

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

### Regione Emilia-Romagna Comune di Villanova sull'Arda



| Regione               | Soggetto realizzatore   | Data               |
|-----------------------|---|--------------------|
| <b>EMILIA-ROMAGNA</b> | <b>Dott. Geol. Paolo Mancioppi</b><br><br><b>Collaboratori:</b><br>Dott. Geol. Gian Marco Veneziani<br>Dott. Geol. Filippo Segalini | <b>Luglio 2018</b> |

**INDICE**

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Introduzione</b>   | <b>4</b>  |
| <b>2</b>  | <b>Definizione della pericolosità sismica di base e degli eventi di riferimento</b> | <b>5</b>  |
| 2.1       | Zonazione sismogenetica   | 7         |
| 2.1.1     | Le sorgenti sismogenetiche  | 8         |
| 2.2       | Sismicità storica   | 9         |
| <b>3</b>  | <b>Assetto geologico e geomorfologico</b>   | <b>10</b> |
| 3.1       | Tettonica e sedimentazione  | 10        |
| 3.2       | Stratigrafia comunale   | 11        |
| 3.3       | Assetto geomorfologico  | 12        |
| <b>4</b>  | <b>Dati geotecnici e geofisici</b>  | <b>13</b> |
| 4.1       | Indagini geognostiche pregresse   | 13        |
| 4.2       | Indagini geognostiche eseguite per la presente microzonazione sismica               | 13        |
| 4.2.1     | Prove sismiche MASW+HVSR  | 13        |
| 4.2.2     | Prove sismiche tipo HVSR  | 17        |
| 4.2.3     | Prove penetrometriche CPT   | 18        |
| <b>5</b>  | <b>Modello del sottosuolo</b>   | <b>18</b> |
| <b>6</b>  | <b>Interpretazioni ed incertezze</b>  | <b>19</b> |
| <b>7</b>  | <b>Metodologie di elaborazione e risultati</b>                                      | <b>19</b> |
| <b>8</b>  | <b>Elaborati cartografici</b>   | <b>20</b> |
| 8.1       | Carta delle indagini  | 20        |
| 8.2       | Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica                               | 21        |
| 8.3       | Carta delle frequenze naturali dei terreni  | 22        |
| 8.4       | Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)                   | 23        |
| 8.4.1     | Schemi dei rapporti stratigrafici   | 23        |
| 8.4.2     | Sezione geologica   | 24        |
| 8.5       | Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)                                    | 25        |
| 8.6       | Carta di microzonazione sismica (livello 2)   | 25        |
| 8.7       | Commenti finali e criticità   | 27        |
| <b>9</b>  | <b>Confronto della distribuzione dei danni degli eventi passati</b>                 | <b>27</b> |
| <b>10</b> | <b>Bibliografia</b>   | <b>28</b> |
| <b>11</b> | <b>Allegati</b>   | <b>29</b> |
| 11.1      | Prove sismiche tipo Masw+HVSR   | 29        |
| 11.2      | Prove sismiche tipo HVSR  | 50        |
| 11.3      | Prove penetrometriche CPT   | 76        |
| 11.4      | Sezione Geologica   | 82        |

**ELENCO ELABORATI**

---

- Carta delle indagini (scala 1:10.000)
  - Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica (scala 1:10.000)
  - Carta delle frequenze naturali dei terreni (scala 1:10.000)
  - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS – Livello 1) (scala 1:10.000)
  - Carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ) (scala 1:10.000)
  - Carta di microzonazione sismica (livello 2) (scala 1:5.000)
    - F.A. P.G.A
    - F.A. I.S.  $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$
    - F.A. I.S.  $0.5s \leq T_0 \leq 1s$
    - F.A. I.S.  $0.5s \leq T_0 \leq 1.5s$
  - Relazione illustrativa
-

## 1 INTRODUZIONE

Tutte le attività svolte ed in particolare l'elaborazione e la redazione degli elaborati richiesti, sono state effettuate nel rispetto dei seguenti riferimenti tecnici:

- ✓ Allegato A2 "Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza nei Comuni con  $ag < 0,125g$ " della deliberazione di Giunta regionale n. 241 del 06/03/2017 "Approvazione dei criteri e delle indicazioni tecniche e procedurali per l'attribuzione di contributi per la realizzazione di studi di microzonazione sismica nei Comuni caratterizzati da  $ag < 0,125g$ " (da qui in avanti "Allegato A2 della delibera regionale")
- ✓ "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" - Versione 4.0b, Roma, ottobre 2015 - Elaborato e approvato nell'ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica, nominata con DPCM 21 aprile 2011 (da qui in avanti SRAI")
- ✓ "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (da qui in avanti "ICMS")
- ✓ Allegato A della deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n. 112 del 2 maggio 2007: Approvazione dell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", così come modificati dalla deliberazione di Giunta regionale n. 2193 del 21.12.2015 art. 16 della l.r. n.20 del 24/3/2000 "Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112 (da qui in avanti "indirizzi regionali")

Il presente studio di Microzonazione Sismica, attuato in conformità a quanto stabilito dai riferimenti tecnici sopraelencati e dal capitolato tecnico, è articolato nei seguenti due livelli di approfondimento:

. PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, finalizzato a:

- definizione del modello geologico di base per la microzonazione sismica (litologia, stratigrafia, tettonica e loro rapporti geometrici);
- individuazione delle aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica;
- definizione del tipo di effetti attesi;
- indicazione, per ogni area, del livello di approfondimento necessario.

. SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, finalizzato a:

- conferma delle condizioni di pericolosità indicate dal 1° livello ed eventuale nuova perimetrazione delle aree ove effettuare la microzonazione sismica;
- suddivisione dettagliata del territorio, in base all'amplificazione attesa, secondo aree con maggiore o minore pericolosità sismica;

L'Amministrazione Comunale ha definito il territorio urbanizzato e urbanizzabile in cui effettuare la microzonazione e dove eseguire la nuova campagna d'indagini.

Tale zonazione ha, pertanto, interessato i seguenti abitati:

- .Villanova sull'Arda
- .Cignano
- .Soarza
- .S.Agata

Il comune di Villanova sull'Arda confina con i seguenti comuni: Cortemaggiore, Besenzone, San Pietro in Cerro, Monticelli d'Ongina e Castelvetro P.no.

Nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*", pubblicata sul Supplemento Ordinario n. 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003 il Comune di Villanova sull'Arda viene classificato in **zona 3**. Ai sensi dell'allegato 4 alla Delibera

dell'assemblea Legislativa (D.A.L.) della Regione Emilia Romagna n. 112/2007, il valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per  $T = 0$ ,  $a_{refg}$  per il comune di Villanova sull'Arda è pari a **0.104g**.

La magnitudo massima ( $M_{wmax}$ ) attesa nel comune (compreso all'interno delle zona sismogenetiche 911) e riportata negli ICMS (2008), è stimata pari 6,14.

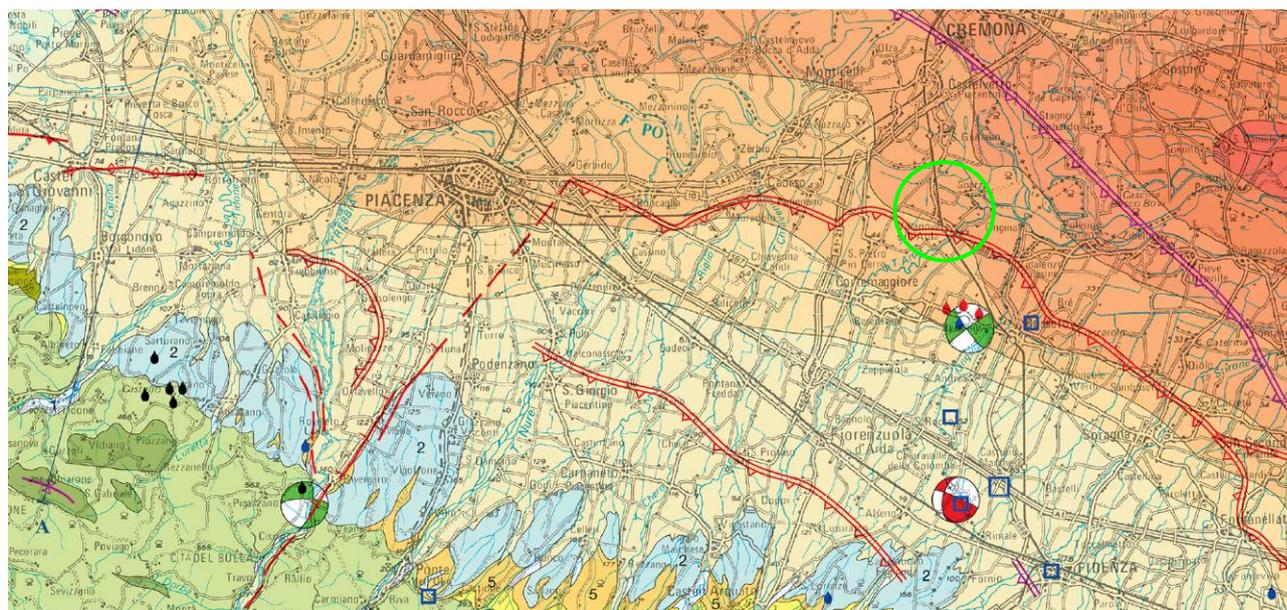
Il territorio comunale di Villanova sull'Arda si colloca nella bassa pianura piacentina ed è compreso fra fiume Po ed i torrenti Arda e Ongina, quest'ultimo corso d'acqua segna il confine amministrativo del territorio comunale sul lato orientale, mentre il fiume Po ne determina il confine settentrionale.

L'intera zona esaminata si caratterizza anche per la presenza di una fitta rete di canali di scolo e fossi artificiali, frutto degli interventi di miglioramento fondiario, il cui sviluppo è da ricollegare alla scarsa permeabilità dei terreni affioranti e, conseguentemente, alla necessità di agevolare lo smaltimento delle acque meteoriche, altrimenti facilmente ristagnanti ed un'adeguata dotazione di acque irrigue nei mesi asciutti. I lineamenti morfologici che caratterizzano l'area comunale sono così determinati in principal modo dalla presenza della grande valle del fiume Po e delle grandi valli torrentizie, del T. Arda, del T. Ongina; che scorrono in direzione all'incirca Sudovest-Nordest e Sud-Nord e pressoché perpendicolari agli assi strutturali appenninici, per cui ne consegue una regolare distribuzione delle zone altimetriche in fasce dolcemente degradanti verso Nord-Nordest. Per quanto riguarda le quote topografiche del territorio risultano comprese tra la quota 33 m s.l.m. presso la confluenza dell'Ongina in Po e la quota 43 m s.l.m. presso cascina Babbina.

## 2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

Il territorio del comune di Villanova (PC) è inserito in un contesto sismo-tettonico caratteristico della pianura padano-emiliana.

L'area di interesse è caratterizzata da strutture compressive (faglie inverse – thrust) di cui *“presentano evidenze di attività tettonica recente le faglie che non coincidono con il margine ma quelle strutture che corrispondono al fronte sepolto delle Pieghe Emiliane (Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna – Note Illustrative)*. In particolare l'attività sismica è legata ad una serie di discontinuità tettoniche associate al movimento di un thrust fault (sovrascorrimento) sepolto; la struttura è ubicata nella porzione centro-meridionale del territorio comunale (*“Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna” - 2017*).



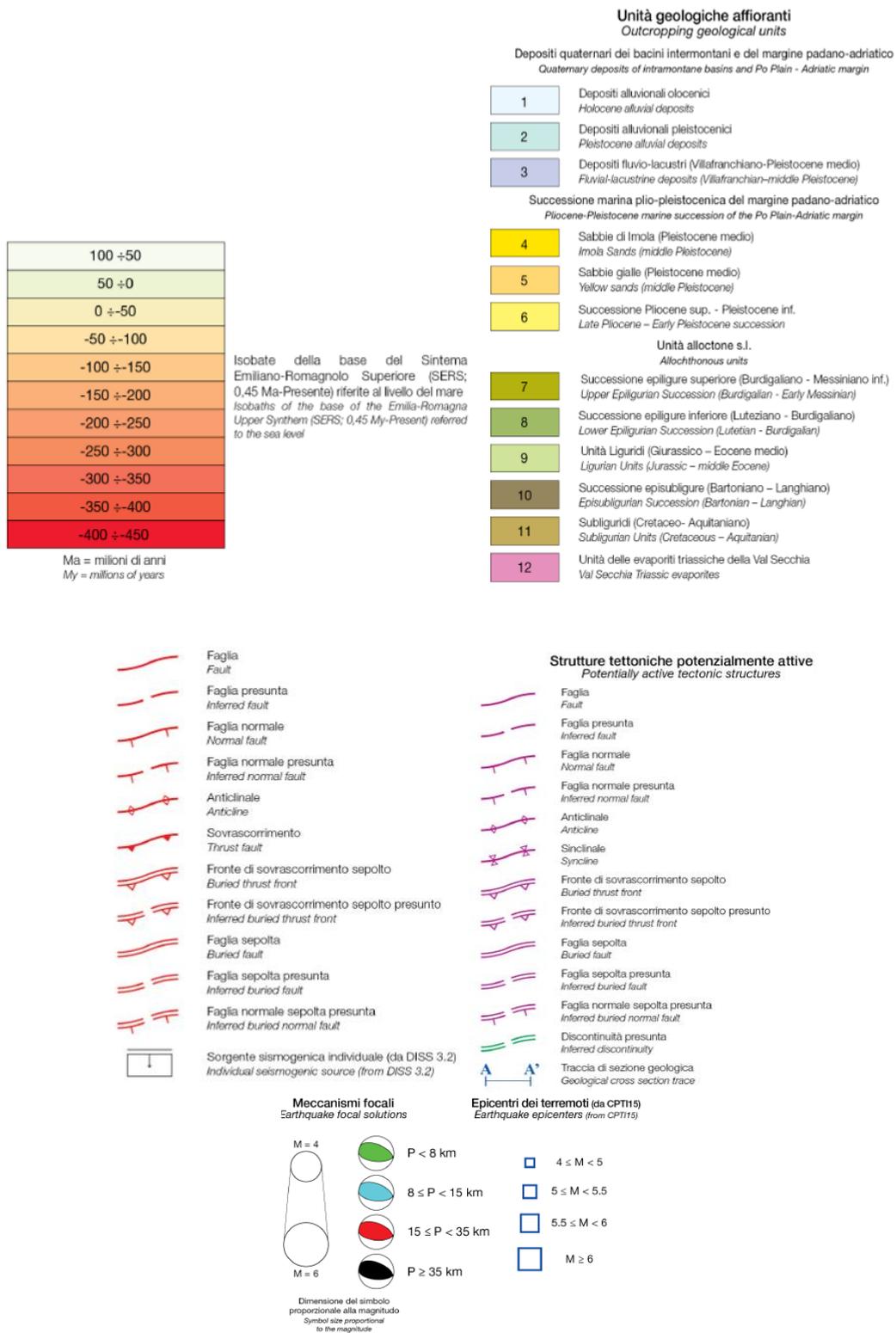


Figura 2.1. Estratto dalla “Carta Sismotettonica dell’Emilia Romagna e aree limitrofe” (2017) con indicazione del territorio comunale.

## 2.1 Zonazione sismogenetica

La zonazione sismogenetica rappresenta la traduzione operativa del modello sismotettonico: in particolare la nuova zonazione sismogenetica ZS9 “Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto conclusivo” pubblicata sul sito <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> (G.d L., 2004<sup>1</sup>) è stata ottenuta partendo dalla zonizzazione ZS4 (Scandone e Stucchi, 1999), accorpando e modificando le zone sorgente rendendole più coerenti con le informazioni oggi disponibili. Il modello sismotettonico che ha guidato nel tracciamento delle aree di ZS4 è basato sia su un modello strutturale 3D della penisola, sia sulla distribuzione spaziale dei terremoti storici ed attuali, sia sul modello cinematico dell’area mediterranea. In particolare il territorio del comune di Villanova sull’Arda, nella nuova zonazione ZS9, ricade appena esternamente alla zona sismogenetica **911** e alla zona **913**.

Di seguito si riporta una breve descrizione relativa alle zone 911 e 913, estratta dal già citato Rapporto conclusivo (“Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto conclusivo”, G.d L, 2004).

Tutto l’arco appenninico settentrionale è stato riorganizzato secondo cinque fasce parallele longitudinali alla catena.

...

L’arco è limitato, a Nord, da una zona (**911**, unione delle zone 25 e 26 di ZS4 opportunamente ristrette) che comprende il cosiddetto “Arco di Pavia” e le strutture ad esse relative. In realtà, si suppone che la funzione delle strutture comprese all’interno della **911** sia di “svincolo” cinematico del sistema supposto in migrazione (in accordo con quanto espresso, ad esempio, in Paracca et al.,1990).

...

Le zone sismogenetiche **913**, **914** e **918** risultano dalla scomposizione della fascia che da Parma si estende fino all’Abruzzo. In questa fascia si verificano terremoti prevalentemente compressivi nella porzione nord-occidentale e probabilmente distensivi nella porzione più sud-orientale; si possono altresì avere meccanismi distensivi nella porzione più sud-orientale; si possono altresì meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture. L’intera fascia è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo. Le profondità ipocentrali sono mediamente maggiori in questa fascia di quanto non siano nella fascia più esterna.

La zonazione (ZS9) indica anche una profondità dello strato sismogenetico, che risulta essere compreso tra 12 e 20 km per la zona sismogenetica 913 e 8-12 km per la zona 911.

| Zona | Numero eventi Md>2.0 | Numero eventi Md>2.5 | Numero eventi Md>3.0 | Magnitudo massima (Md) | Classe di profondità (Km) | Profondità efficace (Km) |
|------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 911  | 126                  | 91                   | 18                   | 4.1                    | 8-12                      | 8                        |
| 913  | 767                  | 362                  | 100                  | 4.8                    | 12-20                     | 13                       |

La valutazione della magnitudo massima ( $M_{wmax}$ ) per le zone sismogenetiche, riportata anche negli ICMS (2008), per zone 911 e 913 fornisce un valore di 6,14.

Sulla base dei nuovi dati acquisiti per la realizzazione della “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe” è stata proposta, da parte di Martelli et alii (2017), anche una nuova zonazione sismogenetica dell’Appennino emiliano-romagnolo e aree limitrofe, al fine di fornire un contributo per l’aggiornamento della mappa di pericolosità sismica nazionale: la MPS16, che andrà a sostituire la MPS04, che, con la zonazione sismogenetica ZS9, rappresenta l’attuale riferimento per il calcolo dell’azione sismica (NTC2008) e la riclassificazione sismica (OPCM 3519/2006).

Secondo questa nuova proposta, in figura successiva messa a confronto con le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute, il Comune di Villanova sull’Arda ricade in zona sismogenetica con

<sup>1</sup> Gruppo di Lavoro (2004): redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma

meccanismi di rottura prevalentemente di tipo inverso (thrust fault) e in minor misura trascorrente (strike slip fault).

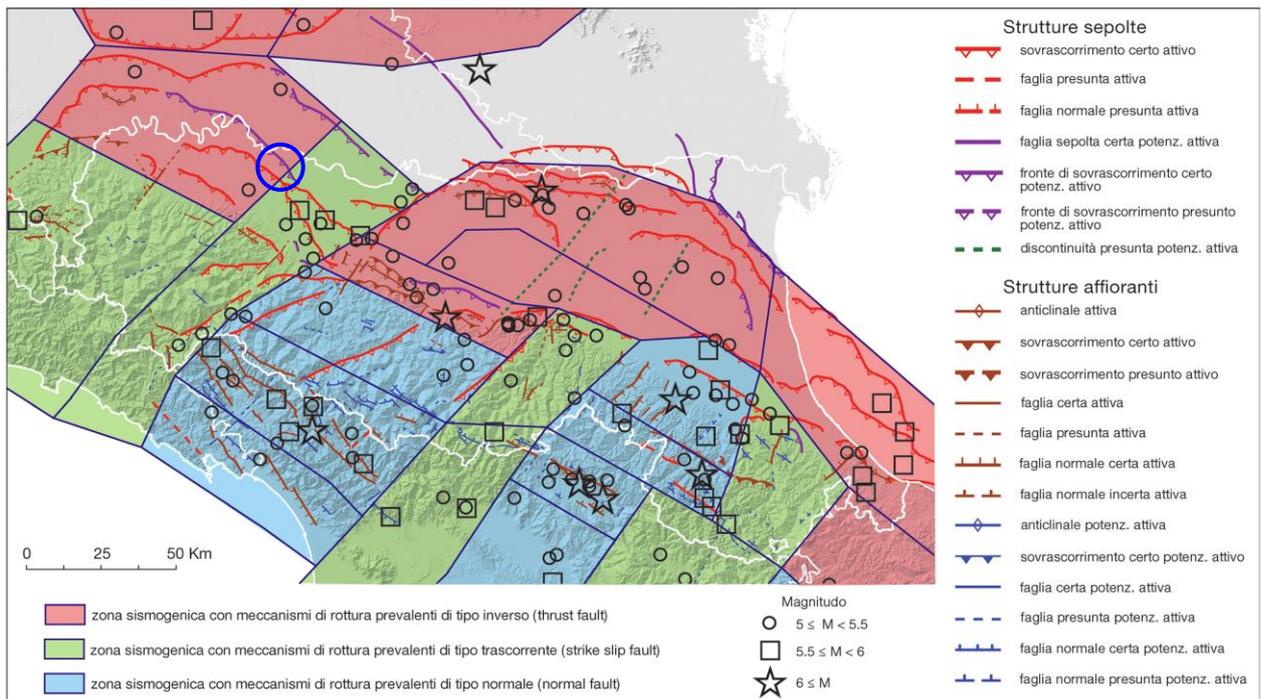


Figura 2.2. Mappa di confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute e la zonazione sismogenetica proposta da Martelli et al. (2017).

### 2.1.1 Le sorgenti sismogenetiche

Per la determinazione delle sorgenti sismogenetiche principali dell'area in esame si è fatto riferimento al "Database of Individual Seismogenic Sources" (DISS 3.2.1) disponibile nel sito [www.ingv.it](http://www.ingv.it).

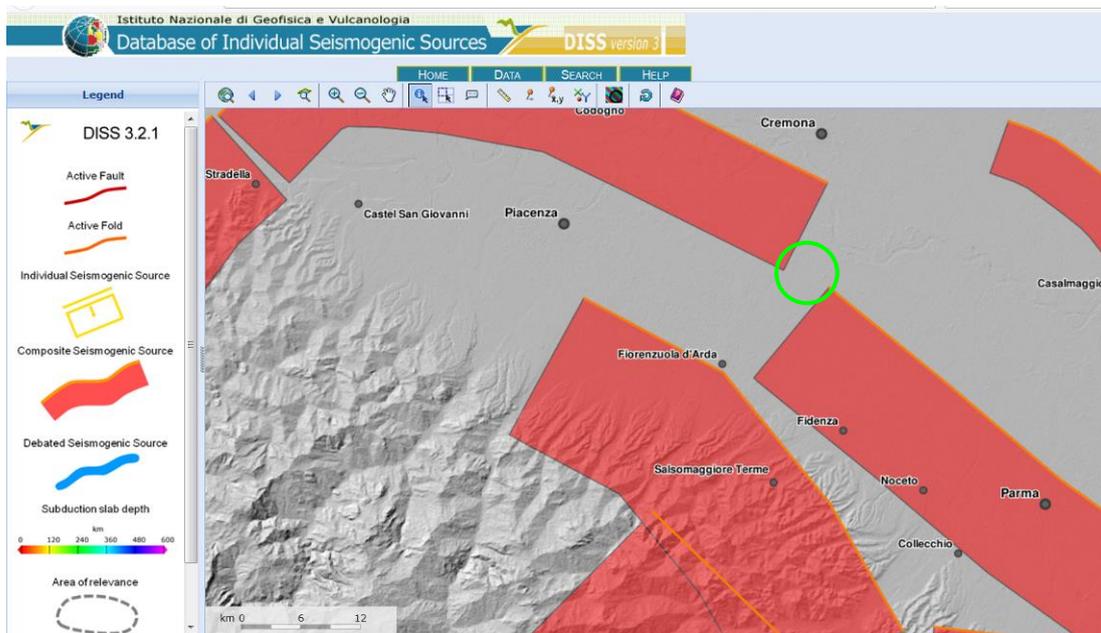


Figura 2.3. Mappa sorgenti sismogenetiche in cui si evidenzia la ITCS044\_Portalbera-Cremona. In cerchiato verde il comune di Villanova sull'Arda.

Il database rappresenta la sintesi di tutte le evidenze geologiche e storiche relative alla fagliazione sismogenetica, con apporti derivanti dai dati della sismicità strumentale, dalla geodinamica a larga scala e dai caratteri geomorfologici. Il territorio comunale è in prossimità di due sorgenti sismogenetiche denominata **ITCS044** “Portalbera - Cremona” e **ITCS009** “Busseto – Cavriago”.

Nelle figure seguenti sono riportati i dati relativi alle sorgenti estratte dal database .

| COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES ?                      |  |         |  |
|--|--|---------|--|
| COMMENTARY ▾ PICTURES ▾ REFERENCES ▾ USER COMMENTS ▾ |  |         |  |
| <b>GENERAL INFORMATION</b>                           |  |         |  |
| DISS-ID  | ITCS044  |         |  |
| Name   | Portalbera-Cremona   |         |  |
| Compiler(s)  | Burrato P.(1)  |         |  |
| Contributor(s)                                       | Burrato P.(1), D'Ambrogi C.(2), Maesano F.E.(1), Toscani G.(3)   |         |  |
| Affiliation(s)                                       | 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy<br>2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy<br>3) Università di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italy |         |  |
| Created  | 17-Oct-2013  |         |  |
| Updated  | 19-Jun-2015  |         |  |
| Display map ...                                      |  |         |  |
| Related sources                                      |  |         |  |
| <b>PARAMETRIC INFORMATION</b>                        |  |         |  |
|  | PARAMETER  | QUALITY | EVIDENCE   |
| Min depth [km]                                       | 2.0  | OD      | Based on geological data from various authors.       |
| Max depth [km]                                       | 7.0  | OD      | Based on geological data from various authors.       |
| Strike [deg] min... max                              | 30...115   | OD      | Based on geological data from various authors.       |
| Dip [deg] min... max                                 | 20...40  | OD      | Based on geological data from various authors.       |
| Rake [deg] min... max                                | 80...100   | EJ      | Inferred from geological data.                       |
| Slip Rate [mm/y] min... max                          | 0.48...0.54  | OD      | Based on geological data from Maesano et al. (2015). |
| Max Magnitude [Mw]                                   | 5.5  | EJ      | Assumed from regional seismological data.            |

| COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES ?                      |  |         |   |
|--|--|---------|---|
| COMMENTARY ▾ PICTURES ▾ REFERENCES ▾ USER COMMENTS ▾ |  |         |   |
| <b>GENERAL INFORMATION</b>                           |  |         |   |
| DISS-ID  | ITCS009  |         |   |
| Name   | Busseto-Cavriago   |         |   |
| Compiler(s)  | Burrato P.(1)  |         |   |
| Contributor(s)                                       | Burrato P.(1), D'Ambrogi C.(2), Maesano F.E.(1), Toscani G.(3)   |         |   |
| Affiliation(s)                                       | 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy<br>2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy<br>3) Università di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italy |         |   |
| Created  | 17-Oct-2013  |         |   |
| Updated  | 19-Jun-2015  |         |   |
| Display map ...                                      |  |         |   |
| Related sources                                      |  |         |   |
| <b>PARAMETRIC INFORMATION</b>                        |  |         |   |
|  | PARAMETER  | QUALITY | EVIDENCE  |
| Min depth [km]                                       | 2.0  | OD      | Based on geological data from various authors.                |
| Max depth [km]                                       | 8.0  | OD      | Based on geological data from various authors.                |
| Strike [deg] min... max                              | 120...140  | OD      | Based on geological data from various authors.                |
| Dip [deg] min... max                                 | 20...40  | OD      | Based on geological data from various authors.                |
| Rake [deg] min... max                                | 90...120   | EJ      | Inferred from geological data.                                |
| Slip Rate [mm/y] min... max                          | 0.16...0.53  | OD      | Based on geological data from Maesano et al. (2015).          |
| Max Magnitude [Mw]                                   | 5.6  | LD      | Derived from the strongest earthquake occurred in the region. |

## 2.2 Sismicità storica

La sismicità storica è stata studiata a partire dai cataloghi dei terremoti disponibili, in particolare sono stati presi in considerazione i cataloghi presenti sul sito internet dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ([www.ingv.it](http://www.ingv.it)).

Sono stati consultati i seguenti cataloghi:

**DBMI15** – database macrosismico italiano\_Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>

**CPTI 15** – catalogo parametrico dei terremoti italiani (217a.c. – 2002)\_Rovida A., Locati M., Camassi R., Lollì B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>

Dall'interrogazione del “Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015” CPTI15-DBMI15 – relase 1.5 consultabile liberamente all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15> per un intorno significativo della sede del Municipio (un raggio di 50 Km con centro **lat. 45.0258** e **long. 9.9975**) sono stati identificati **461** eventi significativi dei quali si riporta l'ubicazione nella figura seguente; gli eventi principali presentano una Intensità massima I<sub>max</sub> pari a 8.

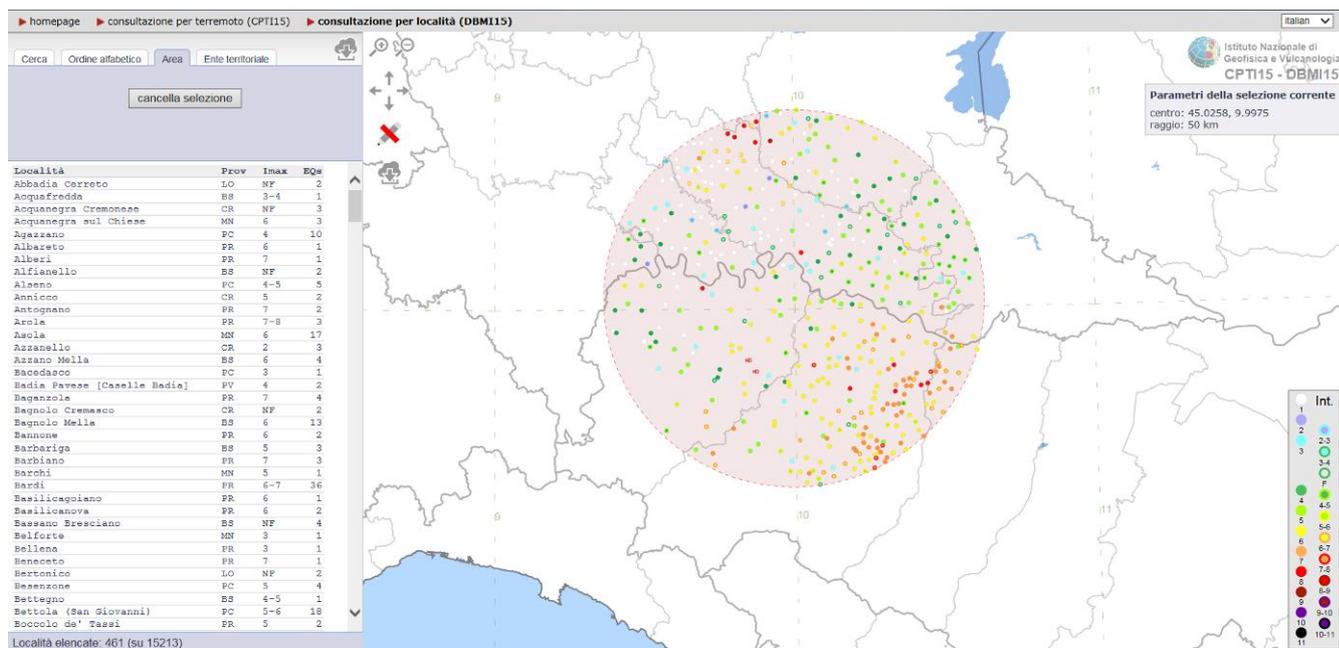
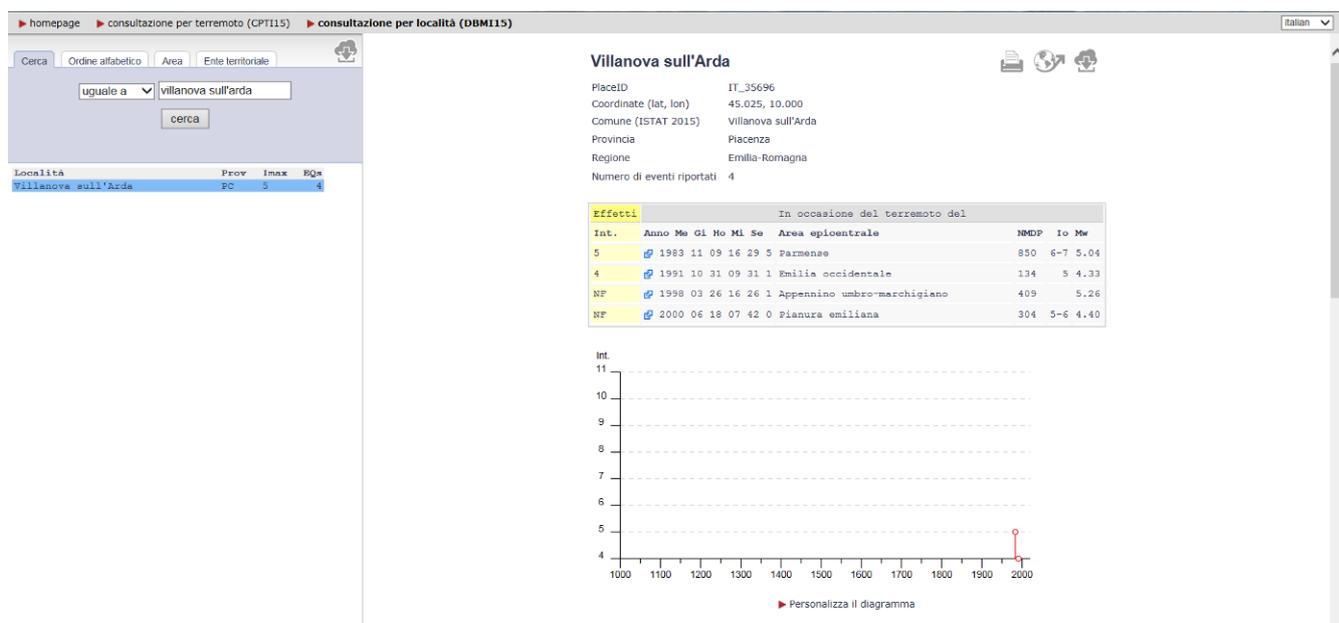


Tabella 2.1. Estratto dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani, terremoti con epicentro compreso in un raggio di 50Km dal centro abitato di Villanova sull'Arda.

Nel catalogo DBMI15 a cura di Locati et al. 2015 viene riportata la storia sismica nota del comune di Villanova sull'Arda da cui si estrae quanto segue:



In sintesi si segnalano in particolare il terremoto del 26/03/1998 di magnitudo 5.26 con epicentro nell'Appennino Umbro-Marchigiano e il terremoto del 09/11/1983 di magnitudo 5.04 con epicentro nel Parmense.

### 3 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

#### 3.1 Tettonica e sedimentazione

Sotto il profilo geologico tutta l'area comunale risulta impostata su depositi alluvionali di età quaternaria, in giacitura sub-orizzontale, che ricoprono un substrato marino piegato e fagliato appartenente all'ambiente morfologico dell'Appennino.

Il fronte della catena appenninica non coincide infatti con il limite morfologico catena-pianura (margine

appenninico - padano) ma è individuabile negli archi esterni delle Pieghe Emiliane e Ferraresi (Pieri & Groppi, 1981) sepolte dai sedimenti quaternari padani. Quindi, il vero fronte appenninico, circa all'altezza del Po, sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano - veneta. Si può così schematizzare che l'evoluzione del territorio dell'Emilia-Romagna coincide con l'evoluzione del settore esterno della catena nord-appenninica.

La complessa evoluzione del Bacino Perisuturale Padano nell'ultima ed attuale fase tettonica è riconducibile a fenomeni di subsidenza bacinale e quiescenza tettonica, i depositi alluvionali sono alternanze cicliche di facies fini e grossolane originate da oscillazioni climatiche - eustatiche.

La topografia regolare della pianura è così il risultato di un equilibrio, più o meno stabile, tra la velocità di sprofondamento dovuto alla subsidenza e l'apporto solido della sedimentazione.

