



**COMUNE DI BAGNO DI ROMAGNA**  
**(PROVINCIA DI FORLI'-CESENA)**

**STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA**

**RELAZIONE TECNICA**

Progettista responsabile  
Antonio Maria Baldi (S.G.G. srl)

Gruppo di lavoro S.G.G. srl  
Filippo Ricci (coordinatore e interpretazione)    Duccio Notari (G.I.S. ed elaborazioni cartografiche)

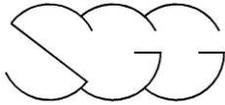


## INDICE

1	INTRODUZIONE	Pag. 4
2	SISMICITA' DEL COMUNE DI MERCATO SARACENO	Pag. 7
3	INQUADRAMENTO STRUTTURALE	Pag. 12
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	Pag. 14
5	INDAGINI SVOLTE	
5.1	Indagini pregresse	Pag. 17
5.2	Indagini attuali	Pag. 18
6	ESECUZIONE DEI RILIEVI	Pag: 22
7	ANALISI DELLA DISPERSIONE DELLE ONDE SUPERFICIALI	Pag. 26
8	ANALISI ED UTILIZZO DEI RAPPORTI SPETTRALI	Pag. 29
9	ANALISI DEI RISULTATI E RELATIVA CARTOGRAFIA	
9.1	Introduzione	Pag. 34
9.2	Carta Geologico-tecnica	Pag. 34
9.3	Carta delle frequenze	Pag. 39
9.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	Pag. 42
9.5	Carta della velocità delle onde di taglio S (Vs)	Pag. 44
10	DETERMINAZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE SISMICA	Pag. 47
11	CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO	Pag. 49
12	INDAGINI SISMICHE INTEGRATIVE	Pag. 52

### APPENDICE

- Prove Masw Pag. 54
- Misure HVSR Pag. 64
- Prove penetrometriche Pag. 75

**ELENCO ELABORATI**

- Carta geologico-tecnica
- Carta delle indagini
- Carta delle frequenze
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)
- Carta della velocità delle onde di taglio s (Vs)
- Carta del fattore di amplificazione PGA
- Carta del fattore di amplificazione intensità spettrale  $0,1s < T_0 < 0,5s$
- Carta del fattore di amplificazione intensità spettrale  $0,5s < T_0 < 1,0s$
  
- Tavole Indagini sismiche integrative

## 1 - INTRODUZIONE

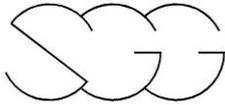
Nel presente rapporto sono illustrati i risultati dell'indagine di microzonazione sismica eseguita per conto del Comune di Bagno di Romagna (FC).



**Figura 1** – Indagine effettuata nel territorio di Bagno di Romagna

In accordo con l'Amministrazione Comunale lo studio di microzonazione sismica riguarda essenzialmente le zone urbanizzate e quelle limitrofe, tralasciando le parti prive di urbanizzazioni significative. La cartografia prodotta è in scala 1:5.000 e 1:10.000.

Lo scopo dello studio è quello di individuare le varie zone omogenee dal punto di vista sismico e di determinare l'amplificazione locale in ognuno di questi settori. Nello specifico le varie indagini e prospezioni hanno permesso di ricostruire, sulla base delle loro caratteristiche fisiche e meccaniche, i rapporti geometrici degli strati di terreno (definizione della profondità del bedrock sismico e dello spessore del deposito di copertura), i



profili di velocità delle onde superficiali ed il computo del valore di  $V_{s30}$  e di  $V_{sH}$ . A tal scopo sono state realizzate su tutto il territorio comunale delle misure tomografiche HVSR, delle prove sismiche MASW e delle prove penetrometriche.

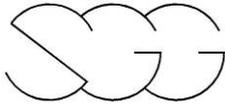
Ad integrazione e completamento di tali prove sono state riprese ed elaborate delle indagini in sito fornite dall'amministrazione comunale e costituite da sondaggi geognostici, prove penetrometriche, profili sismici, prove MASW.

Nella presente relazione sono illustrate le metodologie esecutive ed interpretative delle misure geofisiche, i risultati di tutte le indagini ed in particolar modo le elaborazioni e la cartografia finale relativamente alla microzonazione sismica del territorio comunale di Bagno di Romagna.

Gli elaborati grafici sono forniti in formato shapefile georeferenziato nel sistema WGS84UTM33N, mentre i dati tabellari sono riportati in formato *mdb* seguendo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" Versione2.0 (Giugno 2012).

Il presente studio è redatto in conformità alle seguente normative ed indirizzi:

- Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Gruppo di lavoro MS, 2008. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Cd-rom.
- OPCM 3907 del 13 novembre 2010 - Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica. Allegati: "Specifiche tecniche per la redazione in ambiente GIS degli elaborati cartografici della microzonazione sismica" e "Simbologia per la stesura della carta delle indagini secondo quanto previsti dagli indirizzi e criteri per la microzonazione sismica".
- Decreto ministeriale 14 gennaio 2008 - Norme tecniche per le costruzioni.
- Deliberazione dell'Assemblea legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2 maggio 2007 "Disciplina generale sulla tutela e

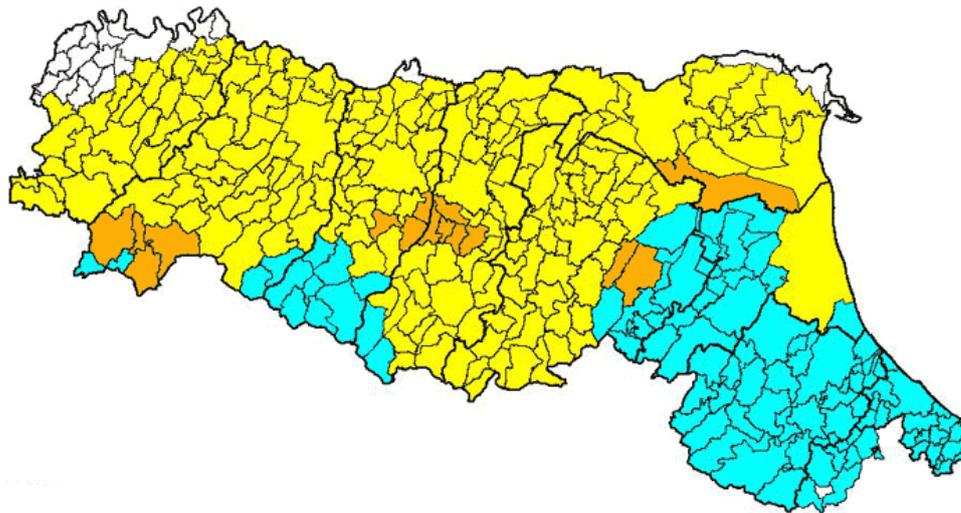


l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".

- Delibera Giunta Regionale Emilia Romagna n° 1051 del 18/07/2011 "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 3907/2010 e ss.mm."
- Delibera Giunta Regionale Emilia Romagna n° 1302 del 10/09/2012 "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 4007/2012 a favore degli enti locali"

## 2 - SISMICITA' DEL COMUNE DI BAGNO DI ROMAGNA

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 Marzo 2003, il Comune di Bagno di Romagna fa parte dei comuni sismici classificati in zona 2 (sismicità media).



### Legenda

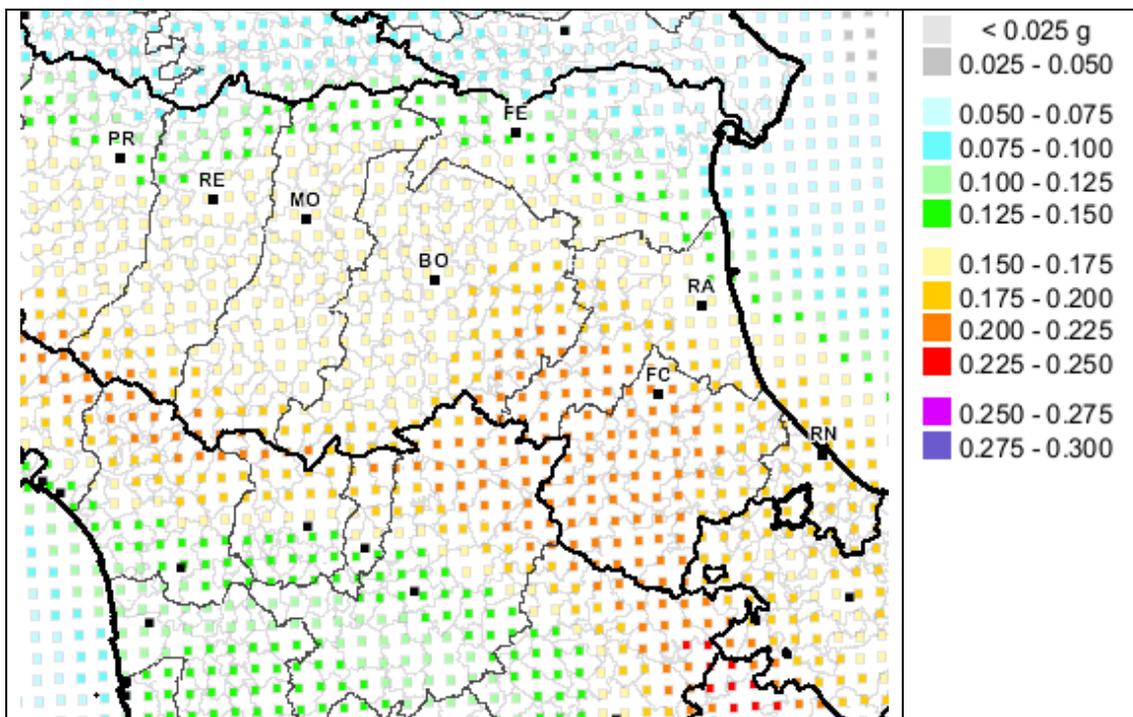
zona 2	96 16	precedente riclassificazione (1983-1984)
zona 3	214	
zona 4	22	

n. Comuni coinvolti

**Figura 2** - Riclassificazione sismica dell'Emilia-Romagna, Ordinanza del PCM n. 3274 / 2003 (Allegato 1, punto 3 "prima applicazione")

Attualmente la pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale è stata definita con l'OPCM 3519 del 28 aprile 2006 attraverso la mappa di pericolosità sismica per il territorio nazionale (fig. 3). I valori di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni sono

riferiti a suoli rigidi di categoria A ( $V_{s30} > 800$  m/s) e rappresentano la pericolosità sismica di base del territorio.



**Figura 3** - Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14/09/2005.)

Dalla carta sopra riportata è possibile dedurre che il territorio del Comune di Bagno di Romagna fa parte di un'area caratterizzata dai valori dell'accelerazione massima compresi nell'intervallo tra 0,200 e 0,225 g, con il valore di 0,206 g riscontrato come PGA per il capoluogo comunale.

Di seguito (fig. 4) viene riportato l'elenco dei terremoti che hanno interessato il territorio comunale di Bagno di Romagna, con evidenziato data, ora, epicentro e magnitudo.



Numero di eventi: 23

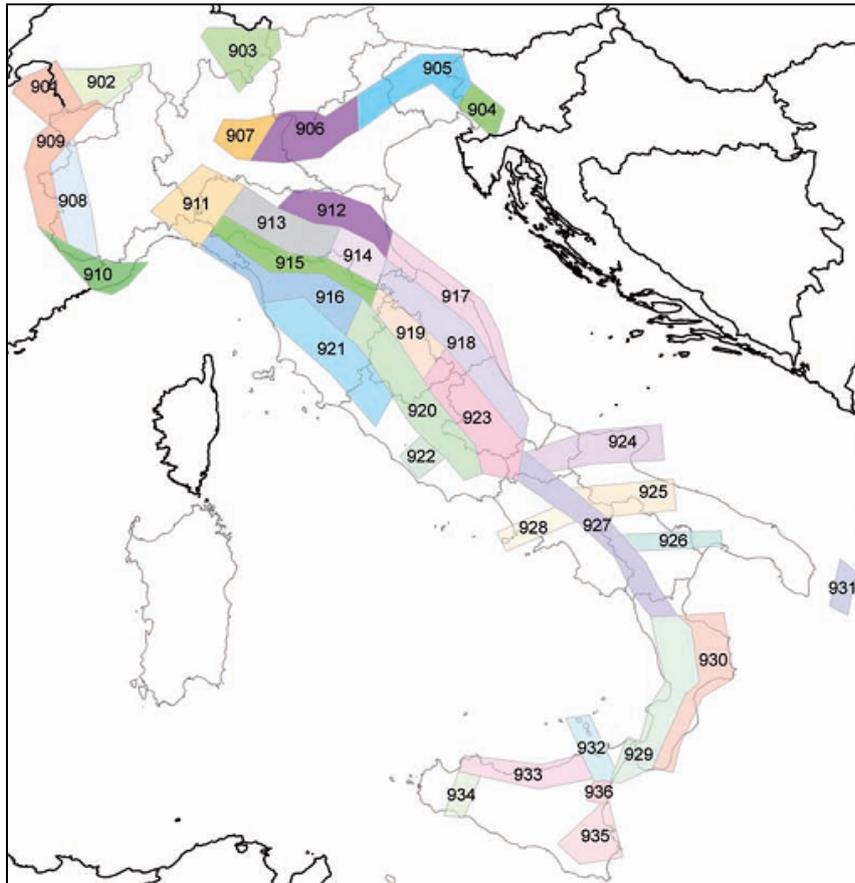
Effetti	In occasione del terremoto del:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
8	1584	09	10	20	30	Appennino tosco-emiliano	18	9	5.97
4	1875	03	17	23	51	Romagna sud-orient.	143	8	5.74
6	1887	09	30	15	52	FAENZA	11	6-7	4.83
5	1889	12	12			SAN PIERO A SIEVE	4	6	4.83
4	1897	12	18	07	24	Appennino umbro-march.	132	7-8	5.18
3	1899	06	26	23	17	Valle del Bisenzio	134	7	5.09
3	1904	11	17	05	02	PISTOIESE	204	7	5.18
3	1909	08	25	00	22	MURLO	283	7-8	5.40
6	1911	02	19	07	18	Romagna meridionale	185	7	5.38
5	1913	07	21	22	35	VALLE DEL LAMONE	43	6	5.07
3	1914	10	27	09	22	GARFAGNANA	618	7	5.79
4	1915	01	13	06	52	AVEZZANO	1040	11	6.99
5	1916	05	17	12	50	Alto Adriatico	130	8	5.85
5-6	1917	04	26	09	35	MONTERCHI-CITERNA	128	9-10	5.80
7-8	1918	11	10	15	12	Appennino romagnolo	95	8	5.79
5	1919	06	29	15	06	Mugello	267	9	6.18
4	1919	10	25	13	51	MONTERCHI	30	6	5.15
4	1920	09	07	05	55	Garfagnana	638	10	6.48
4	1956	05	26	18	40	S. SOFIA	11	6-7	5.09
F	1957	04	17	02	22	S. SOFIA	14	6	4.85
4-5	1970	02	09	07	39	MERCATO SARACENO	30	5-6	4.67
4	1987	07	05	13	12	VALMARECCHIA	90	6	4.65
3-4	1998	03	26	16	26	APPENNINO UMBRO-MARCH.	408	6-7	5.33

**Figura 4** Storia sismica di Bagno di Romagna, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>.

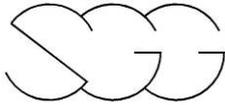
Ai fini della parametrizzazione sismica assume particolare importanza il valore della magnitudo attesa. Tale parametro entra in gioco in quanto, maggiore è la magnitudo maggiore è l'energia rilasciata e quindi la capacità di generare cicli di deformazione del terreno di numero ed ampiezza.

Secondo la mappa delle zone sismo genetiche, il territorio di Bagno di

Romagna ricade parzialmente all'interno della zona sismogenetica 915 (fig. 5) ed in parte nella 914. La magnitudo attesa per l'area in studio, considerando cautelativamente il valore più elevato, risulta essere pari a 6,60 (fig. 6).



**Figura 5** Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004)



Nome ZS	Numero ZS	M <sub>wmax</sub>
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio – Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

**Figura 6** Valori di M<sub>wmax</sub> per le zone sismogenetiche

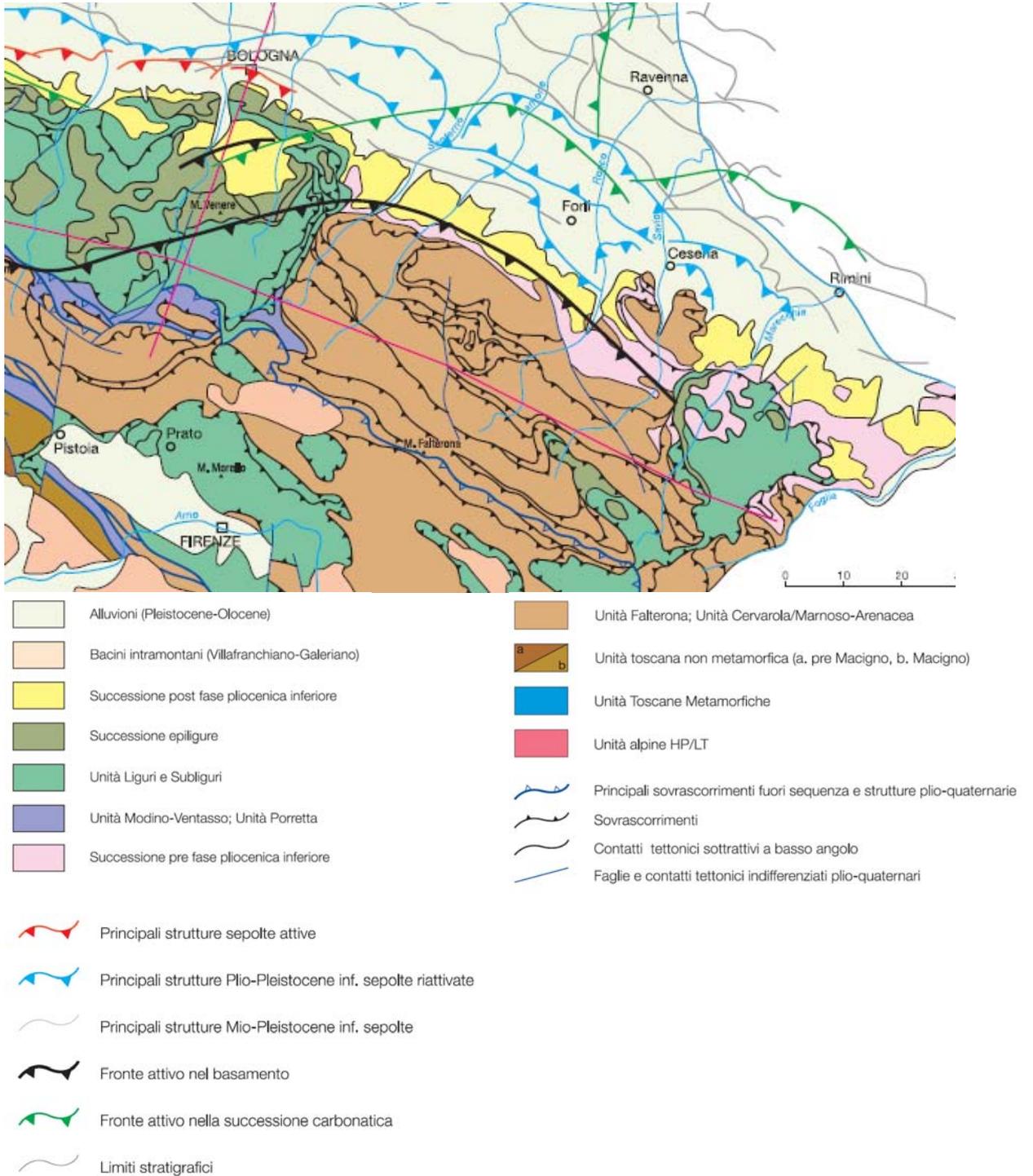
### 3 - INQUADRAMENTO STRUTTURALE

Dal punto di vista tettonico-strutturale, nell'area in esame si verifica la presenza di strutture principali ad andamento appenninico (NO-SE) che testimoniano la presenza di una tettonica prevalentemente compressiva con strutture plicative, prevalenti sulle disgiuntive ad andamento antiappenninico. Dal punto di vista geologico-strutturale, l'area risulta interessata da una fascia intramontana depressa con orientamento appenninico (NO-SE), denominata Sinclinale di S.Piero, costituita da terreni autoctoni della Serie Umbro-Marchigiano-Romagnola, e da anticlinali sviluppate lungo la medesima direzione appenninica. Lungo la principale depressione sopra citata si rileva l'affioramento di un grosso nucleo di terreni ascrivibili ai Complessi Tosco-Emiliani alloctoni che, con modalità di colata gravitativa, sono sovrascorsi sugli autoctoni.

I terreni affioranti nell'area di studio appartengono a depositi alluvionali terrazzati ricoprenti il bedrock costituito da terreni della Serie Umbro-Marchigiano-Romagnola della Formazione Marnoso Arenacea. Tale Formazione rappresenta un deposito costituito da torbiditi pelitico arenacee di piana bacinale (Burdigaliano sup. – Tortoniano sup.), e da depositi di scarpata e di piattaforma (Tortoniano sup. - Messiniano inf.).

I depositi torbiditici sono suddivisi in interni (riempimento avanfossa Langhiana e Serravalliana) ed in esterni (riempimento avanfossa serravalliana sup. e Tortoniana).

La sismicità della zona, dal punto di vista generale, è legata al sistema di grandi faglie inverse che interessano la Formazione Marnoso Arenacea. Si nota infatti che gli epicentri si allineano lungo tali discontinuità ed in particolare lungo la faglia di S.Sofia-Quarto e Marradi-S.Benedetto in Alpe. Si tratta di faglie che presentano gli stessi caratteri geometrici e meccanici delle fratture interessanti l'area di studio. Le profondità ipocentrali riscontrate sono in genere inferiori a 10 Km, con sollecitazioni superficiali a carico della copertura.



