

Dr. Geol. GIUSEPPE M. NISTA
 Laboratorio TERRE e MATERIALI
 Anolista: RIF. LAB. N° 47/88 del 20 GIU 1988

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (AASHTO T 236)
 tipo: Consolidato Rapido Lento (d_i)
 Anello Portacampione N° A
 massa: 37.86 gr

h = 2,30 cm
 + campione: 137.86 gr
 A = 28,30 cmq V = 65,00 cc
 campione, massa: 100.80 gr

CELLA DI TAGLIO: non allongata - VELOCITA' DI TAGLIO: 0.05 mm mn⁻¹
 CEDIMENTI: 0.036 cm dopo 2 ore - Altezza Finale: 2.264 cm - Consol. 1.66 %

SFORZO NORMALE (σ): 100 KN m⁻²
 PESO SPECIFICO DEI GRANI (G_s): 25.46 KN m⁻³

Note:

SFORZO NORMALE:
 σ = 100 KN m⁻²
 SFORZO DI TAGLIO A ROT.
 τ_{max} = 174.9 KN m⁻²

RISULTATI della PROVA di Taglio: (data:)

	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
1 Spostamenti Cella oriz.	mm											
2 Tempi	mn	10	20	30	40	50	70	80	90	100	110	
3 Comparatore Sforzi di Taglio	n°	11 ^s	16 ^s	20 ^s	24 ^s	28 ^s	36 ^s	37 ^s	39 ^s	40	40	
4 Comparatore Cedimenti Vert.	n°	44	51	54 ^s	56 ^s	57	58	58	57	56	55	
5 SFORZI di TAGLIO	KN m ⁻²	50.3	72.2	89.6	105.0	124.6	142.1	161.0	170.6	174.9	174.9	

CURVE Taglio - Spostamenti e Cedimenti - Spostamenti

σ _v	Taglio - Spostamenti						Cedimenti - Spostamenti					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
stforzi di taglio												
cedimenti vert.												
spostamenti mm												

DETERMINAZIONI

	prima	dopo
A Contenitore	n° N ₁	Y ₁
B Cont., massa	gr 21.04	20.83
C Cont. + Terra Um.	32.89	86.39
D Cont. + Terra secca	65.85	63.51
E Umidità	% 39.9	34.7
F UMDITA' MEDIA	% 37.3	

DETERMINAZIONI

	iniz	cons	Δ
G Peso Spec. Nat.	15.51	15.73	0.22
H Peso Spec. Secco	11.23	11.46	0.16
I Indice dei Vuoti	1.257	1.242	-0.35
K Altezza Solidi cm	1.015		

Dr. Geol. GIUSEPPE M. NISTA
 Laboratorio TERRE e MATERIALI
 Analista: RIF. LAB. N° 44/88 del

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (AASHTO T 236)
 tipo: Consolidata Rapida Lenta (d_i)

Anello Portacampione N° 8
 massa: 36.53 gr
 + campione: 138.04 gr
 h = 6,00 cm
 h = 2,30 cm
 V = 65,00 cc
 A = 28,30 cmq
 campione, massa: 101,51 gr

CÉLLA DI TAGLIO: non alloggiata - VELOCITA' DI TAGLIO: 0.05 mm min⁻¹
 CEDIMENTI: OD22 cm dopo 8 ore - Altezza Finale: 223 cm - Consol. 1.0 %

SFORZO NORMALE (σ): 50 kN m⁻²
 PESO SPECIFICO DEI GRANI (G_s): 25.46 kN m⁻³

RISULTATI della PROVA di Taglio: (data:)

	mm	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
1 Spostamenti Cella oriz.	mm	19	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
2 Tempi	mn	85	17	22	25	28	29	30	31	31	31		
3 Comparatore Sforzi di Taglio	n°	25	22	19	12	9	5	2	0	-4			
4 Comparatore Cedimenti Vert.	n°	37.2	67.8	74.3	86.2	103.3	122.4	131.2	135.6				
5 SFORZI di TAGLIO	kN m ⁻²												

Note:

DETERMINAZIONI

	prima	dopo
A Contenitore	L ₁	A ₁
B Cont., massa	20.30	21.11
C Cont. + Terra Um.	86.08	75.32
D Cont. + Terra secca	18.14	61.76
E Umidità %	31.2	33h
F UMIDITA' MEDIA %	32.3	

CURVE Taglio - Spostamenti e Cedimenti - Spostamenti

N°	Sforzi di taglio						Cedimenti vert.					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6

SFORZO NORMALE:
 σ = 50 kN m⁻²
 SFORZO DI TAGLIO A ROT.
 τ_{max} = 135.6 kN m⁻²

DETERMINAZIONI

	iniz	cons	Δ
G Peso Spec. Nat.	15.61	15.75	0.13
H Peso Spec. Secco	11.50	11.30	0.20
I Indice dei Vuoti	1.160	1.133	+0.027
K Altezza Solidi cm	1.015		

Dr. Geol. GIUSEPPE M. NISTA

PROVA DI COMPRESIONE EDOMETRICA

(AASHTO T 216) (foglio 1 di 2)

Laboratorio TERRE e MATERIALI

Analista: RIF. LAB. N° 44/88 del

DATI del CAMPIONE (peso specifico dei grani : 25.46 kN m⁻³)

Compione, volume	cm ³	40.000	Umidità Naturale	%	40.3
Compione, area base	cm ²	20.000	Grado di Saturazione	%	73.4
Peso Specifico naturale	kN m ⁻³	15.24	Peso Specifico secco	kN m ⁻³	11.10
Pressione Litostatica	kPa	87	Altezza Solida	cm	0.853

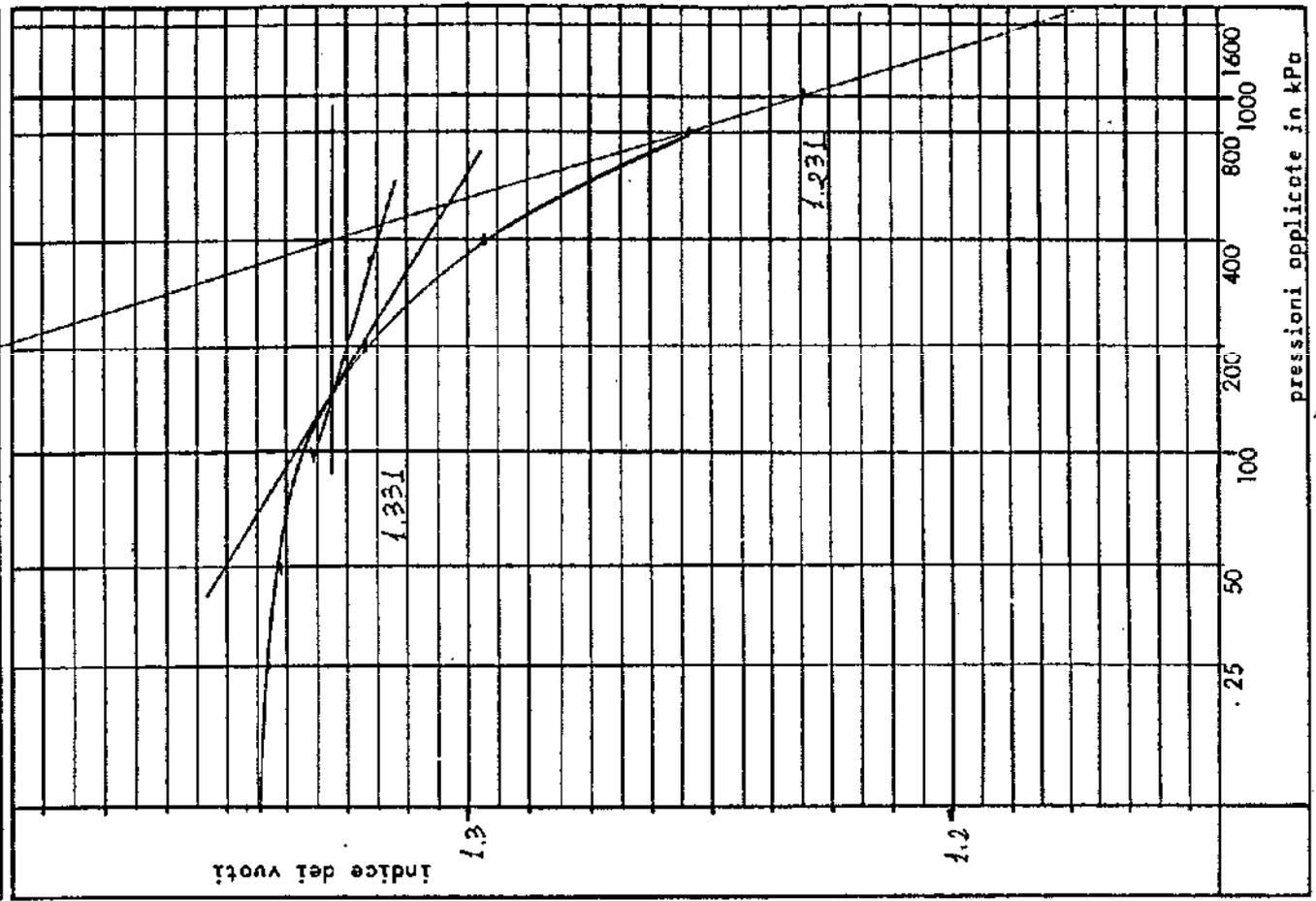
RISULTATI ANALITICI

Pressioni Appli- cate. kPa	Altezza Campione 2 H cm	Altezza Vuoti 2Hv cm	Indice Vuoti e	Indice Compres. Cc	Modulo Edom. Eed kN m ⁻²	Consolidazione Cons. Pri	Indice Coeff. Consol. Cv m ² sec ⁻¹
0.	2.000	1.147	1.345	-	-	0.0	
25.	1.997	1.144	1.341	-	-	0.2	
50.	1.994	1.141	1.338	0.060	19508	0.3	
100.	1.980	1.135	1.331	0.023	16700	0.6	
200.	1.980	1.127	1.321	0.033	23310	1.0	
400.	1.958	1.106	1.297	0.080	19342	2.1	
800.	1.923	1.070	1.254	0.143	21267	4.0	
1600.	1.860	1.007	1.181	0.243	24701	7.5	

Carico di Preconsolidazione: 130 kPa Cc (100-1000) = 0.100

430:87 = 4.9 Eed (100-1000) = 91105 kN m⁻²

Curva PRESSIONI APPLICATE - INDICE DEI VUOTI



GUIDA TEMPI - CONSOLIDAZIONI

Dr. Geol. GIUSEPPE M. NISTA
 Laboratorio TERRE e MATERIALI
 PROVA DI COMPRESIONE EDONETRICA
 (AASHTO T 216) (foglio 2 di 2)

RIF. LAB. N° 11/BB del

Anelista:

DETERMINAZIONI

		data:	
A	Contenitore	N.	V _i
B	Contenitore, massa	gr 2061	20.55
C	Cont. + terro, massa	gr 68.05	71.84
D	Cont. + terro secco,	gr 54.76	56.85
E	Umidità	% 38.9	41.6
F	Umidità Media	% 40.3	
G	Anello portacampione	N.	A
H	Anello, massa	gr 200.47	
I	Anello + Campione, massa	gr 266.41	
J	Anello: Ø int.	cm 5.047	
K	Campione, altezza	cm 2.000	
L	Campione, massa	gr 60.94	

DATI TEMPI - CONSOLIDAZIONE (condizioni naturali/inondate a 0.0 kPa)

kPa	0"	15"	30"	1'	2'	4'	8'	15'	30'	1 ^h	2 ^h	4 ^h	8 ^h	12 ^h	24 ^h	2H ^h (cm)
25	0	5	3	3												1.957
50	3	6	6	6												1.984
100	6	12	12	12												1.988
200	17	19	15	15	15	15	20	20	20	20						1.980
400	20	34	35	35	35	36	36	37	38	38	38	40	41	41	41	1.958
800	41	60	61	65	64	65	67	68	70	71	72	74	75	76	77	1.933
1600	77	103	110	113	115	115	120	122	125	128	131	131	137	138	140	1.860

Note:

consolidazione in 10⁵ cm

15' 30" 1' 2' 4' 8' 15' 30' 1^h 2^h 4^h 8^h 12^h 24^h
 tempi in mn

SONDAGGIO N° 15 + PIEZOMETRO

SCALA 1:100

LOCALITA' BUCCIANO

30/5/88

≡ F.R. - FALDA RINVENUTA

≡ F.S. - FALDA STABILIZZATA

■ - CAMPIONE INDISTURBATO

S.P.T. - STANDARD PENETRATION TEST

V.T. - PROVA SCISSOMETRICA (VANE TEST)

PROFONDITÀ	QUOTE PARZIALI	S.P.T.	V.T.	SONDAGGIO	TERRENO ATTRAVERBATO	FALDA
PIANO DI CAMPAGNA						
0.00	2.00				Siltiti sabbiose in parte argillificate (humus), di natura piroclastica, con qualche elemento ghialoso di piccole dimensioni.	/
2.00		*			Sabbie siltose addensate, grigie, (tuffi grigi), di natura piroclastica.	/
		*				/
		*				/
	9.00	*				/
11.00						/
	1.00				Siltiti argillose giallastre, mediamente consistenti.	/
12.00					Sabbie siltose addensate, con qualche elemento carbonatico.	/
13.10	1.10					/
13.50	0.40				Materiale organico torboso (paleosuolo)	/
	1.00				Siltiti sabbiose verdastre, mediamente consistenti.	/
14.50					Tufo grigio mediamente cementato.	/
	3.00					/
17.50					Siltiti sabbiose e sabbie siltose grigie, consistenti.	/
	3.00					/
20.50					Tufo giallo littoide, alterato.	/
21.00	0.50					/

P I E Z O M E T R O

CLASSIFICAZIONE (E-2) USBR	MASSA VOLUMICA in kg. m ⁻³	N di S.P.T.	PROFONDITA' m	tempi arrivo in sec		tempi in sec	
				ONDE P	ONDE S		
			1				
			2.0	5.5	12.0		
			3				
			3.3	9.5	20.5		
			4				
			4.5	10.8	28.0		
			5				
			6				
			6.5	12.8	31.7		
			7				
			8				
			8.8	14.9	36.5		
			9				
			10				
			11.0	16.7	40.8		
			12				
			13				
			14				
			15				

DR. GEOL. GIUSEPPE M. NISTA
 PROSPERZIONI GEOFISICHE
 RIF. N° DEL 20 GIU 1988 Operatore: *FP*

LOG DEL SONDAGGIO SISNICO N° 15
 tipo: DOWN HOLE
 PROGETTO: PIANO REGOLATORE GENERALE
 CLIENTE: Dr. GEOLOGO Raffaele FUSCO
 LOCALITA': BUCCIANO (BN)
 CASE POPOLARI
 Eseguito il 30/05/1988
 Punti Indagati N°: 6

PARAMETRI DEI TERRENI		I° STRATO	II° STRATO	III° STRATO
Potenza strato	m	h		
Masso volumico	kg. m ⁻³	Q	1500	1650
Velocità onde P	m. s ⁻¹	Vp	471	1153
Velocità onde S	m. s ⁻¹	Vs	156	494
Indice di POISSON		ν	0.44	0.39
Modulo di YOUNG	N. m ⁻²	E	105.1 x 10 ⁶	1119.2 x 10 ⁶
Modulo TAGLIO	N. m ⁻²	G	36.5 x 10 ⁶	402.6 x 10 ⁶
Modulo COMPRES.	N. m ⁻²	λ	259.7 x 10 ⁶	1388.2 x 10 ⁶
Rigidità	N. s. m ⁻³	R	0.7 x 10 ⁶	1.9 x 10 ⁶

NOTE:

Dr. Geol. GIUSEPPE M. NISTA	IDENTIFICAZIONE VISIVA DEL CAMPIONE E PROVE ESEGUITE NEL LABORATORIO TERRE.
Laboratorio TERRE e MATERIALI	
Analista: <i>MN</i>	RIF. LAB. N° 45/88 del 20. GIU. 1988

CLIENTE: AMMINISTRAZIONE COMUNALE - Dr. Geol. RAFFAELE FUSCO
PROGETTO: PIANO REGOLATORE GENERALE
LOCALITA': BUCCIANO (BENEVENTO)
SONDAGGIO: N° 15
CAMPIONE: indisturbato <i>frane/argilla</i>
profondità: 3.8+4.3 m del p.c.
Data del prelievo:

IDENTIFICAZIONE VISIVA (USBR E-3):
a) grana - GROSSA
b) consistenza - MEDIAMENTE ADDENSATA
c) struttura - OMOGENEA
d) colore - MARRONE GIALLASTRO
e) denominazione - SABBIA CON SILTITE
f) simbolo lettera -
g) formazione o complesso geologico-
NOTE: IL CAMPIONE PRESENTA PARTI SILTO- ARGILLOSE, IL PROVINO PER LA PROVA EDO- METRICA E' STATO PREPARATO CON ESSE.
data:

PROVE ESEGUITE NEL LABORATORIO TERRE:	
<input checked="" type="checkbox"/>	Determinazione delle caratteristiche fisiche generali.
<input type="checkbox"/>	Analisi granulometrico con vogli ASTM e densitometria (AASHTO T 88).
<input type="checkbox"/>	Analisi granulometrica con soli vogli ASTM (AASHTO T 27).
<input type="checkbox"/>	Determinazione dei limiti ed indici di consistenza (AASHTO T 89-90-92-93).
<input checked="" type="checkbox"/>	Prova di taglio diretto consolidata rapida /lenta (AASHTO T 236).
<input type="checkbox"/>	Prova di compressione ad E.L.L. (AASHTO T 208).
<input checked="" type="checkbox"/>	Prova di compressione edometrico con n° 7 carichi e n° 0 scariche (AASHTO T 216).
<input type="checkbox"/>	Prova di compressione triassiale non consolidata non drenata (UU - CU - CD).

Dr.Geol. GIUSEPPE M. NISTA	DETERMINAZIONI DELLE CARATTERISTICHE FISICHE	
LABORATORIO TERRE E MATERIALI	GENERALI	
Analista:	RIF. LAB. N° 45/88	del 20 GIU. 1988

DETERMINAZIONE DELL' UMIDITA' NATURALE ED IGROSCOPICA						
A	Capsula	n°		K *	B *	
B	Capsula, massa	gr		16.21	20.92	
C	Capsula + terra nat. (*asciutta)	gr		55.14	64.26	
D	Capsula + terra secca	gr		53.17	62.34	
E	UMIDITA' NATURALE	Wn	%			47.3
F	UMIDITA' IGROSCOPICA	Wi	%	5.3	4.6	9.0

DETERMINAZIONE DEL PESO DI VOLUME					
G'	Volumometro	n°		P	
H	Volumometro, massa	gr		33.67	
I	Volumometro, capacità	cm ³		40.00	
J	Volumometro + campione	gr		100.20	
K	PESO VOLUME NATURALE	γ_n	kN m ⁻³	16.63	16.63
L	PESO VOLUME ASCIUTTO	γ_s	kN m ⁻³		11.85
M	PESO VOLUME SECCO	γ_d	kN m ⁻³		11.29
N	PESO VOLUME SATURO	γ_s	kN m ⁻³		17.00

DETERMINAZIONE DEL PESO SPECIFICO DEI GRANI (AASHTO T 100)					
O	Picnometro	n°		* I **	* ritenuto al vaglio 10 ASTM: 0 % ** passante al vaglio 10 ASTM: 100.0 %
P	Campione secco	gr		28.72	
Q	Picnometro + campione + acqua	gr		162.86	
R	Temperatura delle pesate (T)	°C		20	
S	Picnometro + acqua	gr		145.04	
T	Peso Specifico dei grani a T 20 (°)	kN m ⁻³		26.34	(°) k =
U	PESO SPECIFICO DEI GRANI a 20 °C	kN m ⁻³		26.34	G _t 26.34

DETERMINAZIONE DELLE GRANDEZZE INDICI					
V	INDICE DEI VUOTI	e ^o	=		1.333
W	POROSITA'	n	%		57.1
X	GRADO DI SATURAZIONE	S _r	%		93.5
Y	PESO VOLUME IMMERSO	γ_i	kN m ⁻³		7.00

Dr. Geol. GIUSEPPE M. NISTA
 ANALISI GRANULOMETRICA DI UNA TERRA CON VAGLI
 LABORATORIO TERRE E MATERIALI ASTM E DENSITOMETRIA. (AASHTO T 88-72)
 Analista: RIF. LAB. N° 45/88 del 20 GIU 1988

CAMPIONE:
 ANALISI MECCANICA E DENSITOMETRICA del PASSANTE
 al vaglio ASTM *10

ANALISI DENSITOMETRICA (data:)

temperatura °C	20						
tempi mn	2	5	15	30	60	250	1440
densimetro, R	1.016	1.013	1.010	1.008	1.007	1.005	1.003
corr. dens.,	-0.0043						
DENSIMETRO, R*	1.017	1.008	1.005	1.004	1.002	1.002	1.000
Ø max grani, mm	0.40	0.26	0.15	0.10	0.074	0.036	0.015

ANALISI MECCANICA
 DEL TRATTENUTO al *10

CAMPIONE, secco gr	
Campione, L/S al *200 gr	
perdita gr	

vagli	ritenuto gr	%	% PASS.
3"			
2"			
1½"			
1"			
¾"			
3/8"			
* 4			
* 10			

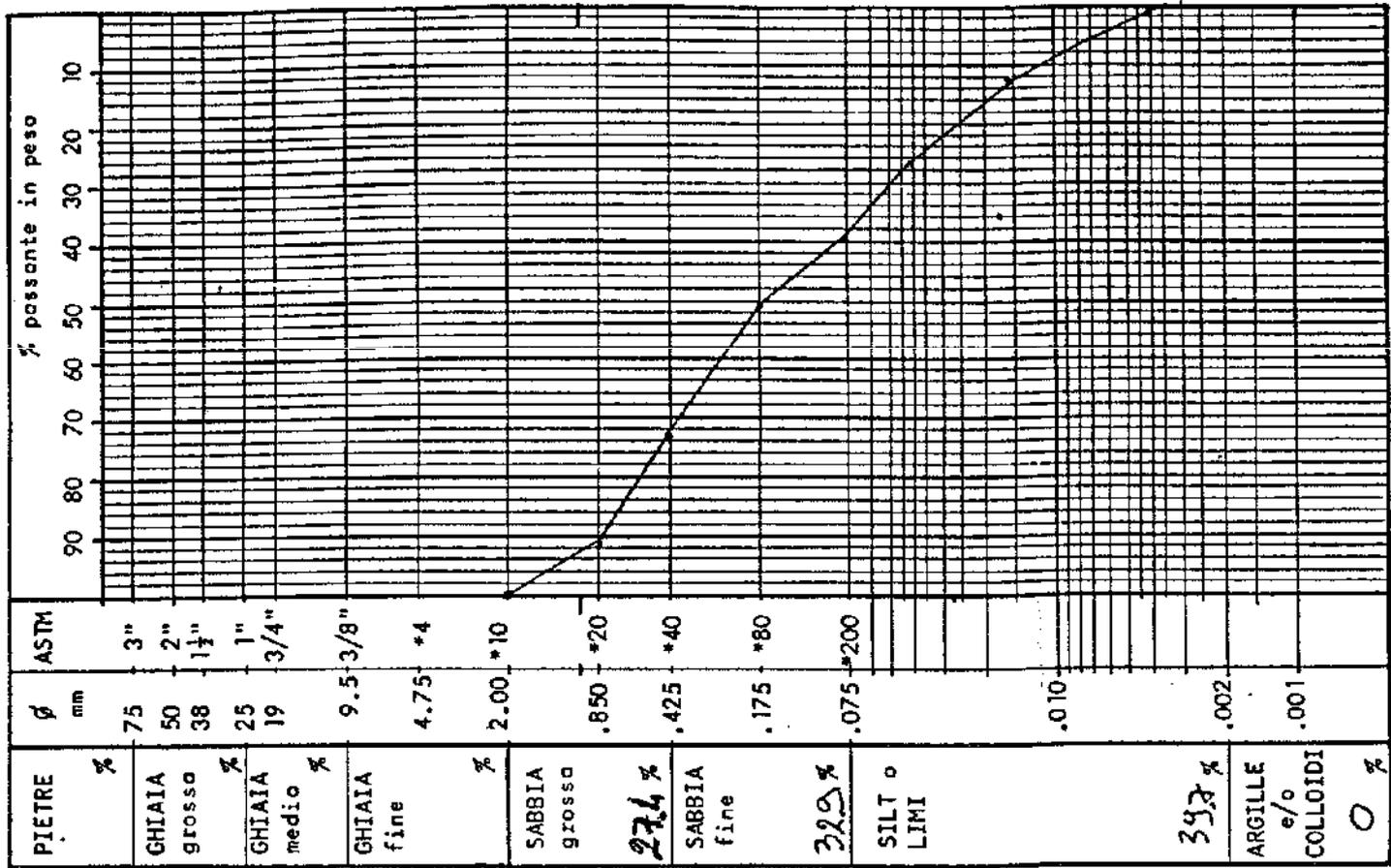
ANALISI MECCANICA

campione L/S *200	gr		F	PASS. %
	riten. gr	pass. gr		
vagli * 20	5.88	64.10		91.6
* 40	13.26	50.84	1	72.6
* 80	15.53	35.31		50.5
* 200	7.56	27.77		33.7
PAN	27.77			✓

CAMPIONE, SECCO; per 1' analisi densito= metrica: 63.98 gr

PESO SPECIFICO dei GRANI del passante al *10: 26.34 kN m⁻³

AGENTE DISPERSENTE: esametfosfato di Na



PIETRE %
 GHIAIA grossa %
 GHIAIA medio %
 GHIAIA fine %
 SABBIA grossa 27.6 %
 SABBIA fine 32.9 %
 SILT o LIMI 39.7 %
 ARGILLE e/o COLLOIDI 0 %

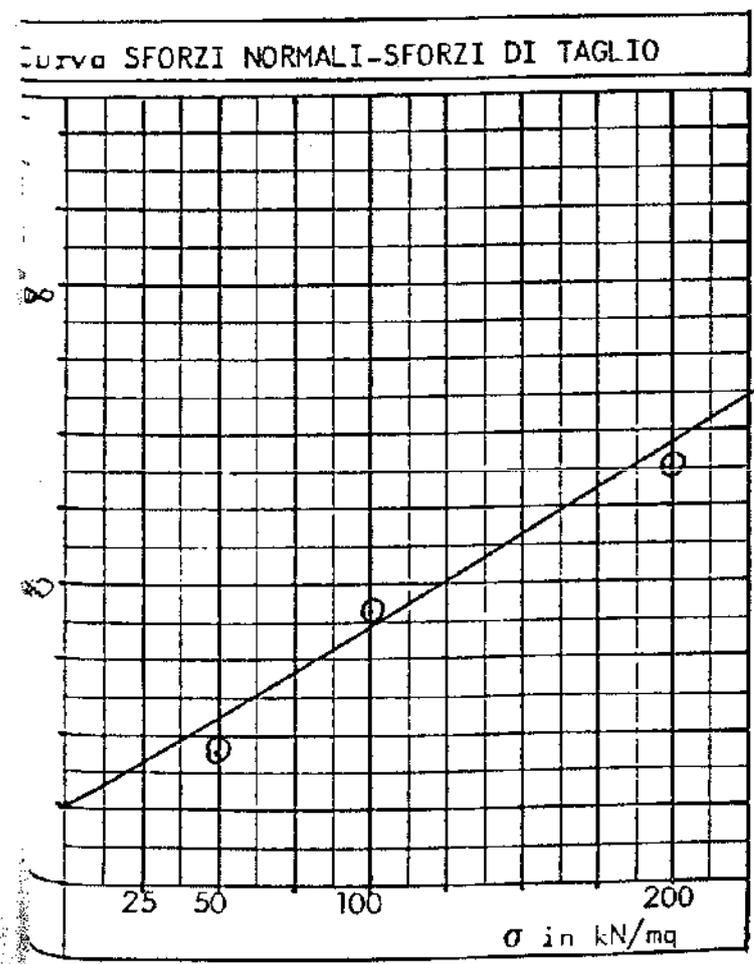
Dr. Geol. GIUSEPPE M. NISTA	PROVA DI TAGLIO DIRETTO (AASHTO T 236)
Laboratorio TERRE e MATERIALI	tipo: Consolidata Rapida Lenta (di)
Analista:	RIF. LAB. N° 45/88 del

CELLA DI TAGLIO: ~~non~~ allagata - VELOCITA' DI TAGLIO: 0.05 mm min⁻¹

Peso Specifico dei Grani: 26.34 kN m⁻³ -

RIEPILOGO RISULTATI:

Provino m ^o	Sforzi Normali kPa	Umidità Naturale %	Peso Specif. Natur. kN m ⁻³	Consol. %	Peso Specif. secco kN m ⁻³	Indice dei vuoti		SFORZI di TAGLIO τ kN m ⁻²	Note
						iniz. e ^o	cons. e [^]		
1	25.								
2	50.	33.0	16.75	0.9	12.05	1.188		43.7	
3	100.	42.9	16.41	2.0	11.48	1.238		89.6	
4	200.	47.6	16.71	3.7	11.32	1.330		135.6	
		43.2	16.62		11.62	1.249			



RISULTATI:

Equazione curva per regressione lineare:
 $\tau = 0.566 \cdot \sigma + 25.1$

Coefficiente di correl.: 0.987

Angolo di Attrito Interno: 29.5°

Coesione o rottura: 25.1 kN m⁻²

Dr. Geol. GIUSEPPE M. NISTA
 Laboratorio TERRE e MATERIALI
 Analista:
 PROVA DI TAGLIO DIRETTO (AASHTO T 236)
 tipo: Consolidata Rapida Lenta (dj)
 RIF. LAB. N° 45/88 del

Anello Portacampione N° A
 massai 34.06 gr
 $\phi_i = 6,00$ cm h = 2,30 cm + campione: 145.33 gr
 A = 28,30 cmq V = 65,00 cc campione, massa: 108.60 gr

CELLA DI TAGLIO: non allongata - VELOCITA' DI TAGLIO: 0.05 mm min⁻¹
 CEDIMENTI: 0.081 cm dopo 8 ore - Altezza Finale: 1.218 cm - Consol. 3.7 %

SFORZO NORMALE (σ): 200 KN m⁻²
 PESO SPECIFICO DEI GRANI (G_s): 26.34 KN m⁻³

RISULTATI della PROVA di Taglio: (data:)

	mm	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
1 Spostamenti Cella oriz.													
2 Tempi	mn	10	20	30	40	50	60						
3 Comparatore Sforzi di Taglio	n°	14	26	28	30	31	30						
4 Comparatore Cedimenti Vert.	n°	91	86	78	70	65	63						
5 SFORZI di TAGLIO	KN m ⁻²	61.2	113.7	124.6	131.2	135.6	131.2						

Note:

DETERMINAZIONI

	n°	prima	dopo
A Contenitore	n°	21	62
B Cont., massa	gr	2103	2089
C Cont. + Terra Um.		6435	6347
D Cont. + Terra secca		6426	6323
E Umidità %		13.6	17.6
F UMDITA' MEDIA %		17.6	47.6

CURVE Taglio - Spostamenti e Cedimenti - Spostamenti

sforzi di taglio	spostamenti mm						cedimenti vert. mm					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1												
2												
3												
4												
5												
6												

SFORZO NORMALE:
 $\sigma = 200$ KN m⁻²
 SFORZO DI TAGLIO A ROT.
 $\tau_{max} = 135.6$ KN m⁻²

DETERMINAZIONI

	iniz	cons	Δ
G Peso Spec. Nat.	16.71		
H Peso Spec. Secco	11.32		
I Indice dei Vuoti	1.330		
K Altezza Solidi cm	0.597		

Dr. Geol. GIUSEPPE M. NISTA

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (AASHTO T 236)

Anello Portacompone N° 6

massoi 36.53 gr

Laboratorio TERRE e MATERIALI

tipo: Consolidata Rapida Lenta (di)

$\phi_i = 6,00$ cm $h = 2,30$ cm + campione: 163.15 gr

Analista:

RIF. LAB. N° 45/80 del

$A = 28,30$ cmq $V = 65,00$ cc campione, massa: 106.66 gr

CELLA DI TAGLIO: ϕ_n allargata - VELOCITA' DI TAGLIO: 0.05 mm min⁻¹

SFORZO NORMALE (σ): 100 KN m⁻²

CEMENTI: 0.045 cm dopo 8 ore - Altezza Finale: 2.255 cm - Consol. 2.0%

PESO SPECIFICO DEI GRANI (G_s): 26.34 KN m⁻³

RISULTATI della PROVA di Taglio:

		(data:)											
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
1	Spostamenti Cella orizz.	mm											
2	Tempi	mn	10	20	30	40	50	70	80				
3	Comparatore Sforzi di Taglio	n°	85	135	18	19	20	205	205				
4	Comparatore Cedimenti Vert.	n°	56	605	64	64	64	64	64				
5	SFORZI di TAGLIO	KN m ⁻²	37.2	53.0	78.7	83.1	87.5	89.6	89.6				

Note:

DETERMINAZIONI

	primo	dopo
A	Contenitore n° C ₁ W ₁	
B	Cont., massa gr 2037 2037	
C	Cont. + Terra Um. 88.23 80.45	
D	Cont. + Terra secco 68.08 55.56	
E	Umidità % 47.8 43.0	
F	UMIDITA' MEDIA % 42.9	

CURVE Taglio - Spostamenti e Cedimenti - Spostamenti

Sforzi di taglio σ	Spostamenti mm						Cedimenti vert. mm					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6

DETERMINAZIONI

	iniz	cons	A
G	Peso Spec. Nat. 16.41		
H	Peso Spec. Secco 11.48		
I	Indice dei Vuoti 1.293		
K	Altezza Solidi cm 1.001		

SFORZO NORMALE:

$\sigma = 100$ KN m⁻²

SFORZO DI TAGLIO A ROT.

