

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Pontenure



Regione	Soggetto realizzatore	Data
EMILIA-ROMAGNA	Dott. Geol. Paolo Mancioppi Collaboratori: Dott. Geol. Gian Marco Veneziani Dott. Geol. Filippo Segalini	Luglio 2018

INDICE

1	Introduzione	4
2	Definizione della pericolosità sismica di base e degli eventi di riferimento	5
2.1	Zonazione sismogenetica	8
2.1.1	Le sorgenti sismogenetiche	9
2.2	Sismicità storica	11
3	Assetto geologico e geomorfologico	12
3.1	Tettonica e sedimentazione	12
3.2	Stratigrafia comunale	14
3.3	Assetto geomorfologico	14
4	Dati geotecnici e geofisici	15
4.1	Indagini geognostiche pregresse	15
4.2	Indagini geognostiche eseguite per la presente microzonazione sismica	15
4.2.1	Prove sismiche MASW+HVSr	15
4.2.2	Prove sismiche tipo HVSr	18
5	Modello del sottosuolo	19
6	Interpretazioni ed incertezze	20
7	Metodologie di elaborazione e risultati	20
8	Elaborati cartografici	21
8.1	Carta delle indagini	21
8.2	Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica	22
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	22
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)	23
8.4.1	Schemi dei rapporti stratigrafici	25
8.4.2	Sezione geologica	26
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	27
8.6	Carta di microzonazione sismica (livello 2)	27
8.7	Commenti finali e criticità	28
9	Confronto della distribuzione dei danni degli eventi passati	29
10	Bibliografia	30
11	Allegati	31
11.1	Prove sismiche tipo Masw+HVSr	31
11.2	Prove sismiche tipo HVSr	43
11.3	Sezione Geologica	51

ELENCO ELABORATI

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

1 INTRODUZIONE

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

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

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

. PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, finalizzato a:

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

. SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, finalizzato a:

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

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

Tale zonazione ha, pertanto, interessato i seguenti abitati:

- .Pontenure
- .Valconasso
- .Paderna
- .Muradello

Il comune di Pontenure confina con i seguenti comuni: Piacenza, Caorso, Cortemaggiore, Cadeo, San Giorgio P.no, Podenzano e Carpaneto P.no.

Nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*", pubblicata sul Supplemento Ordinario n. 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio

2003 il Comune di Pontenure 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 Pontenure è pari a **0.098g**.

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 Comune di Pontenure si sviluppa nella porzione centro-nord della provincia di Piacenza. Dal punto di vista altimetrico esso è compreso fra le quote di 47 e 87 m. s.l.m. I principali centri abitati presenti all'interno dell'area comunale risultano essere: Pontenure, Muradello, Paderna e Valconasso.

Il territorio del Comune di Pontenure si sviluppa con andamento S-N nella mediobassa pianura della provincia di Piacenza; esso si sviluppa nella fascia di pianura solcata dai torrenti Nure e Riglio.

La porzione di pianura considerata presenta un assetto morfologico fondamentalmente caratterizzato dalla assenza di rilievi o depressioni; essa si sviluppa sul ripiano alluvionale wurmiano nella porzione meridionale del territorio comunale, presenta una blanda ed univoca pendenza in direzione NNE verso l'asse padano. La porzione nord occidentale del territorio comunale è impostata prevalentemente su depositi alluvionali antichi. L'acclività della superficie si manifesta con valori gradualmente decrescenti e variabili dallo 0,7-0,9 ‰ allo 0,1-0,3 ‰ procedendo verso NNE.

La pianura viene interrotta esclusivamente da forme morfologiche secondarie, che ne costituiscono gli unici elementi di movimento del paesaggio; questi elementi sono rappresentati da forme negative (depressioni) rappresentate dagli alvei incisi dei torrenti.

Il bacino del torrente Nure ricade interamente in Provincia di Piacenza. Ha una superficie complessiva di circa 430 km² (0,6% dell'intero bacino del Po) di cui il 78% in ambito montano e la restante parte in pianura. Il torrente ha origine al confine con l'Appennino ligure (Provincia di Genova), nascendo sulla falda nord-est del monte Maggiorasca (1.450 m s.m.). Si sviluppa con il tipico orientamento sud-ovest — nord-est e confluisce nel Po poco a valle di Piacenza, nei pressi di Roncaglia, dopo aver percorso 75 km, 43 dei quali in ambito montano.

Il T. Nure rappresenta il principale fattore in grado di influenzare la morfologia delle aree limitrofe. In particolare i principali fenomeni e caratteri che possono essere osservati sono rappresentati da erosioni e sedimentazioni di materiali ad opera del corso d'acqua.

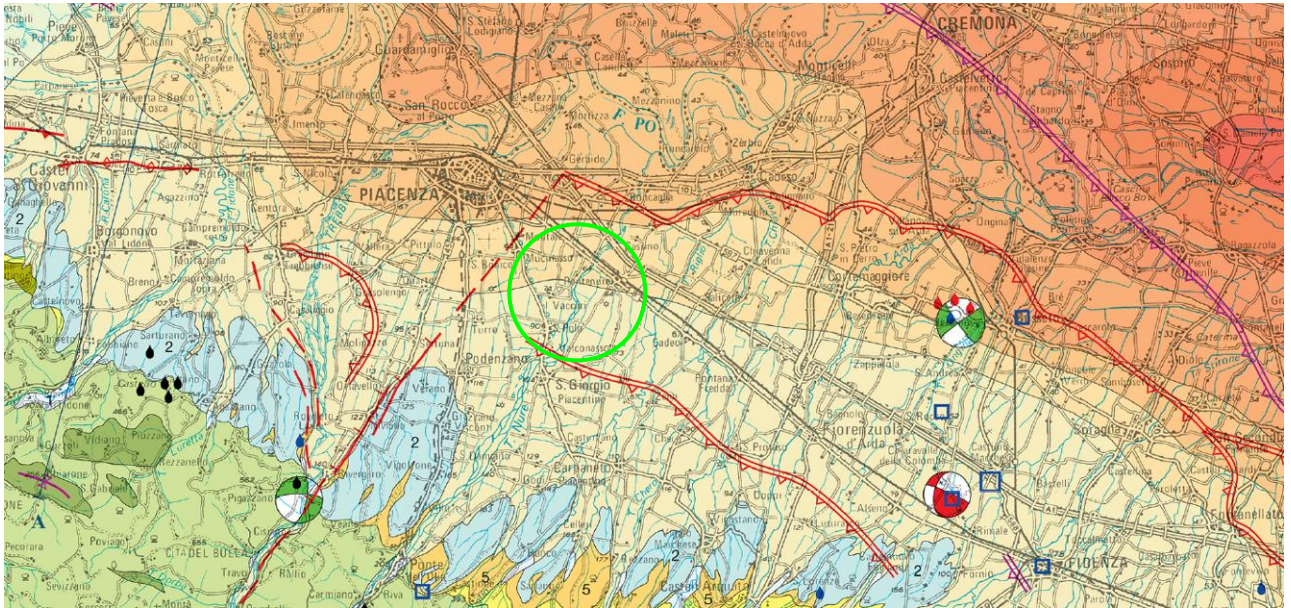
Tali processi sono principalmente evidenti in prossimità dell'alveo attivo del Nure dove fenomeni di erosione e sedimentazione agiscono insieme e con continuità temporale. Il T. Nure infatti in questo tratto presenta un tracciato a meandri e tipico dei corsi d'acqua che attraversano il territorio della medio-bassa Pianura Padana.

Dal punto di vista cartografico l'area ricade nelle tavole I.G.M. n. 162 SO, 162 SE e 180 NO alla scala 1:25.000 ed è ricompresa nella Cartografia Tecnica Regionale (C.T.R.) dell'Emilia Romagna negli elementi 162141, 162142, 162143, 162144, 162153, 180021, 180022, 180023, 180024, 180061 e 180064 alla scala 1:5.000.

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

Il territorio del comune di Pontenure (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 e di un fronte di accavallamento della successione carbonatica meso-cenozoica anch'esso sepolto; entrambe le strutture sono ubicate nella porzione meridionale del territorio comunale (*“Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna” - 2017*).



Unità geologiche affioranti
Outcropping geological units

Depositi quaternari dei bacini intermontani e del margine padano-adriatico
Quaternary deposits of intramontane basins and Po Plain - Adriatic margin

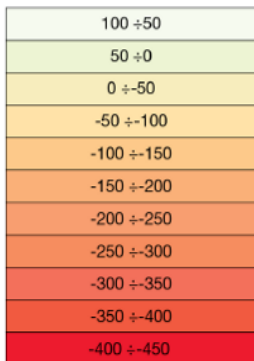
- 1 Depositi alluvionali olocenici
Holocene alluvial deposits
- 2 Depositi alluvionali pleistocenici
Pleistocene alluvial deposits
- 3 Depositi fluvio-lacustri (Villafranchiano-Pleistocene medio)
Fluvial-lacustrine deposits (Villafranchian-middle Pleistocene)

Successione marina plio-pleistocenica del margine padano-adriatico
Pliocene-Pleistocene marine succession of the Po Plain-Adriatic margin

- 4 Sabbie di Imola (Pleistocene medio)
Imola Sands (middle Pleistocene)
- 5 Sabbie gialle (Pleistocene medio)
Yellow sands (middle Pleistocene)
- 6 Successione Pliocene sup. - Pleistocene inf.
Late Pliocene - Early Pleistocene succession

Unità alloctone s.l.
Allochthonous units

- 7 Successione epiligure superiore (Burdigaliano - Messiniano inf.)
Upper Epiligurian Succession (Burdigalian - Early Messinian)
- 8 Successione epiligure inferiore (Luteziano - Burdigaliano)
Lower Epiligurian Succession (Lutetian - Burdigalian)
- 9 Unità Liguridi (Giurassico - Eocene medio)
Ligurian Units (Jurassic - middle Eocene)
- 10 Successione episubligure (Bartoniano - Langhiano)
Episubligurian Succession (Bartonian - Langhian)
- 11 Subliguridi (Cretaceo- Aquitaniano)
Subligurian Units (Cretaceous - Aquitanian)
- 12 Unità delle evaporiti triassiche della Val Secchia
Val Secchia Triassic evaporites



Isobate della base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS; 0,45 Ma-Presente) riferite al livello del mare
Isobaths of the base of the Emilia-Romagna Upper Synchronism (SERS; 0,45 My-Present) referred to the sea level

Ma = milioni di anni
My = millions of years

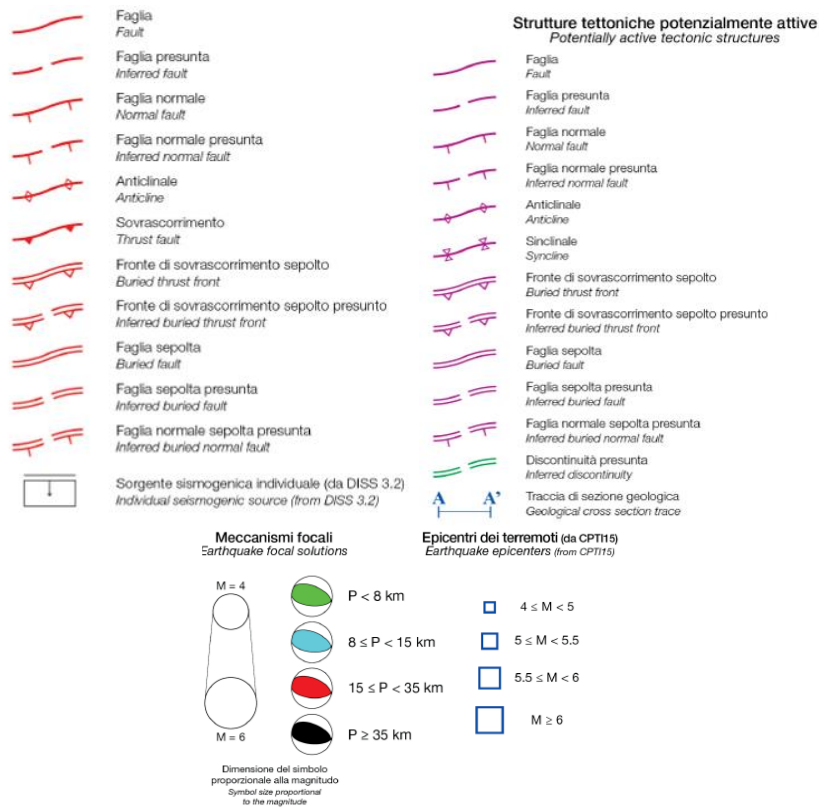


Figura 2.1. Estratto dalla “Carta Sismotettonica dell’Emilia Romagna” (2017) con indicazione del territorio comunale.

Il territorio comunale ricade essenzialmente nel Foglio 180 “Salsomaggiore Terme” della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000 .

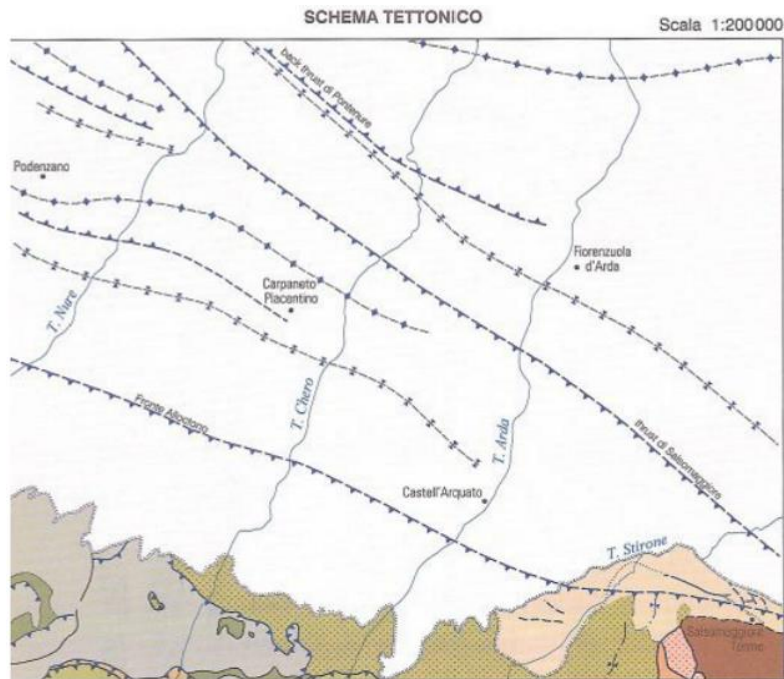




Figura 2.2. Estratto dallo schema tettonico del Foglio 180 della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. In evidenza il thrust di Salsomaggiore che attraversa il territorio.

Nello schema tettonico allegato al Foglio 180 è cartografato un sovrascorrimento principale denominato “thrust di Salsomaggiore”; tale elemento interessa il settore meridionale del territorio comunale di Pontenure attraversandolo da ESE a WNW. Nello schema tettonico allegato al Foglio 181 si nota la prosecuzione del thrust di Salsomaggiore esternamente al limite comunale. Nello schema del Foglio “Salsomaggiore Terme” è anche cartografato un asse di sinclinale sepolto posto a nord del thrust di Salsomaggiore ed interessante il territorio comunale in corrispondenza della SS9 Via Emilia. Le esposizioni riportate di seguito sono tratte dalle Note alla “Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna” e dalle Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 del Foglio 198 Bardi.

In merito al thrust di Salsomaggiore dalle Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 del Foglio 180 “Salsomaggiore Terme” si estrae quanto segue (Cap.V §1): *il thrust di Salsomaggiore costituisce il lineamento strutturale dominante del foglio e si manifesta diversamente in funzione dell'orientazione delle sezioni che lo attraversano. L'asse di questa struttura è orientato circa ESE-ONO e la sua proiezione in superficie attraversa l'allineamento S. Giorgio Piacentino, S. Protaso (Fiorenzuola), Salsomaggiore. L'asse è immergente verso ONO e la culminazione della struttura si osserva nel settore SO del Foglio (in prossimità di Salsomaggiore). Nel settore SE il thrust di Salsomaggiore determina una struttura anticlinale rovesciata e fagliata. Verso ovest l'anticlinale non è rovesciata e nelle porzioni più occidentali del Foglio è simmetrica ed oltre al thrust frontale si osservano anche retroscorrimenti (back thrust di Turro e back thrust di S. Giorgio Piacentino). Il piano del thrust si immerge ad alto angolo verso SSO attraversando e dislocando parte della successione pliocenica (apparentemente fino al Pliocene medio-superiore), tutta la successione di avana fossa appenninica e si radica nei livelli profondi all'interno dei carbonati mesozoici. Localmente il rigetto del thrust è stato valutato almeno 1000-1500 m.*

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., 2004¹) 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 Pontenure, nella nuova zonazione ZS9, ricade prevalentemente nella zona sismogenetica **911**.

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

¹ 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

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).

La zonazione (ZS9) indica anche una profondità dello strato sismogenetico, che risulta essere compreso tra 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

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

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

Secondo questa nuova proposta, in figura successiva messa a confronto con le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute, il Comune di Pontenure ricade in zona sismogenetica con meccanismi di rottura prevalentemente inverso (thrust fault).

