

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

### Regione Emilia-Romagna

### Comune di Ziano Piacentino



Regione	Soggetto realizzatore	Data
<b>EMILIA-ROMAGNA</b>	<b>Dott. Geol. Paolo Mancioppi</b>  <b><u>Collaboratori:</u></b> Dott. Geol. Filippo Segalini Dott. Geol. Gian Marco Veneziani	<b>Giugno 2023</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	6
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	13
<b>4</b>	<b>Dati geotecnici e geofisici</b>	<b>14</b>
4.1	Indagini geognostiche pregresse	14
4.2	Indagini geognostiche eseguite per la presente microzonazione sismica	14
<b>5</b>	<b>Modello del sottosuolo</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>interpretazioni ed incertezze</b>	<b>18</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	20
8.3	Carta delle frequenze	21
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)	22
8.4.1	Schemi dei rapporti stratigrafici	24
8.5	Carta delle velocità di taglio (Vs)	28
8.6	Carta di microzonazione sismica (livello 2)	28
8.7	Carta H <sub>SM</sub> Scuotimento atteso al sito in valore assoluto	33
<b>9</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>35</b>
<b>10</b>	<b>ALLEGATI</b>	<b>36</b>
10.1	Prove sismiche MASW+HVSR	36
10.2	Prove sismiche HVSR	52

---

**ELENCO ELABORATI**

- Carta delle indagini (scala 1:10.000)
  - Carta delle indagini\_stralci (scala 1:5.000)
  - 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 (Vs) (scala 1:10.000)
  - Carta di microzonazione sismica (livello 2) (scala 1:10.000)
    - FA P.G.A
    - FA SA1  $0.1s \leq T \leq 0.5s$
    - FA SA2  $0.4s \leq T \leq 0.8s$
    - FA SA3  $0.7s \leq T \leq 1.1s$
    - FH SI1  $0.1s < T < 0.5s$
    - FH SI2  $0.5s < T < 1s$
  - Carta  $H_{SM}$  0.1s-0.5s (scala 1:10.000)
  - 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. 566/2021 "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 4.1, Roma – Novembre 2018 - 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")
- ✓ D.G.R. n. 476/2021, integrata con D.G.R. n. 564/2021 (da qui in avanti definiti "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.

. 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:

- Albareto
- Calcinara
- Case Piccioni
- Crosignano
- Fornello
- Montalbo
- Monte Cucco
- Paradiso
- Seminò
- Vicomarino
- Vicobarone
- Ziano Piacentino capoluogo.

Il comune di Ziano P.no confina con i seguenti comuni: Borgonovo Val Tidone, Castel San Giovanni, Alta ValTidone in provincia di Piacenza e Rovescala e Santa Maria della Versa in provincia di Pavia.

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 Ziano Piacentino 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 Ziano P.no è pari a **0.096g**. La magnitudo massima ( $M_{wmax}$ ) attesa nel comune (compreso all'interno delle zone sismogenetiche 911) e riportata negli ICMS (2008), è stimata pari 6.14.

Il territorio comunale di Ziano Piacentino si colloca nella media collina occidentale piacentina ed è interessato dal passaggio di quattro torrenti/rii principali e precisamente:

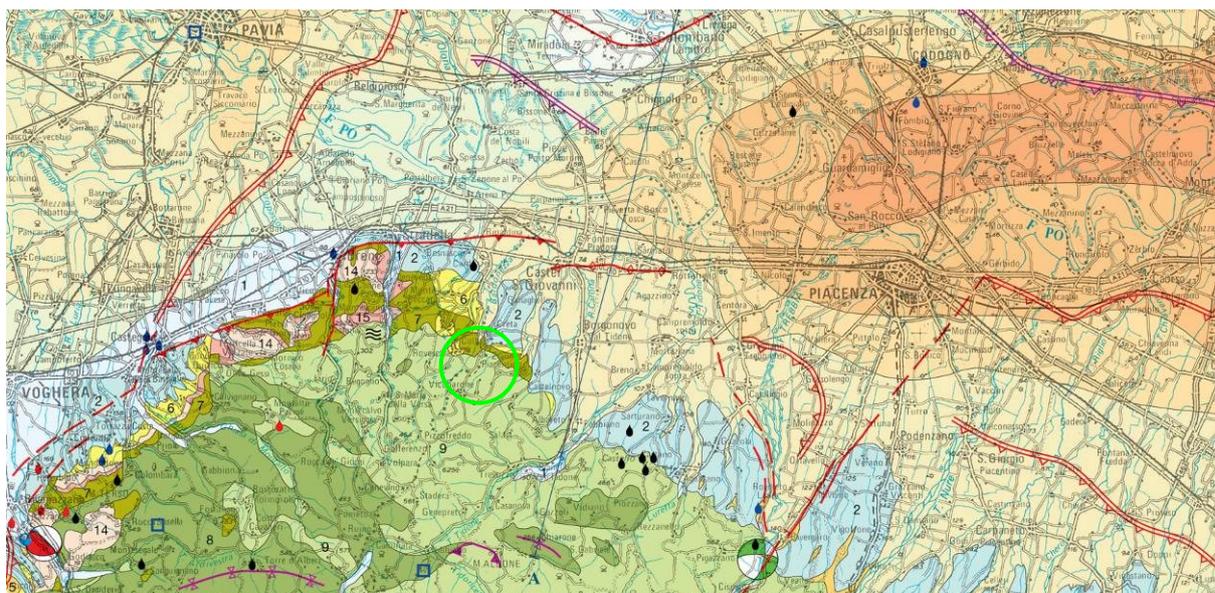
- Rio Lora la cui lunghezza nel territorio comunale è di circa 7 Km, ha un andamento nord-sud e possiede un alveo in parte meandriforme;
- Rio del Volto la cui lunghezza nel territorio comunale è di circa 5 Km, ha un andamento prevalente nord-sud e sudovest-norddest e possiede un alveo in parte meandriforme;
- Rio Corona la cui lunghezza nel territorio comunale è di circa 5 Km, ha un andamento prevalente nord-sud e sudovest-norddest e possiede un alveo in parte meandriforme;
- Torrente Galdora la cui lunghezza nel territorio comunale è di circa 4 Km, ha un andamento prevalente nordovest-sudest e possiede un alveo in parte meandriforme;

I lineamenti morfologici che caratterizzano l'area comunale sono così determinati in principal modo dalla presenza dalle valli dei torrenti e dei rii che scorrono in direzione all'incirca Sudovest-Norddest e Sud-Nord . Per quanto riguarda le quote topografiche del territorio risultano comprese tra la quota 458 m s.l.m. e la quota di 110 m s.l.m.

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

Il territorio del comune di Ziano P.no (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*).



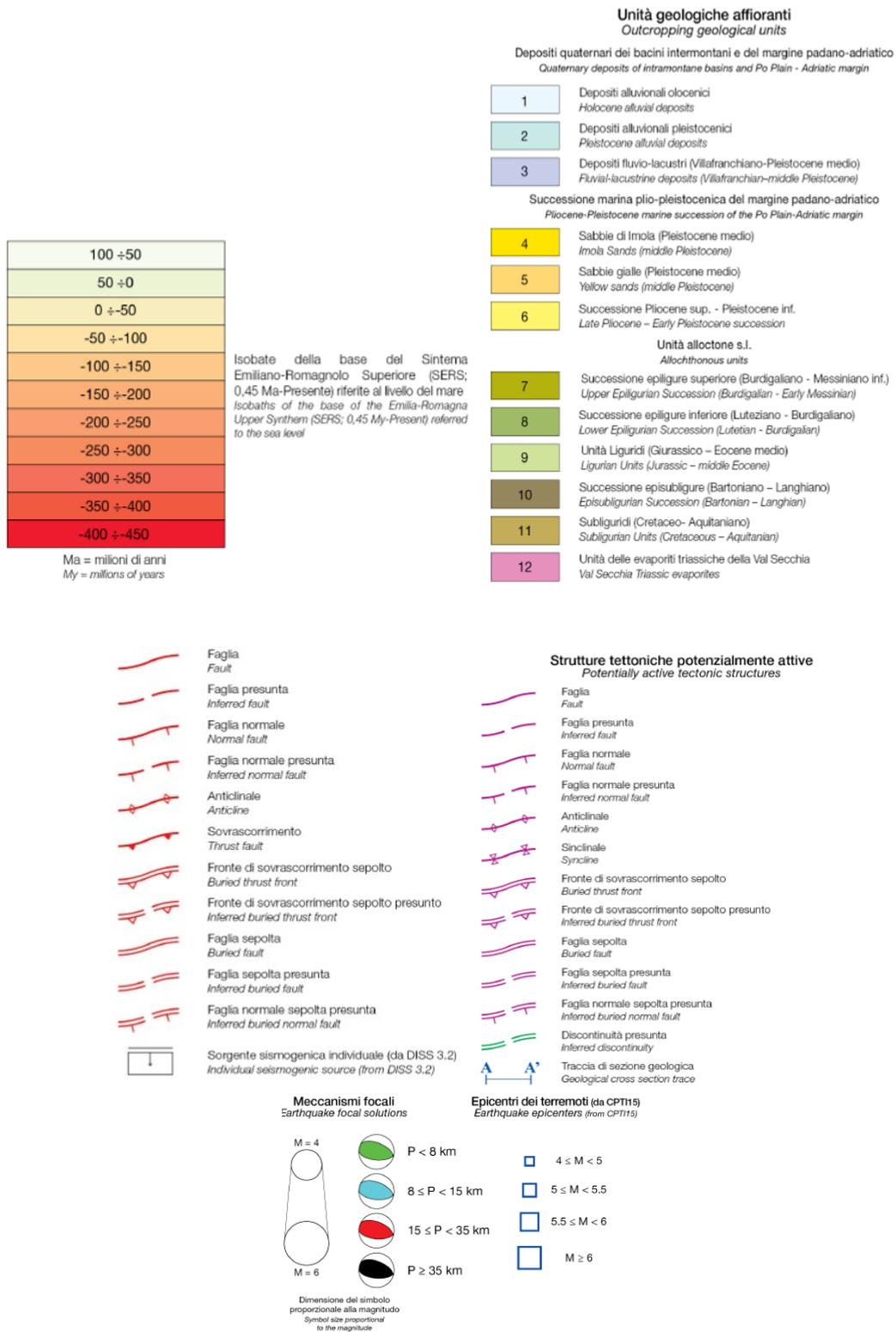


Figura 2.1. Estratto dalla "Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna e aree limitrofe" (2017) con indicazione del territorio comunale.

## 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 Ziano Piacentino, nella nuova zonazione ZS9, rientra nella zona **911** ed è limitrofo 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 (NTC2018) 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 Ziano Piacentino ricade in zona sismogenetica con meccanismi di rottura prevalentemente di tipo inverso (thrust fault) e trascorrente (strike slip fault).

<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

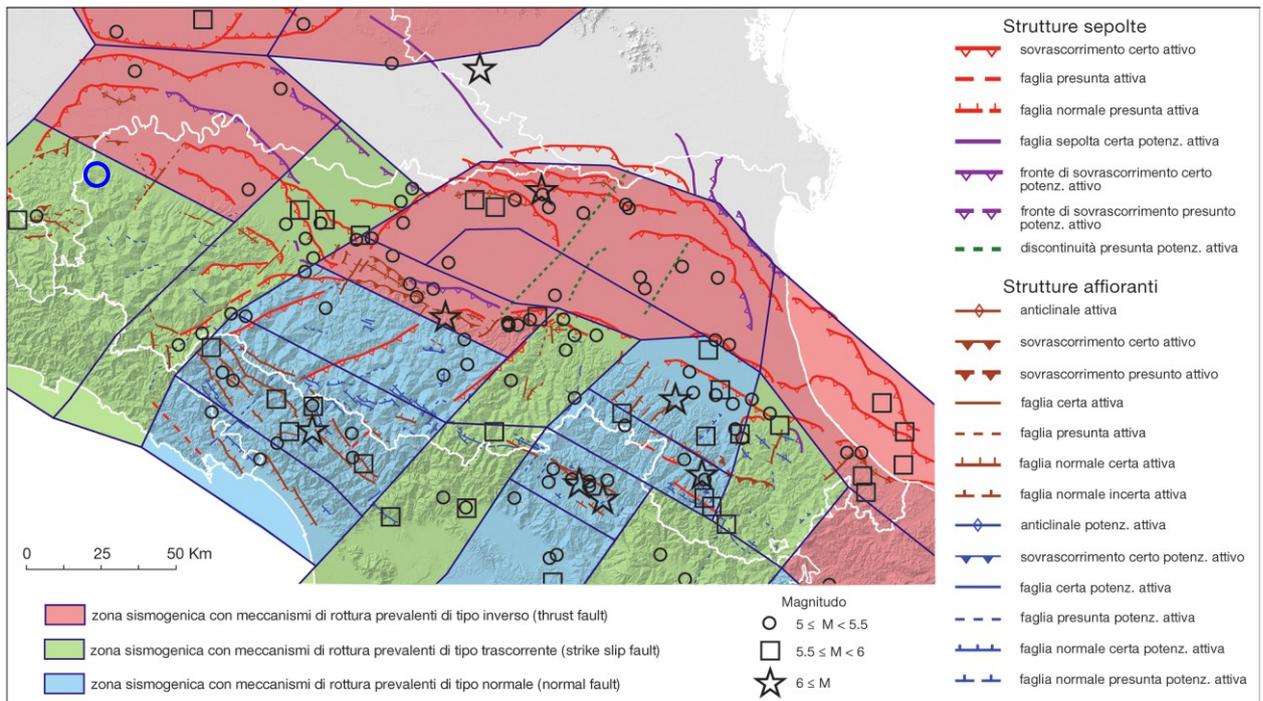


Figura 2.2. Mappa di confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute e la zonazione sismogenetica proposta da Martelli et al. (2017).

### 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).

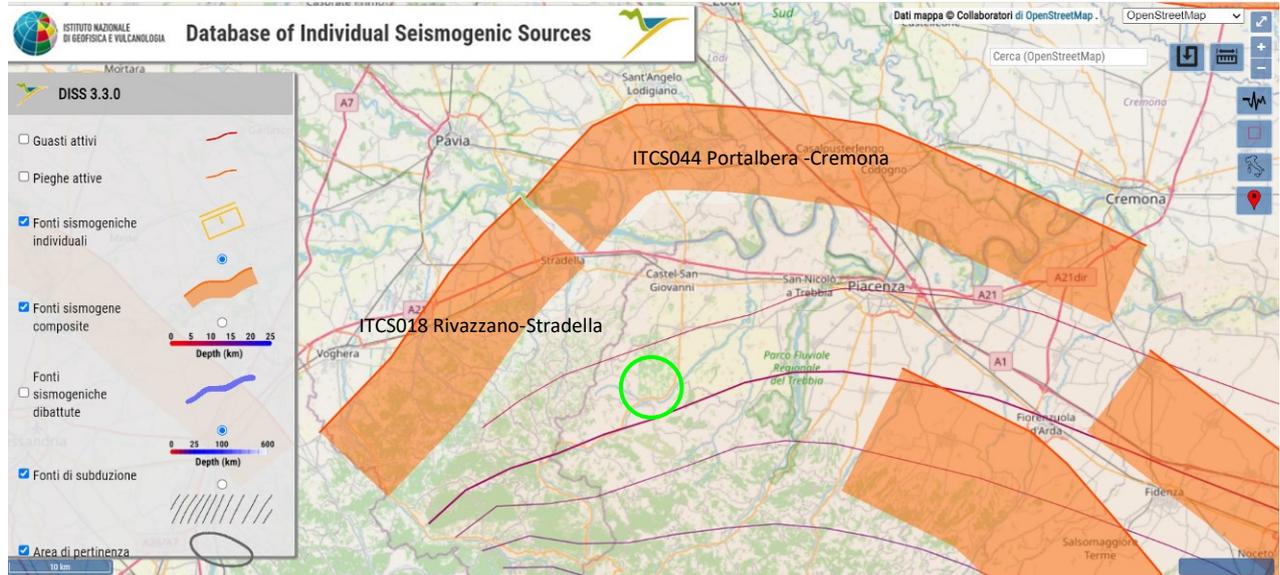
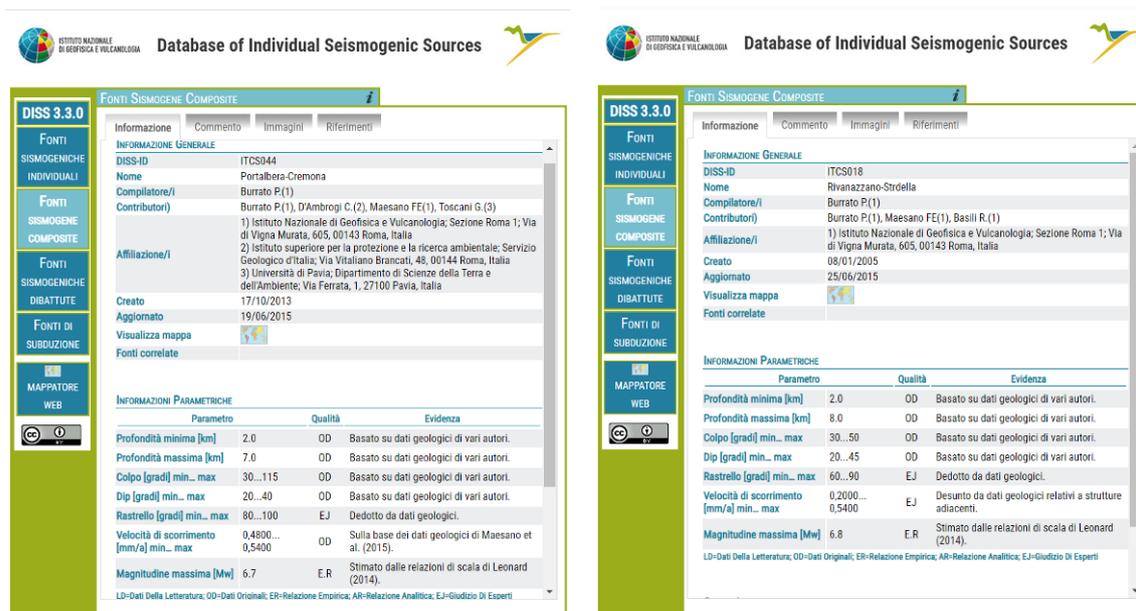


Figura 2.3. Mappa sorgenti sismogenetiche in cui si evidenzia la ITCS044\_Portalbera-Cremona e la ITCS018\_Rivazzano-Stradella. In cerchiato verde il comune di Ziano Piacentino.

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 **ITCS018** "Rivazzano – Stradella".

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



## 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. 45.021** e **long. 9.949**) sono stati identificati **472** eventi significativi dei quali si riporta l'ubicazione nella figura seguente; l'evento principale presenta una Intensità massima  $I_{max}$  pari a 8 nelle località di Gaminella e San Paolo, in provincia di Pavia e nella città di Piacenza.

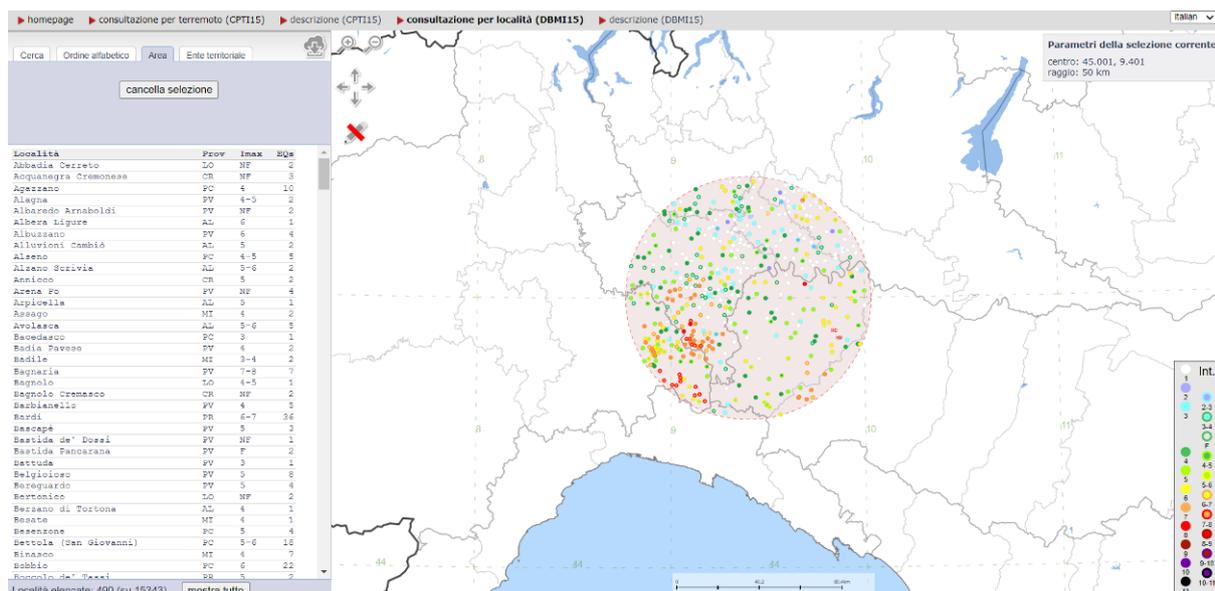
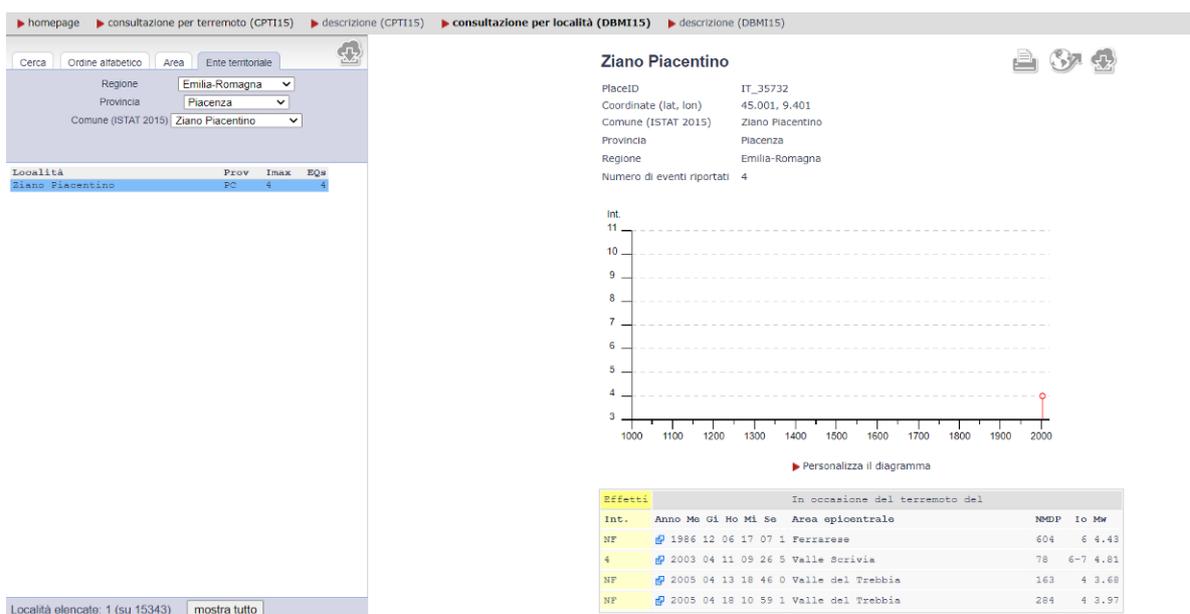


Tabella 2.1. Estratto dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani, terremoti con epicentro compreso in un raggio di 50Km dal centro abitato di Ziano Piacentino.

