

Indagine Sismica MASW-HVSR (GIU2014)	Casalgrande-Via F. Turati Comune di Casalgrande (RE)	Dott. Geol. Marco Capitani
---	---	----------------------------

## Indagine Sismica MASW-HVSR a Casalgrande (Via F. Turati) (Comune di Casalgrande, Provincia di Reggio Emilia)

### ***Premessa***

Su incarico del Dott. Geol. Fabio Parmeggiani dello Studio FORGEO di Modena sono state eseguite (in data 14 giugno 2014) un'acquisizione di sismica attiva con metodologia MASW (*Multichannell Analysis of Surface Waves*) e tre acquisizioni di sismica passiva a stazione singola con metodologia HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*), detta anche metodologia di Nakamura, nel Comune di Casalgrande (RE) in Via F. Turati (Figura 1).

### **Acquisizione di sismica attiva (MASW)**

#### ***Strumentazione, geometria e parametri di acquisizione***

È stato impiegato un sismografo digitale Dolang, modello DBS280, a 24 canali, dotato di cavi di 60 metri e di geofoni da 4,5 Hz, per una lunghezza complessiva di 34,5 m di stendimento (1,5 m di distanza intergeofonica). Come sistema di energizzazione è stata utilizzata una mazza da 10 Kg battente su piastra, con chiusura del circuito (*trigger*) a contatto. Sono state eseguite più acquisizioni (compresa anche la battuta di ritorno) con *offset* minimo (distanza tra il punto di energizzazione e primo geofono) pari a 3x e 5x (essendo x la distanza intergeofonica di 1,5 m), acquisendo 4096 campioni, con un passo di campionamento di 0,6 ms.

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software MASW (di "Roma e associati"). Nelle Figure 2 e 3 sono riportate le tracce dei sismogrammi, lo spettro FK e la curva di dispersione effettiva sperimentale.



Figura 1. A sinistra: Estratto da CTR con ubicazione dello stendimento MASW (linea in magenta: i numeri 1 e 24 identificano i geofoni esterni) e delle acquisizioni a stazione singola HVSR (punti in verde). A destra: stendimento sismico MASW eseguito a Casalgrande (Via F. Turati)

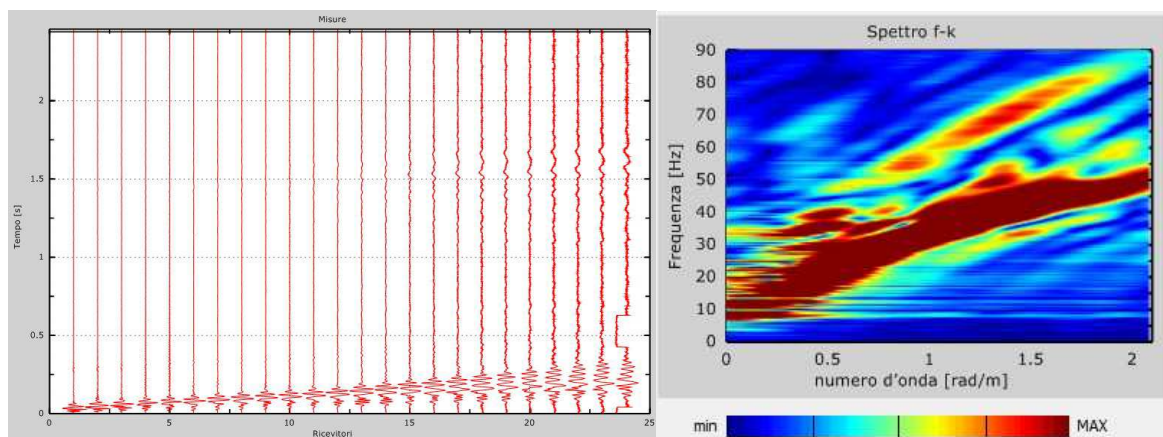


Figura 2. A destra: spettro f-k relativo ai sismogrammi riportati sulla sinistra

## Interpretazione

A supporto dell'interpretazione delle misure (eseguita per modellazione diretta) ci si è avvalsi dei dati derivanti da alcuni sondaggi a rotazione, eseguiti in passato nell'area in esame, forniti dalla committenza, alcuni dei quali hanno superato la profondità di 70 m a partire dal piano campagna.