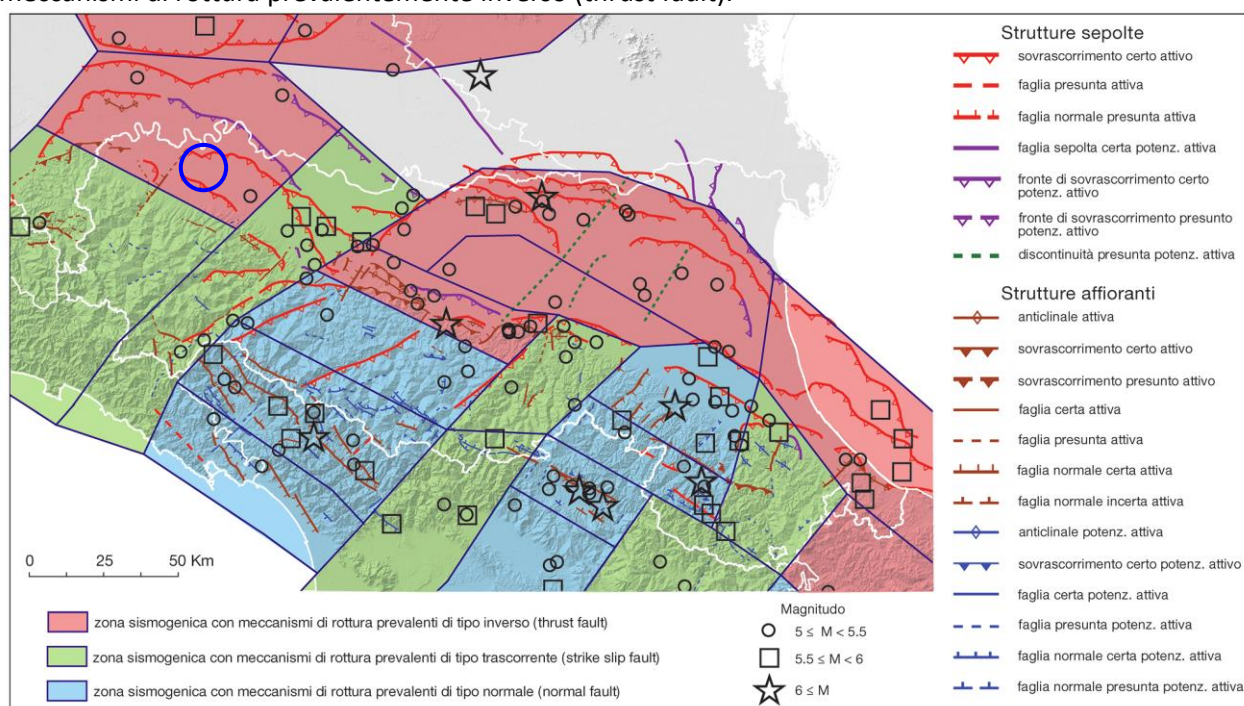


Figura 2.3. Mappa di confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute e la zonazione sismogenetica proposta da Martelli et al. (2017).

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.

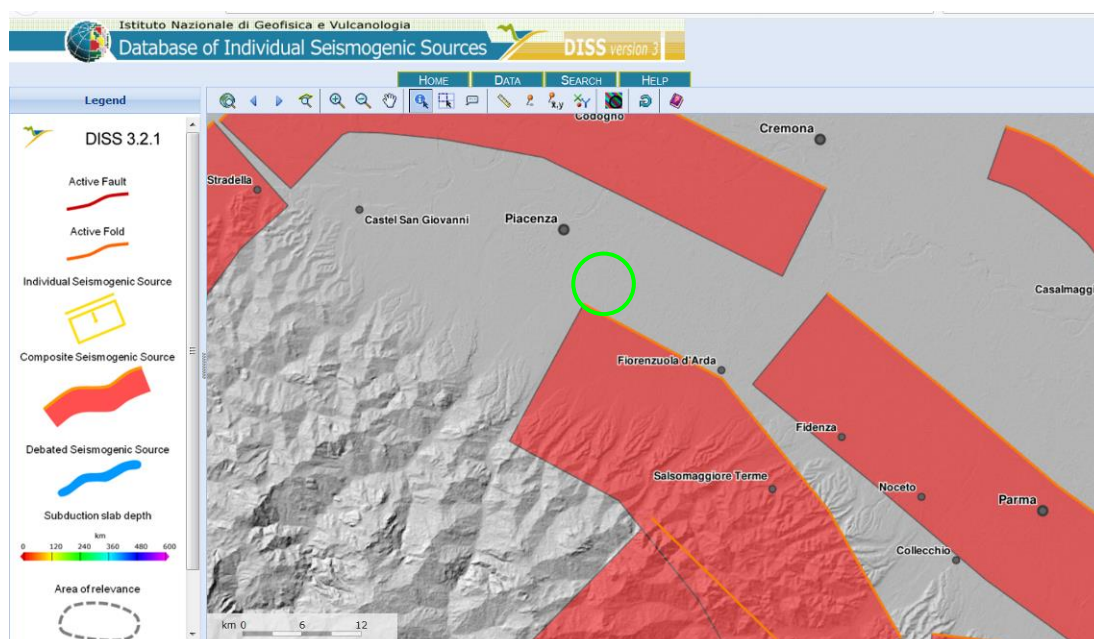


Figura 2.4. Mappa sorgenti sismogenetiche in cui si evidenzia la ITCS045_San Giorgio Piacentino-Fornovo di Taro. In cerchio verde il comune di Pontenure .

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 settore meridionale del comune di Pontenure è interessato da una sorgente sismogenetica individuata denominata **ITCS045** “San Giorgio Piacentino-Fornovo Taro”.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i dati relativi alla sorgente estratti dal database .

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES			
COMMENTARY PICTURES REFERENCES USER COMMENTS			
GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITCS045		
Name	San Giorgio Piacentino-Fornovo di Taro		
Compiler(s)	Burrato P (1)		
Contributor(s)	Burrato P (1), Basili R (1)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy		
Created	08-Jan-2005		
Updated	26-Jun-2015		
Display map ...			
Related sources			
PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	10.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	110...150	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from regional geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.24...0.63	EJ	Inferred from geological data by Ponza et al. (2010) and Gunderson et al. (2013)
Max Magnitude [Mw]	5.5	EJ	Assumed from regional seismological data.

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).

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. 44.9995** e **long. 9.7860**) sono stati identificati **467** eventi significativi dei quali si riporta l'ubicazione nella figura seguente; gli eventi principali presentano una Intensità massima I_{max} pari a 8.

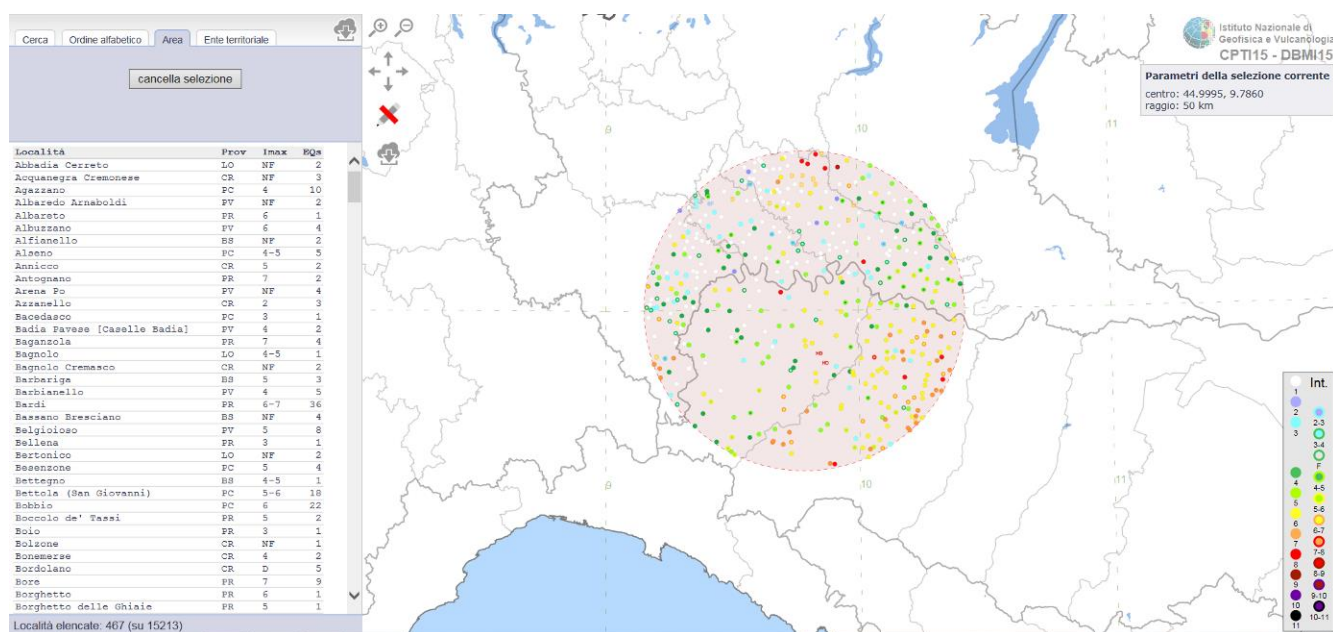
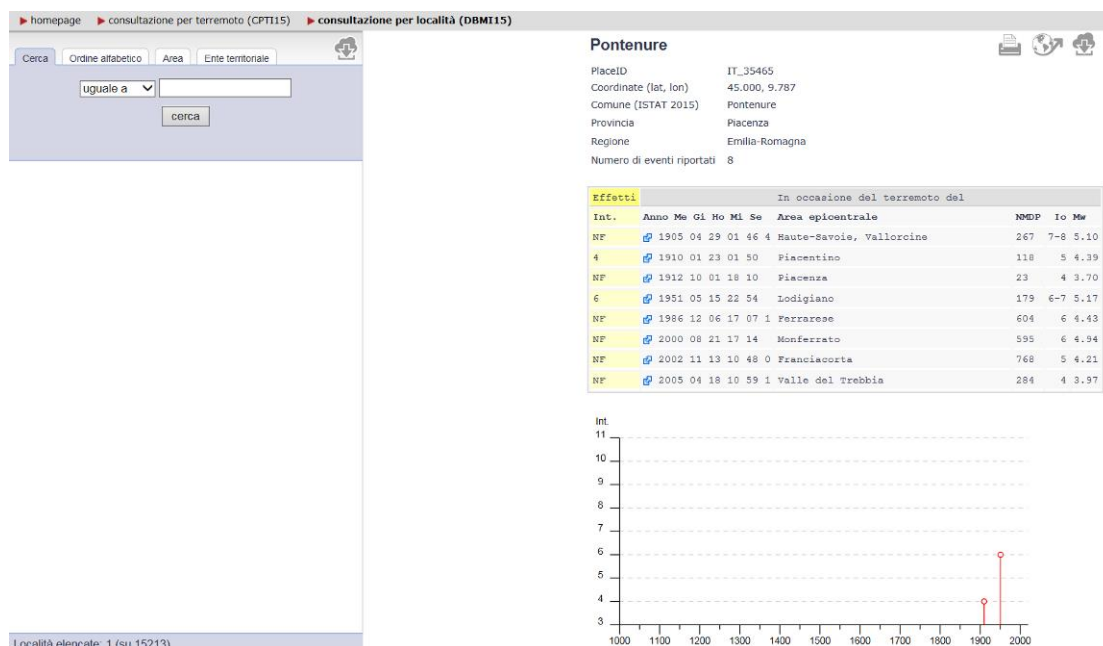


Tabella 2.1. Estratto dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani, terremoti con epicentro compreso in un raggio di 50Km dal centro abitato di Pontenure.

Nel catalogo DBMI15 a cura di Locati et al. 2011 viene riportata la storia sismica nota del comune di Pontenure da cui si estrae quanto segue:



In sintesi si segnalano in particolare il terremoto del 15/05/1951 di magnitudo 5.17 con epicentro nel Lodigiano e il terremoto del 29/04/1905 di magnitudo 5.1 con epicentro in comune di Vallorcina.

3 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 Tettonica e sedimentazione

La pianura emiliano-romagnola è il risultato del riempimento del Bacino Perisuturale Padano, vasta depressione delimitata a cintura dai rilievi appenninici ed alpini, avvenuto attraverso un potente accumulo di depositi marini ed alluvionali di età pliocenica e quaternaria.

L'attuale strutturazione del bacino trae origine dalle spinte deformative che, a partire dal Miocene superiore, hanno coinvolto l'Appennino Settentrionale e l'antistante substrato padano, provocandone la deformazione secondo un modello generale a falde sovrapposte ed embrici NE vergenti (PIERI & GROPPPI, 1982).

In particolare nel settore di pianura sono presenti due archi di accavallamenti (Fig. 1), in gran parte sepolti, sviluppati con orientamento NO-SE. Si tratta di gruppi di strutture anticlinali, associate a piani di scollamento ed accavallamento (*thrust*) immergenti generalmente verso SO con inclinazioni comprese tra 20° e 30°, separati da ampie zone sinclinali fortemente subsidenti.

Il primo arco è impostato in corrispondenza dell'attuale margine morfologico dell'Appennino, il secondo, più a settentrione, si estende dall'Appennino vogherese fino a Reggio Emilia sull'allineamento Cremona - Parma. L'arco di accavallamenti più meridionale è conosciuto nella letteratura geologica (PIERI & GROPPPI, 1982; BERNINI & PAPANI, 1987) con il nome di "Fronte di Sovrascorrimento Pedeappenninico" (*Pedeappenninic Thrust Front*, PTF); il secondo, più settentrionale, è conosciuto con il nome di "Fronte di Sovrascorrimento Esterno" (*External Thrust Front*, ETF) e costituisce l'arco di accavallamenti sepolti attualmente attivi nel Bacino Padano, come dimostrano i recenti terremoti.

Il riempimento del bacino è costituito da una successione di depositi a carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali. Tale riempimento non è avvenuto in maniera progressiva e continua, ma è il risultato di eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di marcata subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive.

L'interpretazione dei profili sismici eseguiti nel corso degli anni dall'AGIP (Di Dio, 1997) ha permesso di riconoscere due direzioni di progradazione: la prima, assiale, est-vergente, connessa al paleodelta del Po; la seconda, trasversale, nord-vergente, originata dai sistemi deltizi ad alimentazione appenninica.

Sulla base dei moderni concetti di stratigrafia sequenziale, ossia del metodo stratigrafico che utilizza le discontinuità e le superfici di continuità ad esse correlabili per suddividere la successione sedimentaria in sequenze deposizionali, nell'ambito dei depositi quaternari del margine appenninico padano e dell'antistante pianura sono state riconosciute due sequenze principali, in risposta ad altrettanti eventi tettonici di sollevamento regionale, così denominate:

- **SUPERSINTEMA DEL QUATERNARIO MARINO** (affiorante nella fascia collinare)
- **SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO**

L'organizzazione verticale delle facies di questi sistemi deposizionali è costituita dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria fine, con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana, indotta dalle disattivazioni e dalle successive riattivazioni dei sistemi deposizionali.

All'interno delle sequenze deposizionali principali (Supersintemi) sono state distinte sequenze di rango inferiore, denominate Sintemi, delimitate da superfici di discontinuità indotte da eventi tettonici minori a carattere locale e/o da oscillazioni climatico-eustatiche; a loro volta i Sintemi vengono suddivisi in unità minori (Subsintemi e Unità).

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo, è composto da due unità principali: una unità inferiore, detta "Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore" ed un'unità superiore detta "Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore", separate da una superficie di discontinuità stratigrafica, individuata in affioramento e seguita nel sottosuolo tramite l'interpretazione dei profili sismici.

Il contesto geodinamico locale in cui si sviluppa il Supersintema Emiliano-Romagnolo è quello di un bacino di *piggyback* adiacente all'avanfossa padana, allungato in senso SE – NO e limitato a tergo (SO) e sul fronte (NE) dai due archi di strutture compressive (rispettivamente PTF e ETF) fortemente attive. Fino a quando il sollevamento del margine appenninico determinato dal PTF risulta tale da continuare a produrre una forte subsidenza relativa del bacino di *piggyback* posto ai suoi piedi, in quest'ultimo persistono le condizioni per avere prevalente aggradazione sedimentaria. A questa fase corrisponde la deposizione dei sedimenti di piana e conoide alluvionale distale appartenenti al Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore.

Nel momento in cui diminuisce la subsidenza relativa del bacino di *piggyback*, come conseguenza del forte sollevamento regionale prodotto in corrispondenza dell'ETF, si determinano significativi spostamenti verso Nord del margine appenninico e quindi si assiste, allo sviluppo di depositi di conoide alluvionale, terrazzati. Quest'ultimi, nel loro insieme, costituiscono il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore.

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo giace in discordanza sul Supersintema Quaternario Marino, di età Pliocene superiore (?) - Pleistocene inferiore, il quale risulta costituito da terreni paralici e marini, che si sono depositi al di sopra di una estesa superficie di discontinuità al termine di un evento di sollevamento tettonico di importanza regionale.

Lo spessore complessivo dei depositi del Quaternario può raggiungere valori notevoli in quanto la sua base è segnalata ad una profondità al di sotto del livello del mare variabile da 1000 m a Nord a 2000 m verso Sud (AGIP – Direzione Mineraria, 1967; C.N.R.,1990).

Per quanto riguarda la caratterizzazione dei depositi pliocenici-quaternari dellapianura, dalle più recenti alle più antiche, sono state distinte le unità di seguito descritte (Dondi L., 1986).

Quaternario continentale (Pleistocene superiore)

È caratterizzato prevalentemente da depositi fluvioglaciali, eolici, deltizi e fluviali, anche se non mancano episodi marini probabilmente più frequenti nel settore orientale della pianura.

I depositi fluvioglaciali hanno spessore variabile da alcuni metri fino ad un massimo di un centinaio di metri; sono localmente sovrapposti ai depositi del Calabriano e del Pliocene e talora, lungo il bordo appenninico, anche alle formazioni pre-plioceniche. Questi depositi sono stati incisi profondamente dalla rete idrografica specialmente nel settore pedeappenninico.

Quaternario marino (Pleistocene inferiore)

È litologicamente caratterizzato da grossi banchi di sabbie giallastre con intercalazioni argillose grigie appartenenti al membro superiore della Formazione di Castell'Arquato, *Calabriano*).

La presenza di livelli torbosi nella parte sommitale indica probabilmente il verificarsi di ripetuti passaggi da un ambiente marino ad uno continentale o di transizione, per successive trasgressioni e regressioni marine che nei settori orientali della Pianura Padana sono proseguite anche durante il Pleistocene superiore.

Pliocene superiore

È caratterizzato dal membro inferiore della Formazione di Castell'Arquato, comprende depositi calcarenitici sublenticolari passanti verso l'alto a sabbie poco cementate con lenti ghiaiose, prevalentemente quarzose, gialle per alterazione.

Pliocene inferiore (Argille di Lugagnano)

Rappresentano generalmente la totalità dei sedimenti del ciclo pliocenico. Si tratta di argille marnose, con livelli più o meno sabbioso-siltosi, presentano una tipica colorazione grigio-azzurra ed intercalazioni di torbe nerastre, ad indicare sedimentazione in condizioni anossiche. Lo spessore di questi sedimenti può essere superiore ai 100 m.