La subsidenza naturale è stata attiva per alcuni milioni di anni e ha creato spazio per la deposizione di ingenti spessori di sedimenti i processi di subsidenza e sedimentazione sono lenti e pressoché impercettibili per l'uomo. Pertanto i depositi alluvionali presenti nel sottosuolo comunale sono generalmente di origine fluviale, con qualche episodio di tipo lacustre-palustre. Si tratta in altre parole di sedimenti continentali che prendono origine dal fiume Po e dai suoi affluenti in funzione delle vicende climatiche che si sono susseguite nel Pleistocene (glaciazioni) e nell'Oligocene (avvicendamento di magre e di piene). Le litofacies presenti nei depositi alluvionali risultano estremamente mutevoli, con frequenti fenomeni di eteropia e discordanza: si può dunque osservare che i litotipi predominanti, sia in superficie che attraverso le diagrafie dei pozzi, sono rappresentati da sabbie e limi con la presenza di alcuni livelli torbosi.

Di seguito vengono riportate di ogni singola formazione geologica affiorante nel territorio comunale le relative caratteristiche litologiche e formazionali:

**a. "depositi alluvionali attuali" del letto ordinario dei corsi d'acqua:** coincidenti con le aree occupate dagli alvei di piena delle principali aste fluviali presenti: Fiume Po e T. Arda, sono costituiti prevalentemente da sabbie, limi e argille. La litologia è eterogenea e rispecchia in gran parte le caratteristiche dei litotipi presenti nel bacino di alimentazione a monte, si tratta di materiali in prevalenza costituiti da elementi calcarei ed in parte arenacei. La giacitura di questi depositi è suborizzontale con tipica stratificazione incrociata e livelli a granulometria più fini (lenti discontinue argillose) che si alternano ad elementi più grossolani correlabili con i diversi regimi di piena e morbida del corso d'acqua. Lo spessore è contenuto entro 7/10 metri, ospitano una falda freatica direttamente collegata al quella di subalveo, conseguentemente le escursioni piezometriche sono assai rilevanti (da 2 a 4 m). Permeabilità elevata.

**b. "depositi alluvionali medio-recenti" riferibili al dominio alluvionale dei T. Ongina e T. Arda:** costituiti prevalentemente da limi e argille, a cui, in profondità, fanno seguito livelli prevalentemente sabbiosi. Questi terreni formano superfici leggermente ondulate e di poco sopraelevate rispetto all'alveo attivo dei corsi d'acqua. Occupano senza soluzione di continuità il territorio comunale a sud dell'alveo del fiume Po. Sono caratterizzati da una permeabilità media.

### 3.2 Stratigrafia comunale

Dal punto di vista geolitologico il territorio del Comune di Villanova sull'Arda si estende entro la fascia della bassa pianura sviluppatasi al di sopra dei potenti sistemi deposizionali Plio-pleistocenici. Tali sistemi alluvionali (Fluviale Wurm, Alluvioni antiche, Alluvioni recenti) sono contraddistinti da una potente e variabile sedimentazione di litologie grossolane (sabbiose e ghiaiose) e fini (limose e argillose) in corpi tabulari allungati e subparalleli la cui genesi risulta in toto attribuibile ad eventi di piena fluviale ed alla dinamica deposizionale ad essi connessa.

I terreni affioranti nel territorio comunale, di origine esclusivamente alluvionale, sono il risultato dell'azione di deposizione ed erosione dei due principali corsi d'acqua: Torrenti Arda e Ongina. Di tutte le unità affioranti nell'ambito della Pianura Padana solo una di queste è presente nel Comune di Villanova sull'Arda:

· AES8a -Subsistema di Ravenna\_Unità di Modena: Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua: depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, e di conoide. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm). Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri.

### 3.3 Assetto geomorfologico

La connotazione morfologica principale dell'area in esame è senza dubbio identificabile nella sua conformazione subpianeggiante, si presenta infatti come un ampio ripiano lievemente inclinato da sud-sudovest a nord-nordest con una acclività molto blanda ed uniforme, che mediamente si attesta intorno a valori medi di 0,01 - 0,2 %.

La morfogenesi naturale, svolta della dinamica fluviale olocenica, è responsabile delle grandi strutture che si possono valutare attraverso l'esame di foto aeree o carte storiche, come i paleomeandri ed i dossi di pianura. La mutualità tra i fattori morfogenetici, entrambi di struttura dinamica, hanno condizionato un paesaggio relativamente omogeneo e costante che raggiunge un spiccata monotonia allontanandosi dai corsi d'acqua, nel quale possono essere individuate due unità territoriali morfologicamente distinte: l'unità morfologica golenare e l'unità morfologica della bassa pianura.

#### Unità morfologica golenale

**L'unità morfologica golenale** si sviluppa nella fascia di meandreggiamento del Fiume Po, delimitata dai rilevati arginali maestri, ed è interessata periodicamente dagli eventi di piena che la possono sommergere con battenti idrici di qualche metro. La golena è quindi di proprietà del fiume che periodicamente ma inevitabilmente la invade, è la cassa di espansione delle acque di piena perché permette loro di invadere territori solitamente all'asciutto. Una volta, quando non esistevano gli argini, la golena occupava tutta la bassa fino al terrazzo morfologico.

Il corso d'acqua vero e proprio del fiume Po occupa la parte incisa della golena, dove normalmente scorre l'acqua che il fiume. L'alveo del fiume Po non è stabile nel tempo proprio per l'azione alternata di erosione e di deposito esso si muove nello spazio in modo anche molto evidente con salti di meandro, con la costituzione di nuovi canali di deflusso e con il deposito di terrazzi.

#### Unità morfologica della bassa pianura

**L'unità morfologica della bassa pianura**, contrariamente alla zona golenare e all'alveo attivo, sono caratterizzate da una dinamica evolutiva più antica e quindi più consolidata, nella quale unico elemento di evoluzione attualmente in atto è collegabile esclusivamente all'attività antropica. L'aspetto morfologico del ripiano principale della pianura è dominato da un paesaggio oltremodo omogeneo e costante che raggiunge il livello maggiore della monotonia e della banalità nel settore nordoccidentale del territorio comunale, dove la campagna risulta caratterizzata da un'agricoltura intensiva che ha comportato la costituzione di grandi appezzamenti e la demolizione di molte barriere vedi.

Unica variante alla monotona fisiografia della pianura è data dalla presenza delle "valli a cassetta" dei corsi d'acqua minori, le loro "valli", seppur di esigue dimensioni, risultano infatti leggermente depresse rispetto alla pianura vera e propria con un modesto dislivello talora risultano fisicamente separati dalla stessa da argini di contenimento idraulico. I processi sedimentari operati dai principali corpi idrici presenti in questa zona di pianura hanno inoltre originato evidenti fasce fluviali pensili, arealmente più o meno estese, che hanno richiesto interventi di regimazione idraulica (arginature).

In termini fisiografici il fondo della predetta "valle a cassetta" corrisponde all'alveo attivo dei corsi d'acqua, nell'ambito dei quali naturalmente sono particolarmente attive le azioni modellatrici relative alle forze idrologiche che caratterizzano il corso attivo dei torrenti.

La morfologia di queste aree corrispondenti agli alvei attivi dei torrenti Arda e Ongina, risente direttamente dell'attività dei corsi d'acqua; tali aree sono infatti da considerarsi in perenne evoluzione geomorfologica in quanto gli eventi alluvionali determinano, durante le naturali fasi evolutive, sia fenomeni di deposizione che di erosione.

L'intera area comunale si caratterizza anche per la presenza di una fitta rete di canali di scolo, il cui sviluppo è da ricollegare alla scarsa permeabilità dei terreni affioranti e, conseguentemente, alla necessità di agevolare lo smaltimento delle acque meteoriche, altrimenti facilmente ristagnanti.

## 4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Le indagini geognostiche e geofisiche utilizzate nel presente studio sono riportate nella tavola “Carta delle indagini”. Dall’esame della suddetta carta si evidenzia come il territorio comunale sia stato ovviamente indagato soprattutto nei pressi dei centri abitati principali.

### 4.1 Indagini geognostiche pregresse

È stato raccolto ed inserito nella banca dati georeferenziata un repertorio di indagini pregresse derivanti dal database comunale composto dalle indagini relative alla pratiche connesse all’urbanizzazione.

Abbastanza numerose sono risultate le prove penetrometriche statiche [34], quasi nessuna quelle dinamiche [1]. La stratigrafia del territorio è stata inoltre indagata da 16 pozzi per acqua e da 4 trincee esplorative. Non troppo numerose sono risultate le indagini geofisiche, tra cui, 5 prove sismiche multicanale basate su onde di superficie (tipo MASW) e 6 prove a stazione singola (tipo HVSR).

### 4.2 Indagini geognostiche eseguite per la presente microzonazione sismica

Ad integrazione dei dati reperiti è stata eseguita una campagna di indagine volta all’integrazione soprattutto dei dati geofisici. In particolare sono state eseguite 13 prove sismiche a stazione singola (HVSR) e 7 sismiche tipo MASW + HVSR. Inoltre sono state eseguite altre 3 prove penetrometriche statiche nelle località di S.Agata, Cignano e Soarza.

Per tutte le indagini eseguite sono riportati in allegato i rapporti di prova.

#### 4.2.1 Prove sismiche MASW+HVSR

La tecnica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) consiste nell’analisi della dispersione delle onde di superficie al fine di definire il profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio S. La MASW classica/standard consiste nella registrazione della propagazione di una classe di onde di superficie e specificatamente delle onde di Rayleigh: queste ultime vengono generate da una sorgente ad impatto verticale. Due sono gli aspetti che rendono il contributo delle onde di Rayleigh prevalente sul contributo delle onde P e Sv. Il primo aspetto è che le onde di Rayleigh trasportano circa i due terzi dell’energia generata dalla sorgente. Il secondo aspetto è che allontanandosi dalla sorgente le onde di Rayleigh subiscono un’attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e Sv, in quanto si propagano secondo fronti d’onda cilindrici e non sferici (come le altre onde) viaggiando con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In queste indagini accanto all’acquisizione MASW in Rayleigh vengono proposte anche le analisi della dispersione delle onde di Love, da analizzare congiuntamente alle Rayleigh, per meglio definire il substrato e superare talune ambiguità interpretative che possono presentarsi sugli spettri di velocità riferiti solo alle onde di Rayleigh. Le acquisizioni in onde di Love non possono sostituire completamente quelle in onde di Rayleigh ma la chiarezza dei loro spettri di velocità risulta di estrema utilità allorché gli spettri delle onde di Rayleigh risultino di ardua interpretazione in relazione alla presenza di forti segnali *scatterati* e all’intrecciarsi di diversi modi. Sono inoltre state eseguite misure di microtremiti atte ad analizzare il rapporto spettrale H/V (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - HVSR) utile a definire eventuali risonanze di sito e, unitamente a misure di dispersione delle onde di superficie, a meglio vincolare il profilo  $V_s$  (Dal Moro, 2010; 2011). A causa della pesante non-univocità della soluzione una modellazione del solo HVSR senza quantitative informazioni sulle  $V_s$  da parte di misure MASW non risulta sufficientemente affidabile.

L’acquisizione dei dati è stata eseguita tramite l’utilizzo di un sismografo 24 canali (modello Echo 2002) collegato a geofoni orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz. Le acquisizioni utili ad analizzare il rapporto spettrale H/V (HVSR) sono state eseguite utilizzando lo strumento SR04-GEOBOX, dotato di sensore a 2.0 Hz (Sara electronic instruments). L’analisi dei dati acquisiti è stata eseguita utilizzando il software WINMASW 6.0 versione Professional.

La 7 prove Masw+HVSr sono state eseguite rispettivamente nei pressi degli abitati di:

- Villanova d'Arda
- Cignano
- Soarza
- S.Agata

Villanova sull'Arda capoluogo est

Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSr è risultato pari a 205 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di  $V_s$  registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

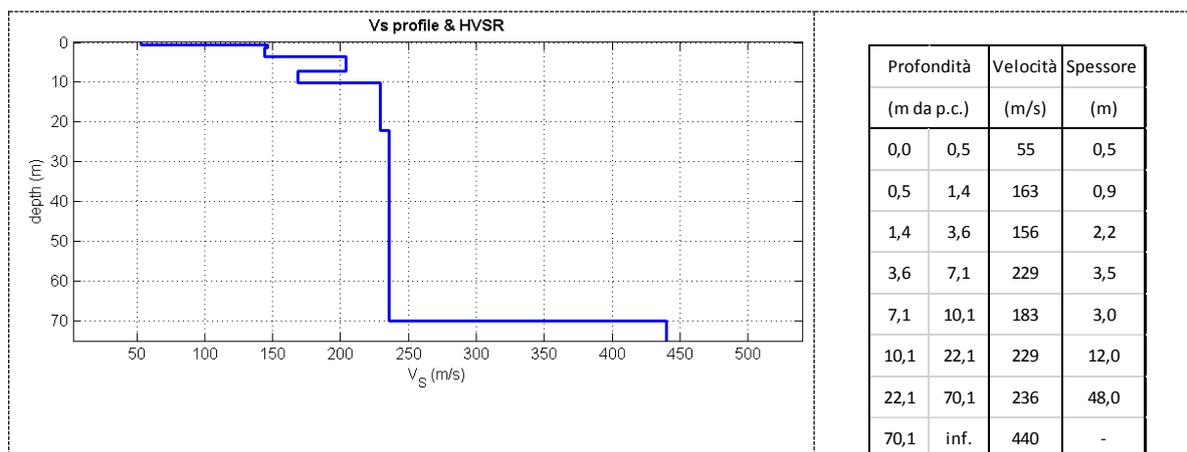


Figura 4.1. Profilo di  $V_s$  ricavato dalla prova MASW+HVSr e valori di  $V_s$ .

Villanova sull'Arda Ospedale

Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSr è risultato pari a 220 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di  $V_s$  registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

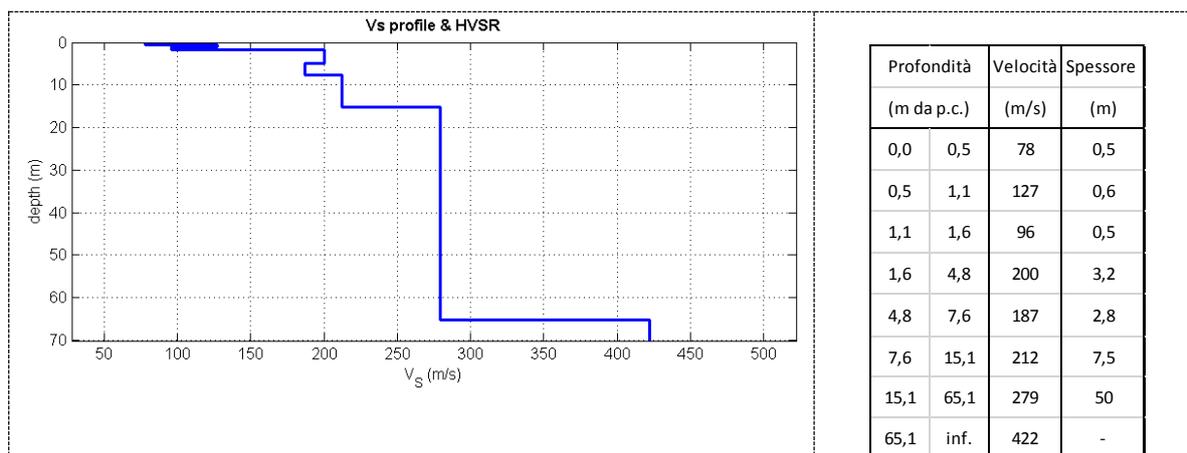


Figura 4.2. Profilo di  $V_s$  ricavato dalla prova MASW+HVSr e valori di  $V_s$ .

Cignano

Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSr è risultato pari a 207 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di  $V_s$  registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

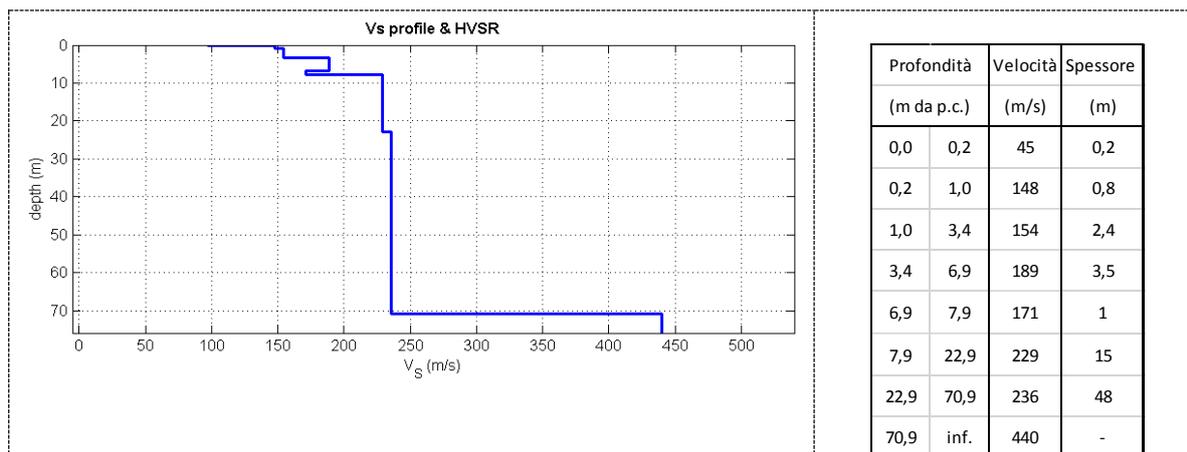


Figura 4.3. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di Vs.

Soarza est

Il valore di  $V_{S30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 363 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di Vs registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

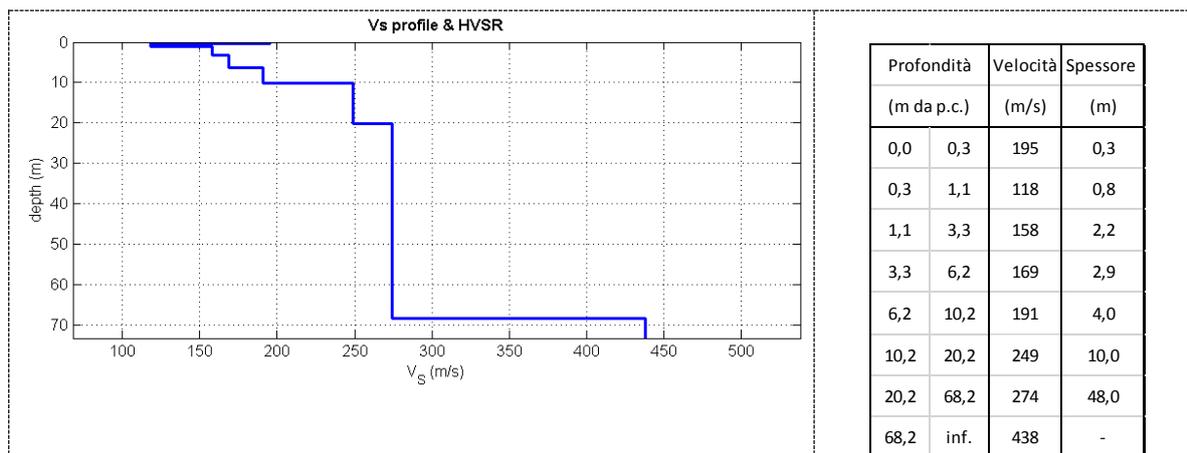


Figura 4.4. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di Vs.

Soarza nord

Il valore di  $V_{S30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 219 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di Vs registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

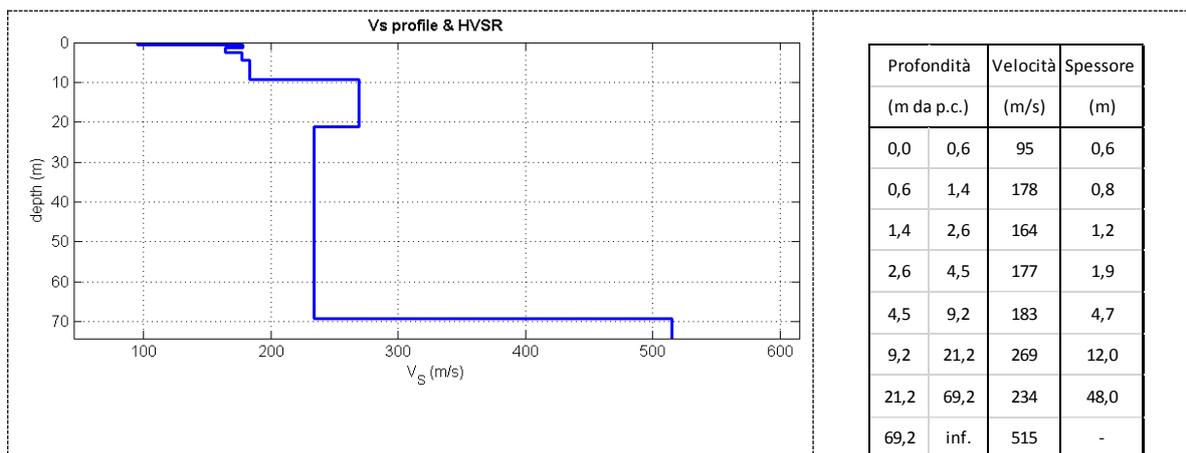


Figura 4.5. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di Vs.

S. Agata

Il valore di  $V_{S30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 240 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di Vs registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

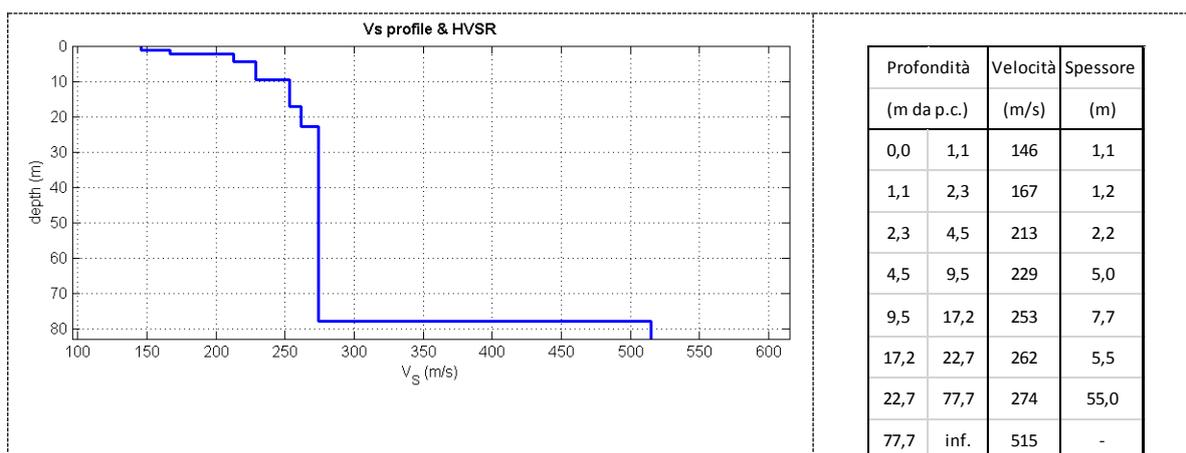


Figura 4.6. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di Vs.

S. Agata nord / Pontenuovo

Il valore di  $V_{S30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 232 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di Vs registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

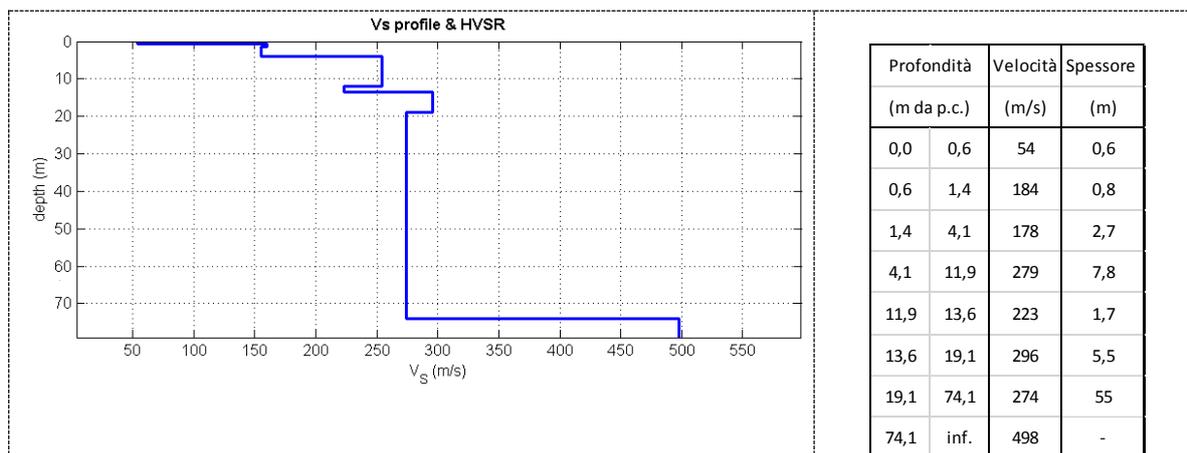


Figura 4.7. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSr e valori di Vs.

#### 4.2.2 Prove sismiche tipo HVSr

Lo strumento è costituito da una terna di geofoni (due orizzontali disposti perpendicolarmente, il terzo verticale) in grado di rispondere allo stesso modo a una medesima sollecitazione.

Le acquisizioni durano 20 minuti. Le frequenze che interessano l'ambito geologico-ingegneristico sono comprese nell'intervallo tra i 0.5 e i 20 Hz.

Il principio su cui si basa questo strumento è piuttosto semplice. Misurando il rapporto H/V (con H componente orizzontale e V componente verticale) determinabile dai microtremori (le oscillazioni del suolo indotte da una serie di fattori sia naturali che antropici) si può identificare in maniera passiva la frequenza di risonanza del sottosuolo, che risulta in relazione diretta con l'amplificazione sismica.

La trattazione classica di Nakamura prevedrebbe il coinvolgimento delle onde di corpo (S e P) mentre le evidenze teoriche e sperimentali più recenti portano a concludere che il fattore determinante che determina la curva H/V sperimentale sia dato invece dalle onde di superficie (più specificatamente dall'ellitticità, cioè appunto dal rapporto che sussiste tra le componenti orizzontali e quella verticale).

Per la campagna di indagine è stato utilizzato un sismografo SR04-GEOBOX sensore 2.0Hz con una frequenza di campionamento di 300Hz ed un tempo di registrazione di 20 minuti. L'elaborazione dei dati è stata eseguita con il software WINMASW 6.0 Professional, impostando la lunghezza delle finestre a 20s e lisciamiento con finestra triangolare con ampiezze 5-10%.

In allegato sono riportati i diagrammi acquisiti e le elaborazioni eseguite.

Di seguito si riportano i principali dati associati alle misure di microtremore eseguite per il presente lavoro e reperate.

| ID_INDPU  | F <sub>0</sub> | Ampiezza | Altri picchi significativi | Località                                  |
|-----------|----------------|----------|----------------------------|---|
| 033046P11 | -              | -        | -                          | Loc.Stallone                              |
| 033046P12 | 18,8           | 1,3      | -                          | Loc.Soarza                                |
| 033046P14 | 0,9            | -        | -                          | Loc.Pezzino                               |
| 033046P16 | 10,3           | 2,1      | -                          | Loc.Soarza                                |
| 033046P41 | -              | -        | -                          | Loc.Soarza sud                            |
| 033046P42 | -              | -        | 18,6                       | Villanova sull'Arda_nord                  |
| 033046P43 | -              | -        | -                          | Villanova sull'Arda_ovest                 |
| 033046P44 | -              | -        | -                          | Villanova sull'Arda_sud                   |
| 033046P45 | -              | -        | -                          | Villanova sull'Arda_Area artigianale nord |
| 033046P46 | 0,7            | 2,0      | -                          | Villanova sull'Arda_Area artigianale sud  |
| 033046P47 | 0,8            | 2,0      | -                          | Loc. Cignano                              |
| 033046P48 | 0,8            | 2,1      | -                          | Loc. S.Agata Nord_Ponte Nuovo             |
| 033046P49 | 0,7            | 1,8      | -                          | Loc. S.Agata                              |
| 033046P50 | -              | -        | -                          | Loc. Soarza est                           |
| 033046P51 | 0,8            | 2,2      | -                          | Loc. Soarza nord                          |
| 033046P52 | -              | -        | 21,4                       | Villanova sull'Arda_est                   |

#### 4.2.3 Prove penetrometriche CPT

La prova statica (CPT) consiste nell'ingegnere a pressione nel terreno una punta conica misurando separatamente ma con continuità lo sforzo necessario per la penetrazione della punta. La spinta viene fornita da un sistema idraulico ed è trasmessa alla punta conica mediante una batteria d'aste cave nel cui interno scorrono delle aste più piccole. Lo strumento posto alla base della batteria, costituito da una punta e da un manicotto di attrito, misura rispettivamente, ad intervalli regolari di 20 cm, la resistenza alla punta "Rp" (LP) e la resistenza laterale+punta "RI+Rp" (LL).

Le prove sono state eseguite mediante un penetrometro Pagani TG 63-100, semovente, in grado di eseguire misurazioni ogni 20 cm.

In allegato sono riportati i diagrammi acquisiti e le elaborazioni eseguite.

Si riportano in tabella località e profondità raggiunte dalle prove eseguite per il presente lavoro.

| ID_INDP        | Profondità (m) | Località   |
|----------------|----------------|------------|
| 033046P70CPT70 | 9,8            | Sant'Agata |
| 033046P71CPT71 | 9,8            | Cignano    |
| 033046P72CPT72 | 9,8            | Soarza     |

## 5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il comune di Villanova sull'Arda, come ampiamente descritto nei capitoli precedenti, è caratterizzato dalla presenza di sedimenti alluvionali costituiti da argille, limi con intercalazioni di sabbie in matrice argilloso limosa appartenenti al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (Subsintema di Ravenna\_Unità di Modena AES8a ).

Nell'area non sono noti affioramenti del Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI); tale unità è invece individuata nel sottosuolo da numerose indagini reperite e visionate (vedi sezione geologica allegata).

Le unità del Sintema Emiliano-Romagnolo sono litologicamente contraddistinte dalla presenza di limi ed argille intercalati da sabbie la cui distribuzione risulta legata, e spesso limitata, a canali fluviali, che rendono impossibili uno schema preciso dei rapporti stratigrafici in quanto sono presenti repentine variazioni litologiche laterali e verticali. Tale situazione è ben evidenziata nella sezione geologica riportata in allegato.

Il substrato marino è dunque ricoperto dalle unità del Sintema Emiliano-Romagnolo (superiore e/o inferiore). Nella "Sezione Geologica" sono schematizzate le principali unità geologiche e si evidenzia come il substrato marino sia presente nel territorio analizzato a quote maggiori di 300 metri slm. Il passaggio tra Subsintema Emiliano Superiore (AES) e quello inferiore (AEI) è indicato invece a profondità di circa 150 metri slm, in accordo con la nuova "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e aree limitrofe" (Regione Emilia Romagna, 2017) di cui si riporta un estratto nella figura successiva.

La sezione geologica è stata realizzata correlando i dati geognostici reperiti nella banca dati del Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna (pozzi e sezioni ENI-AGIP).

Nel complesso, considerando i dati raccolti, la fascia di pianura in cui ricade il comune di Villanova sull'Arda, è caratterizzata dalla presenza di una coltre superficiale di depositi prevalentemente fini (limi e argille), poggianti, a profondità normalmente comprese tra 6-8 m, su livelli dapprima limoso sabbiosi e successivamente più francamente sabbiosi.

A fronte di tale assetto litostratigrafico, le indagini tomografiche effettuate sono sempre state interpretate cercando di individuare ove possibile, nelle curve H/V, dei picchi proprio dove le indagini geognostiche indicavano il passaggio tra i depositi coesivi e quelli limo-sabbiosi.

Va, però, precisato che questo tipo di interpretazione è piuttosto complessa all'interno di un materasso alluvionale con prevalenza di materiali fini, che in genere presentano variazioni di Vs abbastanza omogenee, con conseguenti assenze di picchi litologici.

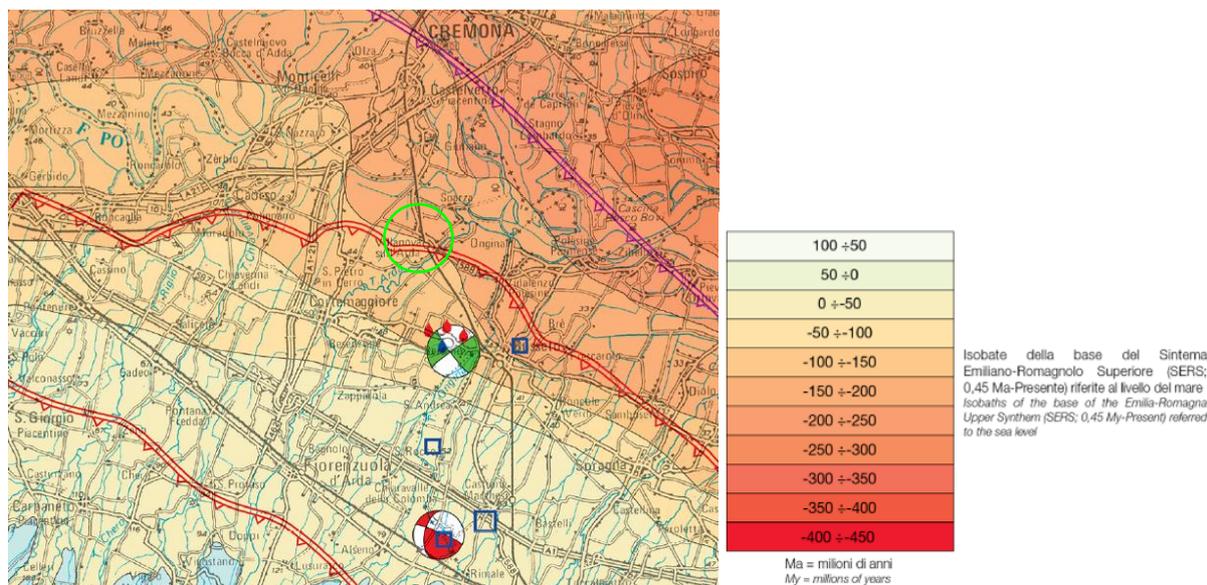


Figura 5.1. Estratto Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e isobate della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, in verde il territorio comunale di Villanova sull'Arda.

## 6 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Come già indicato, il presente studio, oltre ad utilizzare una grande quantità di dati pregressi, ha previsto l'esecuzione di una nuova campagna d'indagini sismiche.

Per ciascuna delle indagini effettuate tramite la tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è stato riportato il grafico del rapporto spettrale H/V naturale, in cui si possono osservare gli eventuali picchi caratteristici, in corrispondenza di determinate frequenze.

Al fine di determinare la qualità delle singole misure HVSr effettuate e la loro relativa affidabilità, si è provveduto alla classificazione delle prove valutando, in accordo con i più recenti studi in materia, le caratteristiche dei fondamentali principi su cui si basa la tecnica di indagine a sismica passiva utilizzata. Nello specifico si è proceduto all'analisi della durata complessiva delle singole registrazioni, utilizzando esclusivamente quelle capaci di produrre stime "robuste" del campo medio delle vibrazioni ambientali, soddisfacendo in tal senso i primi 3 criteri del progetto SESAME (linee guida 2005), relativi alla robustezza statistica del segnale. Inoltre, per ogni singola acquisizione è stato valutato l'andamento complessivo della curva H/V, prestando particolare attenzione, durante la fase di elaborazione, alla plausibilità fisica della curva stessa, verificabile attraverso l'individuazione di massimi caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale.

In fase di elaborazione, sfruttando le possibilità di analisi direzionale e temporale del software utilizzato (Winmasw – Eliosoft), è stata valutata la stazionarietà temporale dei rapporti spettrali misurati, prestando inoltre particolare attenzione alle variazioni azimutali di ampiezza, nel rispetto della condizione di isotropia del segnale.

Quanto ai criteri delle linee guida SESAME 2005 relativi alla "chiarezza" del picco di possibile risonanza, in alcuni casi non risultano soddisfatti per i motivi già anticipati nel capitolo 5 (in quasi tutte le misure le caratteristiche geologiche del territorio esaminato fanno sì che, nelle curve H/V, non siano presenti picchi significativi).

## 7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nella prima fase di lavoro, relativamente agli areali da sottoporre allo studio di Microzonazione Sismica, ovvero l'intero territorio urbanizzato ed urbanizzabile, sono stati acquisiti dati bibliografici e di archivio, sono stati condotti rilievi sul territorio ed è stata analizzata la cartografia geologica e geomorfologica disponibile.

