



CORSO IN GEOFISICA

Caratterizzazione dei suoli

con varie tecniche attive e passive

Albornoz Palace Hotel

Viale Giacomo Matteotti, Spoleto (PG)

2 - 3 Dicembre 2016

RAPPORTI SPETTRALI - HVSR

TEORIA - PRATICA DI ACQUISIZIONE

ED USO DEL DATO REGISTRATO

Dott. Geol. Lando Umberto Pacini

Lpgeognostica - indagini geofisiche

Via G. Garibaldi 34 - 51011 Buggiano (PT)

3483342249 - landopacini@gmail.com

INDAGINI GEOFISICHE

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SUOLO

- Sismica a rifrazione
 - Sismica a riflessione
 - Prova down-hole
 - Prova cross-hole
 - Prova MASW – SASW
 - Prova REMI – antenna sismica (*)
 - **Analisi HVSR microtremori (*)**
- di superficie
- in foro
- di superficie con onde di Love/Rayleigh

(*) metodi passivi: impiegando sorgenti naturali di sollecitazione del suolo (noise)

indagini sismiche con tecniche "passive"

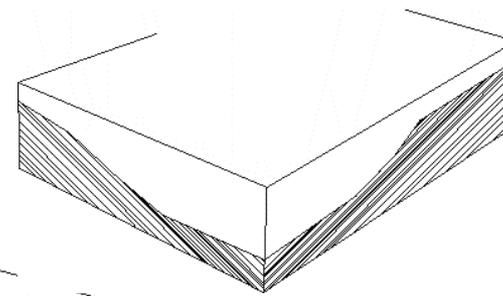
DOVE SI POSSONO USARE LE
TECNICHE HVSR?

Definizione dello scenario da studiare

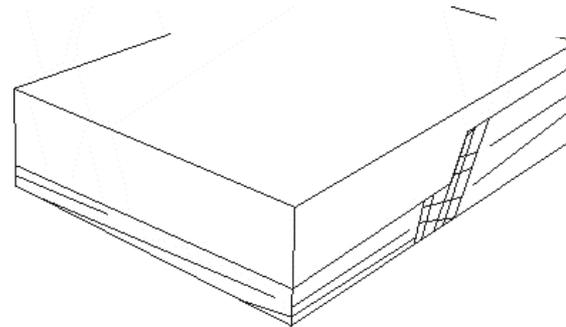


Aree in frana

Geologie sepolte



Strutture sepolte



Caratteri dominanti del metodo

I rilievi HV rientrano nella sismica "passiva", si utilizzano sorgenti "naturali" non controllate ed irregolari a struttura stocastica, e consistono in vibrazioni per spostanti dell'ordine di $\text{cm } 10^{-2}$ - 10^{-4} del terreno e che sono denominate "rumore ambientale", "microtremori" o "rumore sismico"

Quindi si possono utilizzare ovunque ci siano assenze di condizionamenti che ne inficiano l'utilizzo



TIPO DI RUMORE

Gli studi condotti sui rapporti spettrali, hanno messo in evidenza che il rumore ambientale può essere differenziato in tre domini di frequenza:

Bassa frequenza (<0.5 Hz) - Microsismi

E' di origine essenzialmente naturale con sorgenti di grandi dimensioni spaziali (onde oceaniche, grandi perturbazioni atmosferiche, ecc.); ha un carattere stazionario (ovvero le sue proprietà statistiche non cambiano nel tempo) alla scala delle ore e dei giorni.

Alta frequenza (>1 Hz) - Microtremore

E' di origine essenzialmente antropica (traffico veicolare e pedonale, attività industriale, ecc.) e talvolta naturale ma a scala locale (vento sugli edifici e le piante, ecc.); mostra caratteristiche significative variazioni alla scala delle attività antropiche (giorno/notte, festivi/feriali, ecc.).

Frequenza intermedia (<1 Hz e >0.5 Hz)

A seconda delle caratteristiche del sottosuolo, sia sorgenti naturali che antropiche possono condizionare le vibrazioni ambientali, con un livello di stazionarietà variabile da caso a caso

perche' le indagini di tipo passivo ?

La scelta di impiegare a supporto della caratterizzazione geometrica e elasto-meccanica del sottosuolo indagini sismiche di tipo "passivo" deriva da alcune peculiarità delle prospezioni medesime, pur nei limiti intrinseci ad ogni tipologia di prospezione diretta o indiretta, quali:

- Spazio modulare e limitato necessario all'esecuzione
- Elevata profondità di penetrazione di indagine
- Buona accuratezza nella misura dei parametri elastici
- Adattabilità in ogni situazione geologica e morfologica
- Costi di esecuzione contenuti

rilievo microtremori

- **Metodo di Nakamura** (stazione singola) – (prog.SESAME)
 - L'elaborazione viene sviluppata effettuando il rapporto tra la componente orizzontale e la componente verticale del moto, nell'ipotesi che la componente verticale non risenta degli effetti di amplificazione; i picchi del rapporto dipendono dalla sismostratigrafia del sottosuolo e sono funzione diretta del periodo fondamentale dei depositi e della frequenza di sito (f_0)

- **Metodo dei rapporti spettrali (stazioni multiple)** (non esaminato)
 - L'elaborazione viene effettuata sviluppando il rapporto tra lo spettro di Fourier di registrazioni effettuate sul sito in esame rispetto a registrazioni sviluppate su postazioni di riferimento (bedrock); analisi intese a determinare le funzioni di trasferimento del deposito da applicare al moto di input negli studi di "terzo livello" e fornire il grado di locale amplificazione



**GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION
OF THE H/V SPECTRAL RATIO
TECHNIQUE ON AMBIENT VIBRATIONS
MEASUREMENTS, PROCESSING AND
INTERPRETATION**

SESAME European research project
WP12 – Deliverable D23.12

European Commission – Research General Directorate
Project No. EVG1-CT-2000-00026 SESAME

December 2004

cosa affrontiamo in questa seduta

indagine rilievo microtremori postazione singola - HVSR

- 1 - Principi del metodo di misura
- 2 - Tecniche di misura
- 3 - Procedure di interpretazione



PRINCIPI DEL METODO HVSR

COSA SI DEVE SAPERE E RICORDARE

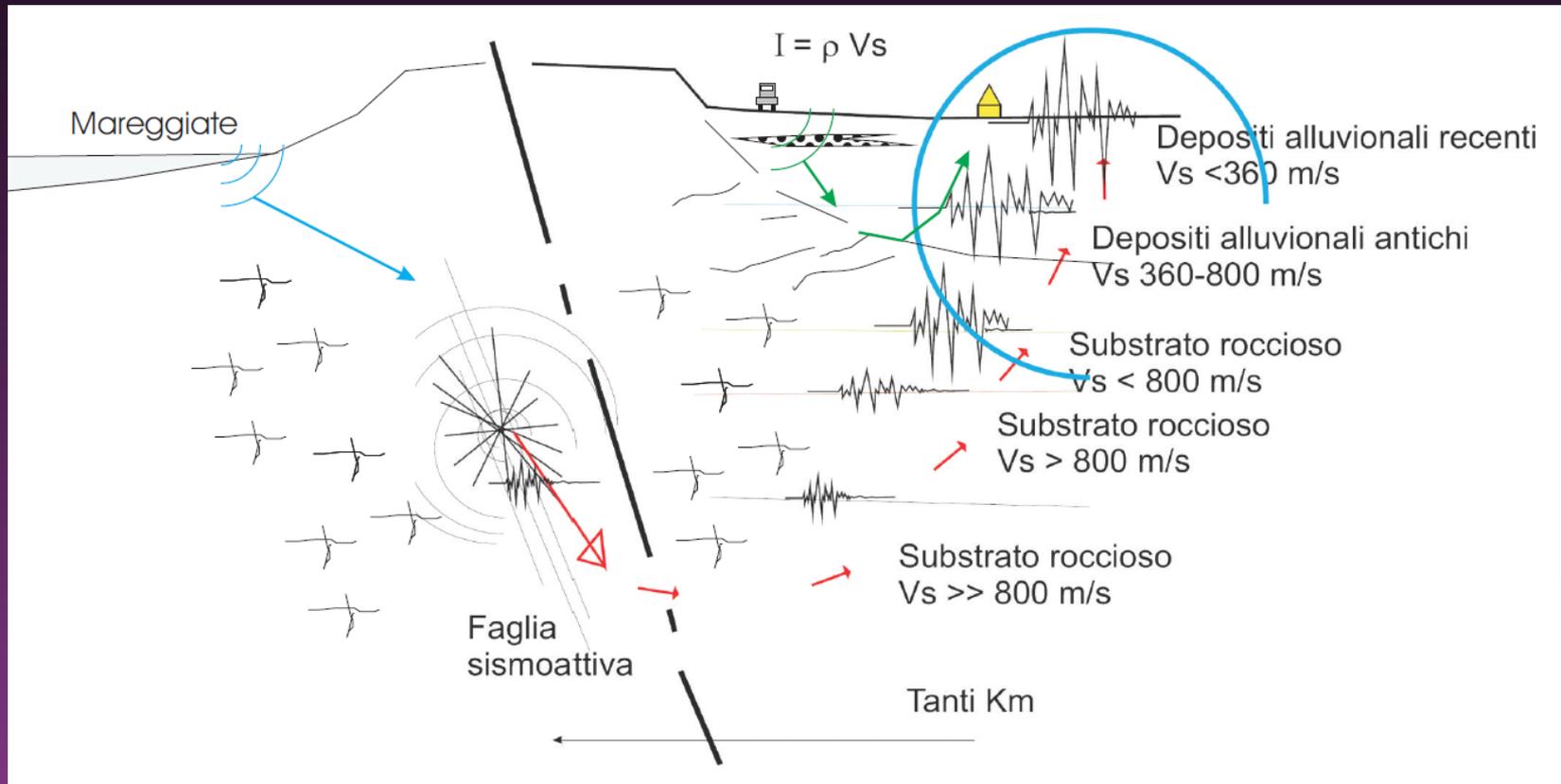
- Il sito di interesse presenta una anisotropia verticale nella serie stratigrafica
- Durante le misure l'azione antropica deve essere minima e comunque bassa
- Ogni sito vale per se. Non si possono fare estensioni ad altri siti anche se limitrofi e similari
- Ogni misura dovrebbe escludere forti differenze delle condizioni meteorologiche
- Dovrebbe essere assunto uno standard esecutivo

Perché si può usare HV

- Le misure HV prendono in considerazione un misto delle onde di Love, Rayleigh e onde di corpo (B.2) e i picchi hanno origine multipla.
- Le onde di Love caratterizzano il piano orizzontale. Le Rayleigh sia il piano orizzontale che verticale. Le onde di corpo (P e S) sono le prime a svilupparsi a seguito di un sisma

Cosa si misura:

evento naturale (moto ondoso ed eventi sismici) +
eventi antropici lontani (transito veicolare sufficientemente lontano)



LA DOMANDA IMPORTANTE:

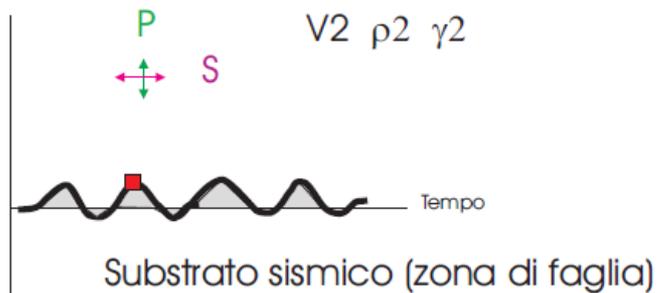
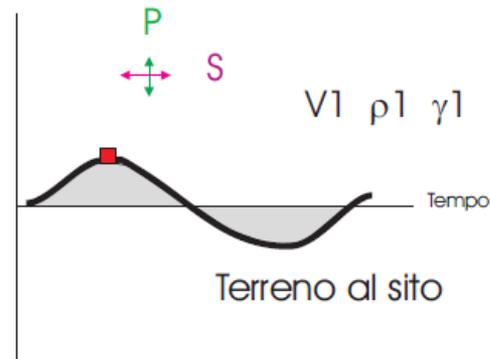
**Ma perché il contenuto spettrale di
un evento
si trasforma al passaggio da
una zona di faglia al nostro sito?**

Tutto dipende dalla rigidità e densità dei materiali.

