

COMUNE DI FIORANO MODENESE
(PROVINCIA DI MODENA)

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA

RELAZIONE TECNICA

Il Sindaco
Claudio Pistoni

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

Ufficio di Piano del Comune
Bruno Bolognesi

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

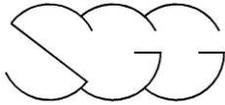


INDICE

1	INTRODUZIONE	Pag. 4
2	SISMICITA' FIORANO MODENESE	Pag. 7
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO	Pag. 11
4	INDAGINI SVOLTE	
4.1	Indagini pregresse	Pag. 17
4.2	Indagini attuali	Pag. 20
5	ESECUZIONE DEI RILIEVI	Pag. 23
6	ANALISI DELLA DISPERSIONE DELLE ONDE SUPERFICIALI	Pag. 27
7	ANALISI ED UTILIZZO DEI RAPPORTI SPETTRALI	Pag. 30
8	ANALISI DEI RISULTATI E RELATIVA CARTOGRAFIA	
8.1	Introduzione	Pag. 35
8.2	Carta delle frequenze	Pag. 35
8.3	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	Pag. 38
8.4	Carta della velocità delle onde di taglio S (Vs)	Pag. 39
9	DETERMINAZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE SISMICA	Pag. 43
10	CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE	Pag. 46
11	INDICAZIONI CIRCA IL TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	Pag. 50

APPENDICE

- Prove Masw Pag. 52
- Misure HVSR Pag. 60



ELENCO ELABORATI

- Carta geologica
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)
- Carta delle indagini
- Carta delle frequenze
- Carta della velocità delle onde di taglio s (V_s)
- 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 $0,5s < T_0 < 1,0s$

1 - INTRODUZIONE

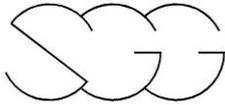
Nel presente rapporto sono illustrati i risultati dell'indagine di microzonazione sismica eseguita per conto del Comune di Fiorano Modenese (MO).



Figura 1 – Indagine effettuata nel territorio di Fiorano Modenese

In accordo con l'Amministrazione Comunale lo studio di microzonazione sismica riguarda essenzialmente le zone urbanizzate e quelle limitrofe, tralasciando la parte più estrema del comune posta a sud e priva di urbanizzazioni significative. La cartografia prodotta è sempre in scala 1:5.000.

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 e delle prove sismiche MASW.

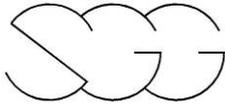
Ad integrazione e completamento di tali prove sono state riprese ed elaborate delle indagini in sito fornite dall'amministrazione comunale e costituite da sondaggi geognostici, prove penetrometriche, profili sismici, prove MASW.

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 Fiorano Modenese.

Gli elaborati grafici sono forniti in formato shapefile georeferenziato nel sistema regionale European datum 1950 UTM32Nord (false north = -4000000), mentre i dati tabellari sono riportati in formato *dbf* e seguendo i criteri dell'Allegato C della DGR n° 151 del 18/07/2011 "Struttura della banca dati per gli studi di microzonazione sismica di cui all'Ordinanza del PCM n° 3907/2010 e s.m.i. e Decreto n° 8422 del 10/12/2010 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile.

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." -

Inoltre, per la redazioni del presente studio, è stato fatto riferimento agli elaborati del PTCP 2009 della Provincia di Modena.

2 - SISMICITA' FIORANO MODENESE

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 Marzo 2003, il Comune di Fiorano Modenese fa parte dei comuni sismici classificati in zona 2.

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. 2). 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.

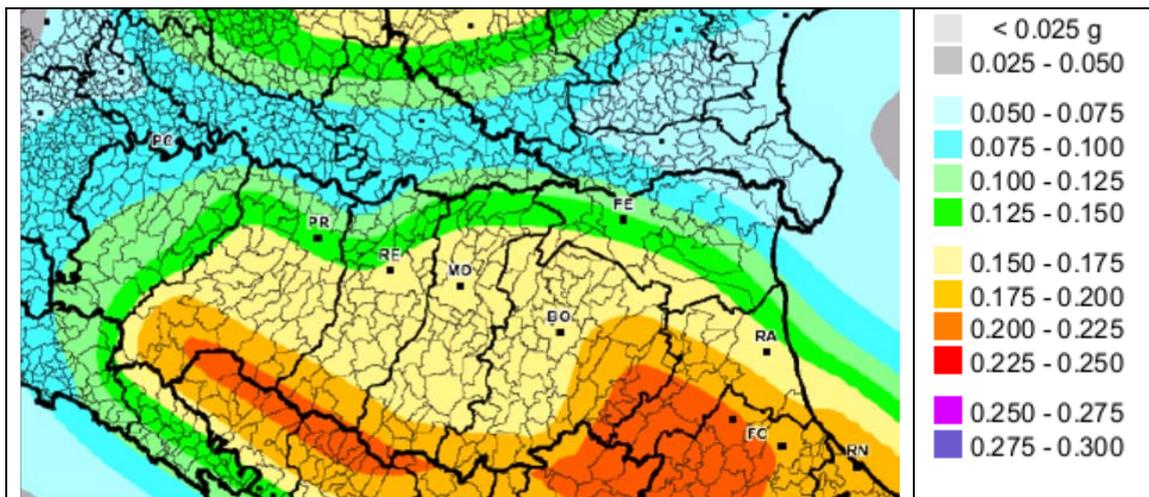


Figura 2 - Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14/09/2005.)

Dalla carta sopra riportata è possibile dedurre che il territorio del Comune di Fiorano Modenese fa parte di un'area caratterizzata dai valori dell'accelerazione massima compresi nell'intervallo tra 0,150 e 0,175 g, con il valore di 0,162 g riscontrato come PGA per il capoluogo comunale.

Di seguito (fig. 3) viene riportato l'elenco dei terremoti che hanno interessato il territorio comunale di Fiorano Modenese, con evidenziato data, ora, epicentro e magnitudo.

Numero di eventi: 11

Effetti	In occasione del terremoto del:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
7-8	1501	06	05	10		Appennino modenese	19	9	5.85
2	1887	02	23	05	21	Liguria occidentale	1515	10	6.29
3-4	1891	06	07	01	06	Valle d'Illasi	403	9	5.71
F	1898	03	04			CALESTANO	260	7	5.07
F	1904	06	10	11	15	Frignano	96	7	5.08
6	1914	10	27	09	22	GARFAGNANA	618	7	5.79
4	1957	08	27	11	54	ZOCCA	58	6	5.06
4	1983	11	09	16	29	Parmense	835	7	5.10
NF	1986	12	06	17	07	BONDENO	604	6	4.56
NF	1995	10	10	06	54	LUNIGIANA	341	7	5.04
5	1996	10	15	09	55	CORREGGIO	135	7	5.44

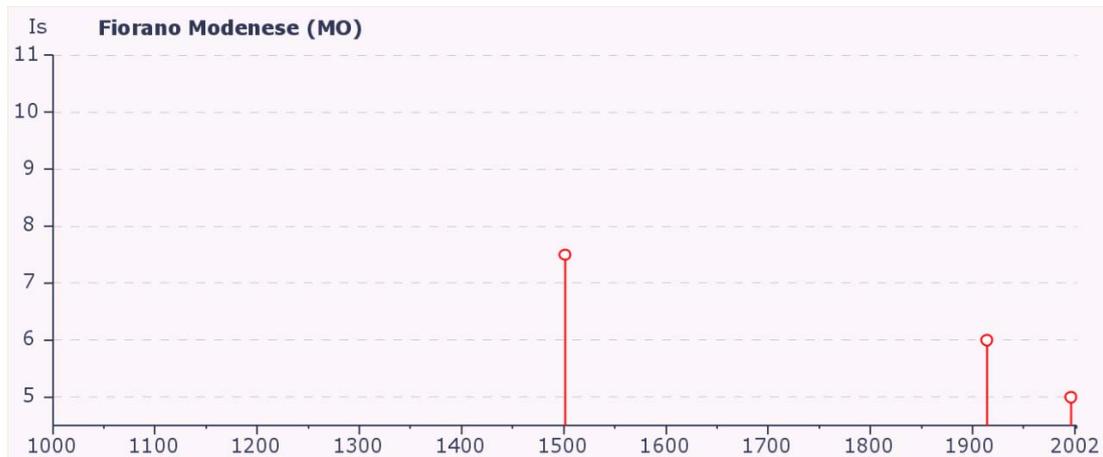


Figura 3 Storia sismica di Fiorano Modenese, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPT104. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>.

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 zonazione attualmente in vigore il territorio di Fiorano Modenese ricade all'interno della zona sismogenetica 913 (fig. 4). La magnitudo attesa per l'area in studio risulta essere pari a 6,14 (fig. 5).

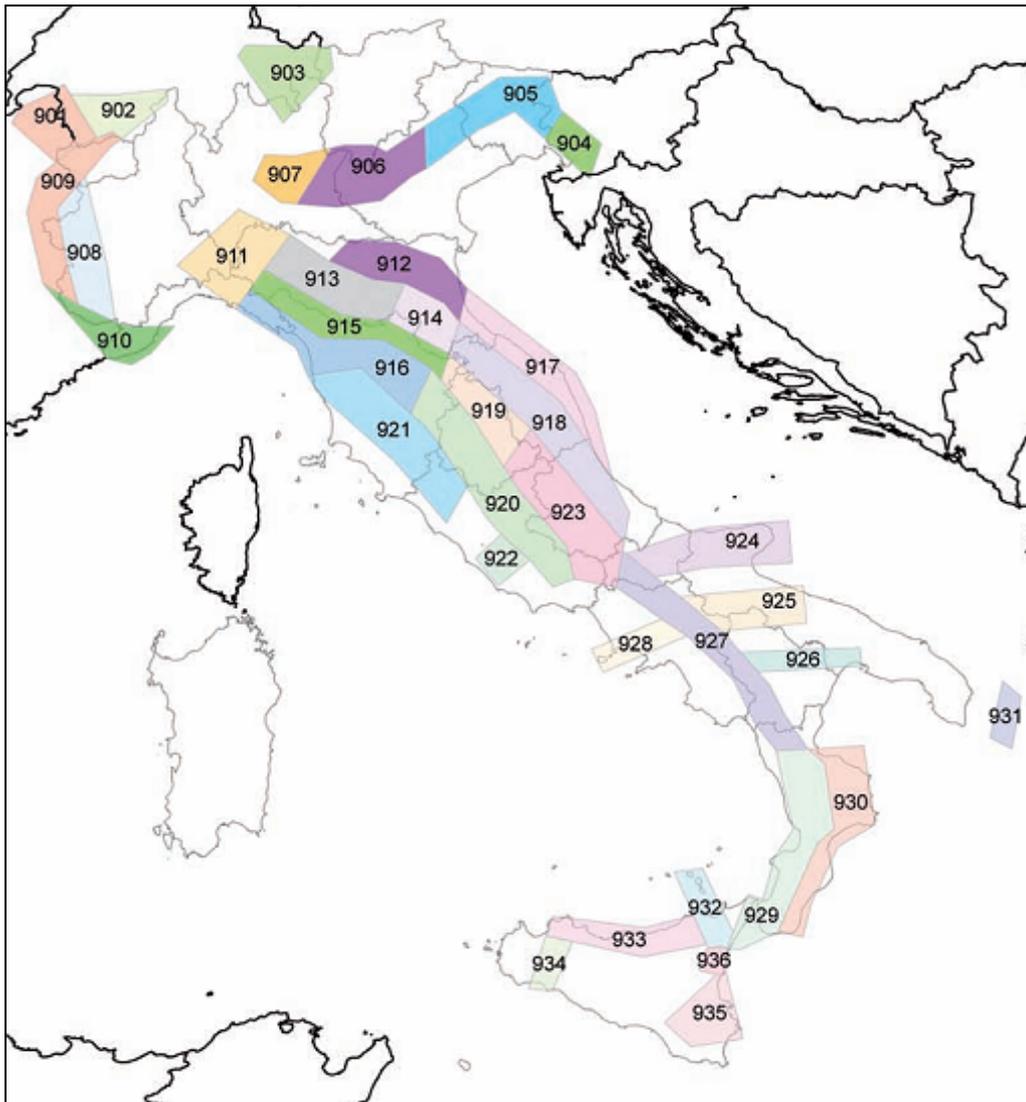


Figura 4 Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004)

Nome ZS	Numero ZS	M _{wmax}
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 5 Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche

La sismicità dell'area modenese è legata a varie strutture tettoniche, di cui quella principale nell'area esaminata è la Faglia Flessura di Sassuolo; si tratta di una struttura tettonica regionale ed in particolare di una faglia inversa attiva, che in coincidenza del territorio comunale di Fiorano Modenese, rimane sepolta al di sotto della coltre dei depositi alluvionali (fig. 6).

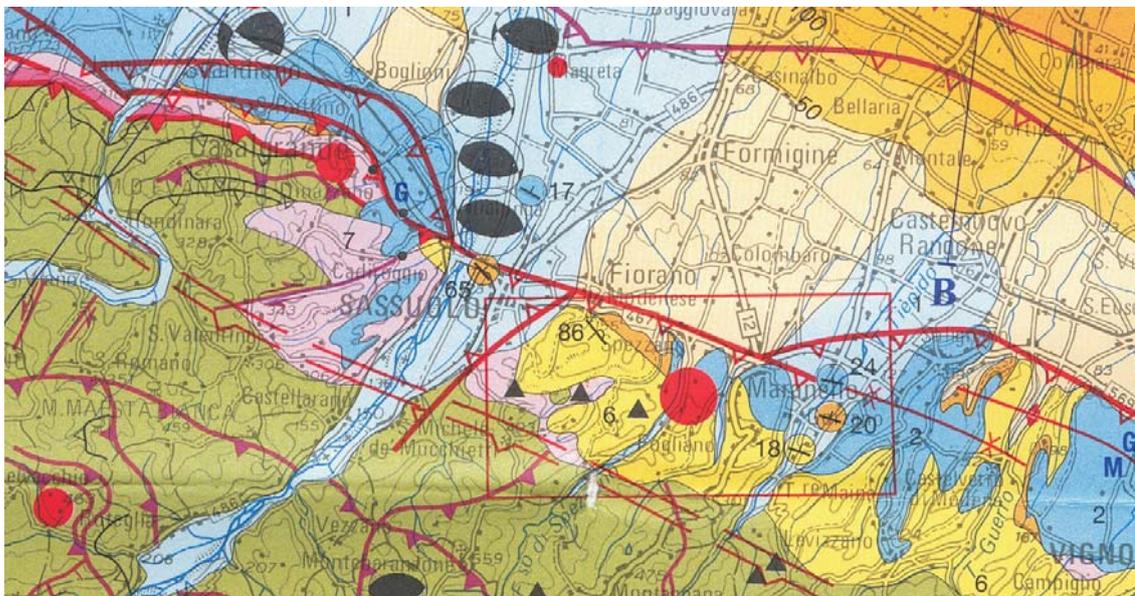


Figura 6 Estratto della Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna

3 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO

Il territorio del Comune di Fiorano Modenese è caratterizzato, dal punto di vista geologico, da due settori facilmente distinguibili e legati alla morfologia del territorio. La parte nord, coincidente con la zona di pianura, è caratterizzata da sedimenti di ambiente continentale riferiti ad un periodo che va dal Pleistocene all'attuale. La parte meridionale del comune, coincidente con le aree collinari, mette in evidenza un substrato riconducibile a sedimenti marini prevalentemente argillosi e localmente marnosi.

La sottostante Carta Geologica (fig. 7) è prodotta dal Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna.

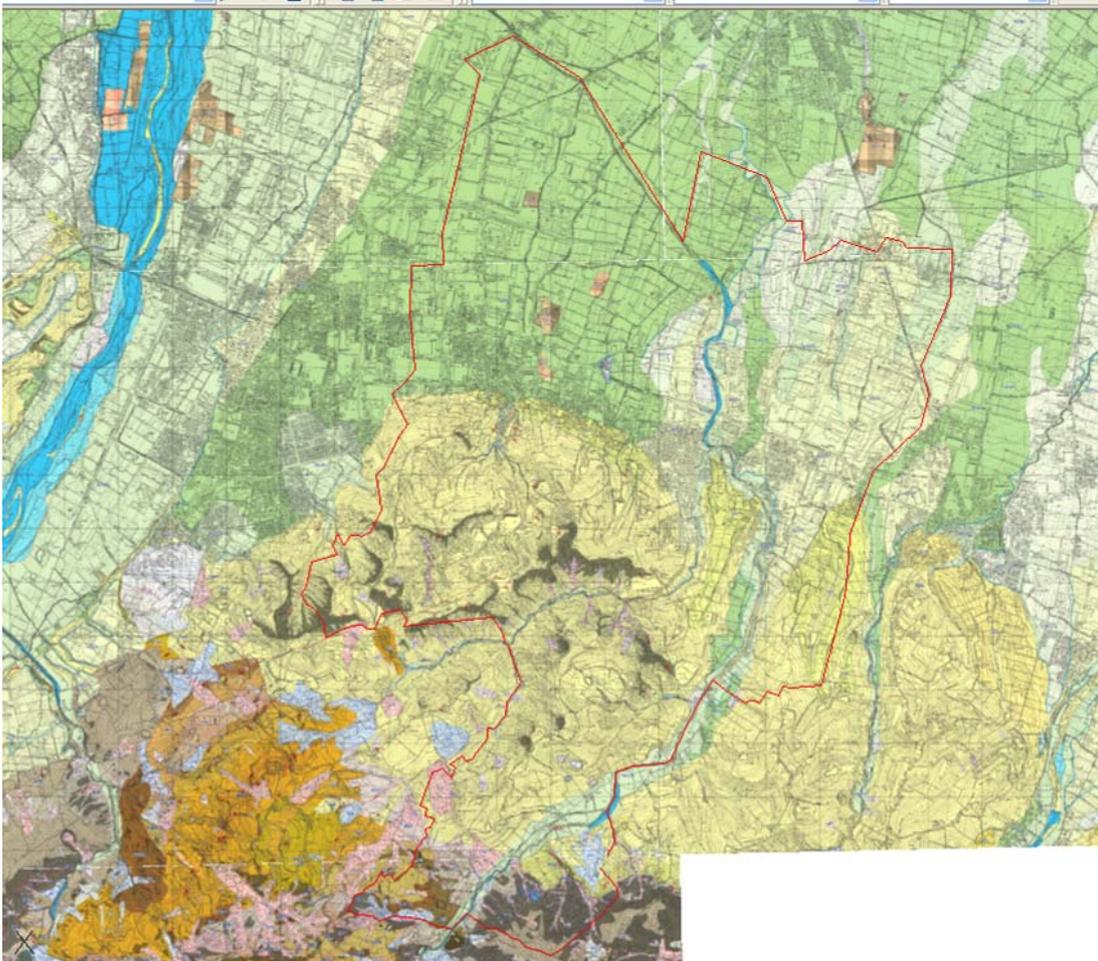


Figura 7 - Estratto della Carta Geologica della Regione Emilia Romagna

SEZIONE 219060 - SASSUOLO

DESCRIZIONE DELLE UNITA' GEOLOGICHE PRESENTI IN CARTA
(solo quelle rappresentate in forma poligonale)

Depositi quaternari continentali

	a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento
	a1d - Deposito di frana attiva per colamento lento
	a1g - Deposito di frana attiva complessa
	a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento
	a2d - Deposito di frana quiescente per colamento lento
	a2g - Deposito di frana quiescente complessa
	a3 - Deposito di versante s.l.
	b1 - Deposito alluvionale in evoluzione
	b1a - Deposito alluvionale in evoluzione fissato da vegetazione
	e1 - Deposito di salsa
	h - Deposito antropico

Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano

	AES - Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore
	AES8 - Subsistema di Ravenna
	AES8a - Unità di Modena
	AES7b - Unità di Vignola
	AES7a - Unità di Niviano
	AEI - Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore
	CMZ - Sistema di Costamezzana
	FAA - Argille Azzurre
	FAAa - Argille Azzurre - litofacies arenacea
	FAAac - Argille Azzurre - litofacies arenaceo-conglomeratica

-  FAA7 - Argille Azzurre - membro di Monte Arnone
-  FCO - Formazione a Colombacci

Successione epiligure

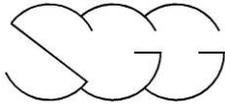
-  TER - Formazione del Termina
-  TERac - Formazione del Termina - litofacies arenaceo-conglomeratica
-  TER2 - Formazione del Termina - membro di Montebanzone
-  TER1 - Formazione del Termina - membro di Montardone
-  PAT - Formazione di Pantano
-  CTG - Formazione di Contignaco
-  MVT - Breccie argillose della Val Tiepido-Canossa
-  ANT - Marne di Antognola
-  ANT4 - Marne di Antognola - membro di Anconella
-  RAN4 - Formazione di Ranzano - membro di Albergana
-  RAN2 - Formazione di Ranzano - membro della Val Pessola
-  RAN2a - Formazione di Ranzano - membro della Val Pessola - litofacies arenaceo-conglomeratica
-  MMP - Marne di Monte Piano
-  BAI2 - Breccie argillose di Baiso - membro di Pian di Setta
-  BAI1 - Breccie argillose di Baiso - membro della Val Fossa

Unità liguri

-  MCS - Flysch di Monte Cassio

Il passaggio tra i due settori geologici, e quindi tra le due diverse morfologie, è riconducibile ad una struttura tettonica regionale e denominata come Faglia Flessura di Sassuolo. Si tratta di una faglia inversa attiva che in coincidenza del territorio comunale di Fiorano Modenese rimane sepolta al di sotto della coltre dei depositi alluvionali.

