

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di San Pietro in Cerro



| Regione | Soggetto realizzatore | Data |
|-----------------------|---|--------------------|
| EMILIA-ROMAGNA | Dott. Geol. Paolo Mancoppi <u>Collaboratori:</u> Dott. Geol. Filippo Segalini Dott. Geol. Gian Marco Veneziani | Giugno 2023 |

INDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduzione | 4 |
| 2 | Definizione della pericolosità sismica di base e degli eventi di riferimento | 5 |
| 2.1 | Zonazione sismogenetica | 7 |
| 2.1.1 | Le sorgenti sismogenetiche | 8 |
| 2.2 | Sismicità storica | 9 |
| 3 | Assetto geologico e geomorfologico | 10 |
| 3.1 | Tettonica e sedimentazione | 10 |
| 3.2 | Stratigrafia comunale | 11 |
| 3.3 | Assetto geomorfologico | 12 |
| 4 | Dati geotecnici e geofisici | 12 |
| 4.1 | Indagini geognostiche pregresse | 12 |
| 4.2 | Indagini geognostiche eseguite per la presente microzonazione sismica | 13 |
| 4.2.1 | Prove sismiche tipo HVSR | 14 |
| 5 | Modello del sottosuolo | 14 |
| 6 | Metodologie di elaborazione e risultati | 15 |
| 7 | Elaborati cartografici | 16 |
| 7.1 | Carta delle indagini | 16 |
| 7.2 | Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica | 17 |
| 7.3 | Carta delle frequenze (livello 1) | 18 |
| 7.4 | Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1) | 19 |
| 7.4.1 | Schemi dei rapporti stratigrafici | 20 |
| 7.6 | Carta di microzonazione sismica (livello 2) | 21 |
| 7.7 | Carta H_{SM} Scuotimento atteso al sito in valore assoluto | 23 |
| 8 | Bibliografia | 25 |
| 9 | Allegati | 26 |
| 9.1 | Indagini sismiche HVSR | 26 |
| 9.2 | Indagini sismiche MASW | 34 |

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 (Vs) (scala 1:10.000)
- Carta di microzonazione sismica (livello 2) (scala 1:10.000)
 - FA P.G.A
 - FA SA1 0.1s≤T≤0.5s

- FA SA2 $0.4s \leq T \leq 0.8s$
 - FA SA3 $0.7s \leq T \leq 1.1s$
 - FA SA4 $0.5s \leq T \leq 1.5s$
 - FH SI1 $0.1s < T < 0.5s$
 - FH SI2 $0.5s < T < 1.0s$
 - FH SI3 $0.5s < T < 1.5s$
 - Carta H_{SM} 0.1s-0.5s (scala 1:10.000)
 - Carta H 0.4s-0.8s (scala 1:10.000)
 - Carta H 0.7s-1.1s (scala 1:10.000)
 - Relazione illustrativa
-

1 INTRODUZIONE

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

- ✓ Allegato A2 "Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza nei Comuni con $a_g < 0,125g$ " della deliberazione di Giunta regionale n. 566 del 26/04/2021 "Approvazione dei criteri e delle indicazioni tecniche e procedurali per l'attribuzione di contributi per la realizzazione di studi di microzonazione sismica nei Comuni caratterizzati da $a_g < 0,125g$ " (da qui in avanti "Allegato A2 della delibera regionale")
- ✓ "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" - Versione 4.1, Roma – Novembre 2018 - Elaborato e approvato nell'ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica, nominata con DPCM 21 aprile 2011 (da qui in avanti SRAI")
- ✓ "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (da qui in avanti "ICMS")
- ✓ D.G.R. n. 476/2021, integrata con D.G.R. n. 564/2021 (da qui in avanti definiti "indirizzi regionali")

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

. PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, finalizzato a:

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

. SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, finalizzato a:

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

L'Amministrazione Comunale ha definito il territorio urbanizzato e urbanizzabile in cui effettuare la microzonazione.

Tale zonazione ha, pertanto, interessato i seguenti abitati:

- San Pietro in Cerro
- Polignano

Il comune di San Pietro in Cerro confina con i seguenti comuni: Caorso, Cortemaggiore, Monticelli d'Ongina e Villanova sull'Arda.

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 San Pietro in Cerro 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 San Pietro in Cerro è pari a **0.101g**.

La magnitudo massima (M_{wmax}) attesa nel comune (compreso all'interno delle zone sismogenetiche 911) e riportata negli ICMS (2008), è stimata pari 6.14.

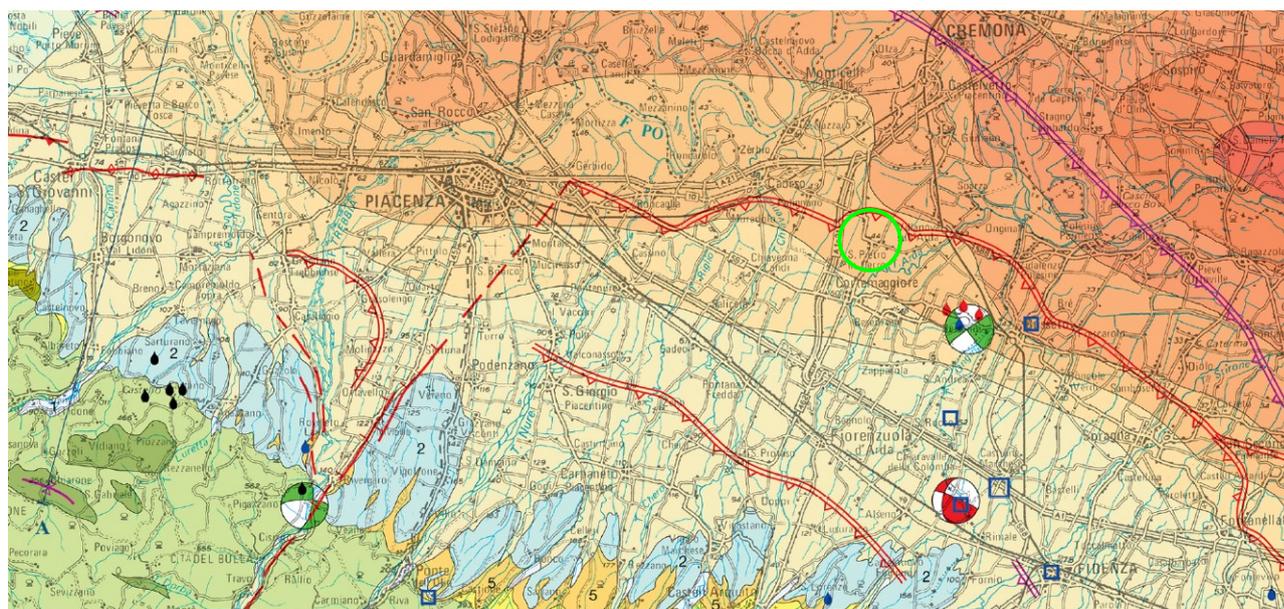
Il territorio comunale di San Pietro in Cerro si colloca nella bassa pianura piacentina ed è compreso fra fiume Po ed i torrenti Arda e Chiavenna, questi ultimi segnano per vari tratti il confine comunale rispettivamente ad est e a ovest. L'intera zona esaminata si caratterizza anche per la presenza di una

fitta rete di canali di scolo e fossi artificiali, frutto degli interventi di miglioramento fondiario, il cui sviluppo è da ricollegare alla scarsa permeabilità dei terreni affioranti e, conseguentemente, alla necessità di agevolare lo smaltimento delle acque meteoriche, altrimenti facilmente ristagnanti ed un'adeguata dotazione di acque irrigue nei mesi asciutti. I lineamenti morfologici che caratterizzano l'area comunale sono così determinati in principal modo dalla presenza della grande valle del fiume Po e delle grandi valli torrentizie, del T. Arda, del T. Chiavenna; che scorrono in direzione all'incirca Sudovest-Nordest e Sud-Nord e pressoché perpendicolari agli assi strutturali appenninici, per cui ne consegue una regolare distribuzione delle zone altimetriche in fasce dolcemente degradanti verso Nord-Nordest. Per quanto riguarda le quote topografiche del territorio risultano comprese tra la quota 41 m s.l.m. presso la località Torri Grosse e la quota 50 m s.l.m. presso la località Cà Buca.

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

Il territorio del comune di San Pietro in Cerro (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 Pieghie Emiliane (Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna – Note Illustrative)*. In particolare, l'attività sismica è legata ad una serie di discontinuità tettoniche associate al movimento di un thrust fault (sovrascorrimento) sepolto; la struttura è ubicata nella porzione centro-meridionale del territorio comunale (*“Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna” - 2017*).



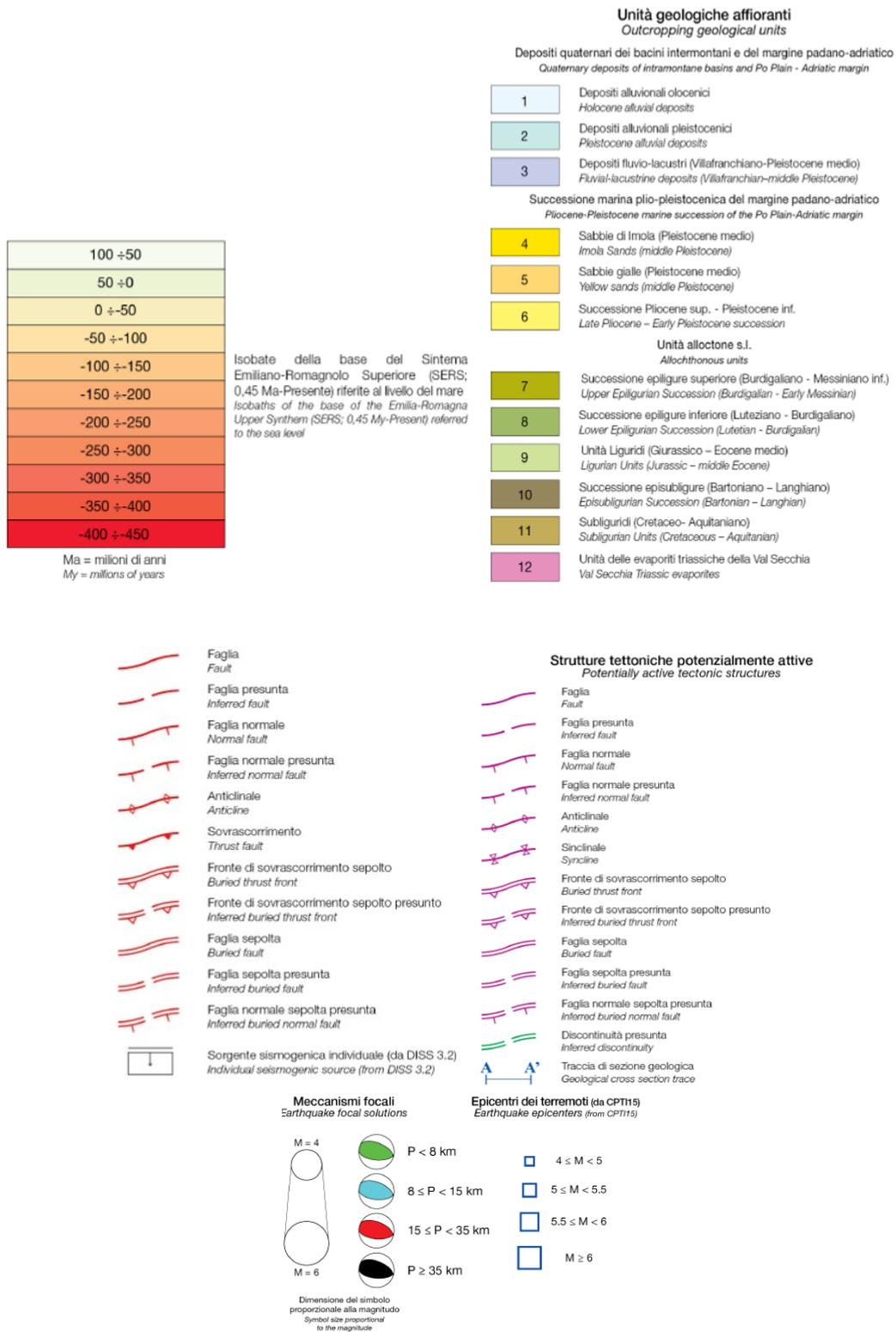


Figura 2.1. Estratto dalla “Carta Sismotettonica dell’Emilia Romagna e aree limitrofe” (2017) con indicazione del territorio comunale.

