod. fiscale e Part. IVA: 01358250510
Uffici e Deposito : Via A. Grandi, 51 - 52100 AREZZO - tel: 0575 – 323501 - fax e tel: 0575 - 1979797
E-mail: info@geognostica.it - tecna@geognostica.it - Skype : tecna.ufficio - tecna.porta
Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad effettuare e certificare prove geotecniche sui terreni n. 4542 del 13/04/2012

STRATIGRAFIA

Committente	Località		Certificato n° / Data
Comune di Pontassieve	Pontassieve (FI)		030I del 25/10/2023
Cantiere	**Sondaggio n.**	**Inizio / Fine Esecuzione**	**Commessa n° / Data**
Ex Area Ferroviaria Borgo Verde	S6	21/06/2023	030 del 21/01/2023

Responsabile di sito	Operatore	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Diametro perforazione / Diametro rivestimento
Dr. Alessio Costantini	Sereni e Pioli	continuo	T41	101 mm / 127 mm

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Piezometro P-(1)
		Ballast ferroviario.	0.70					
1		Terreno di riporto e rimaneggiato costituito da limo con ghiaia sabbiosa color marrone.	1.30					
2		Limo con argilla debolmente sabbiosa color marrone con concrezioni calcaree e macule carboniose.	3.00					
3		Campione indisturbato.	3.50	3.00 S 3.50				
4		Limo con argilla debolmente sabbiosa color marrone con concrezioni calcaree e macule carboniose.						
5							# 1	
6								
7								
8			8.65			(RM)		
9		Limo con sabbia ghiaioso debolmente argilloso e sabbioso ghiaioso debolmente argilloso color marrone. Elementi ghiaiosi eterometrici (dmax 3 cm) ed eterogenei, da arrotondati a subarrtondati.	10.00			9.00		
10					(CS) 10.00		# 2	A 10.00

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Carotaggio: continuo
Sonda: T41

Responsabile di sito
Dr. Alessio Costantini

Direttore laboratorio
Dr. Moretti Giuliano

Campioni prelevati n° (data prelievo) 01 (21/06/23)

TECNA Srl
Sede Legale : Via Ser Gorello, 11/a - 52100 AREZZO - Cod. fiscale e Part. IVA: 01358250510
Uffici e Deposito : Via A. Grandi, 51 - 52100 AREZZO - tel: 0575 – 323501 - fax e tel: 0575 - 1979797
E-mail: info@geognostica.it - tecna@geognostica.it - Skype : tecna.ufficio - tecna.porta
Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad effettuare e certificare prove geotecniche sui terreni n. 4542 del 13/04/2012

STRATIGRAFIA

Committente	Località		Certificato n° / Data
Comune di Pontassieve	Pontassieve (FI)		030L del 25/10/2023
Cantiere	**Sondaggio n.**	**Inizio / Fine Esecuzione**	**Commessa n° / Data**
Ex Area Ferroviaria Borgo Verde	S7	22/06/2023	030 del 21/01/2023

Responsabile di sito	Operatore	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Diametro perforazione / Diametro rivestimento
Dr. Alessio Costantini	Sereni e Pioli	continuo	T41	101 mm / 127 mm

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Piezometro P-(1)
		Terreno di riporto costituito da elementi litoidi in scarsa matrice sabbiosa.	0.30					
1		Terreno di riporto costituito da limo con ghiaia e ciottoli e ghiaia con limo da sabbioso a debolmente sabbioso color marrone.	2.00					
2 3		Limo con argilla e argilloso color marrone con ghiaietto sparso, macule carboniose e concrezioni calcaree.	3.50					
		Campione indisturbato.	4.00	3.50 S 4.00				
4		Limo con argilla e argilla con limo con macule carboniose e rare concrezioni calcaree.	5.00				# 1	
5		Limo con argilla debolmente sabbioso e debolmente ghiaioso color marrone.	6.00					
6 7		Limo con argilla e argilloso color marrone con macule carboniose e concrezioni calcaree.	8.00					
8		Limo sabbioso e con sabbia debolmente ghiaioso e debolmente argilloso color marrone.	8.60			(RM)		
		Sabbia limosa e con limo color marrone.	9.00					
9		Sabbia con ghiaia limosa e ghiaia con sabbia limosa: Elementi ghiaiosi eterometrici (dmax 7cm) eterogenei da subarrotondati a subspigolosi.	10.00		(CS) 10.00	9.00	# 2	A 10.00
10								

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Carotaggio: continuo
Sonda: T41

Responsabile di sito
Dr. Alessio Costantini

Direttore laboratorio
Dr. Moretti Giuliano

Campioni prelevati n° (data prelievo) 01 (22/06/23)

SONDAGGIO S1

(lunghezza 10,0 m dal p.c.)

(cassetta 1 – 0,0 / 5,0 m dal p.c.)

(cassetta 2 – 5,0 / 10,0 m dal p.c.)

SONDAGGIO S2

(lunghezza 10,0 m dal p.c.)

(cassetta 1 – 0,0 / 5,0 m dal p.c.)

(cassetta 2 – 5,0 / 10,0 m dal p.c.)

SONDAGGIO SP6

(lunghezza 10,0 m dal p.c.)

(cassetta 1 – 0,0 / 5,0 m dal p.c.)

(cassetta 2 – 5,0 / 10,0 m dal p.c.)

SONDAGGIO SP7

(lunghezza 10,0 m dal p.c.)

(cassetta 1 – 0,0 / 5,0 m dal p.c.)

(cassetta 2 – 5,0 / 10,0 m dal p.c.)

GeotecnicaGeofisicaGeognostica

Tecna S.r.l.
per Comune di Pontassieve

Area ferroviaria
Pontassieve (FI)

RISULTATI PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

VERBALE DI ACCETTAZIONE:	1600	DATA VERBALE :	27/03/23	IL DIRETTORE DEL LABORATORIO DOTT. RICCARDO RAMPI
COMMESSA:	1406	DATA EMISSIONE CERTIFICATI:	11/04/23	

CNG S.r.l.
Sede Legale e Uffici Tecnici: Via Atlante, 101 - 00133 - Roma
Tel 06 2018088 - WEB: www.congeo.it - E-mail: cng@congeo.it - PEC: cngsrl@pec.it
C. F. e P. I.V.A. 11215291003 - R.E.A. n. 1287827 - c.s. 10.000,00 € i.v.
Azienda con Sistema Qualità Certificato N° IT239744

CNG S.r.l.
LABORATORIO GEOTECNICO
Via Atlante, 101 - 00133 Roma
Tel 062018088 cng@congeo.it

Tecna S.r.l. per Comune di Pontassieve	Data:	**11/04/2023**
Area ferroviaria	N° Commessa	**1406**
Pontassieve (FI)	N° Verbale	**1600**

QUADRO SINOTTICO DEI RISULTATI

DETERMINAZIONE												
		SONDAGGIO	1	1	2	2	3					
		CAMPIONE	1	2	1	2	2					
		da m	2,70	4,00	2,50	4,50	6,00					
		a m	3,20	4,50	3,00	5,00	6,50					
		N° laborat.	6126	6127	6128	6129	6130					
CONTENUTO NATURALE D'ACQUA	W_n	(%)	22,0	20,8	24,2	20,7	22,6					
INDICE DEI VUOTI	e	(-)	0,65	0,59	0,69	0,59	0,63					
POROSITA'	n	(%)	39,3	36,9	40,7	37,0	38,6					
GRADO DI SATURAZIONE	S_r	(%)	92,2	97,5	96,6	96,5	98,2					
PESO DI VOLUME NATURALE	γ_n	(kN/m^3)	19,71	20,52	19,77	20,42	20,14					
PESO DI VOLUME SECCO	γ_d	(kN/m^3)	16,16	16,99	15,92	16,92	16,43					
PESO DI VOLUME SATURO	γ_{sat}	(kN/m^3)	20,01	20,61	19,91	20,55	20,21					
PESO SPECIFICO DEI GRANULI	γ_s	(kN/m^3)	26,61	26,94	26,83	26,86	26,74					
FRAZIONE GHIAIOSA	G	(%)	2,7	8,8	3,5	1,2	3,0					
FRAZIONE SABBIOSA	S	(%)	12,1	12,7	8,4	13,4	7,4					
FRAZIONE LIMOSA	L	(%)	58,3	50,9	50,7	48,6	58,3					
FRAZIONE ARGILLOSA	A	(%)	26,9	27,6	37,4	36,8	31,3					
LIMITE DI LIQUIDITA'	W_L	(%)	37,0	48,9	46,5	58,0	55,5					
LIMITE DI PLASTICITA'	W_P	(%)	19,0	21,8	18,1	24,0	25,8					
INDICE DI PLASTICITA'	IP	(%)	18,1	27,2	28,4	34,0	29,7					
INDICE DI CONSISTENZA	IC	(-)	0,8	1,0	0,8	1,1	1,1					
LIMITE DI RITIRO	W_S	(%)										
CLASSIFICAZIONE U.S.C.S. (S.I.)	U.S.C.S	(-)	CL	CL	CL	CH	CH					
CLASSIFICAZIONE AASHTO	AASHTO	(-)	A-6	A-7-6	A-7-6	A-7-6	A-7-6					
VANE TEST (MEDIA DI PIU' VALORI)		(kPa)	120	164	102	151	156					
POCKET PENETROMETER (MEDIA O RANGE DI PIU' VALORI)		(kPa)	304	414	228	333	320					
RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA	σ	(kPa)	207	351	181	287	312					
	ε	(%)	4,2	14,5	10,9	11,7	13,7					
PROVA DI TAGLIO DIRETTO TIPO CD*	c'	(kPa)	20	25	20	25	35					
	ϕ'	(°)	26	27	24	27	26					
PROVA DI TAGLIO DIRETTO RESIDUO	c_r	(kPa)										
	ϕ_r	(°)										
PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE UU	c_u	(kPa)										
	ϕ_u	(°)										
PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CIU	c	(kPa)										
	ϕ	(°)										
PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CID	c'	(kPa)										
	ϕ'	(°)										
MODULO DI COMPRESSIBILITA' EDOMETRICA	E (kPa)	12.3/25(kPa)										
		25/49(kPa)			30170							
		49/98(kPa)	10708		38234	25099						
		98/196(kPa)	5534		15213	14733	24699					
		196/392(kPa)	8730	32796	17299	16907	16977					
		392/785(kPa)	13716	23896	18809	20921	25683					
		785/1569(kPa)	23981	29925	28955	23865	28103					
		1569/3138(kPa)	50041	46572	49835	41796	44883					
		3138/6276(kPa)										
COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE	Cv cm^2/sec	12.3/25(kPa)										
		25/49(kPa)										
		49/98(kPa)										
		98/196(kPa)	7,88E-04			2,11E-04						
		196/392(kPa)	5,74E-04		2,29E-04	1,25E-04	1,12E-04					
		392/785(kPa)	4,15E-04	1,37E-04	1,40E-04	1,57E-04	9,63E-05					
		785/1569(kPa)	2,48E-04	8,91E-05	1,08E-04	9,46E-05	5,92E-05					
		1569/3138(kPa)	1,69E-04	9,76E-05	9,32E-05	9,17E-05	4,27E-05					
		3138/6276(kPa)										
PROVA DI COLONNA RISONANTE	RC	/										
PROVA DI TAGLIO TORSIONALE CICLICO	TTC	/										
PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN CELLA EDOMETRICA	RG	(kPa)										
PROVA PROCTOR	PR	γd (kN/m^3)										
		w (%)										
PROVA CBR	CBR	(a 2,5 mm)										
CONTENUTO IN CARBONATI TOTALI	CAT	(%)										
PROVA DI PERMEABILITA' IN CELLA EDOMETRICA	K	(m/sec)										

* NEL TD I VALORI DI C' E φ' SONO IL RISULTATO DI UNA RETTA DI INVILUPPO CHE PASSA PER I TRE PUNTI COME LINEA DI INTERPOLAZIONE, SENZA ALCUNA INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

TECNA Srl

CQOP SOA Costruttori Qualificati Opere Pubbliche OS 21 : II OS 20-B : I Attestazione : 65213 / 10 / 00

IMQ CERTIFIED QUALITY MANAGEMENT SYSTEM ISO 9001:2015

Cassa Edile Awards 2022

Certificato Lefranc S1.xls

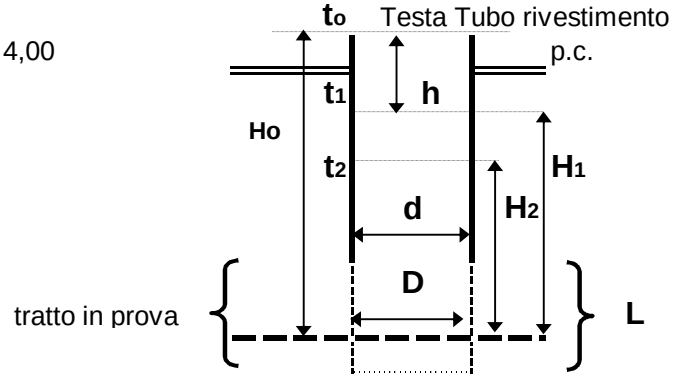
PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC - PROVA PER IMMISSIONE A CARICO VARIABILE

COMMESSA n: 30 **del** 21/01/2023 **CERTIFICATO n:** 030L1 **del** 11/10/23

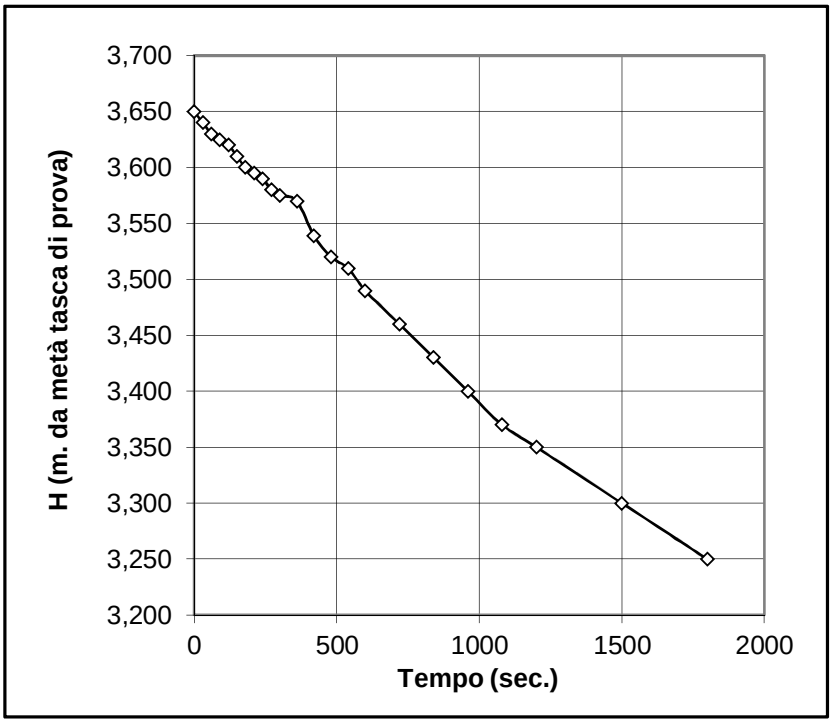
COMMITTENTE: **Comune di Pontassieve** CANTIERE: **Ex. area ferroviaria di Pontassieve**