Successivamente è stata eseguita una campagna di indagini di sismica, ai fini della definizione delle frequenze fondamentali dei terreni.

Gli elaborati prodotti in questa prima fase sono costituiti da:

**Carta delle indagini:** in tale cartografia sono riportate le indagini pregresse e quelle di nuova esecuzione; tutte le prove sono state classificate in base alla tipologia;

**Carta geologico-tecnica:** tale carta è stata derivata dalla revisione a scala dettagliata dei rilievi disponibili. In questa cartografia sono rappresentati gli elementi geologici e morfologici che possono modificare il moto sismico in superficie;

**Carta delle frequenze naturali dei terreni:** tale carta riporta i punti di misura e i risultati di indagini di sismica passiva (misure HVSR); in particolare, sono stati indicati il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo ( $F_1$ ). In entrambi i casi sono stati presi in considerazione solo i picchi ricadenti nell'intervallo di frequenza  $0,5 \div 20$  Hz;

**Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica:** in questa cartografia sono indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari, distinguendo tra zone suscettibili di instabilità, se presenti ove sono richiesti approfondimenti di terzo livello, e zone suscettibili di amplificazioni locali, oggetto di approfondimenti di secondo livello, all'interno delle quali vengono operate ulteriori distinzioni, identificando delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche.

Successivamente e in diretta continuità con la prima, è stata svolta la seconda fase di lavoro, che ha quale obiettivo la Microzonazione Sismica del territorio indagato.

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati:

**Carta delle velocità delle onde di taglio S:** carte in sono ubicati tutti i punti di misura di  $V_s$  con indicazione, per ogni punto misura, del valore di  $V_{s30}$ , ossia della velocità delle onde di taglio mediata nei primi 30 metri di profondità.

**Carte di microzonazione sismica:** si tratta di carte in cui sono raffigurate le amplificazioni stimate, tramite procedure semplificate, per i vari settori di territorio in esame. L'amplificazione è stata quantificata sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale ( $PGA/PGA_0$ ), sia di rapporto di Intensità di Housner ( $SI/SI_0$ ), per prefissati intervalli di periodi (0,1-0,5s; 0,5-1s e 0,5s-1,5s).

## 8 ELABORATI CARTOGRAFICI

### 8.1 Carta delle indagini

Nel territorio del comune di Villanova sull'Arda sono state raccolte diverse prove geognostiche. In particolare sono state inserite nella Carta delle indagini, alla scala 1:10.000, le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione e dei dati pregressi, relativi a indagini geognostiche e/o geofisiche a corredo di pratiche edilizie depositate presso l'Ufficio Tecnico Comunale, oltre a quelle contenute nel database fornito dal Servizio Geologico Regionale e più precisamente:

- ✓ 34 prove penetrometriche statiche, di cui 3 eseguite per il presente lavoro,
- ✓ 1 prova penetrometrica dinamica media,
- ✓ 4 trincee esplorative,
- ✓ 16 pozzi per acqua,
- ✓ 17 prove sismiche a stazione singola HVSR, di cui 12 eseguite per il presente lavoro,
- ✓ 13 prove sismiche multicanale basate su onde di superficie, di cui 7 realizzate per questo lavoro.

Esse sono state distinte in base alla tipologia nel modo seguente:

|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
|  | Sondaggio a carotaggio continuo                           |  | Prova penetrometrica dinamica super pesante (DS) |
|  | Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni            |  | Prova penetrometrica dinamica pesante (DP)       |
|  | Trincea o pozzetto esplorativo                            |  | Prova penetrometrica dinamica leggera (DL)       |
|  | Prova sismica in foro tipo Downhole                       |  | Pozzo per acqua                                  |
|  | Prova sismica in foro tipo Crosshole                      |  | Pozzo per idrocarburi                            |
|  | Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)    |  | Stazione microtremore a stazione singola (HVSr)  |
|  | Prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTE)   |  | MASW   |
|  | Prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU)         |  | Prova REfraction Microtremors                    |
|  | Prova penetrometrica con cono sismico e piezocono (SCPTU) |  | Profilo sismico a rifrazione                     |

Figura 8.1. Legenda Carta delle Indagini.

## 8.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

Nella Carta geologico-tecnica sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse. Questi dati hanno consentito di definire il modello di sottosuolo e sono risultate funzionali alla realizzazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1).

Nel presente studio, per la stesura della Carta geologico tecnica, si è fatto riferimento, in particolare, alla seguente documentazione, opportunamente verificata mediante sopralluoghi di campagna:

- elaborati del Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale Comunale;
- Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna, alla scala 1:250.000, realizzata dalla Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione della Emilia-Romagna;
- indagini puntuali (vedi precedente paragrafo).

Allo scopo di migliorare la comprensione del modello geologico locale è stata costruita una sezione geologica di cui si riporta l'ubicazione nell'estratto della Carta Geologica Tecnica riportato in figura successiva.

Nella Carta geologico tecnica sono rappresentate le caratteristiche litologiche dei terreni presenti nei primi 5 metri di profondità dal p.c., classificati sulla base della tessitura prevalente; inoltre, dovendo attenersi agli standard di rappresentazione dettati dagli SRAI, sono state distinte, sulla base delle caratteristiche tessiturali, le seguenti unità di terreni di copertura:

**OH** – Argille organiche di media-alta plasticità e limi organici: sono cartografate lungo un'estesa fascia nella porzione occidentale del territorio comunale. Comprendono buona parte dell'abitato di Villanova sull'Arda, l'abitato di Cignano e una piccola porzione della frazione di Soarza;

**MH** – Limi inorganici e sabbie fini: sono cartografate nel settore centrale del territorio comunale comprendente la parte sud-orientale di Villanova sull'Arda e la frazione di Soarza e lungo la fascia più orientale del territorio comunale comprendente la frazione di Sant'Agata.

**ML** – Limi inorganici e sabbie fini limose o argillose: sono cartografate lungo la fascia centro-orientale del territorio comunale comprendente la zona artigianale di Villanova sull'Arda.

**SM** – Sabbie limose, miscele di sabbie e limo: sono cartografate lungo tutto il bordo nord-orientale del territorio comunale in corrispondenza del passaggio del fiume Po e lungo fasce molto ristrette lungo il bordo occidentale.

Sono stati altresì distinti gli ambienti genetico - deposizionali dei terreni di copertura secondo le seguenti classi:

pi – piana alluvionale

Infine nella Carta geologico tecnica sono stati riportati:

- la profondità in metri della falda misurata negli areali con sabbie e/o ghiaie;
- la traccia della sezione geologica rappresentativa del modello di sottosuolo.

### 8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Il comune di Villanova sull'Arda, come ampiamente descritto nei capitoli precedenti, è caratterizzato dalla presenza di sedimenti alluvionali costituiti da argille, limi con intercalazioni di sabbie in matrice argilloso limosa appartenenti al Sintema Emiliano Romagnolo Superiore, precisamente Subsintema di Ravenna\_Unità di Modena (AES8a).

In questa carta sono stati riportati tutti i punti di misura con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo ( $F_1$ ).

Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto riferimento prescrivono, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenticlassi:

- $F_0 \leq 0,6$  Hz
- $0,6 \text{ Hz} < F_0 \leq 1$  Hz
- $1 \text{ Hz} < F_0 \leq 2$  Hz
- $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8$  Hz
- $F_0 > 8$  Hz

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un contrasto di impedenza elevato (ampiezza picco  $HVSR \geq 3$ ), moderato (ampiezza picco  $2 \leq HVSR < 3$ ), basso (ampiezza picco  $1,5 \leq HVSR < 2$ ) o non significativo (ampiezza picco  $H/V \leq 1,5$ ). Quando presente è stata indicata anche la frequenza del picco secondario.

| frequenza picco signigicativo (Hz) | Ampiezza picco  |   |   | spessore atteso (m) |
|------------------------------------|---|---|---|---------------------|
|                                    | $1,5 \leq HVSR < 2$   | $2 \leq HVSR \leq 3$  | $HVSR > 3$  |                     |
| $F_0 \leq 0,6$                     |    |    |    | > 200               |
| $0,6 < F_0 \leq 1$                 |  |  |  | 200 - 100           |
| $1 < F_0 \leq 2$                   |  |  |  | 100 - 30            |
| $2 < F_0 \leq 8$                   |  |  |  | 30 - 10             |
| $F_0 > 8$                          |  |  |  | < 10                |
| assenza di picchi signficativi     |    |   |   |                     |

A lato del simbolo sono riportate le frequenze relative al primo picco significativo (in rosso) e al secondo picco (in blu) se presente

Figura 8.2. Legenda Carta delle Frequenze naturali dei terreni.

Va rilevato che l'ampiezza del rapporto H/V è sempre molto modesta, compresa tra 1.5 e 2, raramente 2.5. indicando che la differenza di velocità tra i diversi depositi è abbastanza modesta, come logica conseguenza delle caratteristiche dei terreni costituenti il sedime all'interno del territorio comunale.

Il territorio comunale risulta caratterizzato da frequenze naturali dei terreni normalmente comprese tra 0.7 e 1.1 Hz, indicanti riflettori a profondità comprese tra circa 100 e 2000 m. In alcuni casi sono stati identificati riflettori solo a frequenze superiori a 10 Hz indicanti profondità di riflettori inferiore a 5m.

## 8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresenta il documento fondamentale del primo livello di approfondimento.

Per la microzonazione sismica il territorio in esame viene distinto a seconda dell'appartenenza ad una delle seguenti tre categorie:

1. **zone stabili.** Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti. Questa categoria non è presente sul territorio del Comune di Villanova sull'Arda.
2. **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.** Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. All'interno di queste aree si è operata un'ulteriore distinzione sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, identificando profili stratigrafici tipo ai quali possono essere ricondotti gli areali esaminati. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello.
3. **zone di attenzione per instabilità.** Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali liquefazioni e densificazione. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

Le aree urbanizzate e urbanizzabili oggetto del presente studio risultano appartenenti in parte alla categoria 2 - zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e in parte alla categoria 3 - Zone di attenzione per instabilità per liquefazione.

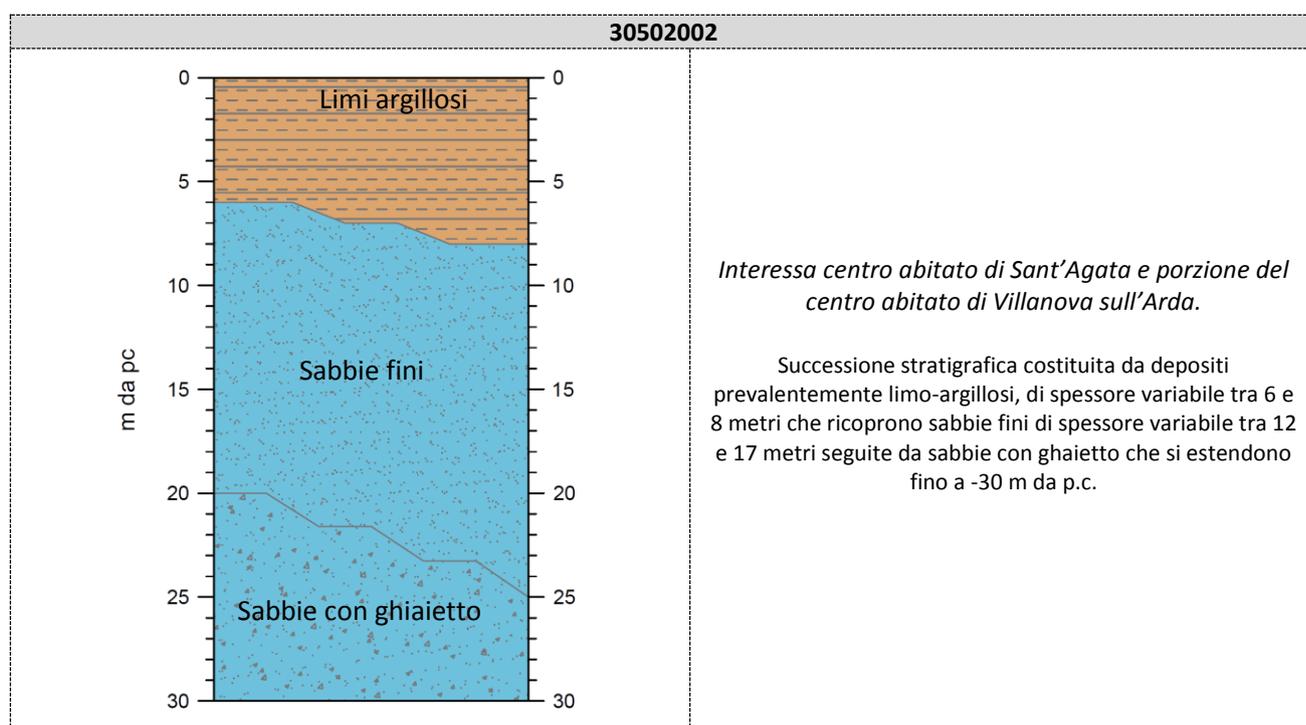
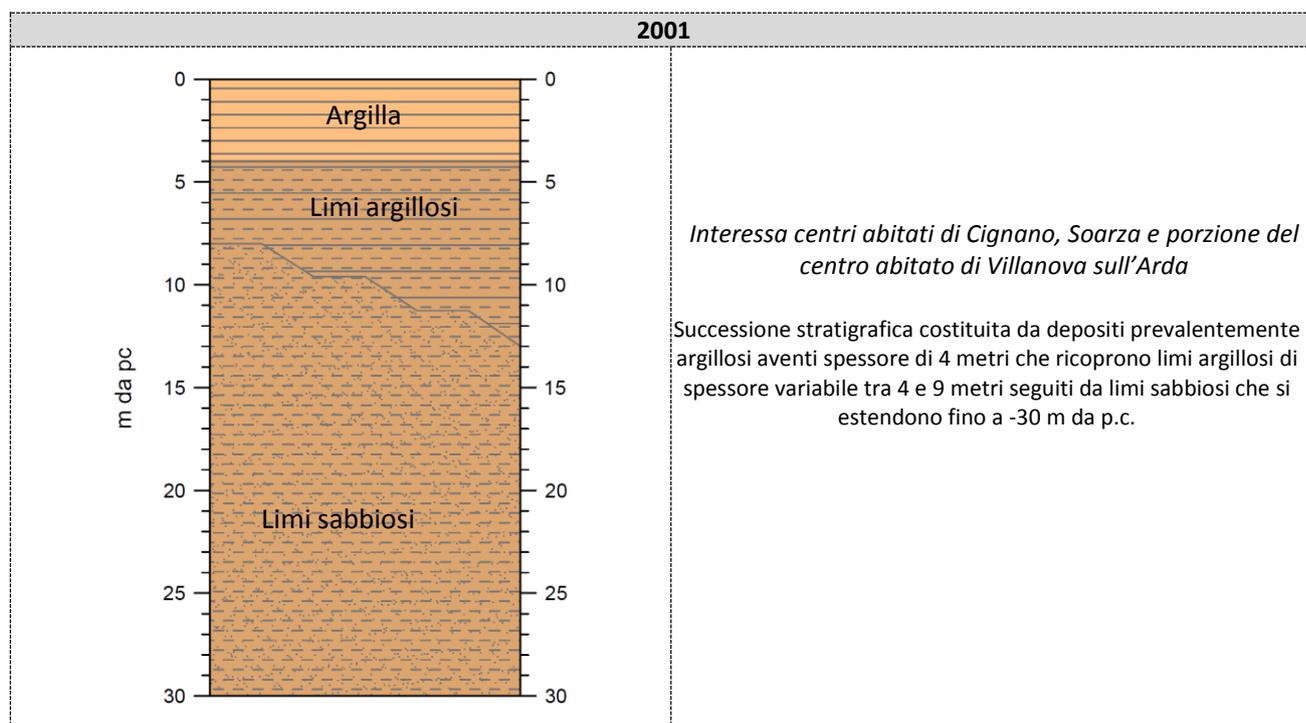
Infatti, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, sono state identificate 2 microzone omogenee, ciascuna con un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 30 m di sottosuolo. All'interno dei perimetri degli areali di microzonazione sono presenti zone di attenzione per instabilità, indotte dalla presenza di aree interessate da possibili fenomeni quali liquefazione.

| <b>Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali</b> |                                      |                                  |   |
|---|--------------------------------------|----------------------------------|---|
| <b>Zona n°</b>  | <b>Località</b>                      | <b>Successione stratigrafica</b> | <b>Descrizione</b>  |
| 1   | Cignano, Soarza, Villanova sull'Arda | 2001                             | Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente argillosi aventi spessore di 4 metri che ricoprono limi argillosi di spessore variabile tra 4 e 9 metri seguiti da limi sabbiosi che si estendono fino a -30 m da p.c. |

| <b>Zone di attenzione per liquefazione (ZALQ)</b> |                                 |                                  |   |
|---|---------------------------------|----------------------------------|---|
| <b>Zona n°</b>                                    | <b>Località</b>                 | <b>Successione stratigrafica</b> | <b>Descrizione</b>  |
| 2   | Villanova sull'Arda, Sant'Agata | 30502002                         | Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente limo-argillosi, di spessore variabile tra 6 e 8 metri, che ricoprono sabbie fini di spessore variabile tra 12 e 17 metri seguite da sabbie con ghiaietto che si estendono fino a -30 m da p.c. |

### 8.4.1 Schemi dei rapporti stratigrafici

Nelle tabelle seguenti sono riportate le colonnine rappresentative delle successioni litostratigrafiche individuate ed una loro breve descrizione.



#### 8.4.2 Sezione geologica

La sezione geologica è stata realizzata correlando i dati geognostici reperiti nella banca dati del Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna (pozzi e sezioni ENI-AGIP).

E' stata creata una sezione nord-ovest sud-est all'interno del territorio comunale passante per il capoluogo (Villanova sull'Arda) schematizzando le principali unità geologiche rinvenute.

Il substrato marino è ricoperto dalle unità del Sintema Emiliano-Romagnolo (superiore o inferiore). Nella "Sezione Geologica" sono schematizzate le principali unità geologiche e si evidenzia come il substrato marino sia presente nel territorio analizzato a quote maggiori di 300 metri slm. Il passaggio tra Subsintema Emiliano Superiore (AES) e quello inferiore (AEI) è indicato invece a profondità di circa 150 metri slm, in accordo con la nuova "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e aree limitrofe" (Regione Emilia Romagna, 2017).

## 8.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

Nella Carta delle velocità delle onde di taglio sono riportate tutte le misure utilizzate per la definizione della velocità delle onde di taglio nel territorio comunale (13 misurazioni Masw unite in 7 casi all'analisi HVSR). In particolare sono stati riportati per ogni punto il tipo di misura (MASW, SAWS, HVSR, etc), il valore di  $V_{s30}$  (calcolato come riportato in § 8.6).

L'analisi complessiva dei dati rilevati a livello comunale mette in luce valori di  $V_{s30}$  variabili e compresi tra 194 e 303 m/s. Analizzando più in dettaglio occorre fare una distinzione sulle 13 prove prese in considerazione:

- 6 sono pregresse (in nero nella tabella sotto riportata),
- 7 sono state effettuate (in rosso nella tabella sotto riportata) per il presente lavoro.

Di seguito la tabella esemplificativa al riguardo.

| <b>ID_INDP</b> | <b>Vs30</b> | <b>Tipo di deposito interessato</b>         | <b>Località</b>                      |
|----------------|-------------|---|--------------------------------------|
| 033046L1       | 303         | AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena | Villanova sull'Arda_capoluogo ovest  |
| 033046L2       | 194         | AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena | Loc. Stallone                        |
| 033046L3       | 243         | AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena | Loc. Pezzino                         |
| 033046L4       | 262         | AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena | Villanova sull'Arda_Zona artigianale |
| 033046L5       | 218         | AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena | Villanova sull'Arda_Zona artigianale |
| 033046L6       | 275         | AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena | Villanova sull'Arda_Zona artigianale |
| 033046L7       | 207         | AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena | Loc. Cignano                         |
| 033046L8       | 242         | AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena | Loc. Sant'Agata Nord_Pontenuovo      |
| 033046L9       | 240         | AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena | Loc. Sant'Agata                      |
| 033046L10      | 220         | AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena | Loc. Soarza est                      |
| 033046L11      | 219         | AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena | Loc. Soarza nord                     |
| 033046L12      | 205         | AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena | Villanova sull'Arda_capoluogo est    |
| 033046L13      | 220         | AES8a_Subsintema di Ravenna_Unità di Modena | Villanova sull'Arda_Ospedale         |

L'elemento che si preme sottolineare è comunque una variabilità poco accentuata dei valori  $V_{s30}$  come conseguenza delle caratteristiche dei depositi interessati, con una netta prevalenza di materiali fini fino a grandi profondità.

## 8.6 Carta di microzonazione sismica (livello 2)

Gli ultimi elaborati in cui sono riportati i risultati del presente studio sono le Carte dei fattori di amplificazione, anch'esse redatte alla scala 1:10.000, in cui sono raffigurate le amplificazioni stimate per i vari settori di territorio in esame. La stima dell'amplificazione stratigrafica è stata effettuata tramite procedure semplificate (utilizzo di abachi e formule), possibile laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale.

Essa è stata quantificata in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA0) sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI0) per prefissati intervalli di periodo. PGA0 e SI0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento, e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Per calcolare i Fattori di Amplificazione (FA) richiesti nell'analisi semplificata si sono realizzate specifiche indagini che hanno permesso la definizione della velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato ( $V_{s30}$ ) del deposito di copertura secondo le formule di seguito riportate:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^M h_i / V_{s_i}}$$

dove  $M$  è il numero di strati del profilo sismico fino alla profondità di 30 m,

$h_i$  = spessore (in m) dello strato  $i$ -esimo (fino alla profondità di 30 m),

$V_{s_i}$  = velocità (in m/s) dello strato  $i$ -esimo (fino alla profondità di 30 m).

La scelta dell'abaco per la stima dei fattori di amplificazione è stata valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo. Nello specifico, sulla base delle caratteristiche descritte nei capitoli precedenti si è scelto di utilizzare esclusivamente la Tabella PIANURA 2, proposta dagli indirizzi regionali (cfr. DGR 2193/2015):

| $V_{s30}(m/s) \rightarrow$ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| F.A. PGA                   | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.5 |
| F.A. SI1                   | 2.0 | 2.0 | 1.9 | 1.8 | 1.7 | 1.6 |
| F.A. SI2                   | 3.1 | 3.0 | 2.7 | 2.4 | 2.1 | 2.0 |
| F.A. SI3                   | 3.6 | 3.3 | 2.9 | 2.5 | 2.2 | 2.0 |

Figura 8.3. Abaco utilizzato per la stima dei F.A.

Conseguentemente, per gli areali oggetto di microzonazione sono stati attribuiti i valori riportati nella seguente tabella:

| Sito                                   | F.A. PGA | F.A. SI1(0.1s-0.5s) | F.A. SI2(0.5s-1.0s) | F.A. SI3(0.5s-1.5s) |
|--|----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Cignano                                | 1.7      | 2.0                 | 3.0                 | 3.3                 |
| Villanova sull'Arda Zona 2001          | 1.7      | 2.0                 | 3.0                 | 3.3                 |
| Villanova sull'Arda Zona 30502002_ZALQ | 1.7      | 1.95                | 2.85                | 3.1                 |
| Soarza                                 | 1.7      | 1.95                | 2.85                | 3.1                 |
| S.Agata                                | 1.7      | 1.9                 | 2.7                 | 2.9                 |

I fattori di amplificazione, calcolati come sopradescritto, sono stati rappresentati nelle relative carte, effettuando gli accorpamenti indicati dagli SRAI e riportati nella seguente figura.

|   |           |
|---|-----------|
|  | 1.7 - 1.8 |
|  | 1.9 - 2.0 |
|  | 2.1 - 2.2 |
|  | 2.3 - 2.4 |
|  | 2.5 - 3.0 |
|  | 3.1 - 3.5 |

Figura 8.4. Legenda adottata per la definizione dei F.A. nelle Carte di microzonazione sismica.

## 8.7 Commenti finali e criticità

Innanzitutto, va precisato che il presente studio ha un carattere sperimentale, trattandosi ancora di una delle prime applicazioni, in un contesto territoriale quale quello indagato, di microzonazione sismica mediante l'applicazione dei criteri contenuti negli ICMS e, soprattutto, negli indirizzi regionali.

Del resto, nei capitoli precedenti, è stato ampiamente evidenziato come l'assetto geologico delle aree indagate sia tale per cui la risposta sismica locale risulti condizionata da vari fattori, spesso di non facile definizione, con le informazioni litostratigrafiche e sismiche, sia già disponibili che reperibili a costi sostenibili, primo fra tutti la definizione della profondità del *bedrock sismico* (sequenza litostratigrafica caratterizzata da una velocità delle onde di taglio  $V_s$  maggiore o uguale a 800 m/s).

Ciononostante, per l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, è stato possibile effettuare, tramite procedure semplificate, una microzonazione del territorio con attribuzione di differenti fattori di amplificazione.

Si è così evidenziato, come aspetto più significativo, che tutte le zone indagate presentano valori dei fattori di amplificazione sia in termini di PGA che di Intensità di Housner ( $S_I/S_{I0}$ ) abbastanza costanti in relazione all'intervallo di frequenza considerato in tutto il territorio comunale.

Per quanto riguarda il PGA sono stati stimati valori di F.A. di P.G.A di 1.7 in tutti gli abitati studiati.

La carta di microzonazione relativa a  $S_{I1}$  (intervallo 0.1-0.5 s) presenta fattori di amplificazione compresi tra 1.9 e 2.0, la carta relativa a  $S_{I2}$  (intervallo 0.5-1.0 s) presenta F.A. compresi tra 2.7 e 3.0, mentre quella per l'intervallo  $S_{I3}$  (0.5-1.5 s) presenta F.A. compresi tra 2.9 e 3.3.

Lo studio eseguito ha consentito di individuare alcune zone di attenzione per instabilità per liquefazione. Le aree potenzialmente instabili localizzate nei vari ambiti necessitano di una analisi di terzo livello.

## 9 CONFRONTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

La ricerca eseguita sui principali cataloghi relativi alla sismicità storica tra cui **CFTI** – catalogo dei forti terremoti (461 a.c. – 1997), **NT4.1** – catalogo parametrico dei terremoti italiani al di sopra della soglia del danno, **CPTI 04** – catalogo parametrico dei terremoti italiani (217a.c. – 2002), **DBMI11** – database macrosismico italiano, **ISIDE** - Database parametrico e strumentale della sismicità italiana e negli archivi comunali non ha evidenziato la registrazione di danni significativi o sensibili alle strutture ed alle infrastrutture.

Villanova sull'Arda, luglio 2018

Dott.Geol.Paolo Mancioppi



## 10 BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (2011): "Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", Ingegneria sismica Anno XXVII, n°2. Patron editore.

Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics

Boccaletti M, Martelli L. a cura di (2004) "Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna" Selca Firenze

Martini A. Zanzucchi G. (2000): "Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 198 "Bardi" ISPRA / Regione Emilia-Romagna /Serv. Geol. Naz.

Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) – Foglio 198 "Bardi". Regione Emilia Romagna/Serv. Geol. Naz.

Camassi R. Stucchi M. (1998) "NT4.1, un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno" <http://emidius.mi.ingv.it/NT/CONSNT.html>

Cerrina Ferroni A., Martelli L., Martinelli P., Ottria P.(2002): "Carta geologico strutturale dell'Appennino Emiliano Romagnolo alla scala 1:250000" Regione Emilia-Romagna - CNR

Delibera dell'Assemblea legislativa della Regione Emilia Romagna progr. n°112 - oggetto n°3121 del 2 maggio 2007, "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica.

Facciorusso J. (a cura di) (2012): "Microzonazione sismica, uno strumento consolidato per la riduzione del rischio. L'esperienza della Regione Emilia-Romagna". Ed Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

ISIDE Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological Instrumental and parametric database: <http://iside.rm.ingv.it>

Iwasaki T., Tokida K., Tatsuoka F., Watanabe S. Yasuda S., Sato H. (1983) "Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods", III Int. Conf. In Microzon., San Francisco

Gruppo di lavoro CPTI (2004). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), INGV, Bologna.

Gruppo di Lavoro (2004): Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma

Gruppo di Lavoro MS (2008): "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome – Dipartimento della protezione Civile, Roma.

Locati M., Camassi R., Stucchi M. (a cura di), (2011). "DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano". Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.

Serva L. (1990): "Il ruolo delle Scienze della Terra nelle analisi di sicurezza di un sito per alcune tipologie di impianti industriali: il terremoto di riferimento per il sito di Viadana (MN)." Boll. Soc. Geol. It., 109, 375-411.

RER – ENI, Agip "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna" (1998) a cura di G. Di Dio

CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA ED AREE LIMITROFE – Scala 1:250.000 (2017) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – CNR, Istituto di Geoscienze e Georisorse – Università degli Studi di Firenze – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Martelli L., Ercolessi G., Sani F., Bonini M., Corti G., Santulin M., Tamaro A., Rebez A., Slejko D. (2017): "Analisi 3D della pericolosità sismica dell'Appennino Settentrionale – Proposta di nuova zonazione sismogenica e analisi della pericolosità sulla base di un modello 3D delle sorgenti sismiche" – Rapporto conclusivo.

## 11 ALLEGATI

### 11.1 Prove sismiche tipo Masw+HVSr

*033046L12\_ loc. Villanova sull'Arda capoluogo est*

#### **ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI**

##### **STRUMENTAZIONE**

L'acquisizione dei dati è stata eseguita tramite l'utilizzo di un sismografo 12 canali (modello Echo 2002) collegato a geofoni orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz.

È stato realizzato uno stendimento sismico lineare di lunghezza pari a 55 metri con spaziatura di 5 metri tra i 12 geofoni e tempo di acquisizione pari a 1 secondo.



*Figura 11.1. Stendimento sismico (a sinistra) e acquisizione HVSr (a destra).*

L'acquisizione delle onde di Love è del tutto analoga a quelle di Rayleigh, cambia solo il tipo di sorgente e l'orientazione dei geofoni orizzontali (asse perpendicolare allo stendimento per le Love e asse parallelo per le Rayleigh).

L'energizzazione è stata effettuata in posizione esterna rispetto ai geofoni estremi con offsets pari a 5 m; per le onde di Rayleigh si è utilizzata una mazza battente di 8 kg ad impatto verticale su piastra metallica, per quelle di Love una mazza battente ad impatto di taglio su piastra in polipropilene.

Le acquisizioni utili ad analizzare il rapporto spettrale H/V (HVSr) sono state eseguite utilizzando lo strumento SR04-GEOBOX, dotato di sensore a 2.0 Hz (Sara electronic instruments). L'analisi dei dati acquisiti è stata eseguita utilizzando il software WINMASW 6.0 versione Professional.

#### **ANALISI RAYLEIGH**

Dai sismogrammi acquisiti (dominio spazio-tempo) si sono determinati mediante la trasformata di Fourier gli spettri di ampiezza (dominio frequenza-ampiezza), dai quali attraverso il metodo denominato *phase shift* si ricavano gli spettri di velocità nel dominio frequenza-velocità.

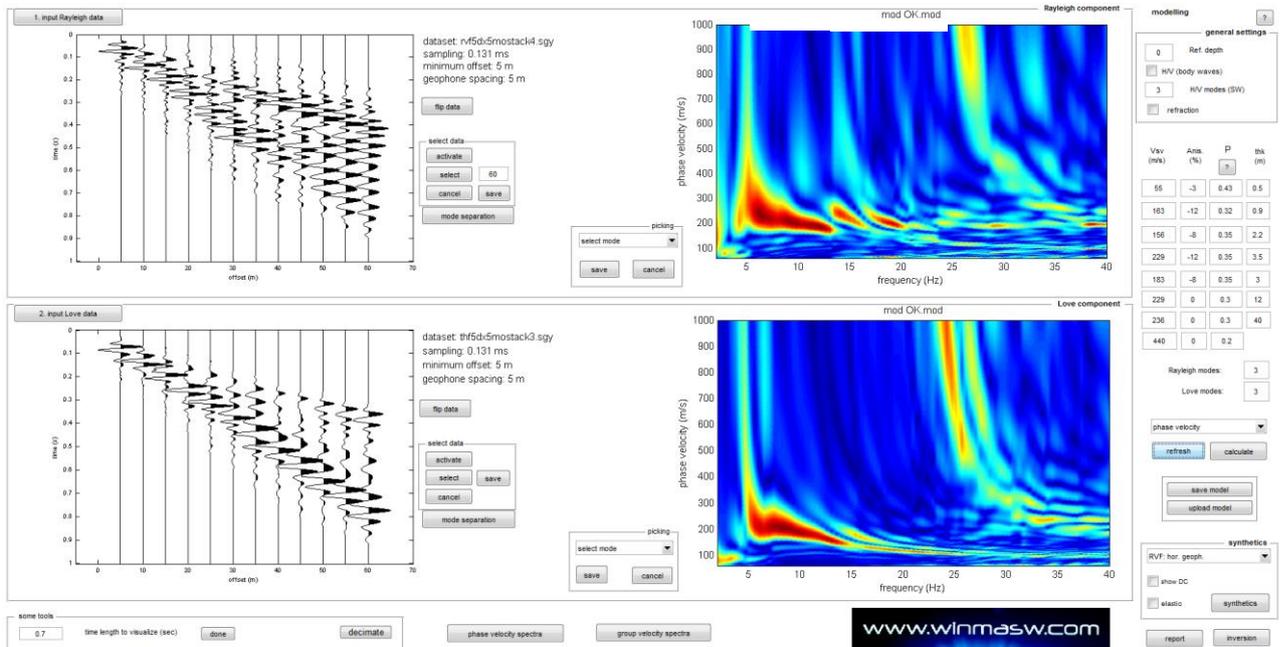


Figura 11.2. A Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

Successivamente alla pulizia del dato si è proceduto alla modellazione diretta delle curve di dispersione ottenendo le curve riportate di seguito. Da notare come allo spettro di velocità osservato siano state sovrapposte tramite la tecnica della modellazione diretta le curve di dispersione, dei primi 3 modi sia per le onde di Rayleigh che per quelle di Love. Gli spettri sono stati modellati come somme di più modi.

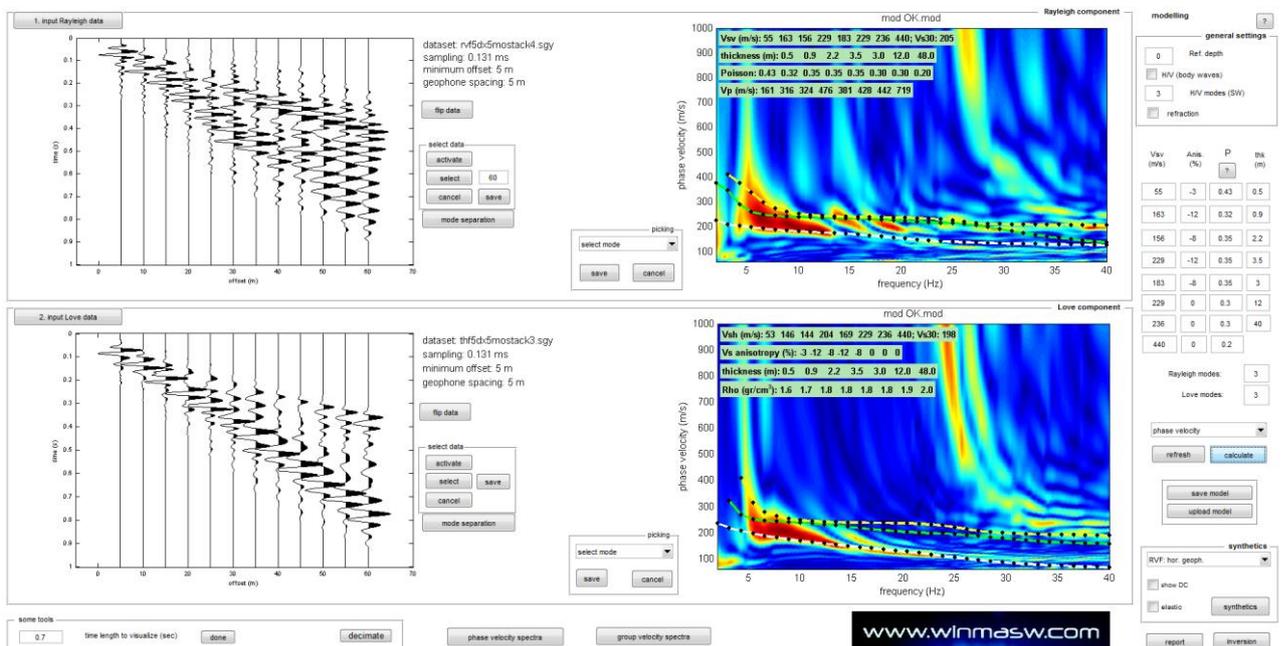


Figura 11.3. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

**RAPPORTI SPETTRALI H/V**

Nella figura successive si riporta lo spettro d'ampiezza medio delle 3 componenti (NS, EW e verticale) ed i valori HVSR per l'acquisizione eseguita.

