

**Comune di Palermo**  
**Area Gestione del Territorio**  
**Settore Opere Pubbliche**

**RAZIONALIZZAZIONE DELLE FOGNATURE DELLA  
ZONA COMPRESA TRA LA VIA CASTELLANA E IL  
CANALE PASSO DI RIGANO CON L'ELIMINAZIONE  
DEI RELATIVI SCARICHI FOGNARI NEL CANALE**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**All.**

**A.3.2**

**INDAGINE GEOFISICA TOMOGRAFICA**



COMUNE DI PALERMO

AREA DELLA RIQUALIFIC. URBANA E DELLE INFRASTRUT.

STAFF CAPO AREA

VALIDAZIONE

ai sensi dell'art.55 del D.P.R. 207/10 recepito con la L.R.12/11

Prot. n. 05 del 11/08/2015

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

ING. MARISA BELLOMO

VERIFICA

Ai sensi dell'art.112 D.Leg.vo n.163/2006 e art.L.52-53 D.P.R n.207/201

Prot. 01 del 10/07/2015

IL VERIFICATORE

ING. GAETANO RUSSO



**Progettisti**

**Ing. Luigi Bonuso**



**Ing. Marilena Grassadonia**



**Geologo**

**Dr. Oreste Adelfio**



**Collaboratore**  
**Ing. Fabio Marineo**

**Palermo, novembre 2014**



## PREMESSA

Nel contesto del progetto definitivo di “Razionalizzazione delle fognature della zona compresa tra la via Castellano e il Canale di Passo di Rigano, con l’eliminazione dei relativi scarichi nel canale” nel Comune di Palermo, è stata effettuata un’indagine geofisica in corrispondenza della via Leonardo da Vinci lato nord, senza numero civico, di fronte la stazione di carburante IP fra i civici 392 e 394, sul marciapiede rasente la recinzione in lamiera esistente; e in via Castellana, in coincidenza del civico 16. Ciò al fine della determinazione e individuazione della categoria di suolo di fondazione ai sensi di quanto previsto dalla Norme Tecniche sulle Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.

La determinazione della categoria del suolo di fondazione, così come definita al punto 3.2.2 (tabella 3.2.II.) del D.M. 14/01/2008, può essere basata sulla stima nei primi 30 metri di profondità dal piano di posa delle fondazioni dei valori:

- Velocità media delle onde sismiche di taglio (misura del  $V_{s30}$ );
- Prova penetrometrica dinamica (misura di  $N_{spt}$ );
- Coesione non drenata (misura di  $c_u$ ).

Il parametro certamente più significativo per la caratterizzazione del tipo di sottosuolo è la cosiddetta “average shear wave velocity”  $V_{s30}$ , che è una sorta di velocità equivalente delle onde di taglio nei primi 30 metri di profondità del sottosuolo.

Il suddetto parametro  $V_{s30}$ , una volta determinato, consente di potere determinare la categoria di suolo di fondazione come definito nella tabella 3.2.II e 3.2.III del D.M. 14/01/2008.

In virtù di quanto sopra considerato pertanto si sono effettuati due sondaggi tromografici entro l’area di via L. Da Vinci, identificati con le sigle ST-V (quello di valle) e ST-M (quello di monte) e uno in via Castellana, identificato con la sigla ST-C.

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terre o molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{spt30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{spt30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{spt30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s = 800</math> m/s).</i>

Considerando due strati con differente impedenza acustica, la frequenza fondamentale di risonanza  $f$  è legata allo spessore  $H$  ed alla velocità delle onde di taglio  $V_s$  del primo strato dalla seguente relazione:

$$f = \frac{V_s}{4H}$$

La curva  $H/V$  pertanto relativa a un sottosuolo multistrato contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi ma non è interpretabile semplicemente con la succitata equazione.

Ai fini stratigrafici pertanto si sfrutterà la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti  $H/V$  misurati con quelli "sintetici" cioè con quelli calcolati relativamente al campo di onde completo di un modello in tre dimensioni.

### 3. Stima del valore di $V_{s30}$

Pertanto, se è nota la misura della profondità  $H$  del bedrock e la stessa  $H \geq 30$  m è immediato calcolare il valore di  $V_{s30}$  attraverso la misura della frequenza  $f$ .

$$V_{s30} = f \times 4 H$$

In un terreno multistrato, per una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde  $V_s$  è necessario adottare una modellazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione.

$$\hat{V}_s = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}}$$

dove:

$V_s$  = valore di velocità delle onde di taglio [m/s]  
 $H$  = profondità alla quale si desidera stimare  $V_s$  [m] (30 m in caso di  $V_{s30}$ )  
 $h_i$  = spessore dello strato  $i$ -esimo [m]

La velocità ha valori che variano in funzione alla litologia presente nel sottosuolo; secondo Borchardt (1994) tale valore è compreso in dei "range" come appresso specificato.

TIPO DI SUOLO	$V_s$ min [m/s]	$V_s$ media [m/s]	$V_s$ max [m/s]
<b>ROCCE MOLTO DURE</b> (es. rocce metamorfiche molto poco fratturate)	1400	1620	-
<b>ROCCE DURE</b> (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturati)	700	1050	1400
<b>SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE</b> (es. rocce sedimentarie ignee, tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
<b>ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI</b> (es. sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
<b>TERRENI TENERI</b> (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

## *RILIEVO TROMOGRAFICO*

Il Tromino rappresenta lo strumento ideale per la realizzazione di un sondaggio tromografico o di una tomografia, ovvero per misurare il rumore Sismico (frequenza di risonanza del terreno) lasciando imperturbato il campo d'onda presente nell'ambiente con un potere risolvete anche migliore di quello garantito dai più moderni sistemi permanenti del tipo sismometro in volta - digitalizzatore presenti sul mercato.

Lo strumento con il quale si sono effettuate le misurazioni dispone di tre canali connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione disposti secondo tre direzioni ortogonali, più un canale per il segnale GPS e un canale aggiuntivo per applicazioni di sismica attiva. Il moto del terreno è amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e salvato su una memoria dalla quale può essere trasferito ad un PC dove, mediante un apposito codice di calcolo appositamente sviluppato, che archivia, analizza e permette la revisione del segnale.

### *- Frequenza di misurazione*

Nei sistemi semplici monostrato + bedrock, la relazione che lega la frequenza fondamentale di risonanza  $f$  allo spessore  $h$  dello strato che risuona dipende dalla  $V_s$  (velocità delle onde di taglio del mezzo) è la seguente:

$$f = \frac{V_s}{4h}$$

Dalla formula succitata consegue che uno spessore di 1 m di argilla sovrastante un bedrock sismicodarebbe una risonanza a  $f = 100-180 \text{ m/s} / (4 \times 1 \text{ m}) = 25-45 \text{ Hz}$ .

Poiché difficilmente l'interesse geologico riguarda spessori inferiori ad 1 m, segue che la frequenza massima di interesse stratigrafico è intono ai 30-40 Hz. Un campionamento a **128 Hz** è risultato pertanto soddisfacente alle esigenze di cui al presente studio.