$\tau_{max} = 83.6$ KN m⁻²

Laboratorio TERRE e MATERIALI
Analista: RIF. LAB. N° 45/88 del tipo: Consolidato Rapido Lenta (di)

Anello Portocampione N° F
 massa: 38.43 gr
 $\phi_i = 6,00$ cm h = 2,30 cm + campione: 147.33 gr
 A = 28,30 cmq V = 65,00 cc campione, massa: 108.50 gr

SFORZO NORMALE (σ): 50 KN m⁻²
 PESO SPECIFICO DEI GRANI (G_s): 26.34 KN m⁻³

CELLA DI TAGLIO: ng^h allagata - VELOCITA' DI TAGLIO: 0.05 mm min⁻¹
 CEDIMENTI: 0.20 cm dopo 8 ore - Altezza Finale: 2.280 cm - Consol. 0.3%

RISULTATI della PROVA di Taglio: (data:)

	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
1 Spostamenti Cella oriz. mm	10	20	30	40	50	60	70					
2 Tempi min	3	6	8	9	10	10	10					
3 Comparatore Sforzi di Taglio n°	24	26	25	25	23	21	18					
4 Comparatore Cedimenti Vert. n°	13.1	28.4	37.2	41.5	43.7	43.7	43.7					
5 SFORZI di TAGLIO MN.m ⁻²												

DETERMINAZIONI

	n°	prima	dopo
A Contenitore	H ₂	A ₁	
B Cont., massa	gr	20.63	20.69
C Cont. + Terra Um.	%	83.26	75.78
D Cont. + Terra secca	%	65.15	63.47
E Umidità	%	33.8	38.1
F UMIDITA' MEDIA	%	33.0	

DETERMINAZIONI

	iniz	cons	A
G Peso Spec. Nat.	16.35		
H Peso Spec. Secco	18.05		
I Indice dei Vuoti	1.188		
K Altezza Solidi cm	1.051		

CURVE Taglio - Spostamenti e Cedimenti - Spostamenti

Sforzi di taglio MN.m ⁻²	Taglio - Spostamenti						Cedimenti - Spostamenti					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
0												
50												
100												
150												
200												
250												
300												
350												
400												
450												
500												

Note:

SFORZO NORMALE:
 $\sigma = 50$ KN m⁻²
 SFORZO DI TAGLIO A ROT.
 $\tau_{max} = 43.7$ KN m⁻²

Dr. Geol. GIUSEPPE M. NISTA

PROVA DI COMPRESIONE EDOMETRICA

(AASHTO T 216) (foglio 1 di 2)

Laboratorio TERRE e MATERIALI

Analista:

RIF. LAB. N° 45/88 del

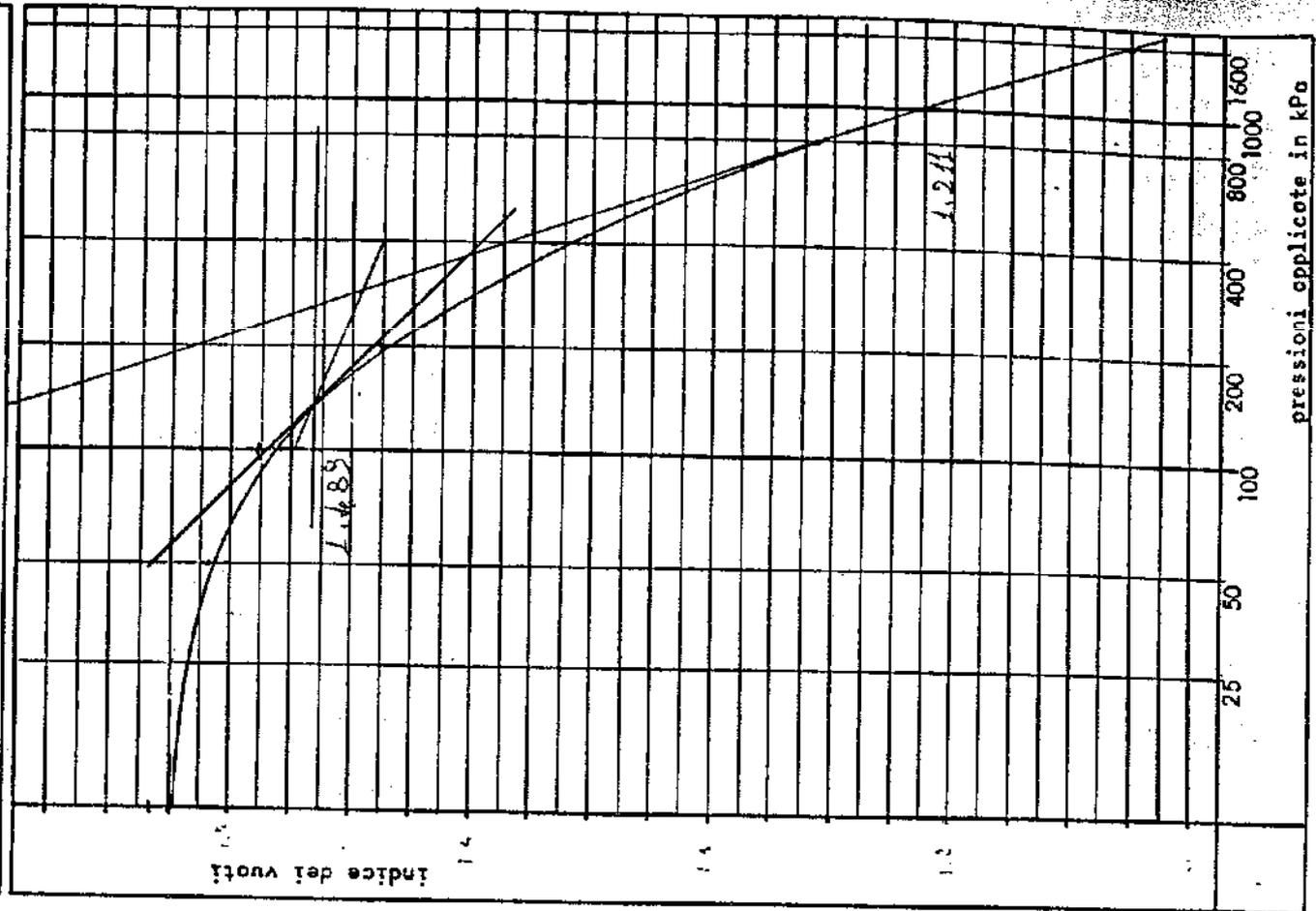
DATI del CAMPIONE				(peso specifico dei grani : 26.34 kN m ⁻³)	
Campione, volume	cm ³	40.000	Unità Naturale	%	59.8
Campione, area base	cm ²	20.000	Grado di Saturazione	%	93.5
Peso Specifico naturale	kN m ⁻³	16.63	Peso Specifico secco	kN m ⁻³	11.29
Pressione Litostatica	kPa	70	Altezza Solida	cm	0.790

RISULTATI ANALITICI

Pressione Appli- cate, kPa	Altezza Campione 2 H, cm	Altezza Vuoti 2Hv, cm	Indice Vuoti e	Indice Compres. Cc	Modulo Edom. Eed, kN m ⁻²	Consolidazione Cons. Pri	Indice Coeffic. r	Coeffic. Cv, m ² sec ⁻¹
0.	2.000	1.210	1.532	/	/	0.0	/	/
25.	1.994	1.204	1.524	/	/	0.3	/	/
50.	1.982	1.192	1.505	0.050	6207	0.9	/	/
100.	1.946	1.176	1.489	0.066	6273	2.8	/	/
200.	1.925	1.135	1.437	0.086	5473	3.9	/	/
400.	1.868	1.078	1.365	0.233	6709	7.1	/	/
800.	1.784	0.994	1.258	0.355	8841	12.1	/	/
1600.	1.678	0.888	1.124	0.445	13481	19.2	/	/

Carico di Preconsolidazione: 282 kPa	Cc (100-1000) = 0.278
282:70 = 4.0	Eed (100-1000) = 8157 kN m ⁻²

Curva PRESSIONI APPLICATE - INDICE DEI VUOTI



SONDAGGIO N° 16 + PIEZOMETRO

SCALA 1:100

LOCALITA': BUCCIANO 30/5/88

≡ F.R. - FALDA RINVENUTA

≡ F.S. - FALDA STABILIZZATA

■ - CAMPIONE INDISTURBATO

S.P.T. - STANDARD PENETRATION TEST

V.T. PROVA SCISSOMETRICA (VANE TEST)

PROFONDITÀ	QUOTE PARZIALI	S.P.T.	V.T.	SONDAGGIO	TERRENO ATTRAVERBATO	FALDA
PIANO DI CAMPAGNA						
0.00	0.50				Humus di natura piroclastica.	/
0.50	1.50				Siltiti sabbiose giallastre, a tratti argillose, bene addensate.	
2.00		*			Sabbie siltose di colore marrone chiaro bene addensate, con minute pomici.	
	5.00	*				
7.00		*			Tufo giallo, mediamente cementato.	
	5.00	*				
12.00					Siltiti sabbiose con pomici, consistenti.	
17.00					Detrito carbonatico in matrice sabbiosa grigiastro.	
18.00	1.00					
19.00	1.00				Sabbie siltose giallastre mediamente addensate.	
20.00	1.00				Siltiti sabbiose di colore scuro per presenza di materiale organico.	

PIEZOMETRO

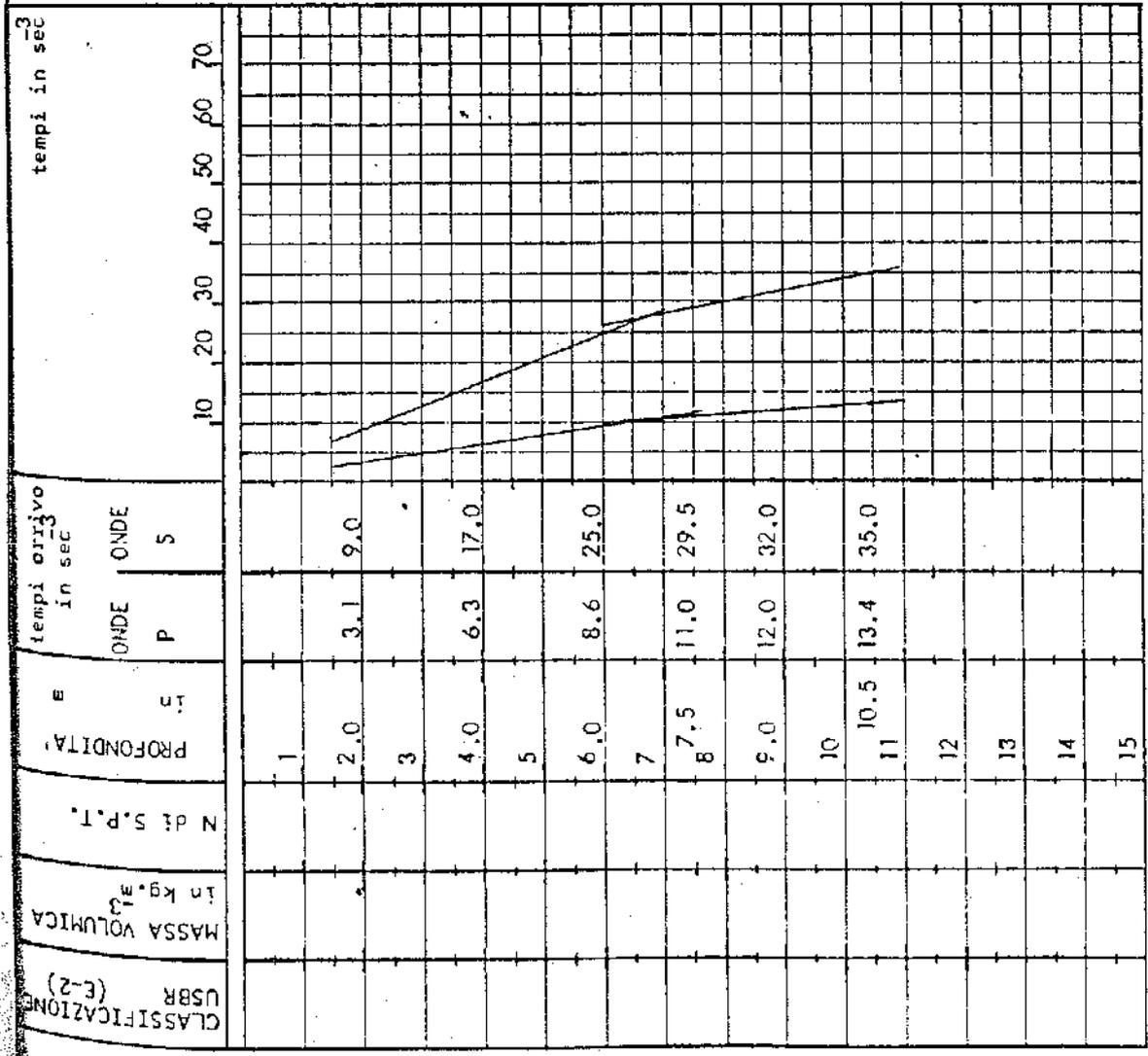
DR. GEOL. GIUSEPPE M. NISTA
 LOG DEL SONDAGGIO SISMICO N° 16
 tipo: DOWN HOLE
 PROSPERZIONI GEOFISICHE
 RIF. N° DEL 20 GIU 1988 Operatore: TP

PROGETTO: PIANO REGOLATORE GENERALE
 CLIENTE: Dr. GEOLOGO Raffaele FUSCO
 LOCALITA': BUCCIANO (BN)
 Eseguito il 30/05/1988
 Via PARATA
 Punti Indagati N°: 6

PARAMETRI DEI TERRENI

	I° STRATO	II° STRATO	III° STRATO
Potenza strato h			
Massa volumica $kg.m^{-3}$ Q	1500		1550
Velocità onde P $m.s^{-1}$ Vp	727		1250
Velocità onde S $m.s^{-1}$ Vs	250		545
Indice di POISSON ν	0.43		0.38
Modulo di YOUNG $N.m^{-2}$ E	267.9×10^6		1270.4×10^6
Modulo TAGLIO $N.m^{-2}$ G	93.7×10^6		460.3×10^6
Modulo COMPRES. $N.m^{-2}$ λ	605.2×10^6		1501.0×10^6
Rigidità $N.s.m^{-3}$ R	1.0×10^6		1.9×10^6

NOTE:



Dr.Geol. GIUSEPPE M. NISTA	DETERMINAZIONI DELLE CARATTERISTICHE FISICHE	
LABORATORIO TERRE E MATERIALI	GENERALI	
Analista:	RIF. LAB. N° 46/88	del 20 GIU. 1988

DETERMINAZIONE DELL' UMIDITA' NATURALE ED IGROSCOPICA							
A	Capsula	n°			P ₁ *	A ₂ *	
B	Capsula, massa	gr			2085	2067	
C	Capsula + terra nat. (*asciutta)	gr			5776	5255	
D	Capsula + terra secca	gr			5507	5032	
E	UMIDITA' NATURALE	W _n	%				58.6
F	UMIDITA' IGROSCOPICA	W _i	%		7.8	7.5	7.7

DETERMINAZIONE DEL PESO DI VOLUME						
G	Volumetro	n°			N	
H	Volumetro, massa	gr			33.98	
I	Volumetro, capacità	cm ³			40.00	
J	Volumetro + campione	gr			93.47	
K	PESO VOLUME NATURALE	γ _n	kN m ⁻³		14.87	14.87
L	PESO VOLUME ASCIUTTO	γ _m	kN m ⁻³			10.10
M	PESO VOLUME SECCO	γ _d	kN m ⁻³			9.38
N	PESO VOLUME SATURO	γ _s	kN m ⁻³			15.70

DETERMINAZIONE DEL PESO SPECIFICO DEI GRANI (AASHTO T 100)						
O	Picnometro	n°		* II **		* ritenuto al vaglio 10 ASTM: 0 % ** passante al vaglio 10 ASTM: 100 % (°) k = 1.000
P	Campione secco	gr		25.90		
Q	Picnometro + campione + acqua	gr		161.10		
R	Temperatura delle pesate (T)	°C		20		
S	Picnometro + acqua	gr		145.36		
T	Peso Specifico dei grani a T 20 (°)	kN m ⁻³		25.49		
U	PESO SPECIFICO DEI GRANI a 20 °C	kN m ⁻³		25.49	G _c	25.49

DETERMINAZIONE DELLE GRANDEZZE INDICI						
V	INDICE DEI VUOTI	e°	=			1.717
W	POROSITA'	n	%			63.2
X	GRADO DI SATURAZIONE	S _r	%			87.0
Y	PESO VOLUME IMMERSO	γ _i	kN m ⁻³			5.70

Dr. Geol. GIUSEPPE M. NISTA
 ANALISI GRANULOMETRICA DI UNA TERRA CON VAGLI
 LABORATORIO TERRE E MATERIALI ASTM E DENSITOMETRIA. (AASHTO T 88-72)
 Analista: RIF. LAB. N° 46/88 del

CAMPIONE:
 ANALISI MECCANICA E DENSITOMETRICA del PASSANTE
 al vaglio ASTM *10

CAMPIONE secco gr
 CAMPIONE secco corretto gr

ANALISI DENSITOMETRICA (data:)

temperatura °C						
tempi mn	2	5	15	30	60	250
densimetro, R	1.023	1.028	1.023	1.021	1.019	1.014
corr. dens.,	-0.0043					
DENSIMETRO, R*	1.023	1.027	1.018	1.017	1.014	1.007
ϕ max grani, mm	0.40	0.26	0.15	0.10	0.074	0.036
ϕ GRANI, mm	0.040	0.026	0.015	0.011	0.007	0.003
% PASSANTE	56.2	43.4	42.6	38.0	33.5	22.1

ANALISI MECCANICA DEL TRATTENUTO al *10

Campione, secco al *200	gr	
perdita	gr	

vagli	ritenuto: gr	% PASS.
3"		
2"		
1½"		
1"		
¾"		
3/8"		
* 4		
* 10		

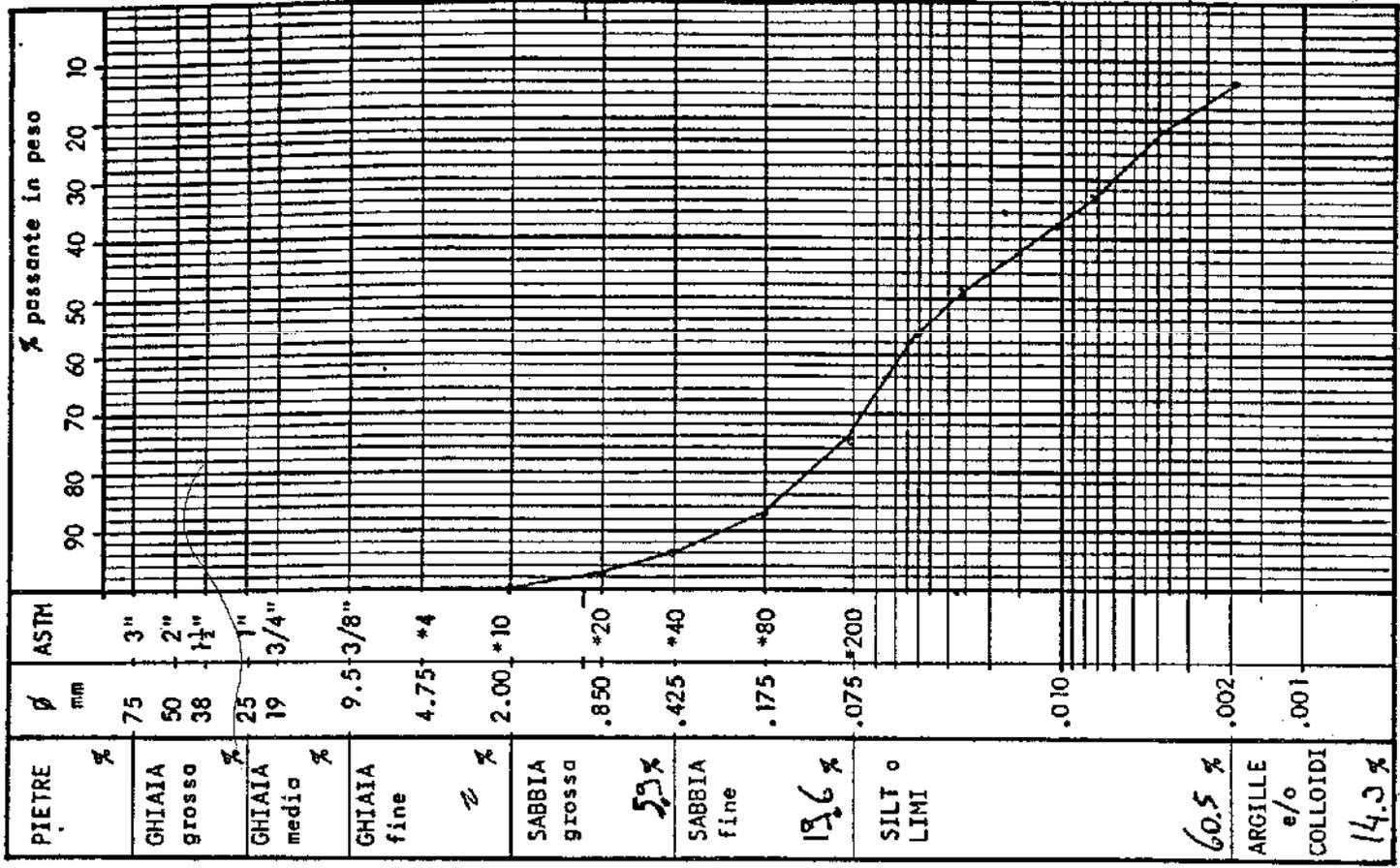
ANALISI MECCANICA

campione L/S *200	gr	
vagli	riten. pass. gr	F PASS.
* 20	1.78	72.44
* 40	2.46	67.28
* 80	5.28	62.70
* 200	8.92	53.78
PAN	53.78	-

CAMPIONE, SECCO, per l' analisi densito= metrica: 72.22 gr

PESO SPECIFICO dei GRANI del passante al *10: 25.49 kN m⁻³

AGENTE DISPERSIVENTE: esometafosfo di Na



PIETRE %
 GHIAIA grosso %
 GHIAIA media %
 GHIAIA fine %
 SABBIA grossa %
 SABBIA fine %
 SILT o LIMI %
 ARGILLE e/o COLLOIDI %

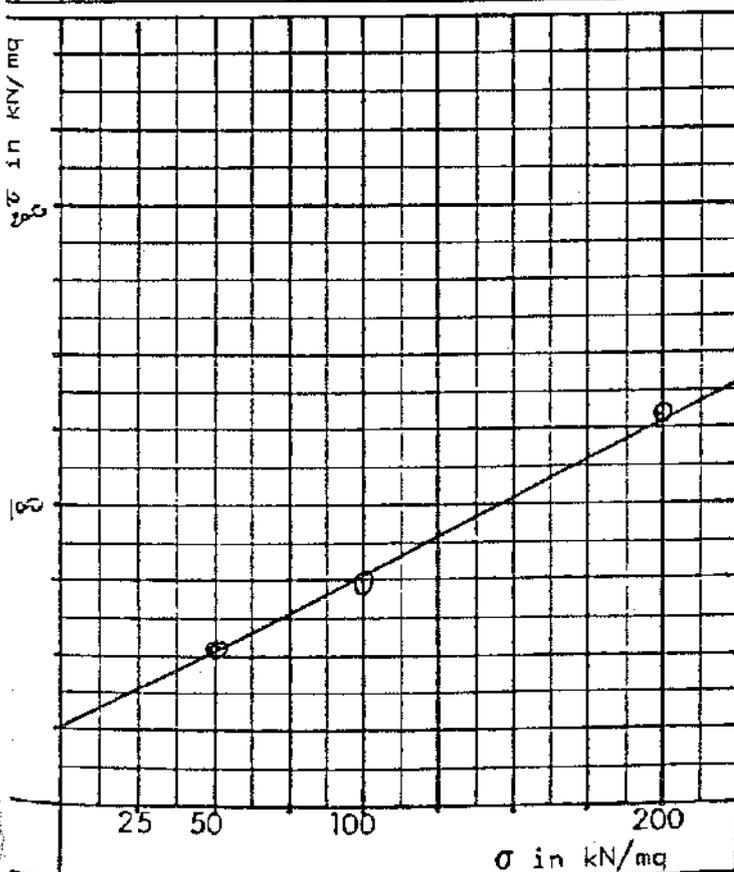
Dr. Geol. GIUSEPPE M. NISTA	PROVA DI TAGLIO DIRETTO (AASHTO T 236)
Laboratorio TERRE e MATERIALI	tipo: Consolidata Rapida Lenta (di)
Analista:	RIF. LAB. N° 46/88 del

CELLA DI TAGLIO: <i>non allegata</i> - VELOCITA' DI TAGLIO: 0.05 mm mn ⁻¹
Peso Specifico dei Grani: 25.49 kN m ⁻³ -

RIEPILOGO RISULTATI:

Provino n°	Sforzi Normali kPa	Umidità Naturale %	Peso Specif. Natur. kN m ⁻³	Consol. %	Peso Specif. secco kN m ⁻³	Indice dei vuoti		SFORZI di TAGLIO τ kN m ⁻²	Note
						iniz. e ^o	cons. e [^]		
1	25.								
2	50.	38.8	14.11	0.9	10.17	1.511		52.5	
3	100.	64.5	14.32	2.3	8.71	1.934		85.3	
4	200.	65.2	14.40	3.1	8.72	1.926		131.2	
		56.2	14.28		9.20	1.700			

Curva SFORZI NORMALI-SFORZI DI TAGLIO



RISULTATI:

Equazione curva per regressione lineare:
 $\tau = 0.515 \cdot \sigma + 29.6$
 Coefficiente di correl.: 0.996

Angolo di Attrito Interno: 27.2°
 Coesione a rottura: 29.6 kN m⁻²

Dr. Geol. GIUSEPPE M. NISTA	PROVA DI TAGLIO DIRETTO (AASHTO T 236)	Anello Portacampione №	massa	37.12	gr
Laboratorio TERRE e MATERIALI	tipo: Consolidata Rapida Lenta (di)	$\phi_i = 6,00$ cm	h = 2,30	cm	+ campione: 130.74
Analista:	RIF. LAB. № 46/88 del	A = 28,30 cmq	V = 65,00	cc	campione, massa: 93.62

CÉLLA DI TAGLIO: pón allogato - VELOCITA' DI TAGLIO: 0.05	mm mn ⁻¹
CEDIMENTI: 0,063 cm dopo 8 ore - Altezza Finale: 231 cm - Consol. 31 %	
SFORZO NORMALE (σ):	200
PESO SPECIFICO DEI GRANI (G_s):	2549

Note:

SFORZO NORMALE:
 $\sigma = 200$ KN m⁻²
 SFORZO DI TAGLIO A ROT.
 $\tau_{max} = 131.2$ KN m⁻²

RISULTATI della PROVA di Taglio: (data:)

	mm	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
1 Spostamenti Cella oriz.	mm	10	20	30	40	50	60	70	80				
2 Tempi	mn	14	22	26	27.5	28	29	30	30				
3 Comparatore Sforzi di Taglio	n°	85	100	105	110	113	120	124	127				
4 Comparatore Cedimenti Vert.	n°	61.2	56.2	113.7	120.3	122.4	126.8	131.2	131.2				
5 SFORZI di TAGLIO	KN m ⁻²												

DETERMINAZIONI	prima	dopo
A Contenitore	n° K ₂ N ₁	
B Cont., massa	gr 20.75 20.85	
C Cont. + Terra Um.	63.76 67.86	
D Cont. + Terra secca	50.51 49.21	
E Umidità	% 64.6 65.8	
F UMIDITA' MEDIA	% 65.2	

DETERMINAZIONI	iniz	cons	Δ
G Peso Spec. Nat.	14.40		
H Peso Spec. Secco	8.71		
I Indice dei Vuoti	1.526		
K Altezza Solidi	cm 0.786		

CURVE Taglio - Spostamenti e Cedimenti - Spostamenti

N ₁	sforzi di taglio						cedimenti vert.					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6

spostamenti mm

1	2	3	4	5	6

spostamenti mm

1	2	3	4	5	6

Dr. Geol. GIUSEPPE M. NISTA
 Laboratorio TERRE e MATERIALI
 Analista: RIF. LAB. N° 46/88 del

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (AASHTO T 236)
 tipo: Consolidata Rapida Lenta (di)
 Anello Portocampione N° B
 massa: 36.59 gr
 $\phi_i = 6,00$ cm h = 2,30 cm + campione: 129.66 gr
 A = 28,30 cmq V = 65,00 cc campione, massa: 3307 gr

CELLA DI TAGLIO: non allargata - VELOCITA' DI TAGLIO: 0.05 mm min⁻¹
 CEDIMENTI: 0.060 cm dopo 8 ore - Altezza Finale: 2.210 cm - Consol. 2.3 %

SFORZO NORMALE (σ): 100 kN m⁻²
 PESO SPECIFICO DEI GRANI (G_s): 25.45 kN m⁻³

RISULTATI della PROVA di Taglio: (dato:)

	mm	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
1 Spostamenti Cello oriz.	mm	10	20	30	40	50	60						
2 Tempi	mn	13	18	13	13	13	13						
3 Comparatore Sforzi di Taglio	n°	69	75	80	86	91							
4 Comparatore Cedimenti Vert.	n°	56.9	78.7	88.1	85.3	85.3							
5 SFORZI di TAGLIO	kn m ⁻²												

Note:

DETERMINAZIONI

	prima	dopo
A Contenitore	n° X ₂ S ₁	
B Cont., massa	gr 20.67 20.93	
C Cont. + Terro Um.	68.75 68.50	
D Cont.+Terro secco	50.2 45.68	
E Umidità	% 63.3 65.6	
F UMIDITA' MEDIA	% 64.5	

CURVE

	Taglio - Spostamenti						e Cedimenti - Spostamenti					
Y _E												
Z _E												
Sforzi di taglio												
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6

cedimenti vert.