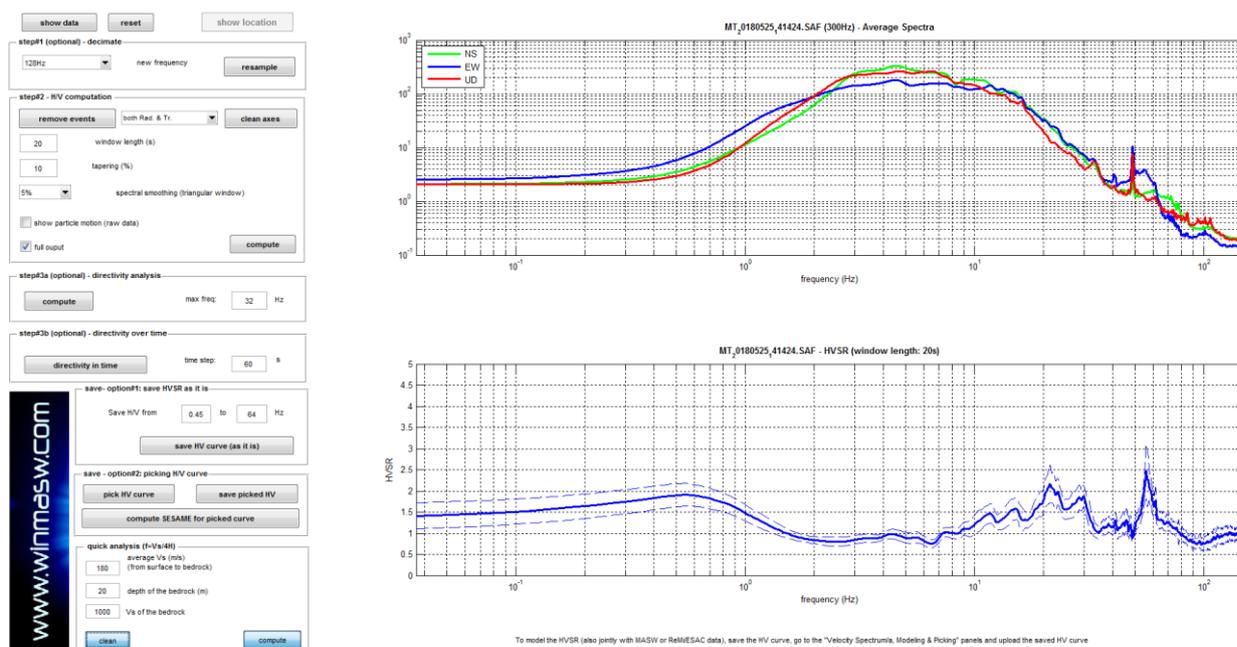


Figura 11.4. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

La modellazione dell'HV realizzato a metà stendimento è stata eseguita applicando lo schema geologico dato dall'analisi delle onde di superficie (figura successiva).

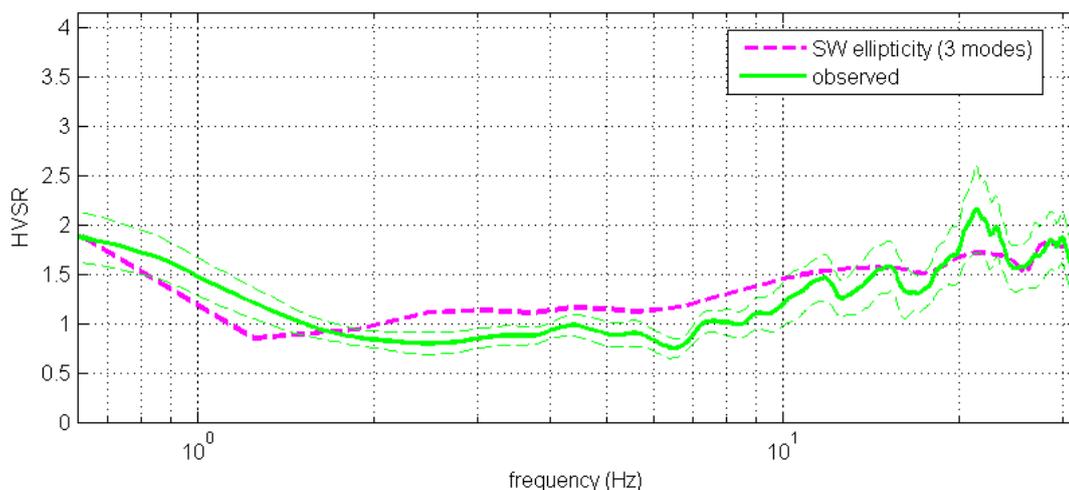


Figura 11.5. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

033046L13\_loc. Villanova Ospedale

**ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI**

**STRUMENTAZIONE**

L'acquisizione dei dati è stata eseguita tramite l'utilizzo di un sismografo 12 canali (modello Echo 2002) collegato a geofoni orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz.

È stato realizzato uno stendimento sismico lineare di lunghezza pari a 55 metri con spaziatura di 5 metri tra i 12 geofoni e tempo di acquisizione pari a 1 secondo.

L'acquisizione delle onde di Love è del tutto analoga a quelle di Rayleigh, cambia solo il tipo di sorgente e l'orientazione dei geofoni orizzontali (asse perpendicolare allo stendimento per le Love e asse parallelo per le Rayleigh).



Figura 11.6. Stendimento sismico (a sinistra) e acquisizione HVSR (a destra).

L'energizzazione è stata effettuata in posizione esterna rispetto ai geofoni estremi con offsets pari a 5 m; per le onde di Rayleigh si è utilizzata una mazza battente di 8 kg ad impatto verticale su piastra metallica, per quelle di Love una mazza battente ad impatto di taglio su piastra in polipropilene.

Le acquisizioni utili ad analizzare il rapporto spettrale H/V (HVSR) sono state eseguite utilizzando lo strumento SR04-GEOBOX, dotato di sensore a 2.0 Hz (Sara electronic instruments). L'analisi dei dati acquisiti è stata eseguita utilizzando il software WINMASW 6.0 versione Professional.

**ANALISI RAYLEIGH + LOVE**

Dai sismogrammi acquisiti (dominio spazio-tempo) si sono determinati mediante la trasformata di Fourier gli spettri di ampiezza (dominio frequenza-ampiezza), dai quali attraverso il metodo denominato *phase shift* si ricavano gli spettri di velocità nel dominio frequenza-velocità.

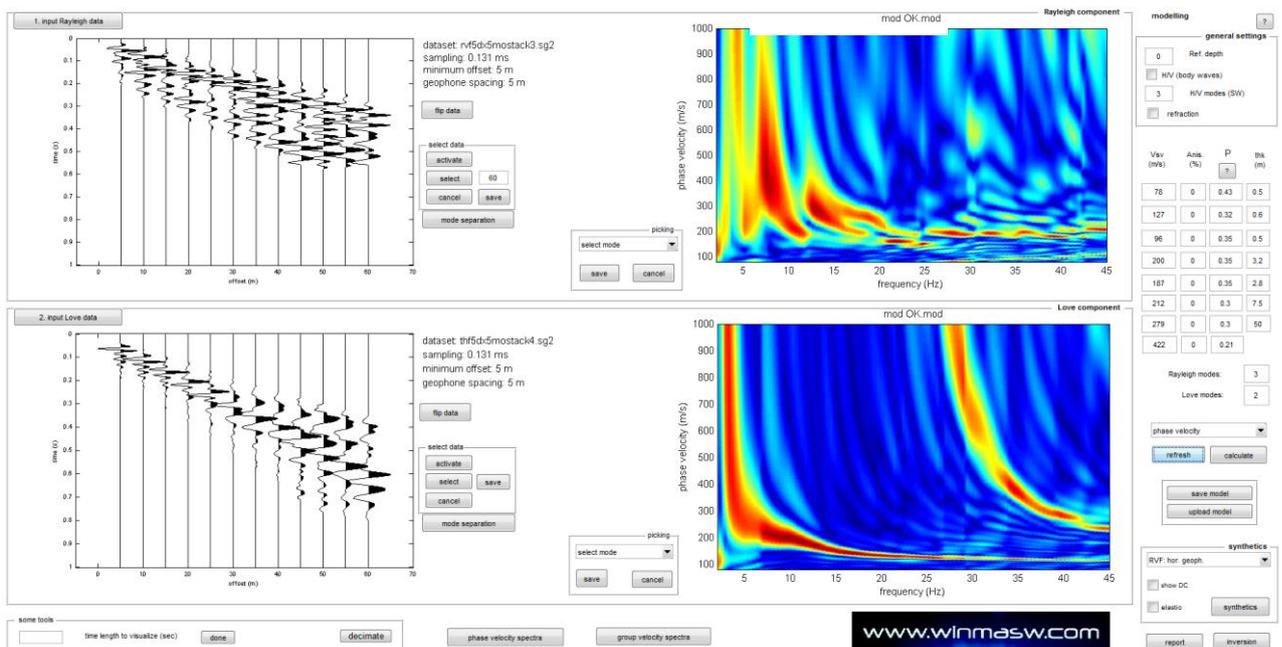


Figura 11.7. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

Successivamente alla pulizia del dato si è proceduto alla modellazione diretta delle curve di dispersione ottenendo le curve riportate di seguito. Da notare come allo spettro di velocità osservato siano state sovrapposte tramite la tecnica della modellazione diretta le curve di dispersione, dei primi 3 modi per le onde di Rayleigh e dei primi due per le onde di Love. Gli spettri sono stati modellati come somme di più modi.

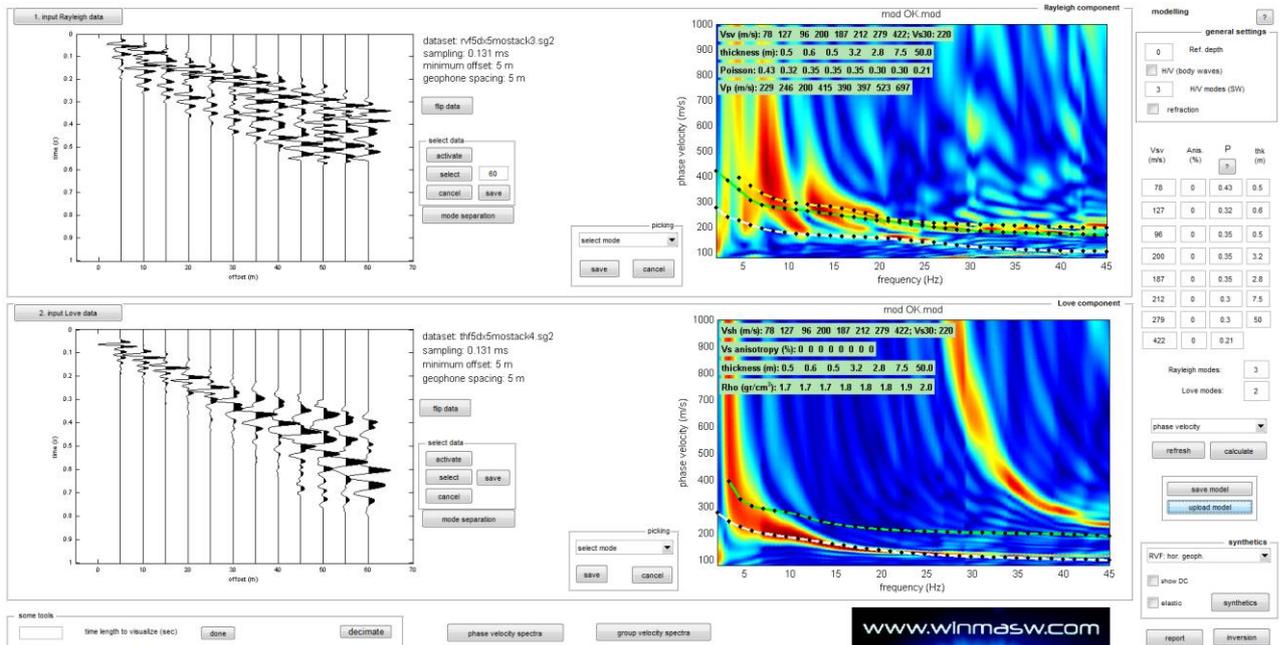


Figura 11.8. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

**RAPPORTI SPETTRALI H/V**

Nella figura successive si riporta lo spettro d'ampiezza medio delle 3 componenti (NS, EW e verticale) ed i valori HVSR per l'acquisizione eseguita.

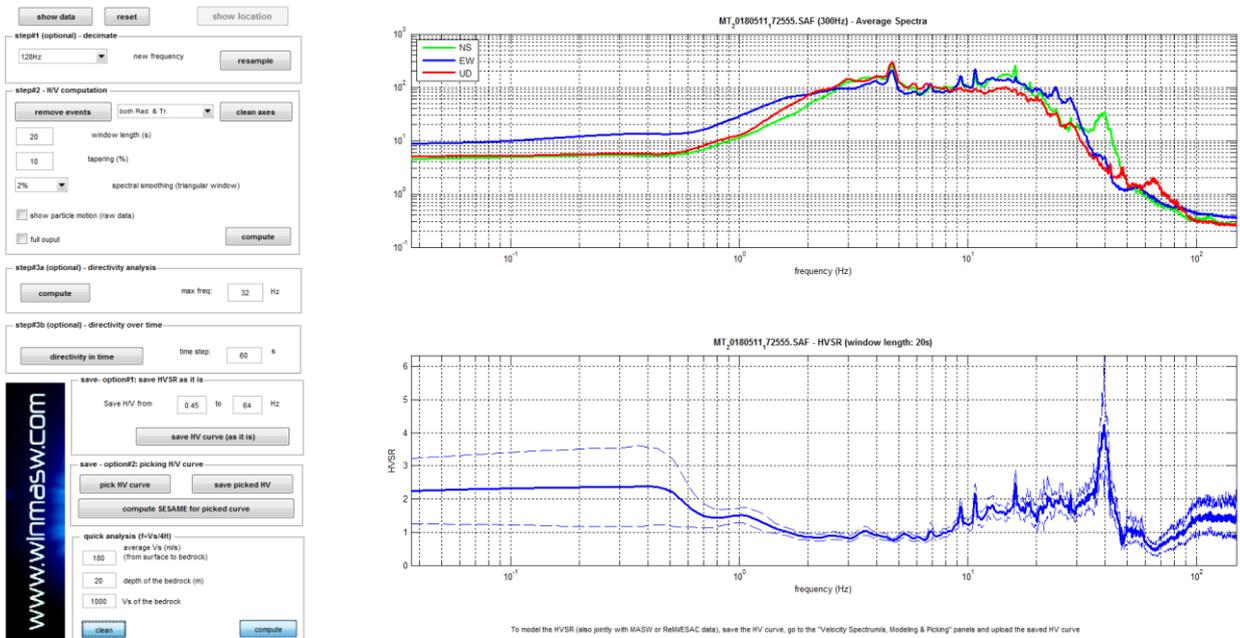


Figura 11.9. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

La modellazione dell’HV realizzato a metà stendimento è stata eseguita applicando lo schema geologico dato dall’analisi delle onde di superficie (figura successiva).

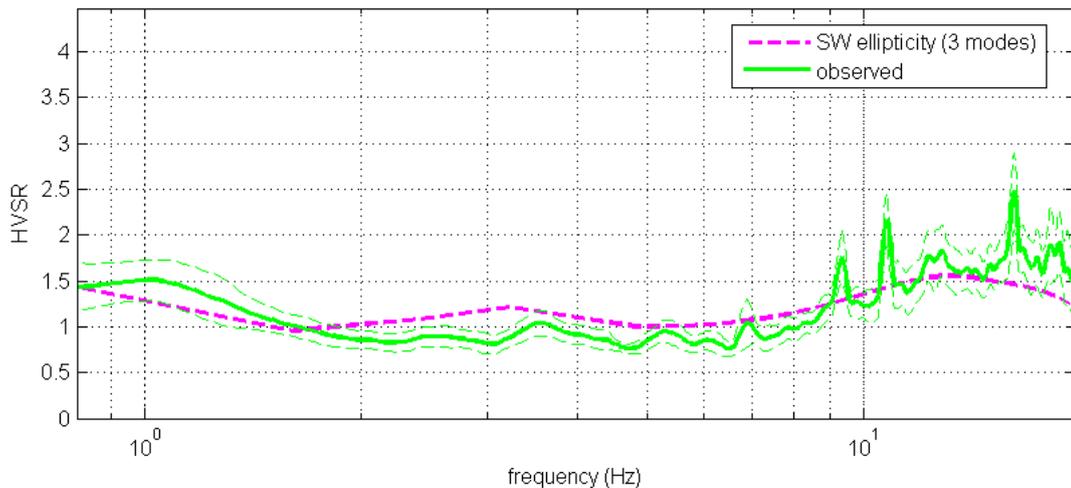


Figura 11.10.HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l’analisi delle onde di superficie.

033046L7\_loc. Cignano

**ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI**

**STRUMENTAZIONE**

L’acquisizione dei dati è stata eseguita tramite l’utilizzo di un sismografo 12 canali (modello Echo 2002) collegato a geofoni orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz.

È stato realizzato uno stendimento sismico lineare di lunghezza pari a 55 metri con spaziatura di 5 metri tra i 12 geofoni e tempo di acquisizione pari a 1 secondo.

L’acquisizione delle onde di Love è del tutto analoga a quelle di Rayleigh, cambia solo il tipo di sorgente e l’orientazione dei geofoni orizzontali (asse perpendicolare allo stendimento per le Love e asse parallelo per le Rayleigh).



Figura 11.11 Stendimento sismico (a sinistra) e acquisizione HVSR (a destra).

L'energizzazione è stata effettuata in posizione esterna rispetto ai geofoni estremi con offsets pari a 5 m; per le onde di Rayleigh si è utilizzata una mazza battente di 8 kg ad impatto verticale su piastra metallica, per quelle di Love una mazza battente ad impatto di taglio su piastra in polipropilene.

Le acquisizioni utili ad analizzare il rapporto spettrale H/V (HVSR) sono state eseguite utilizzando lo strumento SR04-GEOBOX, dotato di sensore a 2.0 Hz (Sara electronic instruments). L'analisi dei dati acquisiti è stata eseguita utilizzando il software WINMASW 6.0 versione Professional.

### **ANALISI RAYLEIGH + LOVE**

Dai sismogrammi acquisiti (dominio spazio-tempo) si sono determinati mediante la trasformata di Fourier gli spettri di ampiezza (dominio frequenza-ampiezza), dai quali attraverso il metodo denominato *phase shift* si ricavano gli spettri di velocità nel dominio frequenza-velocità.

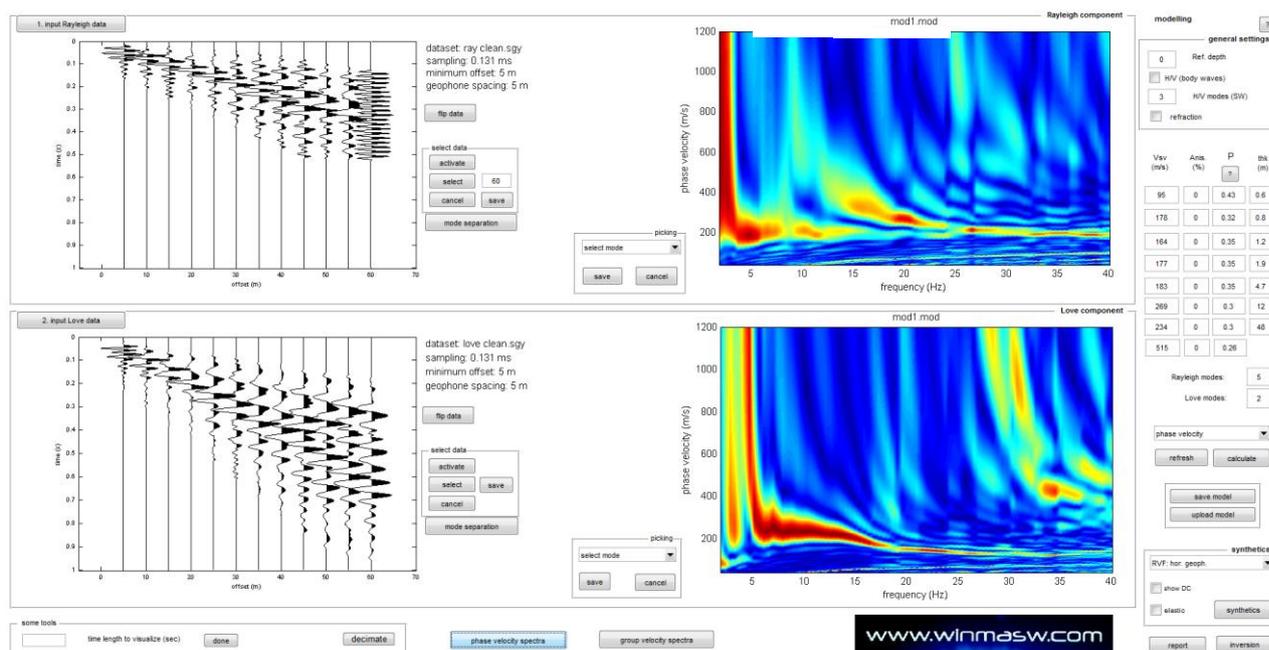


Figura 11.12. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

Successivamente alla pulizia del dato si è proceduto alla modellazione diretta delle curve di dispersione ottenendo le curve riportate di seguito. Da notare come allo spettro di velocità osservato siano state sovrapposte tramite la tecnica della modellazione diretta le curve di dispersione, dei primi 8 modi sia per le onde di Rayleigh e dei primi 3 per le onde di Love. Gli spettri sono stati modellati come somme di più modi.

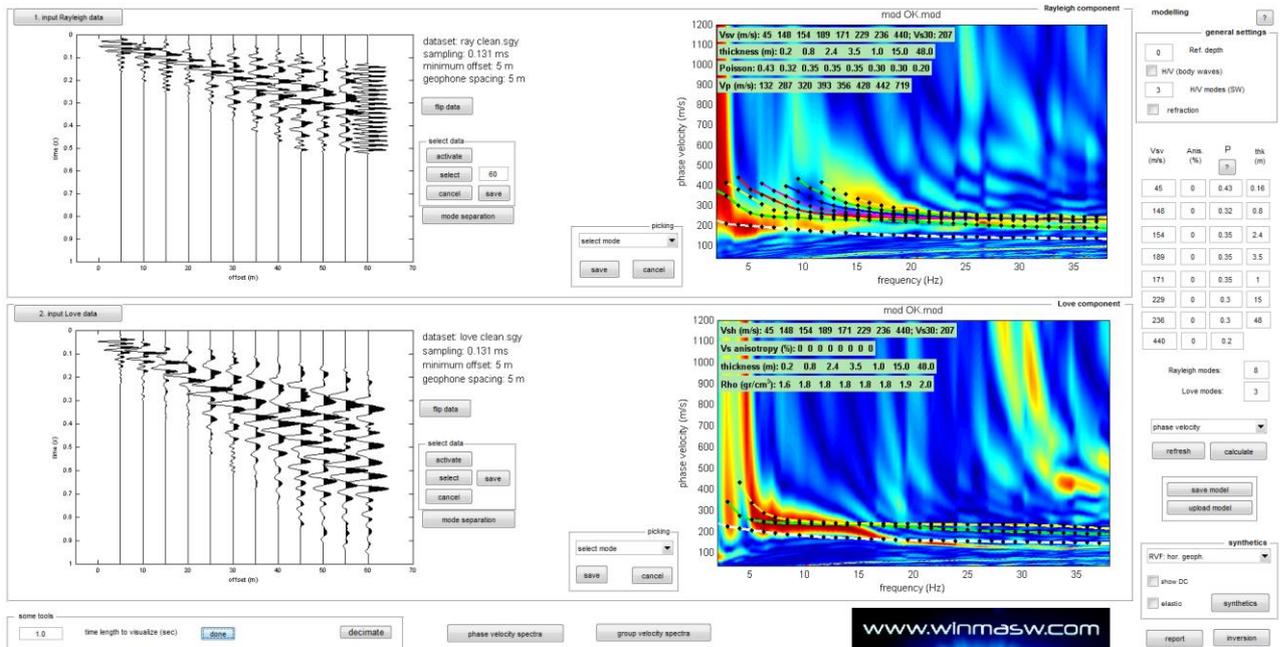


Figura 11.13. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

**RAPPORTI SPETTRALI H/V**

Nella figura successive si riporta lo spettro d'ampiezza medio delle 3 componenti (NS, EW e verticale) ed i valori HVSR per l'acquisizione eseguita.

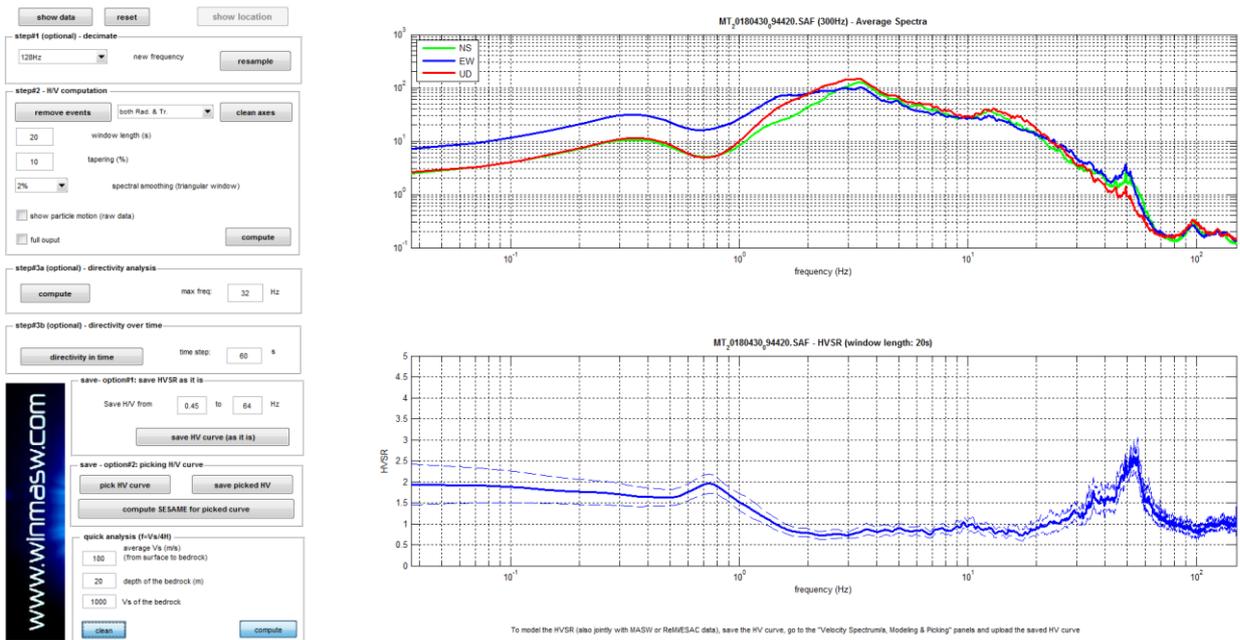


Figura 11.14. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

La modellazione dell'HV realizzato a metà stendimento è stata eseguita applicando lo schema geologico dato dall'analisi delle onde di superficie (figura successiva).

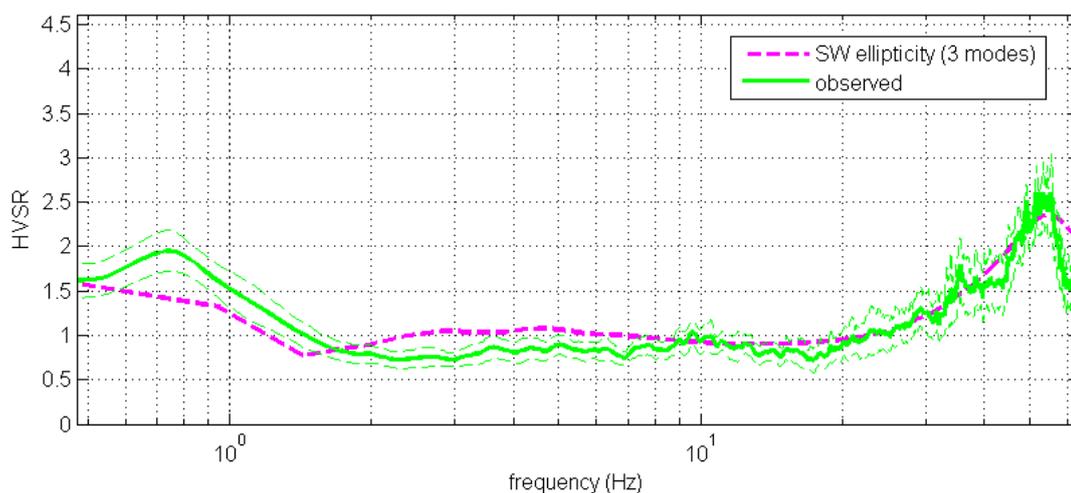


Figura 11.15. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

033046L11\_loc. Soarza Nord

**ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI**

**STRUMENTAZIONE**

L'acquisizione dei dati è stata eseguita tramite l'utilizzo di un sismografo 12 canali (modello Echo 2002) collegato a geofoni orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz.

È stato realizzato uno stendimento sismico lineare di lunghezza pari a 55 metri con spaziatura di 5 metri tra i 12 geofoni e tempo di acquisizione pari a 1 secondo.

L'acquisizione delle onde di Love è del tutto analoga a quelle di Rayleigh, cambia solo il tipo di sorgente e l'orientazione dei geofoni orizzontali (asse perpendicolare allo stendimento per le Love e asse parallelo per le Rayleigh).



Figura 11.16. Stendimento sismico (a sinistra) e acquisizione HVSR (a destra).

L'energizzazione è stata effettuata in posizione esterna rispetto ai geofoni estremi con offsets pari a 5 m; per le onde di Rayleigh si è utilizzata una mazza battente di 8 kg ad impatto verticale su piastra metallica, per quelle di Love una mazza battente ad impatto di taglio su piastra in polipropilene.

Le acquisizioni utili ad analizzare il rapporto spettrale H/V (HVSR) sono state eseguite utilizzando lo strumento SR04-GEOBOX, dotato di sensore a 2.0 Hz (Sara electronic instruments). L'analisi dei dati acquisiti è stata eseguita utilizzando il software WINMASW 6.0 versione Professional.

**ANALISI RAYLEIGH + LOVE**

Dai sismogrammi acquisiti (dominio spazio-tempo) si sono determinati mediante la trasformata di Fourier gli spettri di ampiezza (dominio frequenza-ampiezza), dai quali attraverso il metodo denominato *phase shift* si ricavano gli spettri di velocità nel dominio frequenza-velocità.

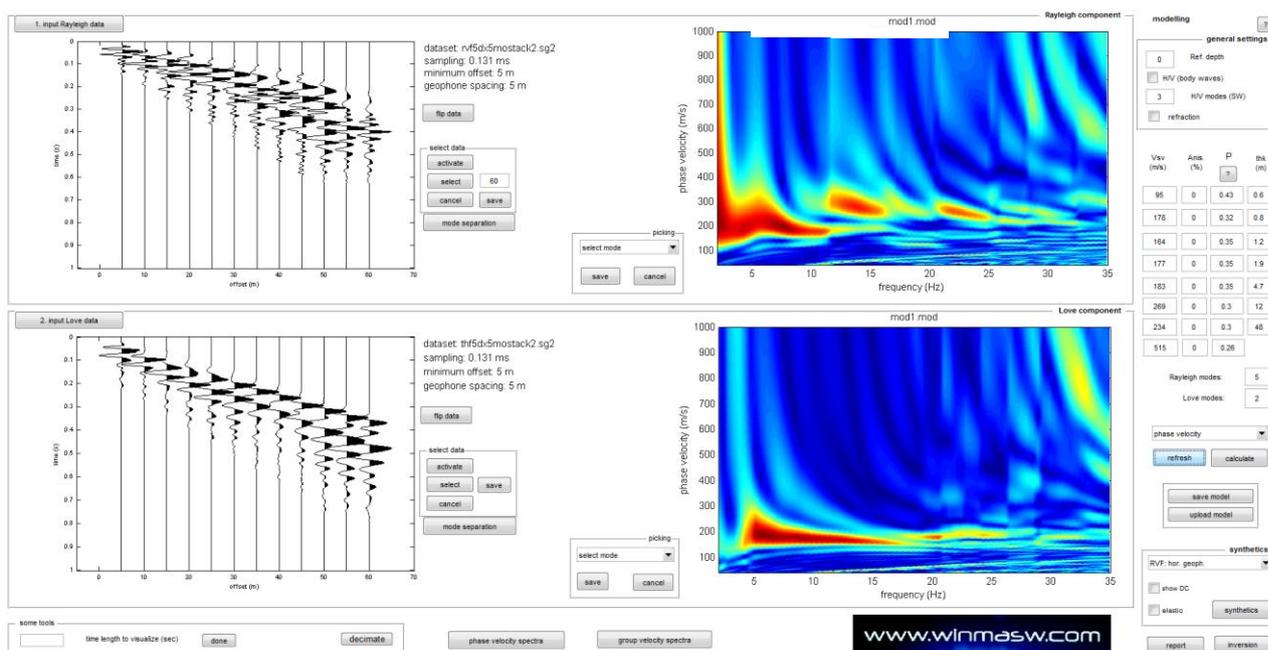


Figura 11.17. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

Successivamente alla pulizia del dato si è proceduto alla modellazione diretta delle curve di dispersione ottenendo le curve riportate di seguito. Da notare come allo spettro di velocità osservato siano state sovrapposte tramite la tecnica della modellazione diretta le curve di dispersione, dei primi 5 modi per le onde di Rayleigh e dei primi 2 modi per le onde di Love. Gli spettri sono stati modellati come somme di più modi.

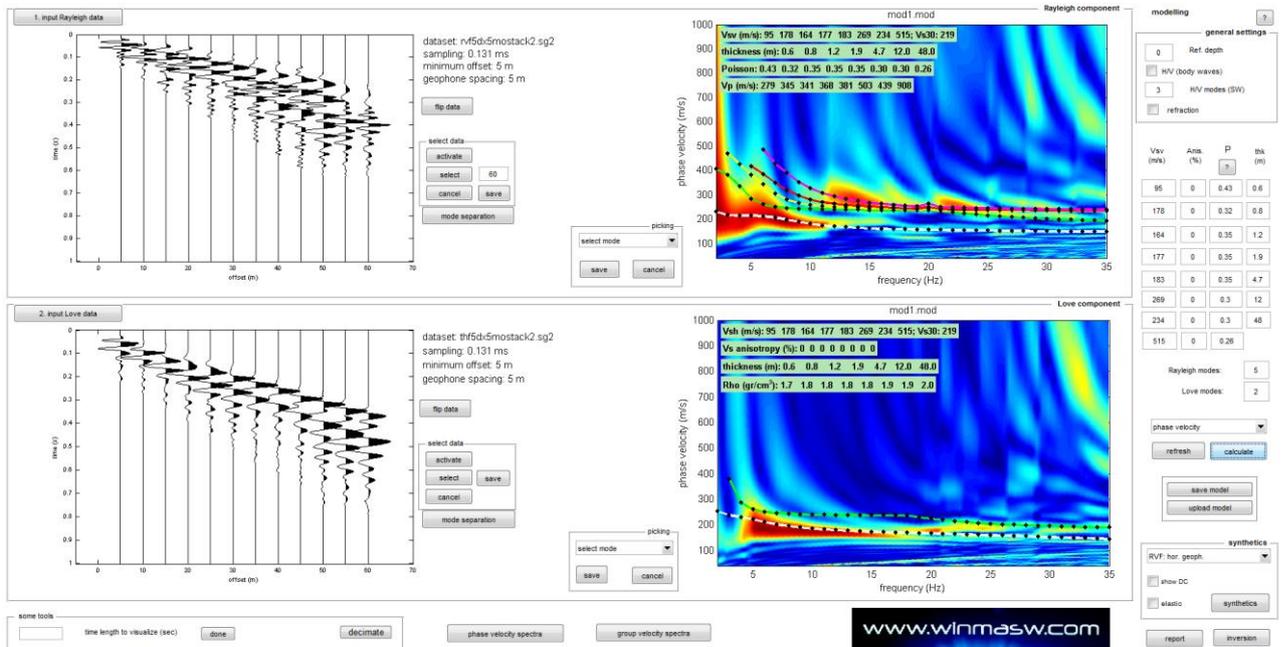


Figura 11.18. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

**RAPPORTI SPETTRALI H/V**

Nella figura successive si riporta lo spettro d'ampiezza medio delle 3 componenti (NS, EW e verticale) ed i valori HVSr per l'acquisizione eseguita.