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



Si segnala in particolare il terremoto del 11/04/2003 di magnitudo 4.81 con epicentro in Valle Scrivia.

### 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 Pieghie 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.

L'edificio Appennino, come già affermato, nasce in un contesto tettonico a stile compressivo nel quale le spinte orogenetiche attive dal terziario basso fino ai giorni nostri, quasi esclusivamente in ambiente sottomarino, hanno comportato un notevole raccorciamento crostale. Concettualmente il processo di strutturazione è sintetizzabile nella dislocazione e deformazione di potenti ammassi rocciosi, secondo un modello generale a falde di ricoprimento. Si tratta della sovrapposizione multipla (dall'inglese Thrusts) di sequenze sedimentarie ed ignee (in modo subordinato), staccatesi dal substrato oceanico di formazione e traslate e giustapposte verso nord est, in rapporto all'azione delle spinte orogenetiche. Nel dettaglio la strutturazione dell'Appennino si compone di una serie di unità alloctone (Liguridi interne ed esterne e Subliguridi) che ricoprono con contatti di natura chiaramente tettonica un substrato costituito da una serie di unità autoctone (Unità della Falda Toscana, Unità di PracchiolaBobbio-Cervarola e Cervarola e Unità padano adriatiche). In posizione superiore, sopra le Liguridi, si collocano le unità pseudo-autoctone della Successione Epiligure M. Piano – Bismantova (Epiligure e bacino terziario piemontese) e le successioni neoautoctone del margine appenninico.

L'edificio strutturale del Comune di Ziano, situato sul margine morfologico dell'Appennino settentrionale sull'antistante pianura padana, si compone di una serie di unità alloctone, appartenenti sia alla successione cretaceo-eocenica sia alla successione eo-miocenica (Epiliguri). In posizione settentrionale le unità alloctone sono ricoperte dalle successioni del "Neoautoctono".

### 3.2 Stratigrafia comunale

I depositi affioranti nell'area in esame sono stati suddivisi dal Servizio Geologico Regionale in due Domini noti come:

1. Dominio Padano Adriatico: si tratta di quella serie di unità cosiddette "Neoautoctoni", ovvero sedimentati posteriormente alle principali fasi orogenetiche dell'Appennino Settentrionale; hanno carattere regressivo, con sabbie e peliti torbiditiche alla base, seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali; nei profili sismici si riconosce una sola direzione di progradazione nordest-vergente, originata dai sistemi deltizi ad alimentazione appenninica;
2. Dominio Epiligure: unità alloctone sedimentate e giustapposte durante il primo stadio compressivo nei bacini strutturali in neoformazione;
3. Dominio Ligure: unità alloctone, collocate al tetto della catena appenninica, sedimentate precedentemente alla collisione continentale tra la placca europea e la placca africana e giustapposte durante il primo stadio compressivo.

1. Dominio Padano Adriatico:

ALLOFORMAZIONE EMILIANO ROMAGNOLA SUPERIORE (AES) Unità alluvionale prevalentemente grossolana, di età Pleistocene medio - Olocene: è costituita nell'area in esame da depositi alluvionali intravallivi terrazzati. Il limite di tetto è rappresentato dalla superficie topografica, mentre il contatto di base è netto e discordante sull'Alloformazione EmilianoRomagnola Inferiore e su tutte le altre unità. Nell'area in esame l'Alloformazione emiliano-romagnola superiore è rappresentata dagli allomembri di seguito descritti.

1. **Allomembro di Ravenna AES8** (Pleistocene superiore - Olocene; post circa 20.000 anni B.P.). Lo spessore massimo dell'unità è di circa 20 metri. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri allomembri e sulle unità più antiche. Su base morfologica, archeologica e pedostratigrafica è distinta, all'interno dell'Allomembro di Ravenna, l'Unità di Modena e l'unità Idice.

– Unità Idice (Intervallo temporale compreso tra i 20 - 18.000 e i 1.500 anni fa). Nelle zone di conoide alluvionale è costituito da depositi prevalentemente ghiaiosi, strutturati in spessi corpi a geometria cuneiforme e organizzati in cicli elementari a base grossolana e tetto fine, mentre nelle zone d'interconoide è costituito principalmente da alluvioni sabbiose e limoargillose solcate localmente da canali di ghiaie. Nei bacini vallivi dell'area collinare l'Allomembro di Ravenna è costituito da ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi.

– Unità di Modena AES8a (Olocene; post IV-VII sec. d.C.). Nelle zone di conoide alluvionale l'unità Modena caratterizza i depositi terrazzati più bassi, e quindi più recenti, che bordano i principali corsi d'acqua. E' costituita da una successione prevalentemente ghiaiosa, con intercalazioni sabbiose, a giacitura suborizzontale e geometria lenticolare ricoperte da una coltre limoso-argillosa discontinua. Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri.

2. **Allomembro di Agazzano (AES3)** (Pleistocene medio). Nelle zone di conoide alluvionale e nei bacini intravallivi terrazzati la successione stratigrafica è costituita da ghiaie e ghiaie sabbiosoargillose prevalenti. Nelle zone d'interconoide la successione stratigrafica è costituita da sabbie e limi argillosi, con subordinati livelli di ghiaie, localmente stratificati. I depositi intravallivi sono generalmente costituiti da un intervallo basale con ghiaie prevalenti, sovrastato da un intervallo fine, limoso-argilloso. I depositi di conoide ghiaiosa, distali, invece, presentano comunemente un livello fine di spessore metrico alla base dell'unità. Spessore variabile da alcuni metri a 30 metri (nel sottosuolo della pianura).

3. **Allomembro di Maiatico AES2** (Pleistocene medio). Nei bacini intravallivi terrazzati l'unità è costituita da cicli positivi plurimetrici, stratigraficamente giustapposti, formati da un intervallo basale grossolano a ghiaie clasto-sostenute, con matrice sabbioso-limosa, e da un intervallo superiore prevalentemente fine, massivo, di colore grigiastro, giallognolo all'alterazione, con intercalate localmente sabbie e ghiaie di spessore massimo pari a 2 metri. Nelle zone di conoide alluvionale i cicli positivi si trasformano gradualmente in cicli negativi che si sovrappongono stratigraficamente e nei quali l'intervallo basale argilloso-limoso e quello sovrastante ghiaioso mostrano una debole o assente alterazione pedogenetica.

ALLOFORMAZIONE EMILIANO ROMAGNOLA INFERIORE (AEI) Unità alluvionale di piana alluvionale e localmente di conoide alluvionale distale del Pleistocene inferiore – Pleistocene medio non affiorante nell'area in esame. Tale unità è costituita da limi e limi argillosi prevalenti di colore grigio-azzurro, talora con screziature giallo-ocracee di ossidazione, con intercalazioni ghiaiose le quali, in corrispondenza dei paleo-apparati fluviali principali possono diventare predominanti. Sono frequenti i livelli ricchi in sostanza organica (prevalentemente frustoli carboniosi) e con presenza di gasteropodi continentali: depositi. Lo spessore complessivo varia da 0 a 60 m circa. Il contatto di base è netto e discordante, talora erosivo, sull'Allogruppo Quaternario Marino. L'unità nell'area in esame è rappresentata unicamente dall'ALLOFORMAZIONE DI COSTAMEZZANA CMZ (Pleistocene inferiore). E' costituita grossolanamente da 3 associazioni di facies, sovrapposte ciclicamente e giustapposte, che individuano,

nel complesso, un prisma sedimentario costiero con tendenza regressiva e progradante verso nord, nord-ovest. – Sabbie e ghiaie argillose in strati spessi, frequentemente gradati e amalgamati, con intercalati livelli argillosi sottili, discontinui, biancastri, sterili, alternate a banconi argilloso-limosi con livelli ricchi in resti vegetali lignitizzati: depositi prossimali di delta-conoide. – Sabbie medio-fini in strati sottili e medi con laminazione piano-parallela oppure di tipo hummocky, intercalate a limi argillosi verdi, debolmente bioturbati, contenenti talora macrofaune oligotipiche: depositi lagunari. – Sabbie, sabbie ghiaiose e subordinatamente ghiaie ciottolose in strati massivi o con una gradazione diretta poco sviluppata e comunque sovente mascherata dalle frequenti amalgamazioni tra strati successivi che possono inglobare clasti pelitici di dimensioni anche metriche. Frequenti anche la stratificazione obliqua a grande scala e le laminazioni trattive. La matrice delle ghiaie è costituita sempre da sabbia medio grossolana: depositi di delta-conoide ad alta energia fluviale e marina. Lo spessore complessivo varia da 0 a 400 m circa. Il contatto di base è erosivo o netto e discordante sulle unità più antiche.

## 2. Dominio Epiligure:

**Formazione di Cigarello:** unità del Serravalliano rappresentata nell'area in esame dalla litofacies arenacea. Affiora in finestra tettonica nel bacino vallivo del Rio Lora all'altezza della località Vicomarino. Si tratta di arenarie micacee medie e fini, grigie, ricche in foraminiferi, debolmente cementate e fratturate, inglobanti clasti molli di argilla grigio-verdastra. Contatto basale non affiorante.

**Formazione del Termina:** unità del Tortoniano affiorante nel settore più settentrionale del margine morfologico Appenninico interessato dal Comune di Ziano. Si tratta di marne e marne argillose grigie, debolmente siltose e laminate sedimentate in ambiente emipelagico di bacino profondo. Si intercalano localmente sottili letti arenitico-siltosi.

**Formazione di Antognola:** Unità del Rupeliano terminale – Aquitaniano affiorante nel fondo valle del Rio Corona all'altezza della località Semino. Si tratta di Marne argillose, marne siltose e siltoso-arenacee verdognole o grigie con patine manganesifere. La stratificazione è difficilmente percepibile. Sono presenti livelli torbiditici sottili e medi. La potenza totale della formazione varia da pochi metri a oltre 500 metri.

## 3. Dominio Ligure:

**Formazione della Val Luretta:** unità del Paleocene inf. - Eocene medio rappresentata nell'area in esame unicamente dal Membro di Monteventano (Thanetiano – Ypresiano). Affiora estesamente in tutto il settore meridionale e centrale del territorio comunale di Ziano. L'unità formatasi in ambiente di bacino relativamente profondo è costituita da alternanze decametriche di pacchi di strati medi arenaceo-pelitici (arenarie medie e fini, grigie, talora ricche in frustoli carboniosi e marne siltose nocciola) e di pacchi prevalentemente calcareo marnosi in strati medi e spessi, più frequenti verso il tetto del membro (calcarei micritici grigio-biancastri e marne e marne calcaree grigio chiare, con locali intercalazioni di arenarie grigie). Lo spessore del membro valutabile in 230 m circa.

### 3.3 Assetto geomorfologico

La pianura pedemontana, nell'ambito geografico in esame, è costituita dalla coalescenza dei sistemi di conoide alluvionale di rango inferiore del Rio del Volto e del Rio Lora. Il paesaggio, nel suo complesso, è contraddistinto dai seguenti aspetti: - I corsi d'acqua presentano un andamento molto sinuoso, talora meandriforme, e scorrono nelle aree topograficamente inferiori; - I corsi d'acqua nella zona sud sono impostati in ampie depressioni vallive le quali procedendo verso valle si riducono a contenute incisioni nel piano campagna; - le zone perifluviali comprese tra i suddetti corsi d'acqua sono caratterizzate da vari ordini di terrazzi fluviali impostati a quote gradualmente superiori, esprimendo un'età di formazione progressivamente più antica; - le superfici di tali terrazzi fluviali sono generalmente sub-pianeggianti con deboli ondulazioni a seguito delle incisioni prodotte dalla rete idrica secondaria, e digradano leggermente verso N-NE con pendenze medie pari a 0,5 – 1,0%; - le superfici di terrazzo, verso il lato fiume, sono interrotte lateralmente da scarpate di alcuni metri (orli di terrazzi fluviali) o da sensibili aumenti di pendenza; verso monte gli orli di terrazzo affiorano con sufficiente continuità, mantenendo

un andamento circa parallelo all'asta fluviale, mentre verso la pianura a crescita verticale si riducono progressivamente fino a dileguarsi completamente; Le caratteristiche stratigrafico - sedimentologiche della pianura pedemontana sono tipiche dei corsi d'acqua con le seguenti qualità specifiche: medio - alto trasporto solido totale; medio - alto rapporto tra trasporto solido al fondo e trasporto solido totale, granulometria grossolana, medio - bassa sinuosità; medio - alto rapporto tra larghezza e profondità del talweg; medio – alta pendenza del talweg.

Gli attuali corsi d'acqua principali, allo stato attuale non presentano le suddette caratteristiche, perché dal Pleistocene superiore, durante le glaciazioni, ai giorni nostri hanno subito una generale perdita di competenza. In passato essi, per effetto delle condizioni climatiche glaciali e quindi più umide con abbondanti precipitazioni, presentavano alvei più grandi con maggiore energia. Nell'Olocene invece, a seguito del miglioramento climatico l'attività dei corsi d'acqua è progressivamente scemata, determinando l'evoluzione dell'alveo fluviale verso forme maggiormente in equilibrio con la cadente morfologica e la natura dei sedimenti affioranti. 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 %.

#### **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.

Le indagini reperite sono le seguenti:

- 27 prove penetrometriche (11 delle quali eseguite con penetrometro statico, 5 con penetrometro superpesante e 11 con penetrometro dinamico medio);
- 2 sondaggi,
- 6 MASW,
- 13 registrazioni HVSR,
- 17 trincee esplorative,
- 3 indagini sismiche a rifrazione,
- 2 tomografie elettriche.

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

Ad integrazione dei dati reperiti è stata eseguita una campagna di indagini volta all'integrazione soprattutto dei dati geofisici. In particolare, sono state eseguite 6 sismiche tipo MASW + HVSR. Per tutte le indagini eseguite sono riportati in allegato i rapporti di prova.

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 VS (Dal Moro, 2010; 2011). A causa della pesante non-univocità della soluzione una modellazione del solo HVSR senza quantitative informazioni sulle VS 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 6 prove Masw+HVSR sono state eseguite rispettivamente nei pressi degli abitati di:

- Ziano P.no
- Seminò
- Albareto
- Vicomarino
- Montalbo
- Fornello

Ziano Piacentino

Il valore di  $V_{s,H}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 215 m/s con H pari a 18 m. Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna è risultato pari a 283 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.

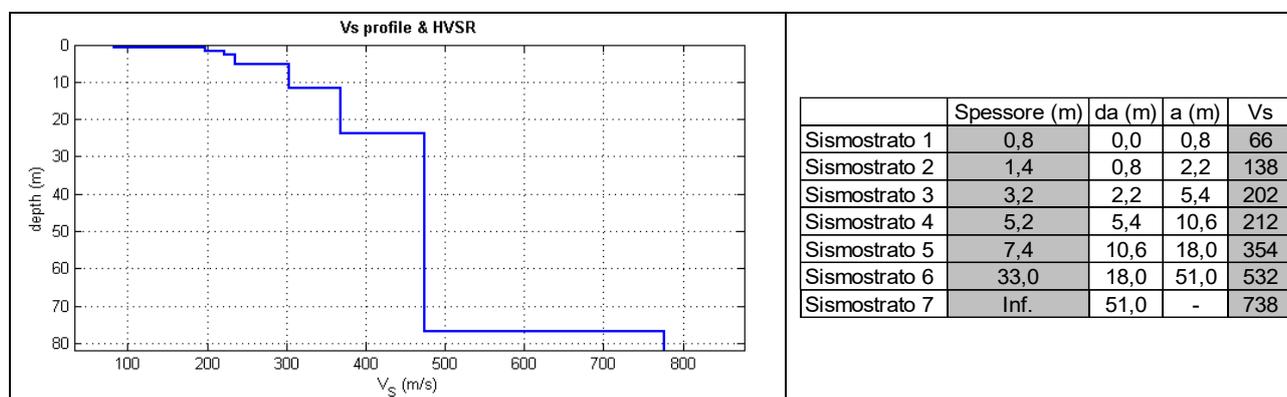


Figura 4.1. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di Vs.

Seminò

Il valore di  $V_{s,H}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 312 m/s con H pari a 20.8 m. Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna è risultato pari a 349 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.

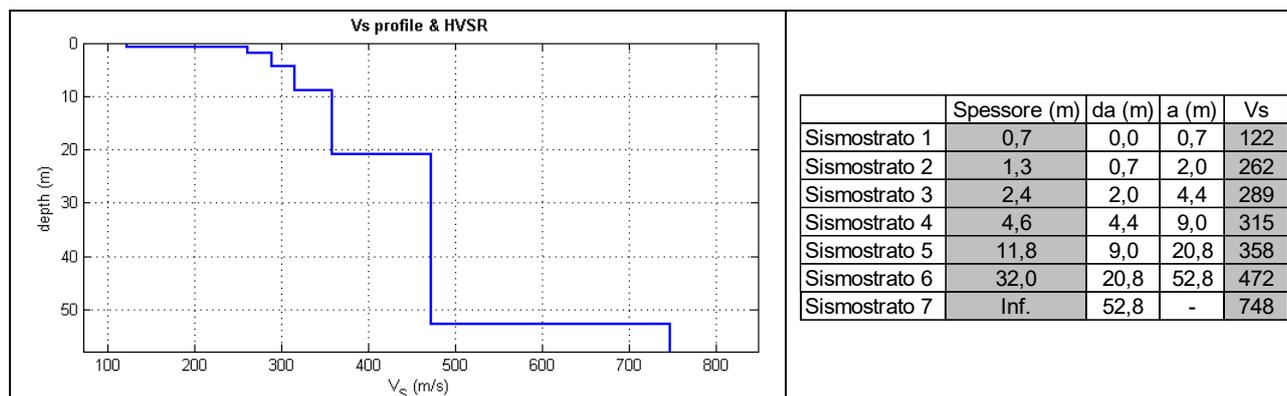


Figura 4.2. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di Vs.

Albareto

Il valore di  $V_{s,H}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 275 m/s con H pari a 20.3 m. Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna è risultato pari a 319 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.

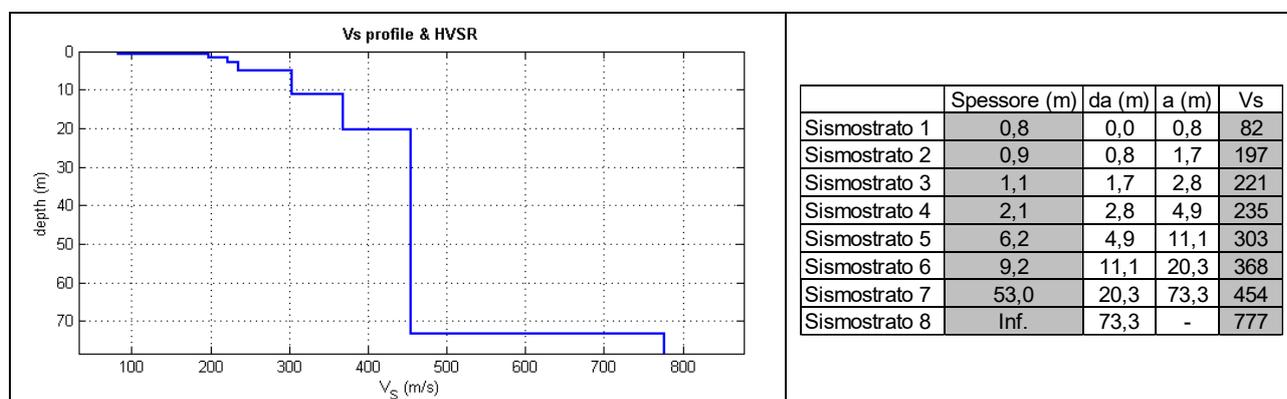


Figura 4.3. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di Vs.

Vicomarino

Il valore di  $V_{s,H}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 312 m/s con H pari a 17.7 m. Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna è risultato pari a 377 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.

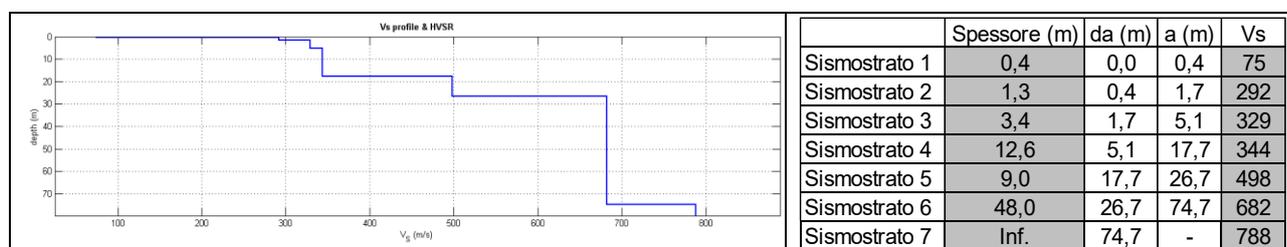


Figura 4.4. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di Vs.

Montalbo

Il valore di  $V_{s,H}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 189 m/s con H pari a 9.7 m. Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna è risultato pari a 319 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.

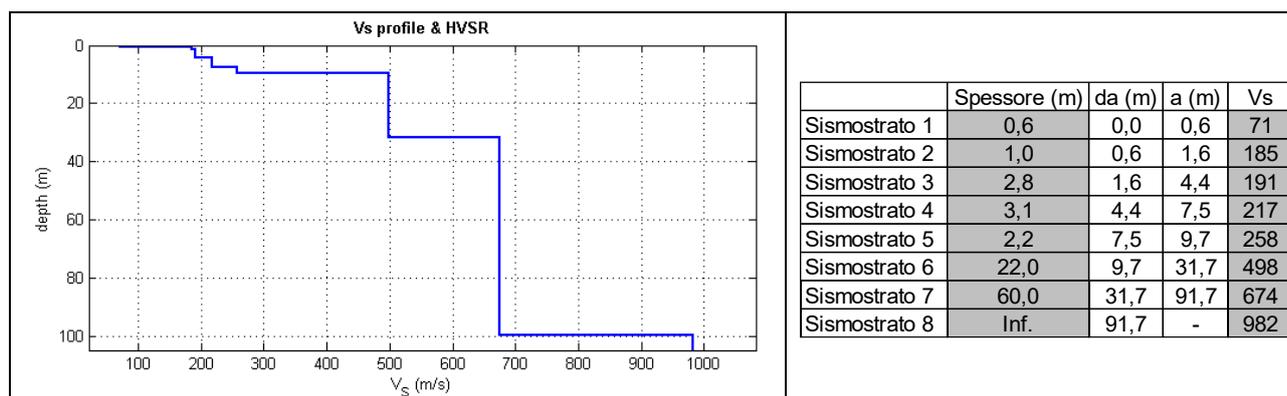


Figura 4.5. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di Vs.

**Fornello**

Il valore di  $V_{s,H}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 206 m/s con H pari a 20.8 m. Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna è risultato pari a 244 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.