Secondo la Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Foglio 219-Sassuolo) l'area in esame è caratterizzata dall'amalgamazione dei depositi ghiaiosi riferibili all'Unità di Vignola con depositi ghiaiosi attribuibili ai subsintemi più antichi (Bazzano, Liano,

Indagine Sismica MASW-HVSR (GIU2014)	Casalgrande-Via F. Turati Comune di Casalgrande (RE)	Dott. Geol. Marco Capitani
---	---	----------------------------

Torre Stagni). Per tale motivo si potrebbe verificare (visibile in affioramento anche lungo il Fiume Secchia) la compresenza di depositi di ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso-limosa a diretto contatto verticale con depositi ghiaiosi più antichi (localmente cementati o accompagnati a sabbie cementate) alternati ad orizzonti argillosi sovraconsolidati.

I dati stratigrafici da sondaggi a rotazione indicano che la stratigrafia del sottosuolo può essere così schematizzata:

- 0-16 m dal piano campagna: terreni prevalentemente pelitici, con rade intercalazioni sabbiose e/o ghiaiose (riferibili al subsistema di Ravenna);
- 16-59 m dal p.c.: depositi prevalentemente ghiaiosi, con presenza di sabbie, sabbie ghiaiose e/o ciottolose (probabile commistione di depositi grossolani riferibili oltre che all'Unità di Vignola-subsistema di Villa Verucchio- anche ad unità grossolane più antiche-subsistemi di Bazzano, Torre Stagni e Liano);
- 59-64.5 m da p.c.: argille e argille con sabbia;
- 64.5-60 da p.c.: ghiaie prevalenti;
- 69-78 m da p.c. (fine sondaggio): argille non ben precisate (potrebbero essere le Argille Azzurre marine oppure argille di ambiente continentale, la descrizione dal sondaggio a rotazione (a distruzione di nucleo) non permette ipotesi più precise).

\* \* \*

Nei fori di sondaggio non è stata individuata la falda.

\* \* \*

Nella figura 3 è riportata la curva di dispersione effettiva, nonché la selezione dei punti (*picking*) per la modellazione diretta della soluzione sismostratigrafica. Nella Figura 4 è mostrato il risultato della modellazione (confronto tra curva teorica e curva sperimentale)

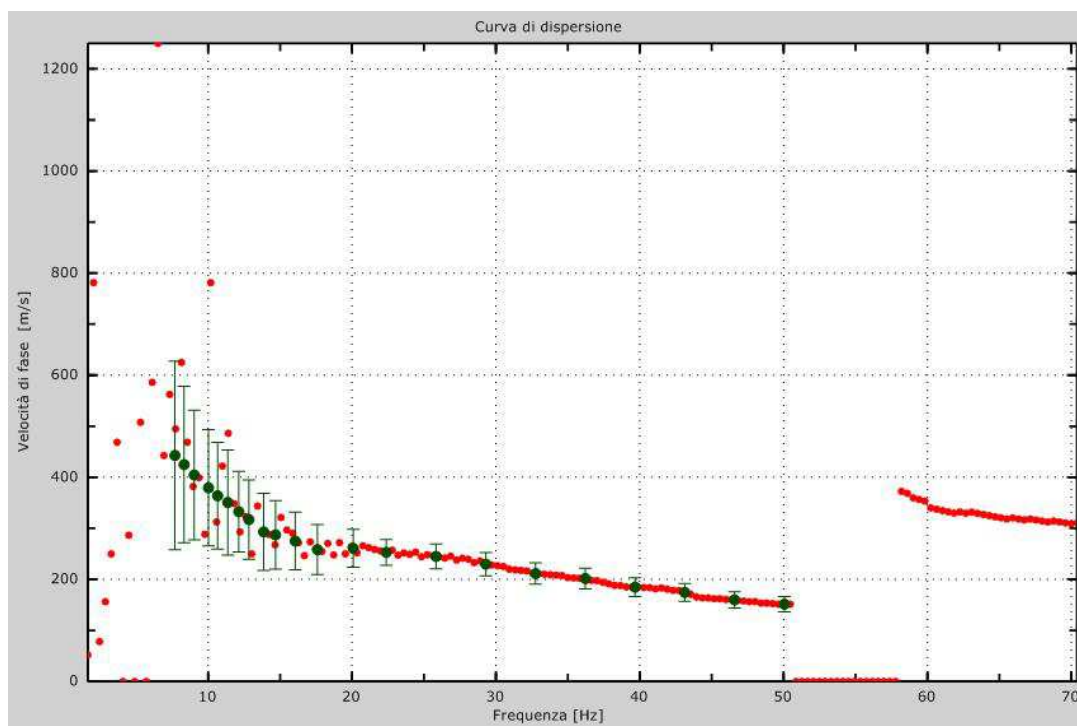


Figura 3 – Curva di dispersione effettiva MASW (rosso) e selezione dei punti interpretativi per la modellazione diretta (punti verde scuro con intervallo di incertezza).