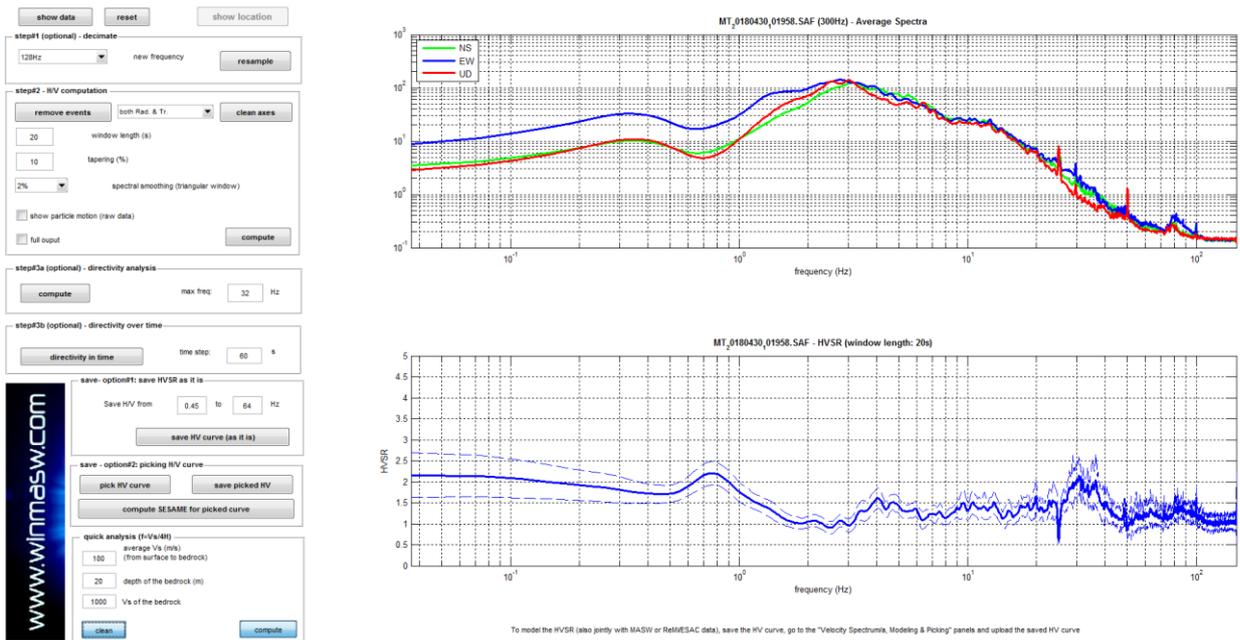


Figura 11.19. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSr.

La modellazione dell'HV realizzato a metà stendimento è stata eseguita applicando lo schema geologico dato dall'analisi delle onde di superficie (figura successiva).

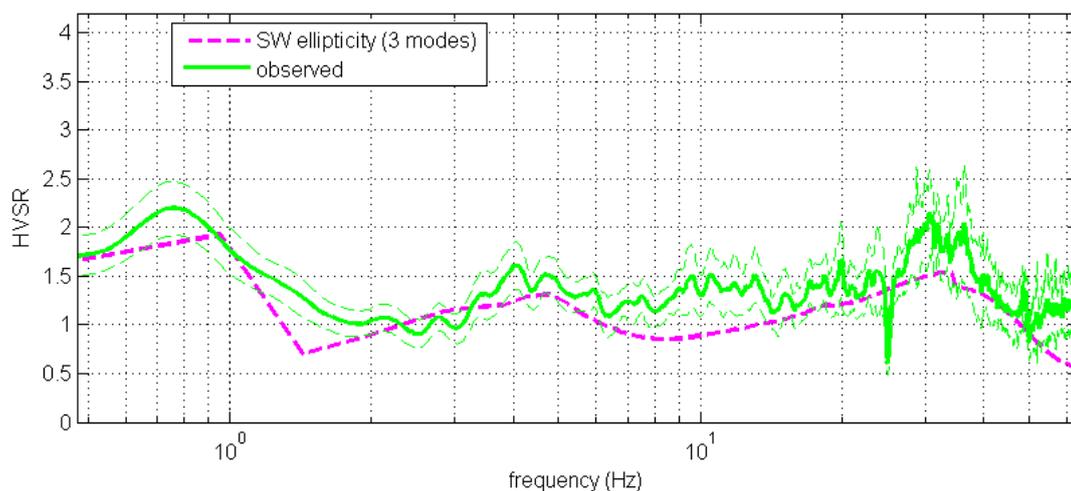


Figura 11.20. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

033046L10\_loc. Soarza est

### **ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI**

#### **STRUMENTAZIONE**

L'acquisizione dei dati è stata eseguita tramite l'utilizzo di un sismografo 12 canali (modello Echo 2002) collegato a geofoni orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz.

È stato realizzato uno stendimento sismico lineare di lunghezza pari a 55 metri con spaziatura di 5 metri tra i 12 geofoni e tempo di acquisizione pari a 1 secondo.

L'acquisizione delle onde di Love è del tutto analoga a quelle di Rayleigh, cambia solo il tipo di sorgente e l'orientazione dei geofoni orizzontali (asse perpendicolare allo stendimento per le Love e asse parallelo per le Rayleigh).



Figura 11.21. Stendimento sismico (a sinistra) e acquisizione HVSR (a destra).

L'energizzazione è stata effettuata in posizione esterna rispetto ai geofoni estremi con offsets pari a 5 m; per le onde di Rayleigh si è utilizzata una mazza battente di 8 kg ad impatto verticale su piastra metallica, per quelle di Love una mazza battente ad impatto di taglio su piastra in polipropilene.

Le acquisizioni utili ad analizzare il rapporto spettrale H/V (HVSR) sono state eseguite utilizzando lo strumento SR04-GEOBOX, dotato di sensore a 2.0 Hz (Sara electronic instruments). L'analisi dei dati acquisiti è stata eseguita utilizzando il software WINMASW 6.0 versione Professional.

### **ANALISI RAYLEIGH + LOVE**

Dai sismogrammi acquisiti (dominio spazio-tempo) si sono determinati mediante la trasformata di Fourier gli spettri di ampiezza (dominio frequenza-ampiezza), dai quali attraverso il metodo denominato *phase shift* si ricavano gli spettri di velocità nel dominio frequenza-velocità.

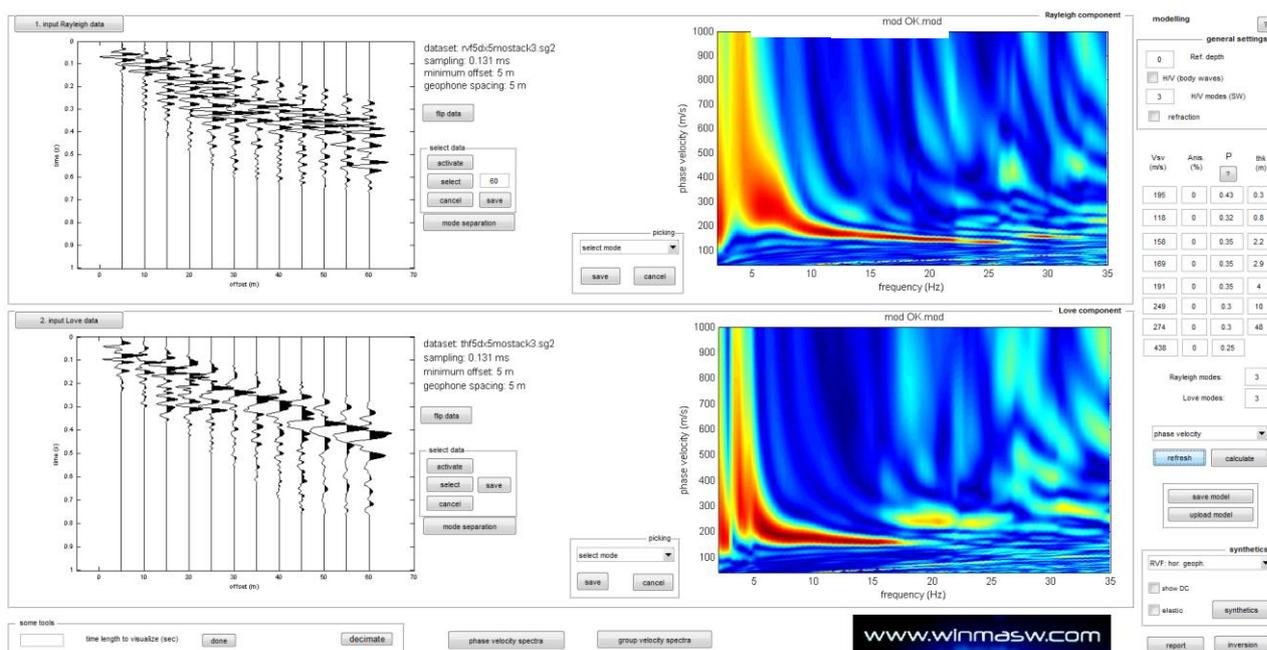


Figura 11.22. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

Successivamente alla pulizia del dato si è proceduto alla modellazione diretta delle curve di dispersione ottenendo le curve riportate di seguito. Da notare come allo spettro di velocità osservato siano state sovrapposte tramite la tecnica della modellazione diretta le curve di dispersione, dei primi 3 modi sia per le onde di Rayleigh che per le onde di Love. Gli spettri sono stati modellati come somme di più modi, principalmente alle basse frequenze.

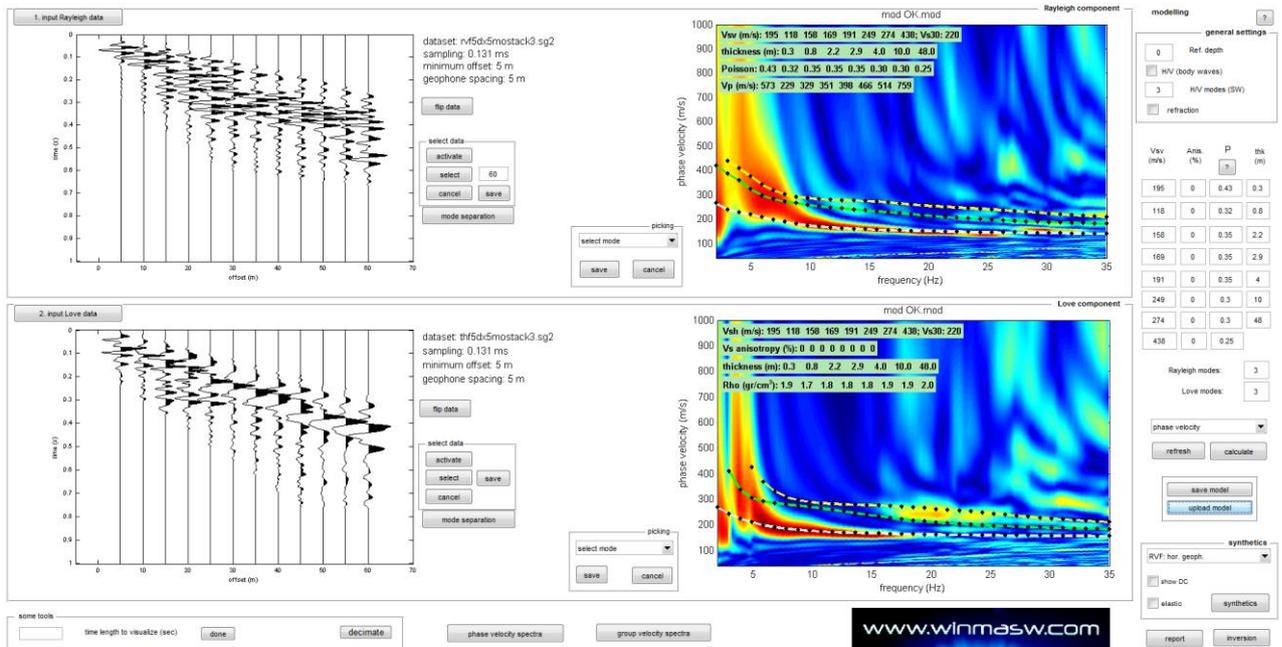


Figura 11.23. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

**RAPPORTI SPETTRALI H/V**

Nella figura successive si riporta lo spettro d'ampiezza medio delle 3 componenti (NS, EW e verticale) ed i valori HVSr per l'acquisizione eseguita.

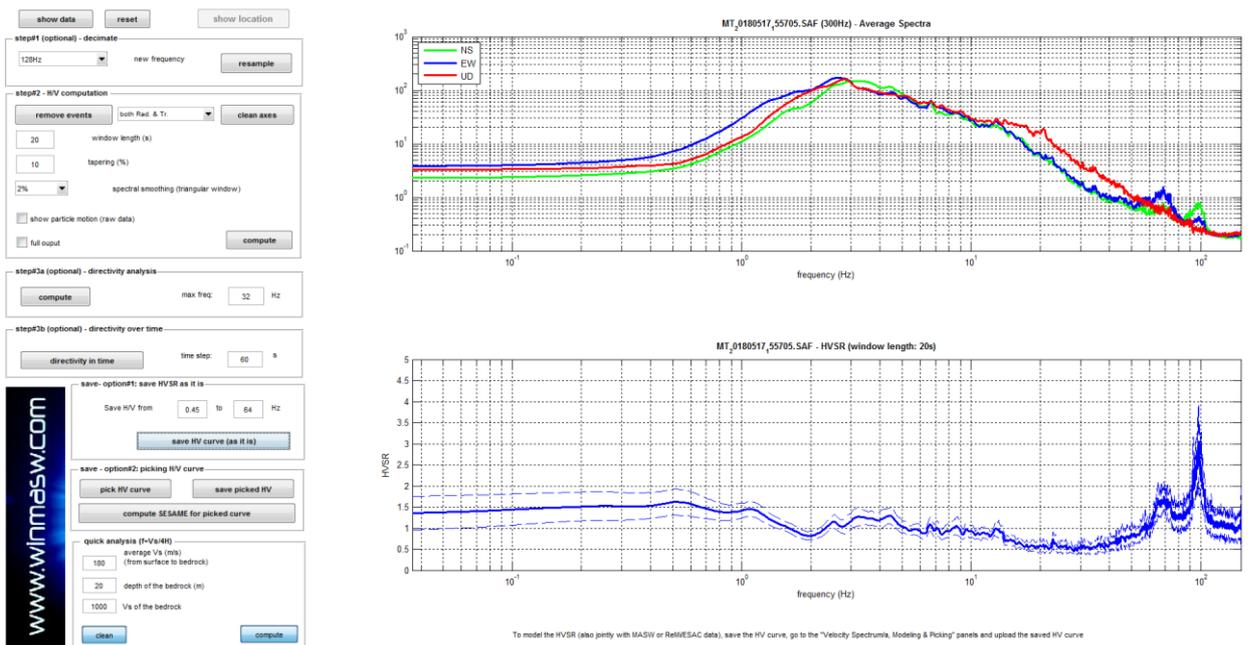


Figura 11.24. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSr.

La modellazione dell'HV realizzato a metà stendimento è stata eseguita applicando lo schema geologico dato dall'analisi delle onde di superficie (figura successiva).

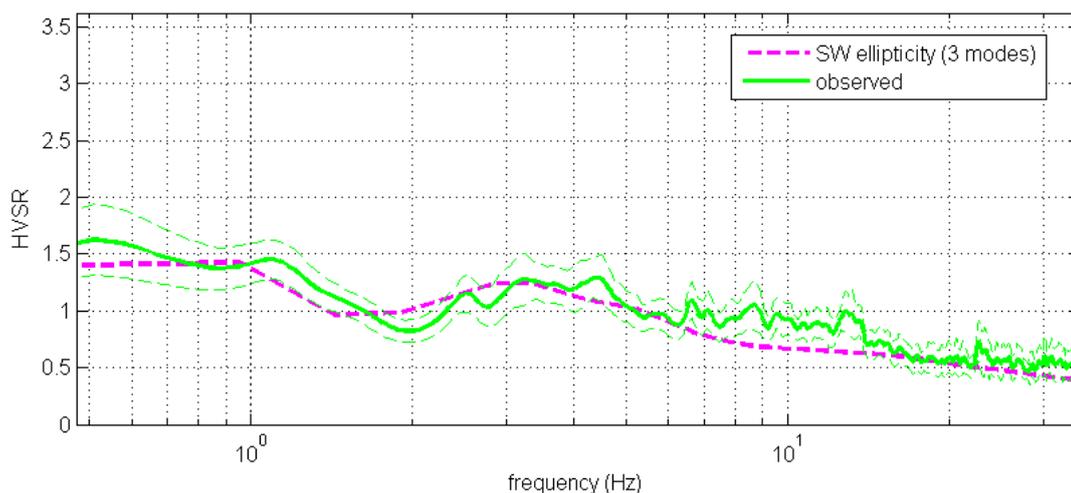


Figura 11.25. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

033046L9\_loc. S.Agata

#### **ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI**

##### **STRUMENTAZIONE**

L'acquisizione dei dati è stata eseguita tramite l'utilizzo di un sismografo 12 canali (modello Echo 2002) collegato a geofoni orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz.

È stato realizzato uno stendimento sismico lineare di lunghezza pari a 55 metri con spaziatura di 5 metri tra i 12 geofoni e tempo di acquisizione pari a 1 secondo.

L'acquisizione delle onde di Love è del tutto analoga a quelle di Rayleigh, cambia solo il tipo di sorgente e l'orientazione dei geofoni orizzontali (asse perpendicolare allo stendimento per le Love e asse parallelo per le Rayleigh).



Figura 11.26. Stendimento sismico (a sinistra) e acquisizione HVSR (a destra).

L'energizzazione è stata effettuata in posizione esterna rispetto ai geofoni estremi con offsets pari a 5 m; per le onde di Rayleigh si è utilizzata una mazza battente di 8 kg ad impatto verticale su piastra metallica, per quelle di Love una mazza battente ad impatto di taglio su piastra in polipropilene.

Le acquisizioni utili ad analizzare il rapporto spettrale H/V (HVSR) sono state eseguite utilizzando lo strumento SR04-GEOBOX, dotato di sensore a 2.0 Hz (Sara electronic instruments). L'analisi dei dati acquisiti è stata eseguita utilizzando il software WINMASW 6.0 versione Professional.

**ANALISI RAYLEIGH + LOVE**

Dai sismogrammi acquisiti (dominio spazio-tempo) si sono determinati mediante la trasformata di Fourier gli spettri di ampiezza (dominio frequenza-ampiezza), dai quali attraverso il metodo denominato *phase shift* si ricavano gli spettri di velocità nel dominio frequenza-velocità.

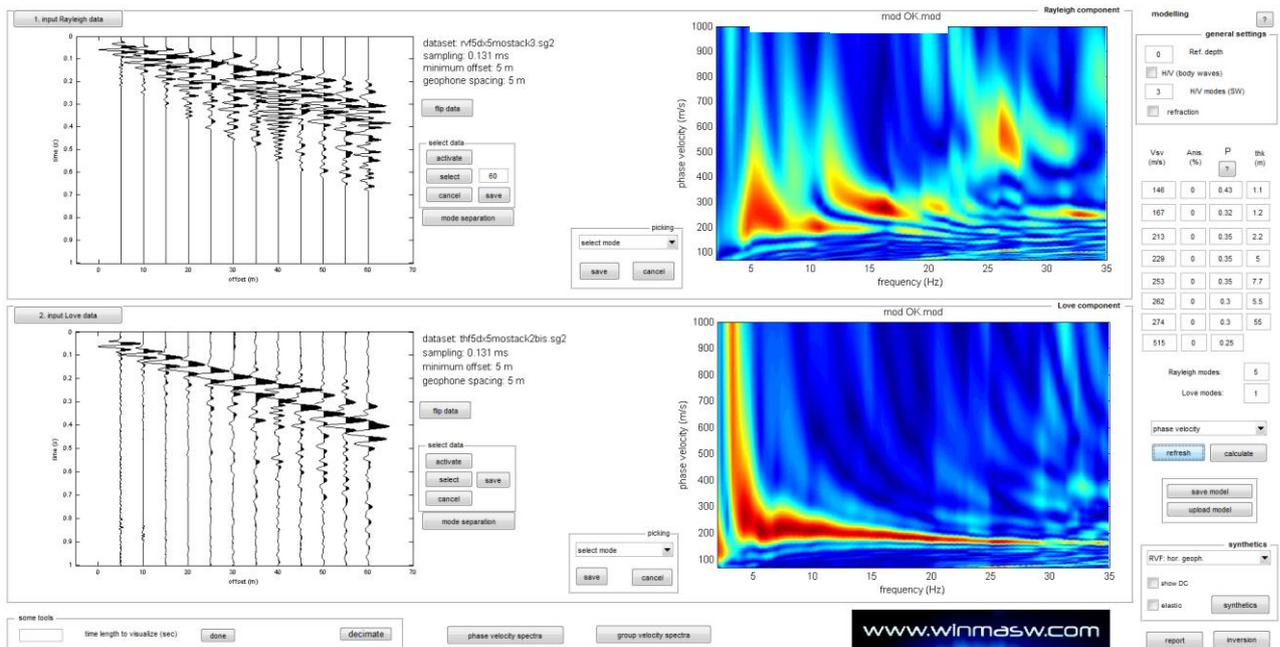


Figura 11.27. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

Successivamente alla pulizia del dato si è proceduto alla modellazione diretta delle curve di dispersione ottenendo le curve riportate di seguito. Da notare come allo spettro di velocità osservato siano state sovrapposte tramite la tecnica della modellazione diretta le curve di dispersione, dei primi 5 modi per le onde di Rayleigh e del solo modo fondamentale per le onde di Love.

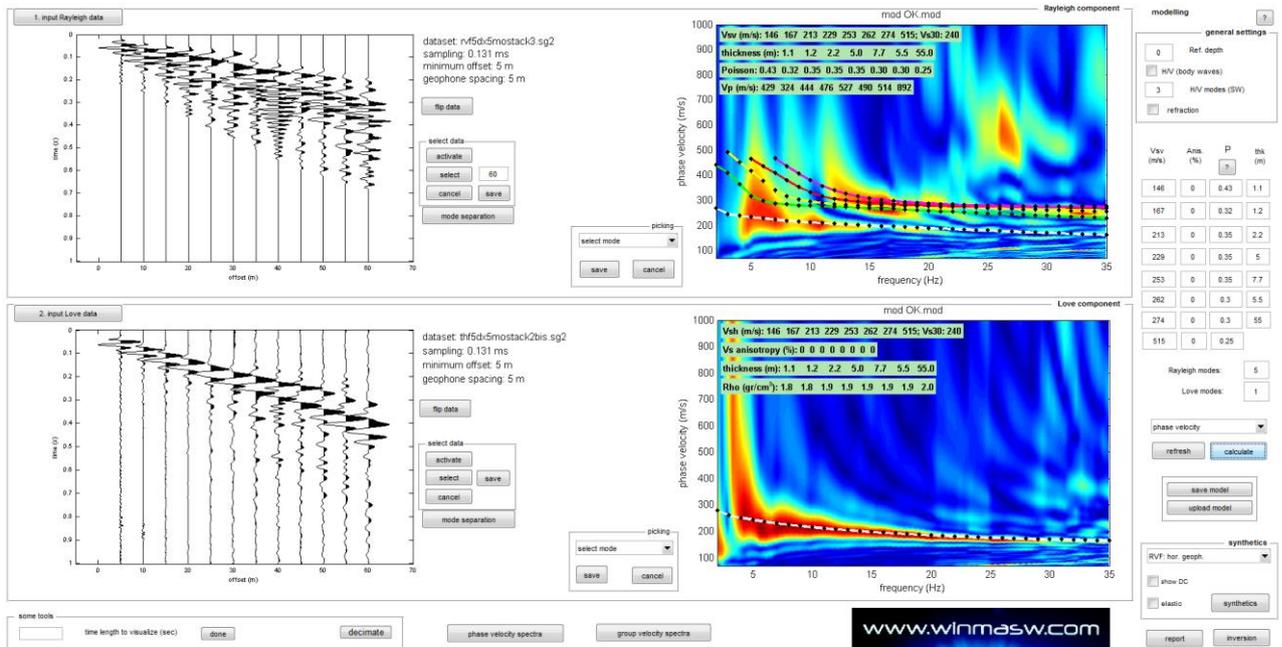


Figura 11.28. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

**RAPPORTI SPETTRALI H/V**

Nella figura successive si riporta lo spettro d'ampiezza medio delle 3 componenti (NS, EW e verticale) ed i valori HVSr per l'acquisizione eseguita.

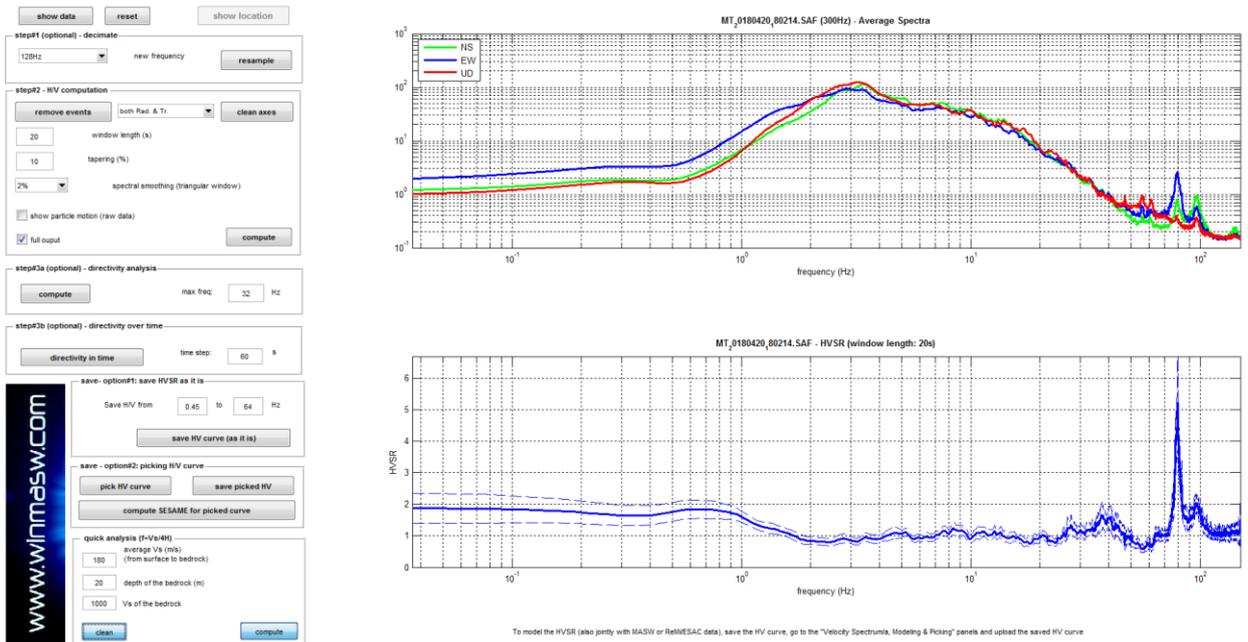


Figura 11.29. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSr.

La modellazione dell'HV realizzato a metà stendimento è stata eseguita applicando lo schema geologico dato dall'analisi delle onde di superficie (figura successiva).

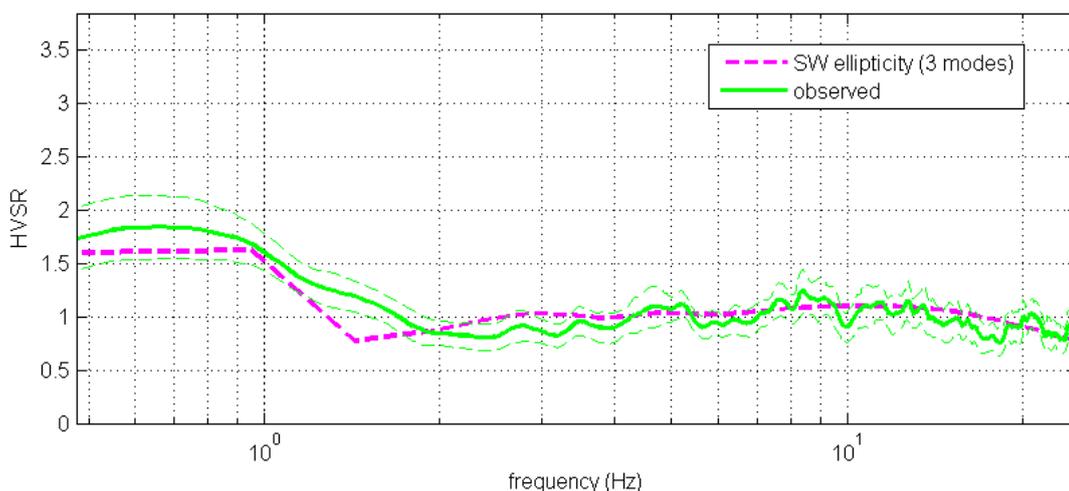


Figura 11.30. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

033046L8\_loc.Sant'Agata Nord\_Pontenuovo

**ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI**

**STRUMENTAZIONE**

L'acquisizione dei dati è stata eseguita tramite l'utilizzo di un sismografo 12 canali (modello Echo 2002) collegato a geofoni orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz.

È stato realizzato uno stendimento sismico lineare di lunghezza pari a 55 metri con spaziatura di 5 metri tra i 12 geofoni e tempo di acquisizione pari a 1 secondo.

L'acquisizione delle onde di Love è del tutto analoga a quelle di Rayleigh, cambia solo il tipo di sorgente e l'orientazione dei geofoni orizzontali (asse perpendicolare allo stendimento per le Love e asse parallelo per le Rayleigh).



Figura 11.31. Stendimento sismico (a sinistra) e acquisizione HVSR (a destra).

L'energizzazione è stata effettuata in posizione esterna rispetto ai geofoni estremi con offsets pari a 5 m; per le onde di Rayleigh si è utilizzata una mazza battente di 8 kg ad impatto verticale su piastra metallica, per quelle di Love una mazza battente ad impatto di taglio su piastra in polipropilene.

Le acquisizioni utili ad analizzare il rapporto spettrale H/V (HVSR) sono state eseguite utilizzando lo strumento SR04-GEOBOX, dotato di sensore a 2.0 Hz (Sara electronic instruments). L'analisi dei dati acquisiti è stata eseguita utilizzando il software WINMASW 6.0 versione Professional.

### **ANALISI RAYLEIGH + LOVE**

Dai sismogrammi acquisiti (dominio spazio-tempo) si sono determinati mediante la trasformata di Fourier gli spettri di ampiezza (dominio frequenza-ampiezza), dai quali attraverso il metodo denominato *phase shift* si ricavano gli spettri di velocità nel dominio frequenza-velocità.

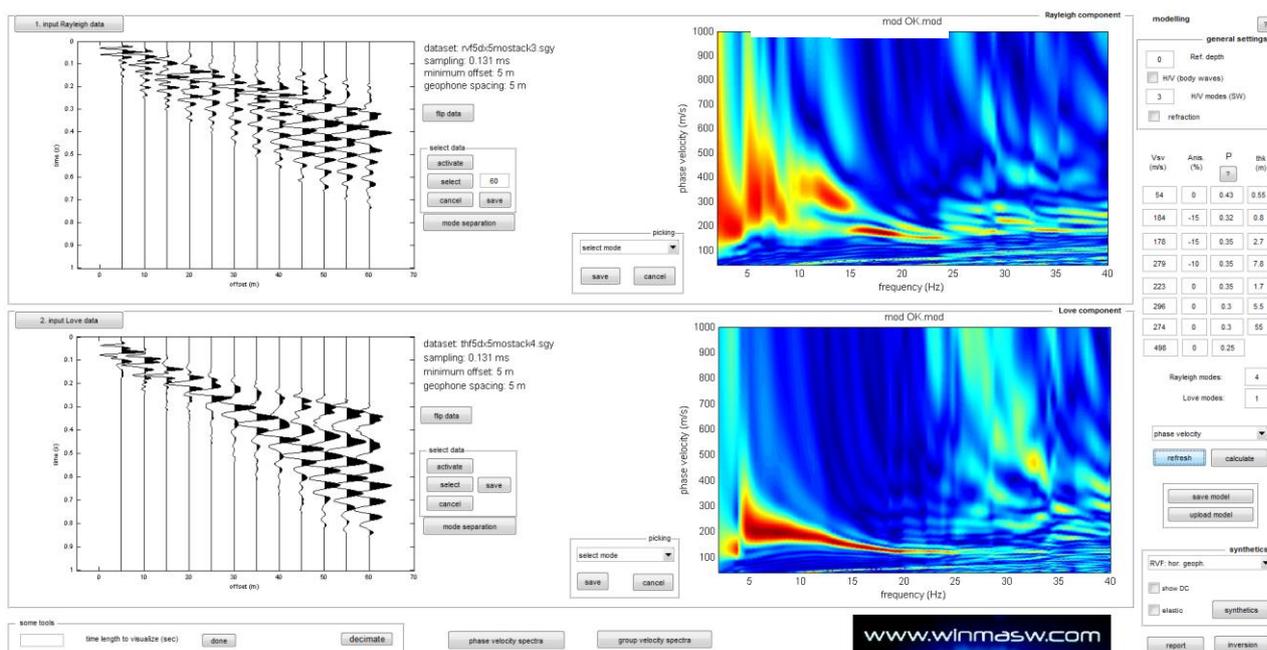


Figura 11.32. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

Successivamente alla pulizia del dato si è proceduto alla modellazione diretta delle curve di dispersione ottenendo le curve riportate di seguito. Da notare come allo spettro di velocità osservato siano state sovrapposte tramite la tecnica della modellazione diretta le curve di dispersione, dei primi 4 modi per le onde di Rayleigh e del solo fondamentale per le onde di Love. Lo spettro delle onde Rayleigh è stato modellato come somma di più modi.

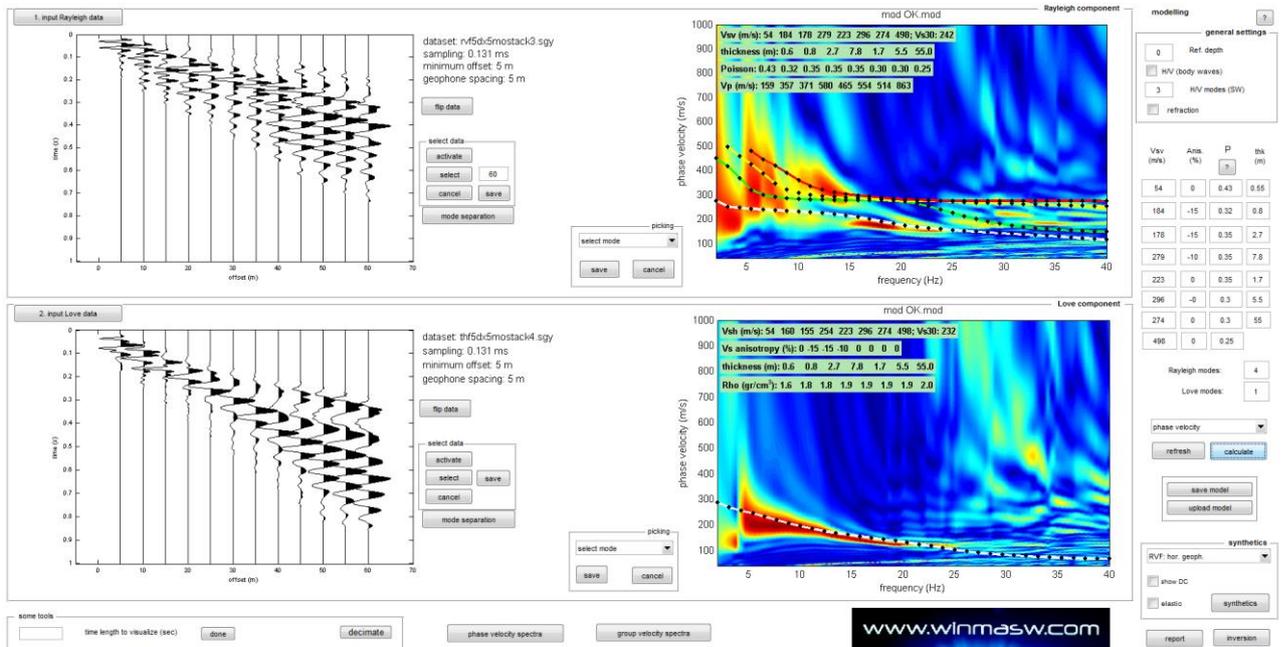


Figura 11.33. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

**RAPPORTI SPETTRALI H/V**

Nella figura successive si riporta lo spettro d'ampiezza medio delle 3 componenti (NS, EW e verticale) ed i valori HVSr per l'acquisizione eseguita.