La zona dei rilievi collinari, essendo caratterizzata dal substrato affiorante, risulta di più semplice lettura dal punto di vista dell'amplificazione



sismica, dato che sono da segnalare solamente delle zone costituite da calanchi ed altre che presentano dei dissesti gravitativi attivi e/o quiescenti.

La parte della pianura presenta una situazione stratigrafica complessa ed eterogenea con spessori dei depositi continentali crescenti, andando da sud a nord, da una decina di metri fino a sfiorare il centinaio. Complessivamente i sedimenti continentali sono caratterizzati da livelli di ghiaie aventi spessori variabili, alternati a sedimenti più fini generalmente limosi.

Secondo anche quanto riportato nella Relazione Tecnica dell'indagine geologica allegata al POC di Fiorano (Giugno 2006) redatta dal Dr. Capitani, la zona di pianura è stata suddivisa in tre settori: settore occidentale, settore centrale, settore orientale.

Il Settore Occidentale è quello che presenta le maggiori alternanze tra i livelli ghiaiosi e quelli limosi. In affioramento si rinvengono sempre i limi a cui seguono con spessori variabili le ghiaie ed ancora i limi.

Il Settore Centrale è caratterizzato da uno strato consistente di limo a cui segue uno strato di ghiaia di spessore variabile ed uno orizzonte con alternanze ghiaioso-limose più fitte e non identificabili.

Il Settore Orientale è simile a quello centrale, con un primo strato di limi e rari livelletti di ghiaie a cui segue uno strato di ghiaia con spessore variabile e comunque consistente; la successione prima del substrato argilloso prosegue con il solito orizzonte all'interno del quale non risulta possibile suddividere gli strati limosi da quelli di ghiaia.

Di seguito (fig. 8) viene riportata la distinzione dei tre settori con la traccia delle sezioni geologiche, le cui risultanze schematiche sono evidenziate successivamente (fig. 9). Tali sezioni sono riportate anche nella tavola MOPS.

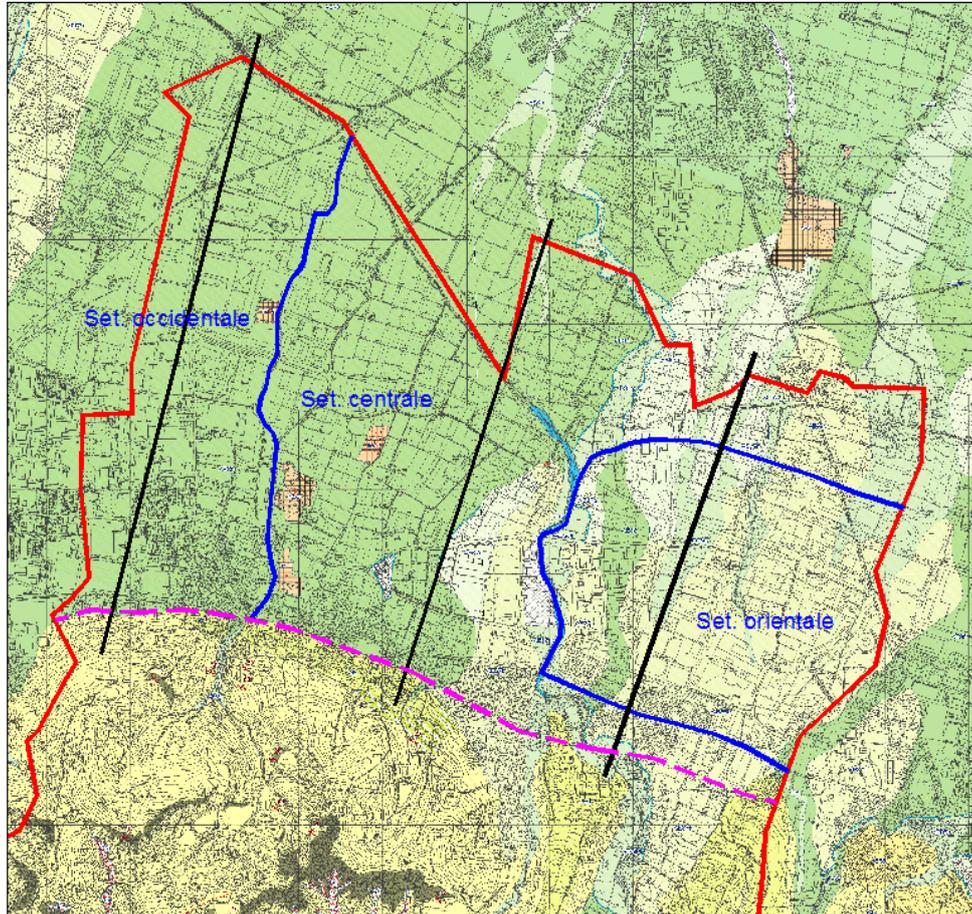


Figura 8 - Individuazione dei tre settori della pianura di Fiorano Modenese con le tracce delle sezioni geologiche.

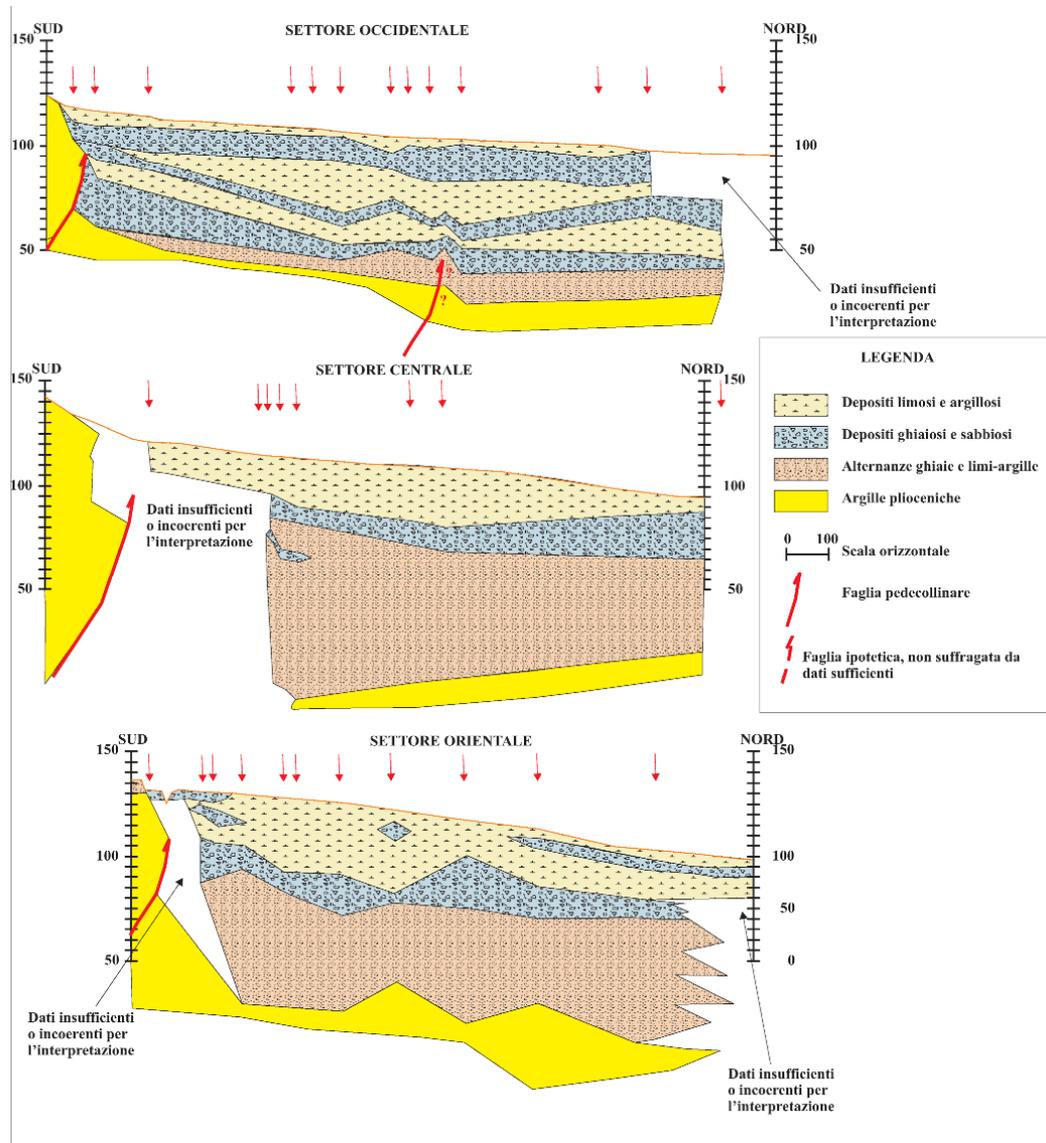


Figura 9 - Sezioni geologiche tratte da "Relazione Tecnica" dell'Indagine geologica relativa al POC del Comune di Fiorano Modenese

4 - INDAGINI SVOLTE

4.1 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 Fiorano. 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 e carotaggi down-hole).

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 ed in quelli in cui sono previste della modifiche urbanistiche.

Complessivamente, le precedenti indagini sono così riassumibili:

Indagini dirette

- n° 3 sondaggi geognostici
- n° 15 prove penetrometriche CPT

Indagini indirette

- n° 6 prove MASW
- n° 5 prove Re.Mi.
- n° 3 carotaggi sismici down-hole
- n° 2 profili sismici

Le prove, che sono risultate utili e quindi accettate per il presente incarico, vengono riassunte nelle successive tabelle, evidenziando la sigla con cui sono contraddistinte nella "Carta delle Indagini"



Sondaggio	Profondità (m)	Attrezzato
P 009	30	Tubo pcv prova down-hole
P 014	30	Tubo pcv prova down-hole
P 017	30	Tubo pcv prova down-hole

Prova penetrometrica CPT	Profondità
P CPT 001	8,0
P CPT 002	8,2
P CPT 003	9,4
P CPT 004	7,6
P CPT 005	4,4
P CPT 006	5,4
P CPT 007	5,6
P CPT 008	12,0
P CPT 010	11,0
P CPT 011	17,7
P CPT 012	8,4
P CPT 013	10,0
P CPT 015	8,4
P CPT 016	6,3
P CPT 033	5,0

Prova	Sigla identificativa
Masw	L MASW 003
Masw	L MASW 004
Masw	L MASW 005
Masw	L MASW 006
Masw	L MASW 012
Masw	L MASW 020
Remi	L REMI 001

Remi	L REMI 002
Remi	L REMI 009
Remi	L REMI 010
Remi	L REMI 011
Down-hole	DH 009
Down-hole	DH 014
Down-hole	DH 017
Profilo sismico	L SISM 007
Profilo sismico	L SISM 008

Gli elaborati grafici di tali prove non verranno consegnati su formato cartaceo, ma fanno parte del database GIS secondo quanto previsto dalla “Struttura della banca dati per gli studi di microzonazione sismica di cui all’Ordinanza del PCM n° 3907/2010 e s.m.i. e Decreto n° 8422 del 10/12/2010 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile.”

Per ogni indagine puntuale o lineare è stato compilato il database, seguendo la maschera fornita dalla Regione Emilia Romagna e sotto riportata.

Caricamento dati prove geognostiche

i campi in azzurro sono obbligatori

▶ Sigla prova	<input type="text"/>
Tipo di prova	<input type="text"/>
Attendibilità dell'ubicazione	<input type="text"/>
Proprietà archivio	<input type="text"/>
Riservatezza del dato	<input type="text"/>
Profondità raggiunta	<input type="text"/>
Committente	<input type="text"/>
Ditta esecutrice	<input type="text"/>
Data esecuzione	<input type="text"/>
Profondità prime ghiaie	<input type="text"/>
File allegato	<input type="text"/>

Ad ogni entità inserita nel database è stato collegato un oggetto nello shapefile puntuale o lineare che è stato popolato secondo i seguenti campi (alcuni dettati dai criteri dell'Allegato C della DGR n° 151 del 18/07/2011, altri aggiunti per poter eseguire le elaborazioni grafiche o le interpolazioni).

CAMPO	NOTE
SIGLA	Sigla univoca della prova
VSH	Velocità media delle onde S per l'intervallo H
H	Spessore della copertura sopra al substrato rigido o profondità del tetto del substrato rigido (per il valore VSH)
VS30	Velocità media delle onde S nei primi 30 metri di profondità in aree di pianura con H non determinabile (comunque > 30 m)
FREQUENZA	Valore di frequenza naturale del deposito
Anno	Anno di esecuzione dell'indagine
Nome_Orig	Sigla identificativa originale dell'indagine (se esistente)
PGA	Valore del fattore di amplificazione PGA
0_1_To_0_5	Valore del fattore di amplificazione intensità spettrale $0.1s < T_0 < 0.5s$
0_5_To_1	Valore del fattore di amplificazione intensità spettrale $0.5s < T_0 < 1.0s$

4.2 Indagini attuali

La prospezione geofisica e le misure tomografiche sono state eseguite nei giorni del 2 e 6 Aprile 2012. L'ubicazione complessiva delle indagini è riportata in dettaglio nell'elaborato "Carta delle indagini".

L'indagine geofisica si è svolta attraverso l'esecuzione di 7 prove MASW per l'acquisizione delle onde superficiali di Rayleigh e con l'esecuzione di 15 misure HVSR (fig. 10) a stazione singola della durata di 30 minuti ciascuna.



Figura 10 – Misura HVSr

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

MASW 1	MASW 5
MASW 2	MASW 6
MASW 3	MASW 7
MASW 4	

HVSR 1	HVSR 9
HVSR 2	HVSR 10
HVSR 3	HVSR 11
HVSR 4	HVSR 12
HVSR 5	HVSR 13
HVSR 6	HVSR 14
HVSR 7	HVSR 15
HVSR 8	

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

l'allegato C al D.G.R. Emilia Romagna 18 Luglio 2011 n° 1051 (Struttura della banca dati per gli studi micro zonazione sismica di cui all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3097/2010 e s.m.i. e Decreto n° 8422 del 10 Dicembre 2010 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile).

Di seguito viene riportata la legenda della Carta delle Indagini

Legenda

Indagini attuali

-  Misura HVSR
-  Prova MASW 2012 (es. "MASW 02")

Indagini precedenti

-  Prova CPT con indicazione della profondità raggiunta (m)
-  Sondaggio in cui è stata eseguita una prova Down Hole con indicazione della profondità raggiunta (m)
-  Array sismico
-  Prova Re.Mi.
-  Prova MASW (es. "L-MASW-001")

Figura 11 – Legenda della Carta delle indagini

5 – 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).

Nel loro insieme, 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).

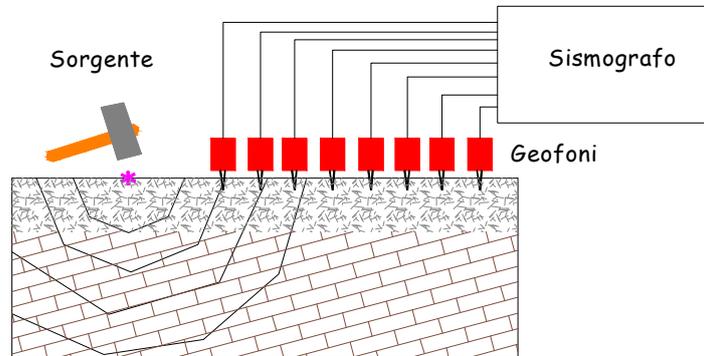


Figura 12 - Stendimento sismico

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. 12) 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

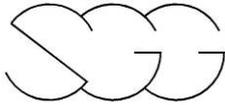
configurazione strutturale (con f_r circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Si osserva anche una certa correlazione (fortemente non lineare) fra l'entità della variazione di velocità responsabile dei 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 ν_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 microtremiti, della durata di 30 minuti, sono state effettuate con il tromografo digitale TROMINO ENGY PLUS (specifiche tecniche su www.tromino.it), strumento appositamente progettato per questo scopo.

6 - 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. 13).

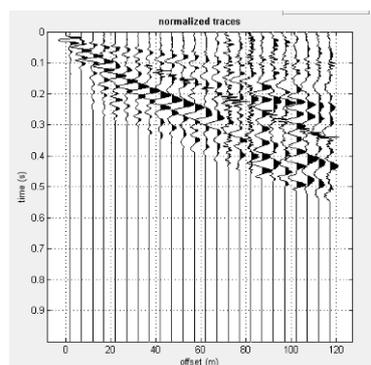


Figura 13: dati di campagna

Sullo spettro di velocità calcolato (fig. 14) 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.

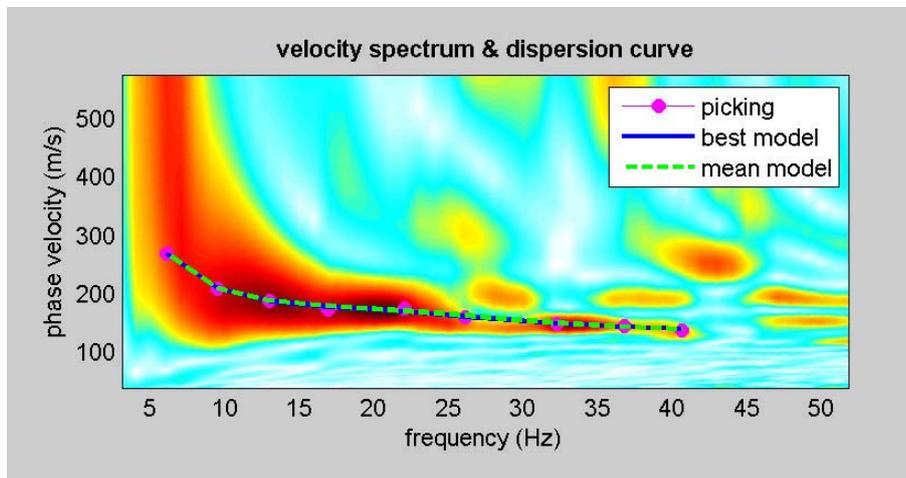


Figura 14: esempio di spettro di velocità tratto dalla prova MASW e relativo picking

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.