	Taglio - Spostamenti						e Cedimenti - Spostamenti					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6

SFORZO NORMALE:
 $\sigma = 100$ kN m⁻²
 SFORZO DI TAGLIO A ROT.
 $\tau_{max} = 85.3$ kN m⁻²

DETERMINAZIONI

	iniz	cons	Δ
G Peso Spec. Nat.	4.32		
H Peso Spec. Secco	8.1		
I Indice dei Vuoti	1.374		
K Altezza Solidi cm	0.784		

Dr. Geol. GIUSEPPE M. NISTA
 Laboratorio TERRE e MATERIALI
 Anolista: RIF. LAB. N° 46/88 del

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (AASHTO T 236)
 tipo: Consolidato Rapido Lento (d_j)
 Anello Portacampione N° C
 massoi 37,06 gr
 + campione: 128,79 gr
 compicne, mosso: 51,73 gr

CELLA DI TAGLIO: non allongato - VELOCITA' DI TAGLIO: 0,05 mm mn⁻¹
 CEDIMENTI: 0,070 cm dopo 8 ore - Altezza Finale: 2,250 cm - Consol. 0,5 %

SFORZO NORMALE (σ): 50 KN m⁻²
 PESO SPECIFICO DEI GRANI (G_s): 25,49 KN m⁻³

RISULTATI della PROVA di Taglio: (dato:)

	mm	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
1 Spostamenti Cella oriz.													
2 Tempi	mn	10	20	30	40	50	60	70					
3 Comparatore Sforzi di Taglio	n°	85	95	105	115	12	12						
4 Comparatore Cedimenti Vert.	n°	25	41	55	78	50	51						
5 SFORZI di TAGLIO	KN m ⁻²	37,2	38,4	45,3	50,3	52,5	52,5						

Notes:

DETERMINAZIONI

	prima	dopo
A Contenitore n°	I ₁	Y ₂
B Cont., massa gr	20,94	20,55
C Cont. + Terra Um.	75,28	69,03
D Cont. + Terra secca	60,52	55,55
E Umidità %	34,1	38,5
F UMIDITA' MEDIA %	38,8	

CURVE Taglio - Spostamenti e Cedimenti - Spostamenti

Sforzi di taglio N ^o	Spostamenti mm						Cedimenti vert. mm					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6

SFORZO NORMALE:
 $\sigma = 50$ KN m⁻²
 SFORZO DI TAGLIO A ROT.
 $\tau_{max} = 52,5$ KN m⁻²

DETERMINAZIONI

	iniz	cons	Δ
G Peso Spec. Not.	14,11		
H Peso Spec. Secco	10,17		
I Indice dei Vuoti	1,511		
K Altezza Solidi cm	0,846		

UT. UOOL. GIUSEPPE M. NISIA

PROVA DI COMPRESIONE EDOMETRICA
(AASHTO T 216) (foglio 1 di 2)

Analista:

RIF. LAB. N° 46/88 del

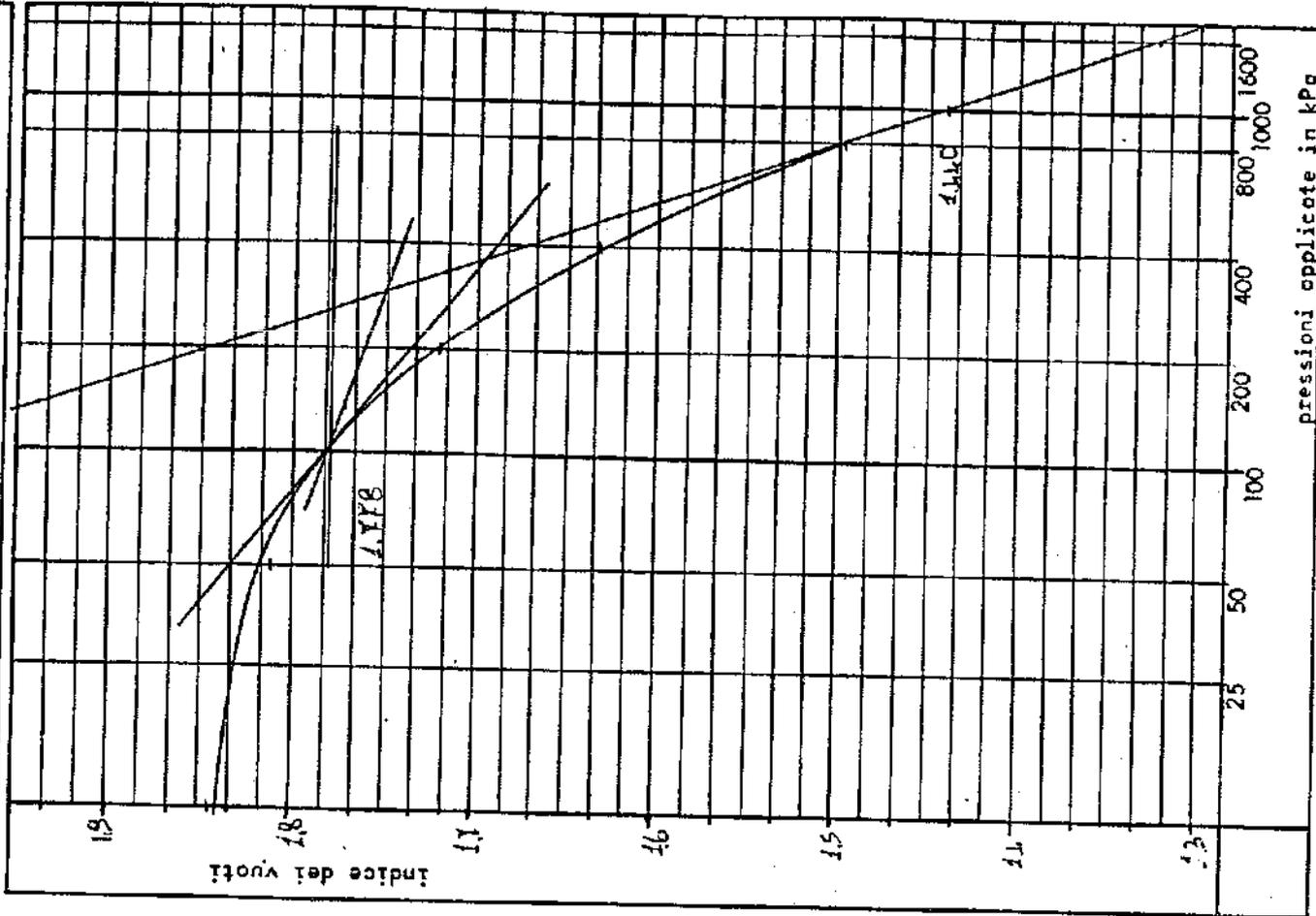
DATI del CAMPIONE				(peso specifico dei grani : 25.49 KN m ⁻³)	
Campione, volume	cm ³	40.000	Unidità Naturale	%	65.7
Campione, area base	cm ²	20.000	Grado di Saturazione	%	87.0
Peso Specifico naturale	KN m ⁻³	14.87	Peso Specifico secco	KN m ⁻³	9.38
Pressione Litostatica	kPa	37	Altezza Solido	cm	0.704

RISULTATI ANALITICI

Pressioni Appli- cate, kPa	Altezza Campione 2 H, cm	Altezza Vuoti 2Hv, cm	Indice Vuoti e	Indice Compres. Cc	Modulo Edom. Eed, KN m ⁻²	Consolida- zione Cons. Pri, %	Indice Cons. Pri, r	Coeffic. Consol. Cv, m ² sec ⁻¹
0.	2.000	1.296	1.341	-	-	0.0	-	-
25.	1.993	1.289	1.331	-	-	0.4	-	-
50.	1.979	1.275	1.311	0.066	3539	10.1	-	-
100.	1.956	1.252	1.278	0.110	4299	2.2	-	-
200.	1.915	1.211	1.220	0.193	4790	4.4	-	-
400.	1.852	1.148	1.631	0.296	6112	8.0	-	-
800.	1.758	1.084	1.497	0.445	7854	13.8	-	-
1600.	1.635	0.934	1.322	0.581	11415	22.3	-	-

Corico di Preconsolidazione: 93 kPa	Cc (100-1000) =	0.338
293.3% = 7.9	Eed (100-1000) =	1565 KN m ⁻²

Curva PRESSIONI APPLICATE - INDICE DEI VUOTI



Dr. Geol. GIUSEPPE M. NASTRÀ

PROVA DI COMPRESIONE EDOMETRICA
(AASHTO T 216) (foglio 2 di 2)

Laboratorio TERRE e MATERIALI

Analista: R.F. LAB. N° 46/88 del

DETERMINAZIONI

		data:											
A	Contenitore	N.	V ₂	F ₂						G	Anello portocampione	N.	N
B	Contenitore, massa	gr	20.69	20.11						H	Anello, massa	gr	33.28
C	Cont. + terra, massa	gr	65.81	40.11						I	Anello + Campione, massa	gr	53.47
D	Cont. + terra secca,	gr	50.16	50.10						J	Anello: Ø int.	cm	5.047
E	Umidità	%	65.0							K	Campione, altezza	cm	2.000
F	Umidità Media	%	65.7							L	Campione, massa	gr	53.49

DATI TEMPI - CONSOLIDAZIONE (condizioni naturali/inondate o e.o. kPa)

kPa	0"	15"	30"	1'	2'	4'	8'	15'	30'	1h	2h	4h	8h	12h	24h	2H
25	D	55	6	6	65	7	7	7	7							1.933
50	7	14	15	16	17	17	17	18	19	19	20	20	20	21	21	1.975
100	21	33	34	35	36	37	38	39	39	40	41	42	43	44	44	1.956
200	44	68	70	71	73	74	75	77	78	79	80	81	82	83	85	1.915
400	85	118	121	123	126	128	130	132	134	137	140	142	144	146	148	1.852
800	148	188	191	193	204	210	212	215	218	224	228	233	235	239	242	1.758
1600	242	270	277	286	297	302	307	314	323	344	345	354	359	362	365	1.635

Note:

consolidazione in 20 cm

15' 30" 1' 2' 4' 8' 15' 30' 1h 2h 4h 8h 12h 24h
tempi in mn

SONDAGGIO N° 17

SCALA 1:100

LOCALITA' BUCCIANO

31/5/88

 F.R. - FALDA RINVENUTA
  F.S. - FALDA STABILIZZATA
  - CAMPIONE INDISTURBATO

S.P.T. - STANDARD PENETRATION TEST

V.T. - PROVA SCISSOMETRICA (VANE TEST)

PROFONDITA'	QUOTE PARZIALI	S.P.T.	V. T.	SON- DAGGIO	TERRENO ATTRAVERBATO	FALDA
PIANO DI CAMPAGNA						
0.00	0.50				Humus di natura piroclastica.	
0.50	2.00				Detrito carbonatico in matrice sabbiosa biancastra.	
2.50	1.00				Siltiti sabbiose rossastre mediamente consistenti, con poca ghiaia.	
3.50	1.50				Siltiti sabbiose e sabbie siltose con poca argilla, mediamente consistenti.	
5.00	3.50				Siltiti sabbiose e sabbie siltose addensate, di colore grigio-scuro.	
8.50	3.00				Detrito ad elementi carbonatici di dimensioni variabili in matrice sabbiosa di colore grigio, addensato.	
11.50	1.00				Tufo giallo mediamente cementato.	
12.50	4.50				Siltiti sabbiose e sabbie siltose addensate, di colore grigio-scuro.	
17.00	3.00				Tufo giallo mediamente cementato.	
20.00						

SONDAGGIO N° 19 + PIEZOMETRO

SCALA 1:100

LOCALITÀ: BUCCIANO

3/6/88

≡ F.R. - FALDA RINVENUTA

≡ F.S. - FALDA STABILIZZATA

■ - CAMPIONE INDISTURBATO

S.P.T. - STANDARD PENETRATION TEST

V.I. - PROVA SCIBBOMETRICA (VANE TEST)

PROFONDITÀ	QUOTE PARZIALI	S.P.T.	V. T.	SON- DAGGIO	TERRENO ATTRAVERBATO	FALDA
PIANO DI CAMPAGNA						
0.00	1.00			○ ○ ○ ○	Materiali del rilevato stradale.	PIEZOMETRO
1.00	2.00			● ● ● ●	Sabbie siltose grigie, di natura pi- roclastica, addensate.	
3.00	2.30			● ● ● ●	Sabbie di colore grigiastro, con poco silt.	
5.30	0.90				Silt giallastro addensato, con poca sabbia.	
6.20	8.30				Tufo giallo a granulometria e con- sistenza variabili.	
14.50	0.50				Silt addensato (cinerite) grigio-verdastro.	
15.00	1.00			● ● ● ●	Sabbie scure bene addensate, con abbondanti pomici.	
16.00	4.00				Siltiti argillose (cineriti) di colore grigio-verdastro, bene addensate.	
20.00						

1 RELAZIONE SINTETICA - INDAGINE HVSR

1.1 IL MICROTREMORE SISMICO AMBIENTALE

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Figura 1, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo, di riferimento mentre la curva verde rappresenta il 'massimo' di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti delle onde oceaniche sulle coste.

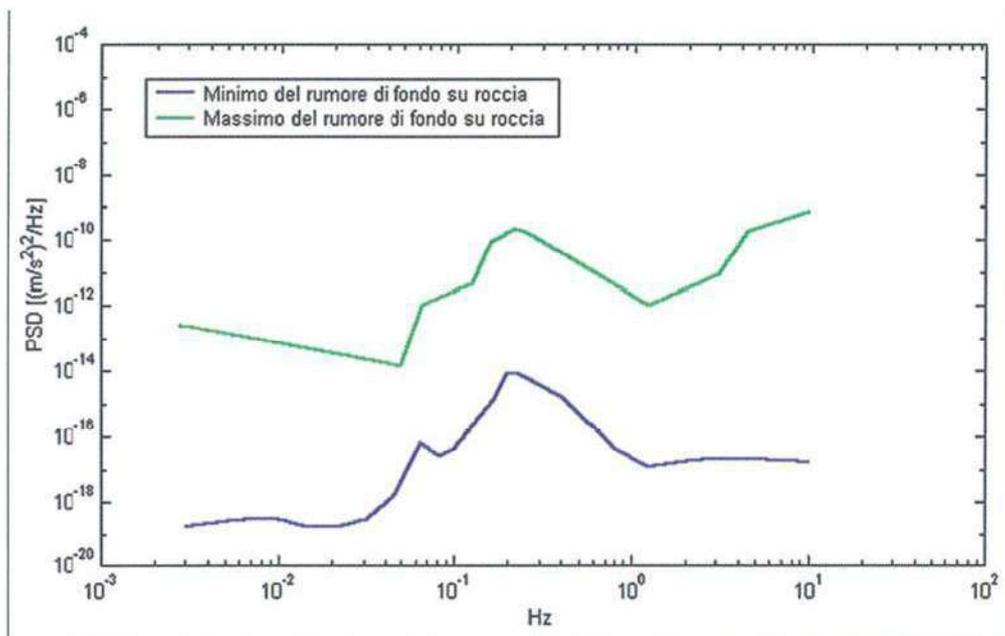


Figura 1 - Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

1.2 BASI TEORICHE DEL METODO H/V E METODOLOGIA D'INDAGINE

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito.



Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). e oggi meglio nota come metodo Nakamura (1998)
 La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Inoltre, attraverso alcune metodologie (FK, SPAC) con l'impiego di opportuni algoritmi (es. Neighbourhood algorithm - Sambridge 1999), è possibile ottenere l'inversione delle curve dei rapporti H/V finalizzata alla determinazione dei profili di velocità delle onde S nel sottosuolo e quindi delle Vs30 richiesta dalle NTC.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema di Figura 6 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

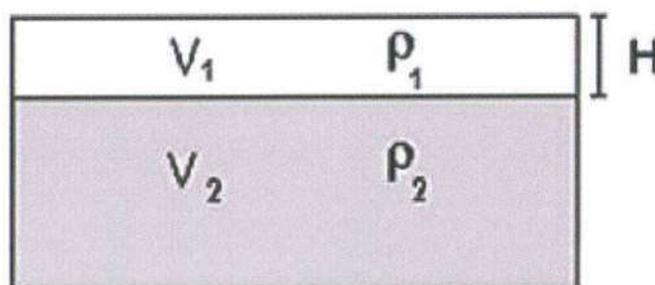


Figura 2 - Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità ρ e velocità di propagazione V

così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$f_r = V_{S1}/4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh, anch'esse dipendenti dai valori di V_p e V_s .

Per derivare dai sondaggi HVSR a stazione singola informazioni relative alle Vs ai fini stratigrafici e quindi delle Vs30 richieste dalle NTC fondamentalmente si hanno due casi:

1. **Caso di disponga di informazioni stratigrafiche (sondaggi, CPT, SPT ecc) certe**: avendo a disposizione almeno un punto in cui H sia nota da sondaggi o penetrometrie. In tal caso si può usare la [1] con gli spessori H ricavati dall'indagine diretta. Si possono avere due casi:

- a. $H \geq 30 \text{ m}$ – in tal caso la Vs30 corrisponde alla Vs1 del deposito ottenuta dalla 1
- b. $H < 30 \text{ m}$ – in tal caso la Vs30 è derivabile dalla seguente equazione

$$V_{S30} = \frac{30}{t_H + t_{30-H}} = \frac{30}{\frac{1}{4f_r} + \frac{(30-H)}{V_B}} \quad [2]$$

dove V_B è la velocità delle onde S nel bedrock o bedrock-like. Per il bedrock, volendo seguire in maniera letterale la normativa italiana, si può semplicemente usare $V_B = 800$ m/s. In alternativa si possono usare valori di Tabella. Nel caso di bedrock-like si useranno invece sempre i valori di Tabella 1, che riprende essenzialmente i valori tabulati da Borchardt (1992; 1994) assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004).

Le stime di V_{s30} ottenibili con quest'ultima procedura sono, ovviamente, approssimate. Ciononostante, è estremamente difficile che il loro utilizzo comporti un reale degrado dell'affidabilità delle stime fatte secondo la normativa vigente.

Velocità delle onde S nei vari tipi di suoli e rocce (da Borchardt,1994)					
CATEGORIA	TIPO	Vs min	Vs media	Vs max	
ROCCE MOLTO DURE	metamorfiche	1400	1620	>1600	da molto a poco fratturate
ROCCE DURE	graniti	700	1050	1400	da molto a poco fratturate
	conglomerati	700	1050	1400	da molto a poco fratturate
	arenarie	700	1050	1400	da molto a poco fratturate
	calcari e marne	700	1050	1400	da mediamente a poco fratturate
	argilliti	700	1050	1400	da molto a poco fratturate
ROCCE DA TENERE A DURE	calcari e marne	375	540	700	da molto a poco fratturate
	tufi litoidi	375	540	700	da molto a poco fratturate
	arenarie	375	540	700	da molto a poco fratturate
	argilliti	375	540	700	da molto a poco fratturate
SUOLI GHIAIOSI	con > 20% di ghiaia e ciottoli	375	540	700	con > 20% di ghiaia e ciottoli
ARGILLE COMPATTE	argille da medie a compatte	200	290	375	da alta a bassa plasticità
	argille limose	200	290	375	da alta a bassa plasticità
SUOLI SABBIOSI	sabbie da sciolte a compatte	200	290	375	da poco addensate a molto addensate
	limi	200	290	375	da alta a bassa plasticità
	limi sabbiosi e argille sabbiose	200	290	375	da alta a bassa plasticità
TERRENI TENERI	materiali di riporto recente	100	150	200	
	suoli alluvionali con argille e li	100	150	200	

2. **Caso di un mezzo a più strati o quando non si disponga di informazioni certe relative agli spessori:** in questo caso la (1) non può essere immediatamente applicata per il calcolo delle V_s , ma è necessario adottare i cosiddetti metodi di inversione del rapporto H/V per derivare informazioni relative agli spessori H e alle velocità V_s . L'inversione ai fini stratigrafici richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V , e sfrutta la tecnica del confronto tra lo spettro dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 2D (metodi FK, SPAC – nel caso di misure eseguite in array) e/o 1D (**picco di inversione della curva di ellitticità delle onde di Raleigh**) nel caso di **misure a stazione singola**. Tali modelli sintetici sono costituiti da profili di terreni costituiti da combinazioni di una successione di strati con spessore H , V_s , V_p e densità γ_n variabili analizzati iterativamente al fine di ottenere curve di dispersione quanto più vicine al modello sperimentale. Ciò avviene attraverso la stima di un parametro, **scostamento (Misfit - M)**, che, varia solitamente tra 0 e 1 ove 0 rappresenta la perfetta corrispondenza del valore sperimentale con quello sintetico e 1 rappresenta uno scostamento notevole.

In questo lavoro, i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti e le curve H/V , non avendo dati stratigrafici certi, sono state invertite secondo la procedura descritta da Wathelet (2004), usando la tecnica del **picco di inversione della curva di ellitticità del modo fondamentale delle onde di Rayleigh** ed impiegando il software GEOPSY – DINVER (SESAME project) per il calcolo del diagramma sintetico dei rapporti di amplificazione H/V . Tale tecnica è brevemente illustrata nel seguito.

Ellitticità delle onde di Raleigh

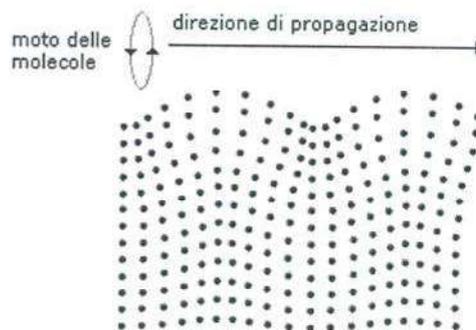
Il metodo di inversione basato sul picco di ellitticità del modo fondamentale delle onde di Raleigh sfrutta una proprietà fisica di tali onde definita come ellitticità ossia il rapporto tra lo spostamento prodotto dalle componenti orizzontali e lo spostamento prodotto dalla componente verticale di un'onda elastica di superficie.

Nel caso le onde di Raleigh si propagano in un semispazio infinito, l'ellitticità χ alla superficie ($z=0$) è derivabile dall'equazione

$$\chi(z=0) = \frac{U(0)}{W(0)} = -2i \cdot \frac{1-c^2/2\beta^2}{\sqrt{1-c^2/\alpha^2}} \quad [3]$$

in cui c = velocità di fase delle onde
 β = la velocità delle onde S
 α = velocità delle onde P
 $U(0)$ = spostamento lungo l'asse x e/o y
 $W(0)$ = spostamento lungo l'asse z

Nel caso di un semispazio infinito l'equazione evidenzia che l'ellitticità χ alla superficie è indipendente dalla frequenza delle onde e dipende esclusivamente dalle V_p e V_s . In un tale mezzo la velocità di fase c è sempre inferiore a quella delle onde P ed S e quindi χ assume sempre valori immaginari negativi. La conseguenza è che le particelle del semispazio si muovono secondo orbite ellittiche retrograde rispetto alla direzione di propagazione



Propagazione di un'onda detta di Rayleigh con moto molecolare ellittico (esempio elementare di onda sismica)

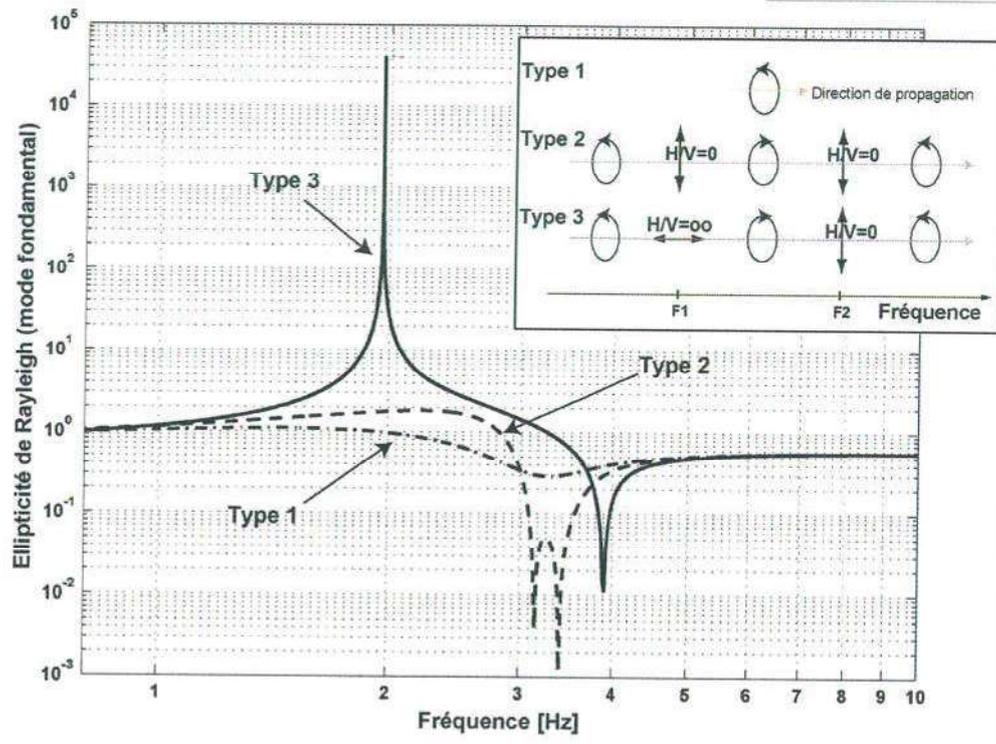
Nel caso di un mezzo stratificato l'equazione precedente non è più valida. Molti autori (Tokimatsu 1997, Konno et Ohmachi -1998, Malischewsky et Scherbaum -2004) hanno mostrato che il movimento delle particelle sollecitate dalle onde di Raleigh dipende anche dalla frequenza e può essere sia retrogrado che progrado (ossia diretto nella stessa direzione di propagazione dell'onda elastica) secondo le caratteristiche fisiche del mezzo ove l'onda si propaga.

In altre parole nei mezzi stratificati si osserva che la propagazione delle onde di Raleigh è influenzata dalla profondità H delle superfici di strato e dalle caratteristiche fisiche degli strati (V_p, V_s, γ_n) stessi.

Nel caso di una coltre sedimentaria poggiate su un bedrock (o bedrock like) con un contrasto di impedenza sismica C_i :

$$C_i = (\gamma_{n1} V_{s1} / \gamma_{nb} V_{sb}) \quad [4]$$

con



γ_{n1} = densità (peso di volume) coltre
 V_{S1} = velocità onde S coltre
 γ_{nb} = densità (peso di volume) bedrock (o bedrock like)
 V_{Sb} = velocità onde S bedrock (o bedrock like)

più o meno forte rispetto al bedrock si possono avere i 3 casi evidenziati alla seguente figura :

1. Type 1 - strutture caratterizzate da debole contrasto di impedenza sismica $C_i \approx 1$: il movimento tende ad essere ellittico retrogrado in analogia con un semispazio infinito omogeneo non stratificato;
2. Type 2 - strutture caratterizzate da debole contrasto di impedenza sismica $C_i \approx 2.5$: il movimento è puramente verticale alle frequenze F1 e F2 . Per le frequenze comprese tra F1 ed F2 il movimento è ellittico progrado mentre è retrogrado per le altre frequenze.
3. Type 3- strutture caratterizzate da un forte contrasto di impedenza sismica $C_i > 5$: il movimento è puramente orizzontale alla frequenza F1 e puramente verticale a quella F2 . Per le frequenze comprese tra F1 ed F2 il movimento è ellittico progrado mentre è retrogrado per le altre frequenze.

L'inversione del modo di propagazione di interesse ai fini della derivazione delle velocità V_s avviene in corrispondenza della **frequenza di risonanza fondamentale f_r** (in figura la F1), corrispondenze alla superficie di strato, ove si osserva il massimo positivo (picco) della curva di ellipticità .

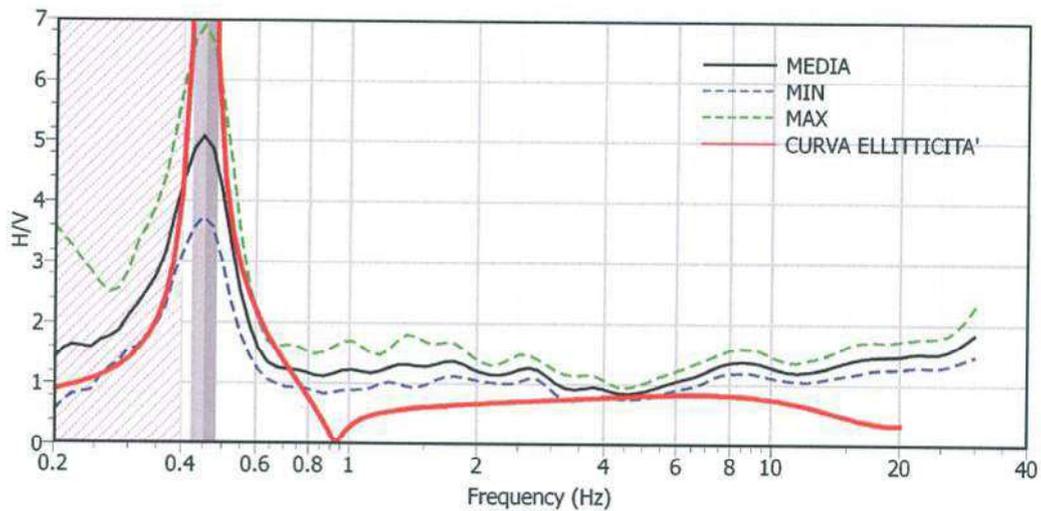
Tale comportamento è il medesimo che si osserva nei diagrammi H/V in cui il picco corrisponde alla frequenza fondamentale di risonanza f_0 innanzi descritta dipendente dai valori di spessore H1 e velocità V_s della coltre.

Per tale regione il metodo basato sul picco della curva di ellipticità testè descritto viene utilizzato nei casi più semplici e **generalmente nei sondaggi HVSR a stazione singola** , per eseguire l'inversione dei valori del rapporto H/V ai fini della determinazione delle V_s e degli spessori delle coltri sedimentarie.

Sotto il profilo operativo si adoperano software che permettono di analizzare in modo iterativo un numero più o meno elevato di modelli di profilo di terreno (combinazioni di una successione di strati con spessore H , V_s , V_p e densità γ variabili) al fine di derivare una curva sintetica da confrontare lo spettro dei rapporti H/V come nel caso quella riportato in figura.

Essendo possibili numerose soluzioni teoriche derivanti da tali analisi, i risultati vengono sempre letti ed interpretati alla luce delle conoscenze sull'assetto geologico e stratigrafico dei terreni indagati, come per altro avviene anche per gli altri metodi di indagini geofisiche passive (REMI) o attive (MASW) basate sull'analisi dei microtremori. In altre parole la curva di sintesi ottenuta non deve essere solo concorde con lo spettro H/V, ma anche il modello di terreno cui essa si riferisce deve essere concorde con la geologia dei siti.

Sondaggio S1- frequenza $f_0 = 0.45 \pm 0.03$ Hz



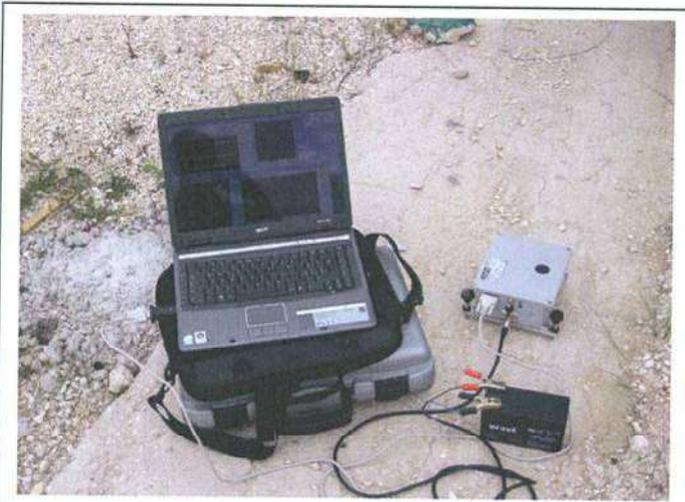
2 STRUMENTI DI MISURA

Tutte le misure di microtremore ambientale, della durata minima di 10 minuti ciascuna, sono state effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico.

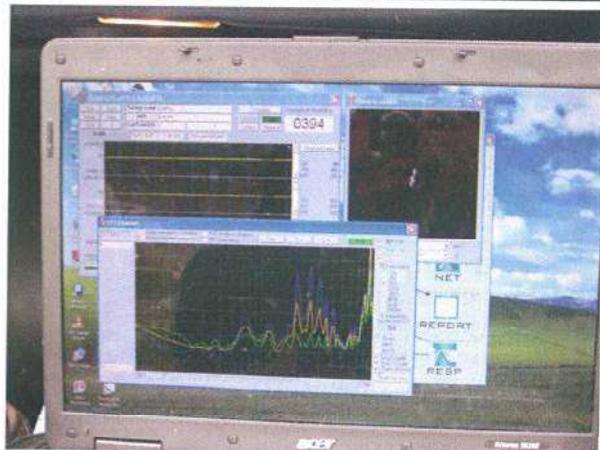
Lo strumento (**SR04S3 - SARA electronic instruments**) è un Sismografo triassiale con geofoni da 4.5 Hz dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, con banda utile di lettura 0.2 – 100 Hz, alimentato da 1 batteria 12V esterna, fornito di GPS interno, collegato ad un Notebook ACER – DualCore 1.6 GHz.

I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz tramite il software SEISMOLOG-MT della **SARA electronic instruments**.

I segnali così acquisiti, relativi alle componenti Verticale (Z), Est-Ovest (E) e Nord-Sud (N), sono stati successivamente analizzati col software Geopsy (Wathelet - *SESAME European research project – 2004*) e quindi con la routine Dinver per derivare la curva d'inversione delle velocità V_s .



Esecuzione del rilievo in sito con Sismografo triassiale SR04S3 - SARA electronic instruments



Acquisizione dei segnali durante il rilievo sismico

2.2 RISULTATI

I risultati di tale analisi vengono riportati nelle pagine seguenti per ogni sondaggio effettuato con le seguenti schede :

- 1) scheda riassuntiva generale del sondaggio
- 2) sismogrammi rilevati in sito
- 3) diagrammi dei rapporti H/V e dello spettro delle singole componenti ottenuti con l'adozione dei seguenti parametri :
 - a. larghezza delle finestre d'analisi indicata alla scheda 1
 - b. lisciamento secondo il metodo Konno & Omachi (fattore costante 25) e cosine taper con ampiezza pari al 5% della frequenza centrale;
 - c. rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2 per l'eliminazione di segnali spuri prossimi al ricevitore (come i passi dell'operatore ecc.)
- 4) Modello del sottosuolo in termini di profili di velocità Vp e Vs più vicino () al dato sperimentale .

Per ogni sondaggio , l'analisi ha considerato un gran numero di modelli teorici (v. scheda 1) in termini di variazioni dei rapporti tra le componenti Vs, Vp, yn e H al fine di individuare il modello di terreno caratterizzato dal valore minimo dello scostamento

INDAGINE SISMICA CON TECNICA HVSR



COMUNE	BUCCIANO		
PROVINCIA	BENEVENTO		
PROGETTO	AMPLIAMENTO DI UN BALCONE E SPOSTAMENTO DI UN PASSO CARRABILE		
COMMITTENTE	GEOL. ARGANESE GIOVANNI		
DATA ESECUZIONE	20/03/10	N.RIFes.	Sondaggio S1
DATA ELABORAZIONE	03/04/10	N.RIFel.	