2.1 Zonazione sismogenetica

La zonazione sismogenetica rappresenta la traduzione operativa del modello sismotettonico: in particolare la nuova zonazione sismogenetica ZS9 “Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto conclusivo” pubblicata sul sito <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> (G.d L., 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 San Pietro in Cerro, nella nuova zonazione ZS9, rientra nella zona **913** ed è limitrofo alla zona **911**.

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

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

...

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

...

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

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

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

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

Sulla base dei nuovi dati acquisiti per la realizzazione della “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe” è stata proposta, da parte di Martelli et alii (2017), anche una nuova zonazione sismogenetica dell’Appennino emiliano-romagnolo e aree limitrofe, al fine di fornire un contributo per l’aggiornamento della mappa di pericolosità sismica nazionale: la MPS16, che andrà a sostituire la MPS04, che, con la zonazione sismogenetica ZS9, rappresenta l’attuale riferimento per il calcolo dell’azione sismica (NTC2018) e la riclassificazione sismica (OPCM 3519/2006).

Secondo questa nuova proposta, in figura successiva messa a confronto con le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute, il Comune di San Pietro in Cerro ricade in zona sismogenetica con

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

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

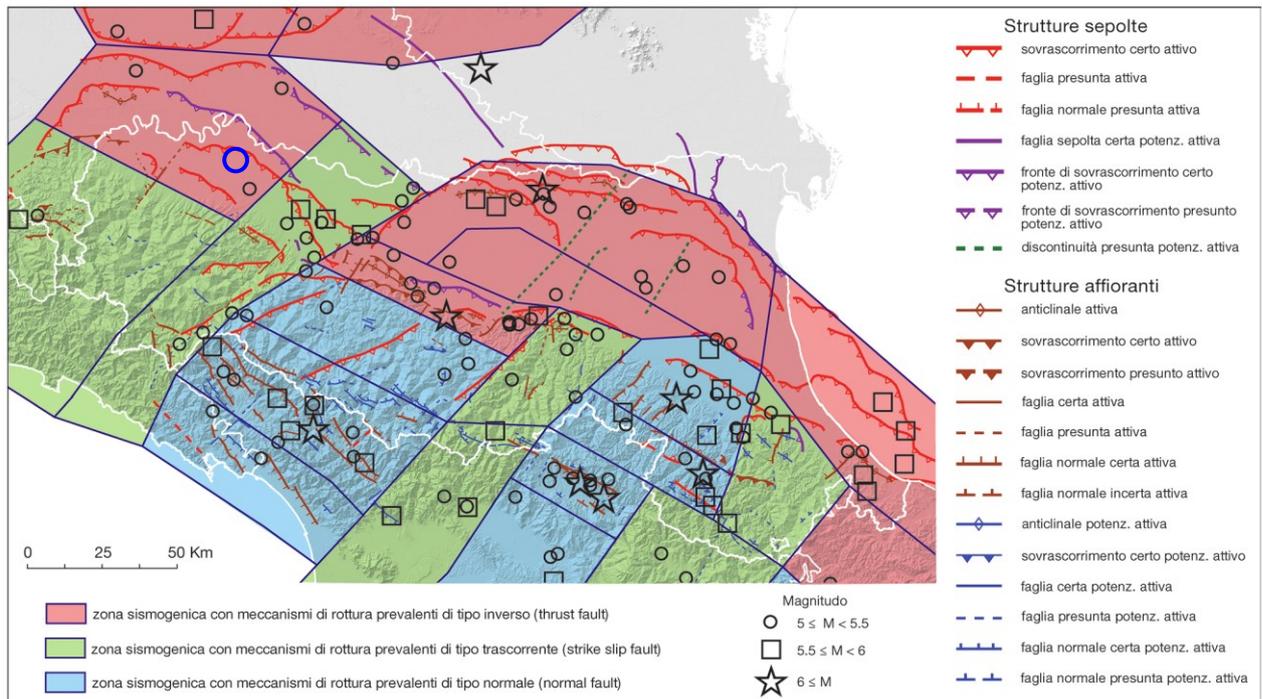


Figura 2.2. Mappa di confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute e la zonazione sismogenetica proposta da Martelli et al. (2017).

2.1.1 Le sorgenti sismogenetiche

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

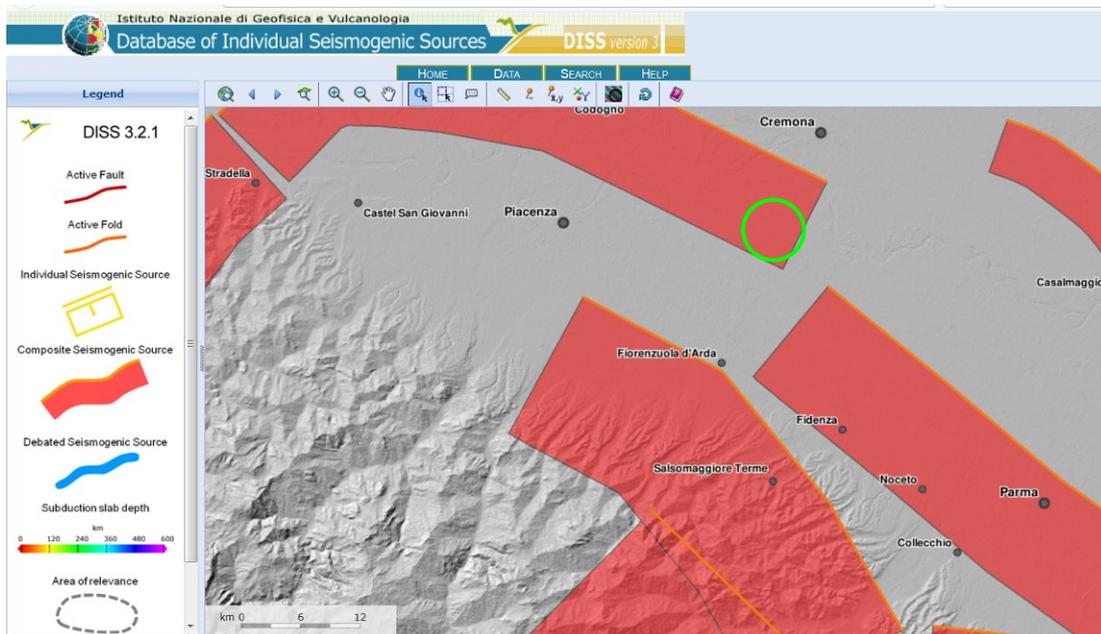


Figura 2.3. Mappa sorgenti sismogenetiche in cui si evidenzia la ITCS044_Portalbera-Cremona. In cerchiato verde il comune di San Pietro in Cerro.

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

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

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

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

2.2 Sismicità storica

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

Sono stati consultati i seguenti cataloghi:

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

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

Dall'interrogazione del “*Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015*” **CPTI15-DBMI15 – relase 1.5** consultabile liberamente all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15> per un intorno significativo della sede del Municipio (un raggio di 50 Km con centro **lat. 45.021** e **long. 9.949**) sono stati identificati **472** eventi significativi dei quali si riporta l'ubicazione nella figura seguente; l'evento principale presenta una Intensità massima I_{max} pari a 8-9 in località Orzinuovi, in provincia di Brescia.

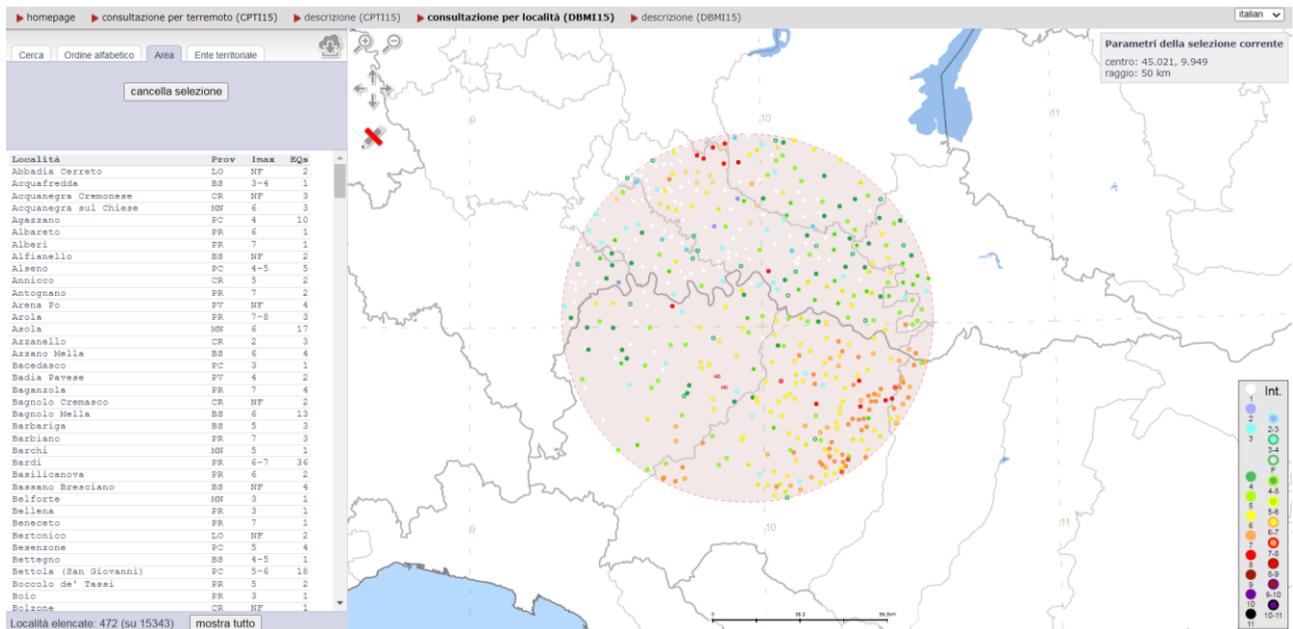
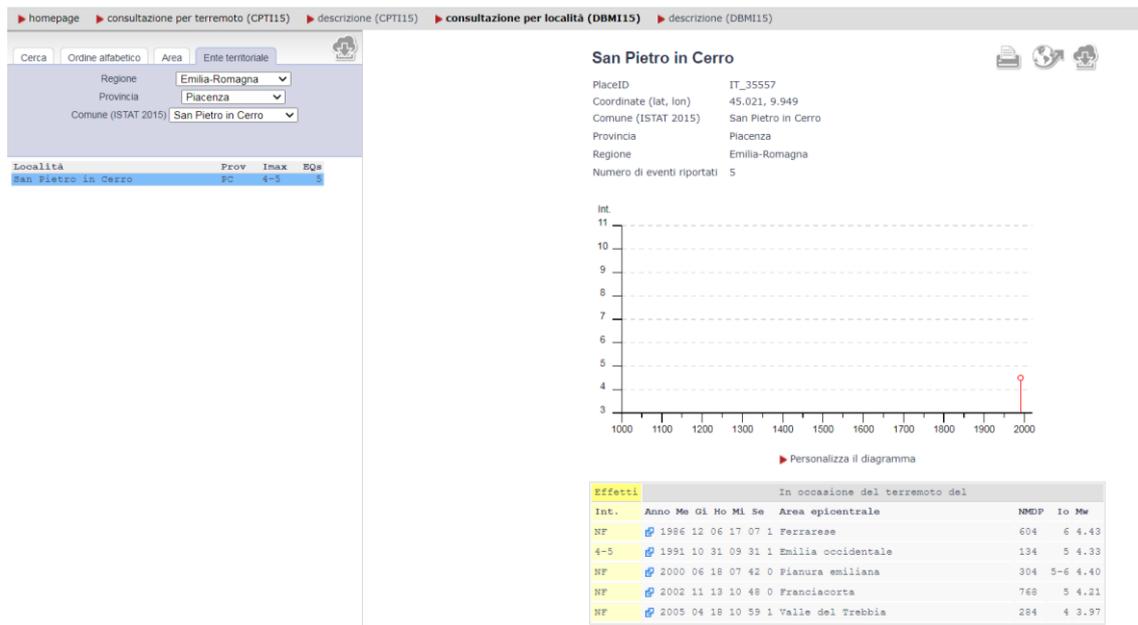


Tabella 2.1. Estratto dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani, terremoti con epicentro compreso in un raggio di 50Km dal centro abitato di San Pietro in Cerro.