SONDAGGIO n°: **S1** PROVA n°: **1** DATA: **23/06/23**

TRATTO IN PROVA		m da p.c. da	3,00	a	4,00
TEMPO DI PROVA		minuti	30,00		
PROFONDITÀ FONDO FORO		m da p.c.	-4,00		
PROFONDITÀ RIVESTIMENTO		m da p.c.	-3,00		
ALTEZZA T.T. RIVESTIMENTO		m da p.c.	0,15		
LIVELLO DELLA FALDA		m da p.c.	Assente		
LUNGHEZZA TASCA	L	m	1,00		
DIAMETRO TASCA	D	m	0,107		
DIAMETRO RIVESTIMENTO	d	m	0,107		



t (sec)	Livello da T.T. (m)	h m da p.c.	H m	K m/sec
0	0,000	0,150	3,650	
30	-0,010	0,140	3,640	3,84E-07
60	-0,020	0,130	3,630	3,85E-07
90	-0,025	0,125	3,625	1,93E-07
120	-0,030	0,120	3,620	1,93E-07
150	-0,040	0,110	3,610	3,87E-07
180	-0,050	0,100	3,600	3,88E-07
210	-0,055	0,095	3,595	1,94E-07
240	-0,060	0,090	3,590	1,95E-07
270	-0,070	0,080	3,580	3,90E-07
300	-0,075	0,075	3,575	1,95E-07
360	-0,080	0,070	3,570	9,78E-08
420	-0,111	0,039	3,539	6,10E-07
480	-0,130	0,020	3,520	3,76E-07
540	-0,140	0,010	3,510	1,99E-07
600	-0,160	-0,010	3,490	3,99E-07
720	-0,190	-0,040	3,460	3,02E-07
840	-0,220	-0,070	3,430	3,04E-07
960	-0,250	-0,100	3,400	3,07E-07
1080	-0,280	-0,130	3,370	3,10E-07
1200	-0,300	-0,150	3,350	2,08E-07
1500	-0,350	-0,200	3,300	2,10E-07
1800	-0,400	-0,250	3,250	2,13E-07



MORETTI TECNA®

K = 2,93E-07 m/sec
media sull'intero intervallo

K = 2,35E-07 m/sec
media sul tratto ad abbassamento uniforme

Sede Legale: Via Ser Gorello n 11a, 52100 AREZZO - Cod. fisc e P. IVA 01358250510
Uffici e Deposito: Via A. Grandi n 51, AREZZO tel. 0575-1824444, fax 0575-323501 - Email: info@geognostica.it, tecna@geognostica.it - Skype: tecna.porta - tecna.ufficio

TECNA Srl

CQOP SOA Costruttori Qualificati Opere Pubbliche OS 21 : II OS 20-B : I Attestazione : 65213 / 10 / 00

IMQ CERTIFIED QUALITY MANAGEMENT SYSTEM ISO 9001:2015

Cassa Edile Awards 2022

Certificato Lefranc S2.xls

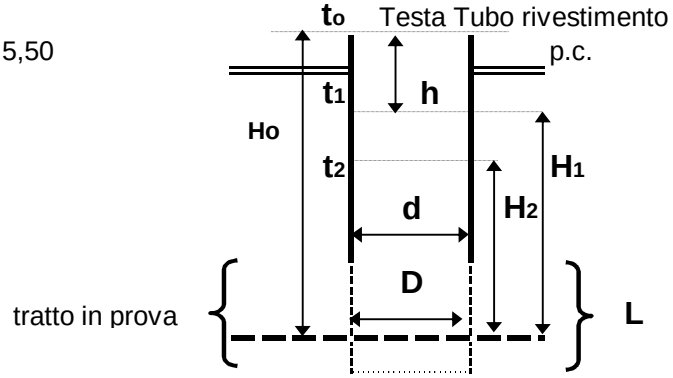
PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC - PROVA PER IMMISSIONE A CARICO VARIABILE

COMMESSA n: 30 **del** 21/01/2023 **CERTIFICATO n:** 030L2 **del** 11/10/23

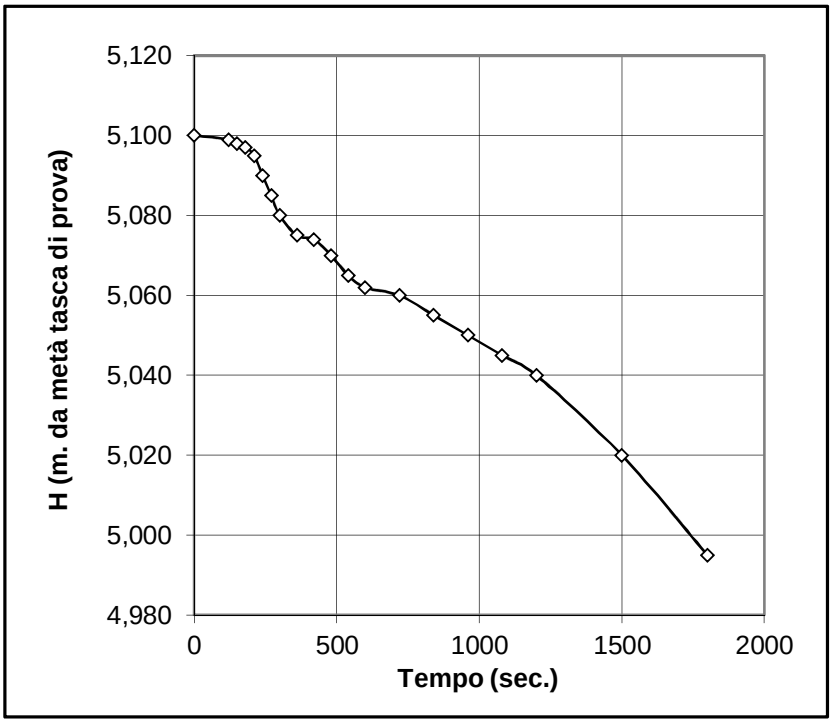
COMMITTENTE: **Comune di Pontassieve** CANTIERE: **Ex. Area ferroviaria di Pontassieve**

SONDAGGIO n°: **S2** PROVA n°: **1** DATA: **20/06/23**

TRATTO IN PROVA	m da p.c. da	4,50	a	5,50	
TEMPO DI PROVA	minuti	30,00			
PROFONDITÀ FONDO FORO	m da p.c.	-5,50			
PROFONDITÀ RIVESTIMENTO	m da p.c.	-4,50			
ALTEZZA T.T. RIVESTIMENTO	m da p.c.	0,10			
LIVELLO DELLA FALDA	m da p.c.	Assente			
LUNGHEZZA TASCA	L m	1,00			
DIAMETRO TASCA	D m	0,107			
DIAMETRO RIVESTIMENTO	d m	0,107			



t (sec)	Livello da T.T. (m)	h m da p.c.	H m	K m/sec
0	0,000	0,100	5,100	
120	-0,001	0,099	5,099	6,85E-09
150	-0,002	0,098	5,098	2,74E-08
180	-0,003	0,097	5,097	2,74E-08
210	-0,005	0,095	5,095	5,49E-08
240	-0,010	0,090	5,090	1,37E-07
270	-0,015	0,085	5,085	1,37E-07
300	-0,020	0,080	5,080	1,38E-07
360	-0,025	0,075	5,075	6,88E-08
420	-0,026	0,074	5,074	1,38E-08
480	-0,030	0,070	5,070	5,51E-08
540	-0,035	0,065	5,065	6,90E-08
600	-0,038	0,062	5,062	4,14E-08
720	-0,040	0,060	5,060	1,38E-08
840	-0,045	0,055	5,055	3,46E-08
960	-0,050	0,050	5,050	3,46E-08
1080	-0,055	0,045	5,045	3,46E-08
1200	-0,060	0,040	5,040	3,47E-08
1500	-0,080	0,020	5,020	5,56E-08
1800	-0,105	-0,005	4,995	6,98E-08



MORETTI TECNA®

K = 5,55E-08 m/sec
media sull'intero intervallo

K = 5,34E-08 m/sec
media sul tratto ad abbassamento uniforme

Sede Legale: Via Ser Gorello n 11a, 52100 AREZZO - Cod. fisc e P. IVA 01358250510
Uffici e Deposito: Via A. Grandi n 51, AREZZO tel. 0575-1824444, fax 0575-323501 - Email: info@geognostica.it, tecna@geognostica.it - Skype: tecna.porta - tecna.ufficio

TECNA Srl

CQOP SOA Costruttori Qualificati Opere Pubbliche OS 21 : II OS 20-B : I Attestazione : 65213 / 10 / 00

IMQ CERTIFIED QUALITY MANAGEMENT SYSTEM ISO 9001:2015

Cassa Edile Awards 2022

Certificato Lefranc S6.xls

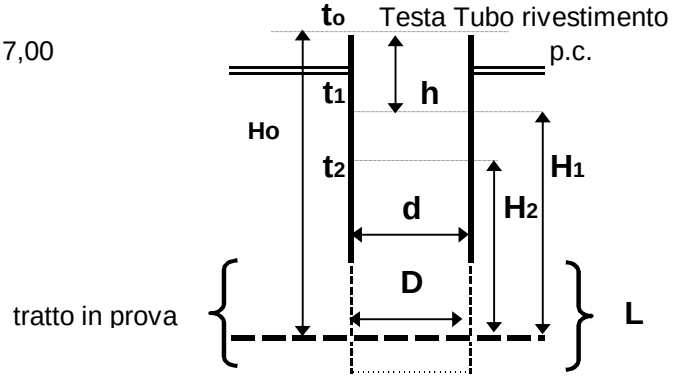
PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC - PROVA PER IMMISSIONE A CARICO VARIABILE

COMMESSA n: 30 **del** 21/01/2023 **CERTIFICATO n:** 030L3 **del** 11/10/23

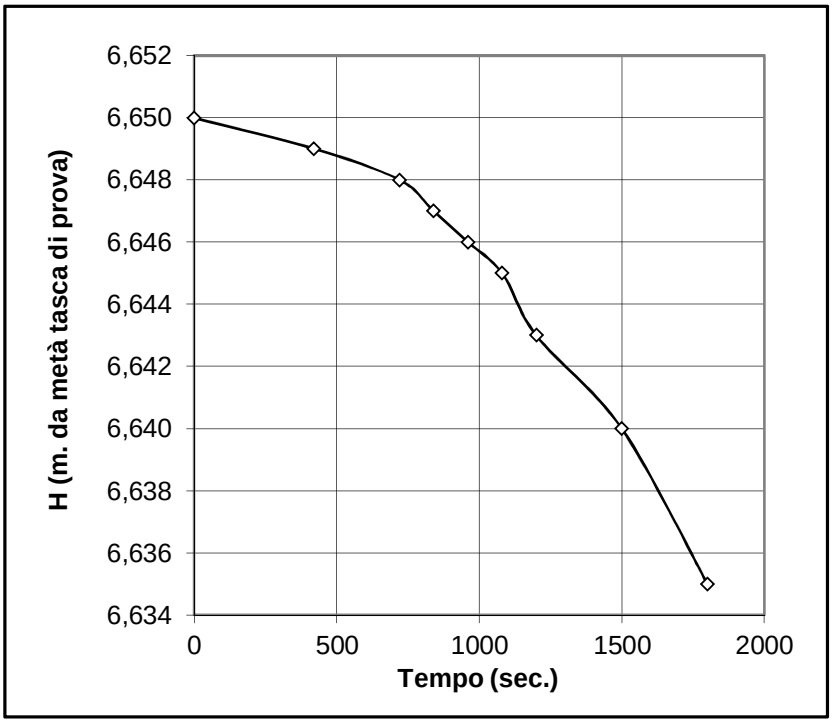
COMMITTENTE: **Comune di Pontassieve** CANTIERE: **Ex. Area ferroviaria di Pontassieve**

SONDAGGIO n°: **S6** PROVA n°: **1** DATA: **21/06/23**

TRATTO IN PROVA	m da p.c. da	6,00	a	7,00	
TEMPO DI PROVA	minuti	30,00			
PROFONDITÀ FONDO FORO	m da p.c.	-7,00			
PROFONDITÀ RIVESTIMENTO	m da p.c.	-6,00			
ALTEZZA T.T. RIVESTIMENTO	m da p.c.	0,15			
LIVELLO DELLA FALDA	m da p.c.	Assente			
LUNGHEZZA TASCA	L m	1,00			
DIAMETRO TASCA	D m	0,107			
DIAMETRO RIVESTIMENTO	d m	0,107			



t (sec)	Livello da T.T. (m)	h m da p.c.	H m	K m/sec
0	0,000	0,150	6,650	
420	-0,001	0,149	6,649	1,50E-09
720	-0,002	0,148	6,648	2,10E-09
840	-0,003	0,147	6,647	5,26E-09
960	-0,004	0,146	6,646	5,26E-09
1080	-0,005	0,145	6,645	5,26E-09
1200	-0,007	0,143	6,643	1,05E-08
1500	-0,010	0,140	6,640	6,32E-09
1800	-0,015	0,135	6,635	1,05E-08



MORETTI TECNA®

K = 5,84E-09 m/sec
media sull'intero intervallo

K = 9,12E-09 m/sec
media sul tratto ad abbassamento uniforme

Sede Legale: Via Ser Gorello n 11a, 52100 AREZZO - Cod. fisc e P. IVA 01358250510
Uffici e Deposito: Via A. Grandi n 51, AREZZO tel. 0575-1824444, fax 0575-323501 - Email: info@geognostica.it, tecna@geognostica.it - Skype: tecna.porta - tecna.ufficio

TECNA Srl

CQOP SOA Costruttori Qualificati Opere Pubbliche OS 21 : II OS 20-B : I Attestazione : 65213 / 10 / 00

IMQ CERTIFIED QUALITY MANAGEMENT SYSTEM ISO 9001:2015

Cassa Edile Awards 2022

Certificato Lefranc S7.xls

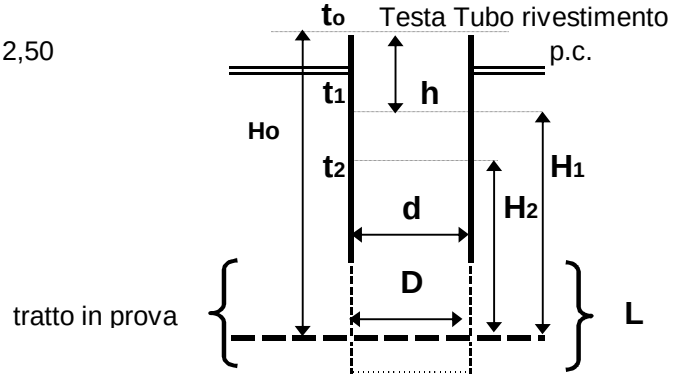
PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC - PROVA PER IMMISSIONE A CARICO VARIABILE