3.2 Stratigrafia comunale

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

I terreni affioranti nel territorio comunale di Pontenure, di origine esclusivamente alluvionale sono il risultato dell'azione di deposizione ed erosione dei due principali corsi d'acqua: Torrenti Nure e Riglio. Di tutte le unità affioranti nell'ambito della Pianura Padana solo tre di queste sono presenti nel Comune di Pontenure:

· *b1 – Depositi alluvionali in evoluzione: Ghiaie, talora embriciate, sabbie e limi argillosi di origine fluviale, attualmente soggetti a variazioni dovute alla dinamica fluviale; detrito generalmente incoerente e caotico, costituito da clasti eterometrici ed eterogenei, talora arrotondati, in matrice sabbiosa, allo sbocco di impluvi e valli secondarie.*

· *AES8 - Subsistema di Ravenna: Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi: depositi intravallivi terrazzati e di conoide ghiaiosa. Limi e limi sabbiosi: depositi di interconoide. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 metri.*

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

I passaggi litologici da un'unità all'altra risultano poco evidenti in quanto la morfologia si presenta sempre molto regolare senza particolari variazioni altimetriche; gli unici passaggi litologici degni di nota sono rappresentati dalle scarpate dei torrenti in cui è possibile differenziare le alluvioni attuali, rappresentate dall'alveo attivo dei corsi d'acqua, dalle alluvioni medio-recenti, rappresentate dal primo terrazzo al di sopra dell'alveo, e dal Fluviale Wurm e dalle Alluvioni antiche che ricoprono la superficie del territorio comunale.

3.3 Assetto geomorfologico

Il territorio del Comune di Pontenure si sviluppa con andamento S-N nella mediobassa pianura della provincia di Piacenza; esso si sviluppa nella fascia di pianura solcata dai torrenti Nure e Riglio.

La porzione di pianura considerata presenta un assetto morfologico fondamentalmente caratterizzato dalla assenza di rilievi o depressioni; essa si sviluppa sul ripiano alluvionale wurmiano nella porzione meridionale del territorio comunale, presenta una blanda ed univoca pendenza in direzione NNE verso l'asse padano. La porzione nord occidentale del territorio comunale è impostata prevalentemente su depositi alluvionali antichi. L'acclività della superficie si manifesta con valori gradualmente decrescenti e variabili dallo 0,7-0,9 ‰ allo 0,1-0,3 ‰ procedendo verso NNE.

La pianura viene interrotta esclusivamente da forme morfologiche secondarie, che ne costituiscono gli unici elementi di movimento del paesaggio; questi elementi sono rappresentati da forme negative (depressioni) rappresentate dagli alvei incisi dei torrenti.

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

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

Abbastanza numerose sono risultate le prove penetrometriche statiche [34]; più rare quelle dinamiche [8 medie e 2 pesanti]. La stratigrafia del territorio è stata inoltre indagata da qualche sondaggio a carotaggio continuo [4], da stratigrafie di pozzi per acqua [12]. Non troppo numerose sono invece risultate le indagini geofisiche, tra cui 5 prove sismiche multicanale basate su onde di superficie (tipo MASW) e 5 prove a stazione singola (tipo HVSR).

4.2 Indagini geognostiche eseguite per la presente microzonazione sismica

Ad integrazione dei dati reperiti è stata eseguita una campagna di indagine volta all'integrazione soprattutto dei dati geofisici. In particolare sono state eseguite 4 prove sismiche a stazione singola (HVSR) e 4 sismiche tipo MASW + HVSR.

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

4.2.1 Prove sismiche MASW+HVSR

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

rapporto spettrale H/V (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - HVSR) utile a definire eventuali risonanze di sito e, unitamente a misure di dispersione delle onde di superficie, a meglio vincolare il profilo V_s (Dal Moro, 2010; 2011). A causa della pesante non-univocità della soluzione una modellazione del solo HVSR senza quantitative informazioni sulle V_s da parte di misure MASW non risulta sufficientemente affidabile.

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

La 4 prove Masw+HVSR sono state eseguite rispettivamente nei pressi degli abitati di:

- Pontenure
- Muradello
- Paderna
- Valconasso

Pontenure

Il valore di V_{s30} calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 231 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di V_s registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

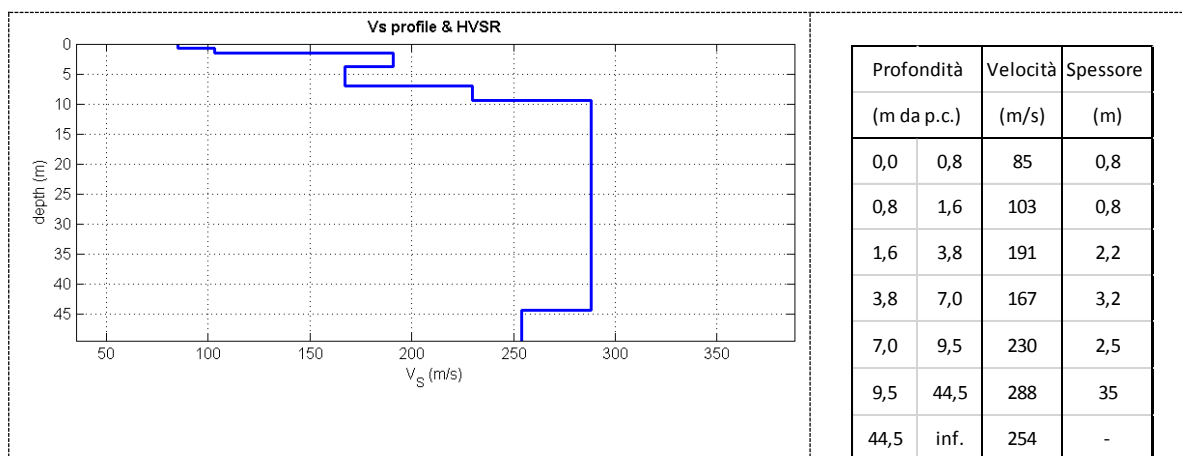


Figura 4.1. Profilo di V_s ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di V_s .

Muradello

Il valore di V_{s30} calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 285 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.

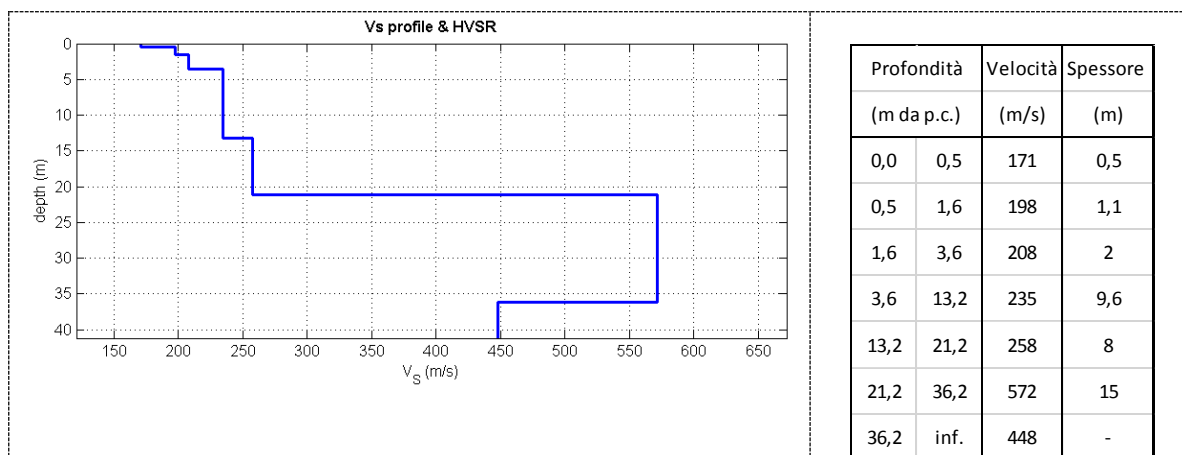


Figura 4.2. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di Vs.

Paderna

Il valore di V_{s30} calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 285 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.

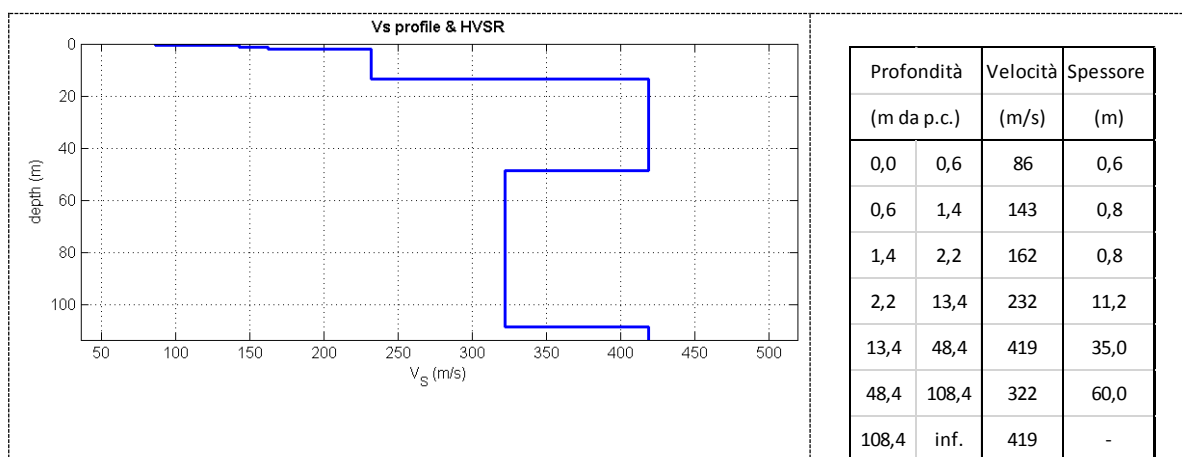


Figura 4.3. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di Vs.

Valconasso

Il valore di V_{s30} calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 363 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di Vs registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

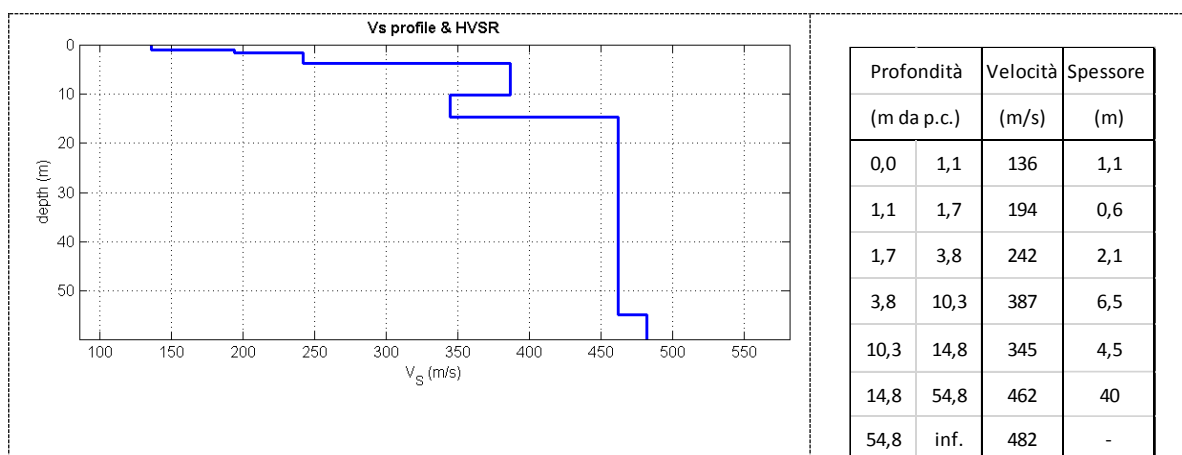


Figura 4.4. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di Vs.

4.2.2 Prove sismiche tipo HVSR

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

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

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

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

Per la campagna di indagine è stato utilizzato un sismografo SRO4-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.

ID_INDPU	F ₀	Ampiezza	Altri picchi significativi	Località
033037P9HVSR9	5,9	2,3	-	Pontenure ex Consorzio
033037P18HVSR18	14,6	1,7	-	Pontenure loc.Campazzo
033037P26HVSR26	7,6	2,2	-	Pontenure Via Volta
033037P31HVSR31	6,5	1,5	-	Pontenure loc.Zerbia
033037P43HVSR43	4,1	2,3	-	Paderna
033037P44HVSR44	13,0	2,9	-	Valconasso
033037P45HVSR45	4,8	1,7	-	Pontenure_area ex RDB
033037P46HVSR46	3,0	2,1	-	Muradello
033037P47HVSR47	7,8	2,7	-	Pontenure_loc.Coglialegna

5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

La base per uno studio di microzonazione sismica è la definizione, quanto più accurata possibile, del modello geologico del sottosuolo, cercando di individuare come varia la successione stratigrafica all'interno delle aree in esame e a che profondità si possa trovare il substrato rigido.

A tale scopo, per il Comune di Pontenure, sono stati esaminati e confrontati tra loro tutti i dati geognostici raccolti oltre a differenti cartografie tematiche, con scale di diverso grado di dettaglio.

Le unità del Sintema Emiliano-Romagnolo sono litologicamente contraddistinte dalla presenza di limi ed argille intercalati da ghiaie la cui distribuzione risulta legata, e spesso limitata, a canali fluviali, che rendono non corretta una mappatura del tetto delle ghiaie in quanto sono presenti repentine variazioni litologiche laterali e verticali. Tale situazione è ben evidenziata nella sezioni geologica riportata in allegato. Nell'area non sono noti affioramenti del Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI); tale unità è invece individuata nel sottosuolo da numerose indagini reperite e visionate.

Il substrato marino è dunque ricoperto dalle unità del Sintema Emiliano-Romagnolo (superiore e/o inferiore). Nella "Sezione Geologica" sono schematizzate le principali unità geologiche e il passaggio tra Subsintema Emiliano Superiore (AES) e quello inferiore (AEI) è indicato a profondità comprese tra circa 50 metri e 100 slm, in accordo con la nuova "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e aree limitrofe" (Regione Emilia Romagna, 2017) di cui si riporta un estratto nella figura successiva.

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

Nel complesso, considerando i dati raccolti, la fascia di pianura analizzata, è caratterizzata dalla presenza di una coltre superficiale avente lo spessore assai variabile di depositi prevalentemente fini (limi argillosi, limi sabbiosi, argille e limi), poggianti su depositi più grossolani quali ghiaie argillose e ghiaie sabbiose). Questi ultimi presentano spessore pluri-decamentrico e sono attribuibili alla sedimentazione operata dal T.Nure e in misura minore dal T.Riglio. A fronte di tale assetto litostratimetrico, le indagini tromografiche effettuate sono sempre state interpretate individuando, nelle curve H/V, dei picchi proprio dove le indagini geognostiche indicavano il passaggio tra i depositi coesivi e quelli grossolani. Inoltre, la presenza di contrasti di impedenza relativamente superficiali può aver mascherato superfici d'impedenza più profonde, condizionando la definizione del substrato sismico.

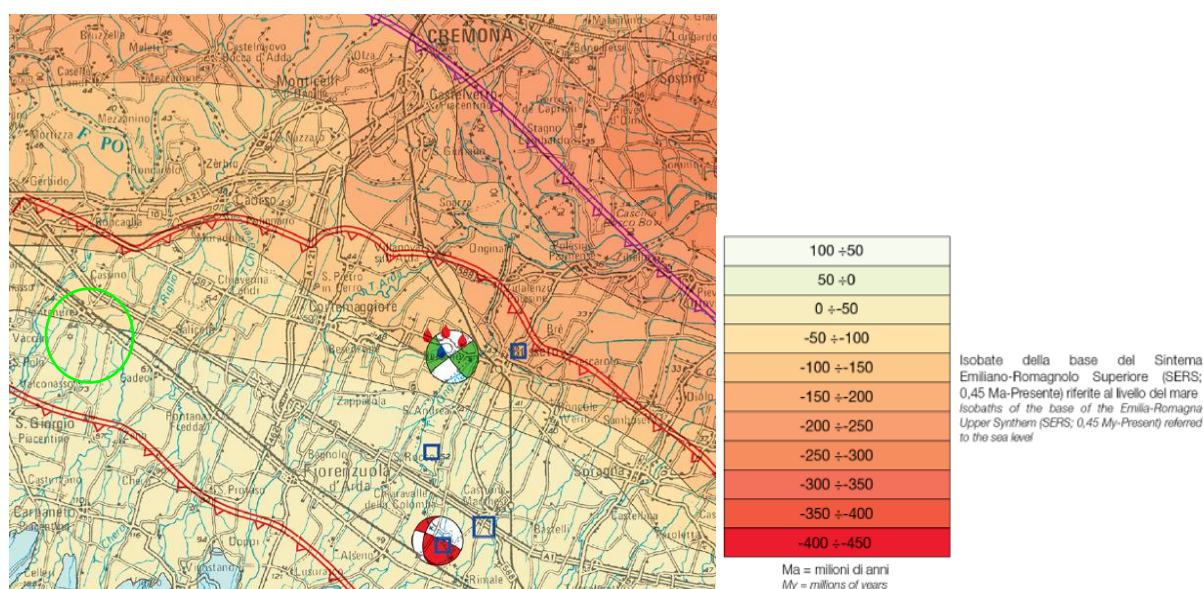


Figura 5.1. Estratto Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e isobate della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, in verde il territorio comunale di Pontenure.

6 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

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

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

Al fine di determinare la qualità delle singole misure HVSR effettuate e la loro relativa affidabilità, si è provveduto alla classificazione delle prove valutando, in accordo con i più recenti studi in materia, le caratteristiche dei fondamentali principi su cui si basa la tecnica di indagine a sismica passiva utilizzata.

Nello specifico si è proceduto all'analisi della durata complessiva delle singole registrazioni, utilizzando esclusivamente quelle capaci di produrre stime "robuste" del campo medio delle vibrazioni ambientali, soddisfacendo in tal senso i primi 3 criteri del progetto SESAME (linee guida 2005), relativi alla robustezza statistica del segnale. Inoltre, per ogni singola acquisizione è stato valutato l'andamento complessivo della curva H/V, prestando particolare attenzione, durante la fase di elaborazione, alla plausibilità fisica della curva stessa, verificabile attraverso l'individuazione di massimi caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale.

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

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

7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

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

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

Gli elaborati prodotti in questa prima fase sono costituiti da:

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

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

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

Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica: in questa cartografia sono indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di

approfondimento ritenuti necessari, distinguendo tra zone suscettibili di instabilità, se presenti ove sono richiesti approfondimenti di terzo livello, e zone suscettibili di amplificazioni locali, oggetto di approfondimenti di secondo livello, all'interno delle quali vengono operate ulteriori distinzioni, identificando delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche.