PARAMETRI RAPPORTO H/V

numero windows	25	larghezza windows	20 s
frequenza fondamentale fo (Hz)	7.35	dev.st	0.82

PARAMETRI INVERSIONE CURVA H/V

numero modelli analizzati	2550
fattore di scostamento min	0.001
metodo di inversione	picco della curva di ellitticità delle onde di Raleigh

MODELLO DEL PROFILO DI TERRENO

z	h	y	Vpi	Vsi	v	E	K	G	h/Vsi	Vs30
m	m	t/m3	m/sec	m/sec		N/m ²	N/m ²	N/m ²		m/sec
5.00	5.00	1.62	340.00	160.00	0.36	112619.91	131976.45	41472.14	0.03	303.7
8.41	3.41	1.97	763.62	327.06	0.39	584402.44	867136.65	210568.79	0.01	
15.22	6.81	1.97	763.62	358.63	0.36	687922.90	810307.01	253191.02	0.02	
28.84	13.62	1.97	763.62	385.65	0.33	778091.40	757524.51	292777.90	0.04	
30.00	1.16	1.97	763.62	411.88	0.29	864858.99	702612.53	333961.88	0.00	

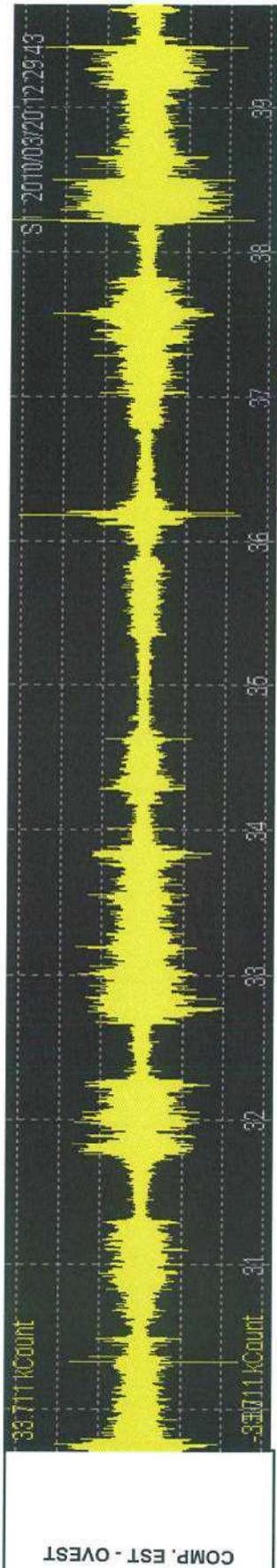
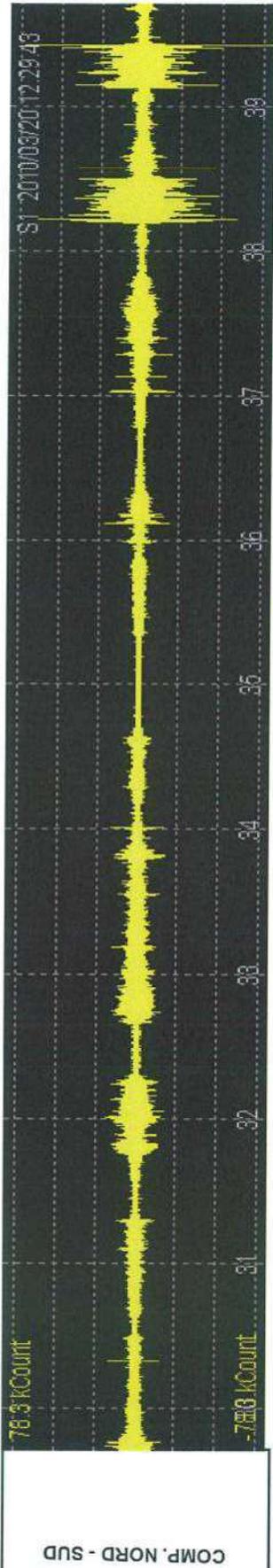
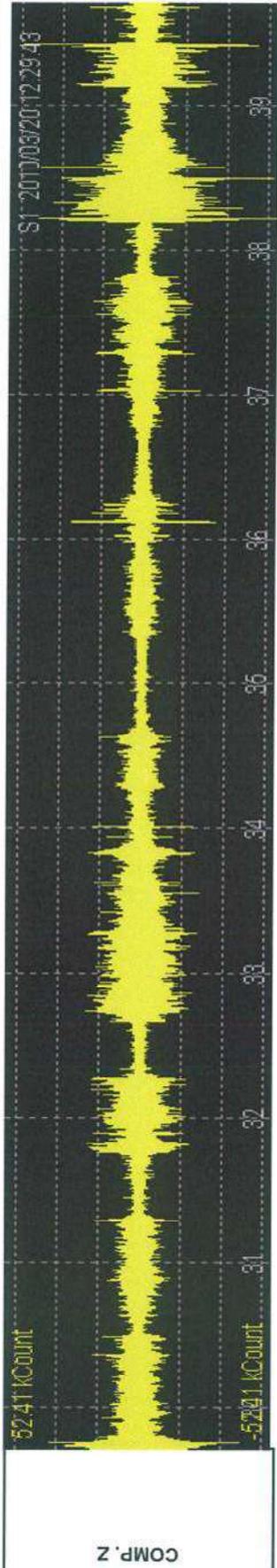
CATEGORIA PROFILO SISMICO **C**

Si tratta di una registrazione che mostra un chiaro picco ($H/V > 2$) a frequenze prossime ad 1 Hz rientrante nei criteri di validazione SESAME ed un picco secondario a frequenza di 7.35 +/- 0.82 Hz. Il picco principale ad 1 Hz corrisponde al passaggio tra la formazione detritico-alluvionale antica ed il substrato che è probabilmente formato da arenarie e/o argille compatte, la cui profondità è maggiore di 110 m. Il picco secondario a 7.35 Hz corrisponde, invece, al passaggio tra i terreni poco addensati episuperficiali e la sottostante formazione detritico alluvionale antica, caratterizzata da valori delle Vs che crescono progressivamente con la profondità.



SISMOGRAMMI RILEVATI IN SITO

Studiolizzo
geologia, geotecnica, gis
Alcide Gatti
Tel. 062371214 - Fax 062371238
email: geostudiolizzo@fastwebnet.it
CF 20106820120 - P. IVA 061020623



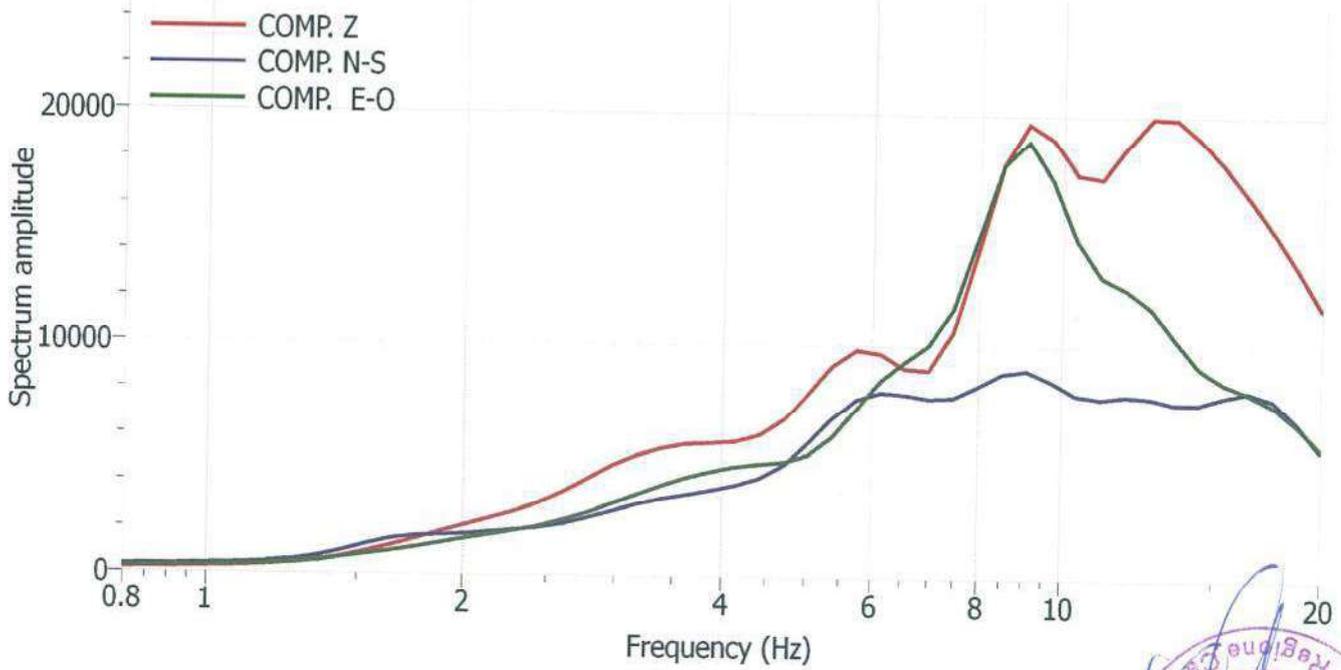
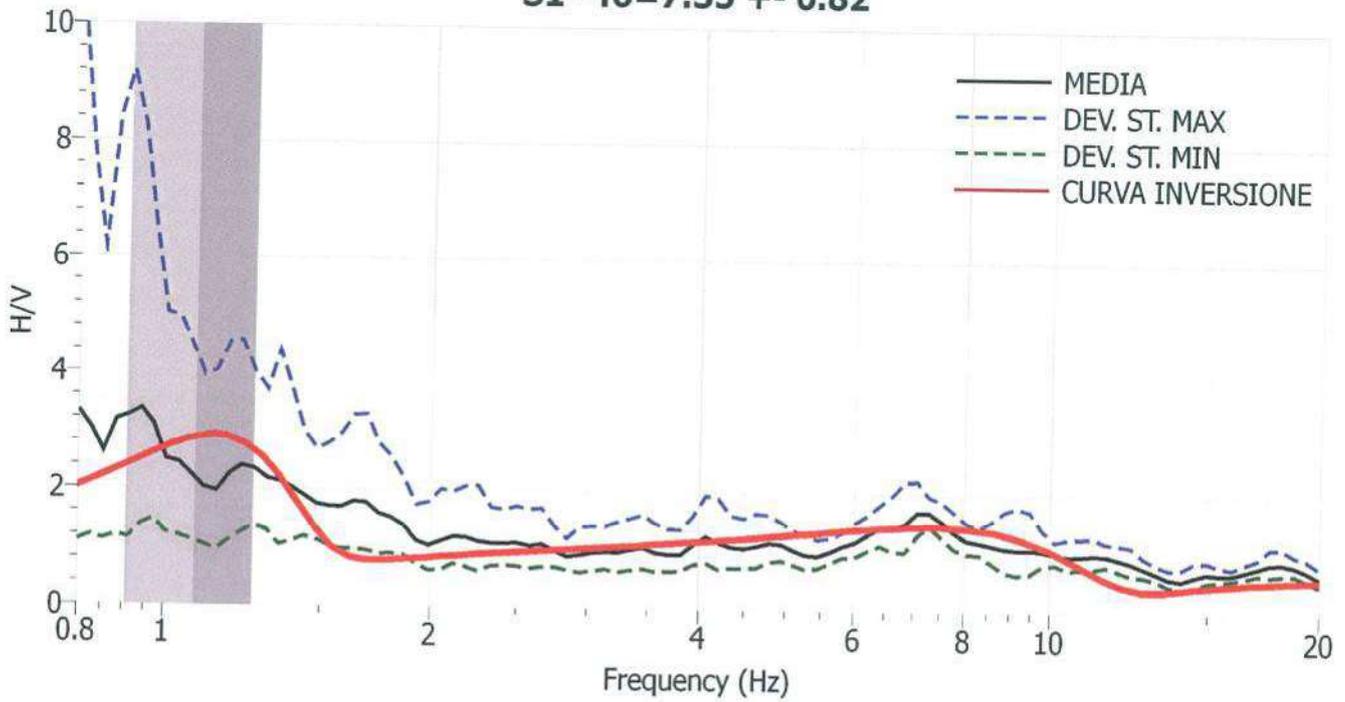
RAPPORTO H/V

Studiolzzo

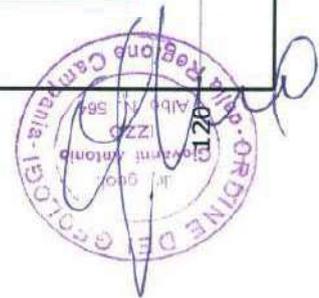
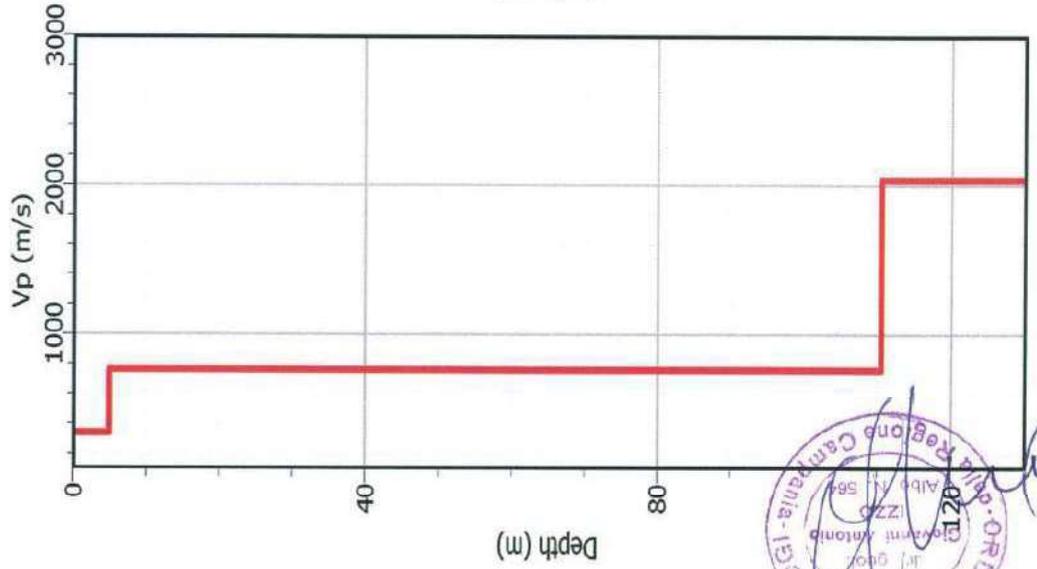
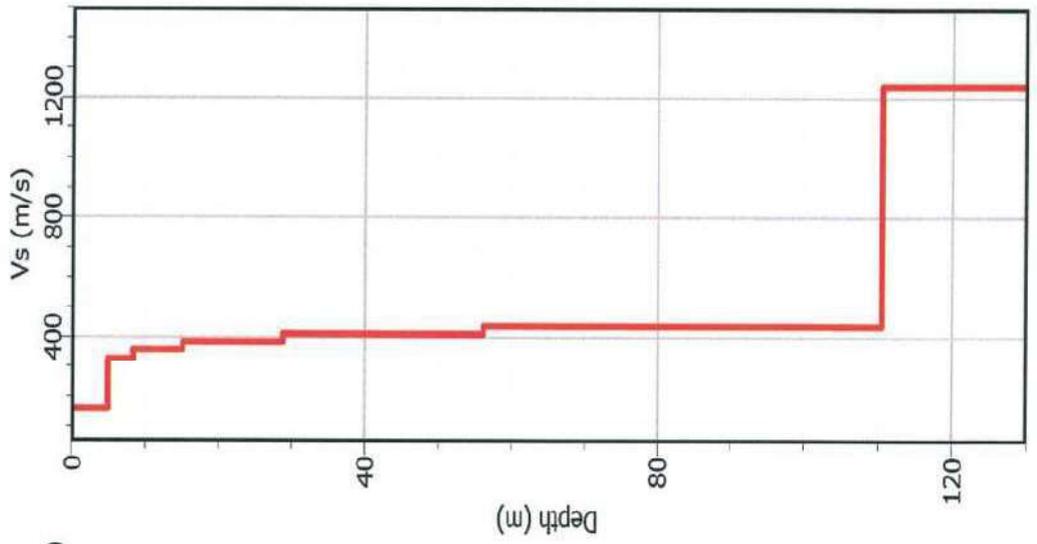
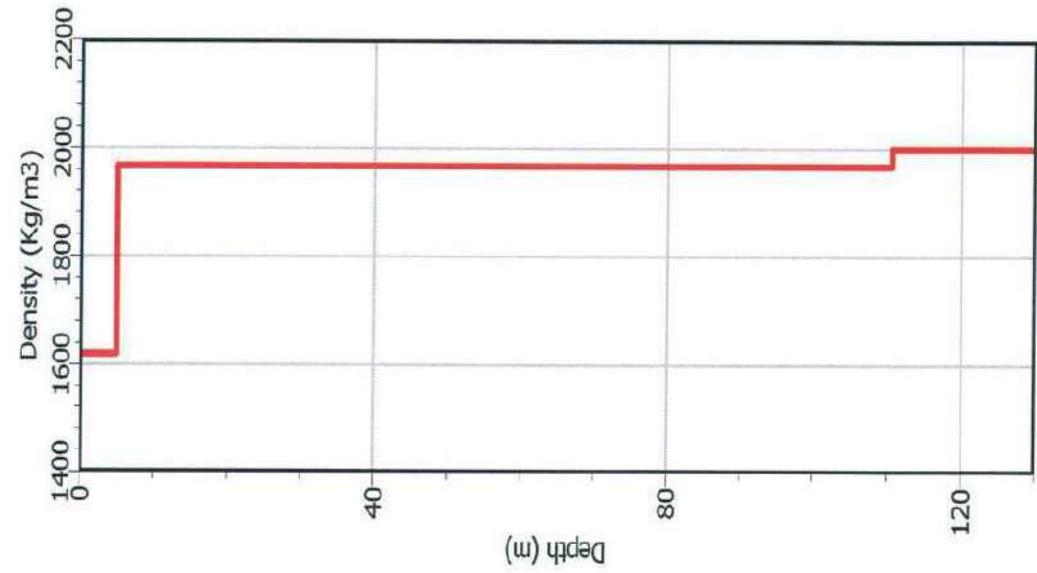
geologia, geotecnica, gis
Alpina (BN) - via Sorfati Pico La Luciola
Tel. 0823712714 - Fax 0823715258
e-mail: giovannantonio.izzo@fastwebnet.it
C.F. ZD 0491582076-IA - P.I. IVA 0014030023



S1 - fo=7.35 +/- 0.82



PROFLO SISMICO DEL TERRENO



1 RELAZIONE SINTETICA - INDAGINE HVSR

1.1 IL MICROTREMORE SISMICO AMBIENTALE

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Figura 1, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo, di riferimento mentre la curva verde rappresenta il 'massimo' di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti delle onde oceaniche sulle coste.

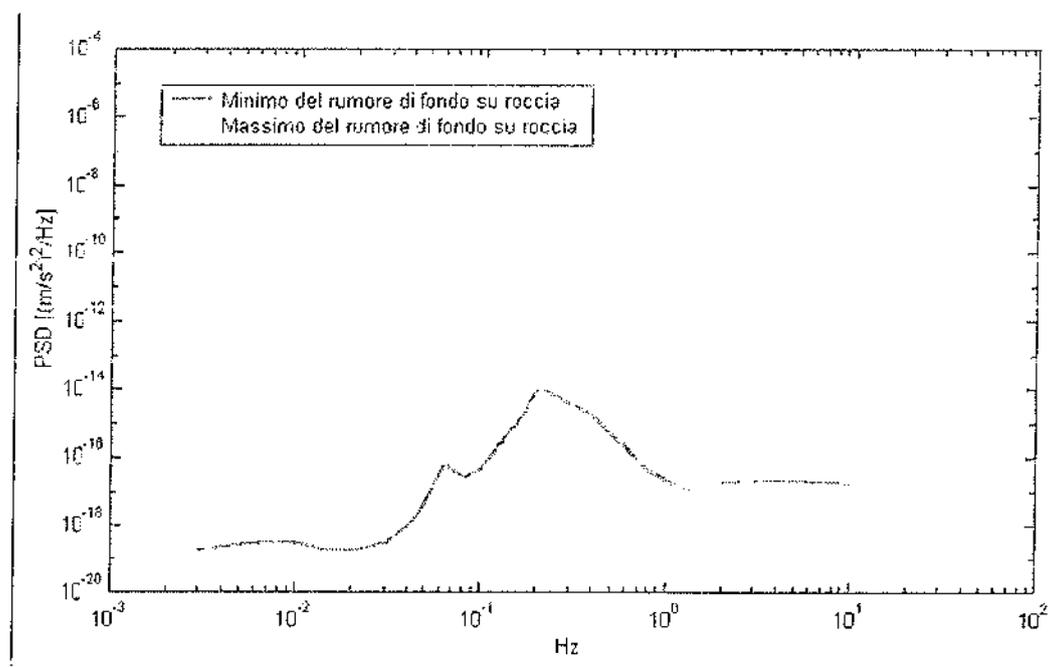


Figura 1 - Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

1.2 BASI TEORICHE DEL METODO H/V E METODOLOGIA D'INDAGINE

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito.

Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970), e oggi meglio nota come metodo Nakamura (1998)

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Inoltre, attraverso alcune metodologie (FK, SPAC) con l'impiego di opportuni algoritmi (es. Neighbourhood algorithm - Sambridge 1999), è possibile ottenere l'inversione delle curve dei rapporti H/V finalizzata alla determinazione dei profili di velocità delle onde S nel sottosuolo e quindi delle Vs30 richiesta dalle NTC.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema di Figura 6 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

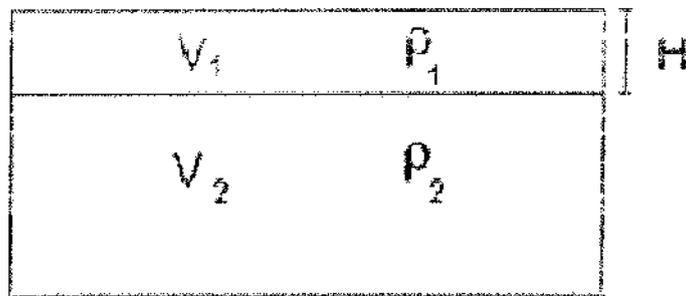


Figura 2 - Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità ρ e velocità di propagazione V

così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$f_r = V_{s1}/4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh, anch'esse dipendenti dai valori di V_p e V_s .

Per derivare dai sondaggi HVSR a stazione singola informazioni relative alle Vs ai fini stratigrafici e quindi delle Vs30 richieste dalle NTC fondamentalmente si hanno due casi:

1. *Caso di disponga di informazioni stratigrafiche (sondaggi, CPT, SPT ecc) certe*: avendo a disposizione almeno un punto in cui H sia nota da sondaggi o penetrometrie. In tal caso si può usare la [1] con gli spessori H ricavati dall'indagine diretta. Si possono avere due casi:

a. $H \geq 30 \text{ m}$ - in tal caso la Vs30 corrisponde alla Vs1 del deposito ottenuta dalla [1]

b. $H < 30 \text{ m}$ - in tal caso la Vs30 è derivabile dalla seguente equazione

$$V_{s_{30}} = \frac{30}{\frac{1}{V_{s1}} + \frac{30-H}{V_{s2}}} \quad [2]$$

dove V_B è la velocità delle onde S nel bedrock o bedrock-like. Per il bedrock, volendo seguire in maniera letterale la normativa italiana, si può semplicemente usare $V_B = 800$ m/s. In alternativa si possono usare valori di Tabella. Nel caso di bedrock-like si useranno invece sempre i valori di Tabella 1, che riprende essenzialmente i valori tabulati da Borchardt (1992; 1994) assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Scht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004)

Le stime di V_{s30} ottenibili con quest'ultima procedura sono, ovviamente, approssimate. Ciononostante, è estremamente difficile che il loro utilizzo comporti un reale degrado dell'affidabilità delle stime fatte secondo la normativa vigente.

Velocità delle onde S nei vari tipi di suoli e rocce (da Borchardt,1994)					
CATEGORIA	TIPO	V_s min	V_s media	V_s max	
ROCCHE MOLTO DURE	metamorfiche	1400	1620	>1600	da molto a poco fratturate
ROCCHE DURE	graniti	700	1050	1400	da molto a poco fratturate
	conglomerati	700	1050	1400	da molto a poco fratturate
	arenarie	700	1050	1400	da molto a poco fratturate
	calcari e marne	700	1050	1400	da mediamente a poco fratturate
	argilliti	700	1050	1400	da molto a poco fratturate
ROCCHE DA TENERE A DURE	calcari e marne	375	540	700	da molto a poco fratturate
	tufi litoidi	375	540	700	da molto a poco fratturate
	arenarie	375	540	700	da molto a poco fratturate
	argilliti	375	540	700	da molto a poco fratturate
SUOLI GHIAIOSI	con > 20% di ghiaia e ciottoli	375	540	700	con > 20% di ghiaia e ciottoli
ARGILLE COMPATTE	argille da medie a compatte	200	290	375	da alta a bassa plasticità
	argille limose	200	290	375	da alta a bassa plasticità
SUOLI SABBIOSI	sabbie da sciolte a compatte	200	290	375	da poco addensate a molto addensate
	limi	200	290	375	da alta a bassa plasticità
	limi sabbiosi e argille sabbiose	200	290	375	da alta a bassa plasticità
TERRENI TENERI	materiali di riporto recente	100	150	200	
	suoli alluvionali con argille e li	100	150	200	

2. **Caso di un mezzo a più strati o quando non si disponga di informazioni certe relative agli spessori:** in questo caso la (1) non può essere immediatamente applicata per il calcolo delle V_s , ma è necessario adottare i cosiddetti metodi di inversione del rapporto H/V per derivare informazioni relative agli spessori H e alle velocità V_s . L'inversione ai fini stratigrafici richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V , e sfrutta la tecnica del confronto tra lo spettro dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde compicto di un modello 2D (metodi FK, SPAC - nel caso di misure eseguite in array) e/o 1D (**picco di inversione della curva di ellitticità delle onde di Raleigh**) nel caso di **misure a stazione singola**. Tali modelli sintetici sono costituiti da profili di terreni costituiti da combinazioni di una successione di strati con spessore H , V_s , V_p e densità γ_n variabili analizzati iterativamente al fine di ottenere curve di dispersione quanto più vicine al modello sperimentale. Ciò avviene attraverso la stima di un parametro, **scostamento (Misfit - M)**, che, varia solitamente tra 0 e 1 ove 0 rappresenta la perfetta corrispondenza del valore sperimentale con quello sintetico e 1 rappresenta uno scostamento notevole.

In questo lavoro, i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti e le curve H/V , non avendo dati stratigrafici certi, sono state invertite secondo la procedura descritta da Wathelet (2004), usando la tecnica del **picco di inversione della curva di ellitticità del modo fondamentale** delle onde di Rayleigh ed impiegando il software GEOPSY - DIVER (SESAME project) per il calcolo del diagramma sintetico dei rapporti di amplificazione H/V . Tale tecnica è brevemente illustrata nel seguito.

Ellitticità delle onde di Raleigh

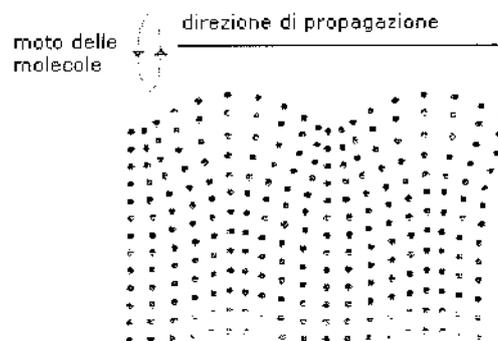
Il metodo di inversione basato sul picco di ellitticità del modo fondamentale delle onde di Raleigh sfrutta una proprietà fisica di tali onde definita come ellitticità, ossia il rapporto tra lo spostamento prodotto dalle componenti orizzontali e lo spostamento prodotto dalla componente verticale di un'onda elastica di superficie.

Nel caso le onde di Raleigh si propagano in un semispazio infinito, l'ellitticità χ alla superficie ($z=0$) è derivabile dall'equazione

$$\chi_{|z=0} = \frac{U'(0)}{W'(0)} = -2i \cdot \frac{1-c^2/\beta^2}{\sqrt{1-c^2/\alpha^2}} \quad [3]$$

- in cui
- c = velocità di fase delle onde
 - β = la velocità delle onde S
 - α = velocità delle onde P
 - $U(0)$ = spostamento lungo l'asse x e/o y
 - $W(0)$ = spostamento lungo l'asse z

Nel caso di un semispazio infinito l'equazione evidenzia che l'ellitticità χ alla superficie è indipendente dalla frequenza delle onde e dipende esclusivamente dalle V_p e V_s . In un tale mezzo la velocità di fase c è sempre inferiore a quella delle onde P ed S e quindi χ assume sempre valori immaginari negativi. La conseguenza è che le particelle del semispazio si muovono secondo orbite ellittiche retrograde rispetto alla direzione di propagazione.



Propagazione di un'onda detta di Rayleigh con moto molecolare ellittico (esempio elementare di onda sismica)

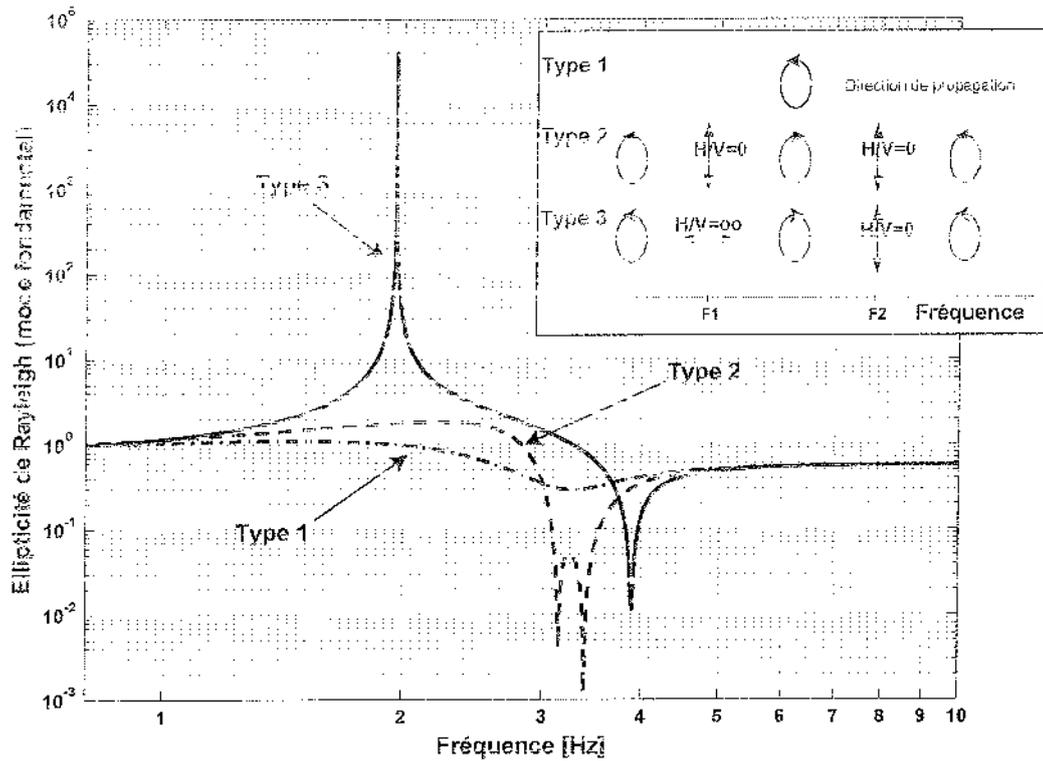
Nel caso di un mezzo stratificato l'equazione precedente non è più valida. Molti autori (Tokimatsu 1997, Konno et Ohmachi -1998, Malischewsky et Scherbaum -2004) hanno mostrato che il movimento delle particelle sollecitate dalle onde di Raleigh dipende anche dalla frequenza e può essere sia retrogrado che progrado (ossia diretto nella stessa direzione di propagazione dell'onda elastica) secondo le caratteristiche fisiche del mezzo ove l'onda si propaga.

In altre parole nei mezzi stratificati si osserva che la propagazione delle onde di Raleigh è influenzata dalla profondità H delle superfici di strato e dalle caratteristiche fisiche degli strati (V_p, V_s, γ_n) stessi.

Nel caso di una coltre sedimentaria poggianti su un bedrock (o bedrock like) con un contrasto di impedenza sismica C_i :

$$C_i = (\gamma_{n1} V_{s1} / \gamma_{n0} V_{s0}) \quad [4]$$

con



γ_{n1} = densità (peso di volume) coltre
 V_{S1} = velocità onde S coltre
 γ_{nb} = densità (peso di volume) bedrock (o bedrock like)
 V_{Sb} = velocità onde S bedrock (o bedrock like)

più o meno forte rispetto al bedrock si possono avere i 3 casi evidenziati alla seguente figura :

1. Type 1 - strutture caratterizzate da debole contrasto di impedenza sismica $Ci \approx 1$: il movimento tende ad essere ellittico retrogrado in analogia con un semispazio infinito omogeneo non stratificato;
2. Type 2 - strutture caratterizzate da debole contrasto di impedenza sismica $Ci \approx 2.5$: il movimento è puramente verticale alle frequenze F1 e F2 . Per le frequenze comprese tra F1 ed F2 il movimento è ellittico progrado mentre è retrogrado per le altre frequenze.
3. Type 3- strutture caratterizzate da un forte contrasto di impedenza sismica $Ci > 5$: il movimento è puramente orizzontale alla frequenza F1 e puramente verticale a quella F2 . Per le frequenze comprese tra F1 ed F2 il movimento è ellittico progrado mentre è retrogrado per le altre frequenze.

L'inversione del modo di propagazione di interesse ai fini della derivazione delle velocità V_s avviene in corrispondenza della **frequenza di risonanza fondamentale f_r** (in figura la F1), corrispondenze alla superficie di strato, ove si osserva il massimo positivo (picco) della curva di ellitticità .

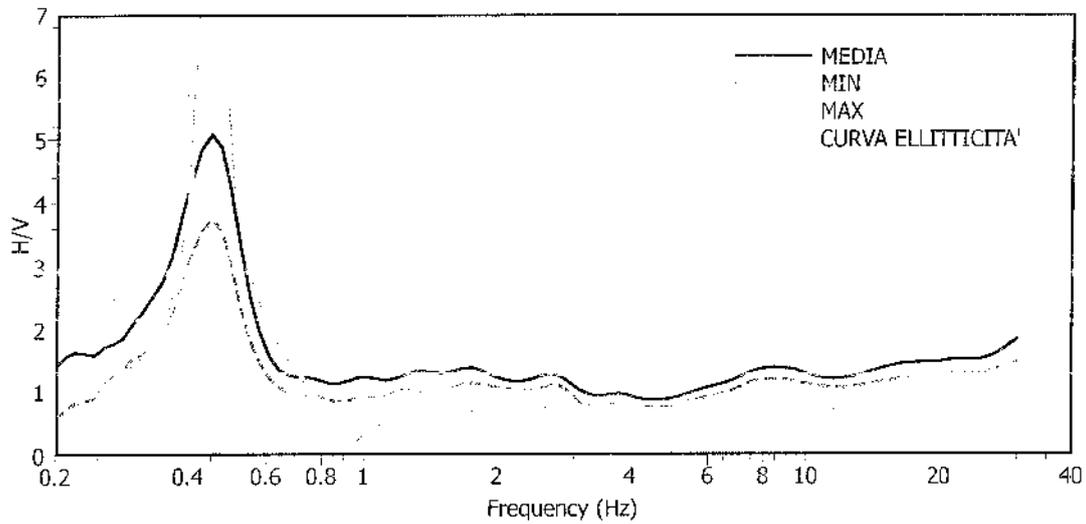
Tale comportamento è il medesimo che si osserva nei diagrammi H/V in cui il picco corrisponde alla frequenza fondamentale di risonanza f_0 innanzi descritta dipendente dai valori di spessore H1 e velocità V_s della coltre.