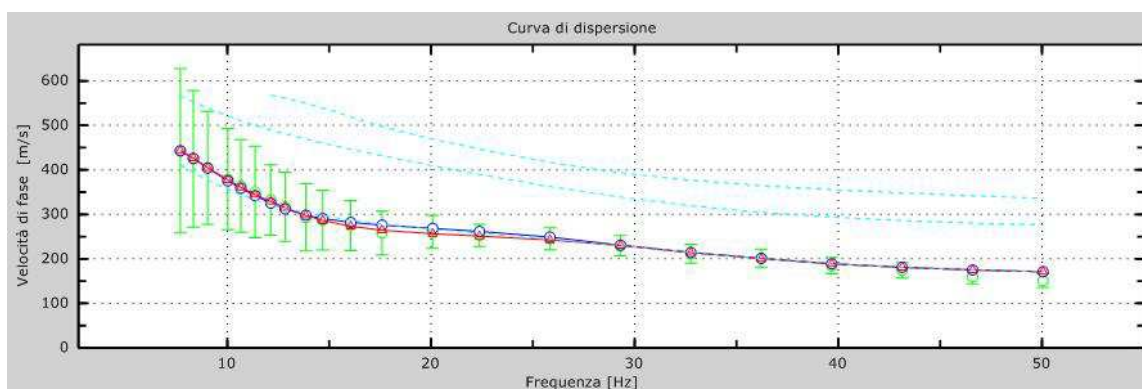


Figura 4-Confronto tra il picking della curva effettiva sperimentale e le curve effettiva e apparente sintetiche (curve rossa e blu) (discrepanza rispettivamente pari al 2% e al 3%) e modi vibrazionali riferibili al modello di profilo di velocità (curve in celeste).

L'andamento della curva effettiva sperimentale indica valori della velocità di fase crescenti con la profondità (crescenti con il diminuire della frequenza). Si passa pertanto da velocità di fase di circa 140-160 m/s (a 50 Hz) a valori di circa 450 m/s (a circa 8-10 Hz).

\* \* \*

Il modello di profilo verticale di velocità (Figura 5 e Tabella 1), ricavato per

modellazione diretta della curva effettiva, è indicativo di un sottosuolo di tipo normal-dispersivo.

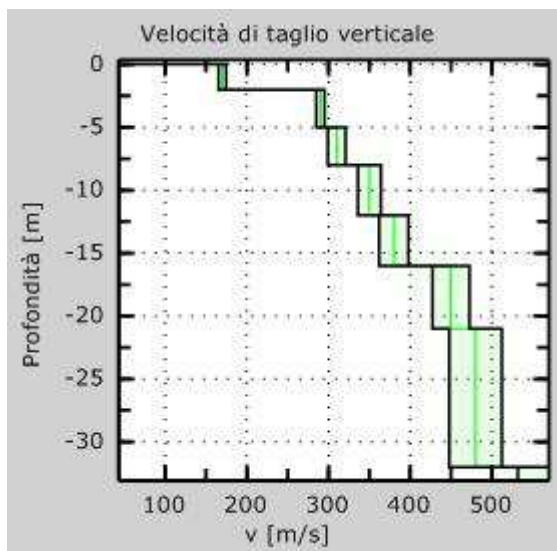


Figura 5 - Modello di profilo verticale di velocità ottenuto per modellazione diretta della curva di dispersione effettiva (Figure 3, e 4): Incertezza  $0,1\sigma$

Nel modello si distinguono, dall'alto verso il basso:

- orizzonte superficiale argilloso relativamente più lento, di circa 2 m di spessore, caratterizzato da valori di Vs di 170 m/s, seguito da depositi prevalentemente argillosi fino a circa 16 m di profondità, con Vs relativamente più alte di 290-380 m/s;
- sequenza di depositi ghiaiosi data dalla commistione di più unità stratigrafiche, fino oltre i 30 m di profondità, caratterizzata da Vs medio alte (450-480 m/s).

