



# COMUNE DI CASOLA VALSENIIO (PROVINCIA DI RAVENNA)

## Piano di coltivazione e di sistemazione finale della cava "Raggi di Sopra"

Progettista Responsabile  
STUDIO SETA s.r.l.  
Ing. MASSIMO ALBERTI  
Viale Risorgimento, 2 - 48018 Faenza (RA)

Consulenza agronomica e forestale  
STUDIO VERDE  
Dott. Agr. ALBERTO BELOSI  
Via Galvani, 4 - 47122 Forlì (FC)

Consulenza geologica  
Dott. MASSIMILIANO FLAMIGNI  
Via F.lli Rosselli, 31 - 47121 Forlì (FC)

Consulenza d'impatto acustico  
Ing. MICAELA MONTESI  
C.so D. Baccarini, 7 - 48018 Faenza (RA)

Consulenza topografica  
GEOPROGET associati  
Geom. CORRADO CATTABRIGA  
Via Emilia, 360 - 40026 Imola (BO)

Proprietaria e proponente



Denominazione

### Allegati alla RELAZIONE GEOLOGICA

File	Disegnatore	LT-scale	Fatt. Plott.	Pratica SVI00-A	Elaborato 17
Dott. MASSIMILIANO FLAMIGNI Via F.lli Rosselli, 31 - 47121 Forlì (FC)			DATA Ottobre 2021	DOCUMENTO <b>17</b>	
			SCALA	TOT. DOCUMENTI <b>30</b>	



## **PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (PD)**



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Prove penetrometriche dinamiche  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: R.D.S. s.r.l. Via Cipolla, 48 IMOLA (BO)  
Cantiere: Cava Raggi di Sopra  
Località: Casola Valsenio (RA)

### Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: Dinamico Medio 20/10

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	20 Kg
Altezza di caduta libera	0.50 m
Peso sistema di battuta	8 Kg
Diametro punta conica	35.68 mm
Area di base punta	10 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.90 m
Avanzamento punta	0.10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	1.24
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

**OPERATORE**  
Emidio Valmori

**RESPONSABILE**  
Emidio Valmori



Foto 1 – Ubicazione prove penetrometriche dinamiche ed indagine sismica

	<b>Dott. Geol. EMIDIO VALMORI</b> Viale Medaglie d'oro, 50 47121 FORLÌ (FC) Email: <a href="mailto:emidio.valmori@gmail.com">emidio.valmori@gmail.com</a> Cell. 3484974097 Tel. 054367000	Oggetto: Prove penetrometriche dinamiche Località: Casola Valsenio (RA) Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021
	Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni	

**PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE**  
**(DYNAMIC PROBING)**  
**DPSH – DPM (... scpt ecc.)**

**Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici**

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura  $\alpha$ )
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

	<b>Dott. Geol. EMIDIO VALMORI</b> Viale Medaglie d'oro, 50 47121 FORLÌ (FC) Email: <a href="mailto:emidio.valmori@gmail.com">emidio.valmori@gmail.com</a> Cell. 3484974097 Tel. 054367000	Oggetto: Prove penetrometriche dinamiche Località: Casola Valsenio (RA) Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021
	Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni	

### Correlazione con N<sub>spt</sub>

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N<sub>spt</sub> ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N<sub>spt</sub>. Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q<sub>spt</sub> è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

- M = peso massa battente;
- M' = peso aste;
- H = altezza di caduta;
- A = area base punta conica;
- δ = passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta R<sub>pd</sub>

Formula Olandese

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

- R<sub>pd</sub> = resistenza dinamica punta (area A);
- e = infissione media per colpo (δ/ N);
- M = peso massa battente (altezza caduta H);
- P = peso totale aste e sistema battuta.

### Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di

	<b>Dott. Geol. EMIDIO VALMORI</b> Viale Medaglie d'oro, 50 47121 FORLÌ (FC) Email: <a href="mailto:emidio.valmori@gmail.com">emidio.valmori@gmail.com</a> Cell. 3484974097 Tel. 054367000	Oggetto: Prove penetrometriche dinamiche Località: Casola Valsenio (RA) Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021
	Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni	

dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

## Valutazioni statistiche e correlazioni

### Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

#### **Media**

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media minima**

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Massimo**

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Minimo**

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Scarto quadratico medio**

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media deviata**

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media + s**

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media - s**

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

### Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 mt. ed immersione  $d = 1$  mt..

	<b>Dott. Geol. EMIDIO VALMORI</b> Viale Medaglie d'oro, 50 47121 FORLÌ (FC) Email: <a href="mailto:emidio.valmori@gmail.com">emidio.valmori@gmail.com</a> Cell. 3484974097 Tel. 054367000	Oggetto: Prove penetrometriche dinamiche Località: Casola Valsenio (RA) Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021
	Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni	

## Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

### Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati  $N_{spt}$  il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se  $N_{spt}$  dello strato considerato risulta inferiore a  $N_{spt}$  critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

### Correzione $N_{spt}$ in presenza di falda

$N_{spt}$  corretto =  $15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$

$N_{spt}$  è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

### Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da  $Dr$  %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

### Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie  $Dr$  viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di  $Dr$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di  $Dr$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

### Modulo Di Young ( $E_y$ )

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .

	<b>Dott. Geol. EMIDIO VALMORI</b> Viale Medaglie d'oro, 50 47121 FORLÌ (FC) Email: <a href="mailto:emidio.valmori@gmail.com">emidio.valmori@gmail.com</a> Cell. 3484974097 Tel. 054367000	Oggetto: Prove penetrometriche dinamiche Località: Casola Valsenio (RA) Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021
	Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni	

- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

#### **Modulo Edometrico**

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buisman-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

#### **Stato di consistenza**

- Classificazione A.G.I. 1977

#### **Peso di Volume Gamma**

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

#### **Peso di volume saturo**

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa  $\gamma = 2,65$  t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95)

#### **Modulo di poisson**

- Classificazione A.G.I.

#### **Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)**

- Seed-Idriss 1978-1981 . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio  $\tau$  e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

#### **Velocità onde di taglio $V_s$ (m/sec)**

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

#### **Modulo di deformazione di taglio (G)**

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

#### **Modulo di reazione (K<sub>0</sub>)**

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso .

#### **Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q<sub>c</sub>)**

- Robertson 1983 Q<sub>c</sub>

### **Correlazioni geotecniche terreni coesivi**

#### **Coesione non drenata**

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con Nspt <8 , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). *Cu min-max*.



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Prove penetrometriche  
dinamiche  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività  $> 5$ , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche  $< 10$  colpi, per resistenze penetrometriche  $> 10$  l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con  $N_c=20$  e  $Q_c/N_{spt}=2$ .
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità .
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

#### **Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )**

- Robertson 1983  $Q_c$

#### **Modulo Edometrico-Confinato ( $M_o$ )**

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - $M_o$  (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).
- Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli ( $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt}=6-12$ ).

#### **Modulo Di Young ( $E_y$ )**

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P.  $> 15$
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

#### **Stato di consistenza**

- Classificazione A.G.I. 1977

#### **Peso di Volume Gamma**

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

#### **Peso di volume saturo**

- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa  $G=2,70$  (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 ( $N_{spt}=0$ ) a 0,545 ( $N_{spt}=28$ )



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Prove penetrometriche  
dinamiche  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

**PROVA ... Nr.1**

Strumento utilizzato... Dinamico Medio 20/10  
Prova eseguita in data 19/05/2021  
Profondità prova 3.70 mt  
Quota 461.00 mt  
Falda non rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	5	0.857	27.63	32.26	1.38	1.61
0.20	8	0.855	44.11	51.61	2.21	2.58
0.30	9	0.853	49.51	58.06	2.48	2.90
0.40	6	0.851	32.93	38.71	1.65	1.94
0.50	6	0.849	32.86	38.71	1.64	1.94
0.60	15	0.797	77.13	96.77	3.86	4.84
0.70	27	0.745	129.80	174.19	6.49	8.71
0.80	27	0.743	129.48	174.19	6.47	8.71
0.90	27	0.742	129.17	174.19	6.46	8.71
1.00	24	0.740	104.44	141.18	5.22	7.06
1.10	22	0.738	95.51	129.41	4.78	6.47
1.20	19	0.786	87.88	111.76	4.39	5.59
1.30	15	0.785	69.23	88.24	3.46	4.41
1.40	10	0.833	48.99	58.82	2.45	2.94
1.50	7	0.831	34.23	41.18	1.71	2.06
1.60	7	0.830	34.16	41.18	1.71	2.06
1.70	4	0.828	19.48	23.53	0.97	1.18
1.80	3	0.826	14.58	17.65	0.73	0.88
1.90	3	0.825	14.55	17.65	0.73	0.88
2.00	3	0.823	13.35	16.22	0.67	0.81
2.10	3	0.822	13.32	16.22	0.67	0.81
2.20	4	0.820	17.73	21.62	0.89	1.08
2.30	4	0.819	17.70	21.62	0.88	1.08
2.40	3	0.817	13.25	16.22	0.66	0.81
2.50	4	0.816	17.64	21.62	0.88	1.08
2.60	4	0.814	17.61	21.62	0.88	1.08
2.70	3	0.813	13.18	16.22	0.66	0.81
2.80	5	0.811	21.93	27.03	1.10	1.35
2.90	4	0.810	17.51	21.62	0.88	1.08
3.00	6	0.809	24.26	30.00	1.21	1.50
3.10	4	0.807	16.15	20.00	0.81	1.00
3.20	6	0.806	24.18	30.00	1.21	1.50
3.30	11	0.805	44.26	55.00	2.21	2.75
3.40	12	0.803	48.20	60.00	2.41	3.00
3.50	17	0.752	63.93	85.00	3.20	4.25
3.60	50	0.601	150.22	250.00	7.51	12.50
3.70	100	0.600	299.82	500.00	14.99	25.00



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Prove penetrometriche dinamiche  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

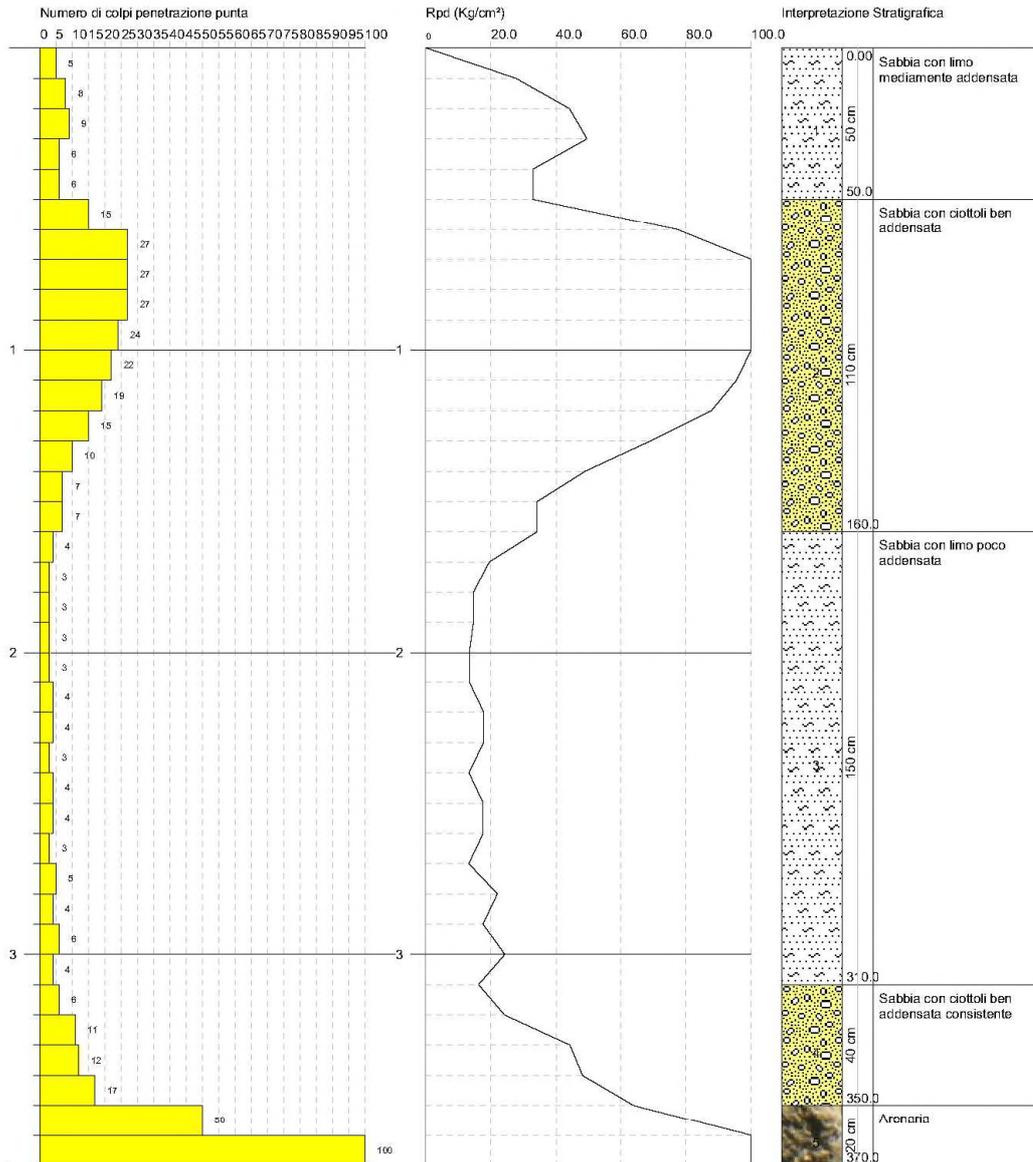
Dott. Geol. Emidio Valmori  
Viale Medaglia d'oro, 50  
47121 FORLÌ

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr 1  
Strumento utilizzato... Dinamico Medio 20/10

Committente: R.D.S. s.r.l. Via Cipolla, 48 IMOLA (BO)  
Cantiere: Cava Raggi di Sopra  
Località: Casola Valsenio (RA)

Data: 19/05/2021

Scala 1:20



 <b>Dott. Geol. EMIDIO VALMORI</b> Viale Medaglie d'oro, 50 47121 FORLI' (FC) Email: <a href="mailto:emidio.valmori@gmail.com">emidio.valmori@gmail.com</a> Cell. 3484974097 Tel. 054367000	Oggetto:	Prove penetrometriche dinamiche
	Località:	Casola Valsenio (RA)
Data esecuzione lavori:		19 maggio 2021
Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni		

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

### TERRENI COESIVI

#### Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman	De Beer
Strato 5	93	3.70	6.28	11.63	0.00	2.76	9.37	11.25	5.37	12.35	4.65	15.95	11.63

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 5	93	3.70	Robertson (1983) 186.00

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
Strato 5	93	3.70	426.68	--	950.34 930.00

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
Strato 5	93	3.70	1049.10 930.00

#### Classificazione AGI

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 5	93	3.70	Classificaz. A.G.I. (1977) ESTREM. CONSISTENTE

#### Peso unità di volume

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 5	93	3.70	Meyerhof ed altri 2.50

#### Peso unità di volume saturo

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 5	93	3.70	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967 2.50

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
Strato 1	8.43	0.50	36.71	70.8	61.15	29.42
Strato 2	22.54	1.60	56.02	100	62.33	54.81
Strato 3	4.71	3.10	18.34	43.01	52.56	20.06
Strato 4	14.26	3.50	37.6	70.24	57.99	41.65
Strato 5	93	3.70	86.52	100	66.33	100

#### Angolo di resistenza al taglio

Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki	
Strato 1	8.43	0.50	8.43	29.41	22.41	30.36	0	33.06	0	<30	26.24	29.53	37.59	27.98
Strato 2	22.54	1.60	22.54	33.44	26.44	34.31	0	37.81	42	30-32	33.39	33.76	46.13	36.23



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
 Viale Medaglie d'oro, 50  
 47121 FORLÌ (FC)  
 Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
 Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Prove penetrometriche dinamiche  
 Località: Casola Valsenio (RA)  
 Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

Strato 3	4.71	3.10	4.71	28.35	21.35	29.32	30.64	31.55	0	<30	23.41	28.41	32.44	24.71
Strato 4	14.26	3.50	14.26	31.07	24.07	31.99	31.74	35.22	37.83	30-32	29.63	31.28	42.08	31.89
Strato 5	93	3.70	93	53.57	46.57	54.04	34.02	37.65	42	>38	52.35	54.9	58.39	58.13

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
Strato 1	8.43	0.50	8.43	---	67.44	100.17	---	---
Strato 2	22.54	1.60	22.54	338.88	180.32	266.67	349.05	187.70
Strato 3	4.71	3.10	4.71	---	37.68	---	---	---
Strato 4	14.26	3.50	14.26	269.54	114.08	168.97	286.95	146.30
Strato 5	93	3.70	93	688.35	744.00	1098.10	877.50	540.00

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
Strato 1	8.43	0.50	8.43	---	44.78	59.85	75.60
Strato 2	22.54	1.60	22.54	135.24	73.76	160.03	138.53
Strato 3	4.71	3.10	4.71	---	37.14	33.44	59.01
Strato 4	14.26	3.50	14.26	85.56	56.76	101.25	101.60
Strato 5	93	3.70	93	558.00	218.49	660.30	452.78

#### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	8.43	0.50	8.43	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
Strato 2	22.54	1.60	22.54	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 3	4.71	3.10	4.71	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
Strato 4	14.26	3.50	14.26	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 5	93	3.70	93	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

#### Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	8.43	0.50	8.43	Meyerhof ed altri	1.67
Strato 2	22.54	1.60	22.54	Meyerhof ed altri	2.04
Strato 3	4.71	3.10	4.71	Meyerhof ed altri	1.53
Strato 4	14.26	3.50	14.26	Meyerhof ed altri	1.86
Strato 5	93	3.70	93	Meyerhof ed altri	2.50

#### Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	8.43	0.50	8.43	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.91
Strato 2	22.54	1.60	22.54	Terzaghi-Peck 1948-1967	---
Strato 3	4.71	3.10	4.71	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.89
Strato 4	14.26	3.50	14.26	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.94
Strato 5	93	3.70	93	Terzaghi-Peck 1948-1967	---

#### Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	8.43	0.50	8.43	(A.G.I.)	0.34



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
 Viale Medaglie d'oro, 50  
 47121 FORLÌ (FC)  
 Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
 Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Prove penetrometriche dinamiche  
 Località: Casola Valsenio (RA)  
 Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

Strato 2	22.54	1.60	22.54	(A.G.I.)	0.31
Strato 3	4.71	3.10	4.71	(A.G.I.)	0.34
Strato 4	14.26	3.50	14.26	(A.G.I.)	0.33
Strato 5	93	3.70	93	(A.G.I.)	0.16

#### Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
Strato 1	8.43	0.50	8.43	482.16	459.82
Strato 2	22.54	1.60	22.54	1215.32	838.62
Strato 3	4.71	3.10	4.71	278.97	322.20
Strato 4	14.26	3.50	14.26	790.29	633.98
Strato 5	93	3.70	93	4605.61	1993.67

#### Velocità onde

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità (m/s)
Strato 1	8.43	0.50	8.43	Ohta & Goto (1978) Limi	75.699
Strato 2	22.54	1.60	22.54	Ohta & Goto (1978) Limi	118.378
Strato 3	4.71	3.10	4.71	Ohta & Goto (1978) Limi	105.48
Strato 4	14.26	3.50	14.26	Ohta & Goto (1978) Limi	136.413
Strato 5	93	3.70	93	Ohta & Goto (1978) Limi	191.882

#### Liquefazione

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Potenziale Liquefazione
Strato 1	8.43	0.50	8.43	Seed e Idriss (1971)	---
Strato 2	22.54	1.60	22.54	Seed e Idriss (1971)	---
Strato 3	4.71	3.10	4.71	Seed e Idriss (1971)	---
Strato 4	14.26	3.50	14.26	Seed e Idriss (1971)	---
Strato 5	93	3.70	93	Seed e Idriss (1971)	---

#### Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
Strato 1	8.43	0.50	8.43	Navfac 1971-1982	1.76
Strato 2	22.54	1.60	22.54	Navfac 1971-1982	4.48
Strato 3	4.71	3.10	4.71	Navfac 1971-1982	0.92
Strato 4	14.26	3.50	14.26	Navfac 1971-1982	2.98
Strato 5	93	3.70	93	Navfac 1971-1982	11.93

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	8.43	0.50	8.43	Robertson 1983	16.86
Strato 2	22.54	1.60	22.54	Robertson 1983	45.08
Strato 3	4.71	3.10	4.71	Robertson 1983	9.42
Strato 4	14.26	3.50	14.26	Robertson 1983	28.52
Strato 5	93	3.70	93	Robertson 1983	186.00



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLI' (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Prove penetrometriche  
dinamiche  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

**PROVA ... Nr.2**

Strumento utilizzato... Dinamico Medio 20/10  
Prova eseguita in data 19/05/2021  
Profondità prova 3.80 mt  
Quota 461.00 mt  
Falda non rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	5	0.857	27.63	32.26	1.38	1.61
0.20	9	0.855	49.62	58.06	2.48	2.90
0.30	10	0.853	55.01	64.52	2.75	3.23
0.40	8	0.851	43.91	51.61	2.20	2.58
0.50	6	0.849	32.86	38.71	1.64	1.94
0.60	5	0.847	27.32	32.26	1.37	1.61
0.70	6	0.845	32.72	38.71	1.64	1.94
0.80	11	0.843	59.85	70.97	2.99	3.55
0.90	14	0.792	71.49	90.32	3.57	4.52
1.00	15	0.790	69.68	88.24	3.48	4.41
1.10	20	0.788	92.71	117.65	4.64	5.88
1.20	19	0.786	87.88	111.76	4.39	5.59
1.30	13	0.785	60.00	76.47	3.00	3.82
1.40	10	0.833	48.99	58.82	2.45	2.94
1.50	13	0.781	59.74	76.47	2.99	3.82
1.60	17	0.780	77.96	100.00	3.90	5.00
1.70	15	0.778	68.64	88.24	3.43	4.41
1.80	10	0.826	48.61	58.82	2.43	2.94
1.90	10	0.825	48.51	58.82	2.43	2.94
2.00	5	0.823	22.25	27.03	1.11	1.35
2.10	4	0.822	17.77	21.62	0.89	1.08
2.20	4	0.820	17.73	21.62	0.89	1.08
2.30	5	0.819	22.12	27.03	1.11	1.35
2.40	4	0.817	17.67	21.62	0.88	1.08
2.50	4	0.816	17.64	21.62	0.88	1.08
2.60	4	0.814	17.61	21.62	0.88	1.08
2.70	4	0.813	17.57	21.62	0.88	1.08
2.80	4	0.811	17.54	21.62	0.88	1.08
2.90	8	0.810	35.03	43.24	1.75	2.16
3.00	4	0.809	16.17	20.00	0.81	1.00
3.10	4	0.807	16.15	20.00	0.81	1.00
3.20	4	0.806	16.12	20.00	0.81	1.00
3.30	5	0.805	20.12	25.00	1.01	1.25
3.40	4	0.803	16.07	20.00	0.80	1.00
3.50	4	0.802	16.04	20.00	0.80	1.00
3.60	20	0.751	75.09	100.00	3.75	5.00
3.70	50	0.600	149.91	250.00	7.50	12.50
3.80	100	0.598	299.21	500.00	14.96	25.00



 <b>Dott. Geol. EMIDIO VALMORI</b> Viale Medaglie d'oro, 50 47121 FORLI' (FC) Email: <a href="mailto:emidio.valmori@gmail.com">emidio.valmori@gmail.com</a> Cell. 3484974097 Tel. 054367000	Oggetto:	Prove penetrometriche dinamiche
	Località:	Casola Valsenio (RA)
Data esecuzione lavori:		19 maggio 2021
Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni		

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

### TERRENI COESIVI

#### Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman	De Beer
Strato 5	93	3.80	6.28	11.63	0.00	2.76	9.37	11.25	5.37	12.35	4.65	15.93	11.63

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 5	93	3.80	Robertson (1983) 186.00

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
Strato 5	93	3.80	426.68	--	950.34 930.00

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
Strato 5	93	3.80	1049.10 930.00

#### Classificazione AGI

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 5	93	3.80	Classificaz. A.G.I. (1977) ESTREM. CONSISTENTE

#### Peso unità di volume

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 5	93	3.80	Meyerhof ed altri 2.50

#### Peso unità di volume saturo

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 5	93	3.80	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967 2.50

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
Strato 1	8.68	0.70	36.92	71.03	60.34	30
Strato 2	17.26	1.90	48.45	90.27	60.65	46.94
Strato 3	5.54	3.40	20.57	45.75	53.18	22.26
Strato 4	14.88	3.60	38.07	70.96	58.11	42.8
Strato 5	93	3.80	86.29	100	66.26	100

#### Angolo di resistenza al taglio

Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki	
Strato 1	8.68	0.70	8.68	29.48	22.48	30.43	0	33.16	0	<30	26.41	29.6	37.84	28.18
Strato 2	17.26	1.90	17.26	31.93	24.93	32.83	0	36.22	40.64	30-32	31.09	32.18	43.8	33.58



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
 Viale Medaglie d'oro, 50  
 47121 FORLÌ (FC)  
 Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
 Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Prove penetrometriche dinamiche  
 Località: Casola Valsenio (RA)  
 Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

Strato 3	5.54	3.40	5.54	28.58	21.58	29.55	30.66	31.9	0	<30	24.12	28.66	33.84	25.53
Strato 4	14.88	3.60	14.88	31.25	24.25	32.17	31.73	35.43	37.93	30-32	29.94	31.46	42.44	32.25
Strato 5	93	3.80	93	53.57	46.57	54.04	33.96	37.65	42	>38	52.35	54.9	58.39	58.13

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
Strato 1	8.68	0.70	8.68	---	69.44	103.12	---	---
Strato 2	17.26	1.90	17.26	296.55	138.08	204.37	309.45	161.30
Strato 3	5.54	3.40	5.54	---	44.32	---	---	---
Strato 4	14.88	3.60	14.88	275.34	119.04	176.28	291.60	149.40
Strato 5	93	3.80	93	688.35	744.00	1098.10	877.50	540.00

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
Strato 1	8.68	0.70	8.68	---	45.29	61.63	76.71
Strato 2	17.26	1.90	17.26	103.56	62.92	122.55	114.98
Strato 3	5.54	3.40	5.54	---	38.84	39.33	62.71
Strato 4	14.88	3.60	14.88	89.28	58.03	105.65	104.36
Strato 5	93	3.80	93	558.00	218.49	660.30	452.78

#### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	8.68	0.70	8.68	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
Strato 2	17.26	1.90	17.26	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 3	5.54	3.40	5.54	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
Strato 4	14.88	3.60	14.88	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 5	93	3.80	93	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

#### Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	8.68	0.70	8.68	Meyerhof ed altri	1.68
Strato 2	17.26	1.90	17.26	Meyerhof ed altri	1.94
Strato 3	5.54	3.40	5.54	Meyerhof ed altri	1.56
Strato 4	14.88	3.60	14.88	Meyerhof ed altri	1.88
Strato 5	93	3.80	93	Meyerhof ed altri	2.50

#### Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	8.68	0.70	8.68	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.91
Strato 2	17.26	1.90	17.26	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.96
Strato 3	5.54	3.40	5.54	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.89
Strato 4	14.88	3.60	14.88	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.95
Strato 5	93	3.80	93	Terzaghi-Peck 1948-1967	---

#### Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato	Nspt corretto per	Correlazione	Poisson
--	------	--------------	-------------------	--------------	---------



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Prove penetrometriche dinamiche  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

		(m)	presenza falda		
Strato 1	8.68	0.70	8.68	(A.G.I.)	0.34
Strato 2	17.26	1.90	17.26	(A.G.I.)	0.32
Strato 3	5.54	3.40	5.54	(A.G.I.)	0.34
Strato 4	14.88	3.60	14.88	(A.G.I.)	0.32
Strato 5	93	3.80	93	(A.G.I.)	0.16

#### Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
Strato 1	8.68	0.70	8.68	495.59	468.11
Strato 2	17.26	1.90	17.26	945.65	712.43
Strato 3	5.54	3.40	5.54	324.95	355.79
Strato 4	14.88	3.60	14.88	822.55	650.68
Strato 5	93	3.80	93	4605.61	1993.67

#### Velocità onde

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità (m/s)
Strato 1	8.68	0.70	8.68	Ohta & Goto (1978) Limi	81.188
Strato 2	17.26	1.90	17.26	Ohta & Goto (1978) Limi	117.793
Strato 3	5.54	3.40	5.54	Ohta & Goto (1978) Limi	111.029
Strato 4	14.88	3.60	14.88	Ohta & Goto (1978) Limi	138.991
Strato 5	93	3.80	93	Ohta & Goto (1978) Limi	192.9

#### Liquefazione

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Potenziale Liquefazione
Strato 1	8.68	0.70	8.68	Seed e Idriss (1971)	---
Strato 2	17.26	1.90	17.26	Seed e Idriss (1971)	---
Strato 3	5.54	3.40	5.54	Seed e Idriss (1971)	---
Strato 4	14.88	3.60	14.88	Seed e Idriss (1971)	---
Strato 5	93	3.80	93	Seed e Idriss (1971)	---

#### Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
Strato 1	8.68	0.70	8.68	Navfac 1971-1982	1.82
Strato 2	17.26	1.90	17.26	Navfac 1971-1982	3.56
Strato 3	5.54	3.40	5.54	Navfac 1971-1982	1.11
Strato 4	14.88	3.60	14.88	Navfac 1971-1982	3.10
Strato 5	93	3.80	93	Navfac 1971-1982	11.93

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	8.68	0.70	8.68	Robertson 1983	17.36
Strato 2	17.26	1.90	17.26	Robertson 1983	34.52
Strato 3	5.54	3.40	5.54	Robertson 1983	11.08
Strato 4	14.88	3.60	14.88	Robertson 1983	29.76
Strato 5	93	3.80	93	Robertson 1983	186.00

 <b>Dott. Geol. EMIDIO VALMORI</b> Viale Medaglie d'oro, 50 47121 FORLÌ (FC) Email: <a href="mailto:emidio.valmori@gmail.com">emidio.valmori@gmail.com</a> Cell. 3484974097 Tel. 054367000	Oggetto:	Prove penetrometriche dinamiche
	Località:	Casola Valsenio (RA)
Data esecuzione lavori:		19 maggio 2021
Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni		

**PROVA ... Nr.4**

Strumento utilizzato... Dinamico Medio 20/10  
 Prova eseguita in data 19/05/2021  
 Profondità prova .30 mt  
 Quota 457.00 mt  
 Falda non rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	14	0.807	72.85	90.32	3.64	4.52
0.20	50	0.655	211.17	322.58	10.56	16.13
0.30	100	0.653	421.09	645.16	21.05	32.26

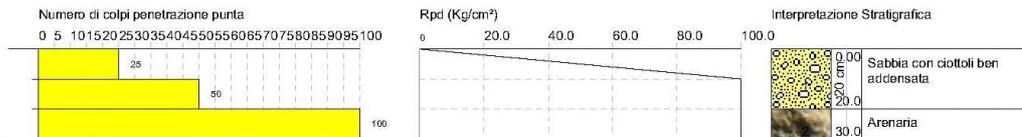
Dott. Geol. Emidio Valmori  
 Viale Medaglie d'oro, 50  
 47121 FORLÌ

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3  
 Strumento utilizzato... Dinamico Medio 20/10

Committente: R.D.S. s.r.l. Via Cipolla, 48 IMOLA (BO)  
 Cantiere: Cava Raggi di Sopra  
 Località: Casola Valsenio (RA)

Data: 19/05/2021

Scala 1:20



**PROVA ... Nr.3**

Strumento utilizzato... Dinamico Medio 20/10  
 Prova eseguita in data 19/05/2021  
 Profondità prova .30 mt  
 Quota 458.00 mt  
 Falda non rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	25	0.757	122.03	161.29	6.10	8.06
0.20	50	0.655	211.17	322.58	10.56	16.13
0.30	100	0.653	421.09	645.16	21.05	32.26

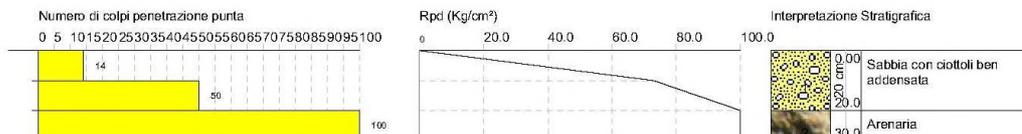
Dott. Geol. Emidio Valmori  
 Viale Medaglie d'oro, 50  
 47121 FORLÌ

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4  
 Strumento utilizzato... Dinamico Medio 20/10

Committente: R.D.S. s.r.l. Via Cipolla, 48 IMOLA (BO)  
 Cantiere: Cava Raggi di Sopra  
 Località: Casola Valsenio (RA)

Data: 19/05/2021

Scala 1:20





**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
 Viale Medaglie d'oro, 50  
 47121 FORLÌ (FC)  
 Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
 Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Prove penetrometriche dinamiche  
 Località: Casola Valsenio (RA)  
 Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

**PROVA ... Nr.5**

Strumento utilizzato... Dinamico Medio 20/10  
 Prova eseguita in data 19/05/2021  
 Profondità prova .60 mt  
 Quota 456.00 mt  
 Falda non rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	3	0.857	16.58	19.35	0.83	0.97
0.20	6	0.855	33.08	38.71	1.65	1.94
0.30	11	0.853	60.51	70.97	3.03	3.55
0.40	45	0.651	188.93	290.32	9.45	14.52
0.50	75	0.649	313.97	483.87	15.70	24.19
0.60	100	0.647	417.42	645.16	20.87	32.26

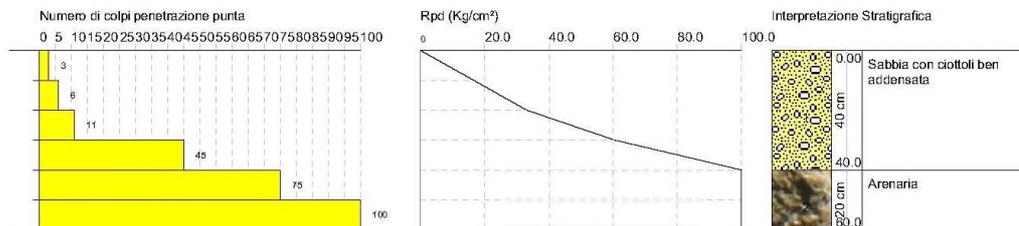
Dott. Geol. Emidio Valmori  
 Viale Medaglie d'oro, 50  
 47121 FORLÌ

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.5  
 Strumento utilizzato... Dinamico Medio 20/10

Committente: R.D.S. s.r.l. Via Cipolla, 48 IMOLA (BO)  
 Cantiere: Cava Raggi di Sopra  
 Località: Casola Valsenio (RA)

Data: 19/05/2021

Scala 1:20





**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
 Viale Medaglie d'oro, 50  
 47121 FORLÌ (FC)  
 Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
 Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Prove penetrometriche dinamiche  
 Località: Casola Valsenio (RA)  
 Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

**PROVA ... Nr.6**

Strumento utilizzato... Dinamico Medio 20/10  
 Prova eseguita in data 19/05/2021  
 Profondità prova .30 mt  
 Quota 456.00 mt  
 Falda non rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	25	0.757	122.03	161.29	6.10	8.06
0.20	50	0.655	211.17	322.58	10.56	16.13
0.30	100	0.653	421.09	645.16	21.05	32.26

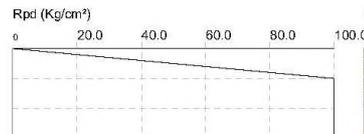
Dott. Geol. Emidio Valmori  
 Viale Medaglia d'oro, 50  
 47121 FORLÌ

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.6  
 Strumento utilizzato... Dinamico Medio 20/10

Committente: R.D.S. s.r.l. Via Cipolla, 48 IMOLA (BO)  
 Cantiere: Cava Raggi di Sopra  
 Località: Casola Valsenio (RA)

Data: 19/05/2021

Scala 1:20



## **INDAGINI GEOFISICHE HVSR E MASW**



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

## **INDAGINE SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA – SISMICA A RIFRAZIONE E MASW**

### **1. INTRODUZIONE**

Nel comune di Casola Valsenio (RA) per la Società R.D.S. s.r.l di Imola (BO) sui terreni della cava Raggi di Sopra, abbiamo eseguito un'indagine di sismica passiva a stazione singola una sezione sismica a rifrazione e MASW ai fini della caratterizzazione sismica del sottosuolo. Gli obiettivi di tale indagine sono la determinazione:

1. della stratigrafia sismica,
2. della frequenza di risonanza fondamentale del sottosuolo,
3. del profilo di velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ ),

A tal fine abbiamo effettuato 6 registrazioni di microtremore sismico ambientale in campo libero e una linea sismica a rifrazione lunga 50 m. e un profilo MASW.