Per tale regione il metodo basato sul picco della curva di ellitticità testè descritto viene utilizzato nei casi più semplici e *generalmente nei sondaggi HVSR a stazione singola* , per eseguire l'inversione dei valori del rapporto H/V ai fini della determinazione delle V_s e degli spessori delle coltri sedimentarie.

Sotto il profilo operativo si adoperano software che permettono di analizzare in modo iterativo un numero più o meno elevato di modelli di profilo di terreno (combinazioni di una successione di strati con spessore H, V_s , V_p e densità γ variabili) al fine di derivare una curva sintetica da confrontare lo spettro del rapporto H/V come nel caso quella riportata in figura.

Essendo possibili numerose soluzioni teoriche derivanti da tali analisi, i risultati vengono sempre letti ed interpretati alla luce delle conoscenze sull'assetto geologico e stratigrafico dei terreni indagati, come per altro avviene anche per gli altri metodi di indagini geofisiche passive (REMI) o attive (MASW) basate sull'analisi dei microtremeri. In altre parole la curva di sintesi ottenuta non deve essere solo concorde con lo spettro H/V , ma anche il modello di terreno cui essa si riferisce deve essere concorde con la geologia dei siti.

Sondaggio S1- frequenza $f_0 = 0.45 \pm 0.03$ Hz



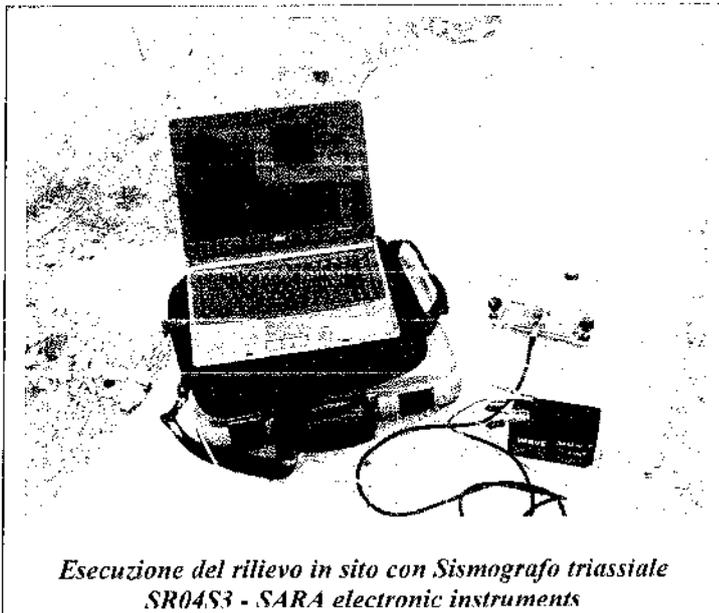
2 STRUMENTI DI MISURA

Tutte le misure di microtremore ambientale, della durata minima di 10 minuti ciascuna, sono state effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico.

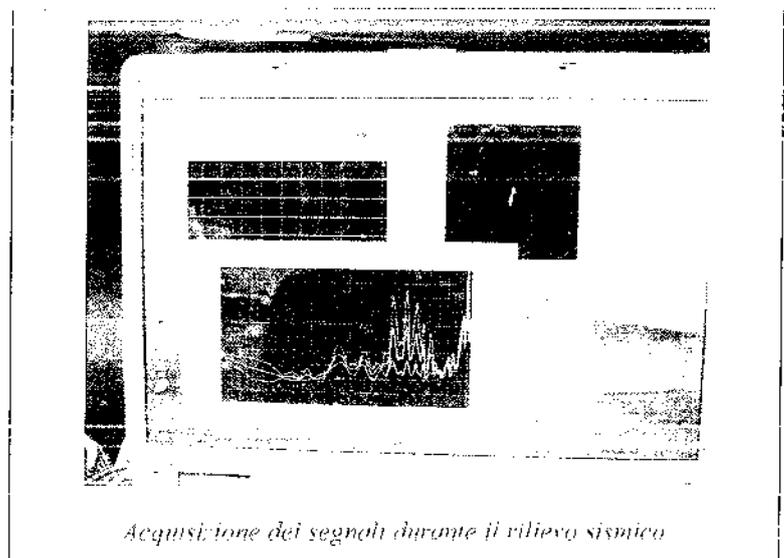
Lo strumento (**SR04S3 - SARA electronic instruments**) è un Sismografo triassiale con geofoni da 4.5 Hz dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, con banda utile di lettura 0.2 – 100 Hz, alimentato da 1 batteria 12V esterna, fornito di GPS interno, collegato ad un Notebook ACER - DualCore 1.6 GHz.

I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz tramite il software SEISMOLOG-MT della SARA electronic instruments.

I segnali così acquisiti, relativi alle componenti Verticale (Z), Est-Ovest (E) e Nord-Sud (N), sono stati successivamente analizzati col software Geopsy (Wathelet - *SESAME European research project - 2004*) e quindi con la routine Dmver per derivare la curva d'inversione delle velocità Vs.



*Esecuzione del rilievo in sito con Sismografo triassiale
SR04S3 - SARA electronic instruments*



Acquisizione dei segnali durante il rilievo sismico

2.2 RISULTATI

I risultati di tale analisi vengono riportati nelle pagine seguenti per ogni sondaggio effettuato con le seguenti schede :

- 1) scheda riassuntiva generale del sondaggio
- 2) sismogrammi rilevati in sito
- 3) diagrammi dei rapporti H/V e dello spettro delle singole componenti ottenuti con l'adozione dei seguenti parametri :
 - a. larghezza delle finestre d'analisi indicata alla scheda 1
 - b. lisciamento secondo il metodo Konno & Omachi (fattore costante 25) e cosine taper con ampiezza pari al 5% della frequenza centrale;
 - c. rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2 per l'eliminazione di segnali spuri prossimi al ricevitore (come i passi dell'operatore ecc.)
- 4) Modello del sottosuolo in termini di profili di velocità V_p e V_s più vicino () al dato sperimentale .

Per ogni sondaggio , l'analisi ha considerato un gran numero di modelli teorici (v. scheda 1) in termini di variazioni dei rapporti tra le componenti V_s, V_p, γ_n e H al fine di individuare il modello di terreno caratterizzato dal valore minimo dello scostamento

INDAGINE SISMICA CON TECNICA HVSR

ISTITUTO NAZIONALE
DI GEOTECNICA E SISMICITÀ



COMUNE	BUCCIANO		
PROVINCIA	BENEVENTO		
PROGETTO	COSTRUZIONE NUOVO FABBRICATO SITO ALLA VIA VECCHIA FONTANA		
QUINTANTE	GEOL. GIOVANNI ARGANESI		
DATA ESECUZIONE	10/07/10	N.RIFes.	Sondaggio S1
DATA ELABORAZIONE	15/07/10	N.RIFel.	

PARAMETRI RAPPORTO H/V

numero windows	15	larghezza windows	15 s
frequenza fondamentale fo (Hz)	0.63	dev.st	0.07

PARAMETRI INVERSIONE CURVA H/V

numero modelli analizzati	5100
fattore di scostamento max	0.001
metodo di inversione	picco della curva di ellitticità delle onde di Raleigh

MODELLO DEL PROFILO DI TERRENO

z	h	y	Vpi	Vsi	v	E	K	G	h/Vsi	Vs30
m	m	t/m3	m/sec	m/sec		N/m ²	N/m ²	N/m ²		m/sec
5.00	5.00	1.54	445.88	136.00	0.45	82426.33	267855.48	28448.14	0.04	21.7
15.60	10.60	1.47	1197.13	520.38	0.38	1101071.20	1575384.99	397925.86	0.02	
26.40	10.80	1.81	432.17	168.04	0.41	144020.30	269504.48	51037.18	0.06	
102.71	76.32	1.96	680.01	225.66	0.44	286637.58	772087.64	99656.81	0.34	
132.71	30.00	2.15	2413.95	992.27	0.40	5931512.37	9724180.33	2120916.00	0.03	

CATEGORIA PROFILO SISMICO

Si tratta di una registrazione che mostra un chiaro picco ($H/V > 2$) a frequenza di 0.63 ± 0.07 Hz rientrante nei criteri di validazione SESAME. Tale picco corrisponde al passaggio tra la formazione fluvio lacustre della Valle Caudina ed il bedrock formato da detrito di falda antico e/o direttamente dal basamento carbonatico. Tale passaggio avviene a profondità maggiori di 102 m dal p.c.

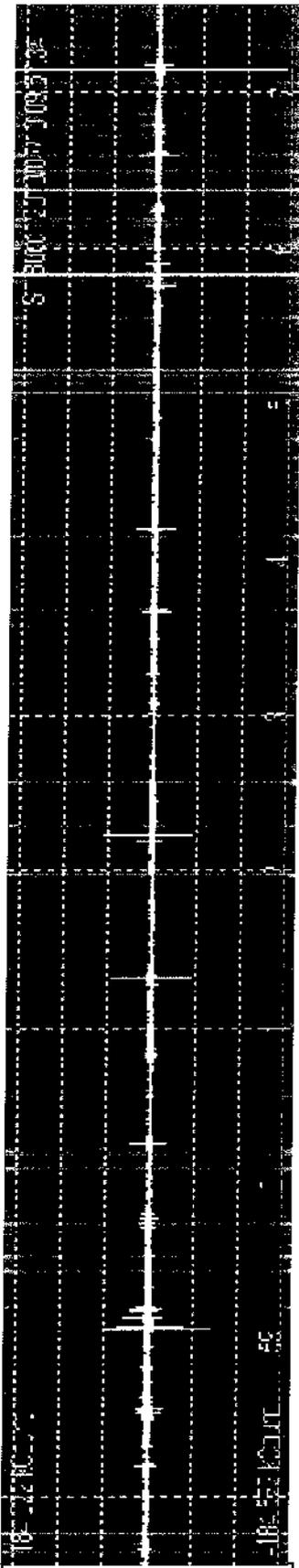
Entro profondità di 30 m dal p.c. si può osservare un andamento del rapporto H/V che evidenzia prima la presenza di uno strato più rigido tra le frequenze 10 - 6 Hz (caratterizzato da amplificazione medio bassa), quindi una inversione delle velocità (tra 2 - 4 Hz - con aumento del grado di amplificazione delle componenti orizzontali) e infine un nuovo aumento delle velocità, però estremamente meno marcato di quello presente a 6-8 Hz. Tale assetto, anche alla luce della prova SPT effettuata, evidenzia la presenza tra le profondità 5-15.6 m dal p.c. di un banco tufaceo con valori di addensamento da medio ad elevato, poggiante su sodimi limo sabbiosi meno addensati ed in condizioni di saturazione per la presenza della falda.

Il geologo
dott. Giovanni A. Izzo

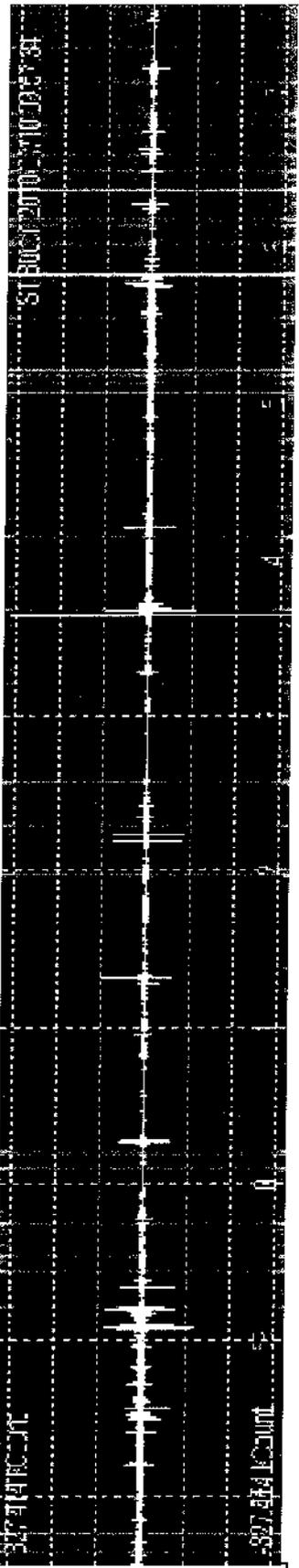
SISMOGRAMMI RILEVATI IN SITO



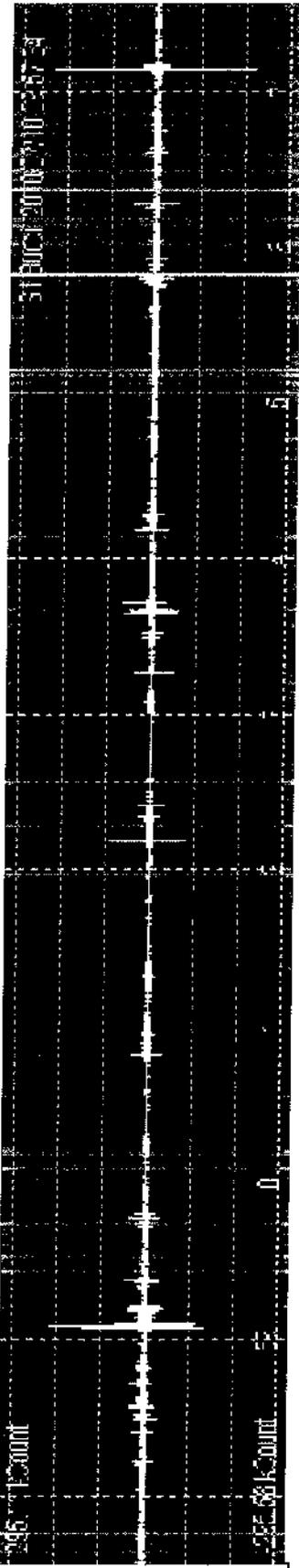
COMP. Z



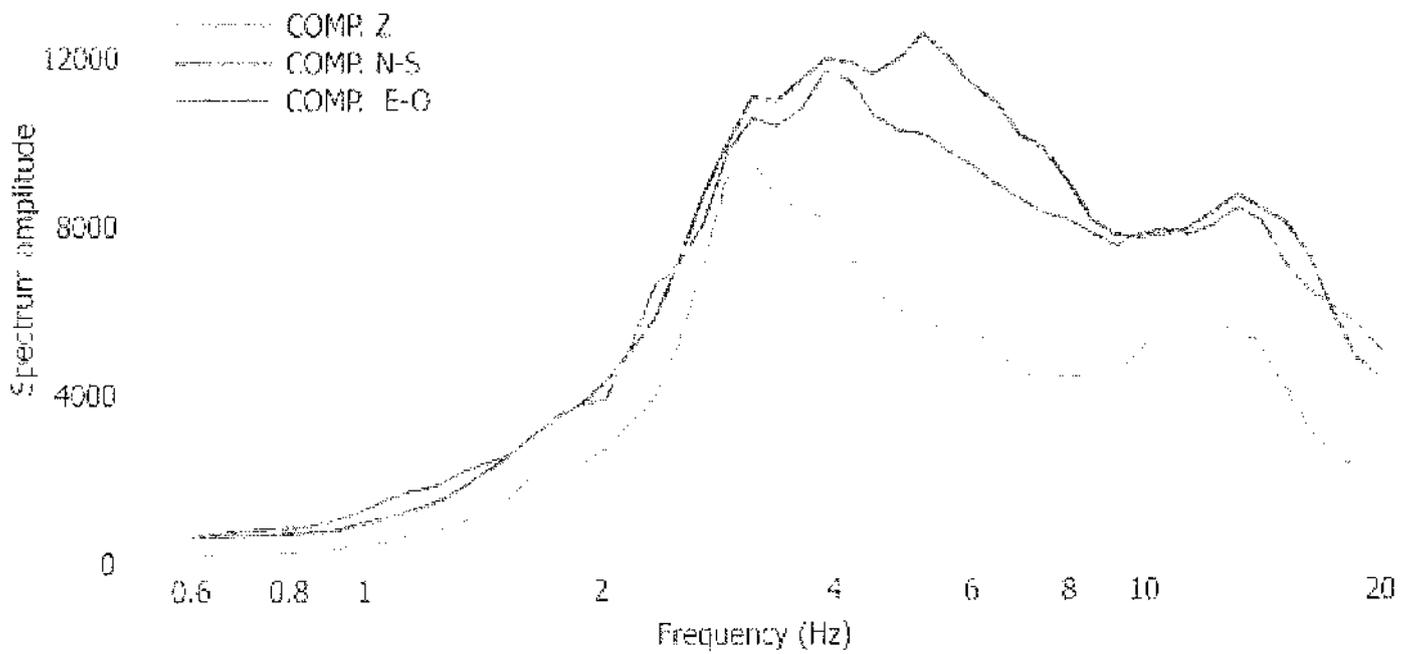
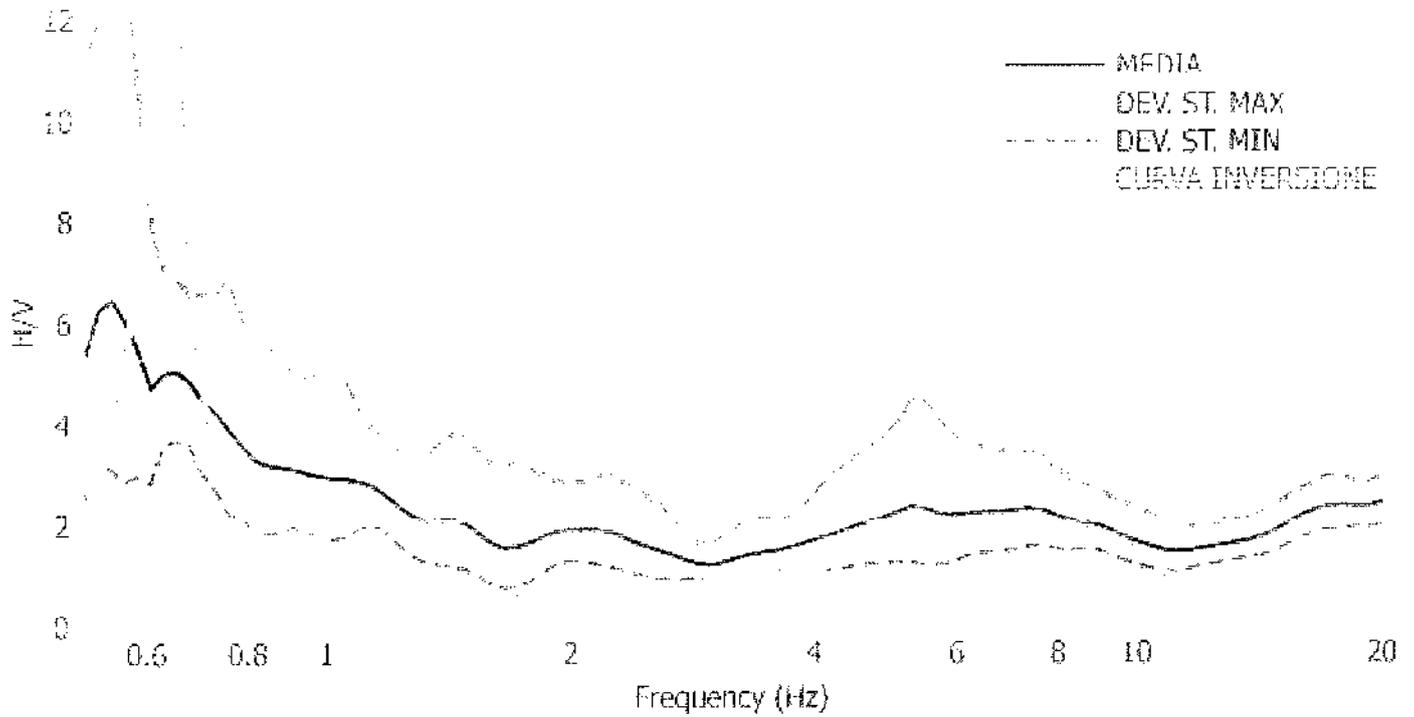
COMP. NORD - SUD



COMP. EST - OVEST

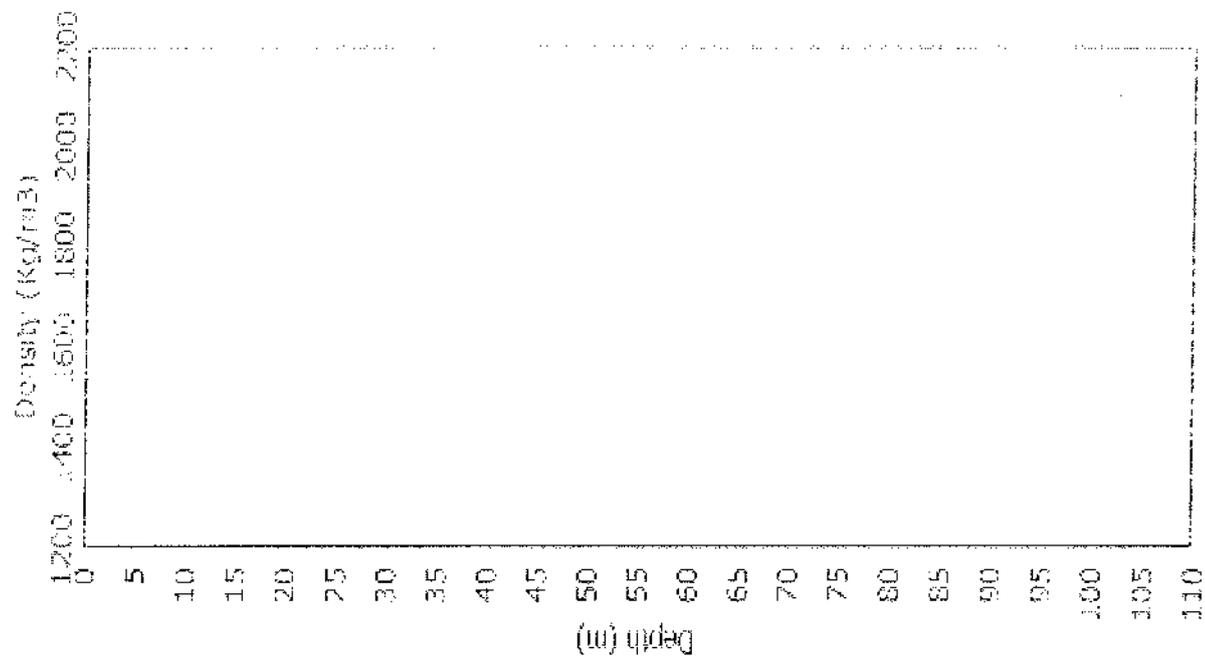
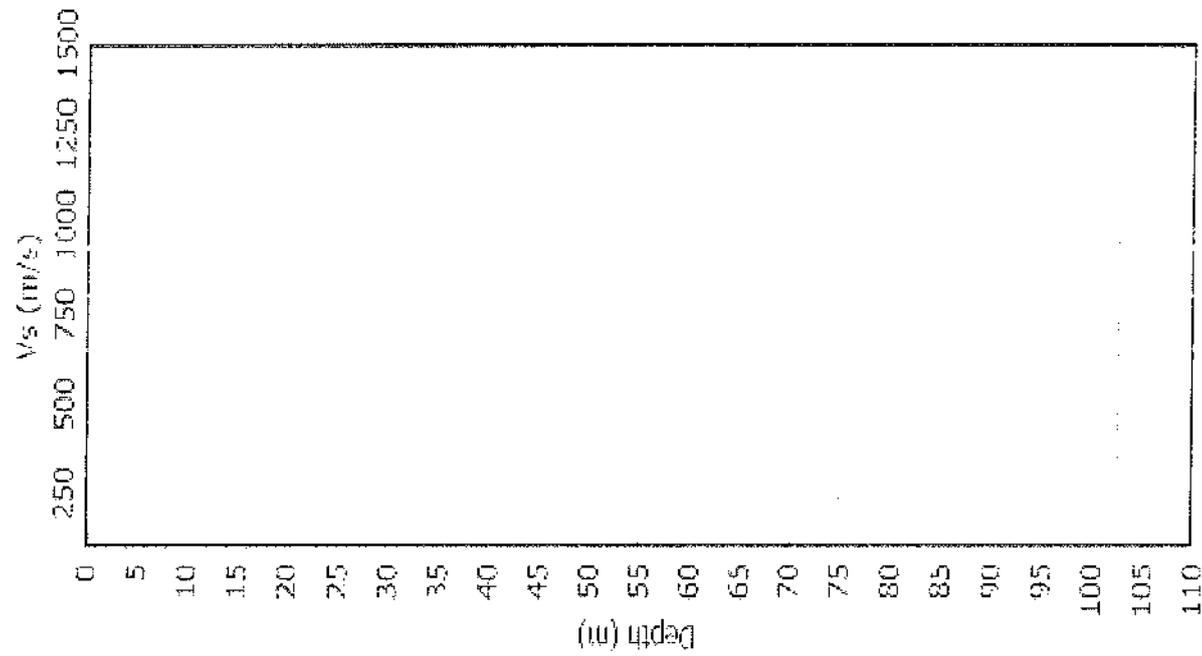
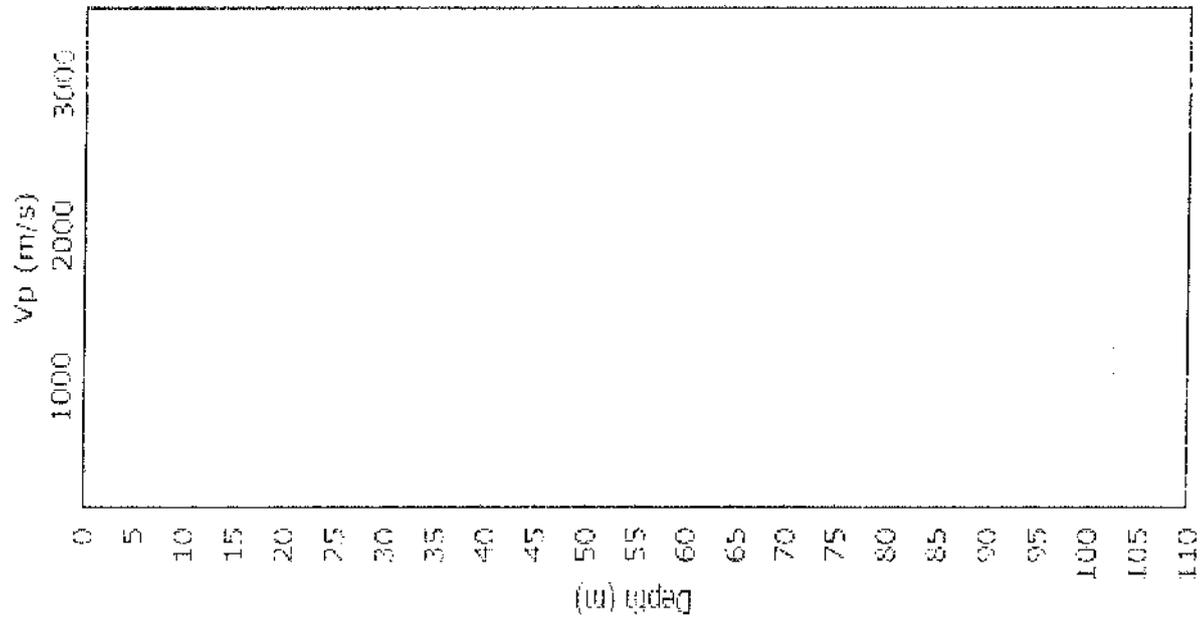


$S1 - f_0 = 0.63 \pm 0.07$ Hz



PROFLO SISMICO DEL TERRENO

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



1 RELAZIONE SINTETICA - INDAGINE HVSR

1.1 IL MICROTREMORE SISMICO AMBIENTALE

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Figura 1, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo, di riferimento mentre la curva verde rappresenta il 'massimo' di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 3.07 Hz sono prodotti delle onde oceaniche sulle coste.

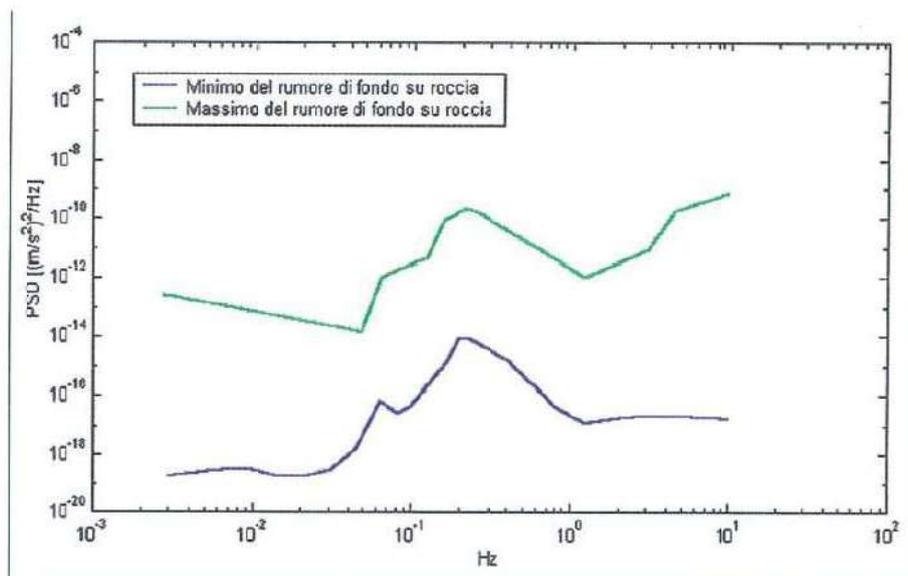


Figura 1 - Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

1.2 BASI TEORICHE DEL METODO HV E METODOLOGIA D'INDAGINE

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo del rumore sismico registrato in un sito.



Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970), e oggi meglio nota come metodo Nakamura (1998). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Inoltre, attraverso alcune metodologie (FK, SPAC) con l'impiego di opportuni algoritmi (es. Neighbourhood algorithm - Sambridge 1999), è possibile ottenere l'inversione delle curve dei rapporti H/V finalizzata alla determinazione dei profili di velocità delle onde S nel sottosuolo e quindi delle Vs30 richiesta dalle NTC.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema di Figura 6 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

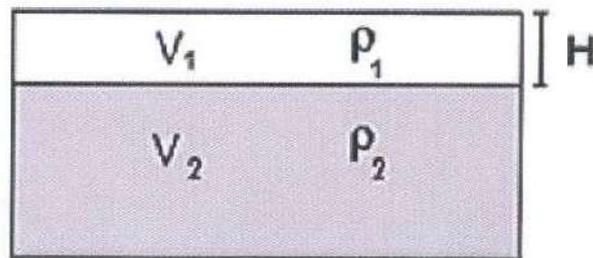


Figura 2 - Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità ρ e velocità di propagazione V

così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$f_r = V_{s1}/4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh, anch'esse dipendenti dai valori di V_p e V_s .

Per derivare dai sondaggi HVSR a stazione singola informazioni relative alle Vs ai fini stratigrafici e quindi delle Vs30 richieste dalle NTC fondamentalmente si hanno due casi:

1. **Caso di disponga di informazioni stratigrafiche (sondaggi, CPT, SPT ecc) certe**: avendo a disposizione almeno un punto in cui H sia nota da sondaggi o penetrometrie. In tal caso si può usare la [1] con gli spessori H ricavati dall'indagine diretta. Si possono avere due casi:
 - a. $H \geq 30 \text{ m}$ - in tal caso la Vs30 corrisponde alla Vs1 del deposito ottenuta dalla 1
 - b. $H < 30 \text{ m}$ - in tal caso la Vs30 è derivabile dalla seguente equazione

$$V_{S30} = \frac{30}{t_H + t_{30-H}} = \frac{30}{\frac{1}{4f_r} + \frac{(30-H)}{V_B}} \quad [2]$$

dove V_B è la velocità delle onde S nel bedrock o bedrock-like. Per il bedrock, volendo seguire in maniera letterale la normativa italiana, si può semplicemente usare $V_B = 800$ m/s. In alternativa si possono usare valori di Tabella. Nel caso di bedrock-like si useranno invece sempre i valori di Tabella 1, che riprende essenzialmente i valori tabulati da Borchardt (1992; 1994) assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004).

Le stime di V_{s30} ottenibili con quest'ultima procedura sono, ovviamente, approssimate. Ciononostante, è estremamente difficile che il loro utilizzo comporti un reale degrado dell'affidabilità delle stime fatte secondo la normativa vigente.