\* \* \*

Dai dati del modello di profilo verticale di velocità (in onde S) è possibile ricavare il valore del Vs30 (classificazione di cui al punto 3.2.2 del DM 14 gennaio 2008) come segue:

Vs30 a partire da p.c.: 358 m/s

Vs30 a partire da -1m da p.c.: 375 m/s

Vs30 a partire da -2 m da pc.: 394 m/s.

Indagine Sismica MASW-HVSR (GIU2014)	Casalgrande-Via F. Turati Comune di Casalgrande (RE)	Dott. Geol. Marco Capitani
---	---	----------------------------

Descrizione	Spessore (m)	Profondità base (m)	Densità (kg/m <sup>3</sup> )	Coefficiente di Poisson	Vs (m/s)	Vp (m/s)
Depositi prevalentemente argillosi	2	-2	1800	0,35	170	354
	3	-5	1800	0,45	290	962
	3	-8	1800	0,45	310	1028
	4	-12	1800	0,45	350	1161
	4	-16	1800	0,35	380	791
Depositi prevalentemente ghiaiosi	5	-21	2000	0,35	450	937
	11	-32	2100	0,35	480	999

Tabella 1. Dati riassuntivi del modello di profilo verticale di velocità.

## Acquisizione HVSR

### Strumentazione, geometria e parametri di acquisizione

Sono state eseguite tre acquisizioni di rumore ambientale a stazione singola ubicate come da Figura 1. È stato utilizzato un sismografo a tre canali, munito di terna triassiale di geofoni con frequenza di taglio di 4,5 Hz, modello Geobox della ditta Sara Electronics Instruments di Perugia.

Le registrazioni sono durate rispettivamente 25, 30 e 30 minuti, con lo strumento impostato su una frequenza di campionamento di 200 Hz.

Per l'elaborazione dei dati sono stati utilizzati il software di libero utilizzo Geopsy ([www.geopsy.org](http://www.geopsy.org)) e il software GeoexplorerHVSR della Sara Electronics Instruments di Perugia (basato su alcuni moduli del citato software Geopsy).

Si è proceduto con una prima elaborazione speditiva per verificare la coerenza dei grafici dei rapporti H/V di tutte e tre le acquisizioni (Figura 6). Successivamente è stata eseguita l'elaborazione più approfondita della terza acquisizione.

### Elaborazione preliminare

L'analisi è stata condotta suddividendo i segnali in finestre di 30 s di lunghezza, con sovrapposizione del 5%, lisciamento secondo il metodo di Konno & Omachi (costante=40%) e *taper* con funzione coseno (5%). Per l'elaborazione preliminare non sono state eliminate "finestre", ma l'analisi è stata condotta sulle intere durate delle tre registrazioni.

