

COMUNE DI GIANO DELL'UMBRIA

PROVINCIA DI PERUGIA



Risultati delle indagini MASW



Autore: Dott. Geol. Fabio Mazzeo

Sito: Loc. Fabbri - Giano dell'Umbria

AREA "FABBRI" - PRG PARTE OPERATIVA

Data: Settembre 2023



1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori..... 16
 Distanza tra i sensori:..... 2,00 m
 Numero di campioni temporali..... 2000
 Passo temporale di acquisizione..... 0.5 ms
 Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 16
 L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0 ms
 L'intervallo considerato per l'analisi termina a999.5 ms
 I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

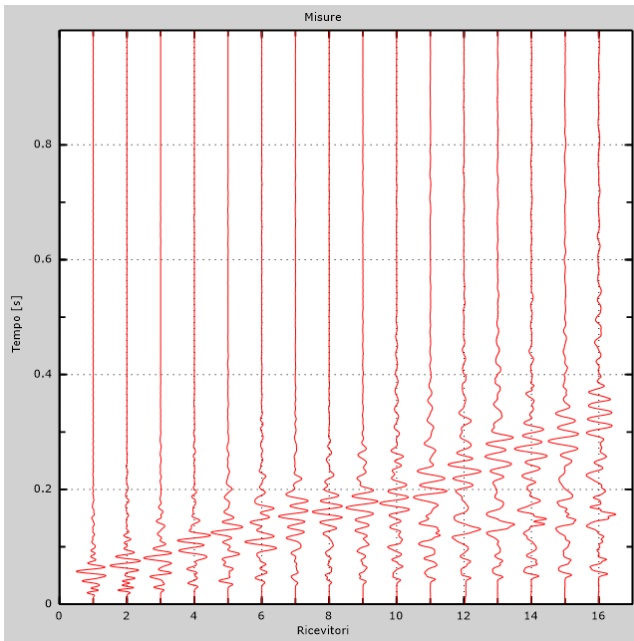


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale..... 70Hz
 Frequenza iniziale..... 2Hz

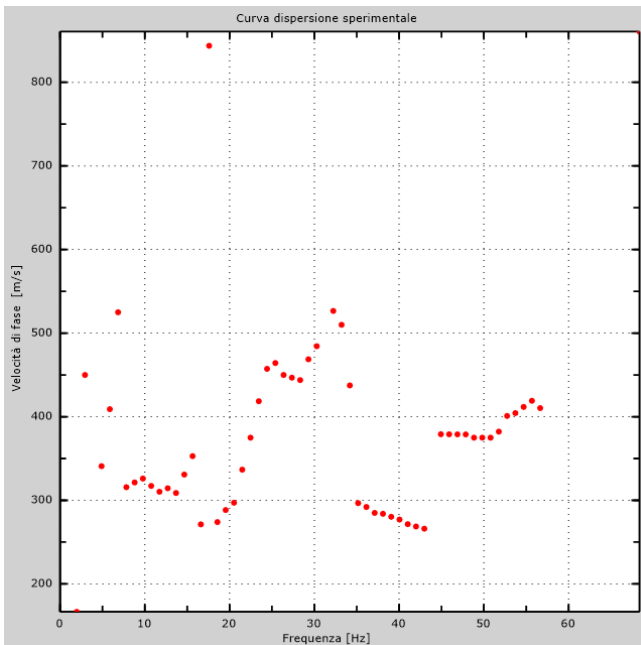


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Risultati delle analisi (tecnica passiva Re.Mi.)

Numero di ricevitori..... 16
 Numero di campioni temporali..... 3.26787e-312
 Passo temporale di acquisizione..... 2 ms
 Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 16
 L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0 ms
 L'intervallo considerato per l'analisi termina a 359998 ms
 I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

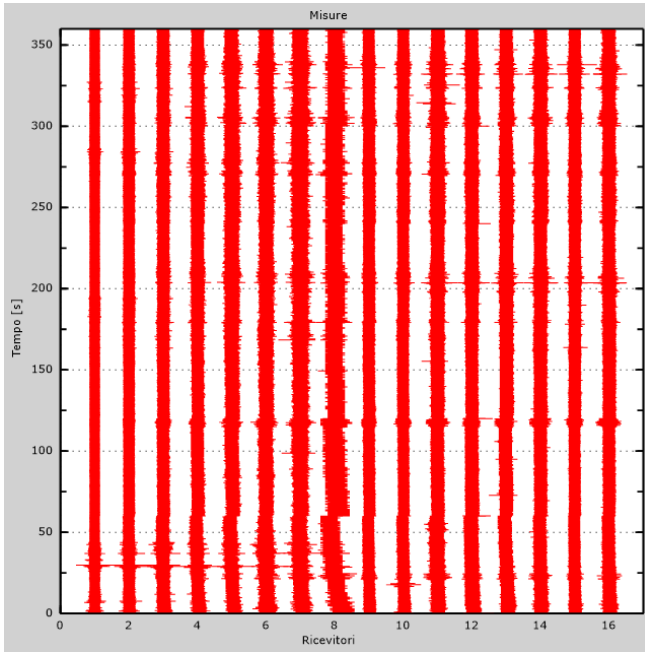


Figura 3: Tracce sperimentali

4 - Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
8.7918	339.558	275.045	404.071
14.6425	350.943	305.404	396.481
20.4931	328.173	267.455	388.892
23.2867	445.815	362.327	529.303
29.3482	495.149	438.225	552.072
35.1989	309.199	237.096	381.302
42.8416	286.43	218.122	354.738
44.7919	419.251	335.763	502.738
56.704	445.815	385.097	506.533

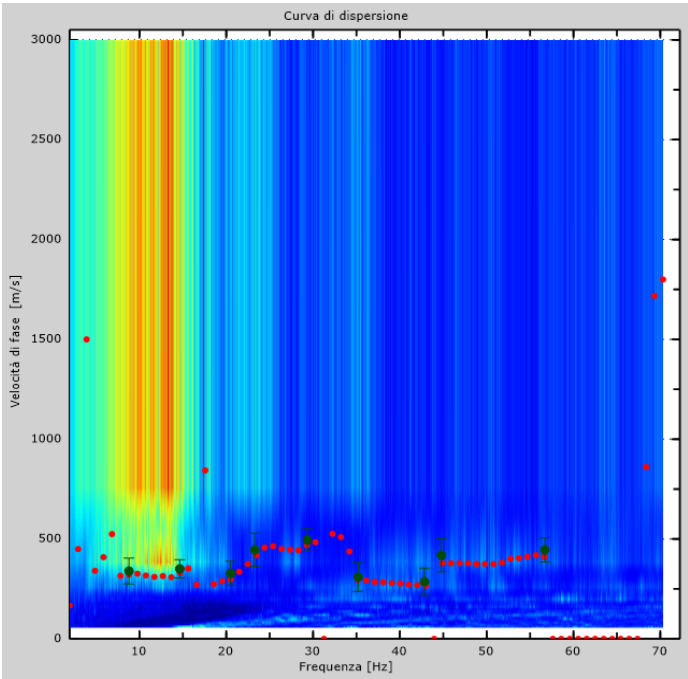


Figura 4: Curva di dispersione

5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio).....	5
Spaziatura ricevitori.....	3m
Numero ricevitori.....	16
Numero modi.....	5
Strato 1	
h [m].....	2
z [m].....	-2
Densità [kg/m ³].....	1750
Poisson.....	35
Vs [m/s].....	288
Vp [m/s].....	600
Vs min [m/s].....	159
Vs max [m/s].....	432
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s].....	288
Strato 2	
h [m].....	3
z [m].....	-5
Densità [kg/m ³].....	1800
Poisson.....	3
Vs [m/s].....	344
Vp [m/s].....	644
Vs min [m/s].....	172
Vs max [m/s].....	687
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s].....	344

Strato 3

h [m].....	3
z [m].....	-8
Densità [kg/m ³].....	1880
Poisson.....	.3
Vs [m/s].....	365
Vp [m/s].....	683
Vs min [m/s].....	182
Vs max [m/s].....	729
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s].....	365

Strato 4

h [m].....	10
z [m].....	-18
Densità [kg/m ³].....	1980
Poisson.....	0.2
Vs [m/s].....	390
Vp [m/s].....	637
Vs min [m/s].....	195
Vs max [m/s].....	780
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s].....	390

Strato 5

h [m].....	0
z [m].....	-∞
Densità [kg/m ³].....	2020
Poisson.....	0.2
Vs [m/s].....	421
Vp [m/s].....	687
Vs min [m/s].....	189
Vs max [m/s].....	632
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s].....	421

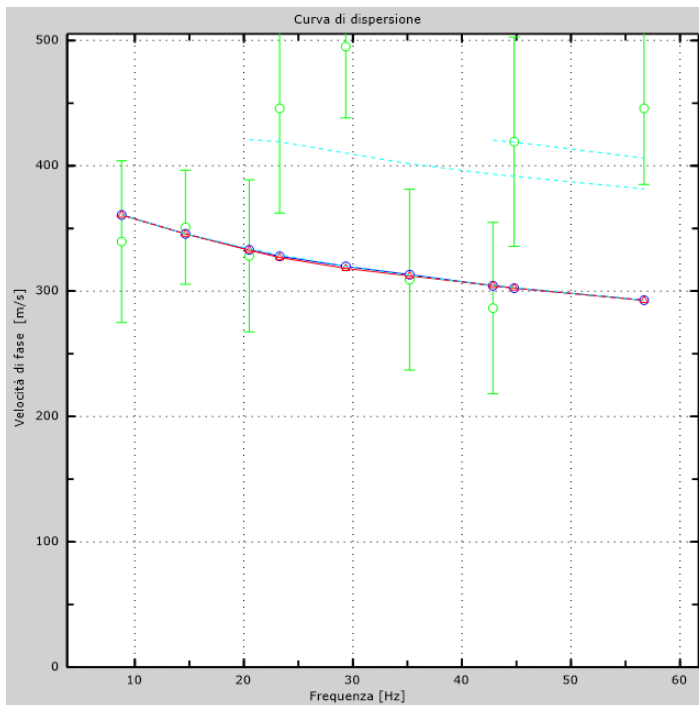


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

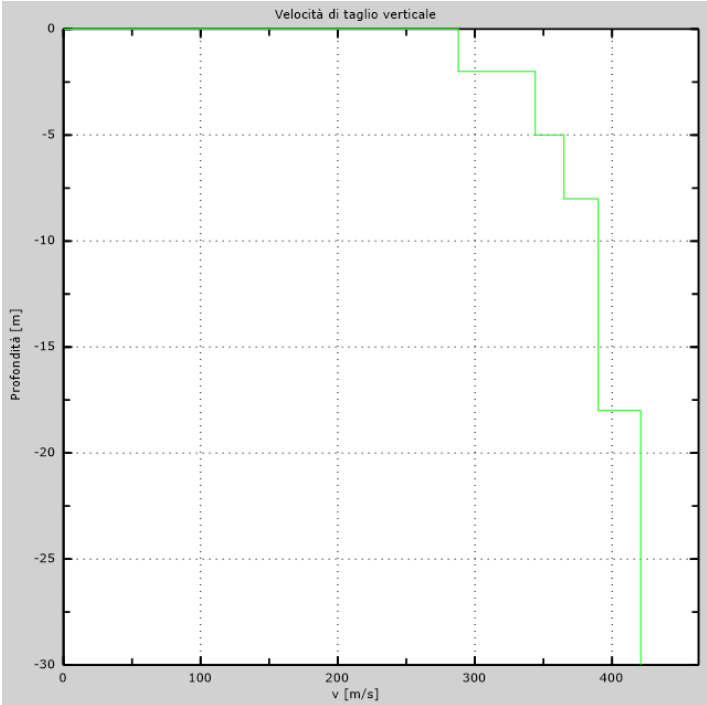


Figura 6: Profilo Vs numerico

COMUNE DI GIANO DELL'UMBRIA

PROVINCIA DI PERUGIA



Risultati delle indagini MASW



Autore: Dott. Geol. Fabio Mazzeo

Sito: Loc. San Sabino - Giano dell'Umbria

AREA "SAN SABINO" - PRG PARTE OPERATIVA

Data: Settembre 2023



1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori..... 32
 Distanza tra i sensori:..... 1,00 m
 Numero di campioni temporali..... 2000
 Passo temporale di acquisizione..... 0.5 ms
 Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 32
 L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0 ms
 L'intervallo considerato per l'analisi termina a 999.5 ms
 I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