### *- Durata della misurazione*

La durata della registrazione invece va commisurata alla frequenza minima di interesse della stessa. Supponiamo ad esempio di voler osservare un la risonanza di una coltre sedimentaria molto profonda, per es. a 300 m di spessore, che, stando alla relazione succitata, potrà dare circa  $f = 0,5 \text{ Hz}$ . Una frequenza di 0,5 Hz equivale ad un periodo  $T = 2 \text{ s}$ , pertanto si tratta di un segnale che si ripete ogni due secondi.

E' evidente che per poter osservare queste frequenze bisogna registrare per almeno 2 s. Per avere una certa risoluzione spettrale è poi opportuno che il segnale venga analizzato su

finestre almeno 10 volte più lunghe della frequenza minima di interesse, nel nostro esempio  $10 \times 2 \text{ s} = 20 \text{ s}$ . Quindi occorrerebbero almeno 20 s di misura.

Infine è opportuno che il segnale venga mediato a livello statistico, pertanto si raccomanda di campionare almeno 30-40 finestre di 20 s di lunghezza (10 min o più).

Per applicazioni stratigrafiche, in definitiva la durata della registrazione opportuna è:

- molto superficiali (5 m): 5 min
- entro i primi 30-50 m: > 10 min
- molto profonde: >15 min

A scopo cautelativo, nella fattispecie, per entrambi i sondaggi tomografici si è adottata una durata della registrazione pari a **16 min**.

### *STIMA DEL VALORE DI $V_{s30}$*

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si è utilizzato un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli. Operativamente, costruito un modello teorico HVSR (avente tante discontinuità sismiche quanto sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita) si è proceduto, tramite apposito algoritmo, ad adattare la curva teorica a quella sperimentale e conseguentemente potere determinare lo spessore dei “sismostrati” con la relativa velocità  $V_s$ .

#### *- Finestra di analisi (windows size)*

La lunghezza della finestra di analisi va scelta in funzione della frequenza minima di interesse e della durata della registrazione.

Tipicamente essa sarà 20-30 s per registrazioni di durata superiore ai 10 min, 15 s per registrazioni di durata inferiore a 10 min.

Tenuto conto che la registrazione che si è adottata nella presente analisi è di 16 min., si è considerata una finestra di analisi di **20 s**, per entrambi i sondaggi.

#### *- Lisciamento triangolare (smoothing)*

L'utilizzazione di un lisciamento triangolare al **10%** è un buon compromesso per tutte le registrazioni a scopo stratigrafico in quanto consente facilmente di distinguere i picchi di natura antropica da quelli naturali (caratterizzati sempre da un minimo locale sulla componente verticale e dalla famosa forma “a occhio” degli spettri).

#### *- Significatività del picco H/V – Criteri di SESAME (2005)*

L'analisi di significatività del picco H/V secondo i criteri SESAME (2005) è stata effettuata di default sul picco di ampiezza.

Ai fini della vulnerabilità sismica però non è necessariamente il picco H/V più ampio che conta ma quello la cui frequenza è più prossima a quella dell'edificato.

Dalla tabella con i criteri SESAME (2005) relativi alla significatività statistica del picco considerato si può rilevare:

- dai primi 3 criteri: se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata. E' opportuno che questi 3 criteri siano tutti soddisfatti.

Nel caso in specie, per entrambi i sondaggi, tutti e tre i criteri sono stati soddisfatti.

- i secondi 6 criteri: se il picco è significativo da un punto di vista statistico.

ST M - è presente un picco chiaramente significativo;

ST V - è presente un picco mediamente significativo;

ST C - è presente un picco significativo a bassa profondità.

Come valori della frequenza di risonanza si sono registrati i seguenti picchi:

- a 7,75 Hz per il sondaggio ST-M;

- a 7,94 Hz per il sondaggio ST-V;

- a 41,5 Hz per il sondaggio ST-C.

#### *- Interpretazione della curva H/V (Fit teorico – Inversione)*

In prima istanza si è provveduto ad effettuare la pulizia della traccia registrata (nel dominio delle frequenze e non dei tempi) eliminando dall'analisi interpretativa le porzioni di traccia caratterizzate da frequenze "anomale".

A seguito della selezione delle parti del tracciato da conservare, si è proceduto all'interpretazione, vincolando una curva H/V ed effettuando un *fit* teorico, ovvero effettuando una operazione di inversione. In particolare:

1. riconosciuto nella curva un picco correlabile alla prima discontinuità nota e fissata la profondità di questa come spessore del primo strato, tramite la formula di prima approssimazione  $f = V_s / (4H)$  si è stimato il valore di  $V_s$  del primo strato;
2. dopo, mettendo un secondo strato con una  $V_s$  di prima approssimazione stimata sulla base dell'ampiezza del picco H/V corrispondente, si è definito lo spessore del secondo strato;
3. a seguito, si è proceduto nella stessa maniera per gli altri strati fino ad almeno alla profondità di 30 m., al fine di potere definire il valore di  $V_{s30}$ .

#### *- Calcolo del valore di $V_{s30}$*

La modellazione e l'inversione delle curve H/V utilizzando il campo di onde sintetico, fornisce un modello di sottosuolo, come appresso riportato negli allegati grafici.

Il valore dell' "average shear wave velocity" ( $V_{s30}$ ), come esplicitamente richiesto dalle vigenti Norme Tecniche Costruzioni, per questo modello pertanto è stato stimato in:

-  $V_{s30} = 437$  m/s in corrispondenza del sondaggio ST - M

-  $V_{s30} = 439$  m/s in corrispondenza del sondaggio ST - V

-  $V_{s30} = 317$  m/s in corrispondenza del sondaggio ST - C

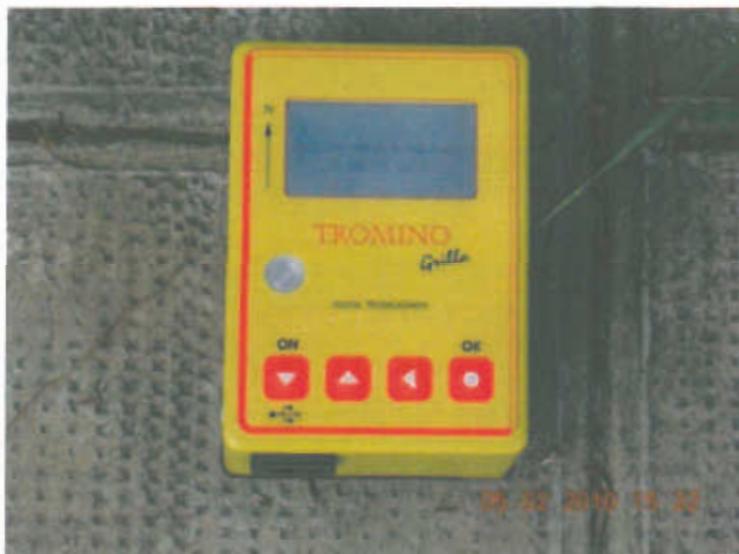
- $V_{S30} = 439$  m/s in corrispondenza del sondaggio ST – V
- $V_{S30} = 317$  m/s in corrispondenza del sondaggio ST – C

### 5. Risultanze del sondaggio tromografico e calcolo del valore di $V_{S30}$

#### SONDAGGIO ST - M

Ubicazione sito di registrazione: Palermo - Via Da Vinci  
Canale Passo di Rigano – Lato Monte

