



s.a.G.A. studio associato di Geologia Applicata
via Montevideo 2A int. A 16129 Genova - Via Giovanni XXIII 2 12051 - Alba (CN)
tel. e fax +390103629775 p.iva 01220820052 email: studio.associato.saga@gmail.com

INDAGINE GEOGNOSTICA

Committente: **Ing. Sergio Donato**
Descrizione: **FASSA BORTOLO - Realizzazione Cogeneratore**
Località: **Via Asti 139, Calliano (AT)**



OPERATORE RESPONSABILE

Stampa circolare professionale:
ORDINE REGIONALE DEI GEOL. DELLA LIGURIA
Dott. Geol.
MARCO LANO
A.P. n. 405
data isot. 28-01-99
Firma manoscritta in blu.

dott. Geol. Marco Lano

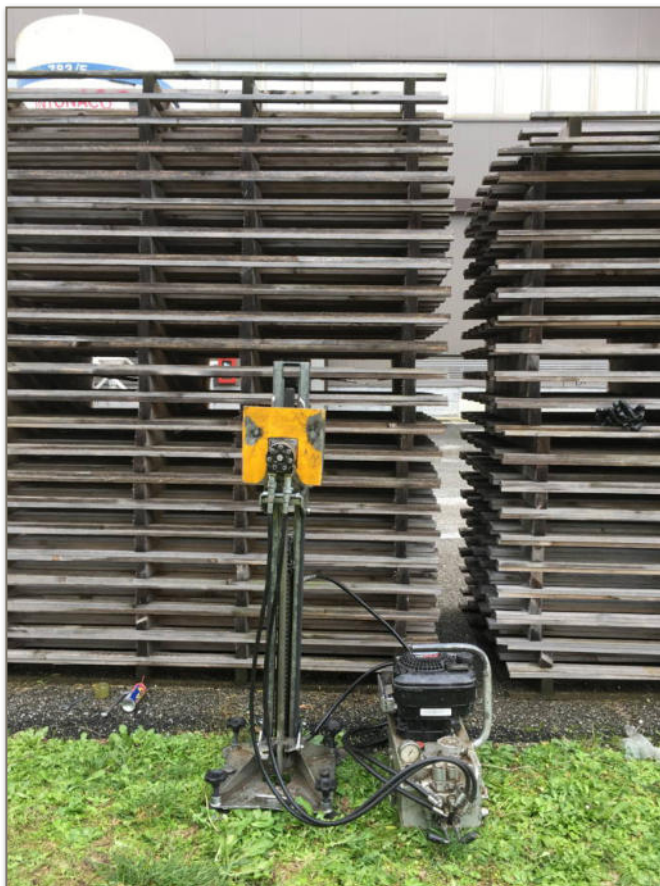


s.a.G.A. studio associato di Geologia Applicata
via Montevideo 2A int. A 16129 Genova - Via Giovanni XXIII 2 12051 - Alba (CN)
tel. e fax +390103629775 p.iva 01220820052 email: studio.associato.saga@gmail.com

ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPM (DL030 10) (Medium)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	21 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2,9 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,761
Rivestimento/fanghi	Si
Angolo di apertura punta	60 °



Esecuzione Prova 1 in data 18 novembre 2019



Premesse

E' stata eseguita una prova penetrometrica dinamica con strumentazione DPM (penetrometro dinamico medio) entrambe in data 18 novembre 2018.

La terebrazione è stata realizzata a filo asfalto della strada carrabile che costeggia il capannone lungo il quale è realizzazione del Cogeneratore - Figura 1.



Figura 1: ubicazione della prova eseguita

Metodologia

L'elaborazione della prova penetrometrica dinamica è stata effettuata con il Software "*Dynamic Probing*" (GEOSTRU) e lo sviluppo statistico per la determinazione dei Parametri Geotecnici Caratteristici (con e senza resistenze compensate) è stato eseguito col software "*CVSoil*" (GEOSTRU).

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981)

Lo scrivente ha scelto, tra quelli disponibili nel software, i metodi di elaborazione dei singoli parametri più adatti per le caratteristiche granulometriche e litotecniche degli strati (Livelli) in cui è stato suddiviso il sottosuolo.



Correlazione con Nspt

Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \times N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Qspt è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \times H}{A \times \delta \times (M + M')}$$

in cui

M: peso massa battente.

M': peso aste.

H: altezza di caduta.

A: area base punta conica.

δ : passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd - Formula Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \times H}{[A \times \delta \times (M + P)]} = \frac{M^2 \times H \times N}{[A \times \delta \times (M + P)]}$$

in cui:

Rpd: resistenza dinamica punta (area A).

e: infissione media per colpo (δ / N).

M: peso massa battente (altezza caduta H).

P: peso totale aste e sistema battuta.



s.a.G.A. studio associato di Geologia Applicata
via Montevideo 2A int. A 16129 Genova - Via Giovanni XXIII 2 12051 - Alba (CN)
tel. e fax +390103629775 p.iva 01220820052 email: studio.associato.saga@gmail.com

PROVA 1

Strumento utilizzato...

DPM (DL030 10) (Medium)

Prova eseguita in data

18/11/2019

Profondità prova

7,20 mt

Falda

- 2,6 m da piano campagna

Note:

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ri-dotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)
0,10	2	0,857	0,56	0,65
0,20	9	0,855	2,52	2,95
0,30	6	0,853	1,68	1,96
0,40	26	0,751	6,39	8,51
0,50	47	0,649	9,99	15,39
0,60	39	0,647	8,26	12,77
0,70	16	0,795	4,17	5,24
0,80	6	0,843	1,66	1,96
0,90	3	0,842	0,78	0,93
1,00	2	0,840	0,52	0,62
1,10	3	0,838	0,78	0,93
1,20	2	0,836	0,52	0,62
1,30	1	0,835	0,26	0,31
1,40	2	0,833	0,52	0,62
1,50	2	0,831	0,52	0,62
1,60	2	0,830	0,52	0,62
1,70	3	0,828	0,77	0,93
1,80	3	0,826	0,77	0,93
1,90	2	0,825	0,49	0,59
2,00	35	0,673	6,97	10,35
2,10	7	0,822	1,70	2,07
2,20	8	0,820	1,94	2,37
2,30	8	0,819	1,94	2,37
2,40	11	0,817	2,66	3,25
2,50	8	0,816	1,93	2,37
2,60	7	0,814	1,69	2,07
2,70	8	0,813	1,92	2,37
2,80	7	0,811	1,68	2,07
2,90	5	0,810	1,14	1,41
3,00	7	0,809	1,60	1,97
3,10	8	0,807	1,82	2,26
3,20	8	0,806	1,82	2,26
3,30	7	0,805	1,59	1,97
3,40	20	0,753	4,25	5,64
3,50	29	0,702	5,74	8,18
3,60	26	0,701	5,14	7,33



s.a.G.A. studio associato di Geologia Applicata
via Montevideo 2A int. A 16129 Genova - Via Giovanni XXIII 2 12051 - Alba (CN)
tel. e fax +390103629775 p.iva 01220820052 email: studio.associato.saga@gmail.com