Le misure forniscono la misura diretta delle frequenze di risonanza dei livelli sedimentari sovrastanti il bedrock (o bedrock-like, strato assimilabile a bedrock), nonché, opportunamente invertite tenendo conto anche dei risultati dell'indagine diretta prove penetrometriche e sondaggio effettuati in ottobre-novembre 2005, una ricostruzione dell'andamento delle velocità sismiche delle onde di taglio con la profondità.

La misura diretta delle frequenze di risonanza del terreno può mettere in luce la possibilità di pericolosi fenomeni di doppia risonanza in caso di evento sismico.

Le indagini eseguite e la loro analisi sono state svolte in ottemperanza all'OPCM 3274, D.M. 14/01/2008, L.R. 19/2008, D.M. 17/01/2018, D.G.R.E.R. 630/2019 e in considerazione del fatto che il sito in esame si colloca in Zona Sismica 2.

#### **1.1 Oggetto della misura delle indagini di sismica passiva: il microtremore sismico ambientale**

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato, oltre che dall'attività dinamica terrestre, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino ( $10^{-15}$  [ $m/s^2$ ]<sup>2</sup> in termini di accelerazione). I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato in Figura 1, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo 'minimo' di riferimento mentre la curva verde rappresenta il 'massimo' di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche. Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda (vd. glossario). A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**

Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto:

Indagine di sismica passiva

Località:

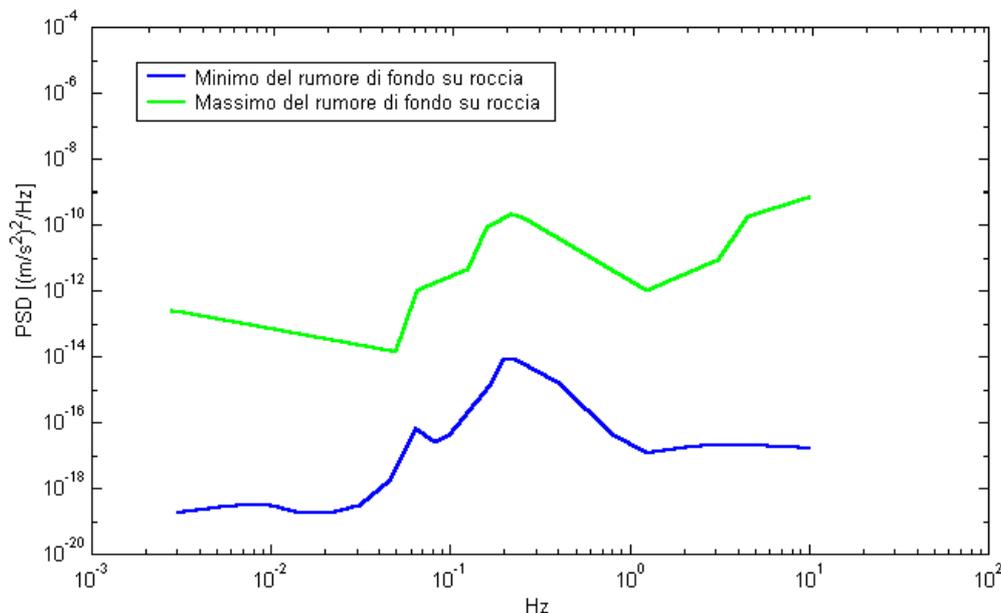
a stazione singola e MASW

Data esecuzione lavori:

Casola Valsenio (RA)

19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni



**Figura 1.** Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra secondo il servizio geologico statunitense (USGS). Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

## 1.2 Strumentazione impiegata

Tutte le misure di microtremore ambientale, della durata dai 10 ai 20 minuti ciascuna, sono state effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (Tromino, 10 x 7 x 14 cm per 1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

## 1.3 Definizioni

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

## 1.4 Note sull'ubicazione delle indagini

Là dove sono riportate, le coordinate dei punti di misura sono date nel sistema WGS-84 e sono state ottenute tramite GPS, avendo cura che ci fossero almeno 4 satelliti in vista prima di fissare il posizionamento (3D fix). La procedura implica comunque errori di posizionamento dell'ordine dei 5 metri.



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

## 2. Stratigrafia sismica da indagini a stazione singola.

### Generalità

#### 2.1 La tecnica impiegata.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva H/V è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli (es. Field e Jacob, 1993; Lachet e Bard, 1994; Lermo e Chavez-Garcia, 1993, 1994; Bard, 1998; Ibs-von Shet e Wohlenberg, 1999; Bindi *et al.*, 2000, Fah *et al.*, 2001; Delgado *et al.*, 2000, Mucciarelli *et al.*, 2001 e referenze in esso contenute, Parolai *et al.*, 2002; Parolai *et al.*, 2004 solo per citarne alcune) e, tramite opportuna inversione, delle profondità dei substrati rocciosi sotto le coperture sedimentarie.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach *et al.*, 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier *et al.*, 2005). Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo H/V può essere usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un sistema bistrato del tipo sedimenti + bedrock in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). Consideriamo il sistema di Figura 2 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le diverse velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $h$  del primo strato. In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde S è

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4h} \quad [1]$$

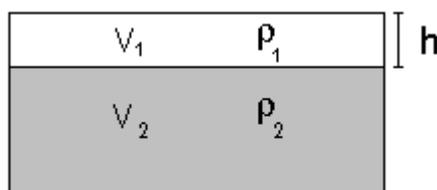
I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994). Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S (cfr. glossario). L'applicabilità pratica della semplice formula [1] è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico (per un riassunto cf. Gallipoli *et al.*, 2000; Mucciarelli e Gallipoli, 2001; Castellaro *et al.*, 2005). Poiché la situazione illustrata è tipica delle coltri sedimentarie sovrastanti basamenti rocciosi, il metodo H/V è parso immediatamente applicabile alla determinazione dello spessore delle coltri sedimentarie (per un esempio magistrale si veda Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999). Nei sistemi multistrato, teoricamente l'effetto di risonanza è sommabile, ma non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di

 <b>Dott. Geol. EMIDIO VALMORI</b> Viale Medaglie d'oro, 50 47121 FORLÌ (FC) Email: <a href="mailto:emidio.valmori@gmail.com">emidio.valmori@gmail.com</a> Cell. 3484974097 Tel. 054367000	Oggetto:	Indagine di sismica passiva a stazione singola e MASW
	Località:	Casola Valsenio (RA)
Data esecuzione lavori:		19 maggio 2021
Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni		

essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione 1. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente ad un modello. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini (per alcune basi teoriche si veda ad es. Arai e Tokimatsu, 2004).

In questo lavoro i segnali saranno analizzati attraverso i rapporti spettrali H/V, attraverso gli spettri delle singole componenti e tramite inversione delle curve H/V.



**Figura 2.** Modello di suolo costituito da due strati a diverse velocità delle onde sismiche e densità.

## 2.2 Procedura di analisi dati.

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

- le curve H/V, ottenute col software Grilla in dotazione al tomografo TROMINO, secondo la procedura descritta in Castellaro *et al.* (2005), con parametri:
  - ⇒ larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
  - ⇒ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
  - ⇒ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore ad 2,
  - ⇒ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
- le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto 1).

Come già accennato, nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock) la profondità  $h$  della discontinuità sismica viene ricavata tramite la formula [1] o tramite la formula [2] in cui  $V_0$  è la velocità al tetto dello strato,  $x$  un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e  $f_r$  la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

$$H = \left[ \frac{V_0(1-x)}{4f_r} + 1 \right]^{1-x} - 1 \quad [2]$$

Nei casi multistrato più complessi si invertono le curve H/V creando una serie di modelli sintetici (che contemplano modo fondamentale e superiori delle onde di Rayleigh e Love), da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali.

## 2.4 SESAME.

Negli ultimi anni un progetto europeo denominato SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations) si è occupato di stabilire linee guida per la corretta esecuzione delle misure



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

di microtremore ambientale in stazione singola ed in array. Esso ha anche fornito dei criteri per valutare la bontà delle curve H/V e la significatività dei picchi H/V eventualmente trovati ai fini della micro zonazione sismica. Per i siti di misura in campo libero riportiamo in una apposita tabella i risultati di detti criteri. Si vedrà che, secondo i criteri SESAME, il picco trovato è significativamente importanti ai fini della micro zonazione sismica.

### Ubicazione delle indagini



**Figura 3.** Ubicazione delle misure di microtremore sismico ambientale e MASW (sistema WGS-84).

Stazione	Latitudine N	Longitudine E	Quota	Vs_eq (0.0-30.0) m/s
MASW	44°14.6502'	011°37.2119'	459.8	379
G 12	44°14.6502'	011°37.2119'	459.8	384
G 13	44°14.6563'	011°37.1924'	461.9	391
G 14	44°14.6637'	011°37.2205'	458.6	546
G 15	44°14.6381'	011°37.2053'	456.7	570
G 16	44°14.6394'	011°37.1834'	458.1	549
G 17	44°14.6323	011°37.1957'	453.9	468

**Tabella 1.** Ubicazione delle misure di microtremore sismico ambientale (sistema WGS-84).



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLI' (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

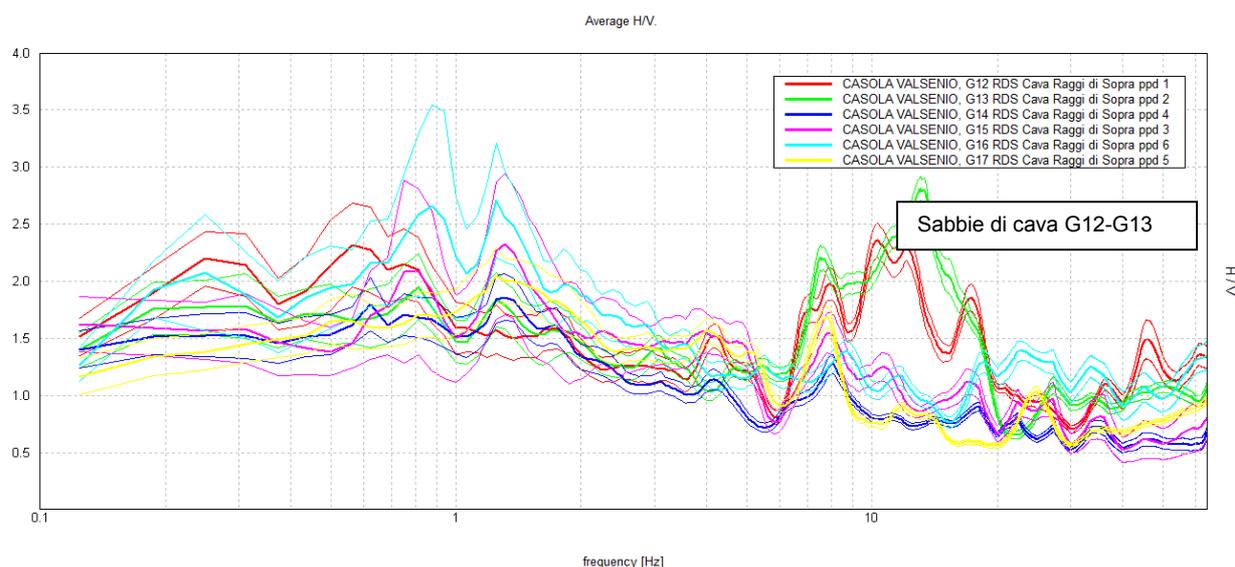
Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

### 3. Risultati

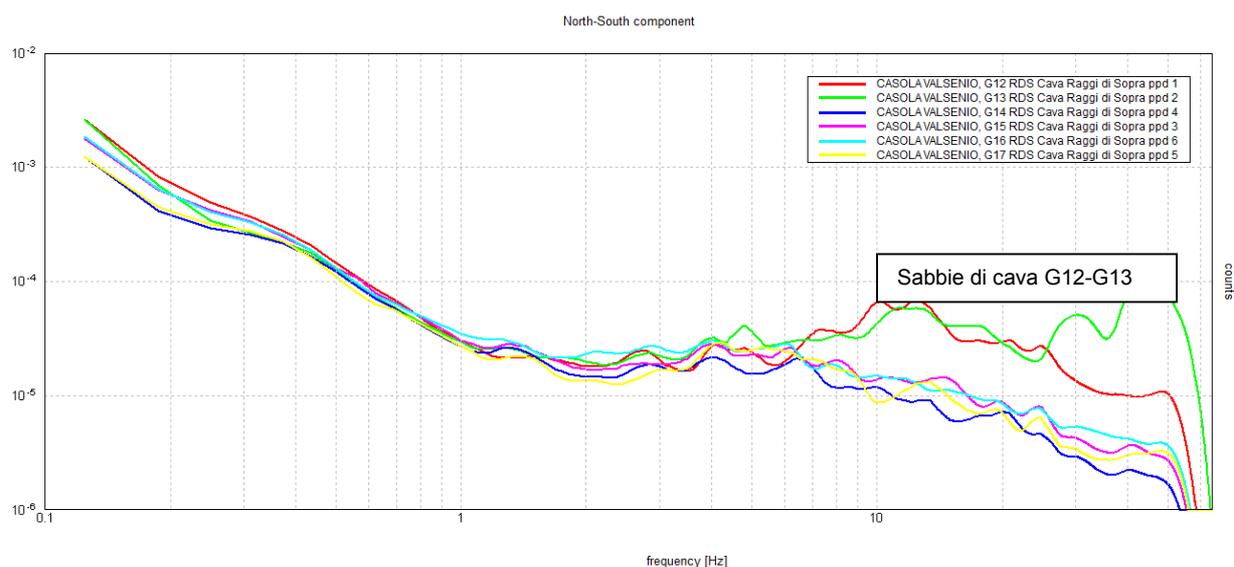
Le verticali in cui sono state effettuate le misure di microtremore ambientale per ottenere le curve H/V sono le seguenti:

#### MISURE IN CAMPO LIBERO

Il confronto tra le misure effettuate



**Figura 4.** Confronto tra le curve H/V registrate in 6 siti della cava Raggi di Sopra



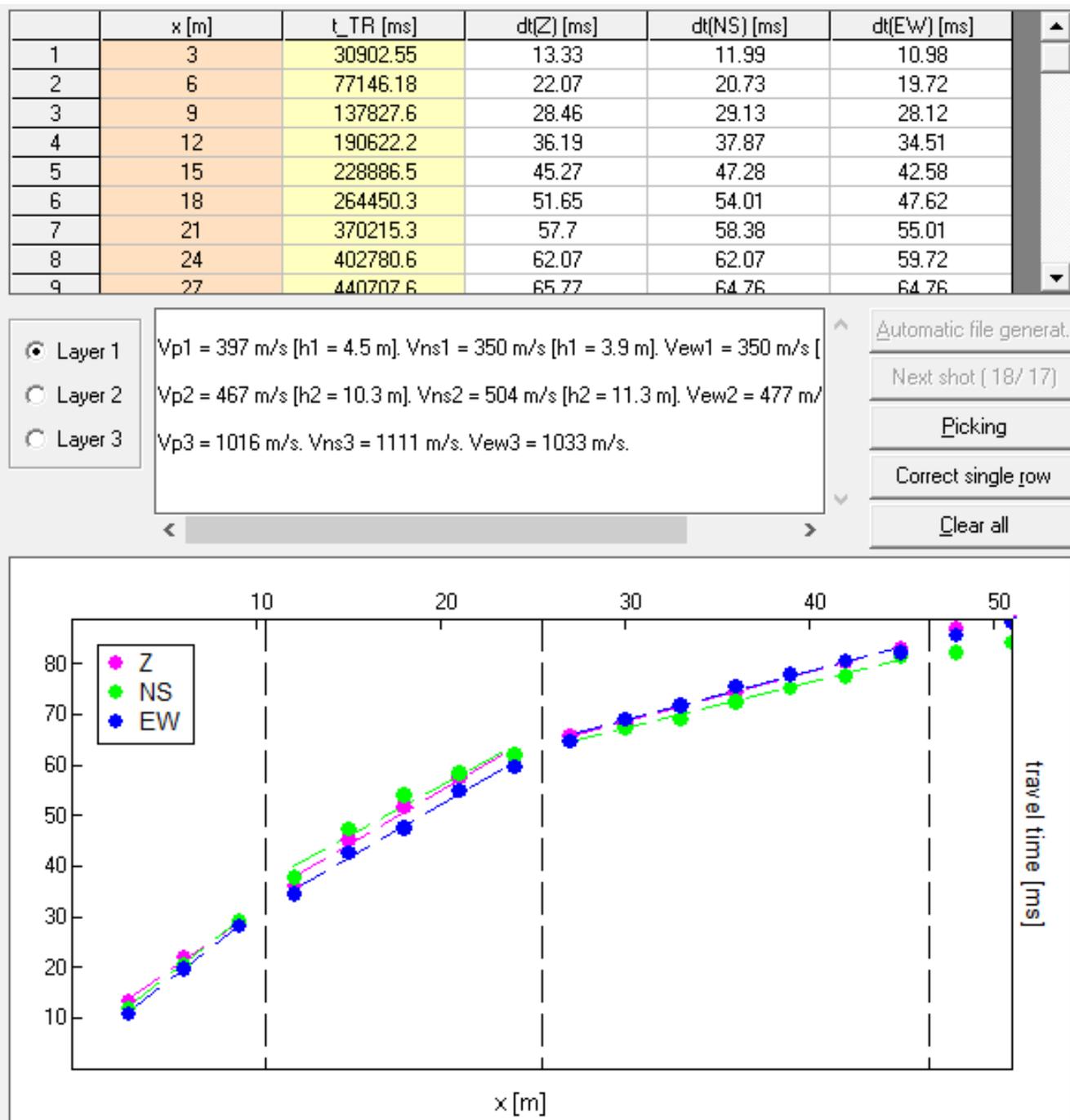
**Figura 5.** Confronto tra le curve N/S degli spettri d'ampiezza registrate in 6 siti Cava RDS .



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni



**Figura 6.** Dromocrone per le 3 componenti del segnale ricavate da una linea sismica di 50 m.. La base sismica ha una lunghezza di 50 m. ed è stata ubicata sul culmine delle sabbie cavate ed accumulate nel tempo. L'interspazio del geofono "trigger" è di 3 m. Dalla elaborazione dei primi arrivi "dromocrone" sono state ricavate le velocità Vp delle onde compressionali dei primi 25 m. di sottosuolo: da 0 a 4 m. Vp 397 m/s, da 4 a 14 m. Vp di 467 m/s, oltre i 14 m. le velocità superano i 1.000 m/s.



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**

Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto:

Indagine di sismica passiva

Località:

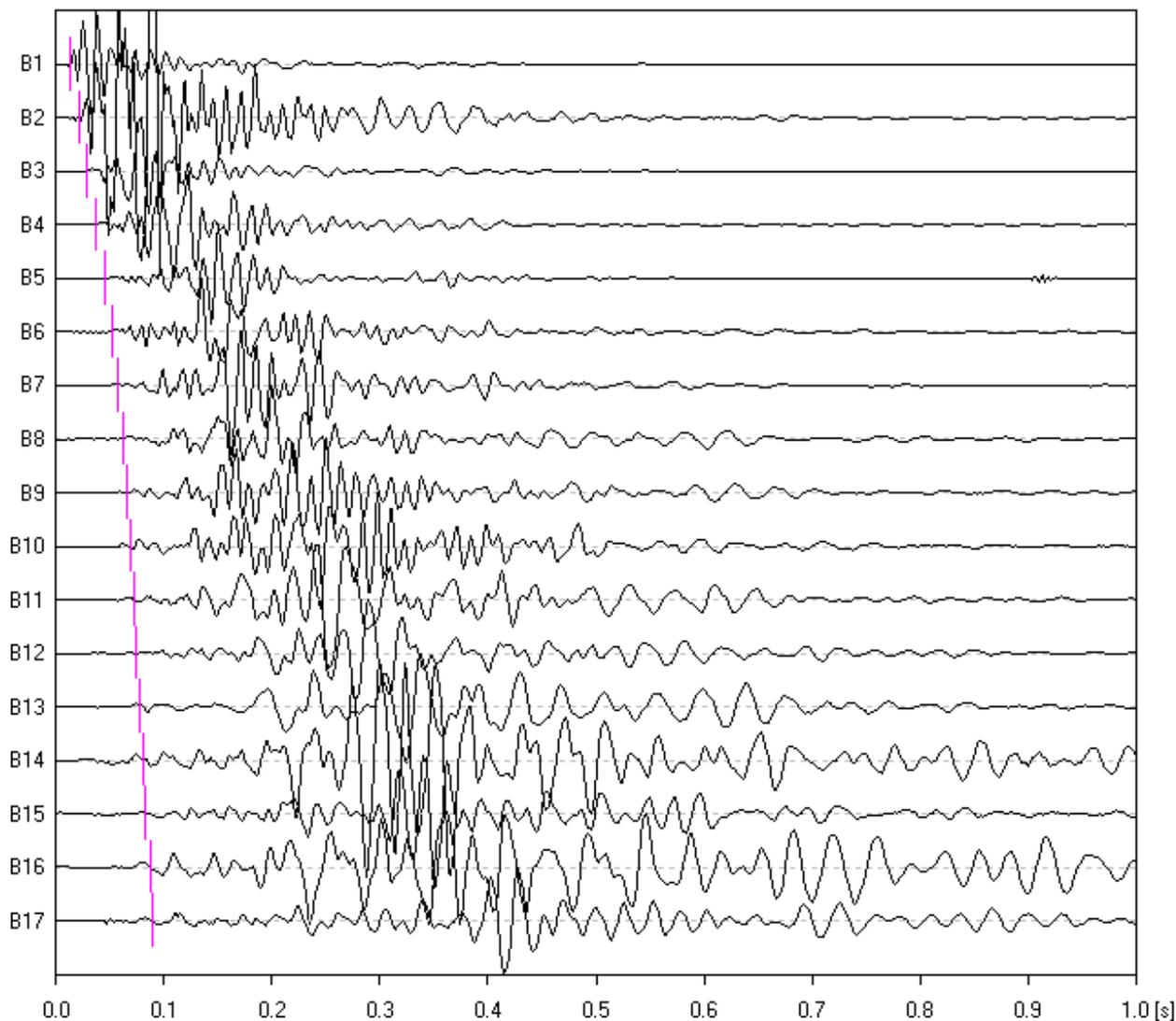
a stazione singola e MASW

Data esecuzione lavori:

Casola Valsenio (RA)

19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni



**Figura 7.** Segnale sismico d'acquisizione ricomposto con piking primo arrivo.

### **CASOLA VALSENI0, [Z] G11 RDS CAVA RAGGI DI SOPRA**

Start recording: 19/05/2021 13:20:00 End recording: 19/05/2021 13:34:07

Trace length: 0h00'02".

Sampling rate: 512 Hz

Channel labels: B1 ; B2 ; B3 ; B4 ; B5 ; B6 ; B7 ; B8 ;  
B9 ; B10 ; B11 ; B12 ; B13 ; B14 ; B15 ; B16 ; B17

Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 27.0 30.0 33.0 36.0 39.0 42.0 45.0 48.0 m.

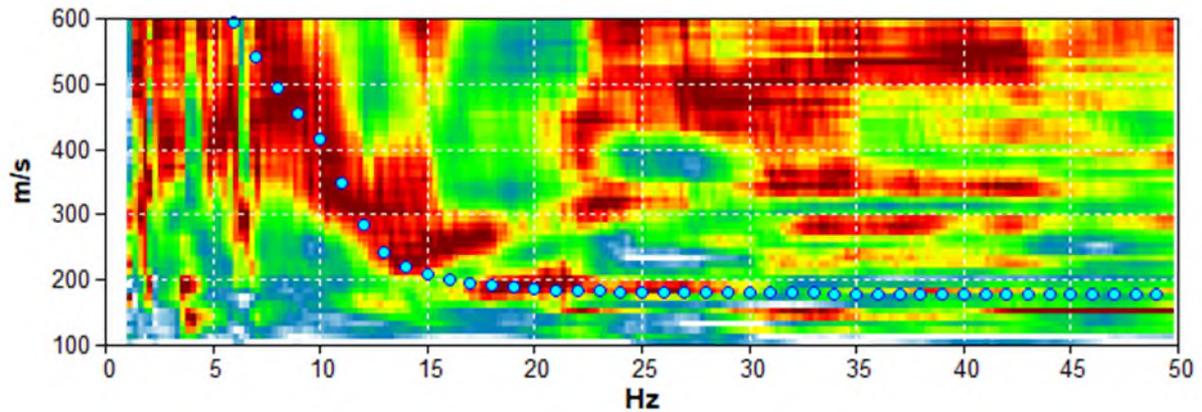


**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

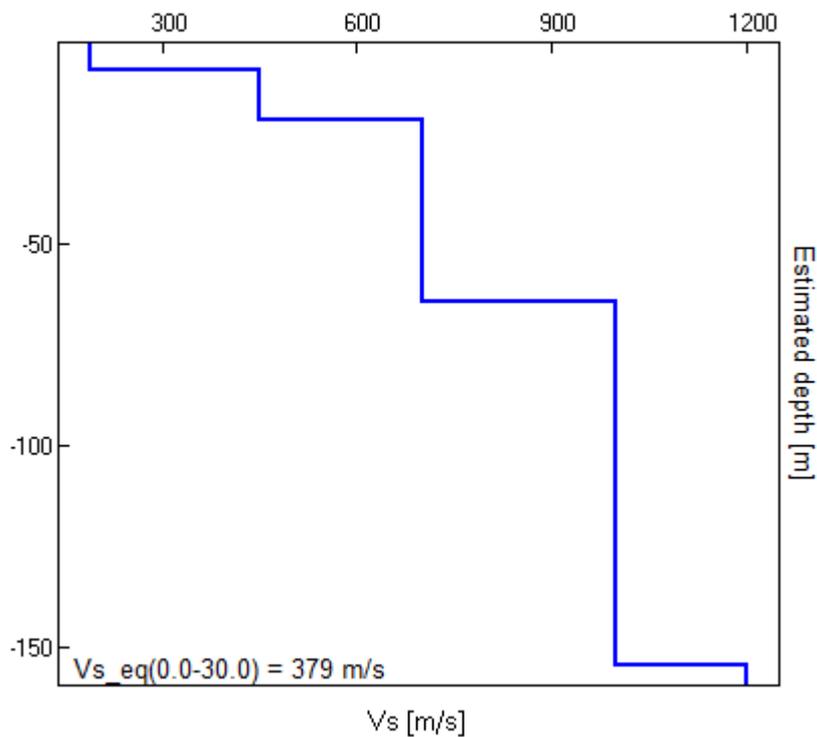
Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

### MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
7.00	7.00	190	0.40
19.00	12.00	450	0.40
64.00	45.00	700	0.40
154.00	90.00	1000	0.40
inf.	inf.	1200	0.40

$V_{s\_eq}(0.0-30.0) = 379 \text{ m/s}$





**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

## CASOLA VALSENI0, G12 RDS CAVA RAGGI DI SOPRA PPD 1

Instrument: TE3-0004/01-13

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 19/05/2021 13:38:36 End recording: 19/05/2021 13:58:36

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; GPS + GPS -

GPS location: 011°37.2119 E, 44°14.6502 N (459.8 m)

(UTC time synchronized to the first recording sample): 12:38:36.000 + 0 + 0 samples

Satellite no.: 09

Trace length: 0h20'00". Analyzed 58% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

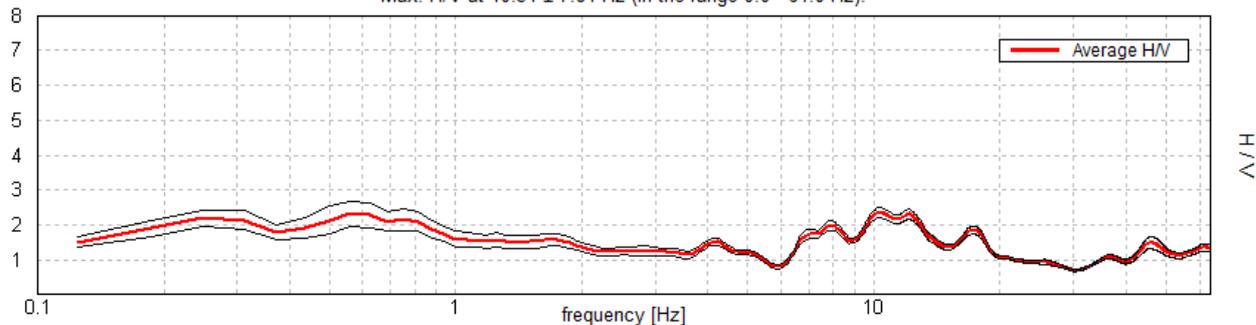
Window size: 10 s

Smoothing type: Triangular window

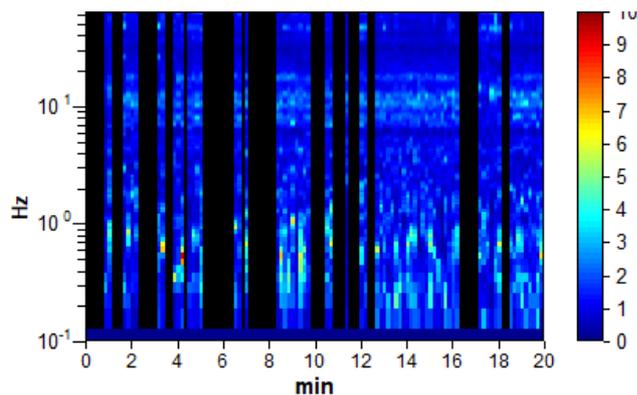
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

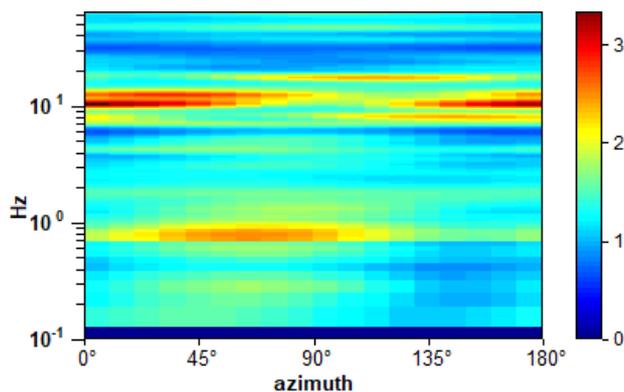
Max. H/V at 10.31 ± 7.81 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



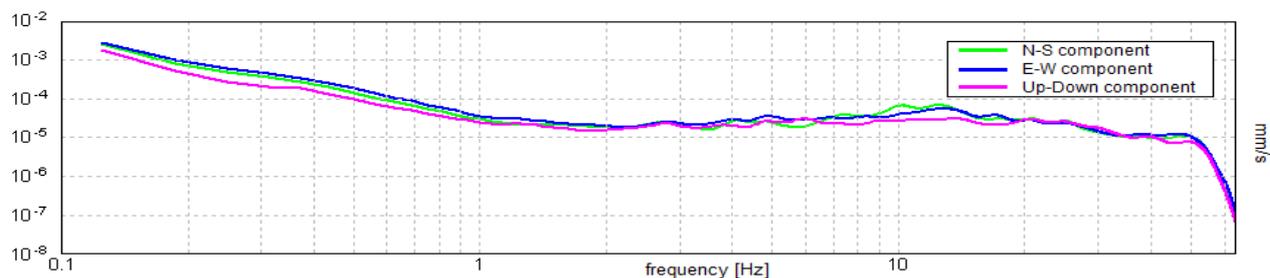
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