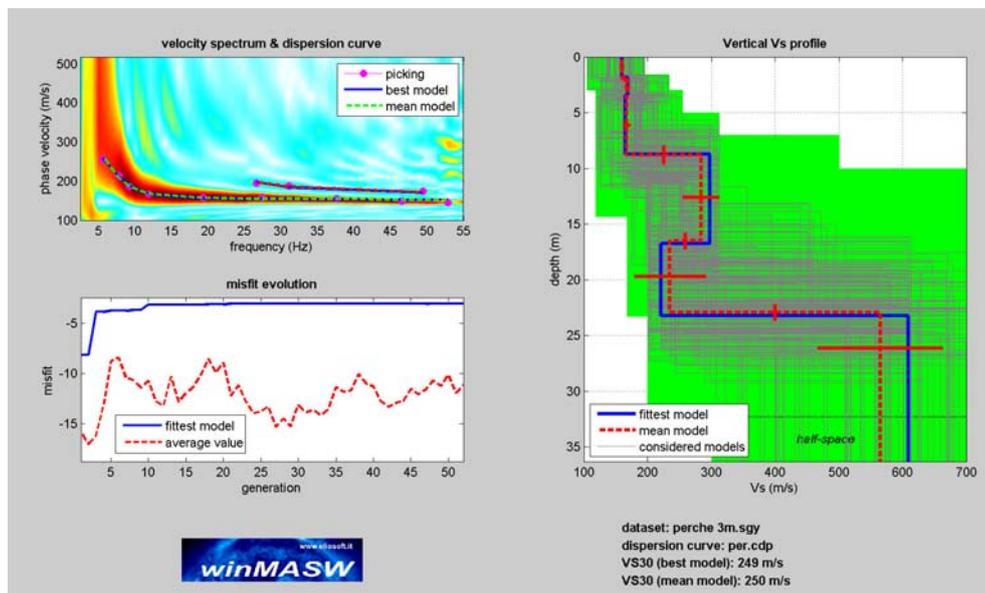


Figura 15: Esempio di risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (modello "migliore" 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. 15) in funzione della profondità con associato il valore del V_{s30} o V_{sH} .

7 - 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 trenta 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.

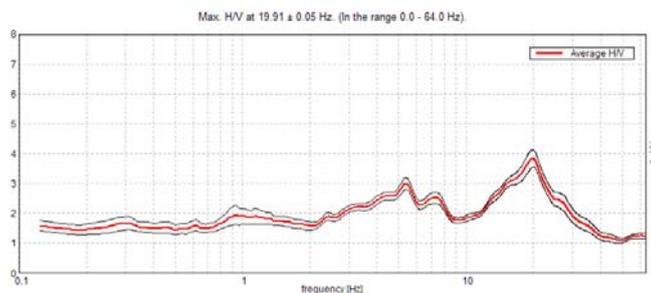
Di seguito sarà brevemente descritta la procedura di analisi seguita:

- 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. 16). La stazionarietà nel tempo, invece, può essere valutata rappresentando in funzione del tempo le funzioni H/V ottenute nelle diverse finestre temporali considerate (fig. 16).



H/V TIME HISTORY

DIRECTIONAL H/V

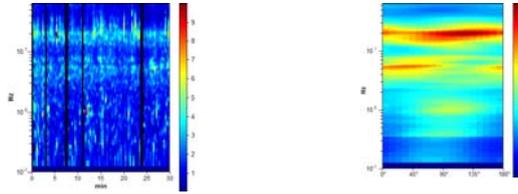


Figura 16: Esempio di risultati delle analisi di rumore sismico relative a una corretta misura H/V. In alto sono riportati i valori del rapporto spettrale H/V in funzione della frequenza con il relativo intervallo di confidenza al 95%. In basso a sinistra è riportato l'andamento nel tempo (ascissa) dei 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: 17).

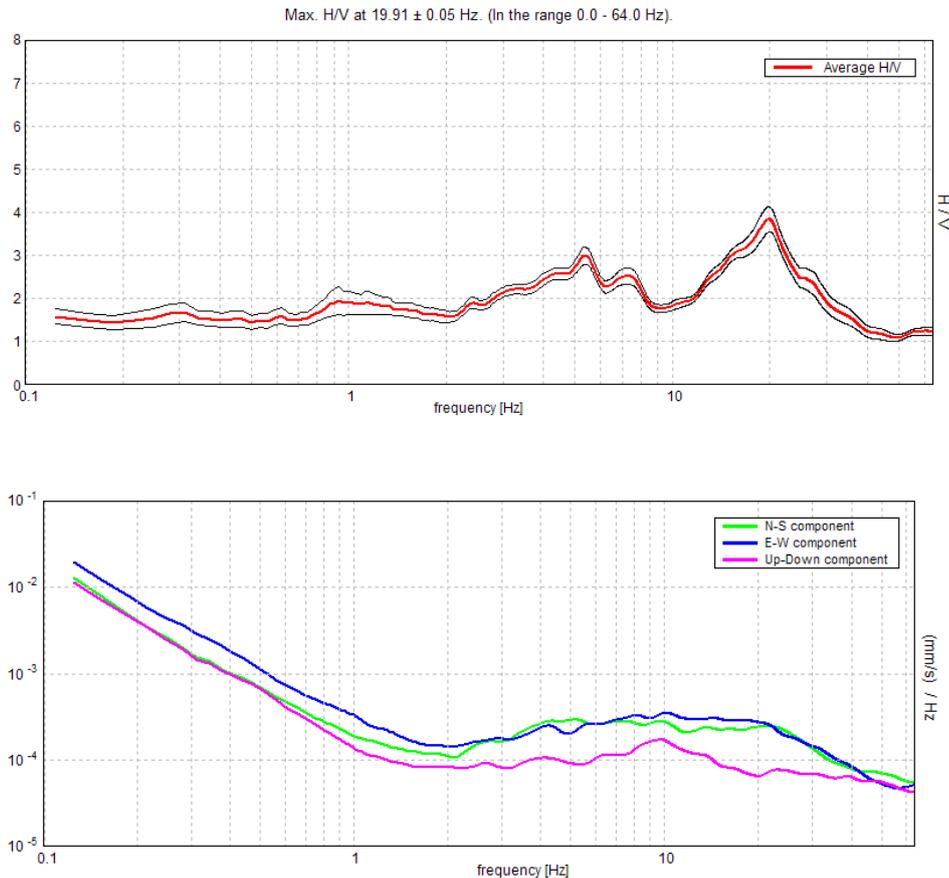
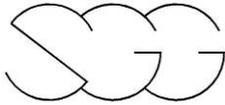


Figura 17: Esempio di andamento degli spettri relativi a una corretta misura H/V nella quale viene identificato un picco fisicamente significativo. Nella figura superiore è riportato l'andamento della curva H/V (curva rossa) e il relativo intervallo di confidenza (curve nere). Nella figura in basso sono 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.

Al contrario, nel rimanente settore nord-orientale, si evidenziano numerose prove in cui non si ha un picco significativo sulla curva H/V. Ciò, sta ad indicare che non vi è generalmente un contrasto di impedenza



significativo e perciò se ne deduce che il pur presente contatto tra i sedimenti limoso-sabbiosi e le sottostanti ghiaie non rappresentano un contrasto tale da essere visualizzato nella curva H/V. In questo caso le ghiaie non hanno spessori considerevoli e non possono essere considerate sismicamente come il sub-strato.

Quindi, attraverso le misure HVSR e le relative curve H/V che ne derivano, è possibile individuare un litotipo che, almeno dal punto di vista sismico, può essere considerato come il sub-strato. Questa conoscenza sul sub-strato sismico ci permette di poter scegliere, per le varie zone del territorio comunale, le varie tabelle da utilizzare per la determinazione dei fattori di amplificazione, secondo quanto stabilito nell'Atto di Indirizzo e Coordinamento Tecnico n. 112/2007.

8 - ANALISI DEI RISULTATI E RELATIVA CARTOGRAFIA

8.1 Introduzione

Come specificato dall'Allegato C della DGR n° 151 del 18/07/2011 "Struttura della banca dati per gli studi di microzonazione sismica di cui all'Ordinanza del PCM n° 3907/2010 e s.m.i. e Decreto n° 8422 del 10/12/2010 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile", tutti gli elaborati GIS sono stati georeferenziati nel sistema regionale European datum 1950 UTM32Nord* (false north = -4000000), e sono stati redatti in scala 1:5000 (migliorando quindi le specifiche dell'allegato B alla suddetta delibera regionale).

I progetti GIS sono stati realizzati utilizzando il software ArcMap v.10 della ESRI e per una maggiore compatibilità gli shapefiles non sono stati organizzati in geodatabase ma disposti secondo le cartelle suggerite dalla Regione Emilia Romagna; 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"

8.2 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 stati identificati le alte frequenze in un range compreso tra 6,1 e 17,6 Hz.

Nel caso in cui la curva HVSR abbia evidenziato picco non significativo, questa frequenza di risonanza è stata identificata con la denominazione f_1 in un intervallo compreso tra 4,5 e 20,0 Hz.

Per ciascuna prova tromografica, si riporta la relativa frequenza di risonanza e l'ampiezza del picco della curva HVSR.

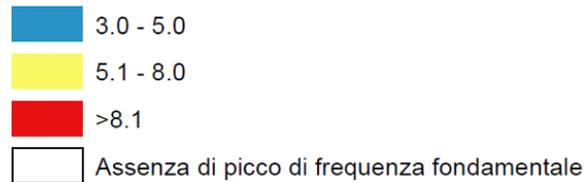
Prova HVSR	f0 (Hz)	ampiezza	f1 (Hz)	ampiezza
1	17,6	> 3		
2	8,7	> 3		
3	6,1	≤ 3		
4	assente		12,0	≤ 2
5	assente		20,0	≤ 2
6	14,6	> 3		
7	assente		4,5	> 2
8	12,8	> 3		
9	7,2	> 3		
10	assente		8,5	> 2
11	assente		6,5	≤ 2
12	assente		18,0	≤ 2
13	assente		4,5	≤ 2
14	assente		7,0	≤ 2
15	assente		12,0	> 2

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).

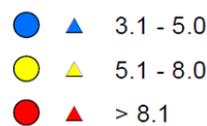
Nella Carta delle Frequenze, redatta alla scala 1:5.000, sono stati riportati tutti i punti di misura (estrapolando dallo shapefile delle indagini puntuali tutte le misure HVSR) con una simbologia tale da evidenziare i diversi valori delle frequenze di risonanza, espressa in Hz, e le relative ampiezze dei picchi. I valori coincidenti con la frequenza fondamentale (f0) sono stati realizzati con un cerchio, mentre i valori appartenenti ad altre frequenze (f1) sono stati eseguiti con dei triangoli. I diversi colori dei simboli indicano i vari intervalli di frequenza (fig. 18).

Legenda

Mappatura della frequenza di risonanza f_0 (Hz)



f_0 f_1 frequenze (Hz)



ampiezza del picco

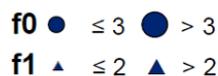


Figura 18 – Estratto e legenda della Carta delle frequenze

Vengono anche evidenziate le zone per le quali risulta assente un picco di frequenza significativo (zone bianche).

La dimensione del simbolo (cerchio e triangolo) sta ad indicare un'ampiezza del picco più o meno grande.

I valori della frequenza fondamentale (f_0) sono stati elaborati con interpolazione geostatistica Kriging per poter suddividere il territorio in classi di frequenza con lo scopo di distinguere le aree caratterizzate da basse ed alte frequenze. Nel caso specifico sono state solamente distinte tre classi, aventi rispettivamente frequenze comprese tra 3,0 e 5,0 Hz, tra 5,1 e 8,0 Hz e maggiori di 8,1 Hz.

Come già ricordato, è stata individuata un'ampia area che non presenta picchi fondamentali; questa zona si individua nel settore centro orientale della pianura. Anche nelle zone collinari, affiorando il substrato marino, non si registra un picco fondamentale di frequenza.

8.3 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 non sono presenti delle aree stabili, sono quindi cartografate le “zone stabili suscettibili di amplificazioni locali” e le “zone suscettibili di instabilità”.

Tra le zone stabili suscettibili ad amplificazioni locali sono state distinte 7 diverse zone in base alle diverse successioni stratigrafiche e rappresentate in superficie per mezzo di colori variabili dal giallo al verde.

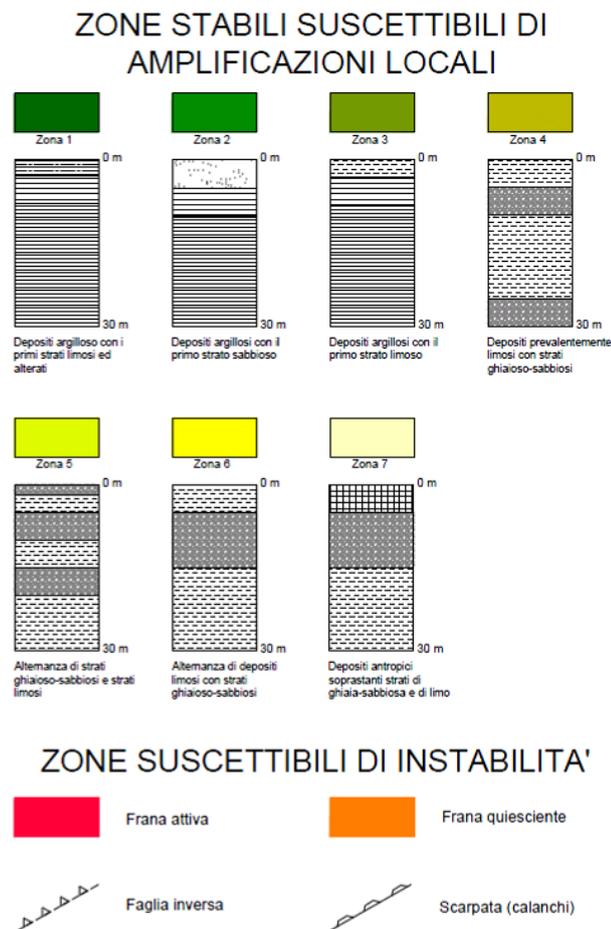


Figura 19 – Legenda della Carta MOPS

In sovrapposizione alle zone stabili suscettibili ad amplificazione, sono state anche individuate delle zone suscettibili di instabilità ed in particolare le frane attive, le frane quiescenti e le faglie attive.

Le zone instabili coincidenti con le frane si individuano nelle zone collinari, mentre la faglia si colloca al passaggio pianura-collina.

Tra le zone stabili suscettibili di amplificazione locale la zona 6 è la prevalente nel settore di pianura e più precisamente si evidenzia nel settore nord-occidentale. La parte orientale della pianura è caratterizzata prevalentemente dalla zona 4, mentre nella fascia collinare la zona 1 rappresenta la quasi totalità dell'area.

8.4 Carta della velocità delle onde di taglio S (Vs)

L'esecuzione delle 7 nuove prove MASW, insieme alle altre indagini sismiche esistenti (MASW, Re.Mi. e down-hole) hanno permesso, per la verticale indagata, la ricostruzione della velocità delle onde S (Vs) con il variare della profondità.

Analizzando complessivamente i risultati ne deriva che i valori di Vs fino alla profondità investigata pari a circa 30 metri, presentano dei valori medi e variabili con la profondità.

Le Vs hanno valori in superficie compresi tra 200 e 250 m/sec, che con un aumento spesso repentino passano, in coincidenza dei livelli di ghiaia, a valori tra 500 e 700 m/sec; generalmente nella parte più profonda dei 30 metri analizzati si evidenzia un'inversione delle velocità con livelli in cui le Vs ridiscendo tra 350 e 500 m/sec.

La stratificazione dedotta dalle prove sismiche, integrata con i dati geologici, presenta complessivamente 3 - 4 strati e la prevalenza delle prove è schematizzata con 4 strati caratterizzati da differenti velocità sismica.

In appendice sono riportati i risultati delle prove MASW svolte per questo incarico, illustrando la curva di dispersione piccata ed il profilo

verticale di V_s .

Nella realizzazione della carta si è preferito non creare altri shapefile con dati ridondanti riguardanti le sole V_s ; sono stati quindi utilizzati gli shapefile delle indagini su cui è stata impostata una “query di definizione” che permette la visualizzazione dei soli dati che presentino le informazioni necessarie.

Mettendo in correlazione i dati emersi delle prove sismiche attuali e precedenti, con i risultati delle prove HVSR e con tutti gli elementi geologici e stratigrafici hanno permesso valutare per i diversi settori del territorio comunale la successione stratigrafica dal punto di vista sismico.

Nella Carta della velocità delle onde S viene perciò 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; nel caso specifico il substrato è rappresentato da significativi livelli di ghiaie (tale visualizzazione è stata realizzata tramite il sistema di labeling basato su un codice che restituisce il valore di V_{sH} o di V_{s30} a seconda della presenza o meno della copertura).

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva con i risultati delle prove sismiche, espressi in termini di V_{s30} e di V_{sH} .

Prova	V_s
Masw 1	$V_{s4} = 246$
Masw 2	$V_{s5} = 189$
Masw 3	$V_{s14} = 337$
Masw 4	$V_{s30} = 306$
Masw 5	$V_{s30} = 326$
Masw 6	$V_{s30} = 303$
Masw 7	$V_{s30} = 344$

Masw 003	Vs8 = 187
Masw 004	Vs30 = 285
Masw 005	Vs8 = 154
Masw 006	Vs30 = 497
Masw 012	Vs30 = 489
Masw 020	Vs5 = 252
Remi 001-002	Vs8 = 240
Remi 009	Vs30 = 383
Remi 010	Vs11 = 318
Remi 011-DH14	Vs30 = 495
DH 009	Vs30 = 441
DH 017	Vs30 = 394
Profilo sism. 007	Vs30 = 332
Profilo sism. 007	Vs30 = 518

Quindi, tramite la già citata correlazione tra prove sismiche, prove HVSR e tutti gli elementi geologico-stratigrafici, è stato possibile suddividere il territorio comunale in tre zone stratigraficamente diverse e riconducibili agli ambiti indicati nella Deliberazione dell'Assemblea legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2 maggio 2007.

In riferimento a ciò le zone collinari, essendo caratterizzate da un substrato marino affiorante, sono state considerate come “Ambito appenninico e margine appenninico padano con substrato marino affiorante caratterizzato da Vs inferiori a 800 m/sec”. Il settore collinare coincide con la parte meridionale del comune di Fiorano Modenese.

La parte della pianura in cui non sono stati evidenziati picchi di frequenza fondamentale viene classificata come “Ambito di pianura padana con coperture su un substrato posto a profondità inferiore a 100 metri dal p.c.” (Pianura 1). Tale settore corrisponde con il settore nord-orientale del territorio comunale.

La restante parte pianeggiante, in cui gli strati di ghiaia sono consistenti e

comunque evidenziano un contrasto di impedenza netto, è stata considerata come “Ambito di pianura e costiero assimilabile ad Appennino e margine appenninico padano per substrato caratterizzato da Vs inferiori a 800 m/sec”. In tal caso lo strato di ghiaia è assimilato ad un substrato avente velocità inferiori a 800/sec. Quest’ultima zona coincide con il settore nord-occidentale del territorio comunale di Fiorano.

Il passaggio tra i tre ambiti, è funzione dai dati ricavati dalle prove sismiche, ma tiene anche conto dei passaggi litologici più significativi.



Figura 20 – Legenda della Carta della velocità delle onde di taglio S

9 - 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.

Come già ricordato nel precedente paragrafo, il territorio comunale di Fiorano Modenese, come configurazione geologica e morfologica dovrebbe essere collocato, in riferimento alla legge regionale, in parte come pianura padana ed in parte come margine appenninico.