3,70	17	0,750	3,59	4,79
3,80	13	0,748	2,74	3,67
3,90	11	0,797	2,36	2,96
4,00	11	0,796	2,36	2,96
4,10	10	0,795	2,14	2,69
4,20	8	0,794	1,71	2,16
4,30	10	0,793	2,14	2,69
4,40	10	0,791	2,13	2,69
4,50	12	0,790	2,56	3,23
4,60	13	0,739	2,59	3,50
4,70	10	0,788	2,12	2,69
4,80	8	0,787	1,70	2,16
4,90	8	0,786	1,62	2,06
5,00	6	0,785	1,22	1,55
5,10	4	0,784	0,81	1,03
5,20	5	0,783	1,01	1,29
5,30	6	0,782	1,21	1,55
5,40	6	0,781	1,21	1,55
5,50	8	0,780	1,61	2,06
5,60	7	0,779	1,41	1,81
5,70	7	0,778	1,41	1,81
5,80	6	0,777	1,20	1,55
5,90	6	0,776	1,15	1,49
6,00	5	0,775	0,96	1,24
6,10	10	0,775	1,92	2,48
6,20	12	0,774	2,30	2,97
6,30	9	0,773	1,72	2,23
6,40	14	0,722	2,50	3,47
6,50	16	0,721	2,86	3,96
6,60	21	0,670	3,49	5,20
6,70	18	0,720	3,21	4,46
6,80	17	0,719	3,03	4,21
6,90	32	0,618	4,70	7,61
7,00	30	0,667	4,76	7,14
7,10	34	0,616	4,99	8,09
7,20	50	0,566	6,73	11,89



SUDDIVISIONE SOTTOSUOLO IN “ORIZZONTI-TIPO”

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tensione efficace (KPa)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0,8	5,96	-14,00	6,79	0,76	4,54	Livello Tr: riporti medio grossolani, con presenza di macerie - ciottoli
1,9	1,66	-0,98	21,67	0,76	1,26	Livello T1: limi argillosi debolmente sabbiosi
6,8	4,55	-7,20	55,98	0,76	3,46	Livello R1: alternanza di argilliti, marne e subordinate siltiti. Materiali da mediamente a molto alterati
7,2	28,58	-20,24	78,88	0,76	21,75	Livello R2: argilliti gessifere da poco alterate a compatte

Elaborazione Parametri Geotecnici Caratteristici

Nella progettazione geotecnica la scelta dei valori caratteristici dei parametri deriva da una stima cautelativa, effettuata dal progettista, del valore del parametro appropriato per lo stato limite considerato (NTC C6.2.1).

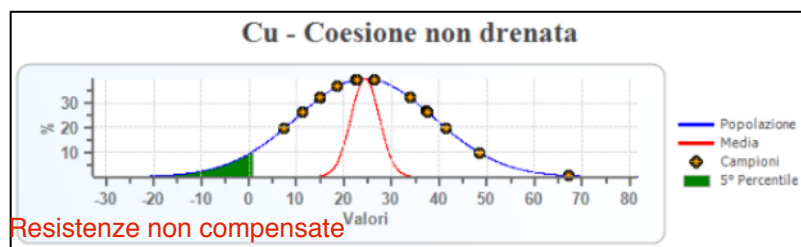
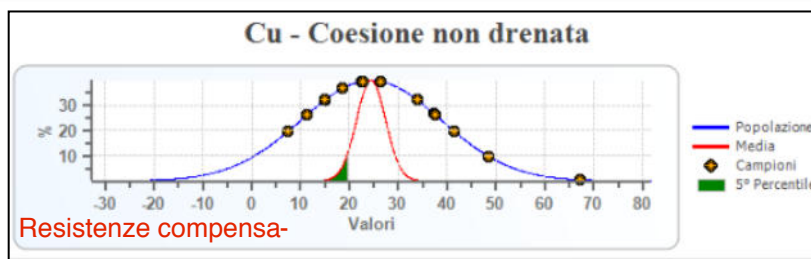
Appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti (**“Resistenze compensate”** -> p.es. fondazioni continue superficiali, pali per resistenza laterale, pendii e fronti di scavo, strutture rigide).

Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità (**“Resistenze non compensate”** -> p.es. pali per portata alla punta, plinti e travi non collegati, verifiche a scorrimento, strutture non sufficientemente rigide).

Vengono quindi presentati due valori caratteristici per ogni parametro geotecnico analizzato (ad esclusione del Peso di Volume e del Peso di Volume Saturo, per i quali appare sufficiente riferirsi al valore prossimo a quello medio). Entrambi i valori si riferiscono al 5° percentile, rispettivamente per l'intera “popolazione” dei valori acquisiti in campagna (condizioni di resistenze non compensate) e per i valori prossimi alla media (condizioni di resistenze non compensate).

In questo modo si permette al Tecnico Progettista delle strutture di adottare i valori caratteristici del sottosuolo che più si adattano al tipo di condizione progettuale ipotizzata ed alla sua verifica.

Nella Figura seguente è mostrato il grafico di riferimento della distribuzione statistica dal quale scaturiscono i due valori di cui sopra.



Distribuzione statistica dei valori nei casi di Resistenze compensate e Resistenze non compensate

La Tabella sottostante riassume i Valori Caratteristici dei parametri geotecnici per ogni singolo strato discretizzato. Nelle pagine seguenti sono indicate l'elaborazioni statistiche effettuate per ogni singolo strato.