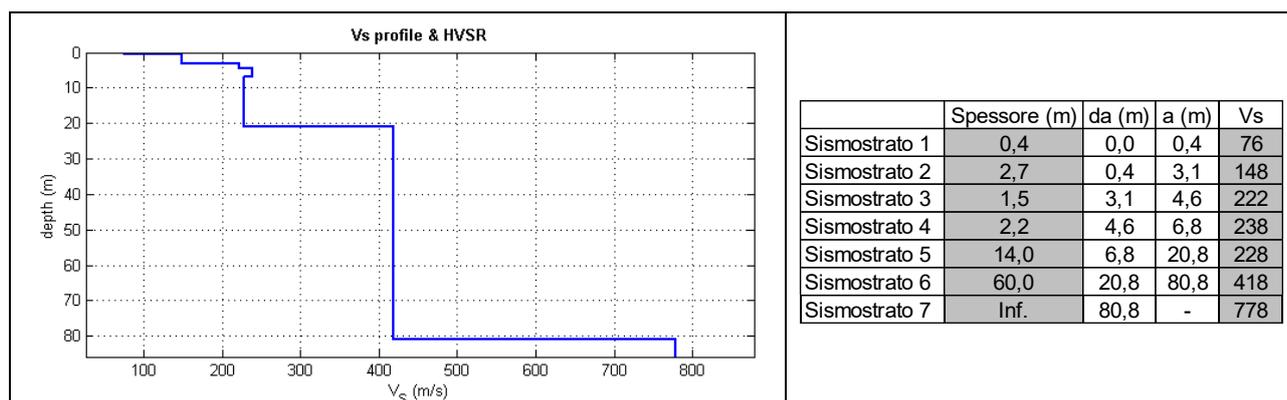


Figura 4.6. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di Vs.

**Indagini 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 lisciamento 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 reperite.

N°	Data	Formazione/Copertura	F <sub>0</sub>	Ampiezza	Altri picchi significativi	Località
HV01 033048P50HVSR50	05/04/2023	VLU2	-	-	-	Albareto
HV02 033048P48HVSR48	05/04/2023	VLU2	5.7	2.7	-	Montalbo
HV03 033048P51HVSR51	05/04/2023	VLU2	-	-	-	Seminò
HV04 033048P49HVSR49	05/04/2023	VLU2	-	-	-	Vicomarino
HV05 033048P52HVSR52	05/04/2023	VLU2	-	-	2.7	Ziano Piacentino
HV06 033048P69HVSR69	05/04/2023	AES3	1.1	3.3	-	Fornello

## 5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il comune di Ziano Piacentino, come descritto nei capitoli precedenti, è caratterizzato dalla presenza di unità geologiche di origine interamente alloctona (dominio Ligure ed Epiligure) e costituite in prevalenza da sedimenti torbiditici ed emipelagici di bacini profondi e non (Formazione della val Luretta, Formazione del Termina, Marne di Antognola), i cui materiali derivano dallo smantellamento dei margini sovrascorrenti in sollevamento durante la fase di convergenza delle placche. Il substrato marino è ricoperto, ove non affiorante, da coltri di alterazione superficiali aventi spessori e grado di stabilità variabile.

I dati reperiti di velocità delle onde di taglio relativi ai depositi marini così come i valori di risonanza fondamentale f<sub>0</sub> derivanti dall'elaborazione dei dati HVSR non permettono di individuare i depositi marini come bedrock sismico così come definito dagli ICMS (velocità Vs >800 m/s). I depositi marini, pertanto, costituiscono un bedrock sismico non rigido, nel quale la velocità delle onde di taglio non supera gli 800 m/s e non può essere utilizzato negli abachi per la determinazione di FA ed FV degli ICMS. Le porzioni territoriali che interessano invece gli abitati interessati dalla Microzonazione sismica sono caratterizzate invece da coltri d'alterazione del substrato superficiali costituite da aventi spessori rispettivamente variabili tra 7.5 e 12.5 m e tra 10.0 e 20.0 m poggianti su su substrato di origine marina.

## 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. A fronte dell'assetto litostratimetrico descritto, le indagini relative ai microtremori 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 ghiaiosi o del substrato roccioso, ove presente.

Quanto ai criteri delle linee guida SESAME 2005 relativi alla "chiarezza" del picco di possibile risonanza, in alcuni casi non risultano soddisfatti.

## 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.

Gli elaborati prodotti nella prima fase sono costituiti da:

**Carta delle indagini:** in tale cartografia sono riportate le indagini pregresse, 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;

**Carte 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  $0,5 \div 25\text{Hz}$ ;

**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 litostratimetriche.

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 spettrale in accelerazione ( $SA/SA_0$ ) per prefissati intervalli (0,1-0,5s denominata SA1; 0,4-0,8s denominata SA2; 0,7-1,1s denominata SA3; 0,5-1,5s denominata SA4, sia di rapporto di Intensità di Housner ( $SI/SI_0$ ), per prefissati intervalli di periodi (0,1-0,5s denominata SI1; 0,5-1s denominata SI2 e 0,5-1,5s denominata SI3).

**Carta  $H_{SM}$ :** carta della distribuzione sul territorio dei valori di  $H_{SM}$ , parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in g).

## 8 ELABORATI CARTOGRAFICI

### 8.1 Carta delle indagini

Nel territorio del comune di Ziano Piacentino sono state raccolte diverse prove geognostiche. In particolare sono state inserite nella Carta delle indagini, alla scala 1:10.000, le ubicazioni 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. Per una più facile lettura della cartografia tematica è stata realizzata una carta alla scala 1:5.000 con finestre sui centri abitati interessati da indagini geognostiche.

- ✓ 11 prove penetrometriche statiche,
- ✓ 5 prove penetrometriche dinamiche superpesanti,
- ✓ 11 prove penetrometriche dinamiche medie,
- ✓ 2 sondaggi a carotaggio continuo,
- ✓ 12 prove sismiche multicanale basate su onde di superficie,
- ✓ 19 analisi di microtremore HVSR;
- ✓ 3 indagini sismiche a rifrazione,
- ✓ 17 trincee esplorative,
- ✓ 2 tomografie elettriche,
- ✓ 7 stratigrafie tipo della zona omogenea.

#### Indagini puntuali

	Prova penetrometrica statica con punta meccanica
	Penetrometrica dinamica media
	Penetrometrica dinamica super pesante
	Sondaggio a Carotaggio Continuo
	Trincea o pozzetto esplorativo
	Stazione microtremore a stazione singola
	Stratigrafia zona MS

#### Indagini lineari

	MASW
	ERT, Tomografia elettrica
	Sismica 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;
- Progetto CARG della Regione Emilia-Romagna;
- indagini puntuali (vedi precedente paragrafo).

Nelle 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:

**CLin** – Depositi alluvionali di bacino (piana) intravallivo, di tipo limo - argilloso con subordinati livelli sabbio ghiaiosi, afferenti al Subsistema di Agazzano (AES3). Comprende una buona parte dell'abitato di Fornello.

Il territorio comunale evidenzia la presenza del substrato geologico, in carta così classificato:

- **SFALS** - Alternanza di litotipi stratificati alterati e fratturati, di tipo flyshoide (Formazione della Val Luretta – Membro di Mopnteventano);
- **SFCOS** – Substrato coesivo sovraconsolidato, stratificato, alterato e stratificato (Formazione del Termina);

Le coltri di alterazione di quasi tutti i centri abitati studiati presentano uno spessore abbastanza ingente, spesso vicino ai 20 metri.

Infine, nella Carta geologico tecnica sono stati riportati:

- i sondaggi che hanno intercettato il substrato geologico,
- i depositi franosi, suddivisi per tipologia.

### 8.3 Carta delle frequenze

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 seguenti classi:

- $F_0 \leq 0,6$  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

frequenza picco significativo (nell'intervallo 0,2 - 20 Hz)	Ampiezza picco (contrasto di impedenza acustica)			spessore atteso (m)
	$1,5 \leq \text{HVSr} < 2$ BASSO	$2 \leq \text{HVSr} \leq 3$ MEDIO	$\text{HVSr} > 3$ ALTO	
$F_0 \leq 0,6$				> 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 significativi				

Figura 8.2. Legenda Carta della frequenza naturale dei terreni.

Va rilevato che l'ampiezza del rapporto H/V è, ove presenti picchi litologici, compresa tra 2 e 3 o maggiore anche di 3, indicando dunque che la differenza di velocità tra i diversi depositi è abbastanza marcata, come logica conseguenza delle caratteristiche dei terreni costituenti il sedime all'interno del territorio comunale. Dalle prove eseguite il territorio comunale risulta caratterizzato da misurazioni HVSR aventi picchi litologici a frequenze variabili, con presenza di importanti riflettori: a Montalbo, ad esempio, si segnala il passaggio dalla coltre d'alterazione della Formazione della Val Luretta al substrato roccioso. A Ziano i picchi litologici segnalati sono molto superficiali e molto probabilmente non rilevano un deciso passaggio al substrato argillitico.

#### **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 Ziano Piacentino.
- 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. Questa categoria è presente sul territorio di Ziano Piacentino.
- 3. zone di attenzione per instabilità di versante.** Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali appunto l'instabilità del versante. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

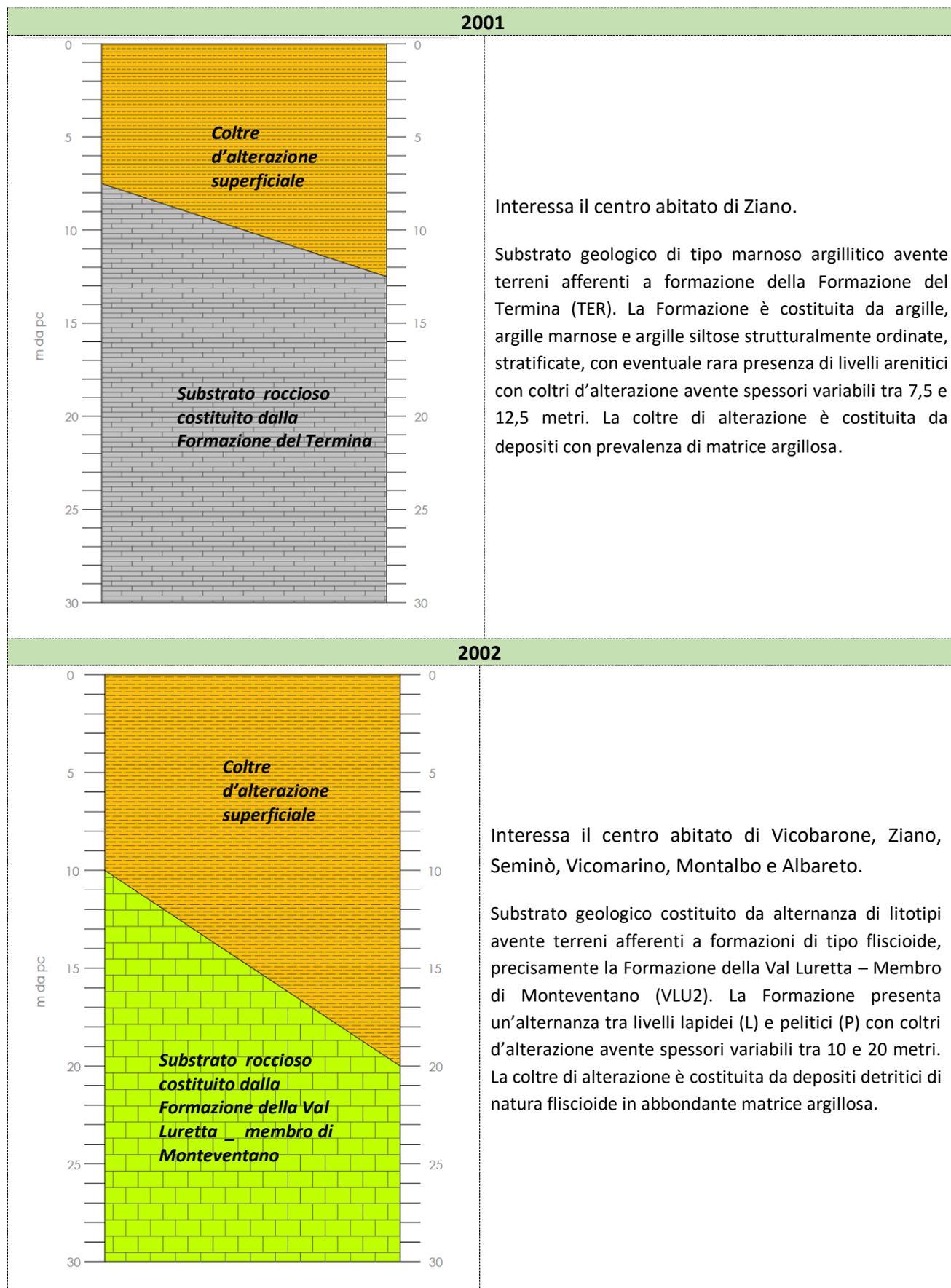
Sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, sono state identificate 3 microzone omogenee suscettibili di amplificazioni locali, con un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 30 m di sottosuolo. All'interno dei perimetri degli areali di microzonazione sono presenti zone di attenzione per instabilità di versante.

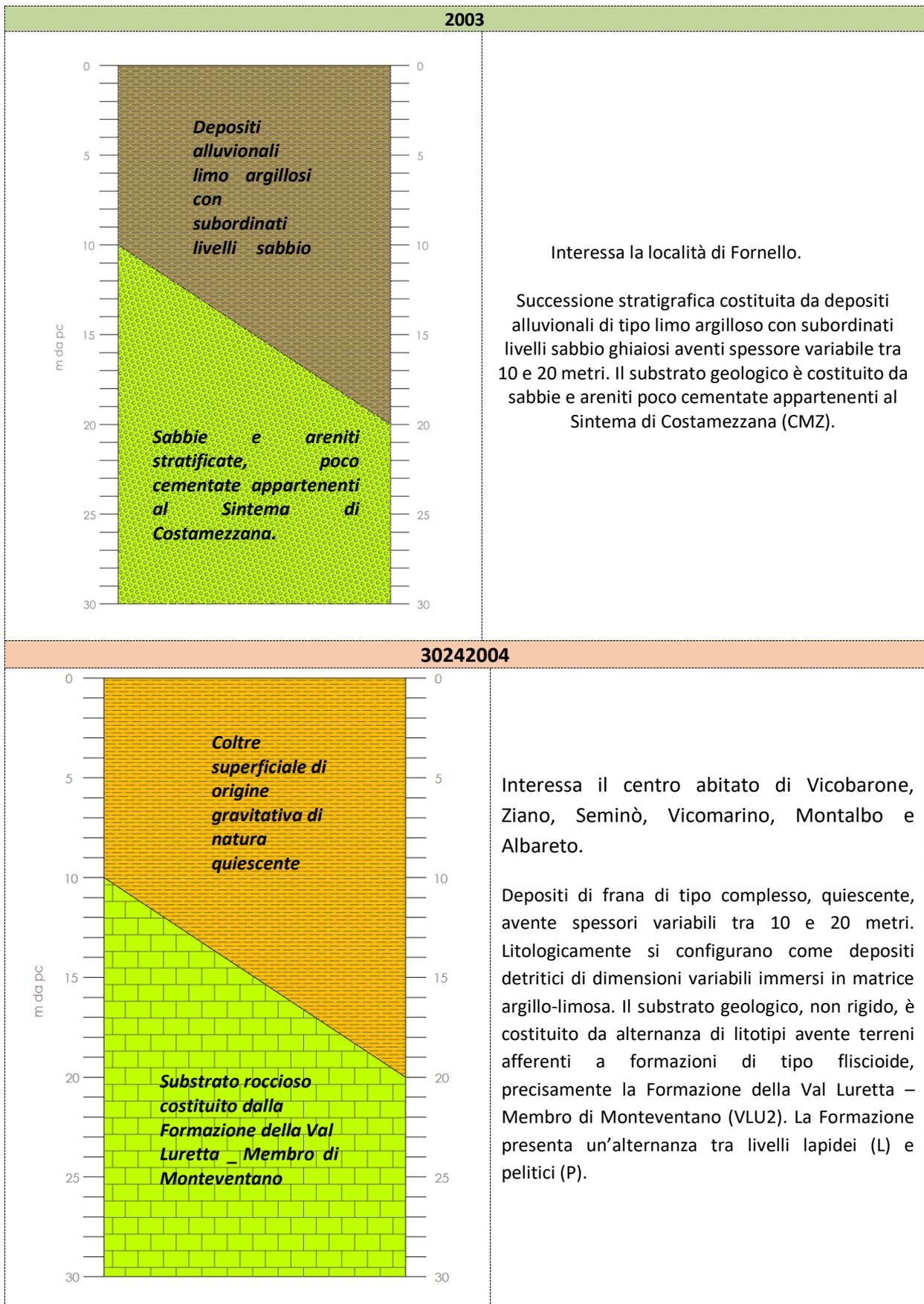
<b>Zone suscettibili di amplificazioni locali</b>			
<b>Zona n°</b>	<b>Località</b>	<b>Successione stratigrafica</b>	<b>Descrizione</b>
1	Ziano	2001	Substrato geologico di tipo marnoso argillitico avente terreni afferenti a formazione della Formazione del Termina (TER). La Formazione è costituita da argille, argille marnose e argille siltose strutturalmente ordinate, stratificate, con eventuale rara presenza di livelli arenitici con coltri d'alterazione avente spessori variabili tra 7,5 e 12,5 metri. La coltre di alterazione è costituita da depositi con prevalenza di matrice argillosa.
2	Vicobarone, Ziano, Seminò, Albareto, Montalbo, Vicomarino	2002	Substrato geologico costituito da alternanza di litotipi avente terreni afferenti a formazioni di tipo fliscioide, precisamente la Formazione della Val Luretta – Membro di Monteventano (VLU2). La Formazione presenta un'alternanza tra livelli lapidei (L) e pelitici (P) con coltri d'alterazione avente spessori variabili tra 10 e 20 metri. La coltre di alterazione è costituita da depositi detritici di natura fliscioide in abbondante matrice argillosa.
3	Fornello	2003	Successione stratigrafica costituita da depositi alluvionali di tipo limo argilloso con subordinati livelli sabbio ghiaiosi aventi spessore variabile tra 10 e 20 metri. Il substrato geologico è costituito da sabbie e areniti poco cementate appartenenti al Sintema di Costamezzana (CMZ).

<b>Zone di attenzione per instabilità di versante</b>			
<b>Zona n°</b>	<b>Località</b>	<b>Successione stratigrafica</b>	<b>Descrizione</b>
1	Vicobarone, Ziano, Albareto, Montalbo, Vicomarino	30242004	Depositi di frana di tipo complesso, quiescente, avente spessori variabili tra 10 e 20 metri. Litologicamente si configurano come depositi detritici di dimensioni variabili immersi in matrice argillo-limosa. Il substrato geologico, non rigido, è costituito da alternanza di litotipi avente terreni afferenti a formazioni di tipo fliscioide, precisamente la Formazione della Val Luretta – Membro di Monteventano (VLU2).
2	Vicobarone	30142005	Depositi di frana di tipo complesso, attiva, avente spessori variabili tra 10 e 20 metri. Litologicamente si configurano come depositi detritici di dimensioni variabili immersi in matrice argillo-limosa. Il substrato geologico, non rigido, è costituito da alternanza di litotipi avente terreni afferenti a formazioni di tipo fliscioide, precisamente la Formazione della Val Luretta – Membro di Monteventano (VLU2).
3	Crosignano	30222006	Coltre superficiale di origine gravitativa per scivolamento, di natura quiescente, costituita da depositi di tipo limo argilloso aventi spessore variabile tra 10 e 20 metri. Il substrato geologico, non rigido, è costituito da litotipi afferenti a formazioni di tipo marnoso.
4	Fornello	30242007	Coltre superficiale di origine gravitativa di natura complessa e quiescente costituita da depositi di tipo limo argilloso con subordinati livelli sabbio ghiaiosi aventi spessore variabile tra 10 e 20 metri. Il substrato geologico, non rigido, è costituito da litotipi afferenti a formazioni di tipo arenitico.

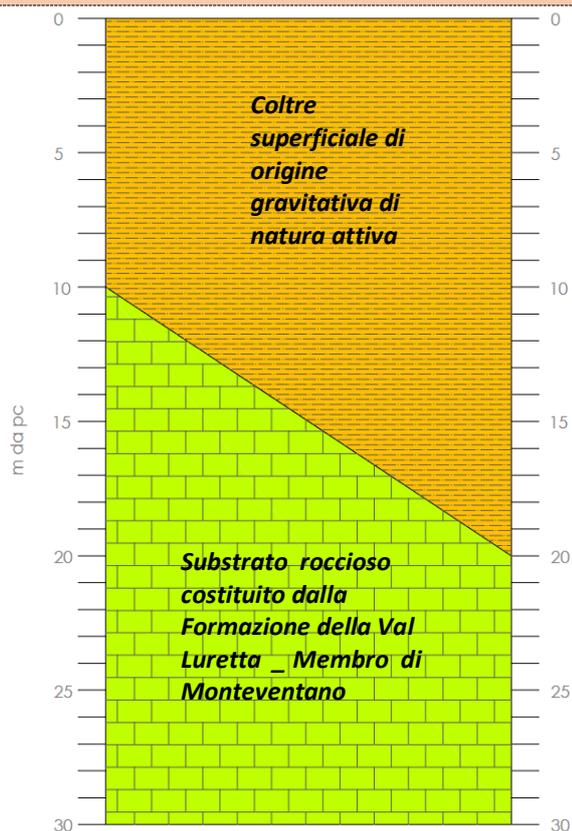
8.4.1 *Schemi dei rapporti stratigrafici*

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





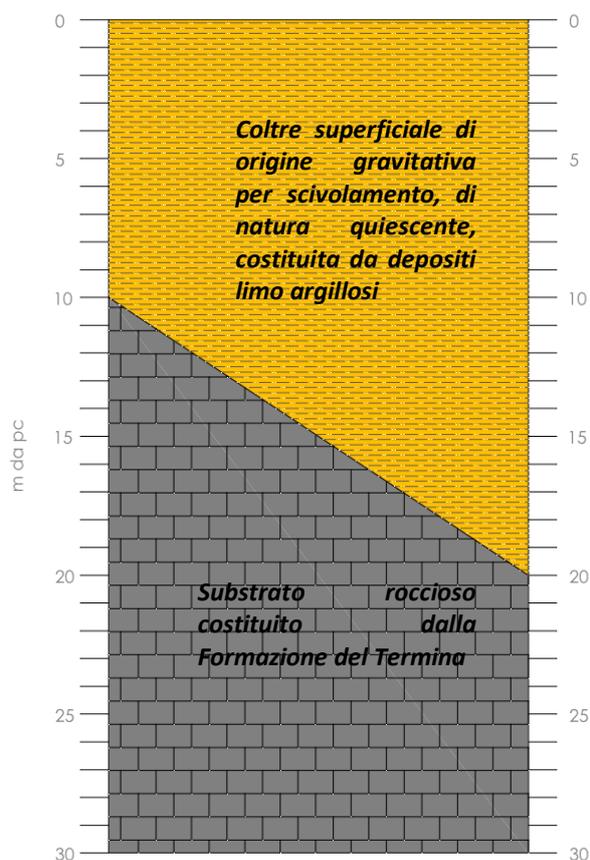
**30142005**



Interessa il centro abitato di Vicobarone.