Dovendosi mantenere l'energia della perturbazione, per la conservazione della quantità di moto al passaggio da un materiale rigido ad uno meno rigido, a meno dello smorzamento e trasformazione in calore, si ha un effetto che può essere così descritto:



Dalla zona di faglia ($V_s > 800$ m/s) si passa al terreno al sito con $V_1 < V_2$ ect..
 Risultato è ampiezza maggiore e frequenza minore



**Ma V , ρ e γ sono legati (in campo elastico)
alle caratteristiche del singolo materiale
cosa che rende possibile alcune correlazioni**

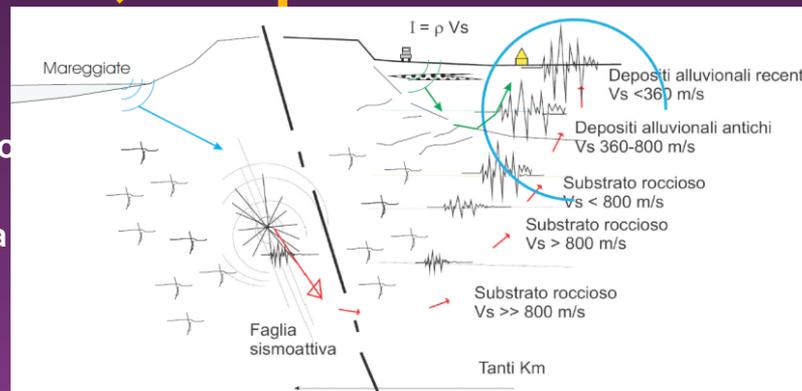
visualizzare foglio di calcolo [DMSISMIC.xls](#)

Si osserva che poco incide la variazione di V_p mentre molto è legato alla V_s .

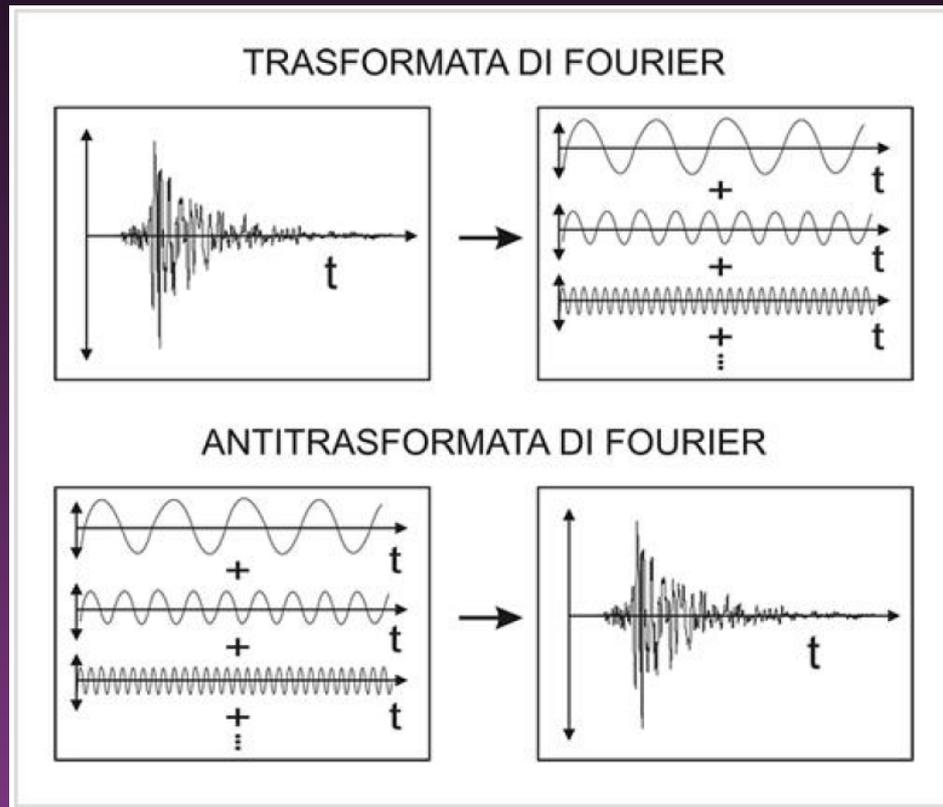
Ma la V_p e la V_s sono legati al contenuto spettrale verticale (P) ed orizzontale (S)

Quindi è la componente orizzontale quella che si trasforma maggiormente nel passaggio della perturbazione dal mezzo rigido a quello soprastante (componente verticale)

Ricordiamoci l'incidenza tipica di un'onda piana della perturbazione all'interfaccia
1/2



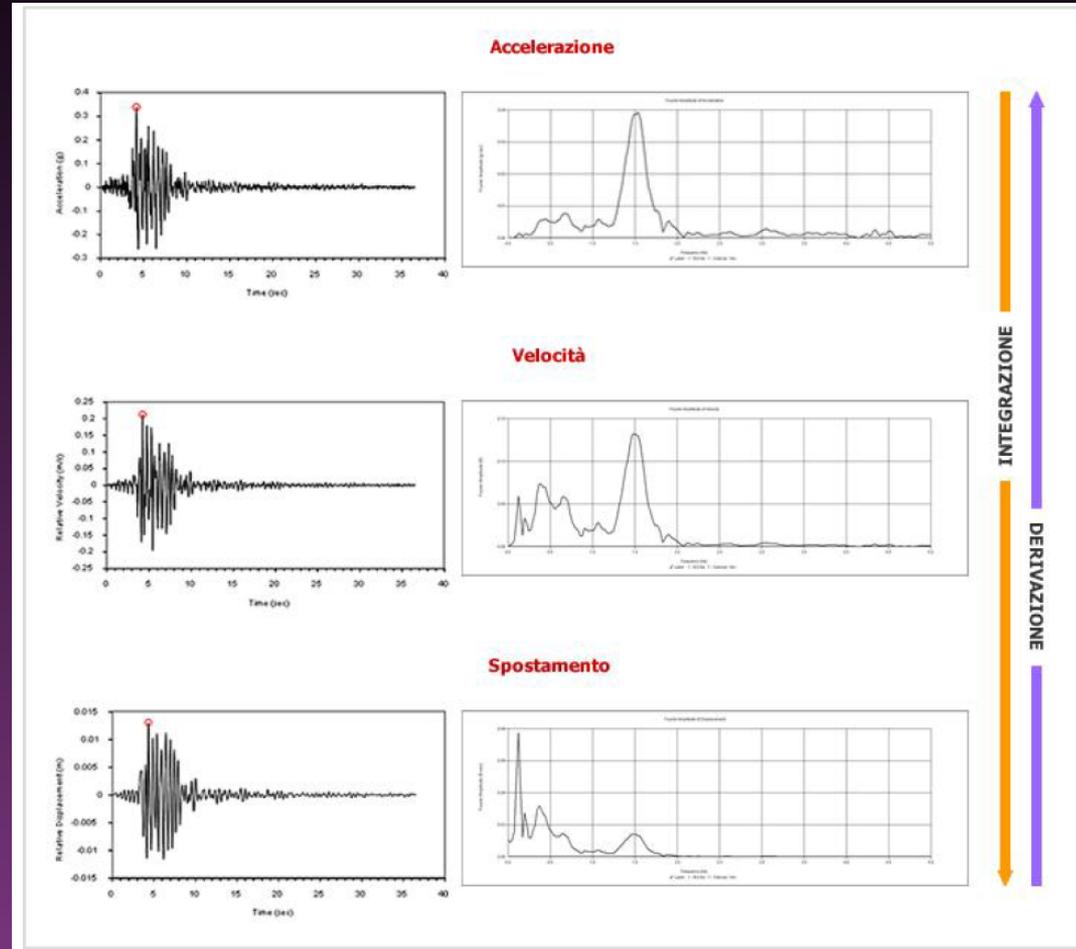
Come elaborare il segnale acquisito e sapere cosa c'è dentro? Lo strumento utile è la



(tratto da V. D'Intinosante-2012)

In particolare dobbiamo ricordarci che:

(tratto da V. D'Intinosante-2012)

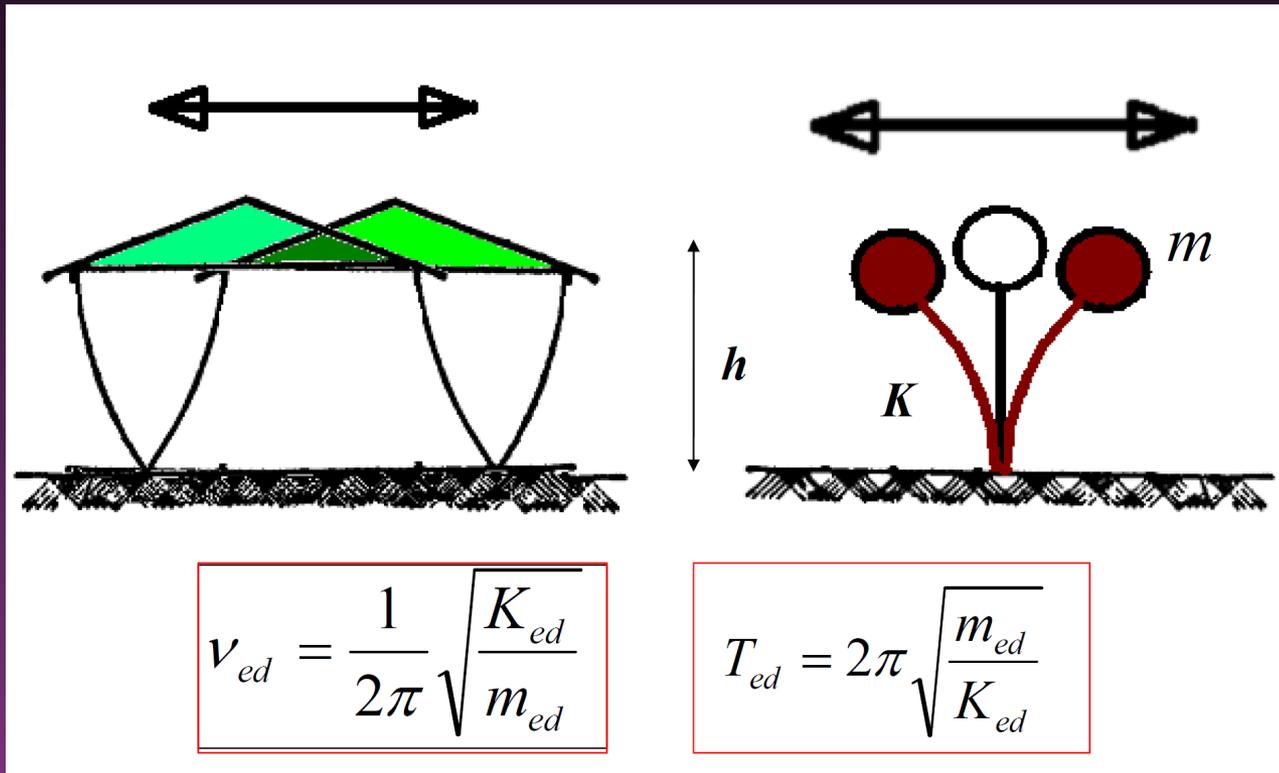


Risulta quindi utile **NORMALIZZARE** il
contenuto spettrale orizzontale rispetto al
contenuto spettrale verticale:

Horizontal Vertical Spectral Ratio

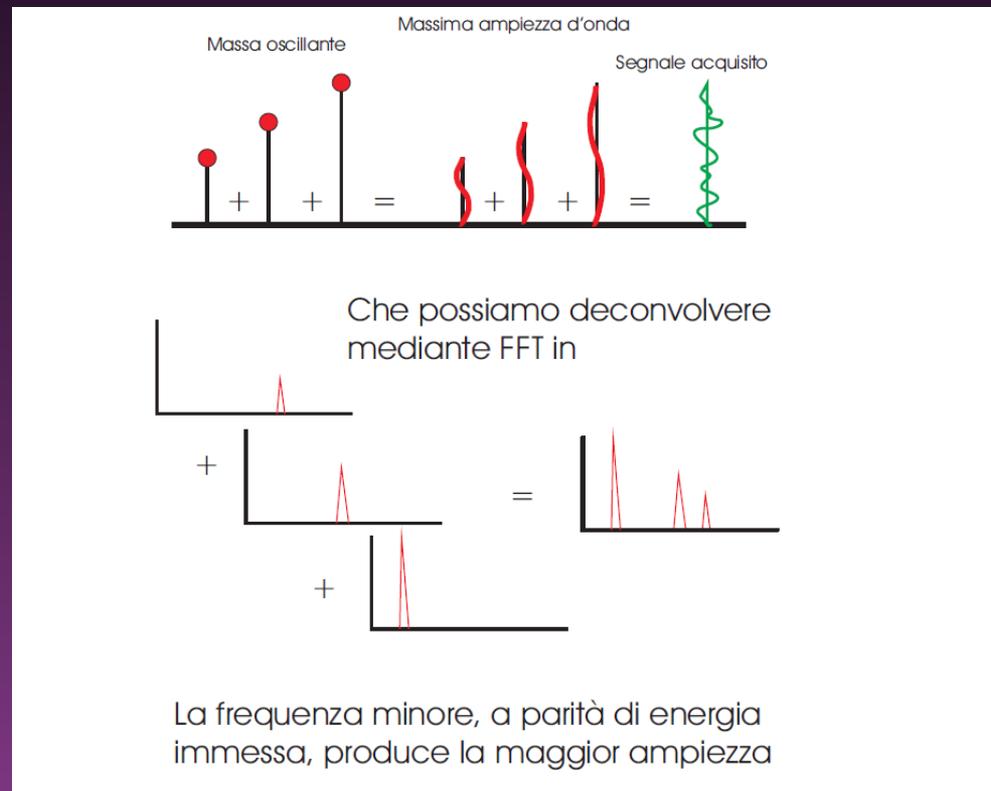


Ma cosa si definisce con HVSR? Si individuano i modi di vibrare di un volume internamente ad un sistema:

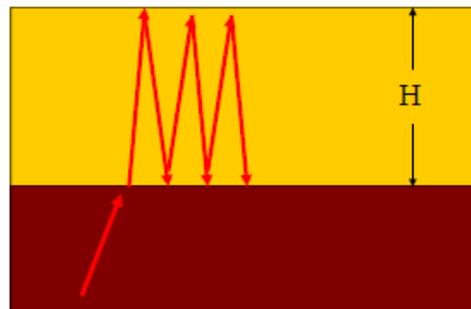


(tratto da D.Albarelo - 2012)

Ogni spessore di terreno significativo che presenta un contrasto di impedenza sismica >25% produce un picco di risonanza. Si può schematizzare così:



Quindi HVSR permette di definire la frequenza di risonanza del materiale con spessore maggiore



In questo caso, l'onda emergente dal basso rimane intrappolata all'interno dello strato sedimentario a causa della presenza di forti contrasti di impedenza sismica sia alla base (all'interfaccia fra il basamento sismico e le coperture) sia alla superficie (all'interfaccia fra sedimenti e l'aria)

(tratto da D.Albarello - 2012)

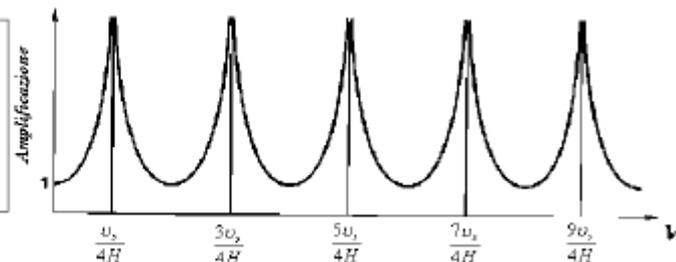
Se il contrasto alla base è molto grande, l'intrappolamento è perfetto e tutta l'energia rimane all'interno del sedimento

Le onde che si propagano all'interno del sedimento interferiscono fra loro

Quando questa interferenza è costruttiva si ha l'amplificazione

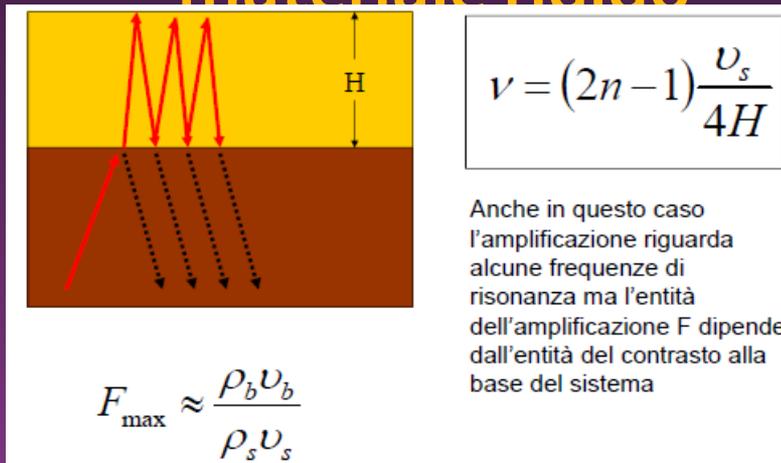
$$v = (2n - 1) \frac{v_s}{4H}$$

(n va da 1 all'infinito)



Nello spessore che va in risonanza si ha intrappolamento della perturbazione immessa, con possibile raggiungimento della perdita di struttura del materiale (liquefazione). Se il contrasto d'impedenza è minimo, parte dell'energia intrappolata è poi ritrasmessa al materiale rigido

(tratto da D.Albarello - 2012)



Questo significa che il picco con
ampiezza maggiore può essere
quello con rapporto di
impedenza più significativo ma
non necessariamente quello
che caratterizza lo spessore di
depositi soprastanti un
bedrock sismico



principi di misura

rilievo dei microtremori – HVSR

Il rilievo dei microtremori con stazione singola (HVSR) consiste nella misurazione del “noise” o rumore ambientale, attraverso un apparato di registrazione dotato di n.3 velocimetri (o accelerometri) disposti nelle tre direzioni dello spazio, ed intesi a determinare la forma dello spettro risultante dalla struttura del sottosuolo.

L’analisi del segnale viene effettuata rapportando lo spettro verticale a quello medio orizzontale risultante dalla registrazione, variabili in relazione alla anisotropia del mezzo attraversato e dei gradienti di impedenza presenti nel sottosuolo

Rapporto di impedenza sismica

$$RI = \left(\frac{\rho_s v_s}{\rho_b v_b} \right)$$

dove ρ e’ la densita’ del terreno e V e’ la velocita’ delle onde di Rayleigh

L'assenza di gradienti di impedenza sismica non permettono risoluzioni adeguate delle geometrie del sottosuolo.

La relazione tra frequenze di risonanza e spessore e velocità delle onde S_{Rayleigh} dei terreni alla superficie di riferimento è definita da

$$v_n = (2n - 1) \frac{V_s}{4H} = \frac{1}{4T_n}$$

dove T_n è il periodo di risonanza e per $n=1$ si verifica il valore massimo di amplificazione a seguito dello smorzamento dell'oscillazione conseguente il comportamento dissipativo del suolo rispetto alla propagazione della sollecitazione dinamica

RICORDO CHE IL METODO HVSR DIPENDE ESSENZIALMENTE DA QUESTE RELAZIONI

- Questa relazione già vista: contrasto d'impedenza

$$RI = \left(\frac{\rho_s v_s}{\rho_b v_b} \right)$$

- E questa :

 Lunghezza d'onda

$$V = \lambda \cdot \nu$$

 Frequenza

 Velocità di propagazione

▪ funzione d'onda

$$v = \lambda / T = \lambda f$$

A ampiezza

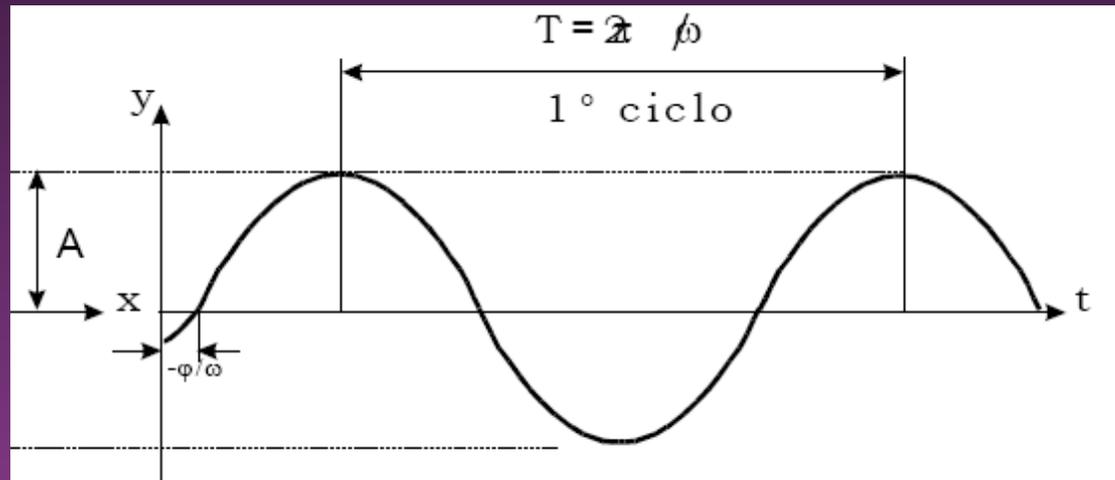
t tempo di riferimento

T periodo d'onda

λ lunghezza d'onda

v velocita' d'onda

f frequenza



Altre correlazioni utili in geofisica

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad E_v &= \rho \cdot \left(V_P^2 - \frac{4}{3} V_S^2 \right) & \frac{V_R}{V_S} &= \frac{0.862 + 1.14 \cdot \nu}{1 + \nu} & \nu &= \frac{0.5 \cdot \left(\frac{V_P}{V_S} \right)}{\left(\frac{V_P}{V_S} \right)^2} \\
 \bullet \quad E &= 2\rho \cdot V_S^2 \cdot (1 + \nu) & \frac{V_S}{V_P} &= \sqrt{\frac{1 - 2\nu}{2 - 2\nu}} & & \\
 \bullet \quad \frac{V_R}{V_S} &= \frac{0.862 + 1.14 \cdot \nu}{1 + \nu} & E_{ed} &= \rho V_P^2 & G &= \rho V_S^2
 \end{aligned}$$

con

ρ = densità del mezzo; ν = coefficiente di Poisson; G = modulo di taglio

- Secondo quanto ho detto all'inizio, si possono individuare situazioni geologiche anche complesse.
 Tuttavia, se facciamo due conti, si osserva che c'è un limite di prossimità entro il quale le curve HVSR dovrebbero essere convergenti ad un valore di picco comune.
- Infatti se prendiamo per esempio un sito con V_s o 300 m/s ed un picco di 3 Hz, si deriva che entro 100 m questo picco sia comune:

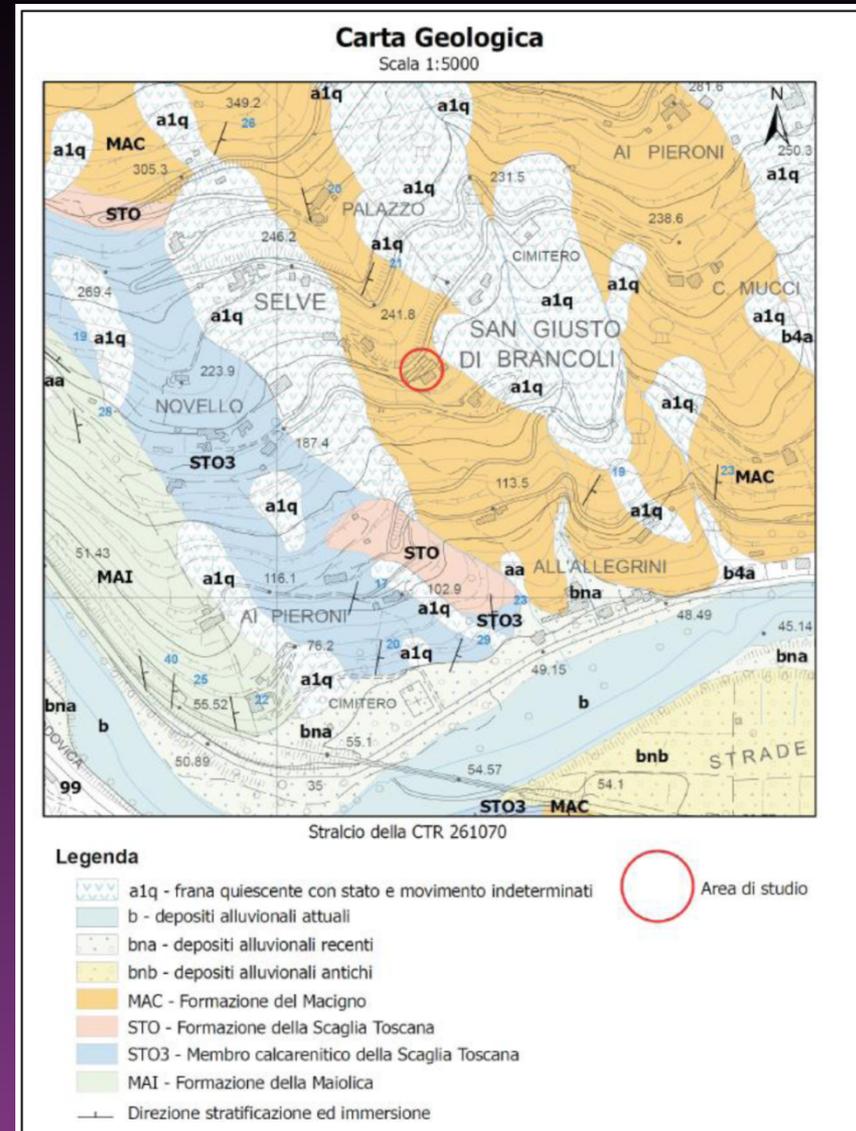
$$V = \lambda \cdot \nu$$

Tuttavia questo non è vero. Le condizioni di
omogeneità
litostratigrafica – tettonica – morfologica
condizionano il risultato.