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



In sintesi, si segnalano in particolare il terremoto del 06/12/1986 di magnitudo 4.43 con epicentro nel Ferrarese.

3 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 Tettonica e sedimentazione

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

Il fronte della catena appenninica non coincide infatti con il limite morfologico catena-pianura (margine appenninico - padano) ma è individuabile negli archi esterni delle Pieghe Emiliane e Ferraresi (Pieri &

Groppi, 1981) sepolte dai sedimenti quaternari padani . Quindi, il vero fronte appenninico, circa all'altezza del Po, sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano – veneta. Si può così schematizzare che l'evoluzione del territorio dell'Emilia-Romagna coincide con l'evoluzione del settore esterno della catena nord-appenninica.

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

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

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

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

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

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

3.2 Stratigrafia comunale

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

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

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

3.3 Assetto geomorfologico

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

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

Unità morfologica della bassa pianura

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

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

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

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

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

4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

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

4.1 Indagini geognostiche pregresse

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

Non troppo numerose le indagini reperite, tra le quali 17 prove penetrometriche (9 delle quali eseguite con penetrometro statico e 8 con penetrometro dinamico medio). La stratigrafia del territorio è stata inoltre indagata da 22 pozzi per acqua, da 3 sondaggi e da 2 MASW.

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

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

L'acquisizione dei dati è stata eseguita tramite l'utilizzo di un sismografo 24 canali (modello Echo 2002) collegato a geofoni orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz.

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

Le 2 prove Masw e gli HVSR sono state eseguite rispettivamente nei pressi degli abitati di:

- San Pietro in Cerro
- Polignano

San Pietro in Cerro

Il valore di V_{s30} calcolato al piano campagna è risultato pari a 264 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.

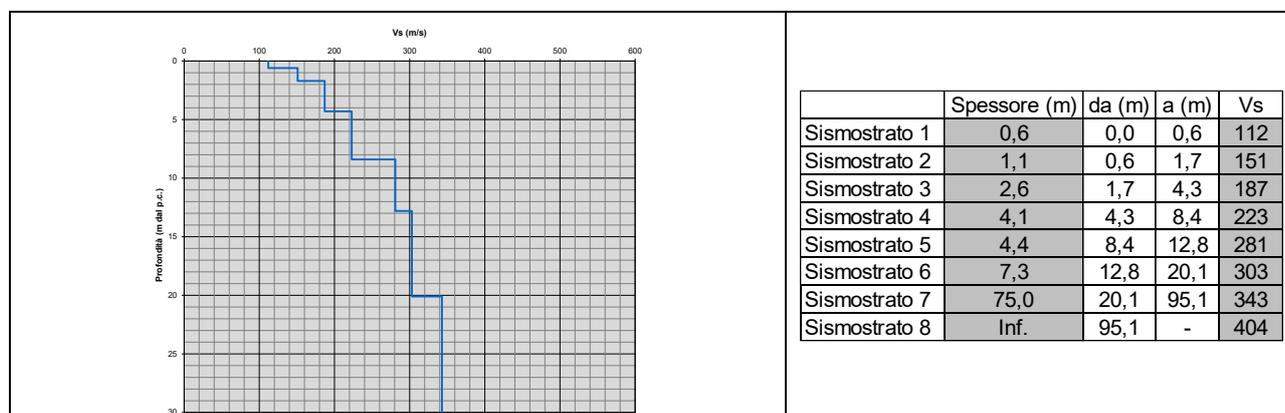


Figura 4.1. Profilo di V_s ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di V_s .

Polignano

Il valore di V_{s30} calcolato al piano campagna è risultato pari a 201 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di V_s registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

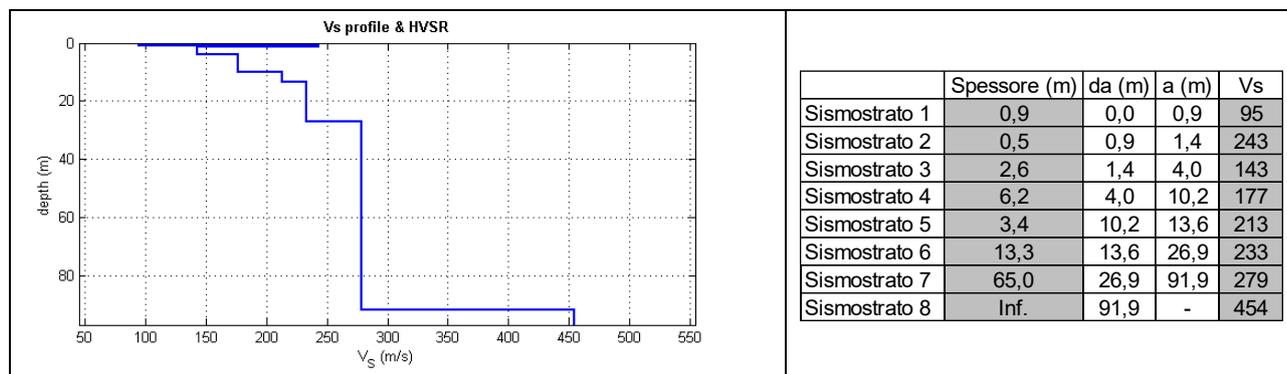


Figura 4.2. Profilo di V_s ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di V_s .

4.2.1 Prove sismiche tipo HVSR

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

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

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

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

Per la campagna di indagine è stato utilizzato un sismografo SR04-GEOBOX sensore 2.0Hz con una frequenza di campionamento di 300Hz ed un tempo di registrazione di 20 minuti. L'elaborazione dei dati è stata eseguita con il software WINMASW 5.2 Professional, impostando la lunghezza delle finestre a 20s e lisciamiento con finestra triangolare con ampiezze 10-20%.

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

| N° | ID_INDP | F_0 | Ampiezza | Altri picchi significativi | Località |
|------|-----------|-------|----------|----------------------------|---------------------|
| HV01 | 033041P44 | - | - | - | San Pietro in Cerro |
| HV02 | 033041P45 | - | 3,4 | 22,1 | San Pietro in Cerro |
| HV03 | 033041P46 | - | 2,8 | 23,6 | Polignano |
| HV04 | 033041P47 | - | - | - | Polignano |

5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il comune di San Pietro in Cerro, come ampiamente descritto nei capitoli precedenti, è caratterizzato dalla presenza di sedimenti alluvionali costituiti da argille, limi con intercalazioni di sabbie in matrice argilloso limosa appartenenti al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (Subsintema di Ravenna_Unità di Modena AES8a).

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

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

Il substrato marino è dunque ricoperto dalle unità del Sintema Emiliano-Romagnolo (superiore e/o inferiore). Il substrato marino è presente nel territorio analizzato a quote comprese tra 200 e 250 metri slm. Il passaggio tra Subsintema Emiliano Superiore (AES) e quello inferiore (AEI) è indicato invece a profondità di circa 120 metri slm, in accordo con la nuova “*Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e aree limitrofe*” (Regione Emilia-Romagna, 2017) di cui si riporta un estratto nella figura successiva.

Nel complesso, considerando i dati raccolti, la fascia di pianura in cui ricade il comune di San Pietro in Cerro, è caratterizzata dalla presenza di una coltre superficiale di depositi prevalentemente fini (limi ed argille) di spessore compreso tra 5 e 9 metri che ricoprono sabbie e limi sabbiosi di spessore compreso tra 14 e 17 metri, poggianti su sabbie e sabbie con ghiaietto fino a circa 30 metri di profondità.

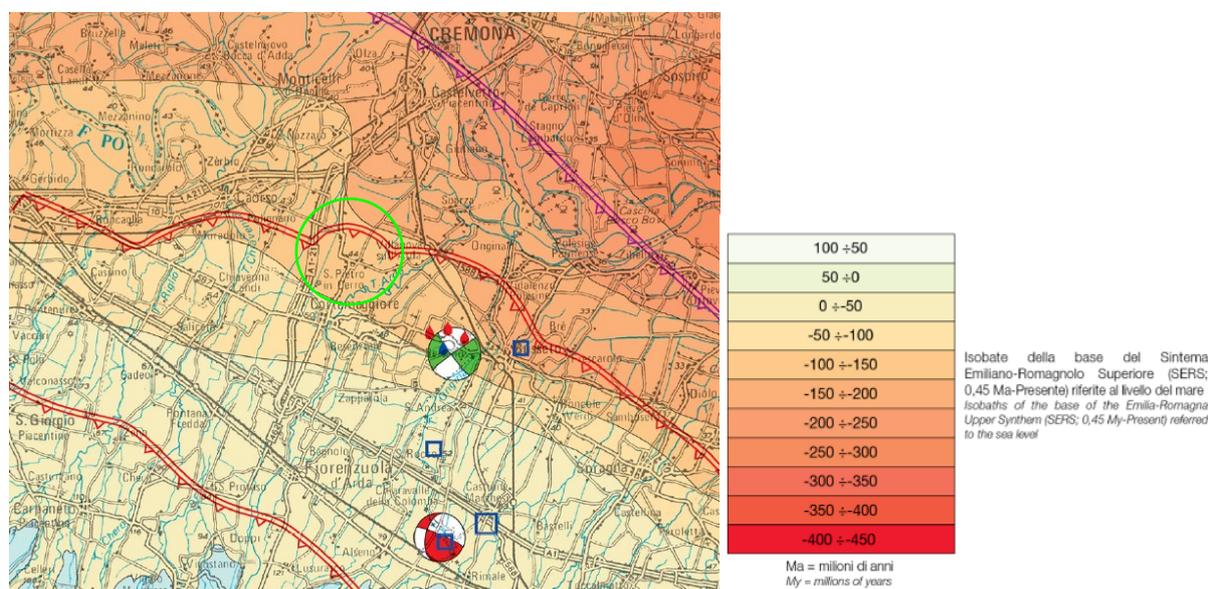


Figura 5.1. Estratto Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e isobate della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, in verde il territorio comunale di San Pietro in Cerro.

6 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Relativamente agli areali da sottoporre allo studio di Microzonazione Sismica, sono stati acquisiti dati bibliografici e di archivio, sono stati condotti rilievi sul territorio ed è stata analizzata la cartografia geologica e geomorfologica disponibile.

Gli elaborati prodotti sono costituiti da:

Carta delle indagini: in tale cartografia sono riportate le indagini pregresse, tutte le prove sono state classificate in base alla tipologia;

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

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

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

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati:

Carta delle velocità delle onde di taglio S: carte in sono ubicati tutti i punti di misura di Vs con indicazione, per ogni punto misura, del valore di Vs30, 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/PGA0), sia di rapporto di Intensità spettrale in accelerazione (SA/SA0) per prefissati intervalli (0,1-0,5s denominata SA1; 0,4-0,8s denominata SA2; 0,7-1,1s denominata SA3; 0,5-1,5s denominata SA4, sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI0), per prefissati intervalli di periodi (0,1-0,5s denominata SI1; 0,5-1s denominata SI2 e 0,5-1,5s denominata SI3).

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

7 ELABORATI CARTOGRAFICI

7.1 Carta delle indagini

Nel territorio del comune di San Pietro in Cerro 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:

- ✓ 11 prove penetrometriche statiche,
- ✓ 8 prove penetrometriche dinamiche,
- ✓ 22 pozzi per acqua,
- ✓ 3 sondaggi a carotaggio continuo,
- ✓ 4 prove sismiche multicanale basate su onde di superficie,
- ✓ 4 acquisizioni HVSR
- ✓ 1 stratigrafia tipo della zona omogenea.

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



Figura 7.1. Legenda Carta delle Indagini.

7.2 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 delle Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1).

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

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

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

SMpi – Sabbie limose, miscele di sabbie e limo, poco addensati; si tratta di depositi di piana inondabile: sono cartografate lungo fasce non troppo estese nella porzione occidentale e centrale del territorio comunale. Affiorano nella porzione est dell'abitato di Polignano.