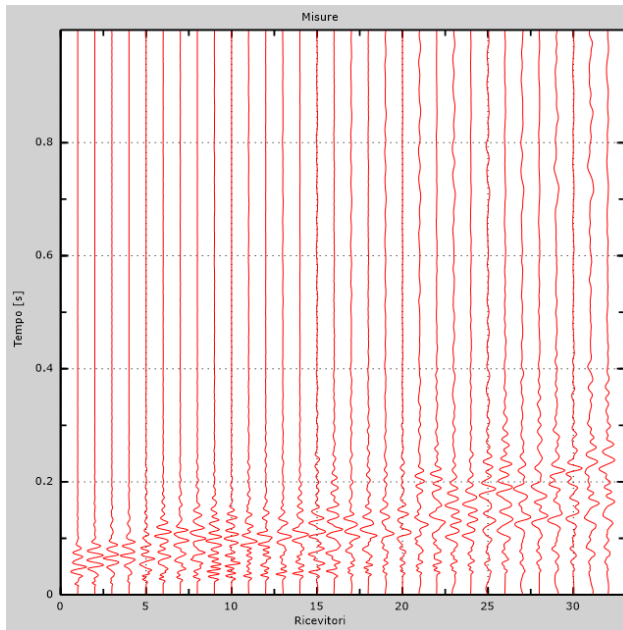


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale..... 70Hz
 Frequenza iniziale..... 2Hz

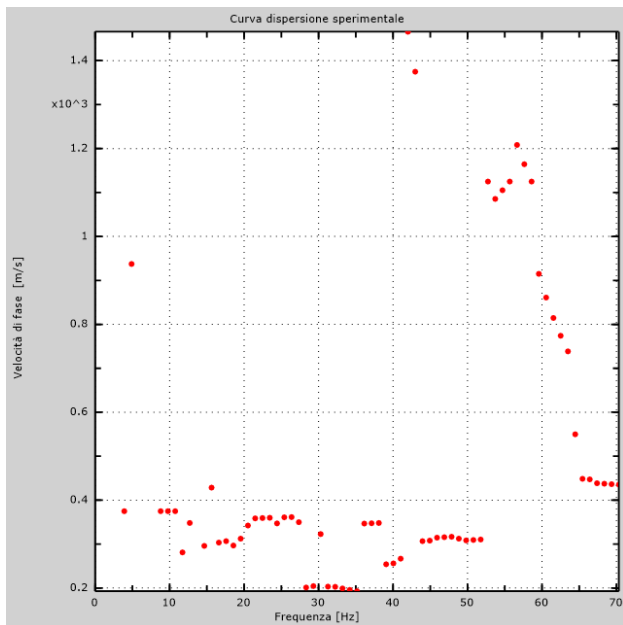


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Risultati delle analisi (tecnica passiva Re.Mi.)

Numero di ricevitori..... 16
 Numero di campioni temporali..... 3.26787e-312
 Passo temporale di acquisizione..... 2 ms
 Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 16
 L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0 ms
 L'intervallo considerato per l'analisi termina a 359998 ms
 I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

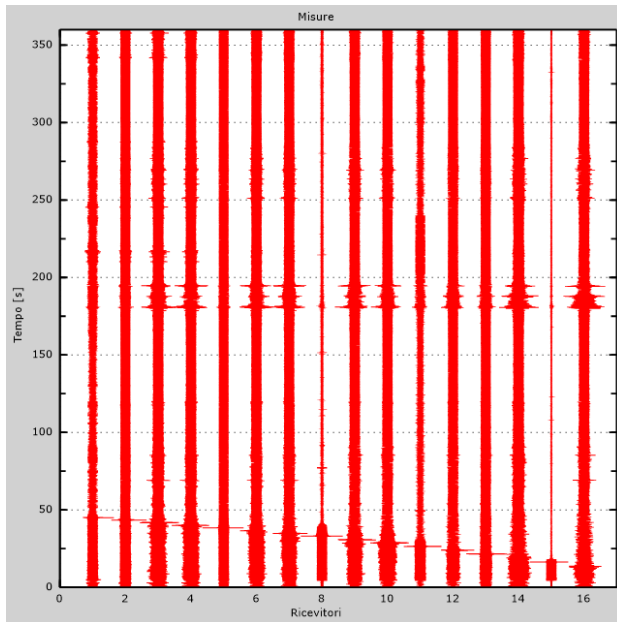
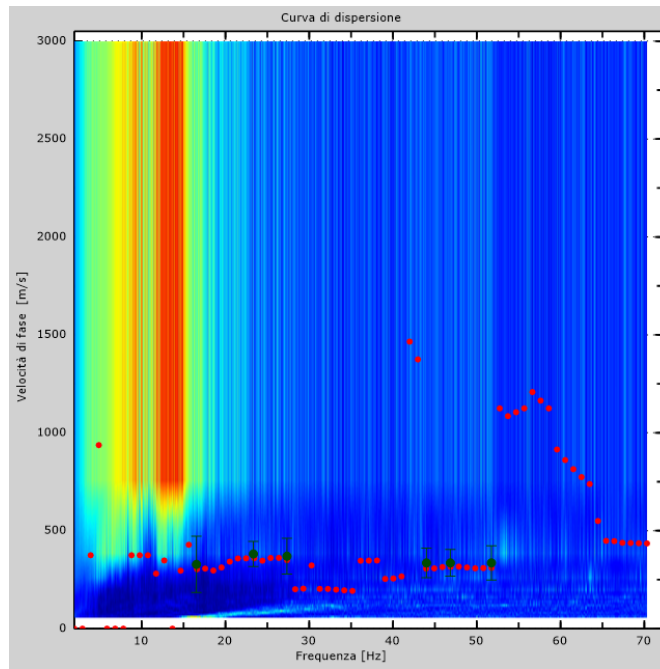


Figura 3: Tracce sperimentali

4 - Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
16.54	328.173	183.968	472.379
23.3394	381.302	316.789	445.815
27.3453	369.917	278.84	460.995
44.0012	335.763	259.865	411.661
46.8475	335.763	267.455	404.071
51.7494	335.763	248.481	423.046

Figura 4: Curva di dispersione



5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio).....	5
Spaziatura ricevitori.....	1.5m
Numero ricevitori.....	32
Numero modi.....	7

Strato 1

h [m].....	2
z [m].....	-2
Densità [kg/m ³].....	1650
Poisson.....	35
Vs [m/s].....	331
Vp [m/s].....	689
Vs min [m/s].....	187
Vs max [m/s].....	497
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s].....	331

Strato 2

h [m].....	3
z [m].....	-5
Densità [kg/m ³].....	1800
Poisson.....	35
Vs [m/s].....	352
Vp [m/s].....	733
Vs min [m/s].....	187
Vs max [m/s].....	528
Strato non alluvionale	
Vs fin.[m/s].....	352

Strato 3

h [m].....	3
z [m].....	-8
Densità [kg/m ³].....	1850
Poisson.....	3
Vs [m/s].....	448
Vp [m/s].....	838
Vs min [m/s].....	212

Vs max [m/s].....	672
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s].....	448

Strato 4

h [m].....	15
z [m].....	-23
Densità [kg/m ³].....	1940
Poisson.....	.25
Vs [m/s].....	456
Vp [m/s].....	790
Vs min [m/s].....	182
Vs max [m/s].....	684
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s].....	456

Strato 5

h [m].....	0
z [m].....	-∞
Densità [kg/m ³].....	2020
Poisson.....	0.2
Vs [m/s].....	521
Vp [m/s].....	851
Vs min [m/s].....	182
Vs max [m/s].....	782
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s].....	521

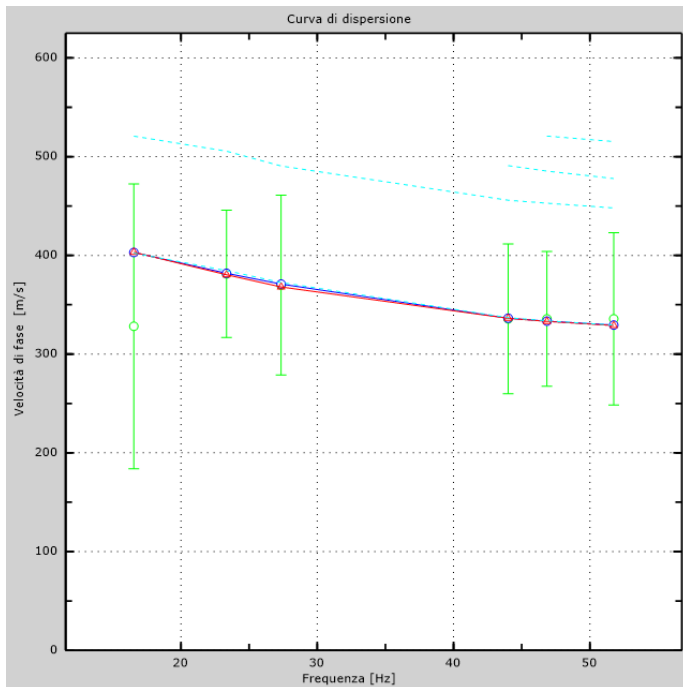


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

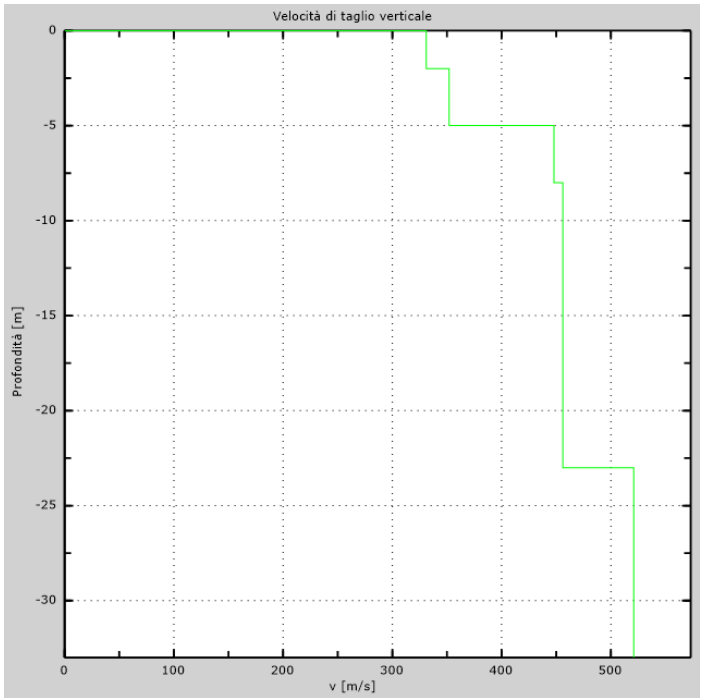


Figura 6: Profilo Vs numerico

COMUNE DI GIANO DELL’UMBRIA

PROVINCIA DI PERUGIA



Risultati delle indagini MASW



Autore: Dott. Geol. Fabio Mazzeo

Sito: Loc. Santo Stefano - Giano dell’Umbria

AREA “SANTO STEFANO” - PRG PARTE OPERATIVA

Data: Settembre 2023



1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori..... 32
 Distanza tra i sensori:..... 1,00 m
 Numero di campioni temporali..... 2000
 Passo temporale di acquisizione..... 0.5 ms
 Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 32
 L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0 ms
 L'intervallo considerato per l'analisi termina a 999.5 ms
 I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