Velocità delle onde S nei vari tipi di suoli e rocce (da Borchardt, 1994)					
CATEGORIA	TIPO	Vs min	Vs media	Vs max	
ROCCE MOLTO DURE	metamorfiche	1400	1620	>1600	da molto a poco fratturate
ROCCE DURE	graniti	700	1050	1400	da molto a poco fratturate
	conglomerati	700	1050	1400	da molto a poco fratturate
	arenarie	700	1050	1400	da molto a poco fratturate
	calcarei e marne	700	1050	1400	da mediamente a poco fratturate
	argilliti	700	1050	1400	da molto a poco fratturate
ROCCE DA TENERE A DURE	calcarei e marne	375	540	700	da molto a poco fratturate
	tufi lito di	375	540	700	da molto a poco fratturate
	arenarie	375	540	700	da molto a poco fratturate
	argilliti	375	540	700	da molto a poco fratturate
SUOLI GHIAIOSI	con > 20% di ghiaia e ciottoli	375	540	700	con > 20% di ghiaia e ciottoli
ARGILLE COMPATTE	argille da medie a compatte	200	290	375	da alta a bassa plasticità
	argille limose	200	290	375	da alta a bassa plasticità
SUOLI SABBIOSI	sabbie da sciolte a compatte	200	290	375	da poco addensate a molto addensate
	limi	200	290	375	da alta a bassa plasticità
	limi sabbiosi e argille sabbiose	200	290	375	da alta a bassa plasticità
TERRENI TENERI	materiali di riporto recente	100	150	200	
	suoli alluvionali con argille e li	100	150	200	

2. **Caso di un mezzo a più strati o quando non si disponga di informazioni certe relative agli spessori:** in questo caso la (1) non può essere immediatamente applicata per il calcolo delle V_s , ma è necessario adottare i cosiddetti metodi di inversione del rapporto H/V per derivare informazioni relative agli spessori H e alle velocità V_s . L'inversione ai fini stratigrafici richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V , e sfrutta la tecnica del confronto tra lo spettro dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 2D (metodi FK, SPAC - nel caso di misure eseguite in array) e/o 1D (picco di inversione della curva di ellitticità delle onde di Raleigh) nel caso di misure a stazione singola. Tali modelli sintetici sono costituiti da profili di terreni costituiti da combinazioni di una successione di strati con spessore H , V_s , V_p e densità γ_n variabili analizzati iterativamente al fine di ottenere curve di dispersione quanto più vicine al modello sperimentale. Ciò avviene attraverso la stima di un parametro, **scostamento (Misfit - M)**, che, varia solitamente tra 0 e 1 dove 0 rappresenta la perfetta corrispondenza del valore sperimentale con quello sintetico e 1 rappresenta uno scostamento notevole.

In questo lavoro, i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti e le curve H/V , non avendo dati stratigrafici certi, sono state invertite secondo la procedura descritta da Wathelet (2004), usando la tecnica del **picco di inversione della curva di ellitticità del modo fondamentale delle onde di Rayleigh** ed impiegando il software GEOPSY - DINVER (SESAME project) per il calcolo del diagramma sintetico dei rapporti di amplificazione H/V . Tale tecnica è brevemente illustrata nel seguito.

Ellitticità delle onde di Raleigh

Il metodo di inversione basato sul picco di ellitticità del modo fondamentale delle onde di Raleigh sfrutta una proprietà fisica di tali onde definita come ellitticità ossia il rapporto tra lo spostamento prodotto dalle componenti orizzontali e lo spostamento prodotto dalla componente verticale di un'onda elastica di superficie.

Nel caso le onde di Raleigh si propagano in un semispazio infinito, l'ellitticità χ alla superficie ($z=0$) è derivabile dall'equazione

$$\chi_{(z=0)} = \frac{U(0)}{W(0)} = -2i \cdot \frac{1-c^2/2\beta^2}{\sqrt{1-c^2/\alpha^2}} \quad [3]$$

in cui c = velocità di fase delle onde
 β = la velocità delle onde S
 α = velocità delle onde P
 $U(0)$ = spostamento lungo l'asse x e/o y
 $W(0)$ = spostamento lungo l'asse z

Nel caso di un semispazio infinito l'equazione evidenzia che l'ellitticità χ alla superficie è indipendente dalla frequenza delle onde e dipende esclusivamente dalle V_p e V_s . In un tale mezzo la velocità di fase c è sempre inferiore a quella delle onde P ed S e quindi χ assume sempre valori immaginari negativi. La conseguenza è che le particelle del semispazio si muovono secondo orbite ellittiche retrograde rispetto alla direzione di propagazione



Propagazione di un'onda detta di Rayleigh con moto molecolare ellittico (esempio elementare di onda sismica)

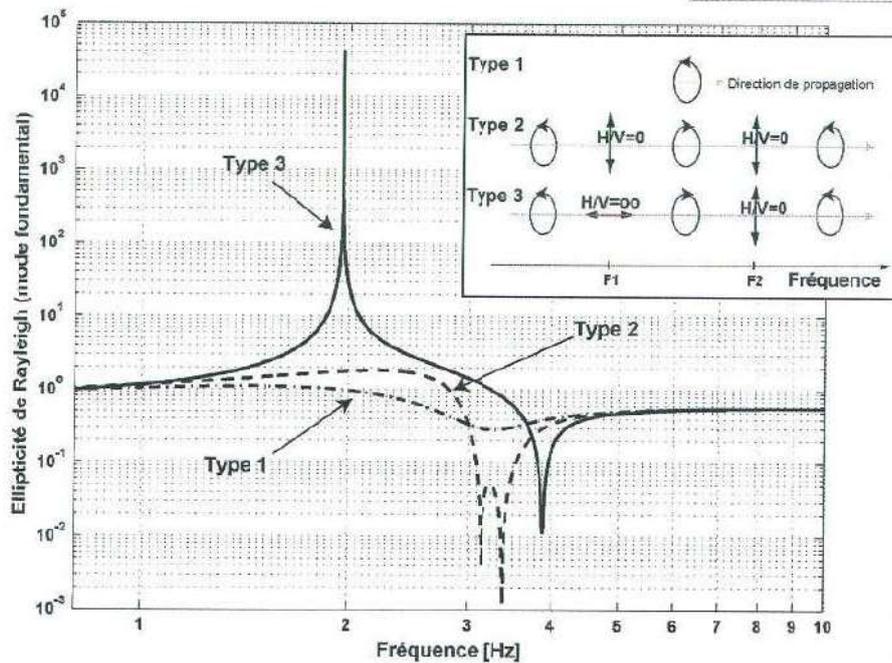
Nel caso di un mezzo stratificato l'equazione precedente non è più valida. Molti autori (Tokimatsu 1997, Konno et Ohmachi -1998, Malischewsky et Scherbaum -2004) hanno mostrato che il movimento delle particelle sollecitate dalle onde di Raleigh dipende anche dalla frequenza e può essere sia retrogrado che progrado (ossia diretto nella stessa direzione di propagazione dell'onda elastica) secondo le caratteristiche fisiche del mezzo ove l'onda si propaga.

In altre parole nei mezzi stratificati si osserva che la propagazione delle onde di Raleigh è influenzata dalla profondità H delle superfici di strato e dalle caratteristiche fisiche degli strati (V_p, V_s, γ_n) stessi.

Nel caso di una coltre sedimentaria poggianti su un bedrock (o bedrock like) con un contrasto di impedenza sismica C_i :

$$C_i = (\gamma_{n1} V_{s1} / \gamma_{n2} V_{s2}) \quad [4]$$

con



γ_{n1} = densità (peso di volume) coltre
 V_{s1} = velocità onde S coltre
 γ_{nb} = densità (peso di volume) bedrock (o bedrock like)
 V_{sb} = velocità onde S bedrock (o bedrock like)

più o meno forte rispetto al bedrock si possono avere i 3 casi evidenziati alla seguente figura :

1. Type 1 - strutture caratterizzate da debole contrasto di impedenza sismica $C_i \approx 1$: il movimento tende ad essere ellittico retrogrado in analogia con un semispazio infinito omogeneo non stratificato;
2. Type 2 - strutture caratterizzate da debole contrasto di impedenza sismica $C_i \approx 2.5$: il movimento è puramente verticale alle frequenze F1 e F2 . Per le frequenze comprese tra F1 ed F2 il movimento è ellittico progrado mentre è retrogrado per le altre frequenze.
3. Type 3- strutture caratterizzate da un forte contrasto di impedenza sismica $C_i > 5$: il movimento è puramente orizzontale alla frequenza F1 e puramente verticale a quella F2 . Per le frequenze comprese tra F1 ed F2 il movimento è ellittico progrado mentre è retrogrado per le altre frequenze.

L'inversione del modo di propagazione di interesse ai fini della derivazione delle velocità V_s avviene in corrispondenza della **frequenza di risonanza fondamentale f_r** (in figura la F1), corrispondenze alla superficie di strato, ove si osserva il massimo positivo (picco) della curva di ellipticità .

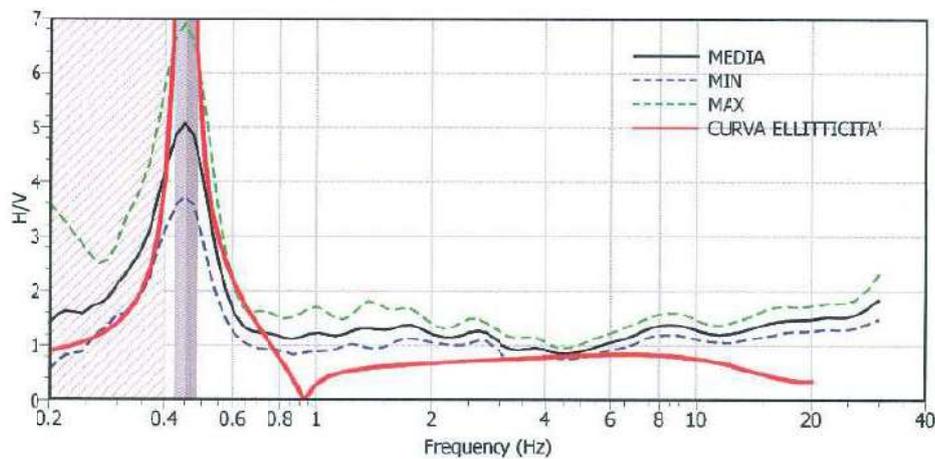
Tale comportamento è il medesimo che si osserva nei diagrammi H/V in cui il picco corrisponde alla frequenza fondamentale di risonanza f_0 innanzi descritta dipendente dai valori di spessore H1 e velocità V_s della coltre.

Per tale ragione il metodo basato sul picco della curva di ellipticità testè descritto viene utilizzato nei casi più semplici e **generalmente nei sondaggi HVSR a stazione singola**, per eseguire l'inversione dei valori del rapporto H/V ai fini della determinazione delle V_s e degli spessori delle coltri sedimentarie.

Sotto il profilo operativo si adoperano software che permettono di analizzare in modo iterativo un numero più o meno elevato di modelli di profilo di terreno (combinazioni di una successione di strati con spessore H, V_s , V_p e densità γ variabili) al fine di derivare una curva sintetica da confrontare lo spettro dei rapporti H/V come nel caso quella riportata in figura.



Essendo possibili numerose soluzioni teoriche derivanti da tali analisi, i risultati vengono sempre letti ed interpretati alla luce delle conoscenze sull'assetto geologico e stratigrafico dei terreni indagati, come per altro avviene anche per gli altri metodi di indagini geofisiche passive (REMI) o attive (MASW) basate sull'analisi dei microtremori. In altre parole la curva di sintesi ottenuta non deve essere solo concorde con lo spettro H/V, ma anche il modello di terreno cui essa si riferisce deve essere concorde con la geologia dei siti.

Sondaggio S1- frequenza $f_0 = 0.45 \pm 0.03$ Hz

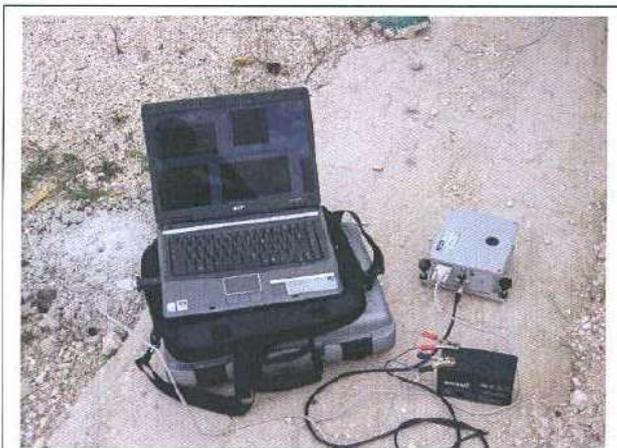
2 STRUMENTI DI MISURA

Tutte le misure di microtremore ambientale, della durata minima di 10 minuti ciascuna, sono state effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico.

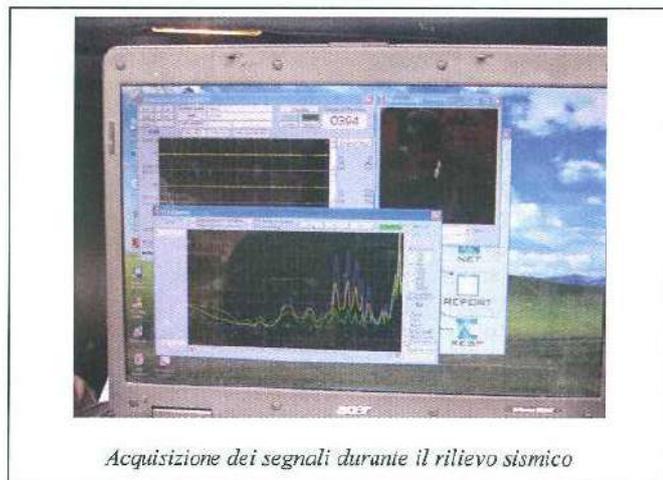
Lo strumento (**SR04S3 - SARA electronic instruments**) è un Sismografo triassiale con geofoni da 4.5 Hz dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, con banda utile di lettura 0.2 – 100 Hz, alimentato da 1 batteria 12V esterna, fornito di GPS interno, collegato ad un Notebook ACER – Dual Core 1.6 GHz.

I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz tramite il software SEISMOLOG-MT della **SARA electronic instruments**.

I segnali così acquisiti, relativi alle componenti Verticale (Z), Est-Ovest (E) e Nord-Sud (N), sono stati successivamente analizzati col software Geopsy (Wathelet - *SESAME European research project – 2004*) e quindi con la routine Dinver per derivare la curva d'inversione delle velocità Vs.



*Esecuzione del rilievo in sito con Sismografo triassiale
 SR04S3 - SARA electronic instruments*



Acquisizione dei segnali durante il rilievo sismico

2.2 RISULTATI

I risultati di tale analisi vengono riportati nelle pagine seguenti per ogni sondaggio effettuato con le seguenti schede :

- 1) scheda riassuntiva generale del sondaggio
- 2) sismogrammi rilevati in sito
- 3) diagrammi dei rapporti H/V e dello spettro delle singole componenti ottenuti con l'adozione dei seguenti parametri :
 - a. larghezza delle finestre d'analisi indicata alla scheda 1
 - b. lisciamiento secondo il metodo Konno & Omachi (fattore costante 25) e cosine taper con ampiezza pari al 5% della frequenza centrale;
 - c. rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2 per l'eliminazione di segnali spuri prossimi al ricevitore (come i passi dell'operatore ecc.)
- 4) Modello del sottosuolo in termini di profili di velocità Vp e Vs più vicino () al dato sperimentale .

Per ogni sondaggio, l'analisi ha considerato un gran numero di modelli teorici (v. scheda 1) in termini di variazioni dei rapporti tra le componenti Vs, Vp, γ_n e H al fine di individuare il modello di terreno caratterizzato dal valore minimo dello scostamento

INDAGINE SISMICA CON TECNICA HVSR



COMUNE	BUCCIANO		
PROVINCIA	BENEVENTO		
PROGETTO	COSTRUZIONE DI UN FABBRICATO IN C.A. PER CIVILE ABITAZIONE ALLA VIA M.LOPIRO		
COMMITTENTE	GEOL. ARGANESE GIOVANNI		
DATA ESECUZIONE	26/07/10	N.RIFes.	Sondaggio S1
DATA ELABORAZIONE	08/08/10	N.RIFel.	

PARAMETRI RAPPORTO H/V

numero windows	19	larghezza windows	20 s
frequenza fondamentale fe (Hz)	16.49	dev.st	1.01

PARAMETRI INVERSIONE CURVA H/V

numero modelli analizzati	5100
fattore di scostamento min	0.001
metodo di inversione	picco della curva di ellitticità delle onde di Raleigh

MODELLO DEL PROFILO DI TERRENO

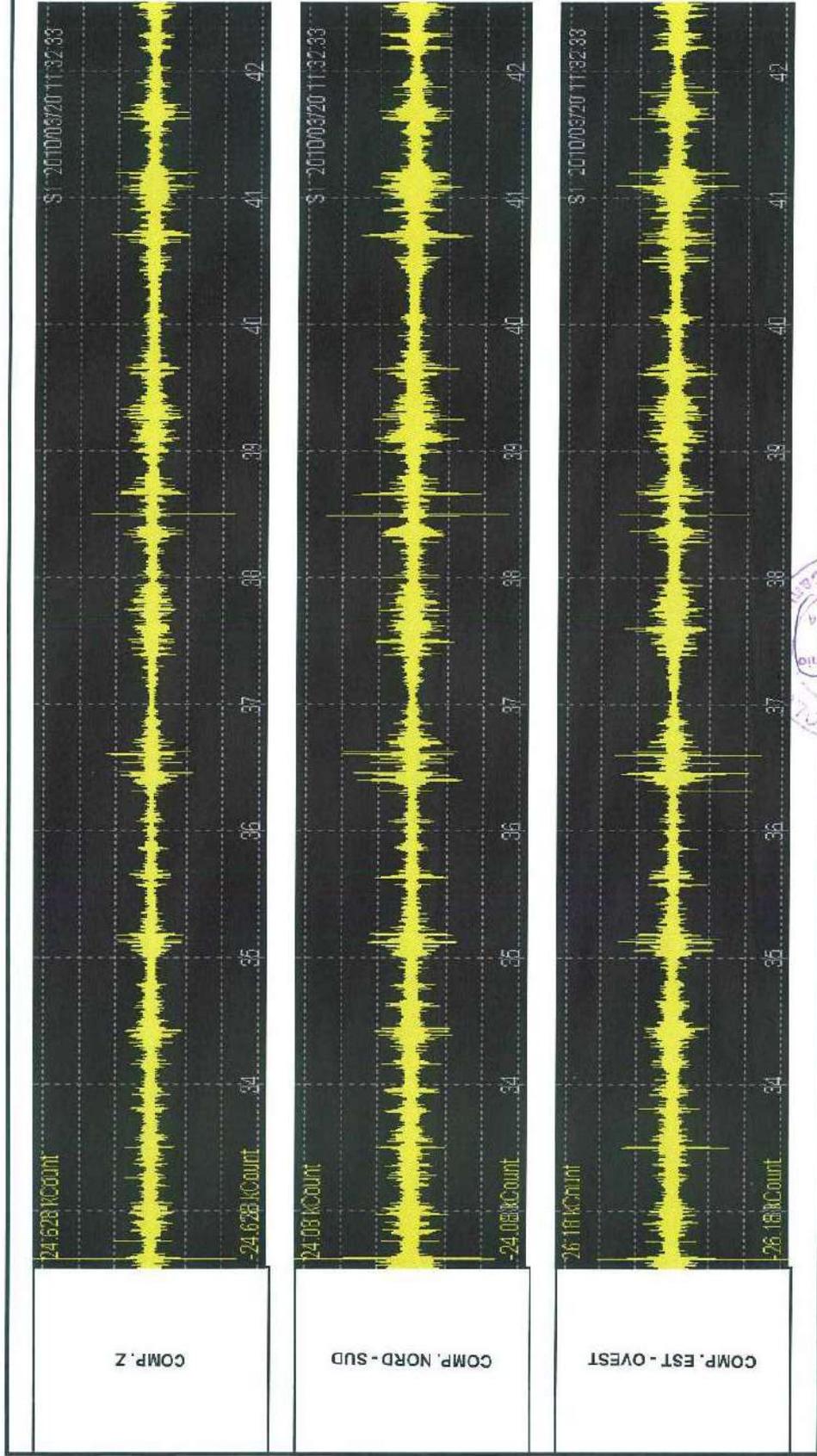
z	h	y	Vpi	Vsi	v	E	K	G	h/Vsi	Vs30
m	m	t/m3	m/sec	m/sec		N/m^2	N/m^2	N/m^2		m/sec
1.97	1.97	1.57	310.71	131.91	0.39	7.58E+04	1.15E+05	2.73E+04	0.01	250.0
2.97	1.00	1.57	590.73	296.78	0.33	3.89E+05	3.65E+05	1.39E+05	0.00	
11.19	8.22	1.60	630.30	323.37	0.32	4.41E+05	4.11E+05	1.67E+05	0.03	
30.00	18.81	1.68	782.77	246.59	0.45	2.96E+05	9.20E+05	1.02E+05	0.08	

CATEGORIA PROFILO SISMICO **C**

Si tratta di una registrazione che non mostra un chiaro picco ($H/V > 2$) rientrante nei criteri di validazione SESAME, ma presenta un picco di bassa intensità del rapporto HV posto alla frequenza di 16.36 Hz. Tale picco corrisponde al passaggio situabile a circa 2.26 m dal p.c. tra le piroclastiti sabbiose alterate episupeficiali e la formazione tufacea sottostante (cappellaccio e banco tufaceo) che si estende in profondità fino a circa 11.5 m, al disotto della quale sono presenti depositi sabbioso limosi. Nelle registrazioni non è individuabile il bedrock calcareo mentre, a profondità comprese tra i 35-45 m dal p.c. vi è il passaggio a sedimenti sempre di tipo argilloso-sabbioso con velocità Vs maggiori di 360 m/s è quindi a tale profondità si considera la presenza del bedrock-like.

Il geologo
dott. Giovanni A. Izzo

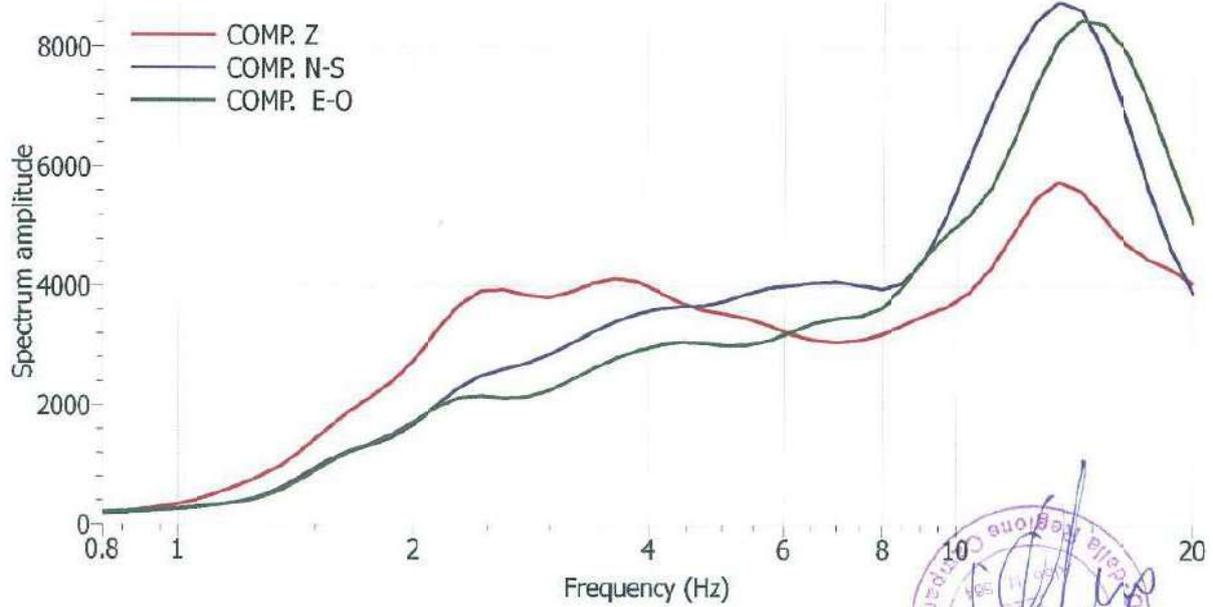
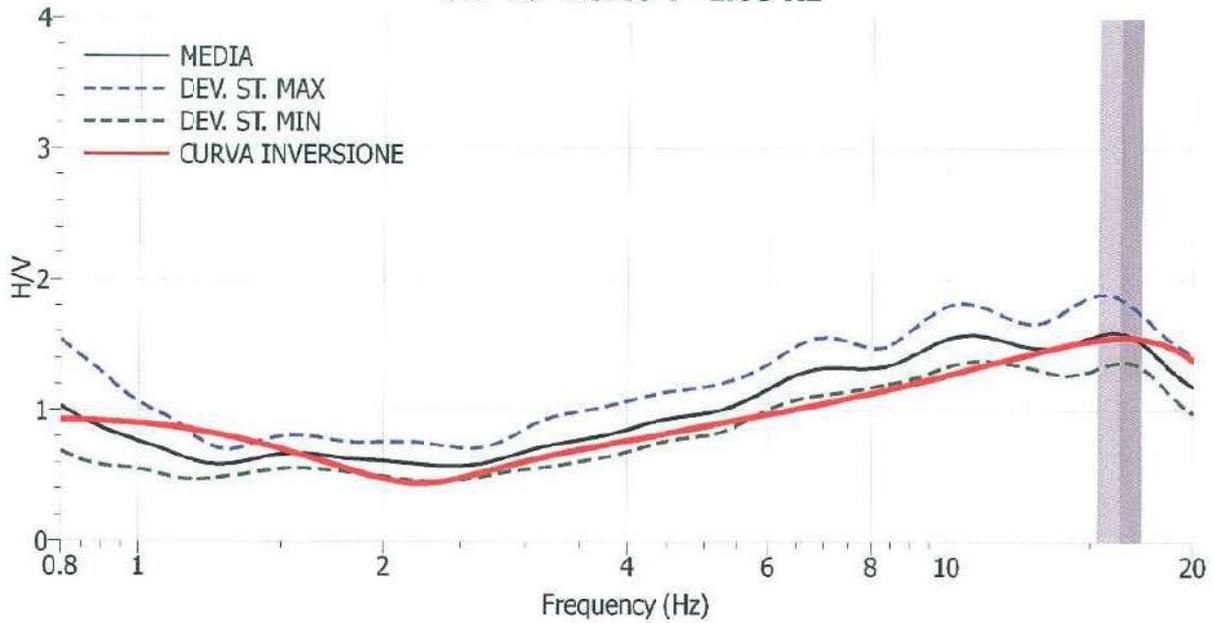
SISMOGRAMMI RILEVATI IN SITO



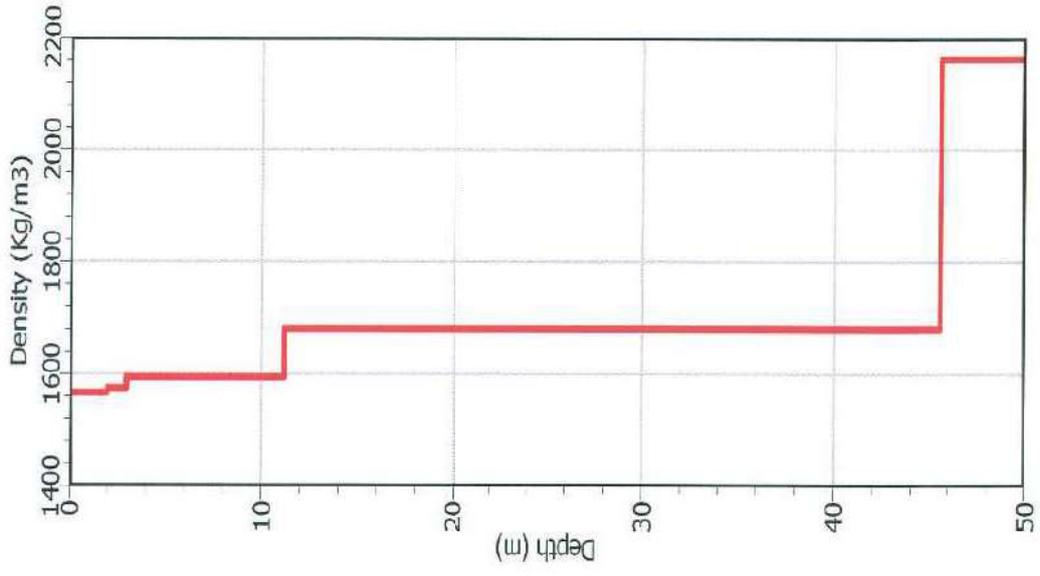
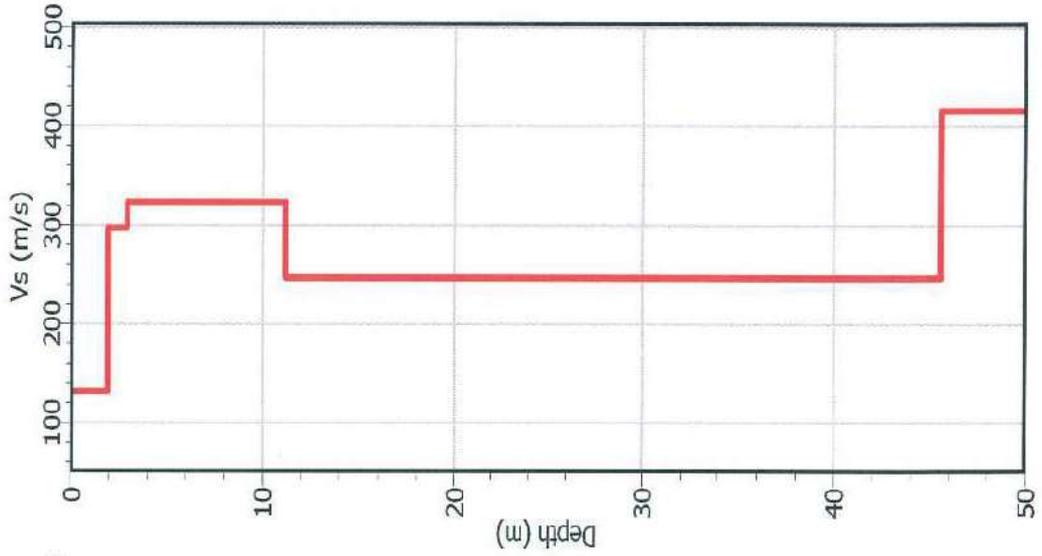
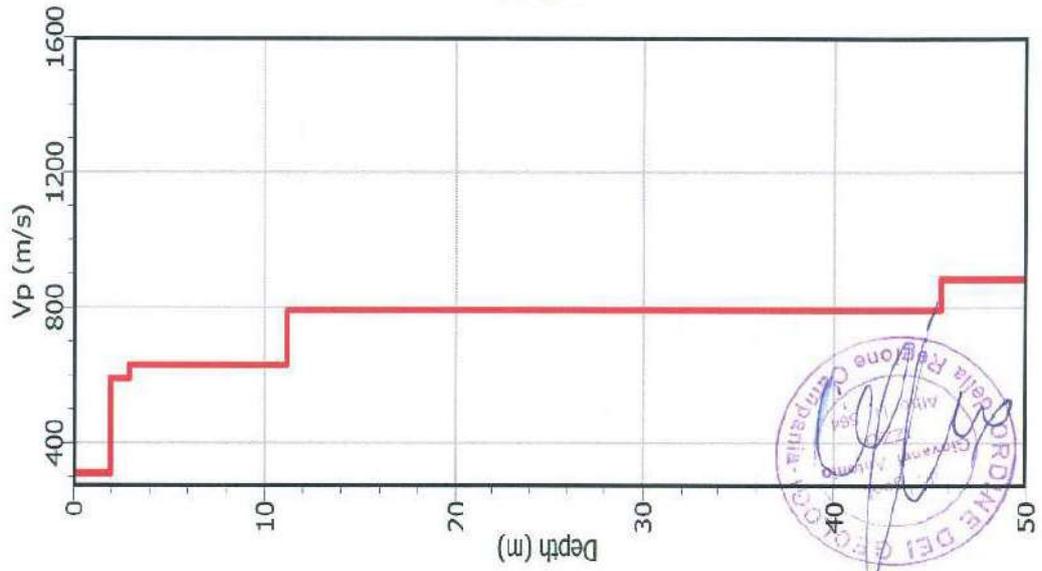
RAPPORTO HV



S1 - fo=16.46 +- 1.05 Hz



PROFILO SISMICO DEL TERRENO



INDAGINE SISMICA CON TECNICA HVSR



COMUNE	BUCCIANO		
PROVINCIA	BENEVENTO		
PROGETTO	COSTRUZIONE DI UN FABBRICATO IN C.A. PER CIVILE ABITAZIONE ALLA VIA MILOPIRO		
COMMITTENTE	GEOL. ARGANESE GIOVANNI		
DATA ESECUZIONE	04/01/210	N. RIFes.	Sondaggio S2
DATA ELABORAZIONE	18/01/10	N. RIFel.	