CLpi – Argille limose di medio bassa, coesive e moderatamente consistenti; si tratta di depositi di piana inondabile: affiorano nella porzione ovest dell'abitato di Polignano e sono cartografate in un'ampia porzione del territorio comunale a nord del capoluogo.

MHpi – Limi e limi sabbiosi coesivi, moderatamente consistenti si tratta di depositi di piana inondabile; sono cartografate a nord est del capoluogo comunale.

MLpi – Limi argillosi a bassa plasticità; si tratta di depositi di piana inondabile: sono cartografate nella porzione ovest del capoluogo e in porzioni meridionali del territorio comunale.

Sono stati altresì distinti gli ambienti genetico - deposizionali dei terreni di copertura secondo le seguenti classi, come definite dalla Cartografia Geologica legata al Progetto CARG della Regione Emilia-Romagna:

pi – piana alluvionale

Infine nella Carta geologico tecnica è stata riportata la profondità in metri della falda.

7.3 Carta delle frequenze (livello 1)

Il comune di San Pietro in Cerro, come ampiamente descritto nei capitoli precedenti, è caratterizzato dalla presenza di sedimenti alluvionali costituiti da argille, limi con intercalazioni di sabbie in matrice argilloso limosa appartenenti al Sintema Emiliano Romagnolo Superiore, precisamente Subsintema di Ravenna_Unità di Modena (AES8a).

In questa carta sono stati riportati tutti i punti di misura con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo (F_1). Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto riferimento prescrivono, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

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

| frequenza picco significativo (nell'intervallo 0,2 - 20 Hz) | Ampiezza picco (contrasto di impedenza acustica) | | | spessore atteso (m) |
|--|---|---|---|------------------------|
| | $1,5 \leq \text{HVSr} < 2$ BASSO | $2 \leq \text{HVSr} \leq 3$ MEDIO | $\text{HVSr} > 3$ ALTO | |
| $F_0 \leq 0,6$ |  |  |  | > 200 |
| $0,6 < F_0 \leq 1$ |  |  |  | 200 - 100 |
| $1 < F_0 \leq 2$ |  |  |  | 100 - 30 |
| $2 < F_0 \leq 8$ |  |  |  | 30 - 10 |
| $F_0 > 8$ |  |  |  | < 10 |
| assenza di picchi significativi |  | | | |

Figura 7.2. Legenda Carta della frequenza naturale dei terreni.

Va rilevato che l'ampiezza del rapporto H/V è sempre modesta, compresa tra 2 e 3, indicando che la differenza di velocità tra i diversi depositi è abbastanza modesta, come logica conseguenza delle caratteristiche dei terreni costituenti il sedime all'interno del territorio comunale. Dalle prove eseguite il territorio comunale risulta caratterizzato da misurazioni HVSr praticamente piatte, con assenza di importanti riflettori. In alcuni casi sono stati identificati riflettori a frequenze intorno ai 20 Hz indicanti profondità di riflettori inferiore ai 3 metri.

7.4 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 San Pietro in Cerro.

2. **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.** Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. All'interno di queste aree si è operata un'ulteriore distinzione sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, identificando profili stratigrafici tipo ai quali possono essere ricondotti gli areali esaminati. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello. Questa categoria non è presente sul territorio del Comune di San Pietro in Cerro.

3. **zone di attenzione per instabilità.** Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali liquefazioni e densificazione. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

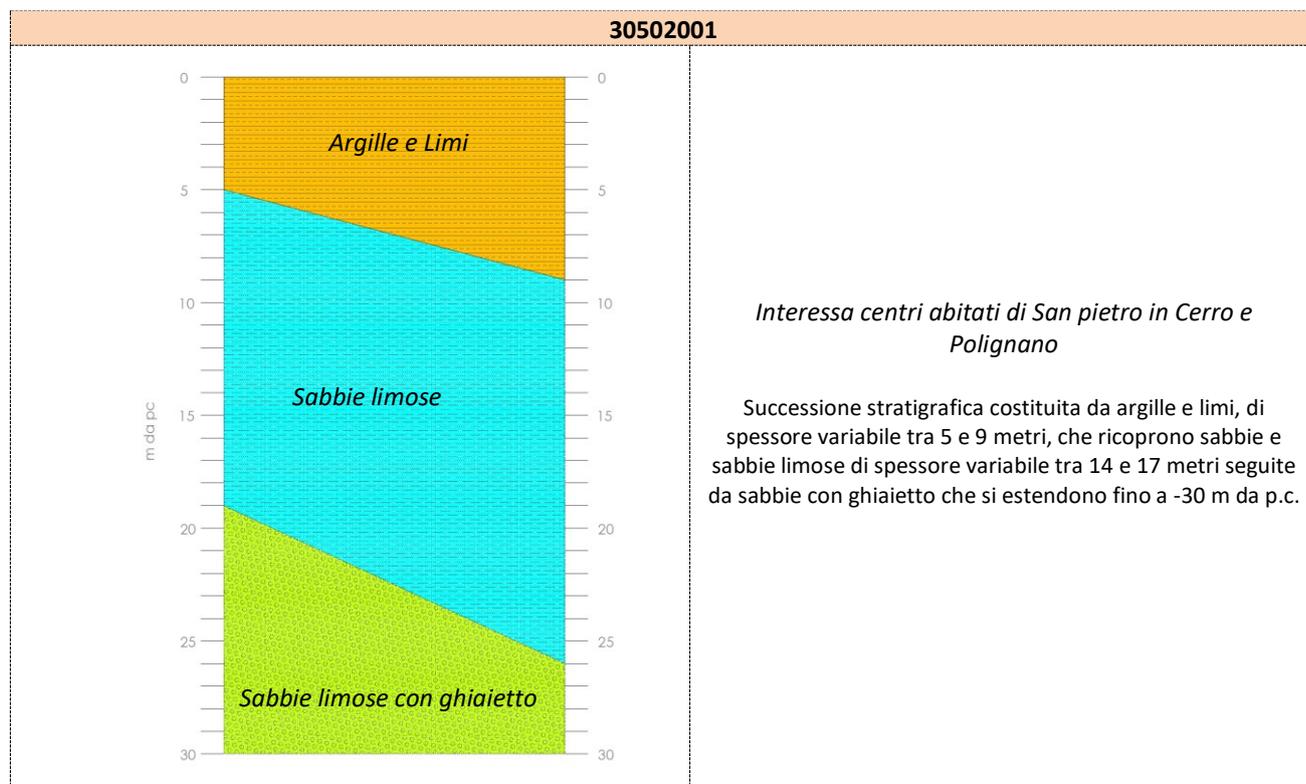
Le aree urbanizzate e urbanizzabili oggetto del presente studio risultano appartenenti *alla categoria 3 – Zone di attenzione per instabilità per liquefazione.*

Infatti, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, è stata identificata 1 microzona omogenea, con un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 30 m di sottosuolo. All'interno dei perimetri degli areali di microzonazione sono presenti zone di attenzione per instabilità, indotte dalla presenza di aree interessate da possibili fenomeni quali liquefazione.

| Zone di attenzione per liquefazione (ZALQ) | | | |
|---|--------------------------------|----------------------------------|---|
| Zona n° | Località | Successione stratigrafica | Descrizione |
| 1 | San Pietro in Cerro, Polignano | 30502001 | Successione stratigrafica costituita da argille e limi, di spessore variabile tra 5 e 9 metri, che ricoprono sabbie e limi sabbiosi di spessore variabile tra 14 e 17 metri seguite da sabbie con ghiaietto che si estendono fino a -30 m da p.c. |

7.4.1 Schemi dei rapporti stratigrafici

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



7.5 Carta delle velocità di taglio (Vs)

Nella Carta delle velocità delle onde di taglio sono riportate tutte le misure utilizzate per la definizione della velocità delle onde di taglio nel territorio comunale. In particolare sono stati riportati per ogni punto il tipo di misura (MASW, SAWS, HVSr, etc), il valore di V_{s30} e (calcolato come riportato in § 7.6).

L'analisi complessiva dei dati rilevati a livello comunale mette in luce valori di V_{s30} variabili e compresi tra 201 e 294 m/s.

Di seguito si riporta la tabella che riporta i valori dei parametri V_{s30} per le prove MASW+HVSr eseguite per il presente studio.

| N° | Data | Formazione/Copertura | H | Vsh | Vs30 | Località |
|--------------------------------|------------|----------------------|---|-----|------|---------------------|
| MASW01 033041L3MASW3 | 04/05/2023 | AES8a_limo sabbioso | - | - | 264 | San Pietro in Cerro |
| MASW02 033041L4MASW4 | 04/05/2023 | AES8a_sabbia limosa | - | - | 201 | Polignano |

L'elemento che si preme sottolineare è comunque la variazione non troppo accentuata dei valori di V_{s30} come conseguenza delle caratteristiche dei depositi interessati, sintomo comunque di buona omogeneità nei depositi costituenti il sedime del territorio comunale.

7.6 Carta di microzonazione sismica (livello 2)

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

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

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

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

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

| | T₁ | T₂ |
|-------------|----------------------|----------------------|
| SA1 | 0,1 s | 0,5 s |
| SA2 | 0,4 s | 0,8 s |
| SA3 | 0,7 s | 1,1 s |
| SA4* | 0,5 s | 1,5 s |

- intensità spettrale

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

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

| | T₁ | T₂ |
|-------------|----------------------|----------------------|
| SI1 | 0,1 s | 0,5 s |
| SI2 | 0,5 s | 1,0 s |
| SI3* | 0,5 s | 1,5 s |

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

Per la stima del fattore di amplificazione (FA) devono essere realizzate indagini geotecniche e geofisiche che permettano di definire lo spessore H del deposito di copertura e la velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato (V_{sH} e V_{s30}) del deposito di copertura.

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

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

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

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^M \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

dove M è il numero di strati del profilo sismico fino alla profondità di 30 m, h_i è lo spessore (in m) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m), V_{S_i} è la velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m).

La scelta dell'abaco per la stima dei fattori di amplificazione è stata valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo e agli abachi proposti dagli indirizzi regionali (cfr. DGR 564/2021). Nello specifico, sulla base delle caratteristiche descritte nei capitoli precedenti e in riferimento alla localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici in Emilia Romagna (vedi figura 8.2), si è scelto di utilizzare la Tabella PIANURA 1 (settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di un'importante discontinuità stratigrafica responsabile di un contrasto di impedenza significativo, tale da essere considerato coincidente con il tetto del substrato rigido, a profondità indicativa di 100 ± 20 m da p.c.);

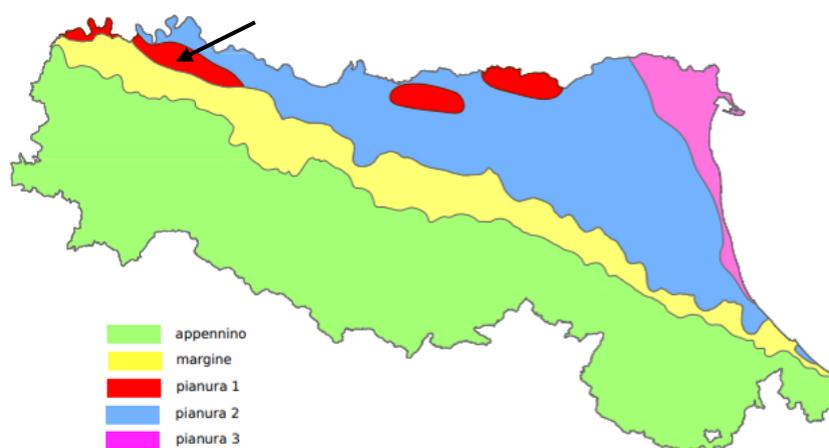


Figura 7.3. Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici in Emilia Romagna. (da “Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna” A. Tenta , L. Martelli, A. Marcellini_2015)

Si riportano di seguito gli abachi utilizzati.

| | | | | | | |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| V_{S30} (m/s) → | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| PGA | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 |

Fattore di Amplificazione **PGA**

| | | | | | | |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| V_{S30} (m/s) → | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| SA1 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,5 |
| SA2 | 2,6 | 2,5 | 2,4 | 2,2 | 2,0 | 1,9 |
| SA3 | 3,2 | 3,2 | 3,0 | 2,7 | 2,5 | 2,2 |
| SA4 | 3,1 | 3,0 | 2,7 | 2,4 | 2,2 | 2,0 |

Fattori di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$), **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

| | | | | | | |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| V_{S30} (m/s) → | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| SI1 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,5 |
| SI2 | 3,0 | 2,9 | 2,7 | 2,5 | 2,3 | 2,1 |
| SI3 | 3,4 | 3,2 | 2,8 | 2,5 | 2,2 | 2,0 |

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

Figura 7.4. Abachi utilizzati per la stima dei FA: Appennino con substrato avente $V_s < 800$ m/s.