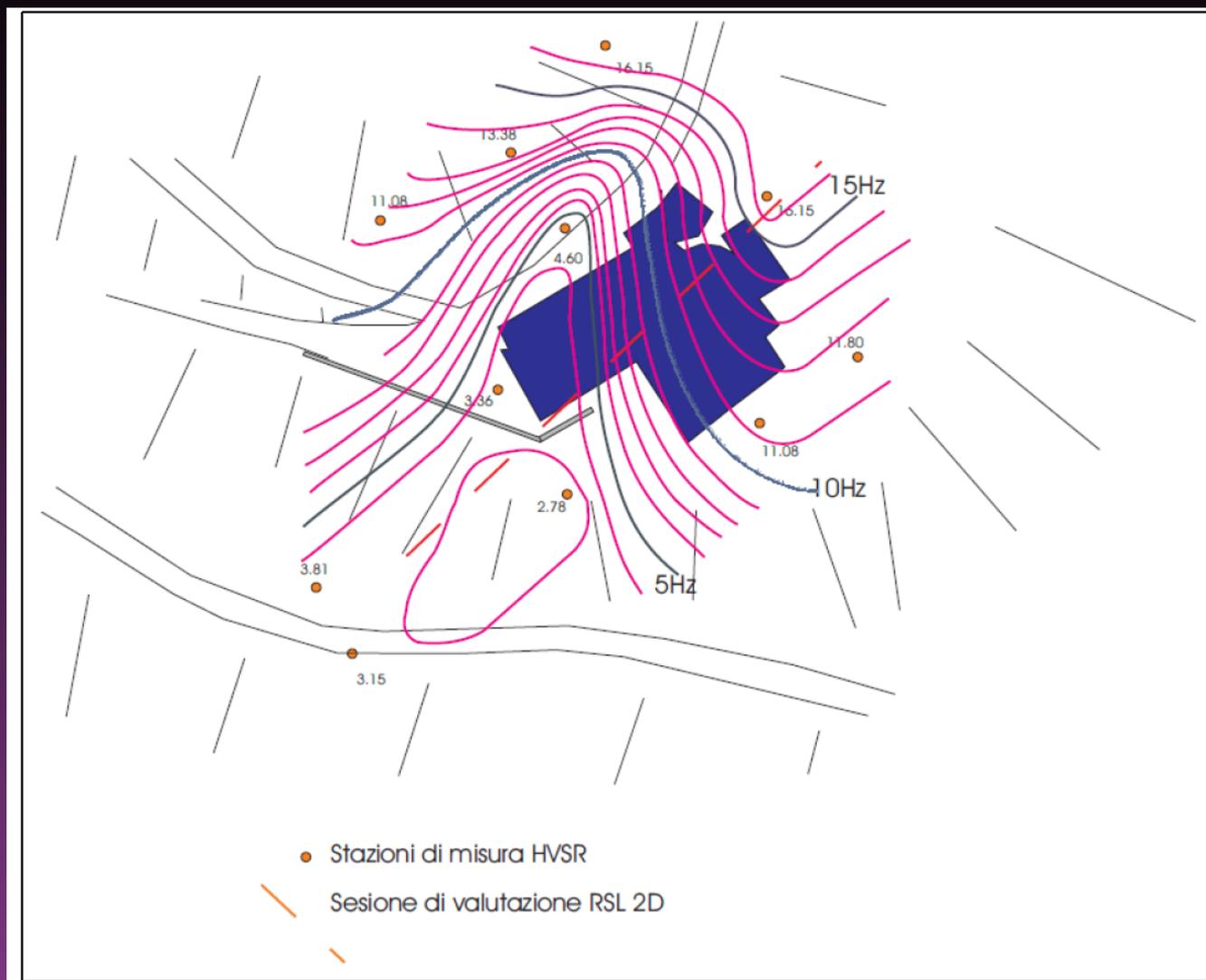
Ecco un esempio

Carta geologica

(gentile concessione Dott. Geol Maggiore)

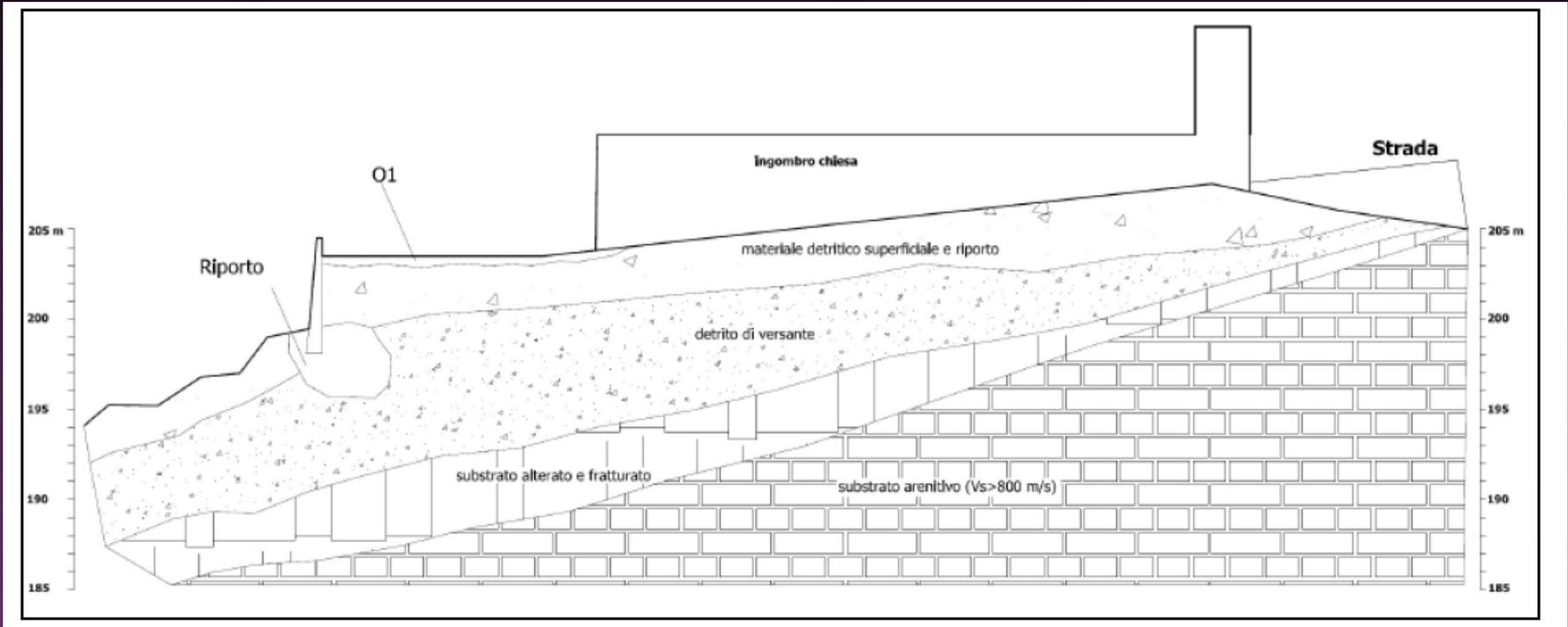


Carta delle frequenze

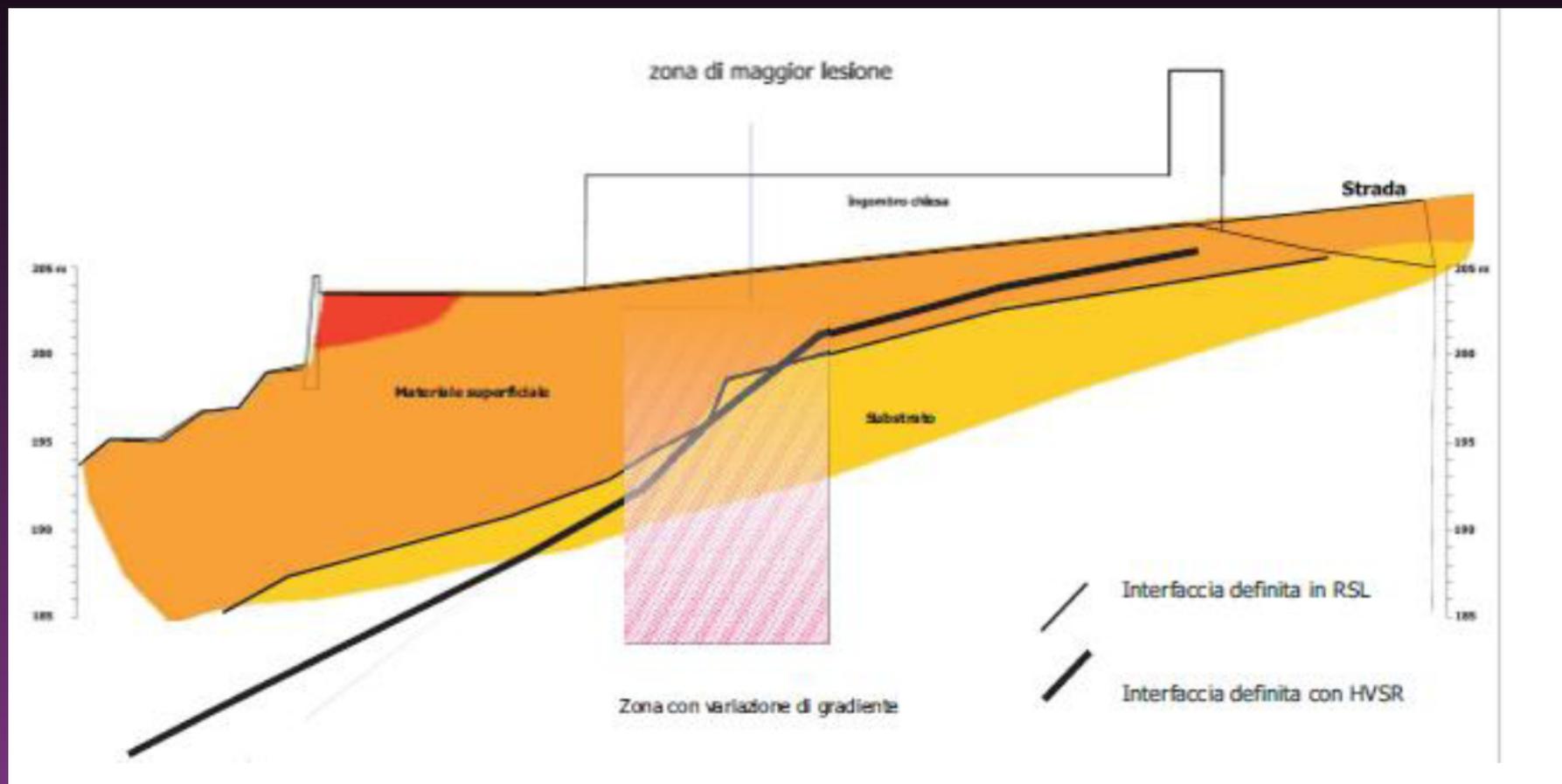


Sezione geologica

(gentile concessione Dott. Geol Maggiore Roberto)



Confronto tra sezione di RSL 2D e interfaccia HVSR



tecniche di misura – HVSR

- Linee guida e protocollo sperimentale

- Site EffectS assessment using AMbinet Excitations
<http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>

- Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica

<http://www.urbisit.it/indirizzi-e-criteri-per-la-microzonazione-sismica>

<http://www.dta.cnr.it/content/view/3441/3441/lang.it/>

http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833



Dal Web-site di riferimento e' possibile scaricare la documentazione tecnica di riferimento, i protocolli sperimentali di rilevamento ed il softwares open source Sesame-Geopsy

Type of parameter	Main recommendations	
	Minimum expected f_0 [Hz]	Recommended minimum recording duration [min]
Recording duration	0.2	30'
	0.5	20'
	1	10'
	2	5'
	5	3'
	10	2'
Measurement spacing	→ <u>Microzonation</u> : start with a large spacing (for example a 500 m grid) and, in case of lateral variation of the results, densify the grid point spacing, down to 250 m, for example. → <u>Single site response</u> : never use a single measurement point to derive an f_0 value, make at least three measurement points.	
Recording parameters	→ level the sensor as recommended by the manufacturer. → fix the gain level at the maximum possible without signal saturation.	
In situ soil-sensor coupling	→ set the sensor down directly on the ground, whenever possible. → avoid setting the sensor on "soft grounds" (mud, ploughed soil, tall grass, etc.), or soil saturated after rain.	
Artificial soil-sensor coupling	→ avoid plates from "soft" materials such as foam rubber, cardboard, etc. → on steep slopes that do not allow correct sensor levelling, install the sensor in a sand pile or in a container filled with sand. → on snow or ice, install a metallic or wooden plate or a container filled with sand to avoid sensor tilting due to local melting.	
Nearby structures	→ Avoid recording near structures such as buildings, trees, etc. in case of wind blowing (faster than approx. 5 m/s). It may strongly influence HV results by introducing some low frequencies in the curves → Avoid measuring above underground structures such as car parks, pipes, sewer lids, etc.	
Weather conditions	→ <u>Wind</u> : Protect the sensor from the wind (faster than approx. 5 m/s). This only helps if there are no nearby structures. → <u>Rain</u> : avoid measurements under heavy rain. Slight rain has no noticeable influence. → <u>Temperature</u> : check sensor and recorder manufacturer's instructions. → <u>Meteorological perturbations</u> : indicate on the field sheet whether the measurements are performed during a low-pressure meteorological event.	
Disturbances	→ <u>Monochromatic sources</u> : avoid measurements near construction machines, industrial machines, pumps, generators, etc. → <u>Transients</u> : In case of transients (steps, cars,...), increase the recording duration to allow for enough windows for the analysis, after transient removal.	