PARAMETRI RAPPORTO H/V

numero windows	19	larghezza windows	20 s
frequenza fondamentale fo (Hz)	16.34	dev.st	1.19

PARAMETRI INVERSIONE CURVA H/V

numero modelli analizzati	5100
fattore di scostamento min	0.001
metodo di inversione	picco della curva di ellitticità delle onde di Raleigh

MODELLO DEL PROFILO DI TERRENO

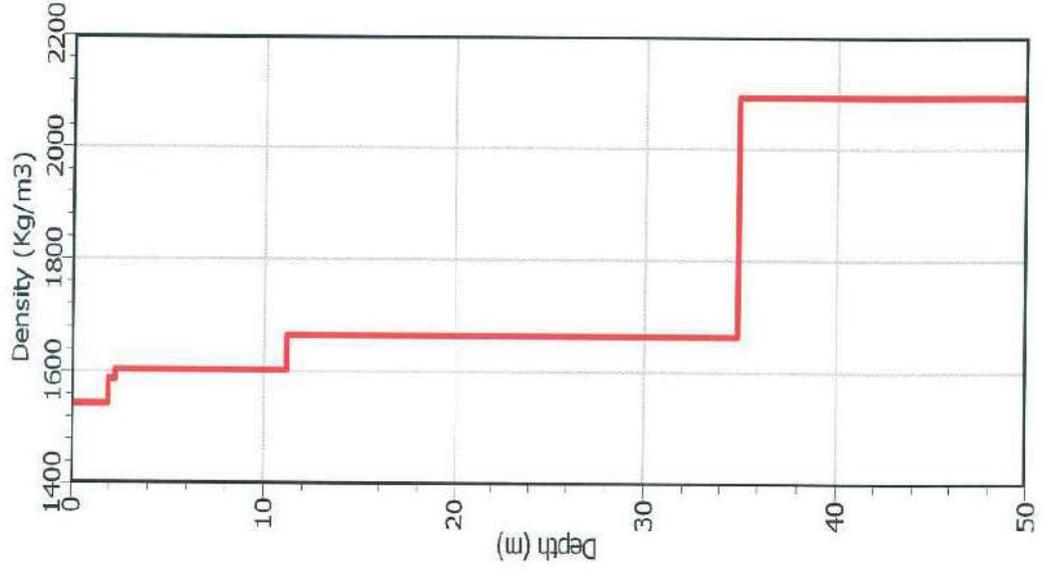
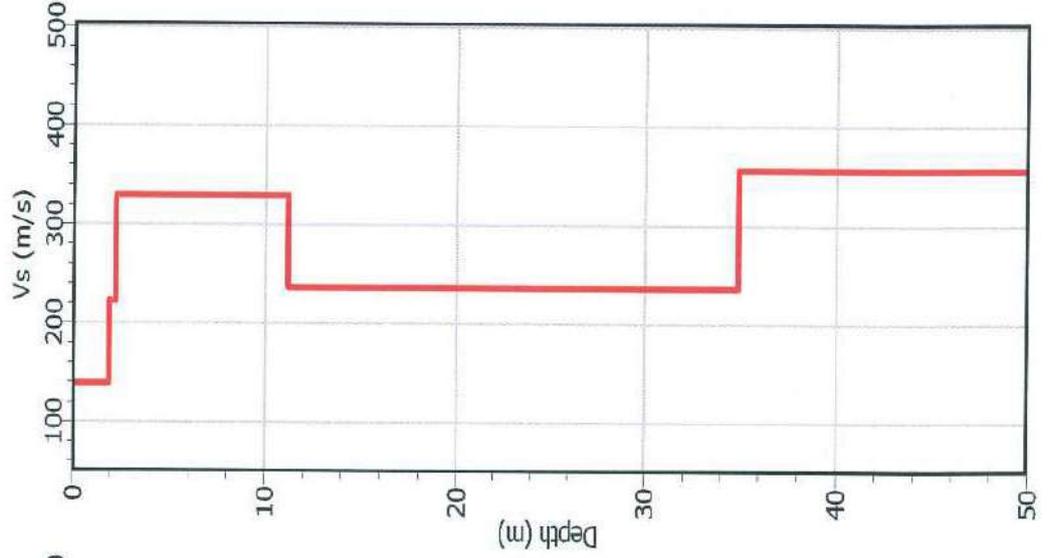
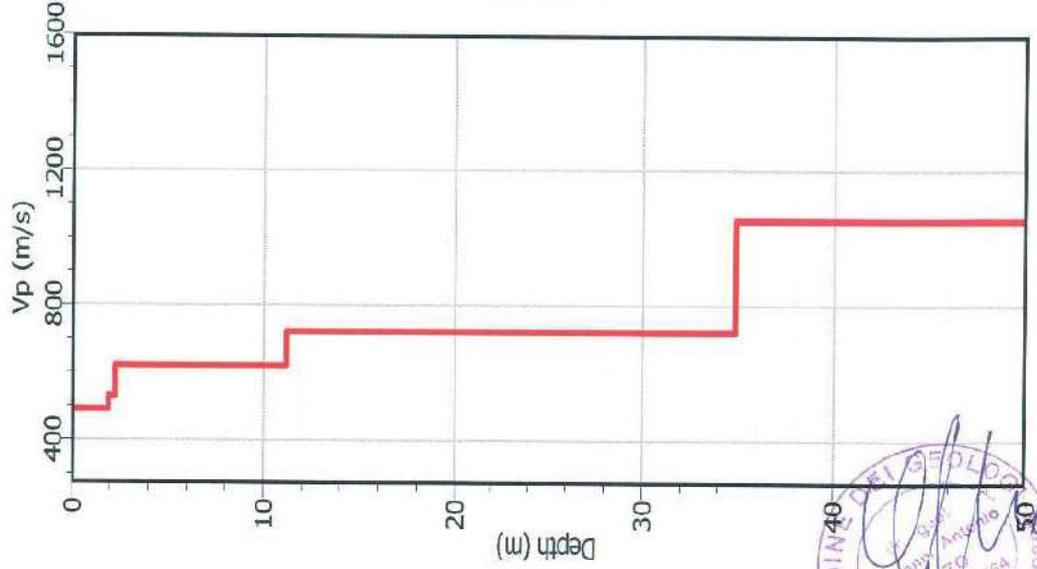
z	h	y	Vpi	Vsi	v	E	K	G	h/Vsi	Vs30
m	m	t/m3	m/sec	m/sec		N/m ²	N/m ²	N/m ²		m/sec
1.82	1.92	1.54	489.55	139.56	0.46	8.75E+04	3.30E+05	3.01E+04	0.01	250.4
2.26	0.34	1.59	530.71	223.03	0.39	2.20E+05	3.42E+05	7.90E+04	0.00	
11.20	8.94	2.09	1054.17	356.28	0.44	7.63E+05	1.97E+06	2.66E+05	0.03	
30.00	18.80	1.67	721.37	236.72	0.44	2.89E+05	7.42E+05	9.33E+04	0.08	

CATEGORIA PROFILO SISMICO **C**

Si tratta di una registrazione che non mostra un chiaro picco ($H/V > 2$) rientrante nei criteri di validazione SESAME, ma presenta un picco di bassa intensità del rapporto HV posto alla frequenza di 16.36 Hz. Tale picco corrisponde al passaggio situabile a circa 2.26 m dal p.c. tra le piroclastiti sabbiose alterate episupeficiali e la formazione tufacea sottostante (cappellaccio e banco tufaceo) che si estende in profondità fino a circa 11.5 m, al disotto della quale sono presenti depositi sabbioso limosi. Nelle registrazioni non è individuabile il bedrock calcareo mentre, a profondità comprese tra i 35-45 m dal p.c. vi è il passaggio a sedimenti sempre di tipo argiloso-sabbioso con velocità Vs maggiori di 360 m/s è quindi a tale profondità si considera la presenza del bedrock-like.



PROFLO SISMICO DEL TERRENO



DESCRIZIONE DELLE INDAGINI SISMICHE HVSR

- committente:	C.M.R. S.p.a.	- data:	31/10/2011
- lavoro:	Lavori di ristrutturazione ed adeguamento funzionale dell'immobile di Via Gavatelle da destinare a residenza sanitaria assistenziale.	- Commessa:	W412
- località:	Via Gavatelle - Bucciano (BN)	- Rif:	GT101
- note:			

Premessa

Le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico), sono onde meccaniche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-2} mm e, se contengono alte frequenze (>0.5 Hz), sono *microtremori* e, se basse, *microsismi*. Le sorgenti dei microsismi sono le perturbazioni atmosferiche sugli oceani che si propagano come onde superficiali sui continenti, mentre le sorgenti dei microtremori sono le attività antropiche come il traffico veicolare, le attività industriali ect..

Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate per la stima degli effetti di sito, della velocità delle onde di taglio S, degli effetti sulle strutture delle vibrazioni (norma UNI9916) e per la loro caratterizzazione dinamica

Nel presente lavoro è stata eseguita una misura di vibrazioni o microtremori, per un intervallo di 20 min e con una frequenza di campionamento di 128 Hz. La misura è stata interpretata con il metodo HVSR ottenendo utili informazioni sulla frequenza di risonanza del suolo, sulla velocità delle onde S e sulla stratigrafia.

Metodologia di analisi dei microtremori

Se le sorgenti del rumore sismico possono essere considerate indipendenti e attorno al punto di misura in modo statisticamente uniforme, allora la parte 'persistente' del campo d'onda sarà quella associata alle sole caratteristiche comuni a tutti i treni d'onda presenti ossia alle caratteristiche strutturali del terreno o dell'edificio.

Da queste considerazioni emerge che, applicando procedure di tipo statistico, è possibile individuare all'interno del rumore forme persistenti che dipendono solo dalla struttura del sottosuolo o dell'edificio.

Questo modello costituisce la base per la caratterizzazione dinamica del terreno e degli edifici con tecniche passive:

- tecnica H/V o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)
- tecnica del sito di riferimento (SSR)
- tecnica del rapporto degli spettri rispetto ad un sito di riferimento

In particolare, quando un treno d'onda passa da un corpo rigido ad uno meno rigido, la sua componente orizzontale (onde rayleigh) si amplifica e quella verticale rimane invariata ossia il rapporto H/V diventa maggiore di uno.

Il metodo fu applicato applicata da Nogoshi e Igarashi (1970) in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli (es. Field e Jacob. 1993; Lachet e Bard, 1994; Lermo e Chavez-Garcia, 1993, 1994; Bard, 1998; Ibs-von Shet e Wohlenberg, 1999; Bindi et al., 2000, Fah et al., 2001; Delgado et al., 2000. Mucciarelli et al., 2001 e referenze in esso contenute, Parolai et al., 2002; Parolai et al., 2004 solo per citarne alcune) e tramite opportuna inversione, delle profondità dei substrati rocciosi sotto le coperture sedimentarie.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach et al., 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier et al., 2005). Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere in linea di principio usato come strumento stratigrafico.

Tale tecnica viene anche utilizzata (Gallipoli, Gamal, Parolai ed ali) per determinare la frequenza di risonanza degli edifici ed in tal caso si esegue il rapporto fra le componenti spettrali del moto ad un dato piano e quelle ad un piano di riferimento, in generale quello alla base dell'edificio.

Strumenti, acquisizione e elaborazione

È stato utilizzato per la misura dei microtremori il tromografo TROMINO di marca Micromed. Lo strumento dispone di 9 canali analogici connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alto guadagno (per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale, fino a 1.5 mm/s \sim), tre velocimetri a basso guadagno (per la registrazione di vibrazioni forti fino a 5 cm/s \sim) e tre accelerometri (per monitoraggio di vibrazioni fino a 5 g) disposti secondo tre direzioni ortogonali, più un canale per il segnale GPS. I velocimetri e gli accelerometri sono smorzati criticamente e trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore a dinamica non inferiore a 24 bit. Le caratteristiche progettuali di TROMINO consentono una accuratezza relativa maggiore di 10^{-4} sulle componenti spettrali al di sopra di 0.1 Hz e la frequenza dei sensori va da 0.1 Hz fino a 1024 Hz.

Dispone, inoltre, di un 1 canale analogico (es. trigger esterno per MASW/rifrazione), ricevitore GPS integrato, antenna interna e/o esterna per localizzazione e/o sincronizzazione

tra diverse unità, modulo radio per sincronizzazione tra diverse unità e trasmissione di allarmi (es. superamento di soglie)

Il moto del terreno è amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e salvato su una memoria digitale di tipo Flash. Da questa il segnale può essere trasferito ad un PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, si può archiviare e analizzare il segnale. I segnali sono sempre corretti tenendo conto della funzione di trasferimento dello strumento.

Il rumore sismico, acquisto con i canali ad alto guadagno viene registrato nelle sue tre componenti da pochi minuti (se si studiano problemi stratigrafici superficiali o edifici) a decine di minuti (se si studiano problemi stratigrafici profondi). In fase di analisi del segnale, per la tecnica dei rapporti spettrali, si procede come di seguito indicato.

1. i segnali sono filtrati con un algoritmo anti trigger per eliminare i transienti e per tenere solo la parte stazionaria del segnale
2. La registrazione viene suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno (60 sec nel caso nostro ponendo maggiore attenzione alle frequenze > 1Hz).
3. Per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segnale nelle tre componenti.
4. Per ogni segmento è calcolato lo spettro della velocità media nelle tre componenti e si lisciano secondo con una finestra triangolare con ampiezza pari al 20% della frequenza centrale,
5. Si effettua il rapporto fra la media delle componenti orizzontali e la componente verticale ottenendo L'HVSR
6. si riconoscono i picchi significativi sulla curva HVSR e si effettua l'inversione basata sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli, secondo la teoria descritta in Aki (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). L'inversione si effettua confrontando la curva sperimentale con una teorica ottenuta stabilendo un certo numero di strati ed assegnando ad essi un valore di velocità delle onde S e lo spessore. Quando le due curve sono simili, il modello teorico è quello che meglio rappresenta la situazione reale.

Operazioni di campagna e interpretazione

Nel presente lavoro si sono eseguite 1 misura del rumore sismico, l'intervallo di campionamento è stato di 128 Hz e la lunghezza di 20 min.

Le registrazioni sono state trattate con il software Grilla della Micromed che calcola gli spettri delle tre componenti, l'HVSR, la direzionalità e stazionarietà del segnale e l'inversione della curva HVSR. L'inversione si basa sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh

e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli, secondo la teoria descritta in Aki (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981).

Negli ultimi anni un progetto europeo denominato SESAME (Site Effects assessment using Ambient Excitations) si è occupato di stabilire linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola ed in array. Esso ha anche fornito dei criteri per valutare la bontà delle curve HVSR e la significatività dei picchi H/V eventualmente trovati.

Per la stazione in oggetto si rappresentano:

1. i parametri di acquisizione e di elaborazione
2. l'HVSR
3. i diagrammi temporali dell'HVSR che dimostrano la persistenza temporale dell'ampiezza per ogni misura e che pertanto eliminano l'ipotesi di cause transitorie per le frequenze considerate
4. gli spettri delle tre componenti
5. il confronto fra la curva teorica sperimentale e quella sintetica ricavata con l'inversione
6. il modello di inversione della curva HVSR in formato numerico e grafico.

TROMINO BUCCIANO TR 01

Instrument: TEP-0009/01-09

Start recording: 31/10/11 11:39:10 End recording: 31/10/11 11:59:11

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 45% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

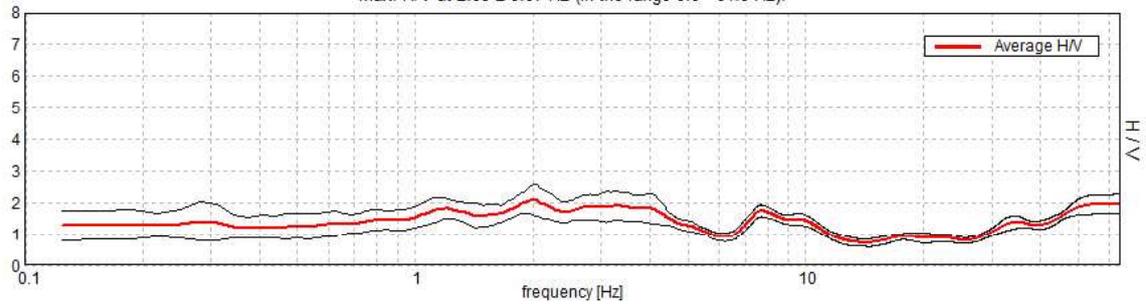
Window size: 30 s

Smoothing type: Triangular window

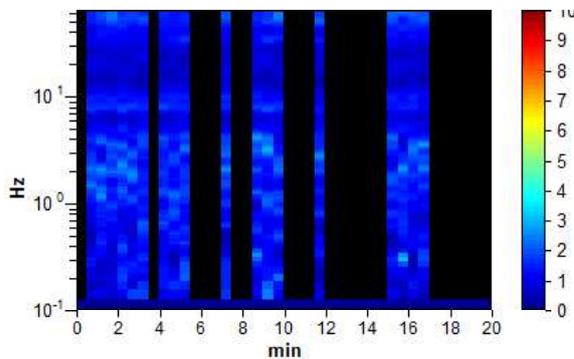
Smoothing: 15%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

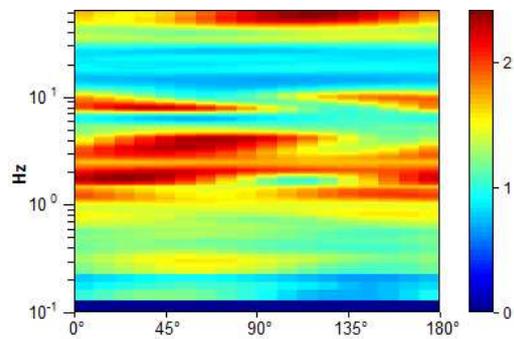
Max. H/V at 2.03 ± 0.07 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



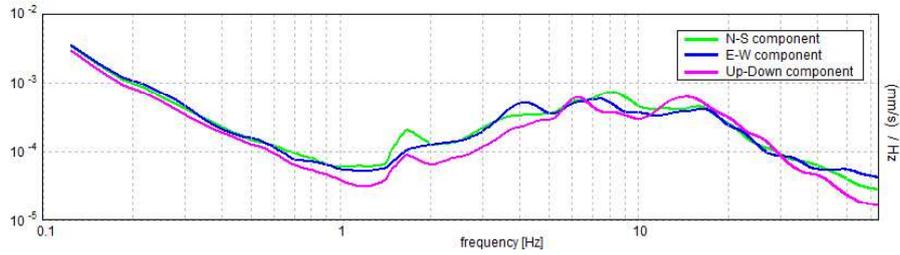
H/V TIME HISTORY



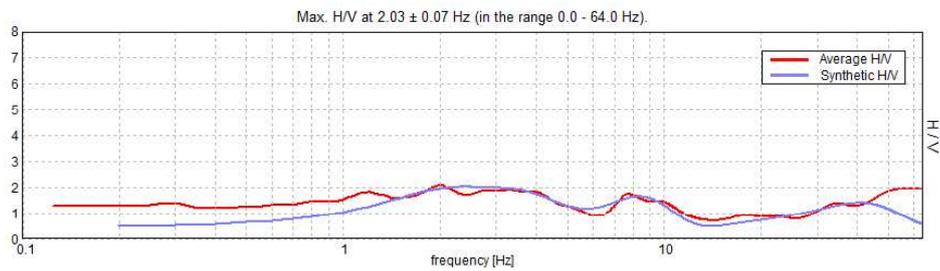
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

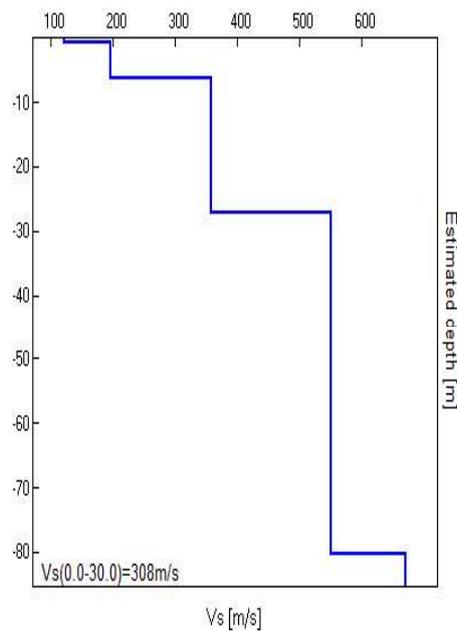


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.70	0.70	122	0.45
6.20	5.50	196	0.45
27.20	21.00	358	0.45
80.20	53.00	551	0.45
inf.	inf.	672	0.45

Vs(0.0-30.0) = 308 m/s



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

Max. H/V at 2.03 ± 0.07 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	2.03 > 0.33	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1096.9 > 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 98 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.625 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.07 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01677 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.03406 < 0.10156	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.228 < 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

CONCLUSIONI.

Dall'analisi dei microtremori si è ricavato l'HVSR sperimentale, che ha 2 massimi significativi, alle frequenze di 2.03 e 7.8 Hz.

I massimi significativi soddisfano le condizioni di isodirezionalità e stazionarietà e, in corrispondenza della frequenza a cui si ha il massimo sull'HVSR, sugli spettri si osserva che si amplificano solo le componenti orizzontali (forma classica ad occhio). Tutto ciò implica che i segnali sono modificati dalla struttura geologica del sottosuolo, non da eventuali disturbi, e che i massimi rappresentano le frequenze di risonanza del sito (E' riconosciuto a livello internazionale che la tecnica H/V permette di misurare e non derivare da altri fattori la frequenza di risonanza - vedi bibliografia nel paragrafo "metodologia") .

La frequenza 2.03 Hz è la frequenza fondamentale (massima ampiezza) ed il massimo relativo è dovuta al contrasto di impedenza a circa 27.2 m di profondità. Il massimo alla frequenza 7.8 Hz è dovuto al contrasto di impedenza a circa 6.2 m di profondità.

Per frequenze intorno a quelle di risonanza si può avere il **fenomeno della doppia risonanza** e, pertanto, bisognerà assicurarsi che le strutture che si andranno ad edificare non abbiano le stesse frequenze.

Dove l'HVSR è maggiore di 1 si ha amplificazione del segnale sismico che con la tecnica HVSR non è quantificabile.

Una stima approssimata del fattore di amplificazione in corrispondenza della frequenza fondamentale (2.03 Hz) e ad 1 m di profondità è data dalla relazione:

$$FAD \approx \frac{\bar{V}_b \bar{\rho}_b}{V_s \rho_s} = \frac{1.83 * 589.4}{1.7 * 307.5} = 2.1 \text{ per TR1}$$

Dove l'appendice s sta per strato soffice e b per bedrock; le Vs e densità sono quelle medie al di sopra e al di sotto della discontinuità.

L'inversione della Curva HVSR ha fornito, anche, il profilo delle velocità delle onde S e quindi il Vs₃₀, calcolato ad un metro di profondità dal p.c..

E' necessario sottolineare che, in tutti i codici che simulano la propagazione delle onde di superficie, i parametri Vp e densità sono estremamente poco influenti ai fini del modello. Ne consegue che:

IN NESSUN CASO SI PUO' RITENERE CHE IL MODELLO DIA PROFILI DI Vp E DENSITA'

Questo, sottolineiamo ancora, vale per qualsiasi codice basato sulle onde di superficie. L'implicazione diretta è che i valori di Vp e densità da introdurre nel codice possono essere praticamente qualsiasi, seppur ragionevoli

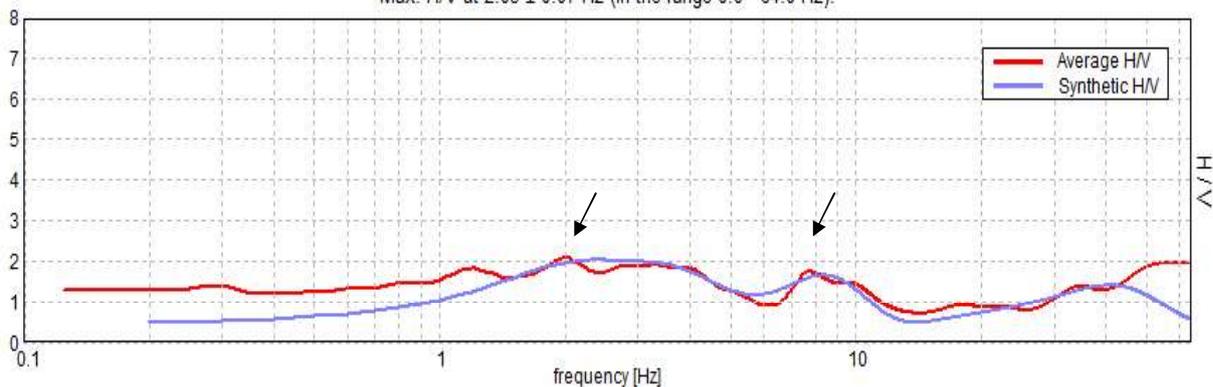
Il modello - opportunamente applicato - può invece essere considerato uno stimatore del profilo di Vs con errori confrontabili a quelli di metodi più tradizionali, per lo meno nei primi 30 m di profondità.

Di seguito sono riportati l'HVSR, gli spettri lungo la direzione N, E e verticale, i sismostrati ricavati dall'inversione e il risultato del calcolo del Vs30 a 1 metro di profondità.

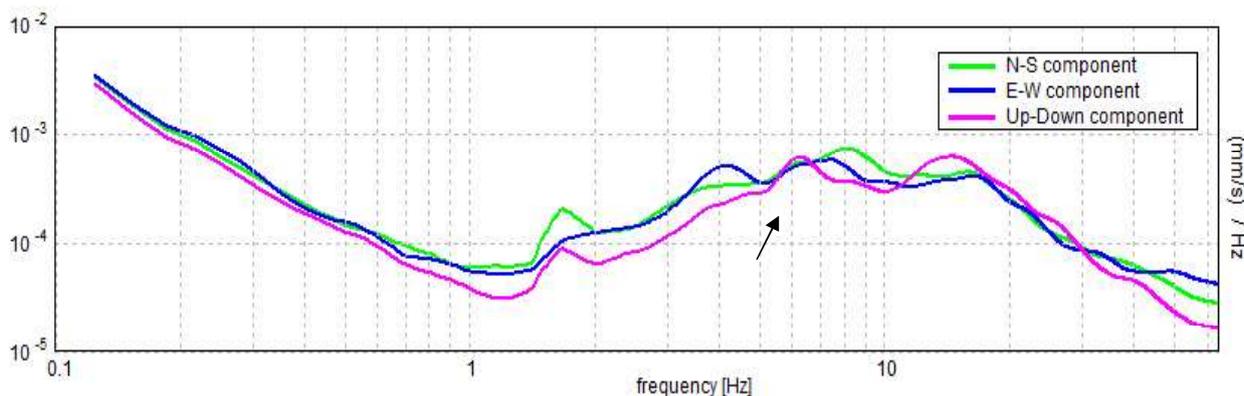
TROMINO BUCCIANO TR 01

EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 2.03 ± 0.07 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Nel grafico, l'HVSR teorico, colore blu, e quello sperimentale, nero. Con la freccia sono indicati i massimi significativi



Le frecce indicano la classica forma ad occhio degli spettri che si ha quando un'onda meccanica passa da uno strato ad un altro a rigidità diversa

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.70	0.70	122	0.45
6.20	5.50	196	0.45
27.20	21.00	358	0.45
80.20	53.00	551	0.45
inf.	inf.	672	0.45

Vs(0.0-30.0) = 308 m/s

Paolisi, 11 novembre 2011



DESCRIZIONE DELLE INDAGINI SISMICHE HVSR

- committente:	Falzarano Domenico	- data:	29 novembre 2011
- lavoro:	Ampliamento di un fabbricato	- Commessa:	W450
- località:	Via S. Giovanni - Bucciano (BN)	- Rif:	GT113
- note:			

Premessa

Le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico), sono onde meccaniche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di 10^{-4} – 10^{-2} mm e, se contengono alte frequenze (>0.5 Hz), sono *microtremori* e, se basse, *microsismi*. Le sorgenti dei microsismi sono le perturbazioni atmosferiche sugli oceani che si propagano come onde superficiali sui continenti, mentre le sorgenti dei microtremori sono le attività antropiche come il traffico veicolare, le attività industriali ect..

Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate per la stima degli effetti di sito, della velocità delle onde di taglio S, degli effetti sulle strutture delle vibrazioni (norma UNI9916) e per la loro caratterizzazione dinamica

Nel presente lavoro è stata eseguita 1 misura di vibrazioni o microtremori, per un intervallo di 20 min e con una frequenza di campionamento di 128 Hz. La misura è stata interpretata con il metodo HVSR ottenendo utili informazioni sulla frequenza di risonanza del suolo, sulla velocità delle onde S e sulla stratigrafia.

Metodologia di analisi dei microtremori

Se le sorgenti del rumore sismico possono essere considerate indipendenti e attorno al punto di misura in modo statisticamente uniforme, allora la parte 'persistente' del campo d'onda sarà quella associata alle sole caratteristiche comuni a tutti i treni d'onda presenti ossia alle caratteristiche strutturali del terreno o dell'edificio.

Da queste considerazioni emerge che, applicando procedure di tipo statistico, è possibile individuare all'interno del rumore forme persistenti che dipendono solo dalla struttura del sottosuolo o dell'edificio.

Questo modello costituisce la base per la caratterizzazione dinamica del terreno e degli edifici con tecniche passive:

- tecnica H/V o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)
- tecnica del sito di riferimento (SSR)
- tecnica del rapporto degli spettri rispetto ad un sito di riferimento

In particolare, quando un treno d'onda passa da un corpo rigido ad uno meno rigido, la sua componente orizzontale (onde rayleigh) si amplifica e quella verticale rimane invariata ossia il rapporto H/V diventa maggiore di uno.



Il metodo fu applicato applicata da Nogoshi e Igarashi (1970) in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli (es. Field e Jacob. 1993; Lachet e Bard, 1994; Lermo e Chavez-Garcia, 1993, 1994; Bard, 1998; Ibs-von Shet e Wohlenberg, 1999; Bindi et al., 2000, Fah et al., 2001; Delgado et al., 2000. Mucciarelli et al., 2001 e referenze in esso contenute, Parolai et al., 2002; Parolai et al., 2004 solo per citarne alcune) e tramite opportuna inversione, delle profondità dei substrati rocciosi sotto le coperture sedimentarie.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach et al., 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso

(es. Guillier et al., 2005). Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere in linea di principio usato come strumento stratigrafico.

Tale tecnica viene anche utilizzata (Gallipoli, Gamal, Parolai ed ali) per determinare la frequenza di risonanza degli edifici ed in tal caso si esegue il rapporto fra le componenti spettrali del moto ad un dato piano e quelle ad un piano di riferimento, in generale quello alla base dell'edificio.

Strumenti, acquisizione e elaborazione

È stato utilizzato per la misura dei microtremori il tromografo TROMINO di marca Micromed. Lo strumento dispone di 9 canali analogici connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alto guadagno (per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale, fino a 1.5 mm/s \sim), tre velocimetri a basso guadagno (per la registrazione di vibrazioni forti fino a 5 cm/s \sim) e tre accelerometri (per monitoraggio di vibrazioni fino a 5 g) disposti secondo tre direzioni ortogonali, più un canale per il segnale GPS. I velocimetri e gli accelerometri sono smorzati criticamente e trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore a dinamica non inferiore a 24 bit. Le caratteristiche progettuali di TROMINO consentono una accuratezza relativa maggiore di 10^{-4} sulle componenti spettrali al di sopra di 0.1 Hz e la frequenza dei sensori va da 0.1 Hz fino a 1024 Hz.

Dispone, inoltre, di un 1 canale analogico (es. trigger esterno per MASW/rifrazione), ricevitore GPS integrato, antenna interna e/o esterna per localizzazione e/o sincronizzazione

tra diverse unità, modulo radio per sincronizzazione tra diverse unità e trasmissione di allarmi (es. superamento di soglie)

Il moto del terreno è amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e salvato su una memoria digitale di tipo Flash. Da questa il segnale può essere trasferito ad un PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, si può archiviare e analizzare il segnale. I segnali sono sempre corretti tenendo conto della funzione di trasferimento dello strumento.

Il rumore sismico, acquisito con i canali ad alto guadagno viene registrato nelle sue tre componenti da pochi minuti (se si studiano problemi stratigrafici superficiali o edifici) a decine di minuti (se si studiano problemi stratigrafici profondi). In fase di analisi del segnale, per la tecnica dei rapporti spettrali, si procede come di seguito indicato.

1. i segnali sono filtrati con un algoritmo anti trigger per eliminare i transienti e per tenere solo la parte stazionaria del segnale
2. La registrazione viene suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno (60 sec nel caso nostro ponendo maggiore attenzione alle frequenze > 1Hz).
3. Per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segnale nelle tre componenti.
4. Per ogni segmento è calcolato lo spettro della velocità media nelle tre componenti e si lisciano secondo con una finestra triangolare con ampiezza pari al 20% della frequenza centrale,
5. Si effettua il rapporto fra la media delle componenti orizzontali e la componente verticale ottenendo L'HVSR
6. si riconoscono i picchi significativi sulla curva HVSR e si effettua l'inversione basata sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli, secondo la teoria descritta in Aki (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). L'inversione si effettua confrontando la curva sperimentale con una teorica ottenuta stabilendo un certo numero di strati ed assegnando ad essi un valore di velocità delle onde S e lo spessore. Quando le due curve sono simili, il modello teorico è quello che meglio rappresenta la situazione reale.

Operazioni di campagna e interpretazione

Nel presente lavoro si è eseguita 1 misura del rumore sismico, l'intervallo di campionamento è stato di 128 Hz e la lunghezza di 20 min.

Le registrazioni sono state trattate con il software Grilla della Micromed che calcola gli spettri delle tre componenti, l'HVSR, la direzionalità e stazionarietà del segnale e l'inversione della curva HVSR. L'inversione si basa sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh

e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli, secondo la teoria descritta in Aki (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981).

Negli ultimi anni un progetto europeo denominato SESAME (Site Effects assessment using Ambient Excitations) si è occupato di stabilire linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola ed in array. Esso ha anche fornito dei criteri per valutare la bontà delle curve HVSR e la significatività dei picchi H/V eventualmente trovati.

Per la stazione in oggetto si rappresentano:

1. i parametri di acquisizione e di elaborazione
2. l'HVSR
3. i diagrammi temporali dell'HVSR che dimostrano la persistenza temporale dell'ampiezza per ogni misura e che pertanto eliminano l'ipotesi di cause transitorie per le frequenze considerate
4. gli spettri delle tre componenti
5. il confronto fra la curva teorica sperimentale e quella sintetica ricavata con l'inversione
6. il modello di inversione della curva HVSR in formato numerico e grafico.