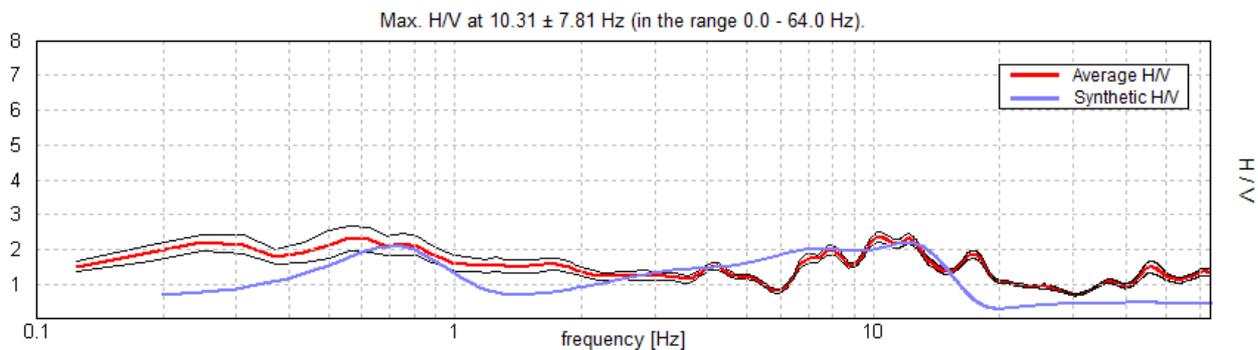


**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

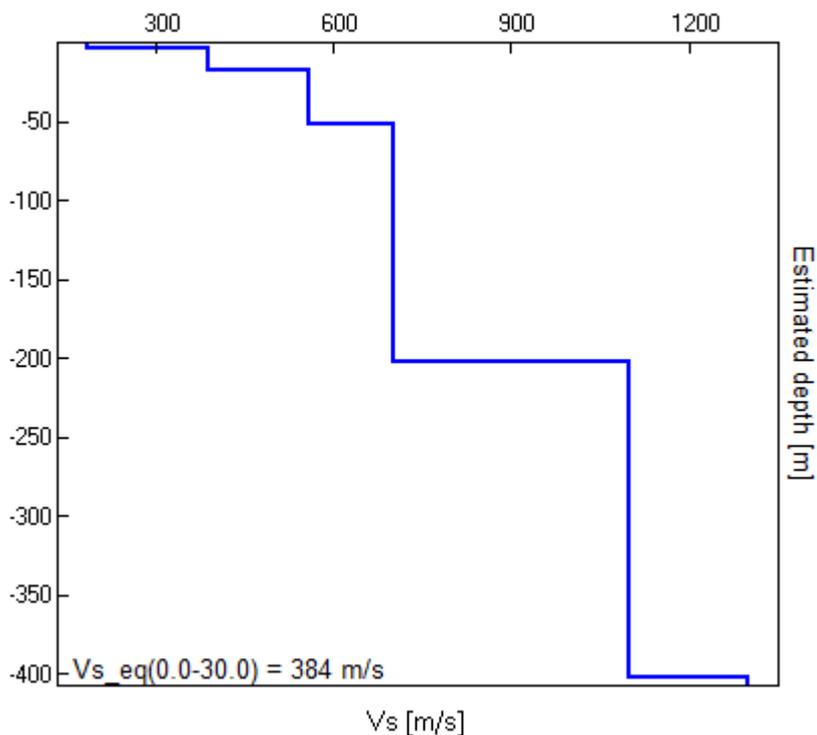
Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.00	4.00	185	0.40
17.00	13.00	390	0.40
52.00	35.00	560	0.40
202.00	150.00	700	0.40
402.00	200.00	1100	0.40
inf.	inf.	1300	0.40

$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 384$  m/s





**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
 Viale Medaglie d'oro, 50  
 47121 FORLÌ (FC)  
 Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
 Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva a stazione singola e MASW  
 Località: Casola Valsenio (RA)  
 Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

[According to the SESAME, 2005 guidelines.]

**Max. H/V at 10.31 ± 7.81 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	10.31 > 1.00	OK	
$n_c(f_0) > 200$	7115.6 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 248 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	6.375 Hz	OK	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	19.313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.36 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.75726  < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	7.80924 < 0.51563		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1491 < 1.58	OK	

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

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

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



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

## CASOLA VALSENI0, G13 RDS CAVA RAGGI DI SOPRA PPD 2

Instrument: TE3-0004/01-13

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 19/05/2021 14:12:30 End recording: 19/05/2021 14:32:30

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; GPS + GPS -

GPS location: 011°37.1924 E, 44°14.6563 N (461.9 m)

(UTC time synchronized to the first recording sample): 13:12:30.000 + 0 + 0 samples

Satellite no.: 08

Trace length: 0h20'00". Analyzed 73% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

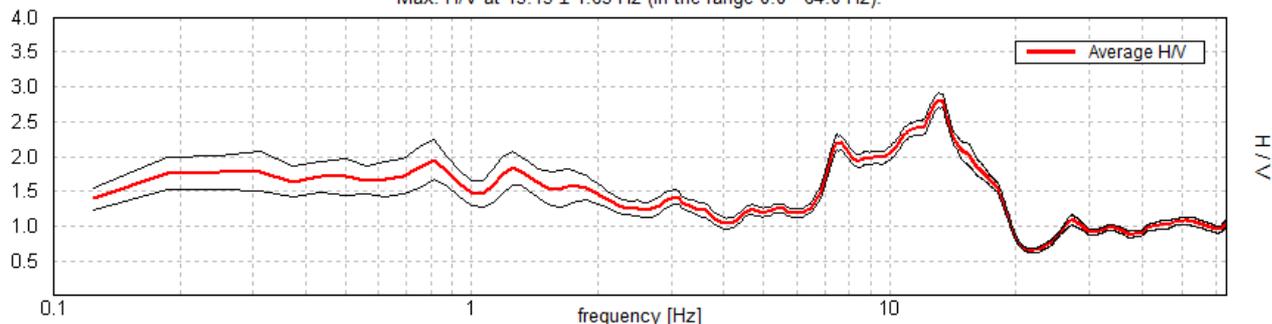
Window size: 10 s

Smoothing type: Triangular window

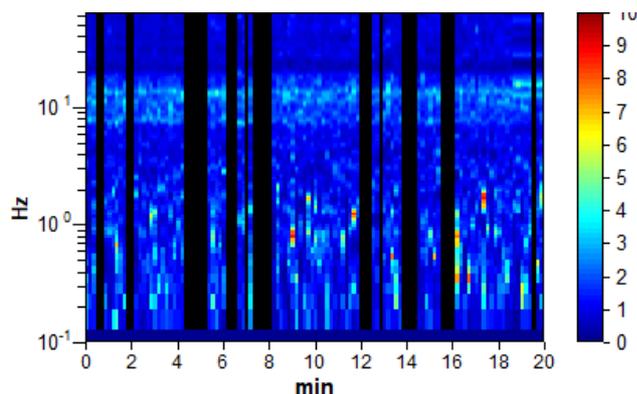
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

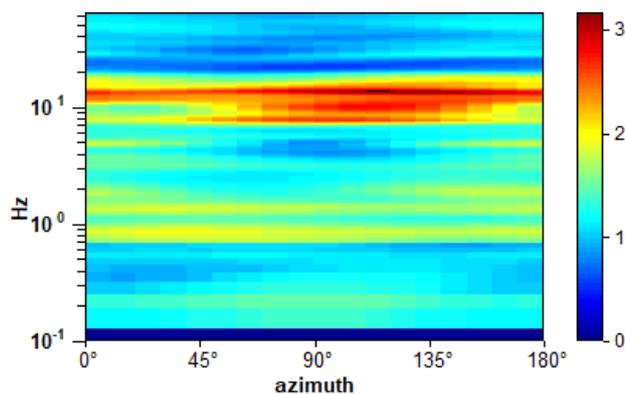
Max. H/V at 13.13 ± 1.63 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



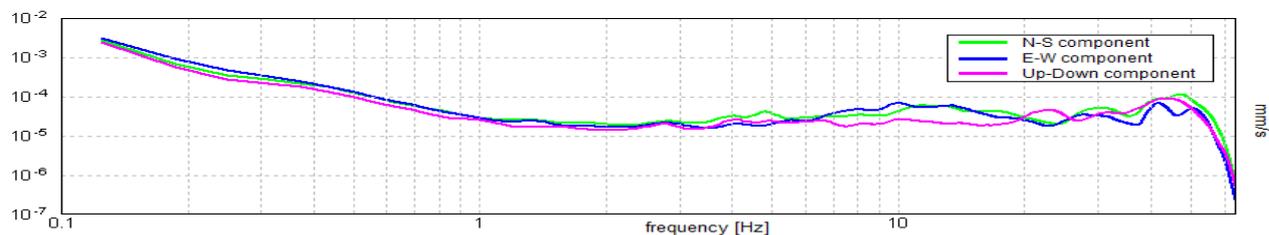
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA





**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**

Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLI' (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto:

Indagine di sismica passiva

a stazione singola e MASW

Località:

Casola Valsenio (RA)

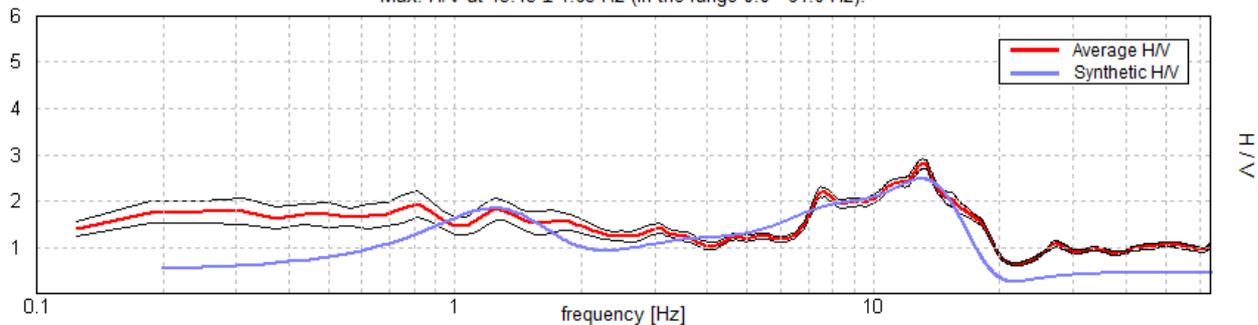
Data esecuzione lavori:

19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

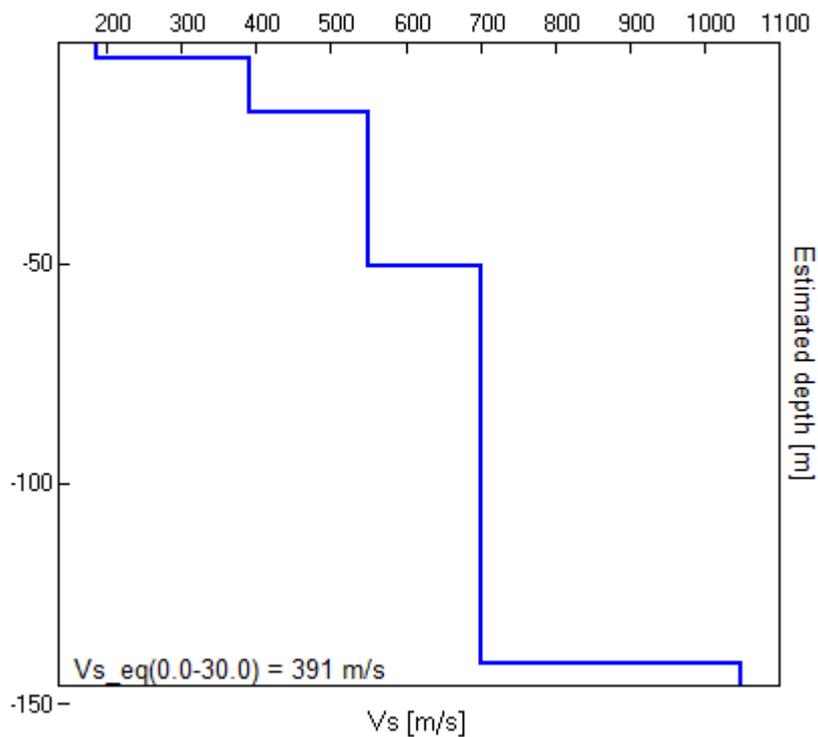
### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $13.13 \pm 1.63$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.70	3.70	185	0.42
15.70	12.00	390	0.42
50.70	35.00	550	0.42
140.70	90.00	700	0.42
inf.	inf.	1050	0.42

$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 391$  m/s





**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
 Viale Medaglie d'oro, 50  
 47121 FORLÌ (FC)  
 Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
 Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
 a stazione singola e MASW  
 Località: Casola Valsenio (RA)  
 Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

[According to the SESAME, 2005 guidelines.]

**Max. H/V at 13.13 ± 1.63 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	13.13 > 1.00	OK	
$n_c(f_0) > 200$	11550.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 316 times	OK	

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	6.688 Hz	OK	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	18.563 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.81 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.1242  < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.63009 < 0.65625		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1057 < 1.58	OK	

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

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

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



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

## CASOLA VALSENI0, G14 RDS CAVA RAGGI DI SOPRA PPD 4

Instrument: TE3-0004/01-13

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 19/05/2021 14:49:06 End recording: 19/05/2021 15:09:06

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; GPS + GPS -

GPS location: 011°37.2205 E, 44°14.6637 N (458.6 m)

(UTC time synchronized to the first recording sample): 13:49:06.000 + 0 + 0 samples

Satellite no.: 06

Trace length: 0h20'00". Analyzed 88% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

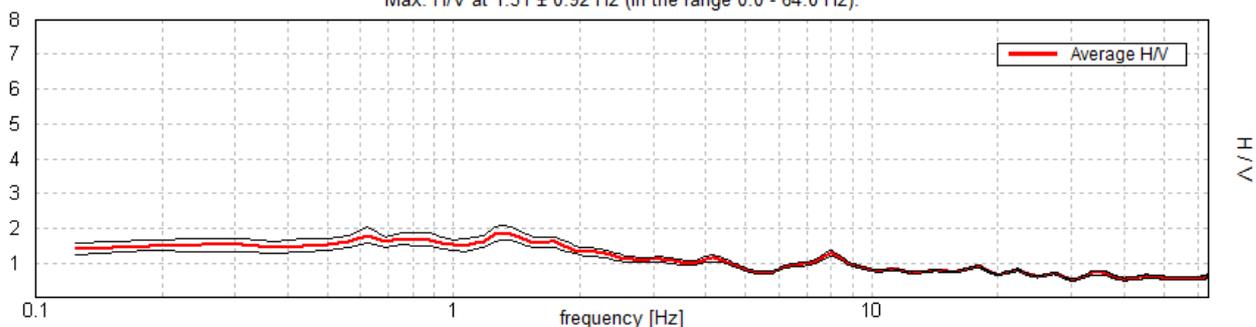
Window size: 10 s

Smoothing type: Triangular window

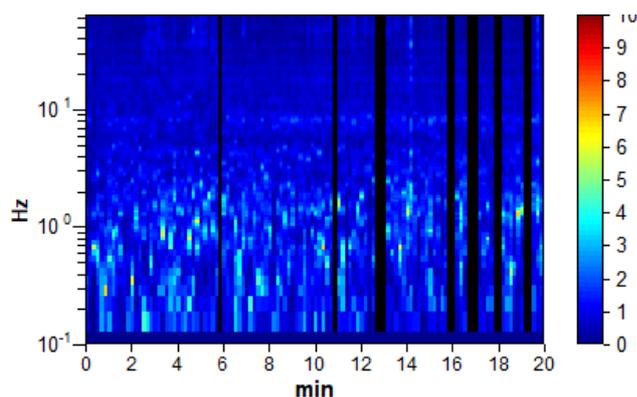
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

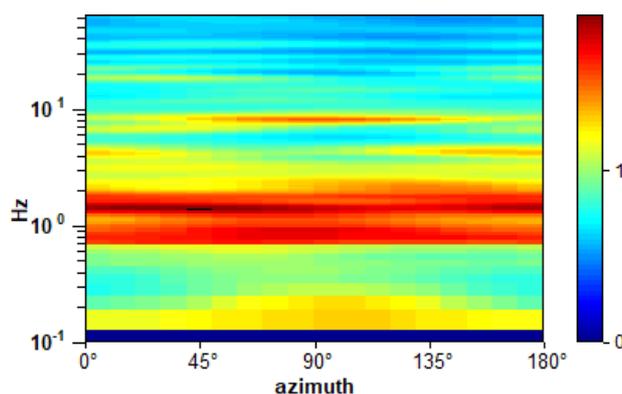
Max. H/V at 1.31 ± 0.92 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



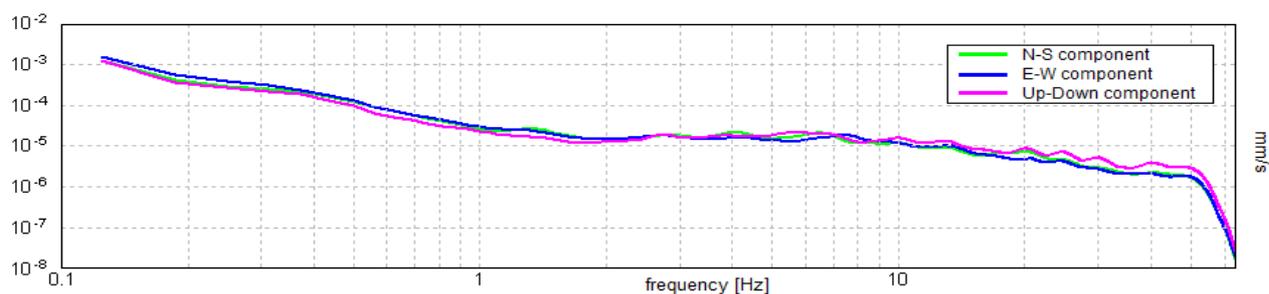
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