Depositi di frana di tipo complesso, attiva, avente spessori variabili tra 10 e 20 metri. Litologicamente si configurano come depositi detritici di dimensioni variabili immersi in matrice argillo-limoso. Il substrato geologico, non rigido, è costituito da alternanza di litotipi avente terreni afferenti a formazioni di tipo fliscioidi, precisamente la Formazione della Val Luretta – Membro di Monteventano (VLU2). La Formazione presenta un’alternanza tra livelli lapidei (L) e pelitici (P).

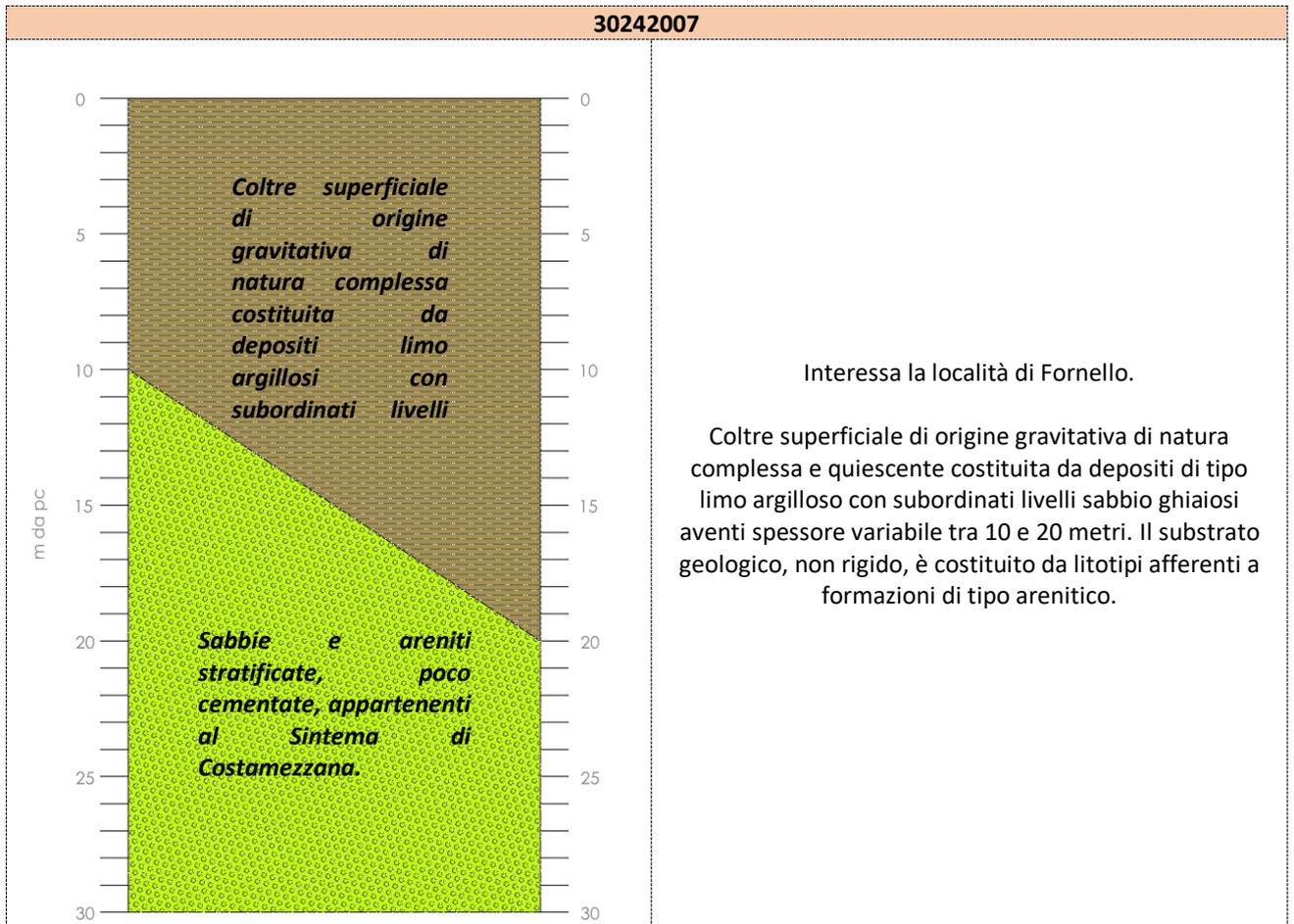
**30222006**



Interessa la località di Crosignano.

Coltre superficiale di origine gravitativa per scivolamento, di natura quiescente, costituita da depositi di tipo limo argilloso aventi spessore variabile tra 10 e 20 metri. Il substrato geologico, non rigido, è costituito da litotipi afferenti a formazioni di tipo marnoso.

30242007



Interessa la località di Fornello.

Coltre superficiale di origine gravitativa di natura complessa e quiescente costituita da depositi di tipo limo argilloso con subordinati livelli sabbio ghiaiosi aventi spessore variabile tra 10 e 20 metri. Il substrato geologico, non rigido, è costituito da litotipi afferenti a formazioni di tipo arenitico.

### 8.5 Carta delle velocità di taglio (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. In particolare, sono stati riportati per ogni punto il tipo di misura (MASW, SAWS, HVSR, etc), il valore di  $V_{S30}$  e di  $V_{SH}$  (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 244 e 388 m/s e valori di  $V_{SH}$  tra 189 e 312 m/s.

Di seguito si riporta la tabella che riporta i valori dei parametri  $V_{S30}$  e  $V_{SH}$  per le prove MASW+HVSR eseguite e recuperate per il presente studio.

N°	Data	Formazione/Copertura	H	Vsh	Vs30	Località
MASW01 <b>033048L11MASW1</b>	05/04/2023	VLU2	20.3	275	319	Albareto
MASW02 <b>033048L9MASW9</b>	05/04/2023	VLU2	9.7	189	326	Montalbo
MASW03 <b>033048L12MASW12</b>	05/04/2023	VLU2	20.8	312	349	Seminò
MASW04 <b>033048L10MASW10</b>	05/04/2023	VLU2	17.7	312	377	Vicomarino
MASW05 <b>033048L13MASW13</b>	05/04/2023	VLU2	18.0	215	283	Ziano Piacentino
MASW06 <b>033048L6MASW6</b>	14/04/2021	TER	10.6	231	319	Ziano Piacentino
MASW07 <b>033048L17MASW17</b>	05/04/2023	AES3	20.8	206	244	Fornello
MASW08 <b>033048L5MASW5</b>	23/12/2014	VLU2	18.0	293	388	Case Piccioni
MASW09 <b>033048L1MASW1</b>	29/04/2015	VLU2	17.2	270	338	Vicobarone

L'elemento che si preme sottolineare è comunque la variazione non troppo accentuata dei valori di  $V_{SH}$  e  $V_{S30}$  come conseguenza delle caratteristiche dei depositi interessati, sintomo comunque di buona omogeneità nei depositi costituenti il sedime del territorio comunale.

### 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.

I FA riportati nelle tabelle sono stati calcolati per un tempo di ritorno  $TR=475$  anni, con smorzamento  $\zeta=5\%$ , e sono relativi ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:

- accelerazione di picco orizzontale (PGA);
- intensità spettrale;

$$SA = \int_{T_1}^{T_2} A(T, \zeta) dT$$

dove A è lo spettro di risposta in accelerazione, T è il periodo proprio e  $\zeta$  è lo smorzamento; sono stati considerati quattro intervalli di periodo proprio T ottenendo quattro valori di intensità spettrale:

	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>
<b>SA1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SA2</b>	0,4 s	0,8 s
<b>SA3</b>	0,7 s	1,1 s
<b>SA4*</b>	0,5 s	1,5 s

- intensità spettrale

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} V(T, \zeta) dT$$

dove V è lo spettro di risposta in velocità, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento; sono stati considerati tre intervalli di periodo proprio T ottenendo tre valori di intensità spettrale:

	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>
<b>SI1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SI2</b>	0,5 s	1,0 s
<b>SI3*</b>	0,5 s	1,5 s

\*I fattori di amplificazione SA4 e SI3 sono richiesti per studi in aree di pianura e di costa.

Per la stima del fattore di amplificazione (FA) devono essere realizzate indagini geotecniche e geofisiche che permettano di definire lo spessore H del deposito di copertura e la velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato (VsH e Vs30) del deposito di copertura.

Per copertura si intende una coltre detritica di origine continentale (alluvionale, eluviocolluviale, gravitativa) o di alterazione presente dalla superficie al tetto del substrato geologico per un intervallo H non inferiore a 3 m. H è quindi lo spessore della copertura o profondità del substrato rigido, ovvero del bedrock sismico, la velocità equivalente delle onde di taglio è definita dalle formule di seguito riportate:

$$Vs_H = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{Vs_i}}$$

dove N è il numero di strati del profilo sismico corrispondenti alla copertura, H è lo spessore totale (in m) dei terreni di copertura, o profondità del tetto del bedrock sismico, hi è lo spessore (in m) dello strato i-esimo (fino al bedrock sismico), Vsi è la velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino al bedrock sismico);

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^M \frac{h_i}{Vs_i}}$$

dove M è il numero di strati del profilo sismico fino alla profondità di 30 m, hi è lo spessore (in m) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m), Vsi è la 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 e agli abachi proposti dagli indirizzi regionali (cfr. DGR 564/2021). Nello specifico, sulla base delle caratteristiche descritte nei capitoli precedenti e in riferimento alla localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici in Emilia-Romagna (vedi figura 8.2), si è scelto di utilizzare la Tabella APPENNINO con bedrock avente Vs<800 m/s.

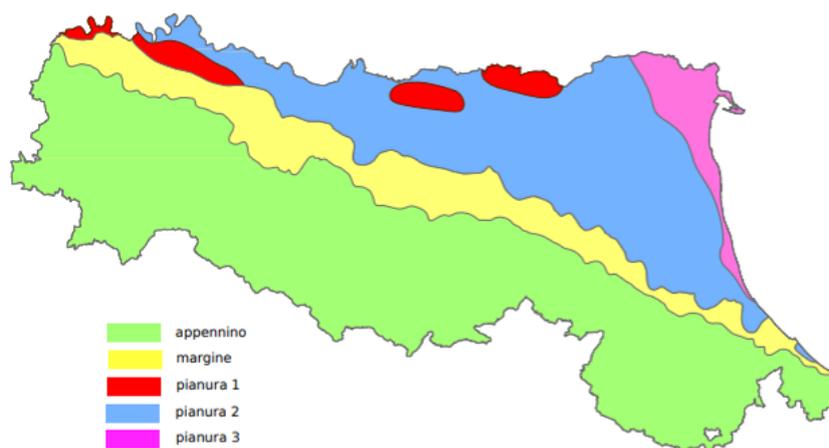


Figura 8.3. Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici in Emilia Romagna. ( da “Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna” A. Tenta , L. Martelli, A. Marcellini\_2015)

Si riportano di seguito gli abachi utilizzati.

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,3	2,0	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	
10	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	
20	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	
25	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	
30		2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	
35		2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
40		2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
50		1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **PGA**

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,2	1,8	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	
10	2,5	2,3	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,5	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	
20	2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,3	
25	2,4	2,4	2,3	2,2	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,3	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **SA1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	
10	2,3	1,8	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	
15	2,8	2,3	1,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	
20	3,2	2,9	2,3	1,8	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	
25	3,4	3,2	2,7	2,0	1,7	1,5	1,5	1,4	1,3	
30		3,3	2,9	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4	
35		3,3	3,0	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
40		3,2	3,1	2,7	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	1,2
50		3,0	3,0	2,8	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione **SA2** ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
15	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
20	2,4	2,1	1,6	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
25	3,4	2,5	1,9	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
30		3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	
35		3,3	2,7	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,1
40		3,6	3,1	2,2	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
50		3,6	3,4	2,9	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **SA3** ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,1	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,7	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	
20	2,6	2,6	2,4	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	
25	2,6	2,6	2,5	2,3	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,4	2,4	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
50		2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione **SI1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,8	1,6	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,3	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
20	2,9	2,6	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	
25	3,6	3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	
30		3,3	2,7	1,9	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	
35		3,5	3,0	2,2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1
40		3,5	3,2	2,6	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
50		3,3	3,3	3,0	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione **SI2** ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ )

Figura 8.4. Abachi utilizzati per la stima dei FA: Appennino con substrato avente  $V_s < 800$  m/s.

Conseguentemente, per gli areali oggetto di microzonazione sono stati attribuiti i valori riportati nelle seguenti tabelle:

Sito	FA PGA	FA SA1	FA SA2	FA SA3
Albareto (zona 2002)	2,0	2,2	2,0	1,5
Montalbo (zona 2002)	2,2	2,3	1,8	1,5
Seminò (zona 2002)	2,0	2,1	1,8	1,4
Vicomarino (zona 2002)	1,9	1,8	1,5	1,4
Ziano Piacentino (zona 2001)	2,0	1,9	1,5	1,4
Ziano Piacentino (zona 2002)	2,0	2,1	1,8	1,4
Case Piccioni (zona 2002)	2,0	2,1	1,8	1,4
Fornello (zona 2003)	2,1	2,4	2,9	2,1
Vicobarone (zona 2002)	2,1	2,3	2,3	1,6
Crosignano (zona 2001)	2,0	1,9	1,5	1,4
Paradiso (zona 2002)	2,0	2,1	1,8	1,4
Monte Cucco (zona 2002)	2,0	2,1	1,8	1,4
Calcinara (zona 2002)	2,0	2,1	1,8	1,4

Sito	FH SI1	FH SI2
Albareto (zona 2002)	2,3	1,7
Montalbo (zona 2002)	2,3	1,6
Seminò (zona 2002)	2,1	1,6
Vicomarino (zona 2002)	1,8	1,4
Ziano Piacentino (zona 2001)	1,9	1,4
Ziano Piacentino (zona 2002)	2,1	1,6
Case Piccioni (zona 2002)	2,1	1,6
Fornello (zona 2003)	2,6	2,6
Vicobarone (zona 2002)	2,4	1,9
Crosignano (zona 2001)	1,9	1,4
Paradiso (zona 2002)	2,1	1,6
Monte Cucco (zona 2002)	2,1	1,6
Calcinara (zona 2002)	2,1	1,6

I fattori di amplificazione delle microzone omogenee di Crosignano, Calcinara e Monte Cucco sono stati derivati dal modello di sottosuolo ricavato dall'interpretazione delle indagini Masw e HVSR eseguite rispettivamente dalle zone di Ziano Piacentino zona 2001 per Crosignano, Case Piccioni zona 2002 per Calcinara e Monte Cucco; ciò tenuto conto della esigua distanza e considerando la presenza del medesimo substrato.

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

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (classe del parametro di amplificazione) <sup>14</sup>	
	1.1 - 1.2
	1.3 - 1.4
	1.5 - 1.6
	1.7 - 1.8
	1.9 - 2.0
	2.1 - 2.2
	2.3 - 2.4
	2.5 - 3.0
	3.1 - 3.5
	>3.5

Figura 8.5. Legenda adottata per la definizione dei FA nelle Carte di microzonazione sismica.

### 8.7 Carta $H_{SM}$ Scuotimento atteso al sito in valore assoluto

E' stata anche prodotta una carta della distribuzione sul territorio dei valori di  $H_{SM}$ , parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in g), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity ( $ASI_{UHS}$ ), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodo  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ , diviso per  $\Delta T$  (in questo caso pari a 0,4s), per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodo:

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

dove valori di  $ASI_{UHS}/\Delta T$ , calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file PSbaseRER.kmz disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli. Nella figura successiva si riportano le legende adottate per le tre carte prodotte.

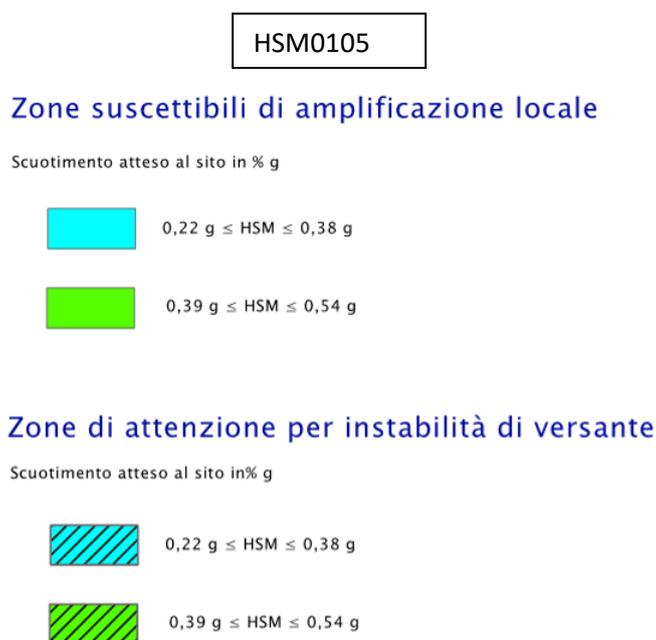


Figura 8.6. Legenda adottata per le mappe di scuotimento atteso.

I valori di accelerazione in g di  $H_{SM}$  per i vari centri studiati sono riportati nella tabella successiva.

	0,1-0,5s
<b>Albareto</b>	<b>0,45</b>
<b>Montalbo</b>	<b>0,47</b>
<b>Seminò</b>	<b>0,43</b>
<b>Vicomarino</b>	<b>0,37</b>
<b>Ziano P. 2001</b>	<b>0,39</b>
<b>Ziano P. 2002</b>	<b>0,43</b>
<b>Case Piccioni</b>	<b>0,43</b>
<b>Fornello</b>	<b>0,50</b>
<b>Vicobarone</b>	<b>0,47</b>
<b>Crosignano</b>	<b>0,39</b>
<b>Paradiso</b>	<b>0,43</b>
<b>Monte Cucco</b>	<b>0,43</b>
<b>Calcinara</b>	<b>0,43</b>

Ziano Piacentino, giugno 2023

Dott.Geol.Paolo Mancioffi



## 9 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.

## 10 ALLEGATI

### 10.1 Prove sismiche MASW+HVSr

**033048L13MASW13\_ loc. Ziano Piacentino**

#### **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 10.1. 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.

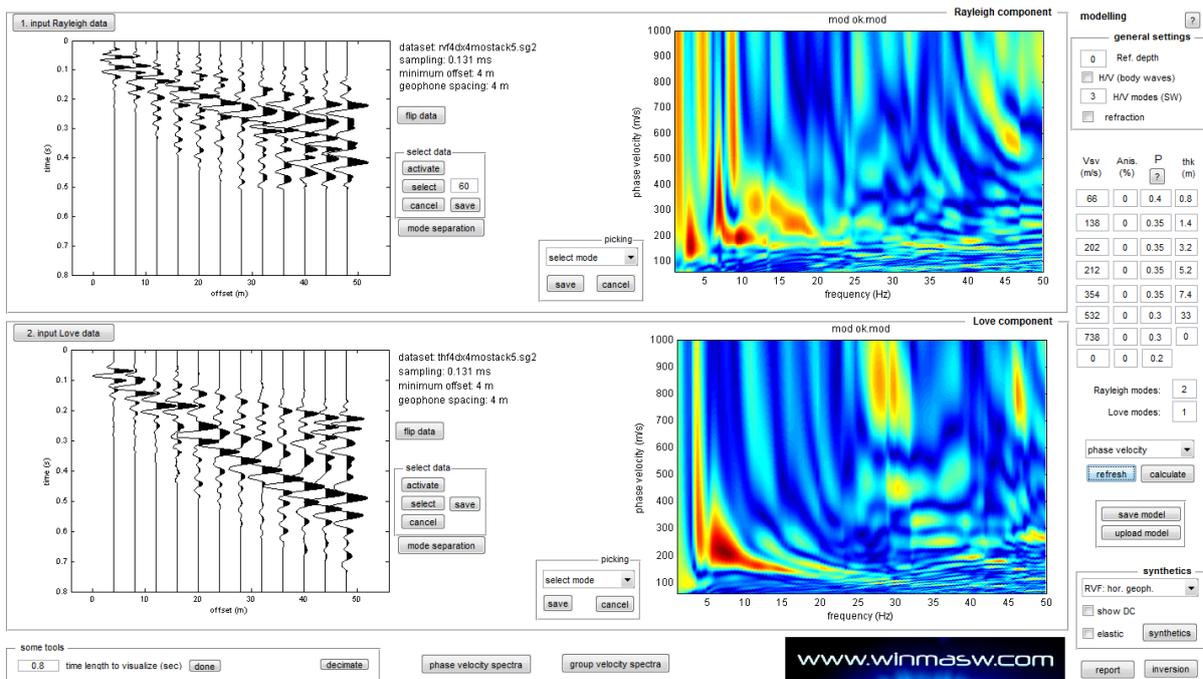


Figura 10.2. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

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 2 modi per le onde di Rayleigh e del solo modo fondamentale per quelle di Love.

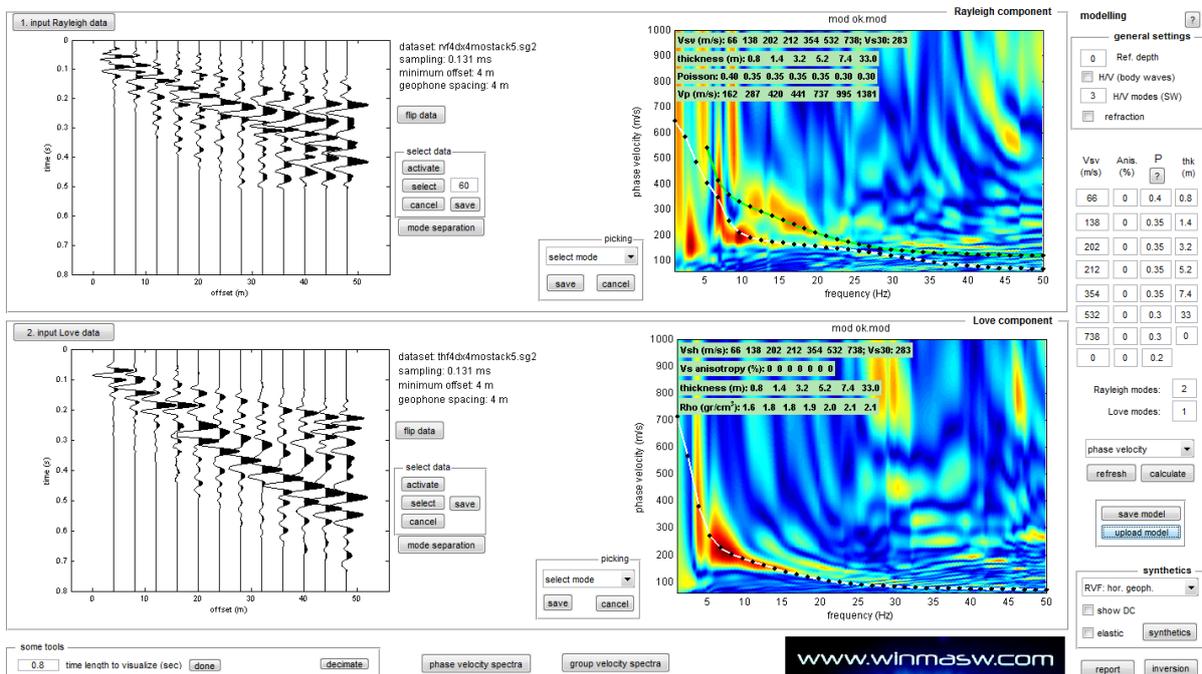


Figura 10.3. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

**RAPPORTI SPETTRALI H/V**

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

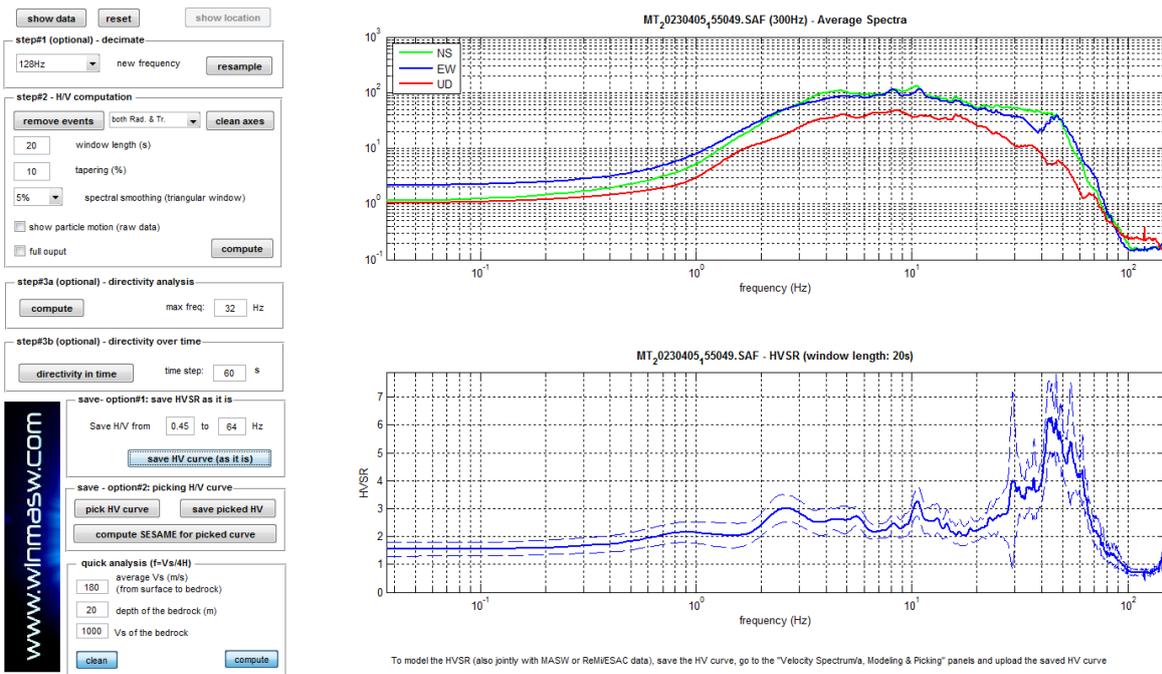


Figura 10.4. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSr.