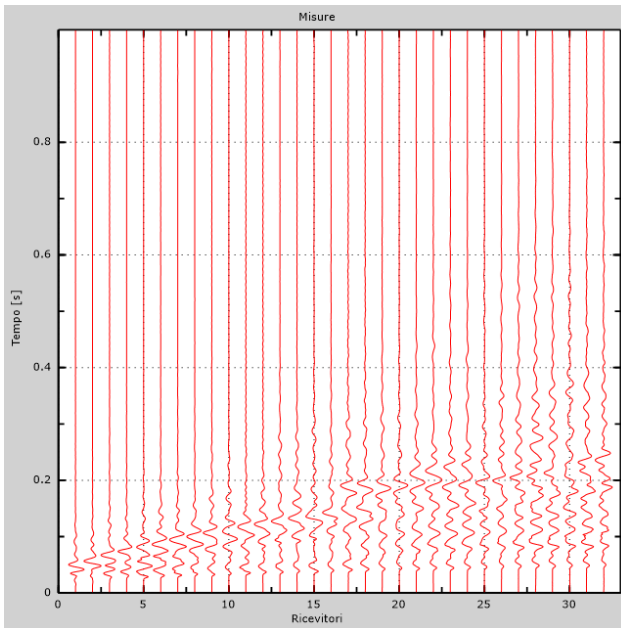


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale..... 70Hz
 Frequenza iniziale..... 2Hz

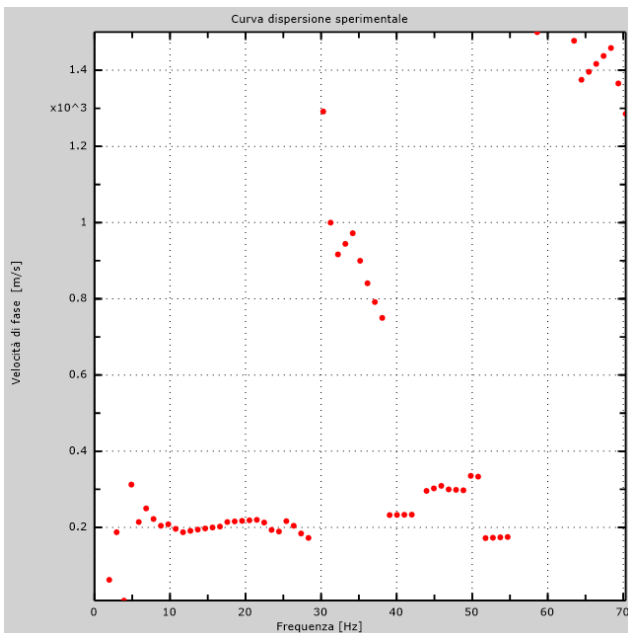


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Risultati delle analisi (tecnica passiva Re.Mi.)

Numero di ricevitori..... 16
 Numero di campioni temporali..... 3.26787e-312
 Passo temporale di acquisizione..... 2 ms
 Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 16
 L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0 ms
 L'intervallo considerato per l'analisi termina a 359998 ms
 I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

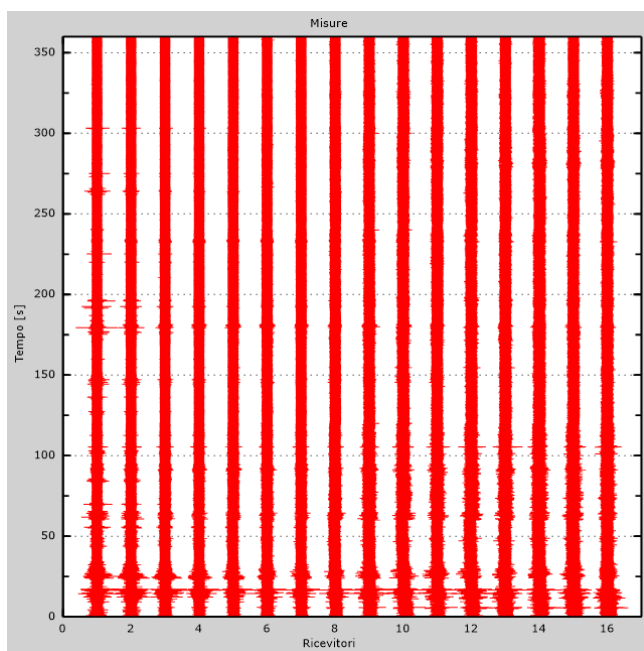


Figura 3: Tracce sperimentali

4 - Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
6.9997	267.455	180.173	354.738
12.5868	214.327	146.019	282.635
17.5414	221.916	172.583	271.25
21.5473	237.096	180.173	294.019
24.3409	210.532	153.608	267.455
28.294	195.352	142.224	248.481
39.2047	248.481	187.762	309.199
42.1564	252.276	206.737	297.814
43.7904	328.173	252.276	404.071
48.6396	324.378	263.66	385.097
50.9061	347.148	309.199	385.097

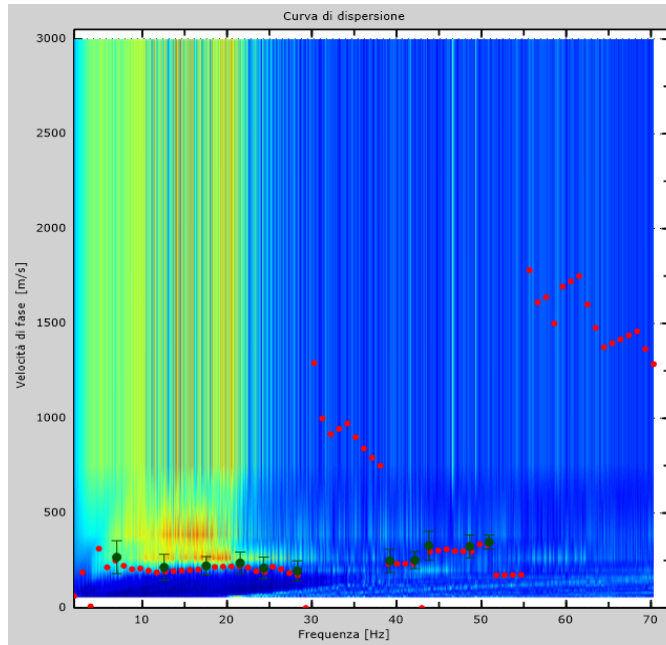


Figura 4: Curva di dispersione

5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio).....	5
Spaziatura ricevitori.....	1m
Numero ricevitori.....	32
Numero modi.....	5

Strato 1

h [m].....	2
z [m].....	-2
Densità [kg/m ³].....	1800
Poisson.....	35
Vs [m/s].....	211
Vp [m/s].....	439
Vs min [m/s].....	140
Vs max [m/s].....	317
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s].....	211

Strato 2

h [m].....	4
z [m].....	-6
Densità [kg/m ³].....	1880
Poisson.....	35
Vs [m/s].....	234
Vp [m/s].....	487
Vs min [m/s].....	117
Vs max [m/s].....	468
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s].....	234

Strato 3

h [m].....	10
z [m].....	-16
Densità [kg/m ³].....	1900
Poisson.....	3
Vs [m/s].....	264
Vp [m/s].....	494

Vs min [m/s].....	119
Vs max [m/s].....	396
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s].....	264

Strato 4

h [m].....	10
z [m].....	-26
Densità [kg/m ³].....	1930
Poisson.....	25
Vs [m/s].....	321
Vp [m/s].....	556
Vs min [m/s].....	119
Vs max [m/s].....	482
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s].....	321

Strato 5

h [m].....	0
z [m].....	-00
Densità [kg/m ³].....	2010
Poisson.....	0.2
Vs [m/s].....	379
Vp [m/s].....	619
Vs min [m/s].....	149
Vs max [m/s].....	569
Falda non presente nello strato	
Vs fin.[m/s].....	379

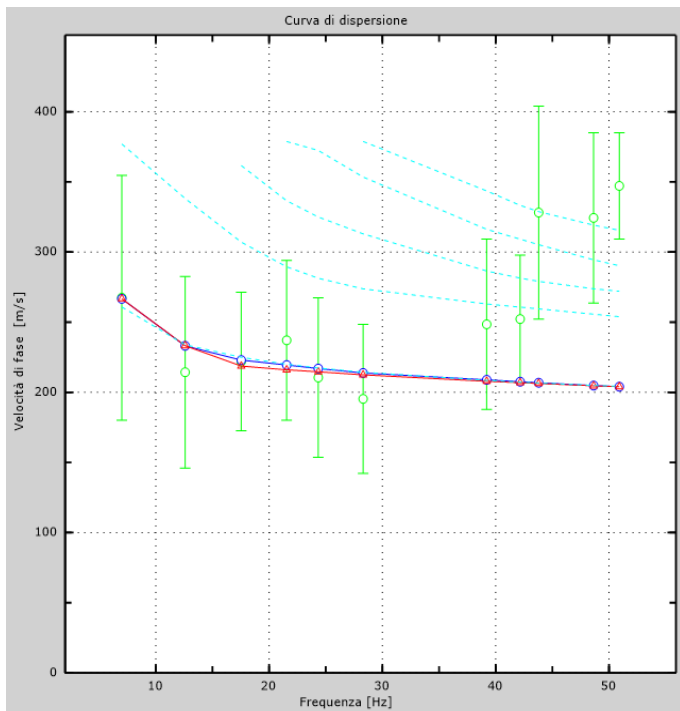


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

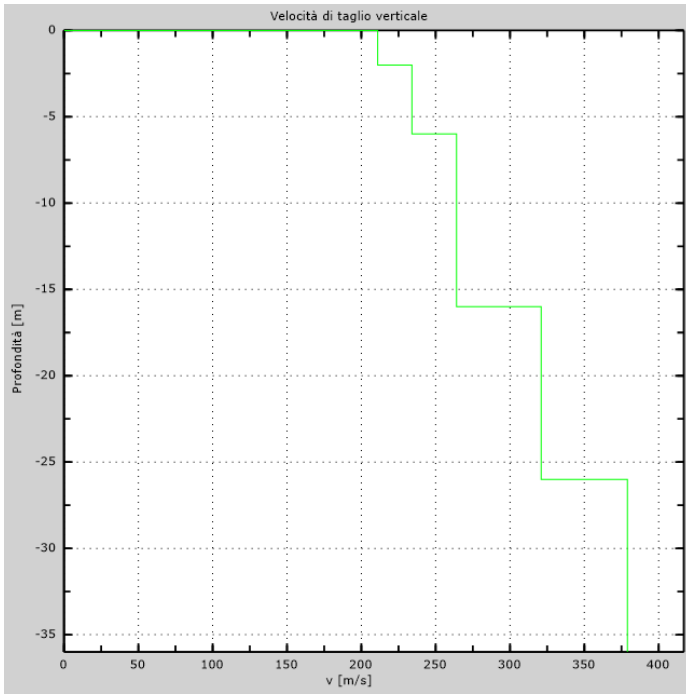


Figura 6: Profilo Vs numerico

RAPPORTO INTERPRETATIVO MISURAZIONI HVSR

Località: Fabbri – AREA “FABBRI” – PRG PARTE OPERATIVA

Comune di GIANO DELL’UMBRIA (PG)