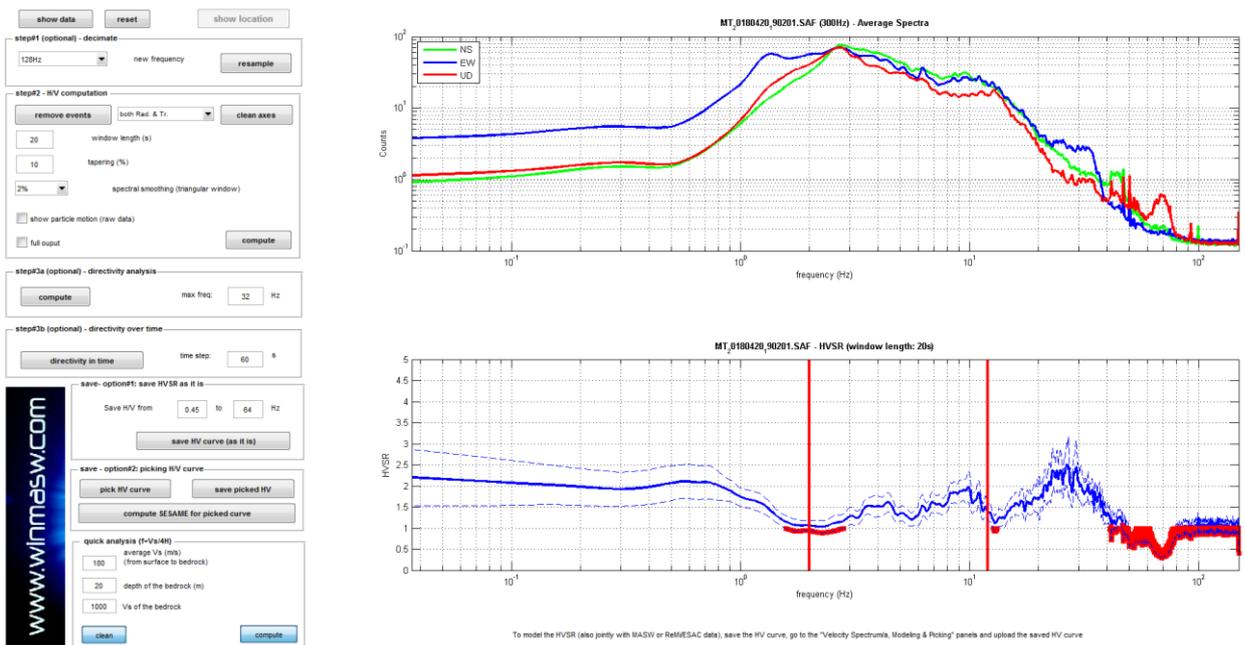


Figura 11.34. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSr.

La modellazione dell'HV realizzato a metà stendimento è stata eseguita applicando lo schema geologico dato dall'analisi delle onde di superficie (figura successiva).

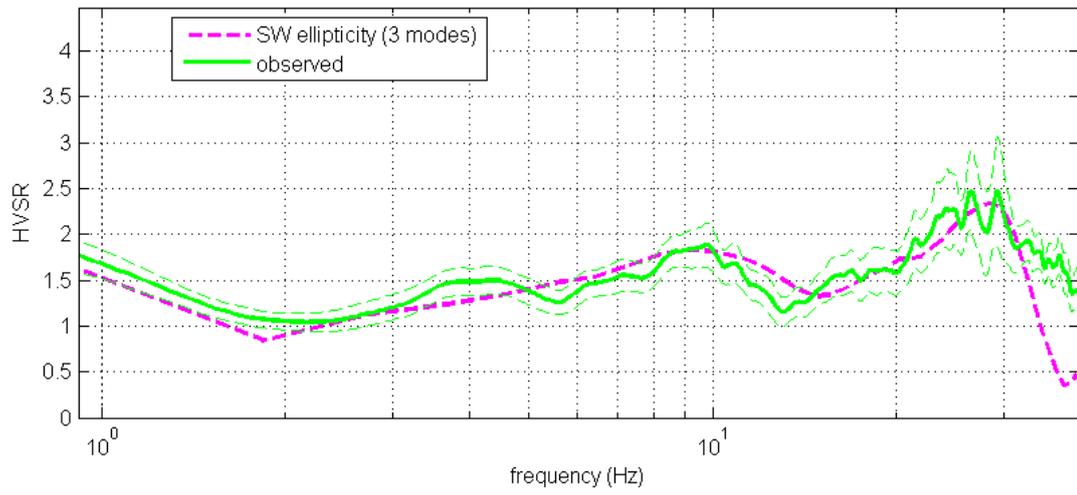


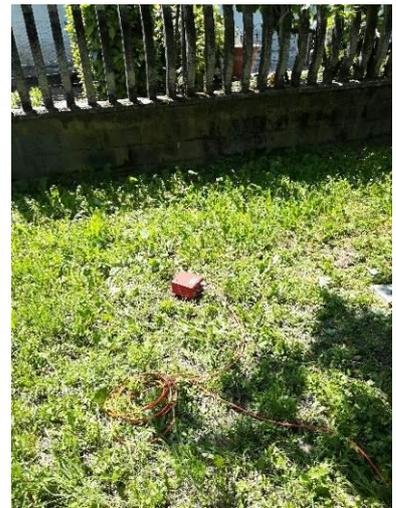
Figura 11.35. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

11.2 Prove sismiche tipo HVSR

# 033046P52

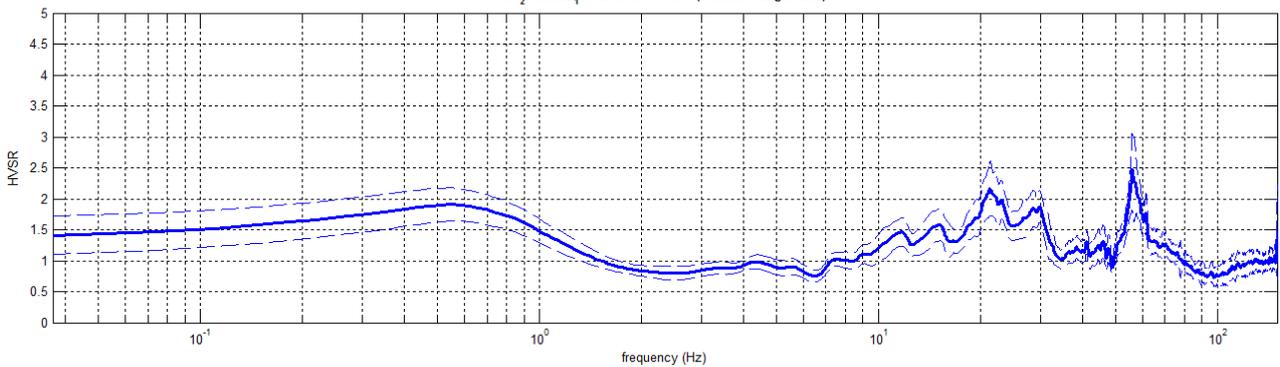
Località: Villanova sull'Arda\_Capoluogo Est  
 Data acquisizione: 25/05/2018

Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare



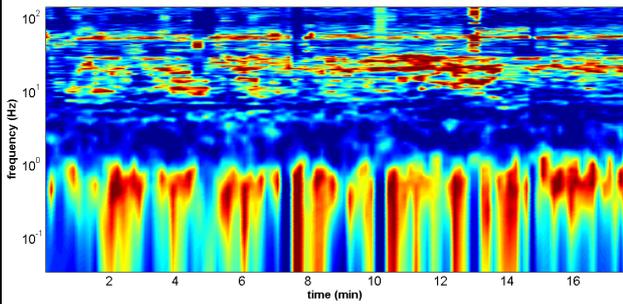
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

MT\_0180525\_41424.SAF - HVSR (window length: 20s)



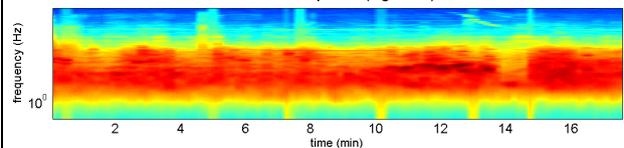
## SERIE TEMPORALE H/V

HVSR vs Time

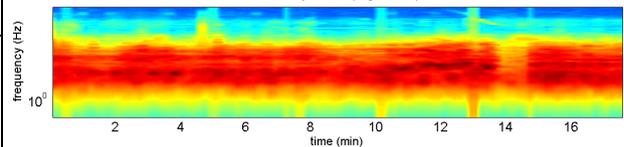


## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI

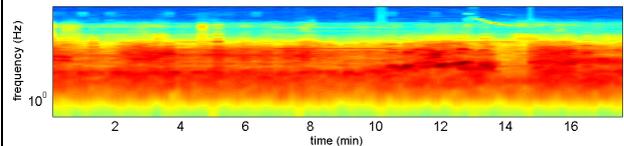
vertical component (logarithm)



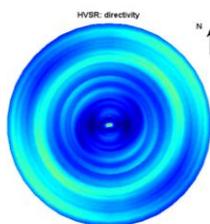
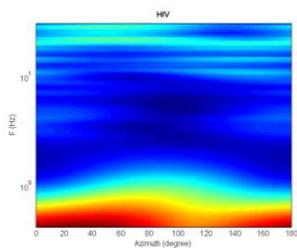
NS component (logarithm)



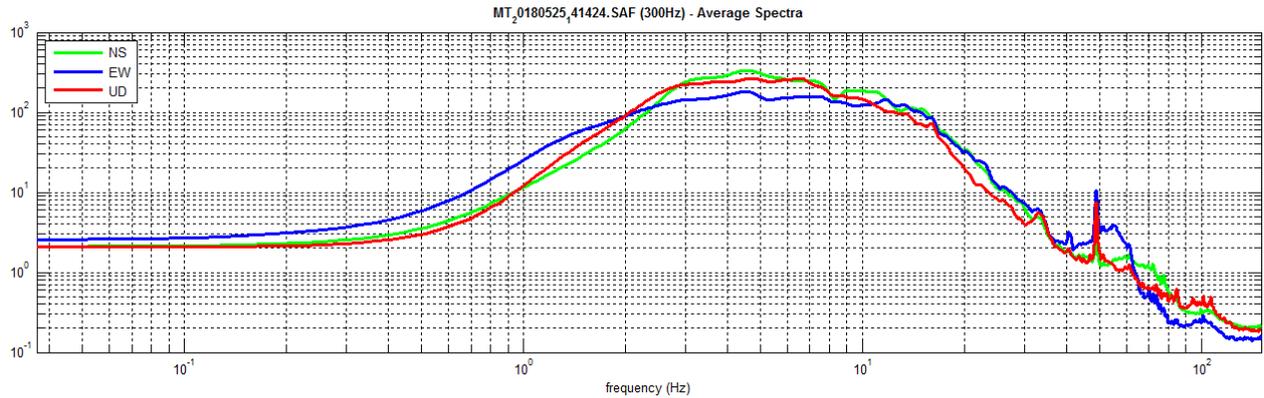
EW component (logarithm)



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20180525\_141424.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 17.9

Tapering (%): 10

In the following the results considering the data in the 0.5-25.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 21.4 ( $\pm 7.6$ )

Peak HVSR value: 2.2 ( $\pm 0.4$ )

Criteria for a reliable H/V curve

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $21.4 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $45351 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5Hz; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1.  $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]$ : yes, at frequency 8.9Hz (OK)
- #2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$ : (NO)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $2.2 > 2$  (OK)
- #4.  $[f_{peak}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[\sigma_{fA} < \epsilon(f_0)]$ :  $7.561 > 1.070$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $0.443 < 1.58$  (OK)

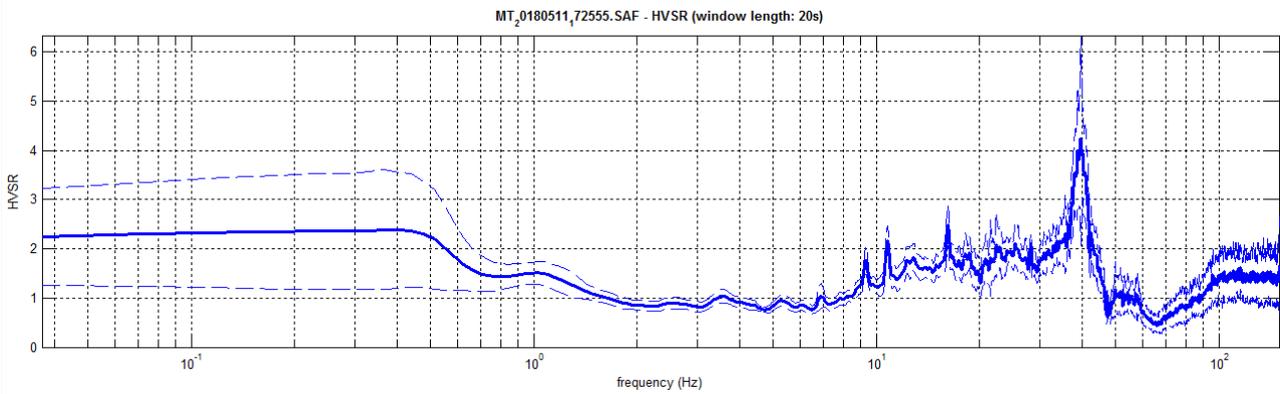
# 033046P53

Località: Villanova sull'Arda\_Ospedale  
 Data acquisizione: 11/05/2018

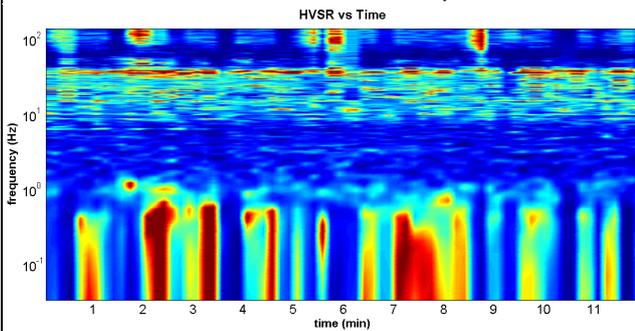
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di liscio: triangolare



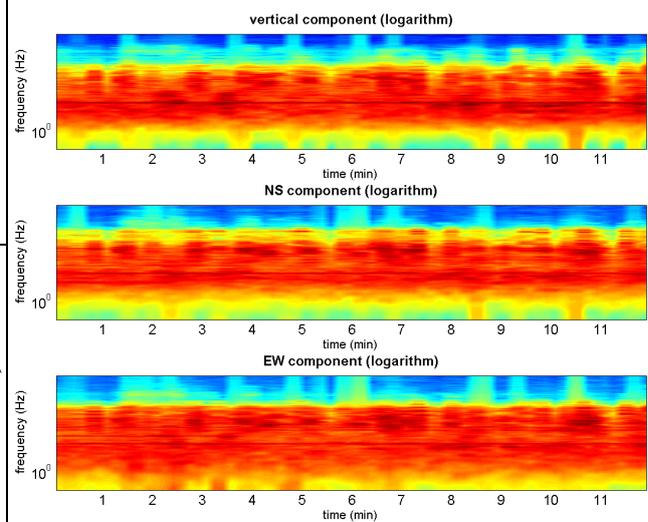
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



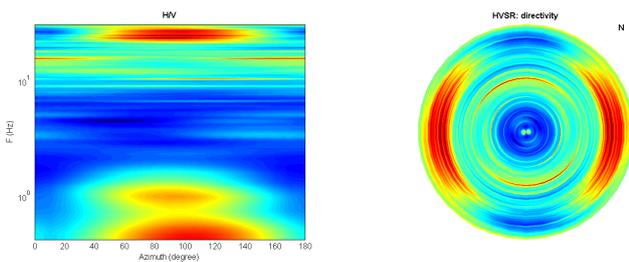
## SERIE TEMPORALE H/V



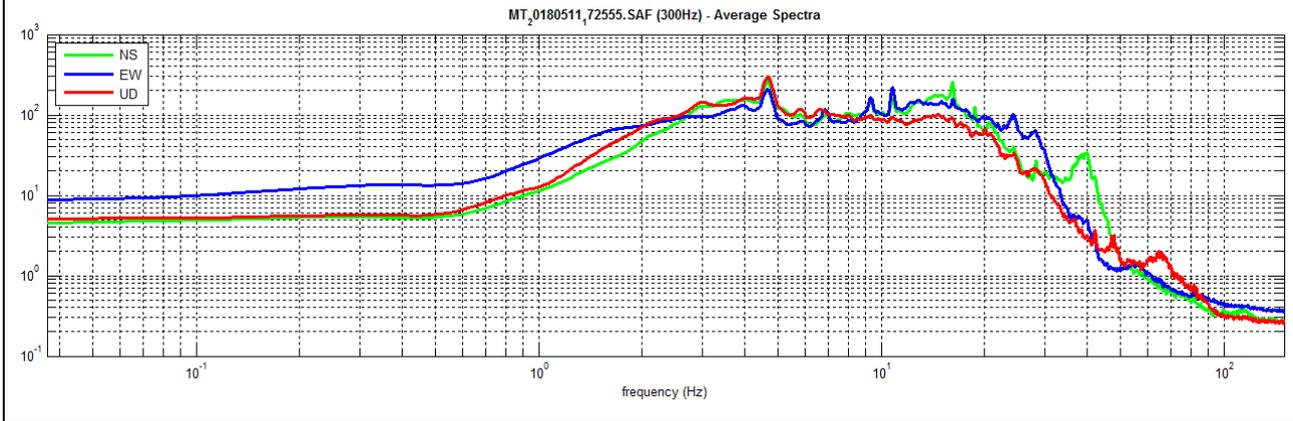
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20180511\_172555.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 12.2

Tapering (%): 10

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

- #1. [f0 > 10/Lw]: 1.1 > 0.5 (OK)
- #2. [nc > 200]: 1530 > 200 (OK)
- #3. [f0 > 0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: (NO)
- #2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: (NO)
- #3. [A0 > 2]: 1.5 < 2 (NO)
- #4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (OK)
- #5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 2.563 > 0.106 (NO)
- #6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.225 < 1.78 (OK)

=====  
**In the following the results considering the data in the 0.8-8.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 1.1 (±2.6)

Peak HVSR value: 1.5 (±0.2)

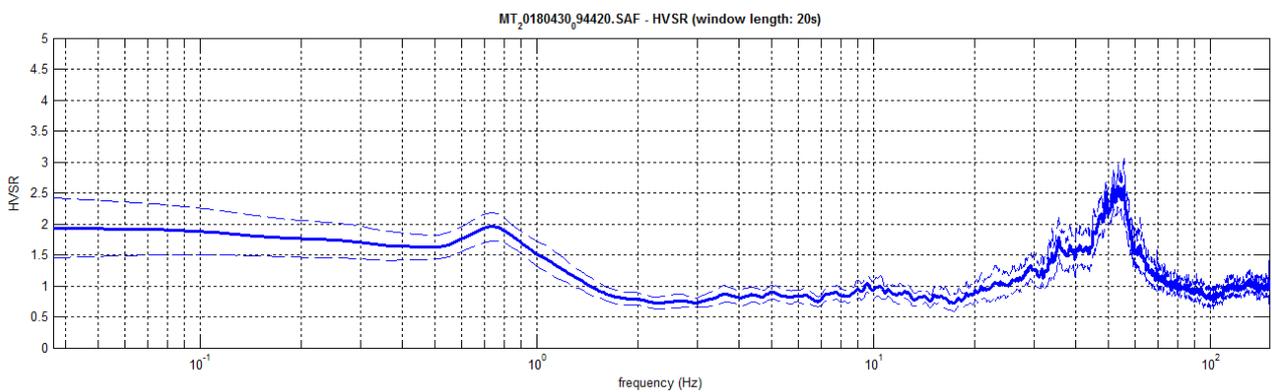
# 033046P47

Località: Cignano  
 Data acquisizione: 30/04/2018

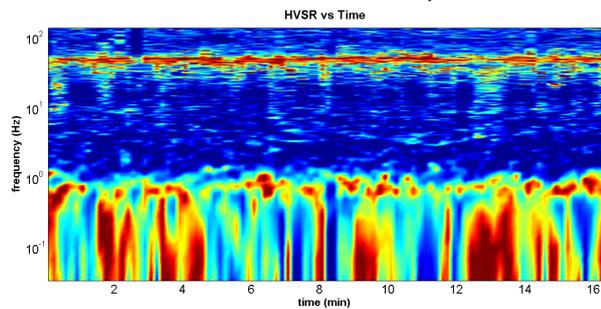
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di liscciamento: triangolare



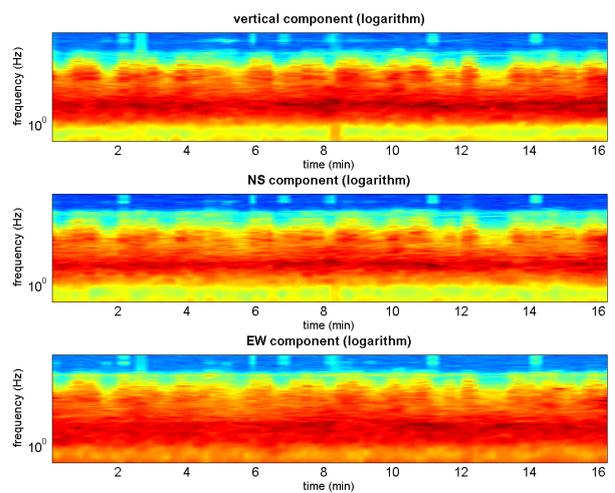
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



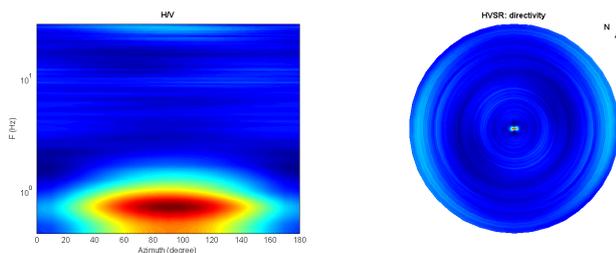
## SERIE TEMPORALE H/V



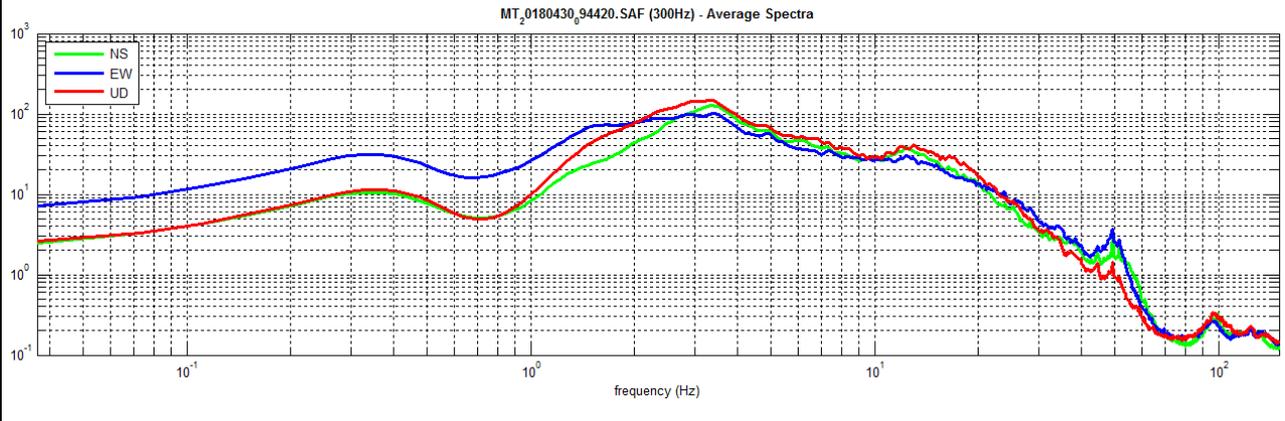
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20180430\_094420.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 16.5

Tapering (%): 10

**In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 0.8 ( $\pm 3.8$ )

Peak HVSR value: 2.0 ( $\pm 0.2$ )

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

- #1.  $[f_0 > 10/L.w]: 0.8 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[n_c > 200]: 1508 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5Hz; \sigma_{A(f)} < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

==== **Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)** =====

- #1.  $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] | AH/V(f^-) < A_0/2]:$  (NO)
- #2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] | AH/V(f^+) < A_0/2]:$  yes, at frequency 1.5Hz (OK)
- #3.  $[A_0 > 2]: 2.0 < 2$  (NO)
- #4.  $[f_{peak}[Ah/v(f) \pm \sigma_{A(f)}] = f_0 \pm 5\%]:$  (OK)
- #5.  $[\sigma_{A(f)} < \epsilon(f_0)]: 3.791 > 0.115$  (NO)
- #6.  $[\sigma_{A(f_0)} < \theta(f_0)]: 0.233 < 2$  (OK)

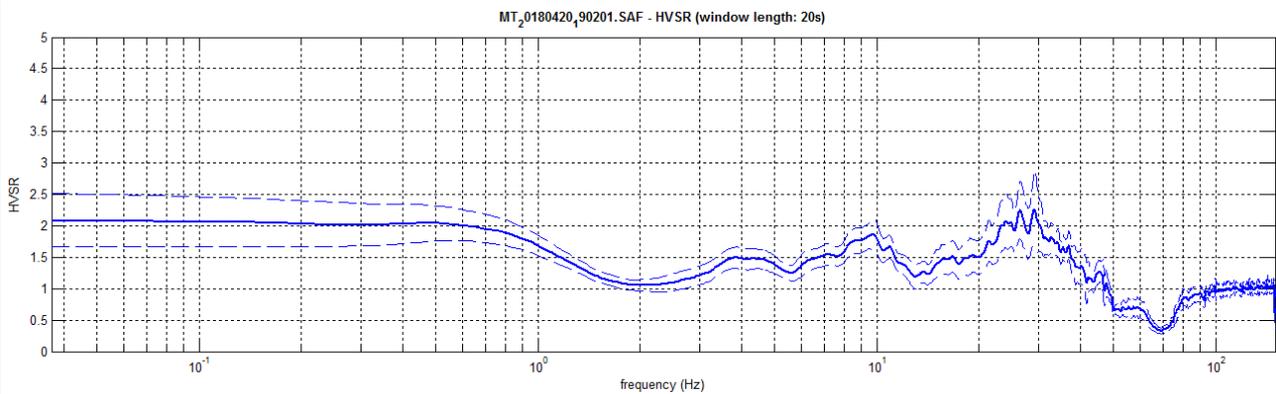
# 033046P48

Località: Sant'Agata Nord\_Ponte Nuovo  
 Data acquisizione: 20/04/2018

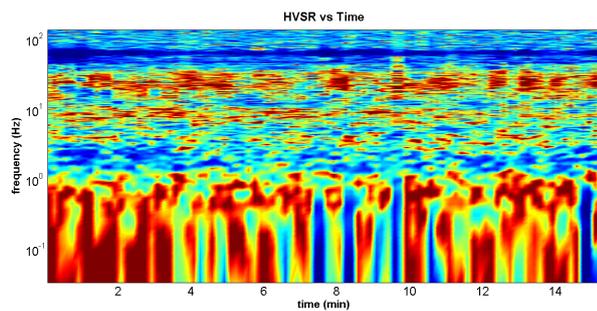
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare



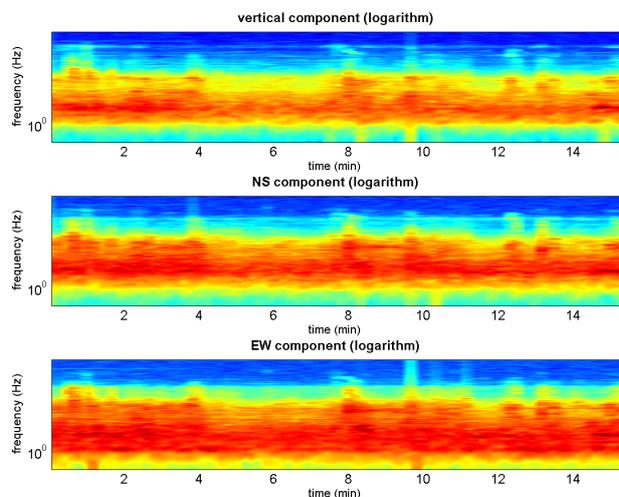
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



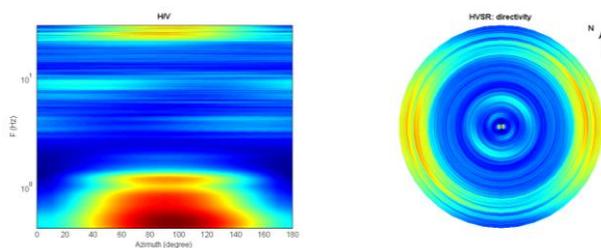
## SERIE TEMPORALE H/V



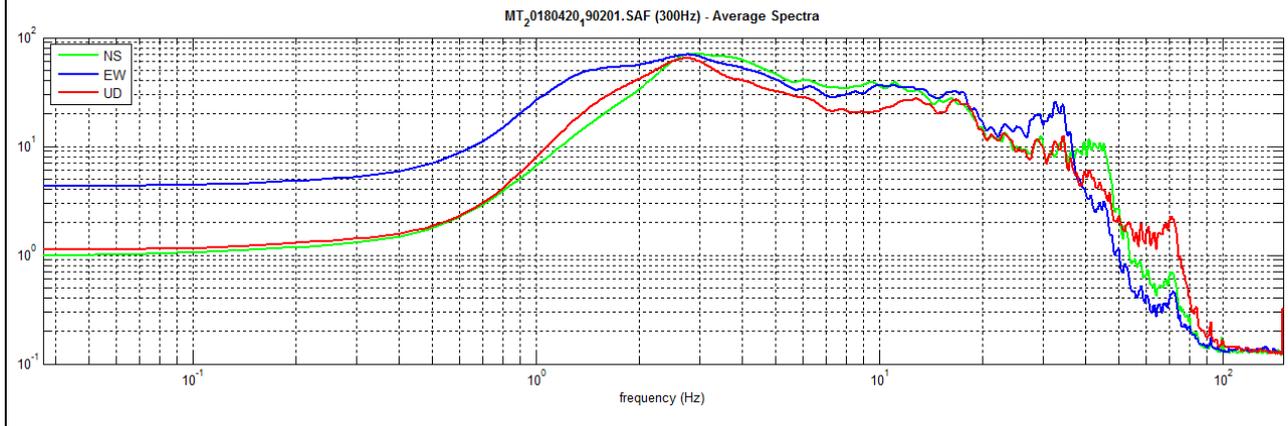
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20180420\_190201.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 15.6

Tapering (%): 10

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

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]: 0.8 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]: 1550 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1.  $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]:$  (NO)
- #2.  $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]:$  yes, at frequency 2.2Hz (OK)
- #3.  $[A_0 > 2]: 2.1 > 2$  (OK)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[Ah^v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]:$  (OK)
- #5.  $[\sigma_{mf} < \epsilon(f_0)]: 2.355 > 0.126$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]: 0.427 < 2$  (OK)

=====  
**In the following the results considering the data in the 0.8-8.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 0.8 ( $\pm 2.4$ )

Peak HVSr value: 2.1 ( $\pm 0.4$ )

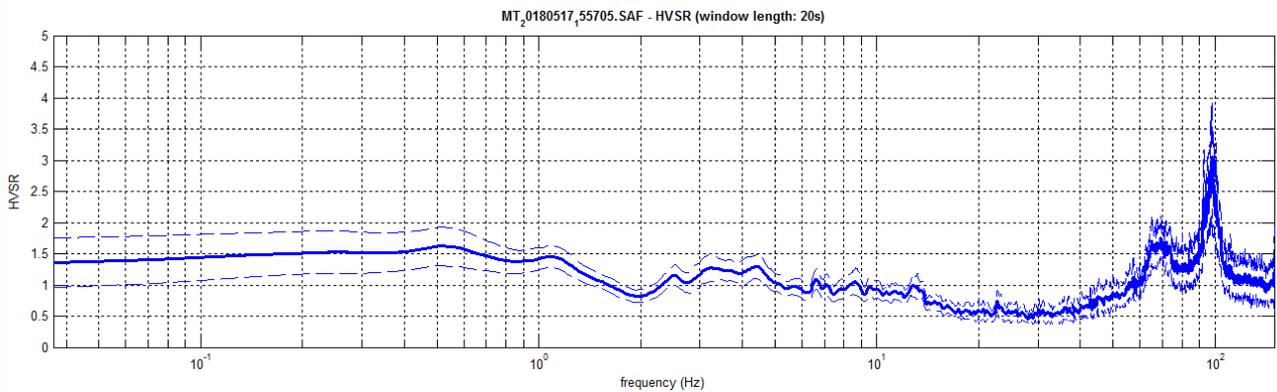
# 033046P50

Località: Soarza est  
 Data acquisizione: 17/05/2018

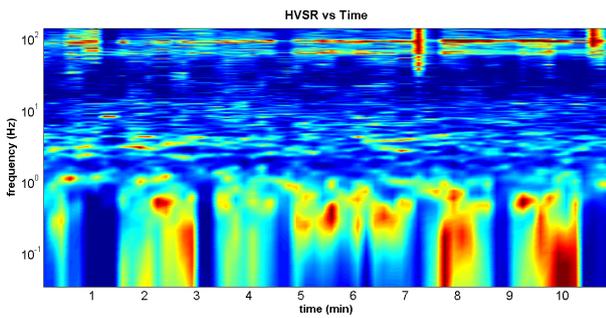
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare



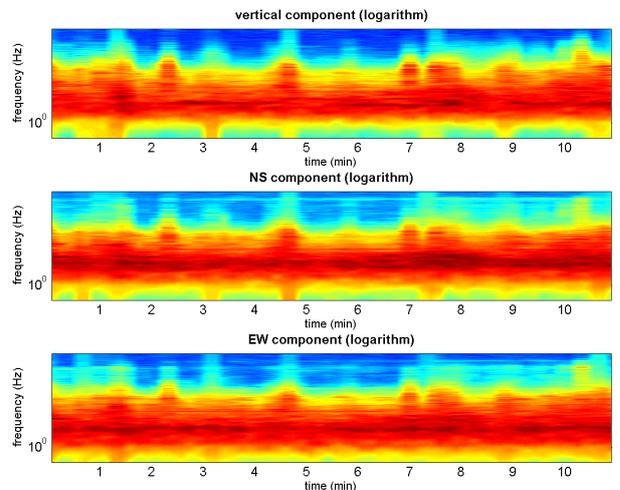
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



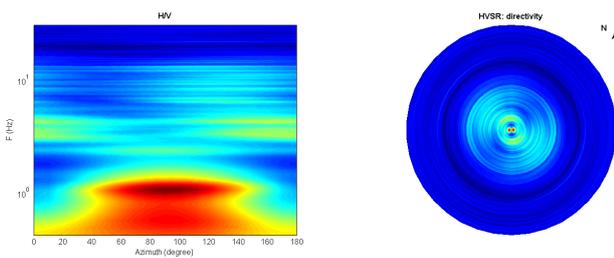
## SERIE TEMPORALE H/V



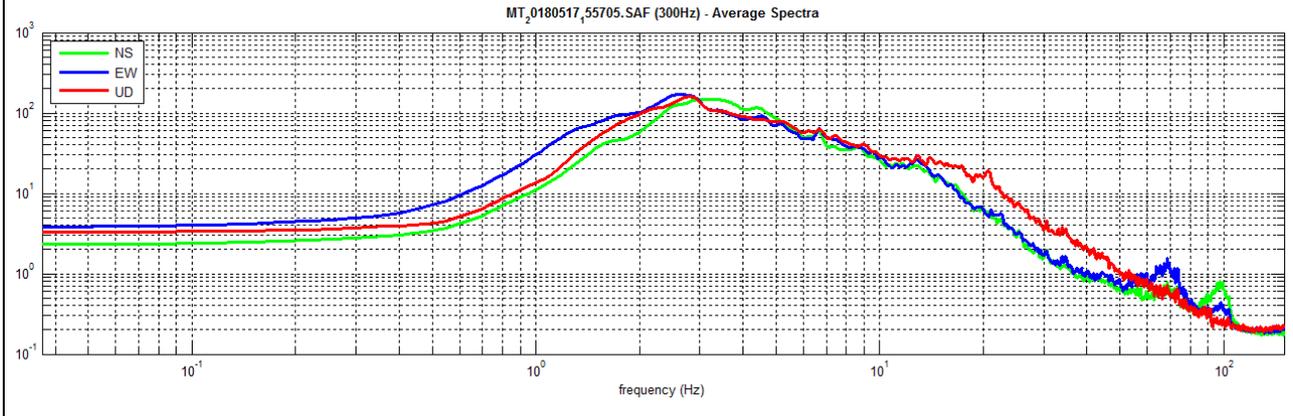
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20180517\_155705.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 11.2