In realtà, nel settore nord-occidentale, la presenza dei litotipi ghiaiosi aventi consistenti spessori, fa sì che tale litotipo possa essere assimilato dal punto di vista sismico al substrato. In conseguenza di ciò, essendo le ghiaie presenti entro una profondità media di circa 10 m dal piano campagna, tale settore fa parte del "Appennino e Margine Appenninico-Padano con substrato caratterizzato da $V_s < 800$ m/sec" (settore giallo).



Figura 21: Individuazione degli ambiti per il comune di Fiorano Modenese

La rimanente parte nord-orientale del territorio comunale, così come risulta in prima analisi e come confermato dalle misure HVRS, è considerata



parte della “Pianura Padana e Costa Adriatica” ed in particolare come Pianura 1 dove il substrato è inferiore ai 100 metri dal piano campagna (settore rosso).

Le zone collinari, così come risulta evidente dalla morfologia si inseriscono nell’ambito del “Appennino e Margine Appenninico-Padano con substrato affiorante caratterizzato da $V_s < 800$ m/sec”. (settore verde)

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 ai diversi ambiti, di seguito riportati:

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	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 - $0.1s < T_0 < 0.5s$

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 - $0.5s < T_0 < 1.0s$

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

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

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 - $0.1s < T_0 < 0.5s$

V_{S30}	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.4	1.3	1.1	1.0

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

V_{S30}	450	500	600	700	800
F.A.	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0

Pianura Padana e Costa Adriatica

In ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da presenza di potenti orizzonti di ghiaie (anche decine di metri) e da alternanze di sabbie e peliti, con substrato poco profondo (< 100 m da p.c.) – PIANURA 1

F.A. P.G.A.

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0

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

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0

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

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.6	2.5	2.4	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.1	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}).

10 - CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

L'elaborato conclusivo dello studio di microzonazione sismica di II° livello del comune di Fiorano Modenese, 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.

Per la redazione delle carte di microzonazione, è stato necessario in un primo momento suddividere l'intera area comunale nei vari ambiti di appartenenza come stabilito nell'Atto di Indirizzo e Coordinamento Tecnico n. 112/2007. Tale suddivisione, già descritta in precedenza, ha portato all'individuazione dei tre ambiti sotto evidenziati (fig 22).

Ambiti territoriali

-  Ambito appennino e margine appenninico padano con substrato marino affiorante caratterizzato da Vs inferiori a 800 m/s
-  Ambito di pianura padana per coperture su substrato a profondità inferiore a 100m da p.c. (PIANURA 1)
-  Ambito di pianura e costiero assimilabile ad appennino e margine appenninico padano per substrato caratterizzato da Vs inferiori a 800 m/s

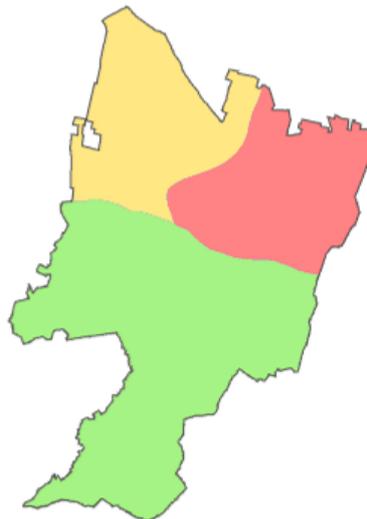


Figura 22: Individuazione degli ambiti per il comune di Fiorano Modenese

Una volta effettuata la suddivisione in ambiti, si è provveduto a definire i fattori di amplificazione sismica, mediante l'applicazione delle tabelle in

funzione dei valori di V_{S_H} e $V_{S_{30}}$ ottenuti elaborando i dati delle prove sismiche (MASW, Re.Mi., down hole). 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, ottenuta elaborando l'interpolazione geostatistica Kriging, i valori dei fattori di amplificazione sismica sono stati estesi su tutta la porzione urbanizzata del territorio comunale; tale elaborazione differisce quindi leggermente dai criteri richiamati dall'Amministrazione Regionale che prevedono l'attribuzione di un valore univoco del fattore di amplificazione per ogni elemento derivato dalla carta MOPS.

Analizzando la carta delle frequenze, per le zone dove non è stato evidenziato un picco di frequenza fondamentale, in teoria non si dovrebbe prevedere un'amplificazione sismica e quindi il fattore di amplificazione dovrebbe essere pari a 1. Considerando però, che anche nelle aree limitrofe a queste, il picco di frequenza fondamentale è legato alla presenza di un livello di ghiaie e non ad un vero e proprio substrato, ci sembra più preciso e soprattutto più cautelativo valutare il fattore di amplificazione anche in presenza di picchi di frequenza non fondamentali. In questo modo per tutto il territorio verrà comunque considerata un'amplificazione sismica.

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 ($0,5s < T_0 < 1,0s$).

Prova	PGA	0,1s < T₀ < 0,5s	0,5s < T₀ < 1,0s
Masw 1	1,7	1,5	1,4

Masw 2	2,0	1,7	1,4
Masw 3	1,8	1,7	1,4
Masw 4	1,6	1,8	2,4
Masw 5	1,6	1,8	2,1
Masw 6	1,6	1,8	2,4
Masw 7	1,4	1,5	1,4
Masw 003	2,3	2,2	1,6
Masw 004	1,4	1,5	1,4
Masw 005	2,3	2,2	1,6
Masw 006	1,4	1,5	1,6
Masw 012	1,4	1,5	1,6
Masw 020	1,7	1,5	1,4
Remi 001-002	2,0	1,9	1,5
Remi 009	1,4	1,5	1,4
Remi 010	1,8	1,7	1,4
Remi 011-DH14	1,4	1,5	1,6
DH 009	1,5	1,6	1,7
DH 017	1,6	1,7	1,9
Prof. 007	1,4	1,5	1,4
Prof.008	1,4	1,5	1,6

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 del fattore di amplificazione P.G.A. (fig. 23). I vari fattori di amplificazione che si determinano per ogni ambito vengono evidenziati con diverse gradazioni dello stesso colore o di colori simili; ciò risulta utile per sottolineare anche per tale cartografia la divisione del territorio comunale nei vari ambiti già descritti in precedenza.

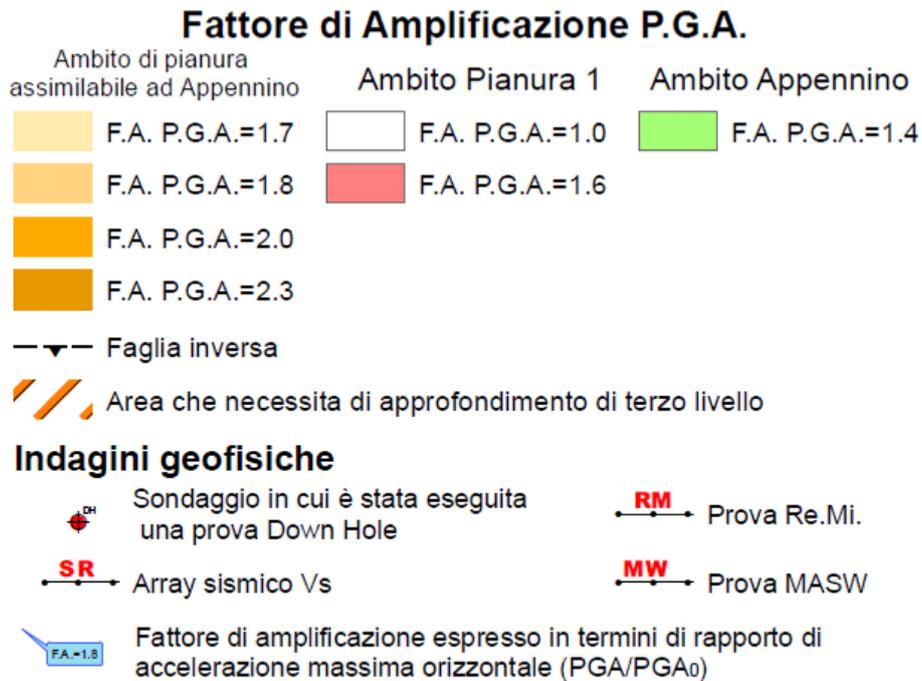
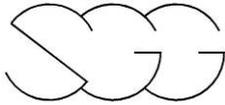


Figura 23: Legenda della Carta del fattore di amplificazione PGA

Nelle tre carte di amplificazione sismica oltre ai valori del fattore di amplificazione, sono state anche evidenziate le aree che necessitano del terzo livello di microzonazione sismica.

Quest'ultime corrispondono con le zone in frana che si collocano in aree non urbanizzate nel settore collinare, ed in particolare con una fascia corrispondente con una faglia attiva e nota come Faglia Flessura di Sassuolo. Tale fascia, della larghezza complessiva di 200 metri, si pone in prossimità del passaggio tra la zona di pianura e quella collinare ed interessa zone anche intensamente urbanizzate.

Per tutti questi settori, in caso di modifiche urbanistiche, si dovranno eseguire ulteriori indagini per determinare la risposta sismica locale; nel successivo paragrafo vengono fornite delle indicazioni schematiche su tali indagini e sugli elementi necessari per l'esecuzione del terzo livello.



11 - INDICAZIONI CIRCA IL TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

La microzonazione sismica di terzo livello dovrà essere effettuata, in caso di modifiche o variazioni urbanistiche, per le seguenti aree :

- Aree caratterizzate da movimenti franosi attivi e quiescenti
- Area coincidente con la faglia attiva denominata “Faglia di Sassuolo”

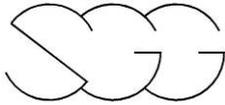
L'analisi di risposta sismica locale verrà effettuata attraverso codici di calcolo che simulano la propagazione delle onde sismiche nei terreni dal substrato alla superficie. A partire dagli accelerogrammi di input (terremoti di riferimento) le simulazioni numeriche dovranno fornire gli spettri di risposta e gli accelerogrammi in superficie. Il codice di calcolo da utilizzare dovrà essere scelto sulla base della rappresentatività delle situazioni incontrate.

La sollecitazione indotta dall'azione sismica sarà stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse.

I codici di calcolo da utilizzare per la microzonazione di terzo livello necessitano, come dati di ingresso, della caratterizzazione dinamica dei terreni in termini di andamento del modulo di taglio e dello smorzamento con la deformazione. Al fine di caratterizzare le principali unità litotecniche delle aree coinvolte dal terzo livello di approfondimento si renderà perciò necessario disporre di campioni indisturbati di terreno riconducibili agli strati critici; in tale eventualità si renderà eventualmente necessario il ricorso a sondaggi geognostici per il corretto prelievo dei campioni da caratterizzare con specifiche prove di laboratorio (prova di colonna risonante o prova torsionale ciclica).

Si ribadisce comunque, che l'approfondimento di terzo livello dovrà essere eseguito solo in caso di nuove progettazioni o comunque per delle modifiche urbanistiche nelle zone evidenziate in cartografia e sopra elencate.

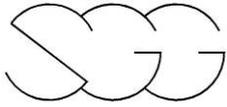
Dr. Geol. Antonio Maria Baldi



Appendice

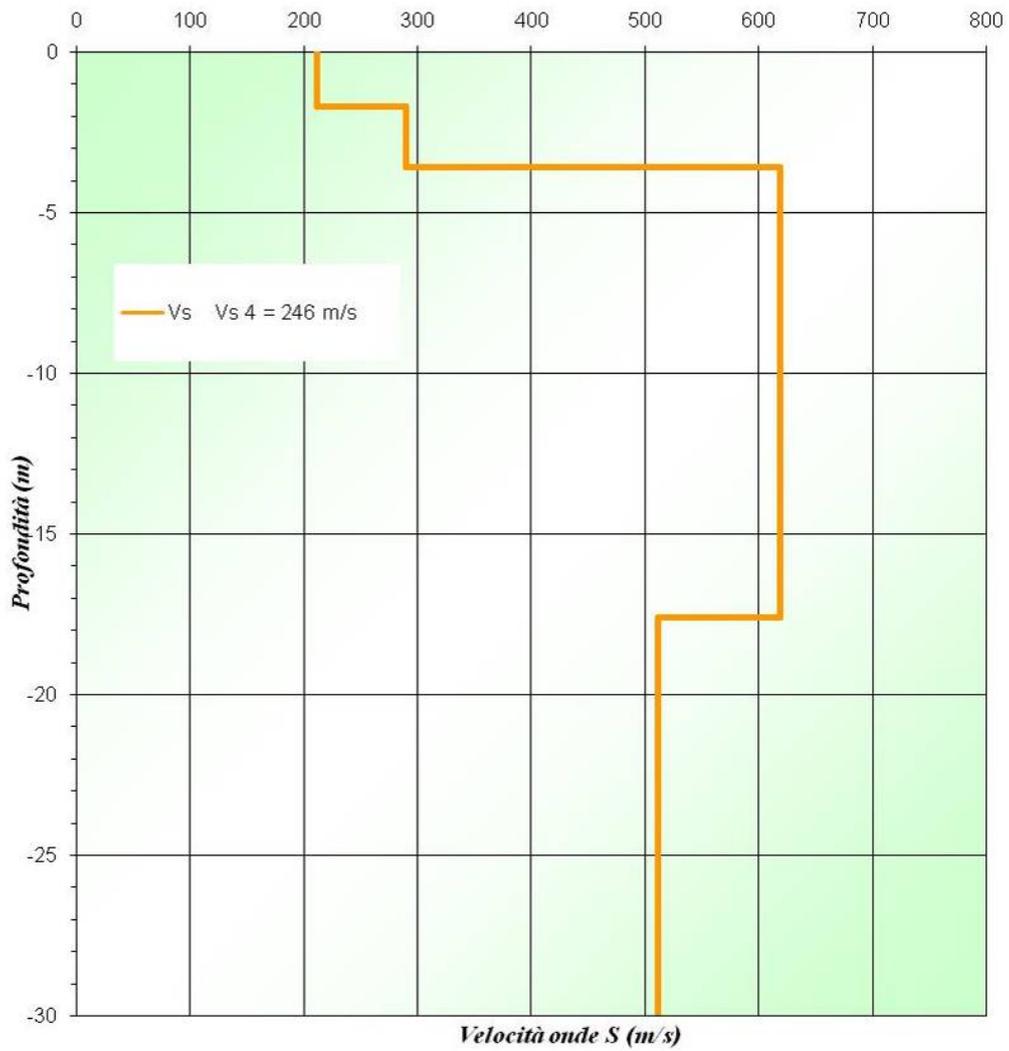
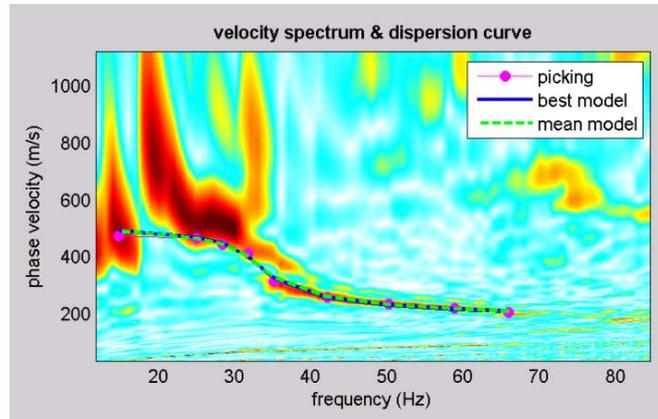
Indagini attuali

- **Prove MASW** Pag. 52
- **Misure HVSR** Pag. 60

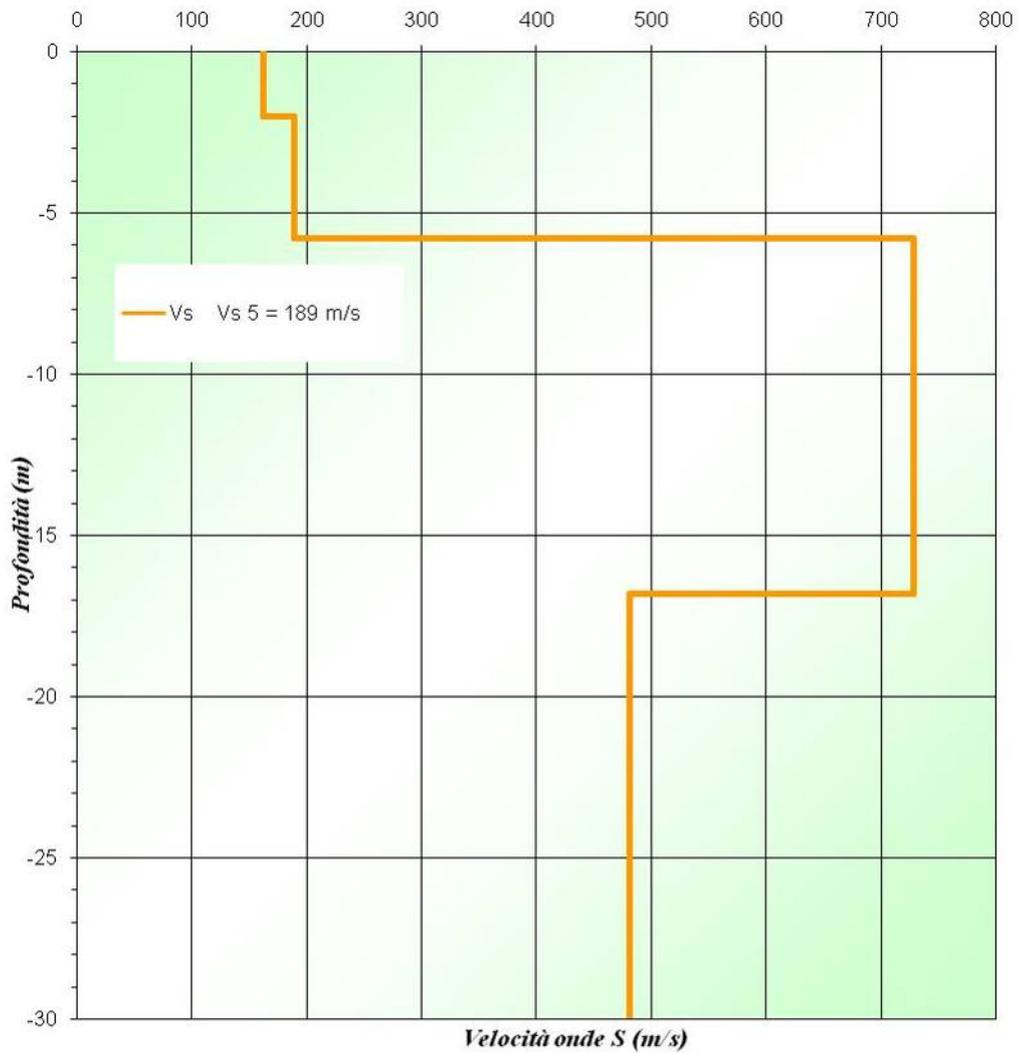
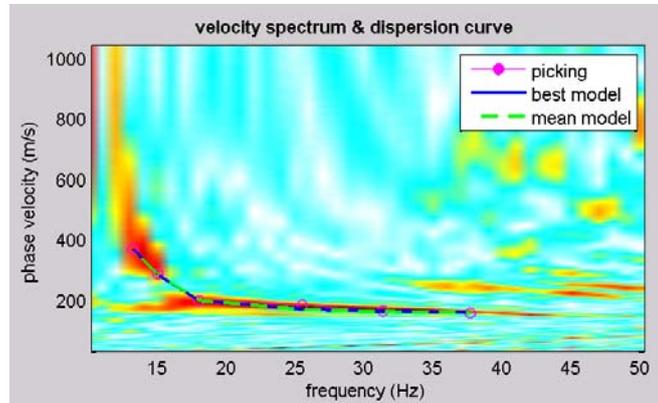