Premessa

In data 11/09/2023, è stata effettuata una acquisizione con tecnica HVSR, relativamente alle indagini geofisiche a supporto della **Microzonazione Sismica di 2° Livello – PRG Parte Operativa**, ai sensi D.G.R. n.377/2010, per l'area "FABBRI", nel Comune di Giano dell'Umbria (PG).

L'acquisizione è stata elaborata nel range di interesse da 0,10 a 60,0 Hz. L'impiego del rapporto spettrale H/V permette di valutare la variazione dell'eccentricità dell'onda di Rayleigh in funzione della frequenza e in determinate condizioni geologiche locali il rapporto spettrale tra le due componenti mette in evidenza dei massimi, identificabili come frequenze sismiche fondamentali di un sito. L'ampiezza dei massimi della funzione H/V è proporzionale, anche se non linearmente, all'entità del contrasto di impedenza sismica tra lo strato di base ad elevata velocità sismica e la sovrastante copertura a velocità sismica più bassa. In definitiva, quindi, le analisi numeriche sono state orientate a verificare l'esistenza di massimi nella curva H/V al fine di definire la frequenza di risonanza naturale di sito e, se presente, un contrasto d'impedenza sismica.



- Stazione di acquisizione HVSR – Località FABBRI

1. Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La metodologia HVSR si basa sulla misura dei rapporti fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale e sull'individuazione di massimi in frequenza della funzione H/V così ottenuta. La tecnica HVSR, quindi, permette di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Le registrazioni devono essere effettuate, secondo le indicazioni del progetto SESAME con intervallo di tempo opportunamente lungo (non minore di 20-30 minuti), in modo da registrare le proprietà medie di un campo di onde sismiche generato da una molteplicità di sorgenti differenti, sia naturali che superficiali, distribuite casualmente attorno ad un punto di misura. Le ipotesi alla base della tecnica sono:

- una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz);
- assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze;
- le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione.

In tal modo il campo d'onda generato, che come già detto è generalmente composto dalla combinazione delle diverse tipologie di onde sismiche di volume, P ed S, e di superficie, Rayleigh e Love, tende ad avere un andamento che non dipende dalle singole sorgenti ma dalle caratteristiche fisiche del mezzo attraversato.

L'esistenza di un forte contrasto di impedenza sismica tra due mezzi fa sì che il rapporto spettrale tra le componenti delle onde orizzontali e di quelle verticali, sia nel caso delle onde di volume che di quelle superficiali, abbia dei massimi in funzione delle frequenze di risonanza delle onde S, in quanto le componenti verticali tendono ad annullarsi. *Tale fenomeno si instaura quando il rapporto tra le due impedenze sismiche è almeno dell'ordine delle 2-3 volte.*

Al di sotto di tali valori ed in assenza di contrasti di impedenza sismica la curva H/V non presenta dei massimi evidenti.

2. Tecnica di acquisizione

Per seguire le misure è stato impiegato un geofono con frequenza naturale di 4,5 Hz a 3 componenti (velocimetri), orientate lungo le direzioni verticale, Nord/Sud ed Est/Ovest, di costruzione della SARA Electronics Srl, modello GEOBOX SR04HS, per la registrazione un notebook con il programma di acquisizione Seismowin, fornito sempre dalla SARA Electronics Srl. Il segnale registrato viene suddiviso in "finestre" della durata temporale in funzione della frequenza minima che si vuole considerare; vengono eliminate quelle finestre eventualmente contenenti dei fenomeni dinamici transienti; vengono calcolati i rapporti spettrali per ciascuna finestra avendo cura di aver prima: eliminato dal segnale gli eventuali offset, aver calcolato gli spettri di Fourier e aver fatto su di loro un'operazione di "lisciamento" (smoothing); dopo di che si stima il valore medio dei rapporti spettrali calcolati per ciascuna sotto-finestra e si definisce la corrispondente deviazione standard. La componente H viene ricavata dalla media geometrica tra le due componenti NS ed EW, infine si ottiene la curva H/V del sito. In realtà tutte queste operazioni vengono effettuate automaticamente con l'ausilio di programmi di elaborazione che, per processare il segnale ed ottenere alla fine la curva H/V del sito, permettono di impostare una serie di criteri basati su opportuni test statistici che consentono di definire l'affidabilità della curva H/V e di identificare il picco più significativo sulla base di criteri quantitativi.

3. Specifiche tecniche

Strumento utilizzato = Sara SR04HS (Geobox)

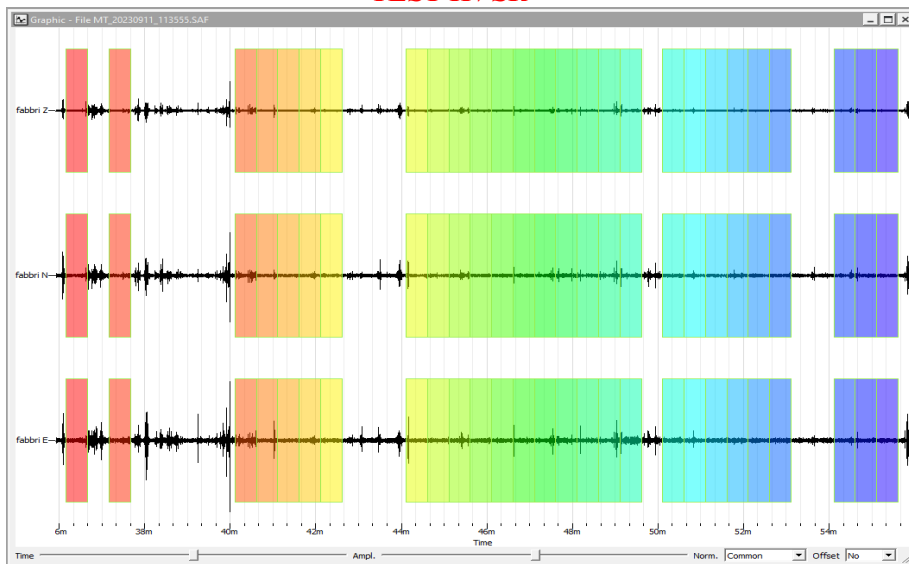
Frequenza di campionamento = 300 Hz

Intervallo di campionamento = 5,00 ms

Tempo di acquisizione = 1200 s

Numero dati registrati per ogni acquisizione = 360000

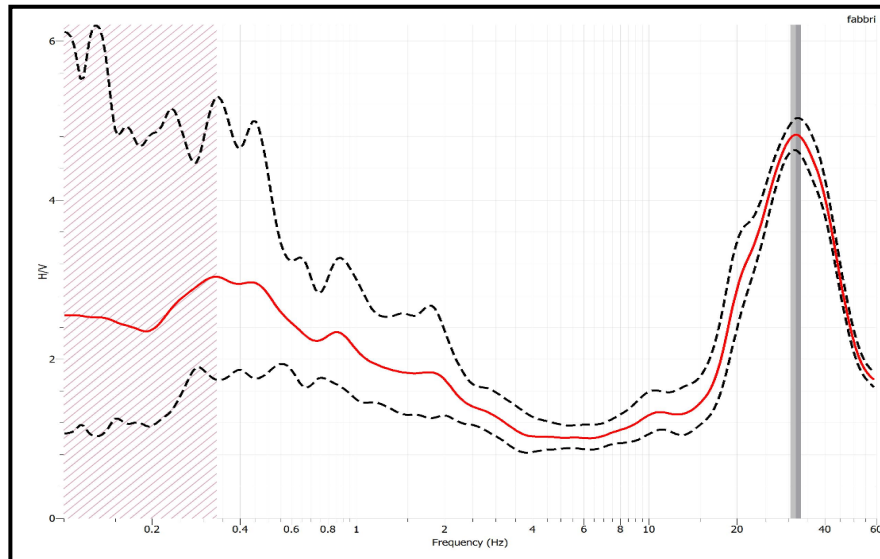
TEST HVSR



Acquisizione microtremori con tecnica HVSR – Selezione delle finestre temporali significative

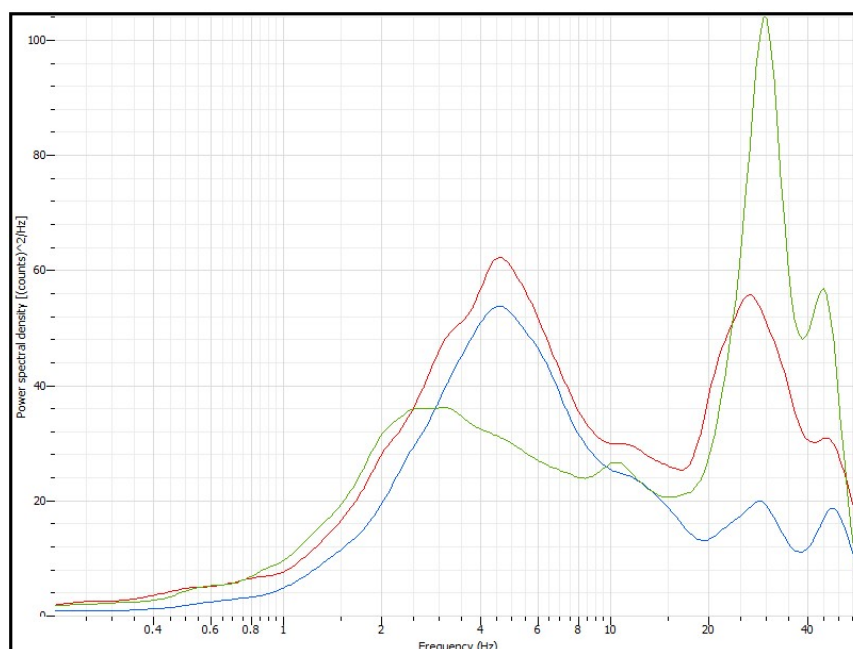
L'elaborazione è stata poi eseguita mediante il Software libero GEOPSY, per la rappresentazione dell'andamento "H/V medio – frequenza", rilevato presso la stazione di prova; i parametri usati sono schematizzati di seguito:

- **durata della registrazione = 1200 secondi;**
- **larghezza singola finestra = 20 secondi;**
- **procedura di lisciamento dei transienti secondo Konno-Omachi, con $b=40$;**
- **finestre triangolari con ampiezza del 5% della frequenza centrale;**
- **elaborazione del segnale nell'intervallo di frequenze 0,10 – 60 Hz.**



Andamento valori rapporto H/V degli spettri medi

Il diagramma H/V contro Frequenza mostra l'assenza, nel campo delle basse e medie frequenze (0,1-10 Hz), di picchi di risonanza significativi lasciando intendere la mancata presenza di "interfacce stratigrafiche" medio-profonde e caratterizzate da sostanziali differenti caratteristiche di rigidità/impedenza sismica; il vistoso picco di risonanza presente alla $f=31,2$ Hz, ad un esame maggiormente attendibile delle variazioni del rapporto H/V effettuato analizzando l'andamento combinato delle singole curve (spettro medio) delle componenti orizzontali (N-S e O-E) nei confronti di quella verticale (Z), appare interessato da potenziali "anomalie", che ne metterebbero in dubbio (ovvero, ne ridurrebbero sensibilmente) la propria "natura stratigrafica"; si prenda in considerazione il seguente diagramma, ottenuto dalle elaborazioni effettuate con il software free "GEOPSY":



Andamento degli spettri medi secondo le direzioni Z (blu), N-S (rosso), E-O (verde)

L'esame dell'intervallo di frequenze comprese fra 20-40 Hz evidenzia una oggettiva tendenza al contemporaneo aumento delle tre componenti spettrali; si nota, comunque, che la curva relativa allo spettro verticale "Z" si deprime rispetto alle altre due, a partire dai 15 Hz, ma "accompagna" in modo organico le variazioni di quest'ultime verso le frequenze più elevate.

Trattandosi di una frequenza ($f=31,2$ Hz) che sottintende profondità molto contenute dal p.c. si potrebbe ipotizzare una interferenza fra andamento depresso della componente "Z", causata dalla presenza della copertura detritico-clastica evidenziata anche in sede di prova penetrometrica DPSH ed una "interazione positiva" riferibile a fattori antropici di zona, con generazione del rilievo in prossimità dei 30 Hz, nonché molto più "recepita" dalle componenti orizzontali (in particolare secondo la direzione E-O, vedi grafico).

L'analisi della funzione *H/V Rotate* del Software GEOPSY produce il seguente diagramma:

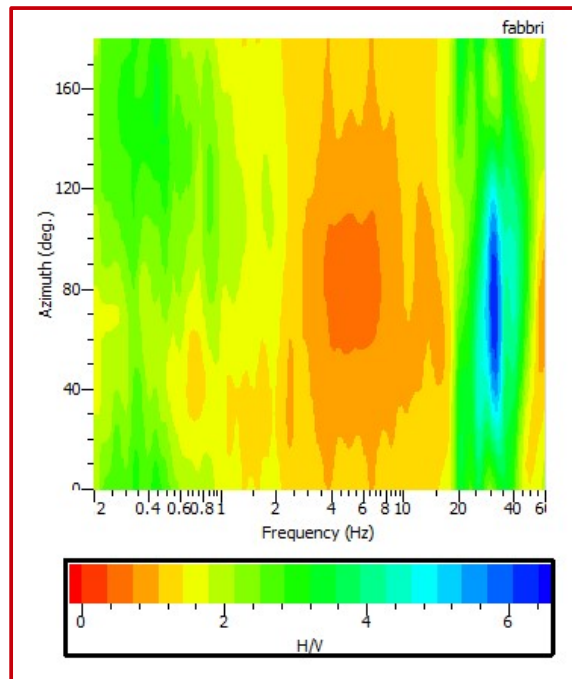


Diagramma H/V Rotate

Alla frequenza di circa 30 Hz si nota un'area corrispondente ad azimuth compresi fra 30°-110° ove si raggiungono i massimi valori del rapporto H/V; questo potrebbe significare quanto segue:

- campo delle onde di rumore non omogeneo/isotropo (spettro H/V non stazionario in valore per tutti gli orientamenti);
- struttura del terreno non di tipo "1D";
- picco di risonanza generato da rumori antropici: presenza in zona di sorgenti di rumore locale (presenza di strade, ferrovie, zone industriali, grandi agglomerati urbani) si osserveranno rumori generalizzati random dalla direzione di provenienza delle fonti di inquinamento sismico, quindi i picchi di risonanza saranno presenti su determinate direzioni e assumeranno colorazioni corrispondenti a picchi di elevato rapporto hvsr, mentre nelle direzioni ortogonali assumeranno colorazioni tendenti a $H/V = 1$.

In sostanza, il picco di risonanza posto a $f=31,2$ Hz sembra verosimilmente interessato, oltre che da un corposo contributo di natura "antropica", anche da una discontinuità dei terreni, ricollegabile alla struttura tipicamente "lenticolare" dei terreni detritico-clastici sommitali di zona; tale anomalia interessa, come facilmente deducibile dal valore della frequenza f , i depositi collocati ad una profondità limitata (max 2-3 m dal p.c.).

In profondità, l'andamento relativo delle tre componenti spettrali N-S, E-O, Z, conferma l'assenza di picchi di risonanza significativi, lasciando evincere una buona omogeneità, sotto il profilo della "rigidità sismica", all'interno del potente orizzonte di sedimenti alluvionali del Plio-Pleistocene, presso l'area di interesse.

Bastardo, 06/10/2023

Dott. Geol. Fabio Mazzeo



RAPPORTO INTERPRETATIVO MISURAZIONI HVSR

Località: Santo Stefano – AREA “SANTO STEFANO” – PRG PARTE OPERATIVA

Comune di GIANO DELL’UMBRIA (PG)



Premessa

In data 06/10/2023, è stata effettuata una acquisizione con tecnica HVSR, relativamente alle indagini geofisiche a supporto della **Microzonazione Sismica di 2° Livello – PRG Parte Operativa**, ai sensi D.G.R. n.377/2010, per l'area "SANTO STEFANO", nel Comune di Giano dell'Umbria (PG).

L'acquisizione è stata elaborata nel range di interesse da 0,10 a 60,0 Hz. L'impiego del rapporto spettrale H/V permette di valutare la variazione dell'eccentricità dell'onda di Rayleigh in funzione della frequenza e in determinate condizioni geologiche locali il rapporto spettrale tra le due componenti mette in evidenza dei massimi, identificabili come frequenze sismiche fondamentali di un sito. L'ampiezza dei massimi della funzione H/V è proporzionale, anche se non linearmente, all'entità del contrasto di impedenza sismica tra lo strato di base ad elevata velocità sismica e la sovrastante copertura a velocità sismica più bassa. In definitiva, quindi, le analisi numeriche sono state orientate a verificare l'esistenza di massimi nella curva H/V al fine di definire la frequenza di risonanza naturale di sito e, se presente, un contrasto d'impedenza sismica.



- Stazione di acquisizione HVSR – Località SANTO STEFANO

1. Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La metodologia HVSR si basa sulla misura dei rapporti fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale e sull'individuazione di massimi in frequenza della funzione H/V così ottenuta. La tecnica HVSR, quindi, permette di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Le registrazioni devono essere effettuate, secondo le indicazioni del progetto SESAME con intervallo di tempo opportunamente lungo (non minore di 20-30 minuti), in modo da registrare le proprietà medie di un campo di onde sismiche generato da una molteplicità di sorgenti differenti, sia naturali che superficiali, distribuite casualmente attorno ad un punto di misura. Le ipotesi alla base della tecnica sono:

- una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz);
- assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze;
- le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione.

In tal modo il campo d'onda generato, che come già detto è generalmente composto dalla combinazione delle diverse tipologie di onde sismiche di volume, P ed S, e di superficie, Rayleigh e Love, tende ad avere un andamento che non dipende dalle singole sorgenti ma dalle caratteristiche fisiche del mezzo attraversato.

L'esistenza di un forte contrasto di impedenza sismica tra due mezzi fa sì che il rapporto spettrale tra le componenti delle onde orizzontali e di quelle verticali, sia nel caso delle onde di volume che di quelle superficiali, abbia dei massimi in funzione delle frequenze di risonanza delle onde S, in quanto le componenti verticali tendono ad annullarsi. *Tale fenomeno si instaura quando il rapporto tra le due impedenze sismiche è almeno dell'ordine delle 2-3 volte.*

Al di sotto di tali valori ed in assenza di contrasti di impedenza sismica la curva H/V non presenta dei massimi evidenti.

2. Tecnica di acquisizione

Per seguire le misure è stato impiegato un geofono con frequenza naturale di 4,5 Hz a 3 componenti (velocimetri), orientate lungo le direzioni verticale, Nord/Sud ed Est/Ovest, di costruzione della SARA Electronics Srl, modello GEOBOX SR04HS, per la registrazione un notebook con il programma di acquisizione Seismowin, fornito sempre dalla SARA Electronics Srl. Il segnale registrato viene suddiviso in "finestre" della durata temporale in funzione della frequenza minima che si vuole considerare; vengono eliminate quelle finestre eventualmente contenenti dei fenomeni dinamici transienti; vengono calcolati i rapporti spettrali per ciascuna finestra avendo cura di aver prima: eliminato dal segnale gli eventuali offset, aver calcolato gli spettri di Fourier e aver fatto su di loro un'operazione di "liscio" (smoothing); dopo di che si stima il valore medio dei rapporti spettrali calcolati per ciascuna sotto-finestra e si definisce la corrispondente deviazione standard. La componente H viene ricavata dalla media geometrica tra le due componenti NS ed EW, infine si ottiene la curva H/V del sito. In realtà tutte queste operazioni vengono effettuate automaticamente con l'ausilio di programmi di elaborazione che, per processare il segnale ed ottenere alla fine la curva H/V del sito, permettono di impostare una serie di criteri basati su opportuni test statistici che consentono di definire l'affidabilità della curva H/V e di identificare il picco più significativo sulla base di criteri quantitativi.