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

| Sito | FA PGA | FA SA1 | FA SA2 | FA SA3 | FA SA4 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| San Pietro in Cerro (zona 30502001) | 1,7 | 1,8 | 2,4 | 3,0 | 2,7 |
| Polignano (zona 30502001) | 1,7 | 1,8 | 2,5 | 3,2 | 3,0 |

| Sito | FH SI1 | FH SI2 | FH SI3 |
|--|--------|--------|--------|
| San Pietro in Cerro (zona 30502001) | 1,9 | 2,7 | 3,2 |
| Polignano (zona 30502001) | 1,9 | 2,9 | 2,8 |

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

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

Figura 7.5. Legenda adottata per la definizione dei FA nelle Carte di microzonazione sismica.

7.7 Carta H_{SM} Scuotimento atteso al sito in valore assoluto

E' stata anche prodotta una carta della distribuzione sul territorio dei valori di H_{SM}, parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in g), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{UHS}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per gli intervallo di periodi 0,1s ≤ T ≤ 0,5s, 0,4s ≤ T ≤ 0,8s, 0,7s ≤ T ≤ 1,1s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s), per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodo:

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

dove valori di ASI_{UHS}/ΔT, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file PSbaseRER.kmz disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio

Geologico, Sismico e dei Suoli. Nella figura successiva si riportano le legende adottate per le tre carte prodotte.

HSM0105

Zone di attenzione per instabilità da liquefazione sismoindotta

Scuotimento atteso al sito in % g



$0,39 \text{ g} \leq H_{SM} \leq 0,54 \text{ g}$

H0408

Zone di attenzione per instabilità da liquefazione sismoindotta

Scuotimento atteso al sito in % g



$0,46 \text{ g} \leq H_{0408} \leq 0,55 \text{ g}$



$0,56 \text{ g} \leq H_{0408} \leq 0,65 \text{ g}$

H0711

Zone di attenzione per instabilità da liquefazione sismoindotta

Scuotimento atteso al sito in % g



$H_{0711} \geq 0,46 \text{ g}$

Figura 7.6. Legenda adottata per le mappe di scuotimento atteso.

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

| | 0,1-0,5s | 0,4-0,8s | 0,7-1,1s |
|-------------------|----------|----------|----------|
| S.Pietro in Cerro | 0,40 | 0,54 | 0,67 |
| Polignano | 0,40 | 0,56 | 0,72 |

San Pietro in Cerro, ottobre 2022

Dott.Geol.Paolo Mancioffi



8 BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2011): "Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", Ingegneria sismica Anno XXVII, n°2. Patron editore.
- Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics
- Boccaletti M, Martelli L. a cura di (2004) "Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna" Selca Firenze
- Martini A. Zanzucchi G. (2000): "Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 198 "Bardi" ISPRA / Regione Emilia-Romagna /Serv. Geol. Naz.
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (2009) – Foglio 198 "Bardi". Regione Emilia Romagna/Serv. Geol. Naz.
- Camassi R. Stucchi M. (1998) "NT4.1, un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno" <http://emidius.mi.ingv.it/NT/CONSNT.html>
- Cerrina Ferroni A., Martelli L., Martinelli P., Ottria P.(2002): "Carta geologico strutturale dell'Appennino Emiliano Romagnolo alla scala 1:250000" Regione Emilia-Romagna - CNR
- Delibera dell'Assemblea legislativa della Regione Emilia Romagna progr. n°112 - oggetto n°3121 del 2 maggio 2007, "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica.
- Facciorusso J. (a cura di) (2012): "Microzonazione sismica, uno strumento consolidato per la riduzione del rischio. L'esperienza della Regione Emilia-Romagna". Ed Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.
- ISIDe Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological Instrumental and parametric database: <http://iside.rm.ingv.it>
- Iwasaki T., Tokida K., Tatsuoka F., Watanabe S. Yasuda S., Sato H. (1983) "Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods", III Int. Conf. In Microzon., San Francisco
- Gruppo di lavoro CPTI (2004). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), INGV, Bologna.
- Gruppo di Lavoro (2004): Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma
- Gruppo di Lavoro MS (2008): "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome – Dipartimento della protezione Civile, Roma.
- Locati M., Camassi R., Stucchi M. (a cura di), (2011). "DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano". Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.
- Serva L. (1990): "Il ruolo delle Scienze della Terra nelle analisi di sicurezza di un sito per alcune tipologie di impianti industriali: il terremoto di riferimento per il sito di Viadana (MN)." Boll. Soc. Geol. It., 109, 375-411.
- RER – ENI, Agip "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna" (1998) a cura di G. Di Dio
- CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA ED AREE LIMITROFE – Scala 1:250.000 (2017) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – CNR, Istituto di Geoscienze e Georisorse – Università degli Studi di Firenze – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- Martelli L., Ercolessi G., Sani F., Bonini M., Corti G., Santulin M., Tamaro A., Rebez A., Slejko D. (2017): "Analisi 3D della pericolosità sismica dell'Appennino Settentrionale – Proposta di nuova zonazione sismogenica e analisi della pericolosità sulla base di un modello 3D delle sorgenti sismiche" – Rapporto conclusivo.

9 ALLEGATI

9.1 Indagini sismiche HVSR

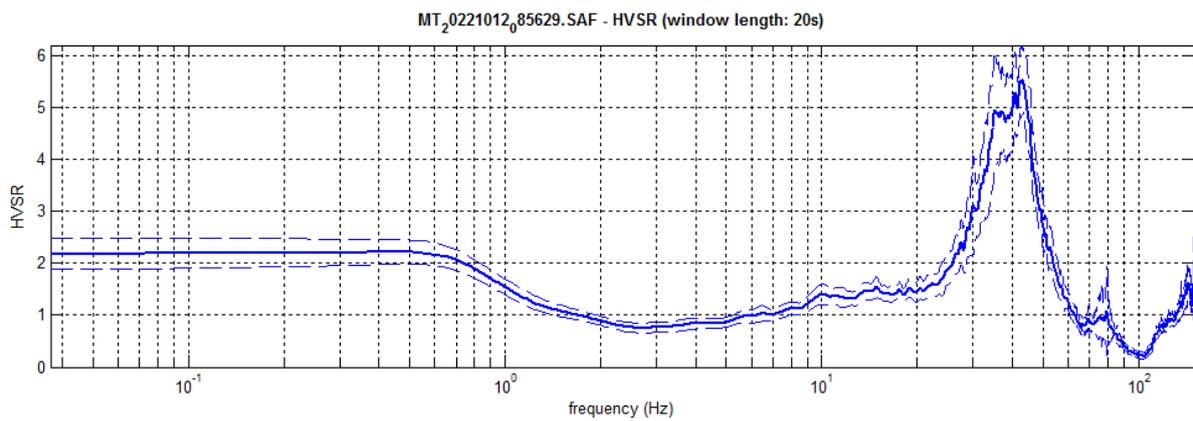
HV01

Località: San Pietro in Cerro
 Data acquisizione: 12/10/2022

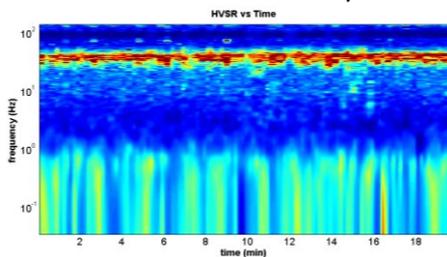
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz
 Software elaborazione: WINMASW 5.2 Professional
 Durata registrazione: 20 minuti
 Frequenza campionamento: 300 Hz
 Lunghezza finestre: 20 secondi
 Tipo di lisciamento: triangolare
 Lisciamento: 10%



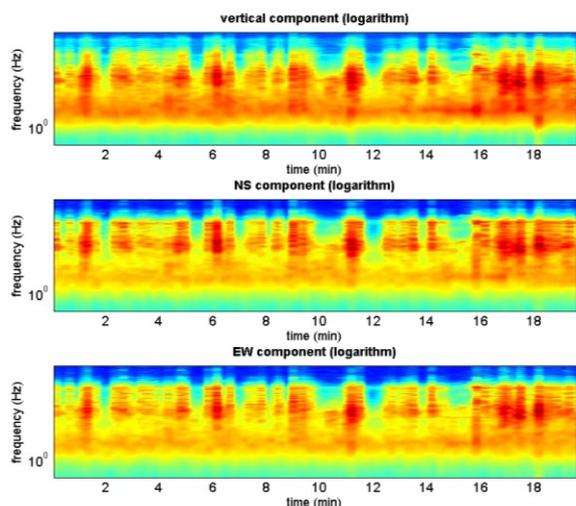
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



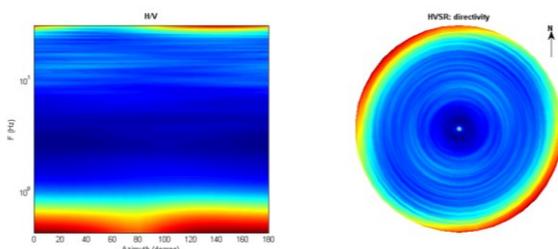
SERIE TEMPORALE H/V



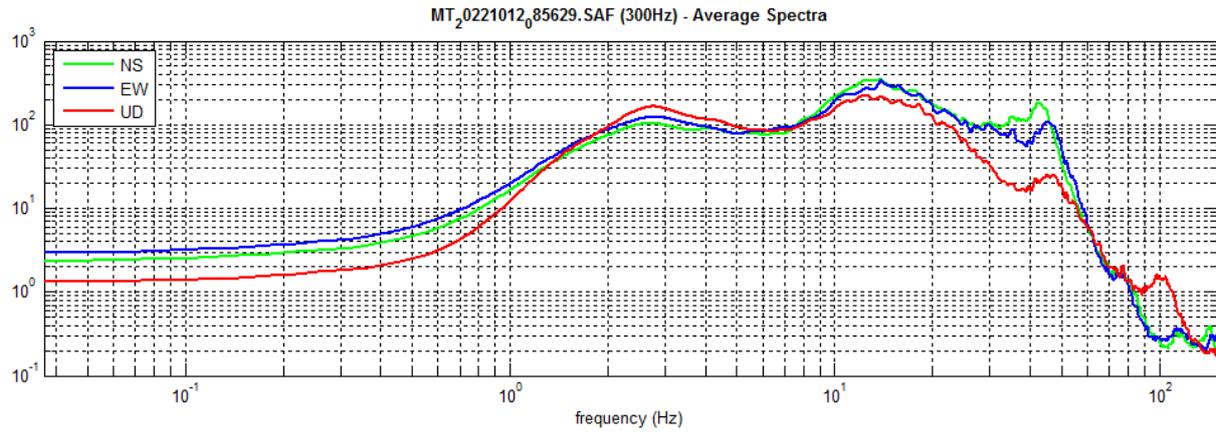
SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



HV02

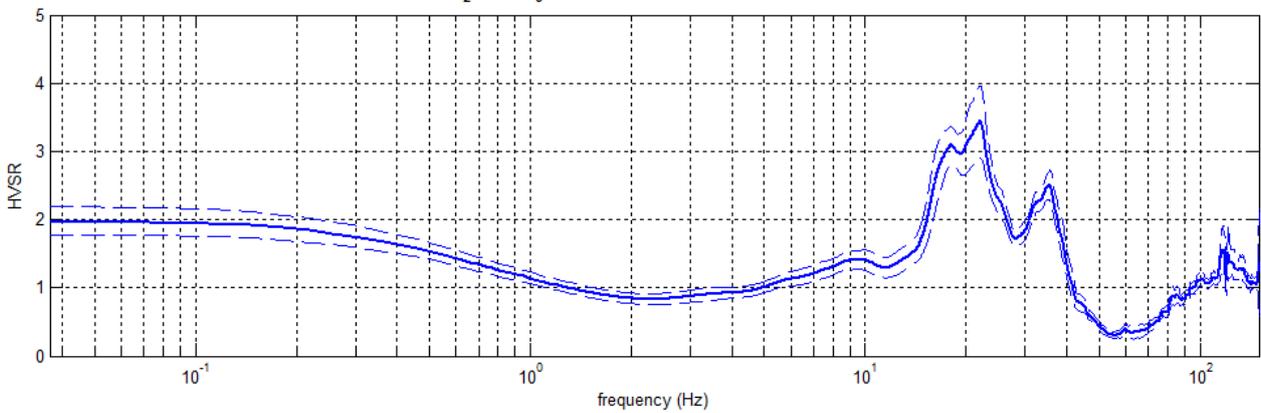
Località: San Pietro in Cerro
 Data acquisizione: 12/10/2022

