

**ELETTRODOTTO 380 KV IN DOPPIA TERNA "UDINE OVEST - REDIPUGLIA"  
ED OPERE CONNESSE**

**INDAGINI SISMICHE**



**VENTURINI E ASSOCIATI - studio di geologia**  
dott. geol. Pierluigi Venturini – dott. geol. Piero Feralli  
Corso A. Diaz n. 64 - 47121 Forlì  
Tel. 0543/30793 – 0543/20127 Fax. 0543/39358  
email: venturinieassociati@virgilio.it



*Feralli*

*Venturini*

**Storia delle revisioni**

Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Verificato
00	04/06/2014	Prima emissione	VenturinieAssociati	VenturinieAssociati

**Storia delle revisioni**

Rev.	Data	Descrizione
Rev. 00	Del 04/06/2014	Prima emissione

Elaborato	Verificato	Approvato
	ING -REA_ APRI NE	ING -REA_ APRI NE

Nel presente elaborato vengono rappresentati i risultati della campagna di indagini geofisiche eseguita secondo lo schema delle tabelle di seguito allegate:

	TRATTO NORD		RACCORDO UDINE NORD EST - UDINE SUD		VARIANTE PLANAIS - REDIPUGLIA		VARIANTE PLANAIS - UDINE OVEST		TRATTO SUD	
	N° sostegno	Geofisica	N° sostegno	Geofisica	N° sostegno	Geofisica	N° sostegno	Geofisica	N° sostegno	Geofisica
1			38A	-	184A	-	55A	-	PC 1	Prova PC1
2	Prova 2		39A	-	185A	-	56 BIS	-	2 (57)	
3			40A	-	186A	-	58A	-	3 (58)	
4			41A	-	187A	-	58 BIS	-	4 (59)	
5			42A	Prova 42A	188A	-	59A	-	5 (60)	
6			43A	-	189A	-	59 BIS	-	6 (61)	
7			44A	-					7 (62)	
8									8 (63)	
9									9 (64)	
10									10 (65)	
11									11 (66)	
12	Prova 12								12 (67)	
13									13 (68)	Prova 68
14									14 (69)	
15									15 (70)	
16									16 (71)	
17									17 (72)	
18									18 (73)	
19									19 (74)	
20									20 (75)	
21									21 (76)	
22									22 (77)	
23									23 (78)	
24									24 (79)	
25									25 (80)	
26									26 (81)	
27									27 (82)	
28	Prova 28								28 (83)	
29									29 (84)	
30									30 (85)	
31									31 (86)	
32									32 (87)	
33									33 (88)	Prova 88
34									34 (89)	
35									35 (90)	
36									36 (91)	
37									37 (92)	
38									38 (93)	
39									39 (94)	
40									40 (95)	
41									41 (96)	
42	Prova 42								42 (97)	
43									43 (98)	
44									44 (99)	
45									45 (100)	Prova 100
46									46 (101)	
47									47 (102)	
48									48 (103)	
49									49 (104)	
50									50 (105)	
51									51 (106)	
52									52 (107)	
53									53 (108)	
54									54 (109)	
55									55 (110)	
56									56 (111)	
									57 (112)	
									58 (113)	
									59 (114)	Prova St. Redipuglia

L'indagine è stata espletata mediante l'esecuzione di un totale di n° 10 indagini di sismica passiva a stazione singola con metodologia HVSR, ubicate in corrispondenza delle coordinate riportate sui documenti di prova, nelle immediate vicinanze del sostegno di riferimento.

Relativamente alle caratteristiche dell'apparecchiatura per l'esecuzione delle prove geofisiche si rimanda alle specifiche relazioni tecniche, di seguito allegate.



**INTERGEO** s.r.l. - **Servizi Geologici**

Società a Socio Unico

Via Rancaglia, 37 47899 Serravalle - RSM

Codice Operatore Economico - SM21197

Tel. 333 2208376

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

---

**Località:**

**Udine (UD) - Pilone P 2**

**Oggetto:**

**Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR**

**Data:**

**Marzo 2014**

## Premessa

Il giorno 03/03/2014 a Udine (UD) - Pilone P 2 è stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) per fornire la categoria di suolo di fondazione, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2008), ex DM 14/09/2005;

## Strumentazione utilizzata e modalità esecutive

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico mostrato in figura 1.



Fig. 1

Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore.

Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, vengono analizzati ed elaborati come mostrato in seguito.

## Procedura di analisi dati per stazione singola H/V

Dall'elaborazione della registrazione del rumore sismico ambientale, è stata ricavata la curva H/V (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) (Pag. 4).

Il grafico H/V TIME HISTORY (Pag. 4) mostra le “finestre temporali” analizzate per l'elaborazione della curva H/V e permette di individuare eventuali finestre di disturbo all'interno di una registrazione.

Il grafico DIRECTIONAL H/V (Pag. 4) rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord segnato sullo strumento (da 180° a 360° i risultati sono simmetrici). Questo permette di vedere se una componente orizzontale prevale sull'altra: cioè se la media HVSR riceve più il contributo da parte di un componente orizzontale.

In seguito, il grafico SINGLE COMPONENT SPECTRA (Pag. 5), mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S\_E-O\_Verticale).

In base alle conoscenze stratigrafiche, utilizzando la curva H/V, è stato possibile realizzare su di essa un modello sintetico di Vs (EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V) (Pag. 5) seguendo inoltre le linee guida Sesame, 2005 (Pag. 6).

Infine viene calcolata la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di terreno ai sensi di legge (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, ex DM 14/09/2005) con la seguente formula:

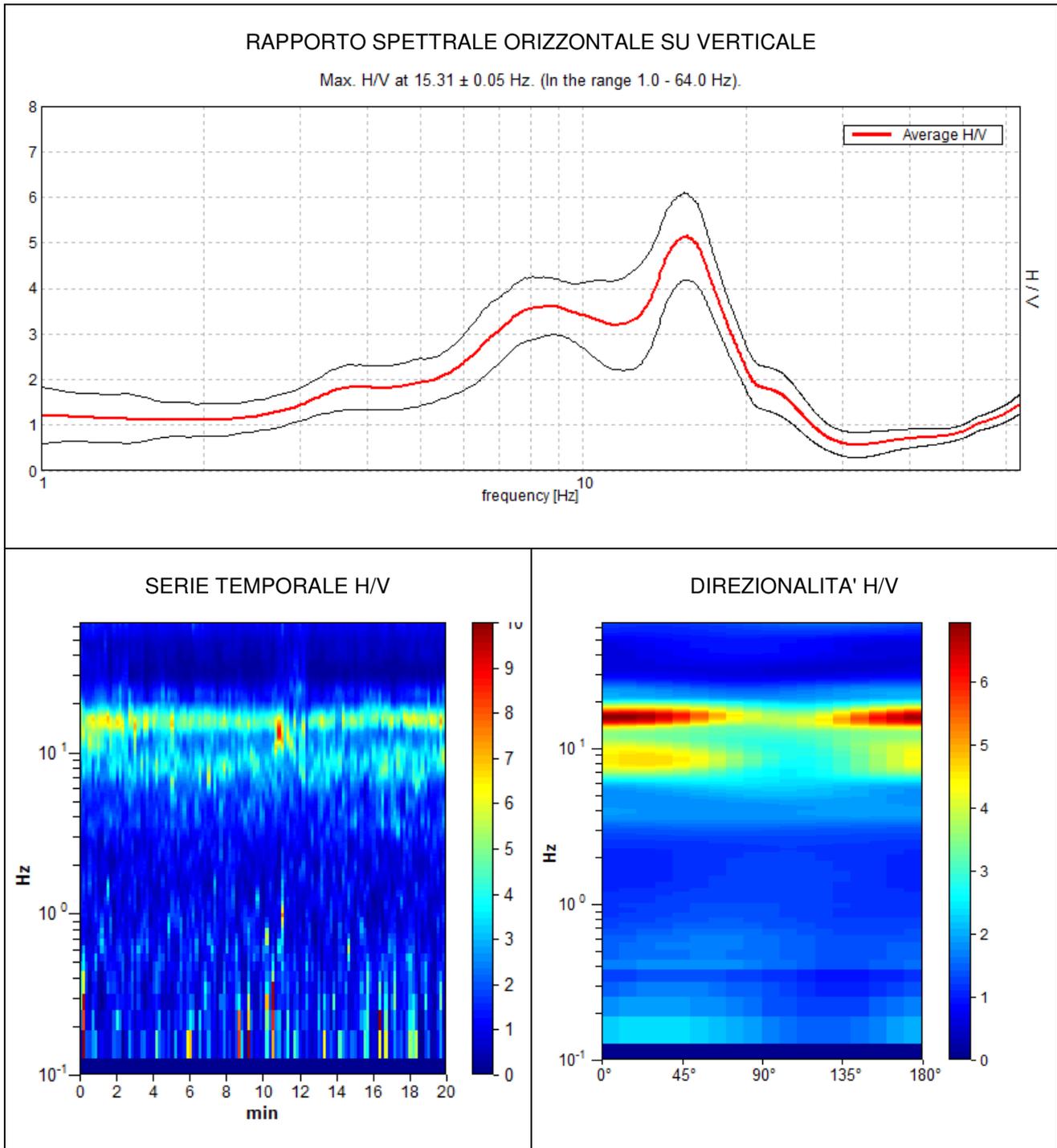
$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{Vs_i}}$$

dove  $h_i$  e  $Vs_i$  sono spessori e velocità dei singoli strati.

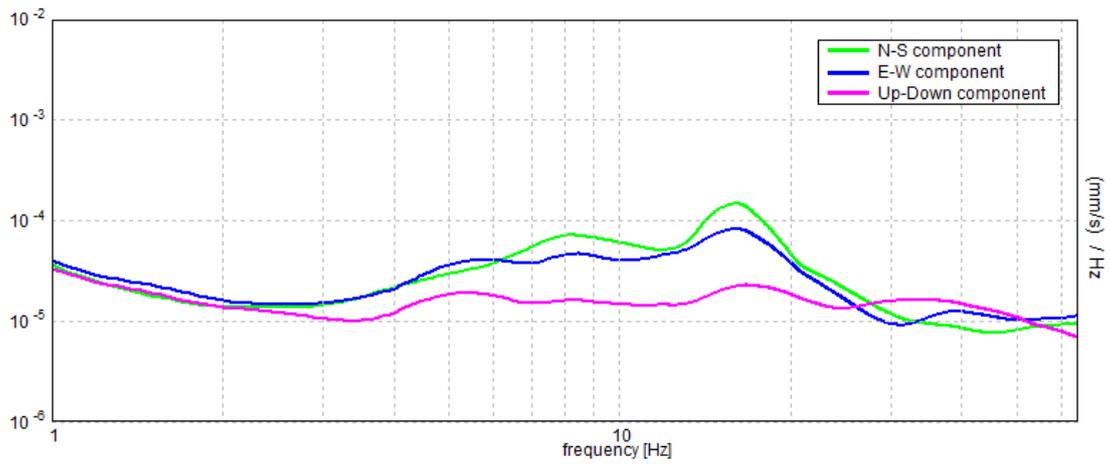
## UDINE - PILONE 2

Inizio registrazione: 03/03/14 09:47:26 Fine registrazione: 03/03/14 10:07:27  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS: 46.040422 – 13.132905

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 10 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 20%

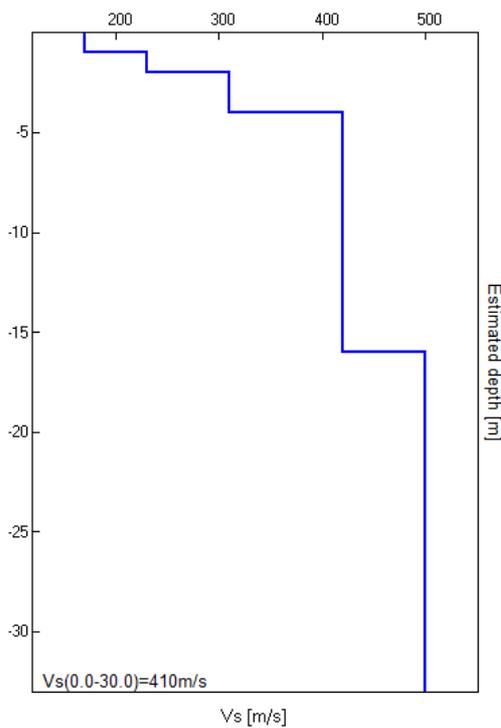
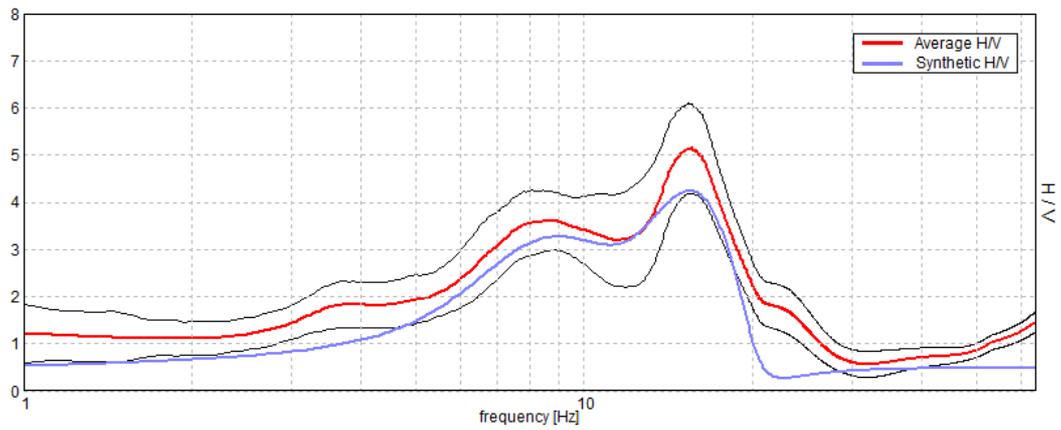


## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



## H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at  $15.31 \pm 0.05$  Hz. (In the range 1.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	170
2.00	1.00	230
4.00	2.00	310
16.00	12.00	420
inf.	inf.	500

Vs(0.0-30.0)=410m/s

**Picco H/V a  $15.31 \pm 0.05$  Hz (nell'intervallo 1.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$15.31 > 1.00$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$18375.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 368	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.25 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	19.5 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$5.14 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00157  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02412 < 0.76563$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4806 < 1.58$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$**

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**According to the Sesame, 2005 guidelines.**

Con la determinazione delle onde di taglio  $V_s$  i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2008\_Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Dall'analisi dell'indagine si può affermare che il sito è caratterizzato dalle seguenti velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ):

profondità di calcolo	$V_{s30}$ m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	410	B
1,00-31,00mt.	432	B
2,00-32,00mt.	448	B
3,00-33,00mt.	456	B
4,00-34,00mt.	465	B



**INTERGEO** s.r.l. - **Servizi Geologici**

Società a Socio Unico

Via Rancaglia, 37 47899 Serravalle - RSM

Codice Operatore Economico - SM21197

Tel. 333 2208376

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

---

**Località:**

**Udine (UD) - Pilone P 12**

**Oggetto:**

**Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR**

**Data:**

**Marzo 2014**

## Premessa

Il giorno 03/03/2014 a Udine (UD) - Pilone P 12 è stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) per fornire la categoria di suolo di fondazione, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2008), ex DM 14/09/2005;

## Strumentazione utilizzata e modalità esecutive

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico mostrato in figura 1.