PROVE MASW

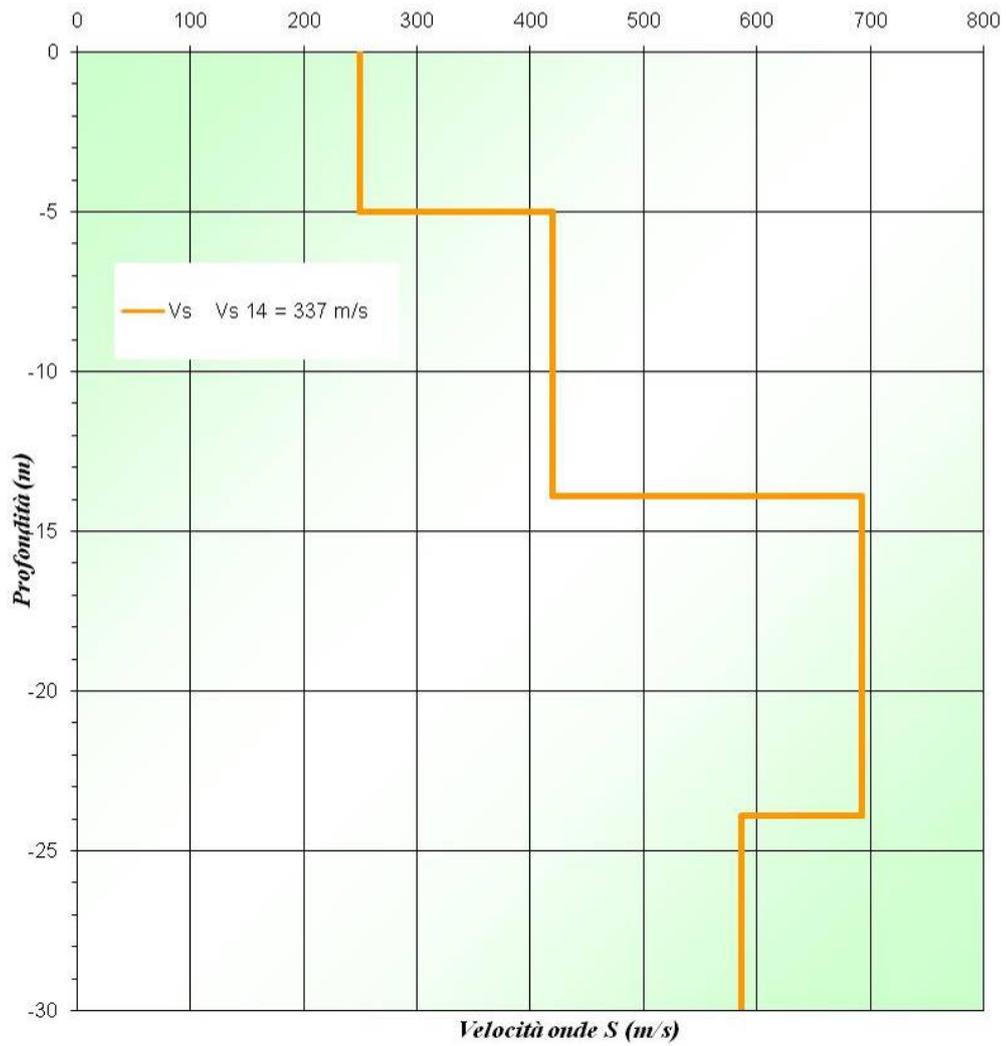
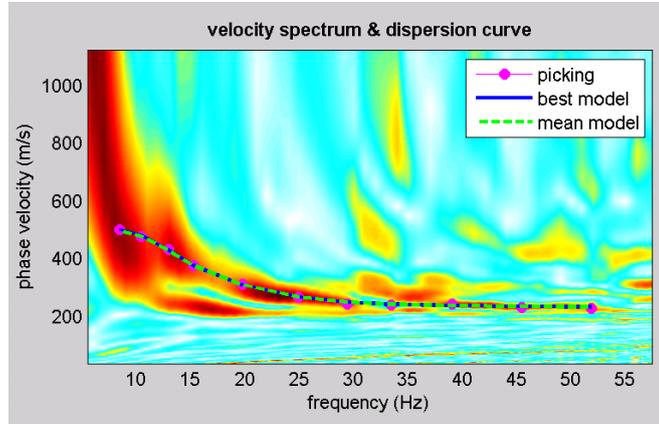
MASW 1



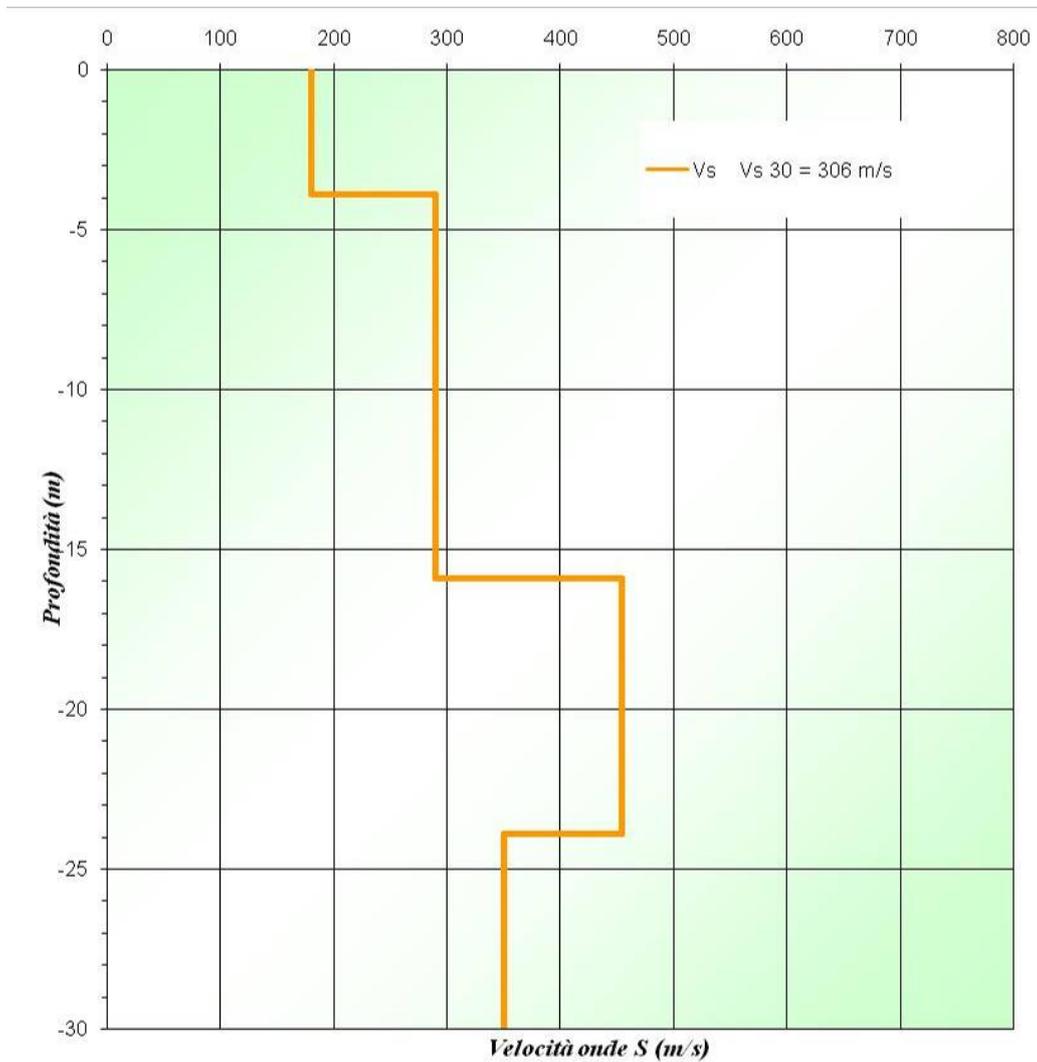
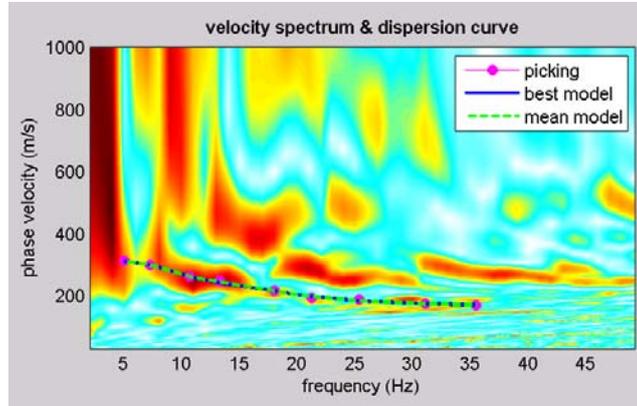
MASW 2



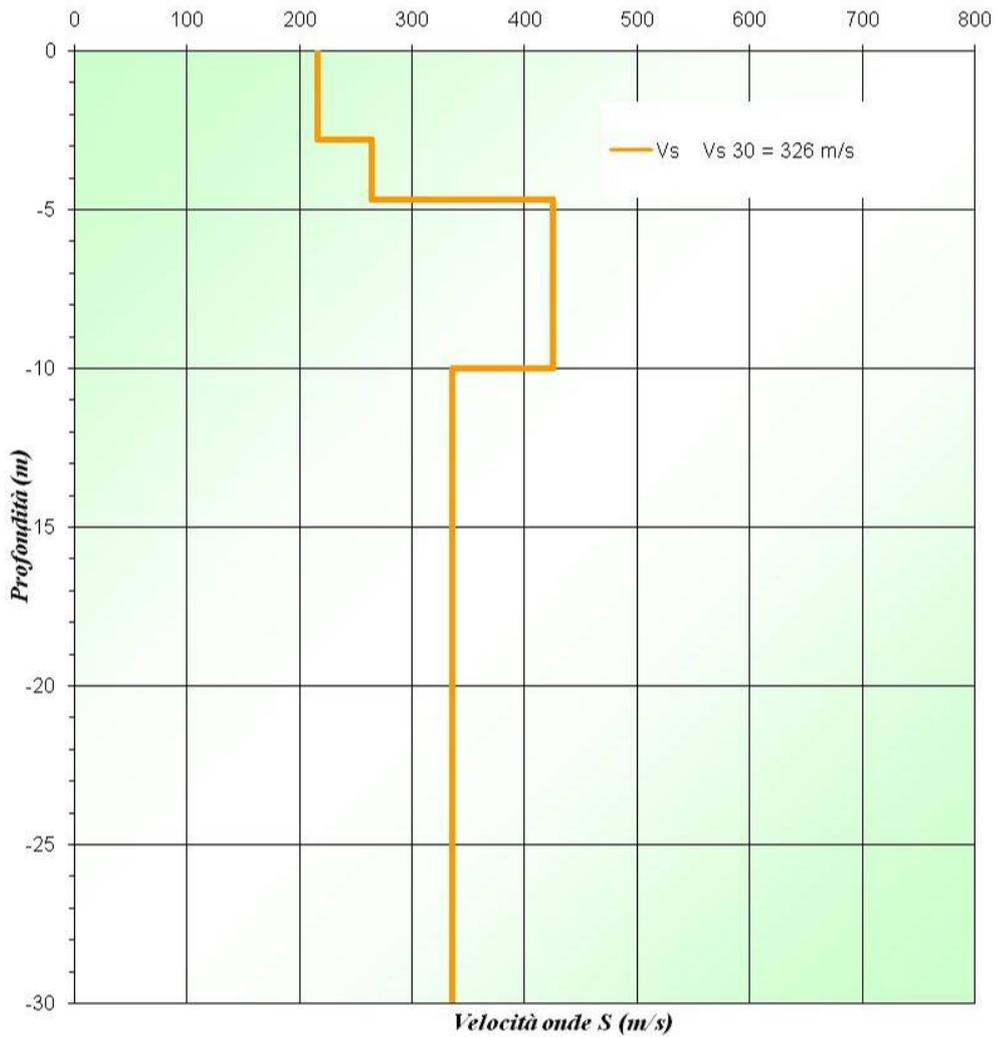
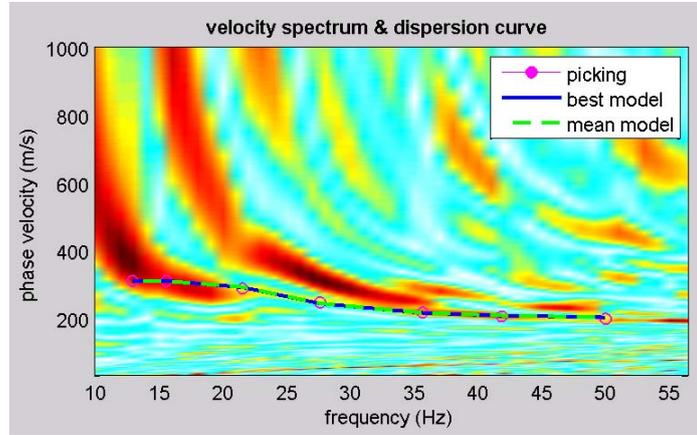
MASW 3



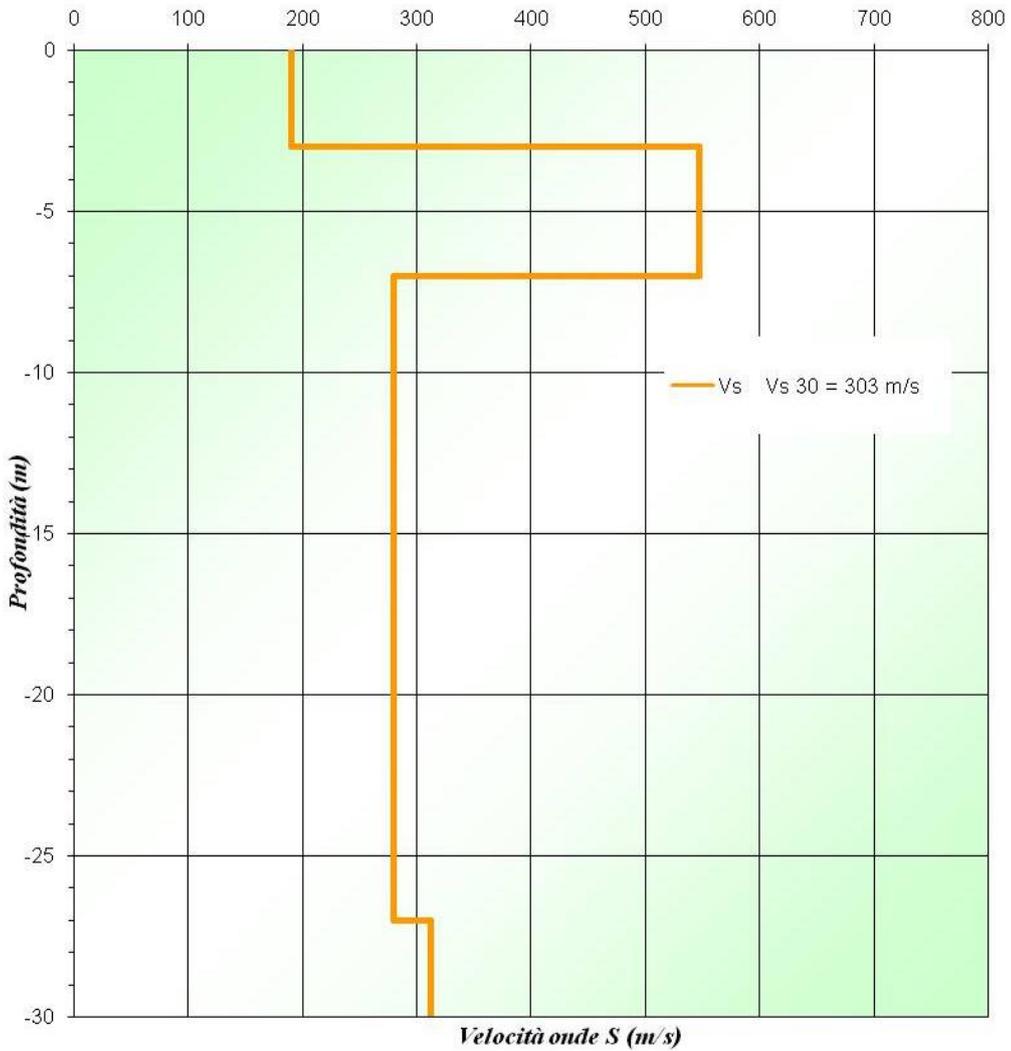
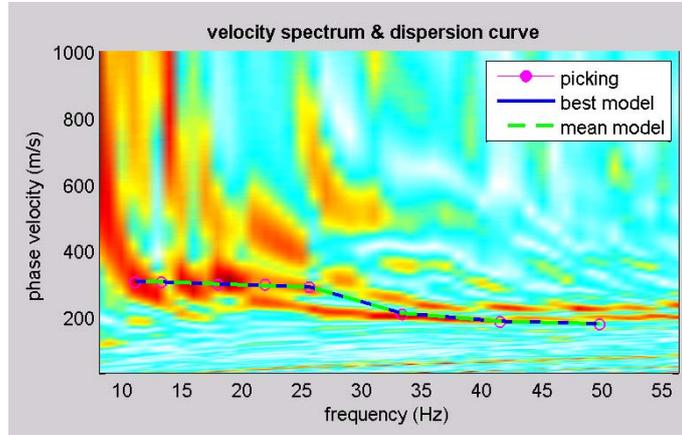
MASW 4



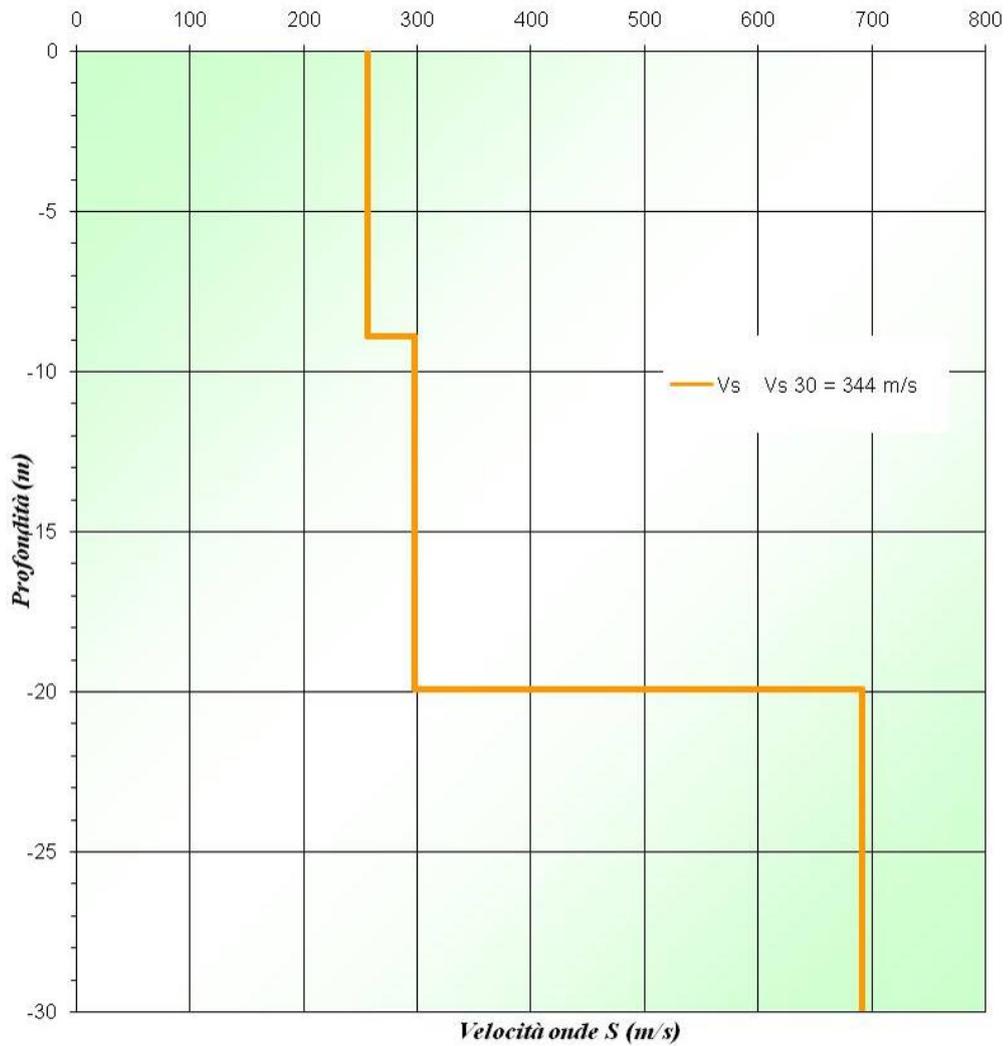
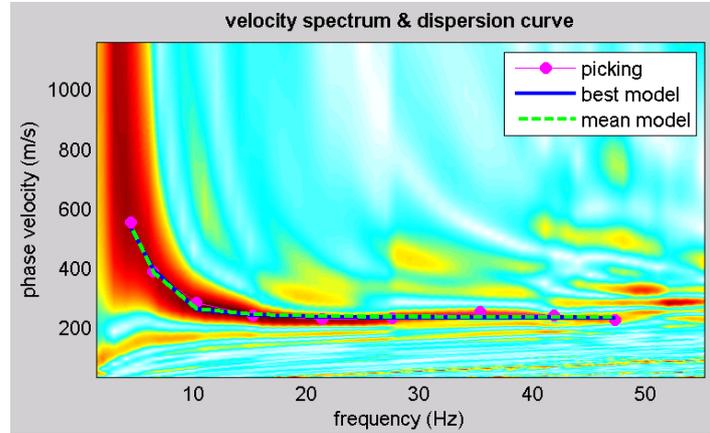
MASW 5