Inizio registrazione: 05/02/10 ore 14:22:55 – Fine registrazione: 05/02/10 ore 14:38:56



Durata di registrazione (*Trace length*): 16 minuti

Traccia "ripulita" e analizzata: 75%

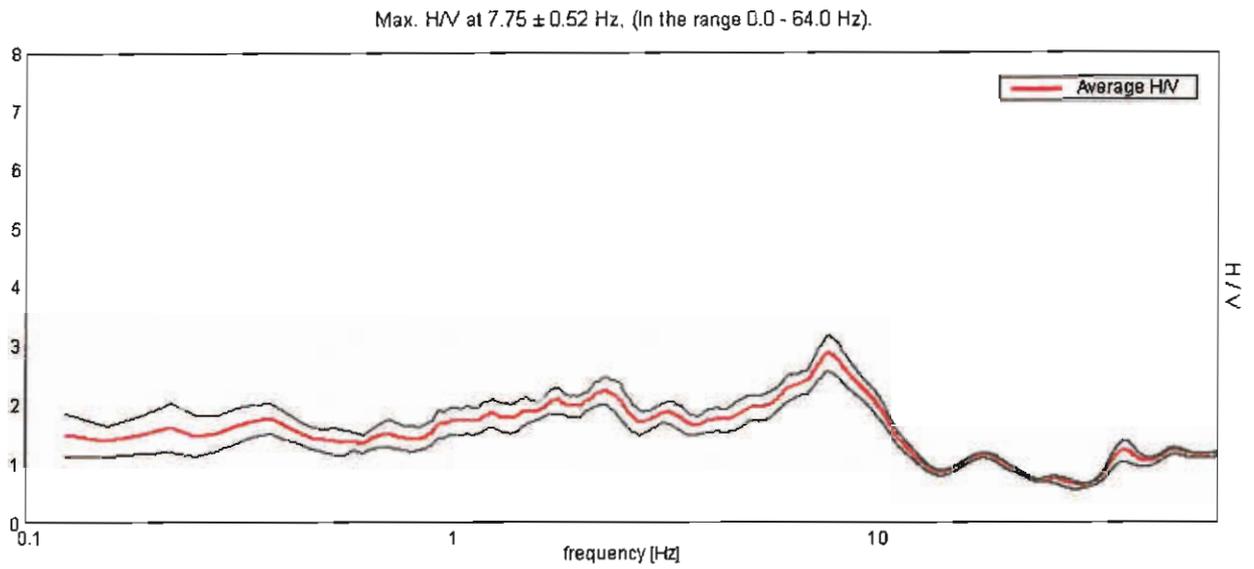
Frequenza massima di campionamento (*sampling frequency*): 128 Hz

Finestra di analisi (*Windows size*): 20 s

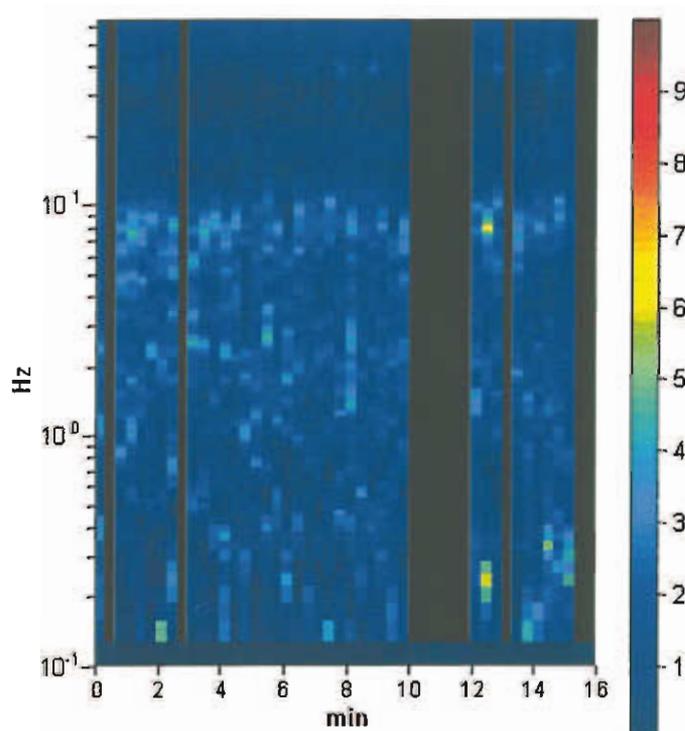
Finestra di lisciamento (*Smoothing window*): Triangolare

Lisciamento (*Smoothing*): 10%

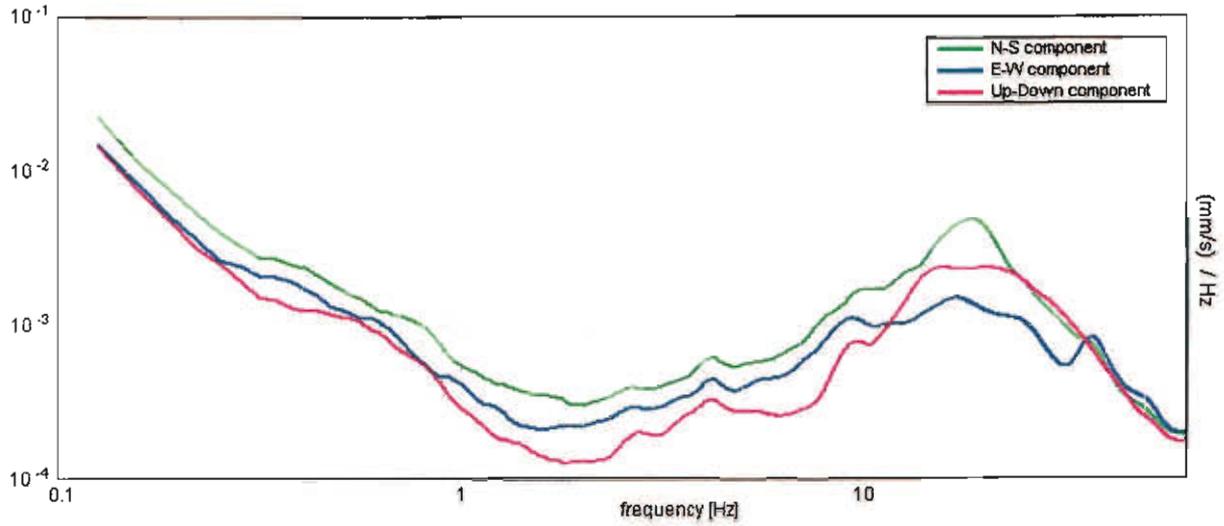
### CURVA HVSR O DEL RAPPORTO SPETTRALE H/V (registrata)