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

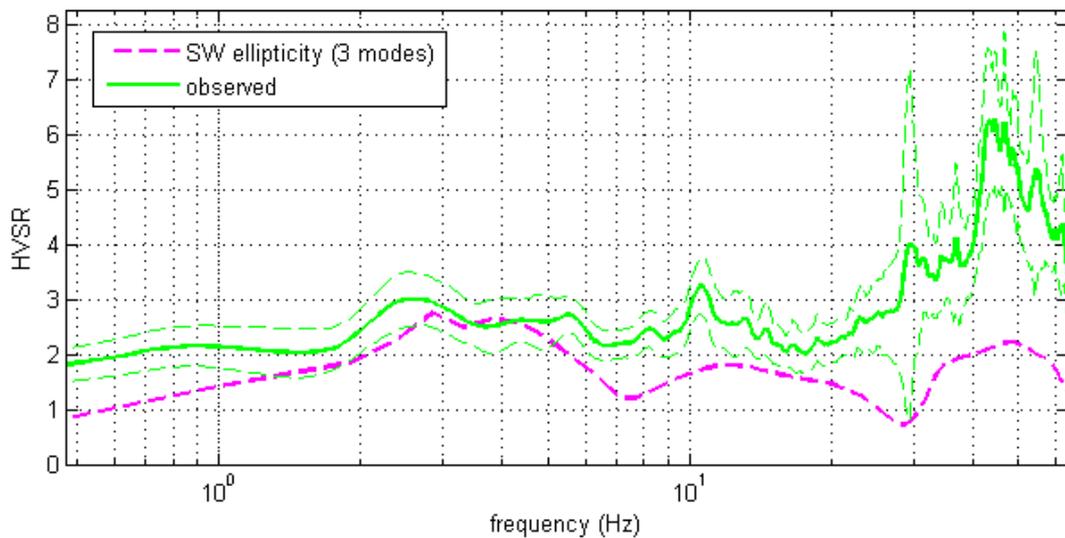


Figura 10.5. HVSr: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSr modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

**033048L12MASW12\_ loc. Seminò****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 10.6. 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.

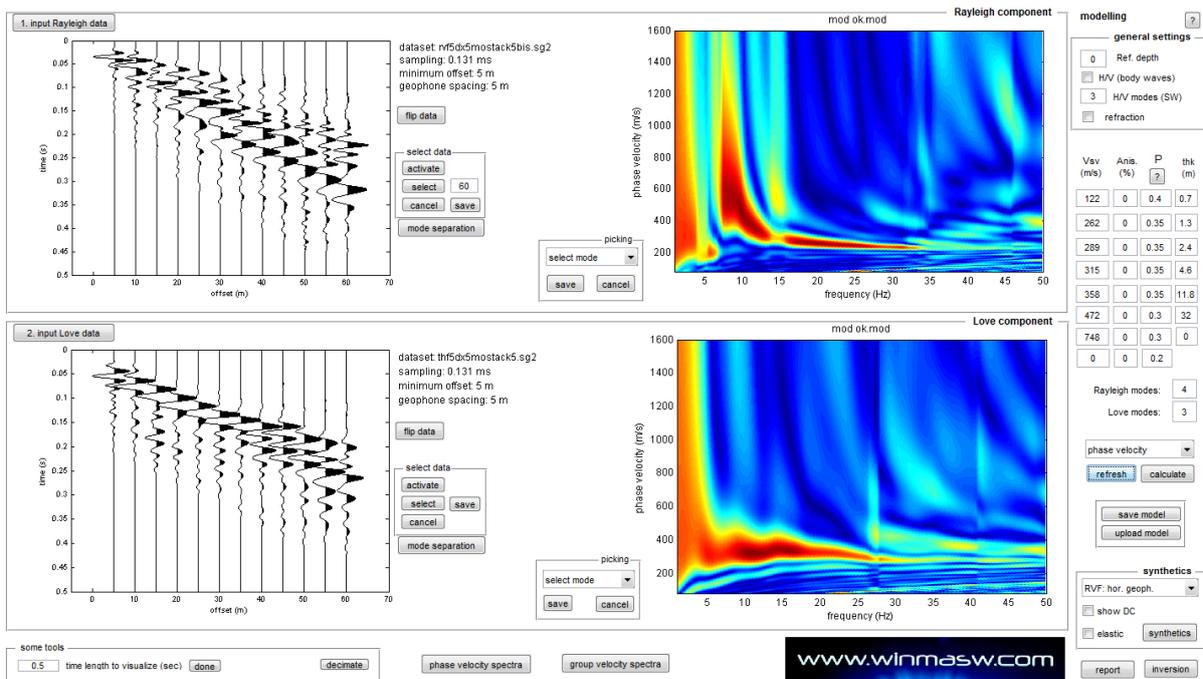


Figura 10.7. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

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 4 modi per le onde di Rayleigh e dei primi 3 per quelle di Love.

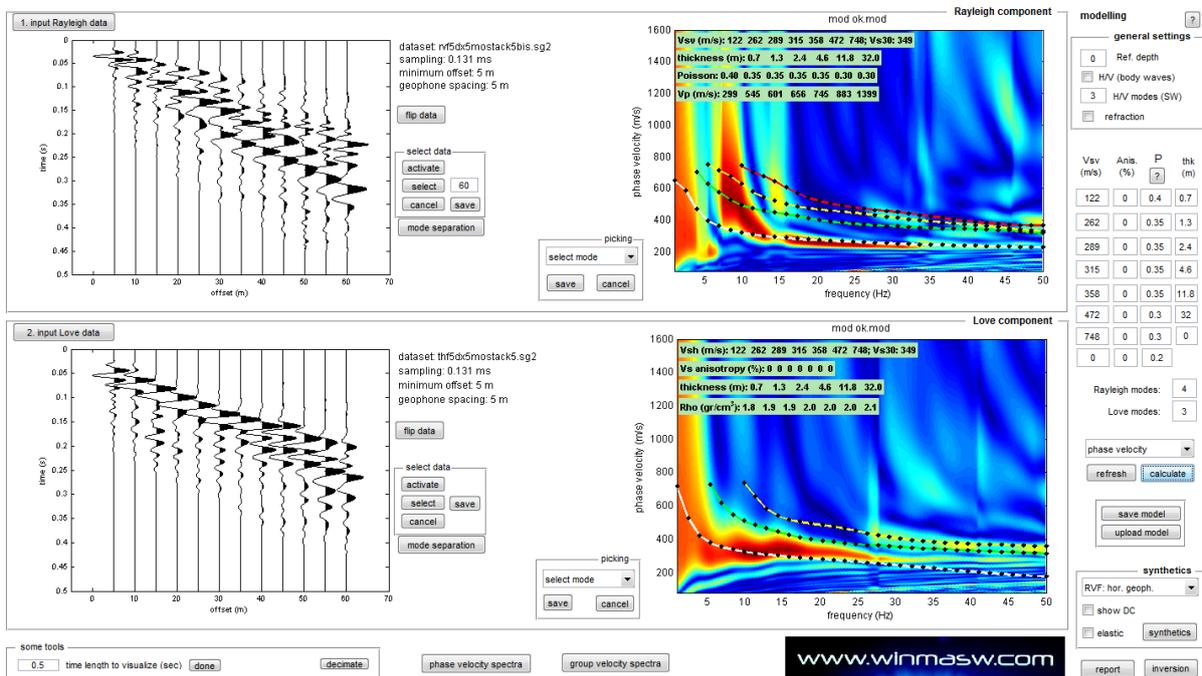


Figura 10.8. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

**RAPPORTI SPETTRALI H/V**

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

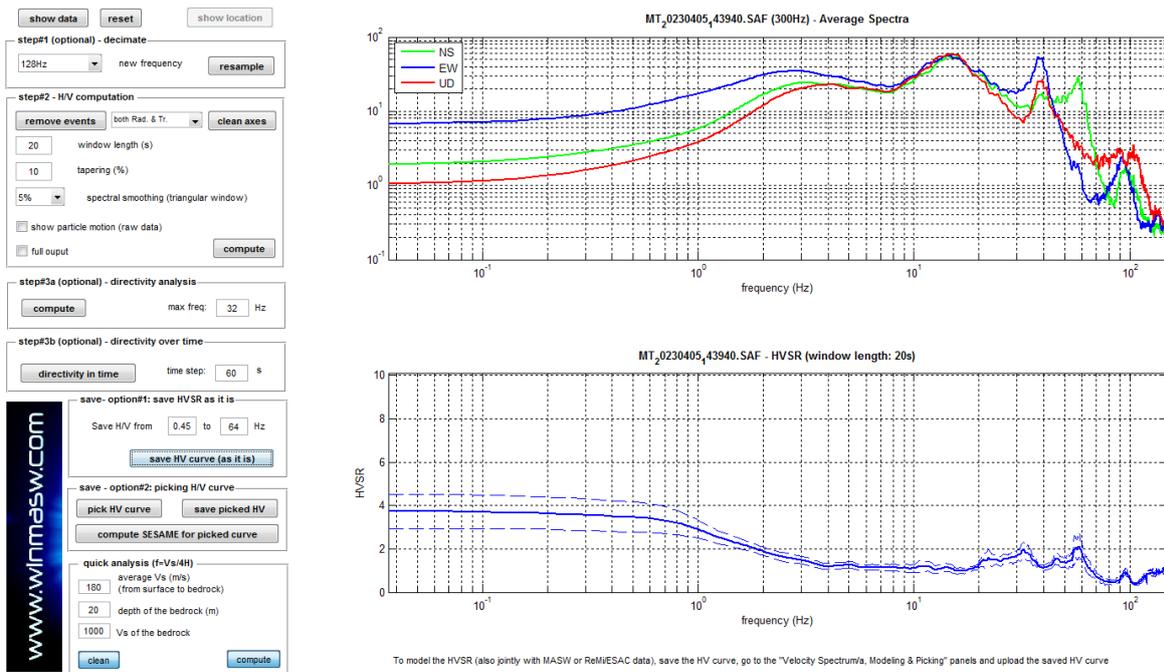


Figura 10.9. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

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

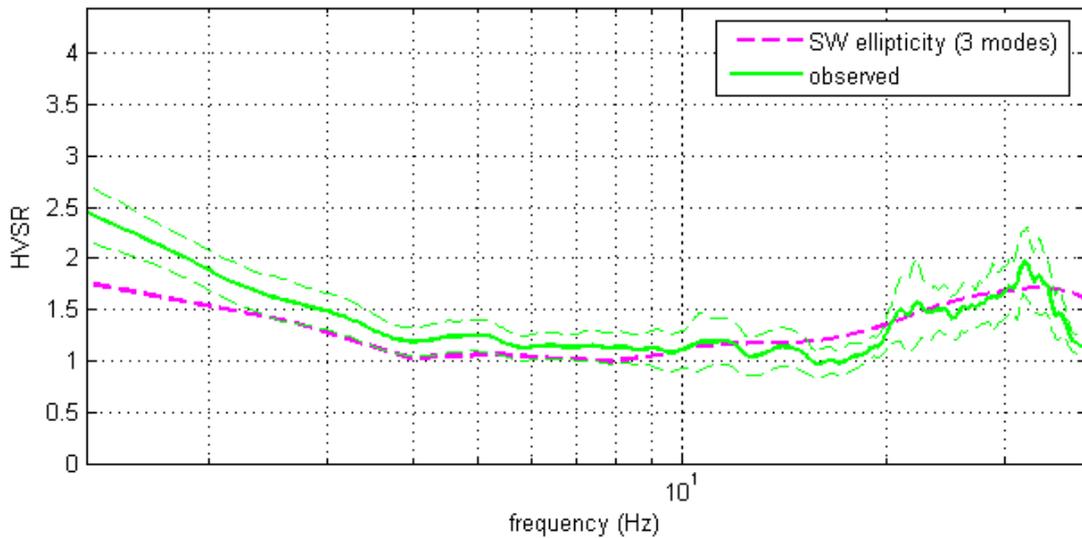


Figura 10.10. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

**033048L11MASW11\_loc. Albareto**

**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 10.11. 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.

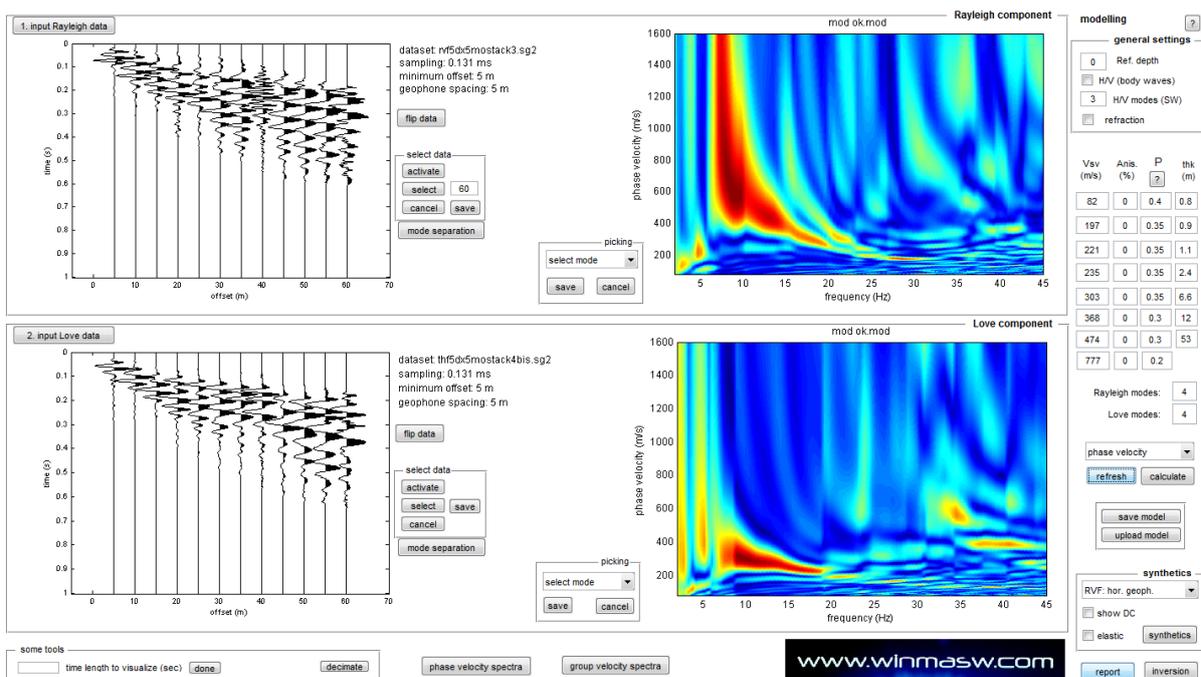


Figura 10.12. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

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 4 modi per le onde di Rayleigh e dei primi 4 per quelle di Love.

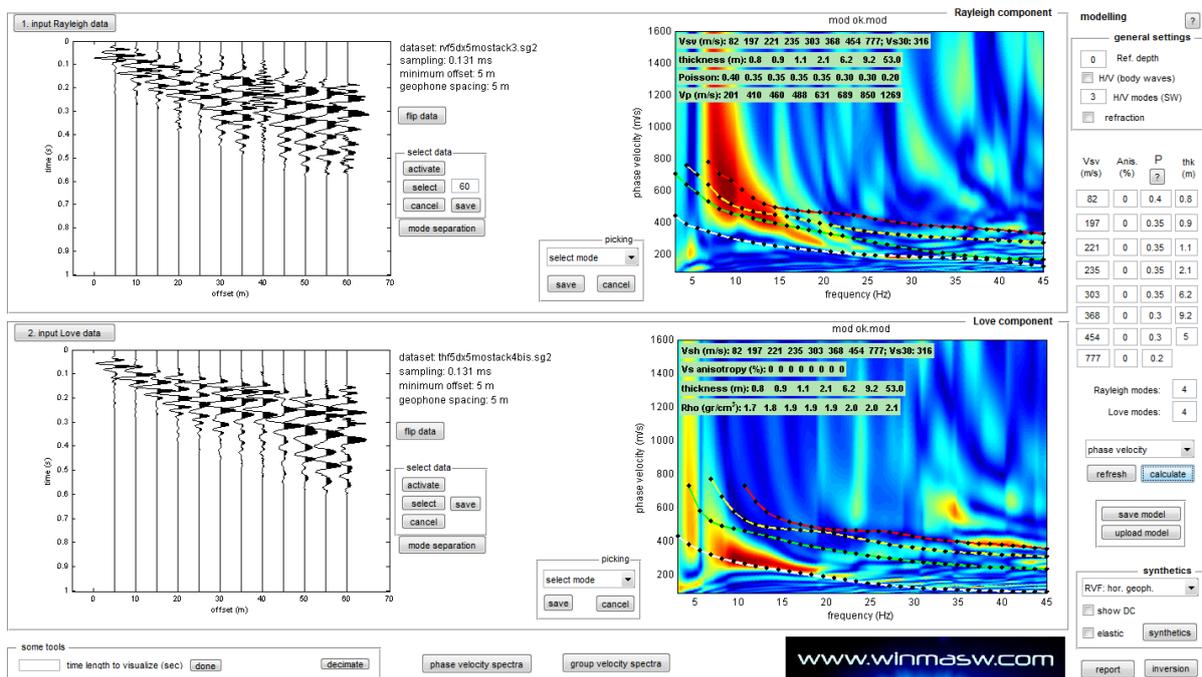


Figura 10.13. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

**RAPPORTI SPETTRALI H/V**

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

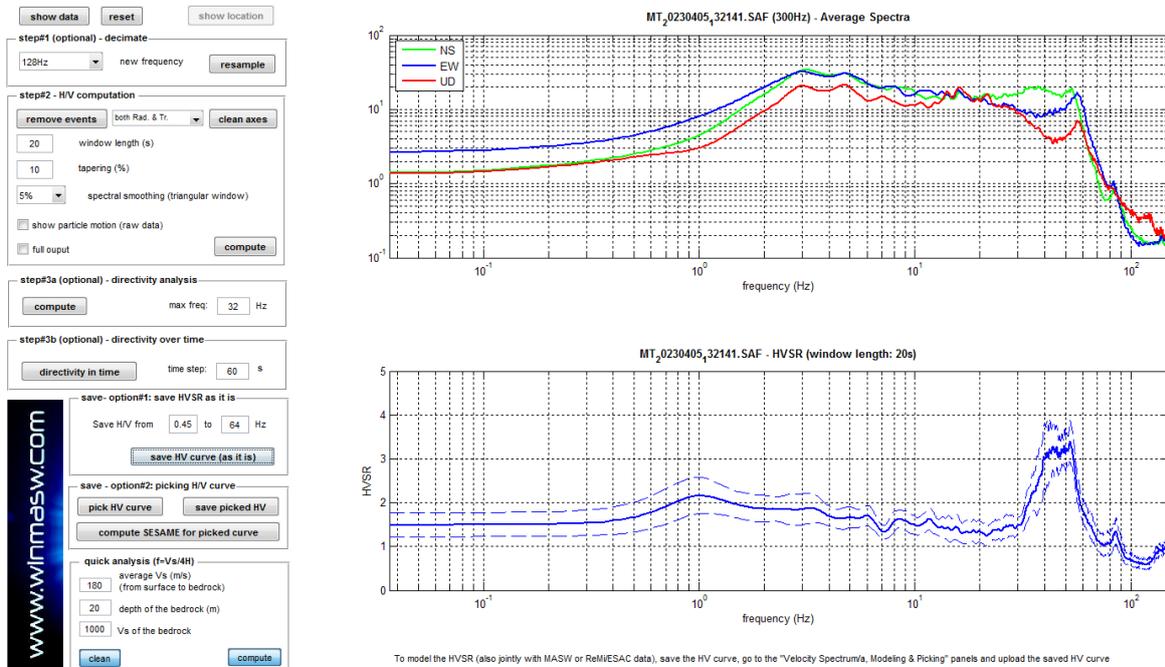


Figura 10.14. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

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

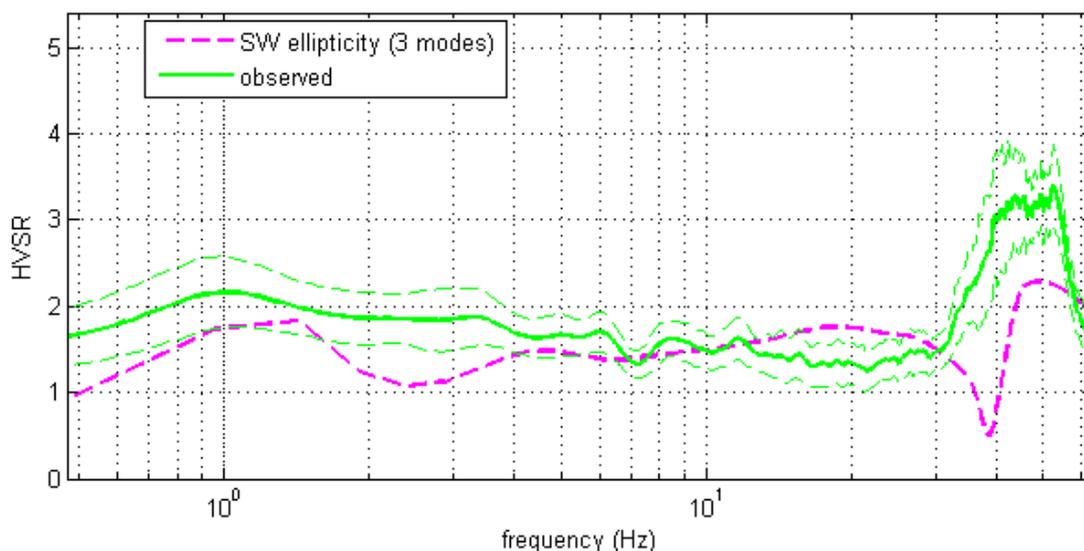


Figura 10.15. HVSr: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSr modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