Fig. 1

Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore.

Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, vengono analizzati ed elaborati come mostrato in seguito.

## Procedura di analisi dati per stazione singola H/V

Dall'elaborazione della registrazione del rumore sismico ambientale, è stata ricavata la curva H/V (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) (Pag. 4).

Il grafico H/V TIME HISTORY (Pag. 4) mostra le “finestre temporali” analizzate per l'elaborazione della curva H/V e permette di individuare eventuali finestre di disturbo all'interno di una registrazione.

Il grafico DIRECTIONAL H/V (Pag. 4) rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord segnato sullo strumento (da 180° a 360° i risultati sono simmetrici). Questo permette di vedere se una componente orizzontale prevale sull'altra: cioè se la media HVSR riceve più il contributo da parte di un componente orizzontale.

In seguito, il grafico SINGLE COMPONENT SPECTRA (Pag. 5), mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S\_E-O\_Verticale).

In base alle conoscenze stratigrafiche, utilizzando la curva H/V, è stato possibile realizzare su di essa un modello sintetico di Vs (EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V) (Pag. 5) seguendo inoltre le linee guida Sesame, 2005 (Pag. 6).

Infine viene calcolata la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di terreno ai sensi di legge (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, ex DM 14/09/2005) con la seguente formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono spessori e velocità dei singoli strati.

## UDINE - PILONE 12

Strumento: TRZ-0080/01-10

Inizio registrazione: 03/03/14 17:10:39 Fine registrazione: 03/03/14 17:30:40

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS: 46.009463 – 13.133322

Durata registrazione: 0h20'00".

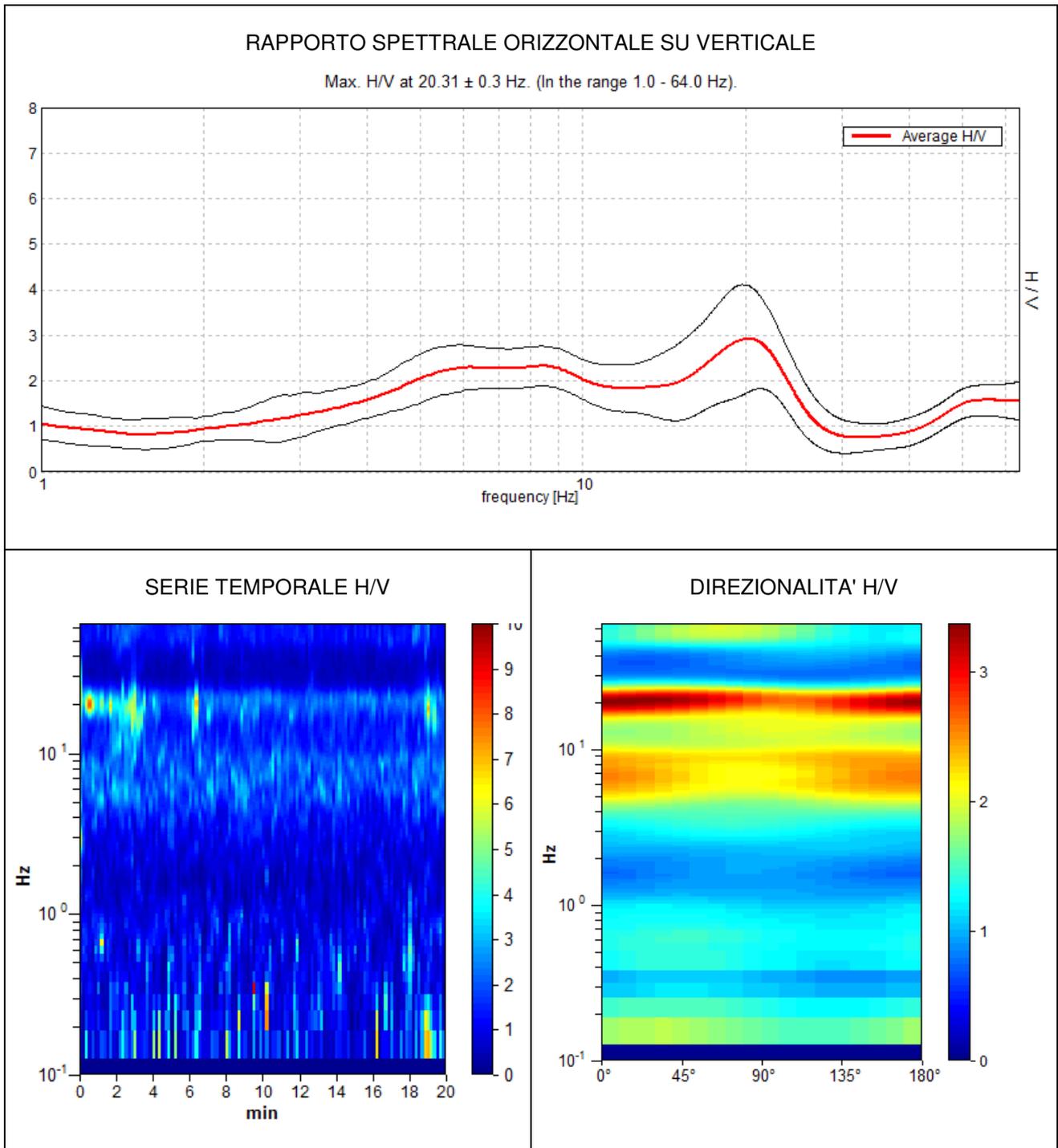
Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

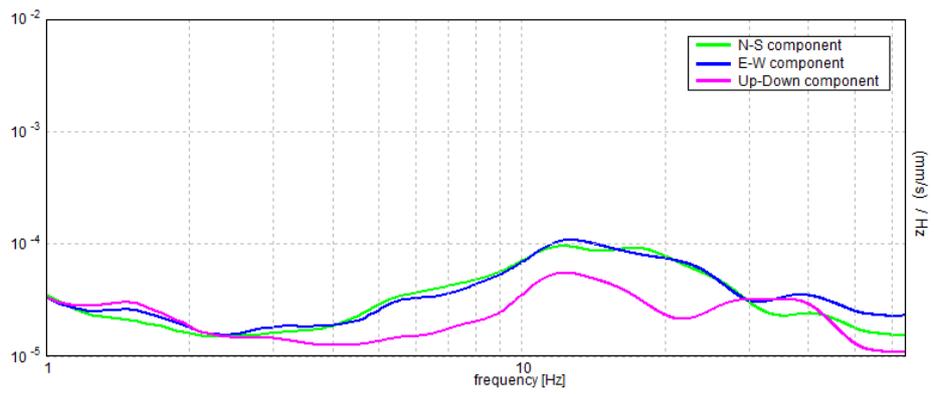
Lunghezza finestre: 10 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 20%

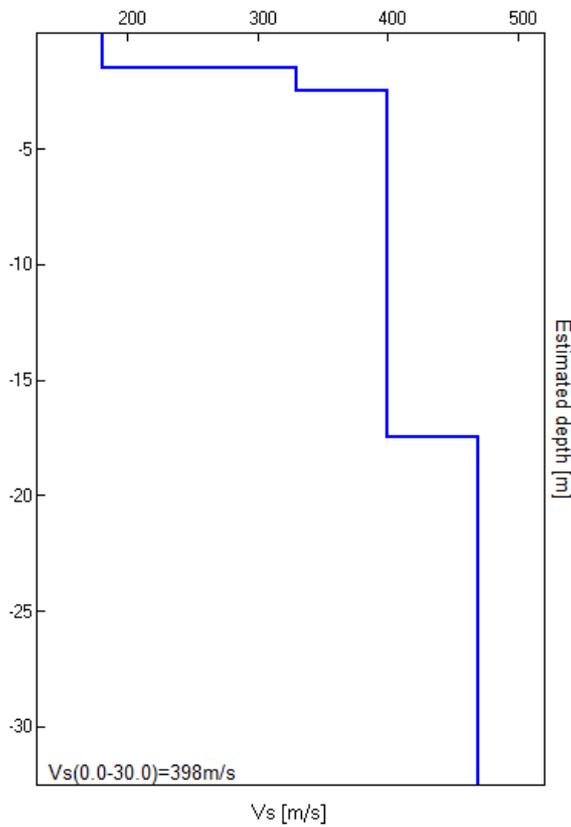
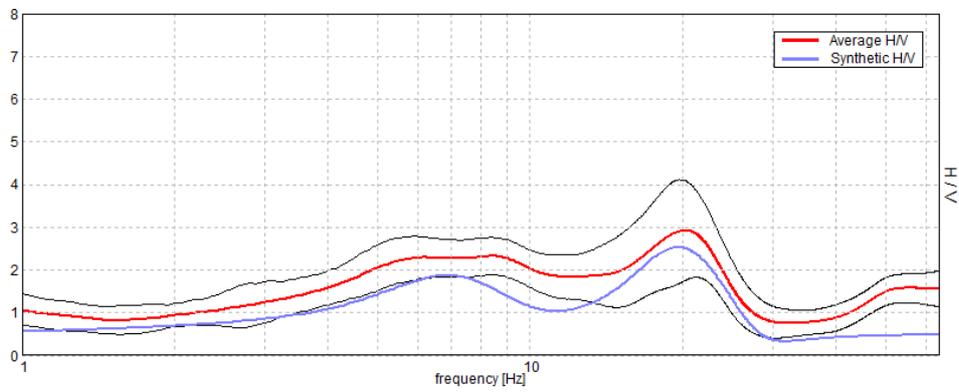


## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



## H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at  $20.31 \pm 0.3$  Hz. (In the range 1.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.50	1.50	180
2.50	1.00	330
17.50	15.00	400
inf.	inf.	470

$Vs(0.0-30.0)=398\text{m/s}$

**Picco H/V a  $20.31 \pm 0.3$  Hz (nell'intervallo 1.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$20.31 > 1.00$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$24375.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 488	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			<b>NO</b>
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	25.438 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	2.92 > 2	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.00741  < 0.05$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.15056 < 1.01563$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.5807 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$**

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**According to the Sesame, 2005 guidelines.**

Con la determinazione delle onde di taglio  $V_s$  i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2008\_Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Dall'analisi dell'indagine si può affermare che il sito è caratterizzato dalle seguenti velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ):

profondità di calcolo	$V_{s30}$ m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	398	B
1,00-31,00mt.	416	B
2,00-32,00mt.	429	B
3,00-33,00mt.	433	B
4,00-34,00mt.	436	B



**INTERGEO** s.r.l. - **Servizi Geologici**

Società a Socio Unico

Via Rancaglia, 37 47899 Serravalle - RSM

Codice Operatore Economico - SM21197

Tel. 333 2208376

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

---

**Località:**

**Udine (UD) - Pilone P 28**

**Oggetto:**

**Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR**

**Data:**

**Marzo 2014**

## Premessa

Il giorno 04/03/2014 a Udine (UD) - Pilone P 28 è stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) per fornire la categoria di suolo di fondazione, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2008), ex DM 14/09/2005;

## Strumentazione utilizzata e modalità esecutive

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico mostrato in figura 1.



Fig. 1

Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore.

Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, vengono analizzati ed elaborati come mostrato in seguito.

## Procedura di analisi dati per stazione singola H/V

Dall'elaborazione della registrazione del rumore sismico ambientale, è stata ricavata la curva H/V (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) (Pag. 4).

Il grafico H/V TIME HISTORY (Pag. 4) mostra le “finestre temporali” analizzate per l'elaborazione della curva H/V e permette di individuare eventuali finestre di disturbo all'interno di una registrazione.

Il grafico DIRECTIONAL H/V (Pag. 4) rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord segnato sullo strumento (da 180° a 360° i risultati sono simmetrici). Questo permette di vedere se una componente orizzontale prevale sull'altra: cioè se la media HVSR riceve più il contributo da parte di un componente orizzontale.

In seguito, il grafico SINGLE COMPONENT SPECTRA (Pag. 5), mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S\_E-O\_Verticale).

In base alle conoscenze stratigrafiche, utilizzando la curva H/V, è stato possibile realizzare su di essa un modello sintetico di Vs (EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V) (Pag. 5) seguendo inoltre le linee guida Sesame, 2005 (Pag. 6).