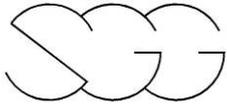


MASW 6



MASW 7



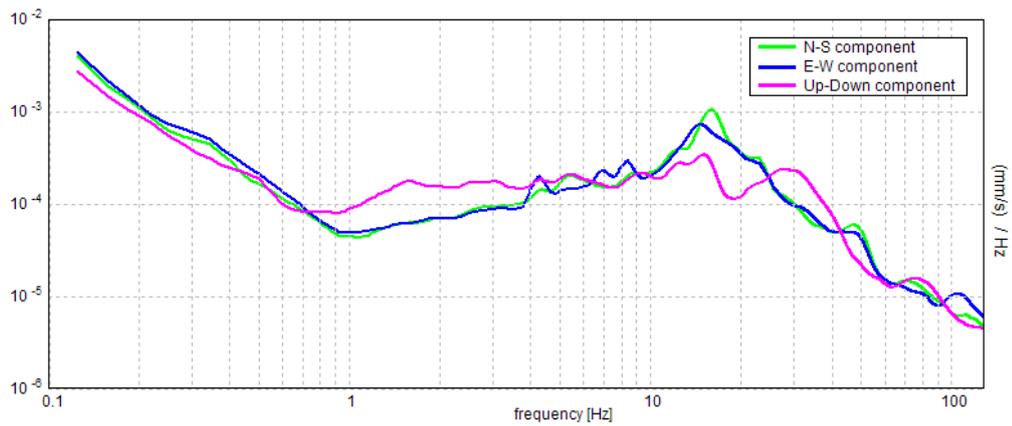
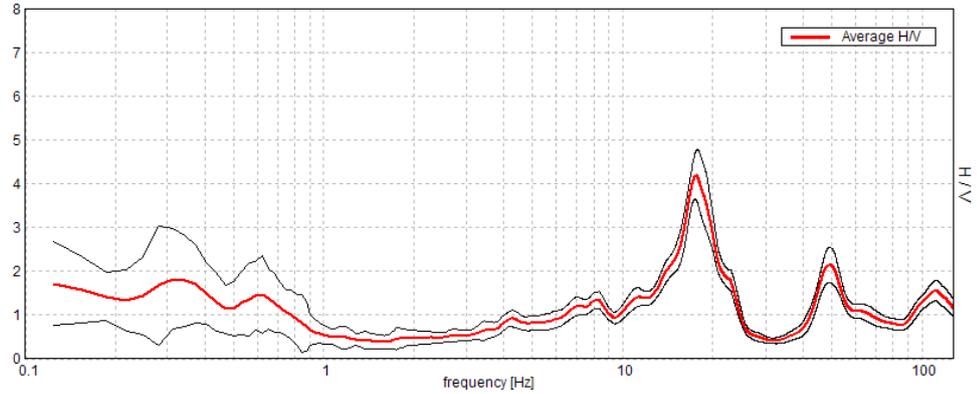


PROVE HVSR

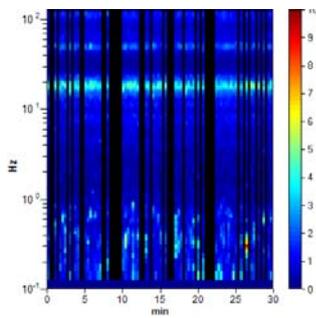
Misura HVSR 01

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

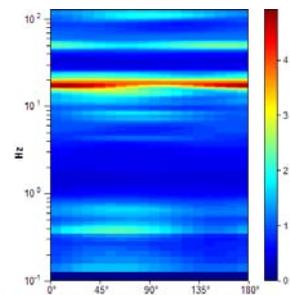
Max. H/V at 17.66 ± 0.03 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



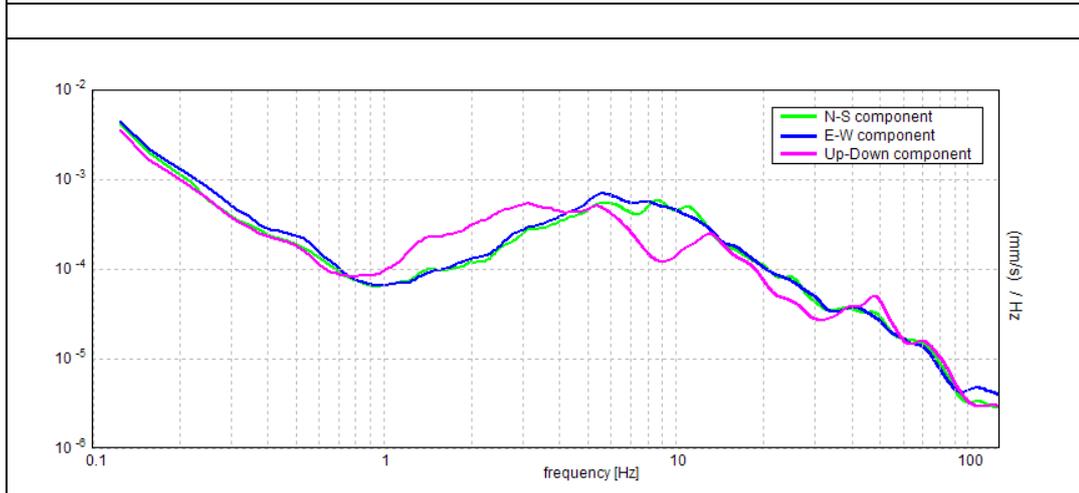
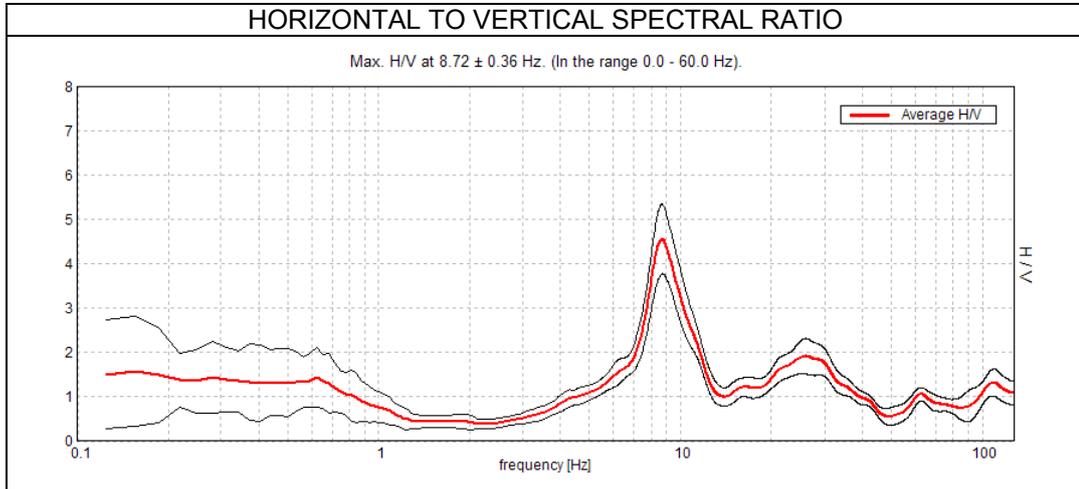
DIRECTIONAL H/V



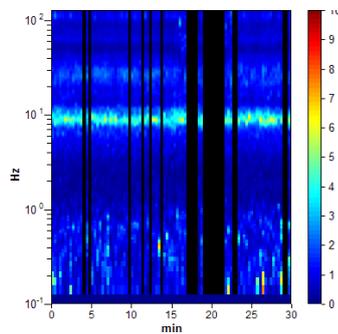
f_0 (Hz)
17,6

Misura HVSR 02

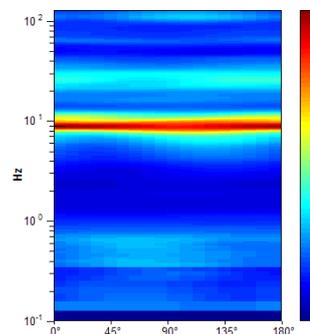
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

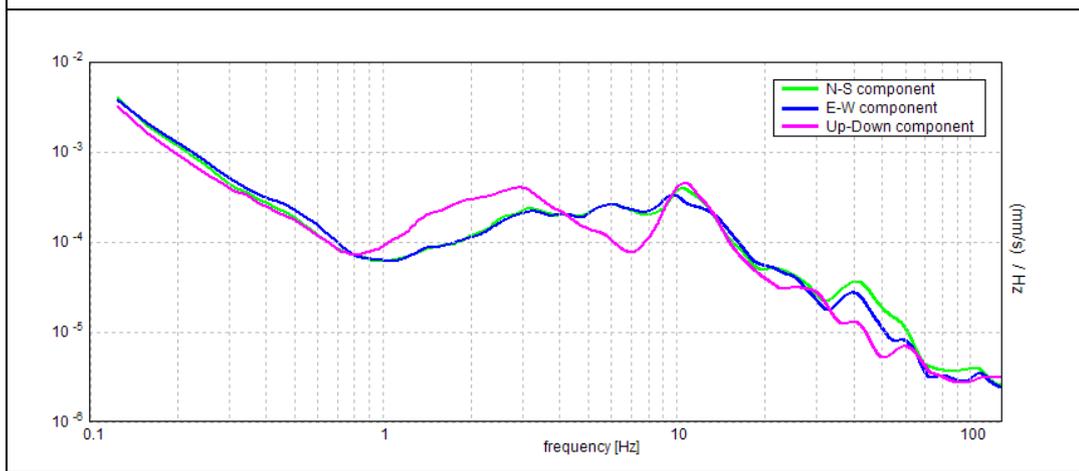
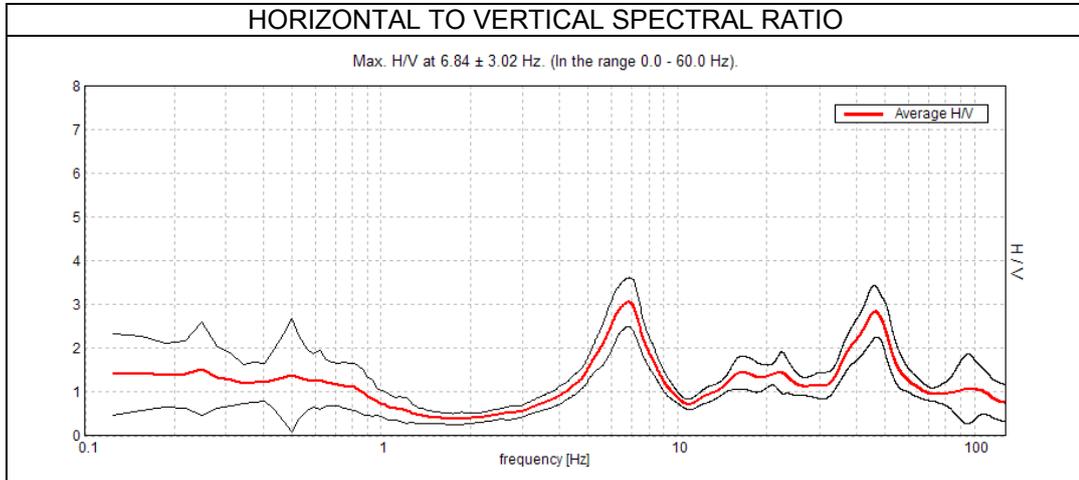


f_0 (Hz)
8,7

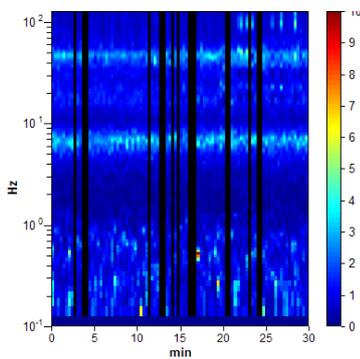
f_1 (Hz)

Misura HVSR 03

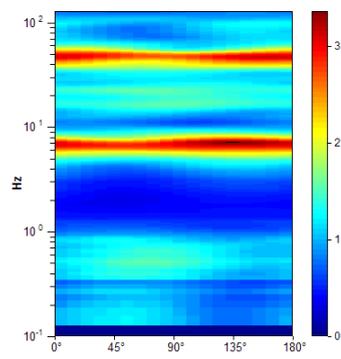
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



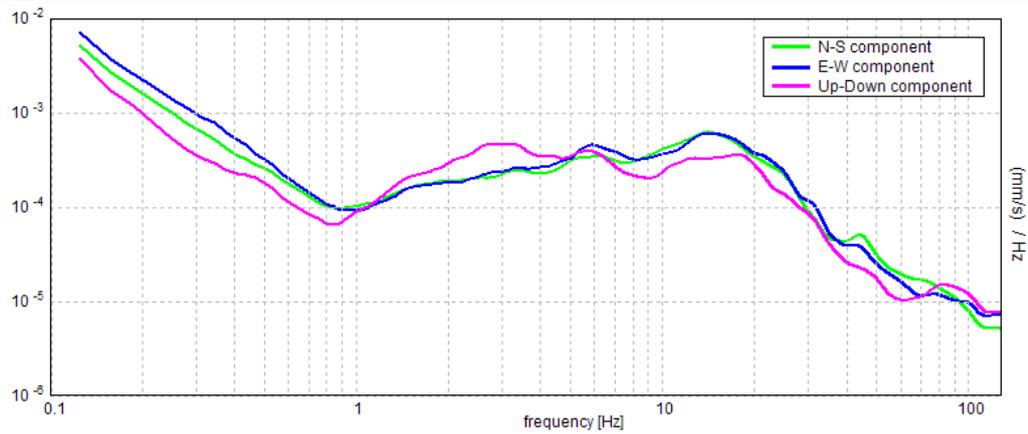
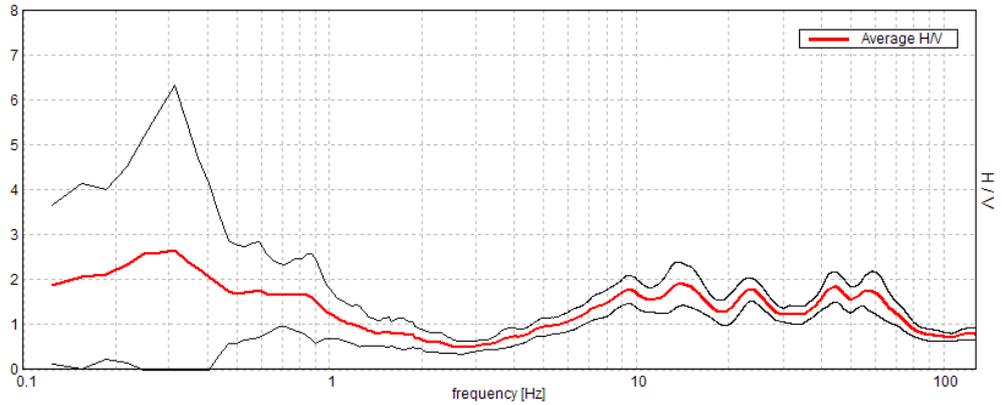
f_0 (Hz)
6,1

f_1 (Hz)

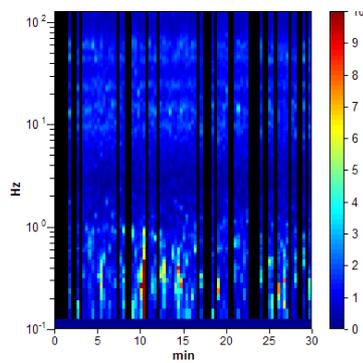
Misura HVSR 04

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

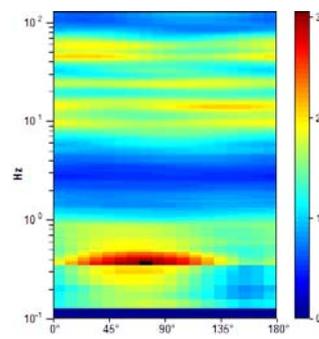
Max. H/V at 0.31 ± 2.97 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