COMMESSA n: 30 **del** 21/01/2023 **CERTIFICATO n:** 030L4 **del** 11/10/23

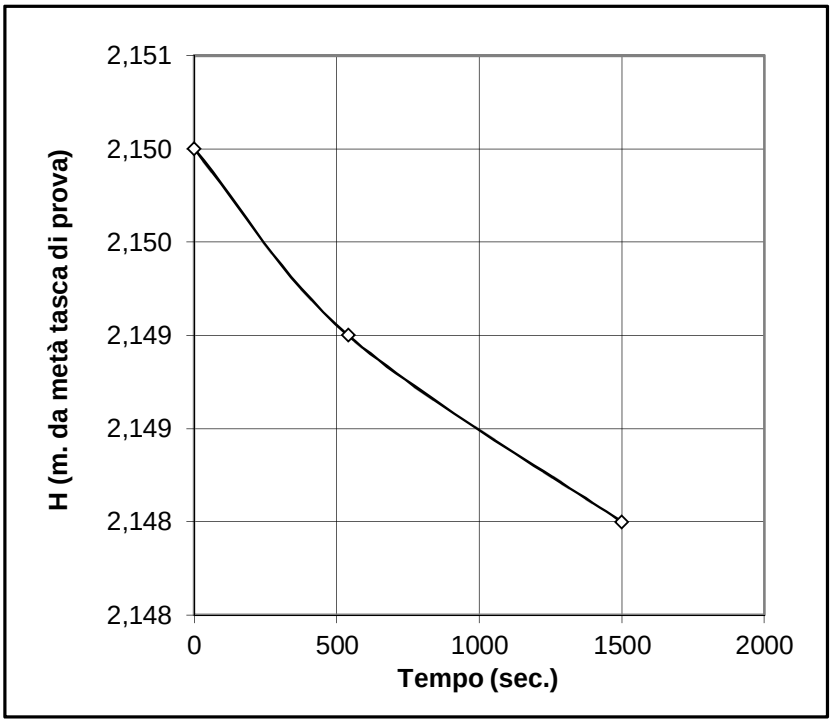
COMMITTENTE: **Comune di Pontassieve** CANTIERE: **Ex. area ferroviaria di Pontassieve**

SONDAGGIO n°: **S7** PROVA n°: **1** DATA: **22/06/23**

TRATTO IN PROVA		m da p.c. da	1,50	a	2,50
TEMPO DI PROVA		minuti	25,00		
PROFONDITÀ FONDO FORO		m da p.c.	-2,50		
PROFONDITÀ RIVESTIMENTO		m da p.c.	-1,50		
ALTEZZA T.T. RIVESTIMENTO		m da p.c.	0,15		
LIVELLO DELLA FALDA		m da p.c.	Assente		
LUNGHEZZA TASCA	L	m	1,00		
DIAMETRO TASCA	D	m	0,107		
DIAMETRO RIVESTIMENTO	d	m	0,107		



t (sec)	Livello da T.T. (m)	h m da p.c.	H m	K m/sec
0	0,000	0,150	2,150	
540	-0,001	0,149	2,149	3,61E-09
1500	-0,002	0,148	2,148	2,03E-09



MORETTI TECNA®

K = 2,82E-09 m/sec
media sull'intero intervallo

K = 2,82E-09 m/sec
media sul tratto ad abbassamento uniforme

Sede Legale: Via Ser Gorello n 11a, 52100 AREZZO - Cod. fisc e P. IVA 01358250510
Uffici e Deposito: Via A. Grandi n 51, AREZZO tel. 0575-1824444, fax 0575-323501 - Email: info@geognostica.it, tecna@geognostica.it - Skype: tecna.porta - tecna.ufficio

CITTA' METROPOLITANA DI FIRENZE

COMUNE DI PONTASSIEVE

Indagini Geofisiche attive di tipo Down-Hole e passiva HVSR svolte nella ex area ferroviaria di Pontassieve (FI)

Data: 30 Marzo 2023

Dott. Geol. Francesco Puccetti

Dott. Geol. Cristian Pieroni

INDICE RELAZIONE

1 – PREMESSA 2

1.1 UBICAZIONE AREA DI STUDIO 2

1.2 INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE 2

1.3 STRUTTURA DELLA RELAZIONE 2

2 – INDAGINE SISMICA PASSIVA HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio) 3

2.1 ACQUISIZIONE DEI DATI DI RUMORE A STAZIONE SINGOLA 3

2.2 ANALISI DEI DATI 5

2.3 IL PROGETTO SESAME 5

2.3.1 CRITERI DI AFFIDABILITA' DEL PICCO 5

2.3.2 CRITERI DI CHIAREZZA DEL PICCO 7

2.3.3 INFORMAZIONI AGGIUNTIVE AI CRITERI SESAME 8

2.4 VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DELLE MISURE HVSR 10

2.5 CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA 12

3 – INDAGINE SISMICA DOWN – HOLE 14

3.1 METODO DIRETTO – UTILIZZANDO UN SOLO RICEVITORE 14

3.2 METODO INTERVALLO 15

4 – BIBLIOGRAFIA 16

ALLEGATI

- ALLEGATO GRAFICO: ACQUISIZIONI MICROTREMORI – RAPPORTO SPETTRALE H/V – SPETTRO DELLE SINGOLE COMPONENTI – CRITERI DI AFFIDABILITÀ SESAME – CLASSIFICAZIONE PROPOSTA DA ALBARELLO ET ALII
- ALLEGATO GRAFICO: ELABORAZIONE INDAGINI SISMICHE ATTIVE DOWN-HOLE (DH)
- ALLEGATO GRAFICO: UBICAZIONE DELLE INDAGINI

1 – PREMESSA

Il presente documento riguarda la descrizione, l'elaborazione e i risultati delle indagini geofisiche, di tipo sismico attivo e passivo, condotte nell'ex area ferroviaria a Pontassieve (FI).

1.1 – UBICAZIONE AREA DI STUDIO

Le indagini geofisiche integrate, sono state eseguite all'interno della ex area ferroviaria nel centro abitato di Pontassieve.

Per la visualizzazione dell'ubicazione di ciascuna indagine geofisica svolta si rimanda alla cartografia tematica realizzata.

1.2 – INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE

La caratterizzazione dal punto vista sismico del terreno è stata condotta mediante la realizzazione delle seguenti tipologie di prove geofisiche sia attive che passive:

n. 1 **indagine sismica passiva HVSR** per determinare la frequenza di risonanza di sito.
n. 3 **indagini sismiche attive Down-Hole (DH)** per determinare il profilo sismostratigrafico delle onde P e SH.

1.3 – STRUTTURA DELLA RELAZIONE

La presente relazione descriverà i metodi di indagine utilizzati, illustrerà la metodologia di acquisizione, la strumentazione utilizzata, le tecniche e modalità di inversione/interpretazione, e verranno mostrati, in allegato, i risultati ottenuti con la campagna di prospezione geofisica sismica integrata, a supporto della caratterizzazione sismica del sottosuolo relativamente alle diverse aree di indagine.

Verranno quindi in un primo momento illustrate e descritte le varie tecniche di acquisizione dei dati geofisiche, successivamente verranno riportate le modalità di elaborazione dei dati ed infine mostrati i risultati ottenuti.

2 – INDAGINE SISMICA PASSIVA HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio)

Il metodo reso popolare da Nakamura nel 1989 è una valutazione di tipo sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie terrestre misurati puntualmente mediante l'utilizzo di un apposito sismometro a tre componenti (due orizzontali ortogonali tra di loro ed una verticale).

Proprio dal fatto che tale metodo si basa su di un rapporto viene anche denominato indagine HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio) o più semplicemente prova "di Nakamura".

Rumore al di sotto degli 0.5 Hz è generato prevalentemente da onde marine e perturbazioni atmosferiche mentre al di sopra degli 0.5 Hz il contributo prevalente è dato da vento, traffico veicolare e attività industriali.

Il risultato di tale misura viene mostrato in un grafico in cui il rapporto H/V (in ordinata) è messo in relazione con la frequenza (in ascissa).

Le frequenze alle quali la curva H/V mostra dei picchi sono le frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura.

La risonanza è un fenomeno che si viene a creare quando si hanno forti contrasti di impedenza sismica tra uno strato e il sottostante.

In caso quindi di misura effettuata al di sopra di una roccia la curva H/V non presenterà picchi significativi ma avrà un andamento piano con ampiezza pari ad 1. Maggiore quindi è il contrasto sismico e maggiore sarà la precisione della misura H/V.

Geologicamente quindi una copertura soffice al di sopra di un basamento rigido rappresenta la condizione ottimale per questa metodologia di misurazione.

In questa configurazione molto semplice è possibile quindi mettere in relazione la frequenza di risonanza (f) con la velocità media delle onde S (Vs) e lo spessore della copertura soffice (h) mediante la seguente relazione:

$$f = Vs/4h$$

Data quindi la frequenza di risonanza calcolata tramite il metodo H/V e la velocità media delle Vs delle coperture è quindi possibile ricavare la profondità dello strato a forte impedenza sismica e quindi fare successivamente una valutazione sulla possibile amplificazione simica del sito in esame.

E' importante però che questo metodo (data la sua natura stocastica) sia utilizzato assieme ad una conoscenza generale dell'area di studio dal punto di vista geologico ed a prove di sismica quali MASW e/o rifrazione in modo da avere una conoscenza a priori della natura del sito e della velocità delle coperture.

In assenza di qualsiasi vincolo infatti esistono infiniti modelli (cioè combinazioni Vs-H) che soddisfano la stessa curva H/V.

2.1 – ACQUISIZIONE DEI DATI DI RUMORE A STAZIONE SINGOLA

Le misure di rumore a stazione singola si effettuano mediante l'utilizzo di sismometri a tre componenti (chiamati anche tromografi) con una sensibilità tra 0.1 e 20 Hz (corrispondenti ai modi di vibrare della maggior parte delle strutture).

Per quanto riguarda l'acquisizione in campagna bisogna prestare molta cura ed attenzione al posizionamento dello strumento.

L'accoppiamento dello strumento con il terreno deve essere fatto il più solidale possibile evitando interfacce intermedie (ad esempio cemento, fondo stradale ecc.) le quali causano grossi problemi dovuti all'inversione di velocità la cui conseguenza in molti casi è il non corretto risultato della curva H/V.

Importante è la messa in bolla dello strumento, se questo non fosse verificato le misure sarebbero completamente errate. Evitare la misura in giornate particolarmente avverse dal punto di vista meteorologico.

E' sempre consigliabile posizionare lo strumento all'interno di una piccola buca nel terreno in modo da mantenerlo oltre che perfettamente solidale anche al riparo da possibili agenti di disturbo.

Dal momento che la le frequenze di interesse ingegneristico non superano i 25 Hz la frequenza di campionamento non deve essere inferiore ai 50 Hz.

Particolarmente importante è la durata della registrazione. Come accennato in precedenza, la misura di rumore è un fenomeno detto stocastico quindi per avere una validità dal punto di vista statistico è necessaria una consistente quantità di dati i quali si ottengono registrando il rumore per una durata commisurata alla frequenza di risonanza di interesse.

In generale quindi per avere un dato concreto riguardante un bedrock sismico profondo (basse frequenze di risonanza) sarà necessario un tempo di registrazione più lungo rispetto ad un bedrock sismico superficiale (alte frequenze di risonanza).

L'orientamento dello strumento in via convenzionale deve essere rivolto verso il Nord geografico.

In presenza di elementi topografici o morfologici lo strumento dovrebbe essere allineato secondo gli assi di questi in modo da cogliere eventuali effetti di direttività. Quest'ultima può essere causata o da una non omogenea distribuzione delle sorgenti attorno allo strumento di misura o da cause derivanti dalla natura del sottosuolo sia per motivi topografici (misure a bordo di una scarpata ad esempio) sia per motivi stratigrafici (valli sepolte, stratificazioni inclinate ecc.). Le misure quindi in cui è presente questa problematica vanno interpretate con cautela.

2.2 – ANALISI DEI DATI

Una volta registrate le serie temporali di ciascuna componente il calcolo della curva H/V avviene passando al dominio delle frequenze e facendo il rapporto tra la componente H e la componente V. La componente H è la media delle due componenti orizzontali.

Per quanto riguarda le fasi dettagliate del processing si fa riferimento alle linee guide fornite dal progetto SESAME (2004).

La fase di interpretazione successiva deve essere fatta con alcuni accorgimenti fondamentali:

1- La curva H/V deve essere statisticamente significativa, ovvero deve avere una deviazione standard sia in ampiezza che in frequenza ridotta. Se questo non fosse verificato, premesso che la prova è stata acquisita tenendo presente tutti gli accorgimenti descritti nel precedente paragrafo, è necessario "pulire" la curva H/V. SESAME (2004) propone la rimozione nella serie temporale di quelle finestre in cui la deviazione standard del segnale STA (media a breve termine) è maggiore della media a lungo termine (LTA). Si tratta quindi dell'eliminazione di quelle finestre in cui è evidente la presenza di segnali di disturbo (detti transienti).

2- La curva H/V deve essere SEMPRE osservata insieme agli spettri di ciascuna componente in modo da poter effettivamente individuare quei picchi di natura stratigrafica. In condizioni normali infatti le tre componenti hanno ampiezze simili. Alla frequenza di risonanza si ha un picco del rapporto H/V in quanto diminuisce la componente verticale determinando una forma a "occhio" o "ogiva" indice di una risonanza stratigrafica. I picchi di forma differente non sono attribuibili a cause stratigrafiche.

2.3 – IL PROGETTO SESAME

Il progetto SESAME ha stabilito delle direttive per garantire la riproducibilità delle misure H/V, indispensabile per ottenere dei dati rappresentativi e poco influenzati dal contesto di misura ed ambientale.

Le direttive fornite dal progetto SESAME descrivono diversi criteri da seguire mediante i quali è possibile valutare l'attendibilità della curva H/V.

2.3.1 – CRITERI DI AFFIDABILITÀ DEL PICCO

Le seguenti condizioni di affidabilità sono state stabilite grazie al progetto SESAME (Site Effects Assessment Using Ambient Excitations), a seguito dei numerosi studi condotti (SESAME 2004).

La prima condizione necessaria per ritenere una curva H/V affidabile, è la sua riproducibilità nello stesso sito con altre sorgenti e tipologie di rumore ambientale, e mediante una differente selezione di finestre.

In sintesi i primi tre criteri tutti da soddisfare sono i seguenti:

1. $f_0 > 10 / l_w$, ovvero che alla frequenza di interesse devono trovarsi almeno 10 cicli significativi nella finestra selezionata.; l_w è la lunghezza della finestra.

2. $n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0 > 200$, ossia che il numero di cicli significativi sia maggiore di 200; n_w è il numero di finestre selezionate per condurre l'analisi.

3. un basso livello di scattering tra le finestre. Deviazioni standard troppo elevate sono riportabili a situazioni di scarsa stazionarietà ed alta perturbazione del segnale, quindi ad una bassa rappresentatività. In particolare la deviazione standard deve essere minore di 2 (se $f_0 > 0.5$) nell'intervallo $0.5f_0 < f < 2f_0$ e minore di 3 (se $f_0 < 0.5$) sempre nel solito intervallo.

Per quanto detto nel punti I e II quindi un picco ad 1 Hz per la sua corretta affidabilità devono esserci almeno 20 finestre di 10 s ognuna, o per un picco a 0,5 Hz, 10 finestre a 40s.

Nella tabella sottostante vengono indicati parametri di affidabilità a seconda del picco di interesse.

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

Poiché i transienti eventualmente presenti nella registrazione vanno eliminati in fase di processing, è opportuno allungare il tempo di registrazione.