Infine viene calcolata la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di terreno ai sensi di legge (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, ex DM 14/09/2005) con la seguente formula:

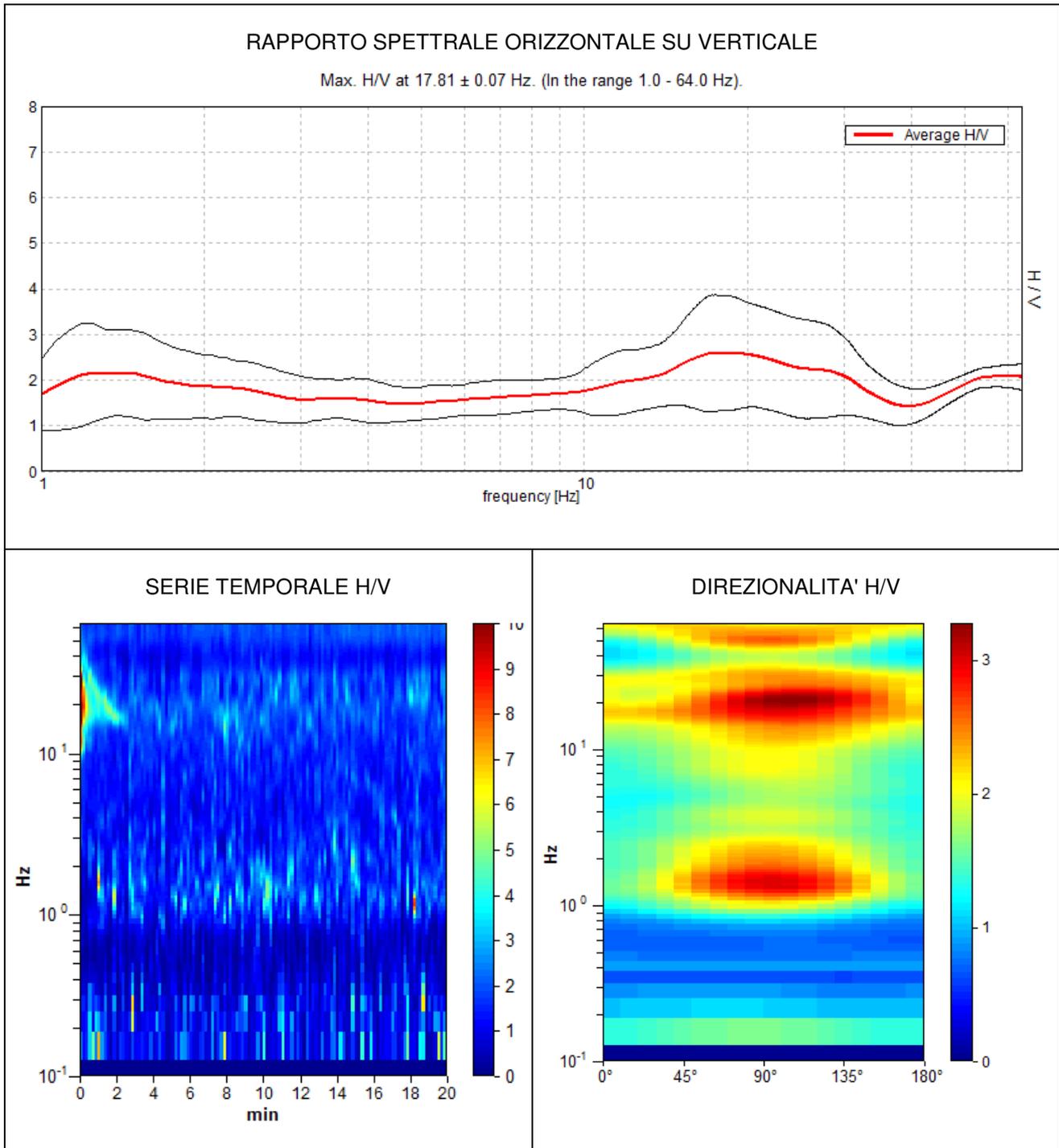
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono spessori e velocità dei singoli strati.

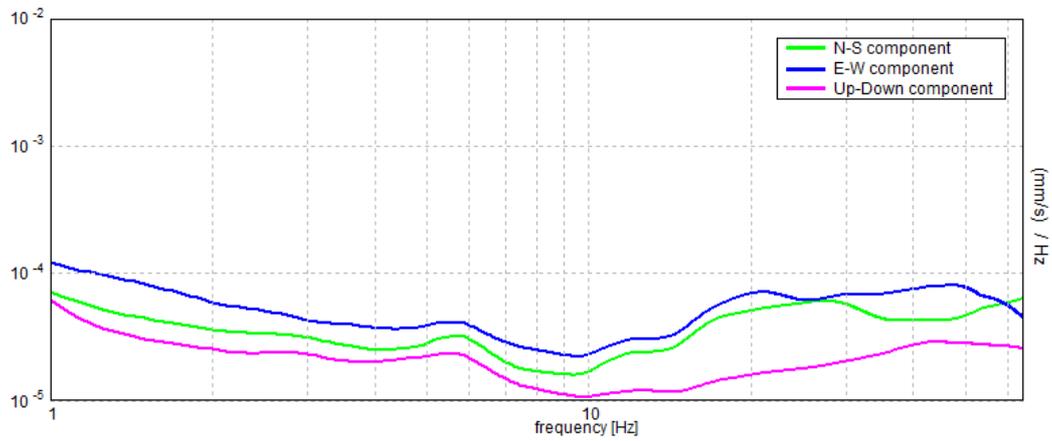
## UDINE - PILONE 28

Inizio registrazione: 04/03/14 16:22:20 Fine registrazione: 04/03/14 16:42:21  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS: 45.976670 – 13.175027

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 10 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 20%

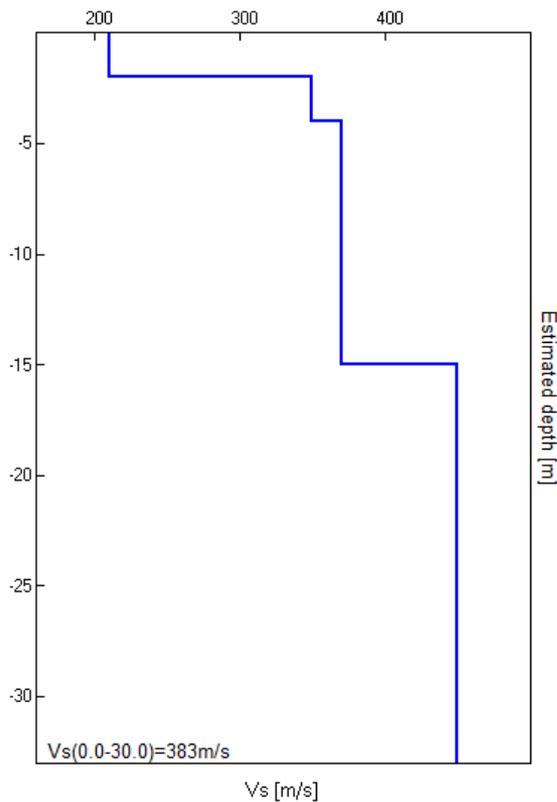
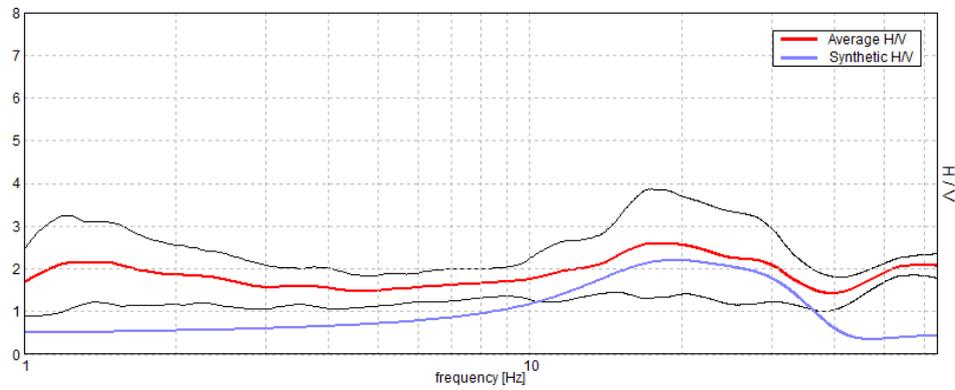


## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



## H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at  $17.81 \pm 0.07$  Hz. (In the range 1.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
2.00	2.00	210
4.00	2.00	350
15.00	11.00	370
inf.	inf.	450

Vs(0.0-30.0)=383m/s

**Picco H/V a 17.81 ± 0.07 Hz (nell'intervallo 1.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	17.81 > 1.00	OK	
$n_c(f_0) > 200$	21375.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 428	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			<b>NO</b>
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	21.964 Hz	OK	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	2.59 > 2	OK	
<b><math>f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.00201  < 0.05$	OK	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.03573 < 0.89063$	OK	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.636 < 1.58$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$**

Intervallo di freq. [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**According to the Sesame, 2005 guidelines.**

Con la determinazione delle onde di taglio  $V_s$  i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2008\_Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Dall'analisi dell'indagine si può affermare che il sito è caratterizzato dalle seguenti velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ):

profondità di calcolo	$V_{s30}$ m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	383	B
1,00-31,00mt.	396	B
2,00-32,00mt.	410	B
3,00-33,00mt.	413	B
4,00-34,00mt.	417	B



**INTERGEO** s.r.l. - **Servizi Geologici**

Società a Socio Unico

Via Rancaglia, 37 47899 Serravalle - RSM

Codice Operatore Economico - SM21197

Tel. 333 2208376

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

---

**Località:**

**Udine (UD) - Pilone P 42 A - Variante P 3**

**Oggetto:**

**Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR**

**Data:**

**Marzo 2014**

## Premessa

Il giorno 05/03/2014 a Udine (UD) - Pilone P 42 A Variante P 3 è stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) per fornire la categoria di suolo di fondazione, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2008), ex DM 14/09/2005;

## Strumentazione utilizzata e modalità esecutive

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico mostrato in figura 1.



Fig. 1

Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore.

Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, vengono analizzati ed elaborati come mostrato in seguito.

## Procedura di analisi dati per stazione singola H/V

Dall'elaborazione della registrazione del rumore sismico ambientale, è stata ricavata la curva H/V (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) (Pag. 4).

Il grafico H/V TIME HISTORY (Pag. 4) mostra le “finestre temporali” analizzate per l'elaborazione della curva H/V e permette di individuare eventuali finestre di disturbo all'interno di una registrazione.

Il grafico DIRECTIONAL H/V (Pag. 4) rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord segnato sullo strumento (da 180° a 360° i risultati sono simmetrici). Questo permette di vedere se una componente orizzontale prevale sull'altra: cioè se la media HVSR riceve più il contributo da parte di un componente orizzontale.

In seguito, il grafico SINGLE COMPONENT SPECTRA (Pag. 5), mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S\_E-O\_Verticale).

In base alle conoscenze stratigrafiche, utilizzando la curva H/V, è stato possibile realizzare su di essa un modello sintetico di Vs (EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V) (Pag. 5) seguendo inoltre le linee guida Sesame, 2005 (Pag. 6).

Infine viene calcolata la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di terreno ai sensi di legge (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, ex DM 14/09/2005) con la seguente formula:

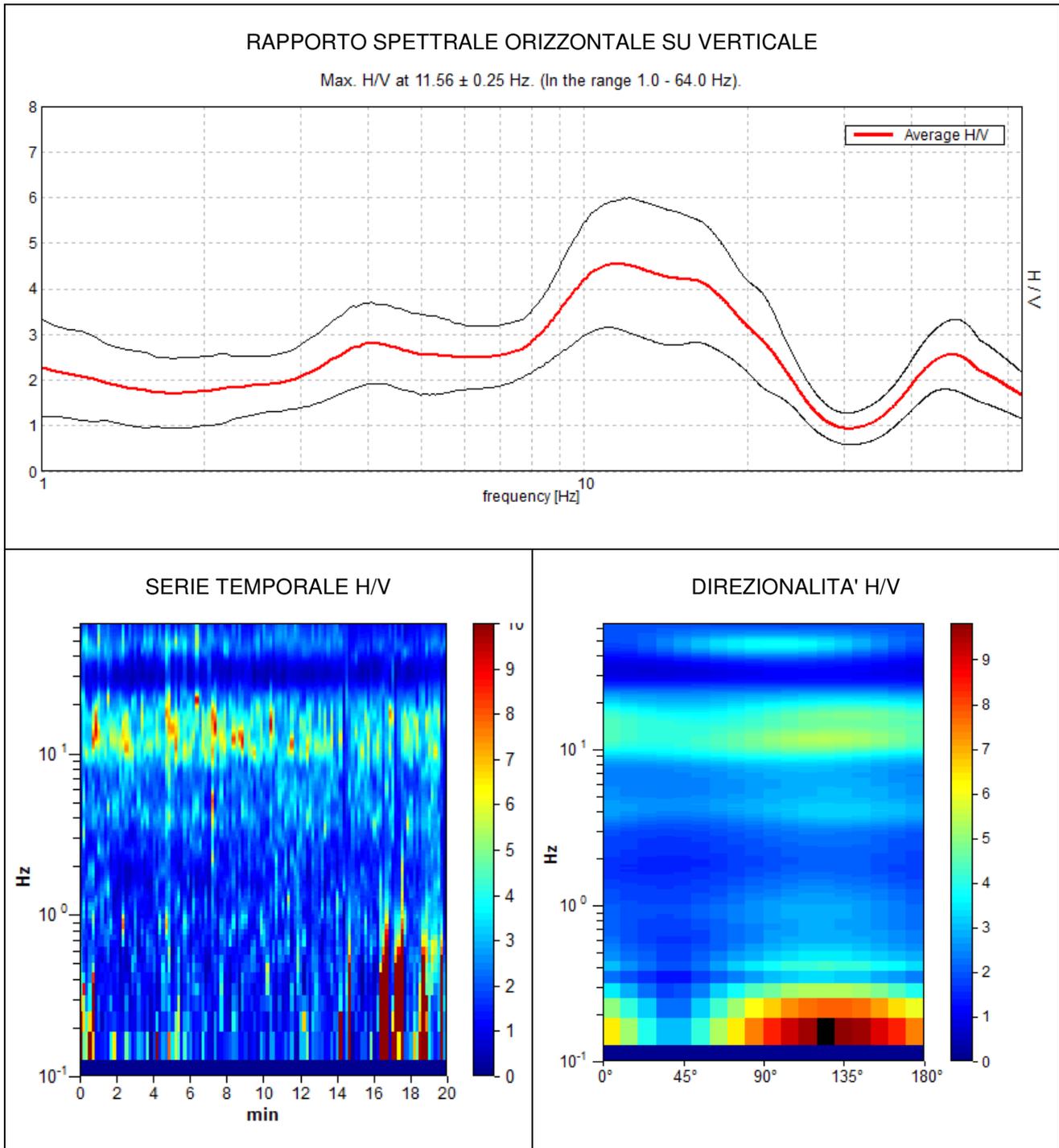
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono spessori e velocità dei singoli strati.