Tapering (%): 10

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

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]: 0.5 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]: 725 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1.  $[\text{exists } f \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f) < A_0/2]:$  (NO)
- #2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]:$  (NO)
- #3.  $[A_0 > 2]: 1.6 < 2$  (NO)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]:$  (NO)
- #5.  $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(\sigma_A(f_0))]: 3.178 > 0.082$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]: 0.313 < 2$  (OK)

=====  
**In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 0.5 ( $\pm 3.2$ )

Peak HVSR value: 1.6 ( $\pm 0.3$ )

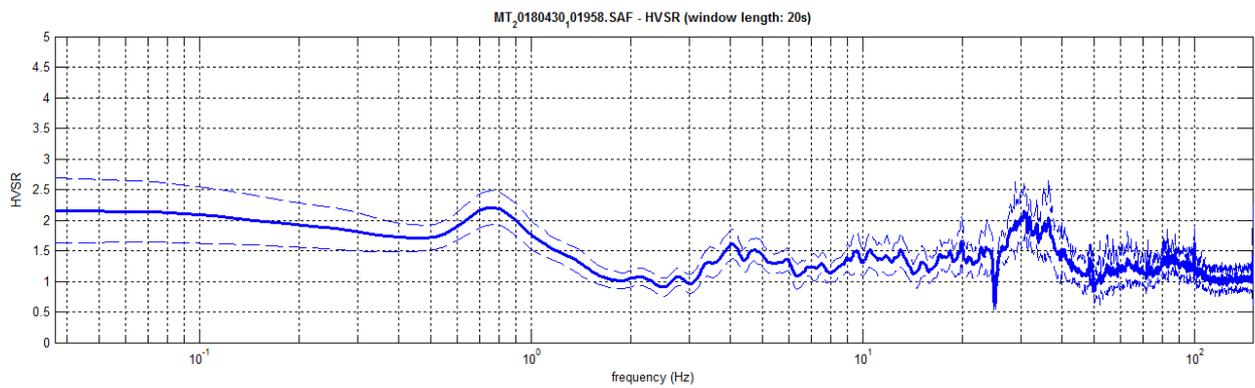
# 033046P51

Località: Soarza Nord  
 Data acquisizione: 30/04/2018

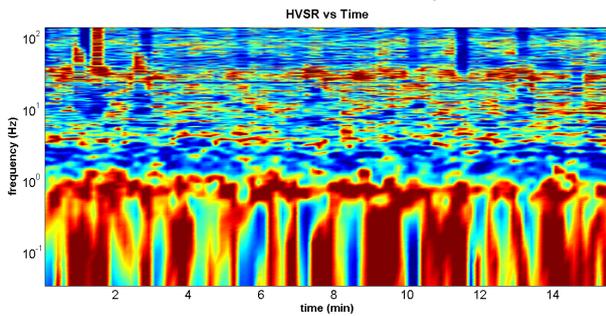
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamiento: triangolare



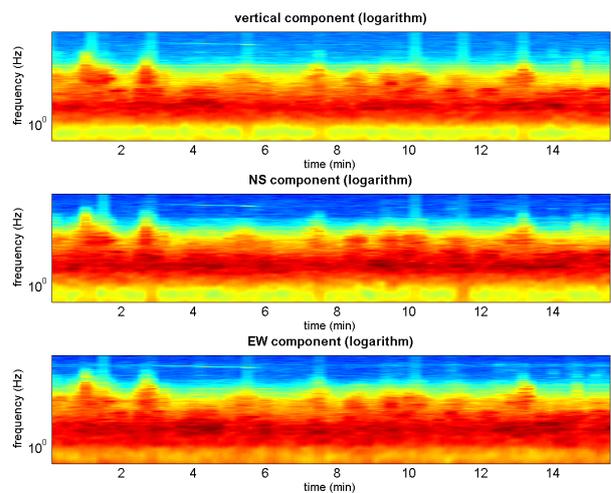
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



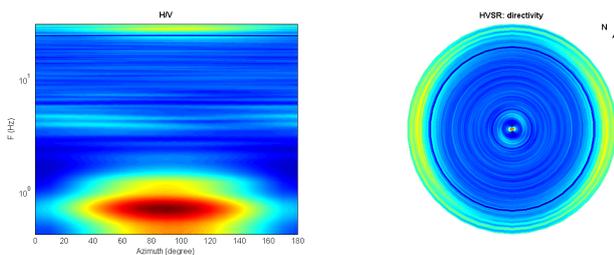
## SERIE TEMPORALE H/V



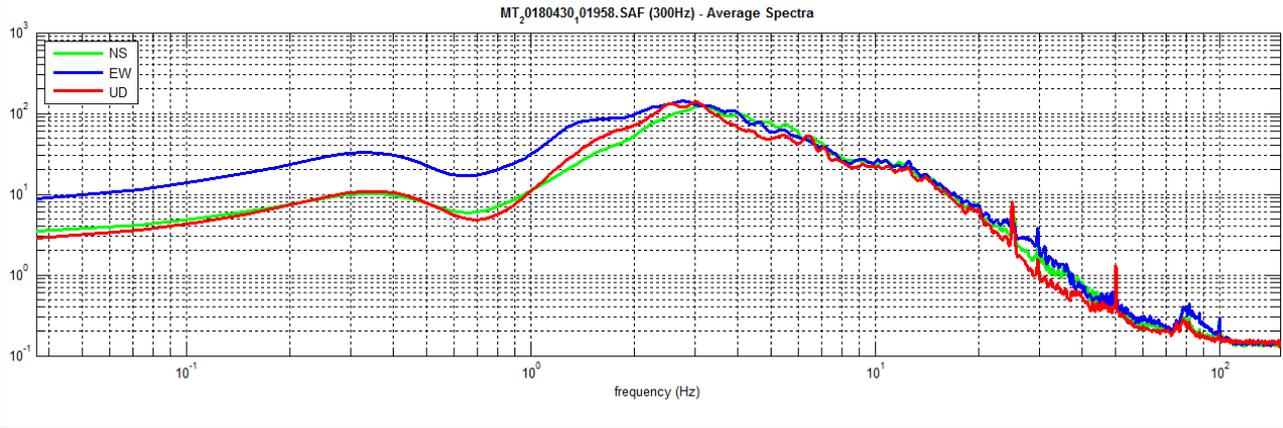
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20180430\_101958.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 15.9

Tapering (%): 10

**In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 0.8 ( $\pm 7.2$ )

Peak HVSR value: 2.2 ( $\pm 0.3$ )

Criteria for a reliable H/V curve

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $0.8 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $1515 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5Hz; \sigma_{A(f)} < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1.  $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]$ : (NO)
- #2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 1.6Hz (OK)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $2.2 > 2$  (OK)
- #4.  $[\text{fpeak}[Ah/v(f) \pm \sigma_{A(f)}] = f_0 \pm 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[\sigma_{maf} < \epsilon(f_0)]$ :  $7.151 > 0.121$  (NO)
- #6.  $[\sigma_{A(f_0)} < \theta(f_0)]$ :  $0.274 < 2$  (OK)

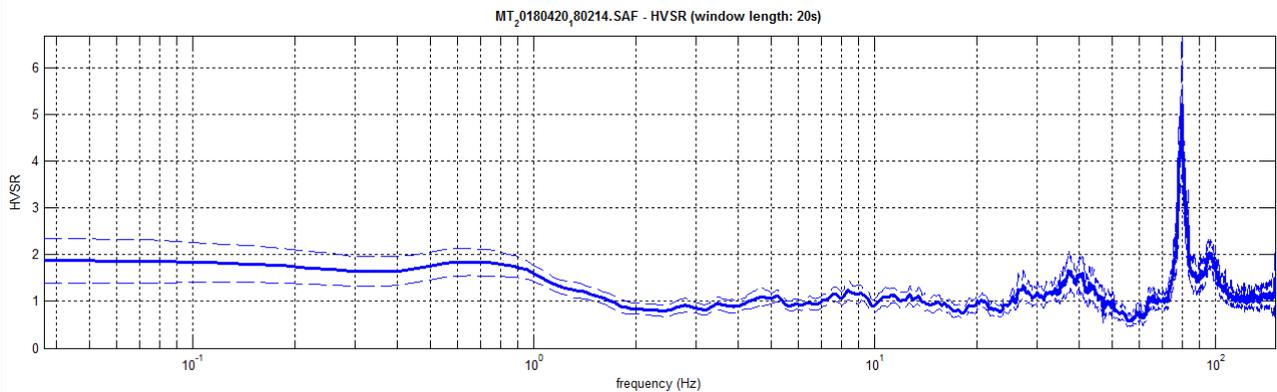
# 033046P49

Località: Sant'Agata\_Villa Verdi  
 Data acquisizione: 20/04/2018

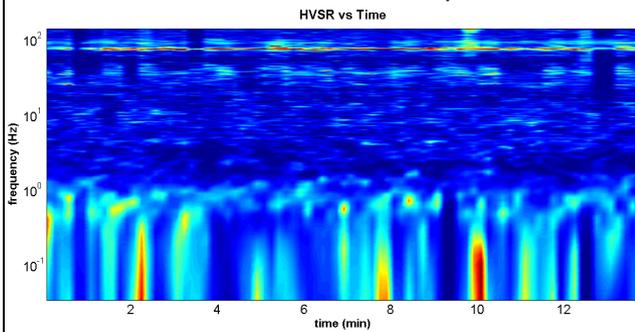
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare



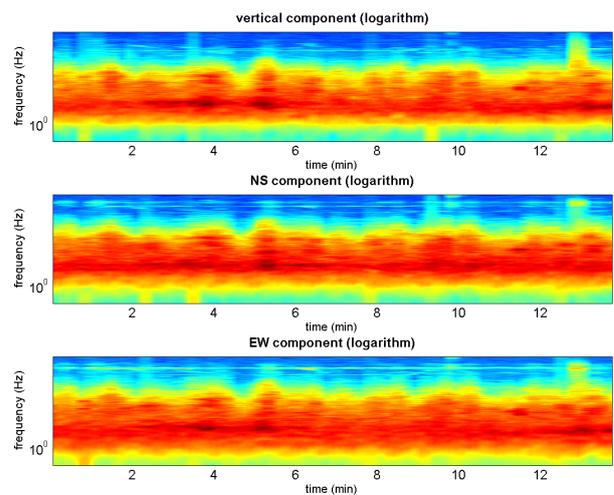
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



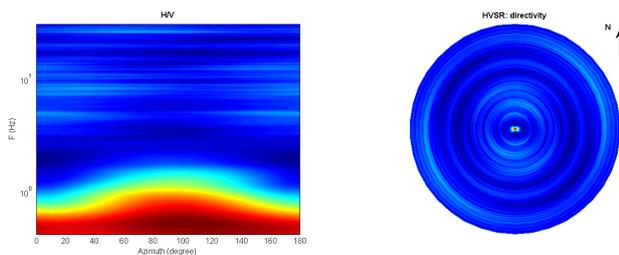
## SERIE TEMPORALE H/V



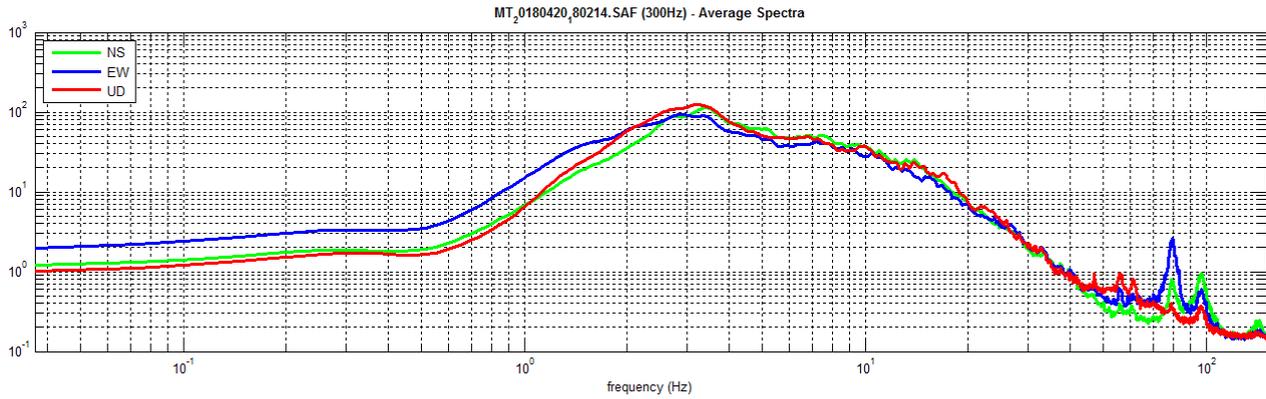
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20180420\_180214.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 14.1

Tapering (%): 10

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 0.7 (±5.8)

Peak HVSR value: 1.8 (±0.3)

Criteria for a reliable H/V curve

- #1.  $[f_0 > 10/L.w]: 0.7 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]: 1155 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_{A(f)} < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1.  $[\text{exists } f \text{ in the range } [f_0/4, f_0] | AH/V(f) < A_0/2]:$  (NO)
- #2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] | AH/V(f^+) < A_0/2]:$  yes, at frequency 1.8Hz (OK)
- #3.  $[A_0 > 2]: 1.8 < 2$  (NO)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_{A(f)}] = f_0 \pm 5\%]:$  (NO)
- #5.  $[\sigma_{A(f)} < \epsilon(f_0)]: 5.762 > 0.104$  (NO)
- #6.  $[\sigma_{A(f_0)} < \theta(f_0)]: 0.290 < 2$  (OK)

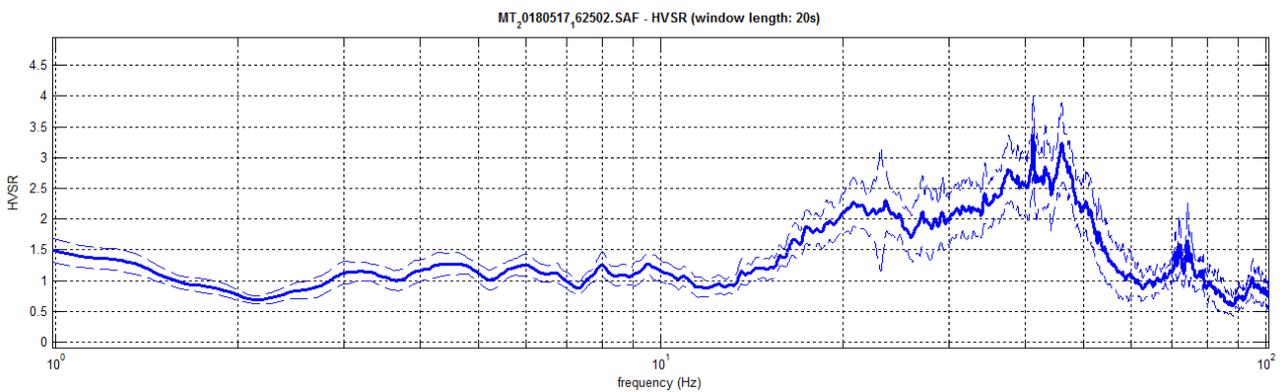
# 033046P41

Località: Soarza sud  
 Data acquisizione: 17/05/2018

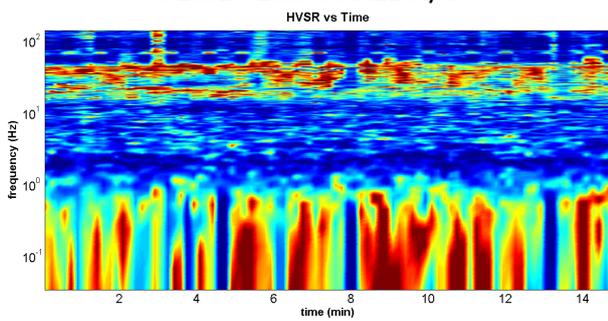
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare



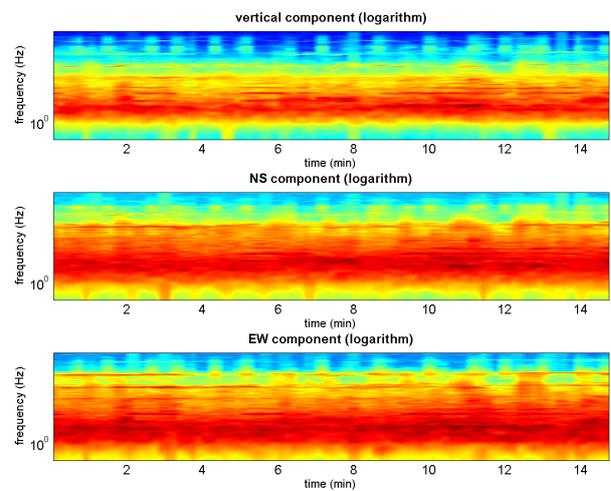
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



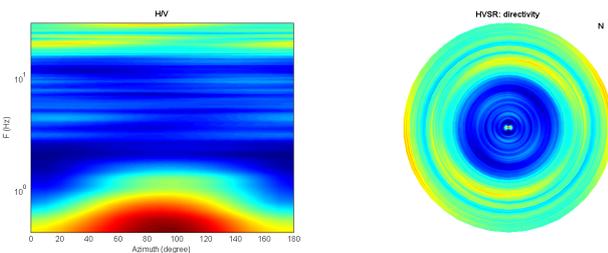
## SERIE TEMPORALE H/V



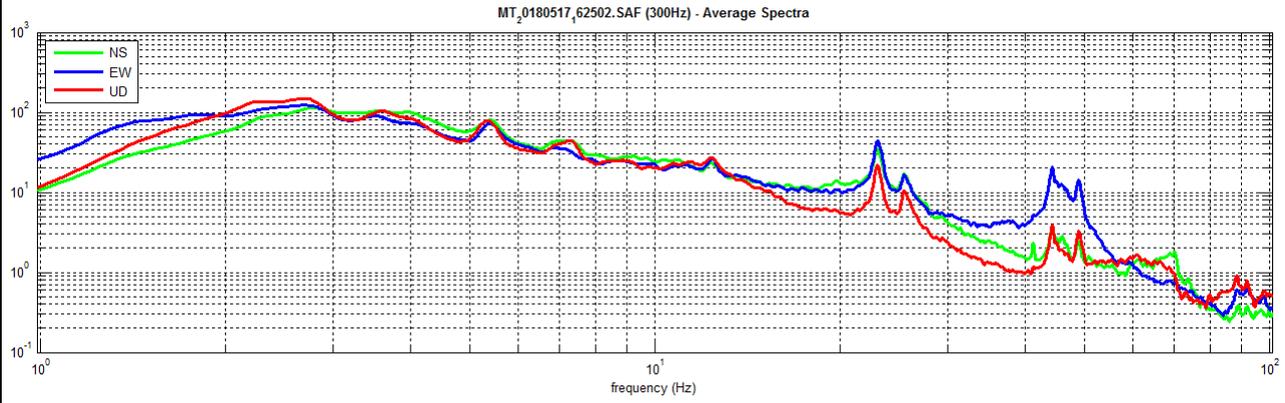
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



# 033046P46

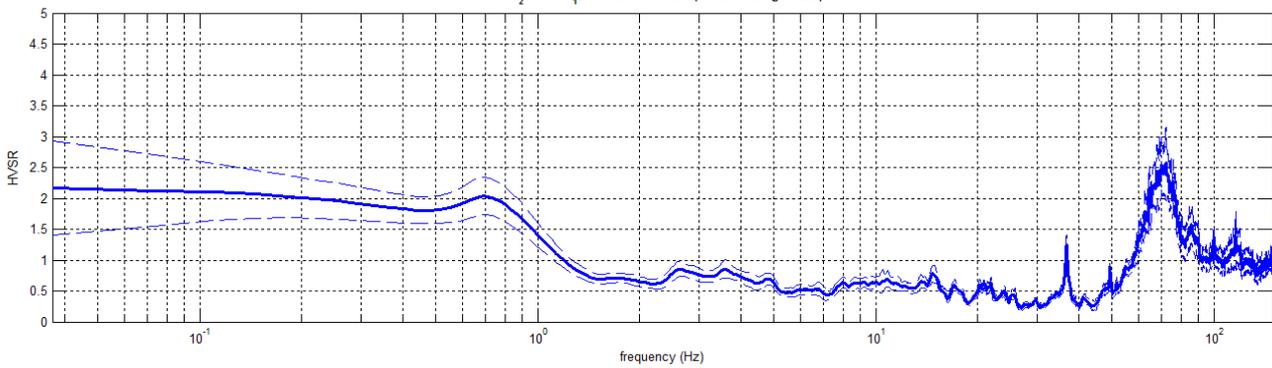
Località: Villanova sull'Arda\_Area artigianale sud  
 Data acquisizione: 30/04/2018

Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare



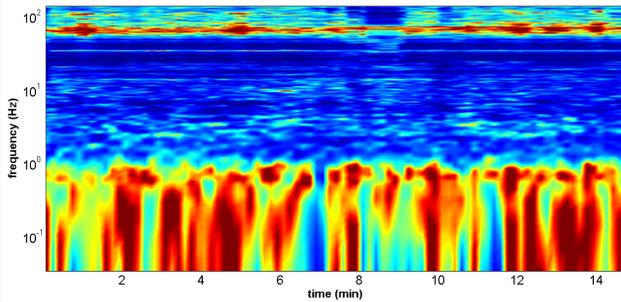
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

MT\_0180430\_25119.SAF - HVSR (window length: 20s)

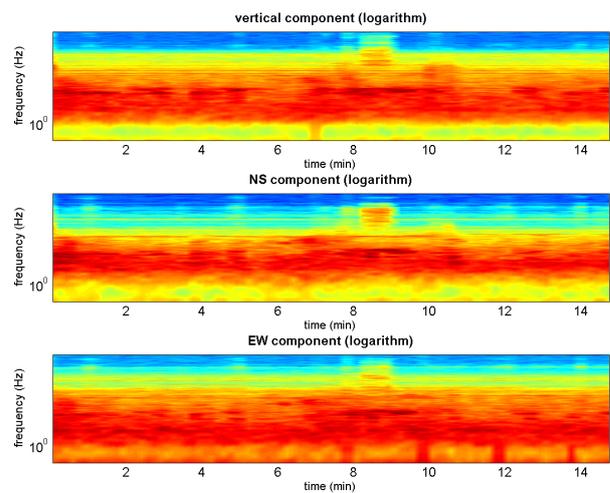


## SERIE TEMPORALE H/V

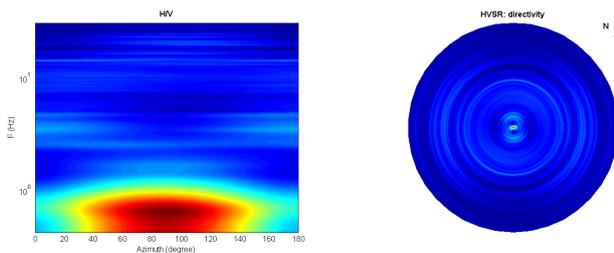
HVSR vs Time



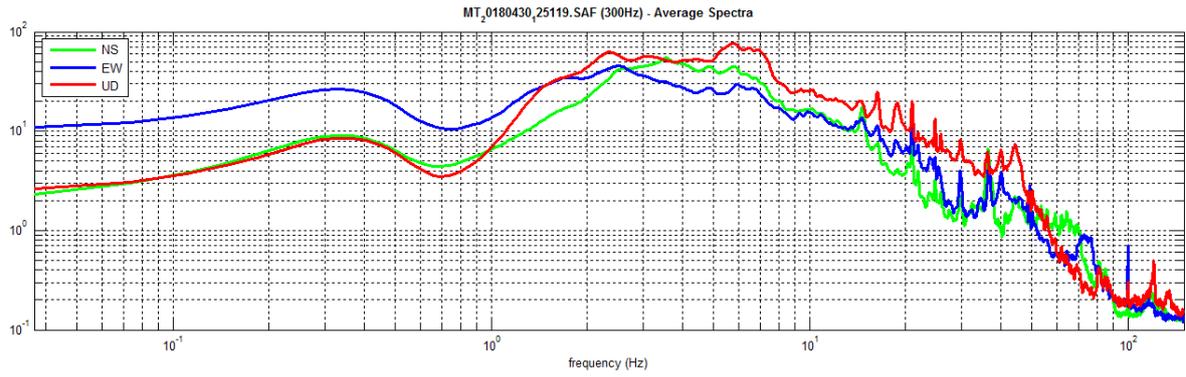
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20180430\_125119.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 15.1

Tapering (%): 10

In the following the results considering the data in the 0.3-12.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 0.7 (±1.5)

Peak HVSR value: 2.0 (±0.3)

Criteria for a reliable H/V curve

- #1.  $[f0 > 10/Lw]: 0.7 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]: 1304 > 200$  (OK)
- #3.  $[f0 > 0.5Hz, \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f0 < f < 2f0]$  (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1.  $[\text{exists } f \text{ in the range } [f0/4, f0] \mid AH/V(f) < A0/2]$ : (NO)
- #2.  $[\text{exists } f+ \text{ in the range } [f0, 4f0] \mid AH/V(f+) < A0/2]$ : yes, at frequency 1.2Hz (OK)
- #3.  $[A0 > 2]: 2.0 > 2$  (OK)
- #4.  $[f_{peak}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f0 \pm 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[\sigma_{maf} < \epsilon(f0)]: 1.548 > 0.110$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f0) < \theta(f0)]: 0.309 < 2$  (OK)

# 033046P45

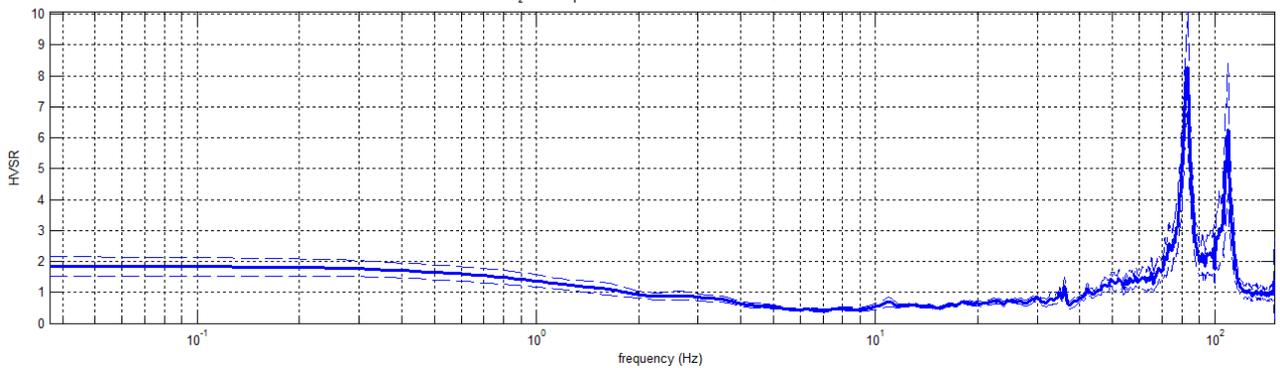
Località: Villanova sull'Arda\_Area artigianale nord  
 Data acquisizione: 30/04/2018

Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare



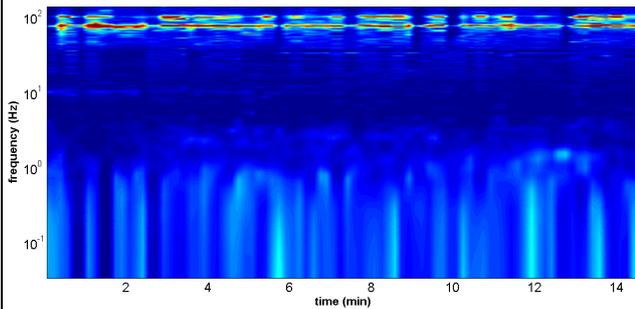
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

MT\_0180430\_40445.SAF - HVSR (window length: 20s)

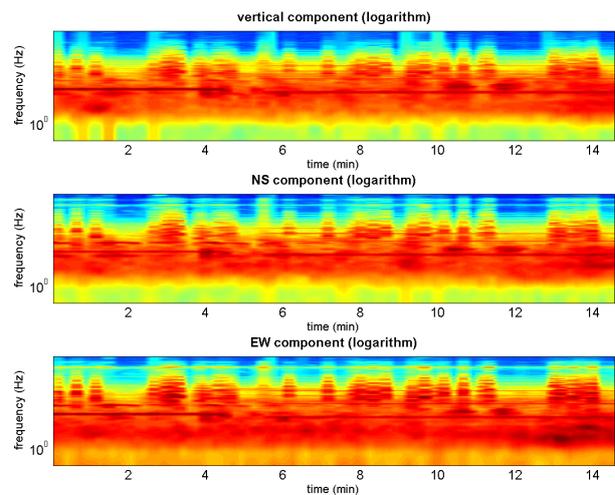


## SERIE TEMPORALE H/V

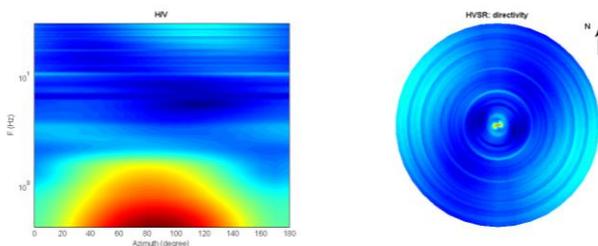
HVSR vs Time



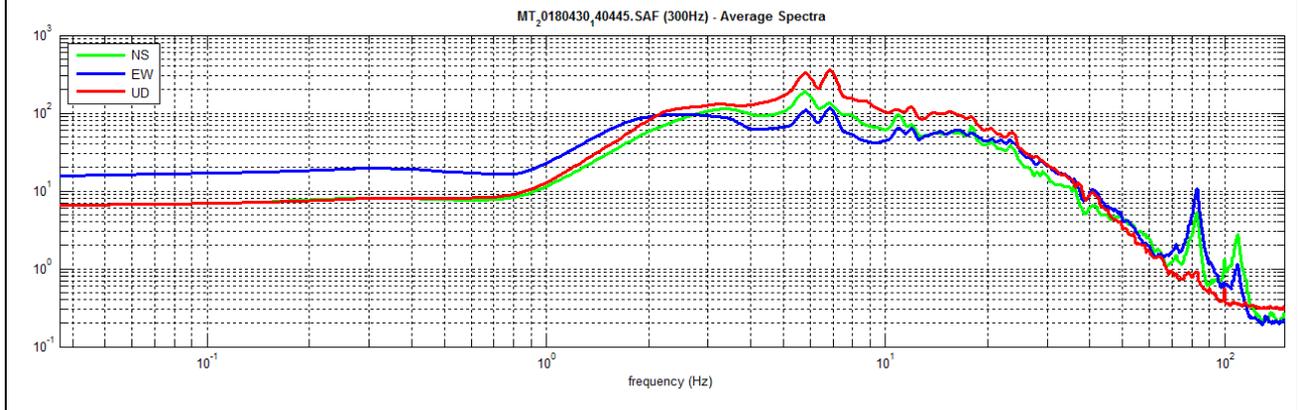
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



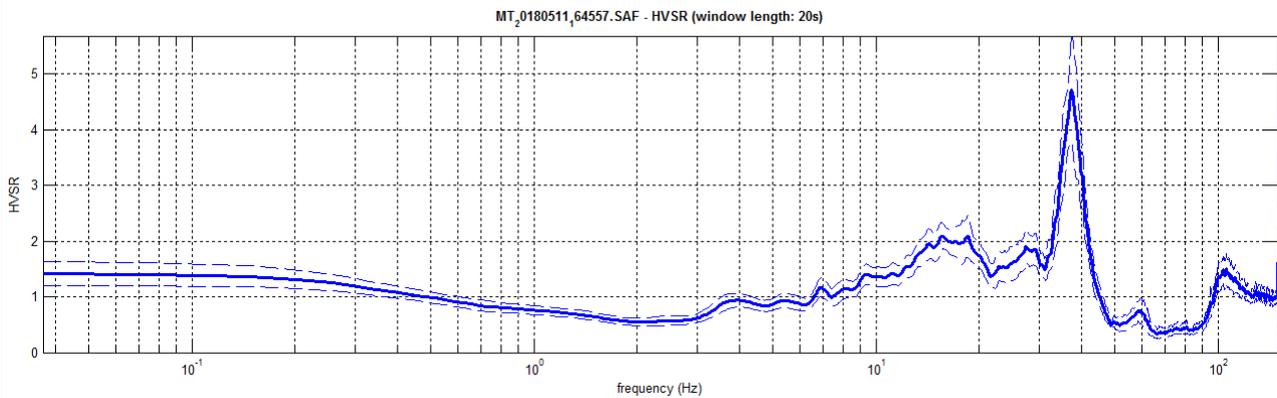
# 033046P42

Località: Villanova sull'Arda\_Capoluogo nord  
 Data acquisizione: 11/05/2018

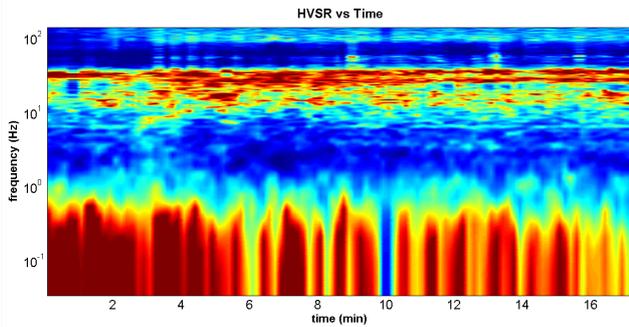
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare



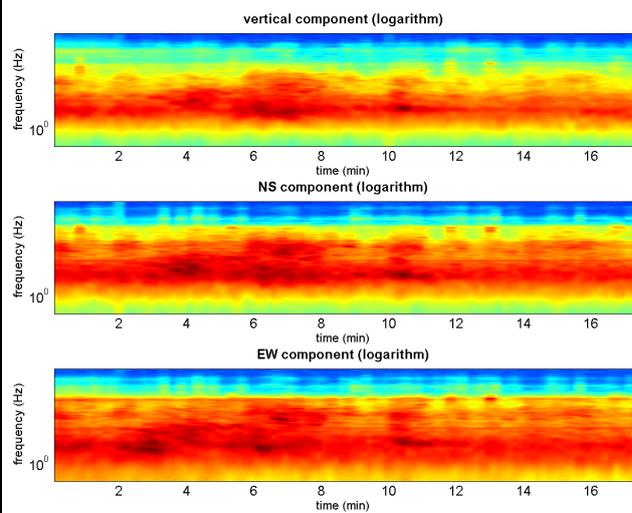
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



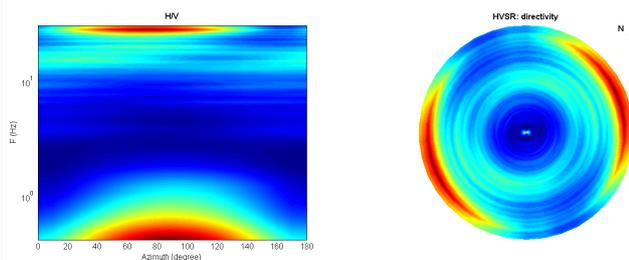
## SERIE TEMPORALE H/V



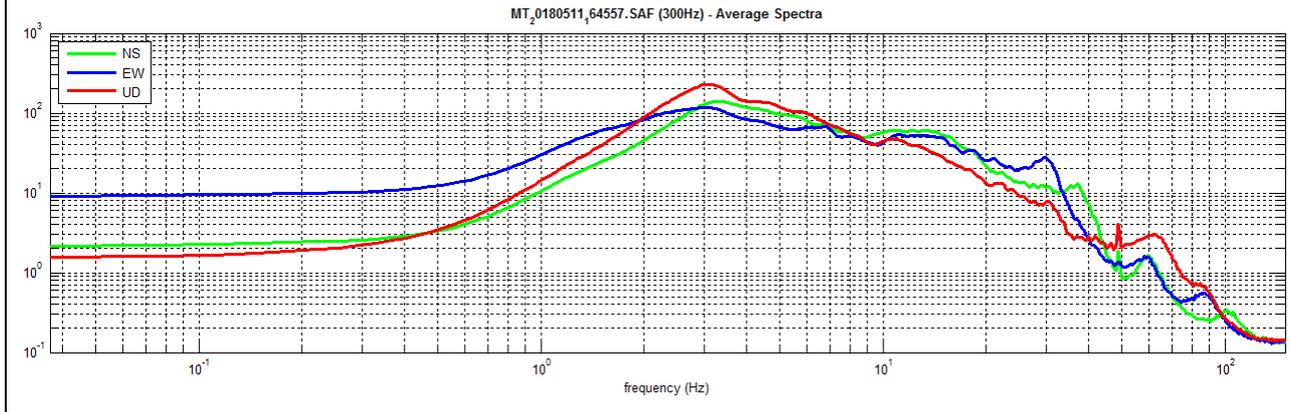
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20180511\_164557.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 17.5