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

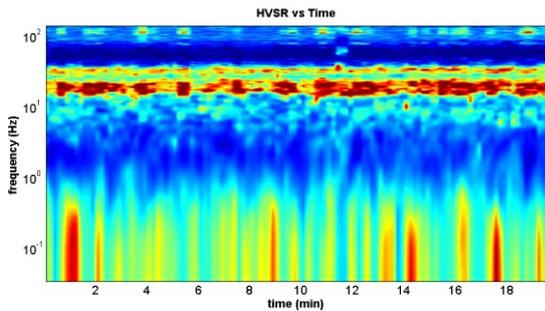


RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

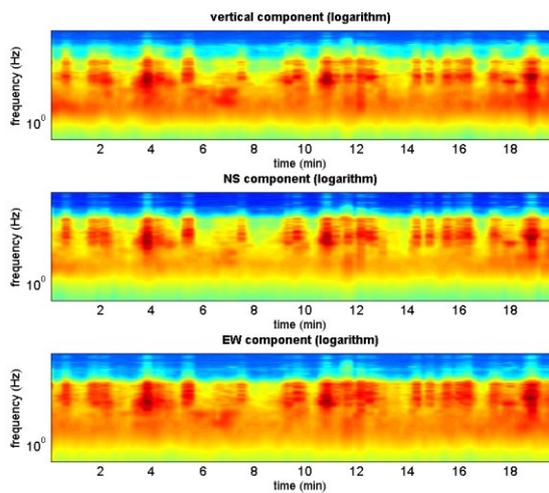
MT₂0221012_92523.SAF - HVSr (window length: 20s)



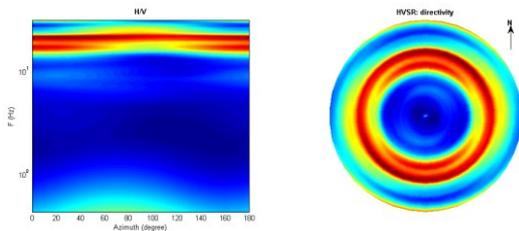
SERIE TEMPORALE H/V



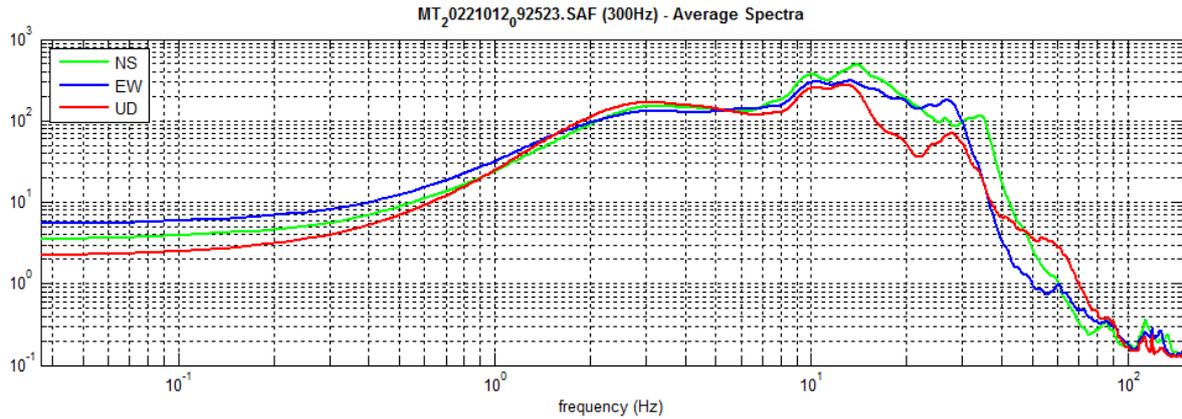
SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Frequenza di picco (Hz): 22,1 (±2,4)

Valore di picco HVSR: 3,4 (±0,5)

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

- # 1. [$f_0 > 10/L_w$]: 22,1 > 0,5 (OK)
- #2. [$n_c > 200$]: 52041 > 200 (OK)
- #3. [$f_0 > 0,5$ Hz; $\sigma_A(f) < 2$ per $0,5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

==== Criteri per un picco H/V chiaro (almeno 5 dovrebbero essere completati) =====

- # 1. [esiste f- nell'intervallo [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f-) < A_0/2$]: si, a frequenza 14,8Hz (OK)
- #2. [esiste f+ nell'intervallo [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f+) < A_0/2$]: si, a frequenza 28.1Hz (OK)
- #3. [$A_0 > 2$]: 3,4 > 2 (OK)
- #4. [$f_{peak}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)
- #5. [$\sigma_{mf} < \epsilon(f_0)$]: 2.402 > 1.103 (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: 0,527 < 1,58 (OK)

HV03

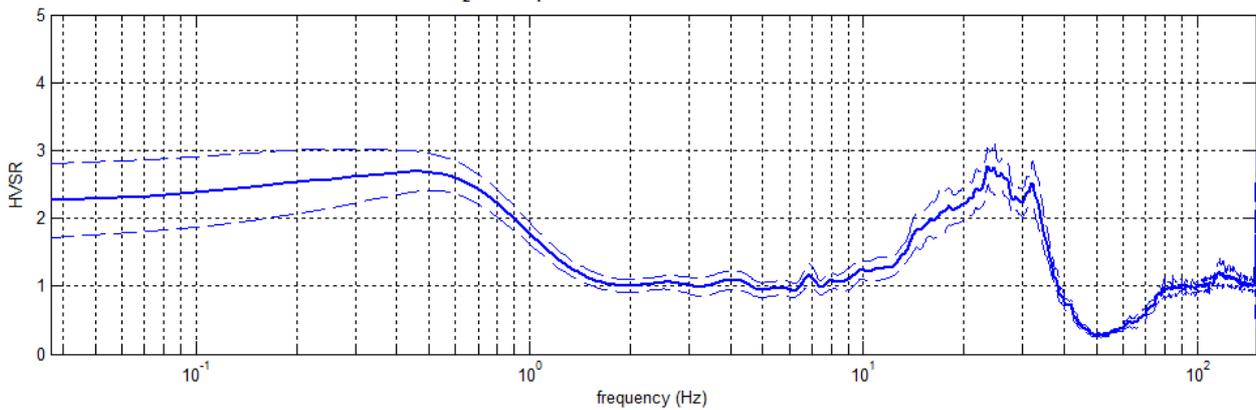
Località: Polignano
 Data acquisizione: 12/10/2022

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

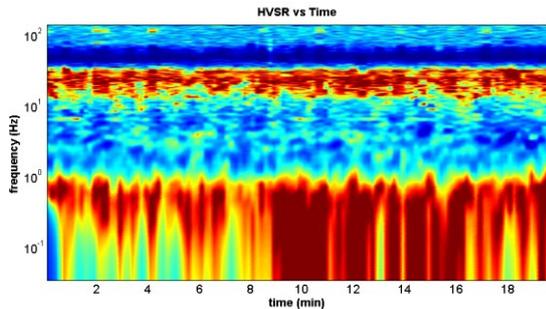


RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

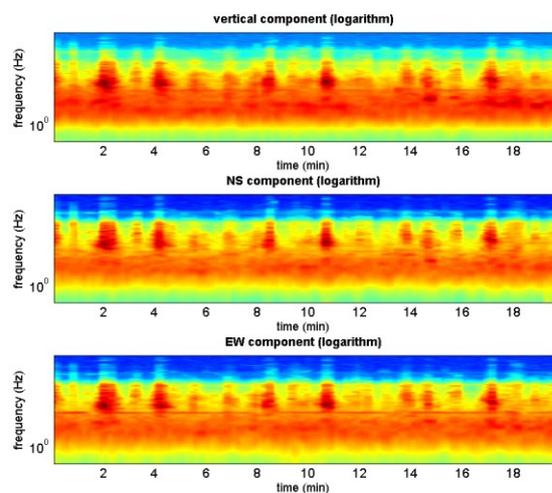
MT₂0221012₁00014.SAF - HVSR (window length: 20s)



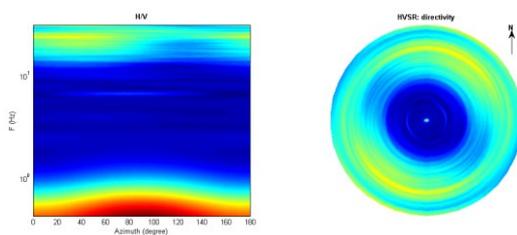
SERIE TEMPORALE H/V

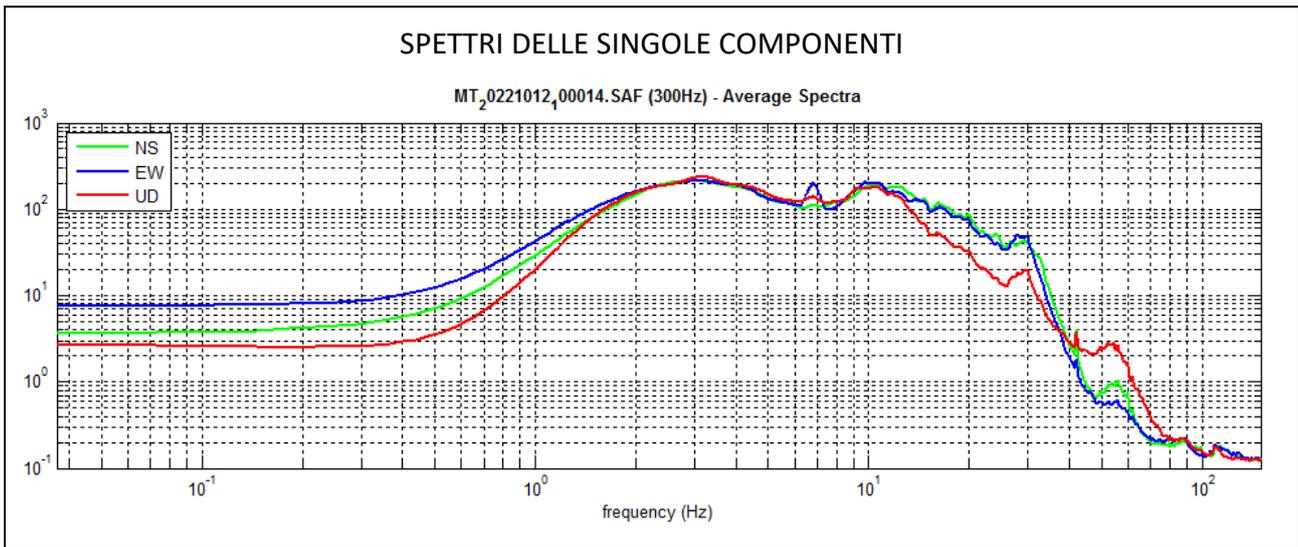


SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



DIREZIONALITÀ H/V





Frequenza di picco (Hz): 23,6 ($\pm 8,3$)

Valore di picco HVSR: 2,8 ($\pm 0,3$)

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

- # 1. [$f_0 > 10/Lw$]: 23,6 > 0,5 (OK)
- #2. [$nc > 200$]: 55758 > 200 (OK)
- #3. [$f_0 > 0,5$ Hz; $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

==== **Criteri per un picco H/V chiaro (almeno 5 dovrebbero essere completati)** =====