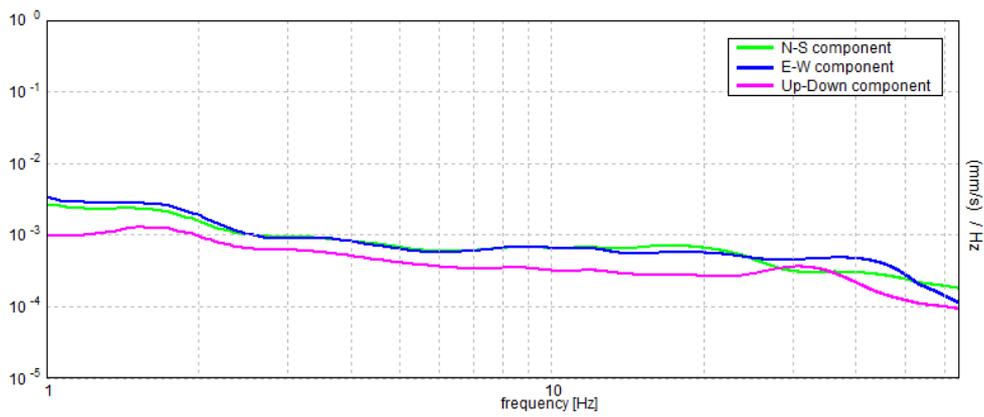
## UDINE - P 42 A VARIANTE P3

Inizio registrazione: 05/03/14 17:02:34 Fine registrazione: 05/03/14 17:22:35  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS: 45.968825 - 13.290342

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 10 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 20%

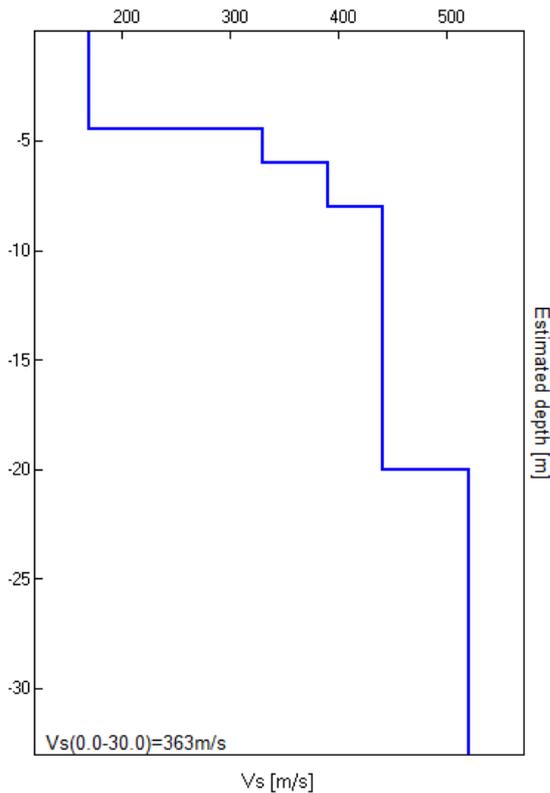
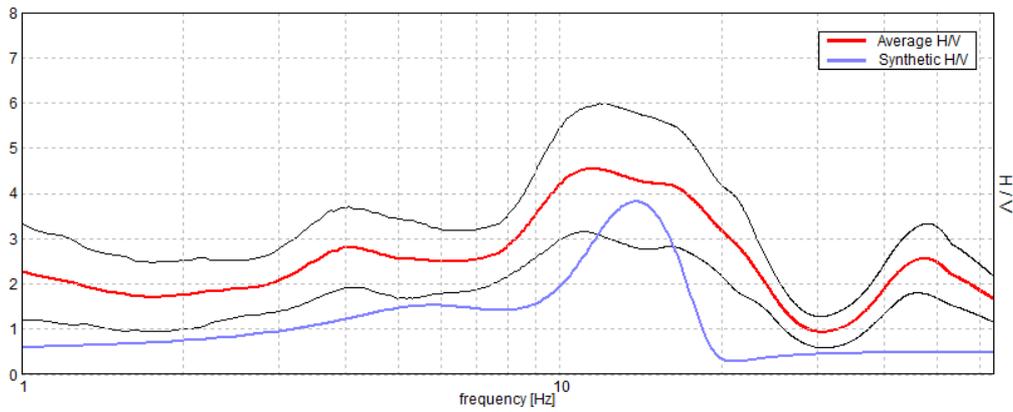


## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



## H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at  $11.56 \pm 0.25$  Hz. (In the range 1.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
4.50	4.50	170
6.00	1.50	330
8.00	2.00	390
20.00	12.00	440
inf.	inf.	520

Vs(0.0-30.0)=363m/s

**Picco H/V a  $11.56 \pm 0.25$  Hz (nell'intervallo 1.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$11.56 > 1.00$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$13875.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 278	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	3.188 Hz	OK	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	23.313 Hz	OK	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$4.54 > 2$	OK	
<b><math>f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.01096  < 0.05$	OK	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.12676 < 0.57813$	OK	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.709 < 1.58$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$**

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**According to the Sesame, 2005 guidelines.**

Con la determinazione delle onde di taglio  $V_s$  i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2008\_Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Dall'analisi dell'indagine si può affermare che il sito è caratterizzato dalle seguenti velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ):

profondità di calcolo	$V_{s30}$ m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	363	B
1,00-31,00mt.	381	B
2,00-32,00mt.	401	B
3,00-33,00mt.	424	B
4,00-34,00mt.	449	B



**INTERGEO** s.r.l. - **Servizi Geologici**

Società a Socio Unico

Via Rancaglia, 37 47899 Serravalle - RSM

Codice Operatore Economico - SM21197

Tel. 333 2208376

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

---

**Località:**

**Udine (UD) - Pilone P 42**

**Oggetto:**

**Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR**

**Data:**

**Marzo 2014**

## Premessa

Il giorno 05/03/2014 a Udine (UD) - Pilone P 42 è stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) per fornire la categoria di suolo di fondazione, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2008), ex DM 14/09/2005;

## Strumentazione utilizzata e modalità esecutive

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico mostrato in figura 1.



Fig. 1

Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore.

Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, vengono analizzati ed elaborati come mostrato in seguito.

## Procedura di analisi dati per stazione singola H/V

Dall'elaborazione della registrazione del rumore sismico ambientale, è stata ricavata la curva H/V (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) (Pag. 4).

Il grafico H/V TIME HISTORY (Pag. 4) mostra le “finestre temporali” analizzate per l'elaborazione della curva H/V e permette di individuare eventuali finestre di disturbo all'interno di una registrazione.

Il grafico DIRECTIONAL H/V (Pag. 4) rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord segnato sullo strumento (da 180° a 360° i risultati sono simmetrici). Questo permette di vedere se una componente orizzontale prevale sull'altra: cioè se la media HVSR riceve più il contributo da parte di un componente orizzontale.

In seguito, il grafico SINGLE COMPONENT SPECTRA (Pag. 5), mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S\_E-O\_Verticale).

In base alle conoscenze stratigrafiche, utilizzando la curva H/V, è stato possibile realizzare su di essa un modello sintetico di Vs (EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V) (Pag. 5) seguendo inoltre le linee guida Sesame, 2005 (Pag. 6).

Infine viene calcolata la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di terreno ai sensi di legge (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, ex DM 14/09/2005) con la seguente formula:

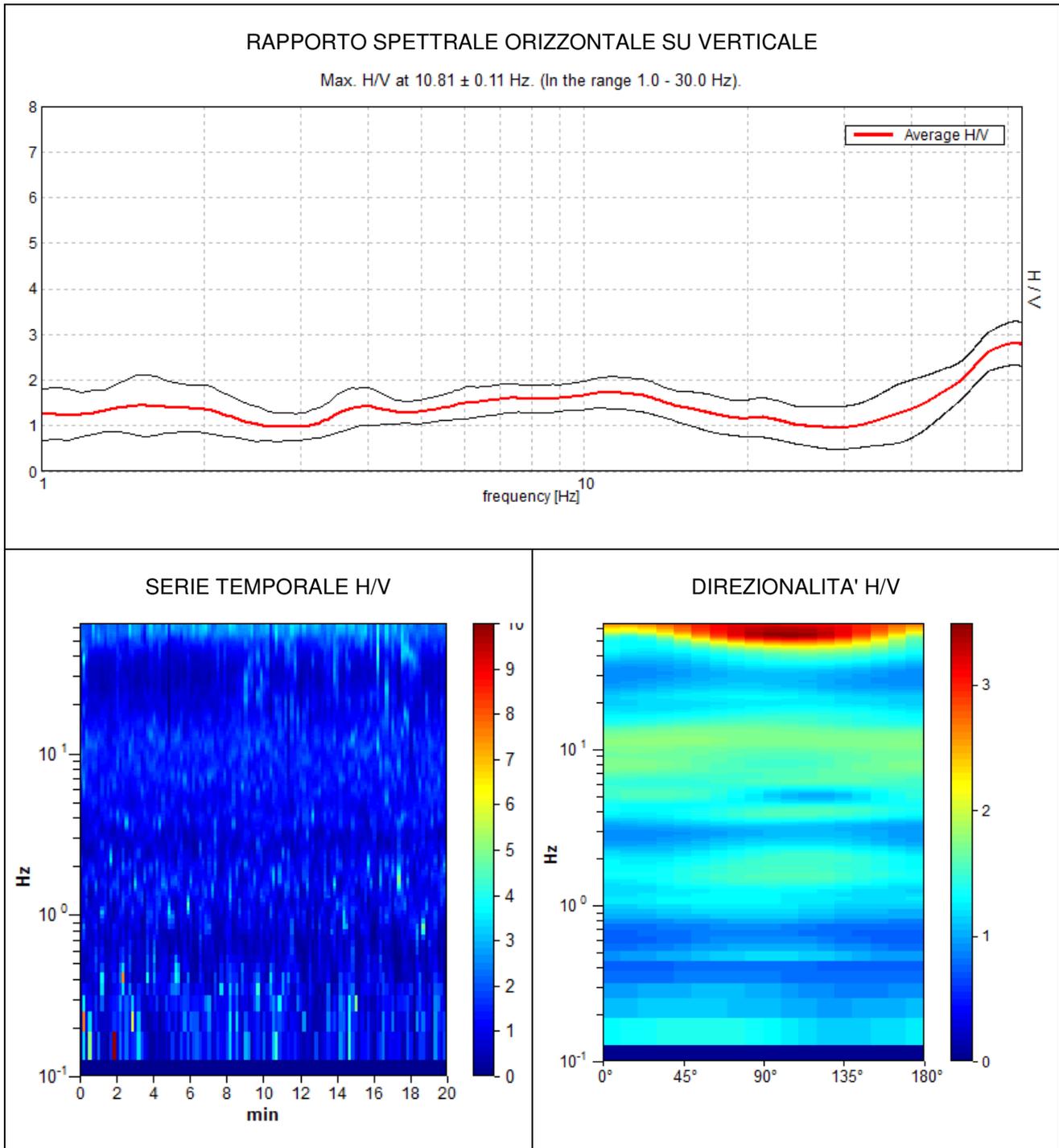
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono spessori e velocità dei singoli strati.

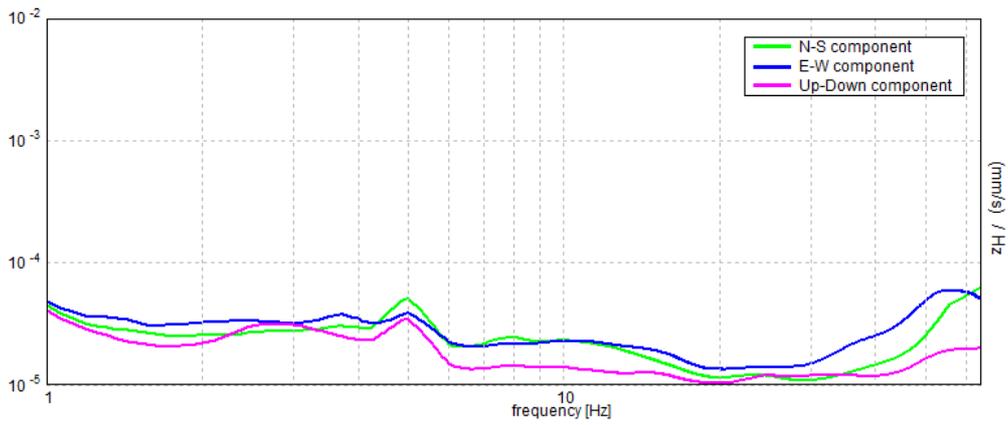
## UDINE - PILONE 42

Inizio registrazione: 05/03/14 08:46:40 Fine registrazione: 05/03/14 09:06:41  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS: 45.965955 – 13.226494

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 10 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 15%

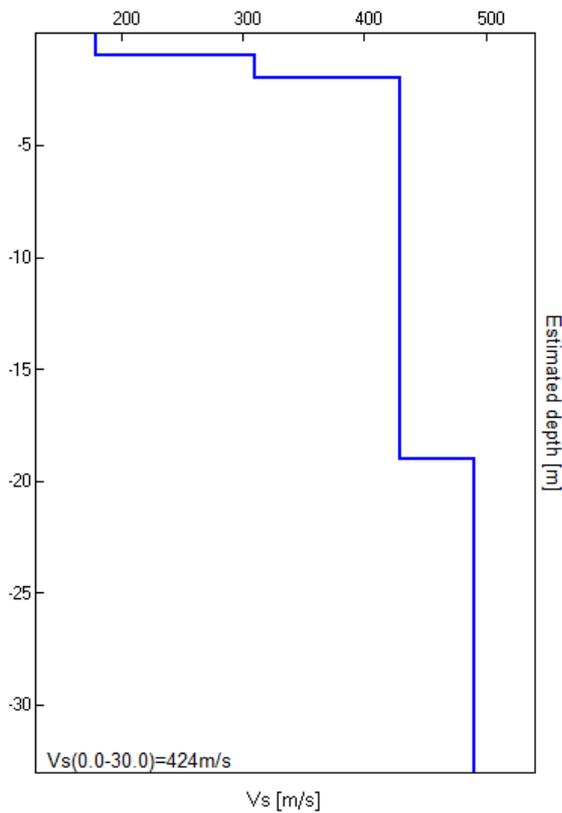
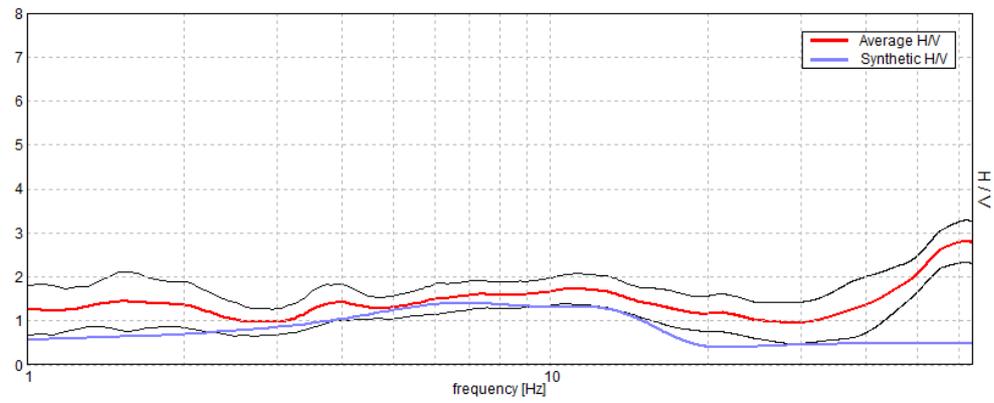


## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



## H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at  $10.81 \pm 0.11$  Hz. (In the range 1.0 - 30.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	180
2.00	1.00	310
19.00	17.00	430
inf.	inf.	490

$V_s(0.0-30.0)=424\text{m/s}$

**Picco H/V a  $10.81 \pm 0.11$  Hz (nell'intervallo 1.0 - 30.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$10.81 > 1.00$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$12975.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 260	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	4.109 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	12.843 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.72 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00517  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.05589 < 0.54063$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.173 < 1.58$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**According to the Sesame, 2005 guidelines.**

Con la determinazione delle onde di taglio  $V_s$  i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2008\_Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Dall'analisi dell'indagine si può affermare che il sito è caratterizzato dalle seguenti velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ):

profondità di calcolo	$V_{s30}$ m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	424	B
1,00-31,00mt.	446	B
2,00-32,00mt.	454	B
3,00-33,00mt.	456	B
4,00-34,00mt.	458	B



**INTERGEO** s.r.l. - **Servizi Geologici**

Società a Socio Unico

Via Rancaglia, 37 47899 Serravalle - RSM

Codice Operatore Economico - SM21197

Tel. 333 2208376

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

---

**Località:**

**Udine (UD) - Pilone P 68**

**Oggetto:**

**Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR**

**Data:**

**Aprile 2014**

## Premessa

Il giorno 14/04/2014 a Udine (UD) - Pilone P 68 è stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) per fornire la categoria di suolo di fondazione, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2008), ex DM 14/09/2005;

## Strumentazione utilizzata e modalità esecutive

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico mostrato in figura 1.



Fig. 1

Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore.

Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, vengono analizzati ed elaborati come mostrato in seguito.

## Procedura di analisi dati per stazione singola H/V

Dall'elaborazione della registrazione del rumore sismico ambientale, è stata ricavata la curva H/V (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) (Pag. 4).

Il grafico H/V TIME HISTORY (Pag. 4) mostra le “finestre temporali” analizzate per l'elaborazione della curva H/V e permette di individuare eventuali finestre di disturbo all'interno di una registrazione.

Il grafico DIRECTIONAL H/V (Pag. 4) rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord segnato sullo strumento (da 180° a 360° i risultati sono simmetrici). Questo permette di vedere se una componente orizzontale prevale sull'altra: cioè se la media HVSR riceve più il contributo da parte di un componente orizzontale.

In seguito, il grafico SINGLE COMPONENT SPECTRA (Pag. 5), mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S\_E-O\_Verticale).

In base alle conoscenze stratigrafiche, utilizzando la curva H/V, è stato possibile realizzare su di essa un modello sintetico di Vs (EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V) (Pag. 5) seguendo inoltre le linee guida Sesame, 2005 (Pag. 6).

Infine viene calcolata la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di terreno ai sensi di legge (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, ex DM 14/09/2005) con la seguente formula:

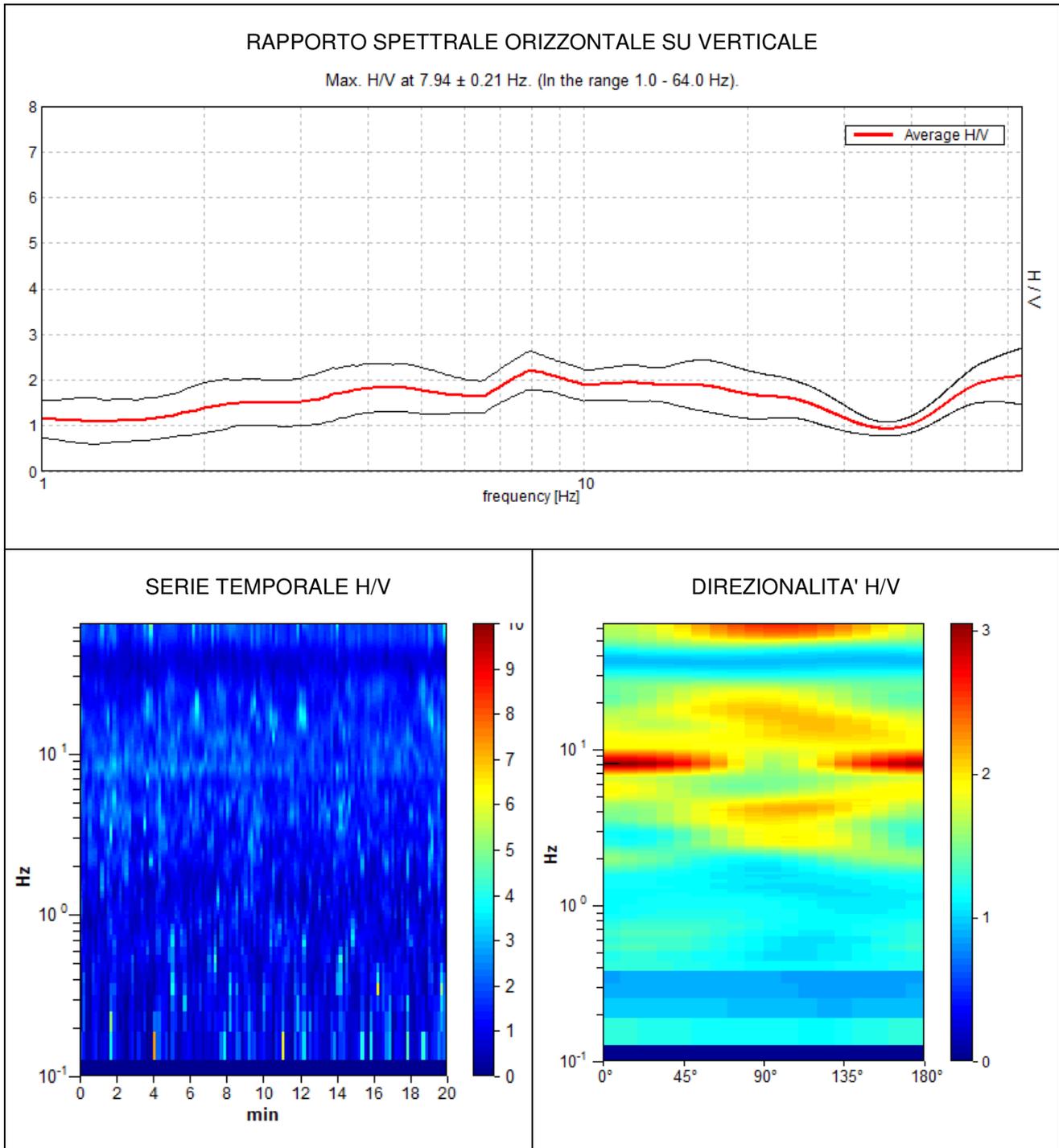
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono spessori e velocità dei singoli strati.

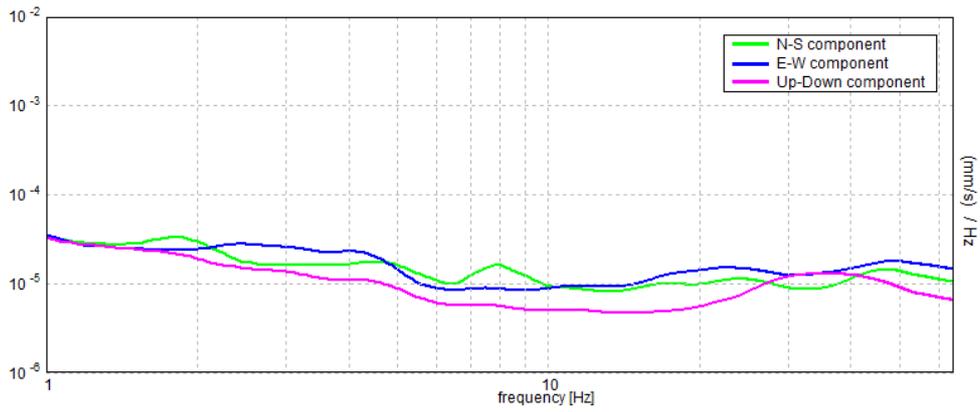
## UDINE - PILONE P 68

Inizio registrazione: 14/04/14 12:42:57 Fine registrazione: 14/04/14 13:02:58  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS: 45.932196 – 13.310878

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 10 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 20%

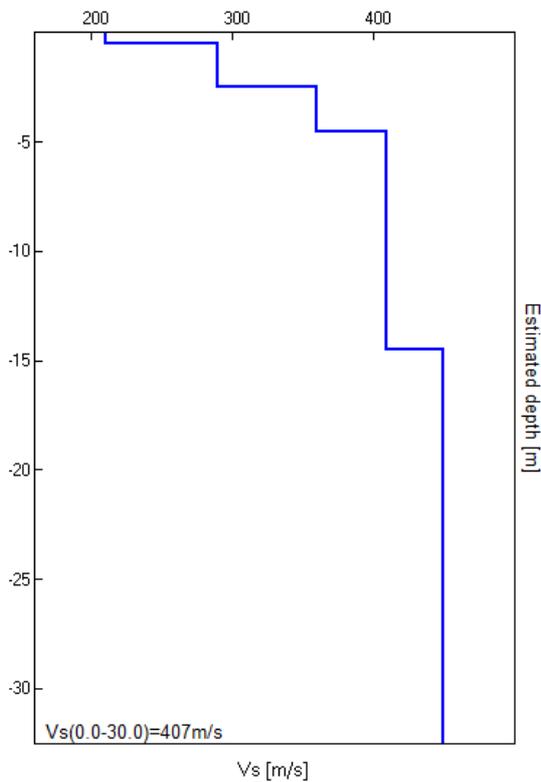
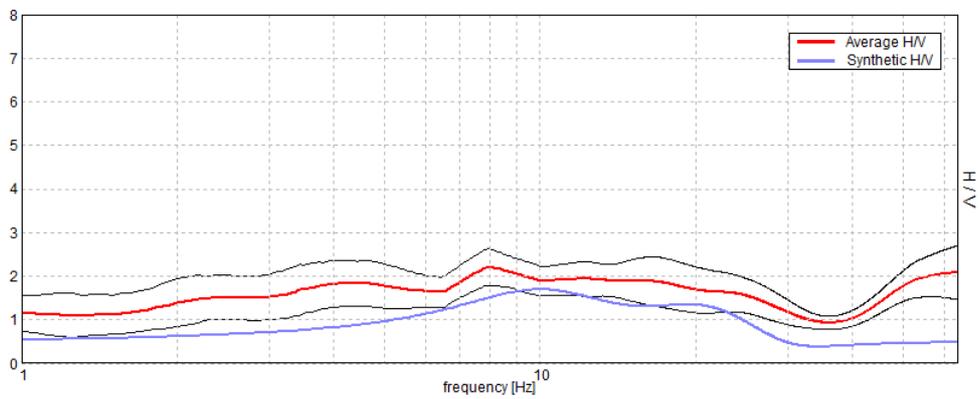


## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



## H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at  $7.94 \pm 0.21$  Hz. (In the range 1.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	210
2.50	2.00	290
4.50	2.00	360
14.50	10.00	410
inf.	inf.	450

$V_s(0.0-30.0)=407\text{m/s}$

**Picco H/V a  $7.94 \pm 0.21$  Hz (nell'intervallo 1.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$7.94 > 1.00$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$9525.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 192	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			<b>NO</b>
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	31.0 Hz	OK	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$2.21 > 2$	OK	
<b><math>f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.0133  < 0.05$	OK	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.10553 < 0.39688$	OK	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.2093 < 1.58$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**According to the Sesame, 2005 guidelines.**

Con la determinazione delle onde di taglio Vs i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2008\_Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Dall'analisi dell'indagine si può affermare che il sito è caratterizzato dalle seguenti velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ):

profondità di calcolo	Vs30 m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	407	B
1,00-31,00mt.	418	B
2,00-32,00mt.	425	B
3,00-33,00mt.	431	B
4,00-34,00mt.	434	B



**INTERGEO** s.r.l. - **Servizi Geologici**

Società a Socio Unico

Via Rancaglia, 37 47899 Serravalle - RSM

Codice Operatore Economico - SM21197

Tel. 333 2208376

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

---

**Località:**

**Udine (UD) - Pilone P 88**

**Oggetto:**

**Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR**

**Data:**

**Aprile 2014**

## Premessa

Il giorno 15/04/2014 a Udine (UD) - Pilone P 88 è stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) per fornire la categoria di suolo di fondazione, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2008), ex DM 14/09/2005;

## Strumentazione utilizzata e modalità esecutive

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico mostrato in figura 1.



Fig. 1

Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore.

Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, vengono analizzati ed elaborati come mostrato in seguito.

## Procedura di analisi dati per stazione singola H/V

Dall'elaborazione della registrazione del rumore sismico ambientale, è stata ricavata la curva H/V (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) (Pag. 4).

Il grafico H/V TIME HISTORY (Pag. 4) mostra le “finestre temporali” analizzate per l'elaborazione della curva H/V e permette di individuare eventuali finestre di disturbo all'interno di una registrazione.