**Figura 7** Schema tettonico tratto dalle note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna



## 4 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio del Comune di Bagno di Romagna è caratterizzato da un substrato geologico coincidente con la Formazione Marnoso-Arenacea (FMA) del Burdigaliano superiore - Tortoniano superiore. La Formazione marnoso-arenacea è un flysch, costituito da alternanze di arenarie e peliti torbiditiche e di subordinate marne emipelagiche, in cui talvolta si riscontrano anche livelli torbiditici carbonatici. Le sue successioni sono normalmente caratterizzate da pacchi di strati paralleli di enorme spessore e di grande estensione areale, in cui le arenarie, più o meno calcaree, si alternano ritmicamente a peliti e marne. Le dimensioni dei livelli arenitici raramente scendono a valori inferiori ai venti centimetri e altrettanto di rado superano lo spessore di un metro. Gli spessori della parte marnoso - pelitica sono invece assai variabili. Essa può ridursi in modo estremo, oppure assumere una netta prevalenza. In casi limite si hanno rocce quasi completamente arenacee oppure decisamente marnose.

I vari membri della marnoso arenacea , come già detto, si distinguono in funzione della litofaces litoide (arenarie calcaree) e di quella pelitica. Nel territorio comunale i membri in cui prevale la litofaces litoide e quelli in cui prevale la litofaces pelitica sono circa equivalenti.

La Formazione Marnoso-Arenacea in vari settori del fondovalle, è coperta da depositi alluvionali recenti e terrazzati antichi dello spessore variabile; localmente sui versanti, la Formazione Marnoso-Arenacea è caratterizzata da numerosi corpi franosi di varia origine e dal diverso grado di attività. I depositi di frana, pur interessando marginalmente gli ambiti urbanizzati, rappresentano per questo territorio una problematica significativa.

La sottostante Carta Geologica (fig. 8) è prodotta dal Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna.



- Province
- Comuni
- Risorse e prospezioni (50K)**
  - ▲ cava attiva
  - ▼ cava inattiva
- Punti di osservaz. e misura (50K)**
  - ⊕ slumping intraformazionale non cartografabile
  - ⊕ stratificazione a polarità sconosciuta
  - ⊖ stratificazione contorta con valori medi di immersione ed inclinazione
  - ⊙ stratificazione dritta
  - + stratificazione orizzontale
  - stratificazione rovesciata
  - ⊙ stratificazione verticale a polarità sconosciuta
  - ⊖ stratificazione verticale con polarità
- Tracciati geologici (50k)**
  - traccia di sezione geologica
- Linee geomorf./antrop. (50K)**
  - orlo di terrazzo fluviale certo
  - - orlo di terrazzo fluviale incerto
  - + trincea di deformazione gravitativa profonda di versante certa
- Isolinee di unità del sottosuolo (50k)**
  - isobata della base del pliocene
- Elementi strutturali (50K)**
  - ↗ traccia di superficie assiale di anticlinale con asse inclinato certa
  - ↔ traccia di superficie assiale di anticlinale con asse orizzontale certa
  - ↖ traccia di superficie assiale di anticlinale con asse orizzontale incerta
  - ↘ traccia di superficie assiale di sinclinale con asse inclinato certa
  - ↔ traccia di superficie assiale di sinclinale con asse orizzontale incerta
- Limiti di unità geologiche (50K)**
  - contatto stratigrafico o litologico certo
  - faglia certa
  - - faglia diretta certa
  - - faglia incerta
  - ↖ sovrascorrimento principale certo

Comune di Bagnolo di Romagna (FC)  
Studio di microzonazione sismica  
Relazione tecnica

- Ambienti deposiz. e litologie (50K)**
- ghiaia sabbioso-argillosa di piana alluvionale
  - limo argilloso-sabbioso di piana alluvionale
  - sabbia limoso-argillosa di piana alluvionale
- Unità geologiche (50K)**
- AES - Sintema emiliano-romagnolo superiore
  - AES6 - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Substema di Bazzano
  - AES7 - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Substema di Villa Verucchio
  - AES8 - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Substema di Ravenna
  - AES8a - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Substema di Ravenna - unità di Modena
  - ANT - Formazione di Antognola
  - AQV - Formazione di Acquaviva
  - AQVa - Formazione di Acquaviva - litofacies conglomeratica
  - AVR - Argille varicolori della Val Marecchia
  - BABa - Formazione del Barbotto - litofacies marnoso-calcareo
  - BABb - Formazione del Barbotto - litofacies marnoso-arenacea
  - CGE - Argille di Casa i Gessi
  - FAA - Formazione delle Argille Azzurre
  - FAA2 - Formazione delle Argille Azzurre - Membro delle arenarie di Borello
  - FAA2a - Formazione delle Argille Azzurre - Membro delle arenarie di Borello - litofacies arenaceo-pelittica
  - FAA2b - Formazione delle Argille Azzurre - Membro delle arenarie di Borello - litofacies arenacea
  - FAA2c - Formazione delle Argille Azzurre - Membro delle arenarie di Borello - litofacies grossolana bioclastica
  - FAA2d - Formazione delle Argille Azzurre - Membro delle arenarie di Borello - litofacies conglomeratica
  - FAA2e - Formazione delle Argille Azzurre - Membro delle arenarie di Borello - olistostroma di S. Maria di Riopetra
  - FAA2f - Formazione delle Argille Azzurre - Membro delle arenarie di Borello - breccia a blocchi di Sogliano
  - FAA2g - Formazione delle Argille Azzurre - Membro delle arenarie di Borello - breccia a matrice argillosa varicolorata
  - FMA13b - Formazione Marnoso-Arenacea - Membro di Fontanelice - litofacies della Val Samoggia
  - GES - Formazione delle Argille Azzurre - olistostromi della Formazione Gessoso-Solfifera
  - IMO - Sabbie di Imola
  - LAD - Arenarie di Lardiano
  - MFU - Formazione di Monte Fumaiole
  - MLL - Formazione di Monte Morello
  - SMN - Formazione di S. Marino
  - SVG - Arenarie e argille di Savignano
  - TCO - Marne di Corpòlo
  - a1 - Frana in evoluzione
  - a2 - Frana quiescente
  - a3 - Detrito di versante s.l.
  - av - Formazione delle Argille Azzurre - argille varicolori
  - gs - Membro delle arenarie di Borello - olistostroma di S. Maria di Riopetra - olistoliti di gesso
  - i2 - Conoide torrentizia inattiva

**Figura 8** - Estratto della Carta Geologica della Regione Emilia Romagna



## 5 - INDAGINI SVOLTE

### 5.1 Indagini pregresse

La prima fase di tale incarico si è basata sulla raccolta dei dati esistenti ed in particolare sul reperimento dei risultati delle indagini precedentemente svolte nel territorio del Comune di Bagno di Romagna. L'amministrazione comunale ci ha fornito i dati relativi a delle prove, identificabili come indagini dirette (prove penetrometriche e sondaggi geognostici) e come indagini indirette (prove geofisiche MASW, prove Re.Mi).

L'elevato numero di prove disponibili e l'esistenza di specifici elaborati geologici di dettaglio ha perciò permesso di limitare le nuove indagini; per quest'ultime sono state preferite le misure tomografiche e quelle sismiche nei settori più scoperti dalle precedenti indagini, nelle aree urbanizzate ed in quelli in cui sono previste della modifiche urbanistiche.

Complessivamente, le precedenti indagini sono così riassumibili:

#### Indagini dirette

- n° 23 sondaggi geognostici
- n° 37 prove penetrometriche CPT

#### Indagini indirette

- n° 3 prove MASW
- n° 6 profili sismici
- n° 1 prove HVSR

Gli elaborati grafici di tali prove non verranno consegnati su formato cartaceo, ma fanno parte del database GIS secondo quanto previsto dagli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" Versione2.0 (Giugno 2012).

Per ogni indagine puntuale o lineare è stato compilato il database, seguendo una maschera di immissione dati personalizzata.

Indagini_Puntuali		Indagini_Puntuali			
pkey_spu	pkey_indpu	classe_ind	tipo_ind	ID_INDP	
1	1	GS	CPTU	40004P001CPTU01	
id_indpuex		arch_ex			
B1 (1)		SPG			
note_ind					
prof_top		prof_bot		spessore	
0		-8,8		8,8	
quota_slm_top		quota_slm_bot		data_ind	doc_pag
186		177,2		17/01/2011	5
doc_ind					
..\..\Indagini\Documenti\B1.pdf					

Ad ogni entità inserita nel database, che è stato popolato secondo i campi previsti dagli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” Versione2.0 (Giugno 2012), è stato collegato con un oggetto nello shapefile puntuale o lineare come indicato dagli stessi standard. Sono stati inoltre aggiunti alcuni nuovi campi per facilitare le funzioni di elaborazione grafica ed al fine di aumentare le informazioni ottenibili dagli shapefile.

## 5.2 Indagini attuali

La prospezione geofisica e le misure tomografiche sono state eseguite nei giorni dal 6 al 15 Marzo 2013. L’ubicazione complessiva delle indagini è riportata in dettaglio nell’elaborato “Carta delle indagini”.

L’indagine geofisica e geotecnica si è svolta attraverso l’esecuzione di 9 prove MASW per l’acquisizione delle onde superficiali di Rayleigh, con l’esecuzione di 10 misure HVSR (fig. 9) a stazione singola della durata di 20 minuti ciascuna e con 4 prove penetrometriche.



**Figura 9 – Misura HVSR**

Le prove vengono riassunte nelle successive tabelle con la sigla con cui sono contraddistinte nella “Carta delle Indagini”

MASW 1	40001L005MASW05
MASW 2	40001L006MASW06
MASW 3	40001L007MASW07
MASW 4	40001L008MASW08
MASW 5	40001L009MASW09
MASW 6	40001L010MASW10
MASW 7	40001L011MASW11
MASW 8	40001L012MASW12
MASW 9	40001L013MASW13

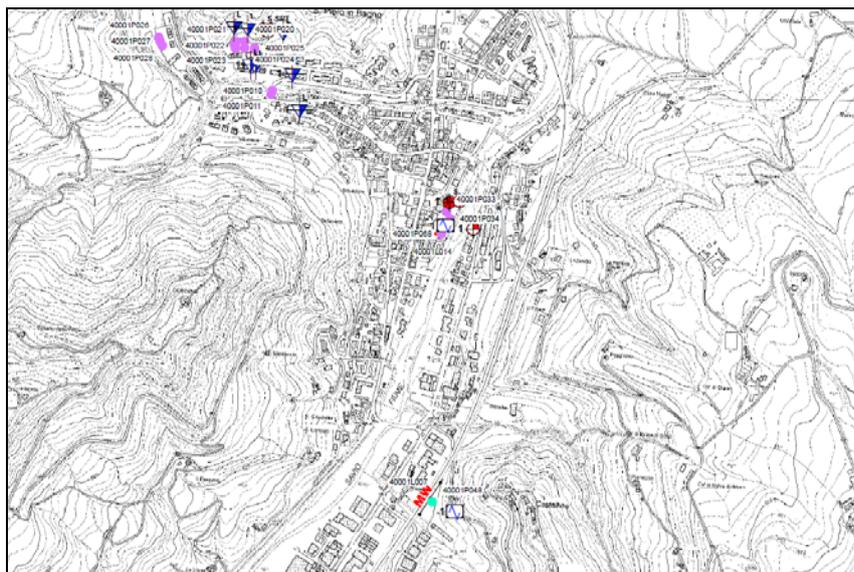
HVSR 1	40001P046HVSR54
HVSR 2	40001P047HVSR55
HVSR 3	40001P048HVSR56
HVSR 4	40001P049HVSR57

HVSR 5	40001P050HVSR58
HVSR 6	40001P052HVSR60
HVSR 7	40001P054HVSR62
HVSR 8	40001P055HVSR63
HVSR 9	40001P056HVSR64
HVSR 10	40001P057HVSR65

PROVA PENETROMETRICA 1	40001P070DP84
PROVA PENETROMETRICA 2	40001P071DP85
PROVA PENETROMETRICA 3	40001P072DP86
PROVA PENETROMETRICA 4	40001P073DP87

La carta delle indagini individua la posizione planimetrica di tutte le indagini svolte nell'ambito del progetto in esame. Tale carta, ed il relativo database, sono stati redatti, come già descritto in precedenza, secondo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" Versione2.0 (Giugno 2012).

Di seguito viene riportata la legenda della Carta delle Indagini.



## Legenda

### Indagini precedenti

- Ubicazione delle indagini puntuali
- Tipologie di indagini puntuali**
- ◆ Sondaggio a carotaggio continuo
- ◆ Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
- ◆ Sondaggio con prelievo di campioni
- ◆ Sondaggio con piezometro
- ◆ Prova penetrometrica in foro (SPT)
- ◆ Prova penetrometrica dinamica pesante
- ◆ Prova penetrometrica dinamica leggera
- ◆ Prova penetrometrica statica
- ◆ Prova penetrometrica statica con piezocono
- ◆ Stazione microtremore a stazione singola
- Sezione geologica
- ◆ MW Prove MASW

### Indagini attuali

- Ubicazione delle indagini puntuali
- ◆ Stazione microtremore a stazione singola di nuova realizzazione
- ◆ Prova penetrometrica dinamica pesante di nuova realizzazione
- ◆ MW Prove MASW di nuova realizzazione

**Figura 10** – Estratto e legenda della Carta delle indagini

## 6 – ESECUZIONE DEI RILIEVI

### **Prove Multi-channel Analysis of Surface Waves (“MASW”)**

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).

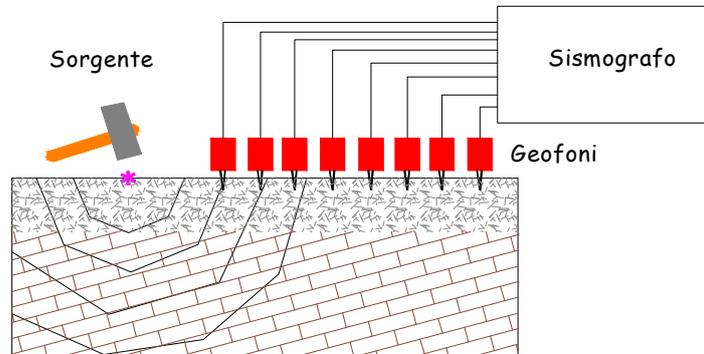
Le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005). Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell’effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

La classificazione dei terreni è stata quindi svolta sulla base del valore della  $V_{sH}$  e della  $V_{s30}$  (il valore medio ponderato della VS nei primi 30m di profondità) definita dalla relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}} \quad \text{eq. (1)}$$

in cui  $V_{si}$  e  $h_i$  sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dell’i-esimo strato

Lo scopo della prova MASW è quello di ricostruire il profilo di rigidezza del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh con un successivo processo d’inversione, attraverso il quale è fornita una stima indiretta della distribuzione delle Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio).



**Figura 11 - Stendimento sismico**

La prova consiste nel produrre in un punto sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione dinamica verticale in un determinato campo di frequenze e nel registrare tramite uno stendimento lineare di sensori (fig. 11) le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

### **Curva HVSR**

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. Le frequenze di risonanza corrispondono ai massimi della funzione che rappresenta rapporti spettrali medi in funzione della frequenza (funzione H/V). L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente

L'idea di base è quella secondo cui il rapporto H/V consente in media di eliminare il ruolo delle variazioni di intensità delle sorgenti nel corso della registrazione mettendo in evidenza il ruolo della struttura.

In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza  $f_r$  relativa a quella

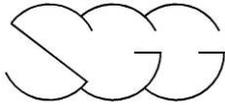
configurazione strutturale (con  $f_r$  circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Si osserva anche una certa correlazione (fortemente non lineare) fra l'entità della variazione di velocità responsabile dei fenomeni di risonanza e l'ampiezza del massimo della funzione  $H/V$  (maggiore è il contrasto di impedenza sismica, maggiore è l'entità del massimo).

La struttura del campo d'onde presente nel terreno (rumore sismico ambientale, microtremore, rumore sismico o seismic noise) è condizionata dalle caratteristiche delle sorgenti che lo determinano (siano esse naturali o antropiche) e dalle proprietà meccaniche dei terreni. Infatti, ciascuna sorgente genera un treno d'onde che raggiunge il punto di misura con caratteristiche che dipendono dall'entità delle sollecitazioni nelle componenti orizzontali e verticali del moto e dalle modalità di propagazione fra la sorgente e il sito in funzione dei fenomeni di riflessione, rifrazione e diffrazione che hanno luogo in corrispondenza di variazioni delle proprietà meccaniche dei terreni nel sottosuolo. In genere, nel campo di rumore ambientale, saranno presenti sia onde di volume (P e S in quantità variabili) che onde superficiali (Love e Rayleigh).

Se si considera un intervallo di tempo opportunamente lungo (dell'ordine delle decine di minuti), le proprietà medie di un campo d'onde sismiche generato da una molteplicità di sorgenti differenti, distribuite casualmente attorno a un punto di misura, tendono ad avere un andamento che non dipende dalle singole sorgenti che hanno generato il campo, ma solo dalle proprietà del mezzo in cui le onde si propagano e dal livello energetico medio dell'attività antropica o naturale.

In particolare, si può immaginare che, in media, le componenti orizzontali e verticali del moto del suolo tendano a essere sollecitate in modo equivalente, con un'ampiezza media pari al livello medio del rumore in quell'intervallo temporale. In questa ipotesi, i rapporti fra le ampiezze verticali e orizzontali del moto ( $H/V$ ) saranno statisticamente indipendenti dalle caratteristiche delle sorgenti.

Si può dimostrare che la frequenza di risonanza  $\nu_0$  di una copertura



sedimentaria di spessore  $H$  sovrapposta a un basamento rigido e in condizioni di stratificazione piana è data dal rapporto fra la velocità media delle onde  $S$  nel sedimento ( $V_s$ ) e 4 volte lo spessore  $H$  ( $v_0 = V_s/4H$ ). Utilizzando questa relazione è possibile risalire dalla frequenza di risonanza misurata allo spessore della copertura una volta nota la velocità delle onde di taglio o, viceversa a questa ultima se lo spessore  $H$  è noto.

Studi teorici mostrano che se il rumore è effettivamente dominato da onde di volume emergenti da direzioni sub-verticali, l'andamento e l'ampiezza della funzione  $H/V$  riflettono quelle della funzione di risposta del deposito sedimentario analizzato. In caso contrario si vede che l'ampiezza dei massimi della funzione  $H/V$  è correlata (ma non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica presente alla base della copertura.

L'assenza di massimi della funzione  $H/V$  suggerisce l'assenza di fenomeni di amplificazione sismica dovuti a fenomeni di risonanza.

Le registrazioni di microtremori, della durata di 20 minuti, sono state effettuate con il tromografo digitale TROMINO ENGY PLUS (specifiche tecniche su [www.tromino.it](http://www.tromino.it)), strumento appositamente progettato per questo scopo.

## 7 - ANALISI DELLA DISPERSIONE DELLE ONDE SUPERFICIALI

Il metodo “MASW” consente di eseguire un’analisi dei dati sismici in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della velocità delle onde S.

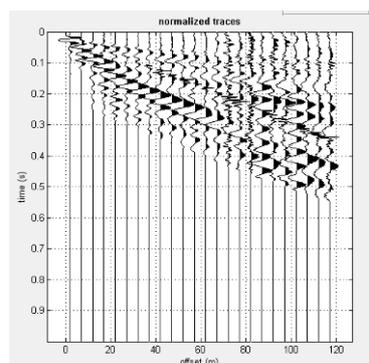
Per l’interpretazione dei dati sperimentali è stato utilizzato uno specifico programma (winMASW Professional Version 4.1).

Il profilo verticale di  $V_s$  è ottenuto tramite l’inversione (considerando tanto il modo fondamentale che quelli superiori) delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

La procedura si sviluppa in due fasi:

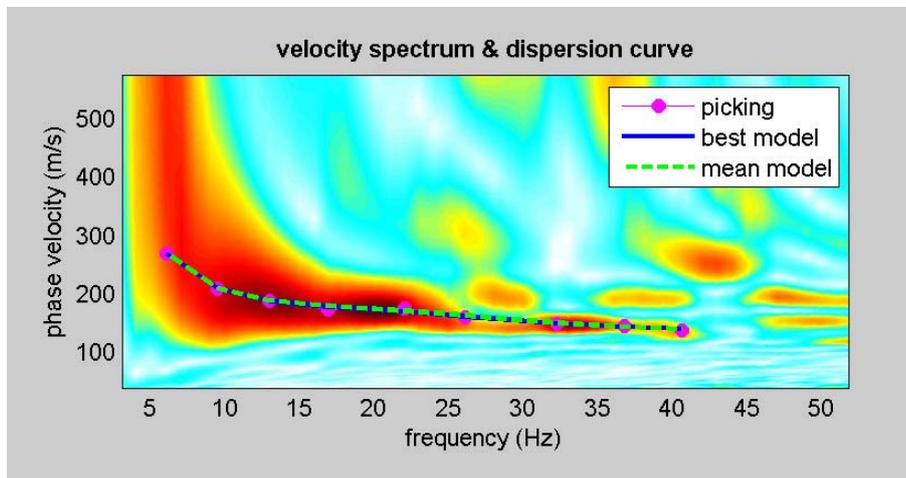
- Determinazione dello spettro della velocità sulla quale si identifica la curva di dispersione
- Inversione della curva di dispersione attraverso l’utilizzo di algoritmi genetici.

L’elaborazione del segnale consiste inizialmente nel calcolo dello spettro di velocità dei dati sismici acquisiti in campagna (fig. 12).