Ing. Sergio Donato - Relizzazione Cogeneratore Fassa Bortolo - Calliano (AT)								
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO								
PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI - RESISTENZE NON COMPENSATE								
Livello	Gamma	Gamma Sat	phi	CU	c'	Ed	Ey	G
	kN/mc	kN/mc	°	kPa	kPa	Mpa	Mpa	Mpa
Tr	18,9	20,7	24,9	14,9	0,0	3,8	8,3	45
T1	15,1	18,1	23,3	4,5	< 3	0,4	0,9	6
R1	18,3	19,5	22,1	27,2	5,4	2,2	4,8	27
R2	21,5	22,4	24,5	182,8	22,9	7,3	16,0	85
PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI - RESISTENZE COMPENSATE								
Livello	Gamma	Gamma Sat	phi	CU	c'	Ed	Ey	G
	kN/mc	kN/mc	°	kPa	kPa	Mpa	Mpa	Mpa
Tr	18,9	20,7	28,1	28,0	0,0	5,5	12,0	65
T1	15,1	18,1	23,4	7,3	< 5	0,7	1,5	9
R1	18,3	19,5	22,3	38,7	7,7	3,5	7,6	43
R2	21,5	22,4	25,3	227,6	28,5	9,9	21,6	99
	Peso Volume	Peso Volume Sat	Angolo attrito	Coesione non dren	Coesione drenata	Modulo edometrico	Modulo Young	Modulo taglio din
Il valore di c' è assunto pari ad una frazione di CU in base al tipo di terreno								



s.a.G.A. studio associato di Geologia Applicata

via Montevideo 2A int. A 16129 Genova - Via Giovanni XXIII 2 12051 - Alba (CN)
tel. e fax +390103629775 p.iva 01220820052 email: studio.associato.saga@gmail.com

TABULATI DI CALCOLO DEI PARAMETRI CARATTERISTICI
PER OGNI SINGOLO STRATO DIFFERENZIATO



Livello Tr

Elenco delle misure

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione non drenata [kPa]	Modulo di compressibilità edometrica [Mpa]	Modulo di taglio [Mpa]	Modulo di Young [Mpa]
1	24,55	3,73	0,68	9,45	1,49
2	27,32	16,77	3,08	38,90	6,72
3	26,18	11,18	2,06	26,59	4,48
4	32,63	48,54	8,90	105,46	19,41
5	36,41	87,67	16,09	183,97	35,08
6	35,33	72,77	13,35	154,37	29,11
7	29,75	29,91	5,48	66,83	11,94
8	26,18	11,18	2,06	26,59	4,48

Risultati elaborazione

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione non drenata [kPa]	Modulo di compressibilità edometrica [Mpa]	Modulo di taglio [Mpa]	Modulo di Young [Mpa]
Tipo di elaborazione	Distribuzione standard	--	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard
Valore considerato	5° Percentile	--	5° Percentile	5° Percentile	5° percentile media
Minimo	24,55	3,73	0,68	9,45	1,49
Massimo	36,41	87,67	16,09	183,97	35,08
Valore medio	29,79	35,22	6,46	76,52	14,09
Varianza	8,88	151,94	2,61	365,96	12,41
Dev. St.	1,05	4,36	0,57	6,76	1,25
Percentile	(5°) 24,89	(5°) 14,94	(5°) 3,80	(5°) 45,05	(5°) 8,29
Percentile media	(5°) 28,06	(5°) 28,05	(5°) 5,52	(5°) 65,39	(5°) 12,04
C.O.V.	0,10	0,35	0,25	0,25	0,25



Livello T1

Elenco delle misure

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione non drenata [kPa]	Modulo di compressibilità edometrica [Mpa]	Modulo di taglio [Mpa]	Modulo di Young [Mpa]
1	28,64	11,18	1,03	13,83	2,24
2	28,43	7,45	0,68	9,45	1,49
3	28,64	11,18	1,03	13,83	2,24
4	28,43	7,45	0,68	9,45	1,49
5	28,21	3,73	0,34	4,92	0,75
6	28,43	7,45	0,68	9,45	1,49
7	28,43	7,45	0,68	9,45	1,49
8	28,43	7,45	0,68	9,45	1,49
9	28,64	11,18	1,03	13,83	2,24
10	28,64	11,18	1,03	13,83	2,24
11	28,43	7,45	0,68	9,45	1,49

Risultati elaborazione

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione non drenata [kPa]	Modulo di compressibilità edometrica [Mpa]	Modulo di taglio [Mpa]	Modulo di Young [Mpa]
Tipo di elaborazione	Distribuzione standard	--	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard
Valore considerato	5° Percentile	--	5° Percentile	5° Percentile	5° percentile media
Minimo	28,21	3,73	0,34	4,92	0,75
Massimo	28,64	11,18	1,03	13,83	2,24
Valore medio	28,49	8,47	0,78	10,63	1,70
Varianza	0,02	5,81	0,05	8,19	0,23
Dev. St.	0,04	0,73	0,07	0,86	0,15
Percentile	(5°) 28,26	(5°) 4,50	(5°) 0,41	(5°) 5,92	(5°) 0,90
Percentile media	(5°) 28,42	(5°) 7,27	(5°) 0,67	(5°) 9,21	(5°) 1,46
C.O.V.	0,00	0,28	0,29	0,27	0,28



Livello R1

Elenco delle misure

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione non drenata [kPa]	Modulo di compressibilità edometrica [Mpa]	Modulo di taglio [Mpa]	Modulo di Young [Mpa]
1	27,61	130,53	11,98	139,41	26,12
2	21,52	26,09	2,40	30,73	5,23
3	21,74	29,91	2,74	34,83	5,97
4	21,74	29,91	2,74	34,83	5,97
5	22,39	41,09	3,77	46,97	8,21
6	21,74	29,91	2,74	34,83	5,97
7	21,52	26,09	2,40	30,73	5,23
8	21,74	29,91	2,74	34,83	5,97
9	21,52	26,09	2,40	30,73	5,23
10	21,09	18,63	1,71	22,36	3,73
11	21,52	26,09	2,40	30,73	5,23
12	21,74	29,91	2,74	34,83	5,97
13	21,74	29,91	2,74	34,83	5,97
14	21,52	26,09	2,40	30,73	5,23
15	24,32	74,63	6,85	81,84	14,93
16	25,30	108,27	9,93	99,16	21,64
17	24,97	97,09	8,90	93,42	19,41
18	23,70	63,45	5,82	70,74	12,69
19	22,83	48,54	4,45	54,94	9,70
20	22,39	41,09	3,77	46,97	8,21
21	22,39	41,09	3,77	46,97	8,21
22	22,17	37,36	3,42	42,95	7,46
23	21,74	29,91	2,74	34,83	5,97
24	22,17	37,36	3,42	42,95	7,46
25	22,17	37,36	3,42	42,95	7,46
26	22,61	44,72	4,11	50,97	8,95
27	22,83	48,54	4,45	54,94	9,70
28	22,17	37,36	3,42	42,95	7,46
29	21,74	29,91	2,74	34,83	5,97
30	21,74	29,91	2,74	34,83	5,97
31	21,31	22,46	2,06	26,59	4,48
32	20,87	14,91	1,37	18,13	2,98
33	21,09	18,63	1,71	22,36	3,73