Il grafico DIRECTIONAL H/V (Pag. 4) rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord segnato sullo strumento (da 180° a 360° i risultati sono simmetrici). Questo permette di vedere se una componente orizzontale prevale sull'altra: cioè se la media HVSR riceve più il contributo da parte di un componente orizzontale.

In seguito, il grafico SINGLE COMPONENT SPECTRA (Pag. 5), mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S\_E-O\_Verticale).

In base alle conoscenze stratigrafiche, utilizzando la curva H/V, è stato possibile realizzare su di essa un modello sintetico di Vs (EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V) (Pag. 5) seguendo inoltre le linee guida Sesame, 2005 (Pag. 6).

Infine viene calcolata la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di terreno ai sensi di legge (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, ex DM 14/09/2005) con la seguente formula:

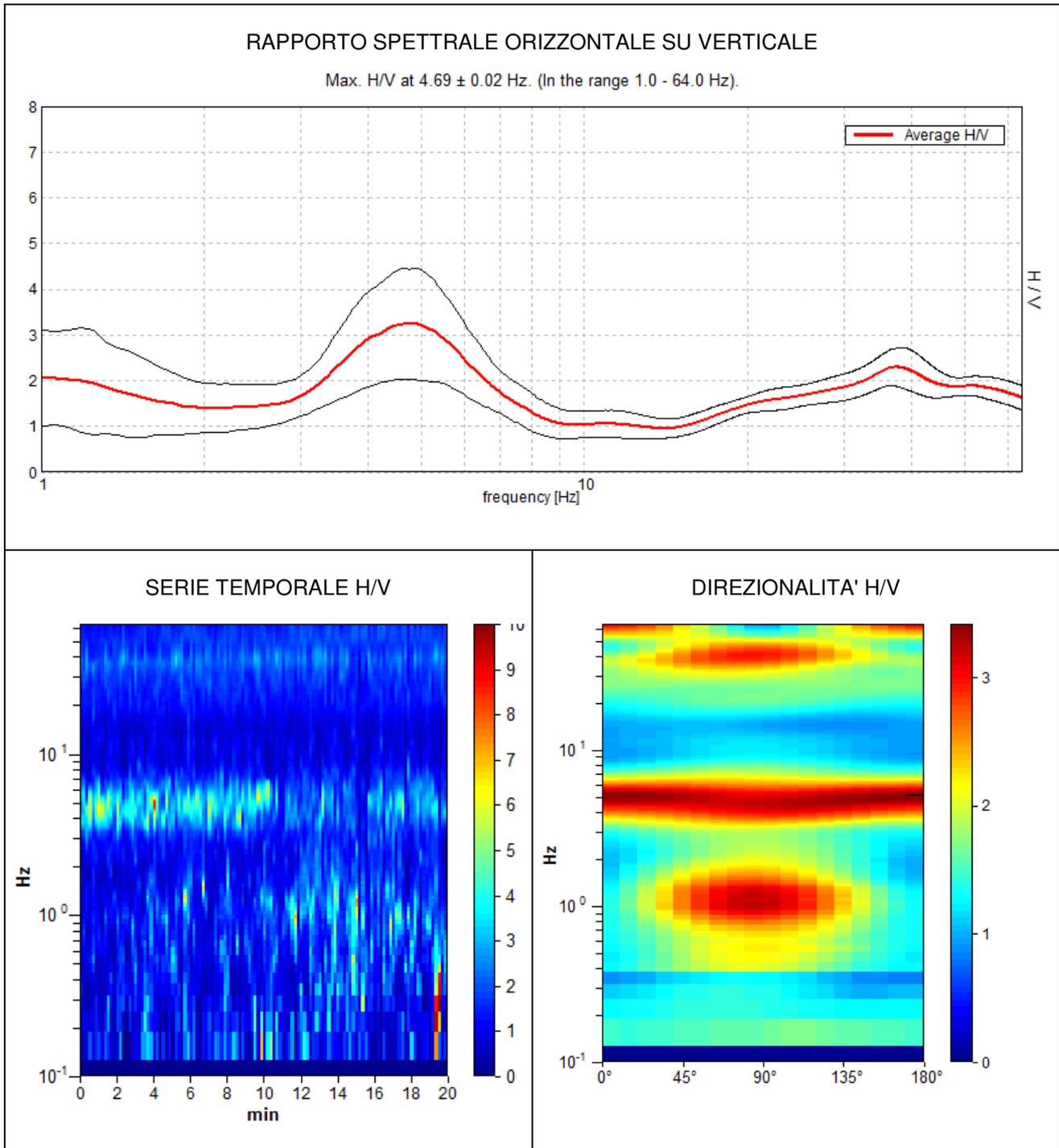
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono spessori e velocità dei singoli strati.

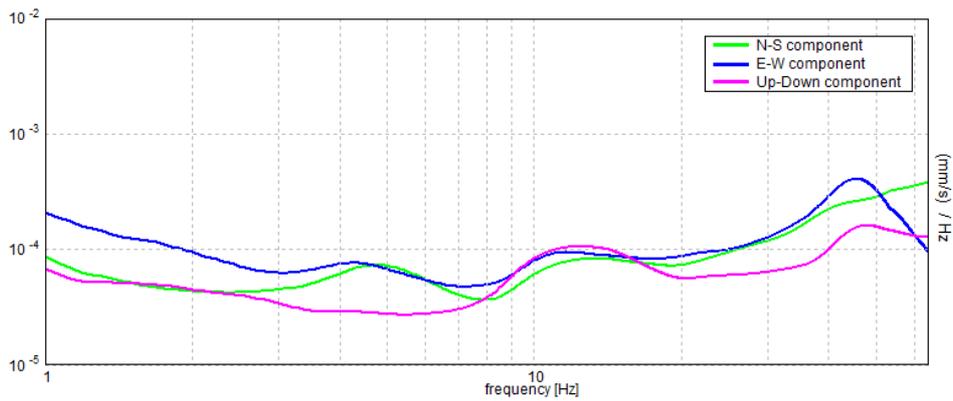
## UDINE - PILONE P 88

Inizio registrazione: 15/04/14 11:07:48 Fine registrazione: 15/04/14 11:27:49  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS: 45.899688 – 13.383823

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 10 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 20%

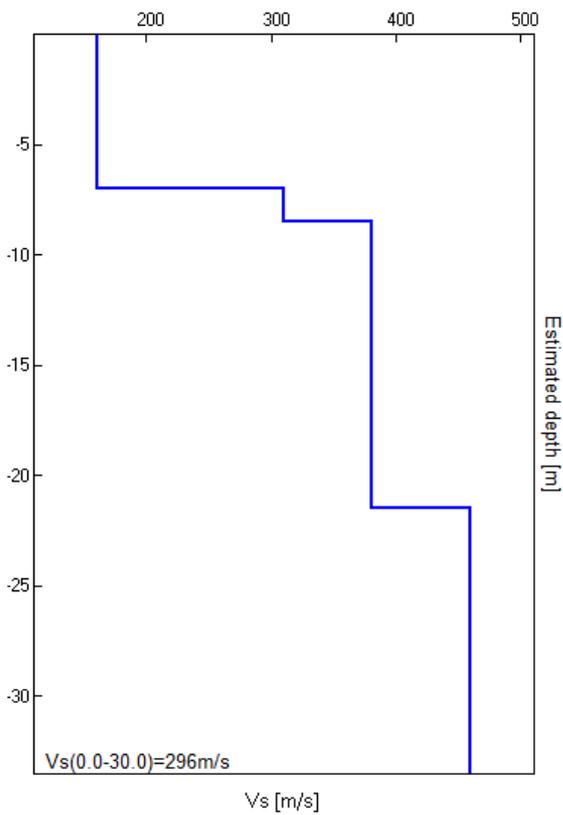
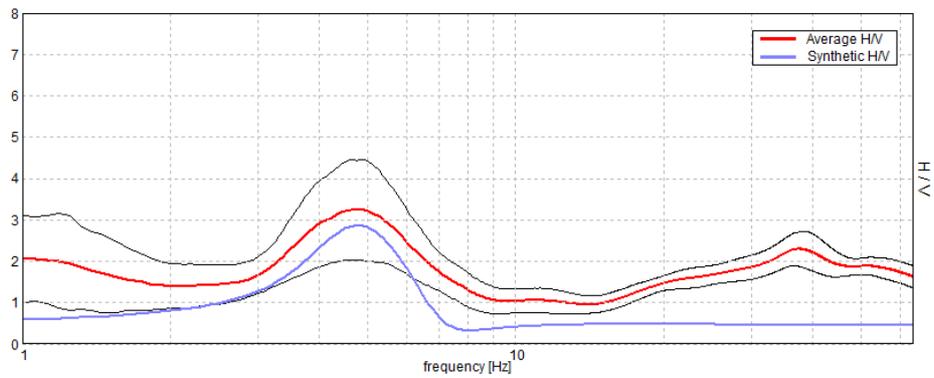


## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



## H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at  $4.69 \pm 0.02$  Hz. (In the range 1.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
7.00	7.00	160
8.50	1.50	310
21.50	13.00	380
inf.	inf.	460

$V_s(0.0-30.0)=296\text{m/s}$

**Picco H/V a  $4.69 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 1.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$4.69 > 1.00$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$5625.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 114	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	2.938 Hz	<b>OK</b>	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	7.25 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$3.25 > 2$	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.00264  < 0.05$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.01236 < 0.23438$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.6113 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$**

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**According to the Sesame, 2005 guidelines.**

Con la determinazione delle onde di taglio  $V_s$  i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2008\_Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Dall'analisi dell'indagine si può affermare che il sito è caratterizzato dalle seguenti velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ):

profondità di calcolo	$V_{s30}$ m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	296	C
1,00-31,00mt.	309	C
2,00-32,00mt.	322	C
3,00-33,00mt.	337	C
4,00-34,00mt.	353	C



**INTERGEO** s.r.l. - **Servizi Geologici**

Società a Socio Unico

Via Rancaglia, 37 47899 Serravalle - RSM

Codice Operatore Economico - SM21197

Tel. 333 2208376

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

---

**Località:**

**Udine (UD) - Pilone P 100**

**Oggetto:**

**Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR**

**Data:**

**Aprile 2014**

## Premessa

Il giorno 16/04/2014 a Udine (UD) - Pilone P 100 è stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) per fornire la categoria di suolo di fondazione, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2008), ex DM 14/09/2005;

## Strumentazione utilizzata e modalità esecutive

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico mostrato in figura 1.



Fig. 1

Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore.

Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, vengono analizzati ed elaborati come mostrato in seguito.

## Procedura di analisi dati per stazione singola H/V

Dall'elaborazione della registrazione del rumore sismico ambientale, è stata ricavata la curva H/V (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) (Pag. 4).

Il grafico H/V TIME HISTORY (Pag. 4) mostra le “finestre temporali” analizzate per l'elaborazione della curva H/V e permette di individuare eventuali finestre di disturbo all'interno di una registrazione.

Il grafico DIRECTIONAL H/V (Pag. 4) rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord segnato sullo strumento (da 180° a 360° i risultati sono simmetrici). Questo permette di vedere se una componente orizzontale prevale sull'altra: cioè se la media HVSR riceve più il contributo da parte di un componente orizzontale.

In seguito, il grafico SINGLE COMPONENT SPECTRA (Pag. 5), mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S\_E-O\_Verticale).

In base alle conoscenze stratigrafiche, utilizzando la curva H/V, è stato possibile realizzare su di essa un modello sintetico di Vs (EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V) (Pag. 5) seguendo inoltre le linee guida Sesame, 2005 (Pag. 6).

Infine viene calcolata la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di terreno ai sensi di legge (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, ex DM 14/09/2005) con la seguente formula:

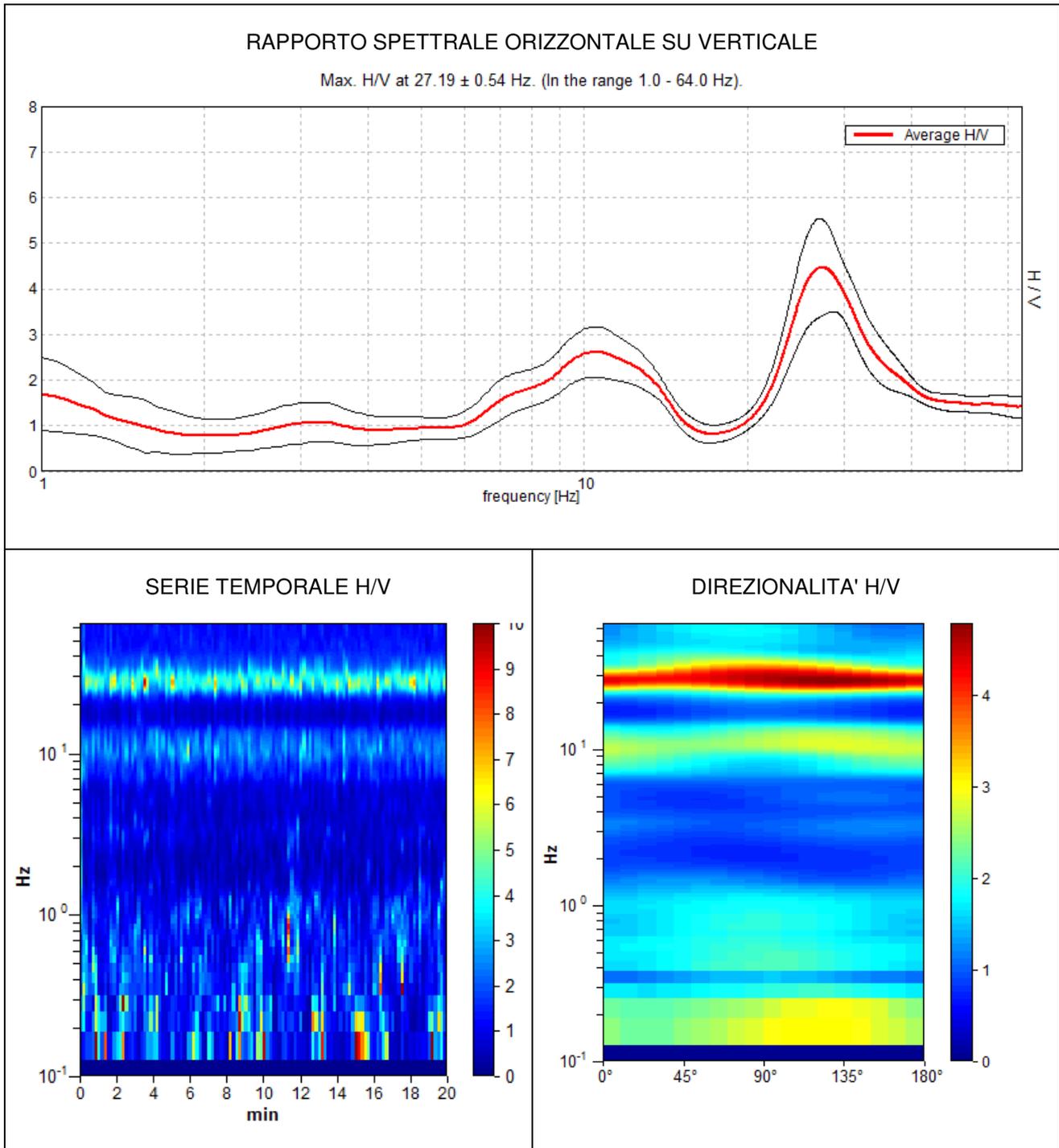
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono spessori e velocità dei singoli strati.