**Figura 12:** dati di campagna

Sullo spettro di velocità calcolato (fig. 13) è eseguito un “picking” della curva di dispersione (soprassegno con cerchietti) individuando un insieme di punti che appartengono ad un certo modo (in questo caso al modo fondamentale) di propagazione dell’onda superficiale di Rayleigh.



**Figura 13:** esempio di spettro di velocità tratto dalla prova MASW e relativo picking

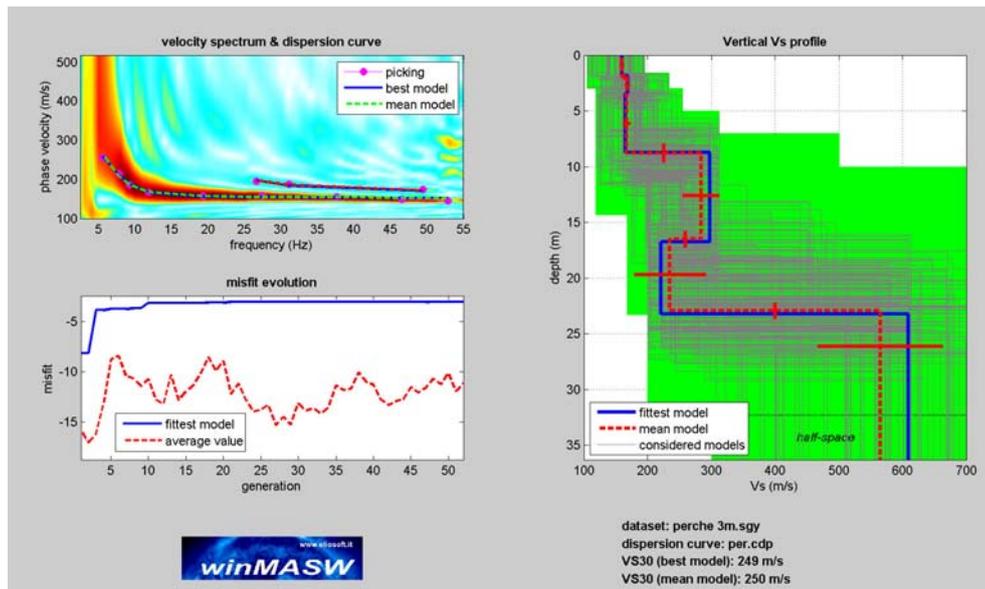
Allo scopo di ottenere una prima valutazione del possibile modello del terreno è altresì effettuata una modellazione diretta del terreno tramite il calcolo di una curva di dispersione appartenente ad un modello a quattro strati, i cui valori di  $V_s$  e degli spessori sono definiti sulla base di osservazioni desunte e dalla tomografia sismica a rifrazione e delle stratigrafie delle prove penetrometriche.

Successivamente per ottenere il profilo verticale di  $V_s$  è eseguita l'inversione della curva di dispersione precedentemente individuata. Tale inversione è eseguita tramite l'utilizzo di algoritmi genetici che consentono di ottenere soluzioni affidabili ed una stima dell'attendibilità del modello ricavato in termini di deviazione standard.

L'operazione di inversione è ottimizzata definendo uno spazio di ricerca i cui confini sono definiti da valori di  $V_s$  e spessori all'interno dei quali si cerca la soluzione. Tali assunzioni sono fatte sulla base delle conoscenze geologiche del sito e delle informazioni derivate dalle prove penetrometriche e dai sondaggi geognostici.

Una volta fissati i limiti minimi e massimi dello spazio di ricerca, sono quindi impostati i parametri genetici che definiscono sia il numero di individui

(ossia il numero di modelli che costituiscono la popolazione che si evolverà verso soluzioni sempre migliori) sia il numero di generazioni al passare delle quali sono esplorati modelli sempre migliori.



**Figura 14:** Esempio di risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (modello "migliore" e medio sono tipicamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" utile per la valutazione dei valori di deviazione standard tra il modello medio e quello migliore ai fini di verificare l'accettabilità del modello ottenuto (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli Algoritmi Genetici – Dal Moro et al., 2007).

L'analisi dei dati attraverso l'uso di algoritmi genetici porta in ultima analisi alla definizione del profilo verticale della Vs (fig. 14) in funzione della profondità con associato il valore del  $V_{s30}$  o  $V_{sH}$ .

## 8 - ANALISI ED UTILIZZO DEI RAPPORTI SPETTRALI

La misura della funzione H/V è stata effettuata tramite l'acquisizione del rumore sismico ambientale in un punto per un tempo di venti minuti. Questa durata ha lo scopo di garantire la misura del campo di rumore generato da una molteplicità di sorgenti dalle diverse direzioni dello spazio.

La misura è stata effettuata utilizzando un sistema di acquisizione tri-direzionale caratterizzato da sufficiente sensibilità.

I risultati di ogni analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software GRILLA, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, la serie di rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 secondi) per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto. Su ciascuna di queste finestre viene calcolato lo spettro di ampiezza del segnale nelle tre componenti. In questa fase è stata applicato un sistema di lisciamento (smoothing) triangolare del 10% adottato per la determinazione dello spettro.

L'andamento dei rapporti spettrali è stato quindi ottenuto mediando i valori ottenuti per le diverse finestre temporali considerate. Per definire la qualità delle misure sono state anche valutate le variazioni temporali e azimutali dei rapporti spettrali nel corso della sessione di misura e fatta una stima del relativo intervallo di confidenza.

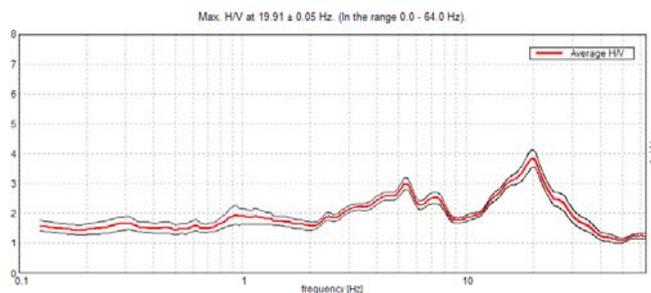
Di seguito sarà brevemente descritta la procedura di analisi seguita:

- Ciascuna delle tracce è suddivisa in segmenti o finestre di 20 secondi.
- In ogni finestra e per ciascuna delle tracce viene eseguita:
  - un'analisi preliminare: eliminazione di trend lineari (detrend) e tapering delle estremità.
  - la trasformata di Fourier (FFT)
  - il lisciamento degli spettri con finestra triangolare ampia una frazione della frequenza centrale (in questo lavoro generalmente il 10%).

- Le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali vengono mediate in modo geometrico, e vengono calcolati i rapporti HVSR (f), in ciascuna finestra temporale.
- Si calcolano i rapporti HVSR medi ed il relativo intervallo di confidenza al 95%. Alla frequenza di risonanza viene associata una stima dell'incertezza sperimentale.

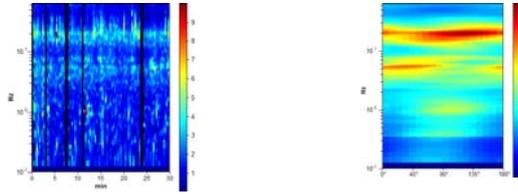
Lo spettro relativo alla componente orizzontale viene ottenuto effettuando la media (solitamente geometrica) delle due componenti spettrali del rumore sul piano orizzontale. La combinazione delle stime ottenute nelle diverse finestre temporali viene poi utilizzata per costruire la funzione H/V finale e stimare il relativo intervallo di confidenza. In particolare, la funzione H/V è ottenuta facendo la media dei valori delle funzioni H/V calcolate in ogni finestra temporale.

Sperimentalmente, l'analisi di qualità della misura può essere effettuata confrontando le ampiezze spettrali medie del rumore misurato lungo le due componenti orizzontali, oppure calcolare diversi valori della funzione H/V di volta in volta proiettando lungo direzioni differenti le ampiezze spettrali ottenute sul piano orizzontale (fig. 14). La stazionarietà nel tempo, invece, può essere valutata rappresentando in funzione del tempo le funzioni H/V ottenute nelle diverse finestre temporali considerate (fig. 15).



H/V TIME HISTORY

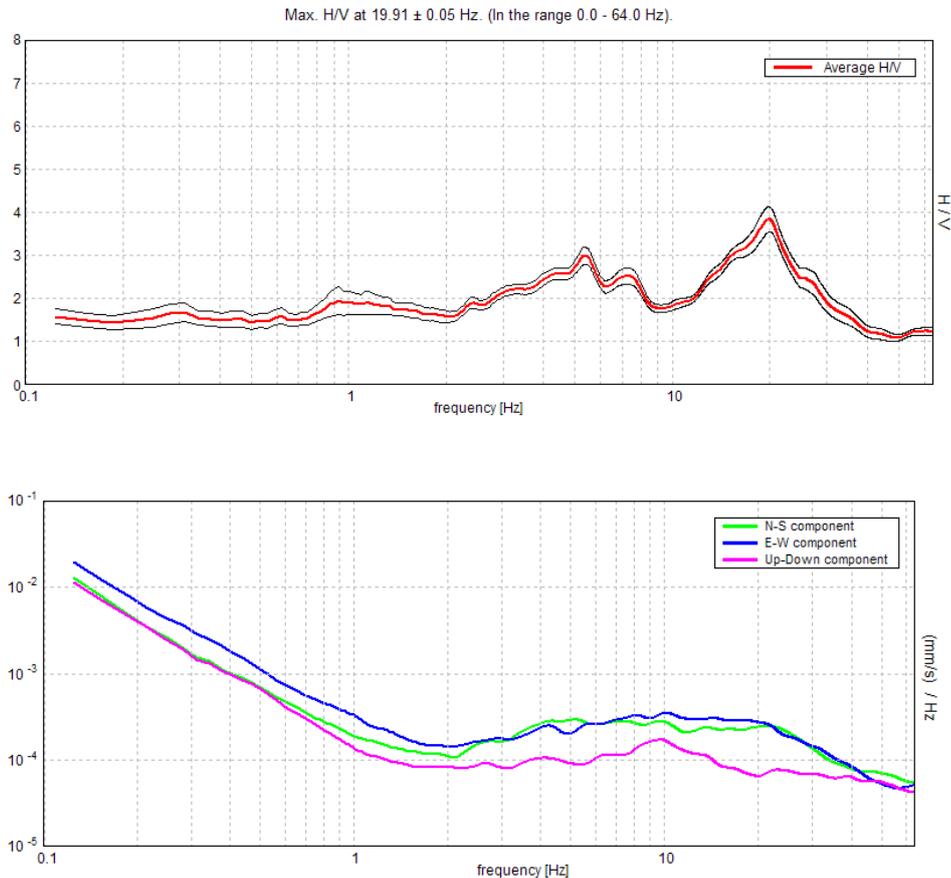
DIRECTIONAL H/V



**Figura 15:** Esempio di risultati delle analisi di rumore sismico relative a una corretta misura H/V. In alto sono riportati i valori del rapporto spettrale H/V in funzione della frequenza con il relativo intervallo di confidenza al 95%. In basso a sinistra è riportato l'andamento nel tempo (ascissa) dei valori H/V (colori) in funzione della frequenza (ordinata). In basso a destra sono invece riportati i valori della funzione H/V (colore) in funzione della frequenza (in ordinata) al variare della direzione del segnale (ascissa)..

Ai fini dell'affidabilità e della chiarezza del massimo della funzione H/V, infine è effettuata una analisi secondo i criteri determinati nell'ambito del progetto europeo SESAME per l'eliminazione di massimi spuri della funzione H/V, la cui presenza è frutto delle caratteristiche del campo d'onde sismiche e non della struttura locale del sottosuolo.

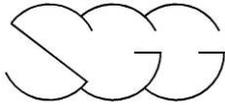
Infine, un buon indicatore della qualità del picco H/V può essere ottenuto dall'esame degli spettri singoli. Infatti, massimi fisicamente significativi sono generalmente associati a valori di ampiezza spettrale minima sulla componente verticale. La curva sottostante può essere considerata come un esempio di picco H/V chiaro e fisicamente significativo (fig. 16).



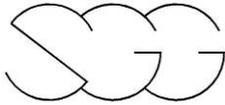
**Figura 16:** Esempio di andamento degli spettri relativi a una corretta misura H/V nella quale viene identificato un picco fisicamente significativo. Nella figura superiore è riportato l'andamento della curva H/V (curva rossa) e il relativo intervallo di confidenza (curve nere). Nella figura in basso sono riportati gli andamenti degli spettri di ampiezza del rumore sulla componente verticale (curva magenta) e sulle componenti orizzontali (curve verde e blu).

Come già ricordato, un picco chiaro e netto indica un buon contrasto di impedenza sismica; di conseguenza, un passaggio litologico significativo ad un litotipo avente spessori consistenti e che quindi può essere considerato sismicamente come il sub-strato.

Nel complesso le misure HVSR eseguite nel territorio del comune di Bagno di Romagna presentano un picco chiaro e netto corrispondente a



frequenze di risonanza fondamentali ( $F_0$ ) comprese tra 7 e 16 Hz e subordinatamente prossime a 2 Hz. Le misure 40001P050, 400001P052, 40001P056 identificano, inoltre, una frequenza di risonanza secondaria rispetto alla fondamentale ( $F_1$ ). Le misure hanno pertanto evidenziato frequenze di risonanza del sottosuolo corrispondenti ad uno o più passaggi litologici significativi; in particolare le misure 40001P046, 40001P049, 40001P068 sono caratterizzate da picchi di ampiezza notevole e pertanto individuano situazioni geologiche che possono determinare fenomeni di risonanza importanti nelle rispettive frequenze individuate. Solo nel caso della misura 40001P054 la curva HVSR mostra un andamento più o meno piatto individuando una situazione litologica caratterizzata dall'assenza di passaggi litologici netti nel sottosuolo.



## 9 - ANALISI DEI RISULTATI E RELATIVA CARTOGRAFIA

### 9.1 Introduzione

Come specificato negli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” Versione2.0”, tutti gli elaborati GIS sono stati georeferenziati nel sistema WGS84UTM33N, e sono stati redatti in scala 1:5000 e 1: 10.000.

I progetti GIS sono stati realizzati utilizzando il software ArcMap v.10 della ESRI; gli shapefiles sono stati organizzati in geodatabase secondo quanto previsto dagli standard. Per ogni shapefile è stato comunque creato un file con estensione “.lyr” che permetterà la ricostruzione delle simbologie indipendentemente dalla versione di ArcMap utilizzata.

La topografia di base è stata fornita dalla committenza e, dopo le opportune modifiche, è stata inserita nella cartella denominata “Basi\_Dati”

### 9.2 Carta geologico-tecnica

La carta geologico-tecnica rappresenta il documento di sintesi di tutti gli elementi geologici e geomorfologici che possono produrre modificazioni locali del moto sismico in superficie. In tale elaborato, redatto alla scala 1:5.000, sono state distinte le aree instabili con indicazione del grado di attività e della tipologia di movimento, i terreni di copertura e le aree caratterizzate dall'affioramento del substrato geologico. I terreni di copertura comprendono i depositi olocenici e pleistocenici, i depositi detritici di versante e di conoide.

TERRENI DI COPERTURA	
Unità di Modena	GM
Deposito alluvionale in evoluzione	GM
Subsistema di Ravenna	SP
Deposito di versante	fd (GM)
Conoide torrentizia in evoluzione	ca (GP)
Subsistema di Villa Verucchio	GM



Deposito eluvio-colluviale	ec (GM)
Detrito di falda	fd (GP)
Deposito palustre	pl (OH)
Deposito alluvionale in evoluzione fissato da vegetazione	GM
Travertini	Zz
Deposito lacustre	lc (OL)
Deposito antropico	RI

Il territorio del Comune di Bagno di Romagna è caratterizzato da un substrato geologico coincidente con la Formazione Marnoso-Arenacea (FMA) del Burdigaliano superiore-Tortoniano superiore. La Formazione marnoso-arenacea è un flysch, costituito da alternanze di arenarie e peliti torbiditiche e di subordinate marne emipelagiche, in cui talvolta si riscontrano anche livelli torbiditici carbonatici. Le sue successioni sono normalmente caratterizzate da pacchi di strati paralleli di enorme spessore e di grande estensione areale, in cui le arenarie, più o meno calcaree, si alternano ritmicamente a peliti e marne. In casi limite si hanno rocce quasi completamente arenacee oppure decisamente marnose.

Il substrato geologico talvolta non corrisponde con il substrato sismico ed è proprio per tale motivo che l'attribuzione geologico-tecnica, in diverse delle formazioni sotto riportate coincide con un substrato non rigido (NRS); tale assegnazione è legata al fatto che, nonostante queste formazioni costituiscono il litotipo di base per l'intera area con caratteristiche geologiche da basamento, sono caratterizzate da velocità delle onde S Vs inferiori a 800 m/sec.

<b>SUBSTRATO GEOLOGICO</b>	
MAC1 - Macigno - Membro arenaceo	ALS
FMA5 - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Collina	NRS
FMA3 - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Premilicuoere	ALS
cs - Strato Contessa	ALS
sl3 - Orizzonte caotico intraformazionale in FMA	NRS
FMA1a - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Biserno - litofacies arenaceo -pelitica di Rio Salso	ALS
FMA2 - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Corniolo	ALS



FMA1 - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Biserno	NRS
na - slump di Nasseto	NRS
FMA4 - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Galeata	ALS
FMA2a - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Corniolo - litofacies di Tombina	NRS
SNEa - Formazione di Monte Senario - litofacies arenacea	ALS
FMA9a - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Civitella di Romagna - litofacies arenacea	ALS
vl - livello Villaneta	ALS
ti - Colombina di Tiravento	ALS
va - Colombina della Valbura	ALS
sl - Orizzonti caotici intraformazionali	NRS
fr - Colombina della Fratta	ALS
rg - livello Raggio	ALS
ca - Strato Calanca	ALS
io - Colombina di Imolavilla	ALS
ab - Colombina di Fonte Abate	ALS
tp - Strato delle Trappole	NRS
cr - Strato Le Corbaie	ALS
fm - Livello Fiumicello	ALS
AVS - Argille Varicolori della Val Samoggia	NRS
cm - Livelli Colombine	ALS
mt - Colombina di Montellero	ALS
cz - Colombina di Cuzzano	ALS
STO - Scaglia Toscana	NRS
FMA5a - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Collina - litofacies arenacea	ALS
ANT - Marne di Antognola	NRS
FMA9 - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Civitella di Romagna	ALS
FMA9c - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Civitella di Romagna - litofacies pelitico-arenacea	ALS
FMA12c - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Castel del Rio - litofacies pelitico-arenacea	ALS
FMA3b - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Premilicuore - litofacies di Passo Lupatti	ALS
FMA5d - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Collina - litofacies pelitico-arenacea	NRS
FMA9b - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Civitella di Romagna - litofacies pelitica	NRS
ss - slump di Susinello	NRS
sl2 - Orizzonte caotico intraformazionale in FMA	NRS
VEG - Marne di Verghereto	NRS



STOb - Scaglia Toscana - litofacies a marne e siltiti di Fosso Fangacci	NRS
AVV - Argille Varicolori di Cassio	NRS
SNEc - Formazione di Monte Senario - litofacies arenaceo-calcareo-marnosa	ALS
SNEb - Formazione di Monte Senario - litofacies a brecciole	ALS
sl10 - Orizzonte caotico intraformazionale in FMA	NRS
MVS - Melange della Valle del Savio	NRS
VEG1 - Marne di Verghereto - membro di Montecoronaro	NRS
FMA9d - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Civitella di Romagna - litofacies pelitica di Sarsina	NRS
MAC2 - Macigno - Membro arenaceo-pelitico	ALS
lu - Calcarei con Lucine	LPS
CNA - Arenarie di Poggio Carnaio	ALS
FMA5c - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Collina - litofacies pelitico-arenacea di Poggio Castiglione	NRS
FMA3a - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Premilicuoire - litofacies di Campigna	ALS
ro - slump di Romiceto	NRS
CAP - Formazione di Campaolo	ALS
FMA4a - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Galeata - litofacies marnosa di Rullato	NRS
VEG2 - Marne di Verghereto - membro di San Paolo	NRS
cp - livello Fosso Caprie	NRS
vt - Livello di Vetreta	NRS

## Legenda

### Terreni di copertura

- RI Terreni contenenti resti di attività antropica
- GP Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
- GM Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
- CC Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argille
- SP Sabbie pulite con granulometria poco assortita
- OL Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità
- OH Argille organiche di media-alta plasticità, limi organici

### Substrato geologico

- LPS Lapideo stratificato
- ALS Alternanza di litotipi stratificato
- NRS Substrato geologico non rigido stratificato

### Instabilità di versante

- Scorrimento - attiva
- Colamento - attiva
- Complessa - attiva
- Non definito - attiva
- Scorrimento - quiescente
- Colamento - quiescente
- Complessa - quiescente
- Non definito - quiescente

### Forme di superficie e sepolte

- Conoide alluvionali
- Falda detritica
- Cavità sepolta isolata

### Elementi lineari

- Traccia di sinclinale
- Traccia di anticlinale

### Faglie non attive

- Diretta/contacto tettonico (certa)
- Diretta/contacto tettonico (presunta)
- Inversa (certa)
- Inversa (presunta)
- Trascorrente/obliqua/sovrascorrimiento (certa)
- Trascorrente/obliqua/sovrascorrimiento (presunta)
- Traccia della sezione geologica

### Elementi geologici e idrogeologici

- Giacitura strati
- Profondità (m) substrato rigido raggiunto da sondaggio o pozzo
- Profondità (m) sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato rigido

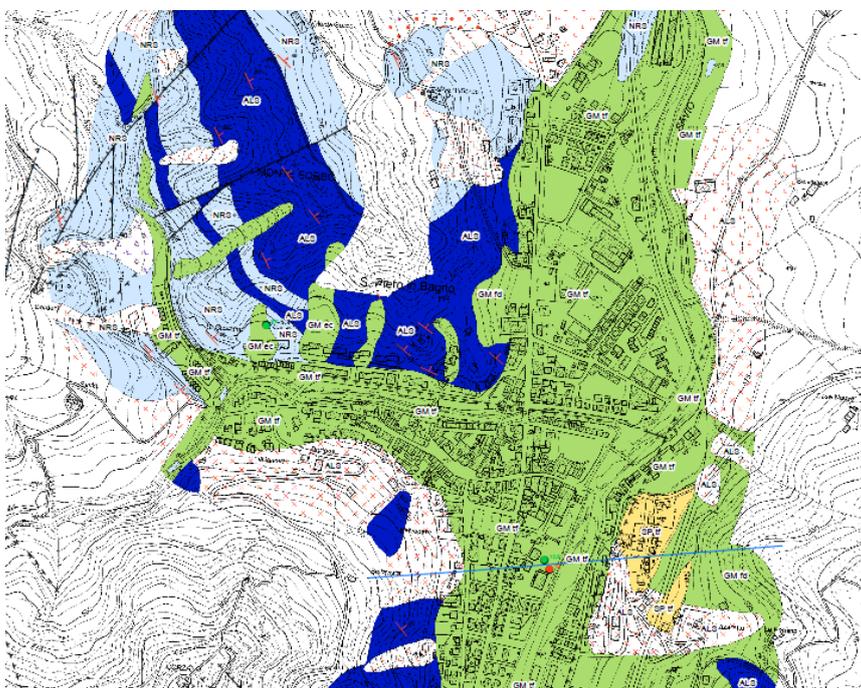


Figura 17 – Legenda ed estratto della Carta Geologico-tecnica

Le sezioni riportate in tale cartografia sono alla scala 1:2.500.