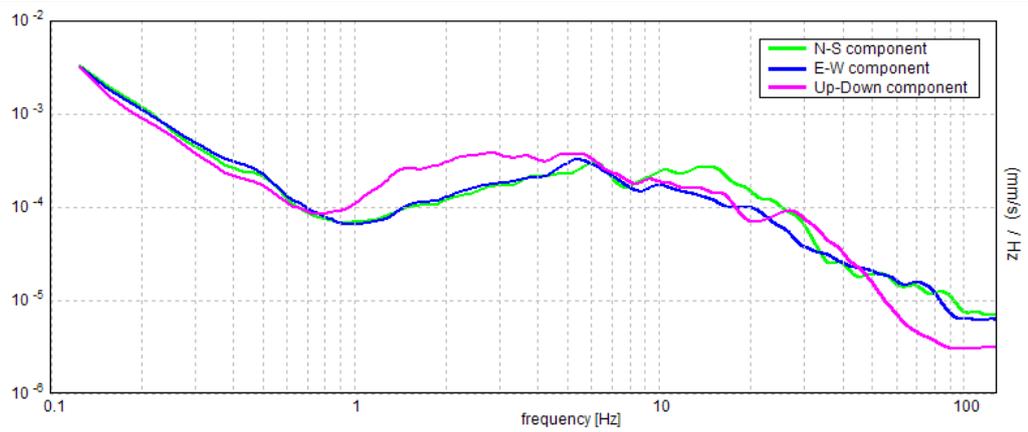
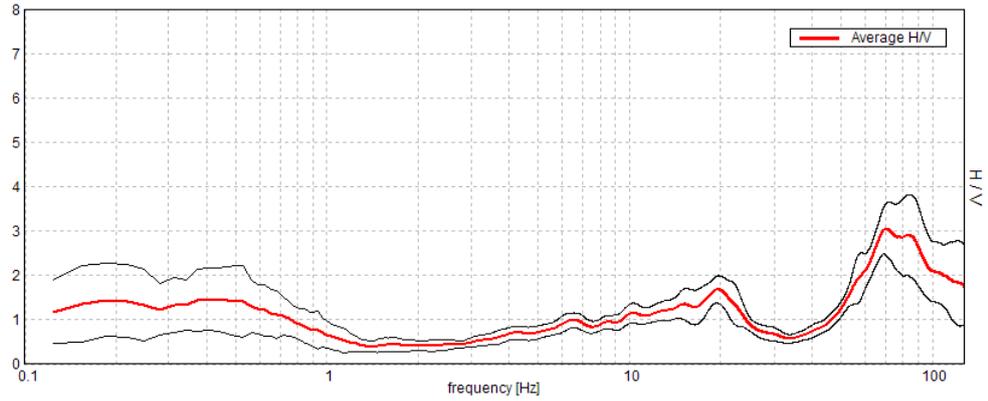
f_0 (Hz)

f_1 (Hz)
12,0

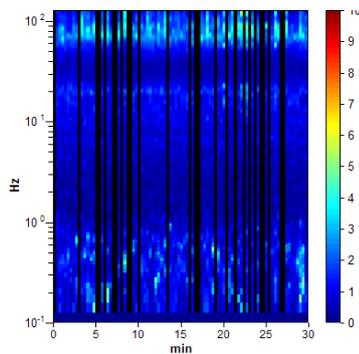
Misura HVSR 05

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

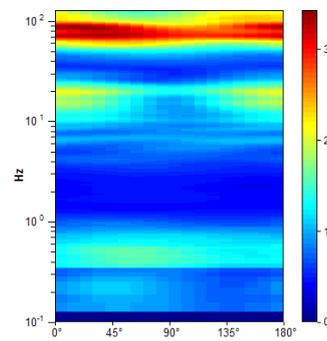
Max. H/V at 59.97 ± 0.01 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



f_0 (Hz)

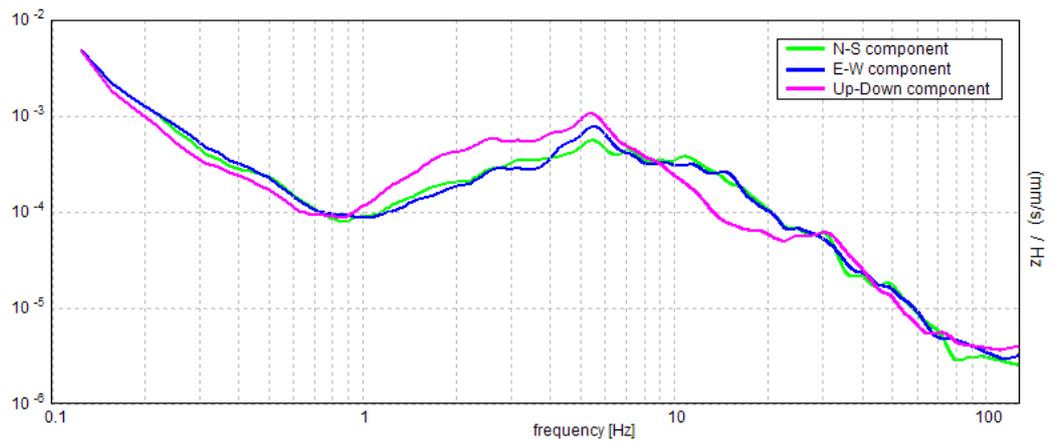
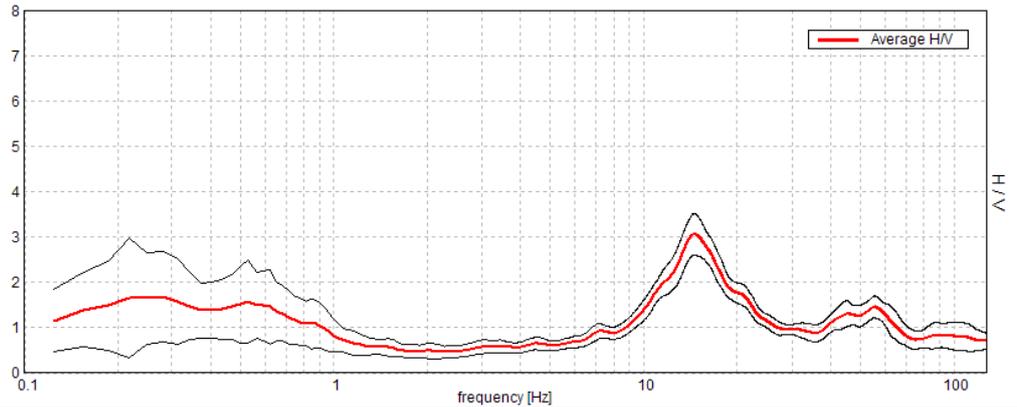
f_1 (Hz)

20,0

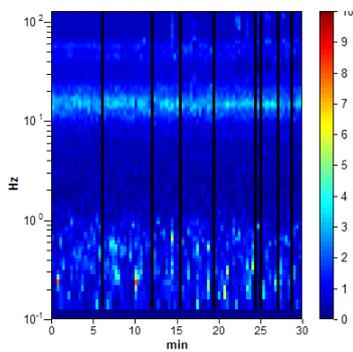
Misura HVSR 06

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

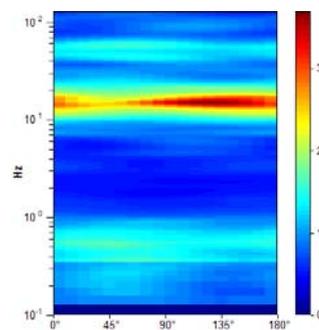
Max. H/V at 14.59 ± 0.37 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



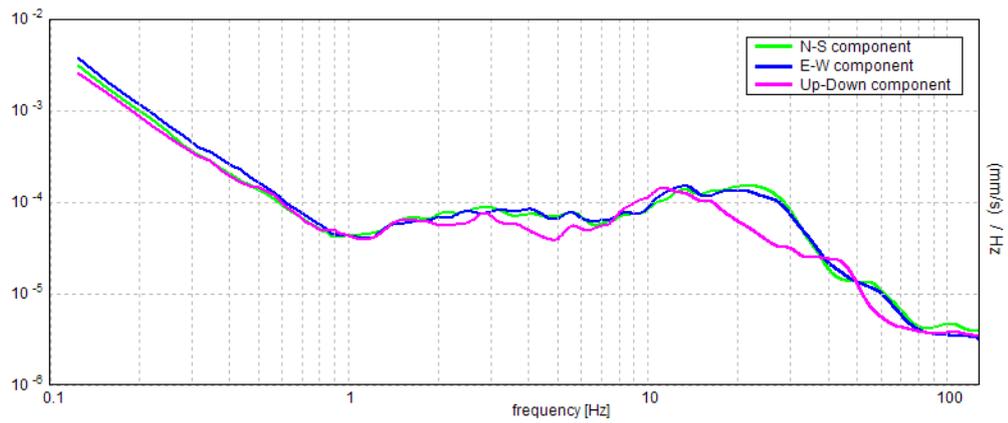
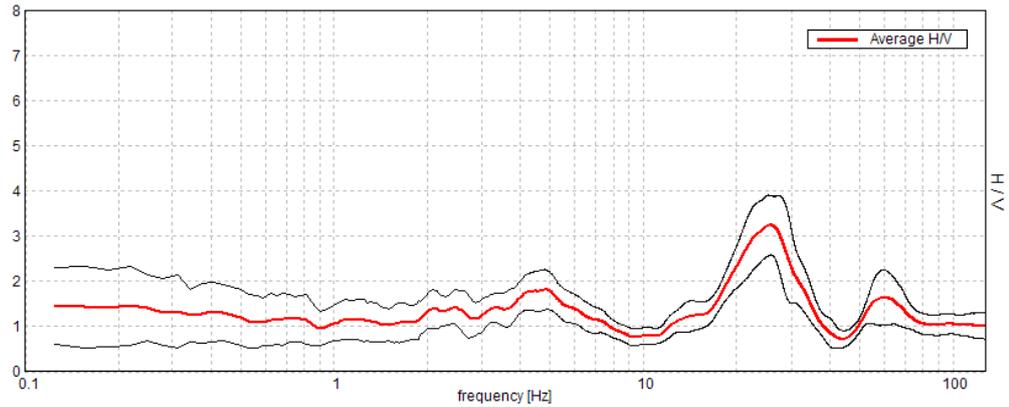
f_0 (Hz)
14,6

f_1 (Hz)

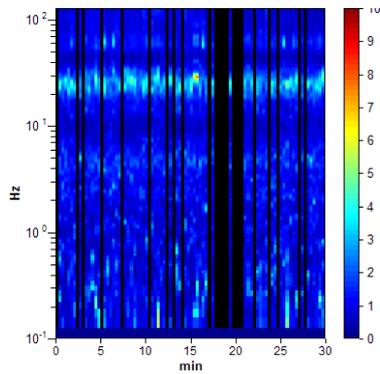
Misura HVSR 07

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

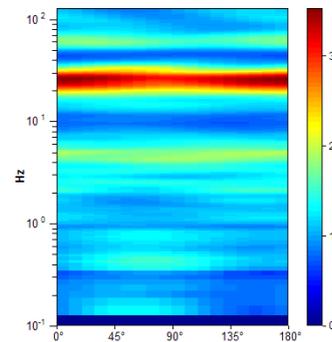
Max. H/V at 25.63 ± 0.16 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



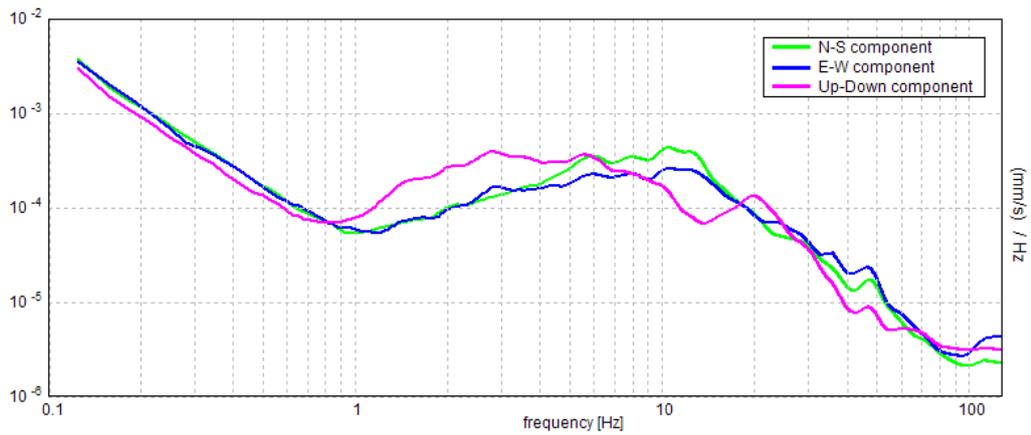
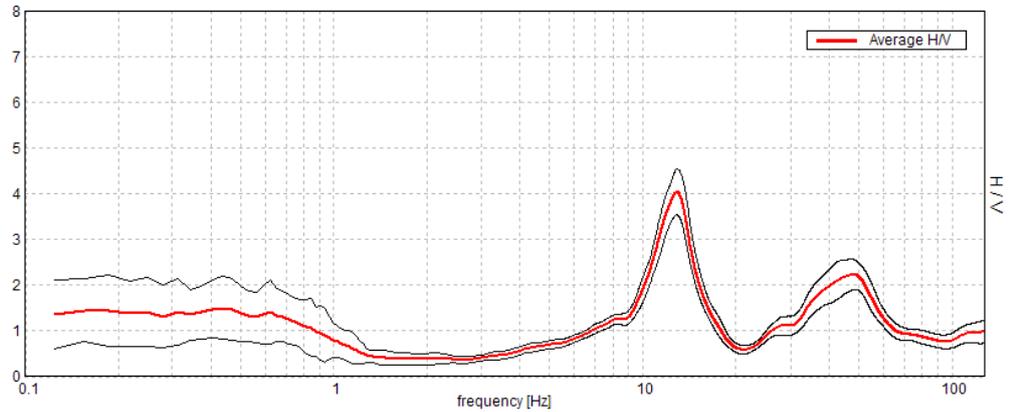
f_0 (Hz)

f_1 (Hz)
4,5

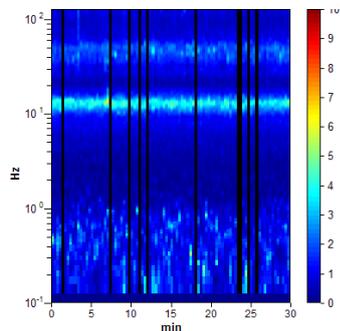
Misura HVSR 08

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

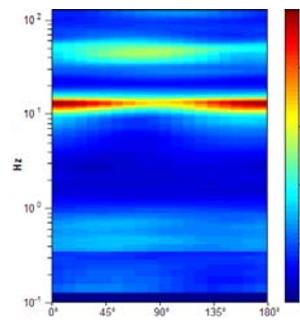
Max. H/V at 12.81 ± 0.31 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



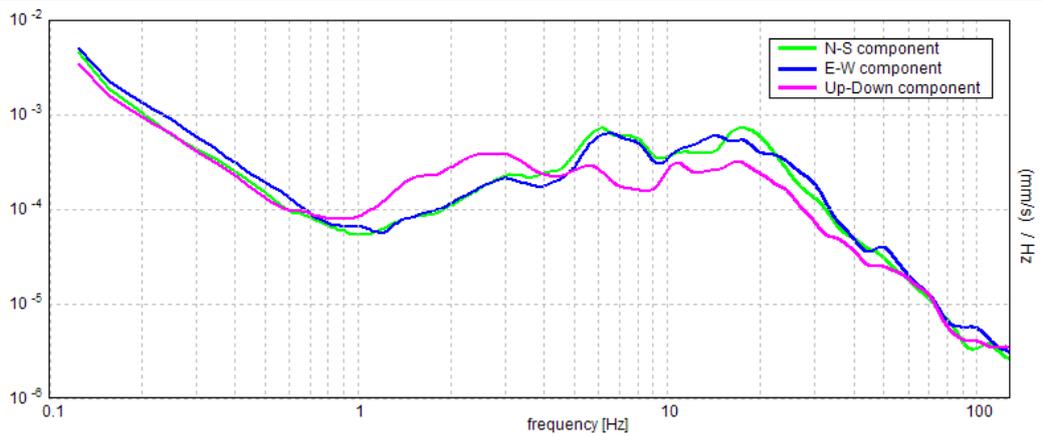
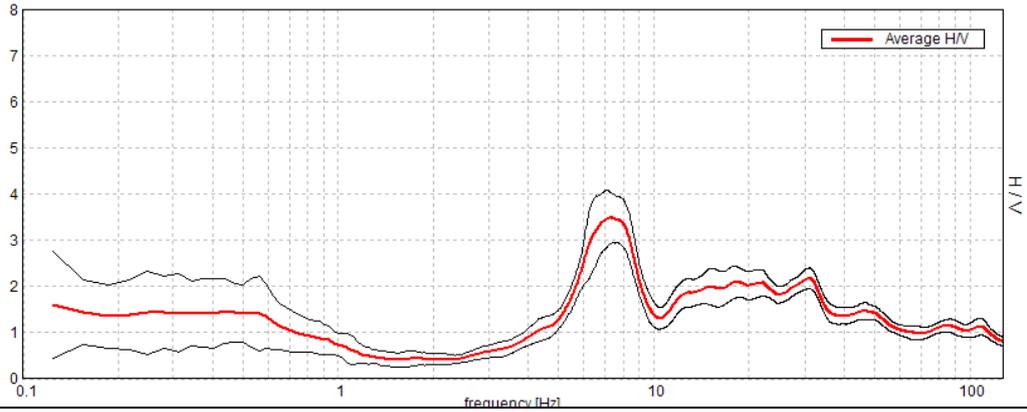
f_0 (Hz)
12,8

f_1 (Hz)

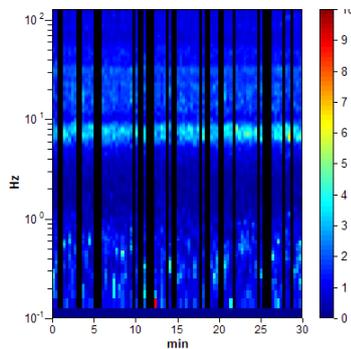
Misura HVSR 09

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

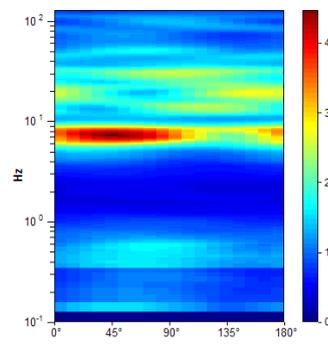
Max. H/V at 7.19 ± 0.24 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



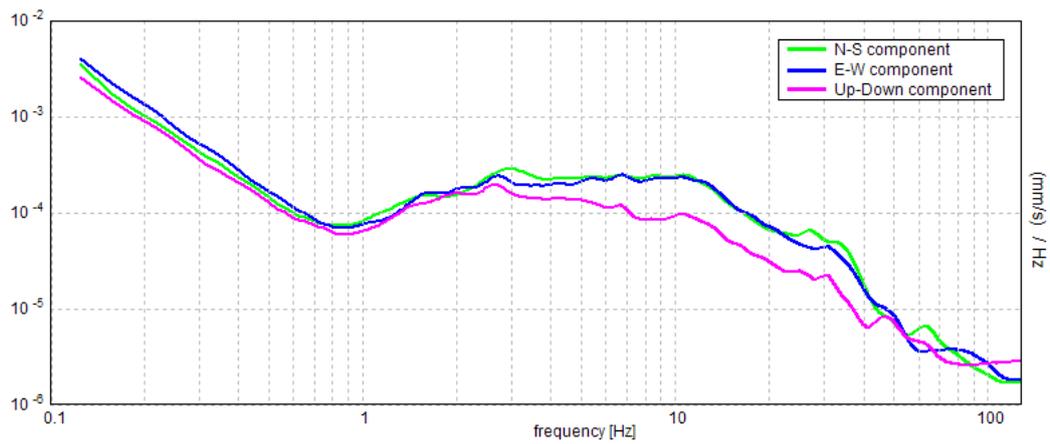
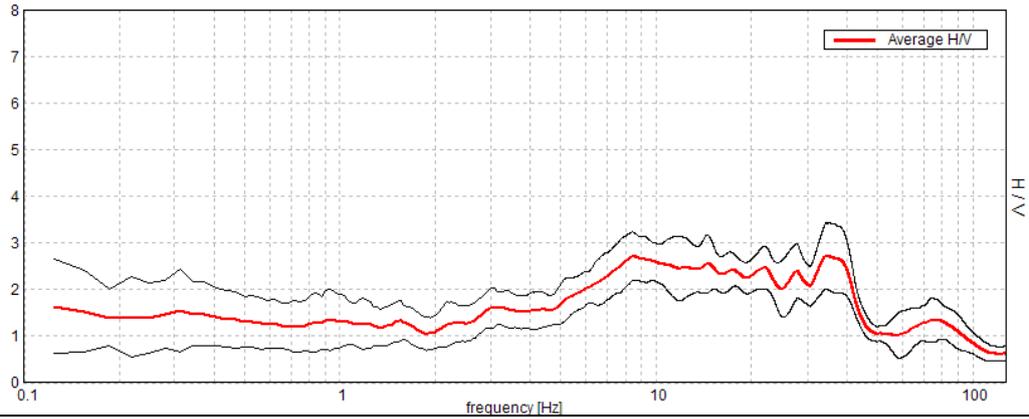
f_0 (Hz)
7,2

f_1 (Hz)