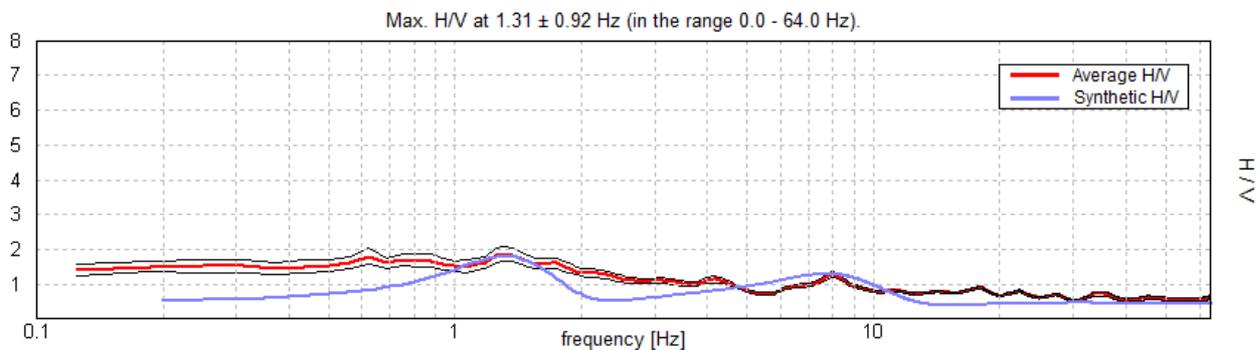


**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

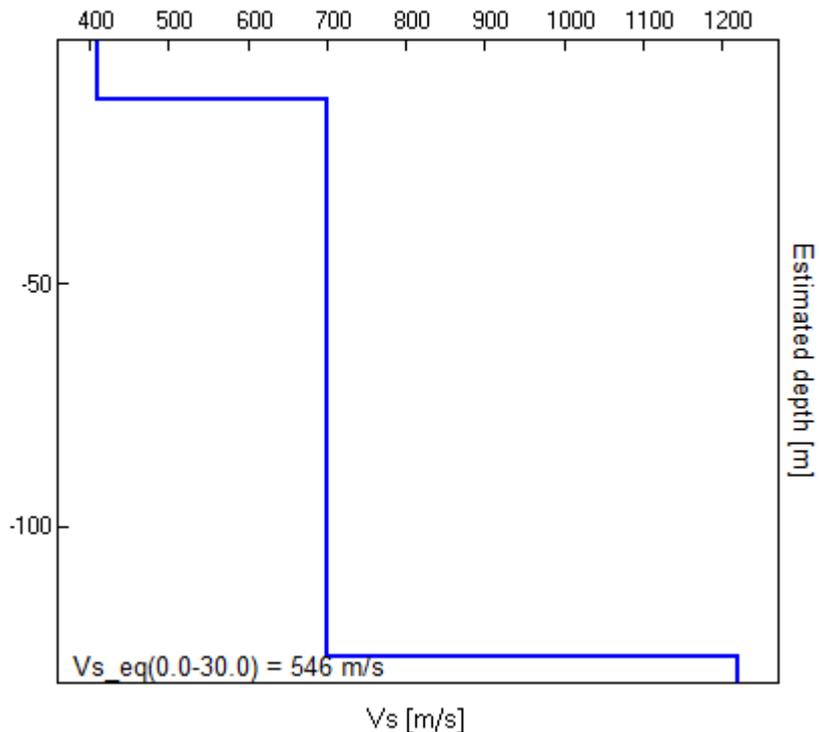
Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
12.00	12.00	410	0.40
127.00	115.00	700	0.40
inf.	inf.	1220	0.40

$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 546$  m/s





**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
 Viale Medaglie d'oro, 50  
 47121 FORLÌ (FC)  
 Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
 Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva a stazione singola e MASW  
 Località: Casola Valsenio (RA)  
 Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

[According to the SESAME, 2005 guidelines.]

**Max. H/V at 1.31 ± 0.92 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	1.31 > 1.00	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1391.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 32 times	OK	

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	4.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.86 > 2		
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.70185  < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.92118 < 0.13125$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.203 < 1.78$	OK	

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

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

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



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

### CASOLA VALSENI0, G15 RDS CAVA RAGGI DI SOPRA PPD 3

Instrument: TE3-0004/01-13

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 19/05/2021 15:18:01 End recording: 19/05/2021 15:28:01

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; GPS + GPS -

GPS location: 011°37.2053 E, 44°14.6381 N (456.7 m)

(UTC time synchronized to the first recording sample): 14:18:01.000 + 0 + 0 samples

Satellite no.: 08

Trace length: 0h10'00". Analyzed 60% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

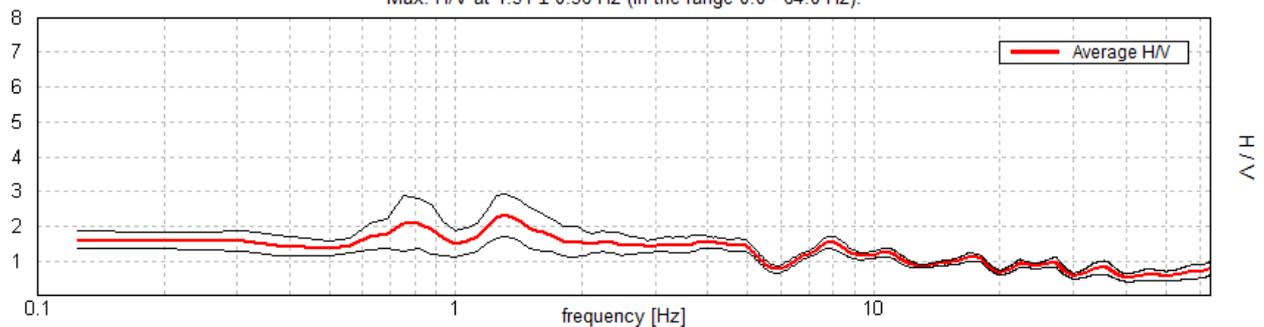
Window size: 10 s

Smoothing type: Triangular window

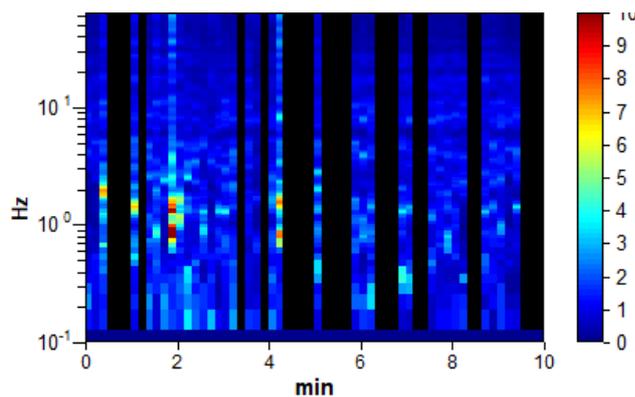
Smoothing: 10%

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

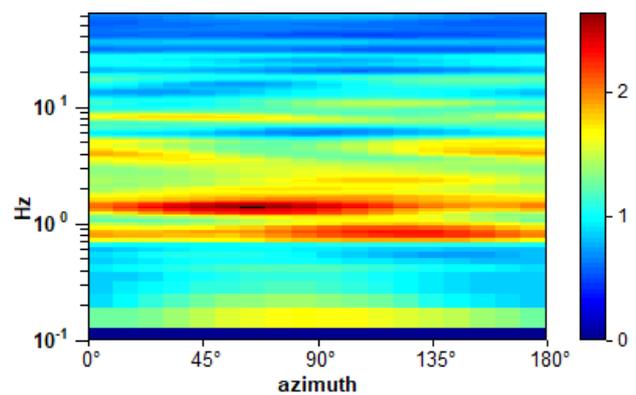
Max. H/V at  $1.31 \pm 0.36$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



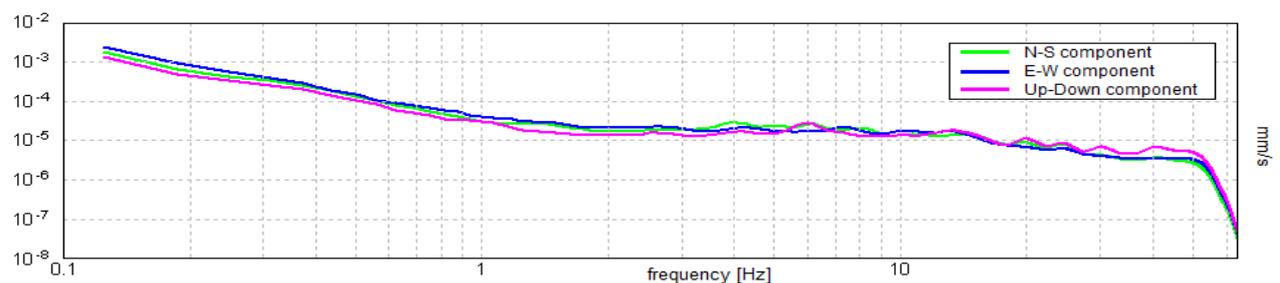
#### H/V TIME HISTORY



#### DIRECTIONAL H/V



#### SINGLE COMPONENT SPECTRA



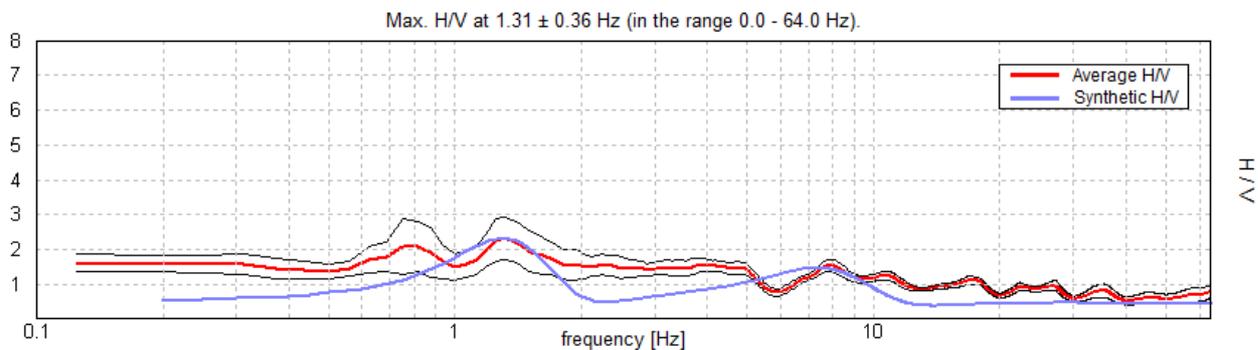


**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLI' (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

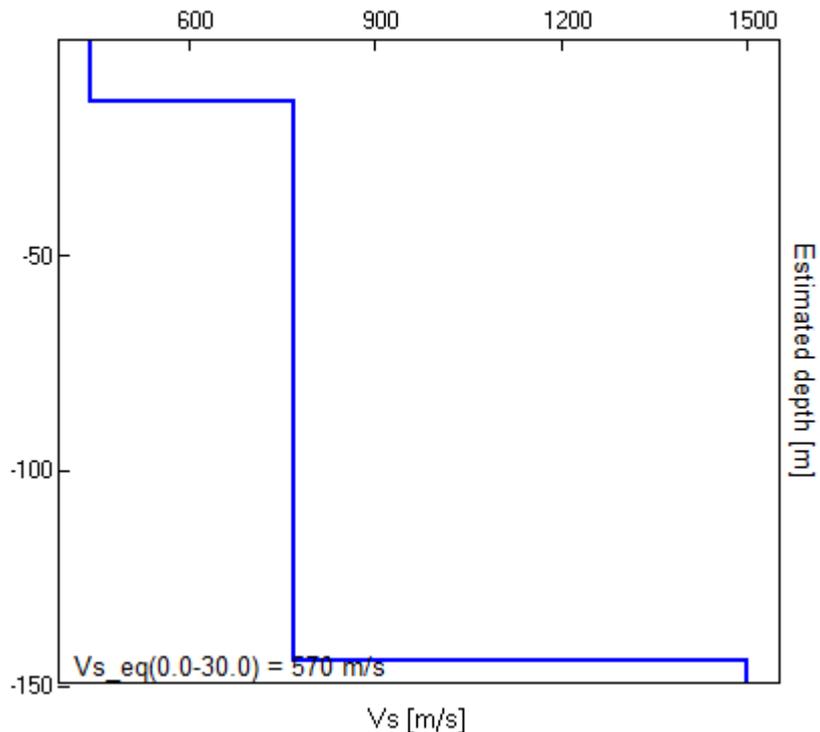
Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
14.00	14.00	440	0.40
144.00	130.00	770	0.40
inf.	inf.	1500	0.40

$V_{s\_eq}(0.0-30.0) = 570$  m/s





**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
 Viale Medaglie d'oro, 50  
 47121 FORLÌ (FC)  
 Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
 Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
 a stazione singola e MASW  
 Località: Casola Valsenio (RA)  
 Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

[According to the SESAME, 2005 guidelines.]

**Max. H/V at 1.31 ± 0.36 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	1.31 > 1.00	OK	
$n_c(f_0) > 200$	472.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 32 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>			
$A_0 > 2$	2.33 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.27193  < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.35691 < 0.13125$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6181 < 1.78$	OK	

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

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

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



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

## CASOLA VALSENI0, G16 RDS CAVA RAGGI DI SOPRA PPD 6

Instrument: TE3-0004/01-13

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 19/05/2021 16:00:24 End recording: 19/05/2021 16:20:00

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; GPS + GPS -

GPS location: 011°37.1834 E, 44°14.6394 N

(UTC time synchronized to the first recording sample): 15:00:24.000 + 0 + 0 samples

Satellite no.: 08

Trace length: 0h19'36". Analyzed 46% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

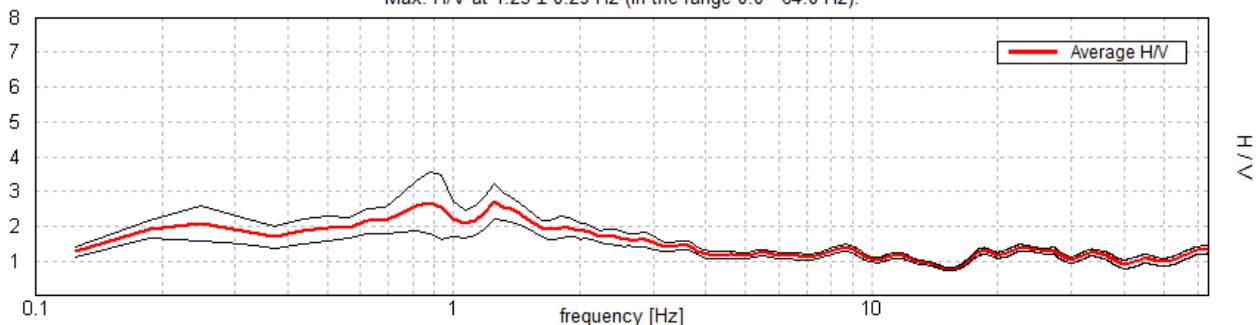
Window size: 10 s

Smoothing type: Triangular window

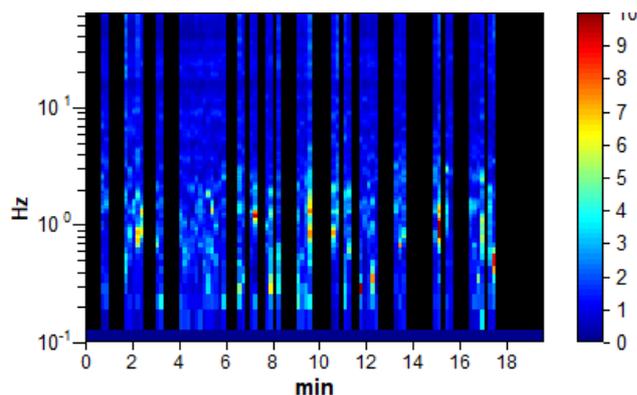
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

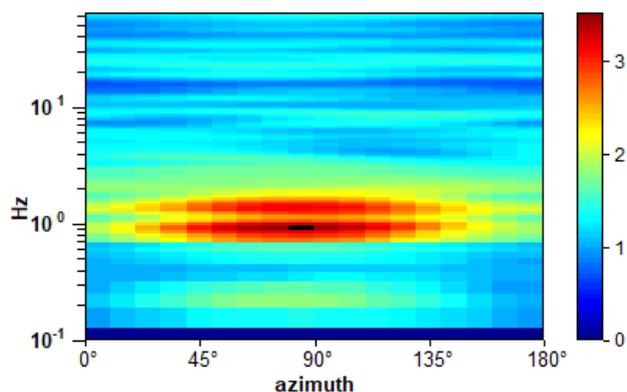
Max. H/V at  $1.25 \pm 0.29$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