### 033048L10MASW10\_ loc. Vicomarinao

#### 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 10.16. 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.

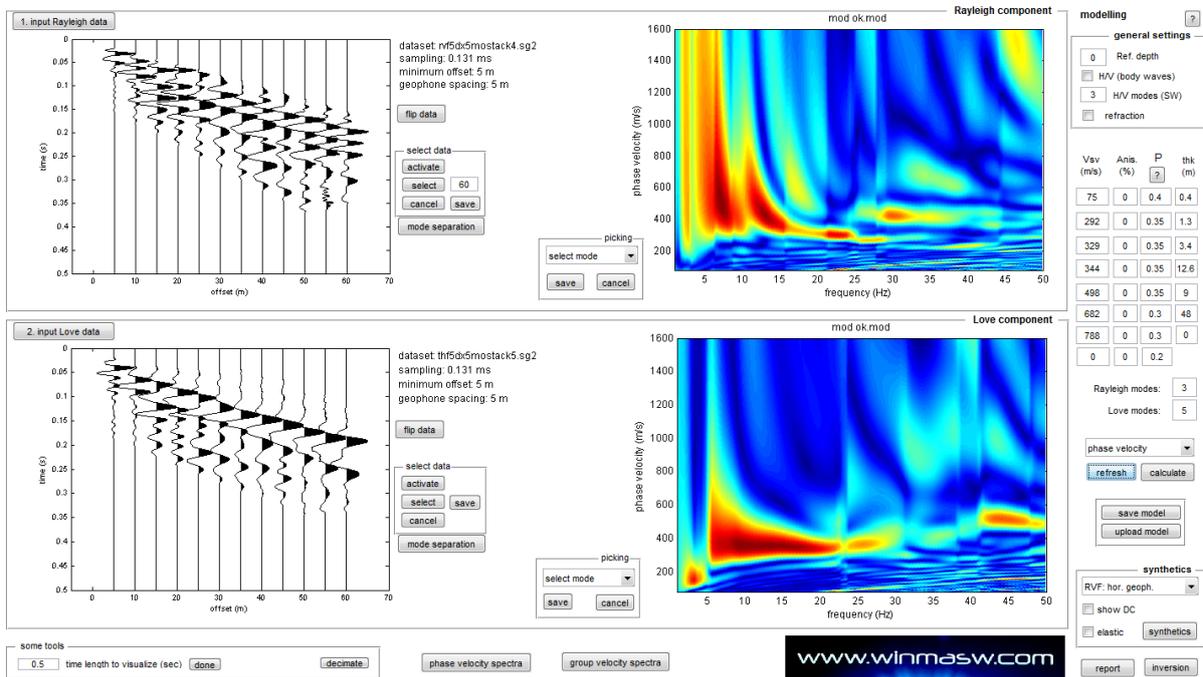


Figura 10.17. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

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 2 modi per le onde di Rayleigh e dei primi 5 per quelle di Love.

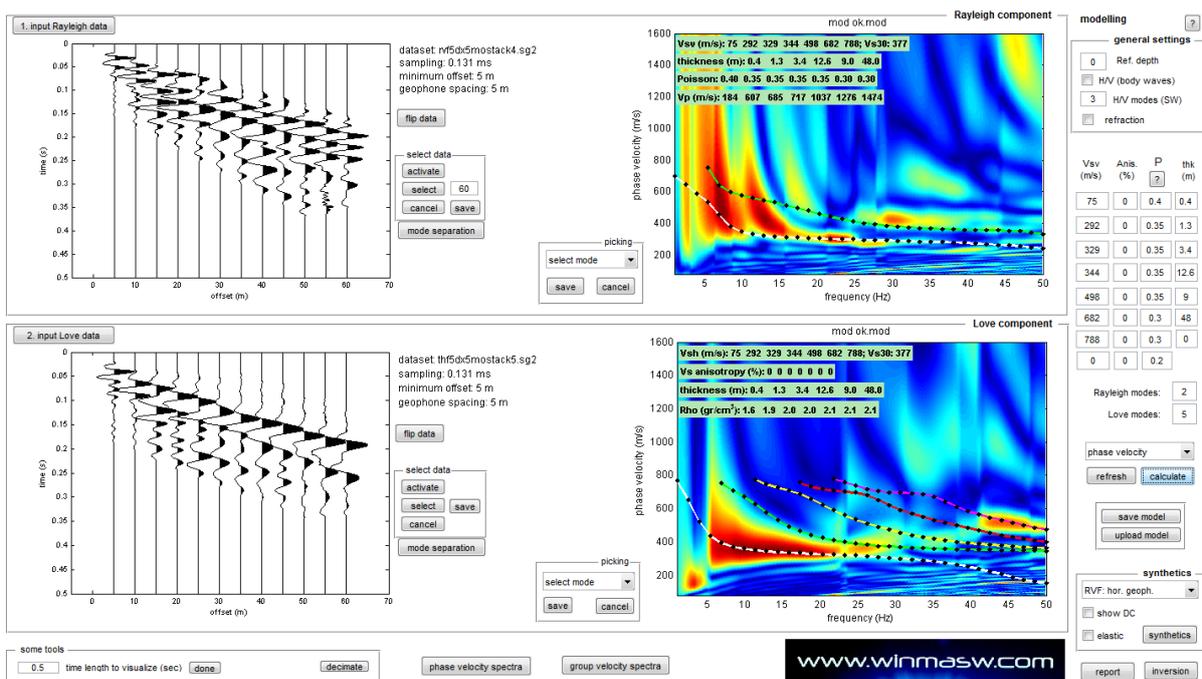


Figura 10.18. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

**RAPPORTI SPETTRALI H/V**

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

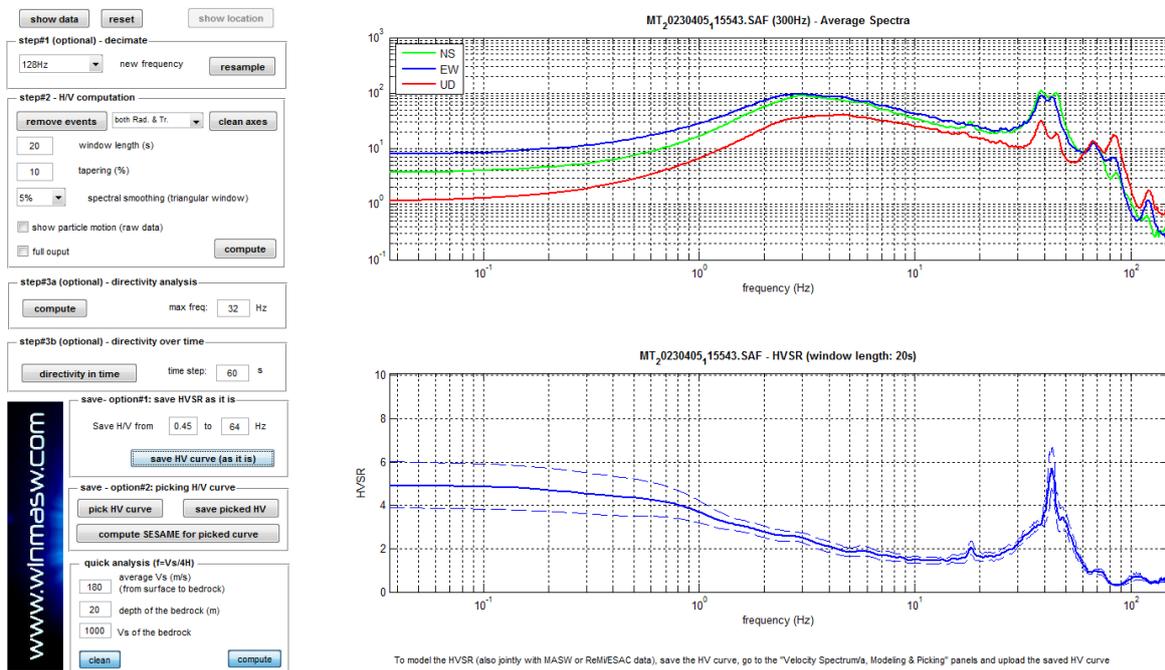


Figura 10.19. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

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

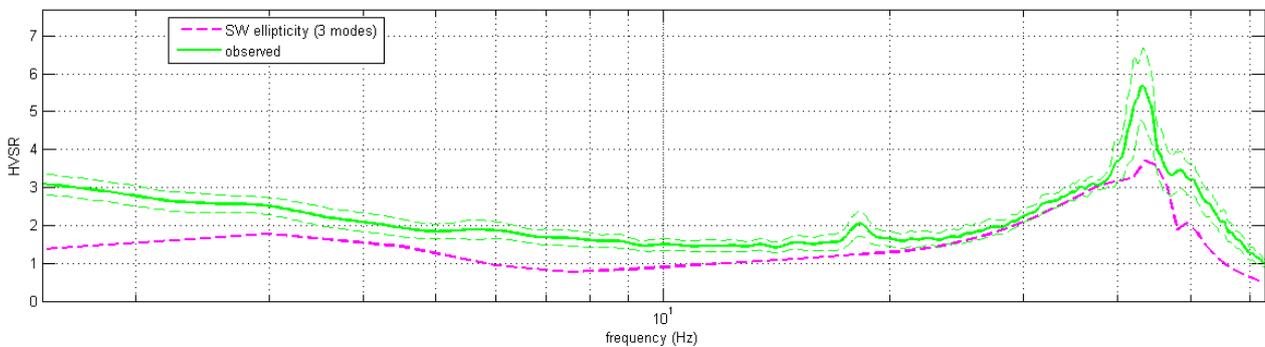


Figura 10.20. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

**033048L9MASW9\_loc. Montalbo**

**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 10.21. 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.

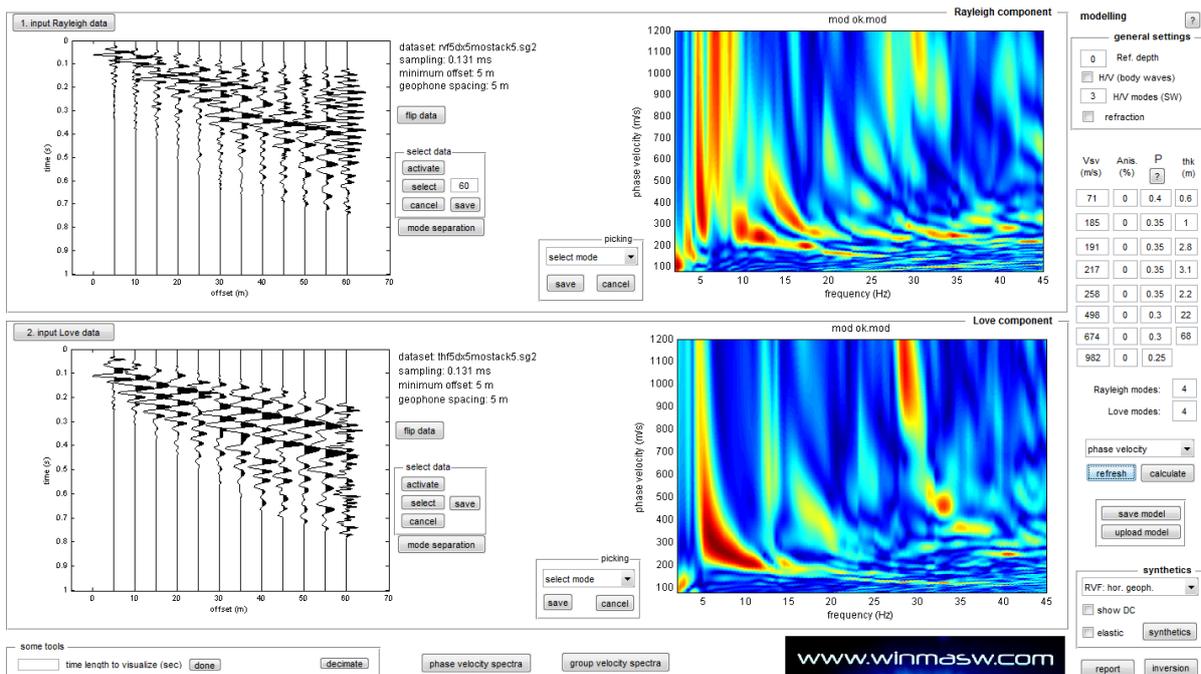


Figura 10.22. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

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 4 modi per le onde di Rayleigh e dei primi 4 per quelle di Love.

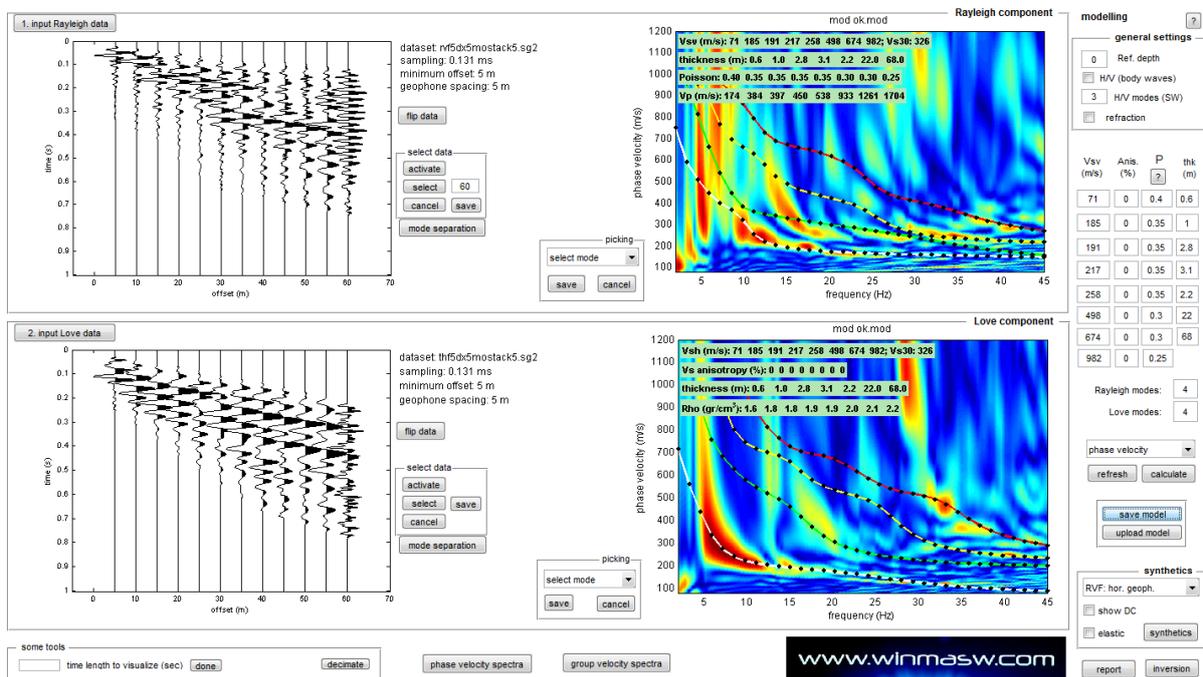


Figura 10.23. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

**RAPPORTI SPETTRALI H/V**

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

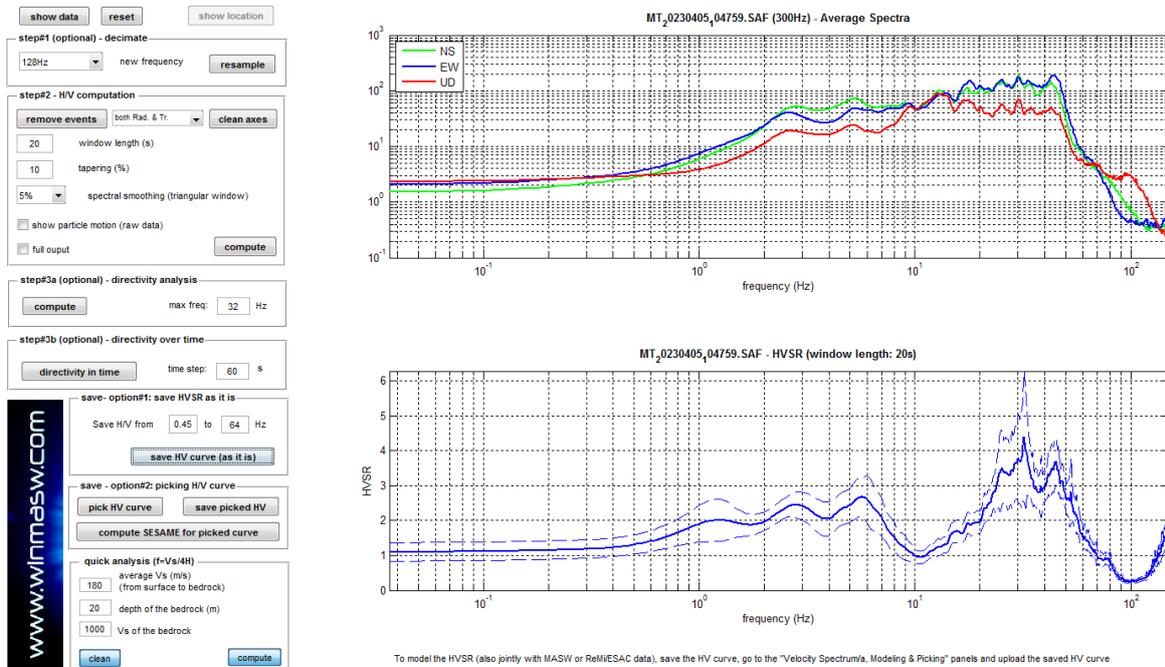


Figura 10.24. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

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

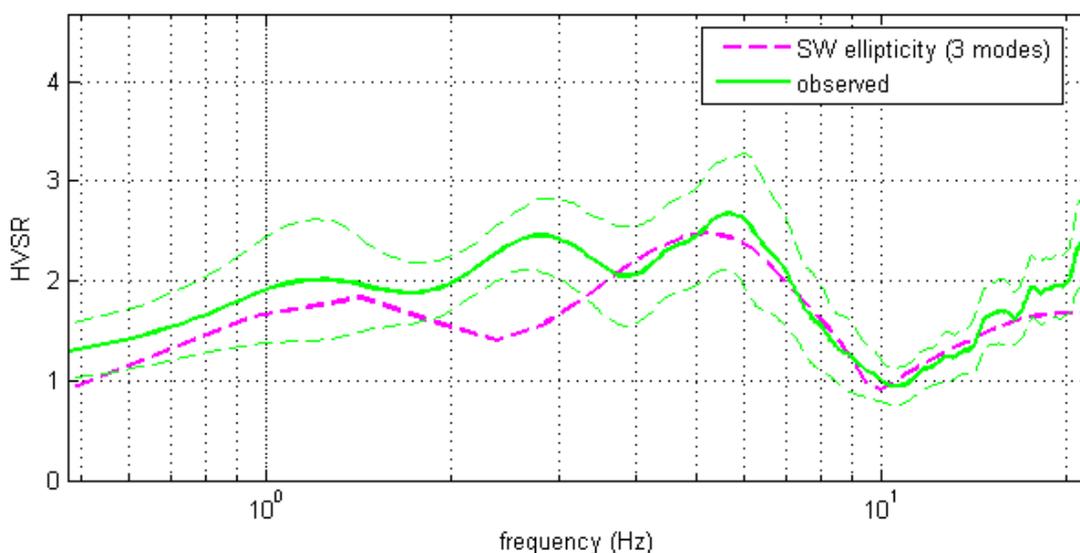


Figura 10.25. HVSr: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSr modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

**033048L17MASW17\_ loc. Fornello**

**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). 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.

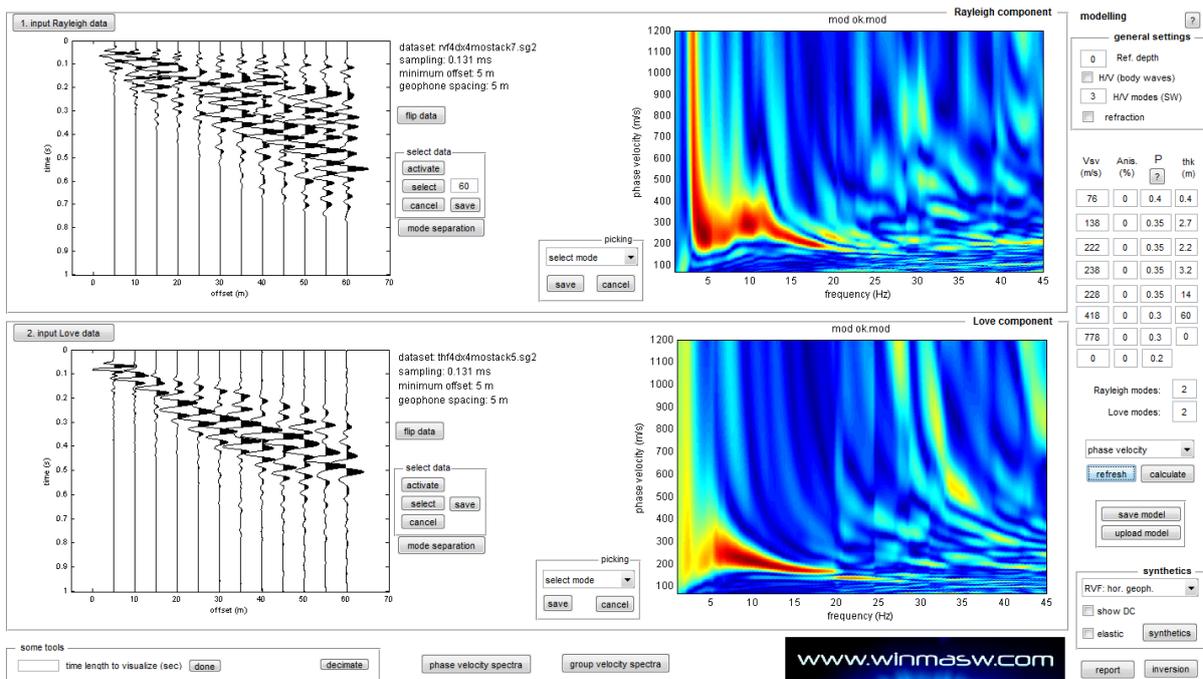


Figura 10.26. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

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 2 modi per le onde di Rayleigh e dei primi 2 per quelle di Love.