### 9.3 Carta delle frequenze

Di seguito si riportano i risultati delle analisi HVSR delle registrazioni di rumore sismico ambientale.

Per ciascun sito di misura identificato dalla denominazione HVSR e da un numero progressivo, si riportano i valori delle frequenze di risonanza associate a picchi significativi della curva HVSR.

Con la denominazione  $F_0$  (frequenza di risonanza fondamentale) sono state identificate le frequenze associate al picco principale della curva HVSR. Nel caso in cui la curva HVSR abbia evidenziato un ulteriore picco significativo, questa frequenza di risonanza è stata identificata con la denominazione  $F_1$ .

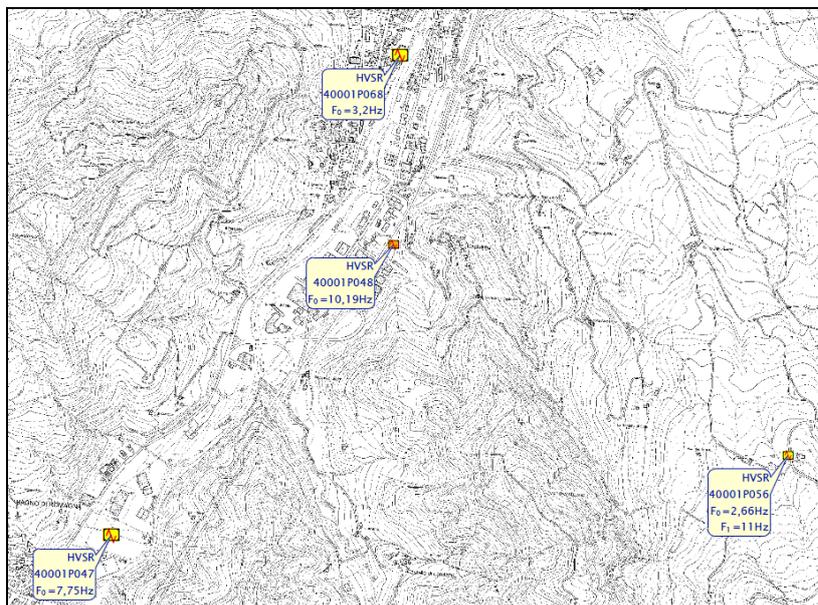
Per ciascuna prova tomografica, si riporta la frequenza di risonanza  $F_0$  con relativa ampiezza del picco della curva HVSR e, quando presente, la frequenza di risonanza  $F_1$ .

Misura HVSR	$F_0$ (Hz)	Ampiezza	$F_1$ (Hz)
40001P046	7,5	>3	
40001P047	7,75	>3	
40001P048	10,19	<3	
40001P049	1,84	>3	
40001P050	2,19	>3	1,72
40001P052	21,44	<3	3,91
40001P054	assente		
40001P055	16,41	<3	
40001P056	2,66	<3	11
40001P057	9,06	>3	
40001P068	14,4	<3	
40001P069	7,4	<3	

I risultati delle prove HVSR basate su registrazioni del rumore di fondo

vengono sintetizzati nella Carta delle Frequenze. Questo elaborato, così come tutti gli altri, vengono presentati sia in formato pdf che in formato vettoriale (shapefile).

Nella Carta delle Frequenze, redatta alla scala 1:10.000, sono stati riportati tutti i punti di misura con una simbologia tale da evidenziare i diversi valori delle frequenze di risonanza, espressa in Hz, e le relative ampiezze dei picchi.



### Legenda

#### Punti di misura HVSr

Ampiezza HVSr > 3

 1Hz < Fo < 2Hz

 2Hz < Fo < 8Hz

 Fo > 8Hz

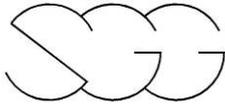
Ampiezza HVSr < 3

 2Hz < Fo < 8Hz

 Fo > 8Hz

 Assenza di picco di frequenza fondamentale

**Figura 18** – Estratto e legenda della Carta delle frequenze



I differenti colori indicano l'intervallo di frequenza in cui ricade il punto di misura; la dimensione del simbolo indica l'ampiezza del picco. Nel caso in cui sia presente una seconda frequenza di risonanza oltre al valore di  $F_0$ , è stato riportato anche il valore di  $F_1$ .

## 9.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

Questa cartografia rappresenta il documento fondamentale del livello 1 di microzonazione. In tale elaborato, redatto alla scala 1:5.000, sono individuate le aree omogenee dal punto di vista sismico e per le quali dovranno essere effettuate le indagini in applicazione al II° livello di microzonazione. Nell'intero territorio comunale sono presenti delle "zone stabili", delle "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali" e delle "zone suscettibili di instabilità".

Tutte le aree sono evidenziate nella successiva legenda

### Legenda

#### Zone stabili

 Zona stabile (alternanza di litotipi stratificati): Arenarie pelitiche e marne

#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

 Zona 1: Ghiaia limosa e sabbia soprastanti arenarie e peliti o argille siltose

 Zona 2: Ghiaia e sabbia limosa soprastanti sabbie con clasti e successivamente alternanze di litotipi arenacei e pelitici

 Zona 3: Sabbie con clasti soprastanti un'alternanze di litotipi arenacei e pelitici

 Zona 4: Travertini soprastanti arenarie e peliti o argille siltose

 Zona 5: Terreno di riporto poggiate su ghiaie e sabbie limose soprastanti sabbie con clasti e successivamente alternanze di litotipi arenacei e pelitici

 Zona 6: Argille varicolori e argille scagliose

 Zona 7: Alternanza di peliti e subordinatamente di arenarie

 Zona 8: Arenarie pelitiche e marne potenzialmente soggette ad amplificazione topografica

#### Zone suscettibili di instabilità

 Instabilità di versante: Attiva

 Instabilità di versante: Quiescente

 Instabilità di versante: Inattiva

#### Forme di superficie e sepolte

 Conoide alluvionali

 Falda detritica

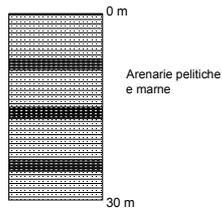
 Traccia della sezione topografica

**Figura 19 – Legenda della Carta MOPS**

Ognuna delle aree in cui è stato suddiviso il territorio e riportate nella soprastante legenda fanno riferimento ad una successione stratigrafica tipo, che viene riportata di seguito.

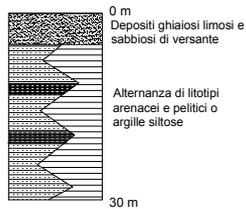
## ZONE STABILI

 Alternanza di litotipi stratificati

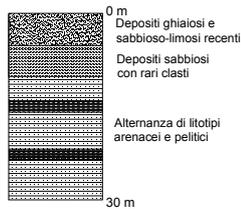


## ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

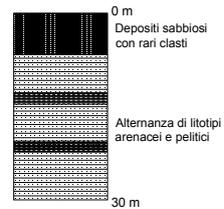
 Zona 1



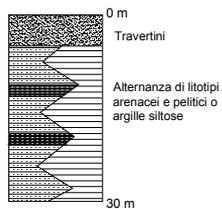
 Zona 2



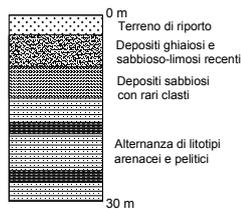
 Zona 3



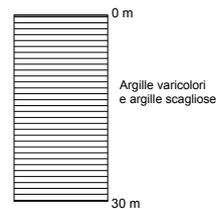
 Zona 4



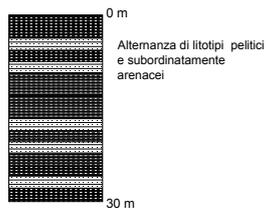
 Zona 5



 Zona 6



 Zona 7



Nello specifico si può osservare che le limitate estensioni delle zone stabili lasciano uno spazio prevalente alle zone stabili suscettibili ad amplificazione; le numerose ed anche ampie zone suscettibili di instabilità sono riconducibili a frane attive ed a frane quiescenti.

Tra le zone stabili suscettibili di amplificazione locale le zona 2 ed in maniera subordinata la zona 1, sono le prevalenti nelle aree di fondo valle relativamente pianeggianti. Negli altri settori la zona stabile suscettibile di amplificazione 7 rappresenta la maggioranza delle aree cartografate.

### **9.5 Carta della velocità delle onde di taglio S (Vs)**

L'esecuzione della nuova campagna di indagini consistenti in 9 prove sismiche MASW e 10 misure HVSR, insieme alle altre indagini sismiche esistenti hanno permesso, per le verticali indagate, la ricostruzione della velocità delle onde S (Vs) con il variare della profondità.

Le curve HVSR caratterizzate da picchi chiari e netti sono stati utilizzate ai fini della definizione del profilo di Vs, attraverso il processo di inversione implementato nel software GRILLA, esclusivamente nelle aree del territorio comunale non coperte da altre indagini sismiche.

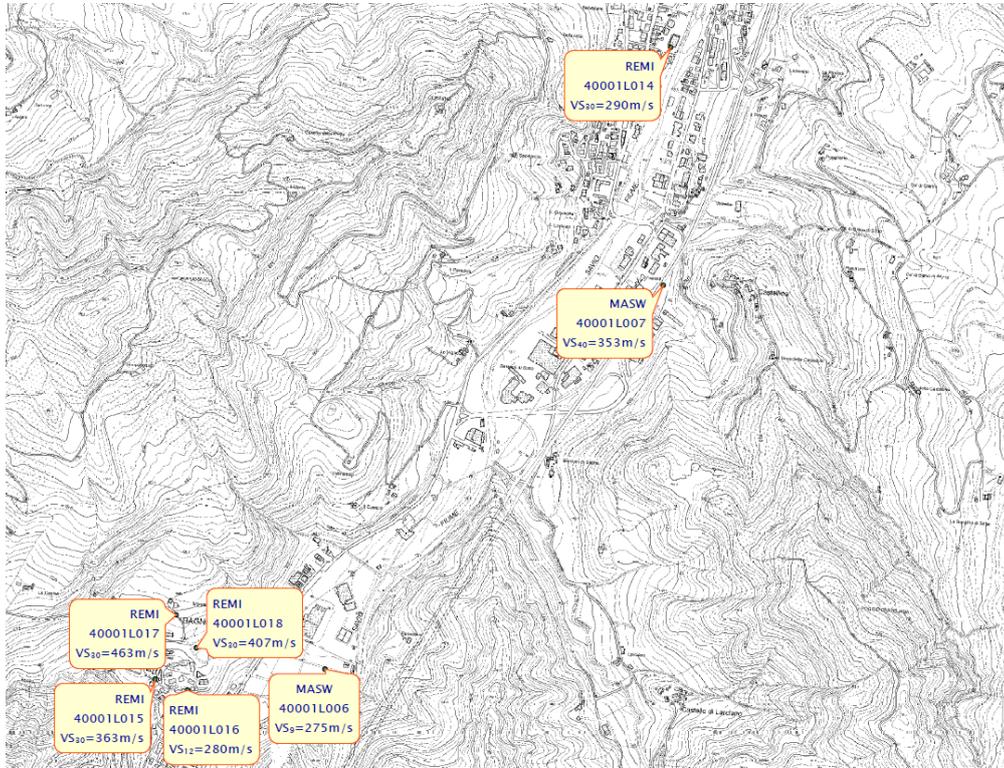
In appendice sono riportati i risultati delle prove MASW e delle misure HVSR utilizzate ai fini della definizione del profilo verticale di Vs.

Non essendo la Carta delle velocità delle onde di taglio (Vs) prevista nelle specifiche redatte dalla Protezione Civile, si è cercato di creare una struttura del database che fosse omogenea con gli standard nazionali.

Nella Carta della velocità delle onde S viene riportata, per ogni prova sismica il valore del  $V_{s30}$  nel caso in cui non ci siano contrasti di impedenza significativi (substrato profondo) o il valore di  $V_{sH}$  dove H è lo spessore della copertura posta al di sopra del substrato.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva con i risultati delle prove sismiche, espressi in termini di  $V_{S_{30}}$  o di  $V_{S_H}$ .

Indagine	Tipologia indagine	Vs
40001L005	masw	$V_{S_9} = 235$
40001L006	masw	$V_{S_9} = 275$
40001L007	masw	$V_{S_{40}} = 353$
40001L008	masw	$V_{S_{25}} = 204$
40001L009	masw	$V_{S_{13}} = 273$
40001L010	masw	$V_{S_{19}} = 271$
40001L011	masw	$V_{S_{34}} = 557$
40001L012	masw	$V_{S_{30}} = 1179$
40001L013	masw	$V_{S_{20}} = 695$
40001P046	HVSR	$V_{S_8} = 213$
40001P056	HVSR	$V_{S_{38}} = 379$
40001P057	HVSR	$V_{S_9} = 273$
40001L014	Re.mi.	$V_{S_{30}} = 290$
40001L015	Re.mi.	$V_{S_{30}} = 363$
40001L016	Re.mi.	$V_{S_{12}} = 280$
40001L017	Re.mi.	$V_{S_{30}} = 463$
40001L018	Re.mi.	$V_{S_{30}} = 407$
40001L019	Masw	$V_{S_{30}} = 453$



## Legenda

- Punto di misura delle VS con indicazione del tipo di indagine, del codice identificativo e del valore della velocità riferito alla profondità del substrato

**Figura 20** – Estratto e legenda della Carta della velocità delle onde di taglio S

## 10 - DETERMINAZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE SISMICA

Il calcolo dell'amplificazione sismica ed in particolare dei fattori di amplificazione, sono stati effettuati secondo quanto stabilito nell'Atto di Indirizzo e Coordinamento Tecnico n. 112/2007, ovvero utilizzando le metodologie concordate dal servizio preposto dalla Regione Emilia Romagna.

Per la determinazione dei fattori di amplificazione sono state utilizzate le tabelle dell'allegato A2 contenute nell'atto sopra citato, facendo riferimento ai valori riferiti all'ambito "APPENNINO E MARGINE APPENNINICO-PADANO" di seguito riportate.

### Appennino e Margine Appenninico – Padano

*In caso di substrato caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s*

#### F.A. P.G.A.

$V_{sH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.6	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	2.0	1.9	1.7	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
15	2.0	2.0	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0
20	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0
25	1.9	2.0	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2	1.0
30	1.8	1.9	1.9	1.9	1.7	1.5	1.5	1.4	1.2	1.0
35	1.7	1.8	1.9	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.0
40	1.6	1.8	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.0

#### F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s$

$V_{sH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	2.1	2.0	1.7	1.5	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
20	2.3	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
25	2.2	2.4	2.2	2.0	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
30	2.1	2.3	2.3	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0
35	1.9	2.1	2.3	2.2	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	1.0
40	1.8	2.0	2.3	2.3	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.0

#### F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.5s < T_0 < 1.0s$

$V_{sH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
20	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
25	2.1	2.1	1.5	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
30	2.4	2.3	1.9	1.5	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
35	2.5	2.4	2.3	1.8	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0
40	2.7	2.6	2.6	2.0	1.6	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0

In caso di substrato affiorante caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s

**F.A. P.G.A.**

$V_{sH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	2.0	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0
10	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.5	2.2	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.3	2.2	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0
25	2.1	2.1	2.1	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	1.9	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
35	1.8	1.9	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
40	1.7	1.9	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0

**F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.1s < T_o < 0.5s$**

$V_{sH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.6	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.6	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
25	2.4	2.6	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	2.2	2.4	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6	1.3	1.1	1.0
35	2.0	2.2	2.3	2.2	1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
40	1.8	2.0	2.3	2.3	2.1	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0

**F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.5s < T_o < 1.0s$**

$V_{sH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.1	1.0
15	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.0
20	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0
25	2.4	2.4	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0
30	2.8	2.8	2.4	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.0
35	3.0	2.9	2.7	2.1	1.7	1.6	1.5	1.3	1.3	1.0
40	3.1	3.0	2.8	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.0

**F.A. P.G.A.**

$V_{s30}$	450	500	600	700	800
F.A.	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0

**F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.1s < T_o < 0.5s$**

$V_{s30}$	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.4	1.3	1.1	1.0

**F.A. INTENSITA' SPETTRALE -  $0.5s < T_o < 1.0s$**

$V_{s30}$	450	500	600	700	800
F.A.	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0

Per le varie prove sismiche, conoscendo la stratigrafia puntuale, è stato scelto caso per caso il valore di  $V_{sH}$  o di  $V_{s30}$ . Utilizzando le tabelle relative all'ambito individuato è possibile trovare il valore del fattore di amplificazione, al variare della  $V_s$  che può essere relativa ad un preciso spessore H ( $V_{sH}$ ) o ai primi 30 metri di profondità ( $V_{s30}$ ).

## 11 - CARTE DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO (FATTORE DI AMPLIFICAZIONE)

L'elaborato conclusivo dello studio di microzonazione sismica di II° livello del comune di Bagno di Romagna, è costituito dalla realizzazione delle carte dei *fattori di amplificazione* espressi sia in termini di P.G.A. sia in termini di Intensità di Housner.

La definizione dei fattori di amplificazione sismica è stata eseguita mediante l'applicazione delle tabelle in funzione dei valori di  $V_{sH}$  e  $V_{s30}$  ottenuti elaborando i dati delle prove sismiche (MASW, HVSR). Questi fattori sono stati espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale ( $PGA/PGA_0$ ) sia in termini di Intensità di spettrale per intervalli di tempo compresi tra  $0.1s < T_0 < 0.5s$  e  $0.5s < T_0 < 1.0s$ .

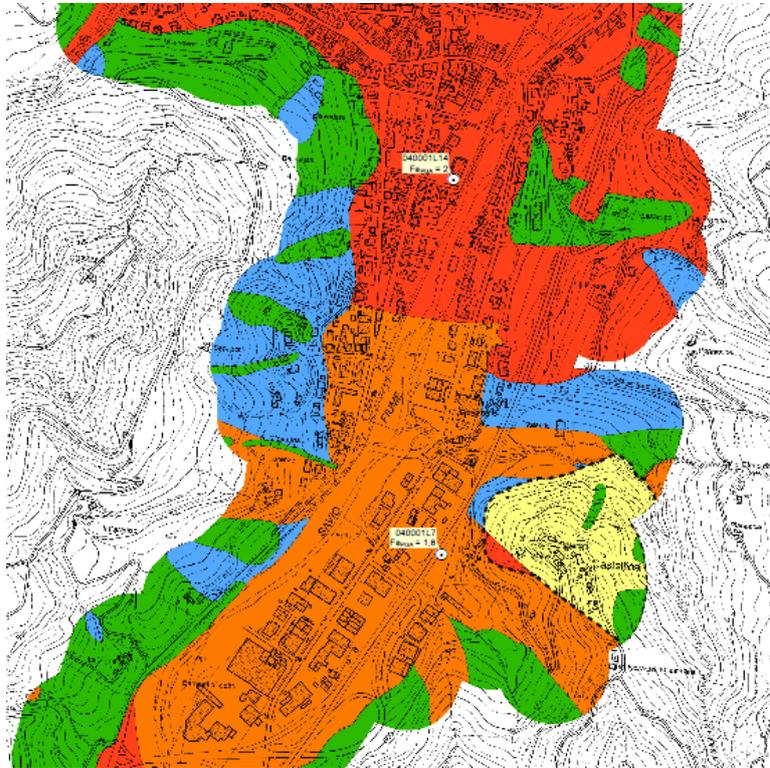
Il risultato finale è costituito pertanto nella produzione di tre carte di microzonazione, dove tramite campitura in colori diversi, è stata attribuita a ciascuna porzione di territorio comunale urbanizzato ed urbanizzabile il valore del fattore di amplificazione locale.

L'attribuzione dei fattori di amplificazione è stato effettuato sulla base delle microzone omogenee in prospettiva sismica individuate nel primo livello di approfondimento, attraverso i valori derivati dalle indagini puntuali. Sono stati valutati statisticamente i valori di FA per le diverse zone omogenee, preferendo per l'attribuzione il criterio della distanza rispetto a quello della media del valore; nei casi in cui non si aveva uno specifico valore per una certa area, l'attribuzione è stata determinata in riferimento alla corrispondente zona omogenea ed in particolare riferendosi alle zone con caratteristiche di successione stratigrafica e di dimensione simili a quella in esame.