s.a.G.A. studio associato di Geologia Applicata
 via Montevideo 2A int. A 16129 Genova - Via Giovanni XXIII 2 12051 - Alba (CN)
 tel. e fax +390103629775 p.iva 01220820052 email: studio.associato.saga@gmail.com

34	21,31	22,46	2,06	26,59	4,48
35	21,31	22,46	2,06	26,59	4,48
36	21,74	29,91	2,74	34,83	5,97
37	21,52	26,09	2,40	30,73	5,23
38	21,52	26,09	2,40	30,73	5,23
39	21,31	22,46	2,06	26,59	4,48
40	21,31	22,46	2,06	26,59	4,48
41	21,09	18,63	1,71	22,36	3,73
42	22,17	37,36	3,42	42,95	7,46
43	22,61	44,72	4,11	50,97	8,95
44	21,96	33,64	3,08	38,90	6,72
45	23,04	52,17	4,79	58,90	10,44
46	23,48	59,72	5,48	66,83	11,94
47	24,43	78,36	7,19	83,77	15,67
48	23,91	67,18	6,16	74,64	13,44
49	23,70	63,45	5,82	70,74	12,69

Risultati elaborazione

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione non drenata [kPa]	Modulo di compressibilità edometrica [Mpa]	Modulo di taglio [Mpa]	Modulo di Young [Mpa]
Tipo di elaborazione	Distribuzione standard	--	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard
Valore considerato	5° Percentile	--	5° Percentile	5° Percentile	5° percentile media
Minimo	20,87	14,91	1,37	18,13	2,98
Massimo	27,61	130,53	11,98	139,41	26,12
Valore medio	22,33	40,61	3,73	45,46	8,12
Varianza	0,01	65,97	0,87	129,15	4,12
Dev. St.	0,02	1,16	0,13	1,62	0,29
Percentile	(5°) 22,14	(5°) 27,25	(5°) 2,19	(5°) 26,76	(5°) 4,78
Percentile media	(5°) 22,30	(5°) 38,70	(5°) 3,51	(5°) 42,79	(5°) 7,64
C.O.V.	0,01	0,20	0,25	0,25	0,25



Livello R2

Elenco delle misure

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione non drenata [kPa]	Modulo di compressibilità edometrica [Mpa]	Modulo di taglio [Mpa]	Modulo di Young [Mpa]
1	25,62	238,79	10,96	104,89	23,88
2	25,40	223,89	10,27	101,07	22,39
3	25,84	253,70	11,64	108,69	25,37
4	27,58	373,14	17,12	138,89	37,31

Risultati elaborazione

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione non drenata [kPa]	Modulo di compressibilità edometrica [Mpa]	Modulo di taglio [Mpa]	Modulo di Young [Mpa]
Tipo di elaborazione	Distribuzione standard	--	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard
Valore considerato	5° Percentile	--	5° Percentile	5° Percentile	5° percentile media
Minimo	25,40	223,89	10,27	101,07	22,39
Massimo	27,58	373,14	17,12	138,89	37,31
Valore medio	26,11	272,38	12,50	113,39	27,24
Varianza	0,99	2967,63	9,81	298,79	46,57
Dev. St.	0,50	27,24	1,57	8,64	3,41
Percentile	(5°) 24,47	(5°) 182,77	(5°) 7,35	(5°) 84,95	(5°) 16,01
Percentile media	(5°) 25,29	(5°) 227,57	(5°) 9,92	(5°) 99,17	(5°) 21,62
C.O.V.	0,04	0,20	0,25	0,15	0,25



s.a.G.A. studio associato di Geologia Applicata
via Montevideo 2A int. A 16129 Genova - Via Giovanni XXIII 2 12051 - Alba (CN)
tel. e fax +390103629775 p.iva 01220820052 email: studio.associato.saga@gmail.com

INDAGINE SISMICA MASW

Indagine congiunta tra metodo MASW e H/V

Per produrre un profilo sismo-stratigrafico con il metodo H/V è indispensabile conoscere la profondità del riflettore principale oppure, in assenza di sondaggi o prove penetrometriche, il profilo V_s ottenuto dalla prova MASW.

Nella prova MASW, alla presenza di un riflettore importante caratterizzato da elevata rigidità, l'energia prodotta da una sorgente convenzionale superficiale rimane quasi tutta confinata nel mezzo tenero, rimanendo poca energia disponibile per caratterizzare le velocità di propagazione delle onde sismiche nel mezzo rigido.

Conseguentemente, l'analisi congiunta tra metodo MASW e H/V si rivela ideale, poiché la prova MASW fornisce il vincolo per la tecnica H/V, che permette di ottenere profili V_s a profondità maggiori di quelle raggiungibili con la sola MASW.

Nella Tav. 1 è riportata la localizzazione delle indagini eseguite.



Tav. 1. Localizzazione dell'indagine MASW (linea in colore rosso) e di sismica passiva a stazione singola (HV1).

L'elaborazione è stata eseguita con il software *Grilla* della Moho s.r.l.

Metodo MASW

L'analisi multicanale delle onde sismiche superficiali (MASW) è consistita nella registrazione simultanea tramite 24 geofoni (frequenza propria di 4.5 Hz), distanziati di 1 m, di una vibrazione prodotta da una sorgente sismica impulsiva (martello da 10 kg), sistemata agli estremi dell'allineamento a 1 m di distanza dal ricevitore (vedere l'allegato per dettagli sui parametri utilizzati).

Figura 1 mostra i sismogrammi della componente verticale delle onde di Rayleigh.