TROMINO BUCCIANO TR1

Instrument: TEP-0009/01-09

Start recording: 29/11/11 13:47:09 End recording: 29/11/11 14:07:10

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 88% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

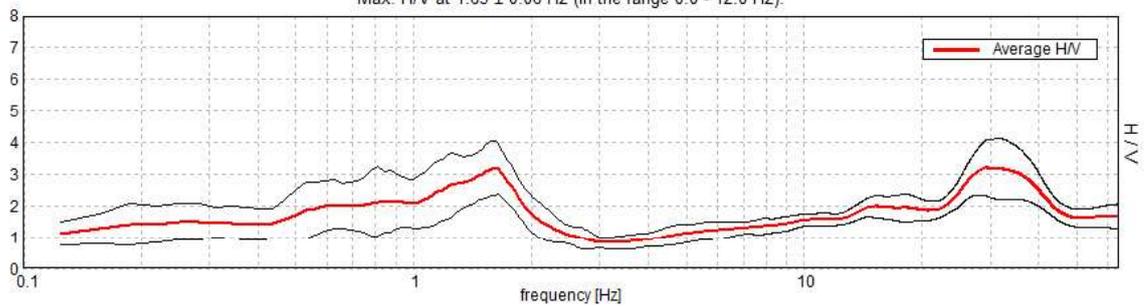
Window size: 30 s

Smoothing type: Triangular window

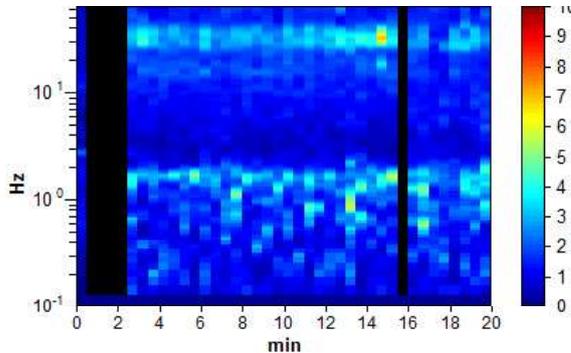
Smoothing: 15%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

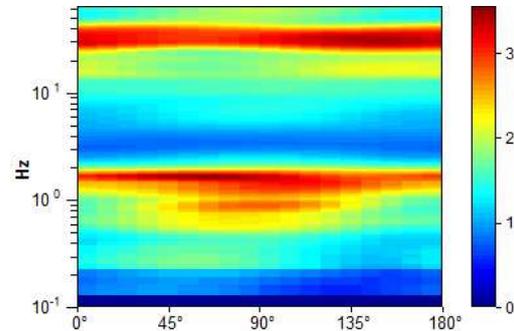
Max. H/V at 1.63 ± 0.06 Hz (in the range 0.0 - 12.0 Hz).



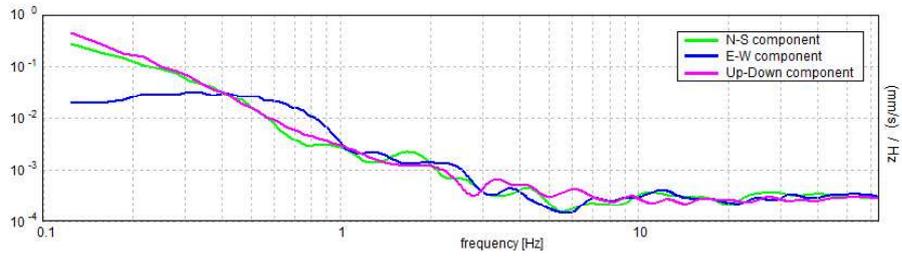
H/V TIME HISTORY



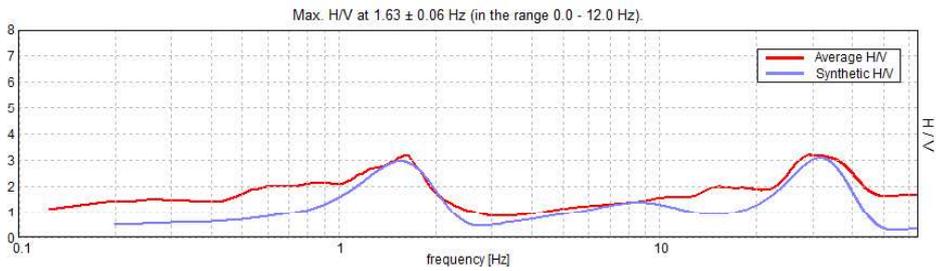
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

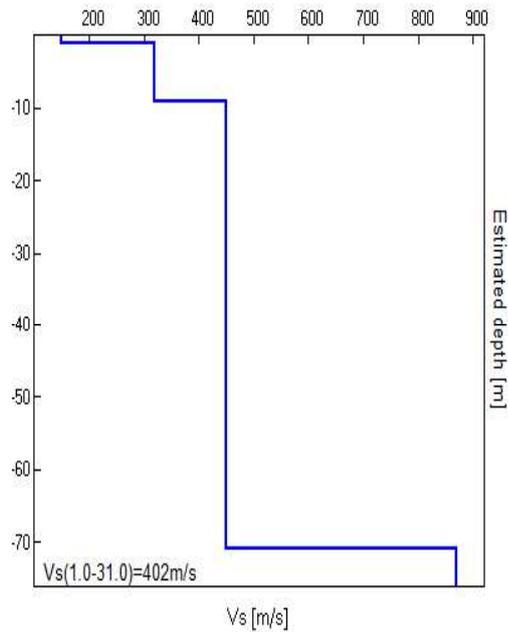


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.20	1.20	150	0.45
9.00	7.80	319	0.45
71.00	62.00	451	0.45
inf.	inf.	869	0.45

Vs(1.0-31.0) = 402 m/s



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

Max. H/V at 1.63 ± 0.06 Hz (in the range 0.0 - 12.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	1.63 > 0.33	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1706.3 > 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 79 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.469 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.094 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.19 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01892 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03075 < 0.1625$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4129 < 1.78$	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

CONCLUSIONI.

Dall'analisi dei microtremori si è ricavato l'HVSR sperimentale, che ha 2 massimi significativi. I massimi significativi soddisfano le condizioni di isodirezionalità e stazionarietà e, in corrispondenza della frequenza a cui si ha il massimo sull'HVSR, sugli spettri si osserva che si amplificano solo le componenti orizzontali (forma classica ad occhio). Tutto ciò implica che i segnali sono modificati dalla struttura geologica del sottosuolo, non da eventuali disturbi, e che i massimi rappresentano le frequenze di risonanza del sito (E' riconosciuto a livello internazionale che la tecnica H/V permette di misurare e non derivare da altri fattori la frequenza di risonanza - vedi bibliografia nel paragrafo "metodologia") .

I due picchi di frequenza si rilevano in corrispondenza delle frequenze 1.63 e 31.9 Hz. La frequenza 1.63 Hz è la frequenza fondamentale (massima ampiezza) ed il massimo relativo è dovuta al contrasto di impedenza a circa 71.0 m di profondità. Il massimo alla frequenza 31.9 Hz è dovuto al contrasto a circa 1.2 m di profondità.

Per frequenze intorno a quelle di risonanza si può avere il **fenomeno della doppia risonanza** e, pertanto, bisognerà assicurarsi che le strutture che si andranno ad edificare non abbiano le stesse frequenze.

Dove l'HVSR è maggiore di 1 si ha amplificazione del segnale sismico che con la tecnica HVSR non è quantificabile.

Una stima approssimata del fattore di amplificazione in corrispondenza della frequenza fondamentale ad 1 m di profondità è data dalla relazione:

- alla freq fond. 1.63 Hz

$$FAD \approx \frac{\bar{V}_b \bar{\rho}_b}{V_s \rho_s} = \frac{1.7 * 869}{1.69 * 417.8} = 2.1 \text{ per TR1}$$

Dove l'appendice s sta per strato soffice e b per bedrock; le Vs e densità sono quelle medie al di sopra e al di sotto della discontinuità.

L'inversione della Curva HVSR ha fornito, anche, il profilo delle velocità delle onde S e quindi il Vs₃₀, calcolato ad un metro di profondità dal p.c..

E' necessario sottolineare che, in tutti i codici che simulano la propagazione delle onde di superficie, i parametri Vp e densità sono estremamente poco influenti ai fini del modello. Ne consegue che:

IN NESSUN CASO SI PUO' RITENERE CHE IL MODELLO DIA PROFILI DI Vp E DENSITA'

Questo, sottolineiamo ancora, vale per qualsiasi codice basato sulle onde di superficie. L'implicazione diretta è che i valori di Vp e densità da introdurre nel codice possono essere praticamente qualsiasi, seppur ragionevoli

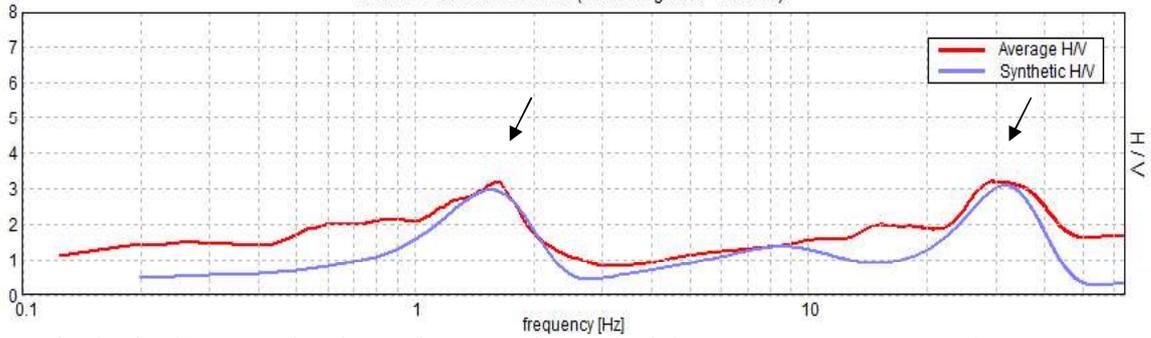
Il modello – opportunamente applicato – può invece essere considerato uno stimatore del profilo di Vs con errori confrontabili a quelli di metodi più tradizionali, per lo meno nei primi 30 m di profondità.

Di seguito sono riportati l'HVSR, gli spettri lungo la direzione N, E e verticale, i sismostrati ricavati dall'inversione e il risultato del calcolo del Vs30 a 1 metro di profondità

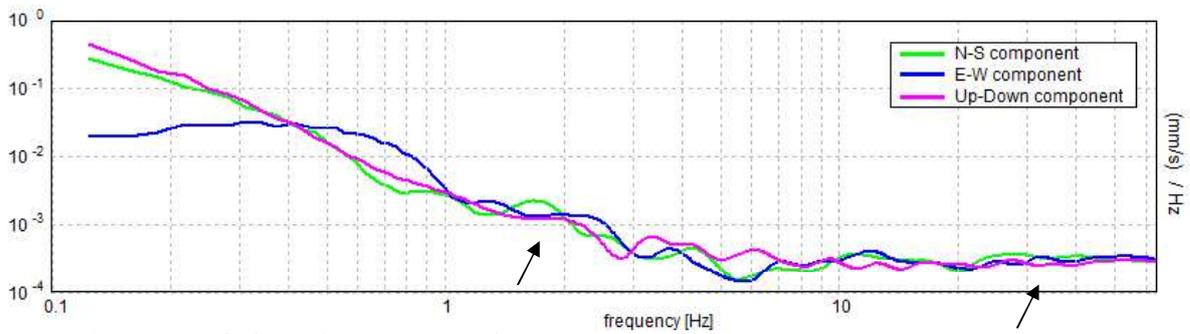
TROMINO BUCCIANO TR1

EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 1.63 ± 0.06 Hz (in the range 0.0 - 12.0 Hz).



Nel grafico, l'HVSR teorico, colore blu, e quello sperimentale, nero. Con la freccia sono indicati i massimi significativi



Le frecce indicano la classica forma ad occhio degli spettri che si ha quando un'onda meccanica passa da uno strato ad un altro a rigidità diversa

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.20	1.20	150	0.45
9.00	7.80	319	0.45
71.00	62.00	451	0.45
inf.	inf.	869	0.45

Vs(1.0-31.0) = 402 m/s

Paolisi, 23 dicembre 2011



DESCRIZIONE DELLE INDAGINI SISMICHE HVSR

- committente:	Sig.ra Matera Maria	- data:	27/08/2013
- lavoro:	Realizzazione fabbricato per civile abitazione	- Commessa:	W212
- località:	Via Provinciale - Bucciano (BN)	- Rif:	GT060
- note:			

Premessa

Le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico), sono onde meccaniche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-2} mm e, se contengono alte frequenze (>0.5 Hz), sono *microtremori* e, se basse, *microsismi*. Le sorgenti dei microsismi sono le perturbazioni atmosferiche sugli oceani che si propagano come onde superficiali sui continenti, mentre le sorgenti dei microtremori sono le attività antropiche come il traffico veicolare, le attività industriali ect..

Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate per la stima degli effetti di sito, della velocità delle onde di taglio S, degli effetti sulle strutture delle vibrazioni (norma UNI9916) e per la loro caratterizzazione dinamica

Nel presente lavoro è stato eseguita 1 misura di vibrazioni o microtremori, per un intervallo di 20 min e con una frequenza di campionamento di 128 Hz. La misura è stata interpretata con il metodo HVSR ottenendo utili informazioni sulla frequenza di risonanza del suolo, sulla velocità delle onde S e sulla stratigrafia.

Metodologia di analisi dei microtremori

Se le sorgenti del rumore sismico possono essere considerate indipendenti e attorno al punto di misura in modo statisticamente uniforme, allora la parte 'persistente' del campo d'onda sarà quella associata alle sole caratteristiche comuni a tutti i treni d'onda presenti ossia alle caratteristiche strutturali del terreno o dell'edificio.

Da queste considerazioni emerge che, applicando procedure di tipo statistico, è possibile individuare all'interno del rumore forme persistenti che dipendono solo dalla struttura del sottosuolo o dell'edificio.

Questo modello costituisce la base per la caratterizzazione dinamica del terreno e degli edifici con tecniche passive:

- tecnica H/V o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)
- tecnica del sito di riferimento (SSR)
- tecnica del rapporto degli spettri rispetto ad un sito di riferimento

In particolare, quando un treno d'onda passa da un corpo rigido ad uno meno rigido, la sua componente orizzontale (onde rayleigh) si amplifica e quella verticale rimane invariata ossia il rapporto H/V diventa maggiore di uno.

Il metodo fu applicato applicata da Nogoshi e Igarashi (1970) in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli (es. Field e Jacob. 1993; Lachet e Bard, 1994; Lermo e Chavez-Garcia, 1993, 1994; Bard, 1998; Ibs-von Shet e Wohlenberg, 1999; Bindi et al., 2000, Fah et al., 2001; Delgado et al., 2000. Mucciarelli et al., 2001 e referenze in esso contenute, Parolai et al., 2002; Parolai et al., 2004 solo per citarne alcune) e tramite opportuna inversione, delle profondità dei substrati rocciosi sotto le coperture sedimentarie.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach et al., 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier et al., 2005). Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere in linea di principio usato come strumento stratigrafico.

Tale tecnica viene anche utilizzata (Gallipoli, Gamal, Parolai ed ali) per determinare la frequenza di risonanza degli edifici ed in tal caso si esegue il rapporto fra le componenti spettrali del moto ad un dato piano e quelle ad un piano di riferimento, in generale quello alla base dell'edificio.

Strumenti, acquisizione e elaborazione

È stato utilizzato per la misura dei microtremori il tromografo TROMINO di marca Micromed. Lo strumento dispone di 9 canali analogici connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alto guadagno (per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale, fino a 1.5 mm/s \sim), tre velocimetri a basso guadagno (per la registrazione di vibrazioni forti fino a 5 cm/s \sim) e tre accelerometri (per monitoraggio di vibrazioni fino a 5 g) disposti secondo tre direzioni ortogonali, più un canale per il segnale GPS. I velocimetri e gli accelerometri sono smorzati criticamente e trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore a dinamica non inferiore a 24 bit. Le caratteristiche progettuali di TROMINO consentono una accuratezza relativa maggiore di 10^{-4} sulle componenti spettrali al di sopra di 0.1 Hz e la frequenza dei sensori va da 0.1 Hz fino a 1024 Hz.

Dispone, inoltre, di un 1 canale analogico (es. trigger esterno per MASW/rifrazione), ricevitore GPS integrato, antenna interna e/o esterna per localizzazione e/o sincronizzazione

tra diverse unità, modulo radio per sincronizzazione tra diverse unità e trasmissione di allarmi (es. superamento di soglie)

Il moto del terreno è amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e salvato su una memoria digitale di tipo Flash. Da questa il segnale può essere trasferito ad un PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, si può archiviare e analizzare il segnale. I segnali sono sempre corretti tenendo conto della funzione di trasferimento dello strumento.

Il rumore sismico, acquisto con i canali ad alto guadagno viene registrato nelle sue tre componenti da pochi minuti (se si studiano problemi stratigrafici superficiali o edifici) a decine di minuti (se si studiano problemi stratigrafici profondi). In fase di analisi del segnale, per la tecnica dei rapporti spettrali, si procede come di seguito indicato.

1. i segnali sono filtrati con un algoritmo anti trigger per eliminare i transienti e per tenere solo la parte stazionaria del segnale
2. La registrazione viene suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno (30 sec nel caso nostro ponendo maggiore attenzione alle frequenze $> 1\text{Hz}$).
3. Per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segnale nelle tre componenti.
4. Per ogni segmento è calcolato lo spettro della velocità media nelle tre componenti e si lisciano secondo con una finestra triangolare con ampiezza pari al 20% della frequenza centrale,
5. Si effettua il rapporto fra la media delle componenti orizzontali e la componente verticale ottenendo L'HVSR
6. si riconoscono i picchi significativi sulla curva HVSR e si effettua l'inversione basata sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli, secondo la teoria descritta in Aki (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). L'inversione si effettua confrontando la curva sperimentale con una teorica ottenuta stabilendo un certo numero di strati ed assegnando ad essi un valore di velocità delle onde S e lo spessore. Quando le due curve sono simili, il modello teorico è quello che meglio rappresenta la situazione reale.

Operazioni di campagna e interpretazione

Nel presente lavoro si è eseguita 1 misura del rumore sismico, l'intervallo di campionamento è stato di 128 Hz e la lunghezza di 20 min.

Le registrazioni sono state trattate con il software Grilla della Micromed che calcola gli spettri delle tre componenti, l'HVSR, la direzionalità e stazionarietà del segnale e l'inversione della curva HVSR. L'inversione si basa sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh

e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli, secondo la teoria descritta in Aki (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981).

Negli ultimi anni un progetto europeo denominato SESAME (Site Effects assessment using Ambient Excitations) si è occupato di stabilire linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola ed in array. Esso ha anche fornito dei criteri per valutare la bontà delle curve HVSR e la significatività dei picchi H/V eventualmente trovati.

Per la stazione in oggetto si rappresentano:

1. i parametri di acquisizione e di elaborazione
2. l'HVSR
3. i diagrammi temporali dell'HVSR che dimostrano la persistenza temporale dell'ampiezza per ogni misura e che pertanto eliminano l'ipotesi di cause transitorie per le frequenze considerate
4. gli spettri delle tre componenti
5. il confronto fra la curva teorica sperimentale e quella sintetica ricavata con l'inversione
6. il modello di inversione della curva HVSR in formato numerico e grafico.

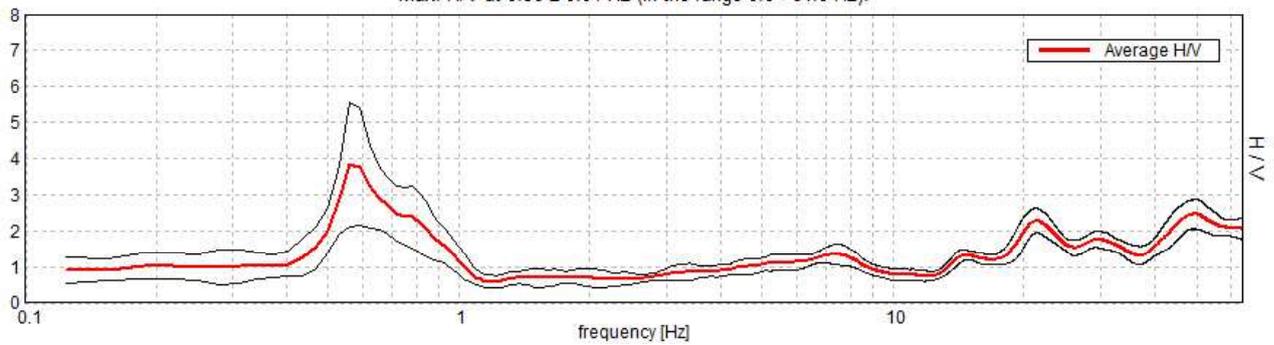
TROMINO BUCCIANO – TR01

Instrument: TEP-0009/01-09
 Start recording: 27/08/13 12:20:17 End recording: 27/08/13 12:40:17
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
 GPS data not available

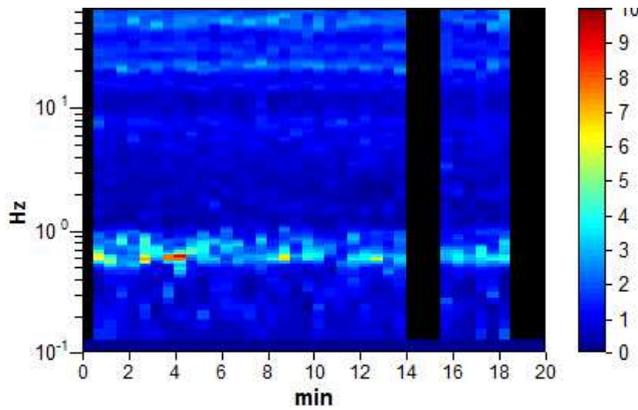
Trace length: 0h20'00". Analyzed 82% trace (manual window selection)
 Sampling rate: 128 Hz
 Window size: 30 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

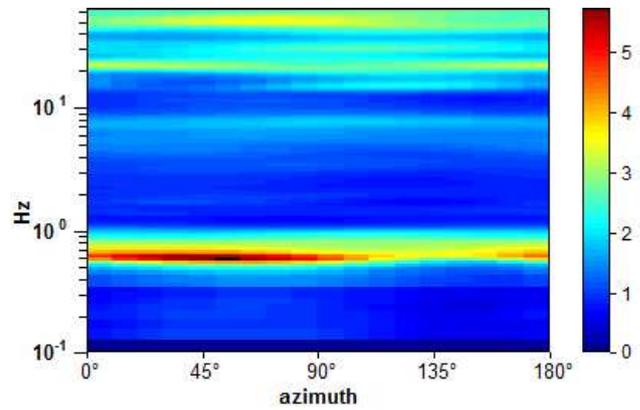
Max. H/V at 0.56 ± 0.01 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



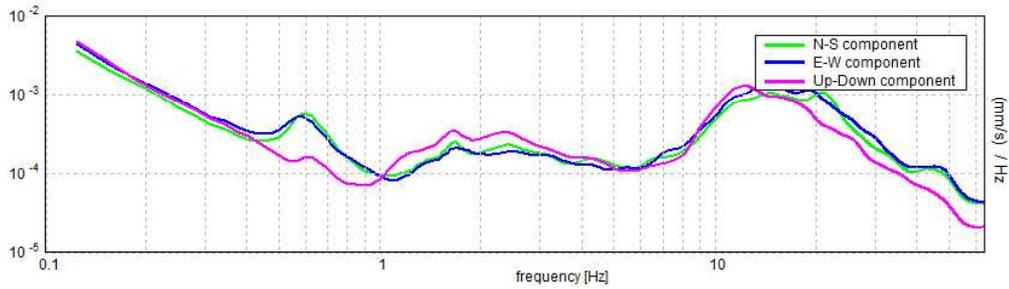
H/V TIME HISTORY



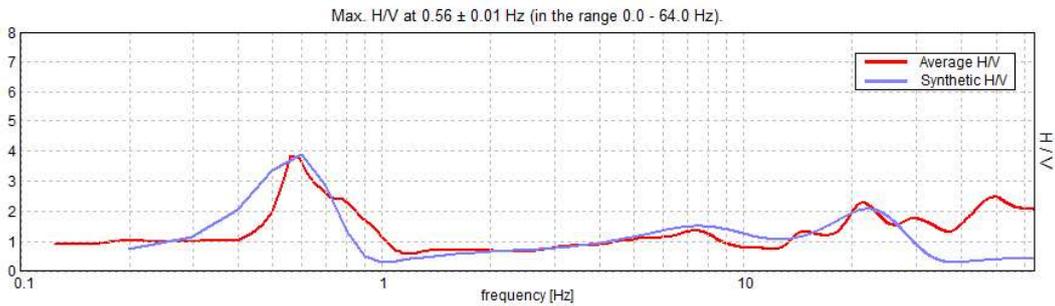
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

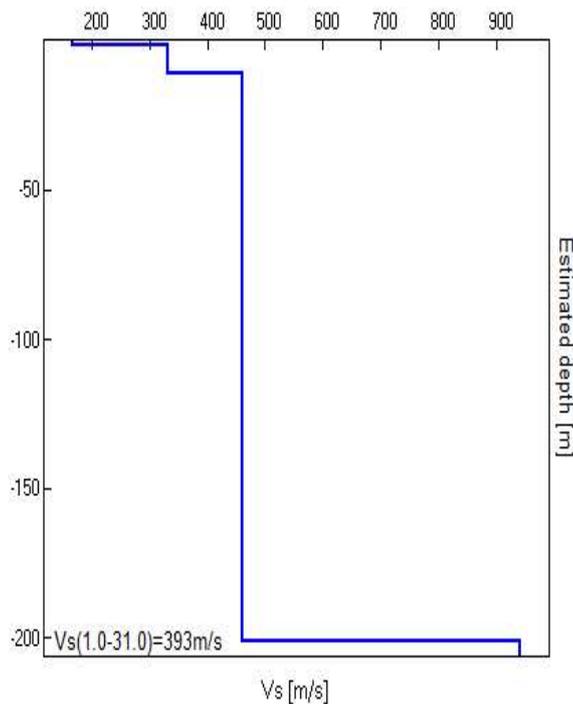


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.90	1.90	167	0.45
10.90	9.00	331	0.45
200.90	190.00	460	0.45
inf.	inf.	941	0.45

Vs(1.0-31.0) = 393 m/s



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

Max. H/V at 0.56 ± 0.01 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.56 > 0.33$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$556.9 > 200$	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 28 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.469 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.875 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.84 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01675 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00942 < 0.08438$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.7191 < 2.0$	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

CONCLUSIONI.

Dall'analisi dei microtremori si è ricavato l'HVSR sperimentale che mostra 3 massimi significativi. I massimi significativi soddisfano le condizioni di isodirezionalità e stazionarietà e, in corrispondenza della frequenza a cui si ha il massimo sull'HVSR, sugli spettri si osserva che si amplificano solo le componenti orizzontali (forma classica ad occhio). Tutto ciò implica che i segnali sono modificati dalla struttura geologica del sottosuolo, non da eventuali disturbi, e che i massimi rappresentano le frequenze di risonanza del sito (E' riconosciuto a livello internazionale che la tecnica H/V permette di misurare e non derivare da altri fattori la frequenza di risonanza - vedi bibliografia nel paragrafo "metodologia") .

I picchi di frequenza si rilevano in corrispondenza delle frequenze 20.97, 7.6 e 0.56 Hz.

La frequenza 0.56 Hz è la frequenza fondamentale ed il massimo è dovuto al contrasto di impedenza a 200.9 m di profondità. Il massimo alla frequenza 7.6 Hz è dovuto al contrasto di impedenza a 10.9 m. Il massimo alla frequenza 20.97 Hz è dovuto al contrasto di impedenza a 1.9 m.

Per frequenze intorno a quelle di risonanza si può avere il **fenomeno della doppia risonanza** e, pertanto, bisognerà assicurarsi che le strutture che si andranno ad edificare non abbiano le stesse frequenze.

Dove l'HVSR è maggiore di 1 si ha amplificazione del segnale sismico che con la tecnica HVSR non è quantificabile. Una stima approssimata del fattore di amplificazione, ad 1 m di profondità, è data dalla relazione:

- in corrispondenza della frequenza freq. 0.56 Hz

$$FAD=(V_b*\rho_b)/(V_s*\rho_s)=(2.0*941)/(1.79*448.6)= 2.3 \text{ per TR1}$$

Dove l'appendice s sta per strato soffice e b per bedrock; le Vs e densità sono quelle medie al di sopra e al di sotto della discontinuità.

Il FAD, sia se non ricade nel campo dello spettro NTC 2008 ad accelerazione costante, sia se maggiore di quello della normativa, F_0 , indica che adottando gli spettri NTC 2008 si ha una sottostima dell'azione sismica.

L'inversione della Curva HVSR ha fornito, anche, il profilo delle velocità delle onde S e quindi il V_{s30} , calcolato ad un metro di profondità dal p.c..

E' necessario sottolineare che, in tutti i codici che simulano la propagazione delle onde di superficie, i parametri Vp e densità sono estremamente poco influenti ai fini del modello. Ne consegue che:

IN NESSUN CASO SI PUO' RITENERE CHE IL MODELLO DIA PROFILI DI Vp E DENSITA'

Questo, sottolineiamo ancora, vale per qualsiasi codice basato sulle onde di superficie. L'implicazione diretta è che i valori di Vp e densità da introdurre nel codice possono essere praticamente qualsiasi, seppur ragionevoli

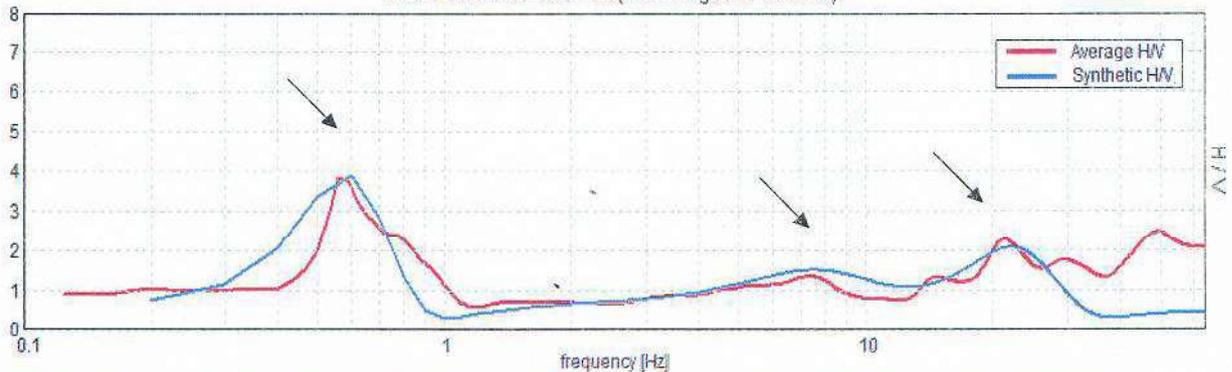
Il modello - opportunamente applicato - può invece essere considerato uno stimatore del profilo di Vs con errori confrontabili a quelli di metodi più tradizionali, per lo meno nei primi 30 m di profondità.

Di seguito sono riportati l'HVSR, gli spettri lungo la direzione N, E e verticale, i sismostrati ricavati dall'inversione e il risultato del calcolo del Vs30 a 1 metro di profondità

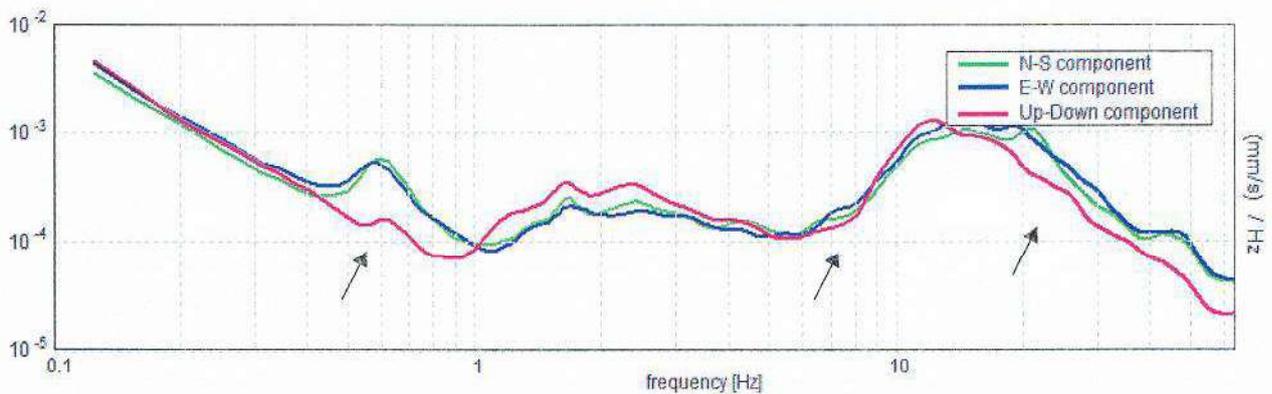
TROMINO BUCCIANO - TR01

EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 0.56 ± 0.01 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Nel grafico, l'HVSR teorico, colore blu, e quello sperimentale, nero. Con la freccia sono indicati i massimi significativi.



Le frecce indicano la classica forma ad occhio degli spettri che si ha quando un'onda meccanica passa da uno strato ad un altro a rigidità diversa

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.90	1.90	167	0.45
10.90	9.00	331	0.45
200.90	190.00	460	0.45
inf.	inf.	941	0.45

Vs(1.0-31.0) = 393 m/s

Paolisi, 10 settembre 2013

Tecnogeo Srl
IL RESPONSABILE DELL'INDAGINE
GEOL. MAURIZIO GALLO

(Handwritten signature and official stamp of Tecnogeo Srl and Italsoa S.p.A. are present)