- # 1. [esiste f_- nell'intervallo $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: si, a frequenza 12,7Hz (OK)
- #2. [esiste f_+ nell'intervallo $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: (NO)
- #3. [$A_0 > 2$]: 2,8 > 2 (OK)
- #4. [$f_{peak}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)
- #5. [$\sigma_{mf} < \epsilon(f_0)$]: 8.307 > 1.181 (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: 0,273 < 1,58 (OK)

HV04

Località: Polignano

Data acquisizione: 12/10/2022

Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz

Software elaborazione: WINMASW 5.2 Professional

Durata registrazione: 20 minuti

Frequenza campionamento: 300 Hz

Lunghezza finestre: 20 secondi

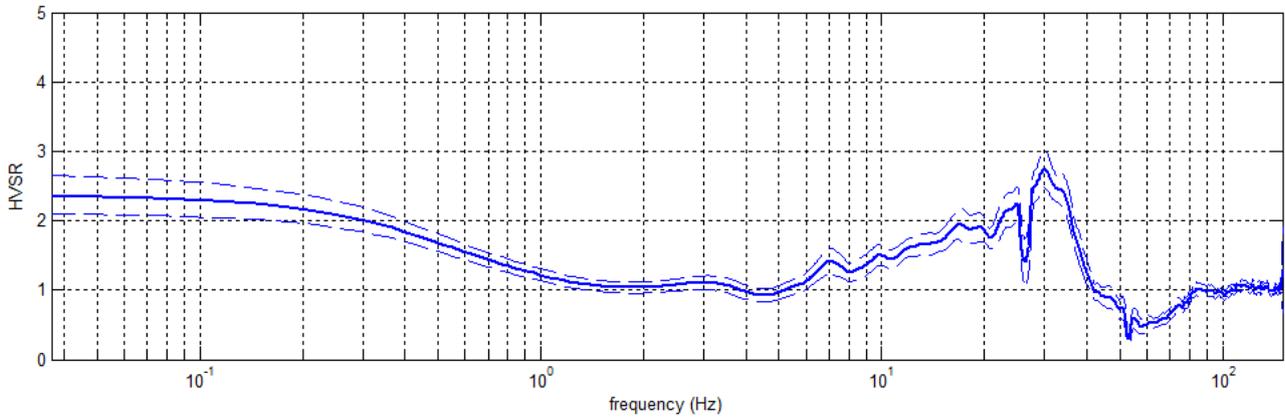
Tipo di lisciamento: triangolare

Lisciamento: 20%

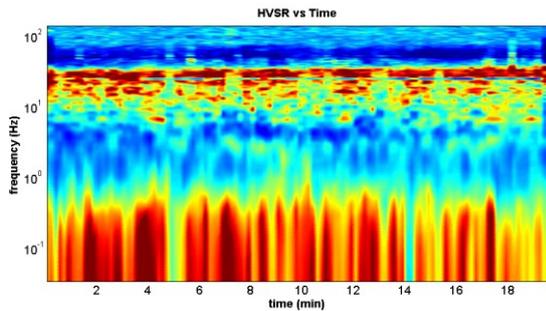


RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

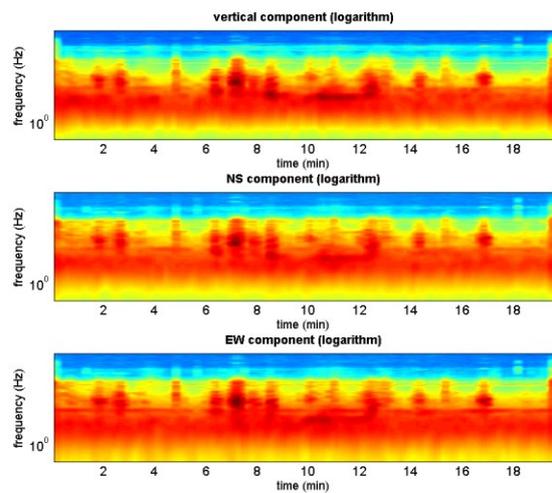
MT₂0221012_03559.SAF - HVSR (window length: 20s)



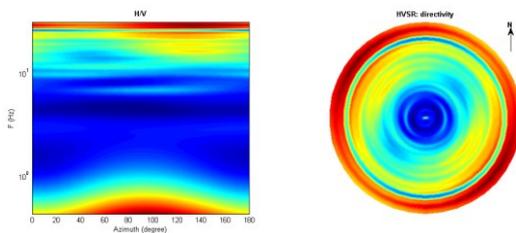
SERIE TEMPORALE H/V



SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI

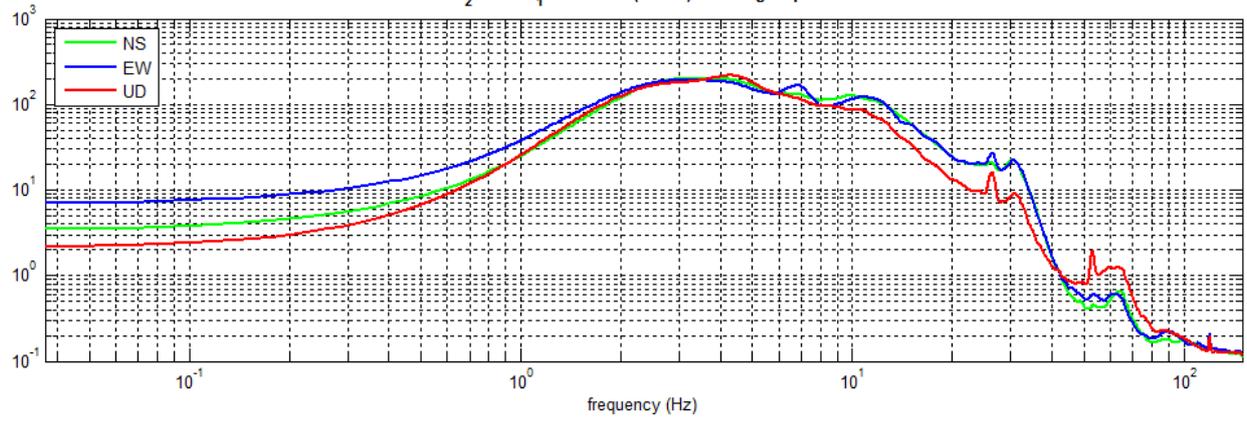


DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

MT₂0221012₄03559.SAF (300Hz) - Average Spectra



9.2 Indagini sismiche MASW

033041L3MASW3_ loc. San Pietro in Cerro

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.

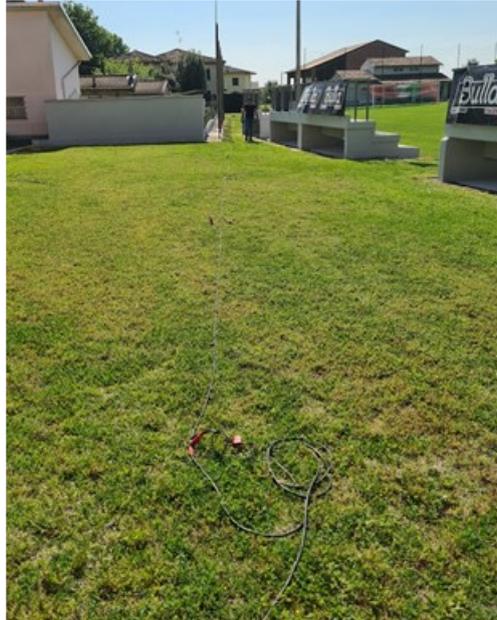


Figura 9.1. Stendimento sismico.

L'acquisizione delle onde di Love è del tutto analoga a quelle di Rayleigh, cambia solo il tipo di sorgente e l'orientazione dei geofoni orizzontali (asse perpendicolare allo stendimento per le Love e asse parallelo per le Rayleigh). L'energizzazione è stata effettuata in posizione esterna rispetto ai geofoni estremi con offsets pari a 5 m; per le onde di Rayleigh si è utilizzata una mazza battente di 8 kg ad impatto verticale su piastra metallica, per quelle di Love una mazza battente ad impatto di taglio su piastra in polipropilene.

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

ANALISI RAYLEIGH

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

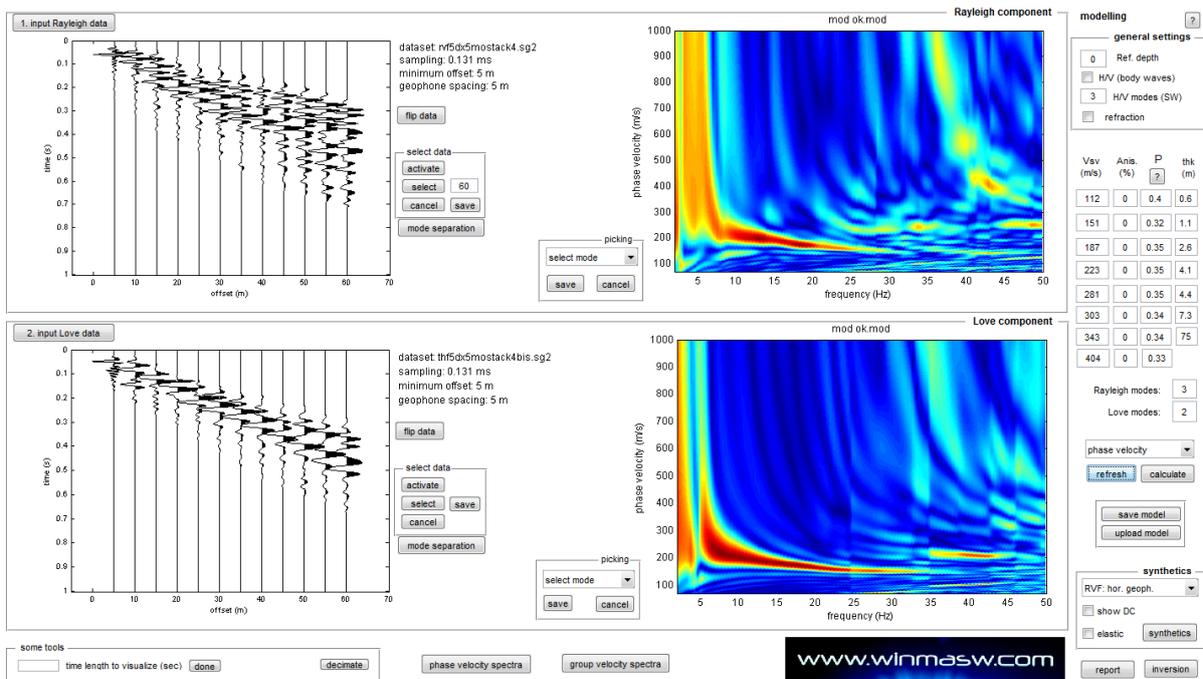


Figura 9.2. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

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

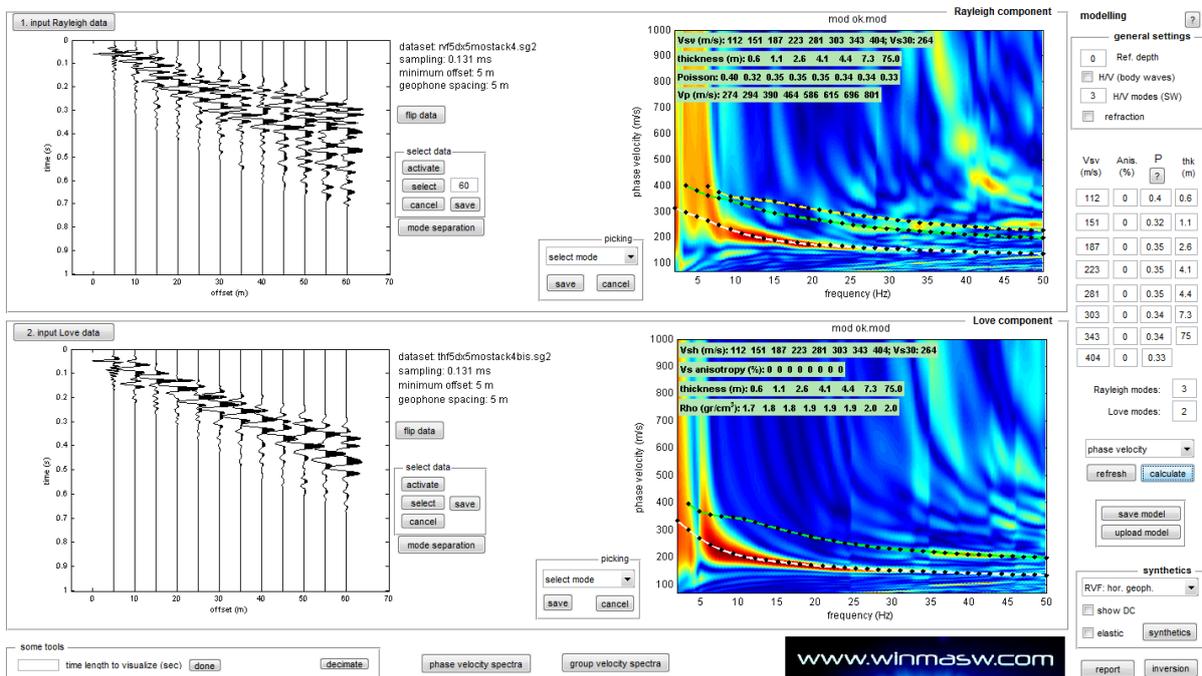


Figura 9.3. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

033041L4MASW4_ loc. Polignano

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 9.4. Stendimento sismico (a sinistra) e acquisizione HVSR (a destra).