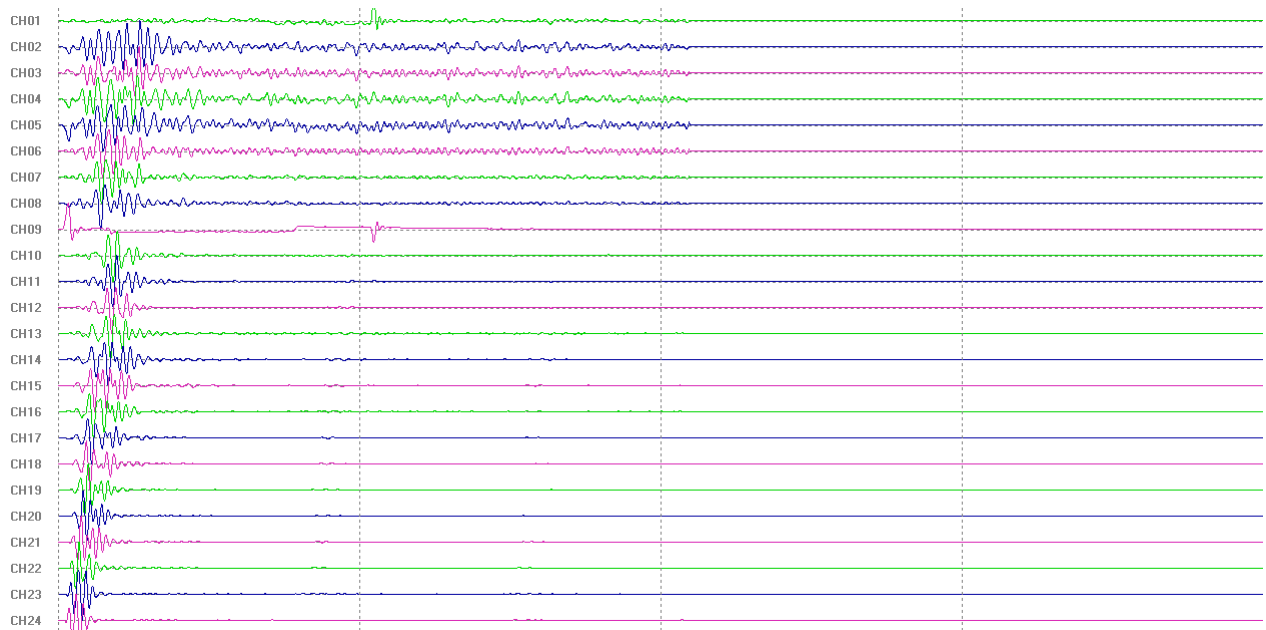


Fig. 1. Sismogrammi (in ordinata i canali e in ascissa il tempo in secondi – intervallo 1 s), sorgente sismica a 1 m dal geofono 24.

In Fig. 2 è mostrato lo spettro di velocità di fase dell'onda di Rayleigh. Il software preleva automaticamente l'ampiezza massima per ogni frequenza definendo la curva di dispersione.

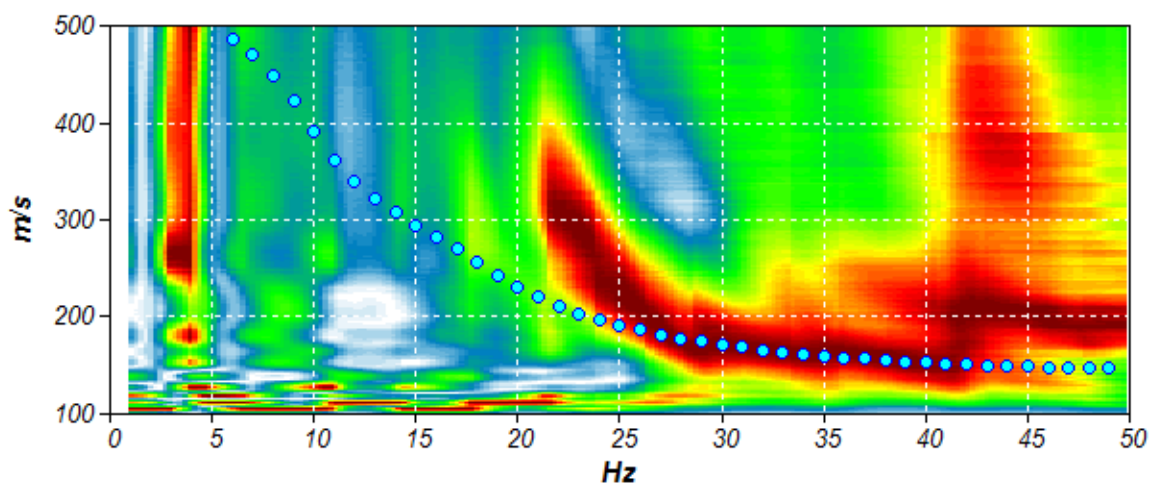


Fig. 2. Spettro di velocità di fase dell'onda di Rayleigh.

Metodo H/V

Si basa sullo studio dei rapporti di ampiezza che, nelle diverse frequenze di vibrazione (rapporti spettrali), esistono tra il rumore sismico ambientale (microtremore) misurato sul piano orizzontale (H) e quello lungo la verticale (V).

I risultati che si possono ottenere da un'indagine di questo tipo sono la velocità media delle onde di taglio calcolata tramite un codice di calcolo e la stratigrafia di massima del suolo.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello Tromino@Zero della Moho s.r.l. È costituito essenzialmente da tre velocimetri orientati secondo le direzioni N-S, E-W e verticale, rispettivamente ortogonali tra loro. La strumentazione opera nell'intervallo di frequenze tra 0.1 e 128 Hz, consentendo di

ottenere un'elevata risoluzione. I dati del moto del terreno, dopo essere stati amplificati e digitalizzati, vengono memorizzati su una memoria interna digitale.

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

a) le curve H/V ricavate con i seguenti parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
- rimozione nelle finestre di eventuali transienti ancora presenti.

b) le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto, ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto (a).

La scheda in esteso, secondo le linee guida del progetto europeo Sesame, è riportata in Allegato. I criteri di significatività consistono nella valutazione dell'attendibilità statistica della curva H/V e nella valutazione della chiarezza del picco H/V.