La tabella sopra indicata, fornita dal progetto SESAME deve comunque essere utilizzata in maniera molto indicativa.

Nella realtà infatti bisogna tenere presente che per la registrazione corretta di un picco a basse frequenze (bedrock sismico profondo quindi) a seconda delle caratteristiche geologiche del sito sono necessari tempi di registrazione superiori (anche nell'ordine delle ore).

E' quindi buona norma prima di effettuare misure di rumore conoscere la geologia della zona da investigare e fare riferimento a tutte le prove pregresse effettuate nel sito.

2.3.2 – CRITERI DI CHIAREZZA DEL PICCO

Nel migliore dei casi, la curva mostra un singolo picco 'netto', definibile in termini di ampiezza, deviazione standard relativa ed assoluta. In termini di ampiezza deve soddisfare le seguenti condizioni:

1. Esistenza di una frequenza f^- tra $f_0/4$ ed f_0 tale che $A_0 / A_{H/V}(f^-) > 2$; dove A_0 rappresenta l'ampiezza media del picco e $A_{H/V}(f^-)$ l'ampiezza della frequenza f^-.

2. Esistenza di un'altra frequenza f^+, compresa tra f_0 e $4f_0$, tale che $A_0 / A_{H/V}(f^+) > 2$;

3. $A_0 > 2$.

Viceversa le condizioni di **stabilità** sono che:

1. Il picco deve apparire alla stessa frequenza sulle curve H/V corrispondenti alla somma e differenza della deviazione standard, con una percentuale del 5%;

2. La deviazione standard del picco in frequenza σ_f, deve essere inferiore ad una soglia massima $\varepsilon(f_0)$;

3. La deviazione standard del picco in ampiezza $\sigma_A(f_0)$, deve essere inferiore ad una soglia massima $\theta(f_0)$; Il valore $\sigma_A(f_0)$ rappresenta il numero con cui moltiplicare e dividere la curva media H/V per ottenere le curve relative alla deviazione standard.

Di seguito sono inseriti i valori massimi accettabili per le deviazioni standard a diversi range di frequenza del picco.

Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.20 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

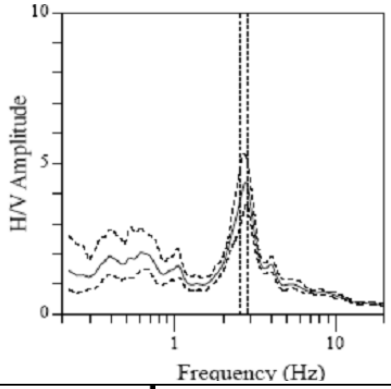
Quindi se la curva H/V per un dato sito soddisfa almeno 5 di queste 6 condizioni, il valore di f_0 è da considerarsi rappresentativo della frequenza fondamentale; se l'ampiezza di picco A_0 è

maggiore di 4 o 5, si può affermare con certezza che esiste una discontinuità ed un contrasto di velocità ad una qualche profondità.
Bisogna infine verificare che:

1. la frequenza f_0 è consistente con la frequenza di cut-off del sensore e con la sensitività;

2. il picco non ha origine industriale.

In basso si riporta un esempio di curva H/V, con picco 'netto' che soddisfa le condizioni di stabilità.



Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows			
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$
41	14	1561	2.72	0.11	4.4	1.2

Fig. 10 - Esempio di picco netto da SESAME (2004)

Non sempre la curva H/V mostra dei picchi netti. Talora sono poco chiari o allargati, e non soddisfano le condizioni sopra citate.

In questi casi sono imputabili a diversi fattori quali: un contrasto di impedenza moderato o alla bassa frequenza delle vibrazioni ambientali; condizioni di misura ventose e perturbate; un disaccoppiamento suolo-sensore; disturbi a bassa frequenza (camion, macchine a grande distanza); parametri di smoothing inadeguati; sensore a frequenza e sensitività troppo basse.

2.3.3 – INFORMAZIONI AGGIUNTIVE AI CRITERI SESAME

A questo punto verificati i punti sopra elencati occorre allegare a tali risultati altre informazioni non descritte nel progetto SESAME per dare maggiore stabilità all'indagine.

Di seguito l'elenco completo:

1. Stazionarietà temporale dei rapporti spettrali.
   In pratica una volta effettuata la registrazione, il dato viene diviso dall'operatore in finestre temporali, per ciascuna di esse il software calcola la curva H/V e come output restituisce un diagramma FT in cui al variare del tempo viene mostrato l'andamento del segnale.

Il segnale è stazionario se la forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% circa della durata della misura.

2. Direttività del segnale (azimuth).
   Il software calcola una volta selezionate le finestre la direttività del segale ovvero la sua provenienza rispetto all'orientazione degli assi dei sensori dello strumento (di norma la componente orizzontale NS deve essere rivolta verso Nord).

   La direttività corretta si ha quando il picco H/V (nel caso sia presente uno solo altrimenti tutti i picchi) è presente da 0 a 180° (da 180° a 360° è superfluo poiché la distribuzione del segnale è speculare) ovvero le sorgenti intorno allo strumento sono uniformi in tutte le direzioni.

   Viceversa in caso di segnali direttivi in un range ridotto di frequenze le cause possono essere varie tra cui sorgenti non uniformi (es. rumori industriali).

   In questo caso il risultato della registrazione non è attendibile. le variazioni azimuthali di ampiezza non devono superare il 30% del massimo.

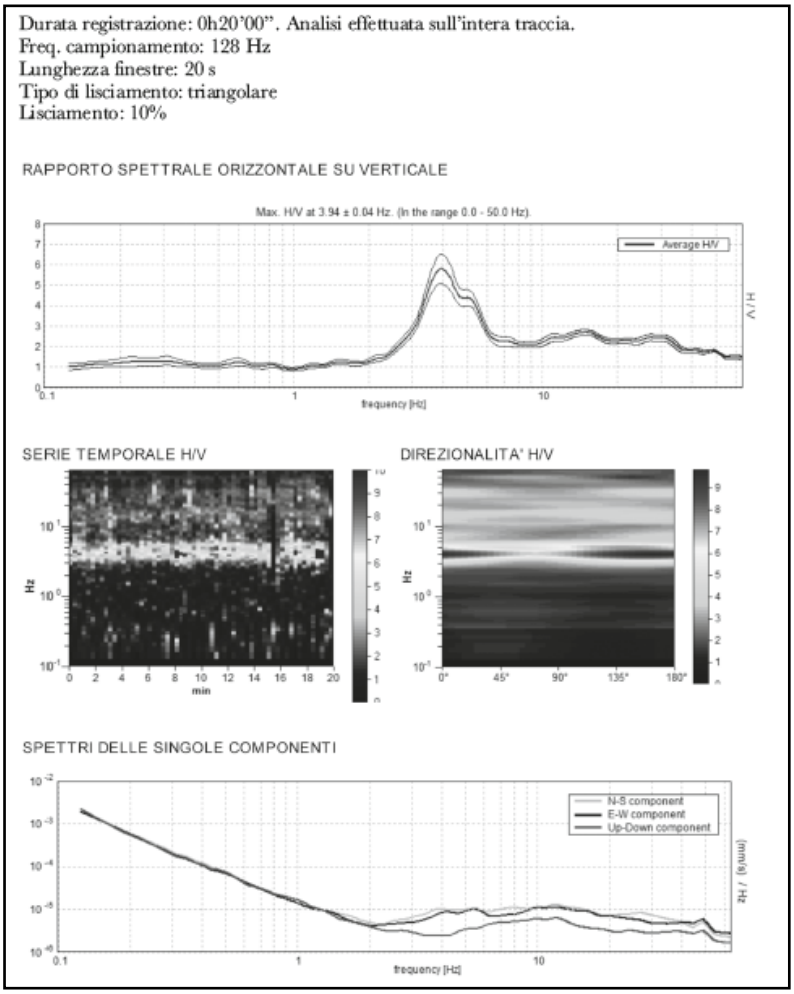
   Questo deriva dal fatto che, nonostante la natura stocastica del fenomeno, in presenza di un campo d'onda diffuso, ovvero caratterizzato da sorgenti posizionate in maniera statisticamente omogenea attorno al sito di misura che si attivano in maniera non coordinata, l'andamento medio del segnale risulterà statisticamente indipendente dalla loro natura e posizione e sarà condizionato soprattutto dalla struttura del sottosuolo.

3. Si deve inoltre allegare l'andamento complessivo del rapporto H/V e gli spettri di ciascuna componente.

   Ciò è utile per verificare che in corrispondenza del picco ci sia un effettivo abbassamento della componente verticale rispetto alle componenti orizzontali (plausibilità fisica).

   Inoltre mediante il confronto dei vari spettri è possibile verificare se lo strumento è bene in bolla e l'eventuale presenza di inversioni di velocità caratterizzate contrariamente da quanto detto in precedenza da un abbassamento delle componenti orizzontali rispetto alla componente verticale.

4. Bisogna verificare l'assenza di rumore elettromagnetico caratterizzato da una forte direttività e da picchi molto stretti nella curva H/V.



Picco H/V a 3.9 ± 0.04 Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).			
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	3.94 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4725.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz	Superato 0 volte su 190	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.031 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.938 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.79 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.00462| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.01818 < 0.19688	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3534 < 1.58	OK	

Fig. 11 - Esempio di acquisizione corretta e presentazione dei risultati (D.Albarello,S.Castellaro, 2011)

2.4 – VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELLE MISURE HVSR

E' proposta, quale metodo di valutazione della qualità tecnica delle misure HVSR acquisite, la classificazione proposta da Albarello et alii, 2010 e Albarello & Castellaro,2011.

L'obiettivo della classificazione è fornire una indicazione immediata circa la qualità delle singole misure H/V, con lo scopo di aiutare gli operatori nella fase interpretativa e nel confronto con altri dati osservati.

La classificazione di Albarello et alii, 2010 e Albarello & Castellaro, 2011 si divide in 3 classi principali: Classe A, Classe B e Classe C.

Classe A: H/V affidabile e interpretabile: può essere utilizzata anche da sola.

1. la forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% circa della durata della misura (stazionarietà)

2. le variazioni azimuthali di ampiezza non superano il 30% del massimo (isotropia)

3. non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse (assenza di disturbi)

4. i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale (plausibilità fisica)

5. i criteri di SESAME per una curva H/V attendibile (primi 3 criteri) sono verificati (robustezza statistica)

6. la misura è durata almeno 15/20 minuti (durata)

<u>ECCEZIONE per la Classe A</u>: misure effettuate su roccia integra affiorante o in zone alluvionali fini con basamento sismico molto profondo (tipicamente > 1 km) possono non mostrare alcun picco statisticamente significativo della curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico, a causa dell'assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati. In questi casi, in cui la curva H/V apparirà piatta e con ampiezza circa pari a 1, il criterio 5 risulterà non verificato anche se la misura è di fatto attendibile.

Classe B: curva H/V sospetta (da "interpretare"): va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze

1. almeno una delle condizioni della classe A non è soddisfatta, a condizione che non si rientri nell'ECCEZIONE per la Classe A.

Classe C: curva H/V scadente e di difficile interpretazione: non va utilizzata

1. misura di tipo B nella quale la curva H/V mostra una ampiezza crescente al diminuire della frequenza (deriva), indice di un movimento dello strumento durante la misura

2. misura di tipo B nella quale si evidenza la presenza di rumore elettromagnetico nell'intervallo di frequenze di potenziale interesse.

Per le sole Classi A e B si possono pertanto definire due sottoclassi delle classi precedenti, ossia: Tipo 1. Presenta almeno un picco "chiaro" secondo i criteri di SESAME: possibile

risonanza Tipo 2. Non presenta picchi “chiari” nell’intervallo di frequenze di interesse: assenza di risonanza

2.5 – CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le misure di rumore HVSR sono state tutte registrate mediante l’utilizzo del tromografo *THEREMINO*, costituito da geofoni con frequenza di 4.5 Hz

La sua particolare forma e utilizzo è il risultato di alcune considerazioni sperimentali e non per motivi estetici o di designer:

1- Forma circolare per avere la minima resistenza al vento;

2- Cupola semisferica ribassata per avere la minima resistenza al vento;

3- Baricentro molto ribassato per avere la massima stabilità;

4- Peso aumentato da una zavorre in piombo;

5- Diametro sufficientemente largo per avere una maggiore stabilità;

6- Materiale in policarbonato per isolare acusticamente i geofoni dai rumori antropici ed ambientali;

7- I cavi non devono essere posizionati verticalmente rispetto allo strumento perché causano vibrazioni dovute al vento, il cavo ha l'effetto " bandiera " generando frequenze orizzontali che non hanno nulla a che fare con i microtremori;

8- Aumento sella larghezza della base di appoggio, in questo modo i tre puntali che poggiano sul terreno aumentano la stabilita dello strumento e garantiscono una riduzione della rumorosità strumentale indotta da vento e rumori antropici;

9- Distanza identica tre i vari puntali, in questo modo si ha una eguale distribuzione a 360° delle vibrazioni indotte del terreno;

10- Con il piombo di zavorra si è aumentato la pressione sul terreno evitando cosi saltellamenti verticali e garantendo una maggiore aderenza e continuità tra terreno e strumento;

11- La zavorra in piombo posizionata nella arte medio bassa della piastra e l'alleggerimento della cupola hanno spostato il baricentro strumentale a pochi cm dal piano di appoggio sul terreno, ciò va a favore della stabilita;

12- La forma rotondeggiante della piastra e la forma semisferica della cupola permette di avere un alto grado si permeabilità al vento, possibile affondate la piastra di 4- 5 cm nel terremo estirpando la cotica erbosa superficiale, in questo modo dal piano si campagna spunta solo la cupola riducendo ulteriormente l'effetto vento;

13- Isolamento acustico del geofono grazie allo spessore della cupola, in questo modo di riduce l'effetto "microfono" dei geofoni che trasformano i rumori acustici in fastidiosi disturbi e rumori random;

14- Spessori centimetrici delle pareti dell'ufo per evitare vibrazioni dannose dovute a spessori millimetrici dei contenitori spesso in plastica della scatola utilizzata;

15- Minima superficie laterale per ridurre l'impatto con il vento;

16- La forma tondeggiante e semisferica della piastra e della cupola permette di avere la medesima disposta al vento in tutti i 360 gradi;

17- Contenitore basso e largo, e pesante al contrario di molti strumenti stretti alti e leggeri con pareti di lamierino sottile (vere casse acustiche), il contrario di come dovrebbero essere;

18- Molta cura nel posizionamento all'interno dello strumento dell'elettronica e dei geofoni, riduzione al massimo di componenti inutili che hanno lo scopo di sporcare il segnale e una cura per schermare il segnale da inquinamento elettromagnetico.

3 - INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE

In sismica non esistono soltanto le metodologie di indagine della rifrazione e della riflessione, esistono altre che prendono il nome di "sismica in foro".

Una di esse, che è stata affrontata in questo lavoro, è la sismica Down-Hole. In questa tecnica viene fatto un foro nel terreno (di solito si utilizza il foro fatto per un carotaggio) opportunamente rivestito in cui viene fatto calare un sensore a tre componenti, in grado quindi di registrare sia le onde P che le S (SH e SV), a intervalli di 1-2 metri fissandolo alle pareti del foro tramite un sistema ad aria compressa o idraulico.

La sorgente viene posta in superficie ad una distanza d dal foro.