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

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati:

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

Carte di microzonazione sismica: si tratta di carte in cui sono raffigurate le amplificazioni stimate, tramite procedure semplificate, per i vari settori di territorio in esame. L'amplificazione è stata quantificata sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0), sia di rapporto di Intensità di Housner (S_i/S_{i0}), per prefissati intervalli di periodi (0,1-0,5s; 0,5-1s e 0,5s-1,5s).

8 ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1 Carta delle indagini

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

- ✓ 34 prove penetrometriche statiche,
- ✓ 8 prove penetrometriche dinamiche medie,
- ✓ 2 prove penetrometriche dinamiche pesanti,
- ✓ 9 prove sismiche a stazione singola HVSR, di cui 4 eseguite per il presente lavoro,
- ✓ 9 prove sismiche multicanale basate su onde di superficie, di cui 4 realizzate per questo lavoro,
- ✓ 12 pozzi per acqua,
- ✓ 4 sondaggi a carotaggio continuo.

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



















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

Figura 8.1. Legenda Carta delle Indagini.

8.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

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

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

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

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

Nelle Carta geologico tecnica, dovendo attenersi agli standard di rappresentazione dettati dagli SRAI, sono state distinte, sulla base delle caratteristiche tessiturali, le seguenti unità di terreni di copertura:

GC – Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla: sono cartografate lungo un'estesa fascia nella porzione centro-occidentale del territorio comunale comprende buona parte dell'abitato di Pontenure e l'abitato di Valconasso e in un'area ristretta nel settore meridionale lungo il corso del Torrente Riglio;

CL - Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre: sono cartografate nel settore meridionale intorno alla frazione Paderna e in una fascia più ampia nel settore centro settentrionale che comprende buona parte dell'abitato di Pontenure e la frazione di Muradello;

SC – Sabbie argillose, miscele di sabbia e argilla sono cartografate lungo una ristretta fascia lungo tutto il bordo orientale del territorio comunale.

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

pi – piana alluvionale

Infine nella Carta Geologico Tecnica sono stati riportati:

- la profondità in metri della falda misurata negli areali con sabbie e/o ghiaie;
- i pozzi e i sondaggi profondi, distinguendoli a seconda che abbiano raggiunto o meno il substrato geologico, e la profondità dello stesso oppure la profondità raggiunta dal pozzo/sondaggio;
- forme di superficie e sepolte quali paleovalvi e orli di terrazzo fluviale.

8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Il comune di Pontenure, come ampiamente descritto nei capitoli precedenti, è caratterizzato dalla presenza nelle porzioni centrale e settentrionale di sedimenti alluvionali costituiti da argille, limi con intercalazioni di ghiaie in matrice argilloso limosa appartenenti al Sintema Emiliano Romagnolo Superiore (AES8-AES8a).

















In questa carta sono stati riportati tutti i punti di misura con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di

risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo (F1).

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

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

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

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

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

Figura 8.2. Legenda Carta delle Frequenze naturali dei terreni.

La distribuzione delle ghiaie risulta legata, e spesso limitata, a canali fluviali di limitata estensione e difficile mappatura. Le ghiaie presenti all'interno dei terreni afferenti al Sintema Emiliano Romagnolo rappresentano un riflettore relativamente rigido rispetto ai sedimenti argilloso limosi circostanti, in grado di generare una debole amplificazione (con valori di amplificazione sempre inferiori a 3 e a volte inferiori a 2) nei terreni fini sovrastanti con frequenze normalmente comprese tra 3-13 Hz.

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 Pontenure.
2. **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.** Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. All'interno di queste aree si è operata un'ulteriore distinzione sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, identificando profili stratigrafici tipo ai quali possono

essere ricondotti gli areali esaminati. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello.

- 3. zone di attenzione per instabilità.** Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni e densificazione. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello. Questa categoria non è presente sul territorio del Comune di Pontenure.

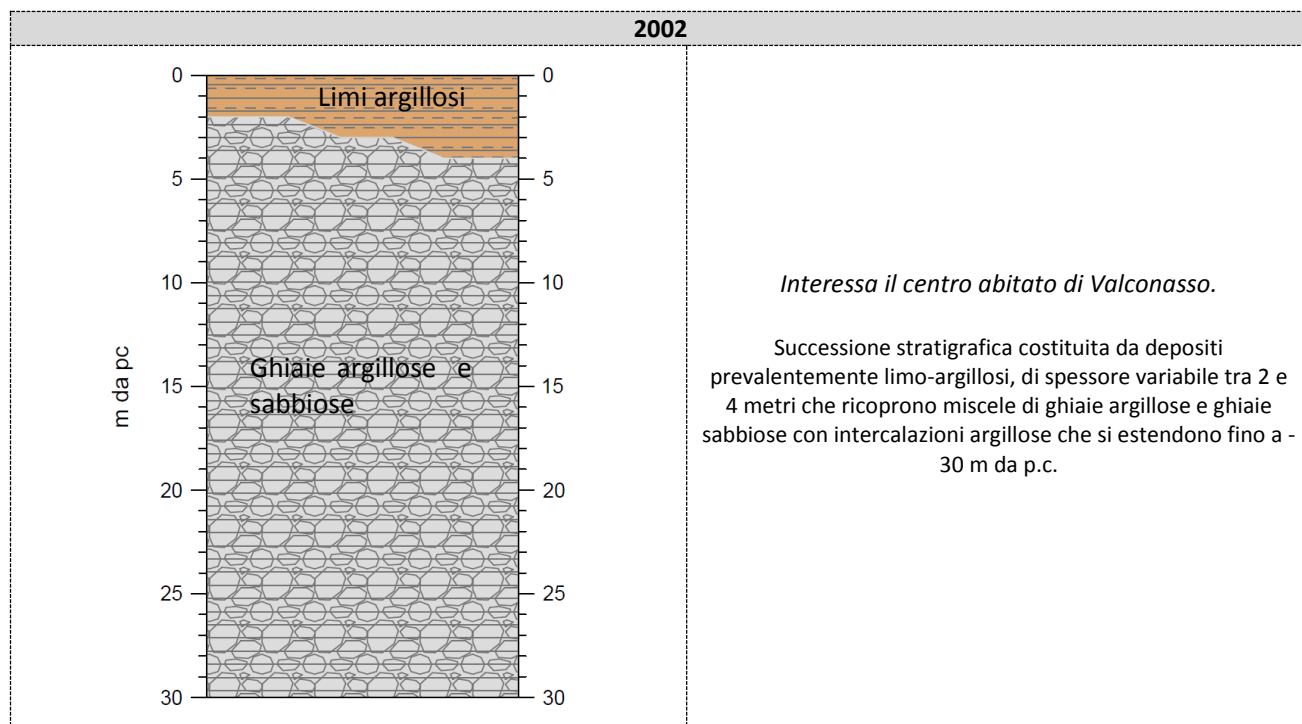
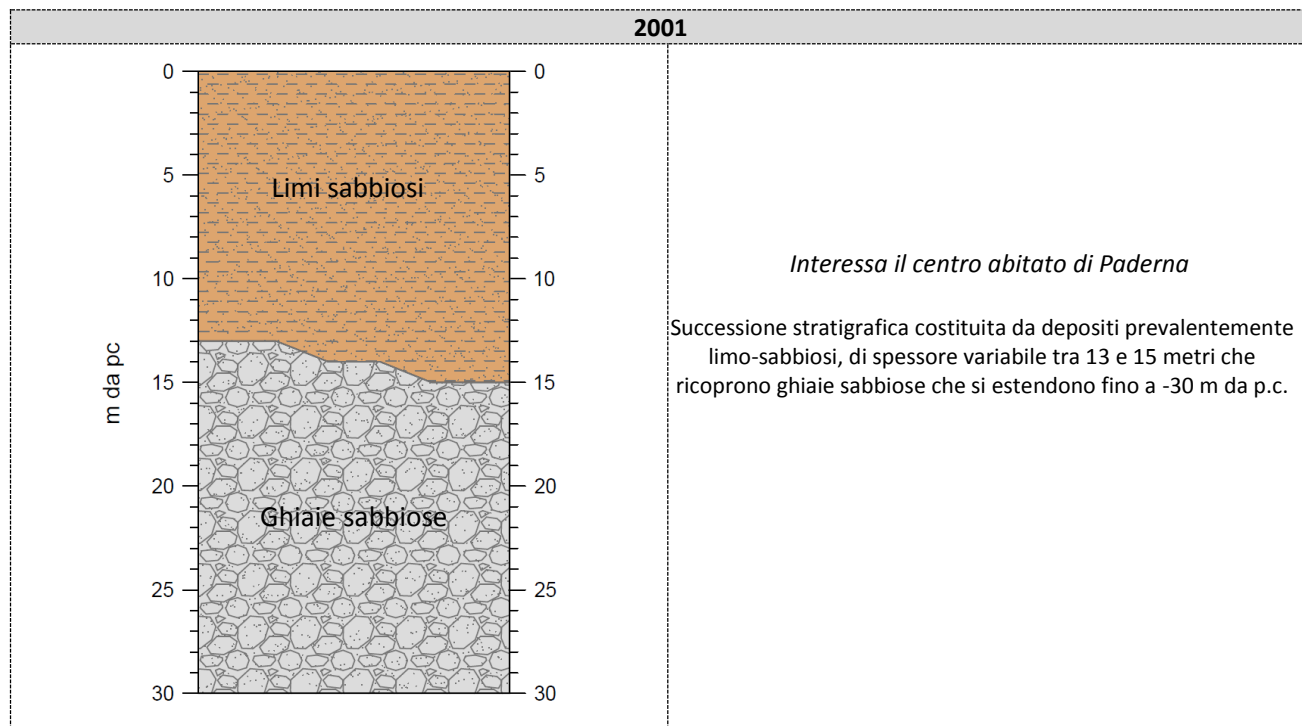
Tutte le aree urbanizzate e urbanizzabili oggetto del presente studio risultano appartenenti alla *categoria 2 - zone stabili suscettibili di amplificazioni locali*, all'interno della quale sono state operate ulteriori distinzioni.

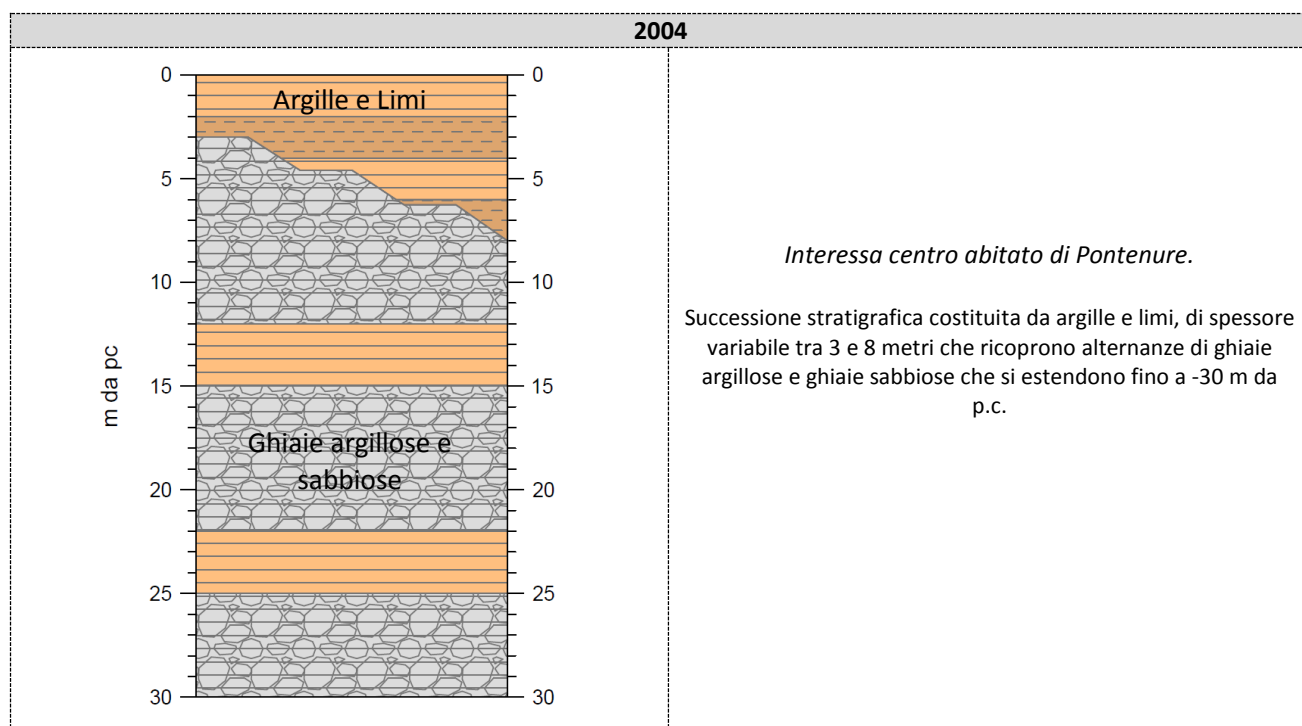
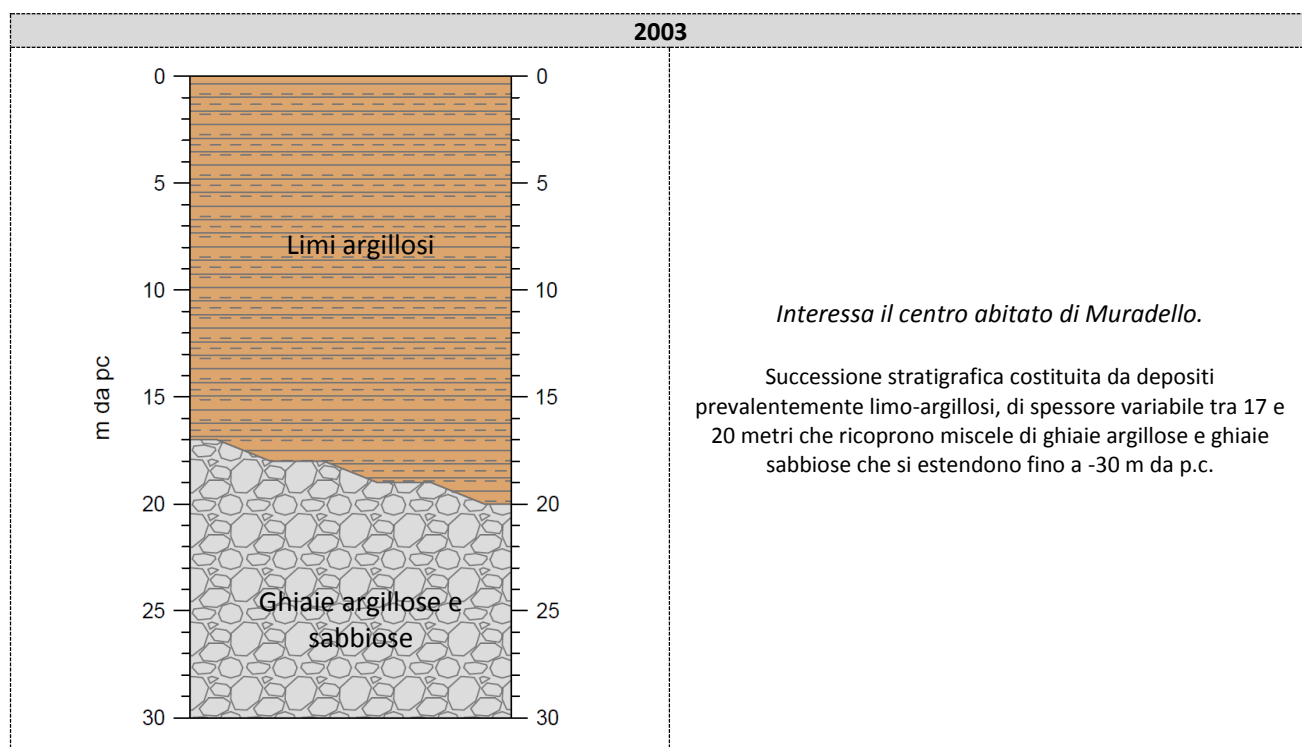
Infatti, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, sono state identificate 4 microzone omogenee, ciascuna con un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 30 m di sottosuolo. All'interno dei perimetri degli areali di microzonazione non sono presenti zone di attenzione per instabilità, indotte dalla presenza di aree interessate da fenomeni franosi quiescenti o attivi e da liquefazioni e densificazione.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali			
Zona n°	Località	Successione stratigrafica	Descrizione
1	Paderna	2001	Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente limo-sabbiosi, di spessore variabile tra 13 e 15 metri che ricoprono ghiaie sabbiose che si estendono fino a -30 m da p.c.
2	Valconasso	2002	Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente limo-argillosi, di spessore variabile tra 2 e 4 metri che ricoprono miscele di ghiaie argillose e ghiaie sabbiose con intercalazioni argillose che si estendono fino a -30 m da p.c.
3	Muradello	2003	Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente limo-argillosi, di spessore variabile tra 17 e 20 metri che ricoprono miscele di ghiaie argillose e ghiaie sabbiose che si estendono fino a -30 m da p.c.
4	Pontenure	2004	Successione stratigrafica costituita da argille e limi, di spessore variabile tra 3 e 8 metri che ricoprono alternanze di ghiaie argillose e ghiaie sabbiose che si estendono fino a -30 m da p.c.

8.4.1 Schemi dei rapporti stratigrafici

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





8.4.2 Sezione geologica

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

E' stata creata una sezione ovest-est all'interno del territorio comunale passante per il capoluogo (Pontenure) schematizzando le principali unità geologiche rinvenute. Il passaggio tra Subsistema Emiliano Superiore (AES) e quello inferiore (AEI) è indicato a profondità comprese tra circa 50 e 100 metri slm, in accordo con la nuova "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e aree limitrofe" (Regione Emilia Romagna, 2017).

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

Nella Carta delle velocità delle onde di taglio sono riportate tutte le misure utilizzate per la definizione della velocità delle onde di taglio nel territorio comunale (9 misurazioni Masw unite in vari casi all'analisi HVSR). In particolare sono stati riportati per ogni punto il tipo di misura (MASW, SAWS, HVSR, etc), il valore di V_{s30} (calcolata 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 241 e 372 m/s. Analizzando più in dettaglio occorre fare una distinzione sull'ubicazione delle 9 prove prese in considerazione:

- 6 sono state eseguite (in nero nella tabella sotto riportata) sul Subsistema di Ravenna AES8.
- 3 sono state effettuate (in rosso nella tabella sotto riportata) sul Subsistema di Ravenna_unità di Modena AES8a.