Tapering (%): 10

In the following the results considering the data in the 1.0-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 18.6 (±2.3)

Peak HVSR value: 2.1 (±0.3)

Criteria for a reliable H/V curve

- #1.  $[f0 > 10/Lw]$ :  $18.6 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $38781 > 200$  (OK)
- #3.  $[f0 > 0.5Hz; \sigma_{A(f)} < 2 \text{ for } 0.5f0 < f < 2f0]$  (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1.  $[\text{exists } f- \text{ in the range } [f0/4, f0] \mid AH/V(f-) < A0/2]$ : yes, at frequency 7.9Hz (OK)
- #2.  $[\text{exists } f+ \text{ in the range } [f0, 4f0] \mid AH/V(f+) < A0/2]$ : (NO)
- #3.  $[A0 > 2]$ :  $2.1 > 2$  (OK)
- #4.  $[f_{peak}[Ah/v(f) \pm \sigma_{A(f)}] = f0 \pm 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[\sigma_{f} < \epsilon(f0)]$ :  $2.261 > 0.932$  (NO)
- #6.  $[\sigma_{A(f0)} < \theta(f0)]$ :  $0.301 < 1.58$  (OK)

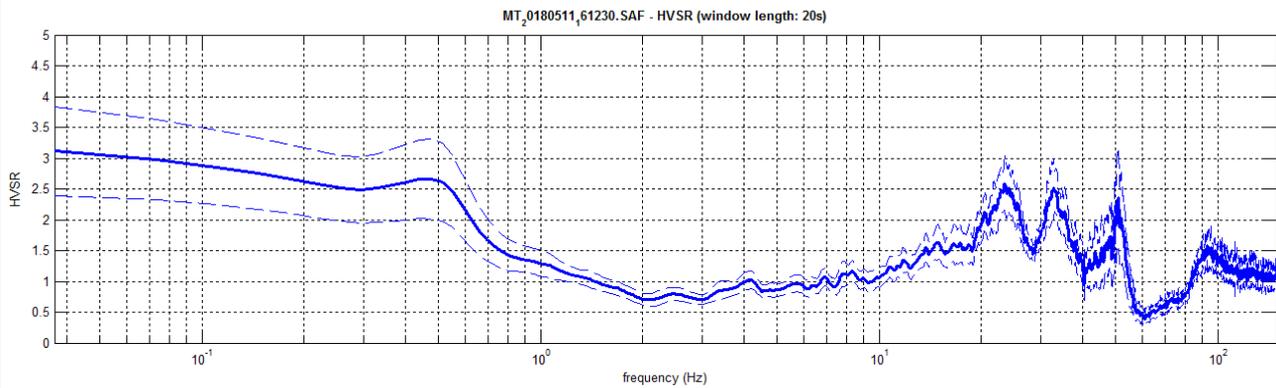
# 033046P43

Località: Villanova sull'Arda\_Capoluogo Ovest  
 Data acquisizione: 11/05/2018

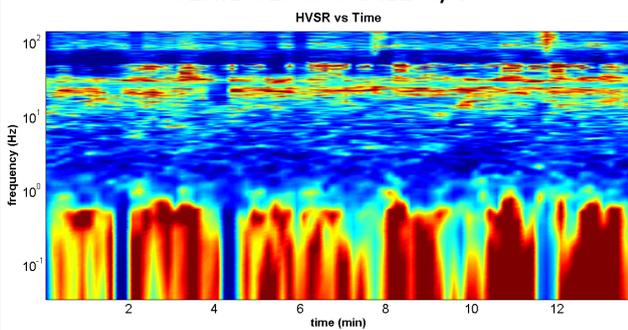
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare



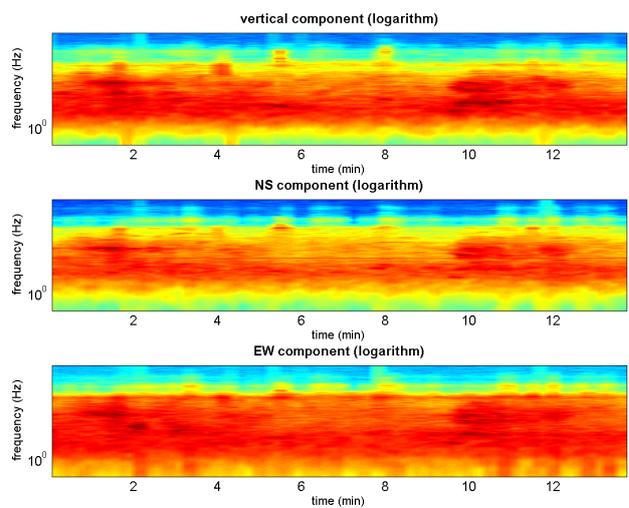
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



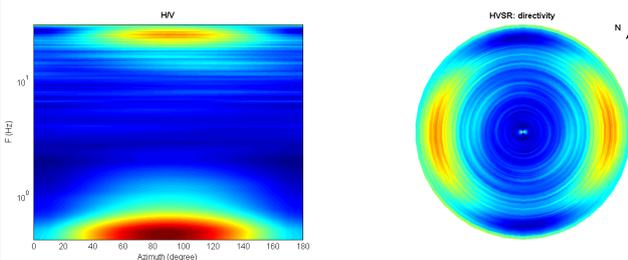
## SERIE TEMPORALE H/V



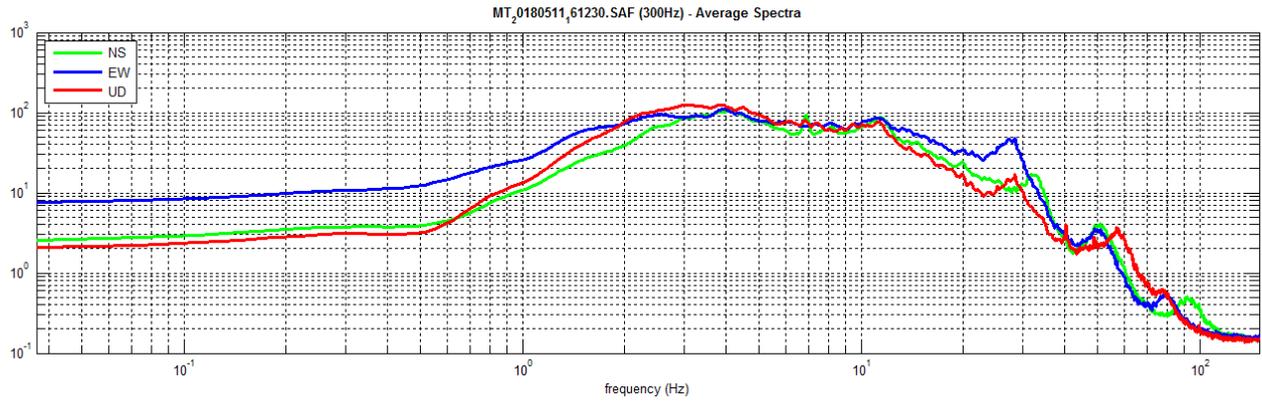
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20180511\_161230.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 14.0

Tapering (%): 10

**In the following the results considering the data in the 0.3-12.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 0.5 (±3.2)

Peak HVSR value: 2.7 (±0.6)

Criteria for a reliable H/V curve

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $0.5 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $851 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5Hz; \sigma_{A(f)} < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1.  $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] | AH/V(f^-) < A_0/2]$ : (NO)
- #2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] | AH/V(f^+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 1.0Hz (OK)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $2.7 > 2$  (OK)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_{A(f)}] = f_0 \pm 5\%]$ : (NO)
- #5.  $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon_{\text{sigma}}(f_0)]$ :  $3.159 > 0.077$  (NO)
- #6.  $[\sigma_{A(f_0)} < \theta_{\text{sigma}}(f_0)]$ :  $0.650 < 2$  (OK)

# 033046P44

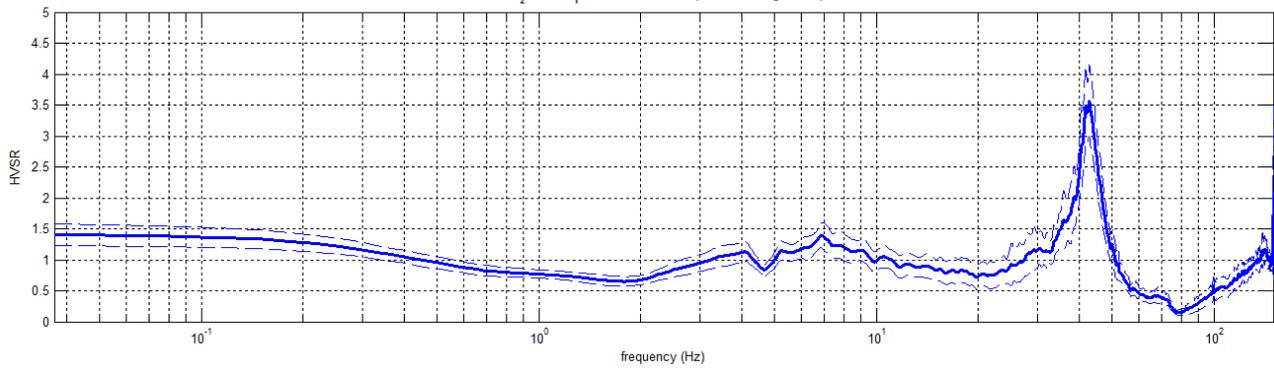
Località: Villanova sull'Arda\_Capoluogo Sud  
 Data acquisizione: 11/05/2018

Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare



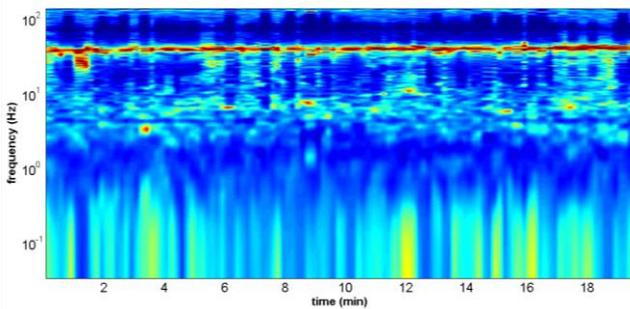
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

MT\_0180511\_75754.SAF - HVSR (window length: 20s)



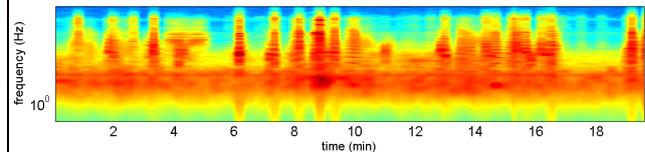
## SERIE TEMPORALE H/V

HVSR vs Time

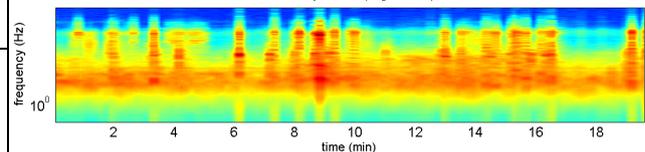


## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI

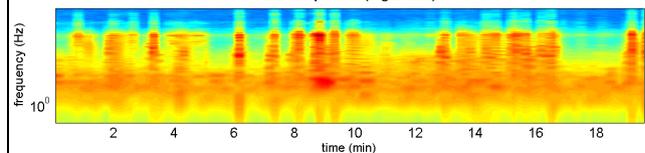
vertical component (logarithm)



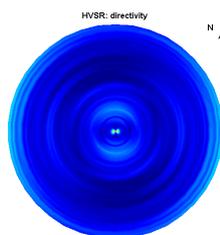
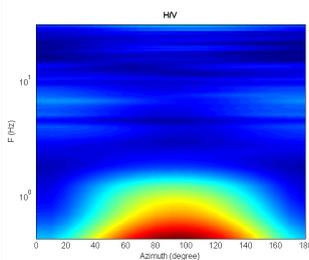
NS component (logarithm)



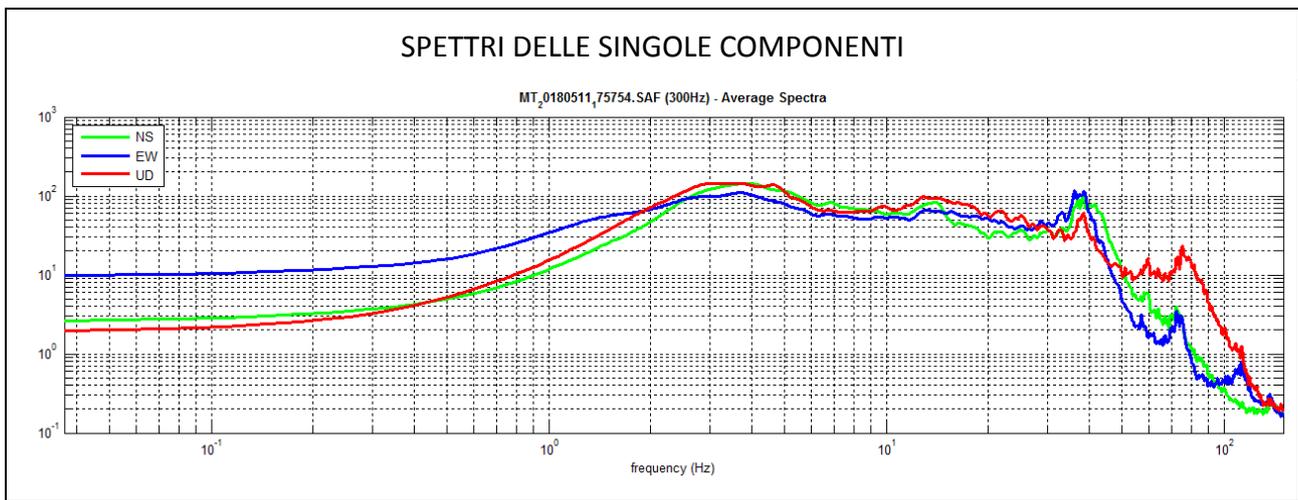
EW component (logarithm)



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



11.3 Prove penetrometriche CPT

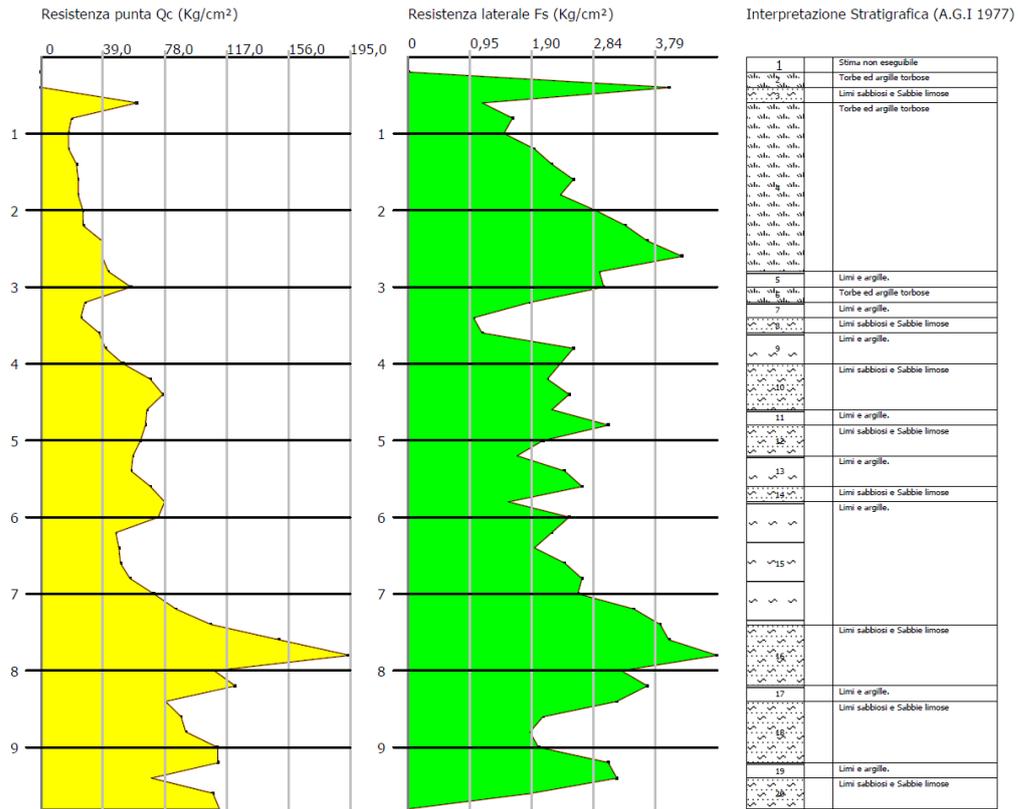
033046P70CPT70

GEOSTRU  
C. COLOMBO  
BIANCO  
WWW.GEOSTRU.COM

Proba CPT - Cone Penetration Nr.1  
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente:  
Cantiere: Microzonazione Sismica  
Località: Sant'Agata

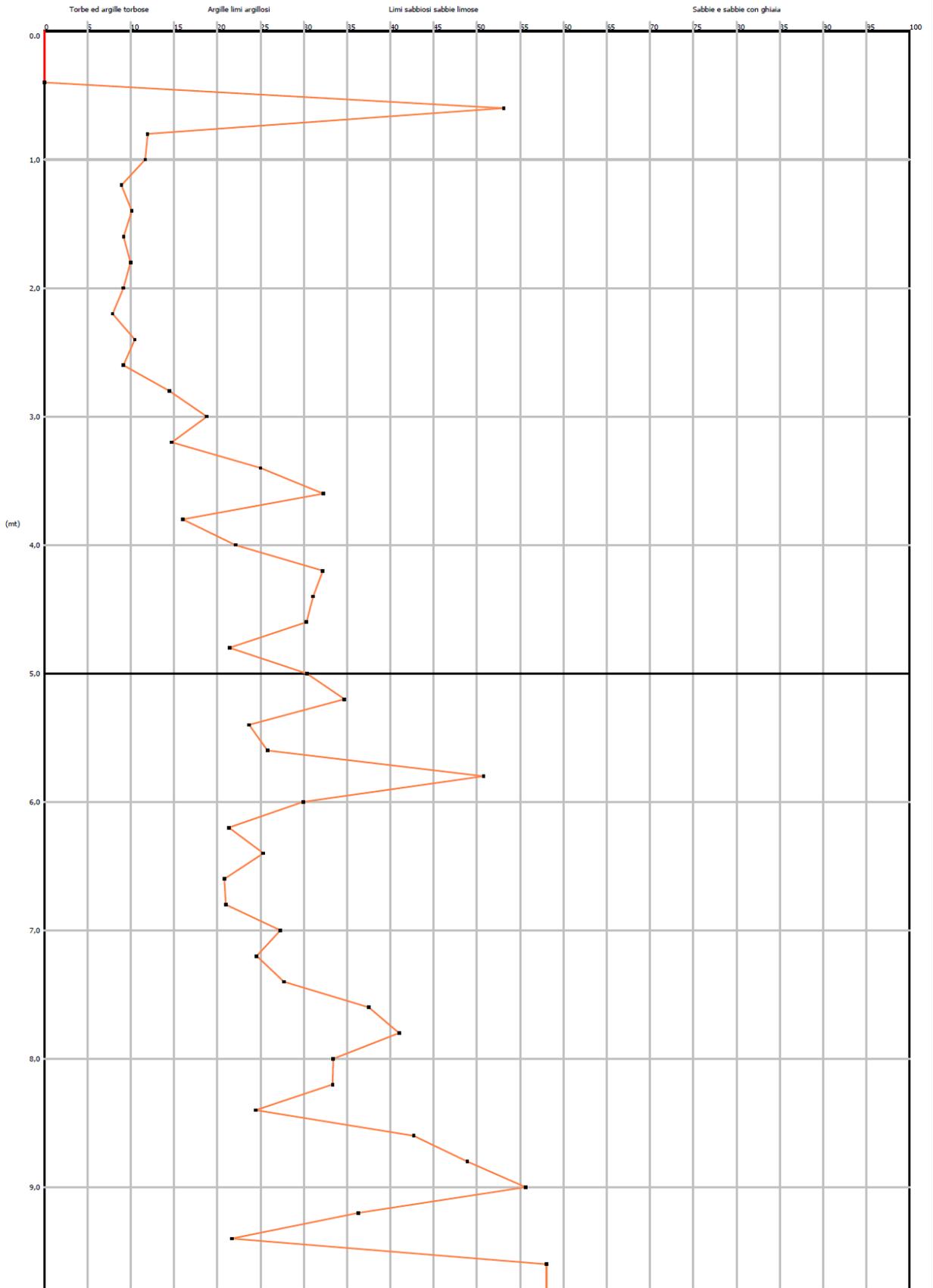
Data: 23/05/2018



Scala profondità 1:75 - Qc: 1 cm=36,59 Kg/cm² - Fs: 1 cm=0,89 Kg/cm² -

GEOSTRU  
C. COLOMBO  
BIANCO

GRAFICO PROFONDITA' / VALUTAZIONI LITOLOGICHE (A.G.I. 1977)  
PROVA: Nr.1



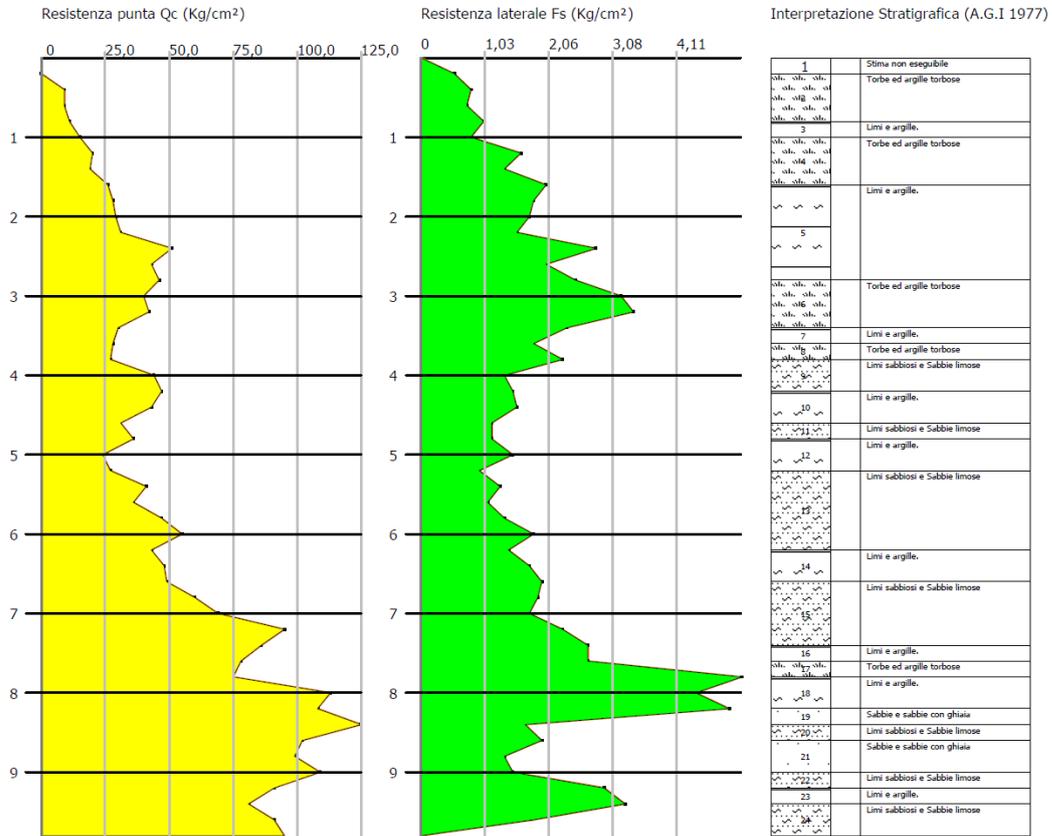
033046P71CPT71

GEOSTRU  
C. COLOMBO  
BIANCO  
WWW.GEOSTRU.COM

Probe CPT - Cone Penetration Nr.3  
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente:  
Cantiere: Microzonazione Sismica  
Località: Cignano

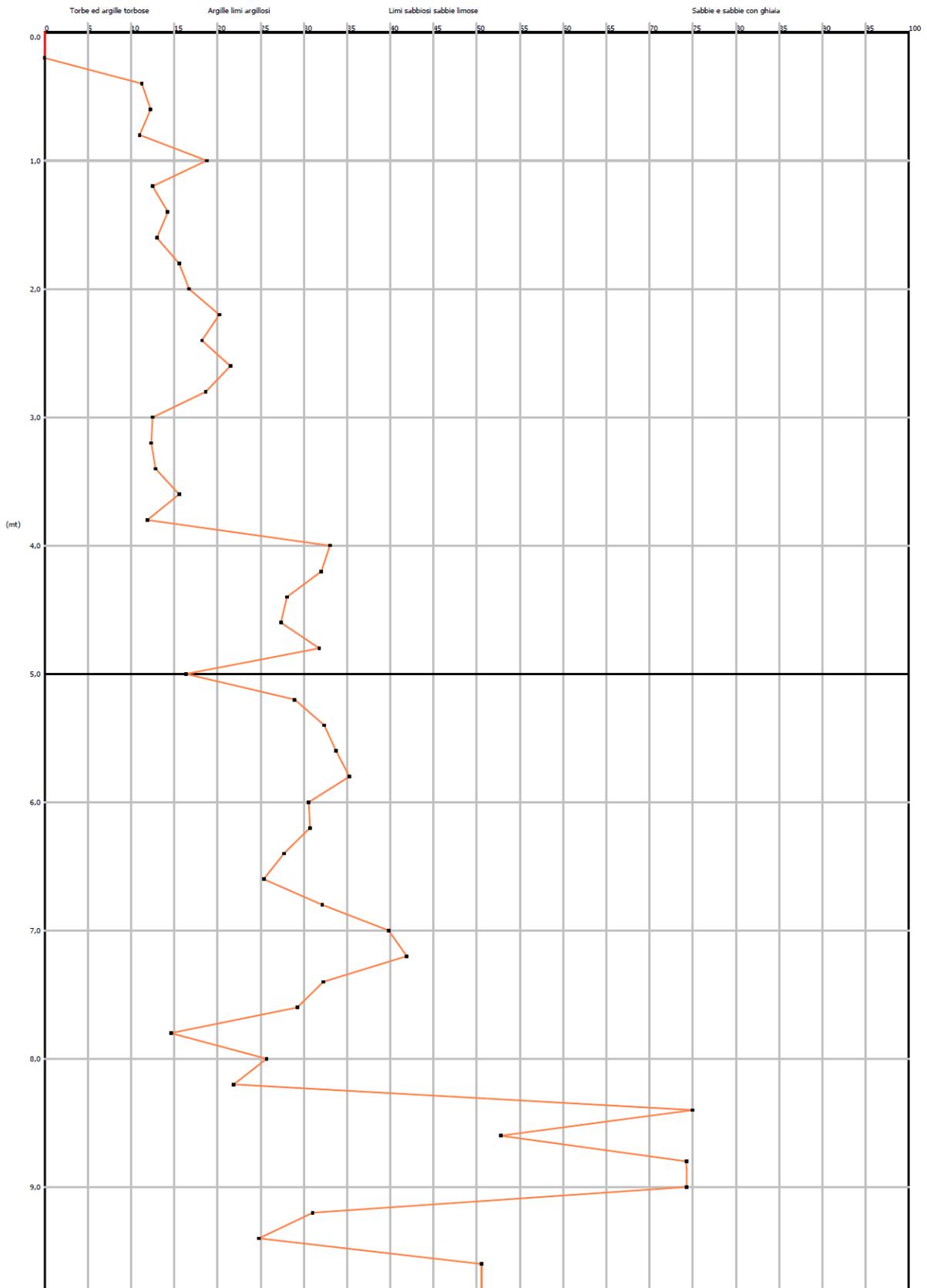
Data: 23/05/2018



Scala profondità 1:75 - Qc: 1 cm=23,45 Kg/cm<sup>2</sup> - Fs: 1 cm=0,96 Kg/cm<sup>2</sup> -

GEOSTRU  
C. COLOMBO  
BIANCO

GRAFICO PROFONDITA' / VALUTAZIONI LITOLOGICHE (A.G.I. 1977)  
PROVA: Nr.3



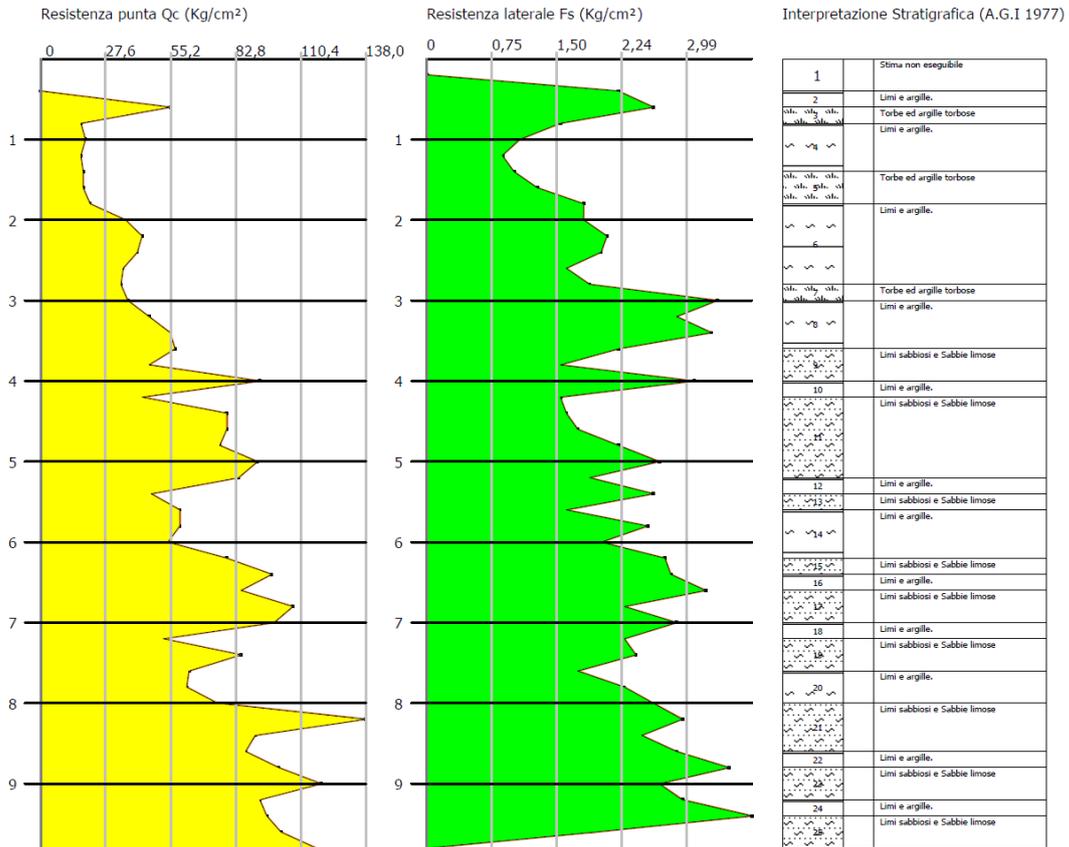
033046P72CPT72

GEOSTRU  
C. COLOMBO  
BIANCO  
WWW.GEOSTRU.COM

Probe CPT - Cone Penetration Nr.2  
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente:  
Cantiere: Microzonazione Sismica  
Località: Soarza

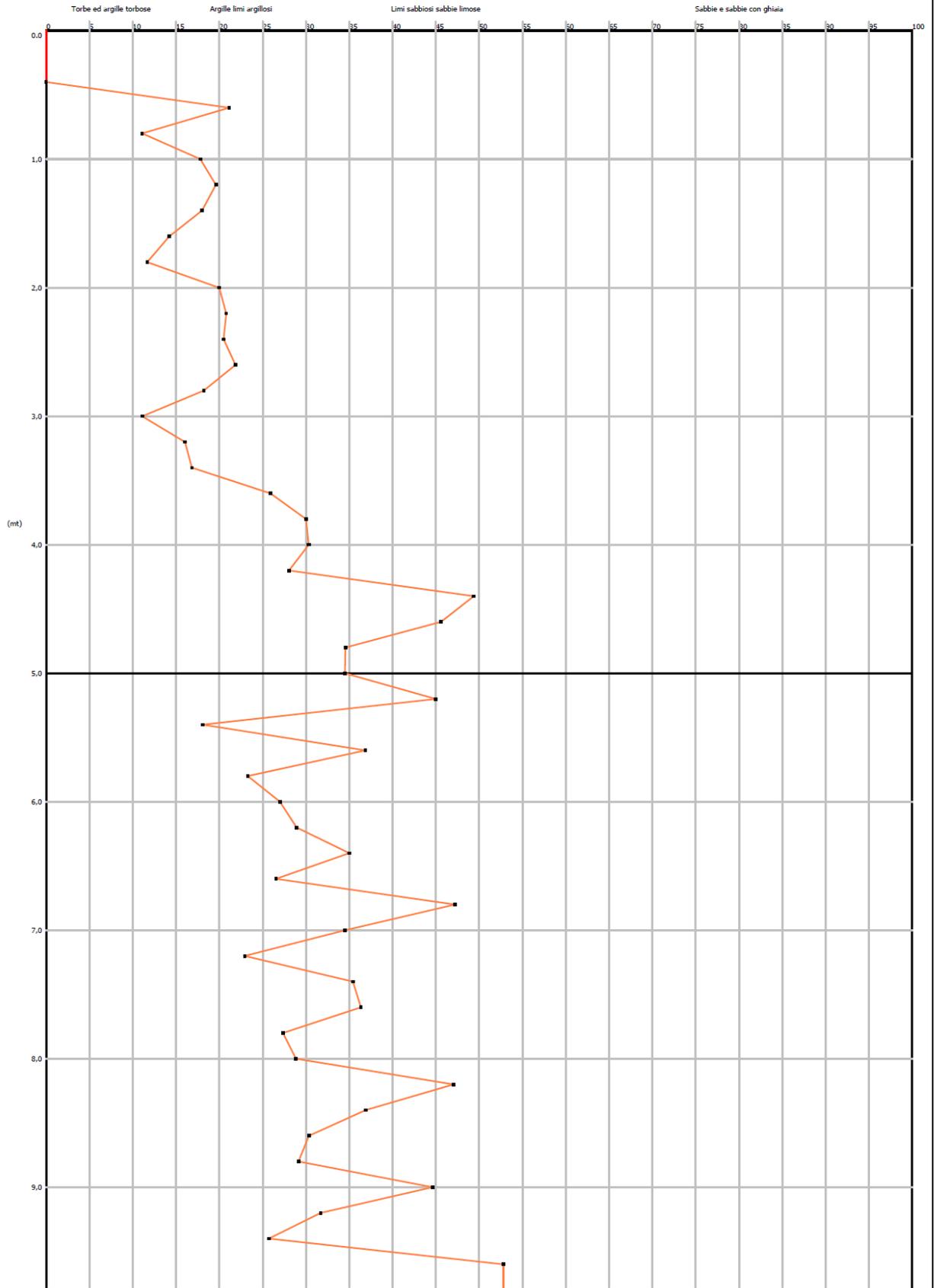
Data: 23/05/2018



Scala profondità 1:75 - Qc: 1 cm=25,89 Kg/cm² - Fs: 1 cm=0,7 Kg/cm² -

GEOSTRU  
C. COLOMBO  
BIANCO

GRAFICO PROFONDITA' / VALUTAZIONI LITOLOGICHE (A.G.I. 1977)  
PROVA: Nr.2



### 11.4 Sezione Geologica