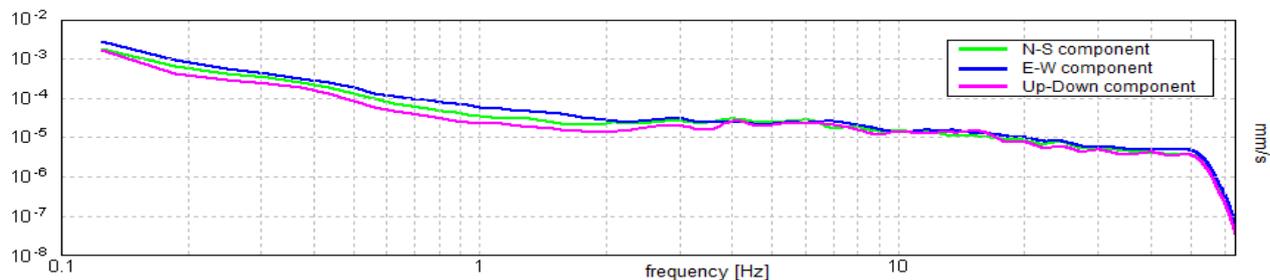
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



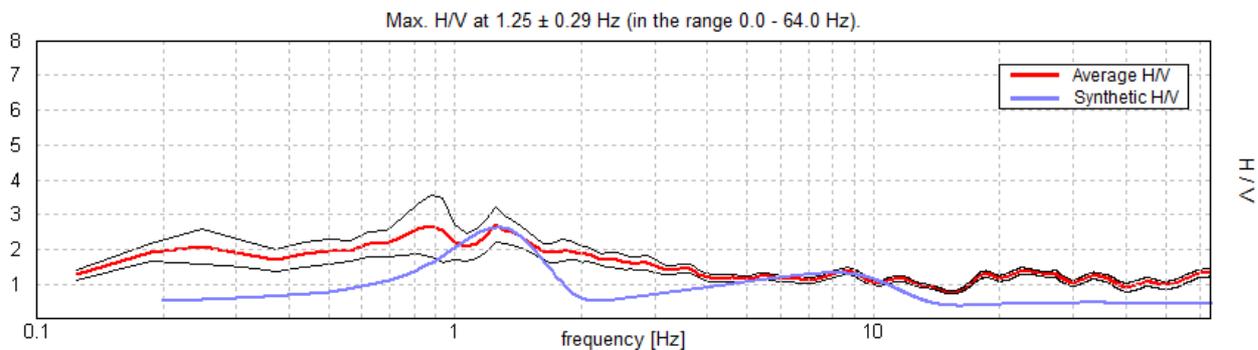


**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

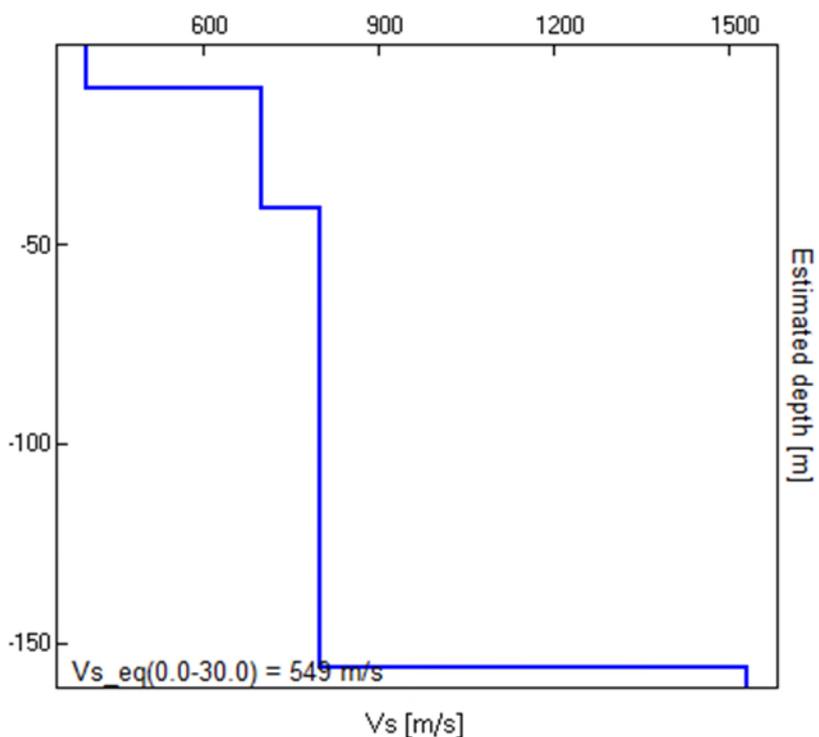
Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
11.00	11.00	400	0.40
41.00	30.00	700	0.40
156.00	115.00	800	0.40
inf.	inf.	1530	0.40

$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 549$  m/s





**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
 Viale Medaglie d'oro, 50  
 47121 FORLÌ (FC)  
 Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
 Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
 a stazione singola e MASW  
 Località: Casola Valsenio (RA)  
 Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

[According to the SESAME, 2005 guidelines.]

**Max. H/V at 1.25 ± 0.29 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	1.25 > 1.00	OK	
$n_c(f_0) > 200$	675.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 31 times	OK	

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	3.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.71 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.22812  < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.28515 < 0.125$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5002 < 1.78$	OK	

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

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

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



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

## CASOLA VALSENI0, G17 RDS CAVA RAGGI DI SOPRA PPD 5

Instrument: TE3-0004/01-13

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 19/05/2021 16:22:36 End recording: 19/05/2021 16:42:36

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; GPS + GPS -

GPS location: 011°37.1957 E, 44°14.6323 N (453.9 m)

(UTC time synchronized to the first recording sample): 15:22:36.000 + 0 + 0 samples

Satellite no.: 05

Trace length: 0h20'00". Analyzed 74% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

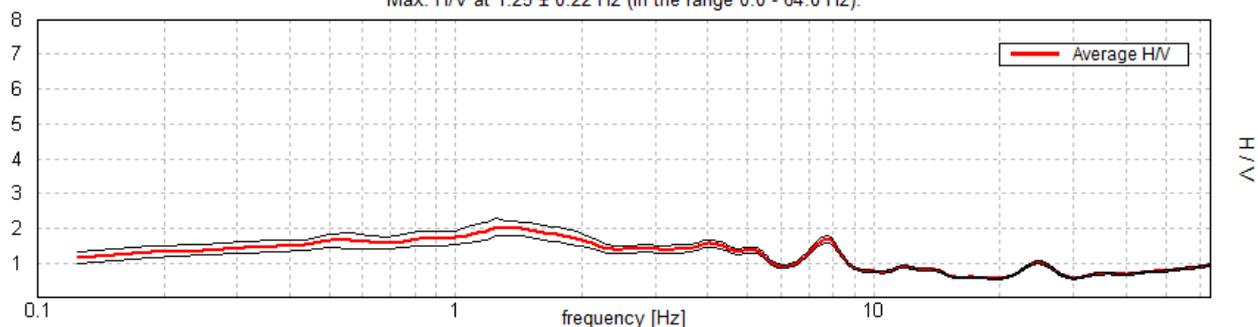
Window size: 10 s

Smoothing type: Triangular window

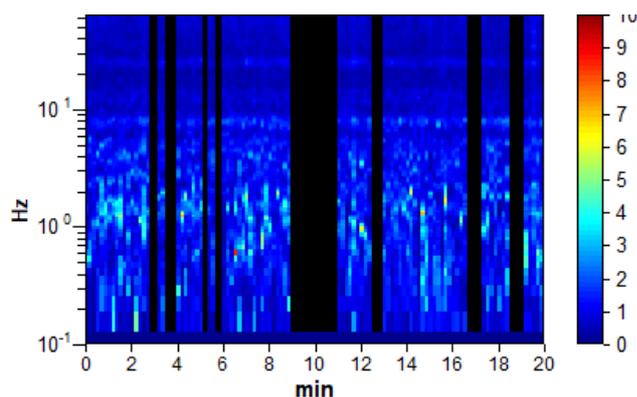
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

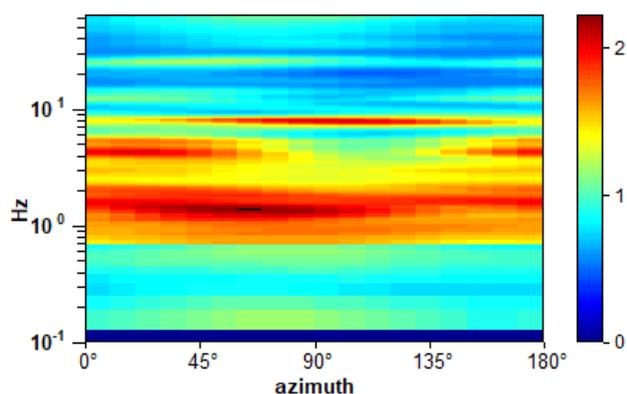
Max. H/V at  $1.25 \pm 0.22$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



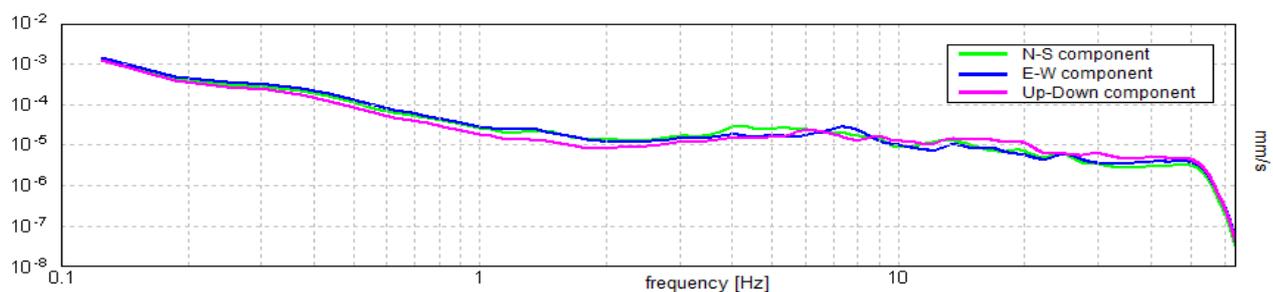
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA





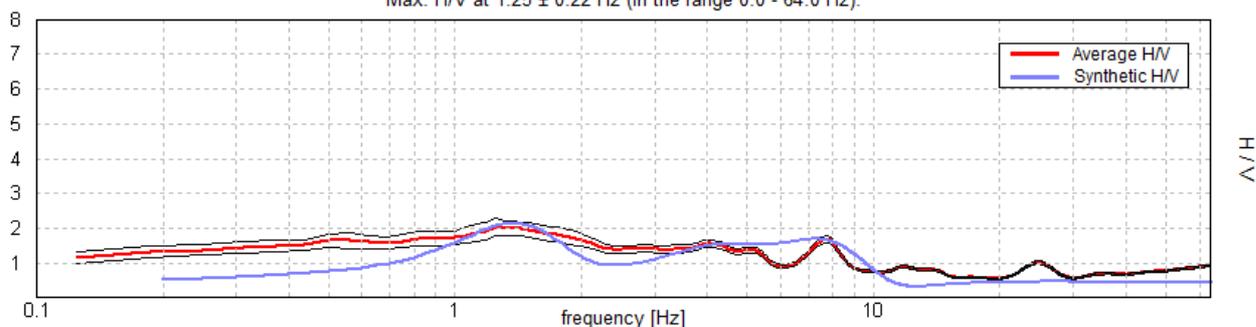
**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

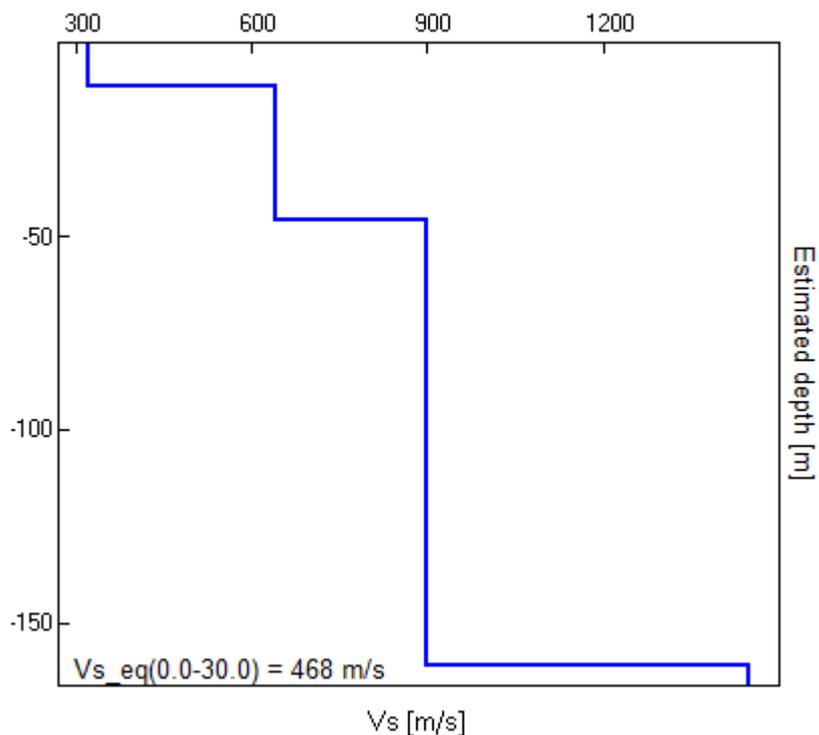
### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $1.25 \pm 0.22$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
11.00	11.00	320	0.40
46.00	35.00	640	0.40
161.00	115.00	900	0.40
inf.	inf.	1450	0.40

$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 468$  m/s





**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
 Viale Medaglie d'oro, 50  
 47121 FORLÌ (FC)  
 Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
 Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva a stazione singola e MASW  
 Località: Casola Valsenio (RA)  
 Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

[According to the SESAME, 2005 guidelines.]

**Max. H/V at 1.25 ± 0.22 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	1.25 > 1.00	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1112.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 31 times	OK	

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>			
$A_0 > 2$	2.05 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.17498  < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.21872 < 0.125$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2405 < 1.78$	OK	

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

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

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



**Dott. Geol. EMIDIO VALMORI**  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Indagine di sismica passiva  
a stazione singola e MASW  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'acquisizione sismica evidenzia un incremento di velocità delle onde compressionali e di taglio con la profondità. In particolare si nota che le sabbie cavate hanno uno spessore di circa 4 metri e sono rappresentate nelle stazioni singole passive G 12, G 13 E MASW con una  $V_s$  di circa 200 m/s e  $V_p$  di 400 m/s ricavata con dromocrone.

La formazione Marnoso Arenacea presenta un incremento delle velocità con la profondità.

**La velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m ( $V_{s30}$ ) variano da 379 m/s a 570 m/s, pertanto la categoria di suolo di fondazione ai sensi del DM 17/01/2018 (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni), è B.**

Categorie di sottosuolo (da Nuove norme tecniche per le costruzioni D.M. 17/01/2018)

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.
<b>E</b>	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento ( $V_s > 800$ m/s).

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

**Tabella 2.** Velocità caratteristiche delle onde S nei vari tipi di suolo (riscritta da Borchardt 1994).

	<b>Dott. Geol. EMIDIO VALMORI</b> Viale Medaglie d'oro, 50 47121 FORLI' (FC) Email: <a href="mailto:emidio.valmori@gmail.com">emidio.valmori@gmail.com</a> Cell. 3484974097 Tel. 054367000	Oggetto: Indagine di sismica passiva a stazione singola e MASW
	Località: Casola Valsenio (RA) Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021	
Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni		

## BIBLIOGRAFIA

- Anderson J. G., Lee Y., Zeng Y. e Day S., 1996. Control of Strong Motion by the Upper 30 Meters, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **86**, 1749-1759.
- Arai H. e Tokimatsu K., 2004. S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **94**, p. 53-63.
- Bard P.-Y., 1998. Microtremor measurements: a tool for site effect estimation? Second International Symposium on the Effects of the Surface Geology on Seismic Motion-ESG98, Japan.
- Baumbach M., Bindi D., Grosser H., Milkereit C., Parolai S., Karakisa S., Zunbul S., 2002. M<sub>L</sub> scale in northwestern Turkey from 1999 Izmit aftershocks. XXVIII General Assembly of the European Seismological Commission (ESC), Genova, Italy.
- Bindi D., Parolai S., Spallarossa D., Cattaneo M., 2000. Site effects by H/V ratio: comparison of two different procedures, *J. Earthq. Eng.*, **4**, 97-113.
- Borcherdt R. D., 1994. Estimates of site-dependent response spectra for design (methodology and justification), *Earthq. Spectra*, **4**, 617-653.
- Castellaro S., Mulargia F. e Bianconi L., 2005. Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *Geologia Tecnica e Ambientale*, vol. 3.
- Chavez-Garcia F. J., Rodriguez M. e Stephenson R., 2006. Subsoil structure using SPAC measurements along a line, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **96** (2), 729-736.
- Di Giacomo D., Gallipoli M.R., Mucciarelli M., Parolai S. e Richwalski S.M., 2005. Analysis and modeling of HVSR in the presence of a velocity inversion: the case of Venosa, Italy, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **95**, 2364-2372.
- Fah D., Kind F. e Giardini D., 2001. A theoretical investigation of average H/V ratios, *Geophys. J. Int.*, **145**, 535-549.
- Field E.H., Jacob, K., 1993. The theoretical response of sedimentary layers to ambient seismic noise. *Geophys. Res. Lett.*, **20-24**, 2925-2928.
- Gallipoli R., La penna V., Lorenzo P. et al., 2000. Comparison of geological and geophysical prospecting techniques in the study of a landslide in southern Italy, *European J. Environm. and Eng. Geophys.*, **4**, 117-128.
- Guillier B., Chatelain J.L., Hellel M., Machane D., Mezouer N., Ben Salem R. e Oubaiche E.H., 2005. Smooth bumps in H/V curves over a broad area from single-station ambient noise recordings are meaningful and reveal the importance of Q in array processing: The Boumerdes (Algeria) case, *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L24306, doi:10.1029/2005GL023726.
- Ibs-von Seht M. e Wohlenberg J., 1999. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seismol. Soc. America*, **89**, 250-259.