L'impulso alla sorgente produce lungo la direzione di propagazione verticale prevalentemente onde longitudinali P se la battuta è effettuata verticalmente (ad esempio una colpo di mazza su di una piastra) mentre produce impulsi prevalentemente orizzontali e quindi onde di taglio polarizzate orizzontalmente (onde SH) se vengono effettuate battute parallele al terreno di superficie (ad esempio lateralmente ad una trave di legno opportunamente fissata al terreno).

L'acquisizione dei dati può avvenire in due modi differenti:

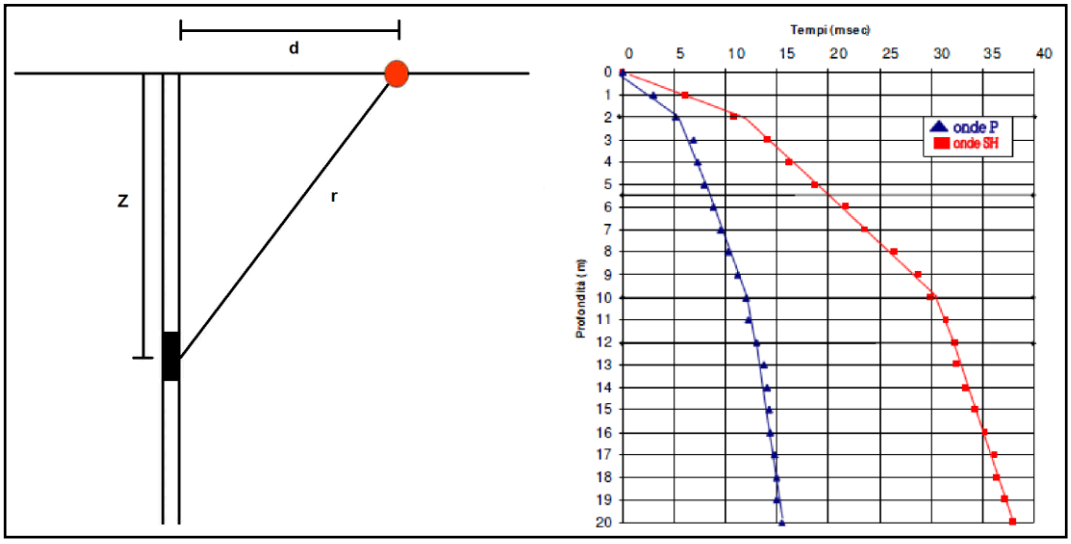
3.1 METODO DIRETTO – UTILIZZANDO UN SOLO RICEVITORE

Per poter interpretare il down - hole con il metodo diretto, inizialmente, è necessario correggere i tempi di tragitto t misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde.

Quindi se d è la distanza della sorgente dall'asse del foro, r la distanza fra la sorgente e il sensore tridimensionale, z la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti (tcorr) mediante la seguente formula di conversione:

$$tcorr = (Z / r) t$$

Calcolati i tempi corretti sia per le onde P che per le onde S si realizza il grafico tcorr – z in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dal coefficiente angolare (come nella sismica a rifrazione) dei segmenti di retta lungo i quali si interpolano i dati sperimentali.



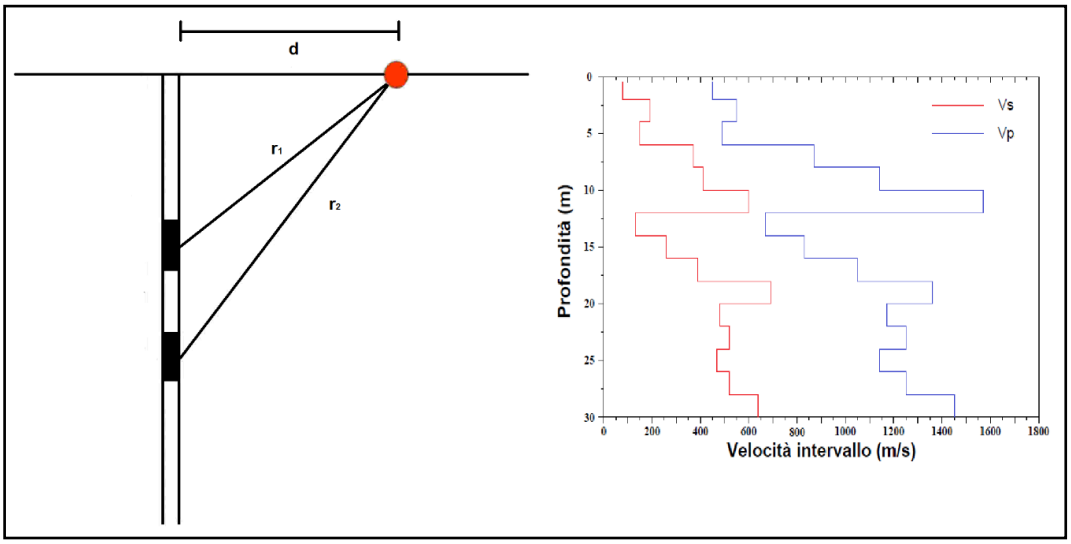
Schema di acquisizione con un ricevitore e a destra il relativo risultato

3.2 METODO INTERVALLO

Questo metodo risulta migliore del primo in quanto i tempi di tragitto dell'onda sismica si misurano fra due ricevitori consecutivi posti a differente profondità consentendo una migliore definizione del profilo di velocità.

Ottenute le misure è possibile calcolare i tempi corretti con la formula vista in precedenza e la "velocità di intervallo" delle onde P e S con la formula seguente:

$$Vp,s = (Z2 - Z1) / (t2corr - t1corr)$$



Schema di acquisizione con doppio ricevitore e a destra il relativo risultato.

Il metodo intervallo presenta però dei limiti infatti non tiene conto della velocità degli strati sovrastanti e non è applicabile nel caso in cui t2corr < t1corr.

4 – BIBLIOGRAFIA

C. Park, R. Miller, J. Xia. Multichannel Analysis of Surface Waves, Geophysics, 64(3), 800-808, 1999.

C. Park, R. Miller, J. Xia and J. Ivanov. Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) – active and passive methods, The Leading Edge (January 2007).

M. Cercato. Addressing non-uniqueness in linearized multichannel surface wave inversion, Geophysical Prospecting, 00, 1-21, 2008.

S. Foti, F. Santucci de Magistris, F. Silvestri, C. Eva. Valutazione degli standard di esecuzione e dell'efficacia delle indagini di sismica attiva e passiva, 2008.

D. Albarello, S. Castellaro. Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola Ingegneria Sismica Anno XXVIII – n. 2 – 2011.

M. Bour*, D. Fouissac, P. Dominique & C. Martin. On the use of microtremor recordings in seismic microzonation (1998).

SESAME European research project. Guidelines for implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations, measurements, processing and interpretation (2004).

ALLEGATI

- **ALLEGATO GRAFICO: ACQUISIZIONI MICROTREMORI – RAPPORTO SPETTRALE H/V – SPETTRO DELLE SINGOLE COMPONENTI – CRITERI DI AFFIDABILITÀ SESAME – CLASSIFICAZIONE PROPOSTA DA ALBARELLO ET ALII**

- **ALLEGATO GRAFICO: ELABORAZIONE INDAGINI SISMICHE ATTIVE DOWN-HOLE (DH)**

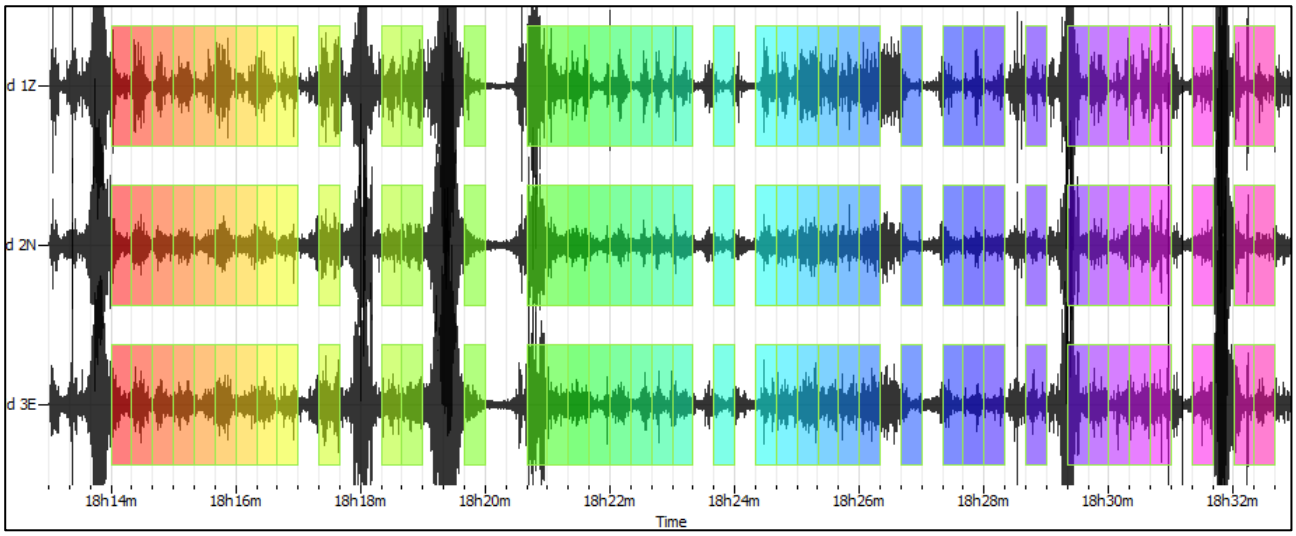
- **ALLEGATO GRAFICO: UBICAZIONE DELLE INDAGINI**

- **ALLEGATO GRAFICO: ACQUISIZIONI MICROTREMORI – RAPPORTO SPETTRALE H/V – SPETTRO DELLE SINGOLE COMPONENTI – CRITERI DI AFFIDABILITÀ SESAME – CLASSIFICAZIONE PROPOSTA DA ALBARELLO ET ALII**

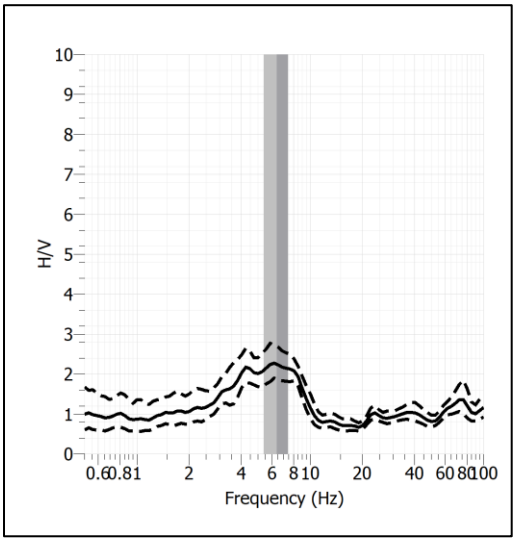
Stazione	1	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Marzo 2023	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	50 s	
Numero di finestre analizzate	41 (68% del tracciato)	
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi	
Lisciamento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	**6.42 Hz**
Ampiezza Media della frequenza	**2.24**

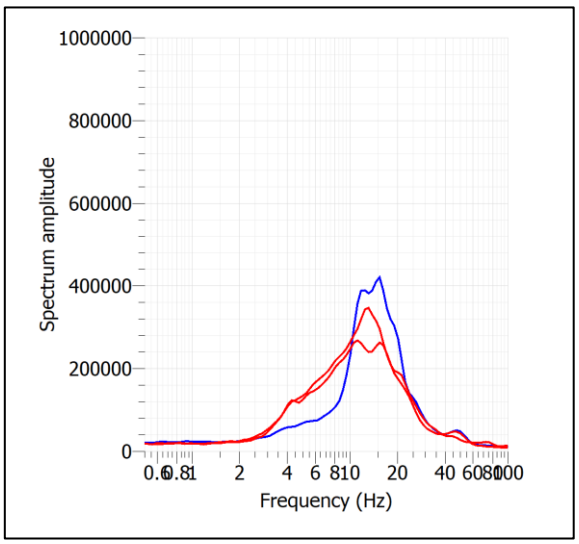
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



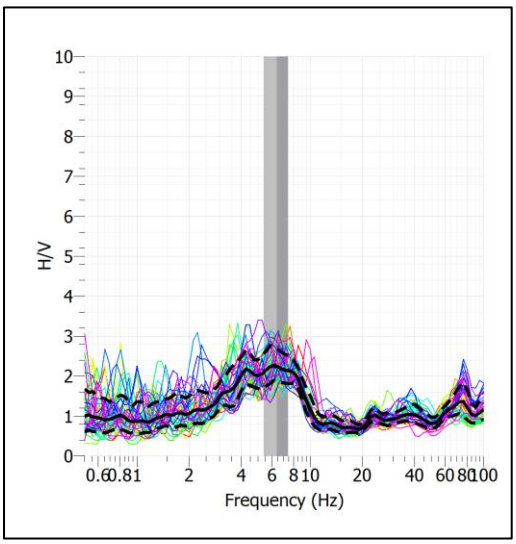
RAPPORTO SPETTRALE H/V



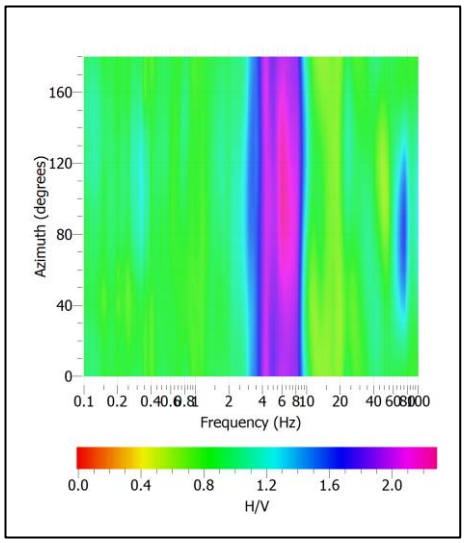
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20,00	41	5264	6,420	0,03	2,24	1,10	BASSO

	Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]				
	f_0>10/Lw	6,420	>	0,500	OK
	$n_c(f_0)$>200	5264	>	200	OK
	$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 22			OK
	Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]				
Amplitude conditions	**Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$**				OK
Amplitude conditions	**Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$**				OK
Amplitude conditions	**$A_0 > 2$**	2,2400	>	2	OK
Stability conditions	**$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$**				OK
Stability conditions	**$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$**	0,0293	<	0,0553	OK
Stability conditions	**$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$**	1,0971	<	2,5000	OK

ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	**SI**
STAZIONARIETA'	% (∑ Lw/durata registrazione) almeno 30%	**SI**
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	**SI**
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	**SI**
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	**SI**
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	**SI**

CLASSE	**A1**

- **ALLEGATO GRAFICO: ELABORAZIONE INDAGINI SISMICHE ATTIVE DOWN-HOLE (DH)**

- **ALLEGATO GRAFICO: RELAZIONE TECNICA INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE (DH_1)**

MISURE DOWN HOLE

Interpretazione delle misure

Dati iniziali

Offset scoppio [m]	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono [m]	Interdistanza [m]
4	35	1	1