Perche' la misura di rumore ambientale possa essere utilizzata nell'elaborazione e' necessario che:

- La sensibilità dell'apparato di misura sia adeguata alla bassa entità del segnale
- Venga garantito un campionamento statisticamente rappresentativo del noise
- La misura sia effettuata in presenza di un campo di rumore diffuso senza sorgenti dominanti



AL LAVORO !!!

- fase preliminare
 - verifica estensione dell'area di rilevamento e individuazione delle limitazioni della profondità di investigazione per le tecniche geofisiche di indagine in programma di utilizzo
 - verifica agibilità strumentale e possibilità di conduzione del rilievo, tipo di finitura dell'area di indagine
 - verifica presenza di irregolarità topografiche, elementi strutturali di disturbo (murature, condotte interrato, cavità antropiche sepolte, sorgenti di rumore di disturbo o dominanti, finiture rigide dell'area di rilievo) che possono produrre direzionalità di segnale fortemente condizionante le misure in progetto
 - Certezze dei limiti del metodo (si possono ricostruire geometrie del sottosuolo, sismo-stratigrafia in termini di frequenza caratteristica di sito ma solo mediante una buona conoscenza di alcuni termini di vincolo si possono raggiungere conoscenze di altri parametri elastici dei terreni)
 - Caricare lo strumento ed il PC

AL LAVORO !!!

- Frequenza di campionamento minima
- 200 Hz
- Consigliata 400Hz
- Tempo di campionamento minimo 10' per frequenza maggiori a 10 Hz
- minimo 20' o 30' per elevati spessori di materiale risonante
- Meglio se possibile aumentarlo in fase di acquisizione

AL LAVORO !!!

■ Fase esecutiva (in campagna)

- Preparare la piazzola di posa togliendo la coltre areata, tutte le radici e le erbe (soprattutto se c'è vento) la ghiaia grossolana (se solo sotto un piedino)
- Stare lontano da dislivelli sensibili
- Monitorare e prendere nota delle sorgenti dei transienti (traffico o rumore antropico - allontanare i curiosi)
- Mettere bene in bolla
- Fare documentazione fotografica
- Controllare la registrazione
- Verificare che il file sia salvato e leggibile

AL LAVORO !!!

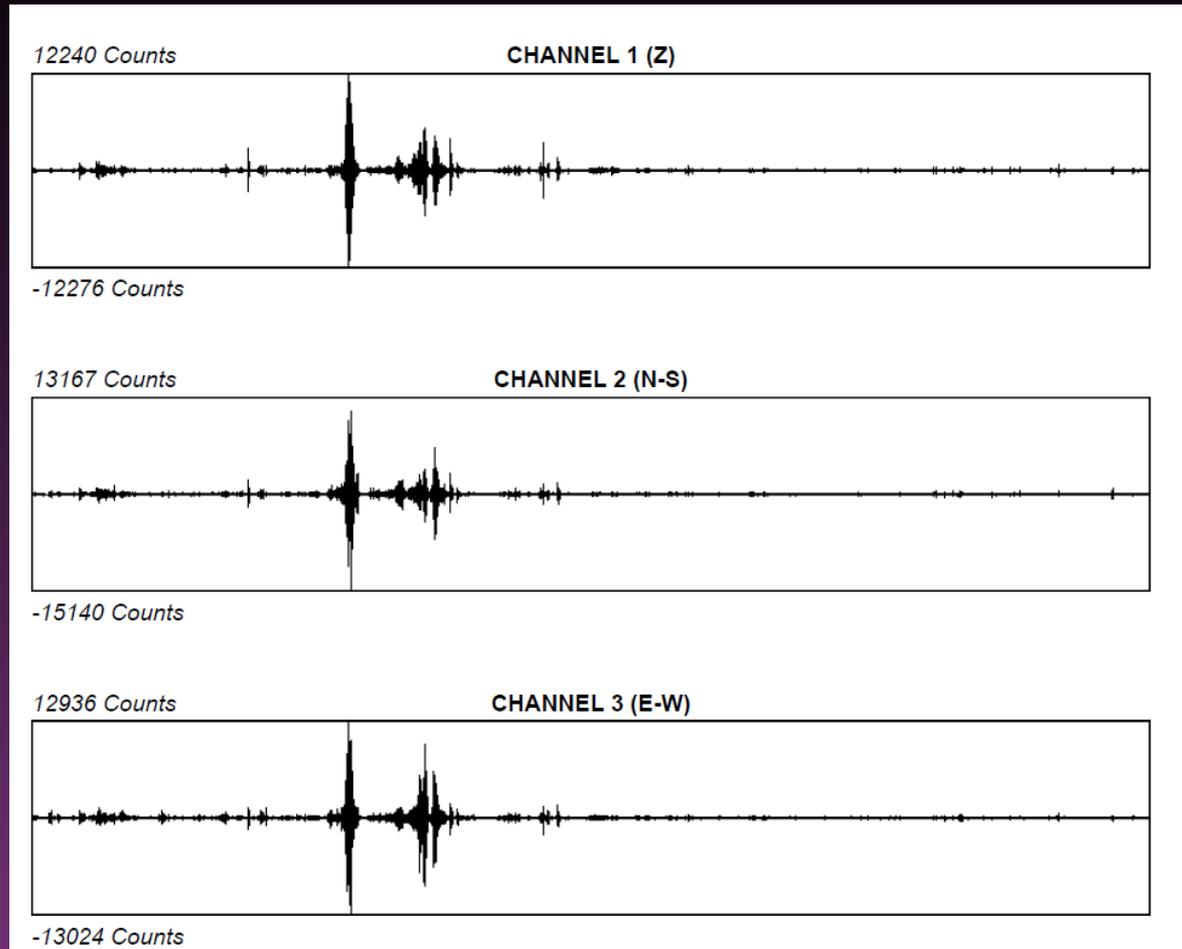
- Prima elaborazione in campagna (controllo/verifica congruità con le nozioni geologiche locali)

Tab. 1 - Abaco per la stima dello spessore delle coperture (h) a partire dai valori delle frequenze di risonanza (f_0) determinate dalle misure H/V.

F_0 (Hz)	h (m)
<1	>100
1-2	50-100
2-3	30-50
3-5	20-30
5-8	10-20
8-20	5-10
>20	<5

	Terreni coesivi	Sabbie	Terreni Rimaneggiati /conoidi
	$V_0=190$	$V_0=170$	$V_0=110$
	$a=0.20$	$a=0.25$	$a=0.40$
v	H	H	H
0.5	230	260	334
0.6	183	204	249
0.7	151	167	194
0.8	128	140	157
0.9	111	120	130
1	98	105	110
1.5	59	62	58
2	42	43	37
3	26	25	20
4	18	18	13
5	14	13	10
6	11	11	8
7	9	9	6
8	8	8	5
9	7	7	4
10	6	6	4
15	4	4	2
20	3	3	2

AL LAVORO !!!



Come si presenta la registrazione

procedura di interpretazione

■ Metodo di Nakamura o HVSR (stazione singola)

1. suddivisione della finestra di registrazione completa (di almeno 30 minuti) in sotto-finestre di almeno 120 secondi (la lunghezza della finestra dipende dal valore minimo di frequenza che si è interessati a campionare);
2. eliminazione delle sotto-finestre eventualmente contenenti transienti (la procedura indicata in SESAME, 2004 prevede un'analisi basata sul rapporto Sta/Lta in grado di riconoscere la parte stazionaria del microtremore registrato escludendo le porzioni di segnale contenenti transienti per esempio legati a sorgenti specifiche prossime al sensore come passi o passaggio di automobili);
3. utilizzo delle FFT (*Fast Fourier Transform*) per il computo degli spettri includendo l'operazione di *tapering* (l'utilizzo della FFT è convenzionalmente consigliato, però è necessario ricordare che tale metodo in presenza di transienti fornisce degli spettri che possono essere non corretti; per questo motivo, se lo *step* precedente non è stato effettuato, è sempre necessario analizzare gli spettri calcolati eliminando le sotto-finestre che mostrano un andamento anomalo rispetto al comportamento medio; ultimamente si stanno testando delle nuove metodologie basate sull'utilizzo dello spettro di potenza al posto dello spettro di Fourier calcolato tramite FFT);

procedura di interpretazione

4. lisciamento (*smoothing*) degli spettri utilizzando diverse tecniche. Le più utilizzate sono la Konno-Ohmachi *smoothing window*, valida soprattutto per analizzare frequenze inferiori a 1 Hz e la Hanning *smoothing window*, valida per frequenze superiori a 1 Hz;
5. facoltativo: calcolo della componente orizzontale media ottenuta preferibilmente mediando (media geometrica) le due componenti orizzontali E-O e N-S;
6. calcolo del rapporto spettrale *H/V* (o dei rapporti *NSV*, *EQM*) per ciascuna sotto-finestra selezionata;
7. stima del valor medio della curva *H/V* e della sua deviazione standard (generalmente si considera il valor medio ± 1 sigma ma è anche possibile considerare 3 sigma in modo da avere una stima più completa dell'errore associato a ciascuna frequenza.

da “Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica”



Validazione delle misure

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
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\epsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
A_0	ampiezza media della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza media 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 σ_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
$\epsilon(f_0)$ [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

Validazione delle misure

Appendice 1: I criteri SESAME (2004)

<p>Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]</p>	<p> $f_0 > 10 / L_w$ $n_c(f_0) > 200$ $\sigma_A(f) < 2$ 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 $f_0 < 0.5\text{Hz}$ </p>
<p>Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]</p>	<p> Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ $A_0 > 2$ $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ </p>