### SEQUENZA "RIPULITA" DELLA TRACCIA REGISTRATA

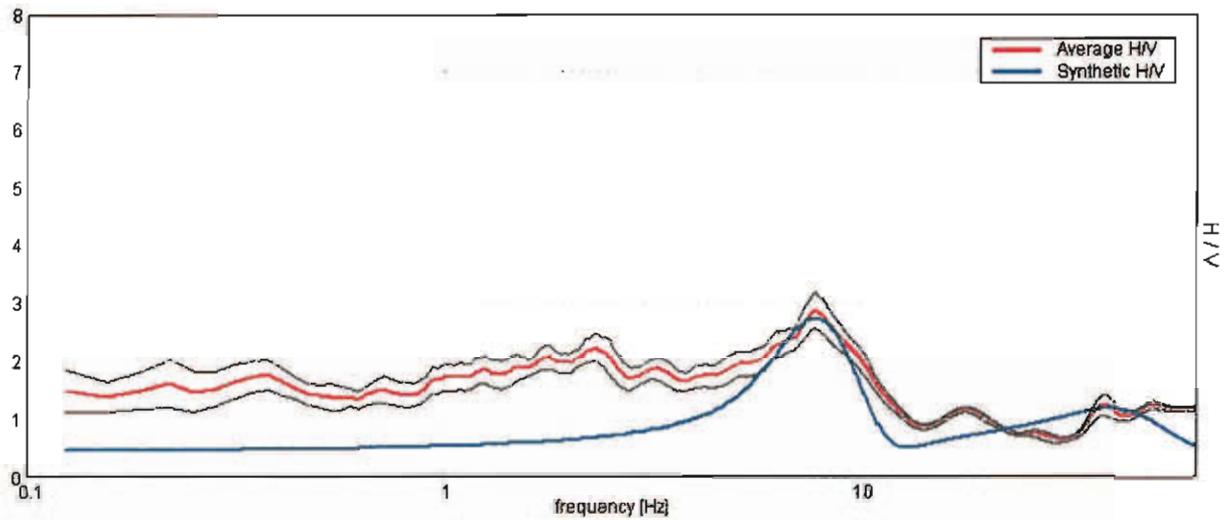


### CURVE DELLE SINGOLE COMPONENTI DELLO SPETTRO



### CURVA SINTETICA DEL RAPPORTO SPETTRALE H/V

Max. H/V at  $7.75 \pm 0.52$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



**Profondità [m]**

0.90  
9.10  
inf.

**Spessore [m]**

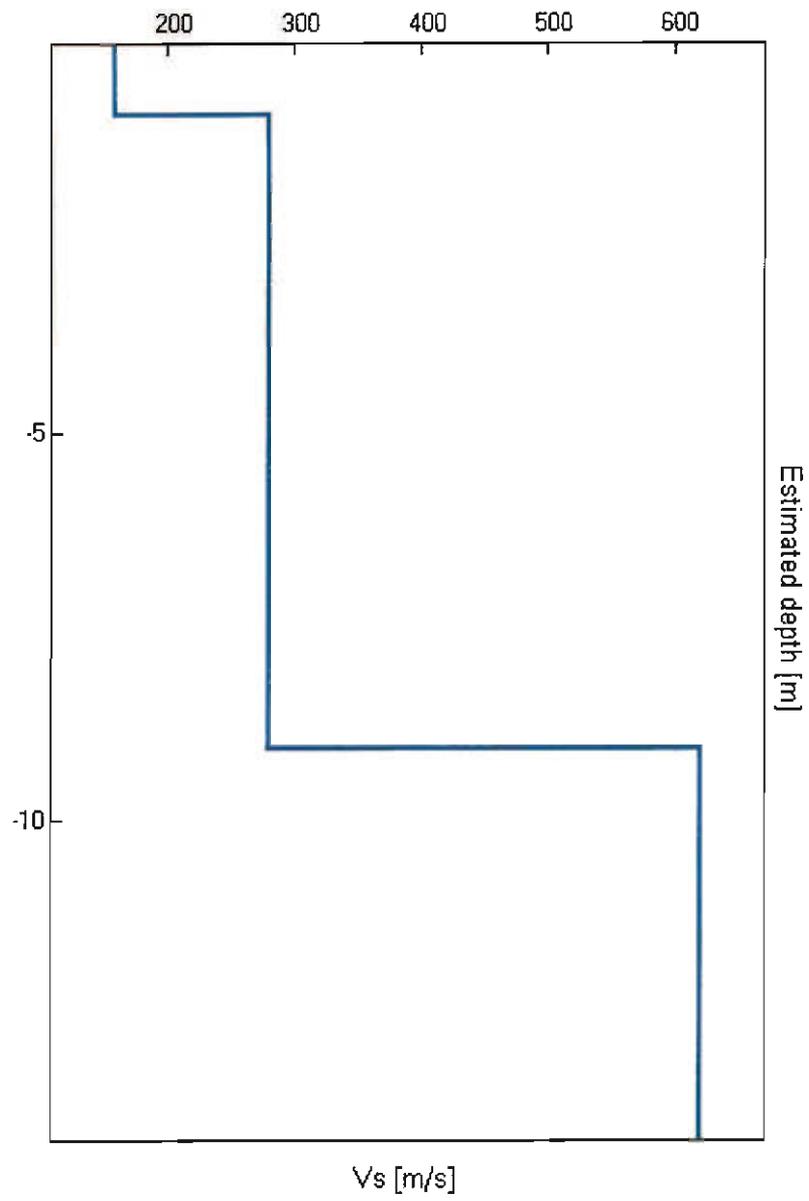
0.90  
8.20  
inf.

**Vs [m/s]**

160  
280  
620

**$V_{s30} = 437$  m/s**

# PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO (ST - M)



**SIGNIFICATIVITA' DEI PICCHI REGISTRATI**  
**CRITERI DI SESAME (2005)**

**Max. H/V at 7.75 ± 0.52 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri di verifica dell'attendibilità della curva HVSR**

[Tutti e 3 i criteri debbono essere soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$7.75 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5735.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 373 times	OK	

**Criteri di verifica della significatività statistica della curva "ripulita"**

[Almeno 5 dei 6 criteri debbono essere soddisfatti]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{HV}(f^-) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{HV}(f^+) < A_0 / 2$	11.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.87 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03277  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.25394 < 0.3875$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1489 < 1.58$	OK	

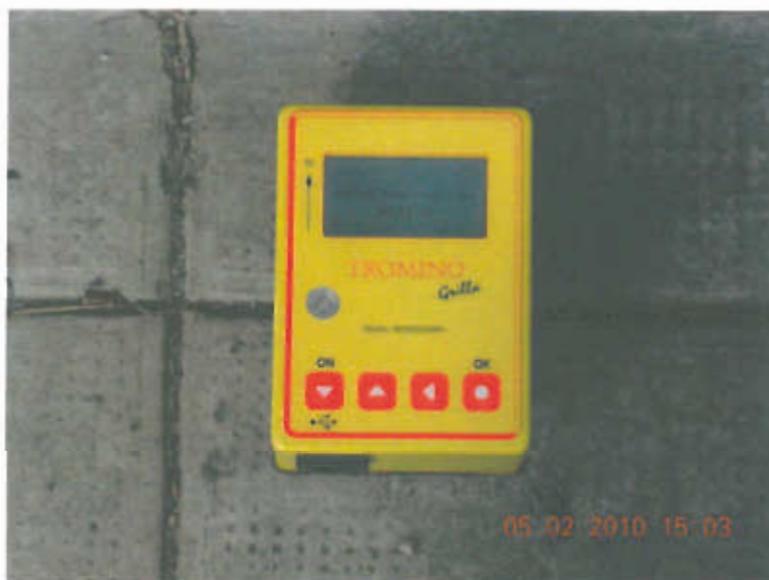
$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{HV}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{HV}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{HV}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{HV}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log HV}(f)$	standard deviation of log $A_{HV}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