3. Specifiche tecniche

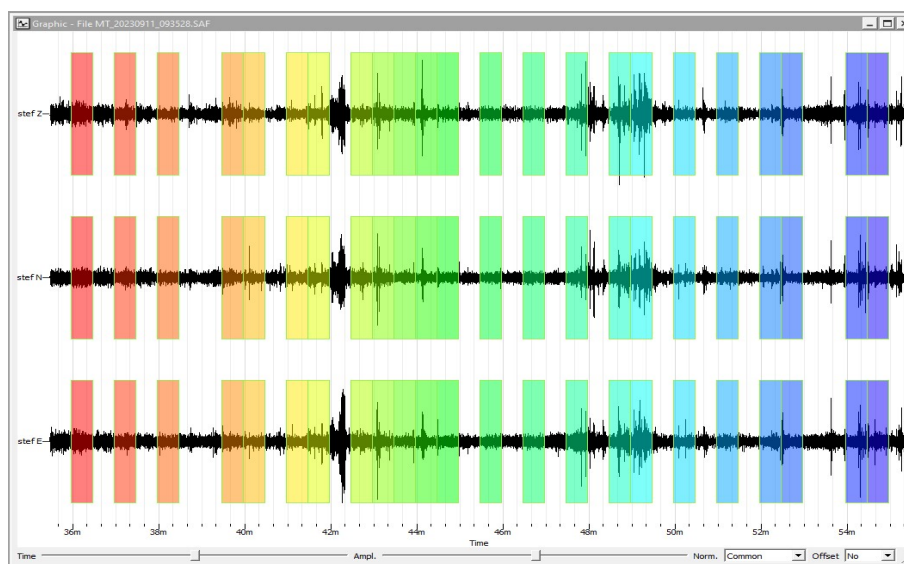
Strumento utilizzato = Sara SR04HS (Geobox)

Frequenza di campionamento = 300 Hz

Intervallo di campionamento = 5,00 ms

Tempo di acquisizione = 1200 s

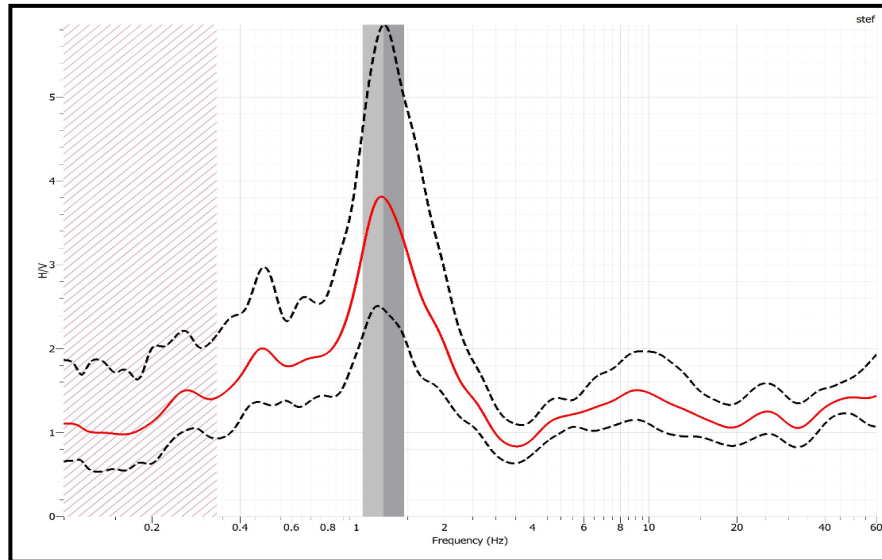
Numero dati registrati per ogni acquisizione = 360000



Acquisizione microtremori con tecnica HVSR – Selezione delle finestre temporali significative

L'elaborazione è stata poi eseguita mediante il Software libero GEOPSY, per la rappresentazione dell'andamento "H/V medio – frequenza", rilevato presso la stazione di prova; i parametri usati sono schematizzati di seguito:

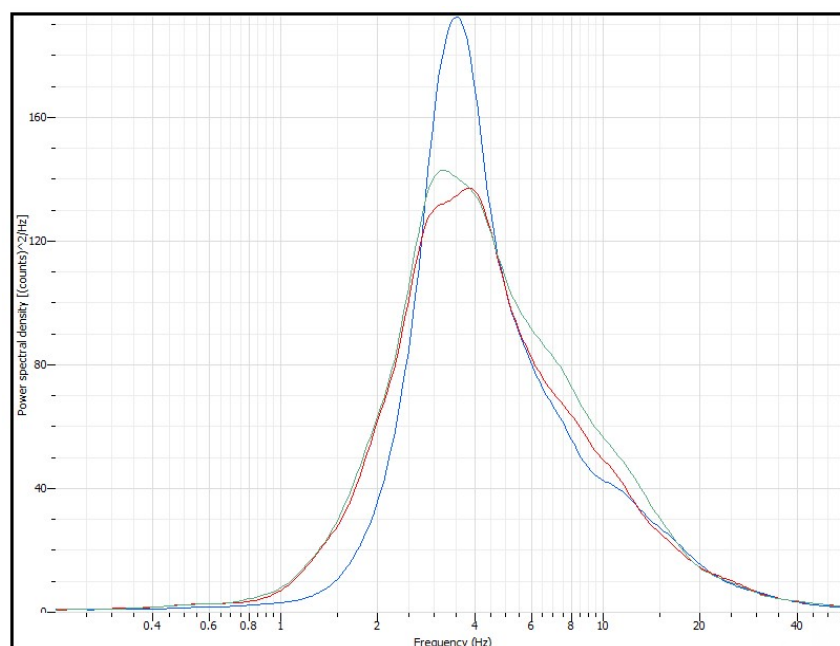
- **durata della registrazione = 1200 secondi;**
- **larghezza singola finestra = 20 secondi;**
- **procedura di liscio dei transienti secondo Konno-Omachi, con $b=40$;**
- **finestre triangolari con ampiezza del 5% della frequenza centrale;**
- **elaborazione del segnale nell'intervallo di frequenze 0,10 – 60 Hz.**



Andamento valori rapporto H/V degli spettri medi

Il diagramma H/V contro Frequenza mostra la presenza di un importante picco di risonanza, centrato alla $f_0=1,24$ Hz, ed avente ampiezza $A = 3,80$; l'analisi dell'andamento delle singole curve spettrali combinate in funzione della frequenza (diagramma dell'andamento delle componenti spettrali orizzontali N-S e O-E nei confronti di quella verticale (Z) – figura seguente), mostra l'esistenza di una "caduta" della componente "Z" proprio in corrispondenza dell'intorno della suddetta frequenza f_0 , certificando così la presenza di una interfaccia stratigrafica caratterizzata da sostanziali differenti caratteristiche di rigidità/impedenza sismica; considerando la locale geologia, la collocazione geografica rispetto alla Catena martana, nonché le velocità di taglio V_s caratterizzanti i sismostrati identificati durante il Test MASW-Re.Mi. effettuato in sito, appare verosimile assegnare tale picco di risonanza al "contatto" fra base dei depositi coesivi Plio-Pleistocenici e Formazione Marnoso-Arenacea sottostante, la cui profondità calcolata si attesterebbe intorno ai **100-120 m dal p.c.** .

L'esame del diagramma mette in evidenza anche un altro picco di natura stratigrafica, in realtà molto modesto come intensità e quindi come contrasto di impedenza sismica, posizionato a circa **8,50 Hz**; considerando le velocità di taglio V_s determinate in sede di Test MASW, alla suddetta frequenza corrisponderebbe una ipotetica interfaccia posta a non più di 10 m di profondità dal p.c. locale e probabilmente, considerata anche la modesta Ampiezza A della stessa, dovuta ad una variazione litologica (ad es. transizione fra sabbie limose ed argille limose) entro il pacco di sedimenti del Villafranchiano.



Andamento degli spettri medi secondo le direzioni Z (blu), N-S (rosso), E-O (verde)

RAPPORTO INTERPRETATIVO MISURAZIONI HVSR

Località: San Sabino – AREA “SAN SABINO” (Prop. Vagnoli) – PRG PARTE OPERATIVA

Comune di GIANO DELL’UMBRIA (PG)



Premessa

In data 03/10/2023, è stata effettuata una acquisizione con tecnica HVSR, relativamente alle indagini geofisiche a supporto della **Microzonazione Sismica di 2° Livello – PRG Parte Operativa**, ai sensi D.G.R. n.377/2010, per l'area "SAN SABINO", presso la proprietà Sig. Vagnoli Domenico, nel Comune di Giano dell'Umbria (PG).

L'acquisizione è stata elaborata nel range di interesse da 0,10 a 60,0 Hz. L'impiego del rapporto spettrale H/V permette di valutare la variazione dell'eccentricità dell'onda di Rayleigh in funzione della frequenza e in determinate condizioni geologiche locali il rapporto spettrale tra le due componenti mette in evidenza dei massimi, identificabili come frequenze sismiche fondamentali di un sito. L'ampiezza dei massimi della funzione H/V è proporzionale, anche se non linearmente, all'entità del contrasto di impedenza sismica tra lo strato di base ad elevata velocità sismica e la sovrastante copertura a velocità sismica più bassa. In definitiva, quindi, le analisi numeriche sono state orientate a verificare l'esistenza di massimi nella curva H/V al fine di definire la frequenza di risonanza naturale di sito e, se presente, un contrasto d'impedenza sismica.



- Stazione di acquisizione HVSR – Località SAN SABINO (Prop. Vagnoli)

1. Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La metodologia HVSR si basa sulla misura dei rapporti fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale e sull'individuazione di massimi in frequenza della funzione H/V così ottenuta. La tecnica HVSR, quindi, permette di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Le registrazioni devono essere effettuate, secondo le indicazioni del progetto SESAME con intervallo di tempo opportunamente lungo (non minore di 20-30 minuti), in modo da registrare le proprietà medie di un campo di onde sismiche generato da una molteplicità di sorgenti differenti, sia naturali che superficiali, distribuite casualmente attorno ad un punto di misura. Le ipotesi alla base della tecnica sono:

- una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz);
- assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze;
- le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione.

In tal modo il campo d'onda generato, che come già detto è generalmente composto dalla combinazione delle diverse tipologie di onde sismiche di volume, P ed S, e di superficie, Rayleigh e Love, tende ad avere un andamento che non dipende dalle singole sorgenti ma dalle caratteristiche fisiche del mezzo attraversato.

L'esistenza di un forte contrasto di impedenza sismica tra due mezzi fa sì che il rapporto spettrale tra le componenti delle onde orizzontali e di quelle verticali, sia nel caso delle onde di volume che di quelle superficiali, abbia dei massimi in funzione delle frequenze di risonanza delle onde S, in quanto le componenti verticali tendono ad annullarsi. *Tale fenomeno si instaura quando il rapporto tra le due impedenze sismiche è almeno dell'ordine delle 2-3 volte.*

Al di sotto di tali valori ed in assenza di contrasti di impedenza sismica la curva H/V non presenta dei massimi evidenti.