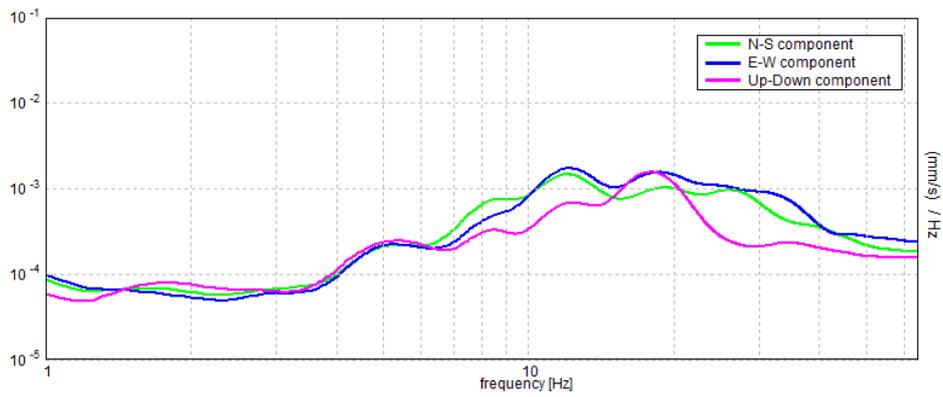
## UDINE – PILONE P 100

Inizio registrazione: 16/04/14 11:19:05 Fine registrazione: 16/04/14 11:39:06  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS: 45.864967 – 13.413478

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 10 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 20%

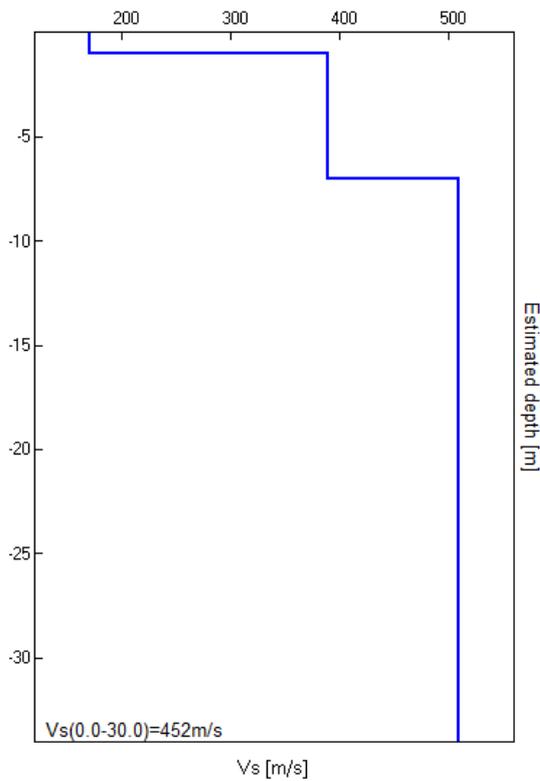
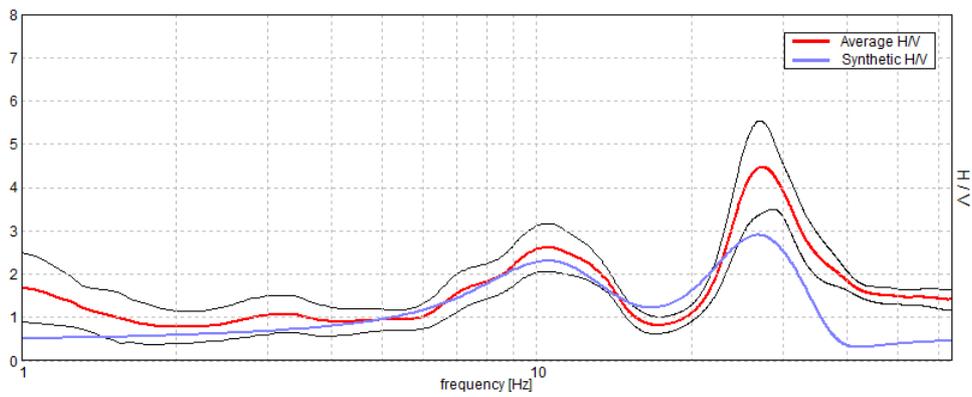


## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



## H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at  $27.19 \pm 0.54$  Hz. (In the range 1.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	170
7.00	6.00	390
inf.	inf.	510

$Vs(0.0-30.0)=452\text{m/s}$

**Picco H/V a  $27.19 \pm 0.54$  Hz (nell'intervallo 1.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$27.19 > 1.00$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$32625.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 654	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	22.75 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	36.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.47 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0099  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.26905 < 1.35938$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5409 < 1.58$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$**

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**According to the Sesame, 2005 guidelines.**

Con la determinazione delle onde di taglio  $V_s$  i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2008\_Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Dall'analisi dell'indagine si può affermare che il sito è caratterizzato dalle seguenti velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ):

profondità di calcolo	$V_{s30}$ m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	452	B
1,00-31,00mt.	480	B
2,00-32,00mt.	485	B
3,00-33,00mt.	490	B
4,00-34,00mt.	495	B



**INTERGEO** s.r.l. - **Servizi Geologici**

Società a Socio Unico

Via Rancaglia, 37 47899 Serravalle - RSM

Codice Operatore Economico - SM21197

Tel. 333 2208376

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

---

**Località:**

**Udine (UD) - Stazione Redipuglia**

**Oggetto:**

**Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR**

**Data:**

**Aprile 2014**

## Premessa

Il giorno 16/04/2014 a Udine (UD) - Stazione Redipuglia è stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) per fornire la categoria di suolo di fondazione, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2008), ex DM 14/09/2005;

## Strumentazione utilizzata e modalità esecutive

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico mostrato in figura 1.



Fig. 1

Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore.

Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, vengono analizzati ed elaborati come mostrato in seguito.

## Procedura di analisi dati per stazione singola H/V

Dall'elaborazione della registrazione del rumore sismico ambientale, è stata ricavata la curva H/V (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) (Pag. 4).

Il grafico H/V TIME HISTORY (Pag. 4) mostra le “finestre temporali” analizzate per l'elaborazione della curva H/V e permette di individuare eventuali finestre di disturbo all'interno di una registrazione.

Il grafico DIRECTIONAL H/V (Pag. 4) rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord segnato sullo strumento (da 180° a 360° i risultati sono simmetrici). Questo permette di vedere se una componente orizzontale prevale sull'altra: cioè se la media HVSR riceve più il contributo da parte di un componente orizzontale.

In seguito, il grafico SINGLE COMPONENT SPECTRA (Pag. 5), mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S\_E-O\_Verticale).

In base alle conoscenze stratigrafiche, utilizzando la curva H/V, è stato possibile realizzare su di essa un modello sintetico di Vs (EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V) (Pag. 5) seguendo inoltre le linee guida Sesame, 2005 (Pag. 6).

Infine viene calcolata la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di terreno ai sensi di legge (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, ex DM 14/09/2005) con la seguente formula:

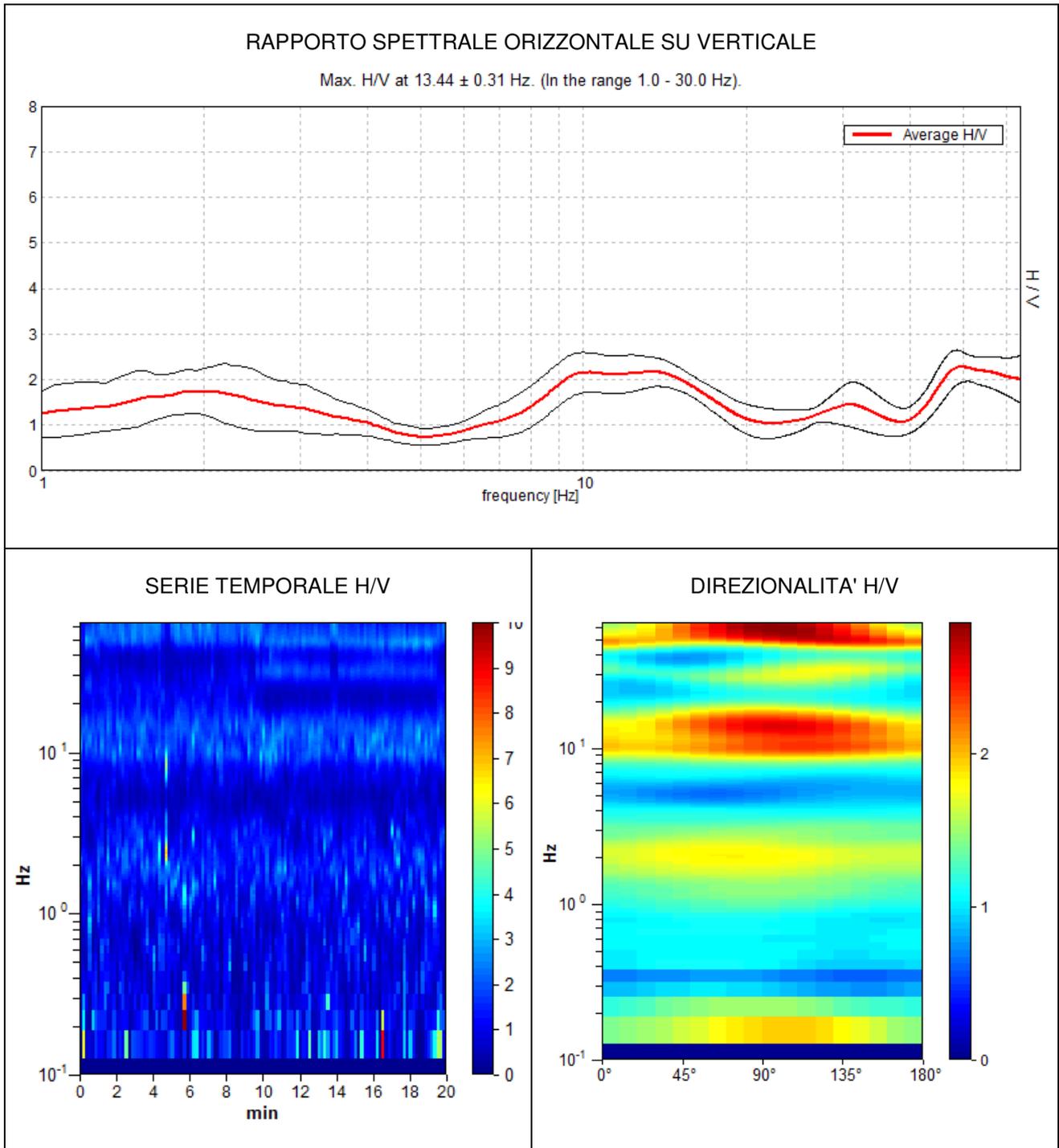
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono spessori e velocità dei singoli strati.

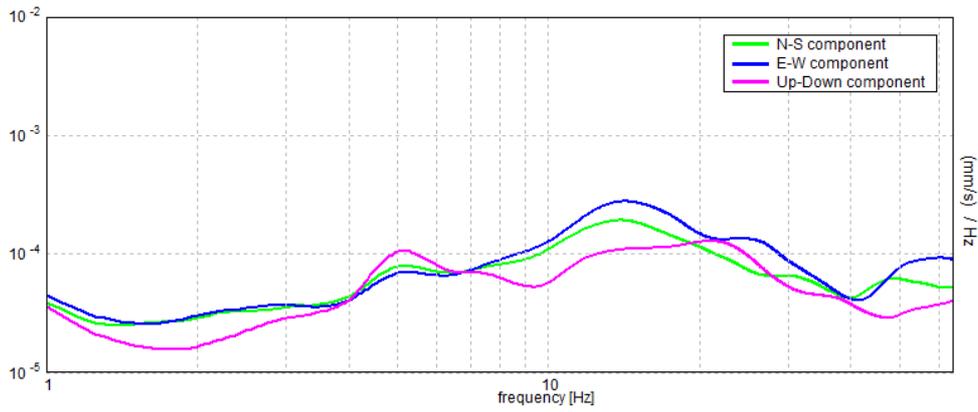
## UDINE - STAZIONE REDIPUGLIA

Inizio registrazione: 16/04/14 08:18:56 Fine registrazione: 16/04/14 08:38:57  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS: 45.851316 – 13.468907

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 10 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 20%