Di seguito la tabella esemplificativa al riguardo.

ID_INDP	Vs30	Tipo di deposito interessato	Località
033037L1	334	AES8_Subsistema di Ravenna	Pontenure
033037L2	372	AES8a_Subsistema di Ravenna_Unità di Modena	Pontenure
033037L3	387	AES8_Subsistema di Ravenna	Pontenure
033037L4	286	AES8_Subsistema di Ravenna	Pontenure Loc. Coglialegna
033037L5	320	AES8_Subsistema di Ravenna	Pontenure Loc. Zerbina
033037L6	231	AES8_Subsistema di Ravenna	Pontenure_Area ex RDB
033037L7	285	AES8_Subsistema di Ravenna	Muradello
033037L8	363	AES8a_Subsistema di Ravenna_Unità di Modena	Valconasso
033037L9	285	AES8a_Subsistema di Ravenna_Unità di Modena	Paderna

L'elemento che si preme sottolineare è comunque una variabilità non troppo accentuata dei valori V_{s30} come conseguenza delle caratteristiche dei depositi interessati.

8.6 Carta di microzonazione sismica (livello 2)

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

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

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

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

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

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

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

La scelta dell'abaco per la stima dei fattori di amplificazione è stata valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo. Nello specifico, sulla base delle caratteristiche descritte nei capitoli precedenti si è scelto di utilizzare esclusivamente la Tabella PIANURA 1, proposta dagli indirizzi regionali (cfr. DGR 2193/2015):

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5
F.A. SI1	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5
F.A. SI2	3.0	2.9	2.7	2.5	2.3	2.1
F.A. SI3	3.4	3.2	2.8	2.5	2.2	2.0

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

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

Sito	F.A. PGA	F.A. SI1(0.1s-0.5s)	F.A. SI2(0.5s-1.0s)	F.A. SI3(0.5s-1.5s)
Paderna	1.65	1.85	2.6	2.65
Valconasso	1.6	1.6	2.3	2.2
Muradello	1.65	1.85	2.6	2.65
Pontenure	1.7	1.9	2.7	2.8

I valori degli F.A. relativi all'abitato di Pontenure sono stati calcolati entrando nell'abaco di riferimento con il valore di V_{s30} pari a circa 250 m/s, valore medio quantificato tra le indagini 033037L4 e 033037L6, eseguite ed elaborate con tecnica e analisi congiunta onde Rayleigh + onde di Love + HVSR.

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







	1.5 - 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

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

8.7 Commenti finali e criticità

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

Del resto, nei capitoli precedenti, è stato ampiamente evidenziato come l'assetto geologico delle aree indagate sia tale per cui la risposta sismica locale risulti condizionata da vari fattori, spesso di non facile definizione, con le informazioni litostratigrafiche e sismiche, sia già disponibili che reperibili a costi

sostenibili, primo fra tutti la definizione della profondità del *bedrock sismico* (sequenza litostratigrafica caratterizzata da una velocità delle onde di taglio Vs maggiore o uguale a 800 m/s).

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

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

Per quanto riguarda il PGA sono stati stimati valori di F.A. di P.G.A variabili tra 1.6 e 1.7 nei vari centri abitati studiati.

La carta di microzonazione relativa a SI1 (intervallo 0.1-0.5 s) presenta fattori di amplificazione compresi tra 1.6 e 1.9, la carta relativa a SI2 (intervallo 0.5-1.0 s) presenta F.A. compresi tra 2.3 e 2.7, mentre quella per l'intervallo SI3 (0.5-1.5 s) presenta F.A. compresi tra 2.2 e 2.8.

9 CONFRONTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

La ricerca eseguita sui principali cataloghi relativi alla sismicità storica tra cui **CFTI** – catalogo dei forti terremoti (461 a.c. – 1997), **NT4.1** – catalogo parametrico dei terremoti italiani al di sopra della soglia del danno, **CPTI15** – catalogo parametrico dei terremoti italiani (217a.c. – 2002), **DBMI15** – database macrosismico italiano, **ISIDe** - Database parametrico e strumentale della sismicità italiana e negli archivi comunali non ha evidenziato la registrazione di danni significativi o sensibili alle strutture ed alle infrastrutture.

Pontenure, luglio 2018

Dott.Geol.Paolo Mancioffi



10 BIBLIOGRAFIA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

11 ALLEGATI

11.1 Prove sismiche tipo Masw+HVSR

033037L6_ loc. Pontenure ex RDB

ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

STRUMENTAZIONE

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

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



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

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

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

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

ANALISI RAYLEIGH

Dai sismogrammi acquisiti (dominio spazio-tempo) si sono determinati mediante la trasformata di Fourier gli spettri di ampiezza (dominio frequenza-ampiezza), dai quali attraverso il metodo denominato *phase shift* si ricavano gli spettri di velocità nel dominio frequenza-velocità. Non sono state utilizzate le onde di Love in quanto poco leggibili.