2. Tecnica di acquisizione

Per seguire le misure è stato impiegato un geofono con frequenza naturale di 4,5 Hz a 3 componenti (velocimetri), orientate lungo le direzioni verticale, Nord/Sud ed Est/Ovest, di costruzione della SARA Electronics Srl, modello GEOBOX SR04HS, per la registrazione un notebook con il programma di acquisizione Seismowin, fornito sempre dalla SARA Electronics Srl. Il segnale registrato viene suddiviso in "finestre" della durata temporale in funzione della frequenza minima che si vuole considerare; vengono eliminate quelle finestre eventualmente contenenti dei fenomeni dinamici transienti; vengono calcolati i rapporti spettrali per ciascuna finestra avendo cura di aver prima: eliminato dal segnale gli eventuali offset, aver calcolato gli spettri di Fourier e aver fatto su di loro un'operazione di "liscio" (smoothing); dopo di che si stima il valore medio dei rapporti spettrali calcolati per ciascuna sotto-finestra e si definisce la corrispondente deviazione standard. La componente H viene ricavata dalla media geometrica tra le due componenti NS ed EW, infine si ottiene la curva H/V del sito. In realtà tutte queste operazioni vengono effettuate automaticamente con l'ausilio di programmi di elaborazione che, per processare il segnale ed ottenere alla fine la curva H/V del sito, permettono di impostare una serie di criteri basati su opportuni test statistici che consentono di definire l'affidabilità della curva H/V e di identificare il picco più significativo sulla base di criteri quantitativi.

3. Specifiche tecniche

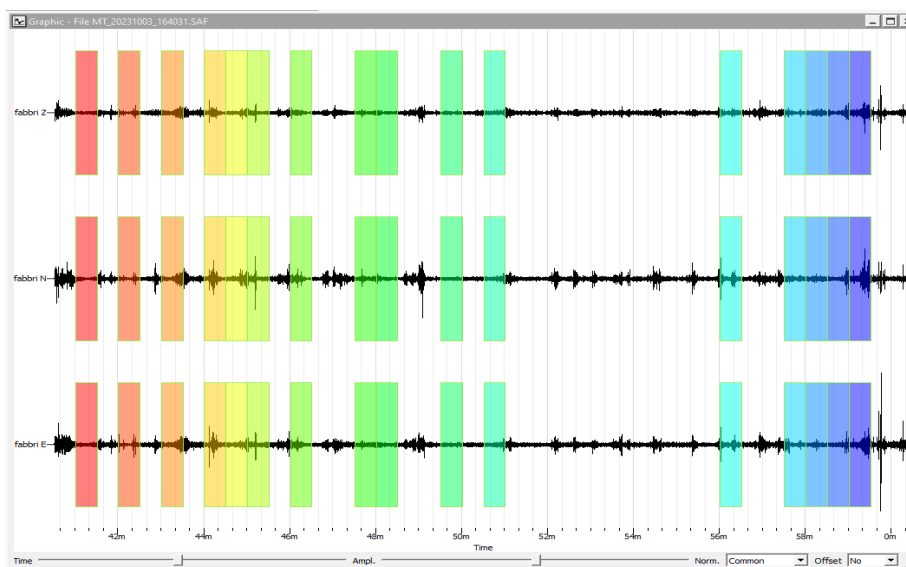
Strumento utilizzato = Sara SR04HS (Geobox)

Frequenza di campionamento = 300 Hz

Intervallo di campionamento = 5,00 ms

Tempo di acquisizione = 1200 s

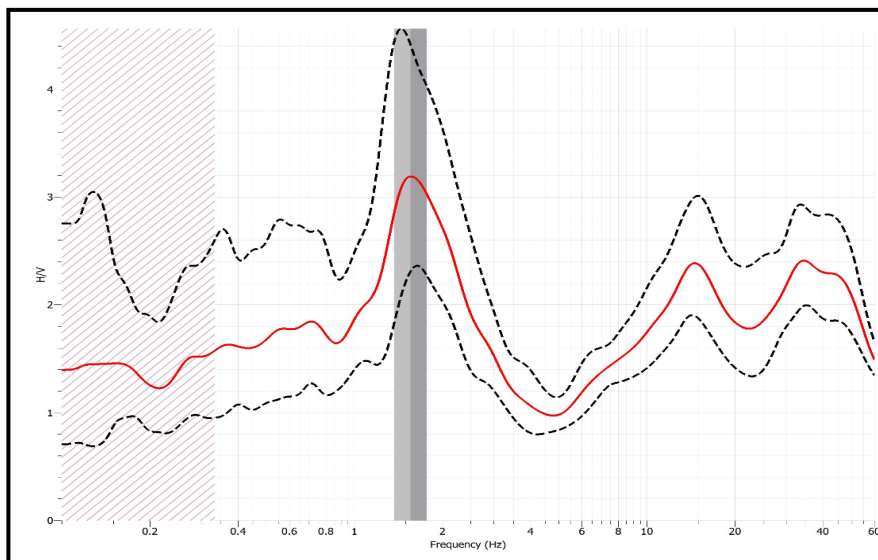
Numero dati registrati per ogni acquisizione = 360000



Acquisizione microtremori con tecnica HVSR – Selezione delle finestre temporali significative

L'elaborazione è stata poi eseguita mediante il Software libero GEOPSY, per la rappresentazione dell'andamento "H/V medio – frequenza", rilevato presso la stazione di prova; i parametri usati sono schematizzati di seguito:

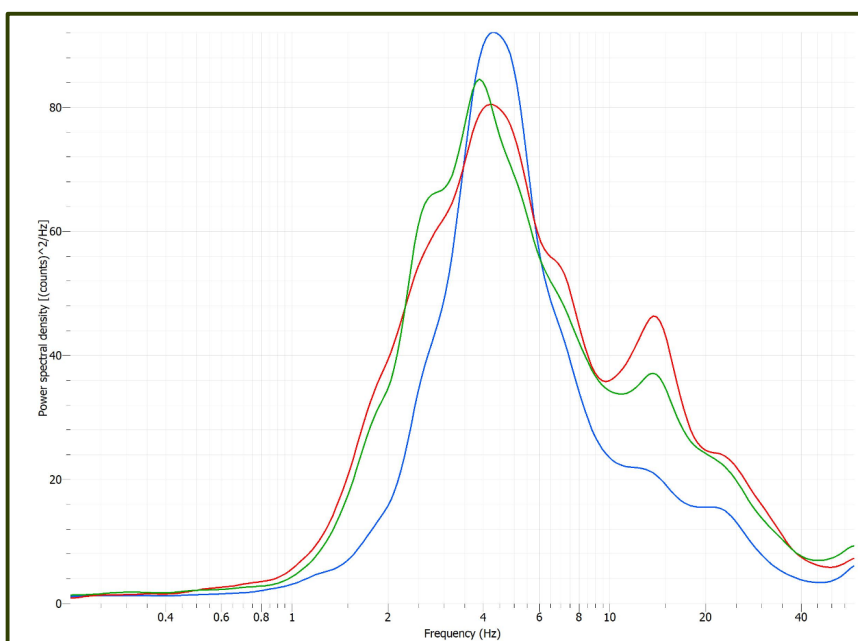
- durata della registrazione = 1200 secondi;
- larghezza singola finestra = 20 secondi;
- procedura di liscio dei transienti secondo Konno-Omachi, con $b=40$;
- finestre triangolari con ampiezza del 5% della frequenza centrale;
- elaborazione del segnale nell'intervallo di frequenze 0,10 – 60 Hz.



Andamento valori rapporto H/V degli spettri medi

Il diagramma H/V contro Frequenza mostra la presenza di un interessante picco di risonanza, centrato alla $f_0=1,556$ Hz, ed avente ampiezza $A = 3,19$; l'analisi dell'andamento delle singole curve spettrali combinate in funzione della frequenza (diagramma dell'andamento delle componenti spettrali orizzontali N-S e O-E nei confronti di quella verticale (Z) – figura seguente), mostra l'evidenza di una "caduta" della componente "Z" in corrispondenza dell'intorno della suddetta frequenza f_0 , certificando così la presenza di una interfaccia stratigrafica caratterizzata da sostanziali differenti caratteristiche di rigidità/impedenza sismica; considerando la locale geologia, nonché le velocità di taglio V_s caratterizzanti i sismostrati identificati durante il Test MASW-Re.Mi. effettuato in sito, del tutto simili a quelle corrispondenti al già illustrato sito "SAN SABINO", si ritiene idoneo anche in questo contesto, assegnare tale picco di risonanza al "contatto" fra base dei depositi coesivi Plio-Pleistocenici e Formazione Marnoso-Arenacea sottostante, la cui profondità calcolata si attesterebbe intorno a 70-75 m dal p.c. .

Nel diagramma sono visibili anche altre due "cadute" della componente "Z", in verità molto leggere però evidenti, attribuibili, verosimilmente, al contatto fra termini coesivi del Plio-Pleistocene e facies sabbioso-conglomeratica sommitale; il contatto avverrebbe entro alcuni metri dal p.c. ispezionato.



Andamento degli spettri medi secondo le direzioni Z (blu), N-S (rosso), E-O (verde)

RAPPORTO INTERPRETATIVO MISURAZIONI HVSR

Località: San Sabino – AREA “SAN SABINO” – PRG PARTE OPERATIVA

Comune di GIANO DELL’UMBRIA (PG)



Premessa

In data 11/09/2023, è stata effettuata una acquisizione con tecnica HVSR, relativamente alle indagini geofisiche a supporto della **Microzonazione Sismica di 2° Livello – PRG Parte Operativa**, ai sensi D.G.R. n.377/2010, per l'area "SAN SABINO", nel Comune di Giano dell’Umbria (PG).

L’acquisizione è stata elaborata nel range di interesse da 0,10 a 60,0 Hz. L’impiego del rapporto spettrale H/V permette di valutare la variazione dell’eccentricità dell’onda di Rayleigh in funzione della frequenza e in determinate condizioni geologiche locali il rapporto spettrale tra le due componenti mette in evidenza dei massimi, identificabili come frequenze sismiche fondamentali di un sito. L’ampiezza dei massimi della funzione H/V è proporzionale, anche se non linearmente, all’entità del contrasto di impedenza sismica tra lo strato di base ad elevata velocità sismica e la sovrastante copertura a velocità sismica più bassa. In definitiva, quindi, le analisi numeriche sono state orientate a verificare l’esistenza di massimi nella curva H/V al fine di definire la frequenza di risonanza naturale di sito e, se presente, un contrasto d’impedenza sismica.



- Stazione di acquisizione HVSR – Località SAN SABINO

1. Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La metodologia HVSR si basa sulla misura dei rapporti fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale e sull’individuazione di massimi in frequenza della funzione H/V così ottenuta. La tecnica HVSR, quindi, permette di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Le registrazioni devono essere effettuate, secondo le indicazioni del progetto SESAME con intervallo di tempo opportunamente lungo (non minore di 20-30 minuti), in modo da registrare le proprietà medie di un campo di onde sismiche generato da una molteplicità di sorgenti differenti, sia naturali che superficiali, distribuite casualmente attorno ad un punto di misura. Le ipotesi alla base della tecnica sono:

- una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz);
- assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze;
- le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione.

In tal modo il campo d’onda generato, che come già detto è generalmente composto dalla combinazione delle diverse tipologie di onde sismiche di volume, P ed S, e di superficie, Rayleigh e Love, tende ad avere un andamento che non dipende dalle singole sorgenti ma dalle caratteristiche fisiche del mezzo attraversato.

L'esistenza di un forte contrasto di impedenza sismica tra due mezzi fa sì che il rapporto spettrale tra le componenti delle onde orizzontali e di quelle verticali, sia nel caso delle onde di volume che di quelle superficiali, abbia dei massimi in funzione delle frequenze di risonanza delle onde S, in quanto le componenti verticali tendono ad annullarsi. *Tale fenomeno si instaura quando il rapporto tra le due impedenze sismiche è almeno dell'ordine delle 2-3 volte.*

Al di sotto di tali valori ed in assenza di contrasti di impedenza sismica la curva H/V non presenta dei massimi evidenti.