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

## SONDAGGIO ST - V

Ubicazione sito di registrazione: Palermo - Via Da Vinci  
Canale Passo di Rigano – Lato Valle

Inizio registrazione: 05/02/10 ore 14:01:23 – Fine registrazione: 05/02/10 ore 14:17:24



Durata di registrazione (*Trace length*): **16 minuti**

Traccia "ripulita" e analizzata: **75%**

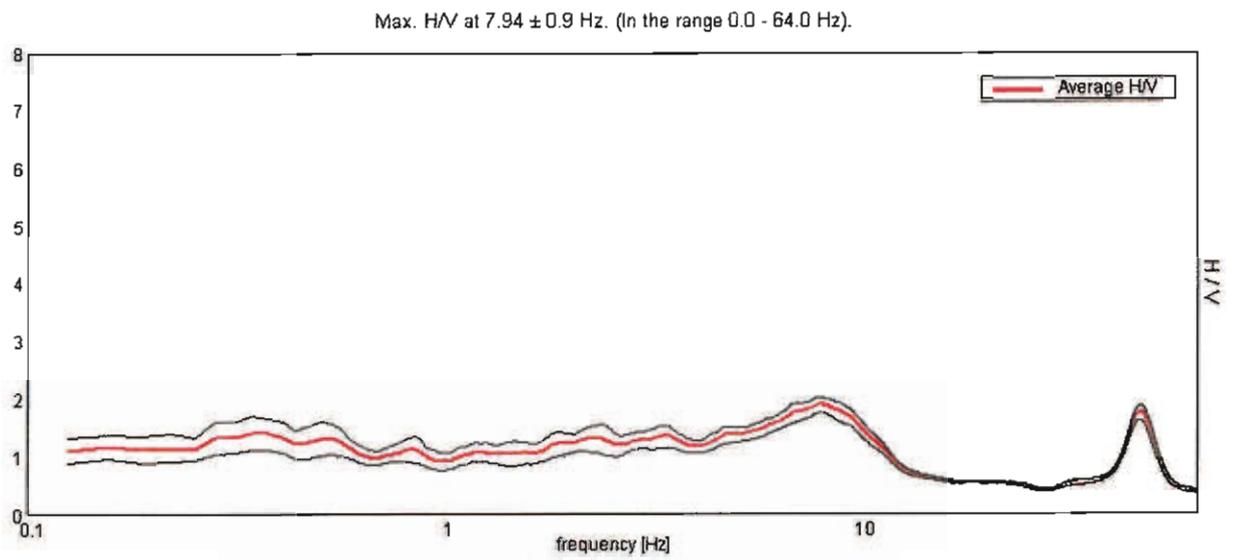
Frequenza massima di campionamento (*sampling frequency*): **128 Hz**

Finestra di analisi (*Windows size*): **20 s**

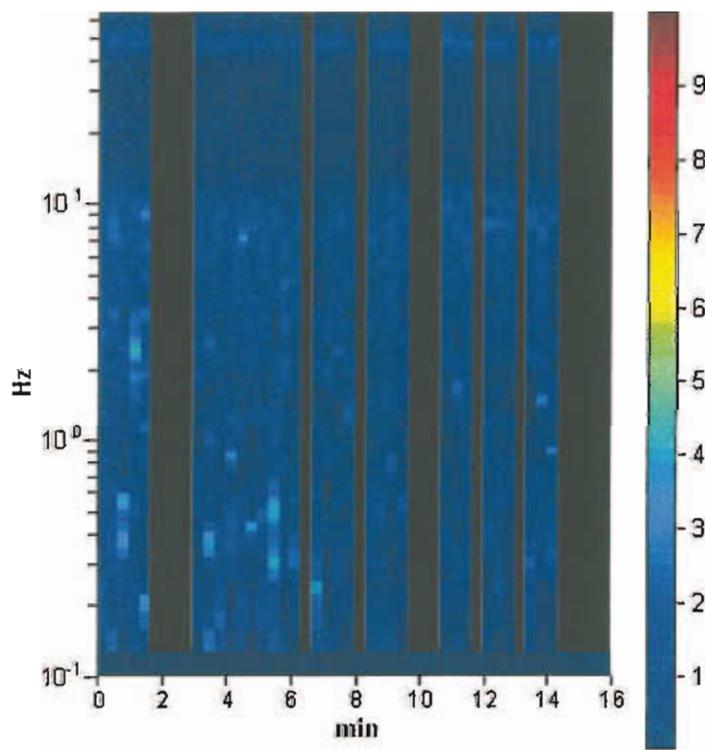
Finestra di lisciamento (*Smoothing window*): **Triangolare**

Lisciamento (Smoothing): 10%

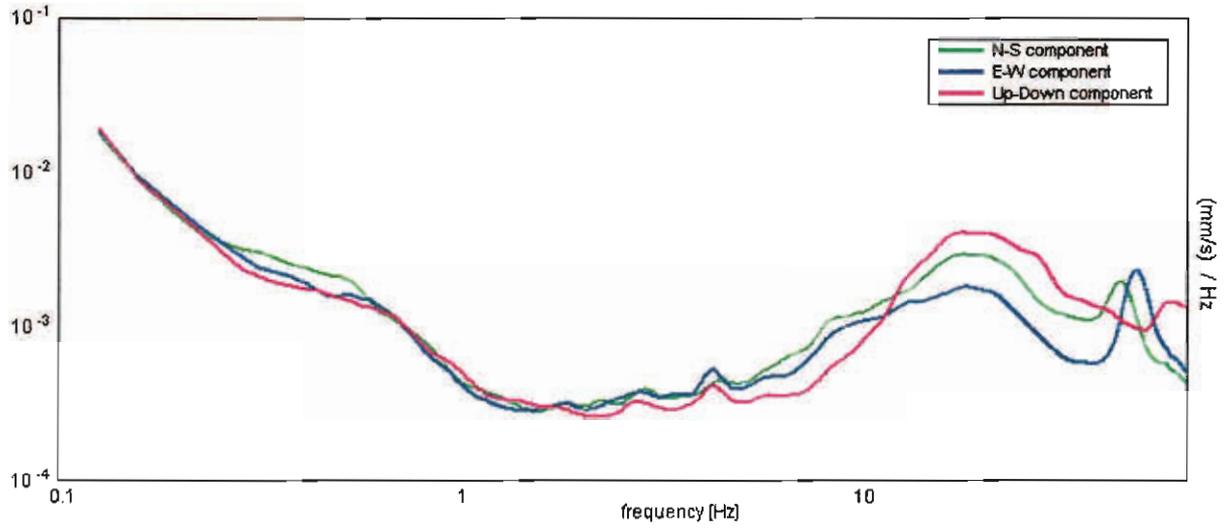
### CURVA HVSR O DEL RAPPORTO SPETTRALE H/V (registrata)