L'acquisizione delle onde di Love è del tutto analoga a quelle di Rayleigh, cambia solo il tipo di sorgente e l'orientazione dei geofoni orizzontali (asse perpendicolare allo stendimento per le Love e asse parallelo per le Rayleigh). L'energizzazione è stata effettuata in posizione esterna rispetto ai geofoni estremi con offsets pari a 5 m; per le onde di Rayleigh si è utilizzata una mazza battente di 8 kg ad impatto verticale su piastra metallica, per quelle di Love una mazza battente ad impatto di taglio su piastra in polipropilene.

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

ANALISI RAYLEIGH

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

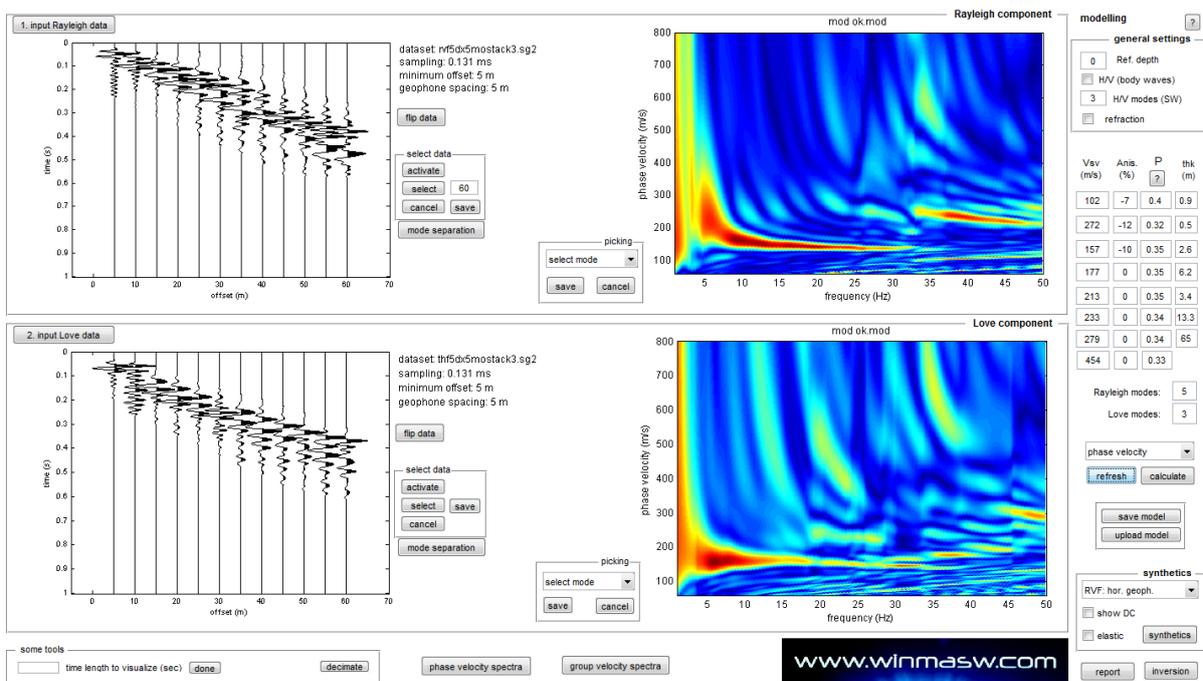


Figura 9.5. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

Successivamente alla pulizia del dato si è proceduto alla modellazione diretta delle curve di dispersione ottenendo le curve riportate di seguito. Da notare come allo spettro di velocità osservato siano state sovrapposte tramite la tecnica della modellazione diretta le curve di dispersione, dei primi 4 modi per le onde di Rayleigh e dei primi 3 per quelle di Love.

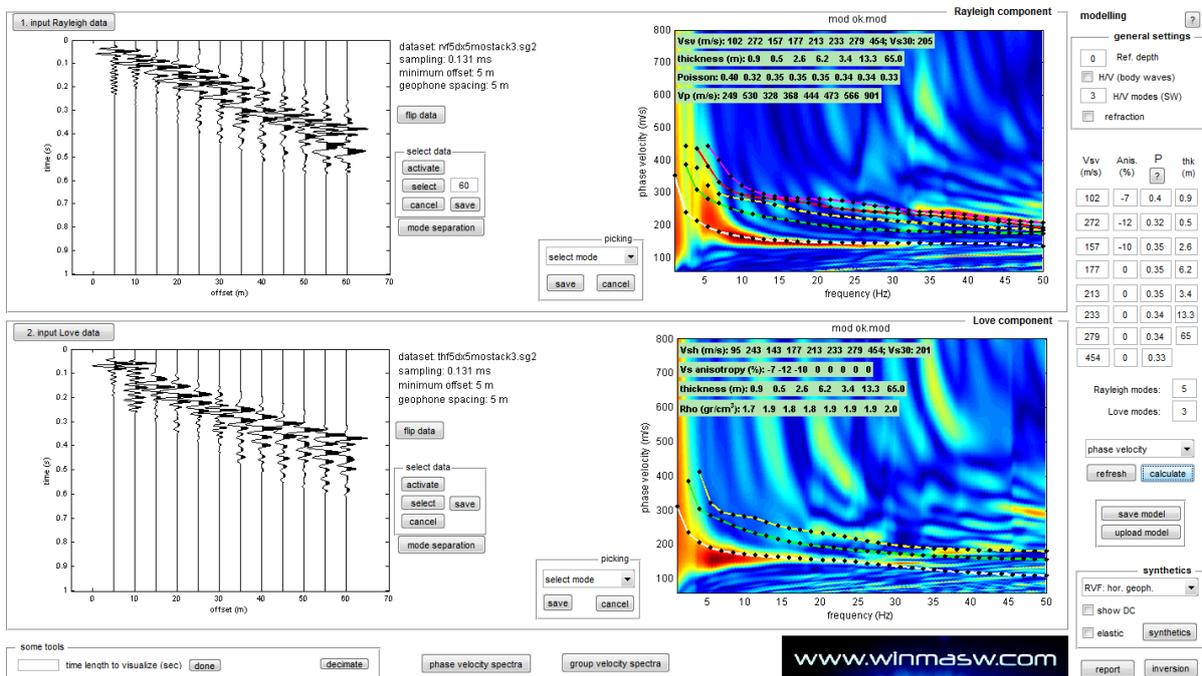


Figura 9.6. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

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

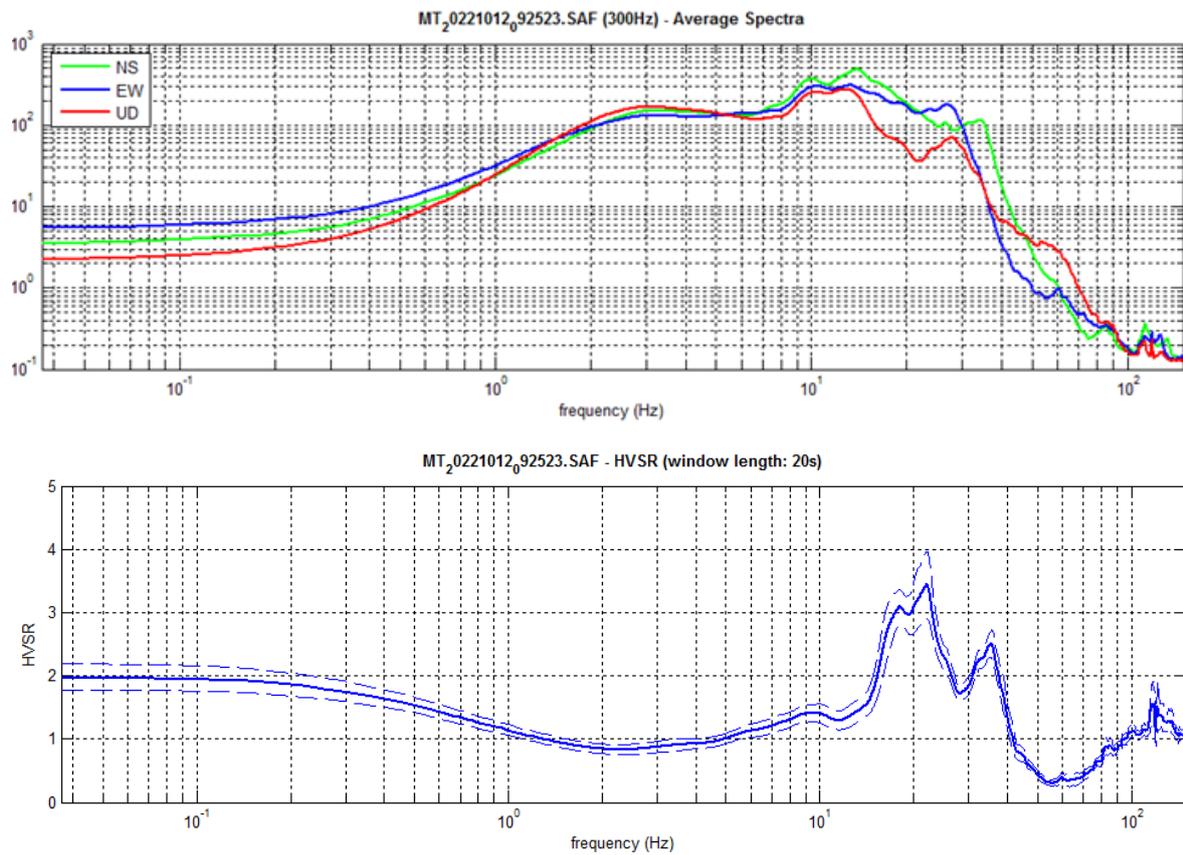


Figura 9.7. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

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

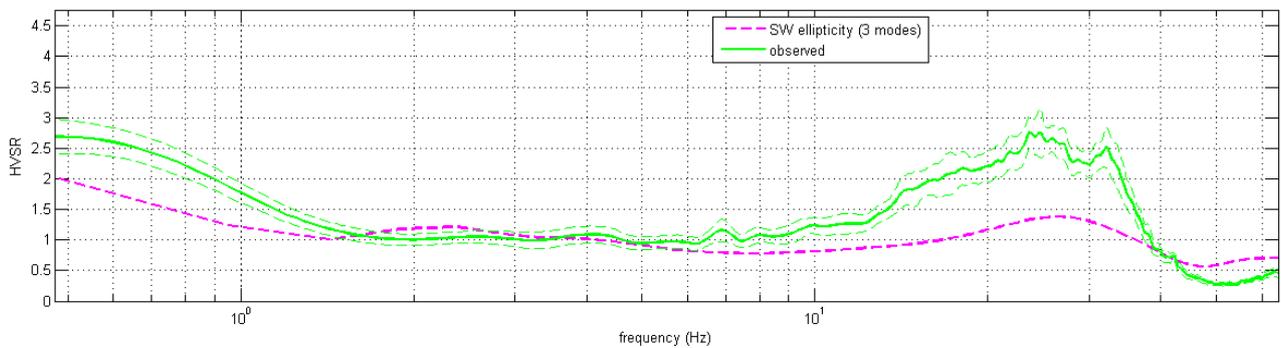


Figura 9.8. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.