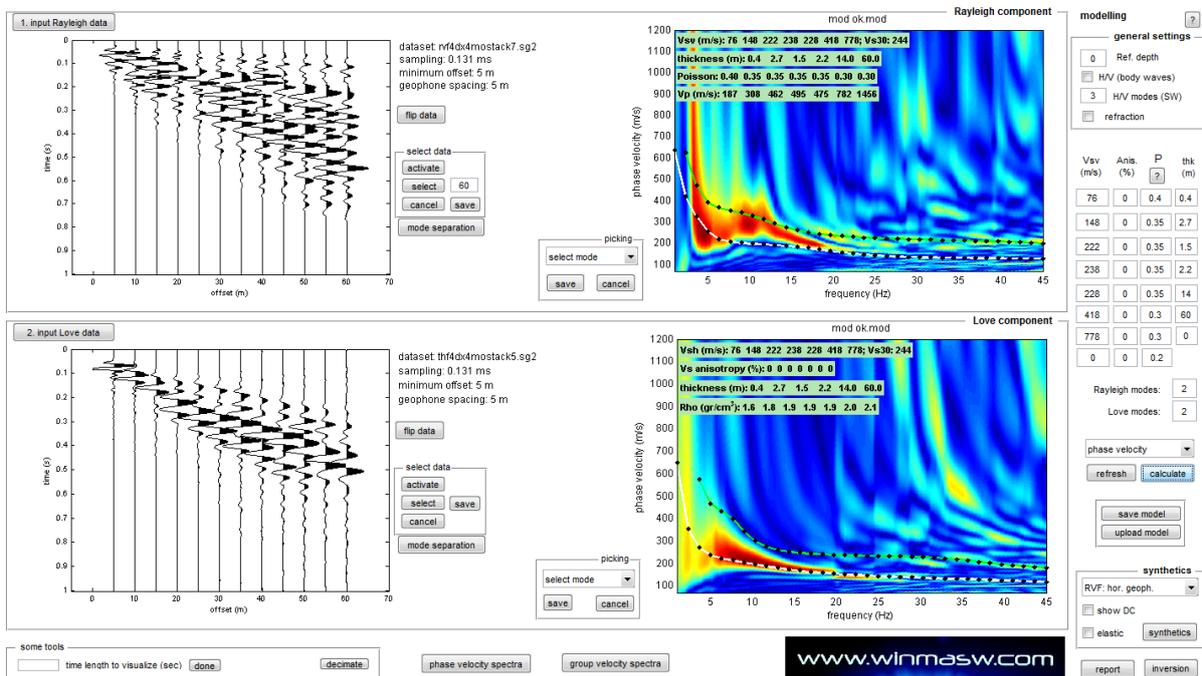


Figura 10.27. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

**RAPPORTI SPETTRALI H/V**

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

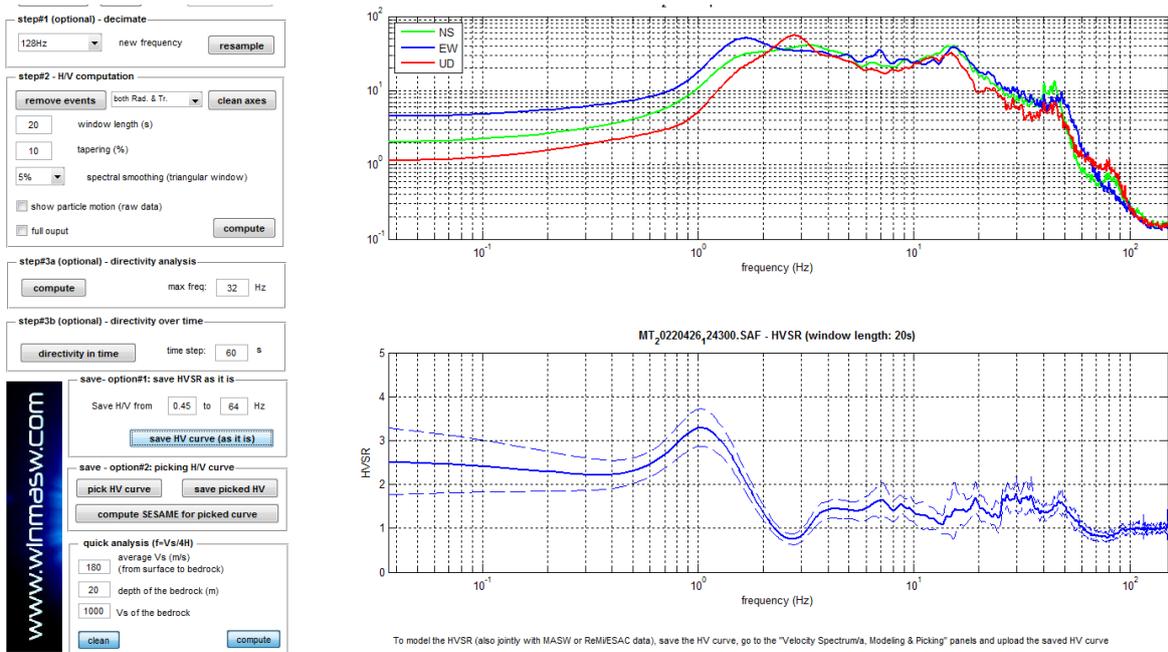


Figura 10.28. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

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

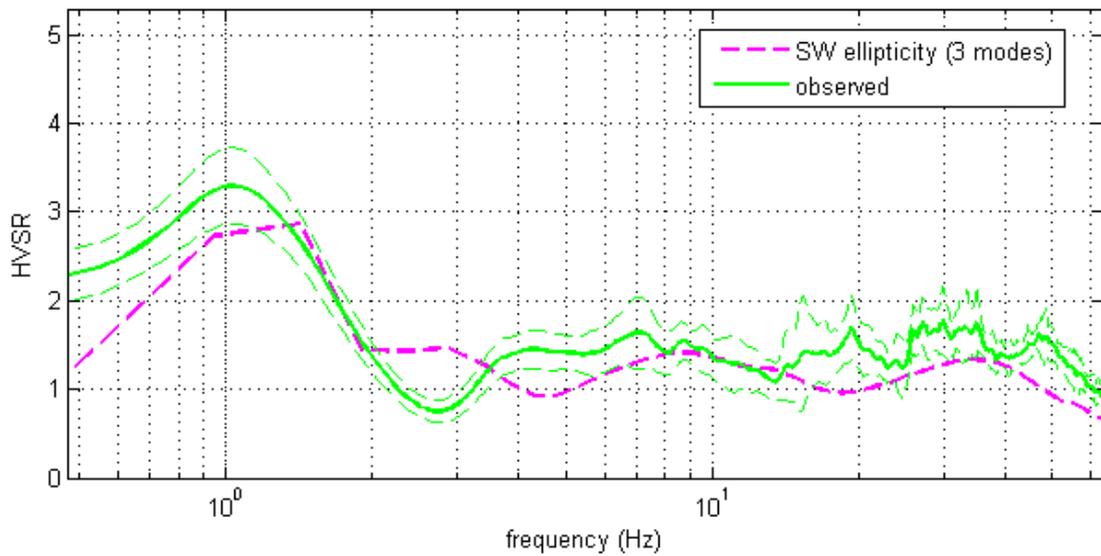


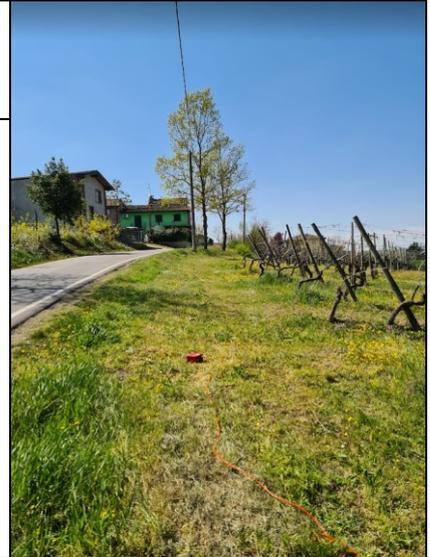
Figura 10.29. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

10.2 Prove sismiche HVSR

**HV01\_033048P50HVSR50**

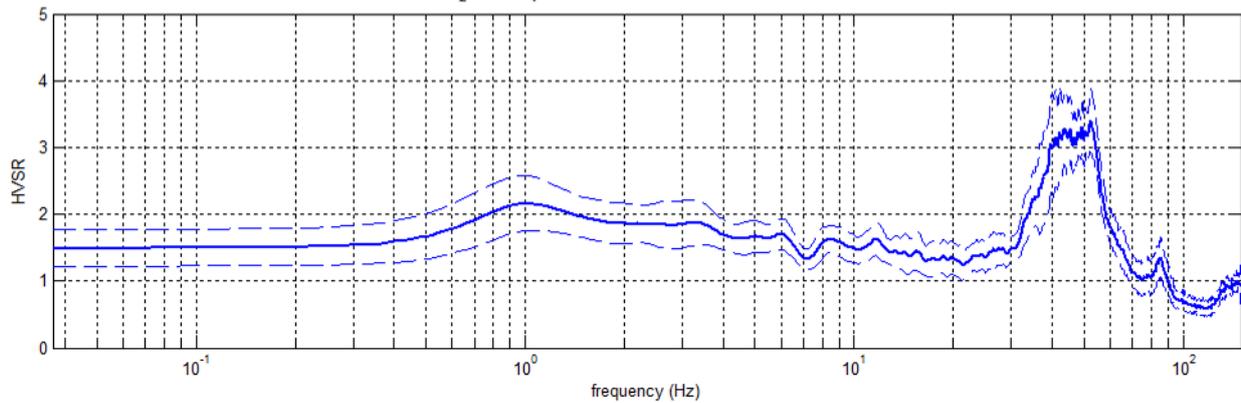
Località: Albareto  
 Data acquisizione: 05/04/2023

Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW 5.2 Professional  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare  
 Lisciamento: 20%

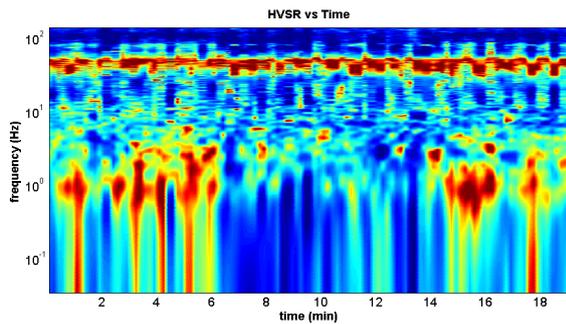


RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

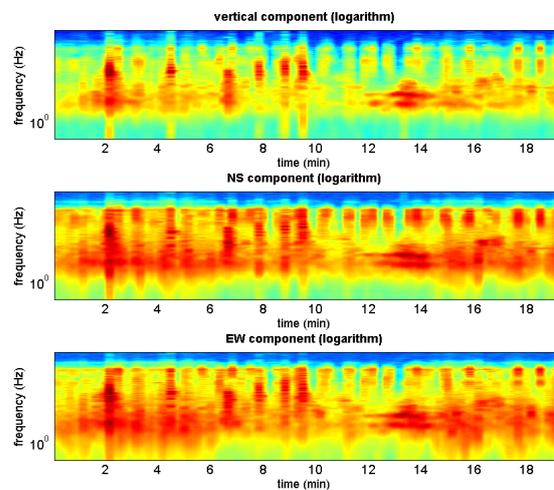
MT<sub>2</sub>0230405,32141.SAF - HVSR (window length: 20s)



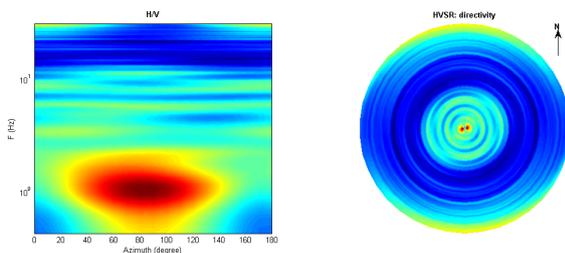
SERIE TEMPORALE H/V

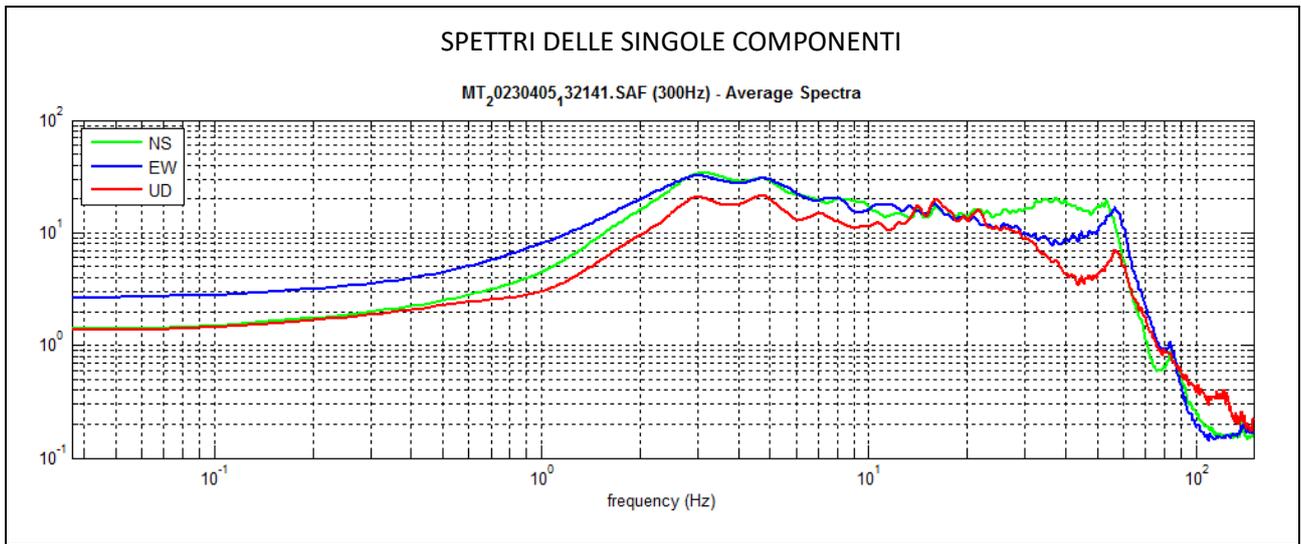


SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



DIREZIONALITÀ H/V





# HV02\_033048P48HVSUR48

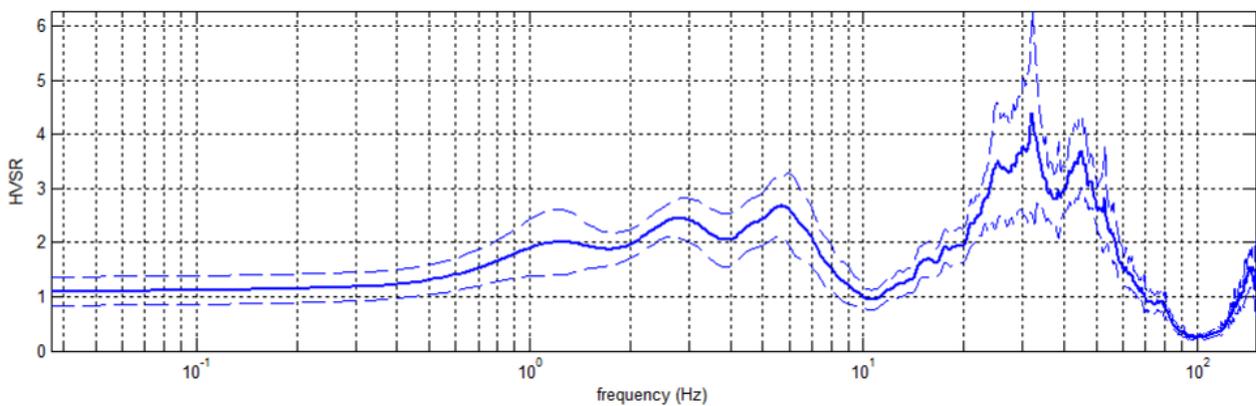
Località: Montalbo  
 Data acquisizione: 05/04/2023

Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW 5.2 Professional  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare  
 Lisciamento: 10%



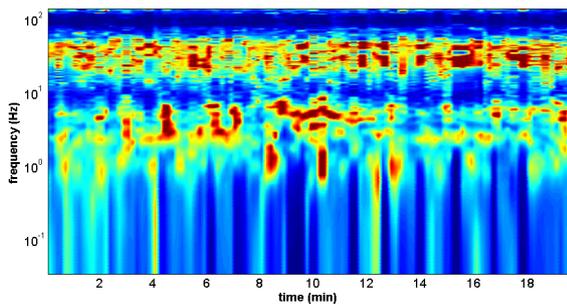
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

MT\_0230405\_04759.SAF - HVSUR (window length: 20s)



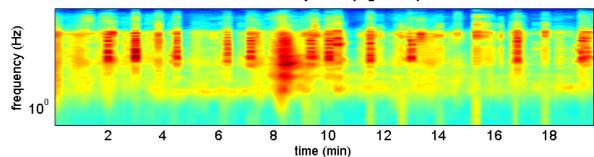
## SERIE TEMPORALE H/V

HVSUR vs Time

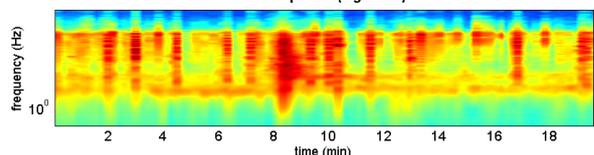


## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI

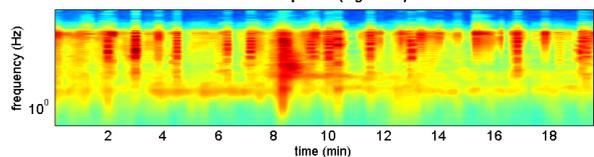
vertical component (logarithm)



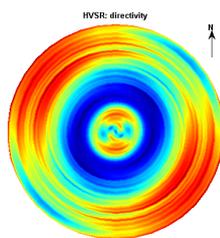
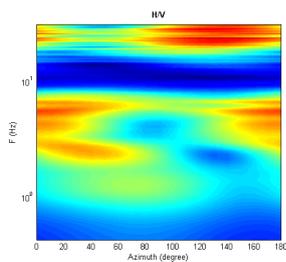
NS component (logarithm)

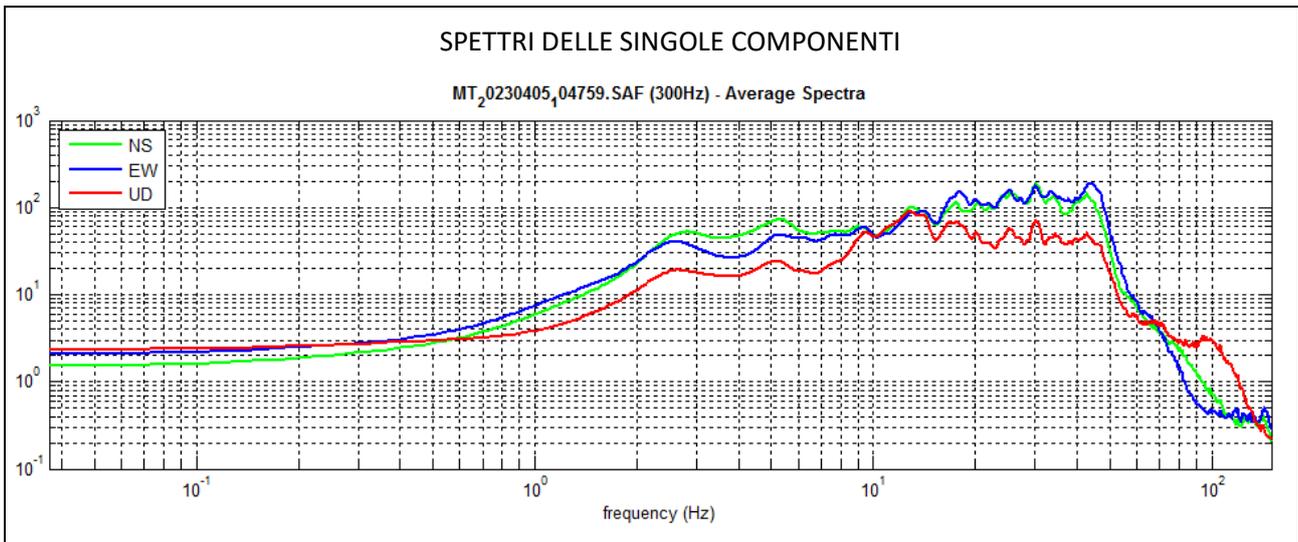


EW component (logarithm)



## DIREZIONALITÀ H/V





Frequenza di picco (Hz): 5,7 ( $\pm 5,7$ )

Valore HVSR di picco: 2,7 ( $\pm 0,6$ )

==== **Criteri per una curva H/V affidabile** =====

- #1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 5,7 > 0,5 (OK)
- #2. [ $n_c > 200$ ]: 13486 > 200 (OK)
- #3. [ $f_0 > 0,5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  per  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

==== **Criteri per un chiaro picco H/V (almeno 5 devono essere soddisfatti)** =====

- #1. [esiste  $f^-$  nell'intervallo [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f^-) < LA_0/2$ ]: (NO)
- #2. [esiste  $f^+$  nell'intervallo [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f^+) < LA_0/2$ ]: sì, alla frequenza 8.5Hz (OK)
- #3. [ $LA_0 > 2$ ]: 2,7 > 2 (OK)
- #4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)
- #5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]: 5,722 > 0,286 (NO)
- #6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0,562 < 1,58 (OK)

# HV03\_033048P51HVS51

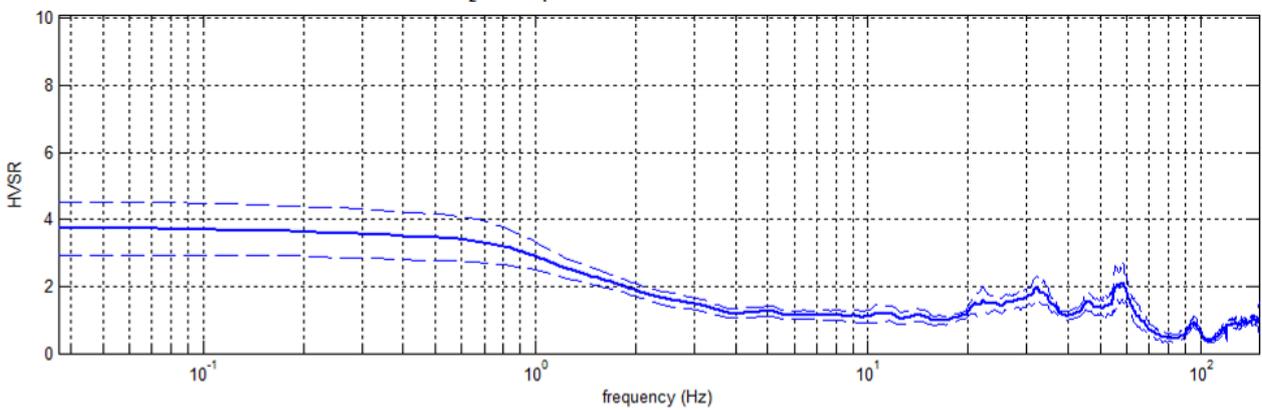
Località: Seminò  
 Data acquisizione: 05/04/2023

Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW 5.2 Professional  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare  
 Lisciamento: 10%