2. Tecnica di acquisizione

Per seguire le misure è stato impiegato un geofono con frequenza naturale di 4,5 Hz a 3 componenti (velocimetri), orientate lungo le direzioni verticale, Nord/Sud ed Est/Ovest, di costruzione della SARA Electronics Srl, modello GEOBOX SR04HS, per la registrazione un notebook con il programma di acquisizione Seismowin, fornito sempre dalla SARA Electronics Srl. Il segnale registrato viene suddiviso in "finestre" della durata temporale in funzione della frequenza minima che si vuole considerare; vengono eliminate quelle finestre eventualmente contenenti dei fenomeni dinamici transienti; vengono calcolati i rapporti spettrali per ciascuna finestra avendo cura di aver prima: eliminato dal segnale gli eventuali offset, aver calcolato gli spettri di Fourier e aver fatto su di loro un'operazione di "liscio" (smoothing); dopo di che si stima il valore medio dei rapporti spettrali calcolati per ciascuna sotto-finestra e si definisce la corrispondente deviazione standard. La componente H viene ricavata dalla media geometrica tra le due componenti NS ed EW, infine si ottiene la curva H/V del sito. In realtà tutte queste operazioni vengono effettuate automaticamente con l'ausilio di programmi di elaborazione che, per processare il segnale ed ottenere alla fine la curva H/V del sito, permettono di impostare una serie di criteri basati su opportuni test statistici che consentono di definire l'affidabilità della curva H/V e di identificare il picco più significativo sulla base di criteri quantitativi.

3. Specifiche tecniche

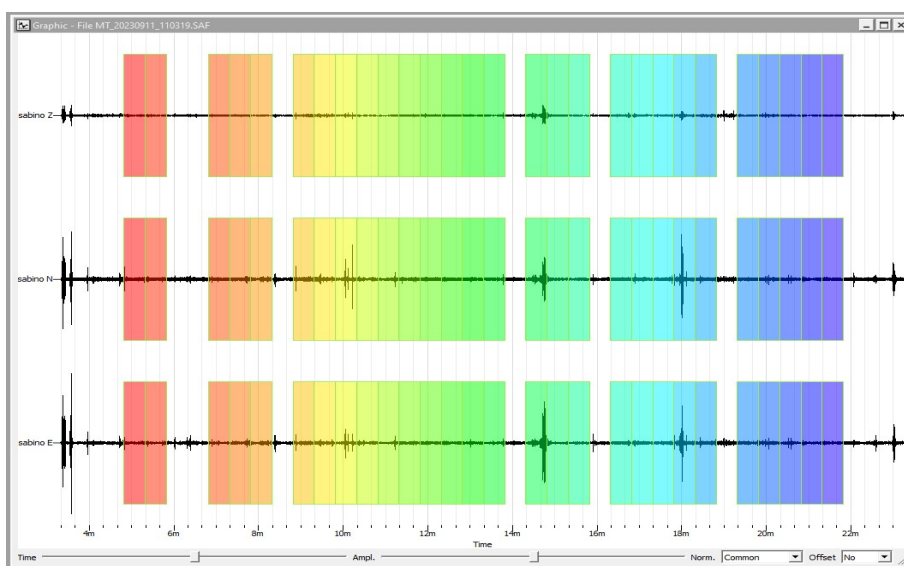
Strumento utilizzato = Sara SR04HS (Geobox)

Frequenza di campionamento = 300 Hz

Intervallo di campionamento = 5,00 ms

Tempo di acquisizione = 1200 s

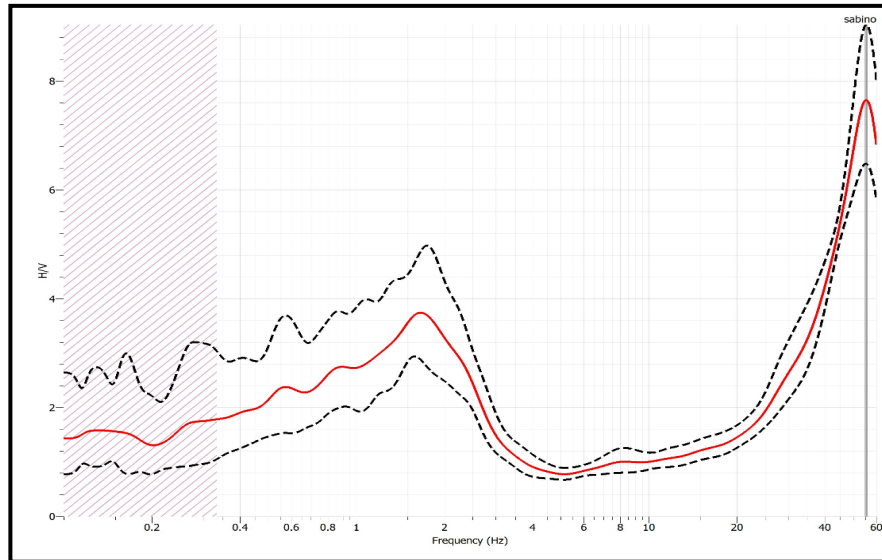
Numero dati registrati per ogni acquisizione = 360000



Acquisizione microtremori con tecnica HVSR – Selezione delle finestre temporali significative

L'elaborazione è stata poi eseguita mediante il Software libero GEOPSY, per la rappresentazione dell'andamento "H/V medio – frequenza", rilevato presso la stazione di prova; i parametri usati sono schematizzati di seguito:

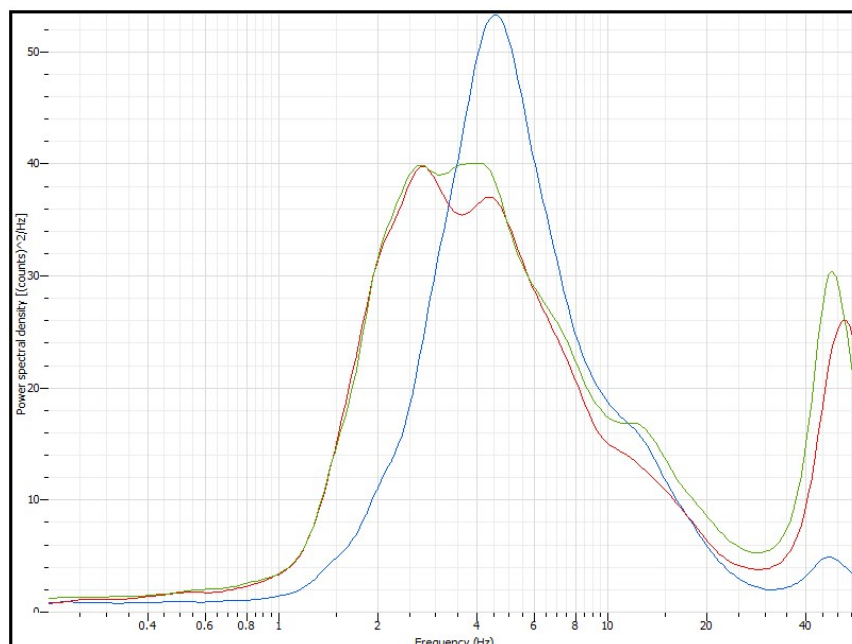
- **durata della registrazione = 1200 secondi;**
- **larghezza singola finestra = 20 secondi;**
- **procedura di liscio dei transienti secondo Konno-Omachi, con $b=40$;**
- **finestre triangolari con ampiezza del 5% della frequenza centrale;**
- **elaborazione del segnale nell'intervallo di frequenze 0,10 – 60 Hz.**



Andamento valori rapporto H/V degli spettri medi

Il diagramma H/V contro Frequenza mostra la presenza di un interessante picco di risonanza, centrato alla $f_0=1,66$ Hz, ed avente ampiezza $A = 3,63$; l'analisi dell'andamento delle singole curve spettrali combinate in funzione della frequenza (diagramma dell'andamento delle componenti spettrali orizzontali N-S e O-E nei confronti di quella verticale (Z) – figura seguente), mostra l'esistenza di una "caduta" della componente "Z" proprio in corrispondenza dell'intorno della suddetta frequenza f_0 , certificando così la presenza di una interfaccia stratigrafica caratterizzata da sostanziali differenti caratteristiche di rigidità/impedenza sismica; considerando la locale geologia, nonché le velocità di taglio V_s caratterizzanti i sismostrati identificati durante il Test MASW-Re.Mi. effettuato in sito, appare assolutamente verosimile assegnare tale picco di risonanza al "contatto" fra base dei depositi coesivi Plio-Pleistocenici e Formazione Marnoso-Arenacea sottostante, la cui profondità calcolata si attesterebbe intorno a **70-75 m dal p.c.** .

Per quanto riguarda il picco di risonanza presente a circa $f=55$ Hz, vale quanto già detto per la stazione di misura di Fabbri, nei riguardi del picco a più alta frequenza, trattandosi di profondità dal p.c. assolutamente ridotte.



Andamento degli spettri medi secondo le direzioni Z (blu), N-S (rosso), E-O (verde)

L'analisi della funzione *H/V Rotate* del Software GEOPSY produce il seguente diagramma:

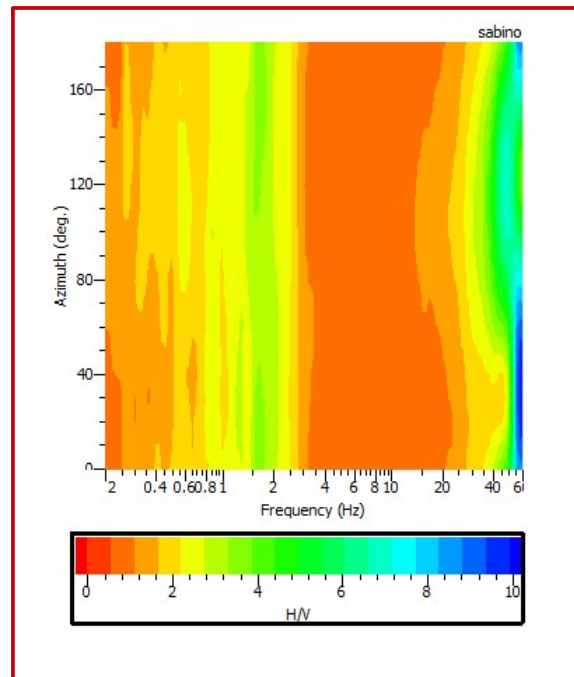


Diagramma H/V Rotate

In sostanza, il picco di risonanza posto a circa $f=55$ Hz si ritiene considerato come verosimilmente generato da rumori di natura antropica particolarmente "incisivi" sulle componenti orizzontali, data anche la ridottissima profondità alla quale lo stesso si colloca.

Bastardo, 06/10/2023

Dott. Geol. Fabio Mazzeo

ORDINE DEI GEOLOGI
DOTT.
GEOLOGO
MAZZEO FABIO
VIA
DELLA REGIONE UMBRA