	<b>Dott. Geol. EMIDIO VALMORI</b> Viale Medaglie d'oro, 50 47121 FORLÌ (FC) Email: <a href="mailto:emidio.valmori@gmail.com">emidio.valmori@gmail.com</a> Cell. 3484974097 Tel. 054367000	Oggetto: Indagine di sismica passiva a stazione singola e MASW
	Località: Casola Valsenio (RA) Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021	
Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni		

- Kanai K., 1957. The requisite conditions for predominant vibration of round, *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, **31**, 457.
- Lachet C. e Bard P.Y., 1994. Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitation of Nakamura's technique, *J. Phys. Earth*, **42**, 377-397.
- Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2001. A critical review of 10 years of microtremor HVSR technique, *Bollettino di Geofisica Teoria ed Applicata*, **42**, 255-266.
- Mucciarelli M., Masi A., Gallipoli M.R. et al., 2004. Analysis of RC building dynamic response and soil-building resonance based on data recorded during a damaging earthquake (Molise, Italy, 2002), *Bull. Seism. Soc. Am.*, **94**, 1943-1953.
- Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2006. Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy, *Conf. Earthq. Eng. And Seismol.*, Geneva, 3-8 Sept. 2006, no. 270.
- Mulargia F. e Castellaro S., 2006. H/V + H + V tremor spectral analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.*, sottomesso.
- Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTRI*, **30**, 25-33.
- Park D. e Hashash Y.M.A., 2004. Probabilistic seismic hazard analysis with non linear site effects in the Mississippi embayment, *Proc. 13th World Conf. Earthq. Eng.*, Vancouver, CD-Rom Edition, paper n. 1549.
- Parolai S., Bormann P., Milkereit C., 2002. New relationships between Vs, thickness of the sediments and resonance frequency calculated by means of H/V ratio of seismic noise for the Cologne area (Germany), *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **92 (6)**, 2521– 2527.
- Parolai S., Richwalski S., Milkereit C. E Bormann P., 2004. Assessment of the stability of H/V spectral ratios from ambient noise and comparison with earthquake data in the Cologne area (Germany), *Tectonophysics*, **390**, 57– 73.
- SESAME, 2005. <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>
- Stewart J. P., Liu A. H. e Choi Y., 2003. Amplification Factors for Spectral Acceleration in Tectonically Active Regions, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **93**, 332–352.

## **ANALISI DI LABORATORIO**

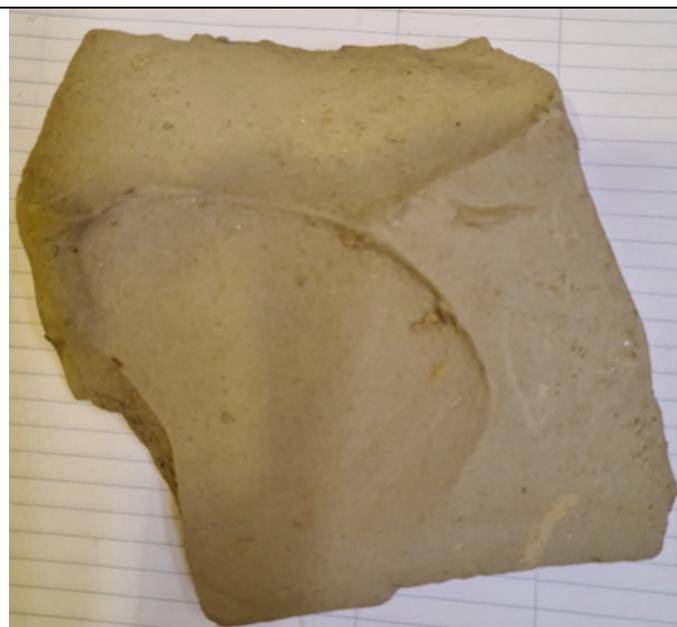




Dott. Geol. EMIDIO VALMORI  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Analisi di laboratorio su  
campioni caratteristici  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni



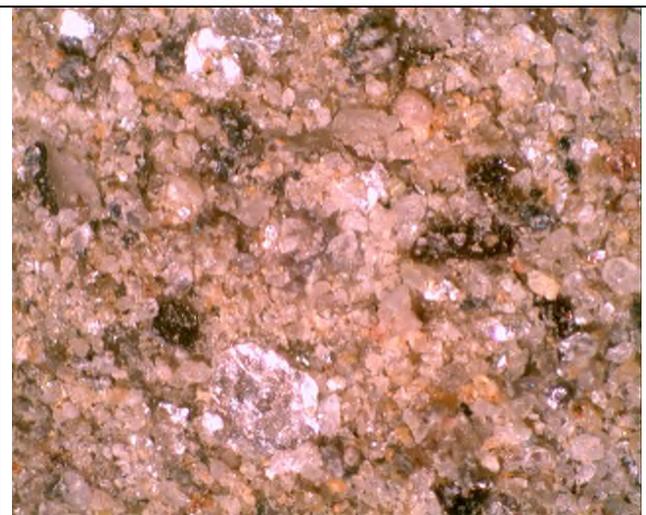
Campione n. 1 Argilla marnosa siltosa a frattura concoide di color grigio chiaro - nocciola



Campione n. 2 Arenaria quarzoso feldspatica micacea (muscovite e biotite) poco cementata di color marrone chiaro



Campione n. 1 Argilla marnosa siltosa a frattura concoide di color nocciola (vista al microscopio stereo Konus - ingrandimento 40x).



Campione n. 2 Arenaria quarzoso feldspatica micacea poco cementata (vista al microscopio stereo Konus - ingrandimento 30x).



Dott. Geol. EMIDIO VALMORI  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Analisi di laboratorio su  
campioni caratteristici  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

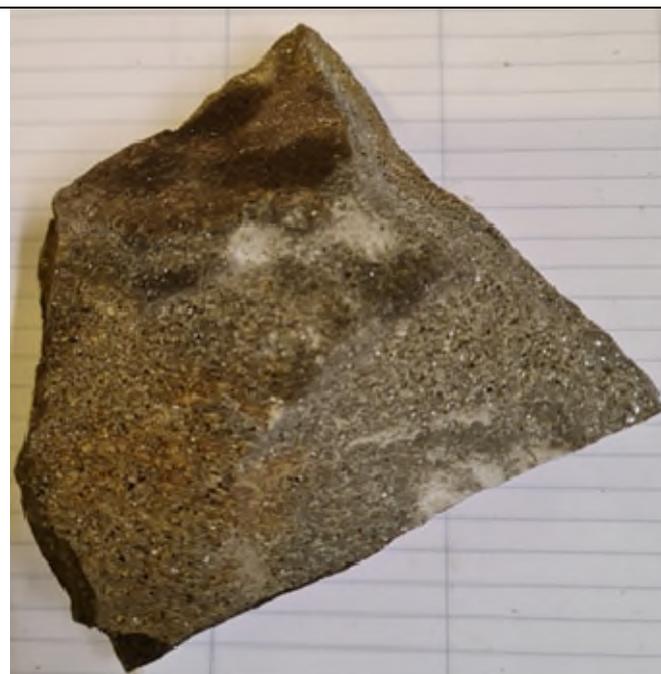
Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni



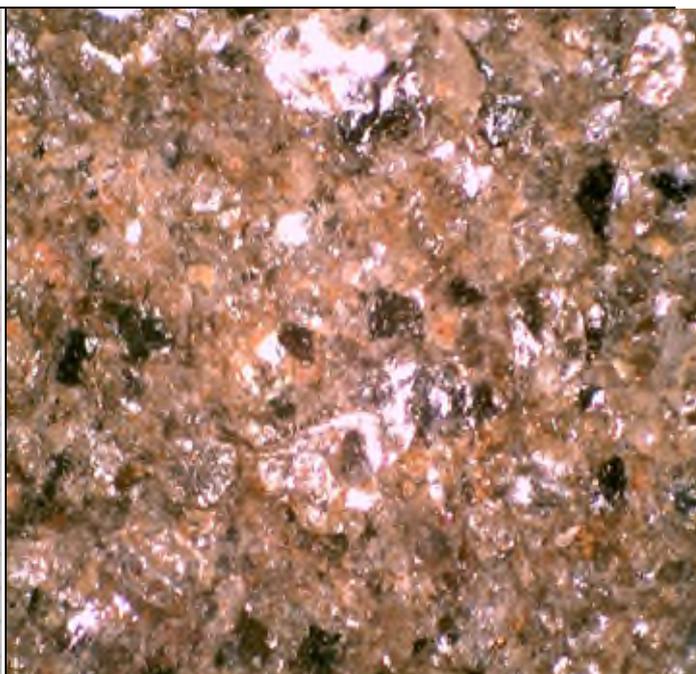
Campione n. 3 Sabbia quarzoso feldspatica micacea (muscovite, biotite) color marrone chiaro



Campione n. 4 Siltiti argillose grigiastre



Campione n. 5 Arenaria quarzoso - feldspatica micacea (muscovite, biotite) di color grigio-bruna fortemente cementata con cemento carbonatico .



Campione n. 5 Arenaria quarzoso feldspatica micacea a cemento carbonatico (vista al microscopio stereo Konus - ingrandimento 30x)



Dott. Geol. EMIDIO VALMORI  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Analisi di laboratorio su  
campioni caratteristici  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni

## ANALISI CAMPIONI

Determinazione campione n.:	1	2	3	4	5
Contenitore numero:	a1	a2	a3	a4	a5
Peso del contenitore (gr)	8.326	8.495	5.350	8.543	8.495
Peso terreno umido+contenitore (gr)	456.335	126.891	204.156	270.080	190.309
Peso terreno secco+contenitore (gr)	398.410	114.331	183.642	233.155	189.069
Peso Terreno Umido (gr)	448.009	118.396	198.806	261.537	181.814
Peso Terreno Secco (gr)	390.084	105.836	178.292	224.612	180.574
Peso acqua (gr)	57.925	12.560	20.514	36.925	1.240
Umidità Naturale	0.148	0.119	0.115	0.164	0.007
Peso specifico dei solidi (gr/cc)	2.630	2.730	2.710	2.620	2.720
Umidità Naturale (%)	14.849	11.867	11.506	16.439	0.687
Peso di volume terreno secco (gr/cc)	1.891	2.062	2.066	1.831	2.670
Peso di volume terreno saturo (gr/cc)	2.172	2.307	2.304	2.132	2.688
Carbonato di calcio (%)	21.000	11.000	8.000	12.000	40.000
Carbonati totali (%)	22.000	15.000	12.000	17.000	42.000
Porosità (%)	28.085	24.470	23.769	30.105	1.834
Indice dei vuoti	0.391	0.324	0.312	0.431	0.019

## ANALISI GRANULOMETRICA

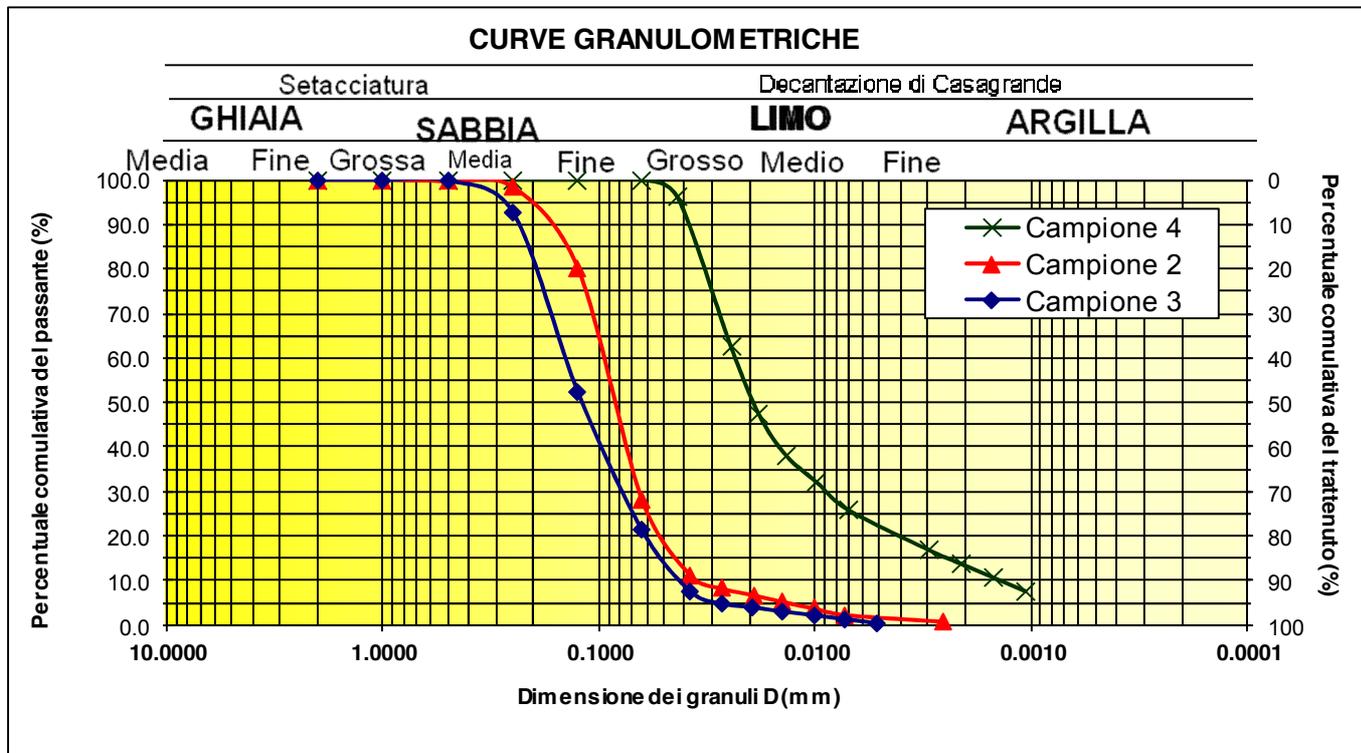
CAMPIONE 2		CAMPIONE 3		CAMPIONE 4				
Granulometria AGI		Granulometria AGI		Granulometria AGI		Campione:		2
Argilla %	0	Argilla %	0	Argilla %	22	Arenaria ocra poco cementata		
Limo %	20	Limo %	22	Limo %	78	Campione:		
Sabbia %	80	Sabbia %	78	Sabbia %	0	Sabbia ocra superficiale		
Diametri Notevoli		Diametri Notevoli		Diametri Notevoli		Campione:		4
D10 (mm)	0.045	D10 (mm)	0.038	D10 (mm)	0.002	Limi grigiastri argillosi		
D30 (mm)	0.08	D30 (mm)	0.065	D30 (mm)	0.009			
D60 (mm)	0.15	D60 (mm)	0.09	D60 (mm)	0.023			
D60/D10	3.3	D60/D10	2.37	D60/D10	15.3			
D30 <sup>2</sup> /(D10*D60)	0.95	D30 <sup>2</sup> /(D10*D60)	1.24	D30 <sup>2</sup> /(D10*D60)	2.35			



Dott. Geol. EMIDIO VALMORI  
Viale Medaglie d'oro, 50  
47121 FORLÌ (FC)  
Email: [emidio.valmori@gmail.com](mailto:emidio.valmori@gmail.com)  
Cell. 3484974097 Tel. 054367000

Oggetto: Analisi di laboratorio su  
campioni caratteristici  
Località: Casola Valsenio (RA)  
Data esecuzione lavori: 19 maggio 2021

Committente: Dott. Geol. Massimiliano Flamigni



In conclusione i campioni mostrano che le arenarie poco cementate sono facilmente disaggregabili ed hanno una granulometria medio fine passanti a limo, il carbonato di calcio varia dal 8% al 11% mentre i carbonati totali variano dal 12% al 15%, pertanto è possibile supporre che il 4% del totale è dovuto a clasti dolomitici visibili al microscopio stereo, dimostrando che i sedimenti di queste torbiditi sono di origine alpina.

Anche le siltiti grigiastre sono facilmente disaggregabili ed hanno un contenuto argilloso superiore al 10% ed il contenuto carbonatico è simile alle arenarie poco cementate.

Le argille marnose siltose a frattura concoide di color nocciola hanno un contenuto carbonatico del 22% ed anch'esse sono di origine torbiditica.

L'arenaria quarzoso feldspatica micacea a cemento carbonatico con convoluzioni ha una porosità inferiore al 2% e un carbonato totale del 42% che determina una forte cementazione.