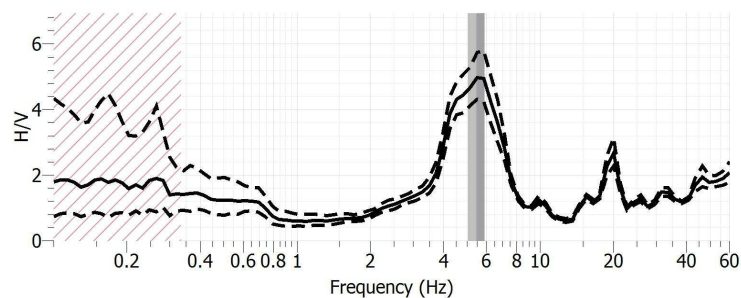


Figura 6a Andamento del rapporto H/V relativo alla registrazione HV1

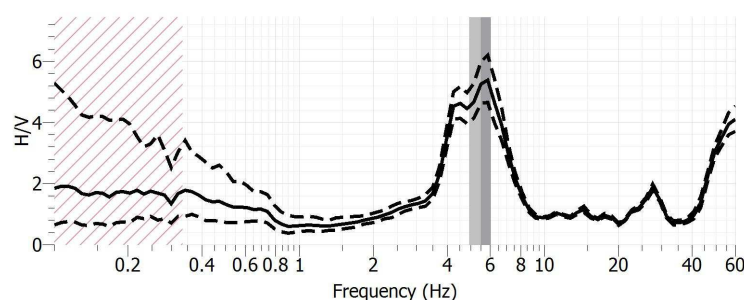


Figura 6b Andamento del rapporto H/V relativo alla registrazione HV2

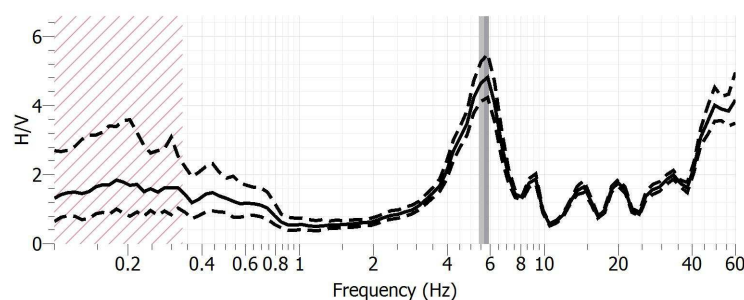


Figura 6c Andamento del rapporto H/V relativo alla registrazione HV3

In linea generale i tre grafici (Figura 6) mostrano una buona coerenza dei risultati, evidenziando un picco ben definito a una frequenza di circa 5.47-5.67 Hz. Tale picco è particolarmente marcato in HV3, mentre in HV2 tende ad allargarsi e ad essere accompagnato da un picco secondario a frequenza lievemente più bassa (circa a 4 Hz). Un abbozzo di tale “sdoppiamento” è presente anche in HV1 e, tenuto conto che le tre misure vanno da ovest verso est nel seguente ordine HV2, HV1 e HV3, non si può escludere che tali lievi variazioni nell’andamento del picco principale possano essere correlate a deboli variazioni stratigrafiche in senso laterale.

Considerato il picco nel grafico meglio definito e la minore deviazione standard, si

proceduto all'elaborazione approfondita della registrazione HV3.

## Elaborazione della registrazione HV3

### SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz  
Recording start time: 2014/06/14 11:02:40  
Recording length: 30 min  
Windows count: 38  
Average windows length: 30  
Signal coverage: 63.33%

Figura 7-Informazioni relative alla durata del segnale e alle modalità di elaborazione"

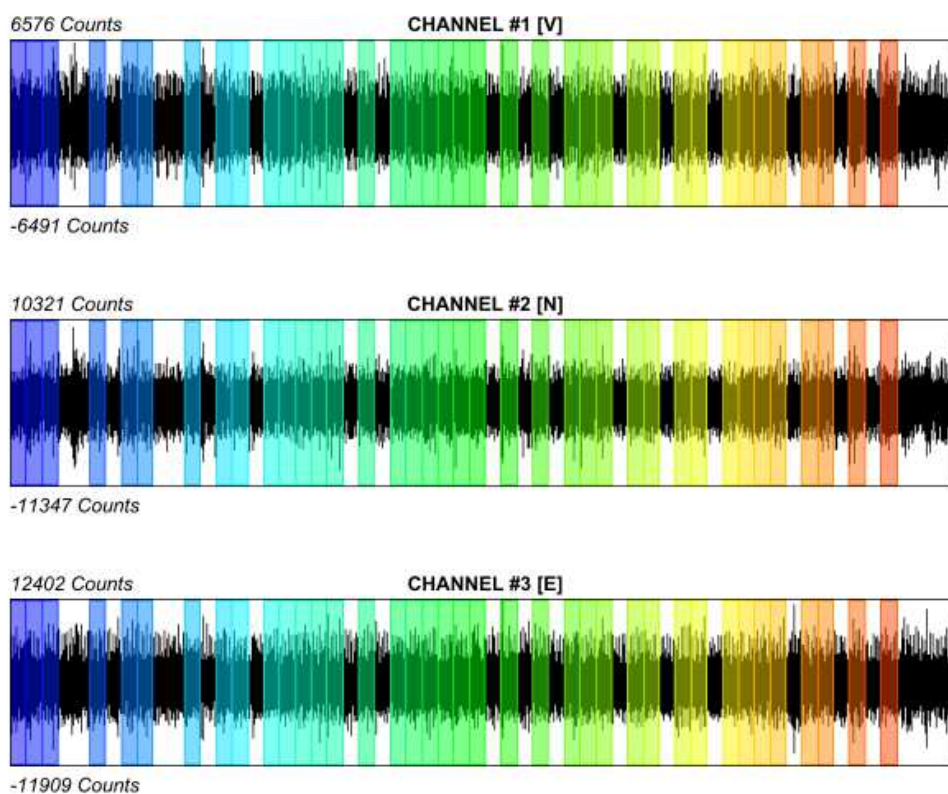


Figura 8 -Tracce della registrazione HV3: in alto la traccia direzione verticale; al centro la traccia a direzione NS; in basso la traccia a direzione EW. Sono evidenziate le finestre temporali nelle quali i segnali sono stati suddivisi e le finestre che sono state escluse dall'elaborazione

### HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

#### HVSR average

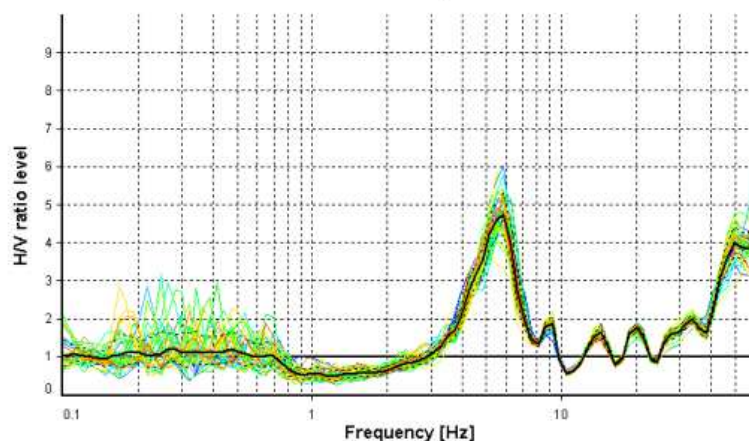


Figura 9 – Grafico del rapporto HV medio (riga nera in grassetto) e delle singole finestre temporali (linee colorate). A tratteggio l'andamento della deviazione standard (cfr figura 12).

#### Signal spectra average

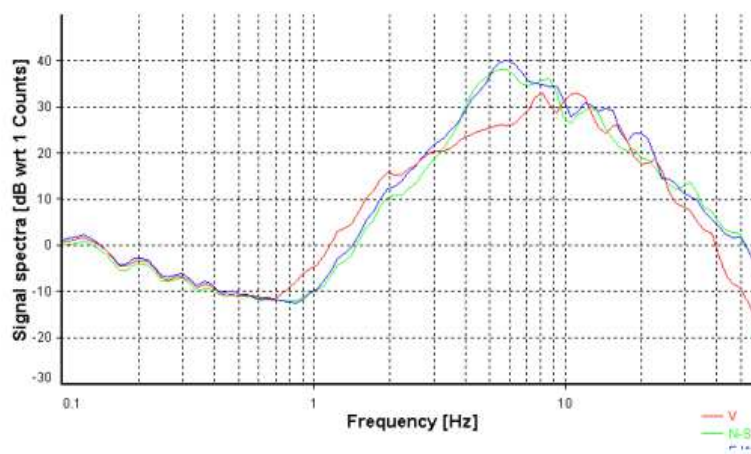


Figura 10-Spettri medi delle tre componenti (rosso-componente verticale; blu-componente EW; verde-componente-NS)