Dati misure down hole

Registrazioni Nr.	Z [m]	Tp [msec]	Ts [msec]
1	1.00	4.00	9.40
2	2.00	4.70	14.30
3	3.00	5.90	18.40
4	4.00	6.30	20.80
5	5.00	6.30	22.80
6	6.00	7.40	24.00
7	7.00	7.60	26.10
8	8.00	8.90	28.10
9	9.00	8.50	30.50
10	10.00	9.70	32.60
11	11.00	10.50	35.00
12	12.00	11.30	36.60
13	13.00	11.10	37.90
14	14.00	11.20	39.90
15	15.00	11.50	41.50
16	16.00	11.80	42.70
17	17.00	12.10	44.30
18	18.00	12.40	46.80
19	19.00	13.00	47.60
20	20.00	13.90	49.20
21	21.00	14.50	50.40
22	22.00	14.10	52.90
23	23.00	14.50	54.50
24	24.00	14.90	56.10
25	25.00	15.80	56.90
26	26.00	16.40	58.60
27	27.00	16.40	59.80
28	28.00	17.00	61.80
29	29.00	17.00	62.60
30	30.00	17.40	63.00
31	31.00	18.20	63.80

32	32.00	17.80	65.90
33	33.00	18.60	67.50
34	34.00	18.80	68.30
35	35.00	18.60	70.30

Risultati

SR [m]	Tpcorr [msec]	Tscorr [msec]
4.1231	0.9701	2.2798
4.4721	2.1019	6.3952
5.0000	3.5400	11.0400
5.6569	4.4548	14.7078
6.4031	4.9195	17.8038
7.2111	6.1572	19.9692
8.0623	6.5986	22.6612
8.9443	7.9604	25.1334
9.8489	7.7674	27.8713
10.7703	9.0062	30.2683
11.7047	9.8678	32.8928
12.6491	10.7201	34.7218
13.6015	10.6092	36.2240
14.5602	10.7691	38.3648
15.5242	11.1117	40.0988
16.4924	11.4477	41.4251
17.4643	11.7784	43.1224
18.4391	12.1047	45.6856
19.4165	12.7212	46.5790
20.3961	13.6301	48.2446
21.3776	14.2439	49.5099
22.3607	13.8726	52.0467
23.3452	14.2856	53.6940
24.3311	14.6973	55.3367
25.3180	15.6016	56.1854
26.3059	16.2093	57.9186
27.2947	16.2229	59.1544
28.2843	16.8291	61.1789
29.2746	16.8406	62.0129
30.2655	17.2474	62.4474
31.2570	18.0504	63.2754
32.2490	17.6626	65.3911
33.2415	18.4649	67.0095
34.2345	18.6712	67.8322
35.2278	18.4797	69.8454

Metodo diretto

Profondità di riferimento: 30 m
VS,eq: 476.71 m/s

Sismostrati con metodo diretto

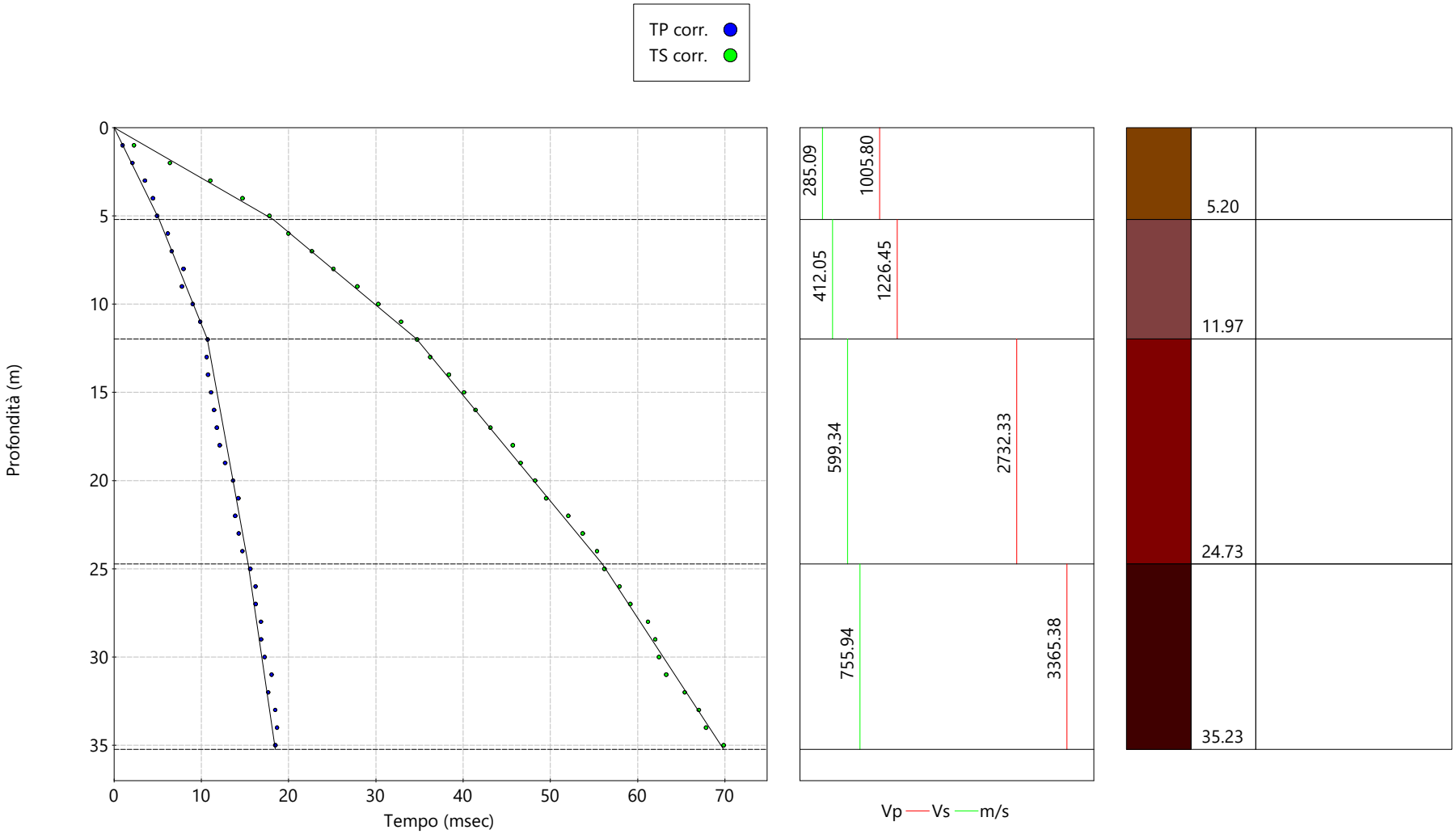
Strato Nr.	DB	Descrizione (-)	Profondità (m)	Colore/ Retino	Tp corr. sism. (msec)	Ts corr. sism. (msec)
1			5.2		5.17	18.24
2			11.97		10.69	34.67
3			24.73		15.36	55.96
4			35.23		18.48	69.85

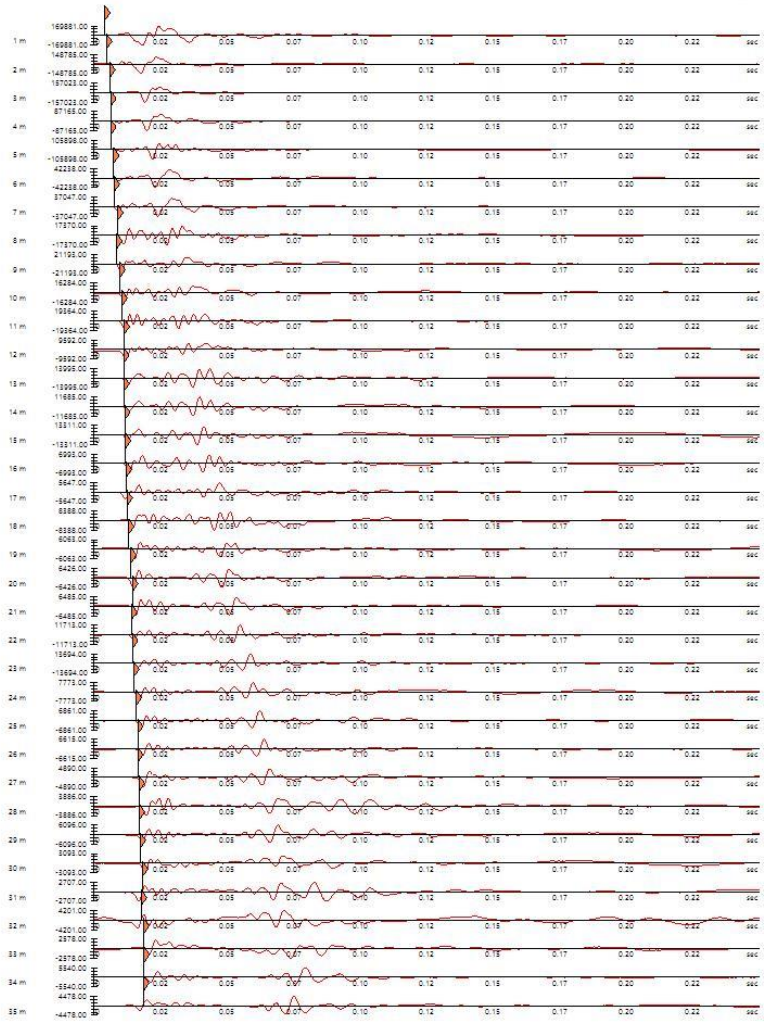
Valori medi

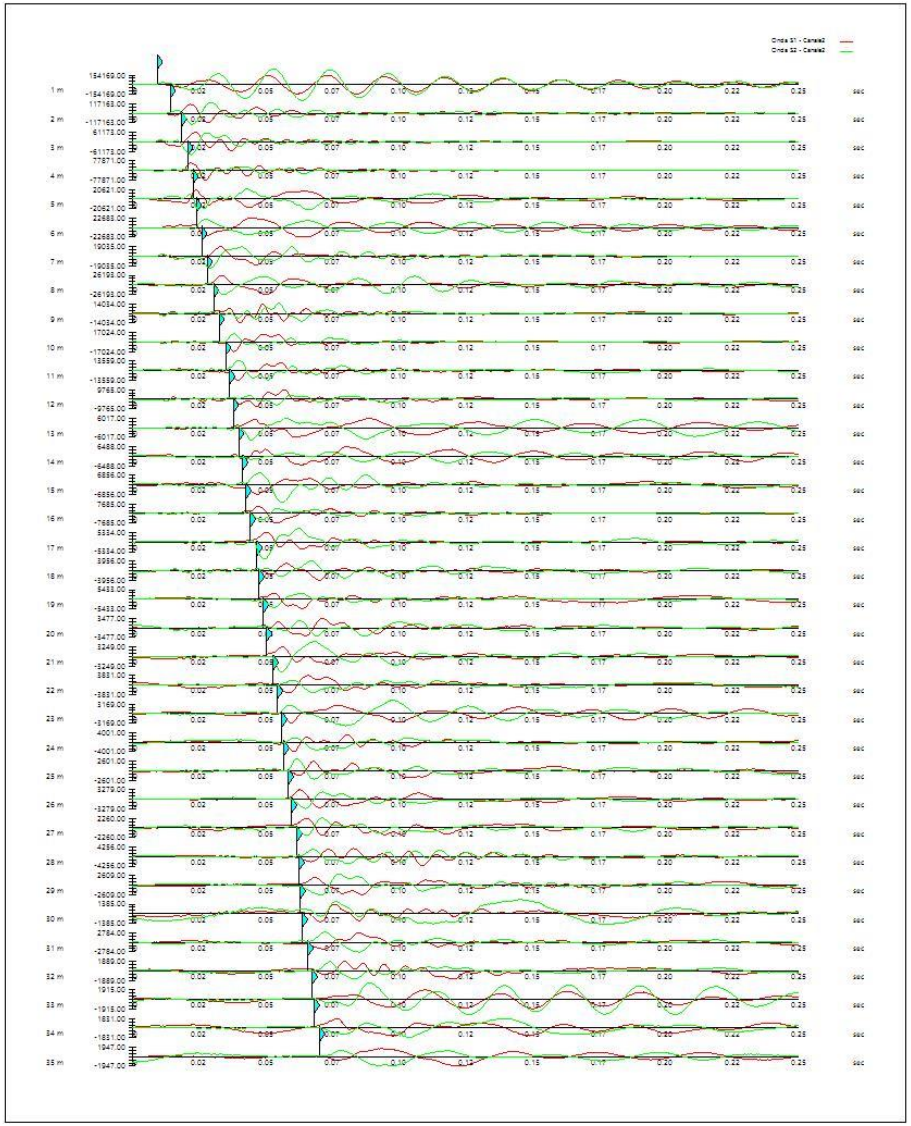
	Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
	1005.8	285.09	19.74	0.46	163.63	2036.72	476.6	1818.55
	1226.45	412.05	20.85	0.44	360.92	3197.47	1036.83	2716.25
	2732.33	599.34	21.63	0.47	792.23	16465.25	2336.64	15408.95
	3365.38	755.94	22.41	0.47	1305.64	25877.32	3847.55	24136.47

Documentazione fotografica

Foto – Indagine sismica Down-Hole (DH_1)


TP corr.
TS corr.
Profondità (m)
Tempo (msec)
0
5
10
15
20
25
30
35
0
10
20
30
40
50
60
70
285.09
1005.80
412.05
1226.45
599.34
2732.33
755.94
3365.38
Vp
Vs
m/s
5.20
11.97
24.73
35.23


Onda P - Canal n1
1 m
2 m
3 m
4 m
5 m
6 m
7 m
8 m
9 m
10 m
11 m
12 m
13 m
14 m
15 m
16 m
17 m
18 m
19 m
20 m
21 m
22 m
23 m
24 m
25 m
26 m
27 m
28 m
29 m
30 m
31 m
32 m
33 m
34 m
35 m
0.02
0.05
0.07
0.10
0.12
0.15
0.17
0.20
0.22
sec


Onda 31 - Canale2
Onda 32 - Canale2
1 m
2 m
3 m
4 m
5 m
6 m
7 m
8 m
9 m
10 m
11 m
12 m
13 m
14 m
15 m
16 m
17 m
18 m
19 m
20 m
21 m
22 m
23 m
24 m
25 m
26 m
27 m
28 m
29 m
30 m
31 m
32 m
33 m
34 m
35 m
0.02
0.05
0.07
0.10
0.12
0.15
0.17
0.20
0.22
0.25
sec

- **ALLEGATO GRAFICO: RELAZIONE TECNICA INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE (DH_2)**

MISURE DOWN HOLE

Interpretazione delle misure

Dati iniziali

Offset scoppio [m]	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono [m]	Interdistanza [m]
4.8	35	1	1

Dati misure down hole

Registrazioni Nr.	Z [m]	Tp [msec]	Ts [msec]
1	1.00	3.10	9.40
2	2.00	4.30	14.30
3	3.00	5.00	19.90
4	4.00	5.90	21.20
5	5.00	6.60	21.90
6	6.00	7.50	25.80
7	7.00	8.50	27.50
8	8.00	9.10	29.10
9	9.00	9.40	32.40
10	10.00	10.00	34.10
11	11.00	10.00	34.70
12	12.00	10.80	37.00
13	13.00	11.60	38.00
14	14.00	12.00	40.30
15	15.00	11.60	42.60
16	16.00	12.40	43.60
17	17.00	12.40	45.60
18	18.00	13.20	47.20
19	19.00	13.20	48.20
20	20.00	13.20	49.80
21	21.00	14.00	51.20
22	22.00	15.30	53.50
23	23.00	15.70	55.10
24	24.00	16.10	56.80
25	25.00	16.10	59.10
26	26.00	16.50	60.10
27	27.00	17.30	61.80
28	28.00	16.70	63.00
29	29.00	17.50	64.40
30	30.00	17.80	65.60
31	31.00	18.10	67.20