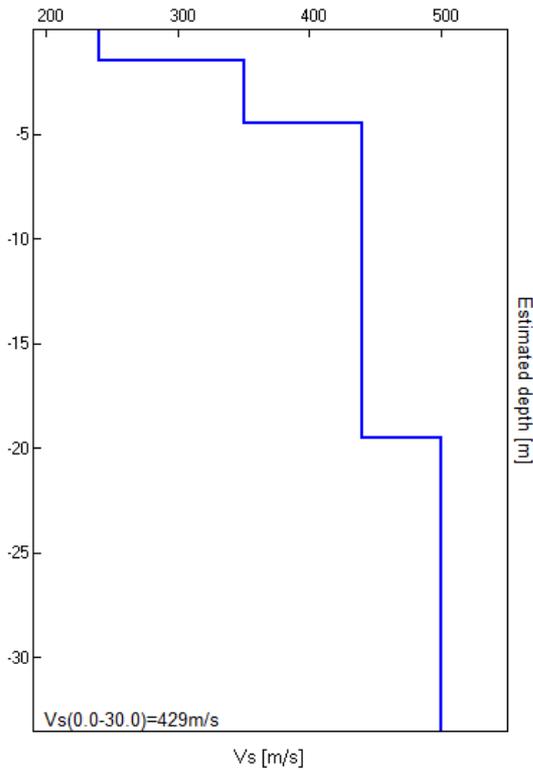
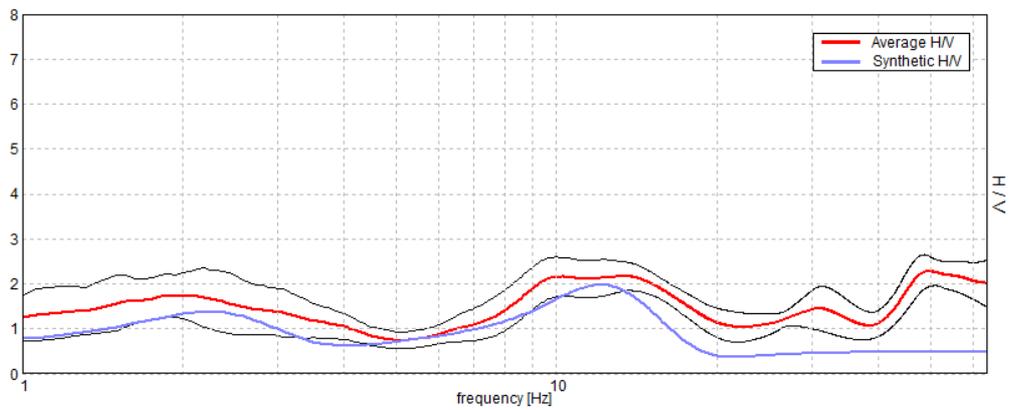


## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



## H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at  $13.44 \pm 0.31$  Hz. (In the range 1.0 - 30.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.50	1.50	240
4.50	3.00	350
19.50	15.00	440
inf.	inf.	500

$V_s(0.0-30.0)=429\text{m/s}$

**Picco H/V a  $13.44 \pm 0.31$  Hz (nell'intervallo 1.0 - 30.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$13.44 > 1.00$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$16125.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 324	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.938 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	20.625 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.17 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01172  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.15746 < 0.67188$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1626 < 1.58$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

According to the Sesame, 2005 guidelines.

Con la determinazione delle onde di taglio  $V_s$  i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2008\_Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Dall'analisi dell'indagine si può affermare che il sito è caratterizzato dalle seguenti velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ):

profondità di calcolo	$V_{s30}$ m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	429	B
1,00-31,00mt.	443	B
2,00-32,00mt.	453	B
3,00-33,00mt.	459	B
4,00-34,00mt.	465	B



**INTERGEO** s.r.l. - **Servizi Geologici**

Società a Socio Unico

Via Rancaglia, 37 47899 Serravalle - RSM

Codice Operatore Economico - SM21197

Tel. 333 2208376

www.intergeosm.com - mail: info@intergeosm.com

---

**Località:**

**Udine (UD) - Stazione Udine Sud**

**Oggetto:**

**Indagine sismica passiva a stazione singola HVSR**

**Data:**

**Marzo 2014**

## Premessa

Il giorno 06/03/2014 a Udine (UD) - Stazione Udine Sud è stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) per fornire la categoria di suolo di fondazione, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2008), ex DM 14/09/2005;

## Strumentazione utilizzata e modalità esecutive

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico mostrato in figura 1.



Fig. 1

Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore.

Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla appositamente sviluppato, vengono analizzati ed elaborati come mostrato in seguito.

## Procedura di analisi dati per stazione singola H/V

Dall'elaborazione della registrazione del rumore sismico ambientale, è stata ricavata la curva H/V (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO) (Pag. 4).

Il grafico H/V TIME HISTORY (Pag. 4) mostra le “finestre temporali” analizzate per l'elaborazione della curva H/V e permette di individuare eventuali finestre di disturbo all'interno di una registrazione.

Il grafico DIRECTIONAL H/V (Pag. 4) rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord segnato sullo strumento (da 180° a 360° i risultati sono simmetrici). Questo permette di vedere se una componente orizzontale prevale sull'altra: cioè se la media HVSR riceve più il contributo da parte di un componente orizzontale.

In seguito, il grafico SINGLE COMPONENT SPECTRA (Pag. 5), mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S\_E-O\_Verticale).

In base alle conoscenze stratigrafiche, utilizzando la curva H/V, è stato possibile realizzare su di essa un modello sintetico di Vs (EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V) (Pag. 5) seguendo inoltre le linee guida Sesame, 2005 (Pag. 6).

Infine viene calcolata la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di terreno ai sensi di legge (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, ex DM 14/09/2005) con la seguente formula:

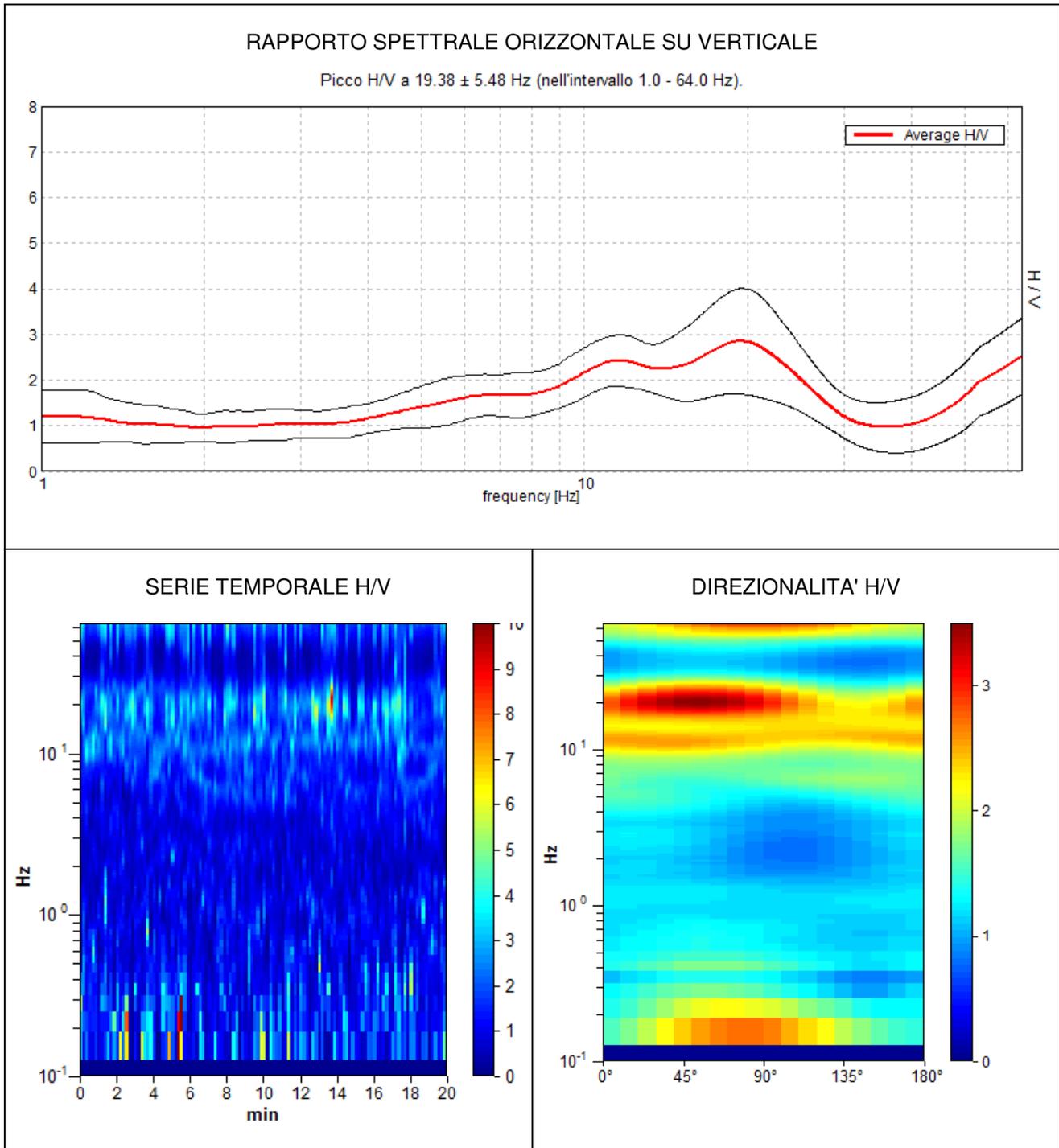
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono spessori e velocità dei singoli strati.

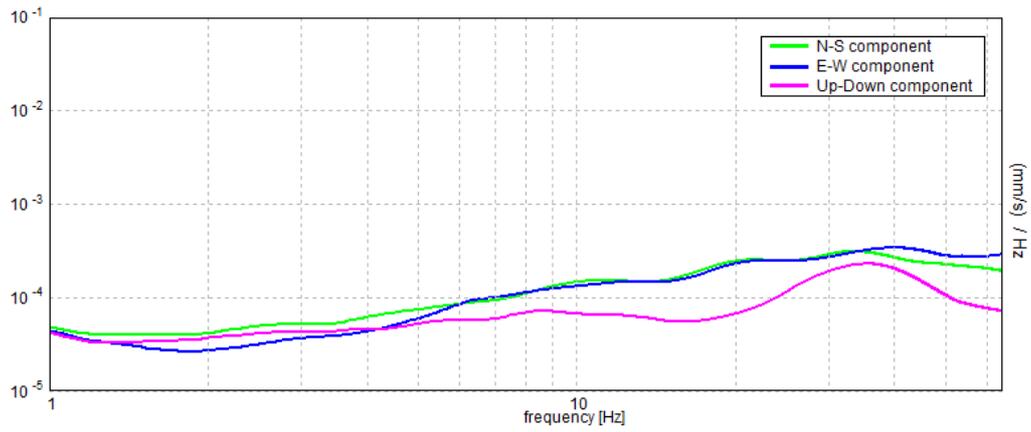
## UDINE – STAZIONE UDINE SUD

Inizio registrazione: 06/03/14 07:54:56 Fine registrazione: 06/03/14 08:14:57  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS: 45.962078 – 13.284546

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 10 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 20%

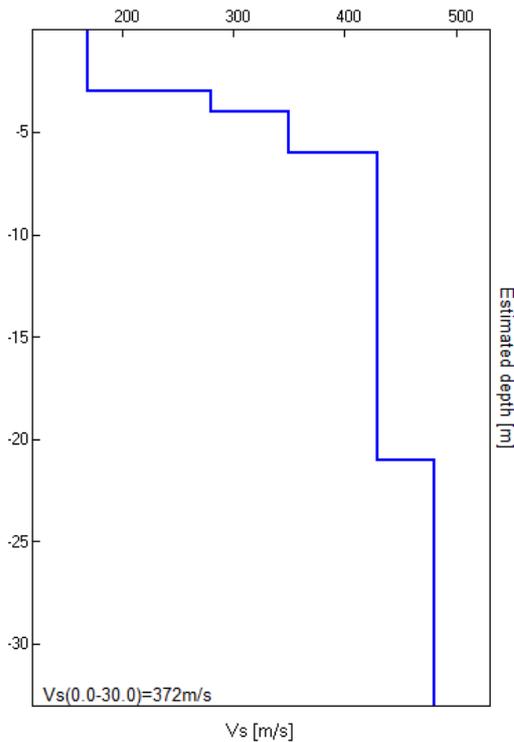
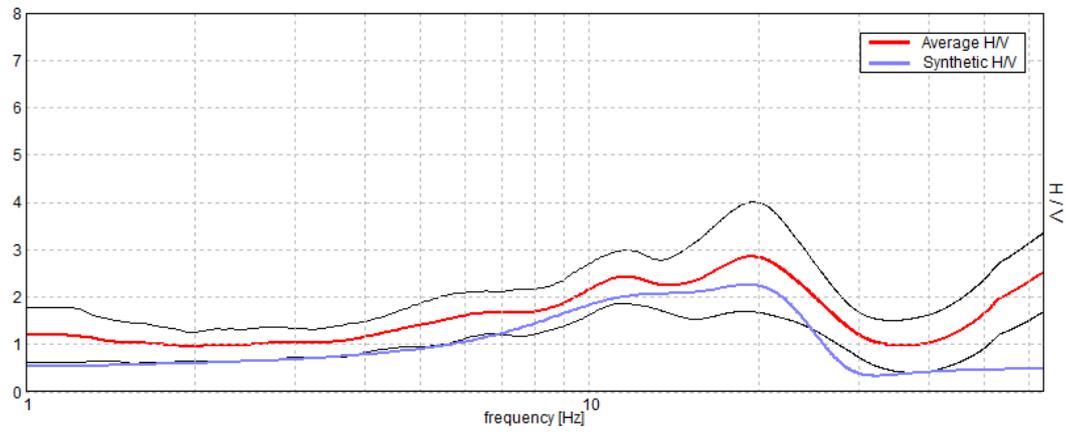


## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



## H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a  $19.38 \pm 5.48$  Hz (nell'intervallo 1.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
3.00	3.00	170
4.00	1.00	280
6.00	2.00	350
21.00	15.00	430
inf.	inf.	480

$V_s(0.0-30.0)=372\text{m/s}$

**Picco H/V a  $19.38 \pm 5.48$  Hz (nell'intervallo 1.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$19.38 > 1.00$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$23250.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 466	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.063 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	28.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.85 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04222  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$2.75542 < 0.96875$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5826 < 1.58$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$**

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**According to the Sesame, 2005 guidelines.**

Con la determinazione delle onde di taglio  $V_s$  i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2008\_Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Dall'analisi dell'indagine si può affermare che il sito è caratterizzato dalle seguenti velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ):

profondità di calcolo	$V_{s30}$ m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	372	B
1,00-31,00mt.	391	B
2,00-32,00mt.	411	B
3,00-33,00mt.	434	B
4,00-34,00mt.	443	B