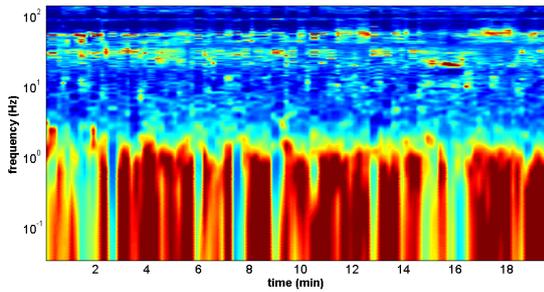
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

MT\_0230405\_43940.SAF - HVSr (window length: 20s)

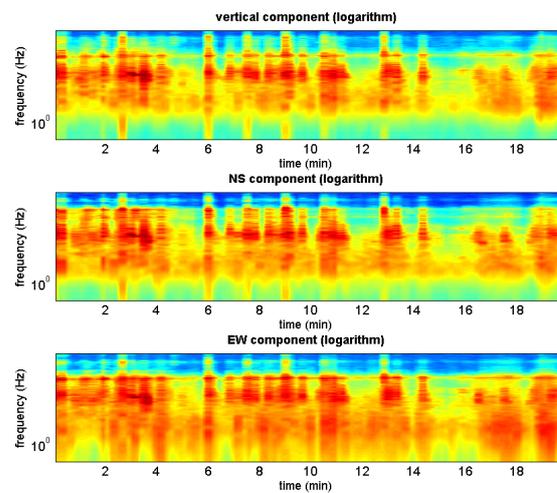


## SERIE TEMPORALE H/V

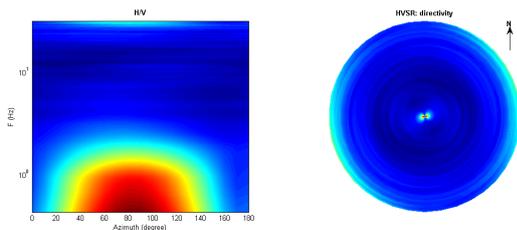
HVSr vs Time

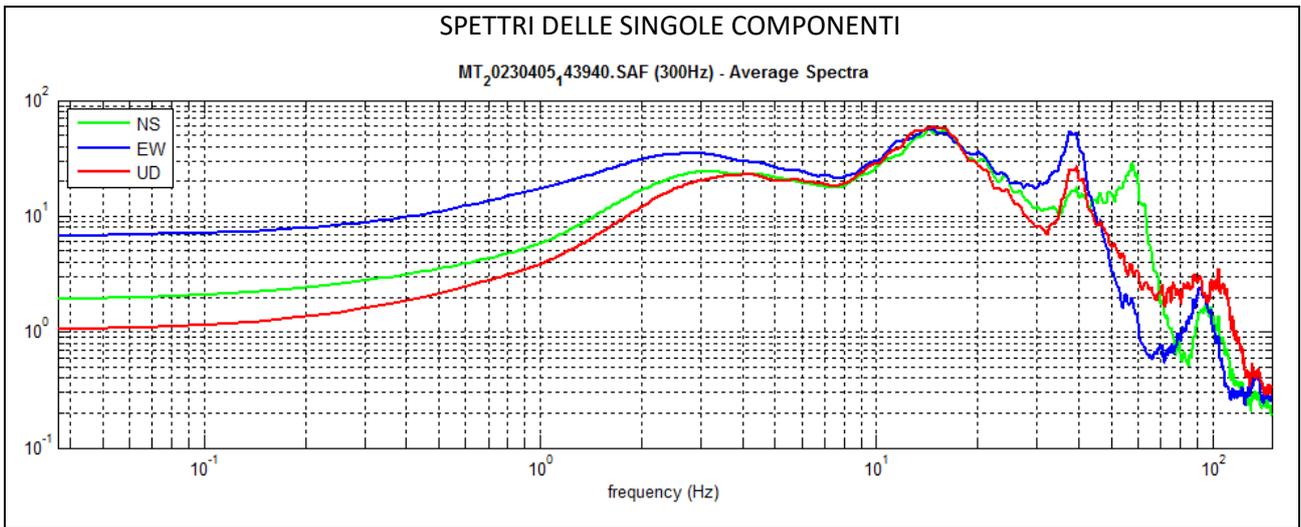


## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V





# HV04\_033048P49HVSR49

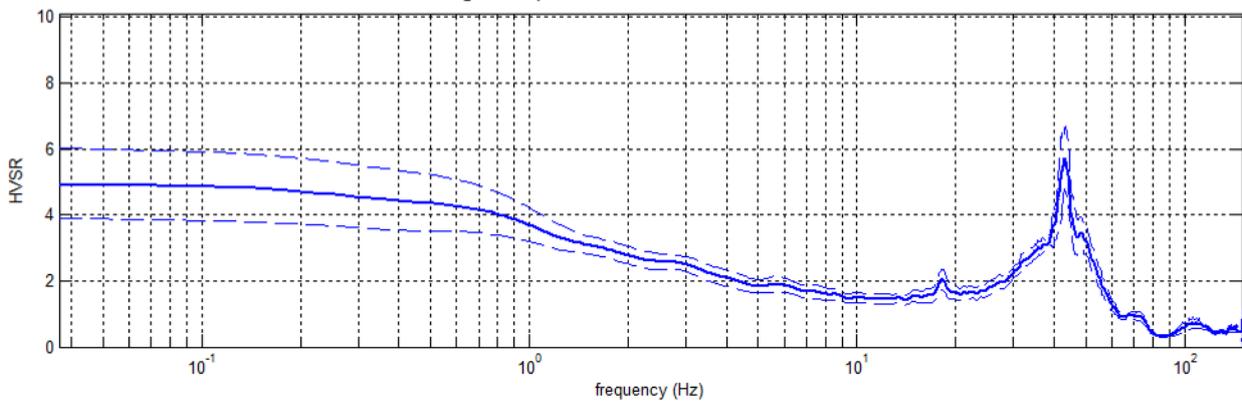
Località: Vicomarino  
 Data acquisizione: 05/04/2023

Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW 5.2 Professional  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare  
 Lisciamento: 20%



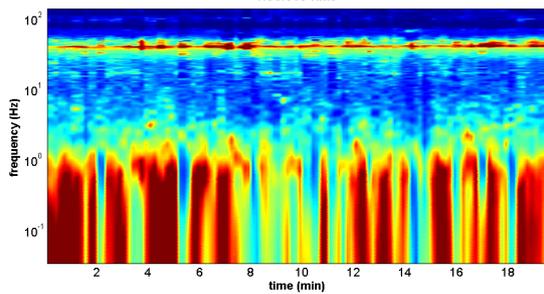
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

MT<sub>2</sub>0230405\_15543.SAF - HVSR (window length: 20s)

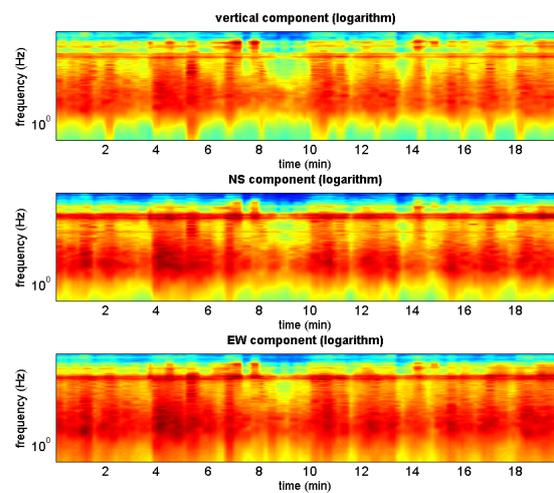


## SERIE TEMPORALE H/V

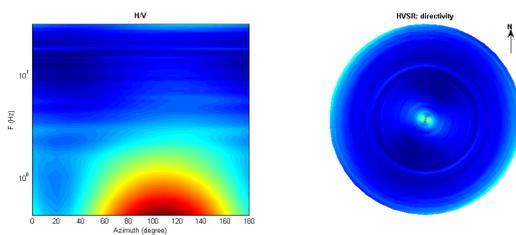
HVSR vs Time



## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI

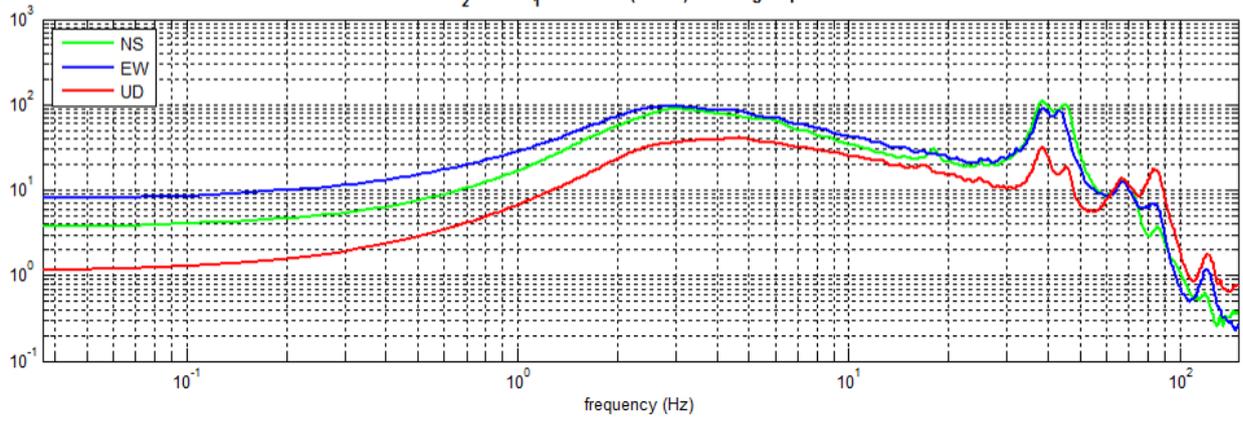


## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

MT<sub>2</sub>0230405<sub>1</sub>15543.SAF (300Hz) - Average Spectra



# HV05\_033048P52HVSRS2

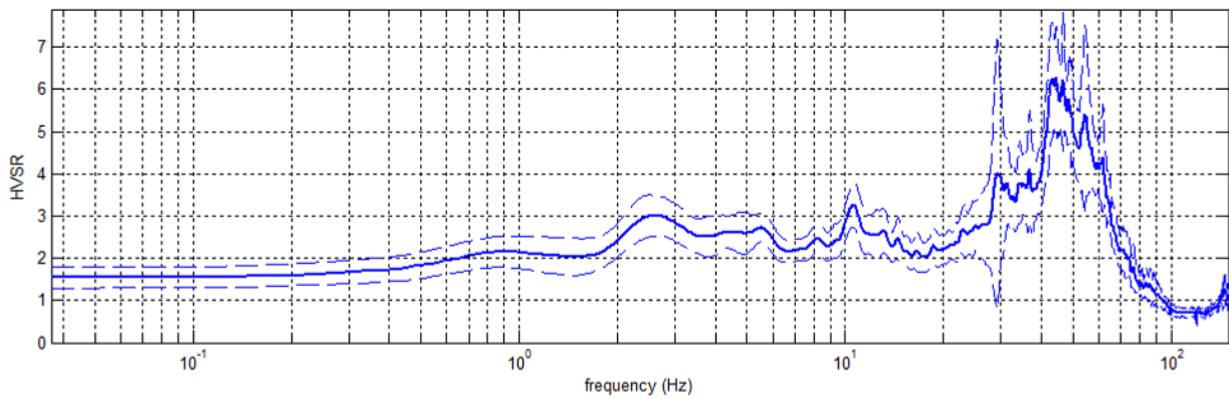
Località: Ziano P.no  
 Data acquisizione: 05/04/2023

Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW 5.2 Professional  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare  
 Lisciamento: 20%



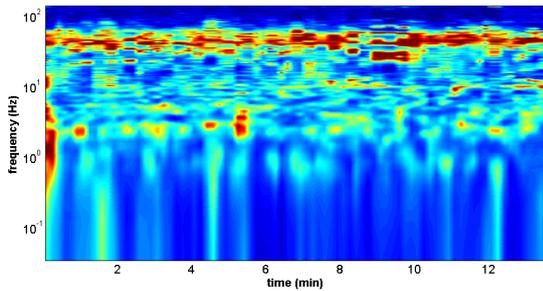
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

MT\_0230405\_55049.SAF - HVSRS (window length: 20s)

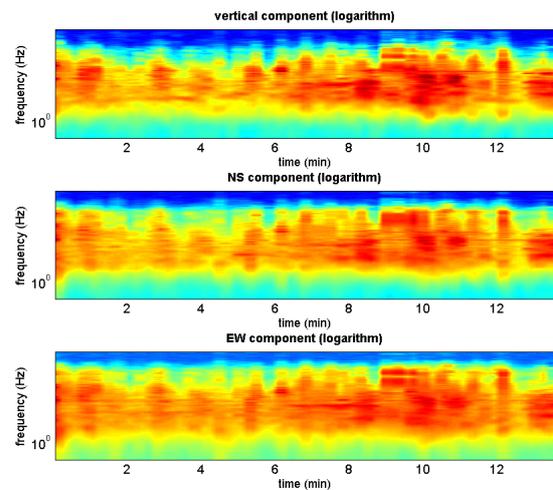


## SERIE TEMPORALE H/V

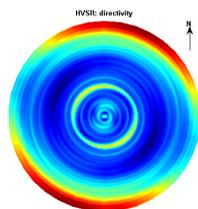
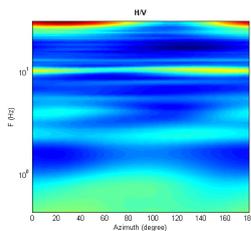
HVSRS vs Time



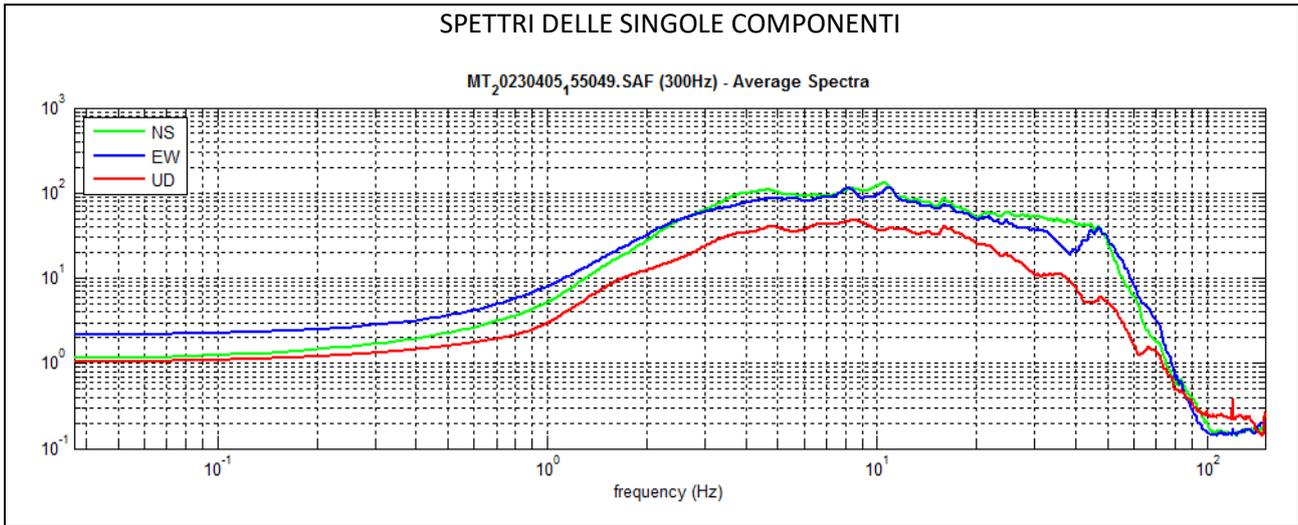
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Frequenza di picco (Hz): 2,7 ( $\pm 2,5$ )

Valore HVSR di picco: 3,0 ( $\pm 0,5$ )

==== Criteri per una curva H/V affidabile =====

- #1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 2,7 > 0,5 (OK)
- #2. [ $nc > 200$ ]: 4385 > 200 (OK)
- #3. [ $f_0 > 0,5\text{Hz}$ ;  $\sigma_{\text{A}}(f) < 2$  per  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

==== Criteri per un chiaro picco H/V (almeno 5 devono essere soddisfatti) =====

- #1. [esiste  $f^-$  nell'intervallo [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f^-) < LA_0/2$ ]: (NO)
- #2. [esiste  $f^+$  nell'intervallo [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f^+) < A_0/2$ ]: (NO)
- #3. [ $LA_0 > 2$ ]: 3,0 > 2 (OK)
- #4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_{\text{A}}(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (NO)
- #5. [ $\sigma_{\text{A}} < \epsilon(f_0)$ ]: 2,483 > 0,134 (NO)
- #6. [ $\sigma_{\text{A}}(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0,477 < 1,58 (OK)

# HV06\_033048P69HVSR69

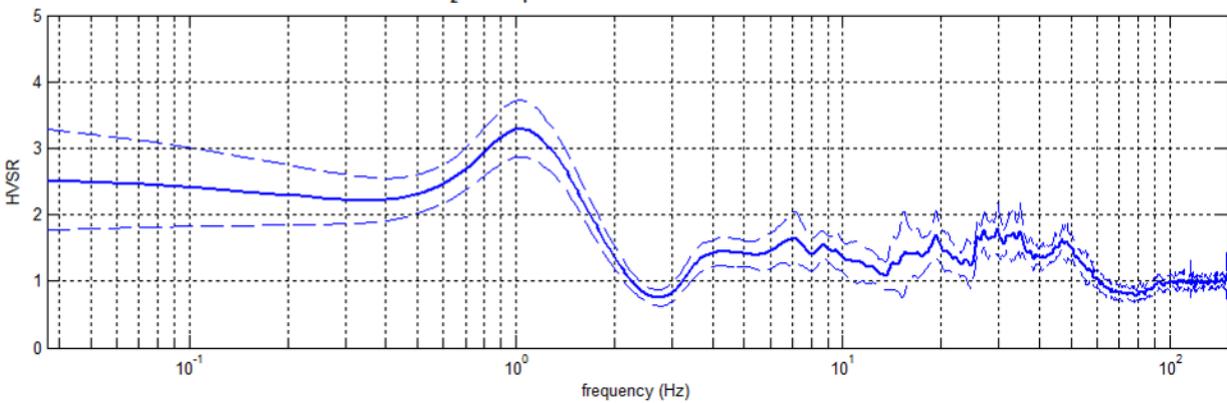
Località: Fornello  
 Data acquisizione: 05/04/2023

Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW 5.2 Professional  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare  
 Lisciamento: 20%



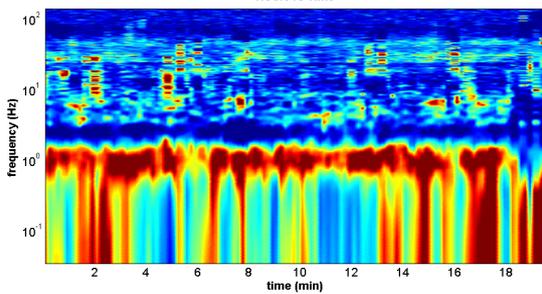
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

MT\_0220426\_24300.SAF - HVSR (window length: 20s)



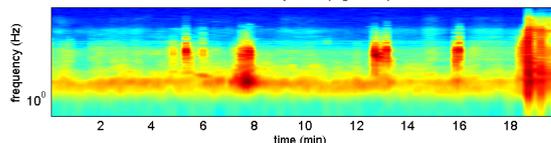
## SERIE TEMPORALE H/V

HVSR vs Time

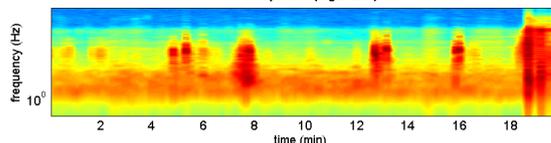


## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI

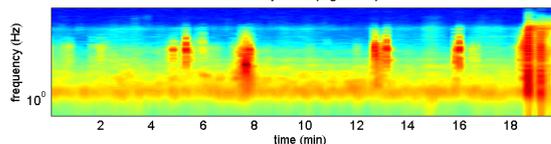
vertical component (logarithm)



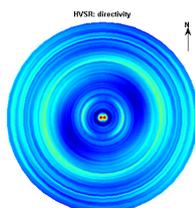
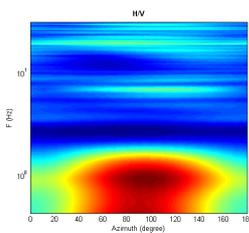
NS component (logarithm)



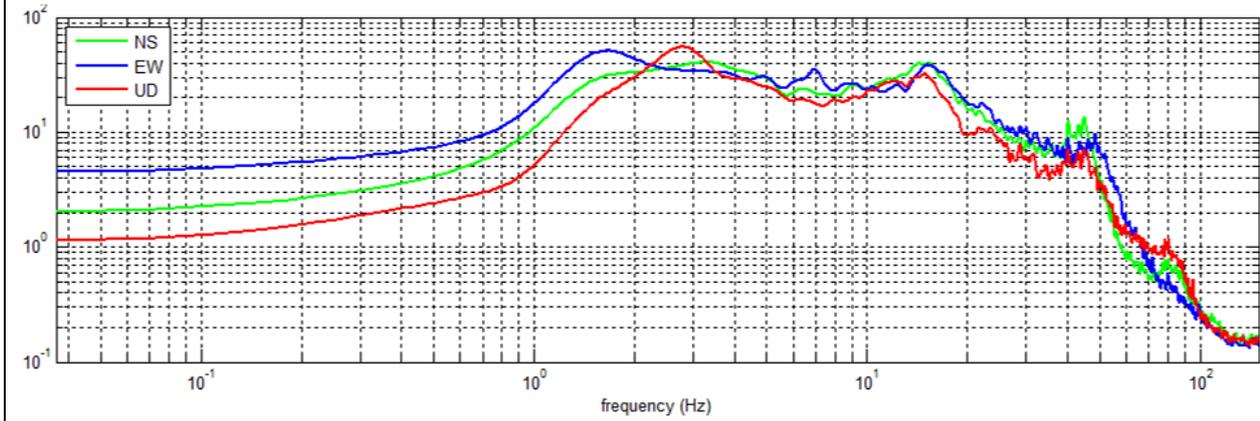
EW component (logarithm)



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Frequenza di picco (Hz): 1,1 ( $\pm 5,8$ )

Valore HVSR di picco: 3,3 ( $\pm 0,4$ )

==== Criteri per una curva H/V affidabile =====

- #1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 1,1 > 0,5 (OK)
- #2. [ $n_c > 200$ ]: 2507 > 200 (OK)
- #3. [ $f_0 > 0,5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  per  $0,5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

==== Criteri per un chiaro picco H/V (almeno 5 devono essere soddisfatti) =====

- #1. [esiste  $f_-$  nell'intervallo [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < LA_0/2$ ]: (NO)
- #2. [esiste  $f_+$  nell'intervallo [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: sì, alla frequenza 1.9Hz (OK)
- #3. [ $LA_0 > 2$ ]: 3,3 > 2 (OK)
- #4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)
- #5. [ $\sigma_A(f) < \epsilon(f_0)$ ]: 5,795 > 0,106 (NO)
- #6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0,429 < 1,78 (OK)