### SEQUENZA “RIPULITA” DELLA TRACCIA REGISTRATA

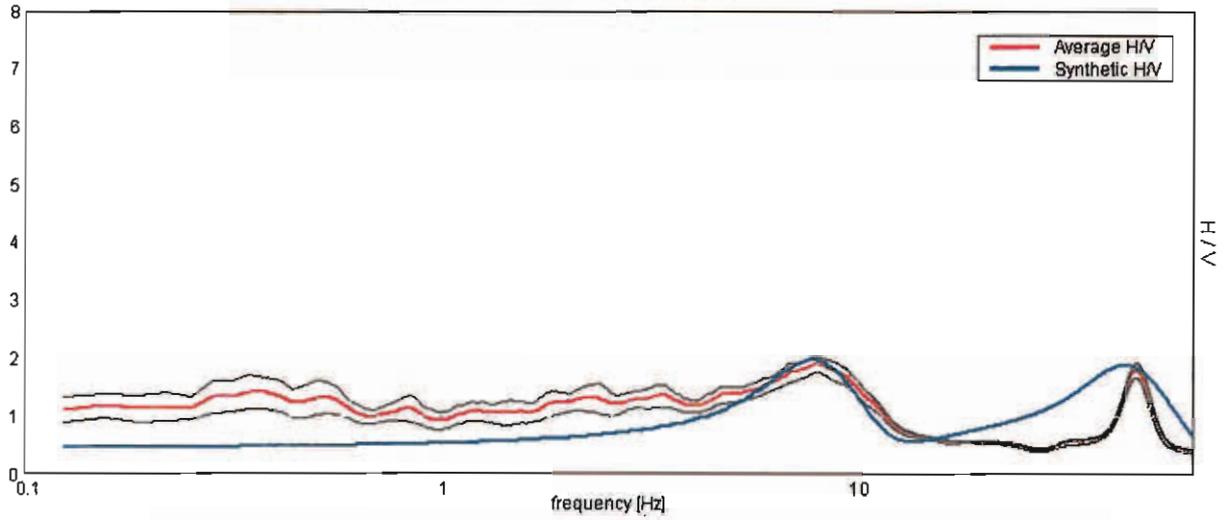


### CURVE DELLE SINGOLE COMPONENTI DELLO SPETTRO



### CURVA SINTETICA DEL RAPPORTO SPETTRALE H/V

Max. H/V at  $7.94 \pm 0.9$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



**Profondità [m]**

0.80  
9.30  
inf.

**Spessore [m]**

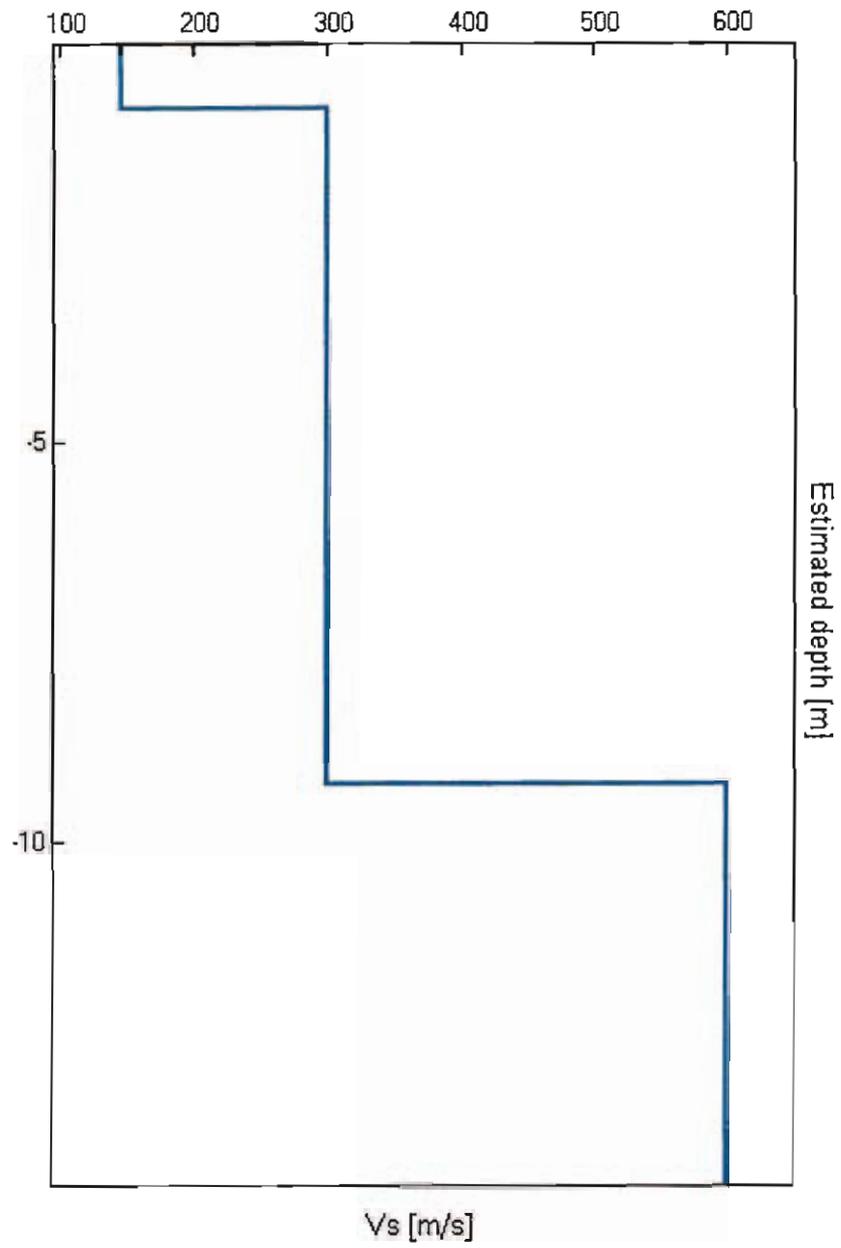
0.80  
8.50  
inf.

**Vs [m/s]**

145  
300  
600

**Vs<sub>30</sub> = 439 m/s**

### PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO (ST - V)



**SIGNIFICATIVITA' DEI PICCHI REGISTRATI**  
**CRITERI DI SESAME (2005)**

Max. H/V at 7.94 ± 0.9 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

**Criteri di verifica dell'attendibilità della curva HVSR**

[Tutti e 3 i criteri debbono essere soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	7.94 > 0.50	OK
$n_c(f_0) > 200$	5080.0 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 382 times	OK

**Criteri di verifica della significatività statistica della curva "ripulita"**

[Almeno 5 dei 6 criteri debbono essere soddisfatti]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{HV}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{HV}(f^+) < A_0 / 2$	11.906 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.89 > 2		NO
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0544  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.43183 < 0.39688$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.0632 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{HV}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{HV}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{HV}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{HV}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log HV}(f)$	standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

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

## SONDAGGIO ST - C

**Ubicazione sito di registrazione: Palermo - Via Castellana**

Inizio registrazione: **27/07/10 ore 14:16:48** – Fine registrazione: **27/07/10 ore 14:32:49**