Le curve H/V sono curve sperimentali che rappresentano il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali (riferite alle componenti verticale e orizzontali del moto) in funzione della frequenza.

I picchi della curva H/V presenti a una data frequenza possono essere più o meno evidenti e interpretabili a seconda dell'entità del contrasto d'impedenza sismica tra il substrato rigido e lo strato più superficiale di copertura.

Risultato

L'analisi congiunta è mostrata in Fig. 3, dove sono riportati gli spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh derivanti dalla prova MASW e la curva H/V sperimentale.

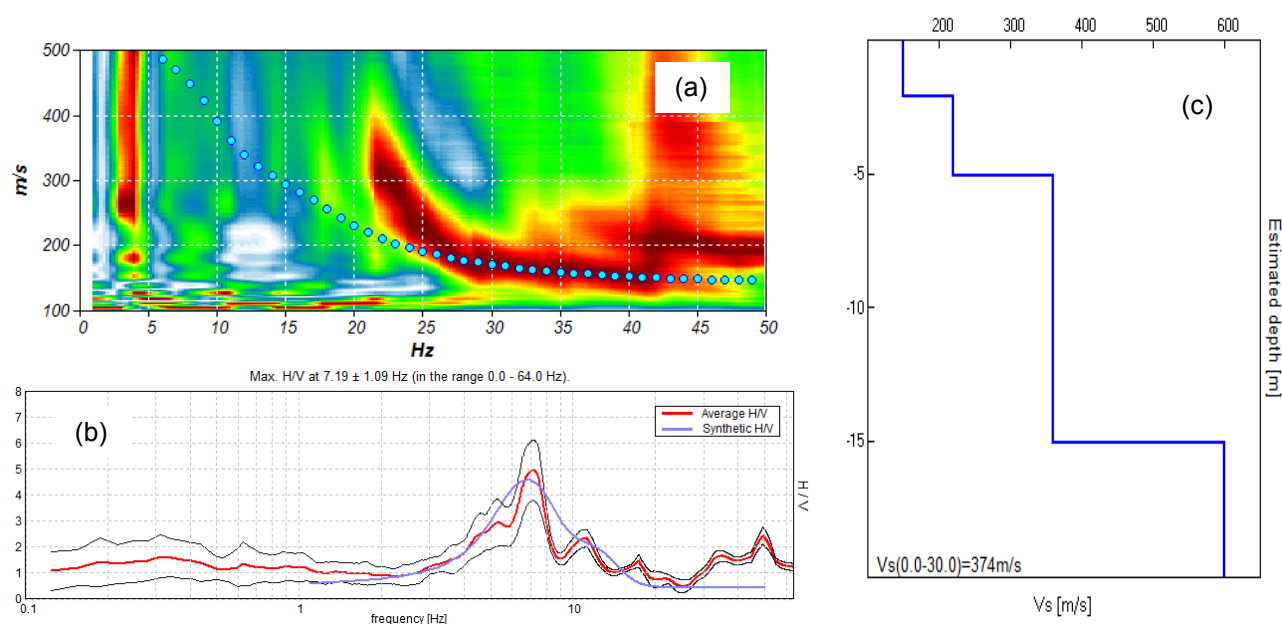


Fig. 3. (a) spettri di velocità dell'onda di Rayleigh e modo fondamentale della curva di dispersione teorica ottenuta dal modello di sottosuolo (c); (b) curva media H/V sperimentale (rosso) con deviazione standard (curva nera sottile) e sintetica (blu) calcolata dal modello di sottosuolo (c); (c) modello di sottosuolo in termini di V_s derivato dall'analisi congiunta della prova MASW e del metodo H/V.

Usando un approccio di tipo diretto, basato sulla simulazione del campo di onde di superficie in sistemi a strati piani e paralleli, la sovrapposizione delle curve sperimentali, ottenute con le due prove (MASW e metodo H/V) con quella calcolata dal modello, ha fornito il profilo di V_s mostrato in Fig. 3c per il sito d'indagine.

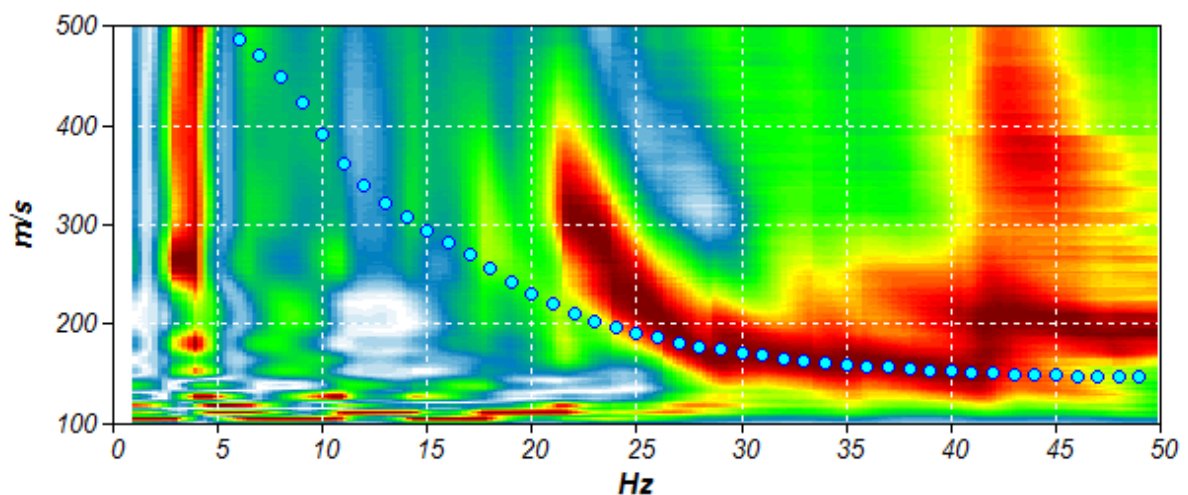
MASW (file 1002.seg)