Nella successiva tabella sono riportati i fattori di amplificazione, in coincidenza delle varie prove, per la PGA e per i due intervalli di intensità spettrale ( $0,1s < T_0 < 0,5s$ ) e ( $0,5s < T_0 < 1,0s$ ).

<b>Indagine</b>	<b>PGA</b>	<b>0,1 &lt; To &lt; 0,5</b>	<b>0,5 &lt; To &lt; 1,0</b>
40001L005	2,0	1,9	1,5
40001L006	2,0	1,9	1,5
40001L007	1,8	2,3	2,3
40001L008	2,1	2,4	2,4
40001L009	2,2	2,2	1,7
40001L010	2,2	2,5	1,9
40001L011	1,0	1,0	1,0
40001L012	1,0	1,0	1,0
40001L013	1,1	1,0	1,0
40001P046	2,0	1,8	1,0
40001P056	1,8	2,0	1,6
40001P057	2,0	1,9	1,5
40001L014	2,0	2,3	2,4
40001L015	1,9	2,1	1,9
40001L016	1,8	1,7	1,4
40001L017	1,6	1,7	1,5
40001L018	1,7	1,9	1,6
40001L019	1,6	1,7	1,5

L'elaborazione di tali valori ha permesso la redazione delle carte tematiche nelle quali si evidenzia il fattore di amplificazione a cui è soggetta una determinata porzione di territorio. Nel caso specifico, di seguito, viene riportata la legenda utilizzata nella carta di microzonazione sismica Livello 2 ( $F_{aPGA}$ ) (fig. 21).



## Legenda

### Zone stabili

Zone stabili ( $F_{aPGA}=1,0$ )

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali ( $F_{aPGA}$ )

1,1 - 1,2

1,3 - 1,4

1,5 - 1,6

1,7 - 1,8

1,9 - 2,0

2,1 - 2,2

2,3 - 2,4

$\geq 2,5$

Zone suscettibili ad amplificazione topografica con relativo fattore  $S_t$

### Zone suscettibili di instabilità

Instabilità di versante e relativo valore di amplificazione locale

Indagine di sito con relativo fattore di amplificazione derivato

**Figura 21:** Estratto e Legenda della Carta del fattore di amplificazione PGA

## 12 – INDAGINI SISMICHE INTEGRATIVE

In accordo con l'Amministrazione comunale, per alcune zone del territorio comunale, ritenute significative in funzione urbanistica e geologico - sismica, sono state eseguite delle ulteriori indagini.

In particolare sono state eseguite delle indagini sismiche caratterizzate da profili sismici a rifrazione onde P, prove Masw e misure HVSR.

La campagna geofisica si è sviluppata su quattro aree coincidenti con le località Vigne (capoluogo), Selvapiana, Cà di Bibo e Valgianna; le risultanze di dette indagini sono riportate in allegato alla presente.

In dettaglio, per ogni località, sono state eseguite le seguenti prove:

### Loc. Vigne:

- n° 3 profili sismici onde P da 120 m
- n° 3 prove MASW
- n° 3 misure HVSR

### Loc. Valgianna:

- n° 2 profili sismici onde P da 120 m
- n° 2 prove MASW
- n° 2 misure HVSR

### Loc. Selvapiana:

- n° 1 profili sismici onde P da 240 m
- n° 1 prove MASW
- n° 2 misure HVSR

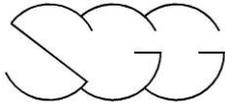
### Loc. Cà di Bibo:

- n° 1 profili sismici onde P da 240 m
- n° 1 prove MASW
- n° 2 misure HVSR

Siena, Settembre 2013

Dr. Geol. Antonio Maria Baldi

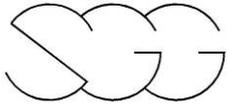




## **Appendice**

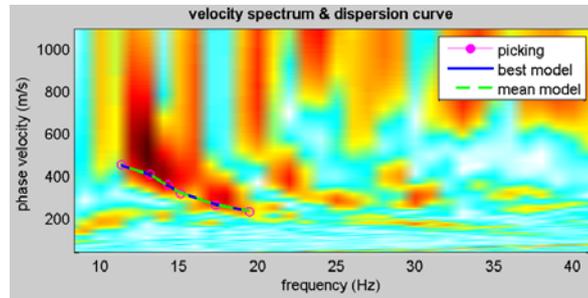
### **Indagini attuali**

- **Prove MASW** Pag. 54
- **Misure HVSR** Pag. 64
- **Prove penetrometriche** Pag. 75

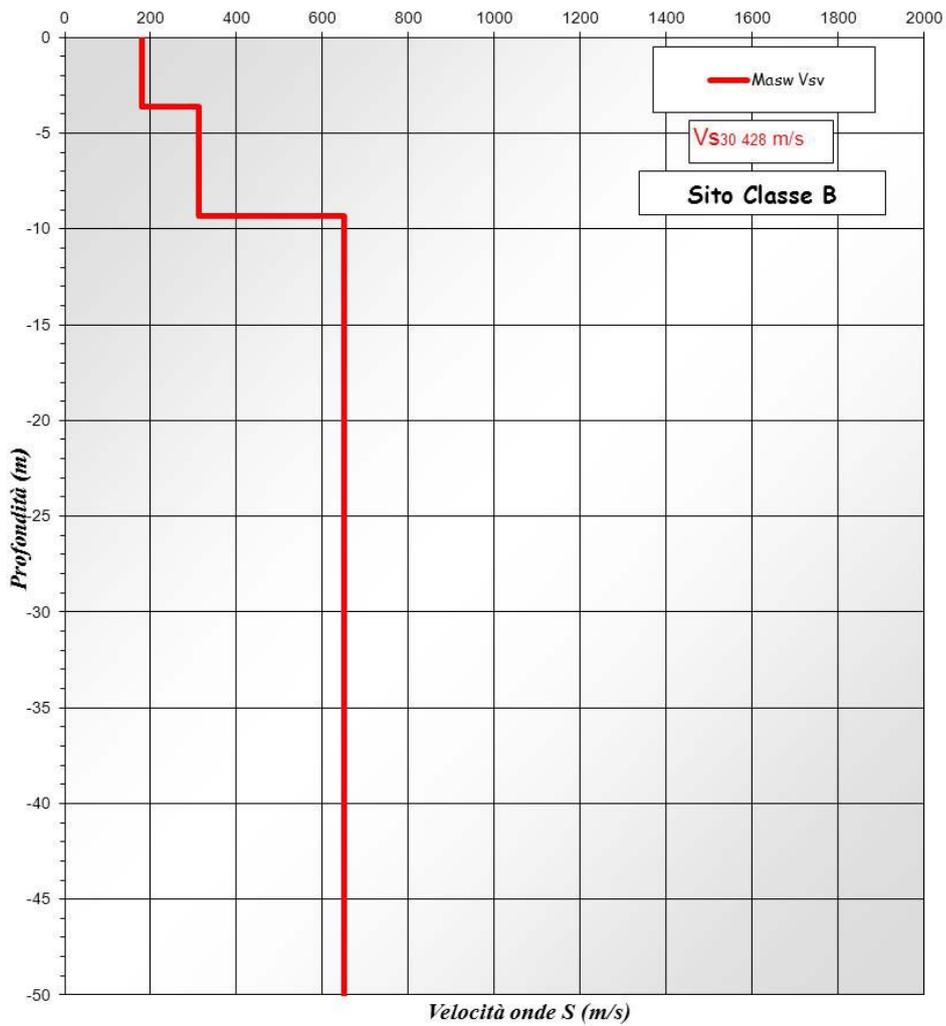


## **PROVE MASW**

### 40001L005MASW05

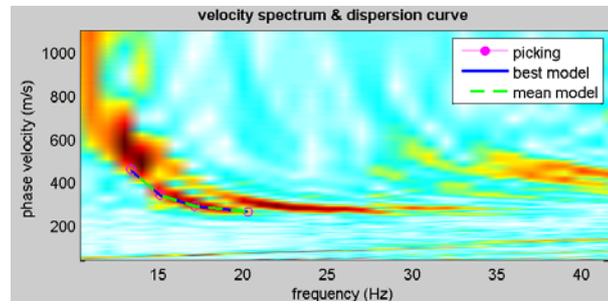


*Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves*



Comune di Bagno di Romagna (FC)  
 Studio di microzonazione sismica  
 Relazione tecnica

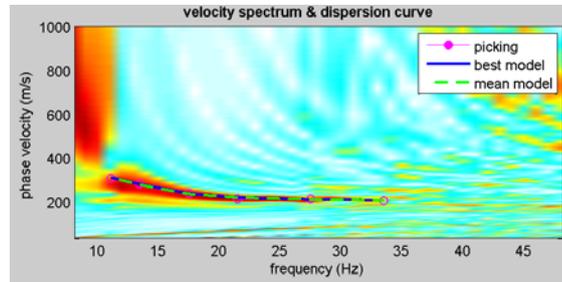
### 40001L006MASW06



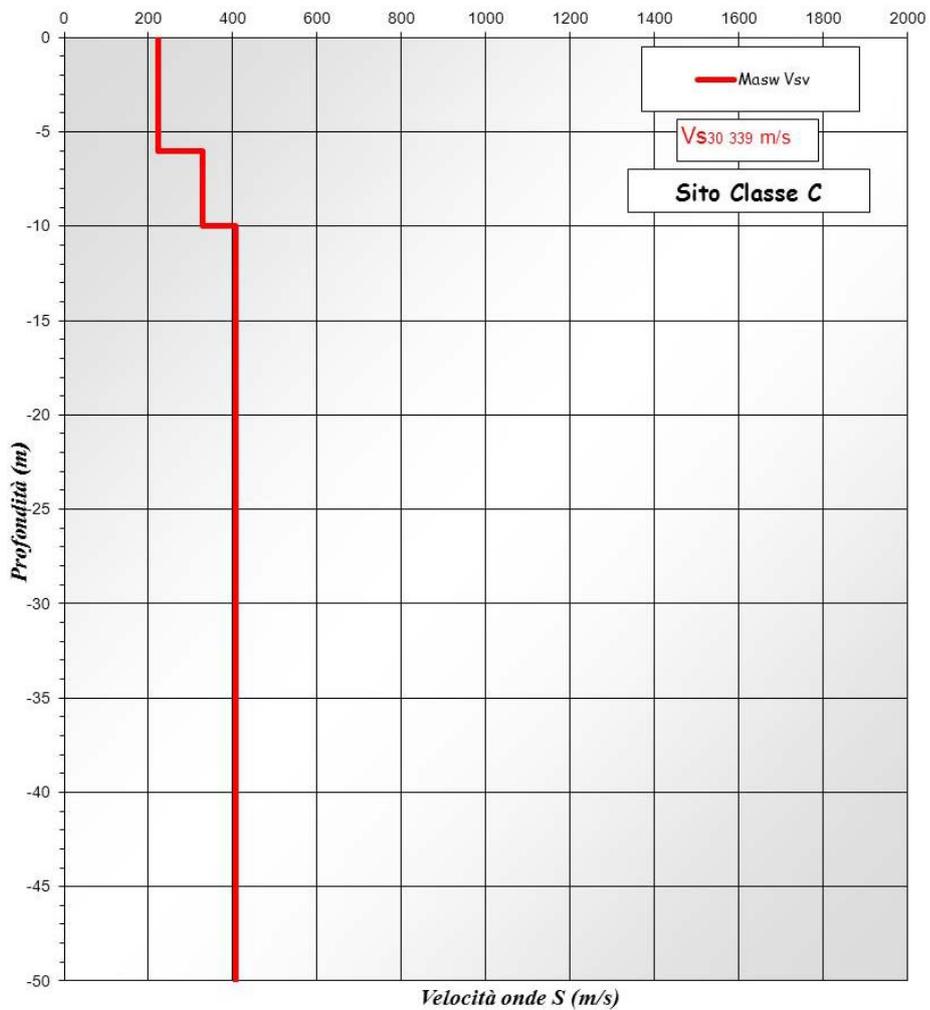
*Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves*



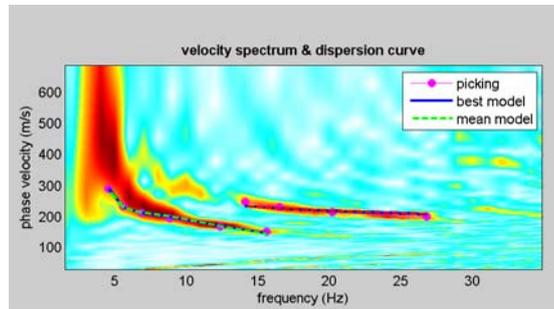
### 40001L007MASW07



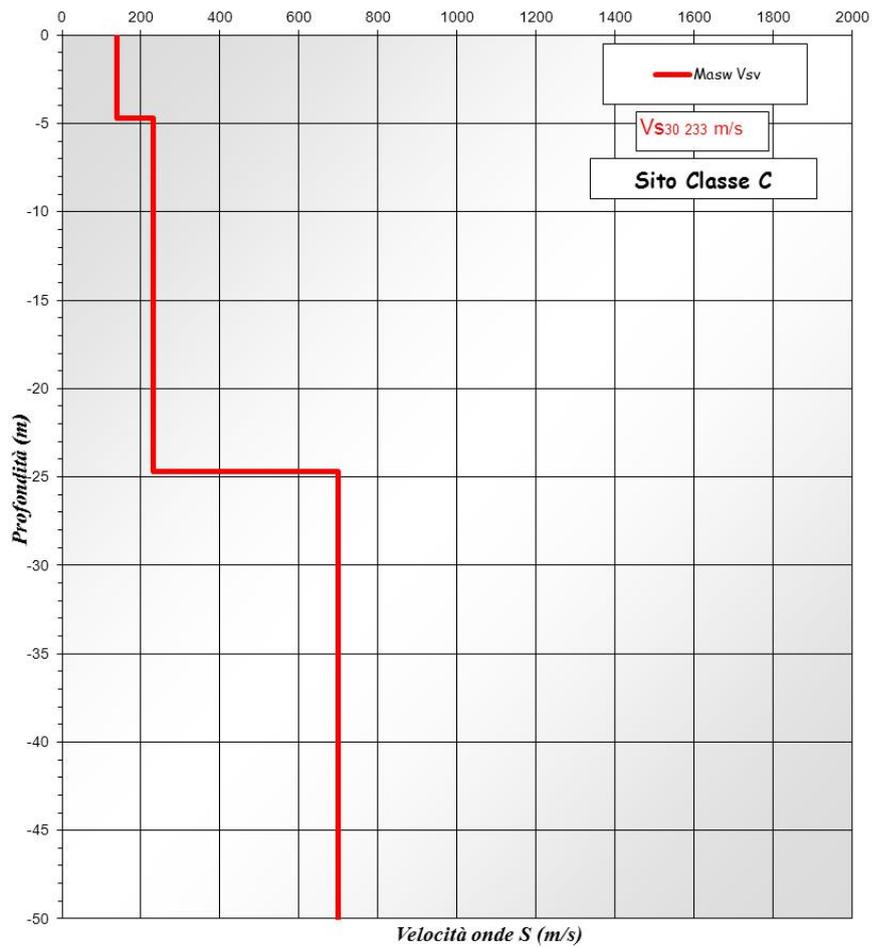
*Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves*



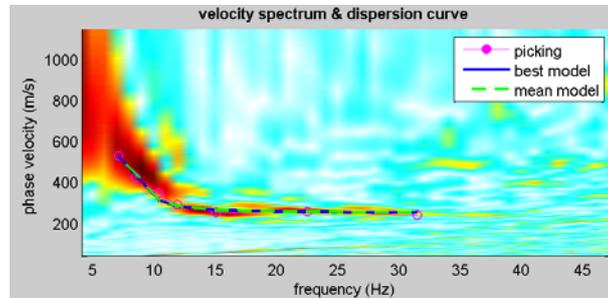
### 40001L008MASW08



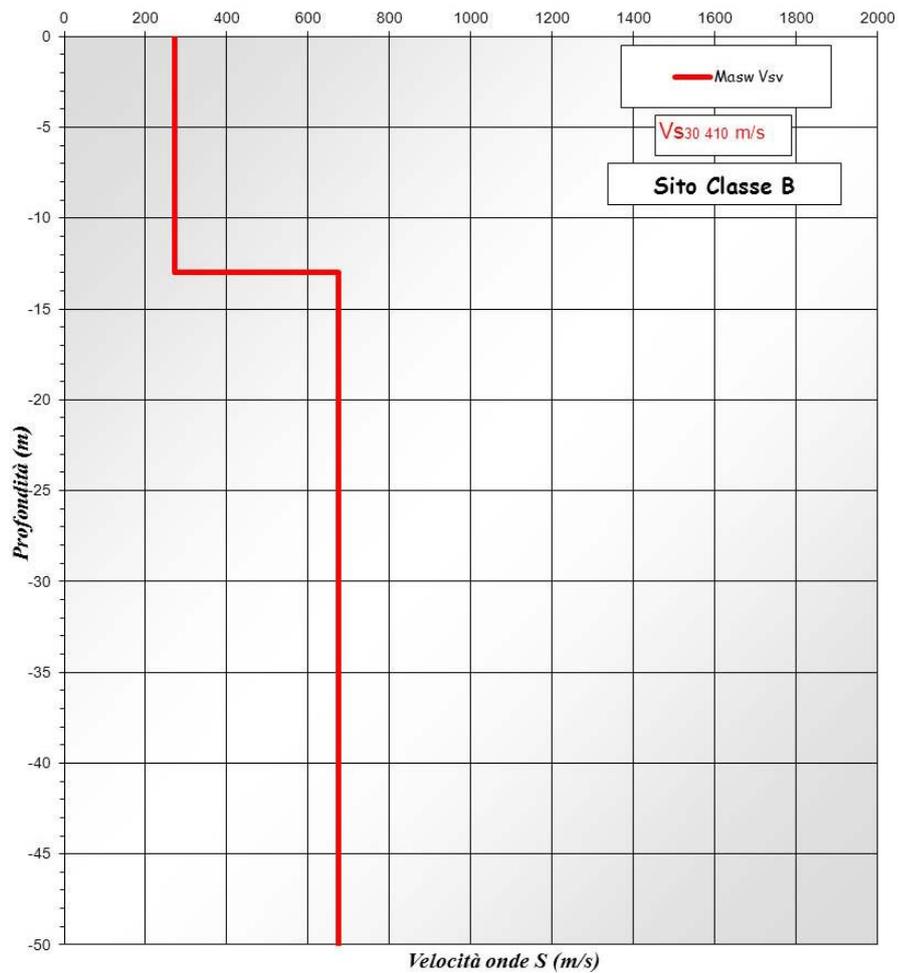
*Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves*



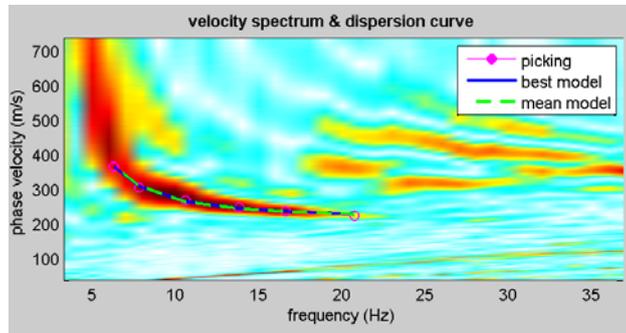
### 40001L009MASW09



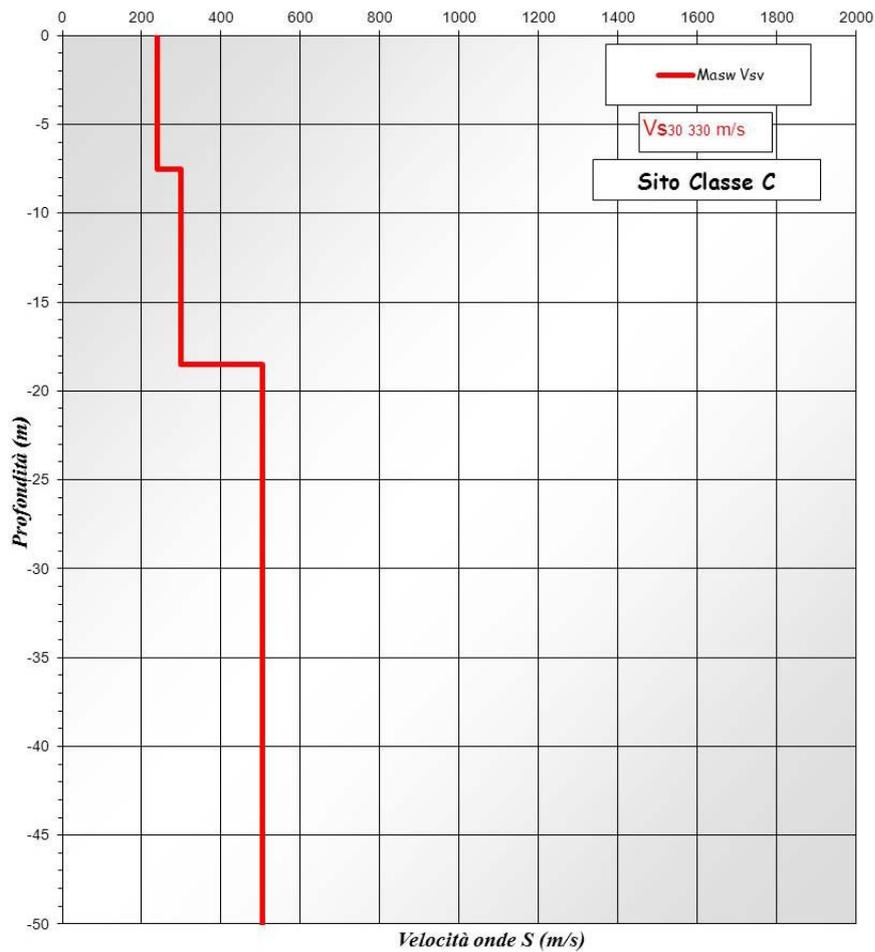
*Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves*