32	32.00	18.60	68.80
33	33.00	18.50	70.30
34	34.00	19.60	72.30
35	35.00	19.60	73.90

Risultati

SR [m]	Tpcorr [msec]	Tscorr [msec]
4.9031	0.6323	1.9172
5.2000	1.6538	5.5000
5.6604	2.6500	10.5470
6.2482	3.7771	13.5719
6.9311	4.7612	15.7984
7.6837	5.8565	20.1464
8.4876	7.0102	22.6800
9.3295	7.8032	24.9530
10.2000	8.2941	28.5882
11.0923	9.0152	30.7419
12.0017	9.1654	31.8039
12.9244	10.0276	34.3536
13.8579	10.8819	35.6477
14.8000	11.3514	38.1216
15.7493	11.0481	40.5733
16.7045	11.8771	41.7612
17.6647	11.9334	43.8842
18.6290	12.7543	45.6063
19.5969	12.7979	46.7318
20.5679	12.8355	48.4249
21.5416	13.6480	49.9128
22.5176	14.9483	52.2703
23.4955	15.3689	53.9379
24.4753	15.7874	55.6970
25.4566	15.8112	58.0399
26.4394	16.2258	59.1013
27.4234	17.0329	60.8460
28.4085	16.4599	62.0942
29.3946	17.2651	63.5356
30.3816	17.5764	64.7761
31.3694	17.8869	66.4086
32.3580	18.3942	68.0388
33.3473	18.3074	69.5679
34.3372	19.4076	71.5901
35.3276	19.4182	73.2147

Metodo diretto

Profondità di riferimento: 30 m
VS,eq: 459.34 m/s

Sismostrati con metodo diretto

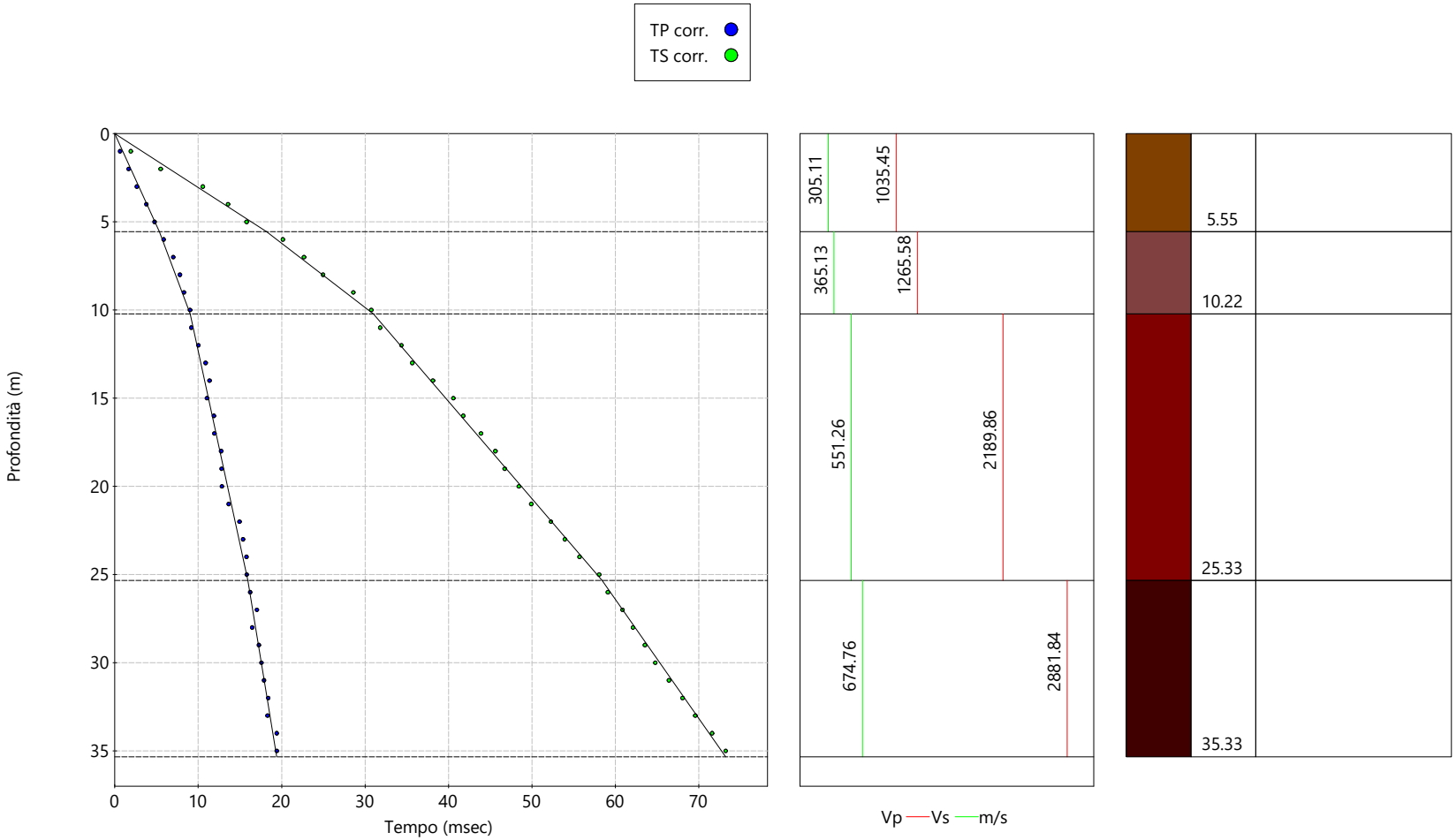
Strato Nr.	DB	Descrizione (-)	Profondità (m)	Colore/ Retino	Tp corr. sism. (msec)	Ts corr. sism. (msec)
1			5.55		5.36	18.19
2			10.22		9.05	30.98
3			25.33		15.95	58.39
4			35.33		19.42	73.21

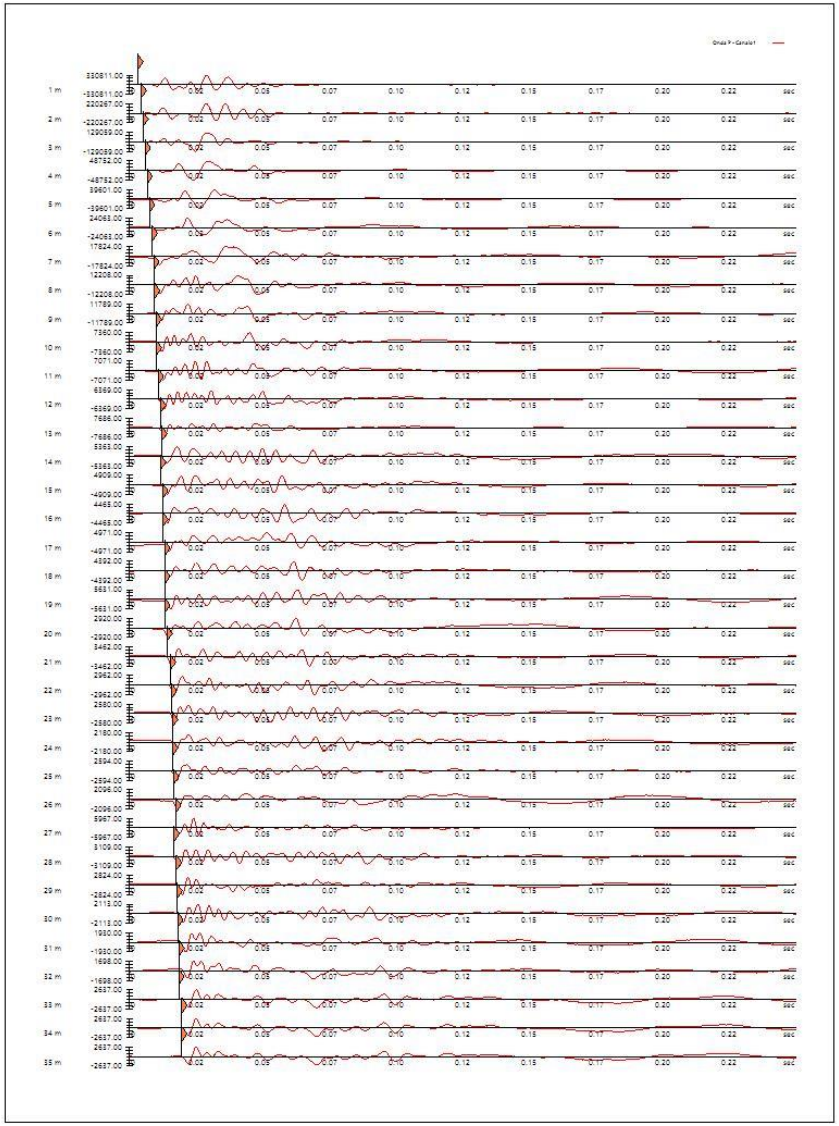
Valori medi

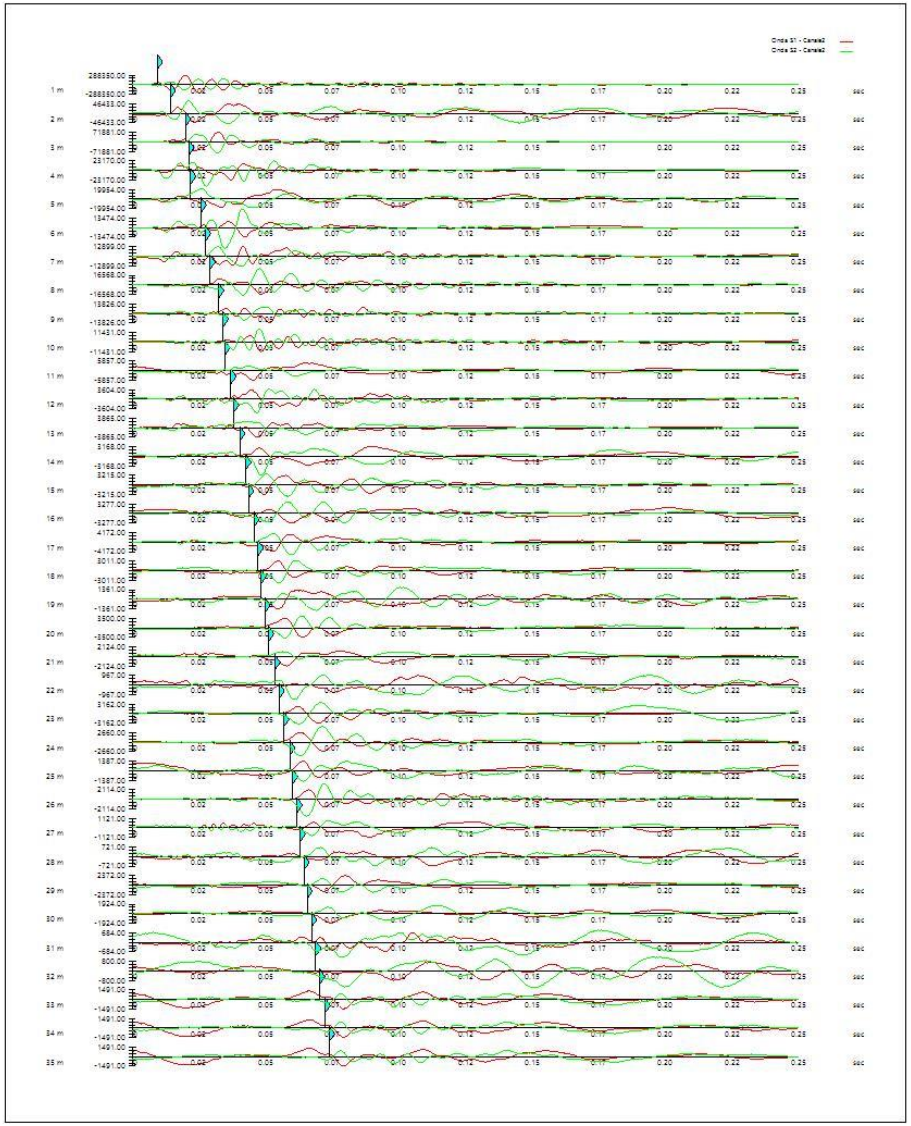
	Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
	1035.45	305.11	19.94	0.45	189.28	2179.91	549.84	1927.54
	1265.58	365.13	20.73	0.45	281.84	3386.04	819.93	3010.26
	2189.86	551.26	21.26	0.47	658.82	10396.52	1931.89	9518.09
	2881.84	674.76	22.12	0.47	1027.12	18735.19	3021.78	17365.7

Documentazione fotografica

Foto – Indagine sismica Down-Hole (DH_2)


TP corr.
TS corr.
Profondità (m)
Tempo (msec)
0
5
10
15
20
25
30
35
0
10
20
30
40
50
60
70
305.11
1035.45
365.13
1265.58
551.26
2189.86
674.76
2881.84
Vp
Vs
m/s
5.55
10.22
25.33
35.33


Onda P - Canale1
1 m
2 m
3 m
4 m
5 m
6 m
7 m
8 m
9 m
10 m
11 m
12 m
13 m
14 m
15 m
16 m
17 m
18 m
19 m
20 m
21 m
22 m
23 m
24 m
25 m
26 m
27 m
28 m
29 m
30 m
31 m
32 m
33 m
34 m
35 m
0.02
0.05
0.07
0.10
0.12
0.15
0.17
0.20
0.22
sec


Onda 31 - Canale2
Onda 32 - Canale2
1 m
2 m
3 m
4 m
5 m
6 m
7 m
8 m
9 m
10 m
11 m
12 m
13 m
14 m
15 m
16 m
17 m
18 m
19 m
20 m
21 m
22 m
23 m
24 m
25 m
26 m
27 m
28 m
29 m
30 m
31 m
32 m
33 m
34 m
35 m
0.02
0.05
0.07
0.10
0.12
0.15
0.17
0.20
0.22
0.25
sec

- **ALLEGATO GRAFICO: RELAZIONE TECNICA INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE (DH_3)**

MISURE DOWN HOLE

Interpretazione delle misure

Dati iniziali

Offset scoppio [m]	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono [m]	Interdistanza [m]
5	35	1	1

Dati misure down hole

Registrazioni Nr.	Z [m]	Tp [msec]	Ts [msec]
1	1.00	3.30	8.00
2	2.00	4.30	12.60
3	3.00	5.30	17.00
4	4.00	6.30	18.50
5	5.00	6.50	22.60
6	6.00	7.90	25.80
7	7.00	8.70	27.50
8	8.00	9.10	29.10
9	9.00	9.50	32.50
10	10.00	9.80	34.30
11	11.00	10.30	35.30
12	12.00	11.10	37.00
13	13.00	10.80	38.00
14	14.00	11.90	40.30
15	15.00	11.60	42.00
16	16.00	12.20	43.50
17	17.00	12.80	45.70
18	18.00	13.10	47.80
19	19.00	13.20	48.40
20	20.00	12.90	50.30
21	21.00	13.50	51.20
22	22.00	14.60	53.00
23	23.00	15.10	55.10
24	24.00	15.40	57.90
25	25.00	15.80	59.10
26	26.00	16.80	60.10
27	27.00	16.80	61.90
28	28.00	16.30	64.30
29	29.00	17.30	65.60
30	30.00	17.50	67.10
31	31.00	18.20	68.30