Durata di registrazione (*Trace length*): **16 minuti**

Traccia "ripulita" e analizzata: **75%**

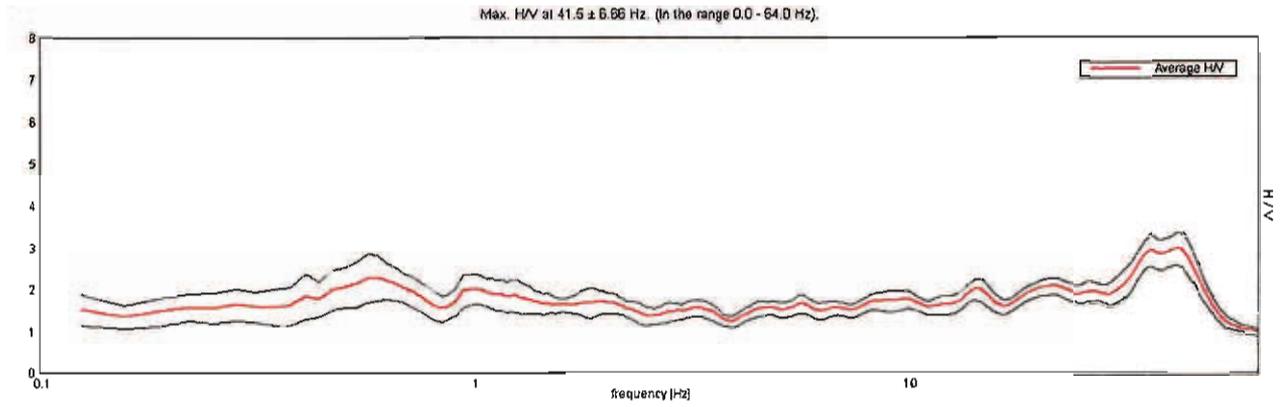
Frequenza massima di campionamento (*sampling frequency*): **128 Hz**

Finestra di analisi (*Windows size*): **20 s**

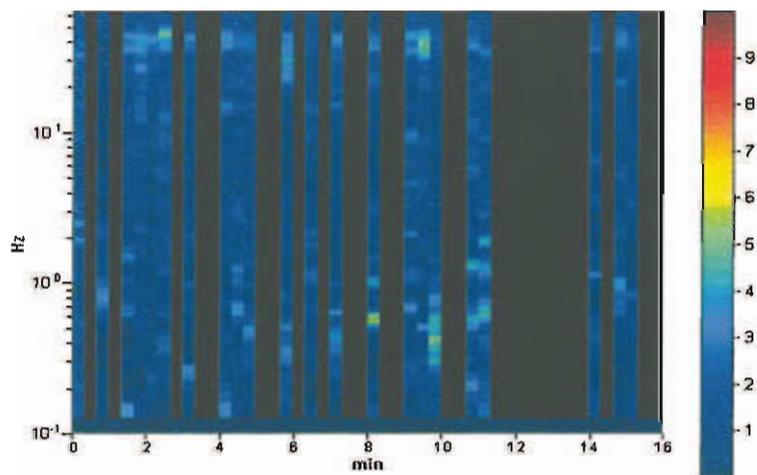
Finestra di lisciamento (*Smoothing window*): **Triangolare**

Lisciamento (*Smoothing*): 10%

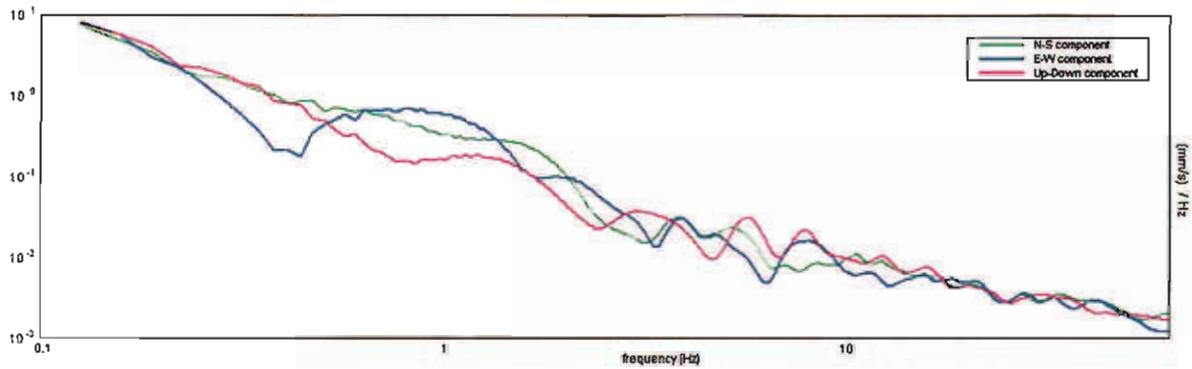
### CURVA HVSR O DEL RAPPORTO SPETTRALE H/V (registrata)



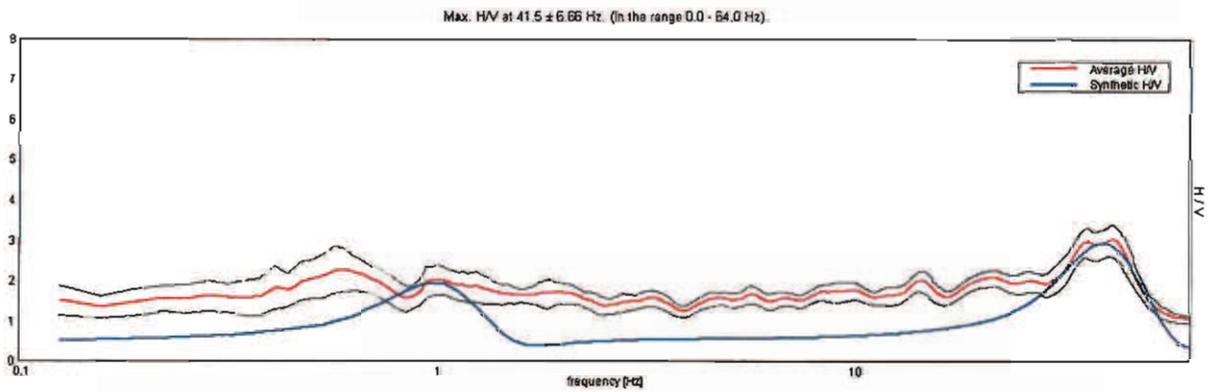
### SEQUENZA “RIPULITA” DELLA TRACCIA REGISTRATA



## CURVE DELLE SINGOLE COMPONENTI DELLO SPETTRO



## CURVA SINTETICA DEL RAPPORTO SPETTRALE H/V



**Profondità [m]**

0.90  
80.90  
inf.