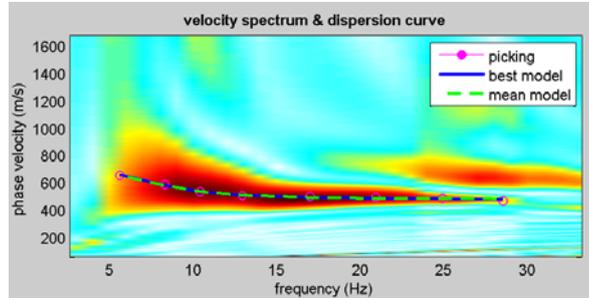
### 40001L010MASW10



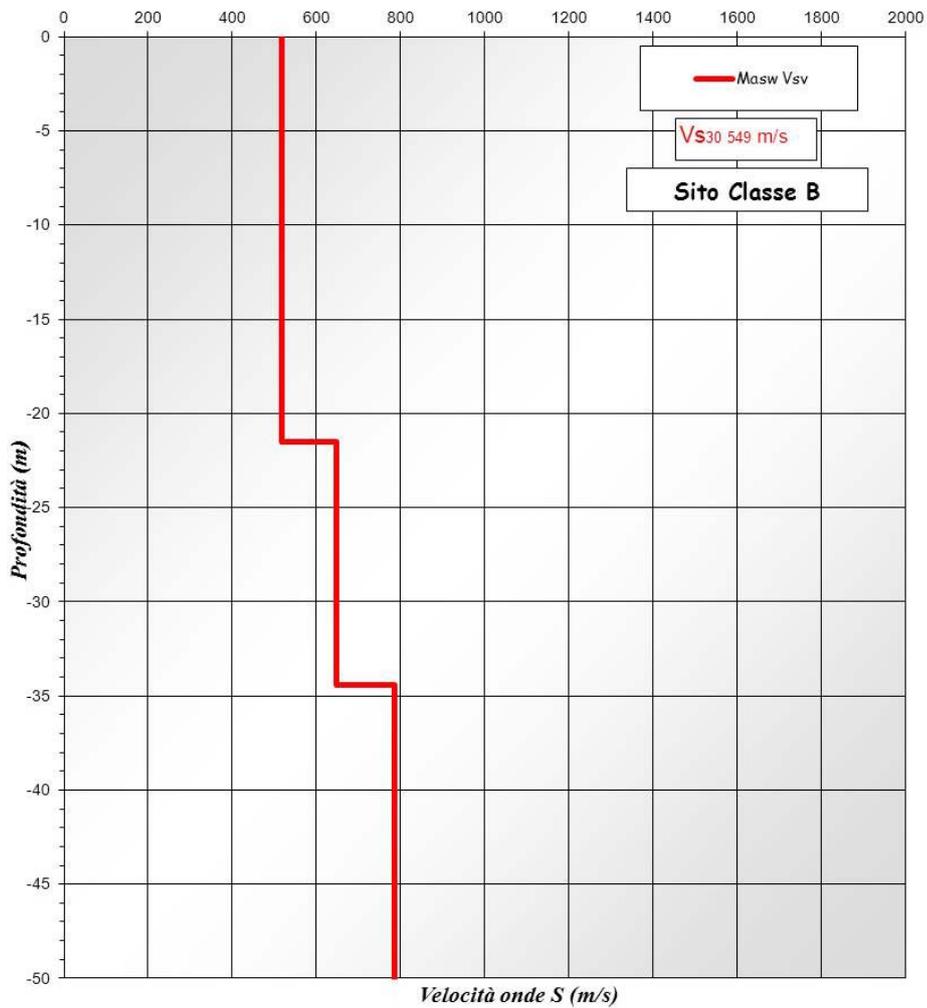
*Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves*



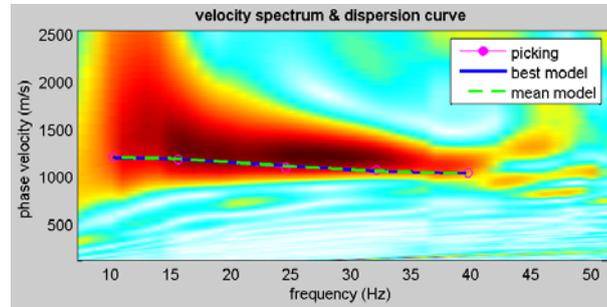
### 40001L011MASW11



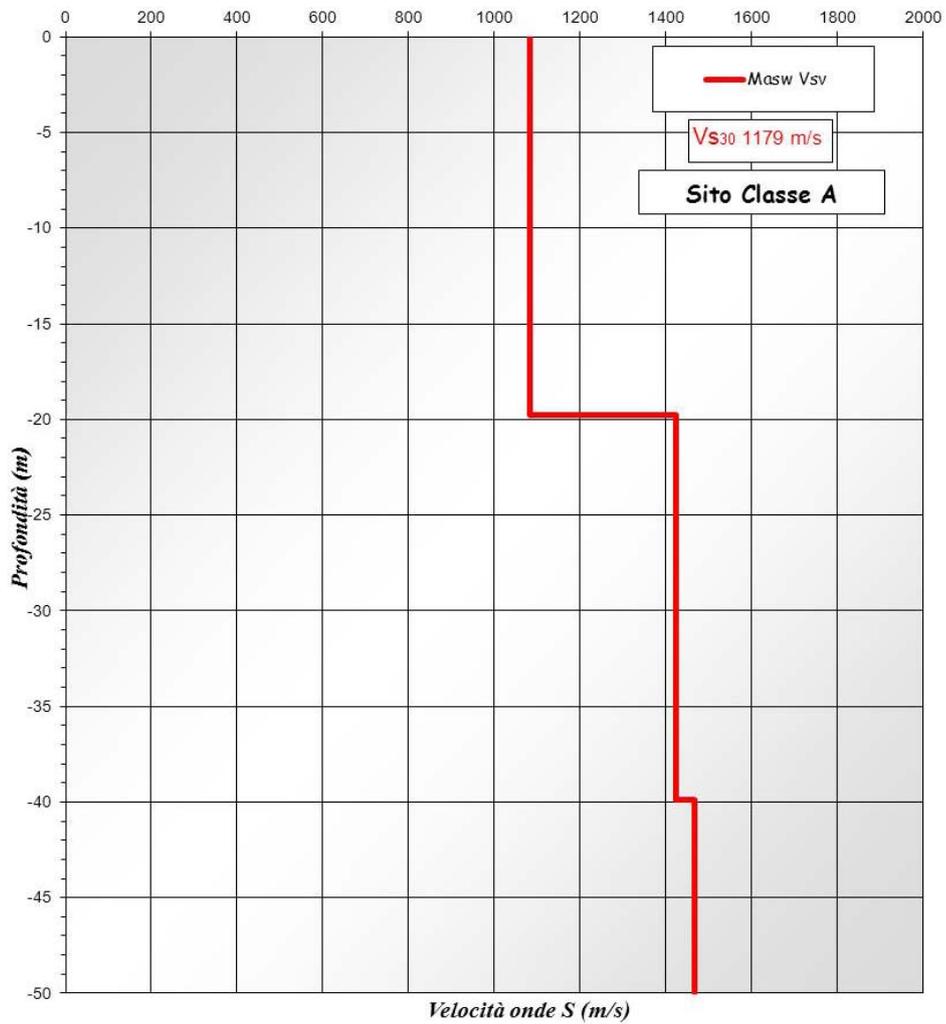
*Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves*



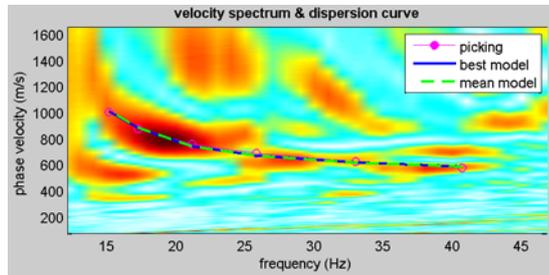
### 40001L012MASW12



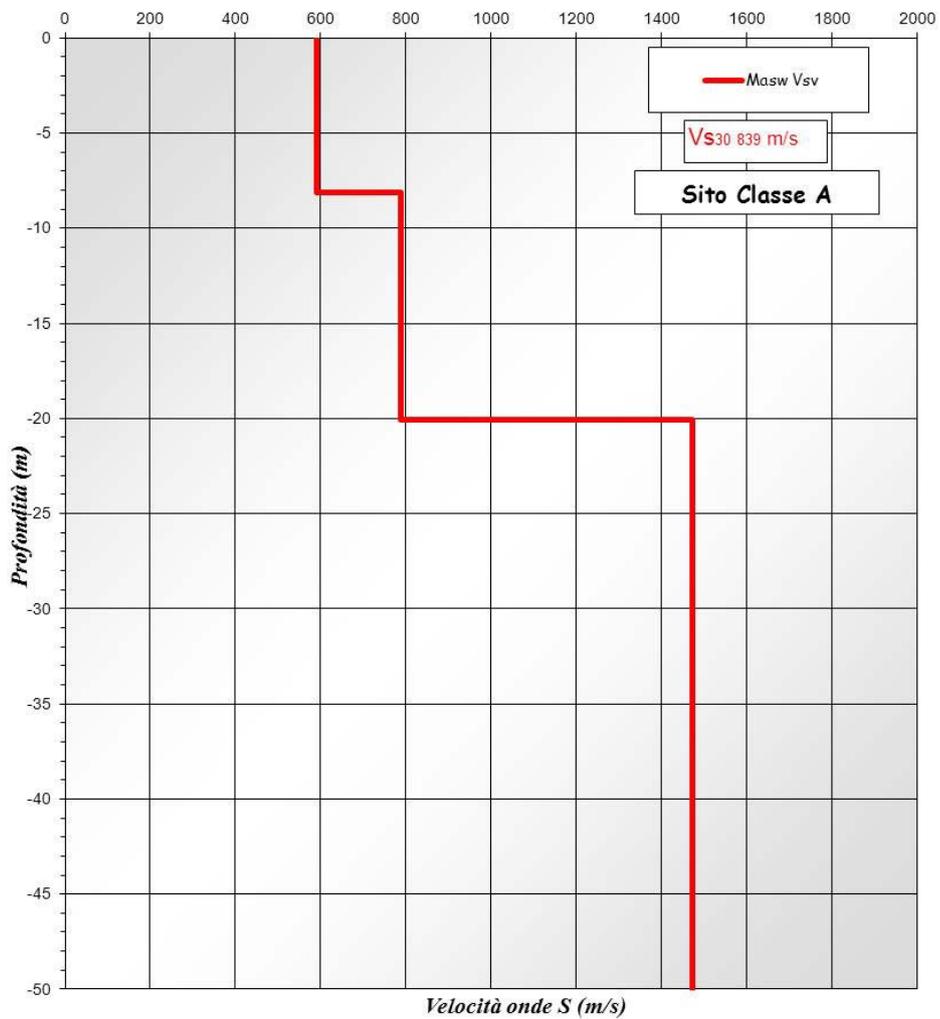
*Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves*

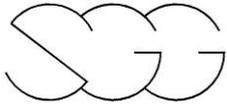


### 40001L013MASW13



*Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves*

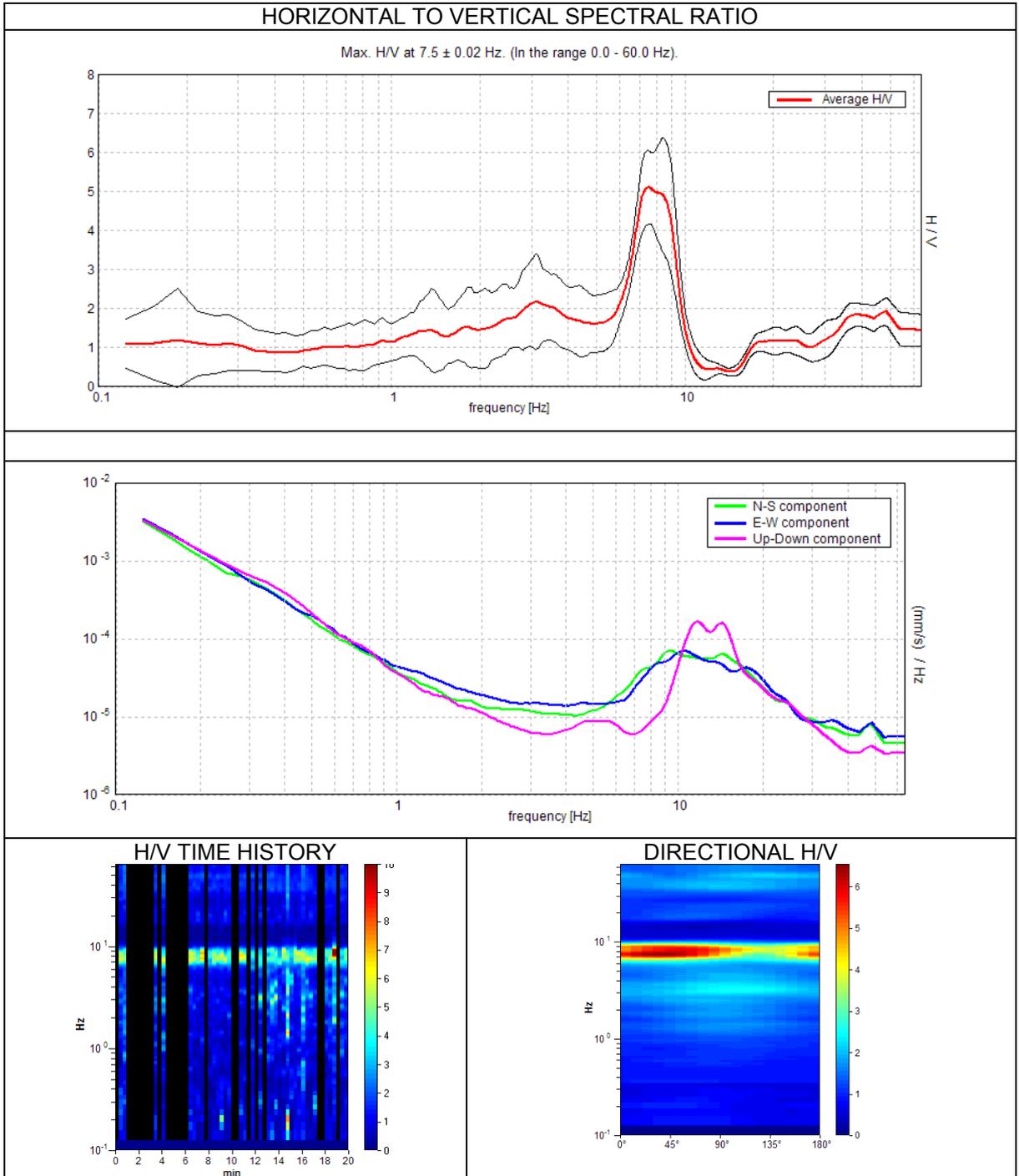




## PROVE HVSR

### Misura 40001P046HVSR54

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

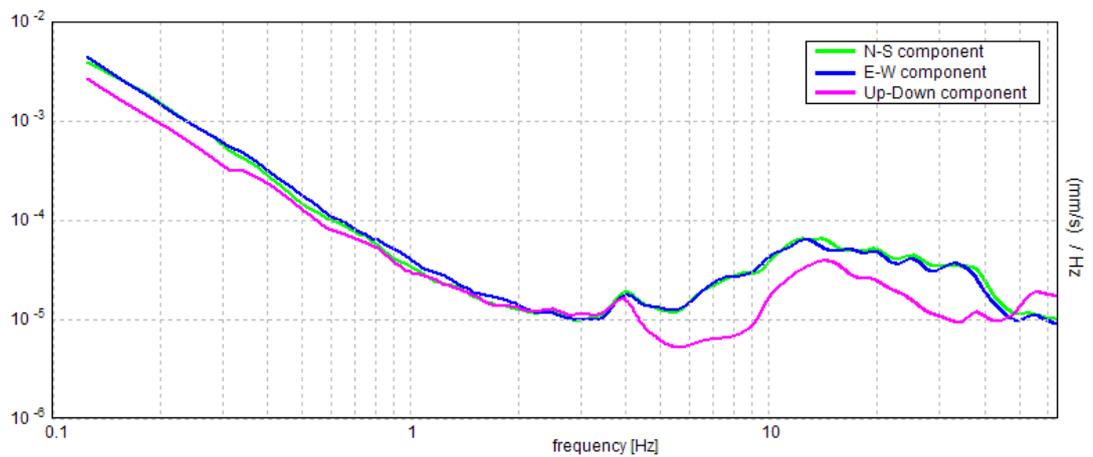
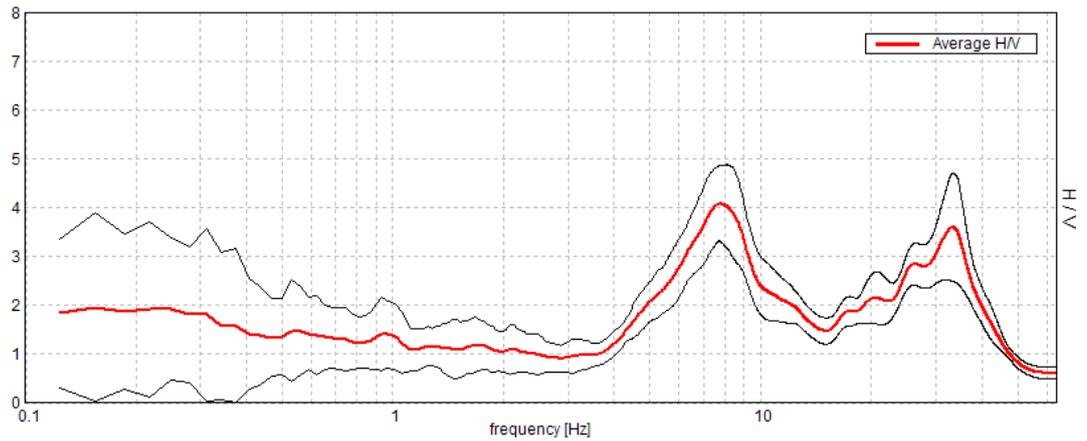


$f_0$ (Hz)
7,5

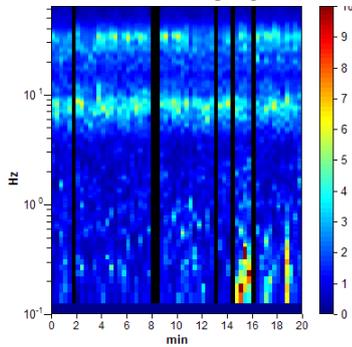
### Misura 40001P047HVSR55

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

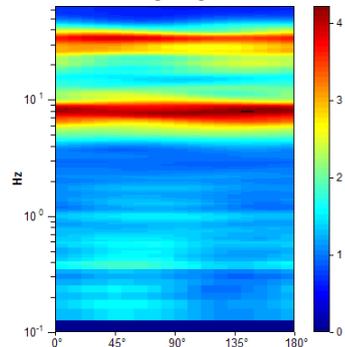
Max. H/V at  $7.75 \pm 0.1$  Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



#### H/V TIME HISTORY



#### DIRECTIONAL H/V



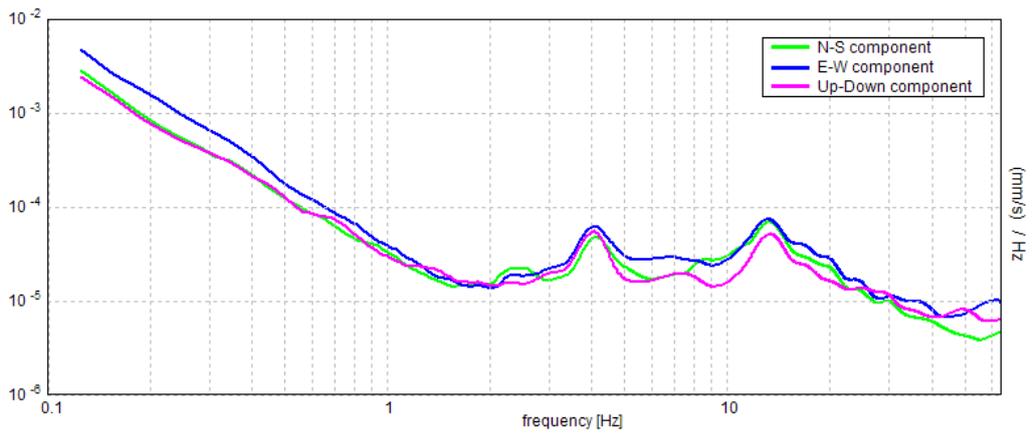
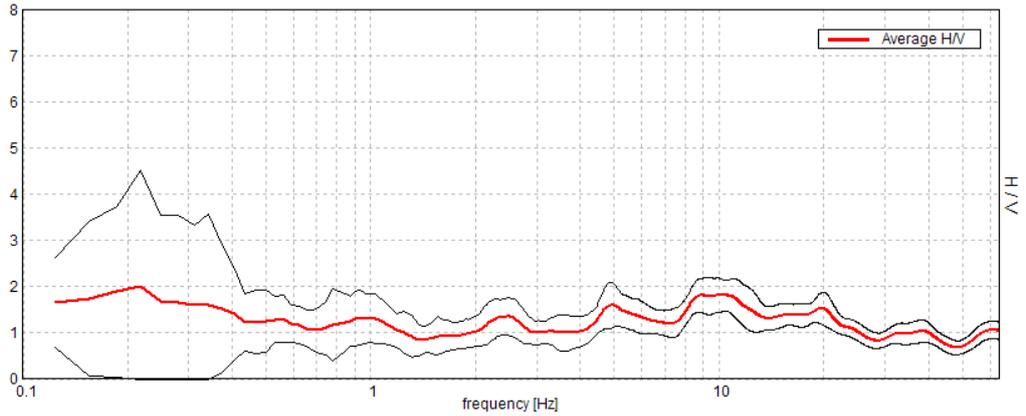
$f_0$  (Hz)