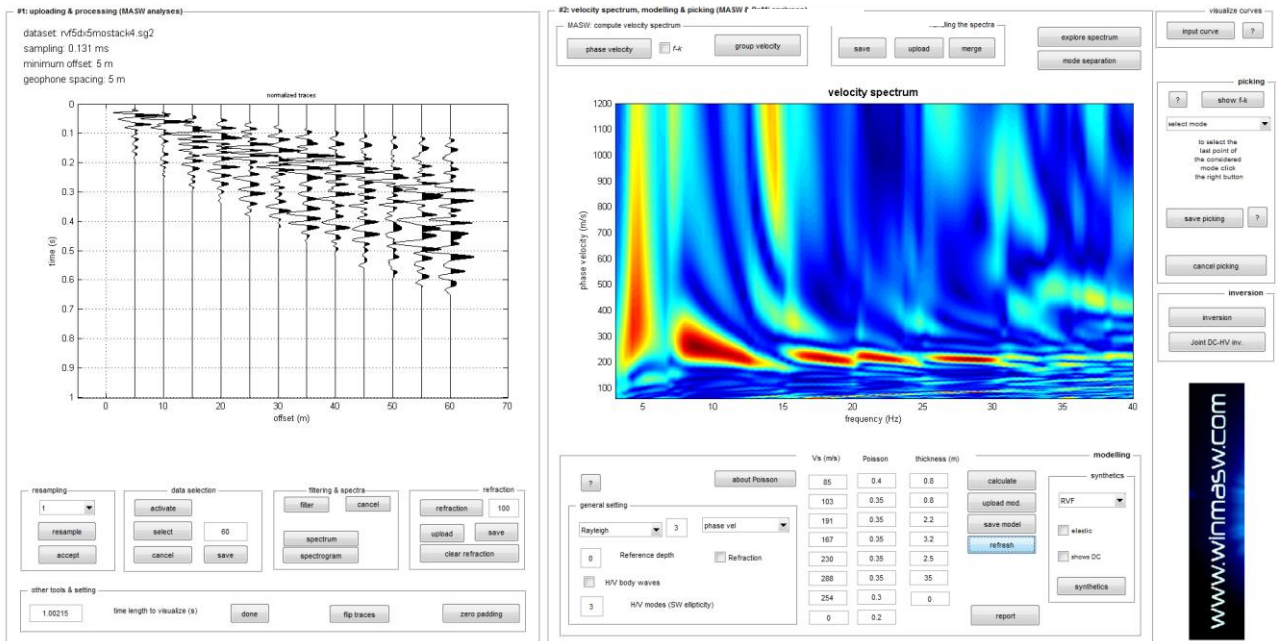


Figura 11.2. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

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

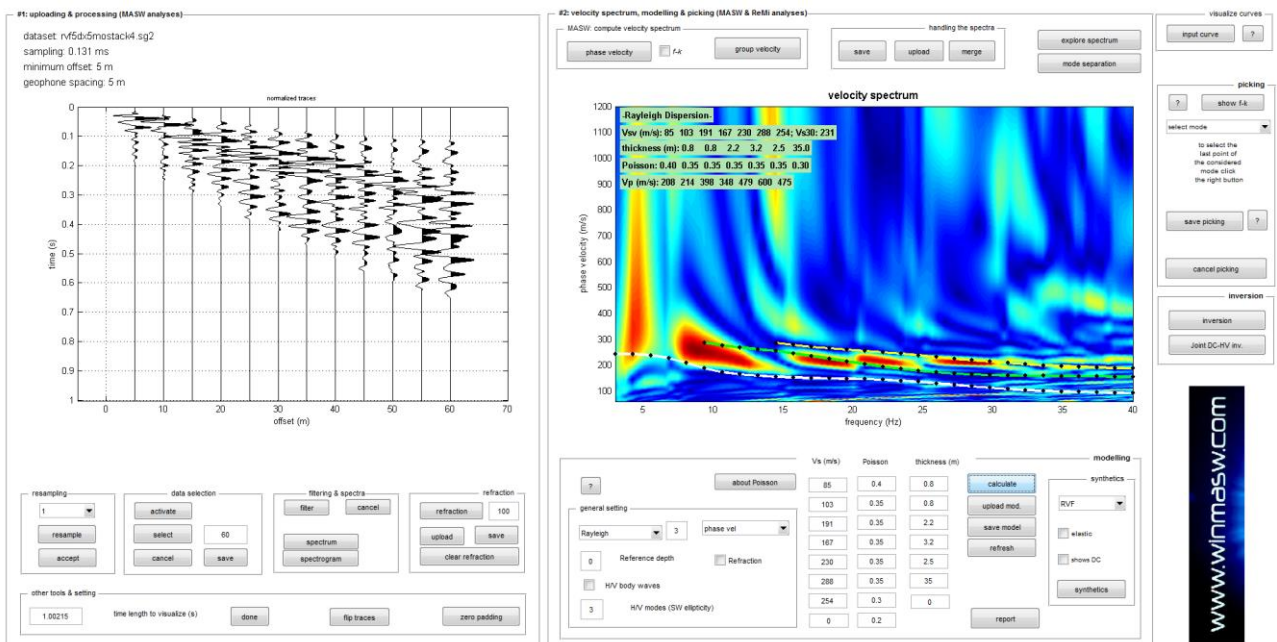


Figura 11.3. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

RAPPORTI SPETTRALI H/V

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

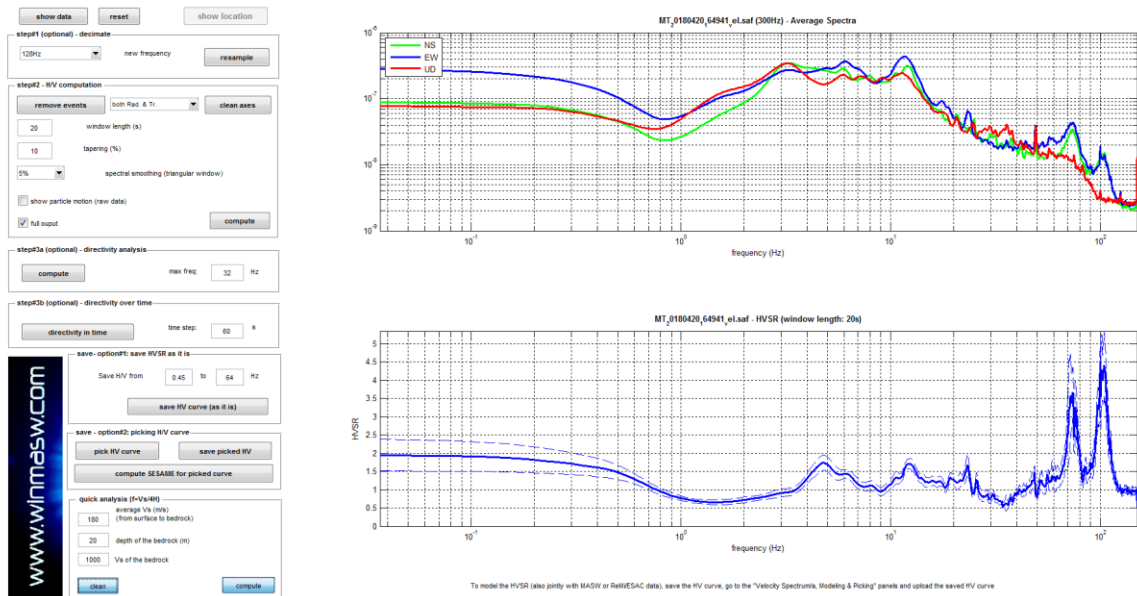


Figura 11.4. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

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

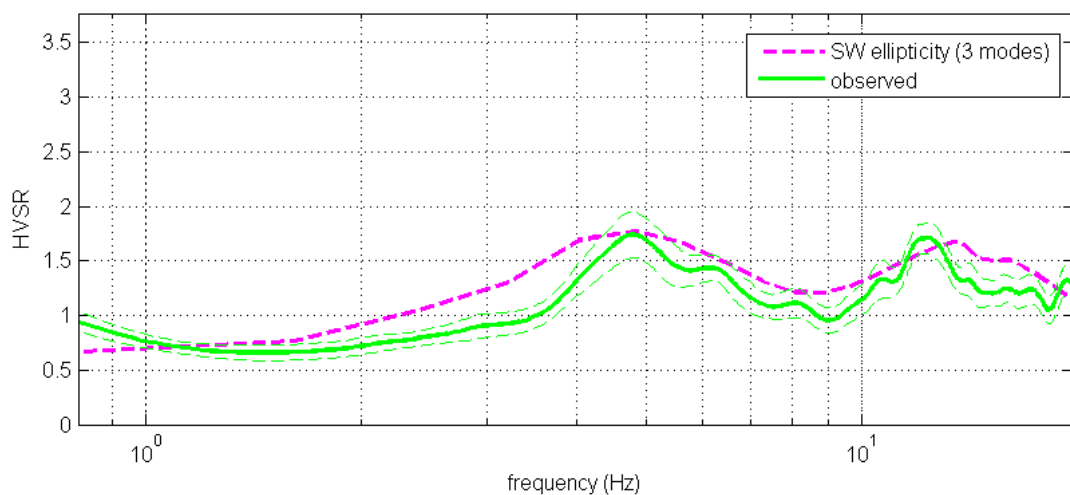


Figura 11.5. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

033037L7_loc. Muradello

ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

STRUMENTAZIONE

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

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

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



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

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

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

ANALISI RAYLEIGH + LOVE

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

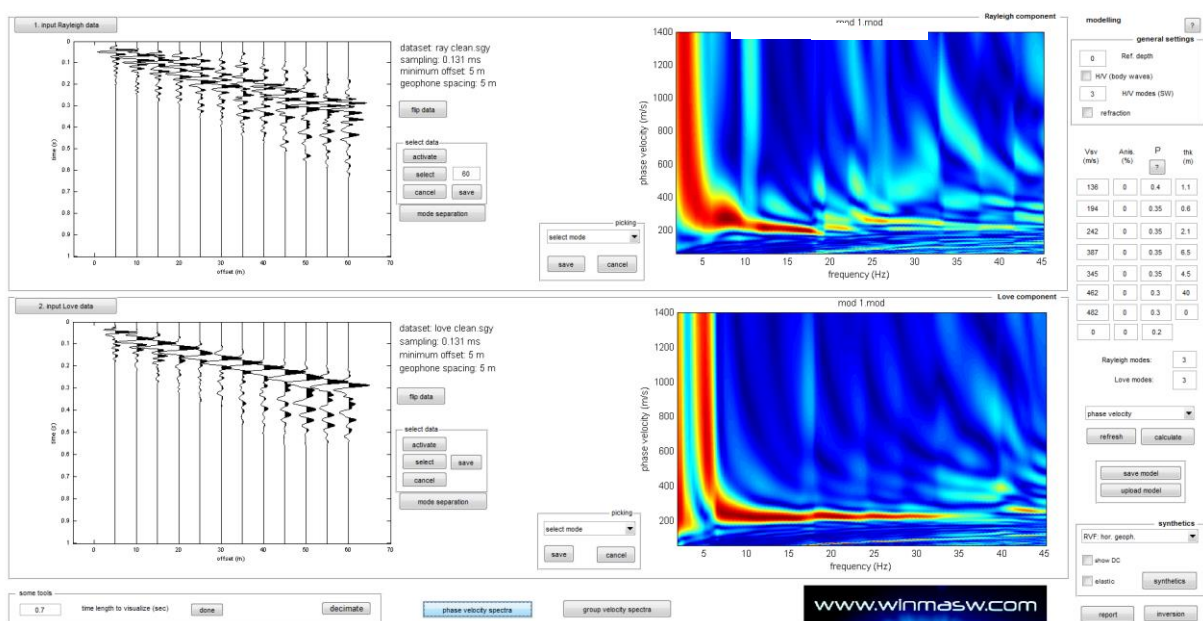


Figura 11.7. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

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

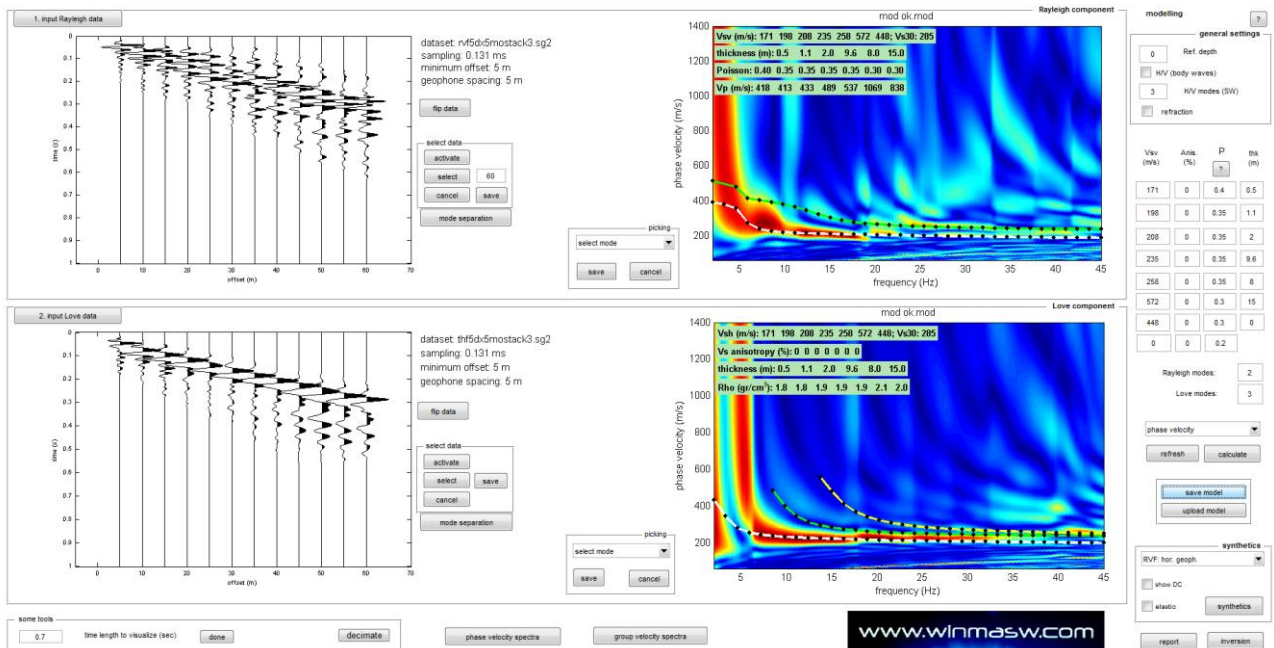


Figura 11.8. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

RAPPORTI SPETTRALI H/V

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

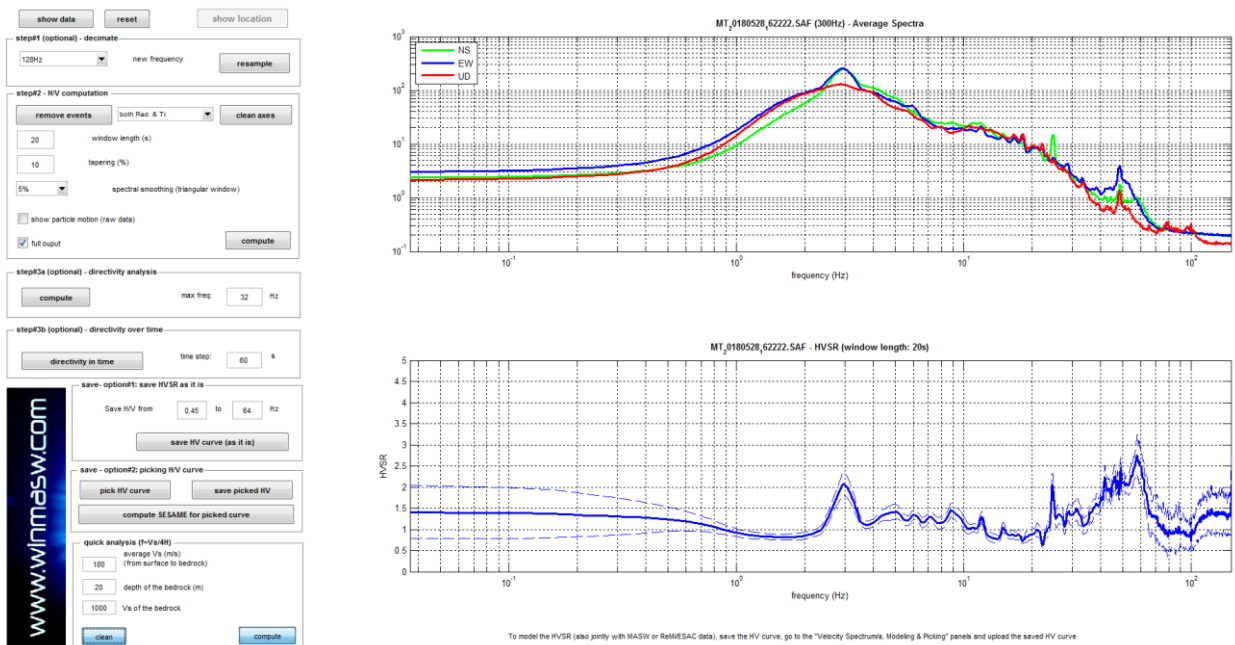


Figura 11.9. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

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

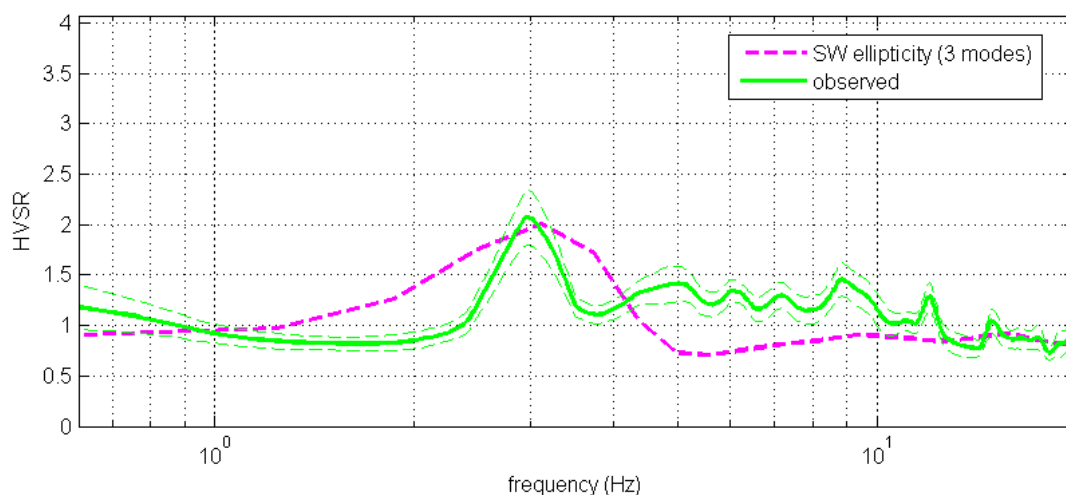


Figura 11.10. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

033037L8_loc. Valconasso

ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

STRUMENTAZIONE

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

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

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



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

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

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

ANALISI RAYLEIGH + LOVE

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

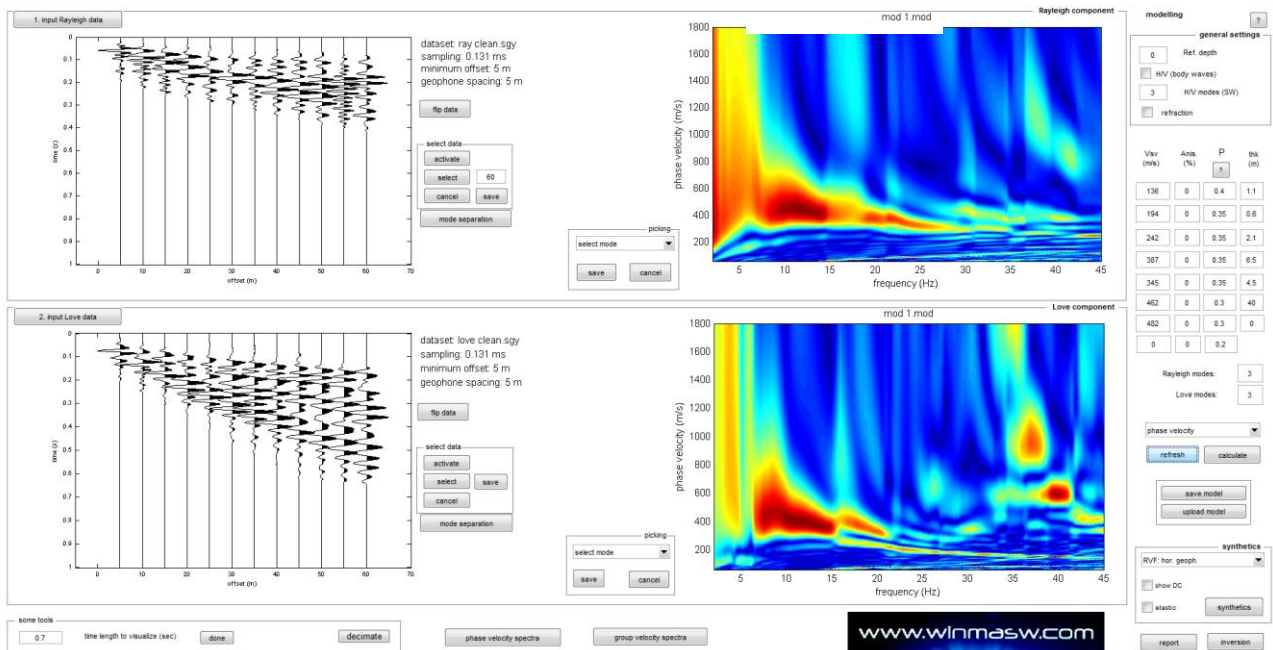


Figura 11.12. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

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

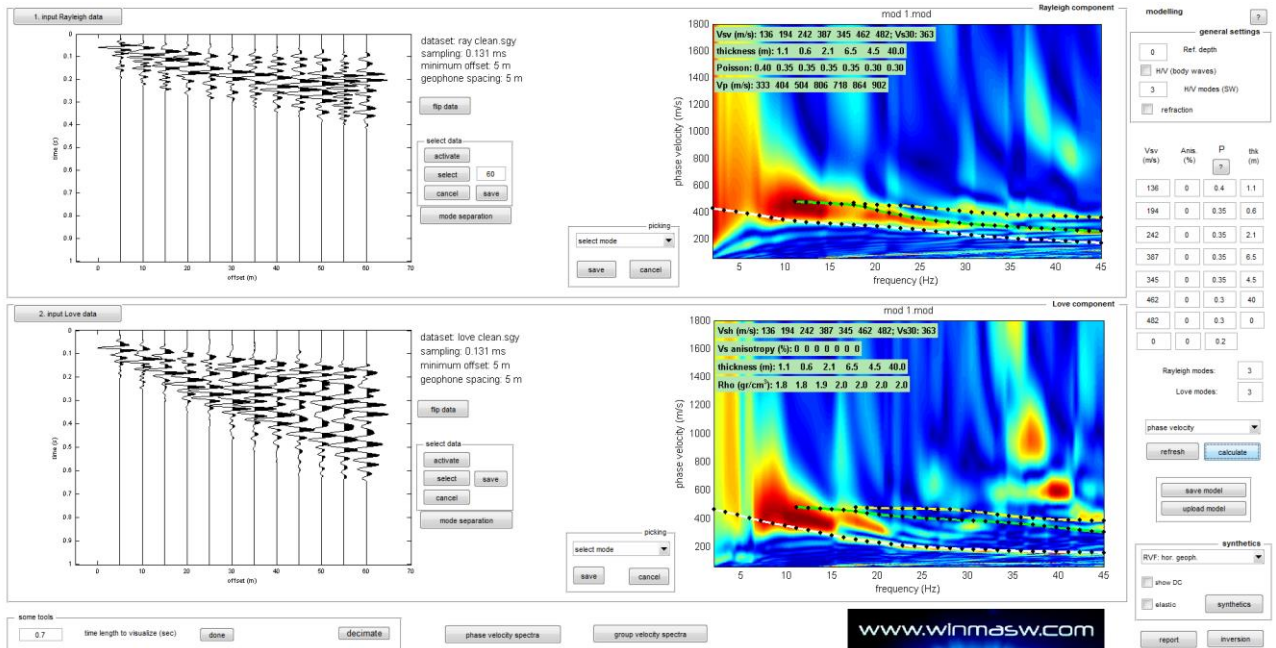


Figura 11.13. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

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.

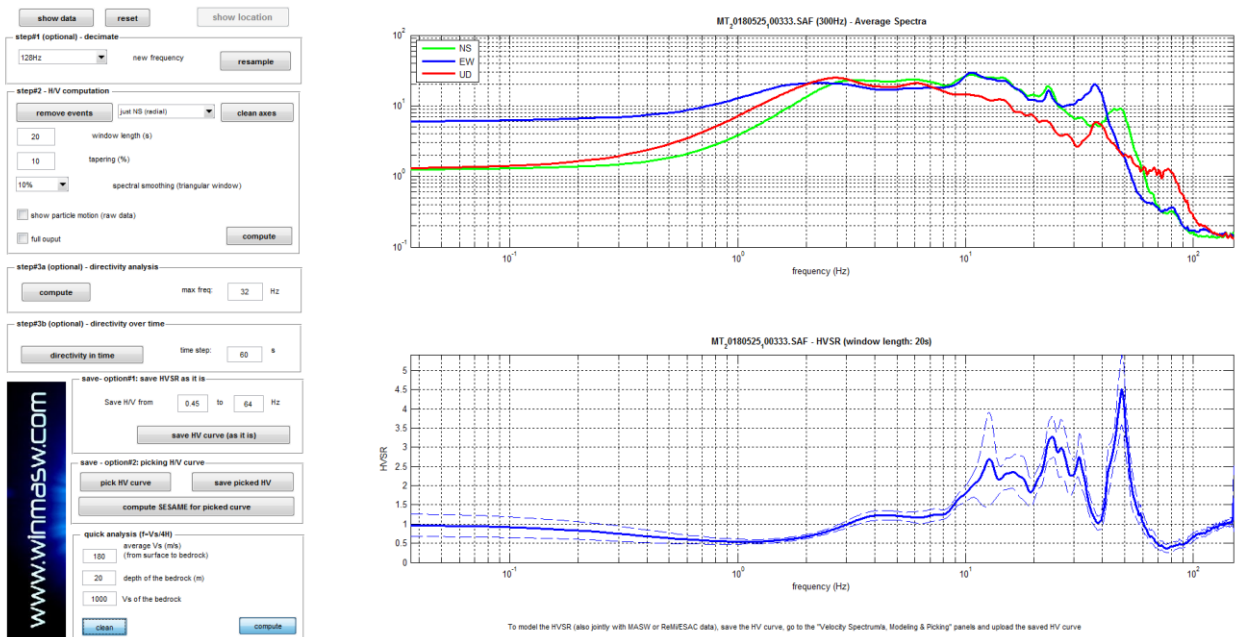


Figura 11.14. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

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

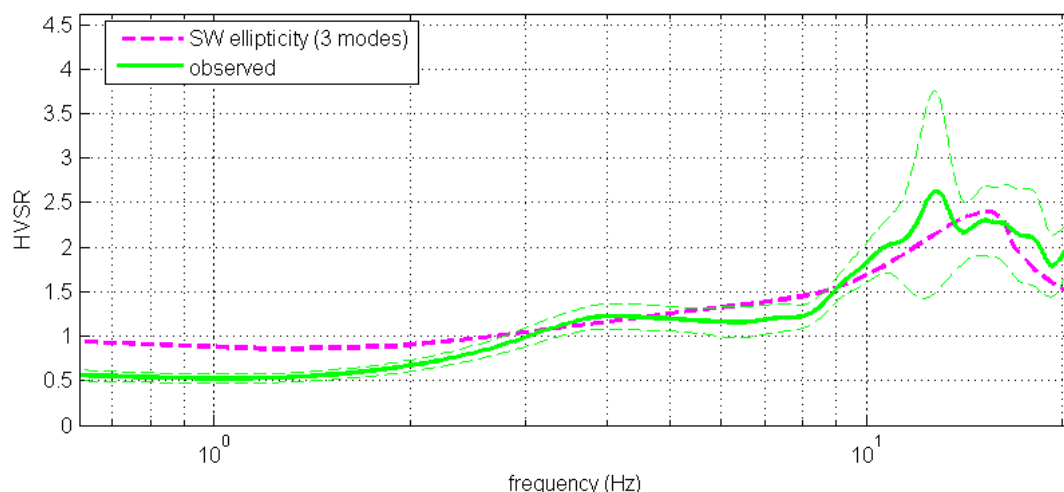


Figura 11.15. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

033037L9_loc. Paderna

ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

STRUMENTAZIONE

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

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

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



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

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

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

ANALISI RAYLEIGH + LOVE

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

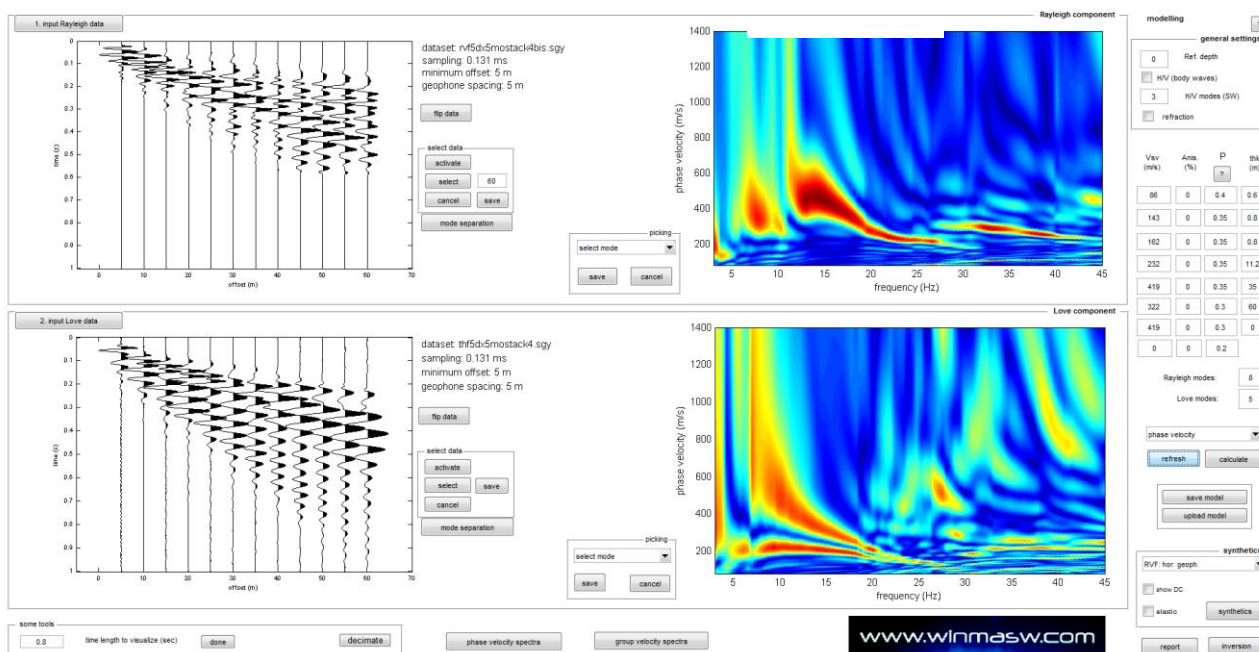


Figura 11.17. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

Successivamente alla pulizia del dato si è proceduto alla modellazione diretta delle curve di dispersione ottenendo le curve riportate di seguito. Da notare come allo spettro di velocità osservato siano state sovrapposte tramite la tecnica della modellazione diretta le curve di dispersione, dei primi 7 modi per le onde di Rayleigh e dei primi 6 modi per le onde di Love. Gli spettri sono stati modellati come somme di più modi.