**Spessore [m]**

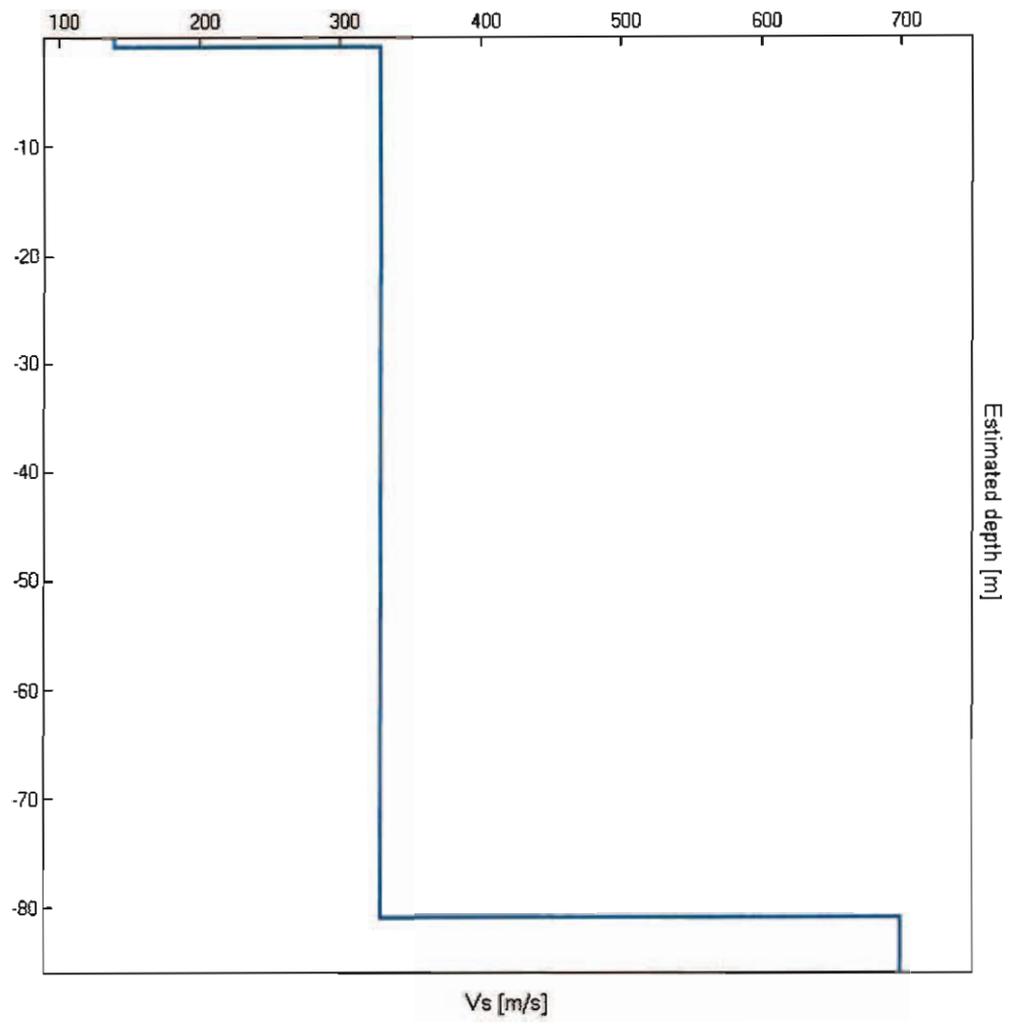
0.90  
80.00  
inf.

**Vs [m/s]**

140  
330  
700

**$V_{s30} = 317 \text{ m/s}$**

### PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO (ST - C)



**SIGNIFICATIVITA' DEI PICCHI REGISTRATI**  
**CRITERI DI SESAME (2005)**

**Max. H/V at 7.94 ± 0.9 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri di verifica dell'attendibilità della curva HVSR**

[Tutti e 3 i criteri debbono essere soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	41.50 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	18260.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1385 times	OK	

**Criteri di verifica della significatività statistica della curva "ripulita"**

[Almeno 5 dei 6 criteri debbono essere soddisfatti]

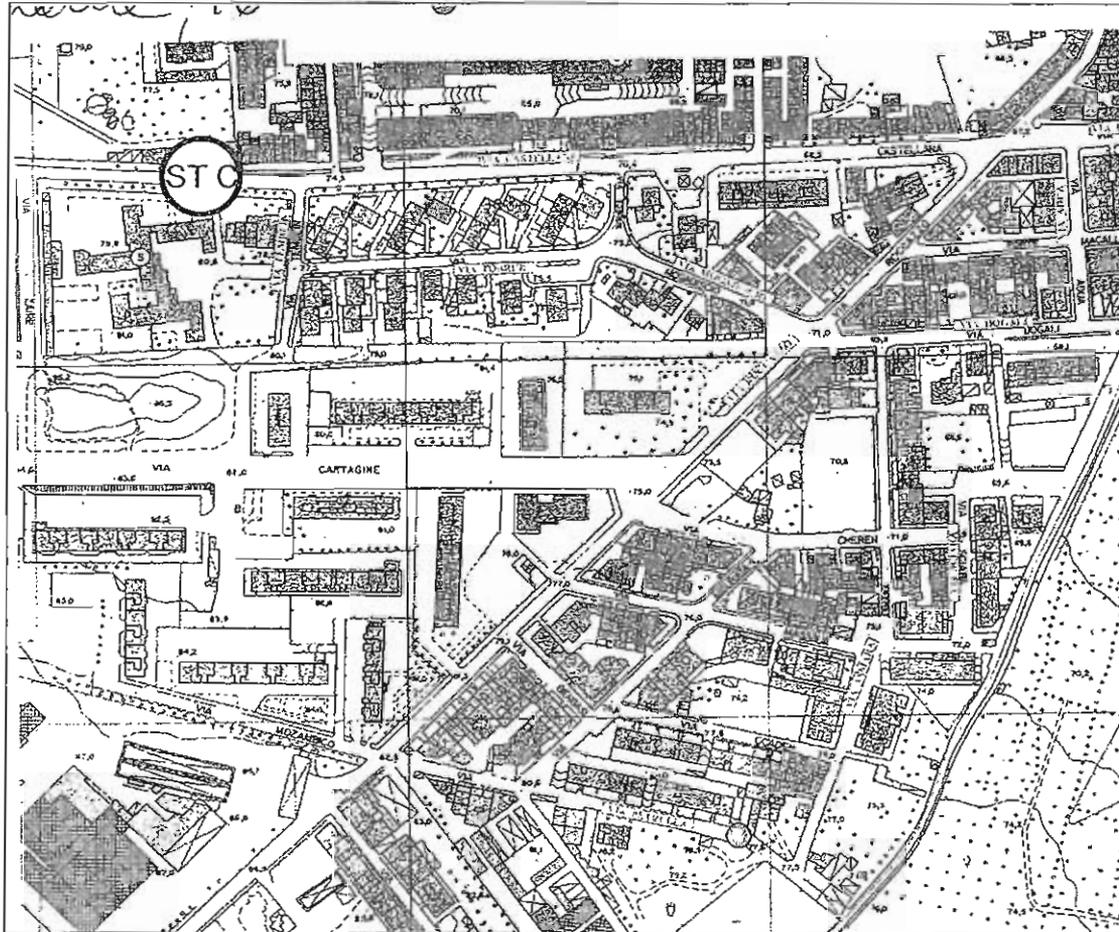
Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f^-) < A_0 / 2$			
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^+) < A_0 / 2$	51.094 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.00 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.07536  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$3.12743 < 2.075$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1829 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{HV}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{HV}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{HV}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{HV}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log HV}(f)$	standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log HV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# UBICAZIONE SONDAGGI TROMOGRAFICI (via Castellana)



Sondaggio tromografico

# UBICAZIONE SONDAGGI TROMOGRAFICI (zona via Leonardo Da Vinci)