Se ho un picco con $f_0 = 0,3\text{Hz}$, devo avere una lunghezza delle finestre di elaborazione pari ad almeno $33''$

per $f_0 = 3\text{Hz}$ la finestra deve essere almeno $3,3''$

e per $f_0 = 10\text{Hz}$ almeno $1''$

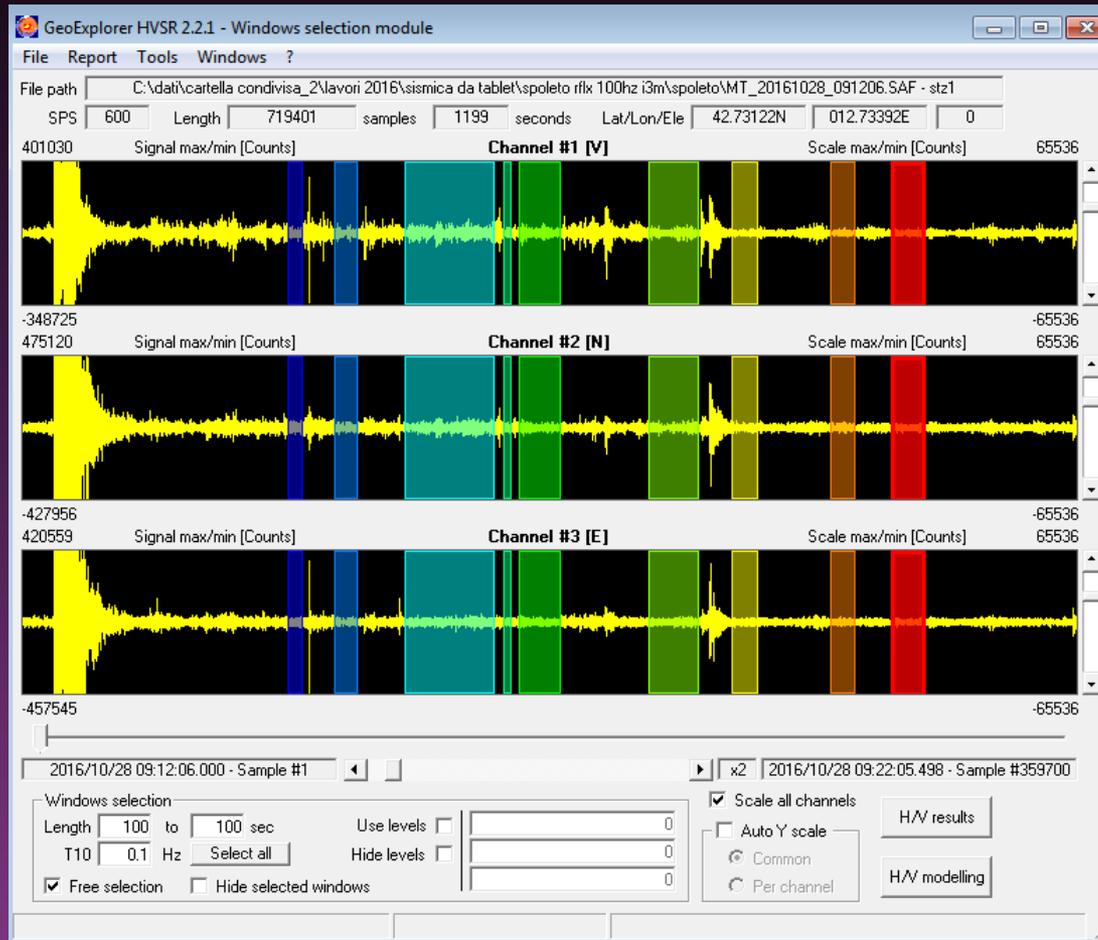
Il numero di finestre minimo
è in funzione del numero minimo di
cicli necessari a descrivere la fo
generalmente servono $nc > 20$

ma ricordare che
 $nc = Lw \times nw \times fo$

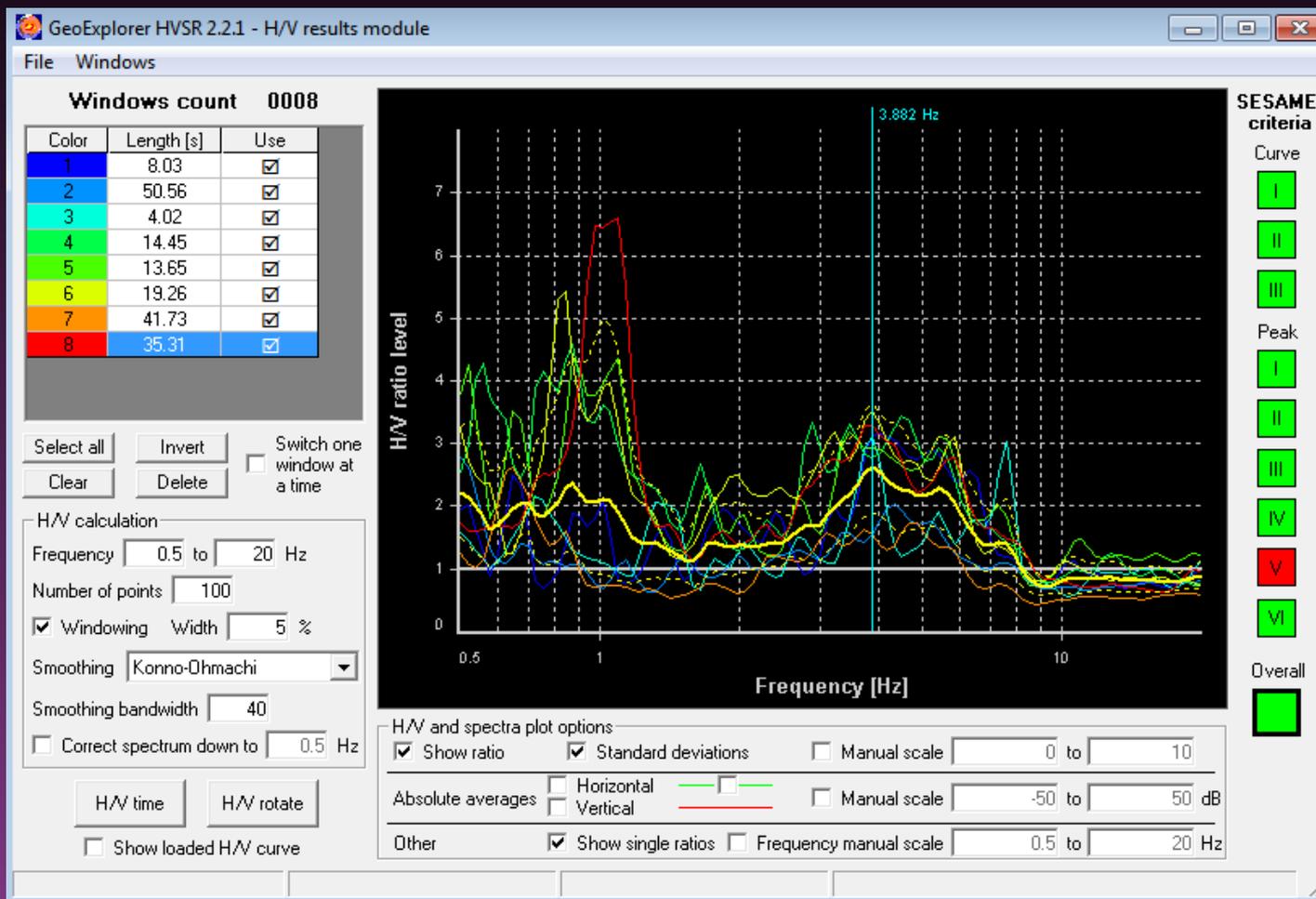


ELABORAZIONE – LA FINESTRATURA

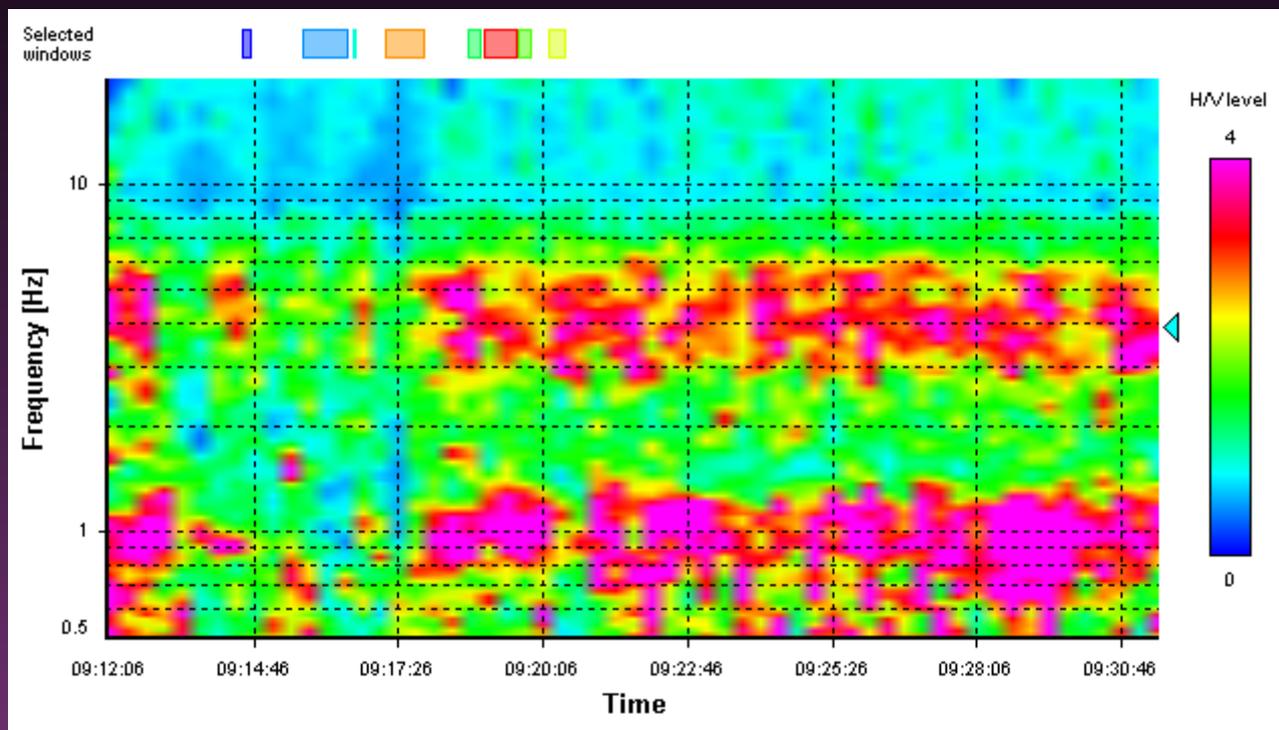
GeoEXPLORER



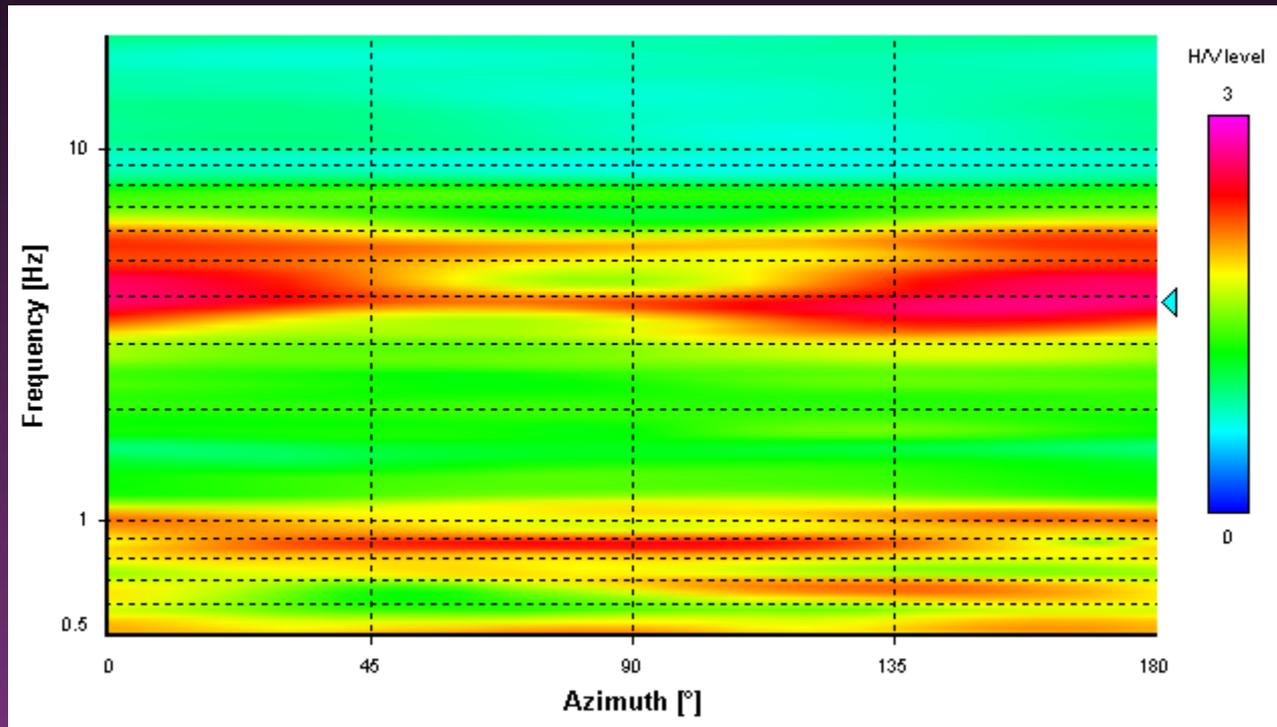
ELABORAZIONE – HV e SESAME criteria GeoEXPLORER