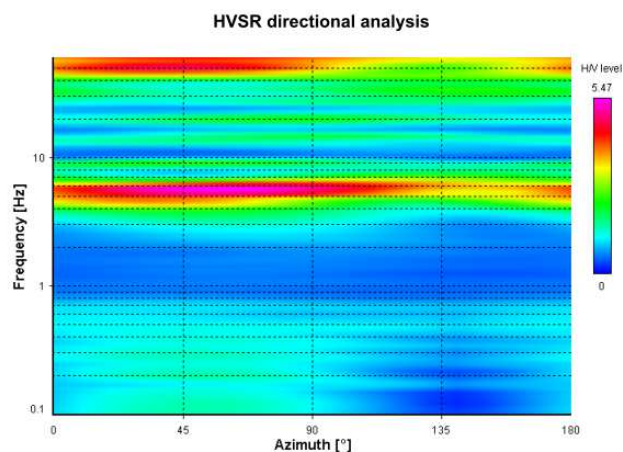


Figura 11 - Mappa della direzionalità del rapporto H/V

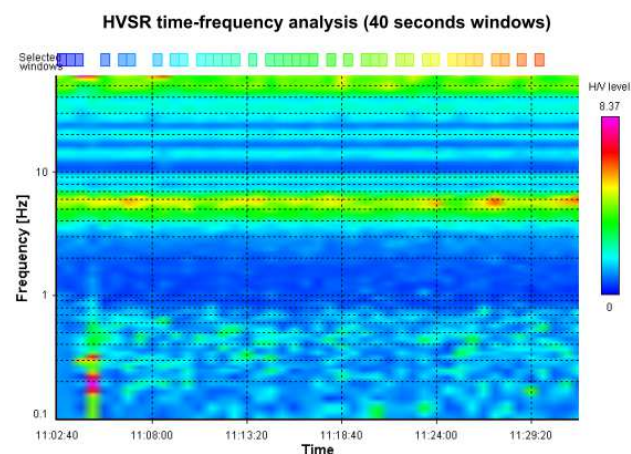


Figura 11 – Diagramma della persistenza temporale del rapporto H/V

## SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**  
5.860 Hz  
 **$A_0$  amplitude** = 4.731  
**Average  $f_0$**  =  $5.661 \pm 0.259$

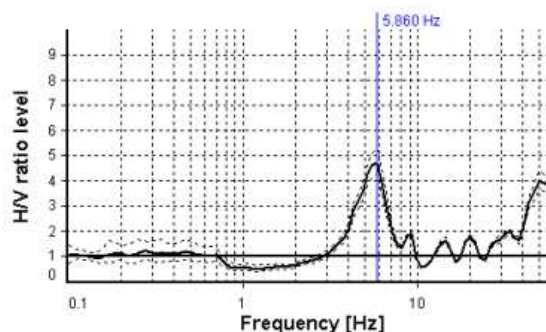


Figura 12-Grafico del rapporto spettrale H/V e suo intervallo di confidenza (picco a 5,86 Hz)

HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	38 valid windows (length > 1.71 s) out of 38	OK
$n_c(f_0) > 200$	6680.66 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 21	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0$	3.97687 Hz	OK
$\exists f^* \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0$	7.11379 Hz	OK
$A_0 > 2$	4.73 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.25933 < 0.29301	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.12258 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Figura 13-Criteri SESAME

L'elaborazione dell'acquisizione HV3 evidenzia la presenza di un picco significativo di origine stratigrafica nel grafico del rapporto spettrale H/V a circa 5,86 Hz, che verifica tutti i criteri di affidabilità del progetto SESAME (Figura 13) e che sarebbe anche verificato dall'andamento dei grafici delle singole componenti spettrali. Considerati i dati stratigrafici e la frequenza “medio-alta” è ragionevole supporre che tale picco possa essere dovuto al fenomeno di risonanza delle onde S in corrispondenza del passaggio tra depositi argillosi e sottostanti depositi ghiaiosi posto a circa 16 m di profondità.

## Conclusioni

Su incarico del Dott. Geol Fabio Parmeggiani dello studio FORGEO di Modena sono state eseguite:

- un'acquisizione di sismica attiva (metodologia MASW) per mezzo di uno stendimento di geofoni lineare;
- un'acquisizione di sismica passiva a stazione singola (metodologia HVSr), a Casalgrande (RE), in via F. Turati.

L'elaborazione interpretativa del rilievo attivo ha permesso di definire un modello di profilo verticale di velocità ( $V_s$ ) caratterizzato da valori crescenti con la profondità e coerente con i dati geognostici disponibili (da sondaggi a carotaggio, alcuni dei quali fino a profondità oltre i 70 m dal p.c.).

Il grafico del rapporto H/V, ottenuto dall'elaborazione delle misure passive a stazione

singola, evidenzia l'esistenza di un picco probabilmente di origine stratigrafica a frequenza di circa 5.86 Hz che è verificato da tutti i criteri del progetto SESAME e dall'andamento grafico delle singole componenti spettrali.

Dal modello di profilo verticale di velocità (in onde S) si ricavano i seguenti valore del Vs30 (classificazione di cui al punto 3.2.2 del DM 14 gennaio 2008):

Vs30 a partire da p.c.: 358 m/s

Vs30 a partire da -1m da p.c.: 375 m/s

Vs30 a partire da -2 m da p.c.: 394 m/s.

Vignola, 16 giugno 2014

  
Il tecnico  
Dott. Geol. Marco Capitani  
*Marco Capitani*