7,75

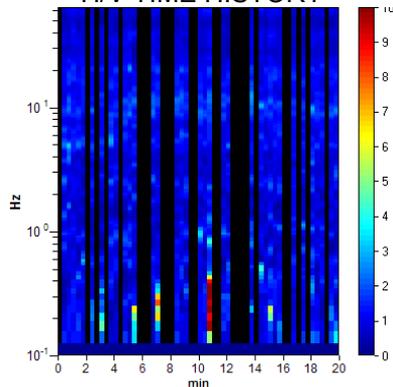
### Misura 40001P048HVSR56

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

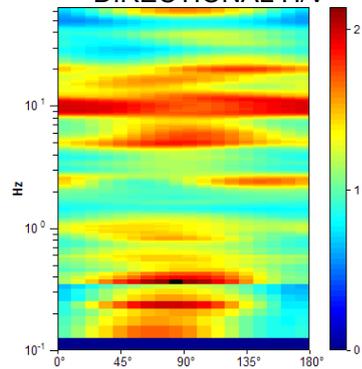
Max. H/V at 10.19 ± 1.23 Hz. (In the range 2.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



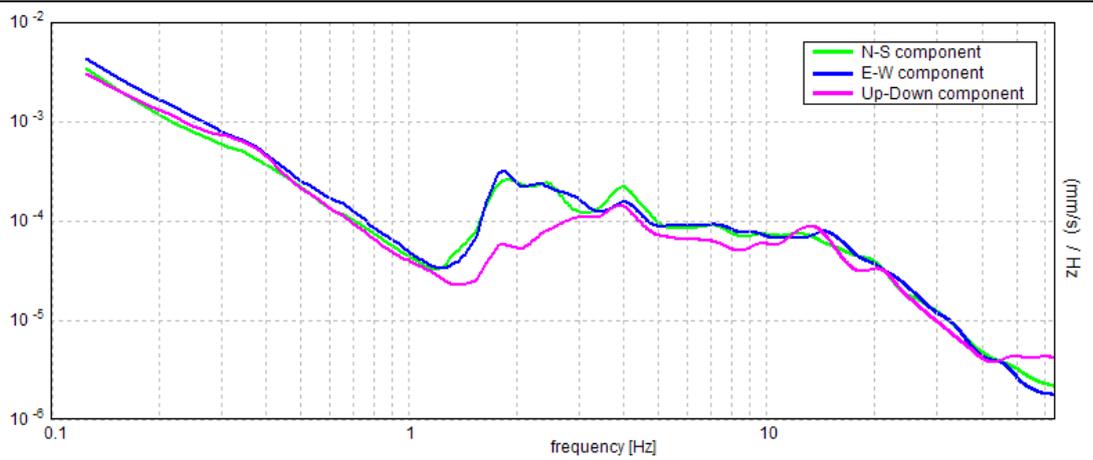
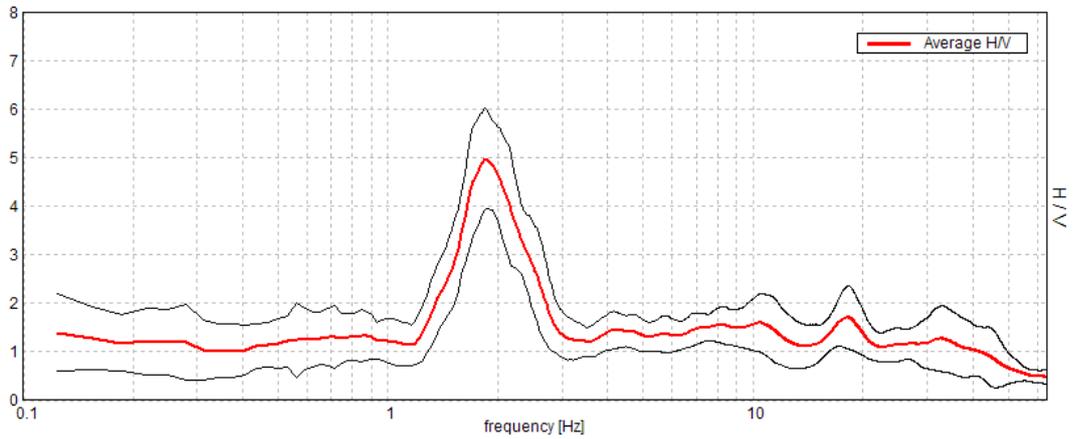
$f_0$  (Hz)

10,19

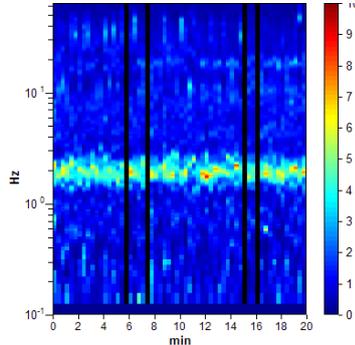
### Misura 40001P049HVSR57

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

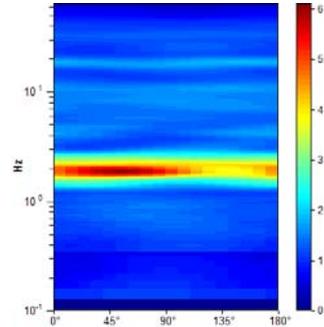
Max. H/V at  $1.84 \pm 0.02$  Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



#### H/V TIME HISTORY



#### DIRECTIONAL H/V



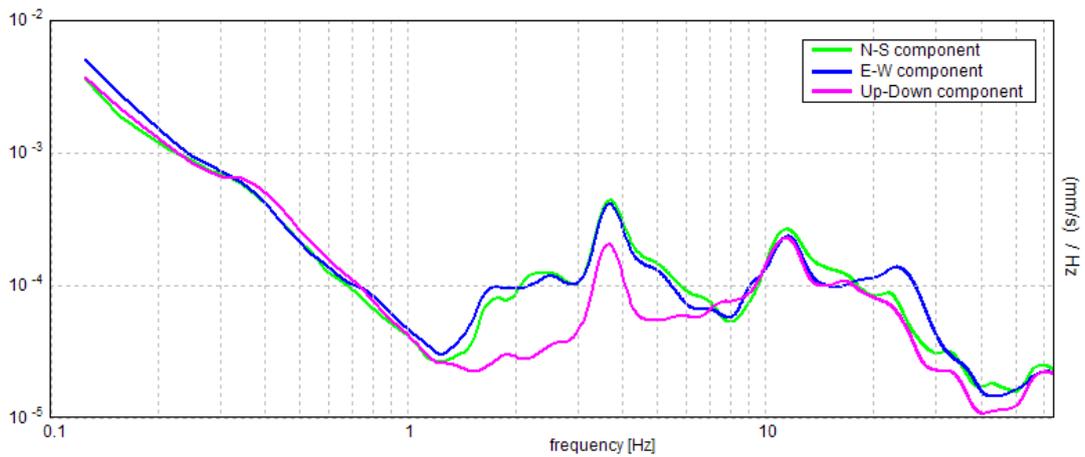
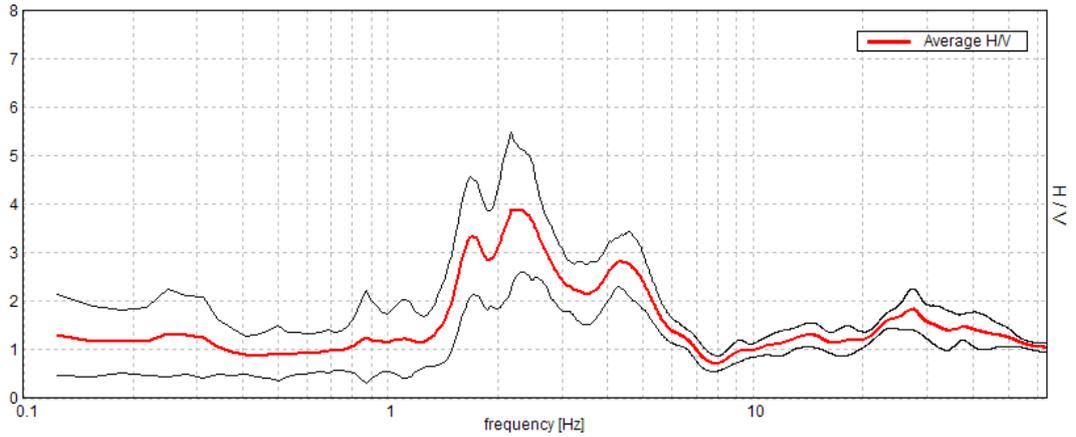
$f_0$  (Hz)

1,84

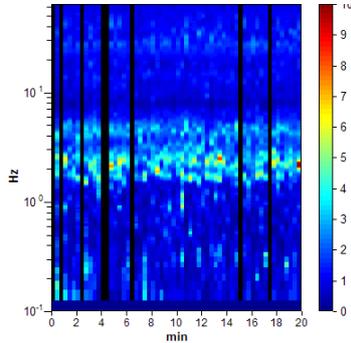
### Misura 40001P050HVSR58

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

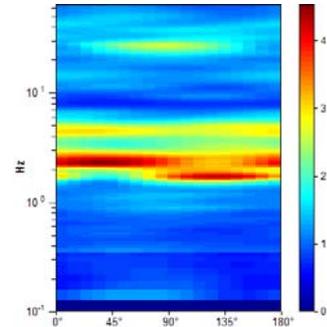
Max. H/V at 2.19 ± 0.07 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



$f_0$  (Hz)

2,19

$f_1$  (Hz)

1,72

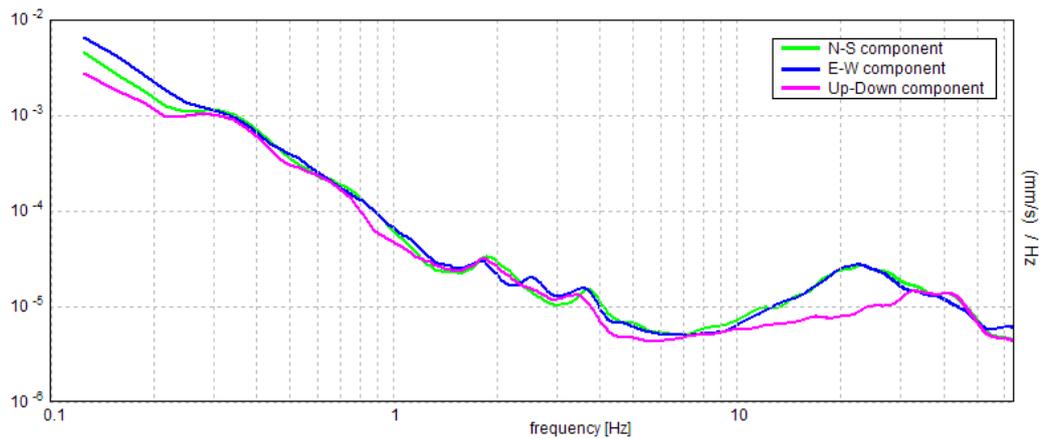
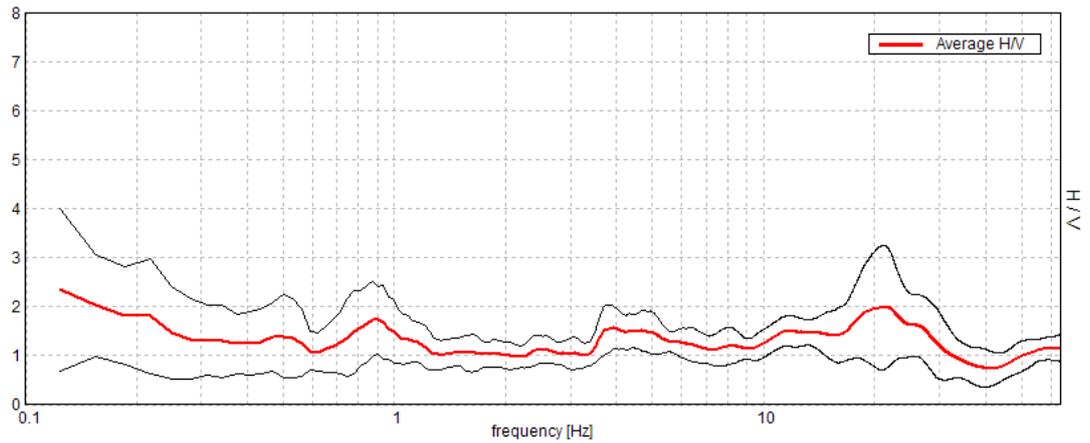
$f_2$  (Hz)

4,34

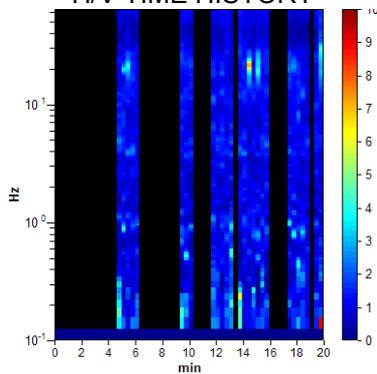
### Misura 40001P052HVSR60

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

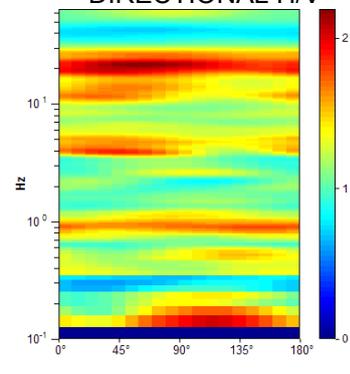
Max. H/V at 21.44 ± 1.91 Hz. (In the range 2.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



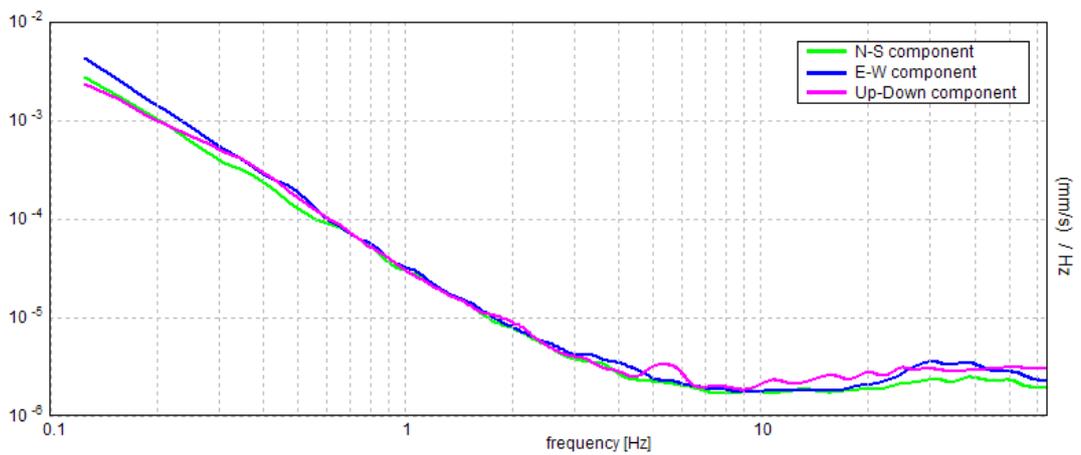
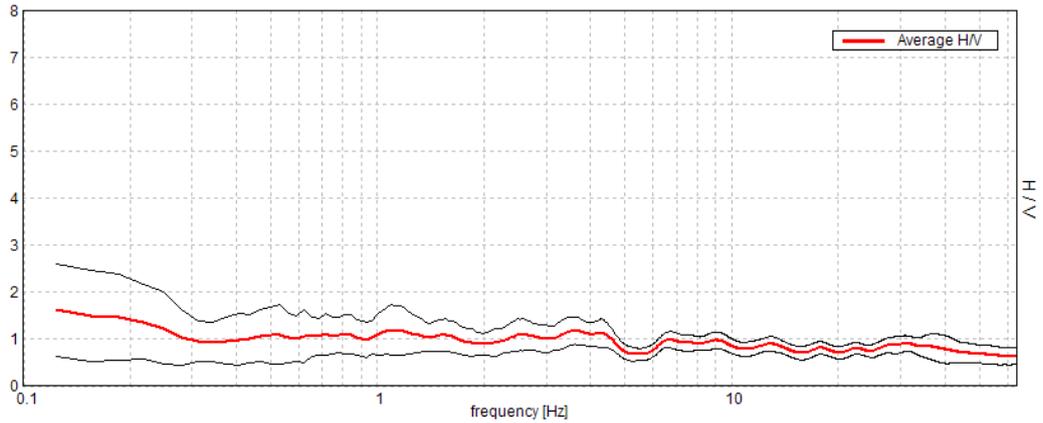
<b>f<sub>0</sub> (Hz)</b>
21,44

<b>f<sub>1</sub> (Hz)</b>
3,91

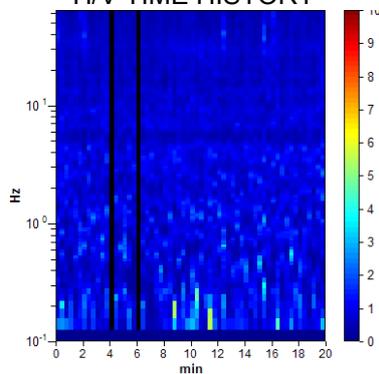
### Misura 40001P054HVSR62

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

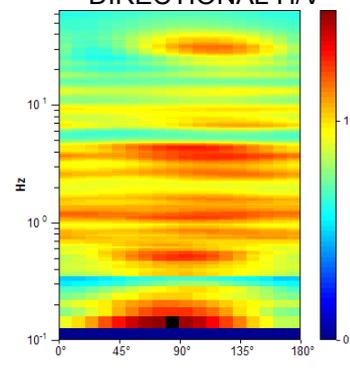
Max. H/V at  $3.59 \pm 1.26$  Hz. (In the range 2.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



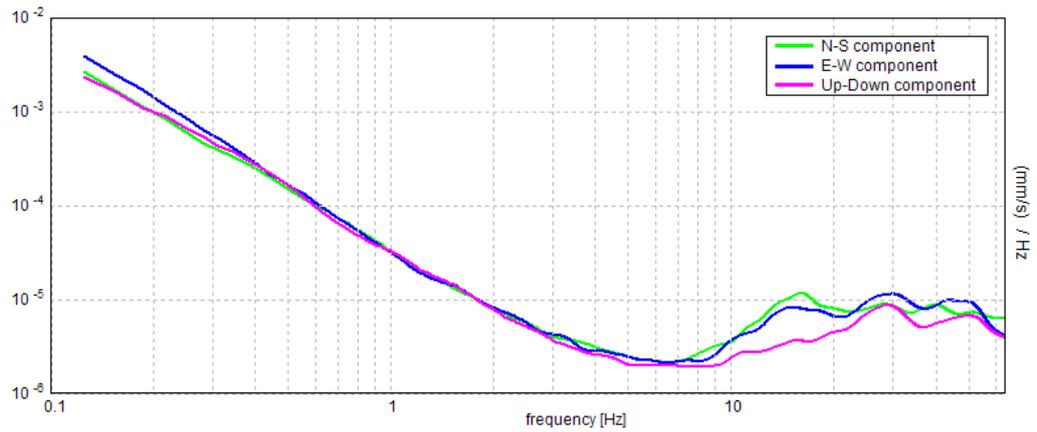
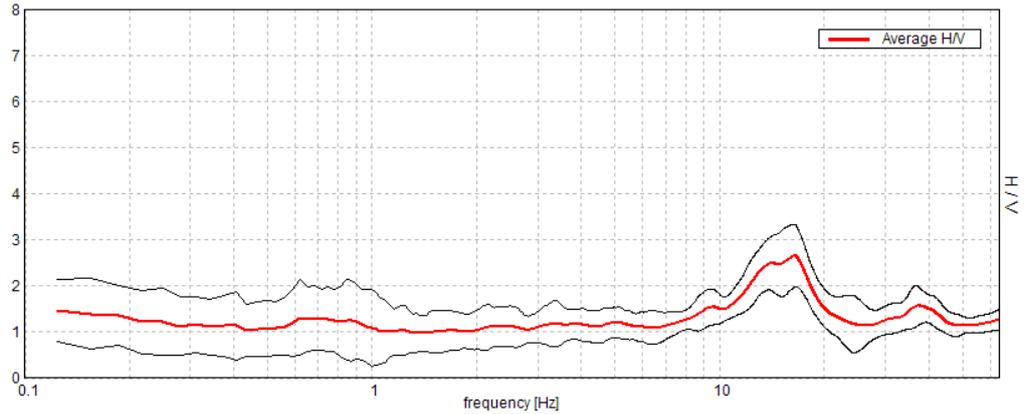
$f_0$  (Hz)

/

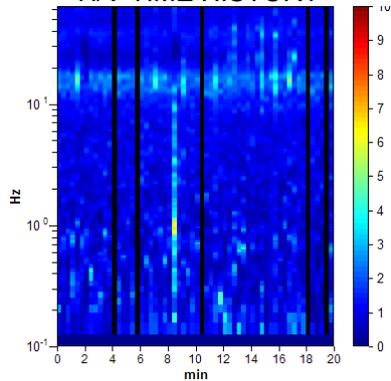
### Misura 40001P055HVSR63

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

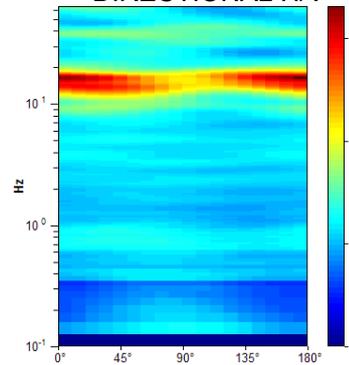
Max. H/V at 16.41 ± 0.62 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