Foto scatta in prossimità del primo geofono

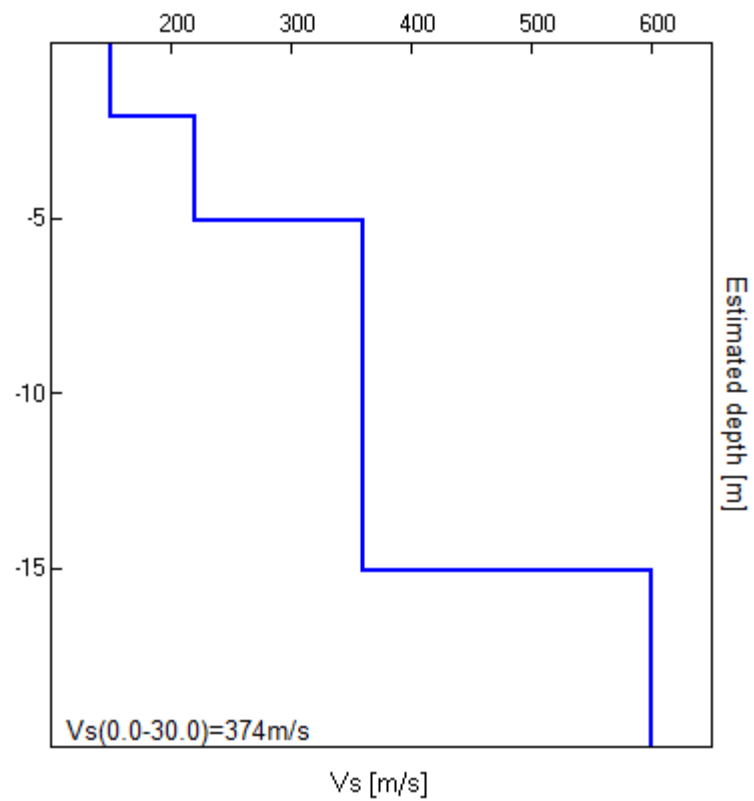
Start recording: 18/11/19 11:03:29 End recording: 18/11/19 11:03:31
 Trace length: 0h00'02". Analyzed 83% trace (manual window selection)
 Sampling rate: 977 Hz
 Channel labels: CH01 ; CH02 ; CH03 ; CH04 ; CH05 ; CH06 ; CH07 ;
 CH08 ; CH09 ; CH10 ; CH11 ; CH12 ; CH13 ; CH14 ; CH15 ;
 CH16 ; CH17 ; CH18 ; CH19 ; CH20 ; CH21 ; CH22 ; CH23 ;
 CH24
 Array geometry (x): 0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0 15.0 16.0 17.0 18.0
 19.0 20.0 21.0 22.0 23.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.10	2.10	150	0.40
5.10	3.00	220	0.40
15.10	10.00	360	0.35
inf.	inf.	600	0.35