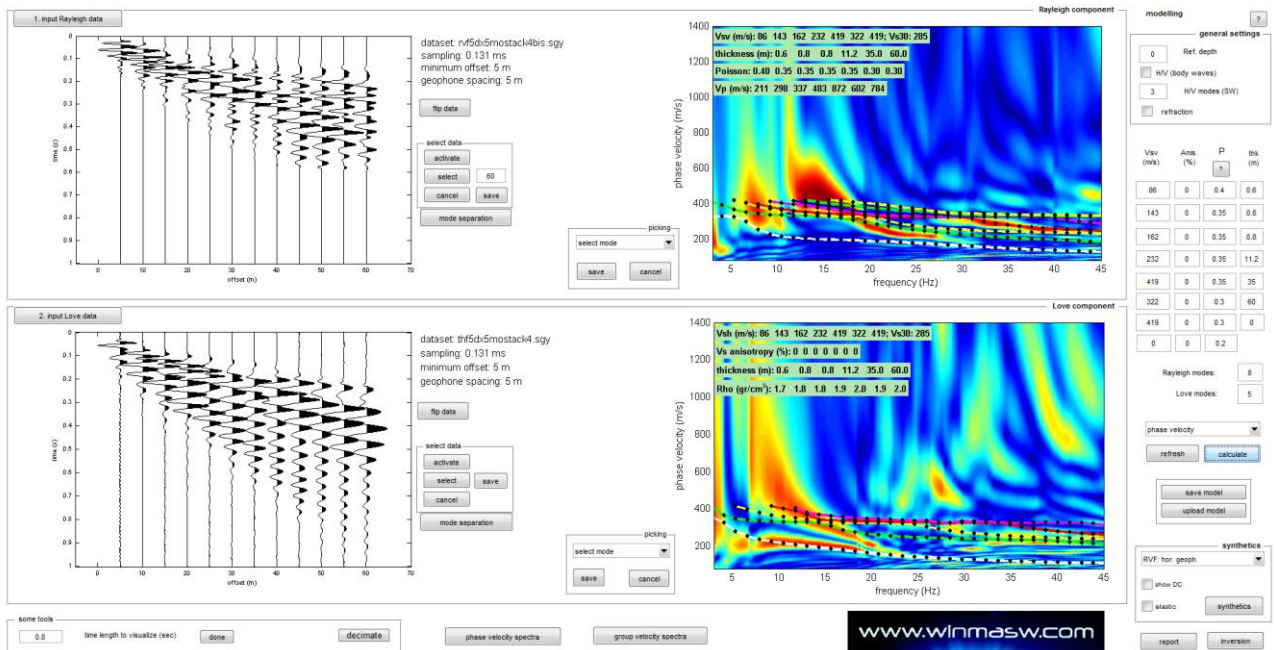


Figura 11.18. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

RAPPORTI SPETTRALI H/V

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

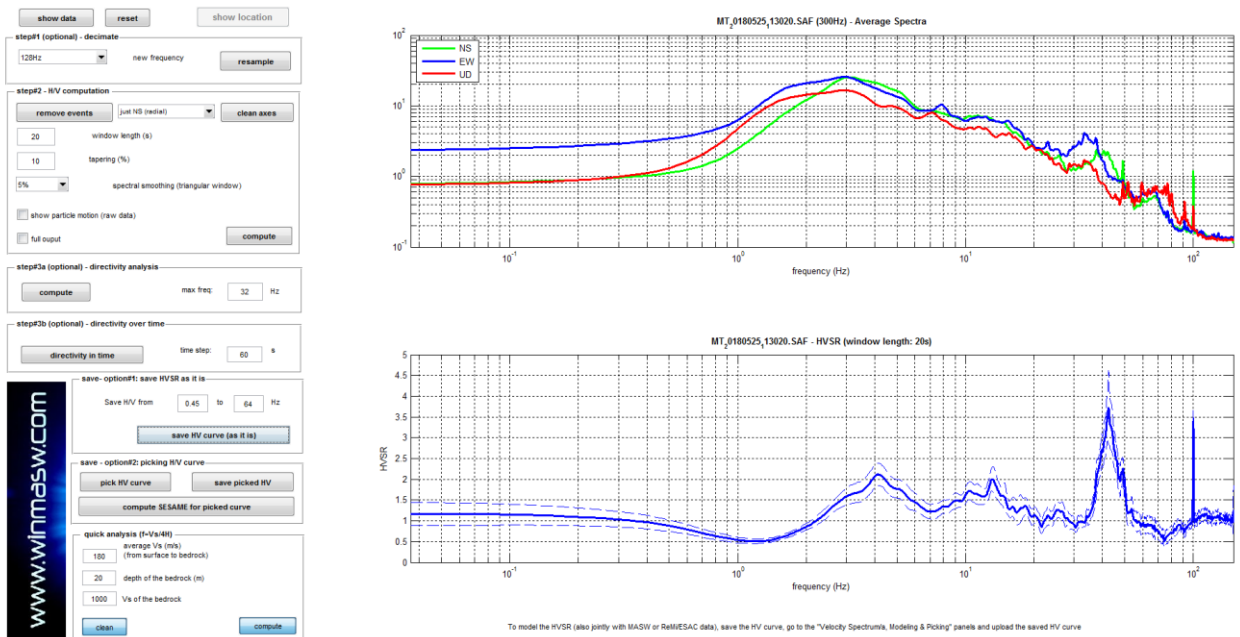


Figura 11.19. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

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

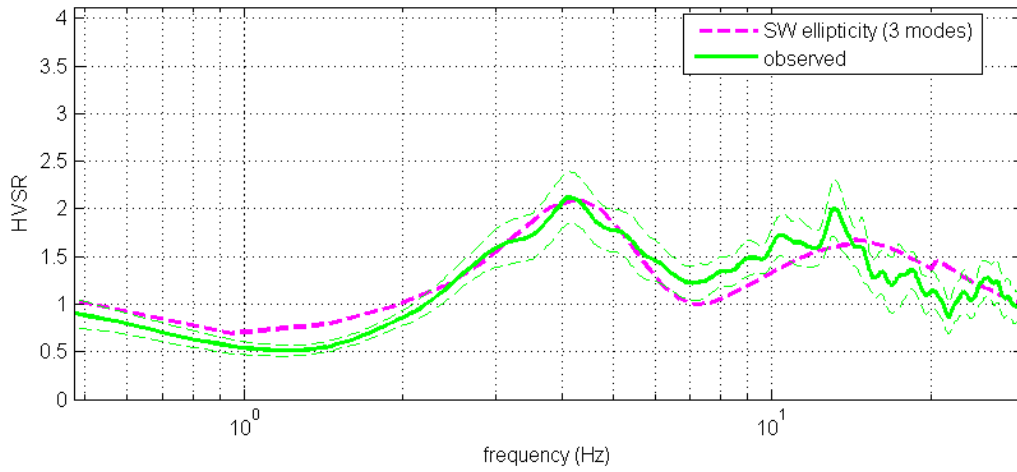


Figura 11.20. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

11.2 Prove sismiche tipo HVSR

033037P43

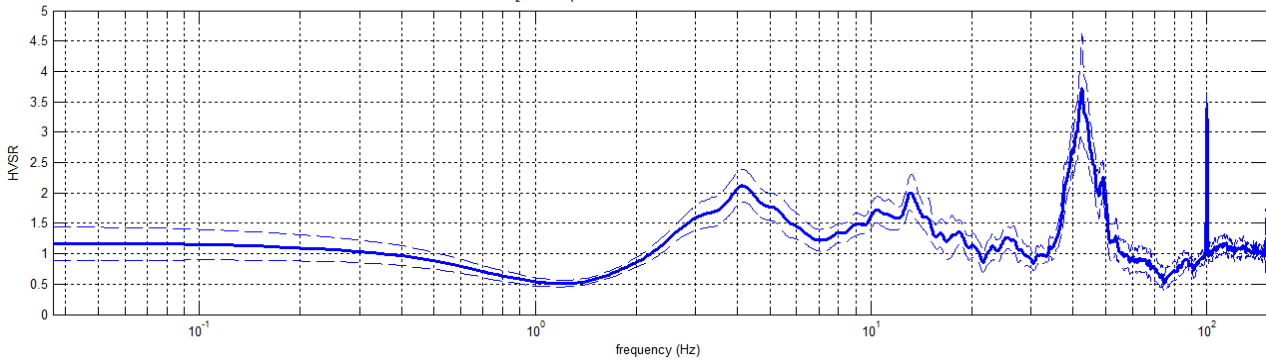
Località: Paderna
 Data acquisizione: 25/05/2018

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



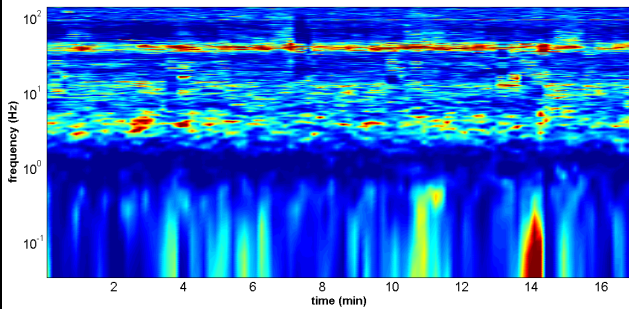
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

MT_0180525_13020.SAF - HVSR (window length: 20s)



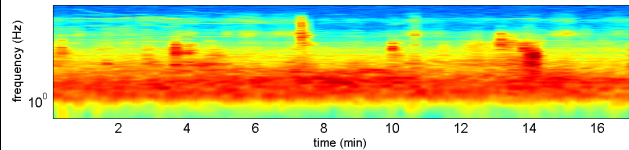
SERIE TEMPORALE H/V

HVSR vs Time

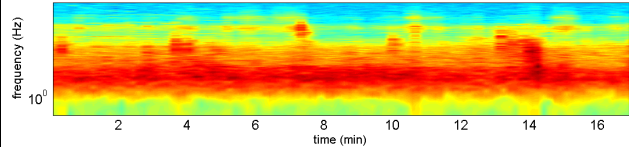


SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI

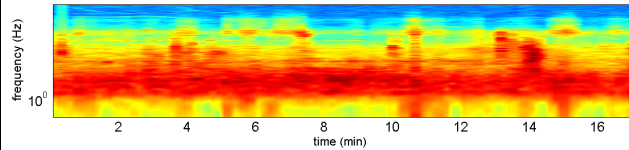
vertical component (logarithm)



NS component (logarithm)

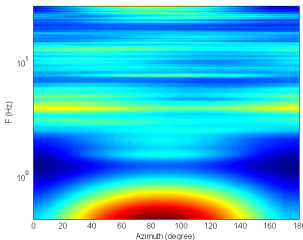


EW component (logarithm)

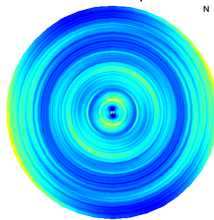


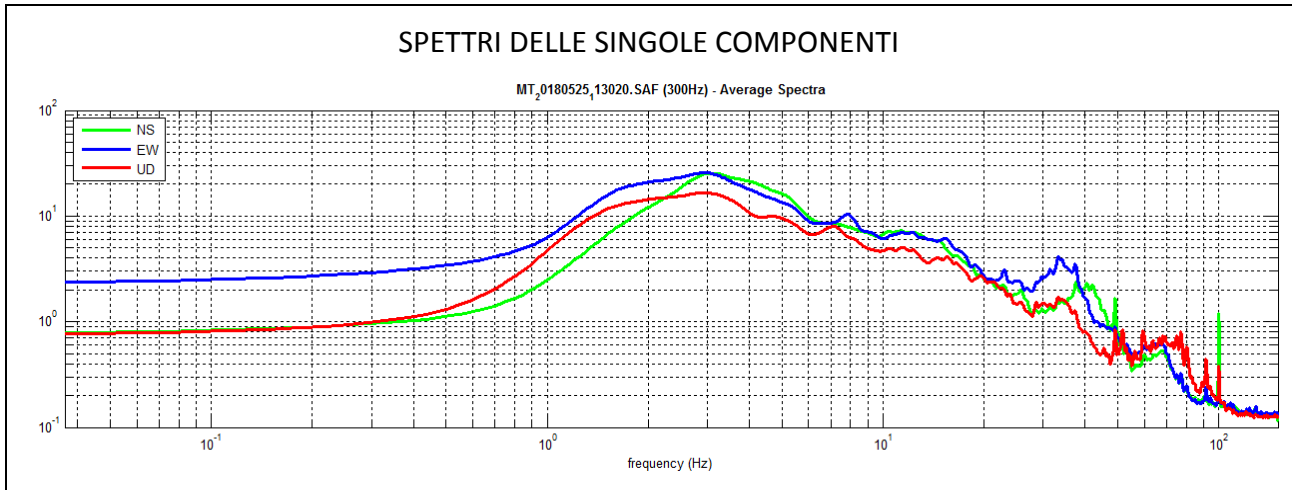
DIREZIONALITÀ H/V

HV



HVSR: directivity



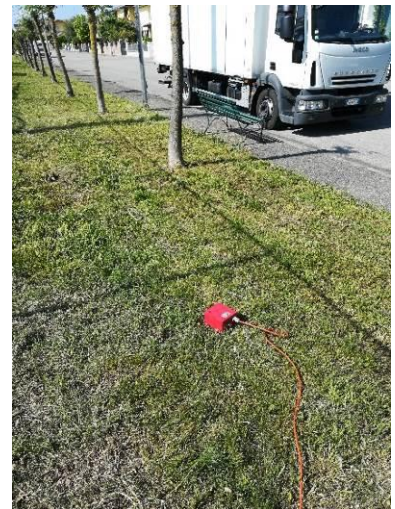


<p>Dataset: MT_20180525_113020.SAF</p> <p>Sampling frequency (Hz): 300</p> <p>Window length (sec): 20</p> <p>Length of analysed temporal sequence (min): 17.2</p> <p>Tapering (%): 10</p> <hr style="border: 0.5px dashed gray;"/> <p>In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range</p> <p>Peak frequency (Hz): 4.1 (± 5.2)</p> <p>Peak HVSR value: 2.3 (± 0.4)</p>	<p style="text-align: center;">----- Criteria for a reliable H/V curve -----</p> <p>#1. $[f_0 > 10/Lw]$: 4.1 > 0.5 (OK)</p> <p>#2. $[nc > 200]$: 8444 > 200 (OK)</p> <p>#3. $[f_0 > 0.5Hz: \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)</p> <p style="text-align: center;">----- Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) -----</p> <p>#1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]$: yes, at frequency 2.4Hz (OK)</p> <p>#2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$: (NO)</p> <p>#3. $[A_0 > 2]$: 2.3 > 2 (OK)</p> <p>#4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)</p> <p>#5. $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)]$: 5.179 > 0.207 (NO)</p> <p>#6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: 0.386 < 1.58 (OK)</p>
--	--

033037P44

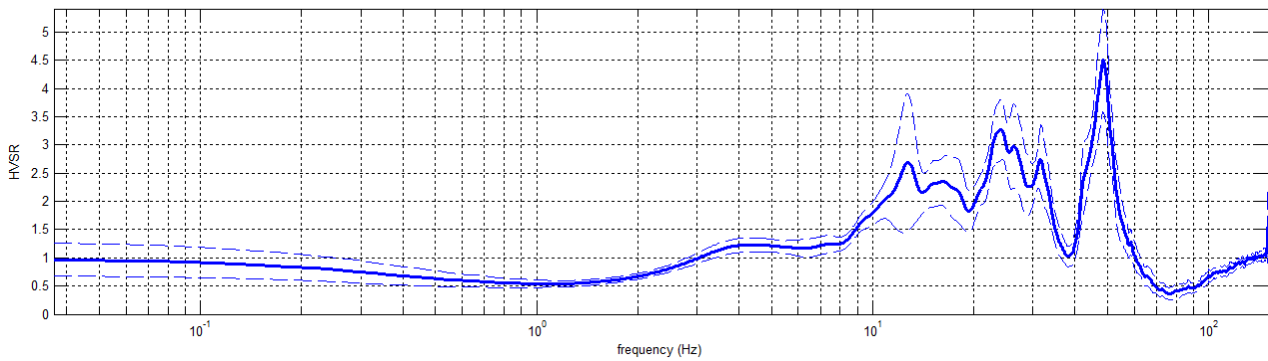
Località: Valconasso
 Data acquisizione: 25/05/2018

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



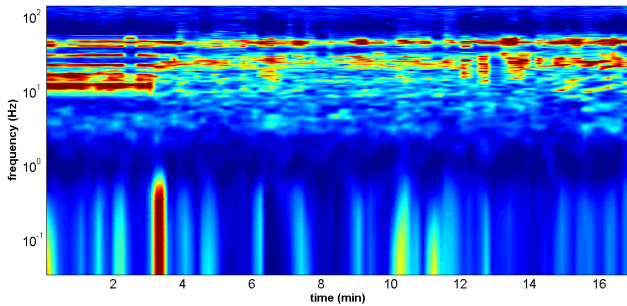
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

MT_0180525_00333.SAF - HVSR (window length: 20s)



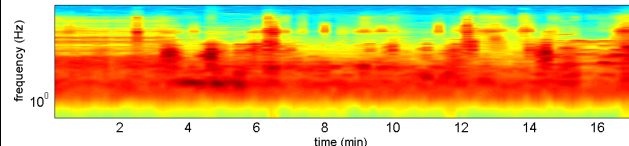
SERIE TEMPORALE H/V

HVSR vs Time

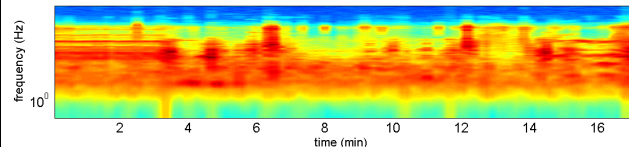


SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI

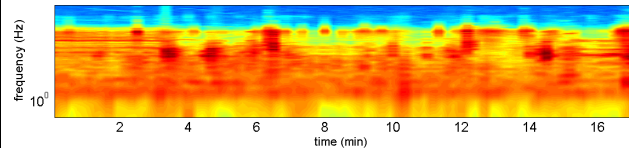
vertical component (logarithm)