ELABORAZIONE – TIME GRAPH GeoEXPLORER

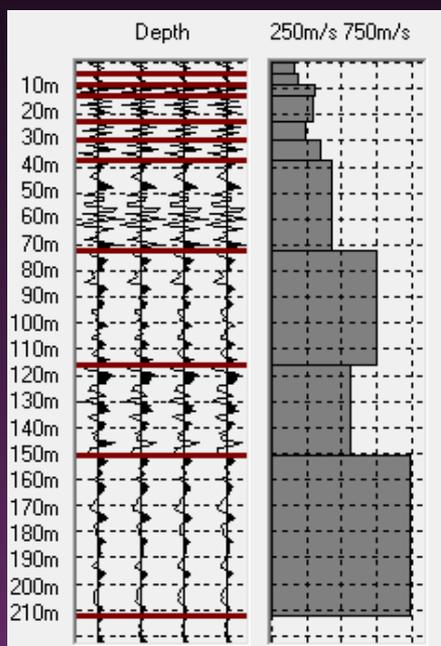


ELABORAZIONE – HV ROTATE GeoEXPLORER

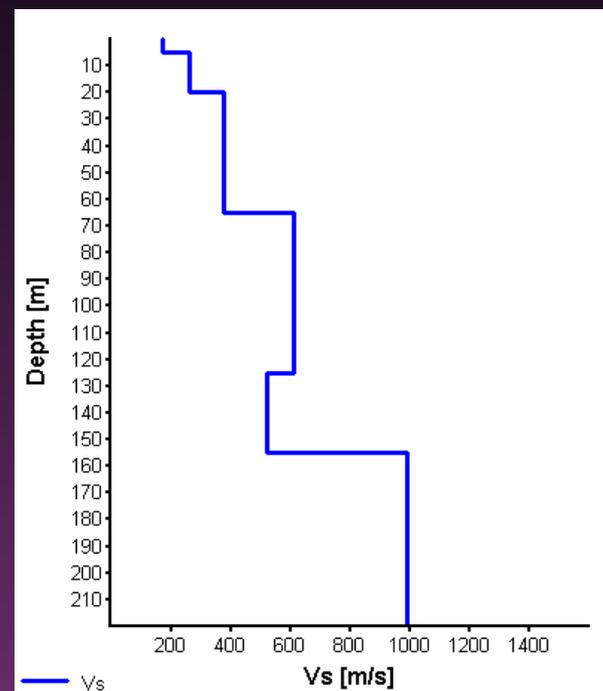


ELABORAZIONE – INVERSIONE CON SISMOSTRATIGRAFIA DERIVATA DA CSG

ELABORATI CON PROTOCOLLO FPP E GeoEXPLORER



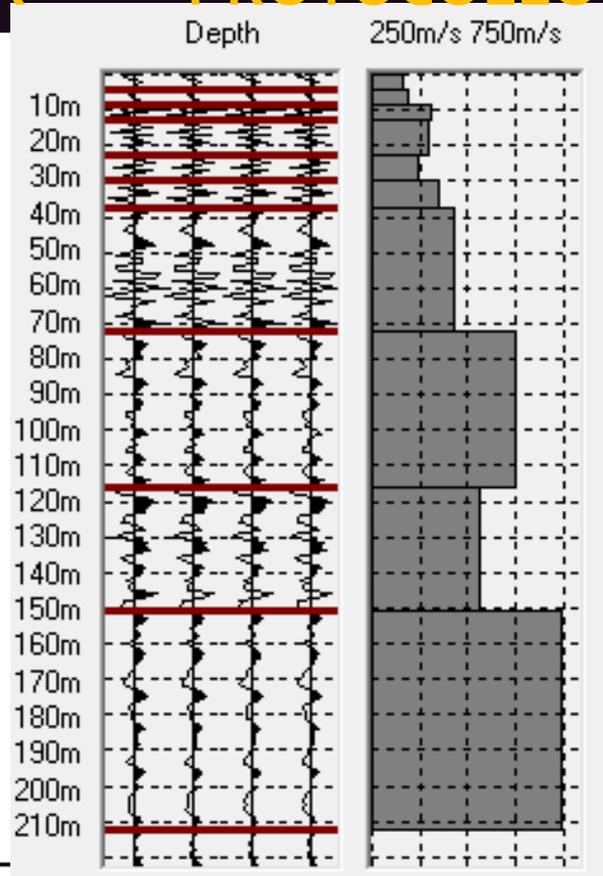
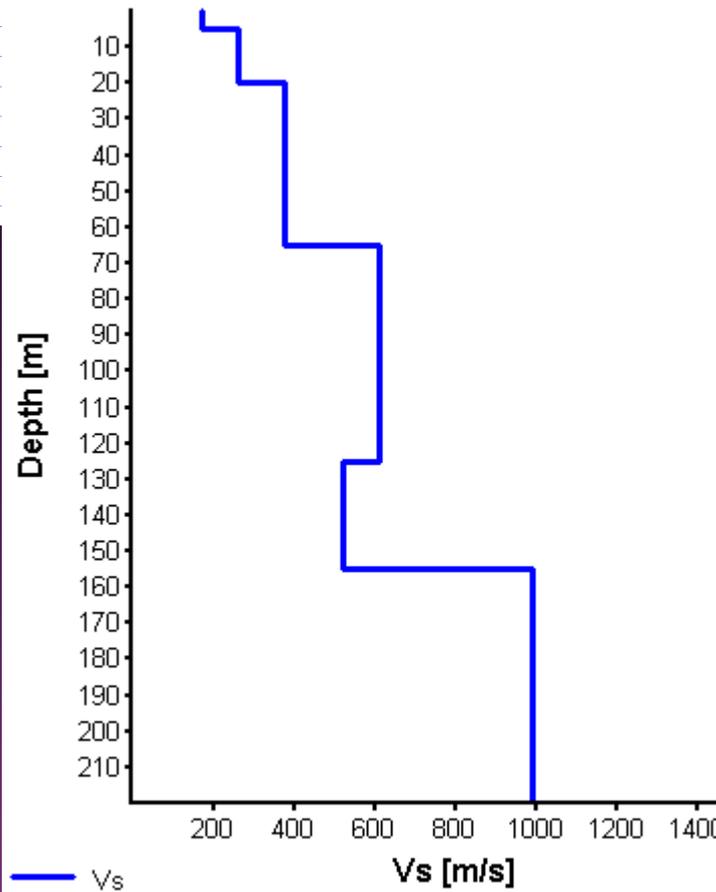
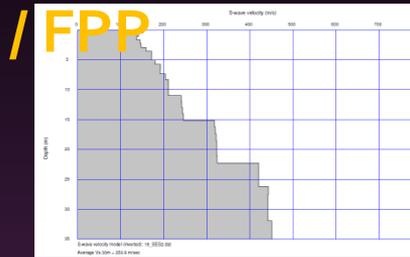
Time 0 (ms)	Stacking velocity (m/s)	Interval velocity (m/s)	Depth (m)
49	164	164	4
92	178	192	8
123	219	310	12
191	247	290	22
247	247	247	29
291	265	349	37
452	333	429	72
568	452	753	115
694	473	557	150
818	582	991	212
1000	582	991	302



H [m]	D [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	Poisson	RHO [kg/m³]
5	5	480	172	0.426	1700
15	20	1000	260	0.464	2000
45	65	2000	375	0.482	2400
60	125	2000	610	0.449	2200
30	155	2000	520	0.464	2400
65	220	2400	991	0.397	2400
-	> 220	2400	995	0.396	2600

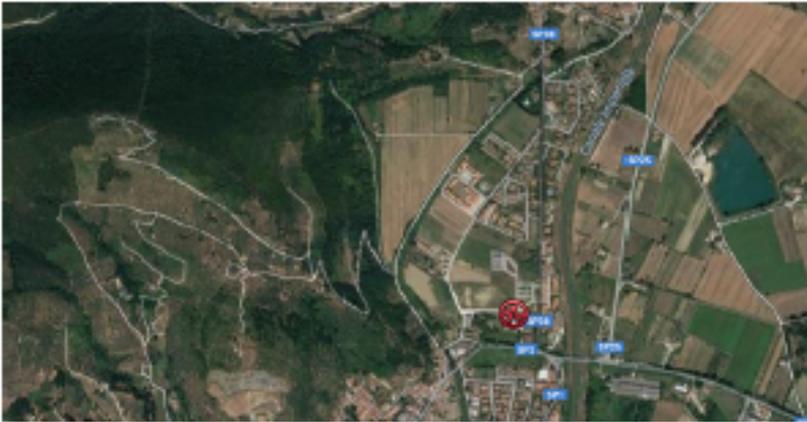
ELABORAZIONE – CONFRONTO VARIE ELABORAZIONI

M.A.S.W GeoEXPLORER PROTOCOLLO CSG



ERRATA ELABORAZIONE

Vicopisano Scuola Comunale ubicazione da Google Earth

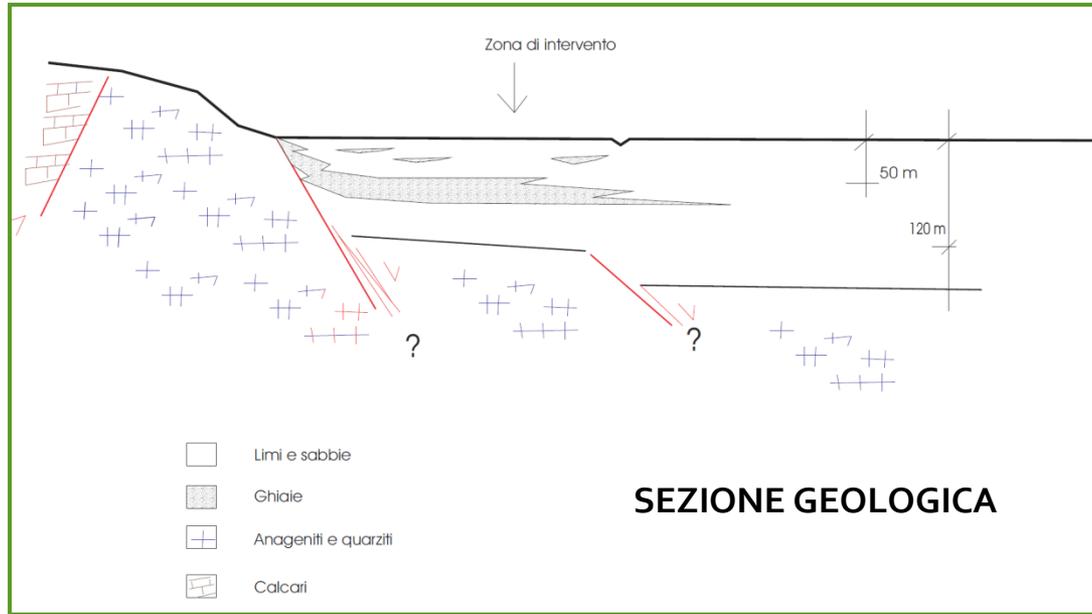


DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI, TERRAZZI E NON TERRAZZI
 CLASSE: limi e limi dei terrazzi fluviali.

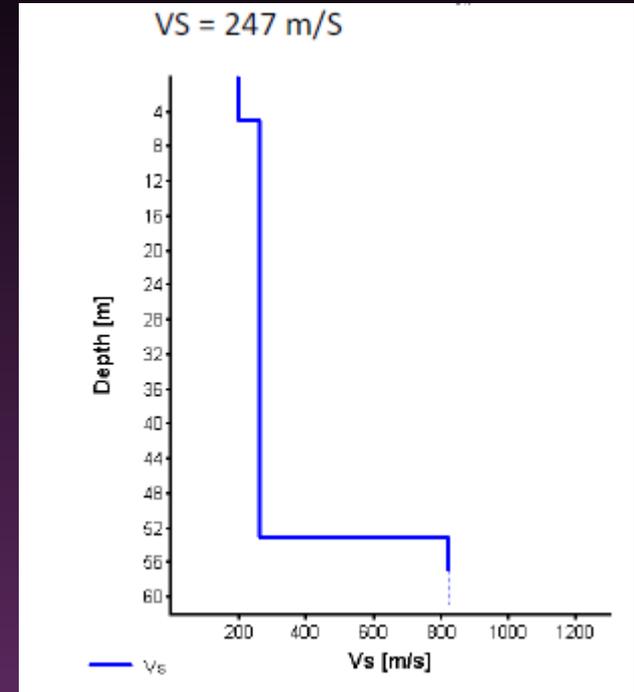
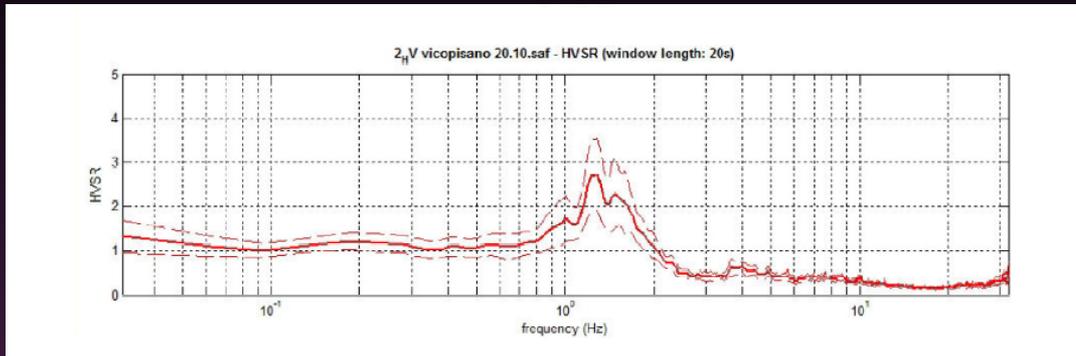
a) Senza indicazioni della granulometria
 b) ghiaie prevalenti
 c) ghiaie e sabbie
 d) sabbie prevalenti
 e) sabbie e limi
 f) limi e argille prevalenti
 g) ghiaie e limi

CALCARI A *Elasmobranchia Costata*
 Calcari, calcari fossiliferi e calcari con sottili intercalazioni di marne. Generalmente nella parte inferiore possono calcari, calcari fossiliferi e calcari grossolanamente stratificati, cui seguono calcari sottili alternati con sottili livelli di marne grigio scure o gialla d'alterazione giallastra. (Formazione di La Spina, Formazione di Mt. Corona, Formazione della Fianca di Capraia)
 Dettaglio

QUARZITI DI M. SERVA
 Quarziti e filadi (QMS).
 Quarziti a grana fine e filadi serotino-archetico (QMS). (Quarziti di M. Serva; Membr. delle Quarziti delle anatre; Quarziti e Filadi; Argenti anatre)
 Quarziti ben stratificati in grossi banci a grana variabile fino a compattati (QMS). (Quarziti di M. Serva; Membr. delle Quarziti bianco-rossi)
 Quarziti con fitta stratificazione incassata (QMS). (Quarziti di M. Serva; Membr. delle Quarziti verdi)
 Filadi serotino-archetico con intercalazioni di epacriti (QMS). (Quarziti di M. Serva; Membr. degli Scari verdi)
 Cornice.