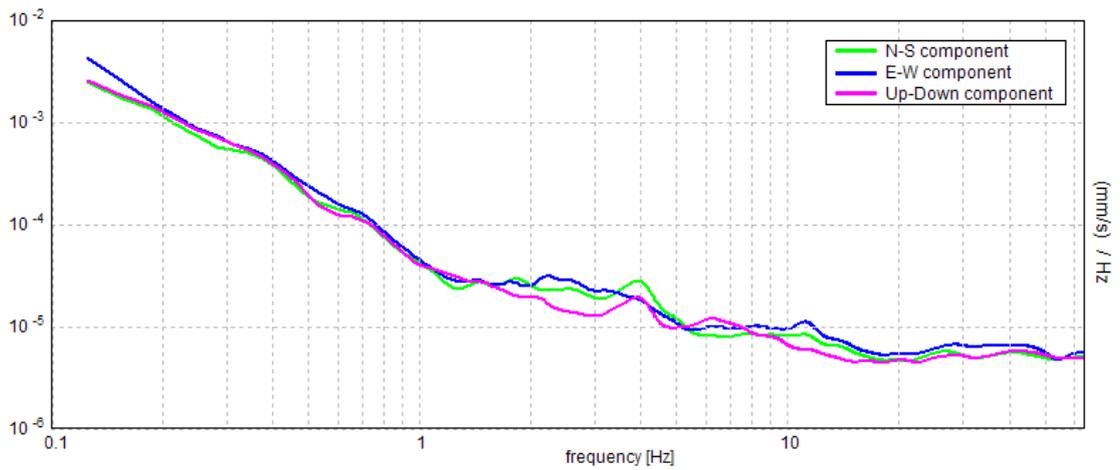
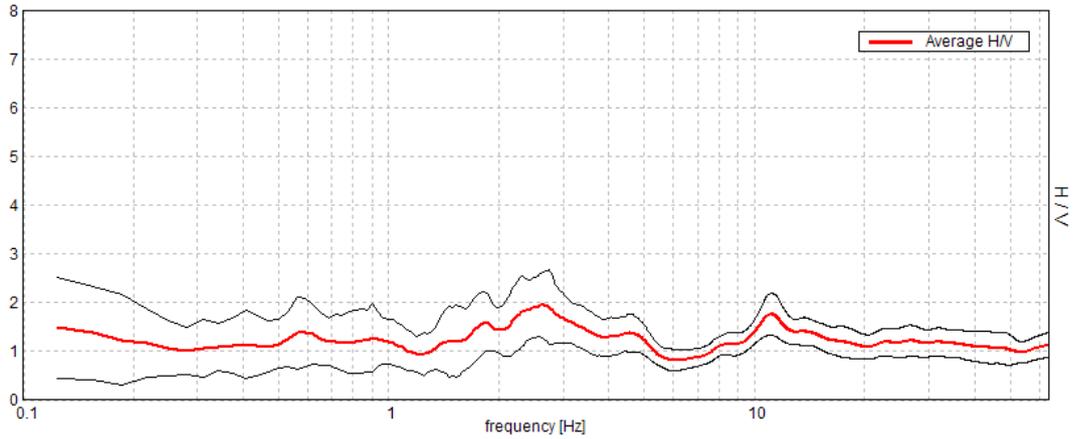
$f_0$  (Hz)

16,41

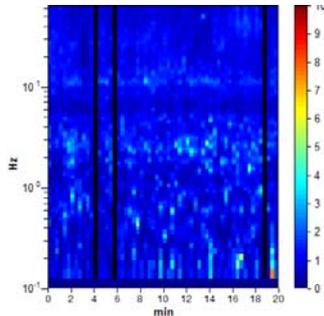
### Misura 40001P056HVSR64

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

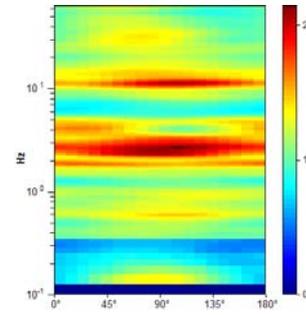
Max. H/V at 2.66 ± 0.02 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



$f_0$  (Hz)

2,66

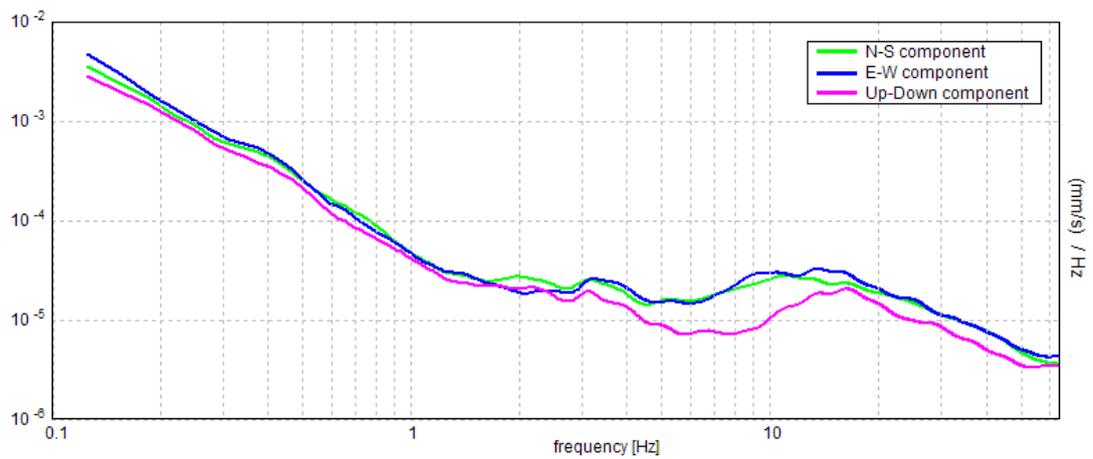
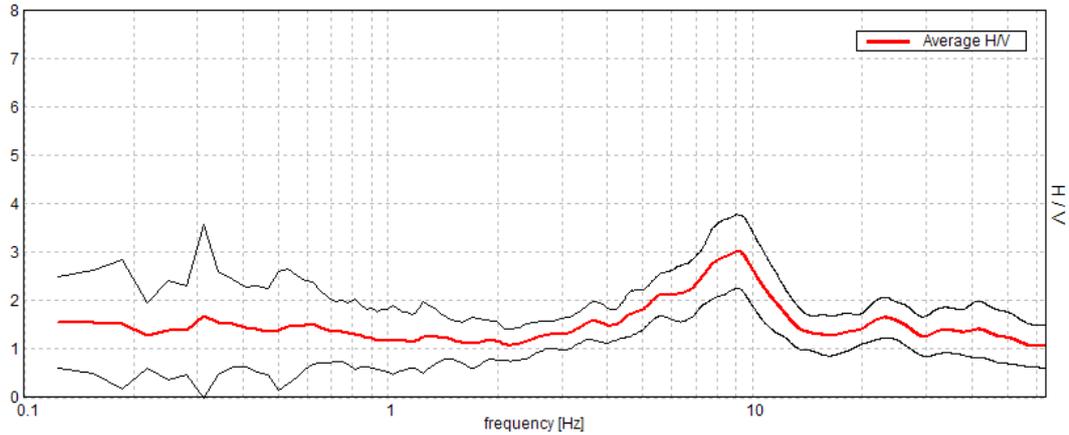
$f_1$  (Hz)

11

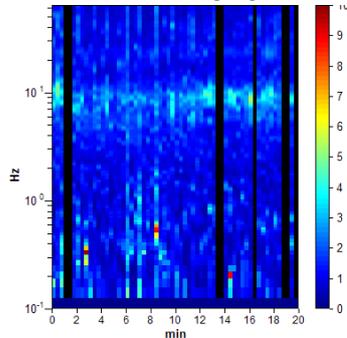
### Misura 40001P057HVSR65

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

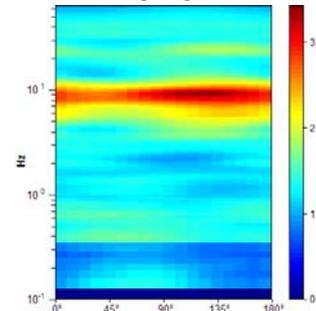
Max. H/V at  $9.06 \pm 0.6$  Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY

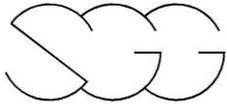


DIRECTIONAL H/V



$f_0$  (Hz)

9,06



## **PROVE PENETROMETRICHE**

### 40001P070DP84

 associated engineers www.geoecoter.com	GEOECOTER s.c.a.r.l. – Ingegneria Civile e Geologia Applicata
	Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax: 0547/95080
P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613	

PROVA DINAMICA DPSH 102 br		Caratteristiche del penetrometro	
<b>Committente</b>	Studio di geologia e geofisica srl	<b>Peso del maglio</b>	63,5
<b>Cantiere</b>	Euroterme	<b>Altezza di caduta</b>	75 cm
<b>Località</b>	Bagno di Romagna	<b>Angolo punta conica</b>	60°
<b>Data</b>	12-03-2013	<b>Sezione punta conica</b>	20,43 cmq
<b>Quota</b>	piano campagna	<b>Diametro aste</b>	32 mm
<b>Livello Falda</b>		<b>Peso aste</b>	6,31 Kg/ml

**Numero di colpi**

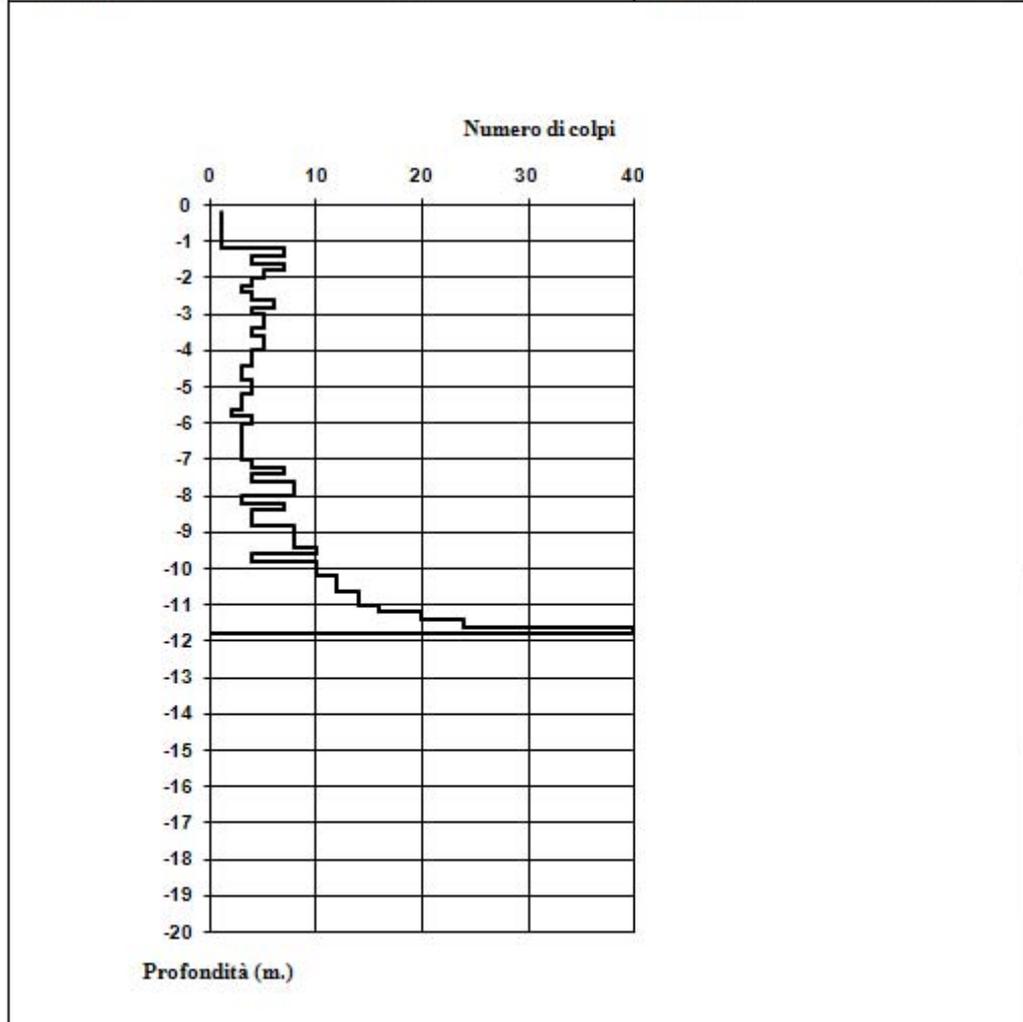
**Profondità (m.)**

Comune di Bagno di Romagna (FC)  
 Studio di microzonazione sismica  
 Relazione tecnica

### 40001P071DP85

 www.geocoter.com	GEOCOTER s.c.a.r.l. - Ingegneria Civile e Geologia Applicata
	Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax: 0547/95080
P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613	

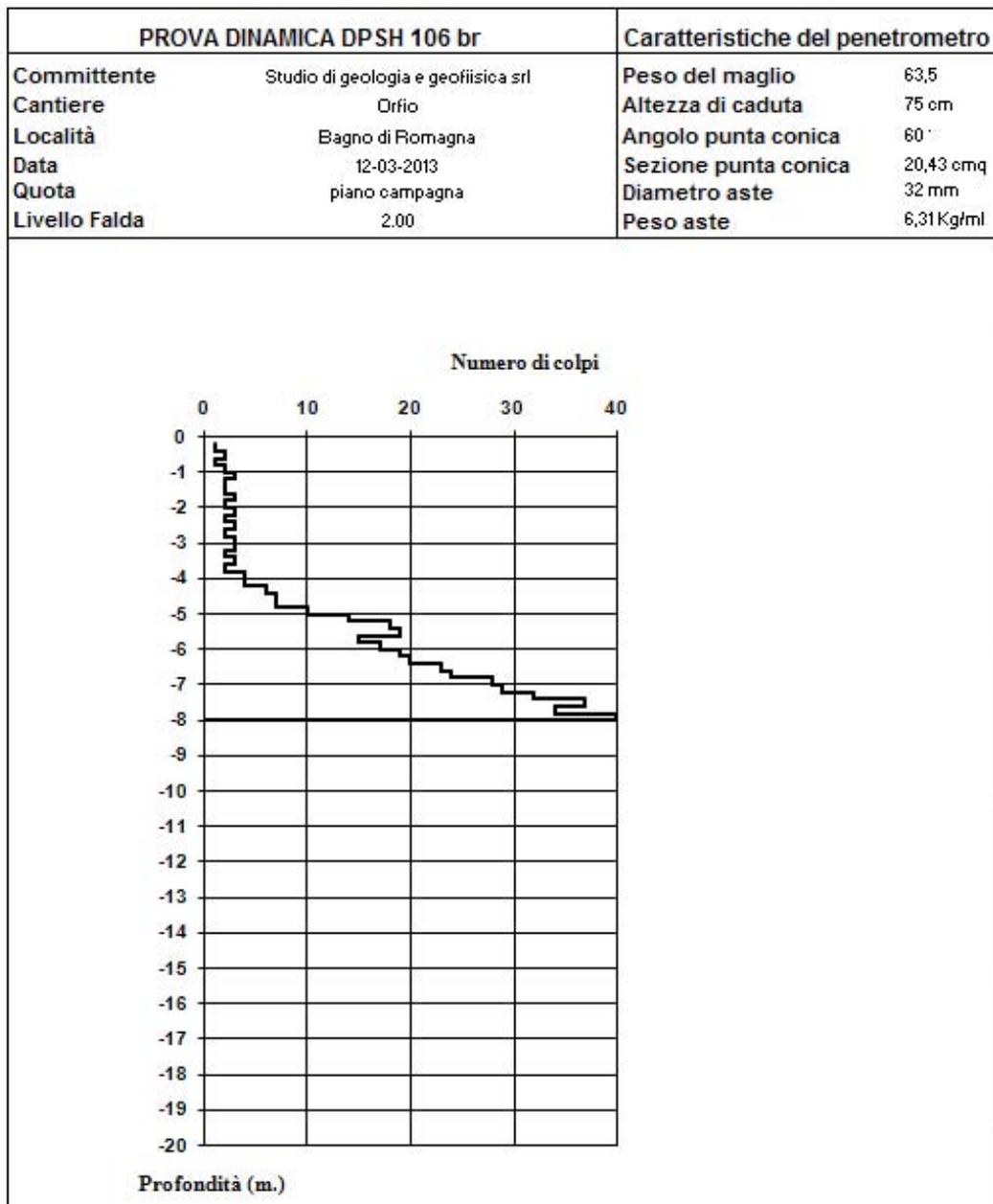
PROVA DINAMICA DPSH 105 br		Caratteristiche del penetrometro	
Committente	Studio di geologia e geofisica srl	Peso del maglio	63,5
Cantiere	Tomba	Altezza di caduta	75 cm
Località	Bagno di Romagna	Angolo punta conica	60 °
Data	12-03-2013	Sezione punta conica	20,43 cmq
Quota	piano campagna	Diametro aste	32 mm
Livello Falda	2.00	Peso aste	6,31 Kg/ml



Comune di Bagno di Romagna (FC)  
 Studio di microzonazione sismica  
 Relazione tecnica

### 40001P072DP86

 <small>ASSOCIATO INGEGNERIA</small>	GEOECOTER s.c.a.r.l. – Ingegneria Civile e Geologia Applicata
	Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax: 0547/95080
www.geoecoter.com	P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613

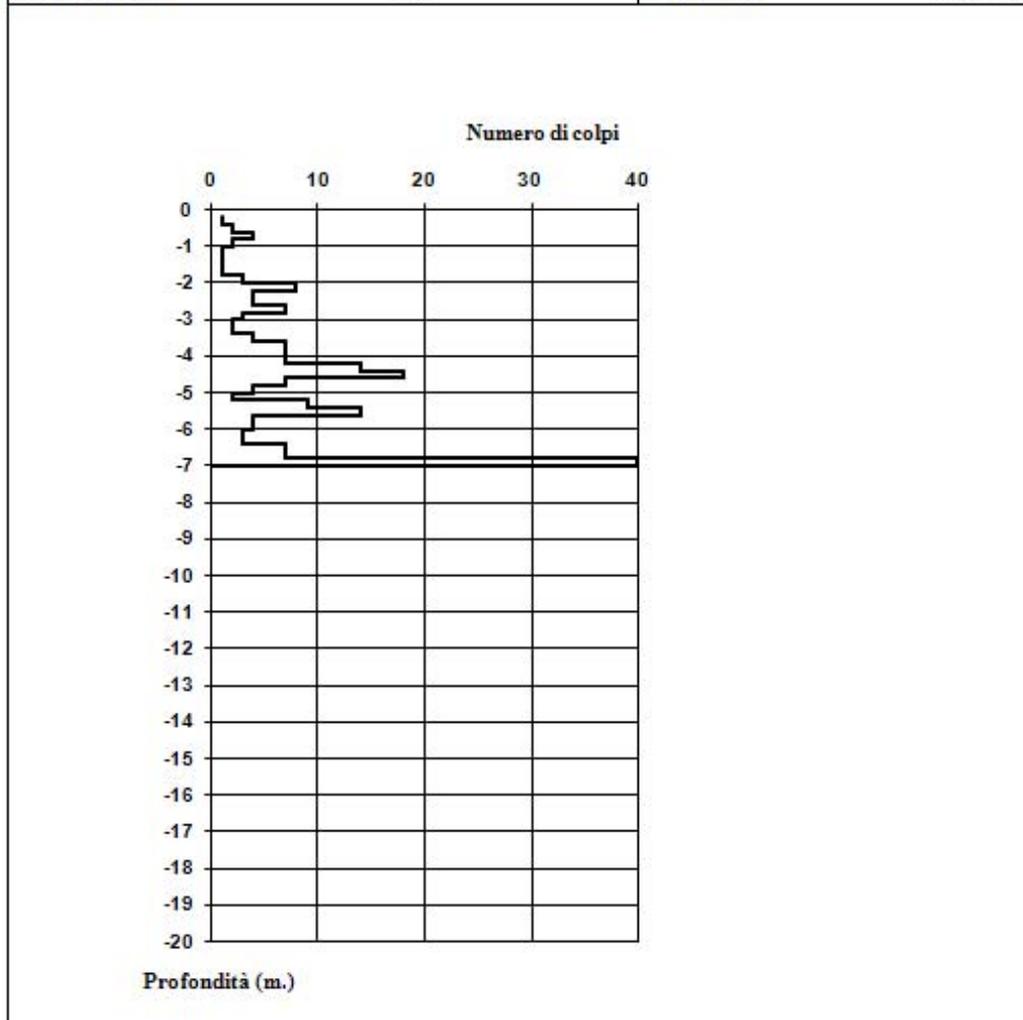


Comune di Bagno di Romagna (FC)  
 Studio di microzonazione simica  
 Relazione tecnica

### 40001P073DP87

 <small>associated engineers</small> www.geoecoter.com	GEOECOTER s.c.a.r.l. - Ingegneria Civile e Geologia Applicata
	Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax 0547/95080
P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613	

PROVA DINAMICA DPSH 108 br		Caratteristiche del penetrometro	
Committente	Studio di geologia e geofisica srl	Peso del maglio	63,5
Cantiere	Acquapartita	Altezza di caduta	75 cm
Località	Bagno di Romagna	Angolo punta conica	60°
Data	12-03-2013	Sezione punta conica	20,43 cmq
Quota	piano campagna	Diametro aste	32 mm
Livello Falda	1.00	Peso aste	6,31 Kg/ml



Comune di Bagno di Romagna (FC)  
 Studio di microzonazione simica  
 Relazione tecnica