32	32.00	18.60	69.50
33	33.00	18.80	70.80
34	34.00	19.20	72.30
35	35.00	19.80	73.80

Risultati

SR [m]	Tpcorr [msec]	Tscorr [msec]
5.0990	0.6472	1.5689
5.3852	1.5970	4.6795
5.8310	2.7268	8.7464
6.4031	3.9356	11.5569
7.0711	4.5962	15.9806
7.8103	6.0689	19.8201
8.6023	7.0795	22.3777
9.4340	7.7168	24.6768
10.2956	8.3045	28.4101
11.1803	8.7654	30.6789
12.0831	9.3768	32.1359
13.0000	10.2462	34.1539
13.9284	10.0801	35.4671
14.8661	11.2067	37.9522
15.8114	11.0047	39.8447
16.7631	11.6447	41.5199
17.7201	12.2799	43.8430
18.6815	12.6221	46.0562
19.6469	12.7654	46.8064
20.6155	12.5148	48.7982
21.5870	13.1329	49.8077
22.5610	14.2369	51.6820
23.5372	14.7554	53.8424
24.5153	15.0763	56.6830
25.4951	15.4932	57.9523
26.4764	16.4977	59.0186
27.4591	16.5191	60.8652
28.4429	16.0462	63.2987
29.4279	17.0485	64.6462
30.4138	17.2619	66.1870
31.4006	17.9678	67.4286
32.3883	18.3770	68.6668
33.3766	18.5879	70.0011
34.3657	18.9957	71.5307
35.3553	19.6010	73.0583

Metodo diretto

Profondità di riferimento: 30 m
VS,eq: 459.84 m/s

Sismostrati con metodo diretto

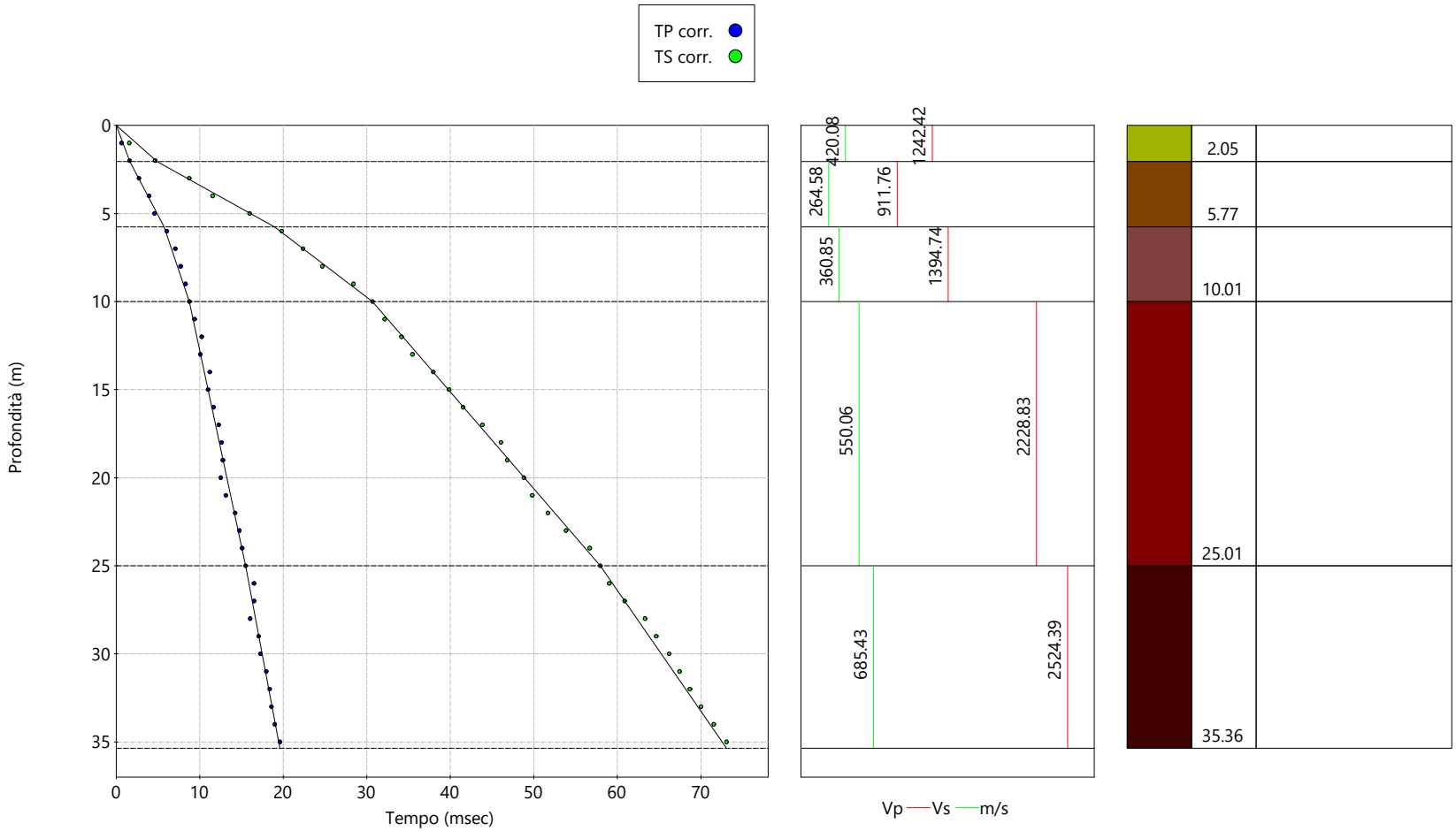
Strato Nr.	DB	Descrizione (-)	Profondità (m)	Colore/ Retino	Tp corr. sism. (msec)	Ts corr. sism. (msec)
1			2.05		1.65	4.88
2			5.77		5.73	18.94
3			10.01		8.77	30.69
4			25.01		15.5	57.96
5			35.36		19.6	73.06

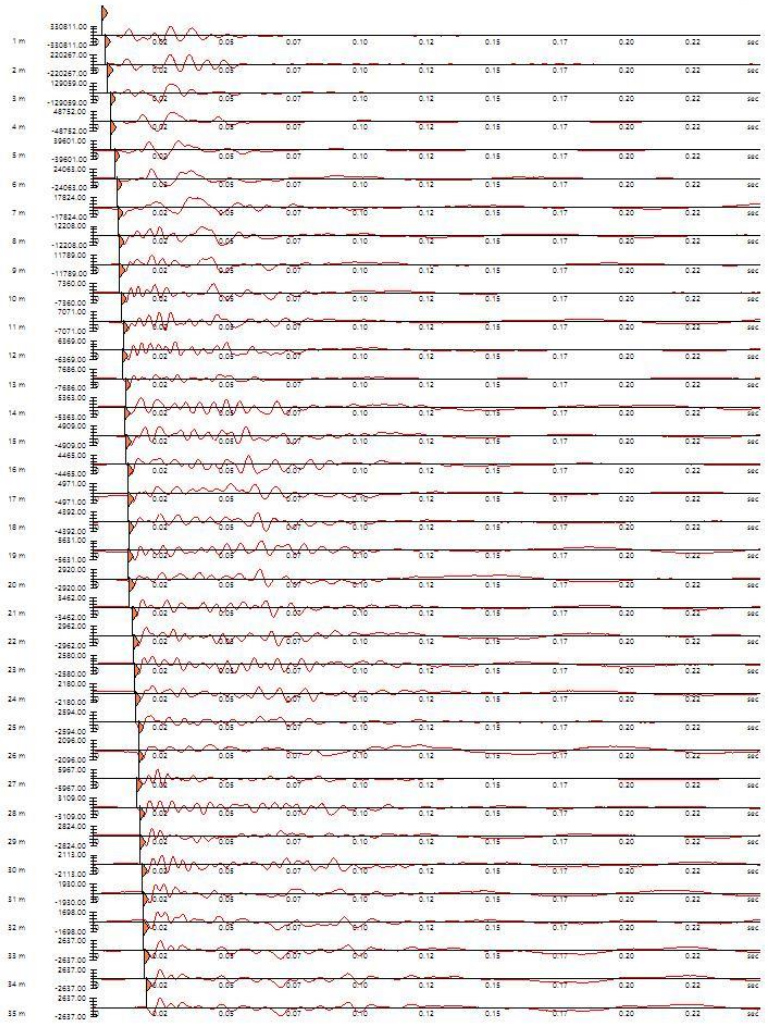
Valori medi

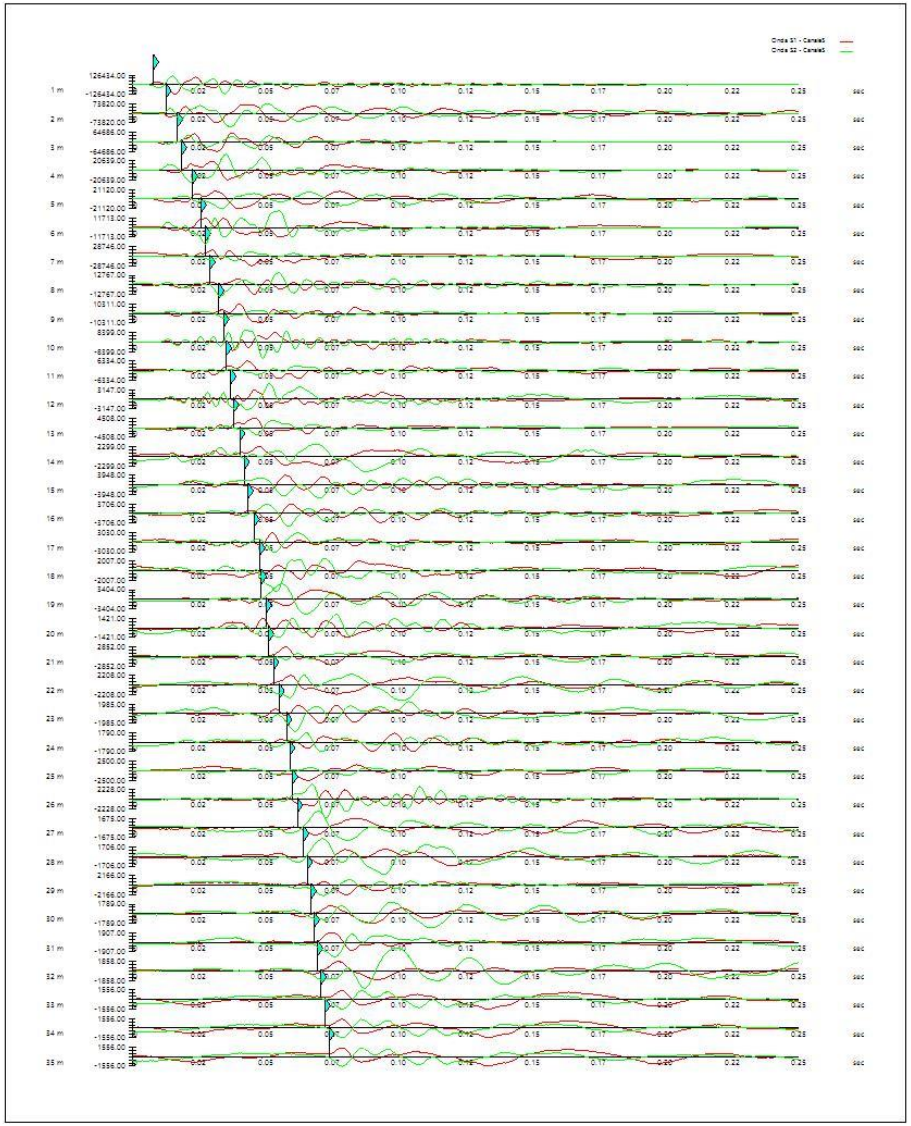
	Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
	1242.42	420.08	21.91	0.44	394.18	3447.97	1131.65	2922.4
	911.76	264.58	19.78	0.45	141.18	1676.56	410.55	1488.32
	1394.74	360.85	20.77	0.46	275.84	4120.8	807.72	3753.01
	2228.83	550.06	21.26	0.47	655.87	10768.56	1925.07	9894.06
	2524.39	685.43	22.15	0.46	1061	14391.41	3098.57	12976.73

Documentazione fotografica

Foto – Indagine sismica Down-Hole (DH_3)


TP corr.
TS corr.
Profondità (m)
Tempo (msec)
0
5
10
15
20
25
30
35
0
10
20
30
40
50
60
70
420.08
1242.42
264.58
911.76
360.85
1394.74
550.06
2228.83
685.43
2524.39
Vp
Vs
m/s
2.05
5.77
10.01
25.01
35.36


Onda P - Canale1
1 m
2 m
3 m
4 m
5 m
6 m
7 m
8 m
9 m
10 m
11 m
12 m
13 m
14 m
15 m
16 m
17 m
18 m
19 m
20 m
21 m
22 m
23 m
24 m
25 m
26 m
27 m
28 m
29 m
30 m
31 m
32 m
33 m
34 m
35 m
0.02
0.05
0.07
0.10
0.12
0.15
0.17
0.20
0.22
sec


Onda S1 - Canal5
Onda S2 - Canal5
1 m
2 m
3 m
4 m
5 m
6 m
7 m
8 m
9 m
10 m
11 m
12 m
13 m
14 m
15 m
16 m
17 m
18 m
19 m
20 m
21 m
22 m
23 m
24 m
25 m
26 m
27 m
28 m
29 m
30 m
31 m
32 m
33 m
34 m
35 m
0.02
0.05
0.07
0.10
0.12
0.15
0.17
0.20
0.22
0.25
sec

- **ALLEGATO GRAFICO: UBICAZIONE DELLE INDAGINI**

TAV.01 - Ubicazione indagini

TECNA Srl MORETTI TECNA
Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad effettuare e certificare prove geotecniche sui terreni n. 4542 del 13/04/2012
Sede Legale: Via Bartolomeo di Ser Gorello, 11/a - 52100 - AREZZO
Cell: 3351020000 - Skype : tecna.porta
Cod. fiscale e P. IVA: 01358250510
Numero Verde 800 102000
Uffici e Deposito: Via Achille Grandi, 51 - 52100 - AREZZO
tel. 0575-323501, fax 0575-1979797 - Skype : tecna.ufficio
e-mail: tecna@geognostica.tecna@micropali.com
PEC: tecna@geognostica.it - SDI: KGVVJ2H
anisig Associazione Nazionale Imprese Specializzate in Indagini Geognostiche
CQOP SOA Costruttori Qualificati Opere Pubbliche OS 21 - II OS 20-B - I Attestazione : 65213 / 10 / 00
CSQ SO 9001

Legenda

DH Prova sismica in foro Down-Hole

HVSR

N

Scala 1:1.000

Esecutori indagini geofisiche:
Dott. Geol. Cristian Pieroni
Dott. Geol. Francesco Puccetti