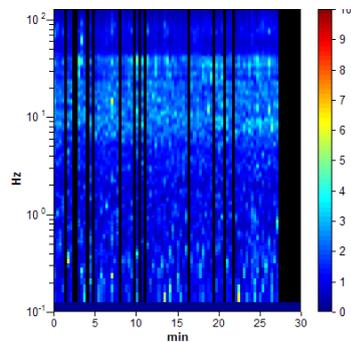
Misura HVSR 10

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

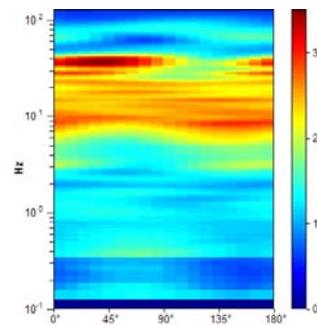
Max. H/V at 8.44 ± 3.02 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



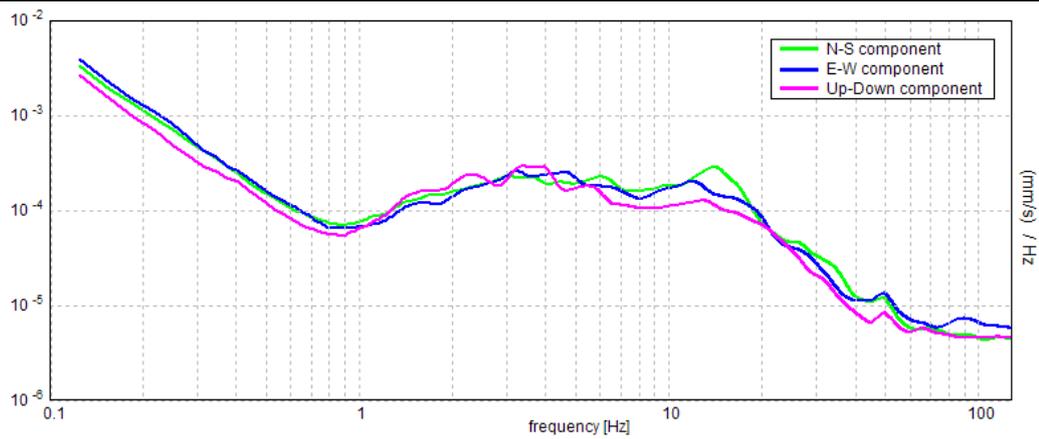
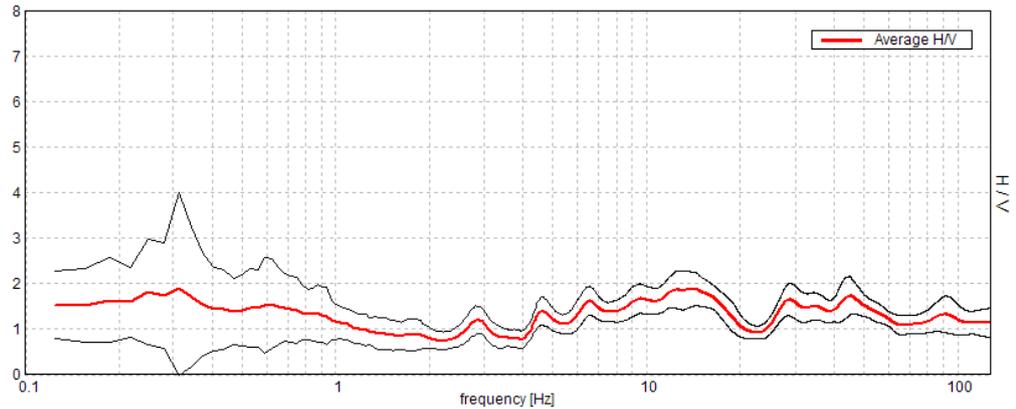
f_0 (Hz)

f_1 (Hz)
8,5

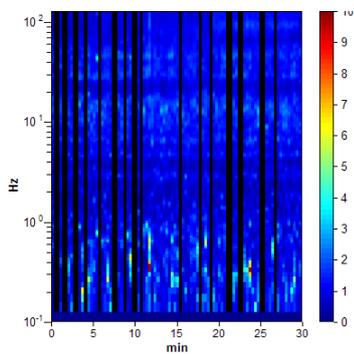
Misura HVSR 11

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

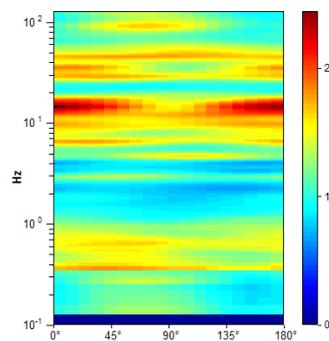
Max. H/V at 0.31 ± 2.86 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



f_0 (Hz)

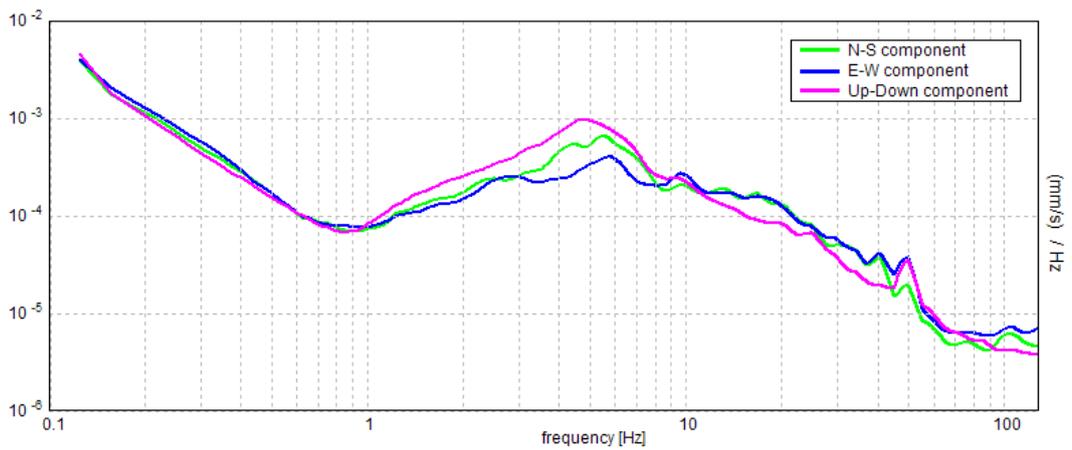
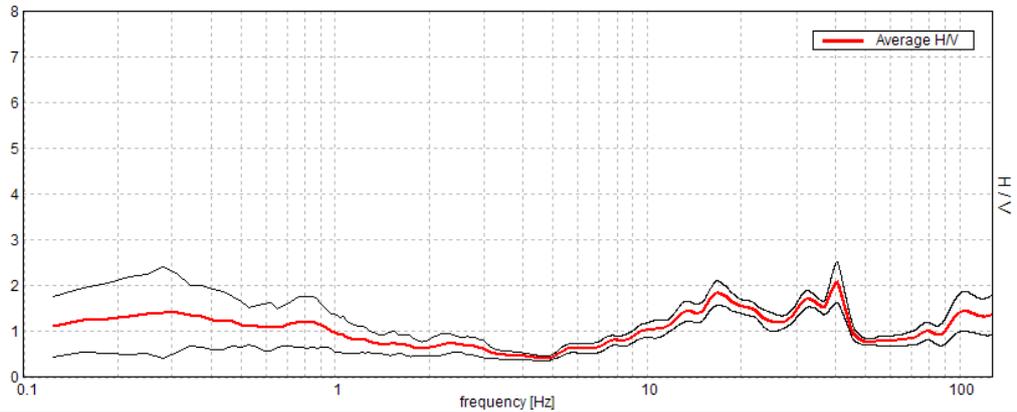
f_1 (Hz)

6,5

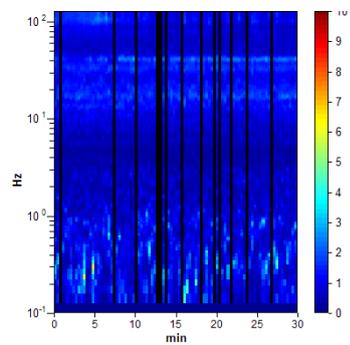
Misura HVSR 12

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

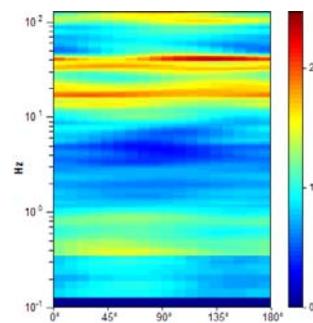
Max. H/V at 40.56 ± 4.39 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



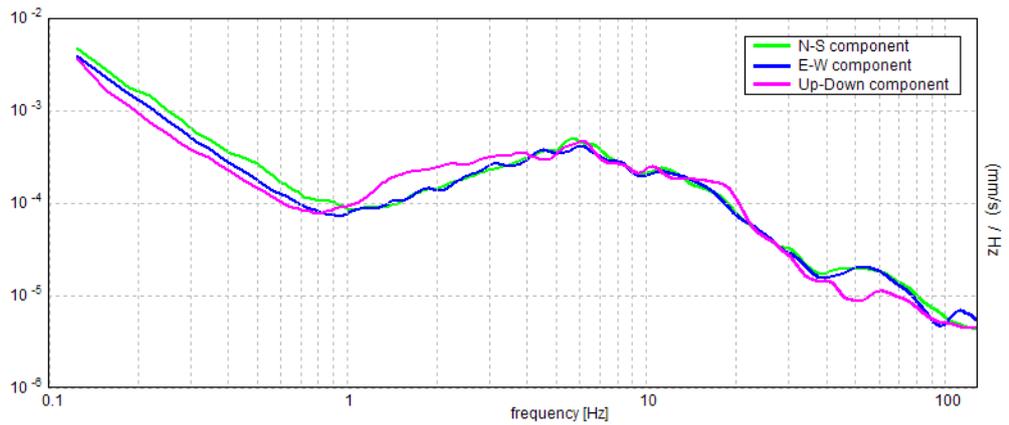
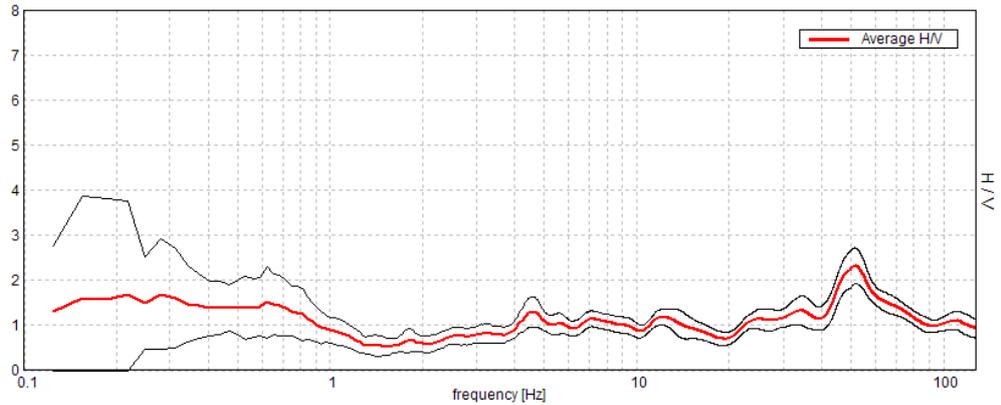
f_0 (Hz)

f_1 (Hz)
18,0

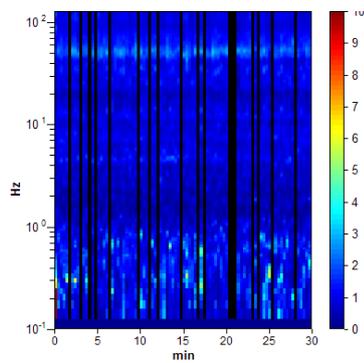
Misura HVSR 13

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

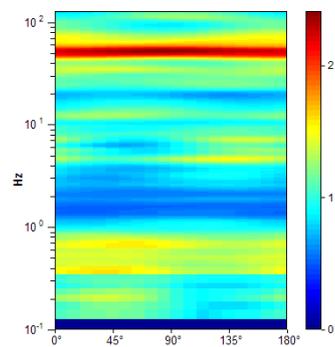
Max. H/V at 51.5 ± 6.24 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



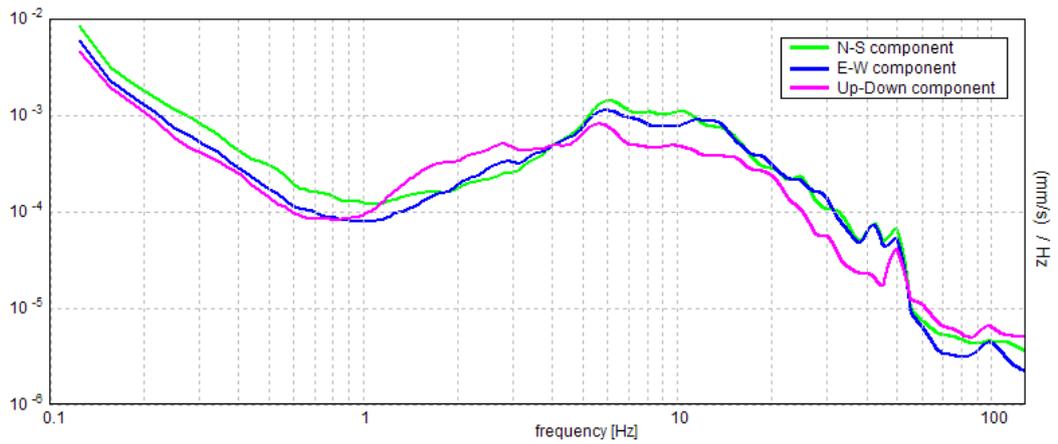
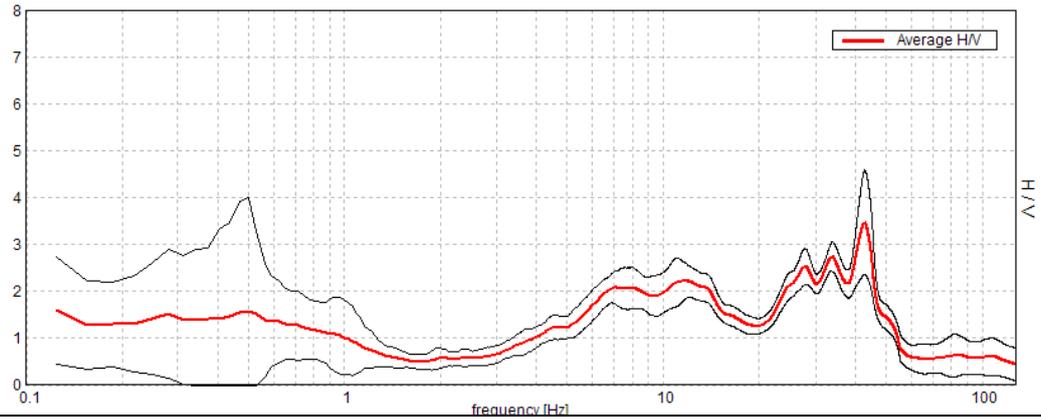
f_0 (Hz)

f_1 (Hz)
4,5

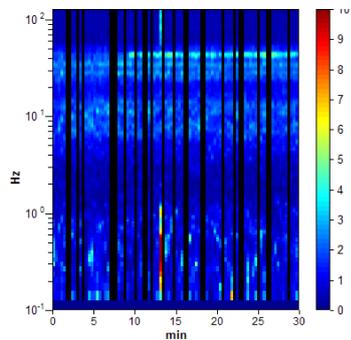
Misura HVSR 14

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

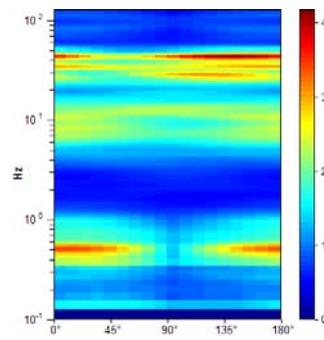
Max. H/V at 42.81 ± 2.02 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



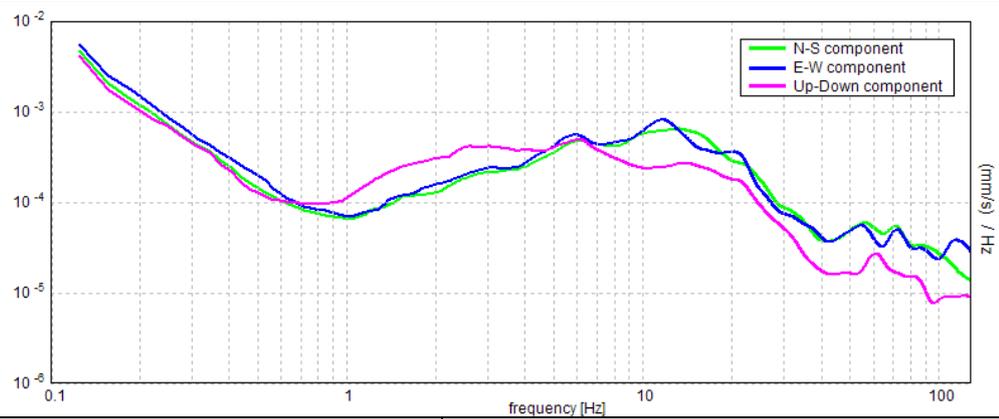
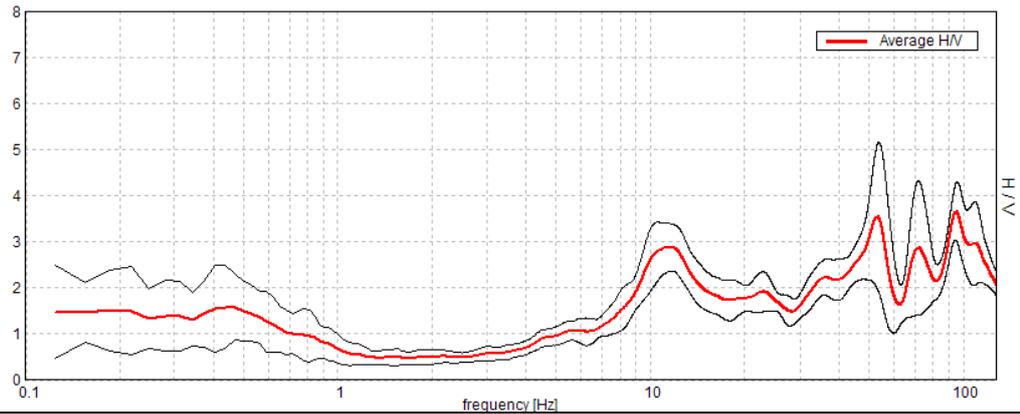
f_0 (Hz)

f_1 (Hz)
7,0

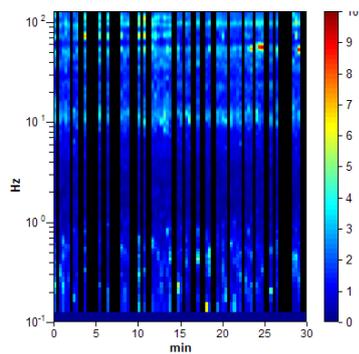
Misura HVSR 15

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

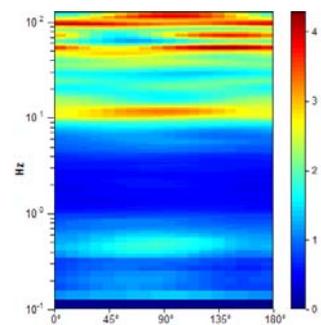
Max. H/V at 53.13 ± 6.21 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



f_0 (Hz)

f_1 (Hz)

12,0