Vs eq = 374 m/s



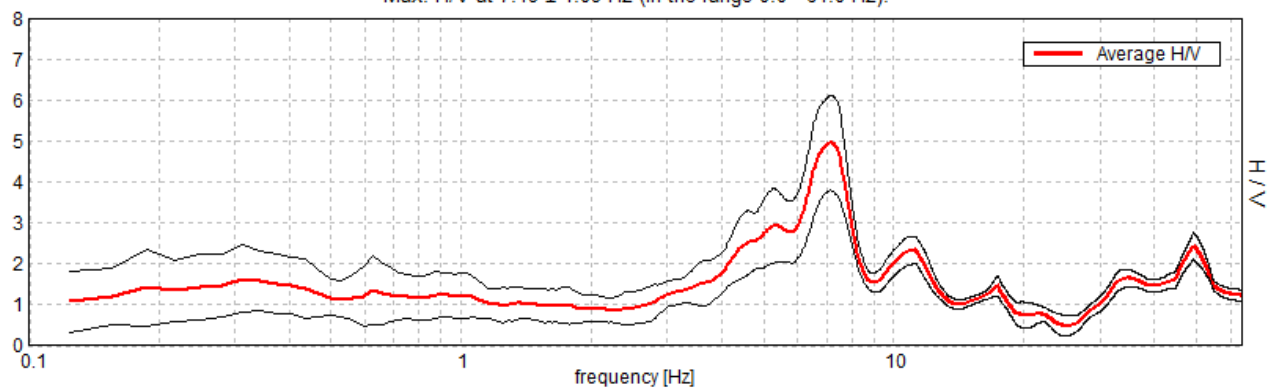
HV1

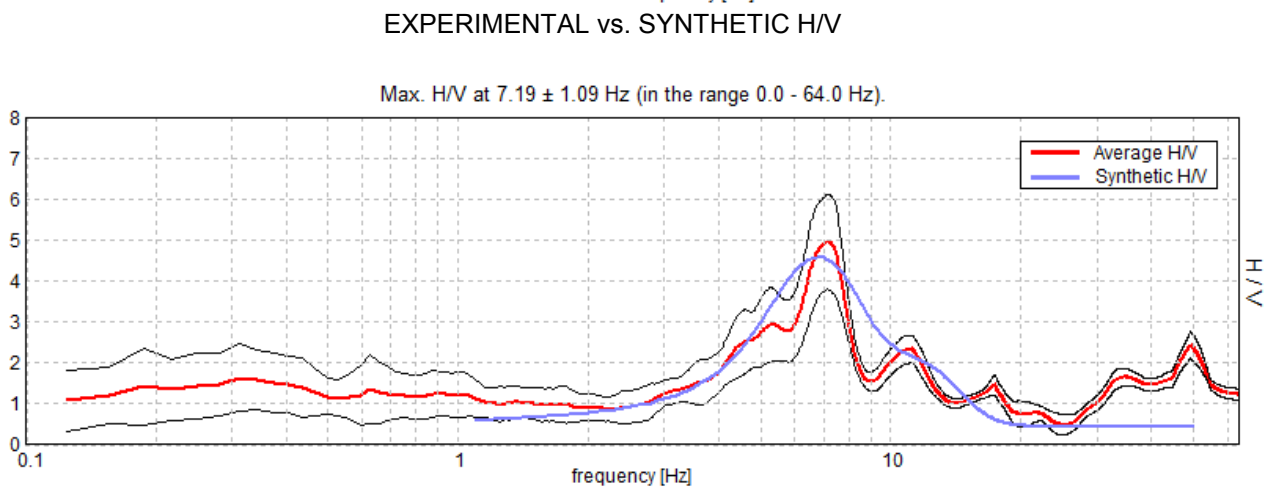
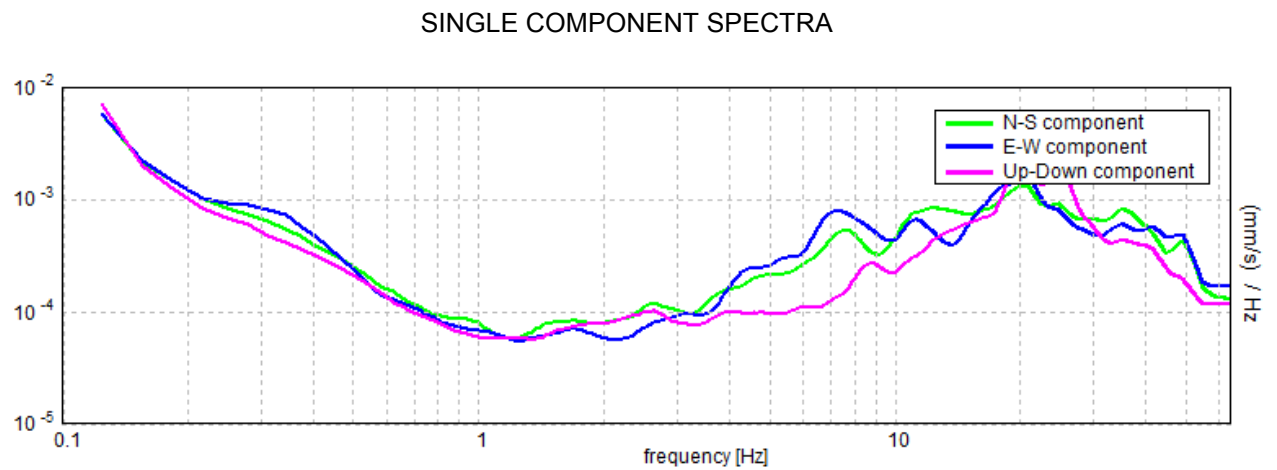
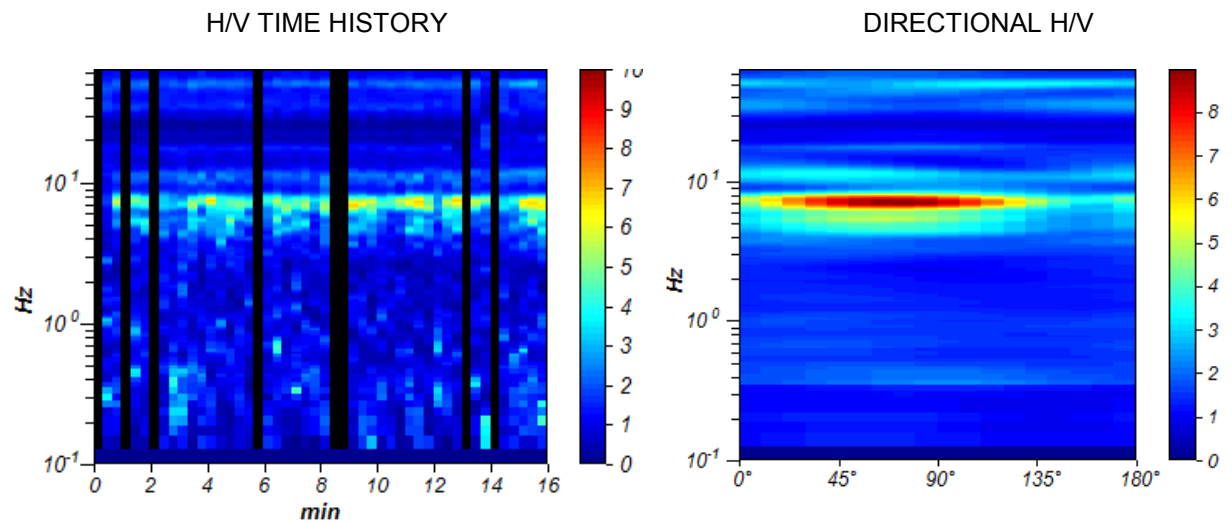


Start recording: 18/11/19 11:44:13 End recording: 18/11/19 12:00:12
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Trace length: 0h16'00". Analyzed 83% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

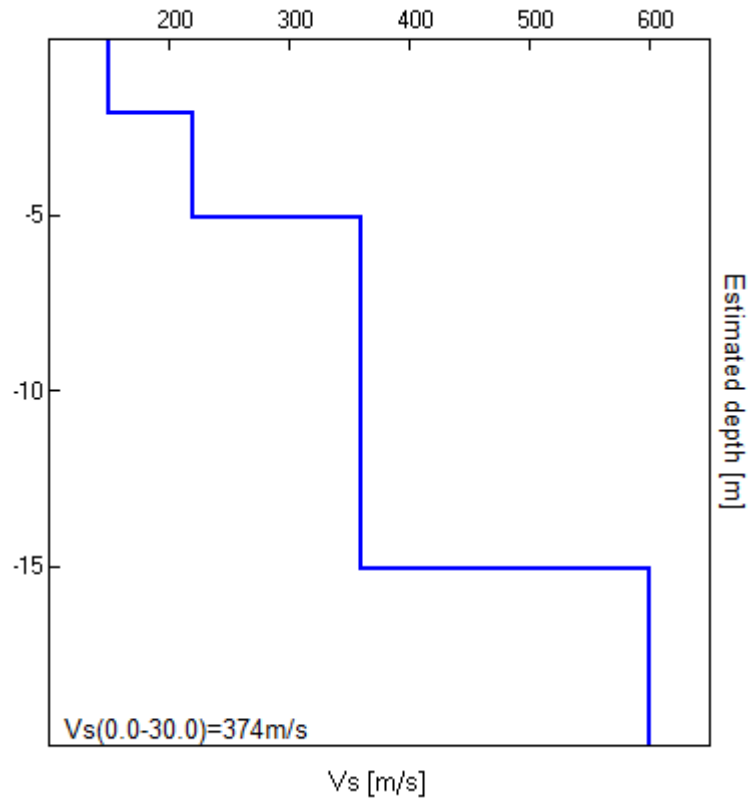
Max. H/V at 7.19 ± 1.09 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).





Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.10	2.10	150	0.40
5.10	3.00	220	0.40
15.10	10.00	360	0.35
inf.	inf.	600	0.35

Vs eq = 374 m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 7.19 ± 1.09 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$7.19 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5750.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 346 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	4.531 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	8.188 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.95 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.15203 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.0927 < 0.35938$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.1662 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency

σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20