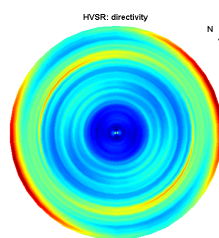
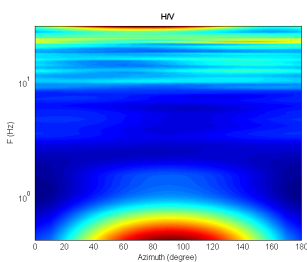
NS component (logarithm)

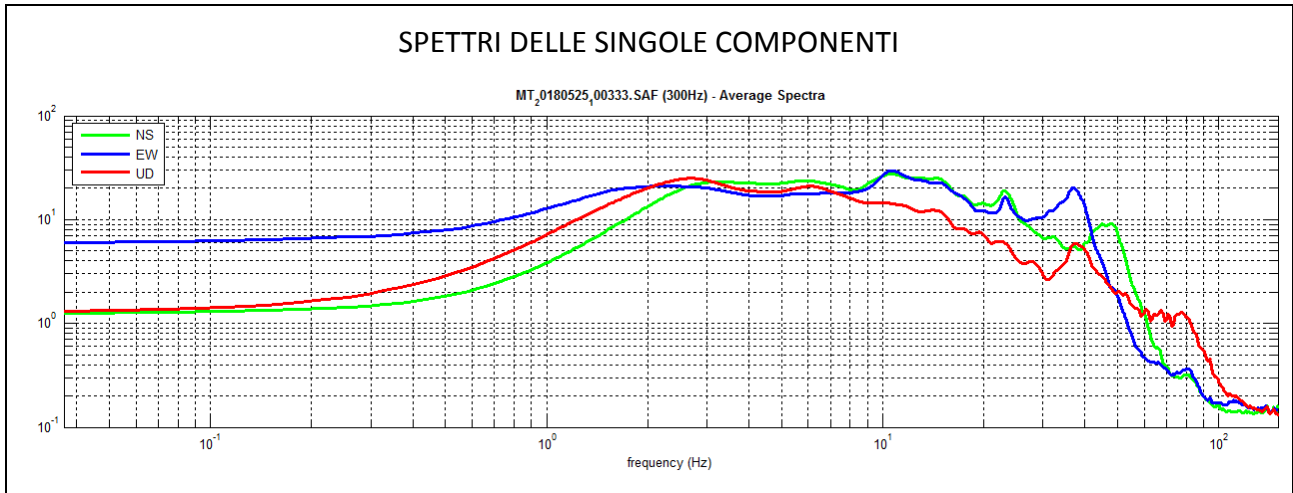


EW component (logarithm)



DIREZIONALITÀ H/V





<p>Dataset: MT_20180525_100333.SAF</p> <p>Sampling frequency (Hz): 300</p> <p>Window length (sec): 20</p> <p>Length of analysed temporal sequence (min): 17.3</p> <p>Tapering (%): 10</p> <hr style="border: 0.5px solid black;"/> <p>In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range</p> <p>Peak frequency (Hz): 13.0 (± 3.3)</p> <p>Peak HVSR value: 2.9 (± 1.4)</p>	<p>==== Criteria for a reliable H/V curve =====</p> <p>#1. $[f_0 > 10/Lw]$: 13.0 > 0.5 (OK)</p> <p>#2. $[nc > 200]$: 26453 > 200 (OK)</p> <p>#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_{A(f)} < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)</p> <p>==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====</p> <p>#1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]$: yes, at frequency 8.8Hz (OK)</p> <p>#2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$: (NO)</p> <p>#3. $[A_0 > 2]$: 2.9 > 2 (OK)</p> <p>#4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_{A(f)}] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)</p> <p>#5. $[\sigma_{A(f)} < \epsilon(f_0)]$: 3.274 > 0.648 (NO)</p> <p>#6. $[\sigma_{A(f_0)} < \theta(f_0)]$: 1.442 < 1.58 (OK)</p>
--	--

033037P45

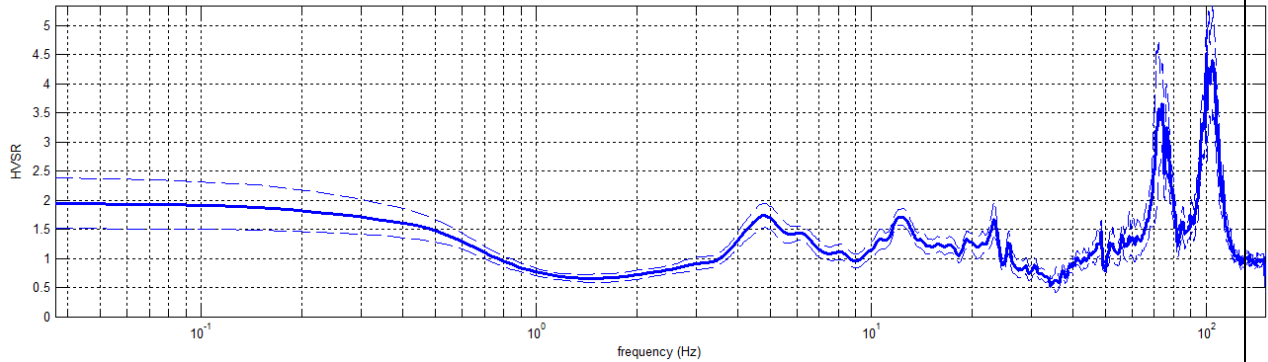
Località: Pontenute_Area ex RDB
 Data acquisizione: 20/04/2018

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



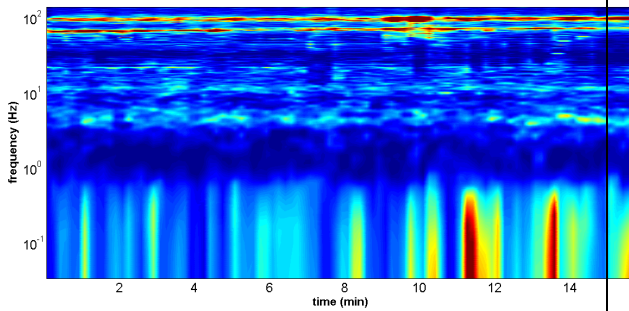
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

MT_0180420_64941_e1.saf - HVSR (window length: 20s)

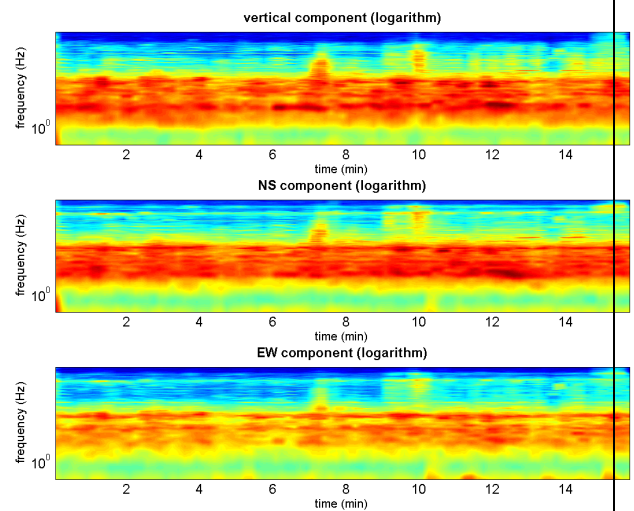


SERIE TEMPORALE H/V

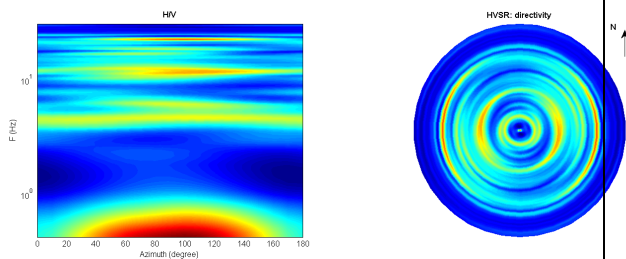
HVSR vs Time

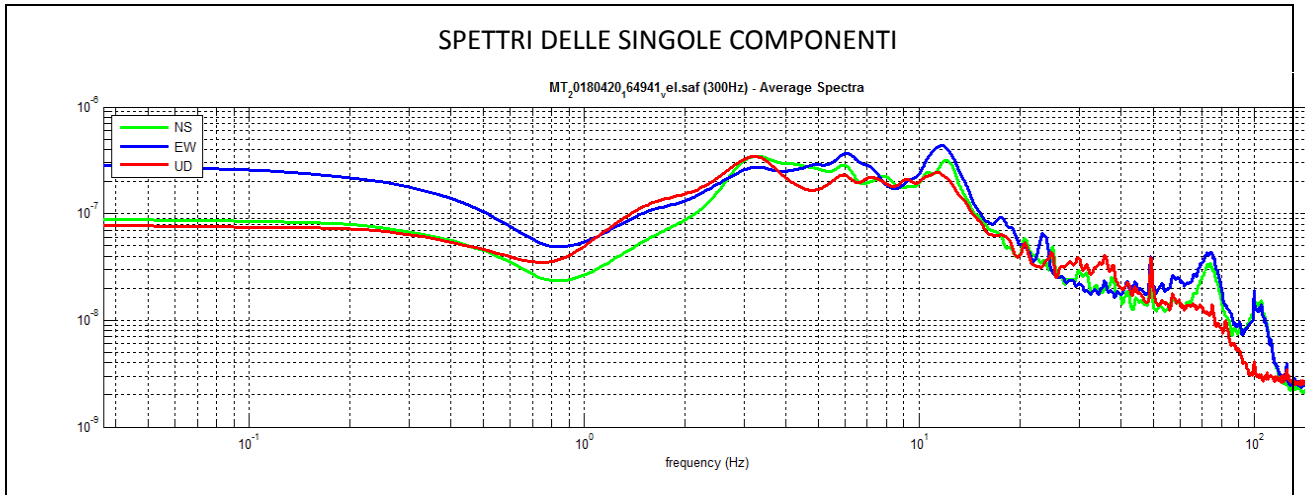


SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



DIREZIONALITÀ H/V





<p>Dataset: MT_20180420_164941_vel.saf</p> <p>Sampling frequency (Hz): 300</p> <p>Window length (sec): 20</p> <p>Length of analysed temporal sequence (min): 16.1</p> <p>Tapering (%): 10</p> <hr/> <p>In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range</p> <p>Peak frequency (Hz): 4.8 (±5.1)</p> <p>Peak HVSR value: 1.7 (±0.2)</p>	<p style="text-align: center;">==== Criteria for a reliable H/V curve =====</p> <p>#1. [f0 > 10/Lw]: 4.8 > 0.5 (OK)</p> <p>#2. [nc > 200]: 9187 > 200 (OK)</p> <p>#3. [f0 > 0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)</p> <p style="text-align: center;">==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====</p> <p>#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 2.8Hz (OK)</p> <p>#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] AH/V(f+) < A0/2]: (NO)</p> <p>#3. [A0 > 2]: 1.7 < 2 (NO)</p> <p>#4. [fpeak[Ah^v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (NO)</p> <p>#5. [sigmaAf < epsilon(f0)]: 5.076 > 0.242 (NO)</p> <p>#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.209 < 1.58 (OK)</p>
---	--

033037P46

Località: Muradello

Data acquisizione: 28/05/2018

Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz

Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0

Durata registrazione: 20 minuti

Frequenza campionamento: 300 Hz

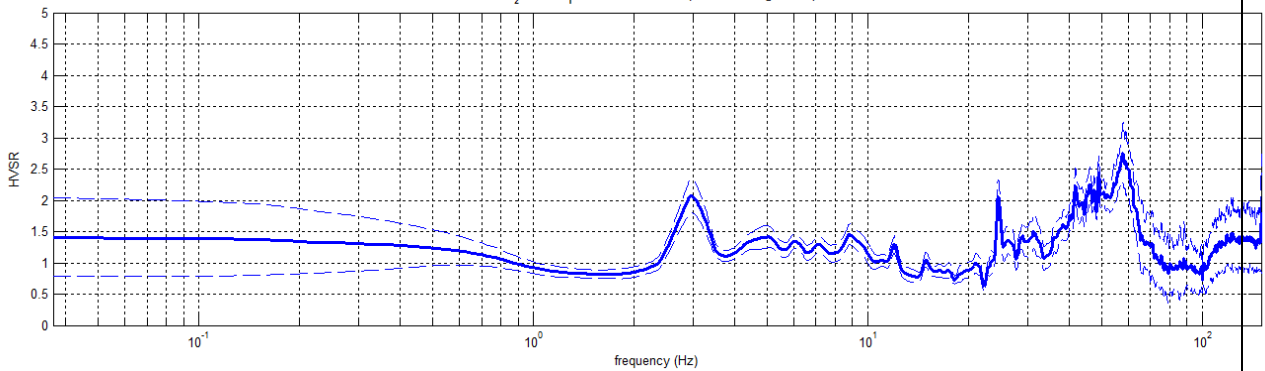
Lunghezza finestre: 20 secondi

Tipo di lisciamento: triangolare

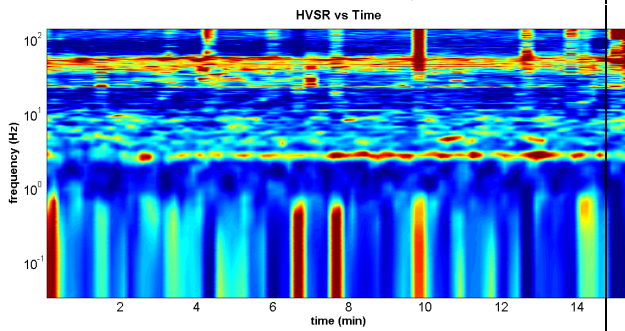


RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

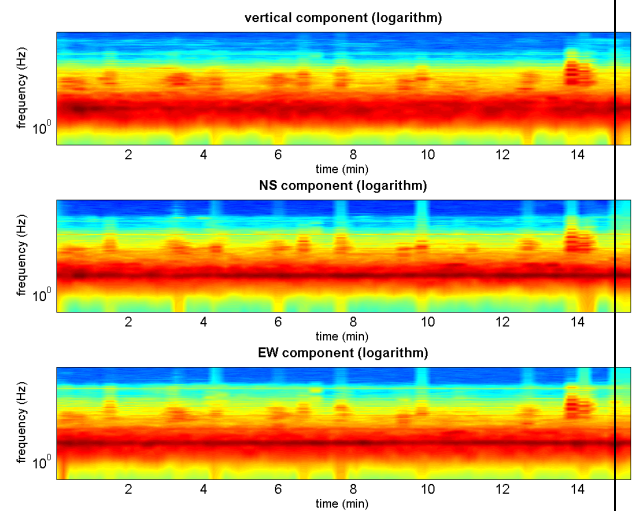
MT_0180528_62222.SAF - HVSR (window length: 20s)



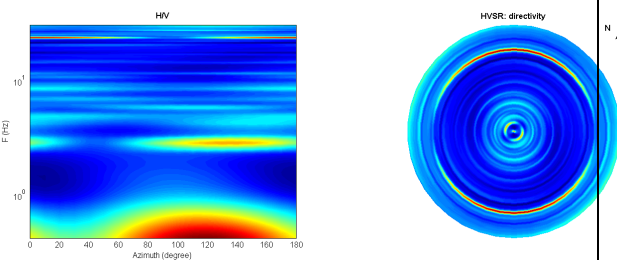
SERIE TEMPORALE H/V



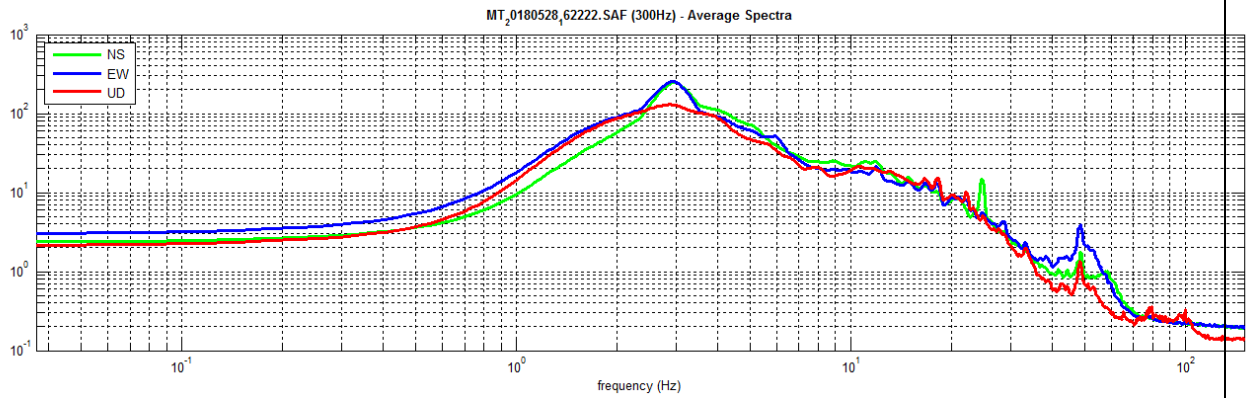
SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT_20180528_162222.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 15.8

Tapering (%): 10

Criteria for a reliable H/V curve

- #1. $[f_0 > 10/L_w]$: $3.0 > 0.5$ (OK)
- #2. $[n_c > 200]$: $5587 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_{\text{H/V}}(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

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

- #1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid \text{AH/V}(f^-) < A_0/2]$: yes, at frequency 2.4Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid \text{AH/V}(f^+) < A_0/2]$: yes, at frequency 10.4Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]$: $2.1 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[\text{Ah/v}(f) \pm \sigma_{\text{H/V}}(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)
- #5. $[\sigma_{\text{H/V}} < \epsilon(f_0)]$: $3.089 > 0.150$ (NO)
- #6. $[\sigma_{\text{H/V}}(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.269 < 1.58$ (OK)

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

Peak frequency (Hz): $3.0 (\pm 3.1)$

Peak HVSR value: $2.1 (\pm 0.3)$

11.3 Sezione Geologica