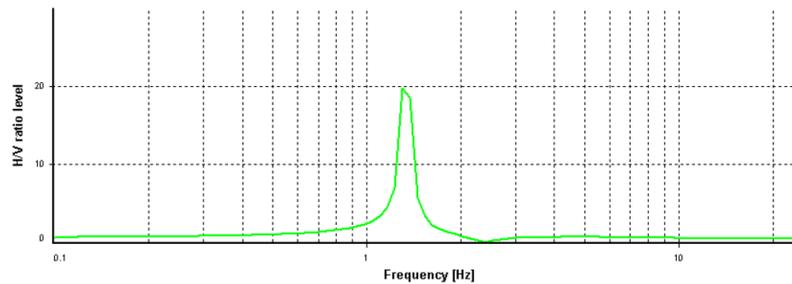


ERRATA ELABORAZIONE



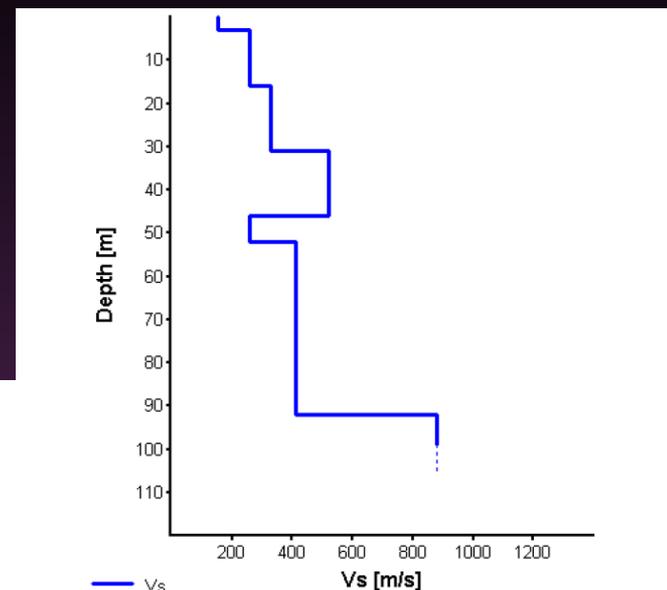
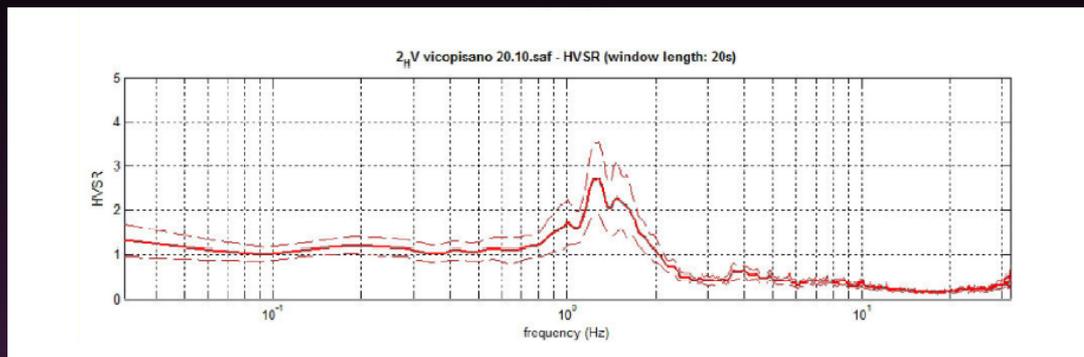
ELABORAZIONE SBAGLIATA CON ANCORAGGIO ALLE GHIAIE CONSIDERATE SUBSTRATO $V_s > 800$ m/s

CURVA SINTETICA AGGANCIATA ERRONEAMENTE AL LIVELLO DI GHIAIE RITENUTE SUBSTRATO



H [m]	D [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	Poisson	RHO [kg/m³]
5	5	1500	197	0.491	1700
48	53	1500	260	0.485	1900
-	> 53	2000	820	0.399	2400
15	46	1500	520	0.432	2200
6	52	2000	260	0.491	2500
40	92	2200	410	0.482	2500
-	> 92	2400	880	0.422	2500

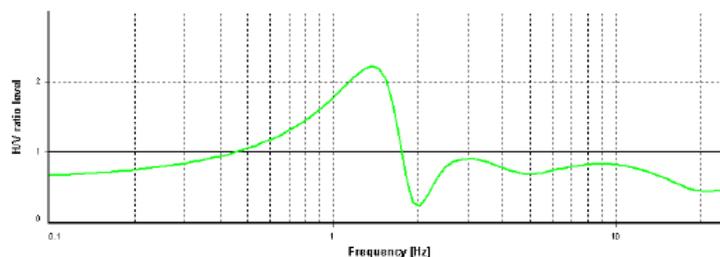
CORRETTA ELABORAZIONE



ELABORAZIONE CORRETTA CON ANCORAGGIO AL SUBSTRATO $V_s > 800$ m/s INDIVIDUATO DA INDAGINE DI SISMICA A RIFLESSIONE PROTOCOLLO FPP

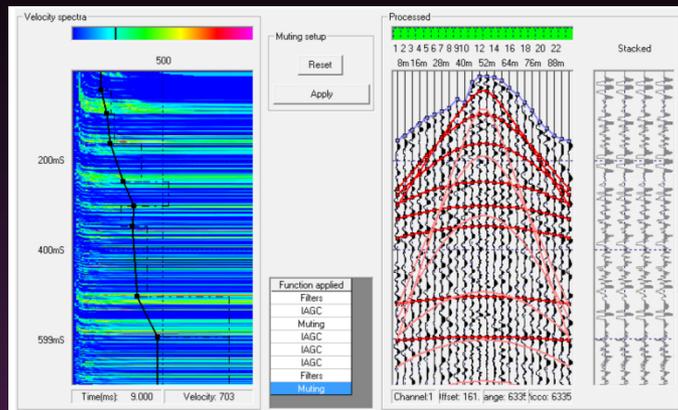
CURVA SINTETICA SULLA BASE DI SISMOSTRATIGRAFIA DERIVATA

$V_{S30} = 268$ m/s

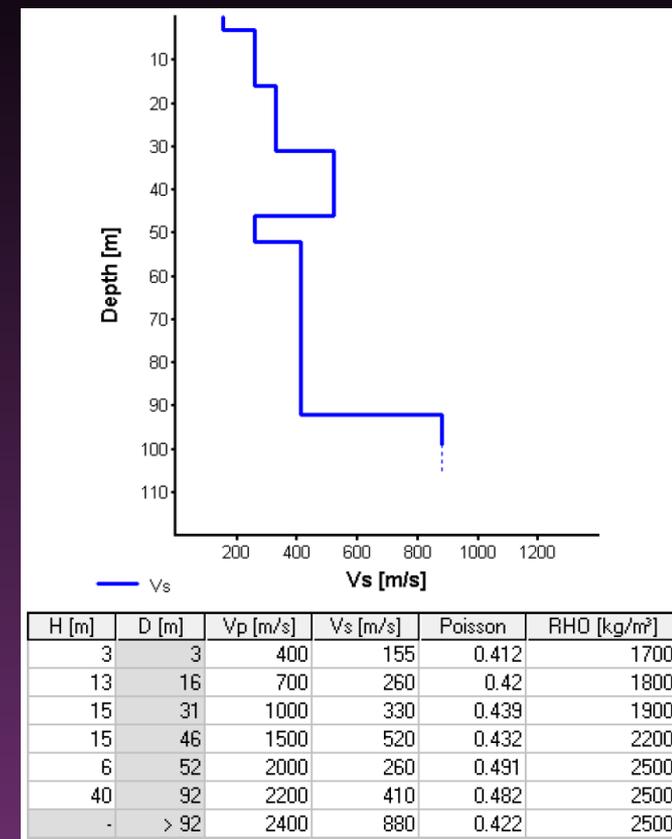
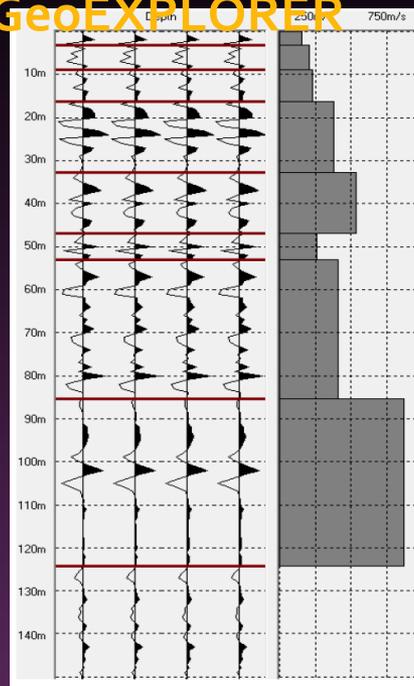


H [m]	D [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	Poisson	RHO [kg/m ³]
3	3	400	155	0.412	1700
13	16	700	260	0.42	1800
15	31	1000	330	0.439	1900
15	46	1500	520	0.432	2200
6	52	2000	260	0.491	2500
40	92	2200	410	0.482	2500
-	> 92	2400	880	0.422	2500

RAFFRONTO TRA CSG/FPP E INVERSIONE DI GeoEXPLORER



Time 0 [ms]	Stacking velocity [m/s]	Interval velocity [m/s]	Depth [m]
95	187	208	8
161	205	228	16
247	279	380	32
301	338	529	47
347	329	262	53
505	356	409	85
595	470	865	124



L'uso ingegneristico della curva HVSR

la doppia risonanza



Relativamente alla frequenza di sito f_0 , frequenza fondamentale di risonanza relativa alla situazione sismo-stratigrafica locale, la sua accurata determinazione attraverso il rilievo dei microtremori e l'analisi HVSR, consente di verificare l'occorrenza di condizioni di pericolosità per doppia risonanza con le strutture esistenti e/o di progetto, laddove risultino coerenti i valori della frequenza di sito e quella della struttura in analisi, per la quale il periodo fondamentale, se non direttamente misurato, può essere preliminarmente determinato dalla relazione

$$T_{ed} \approx Ch^{\frac{3}{4}} \approx \frac{n}{10}$$

C=0.050 edifici in muratura

C=0.075 edifici in muratura e calcestruzzo

C=0.085 edifici a telaio in calcestruzzo

n= numero dei piani

dove T_{ed} e' il periodo dell'edificio, **h** e' la sua altezza media ed **n** e' il numero di piani

Nel D.M. 14.09.2005
richiamato dal D.M. 14.01.2008
si legge che il collaudo dei fabbricati può essere
svolto sia secondo metodi classici (misura delle
freccie dei solai a seguito di carico imposto) o
mediante metodi dinamici con definizione del
periodo di vibrazione del fabbricato (vibrodina o
microtremori). Un periodo di vibrazione
maggiore a quello di progetto implica una
struttura non costruita a regola d'arte.



Per vostra gioia
io avrei finito