

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

### Regione Emilia-Romagna Comune di San Giorgio Piacentino



Regione	Soggetto realizzatore	Data
<b>EMILIA-ROMAGNA</b>	<b>Dott. Geol. Paolo Mancioffi</b>  <b>Collaboratori:</b> Dott. Geol. Filippo Segalini Dott. Geol. Gian Marco Veneziani	<b>Aprile 2020</b>

**INDICE**

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Definizione della pericolosità sismica di base e degli eventi di riferimento</b>	<b>5</b>
2.1	Zonazione sismogenetica	7
2.1.1	Le sorgenti sismogenetiche	8
2.2	Sismicità storica	9
<b>3</b>	<b>Assetto geologico e geomorfologico</b>	<b>10</b>
3.1	Tettonica e sedimentazione	10
3.2	Stratigrafia comunale	11
3.3	Assetto geomorfologico	12
<b>4</b>	<b>Dati geotecnici e geofisici</b>	<b>13</b>
4.1	Indagini geognostiche pregresse	13
4.2	Indagini geognostiche eseguite per la presente microzonazione sismica	13
4.2.1	Prove sismiche MASW+HVSr	13
4.2.2	Prove sismiche tipo HVSr	16
<b>5</b>	<b>Modello del sottosuolo</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Interpretazioni ed incertezze</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>Metodologie di elaborazione e risultati</b>	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>Elaborati cartografici</b>	<b>19</b>
8.1	Carta delle indagini	19
8.2	Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica	20
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	21
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)	22
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	26
8.6	Carta di microzonazione sismica (livello 2)	26
8.7	Carta H <sub>SM</sub> Scuotimento atteso al sito in valore assoluto	29
8.8	Commenti finali e criticità	29
<b>9</b>	<b>Confronto della distribuzione dei danni degli eventi passati</b>	<b>30</b>
<b>10</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>31</b>
10.1	Prove sismiche tipo HVSr	32
10.2	Sezione Geologica	52
10.3	Prove sismiche tipo Masw+HVSr	53

---

**ELENCO ELABORATI**

- Carta delle indagini (scala 1:12.000)
  - Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica (scala 1:12.000)
  - Carta delle frequenze naturali dei terreni (scala 1:12.000)
  - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS – Livello 1) (scala 1:12.000)
  - Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) (scala 1:12.000)
  - Carta di microzonazione sismica (livello 2) (scala 1:12.000)
    - FA P.G.A
    - FA SA1  $0.1s \leq T \leq 0.5s$
    - FA SA2  $0.4s \leq T \leq 0.8s$
    - FA SA3  $0.7s \leq T \leq 1.1s$
    - FA SA4  $0.5s \leq T \leq 1.5s$
    - FH SI1  $0.1s \leq T \leq 0.5s$
    - FH SI2  $0.5s \leq T \leq 1s$
    - FH SI3  $0.5s \leq T \leq 1.5s$
  - Carta  $H_{SM}$  Scuotimento atteso al sito in valore assoluto (scala 1:12.000)
  - Relazione illustrativa
-

## 1 INTRODUZIONE

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

- ✓ Allegato A2 "Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza nei Comuni con  $ag < 0,125g$ " della deliberazione di Giunta regionale n. 2245 del 27/12/2018 "Approvazione dei criteri e delle indicazioni tecniche e procedurali per l'attribuzione di contributi per la realizzazione di studi di microzonazione sismica nei Comuni caratterizzati da  $ag < 0,125g$ " (da qui in avanti "Allegato A2 della delibera regionale")
- ✓ "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" - Versione 4.1, Roma – Novembre 2018 - Elaborato e approvato nell'ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica, nominata con DPCM 21 aprile 2011 (da qui in avanti SRAI")
- ✓ "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (da qui in avanti "ICMS")
- ✓ 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. 630 del 29.04.2019 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:

- .San Giorgio Piacentino
- .Centovera
- .San Damiano
- .Godi
- .Viustino

Il comune di San giorgio confina con i seguenti comuni: Carpaneto, Pontenure, Podenzano, Pontedell'Olio, Vigolzone e Gropparello.

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 Giorgio Piacentino viene classificato in **zona 3**. Ai sensi dell'allegato 4 alla Delibera dell'assemblea Legislativa (D.A.L.) della Regione Emilia Romagna n. 112/2007, il valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per  $T = 0$ ,  $a_{refg}$  per il comune di San Giorgio Piacentino è pari a **0.101g**.

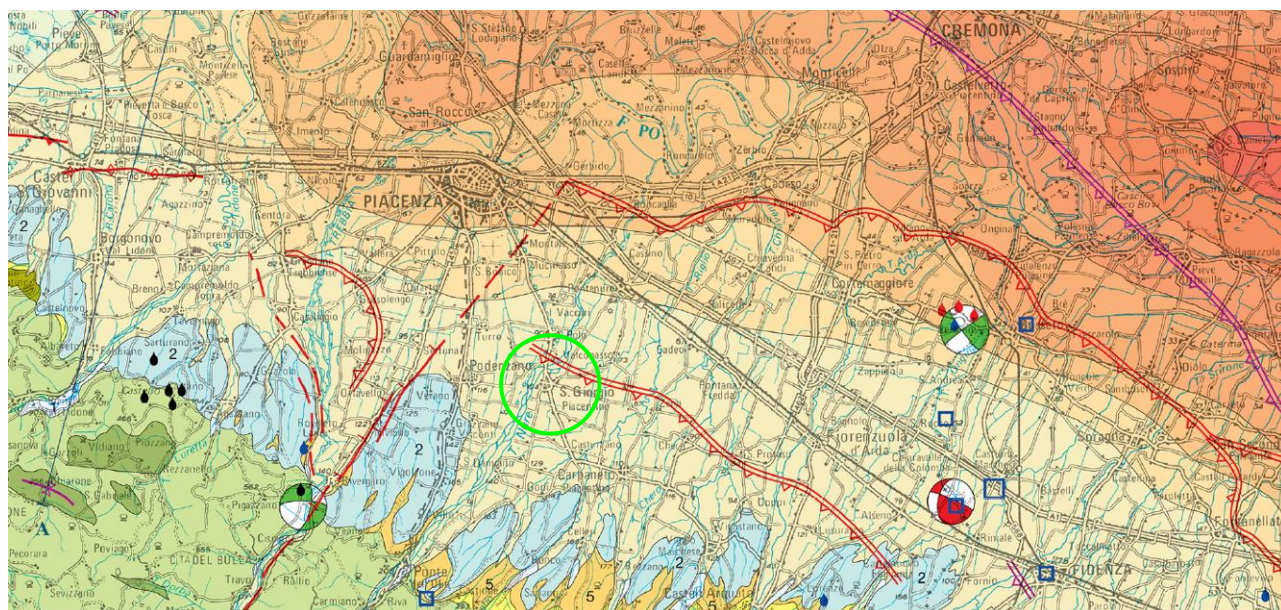
La magnitudo massima ( $M_{wmax}$ ) attesa nel comune (compreso all'interno delle zone sismogenetiche 911) e riportata negli ICMS (2008), è stimata pari 6,14.

Il territorio comunale di San Giorgio Piacentino si colloca nella media pianura piacentina ed è compreso tra i torrenti Nure e Riglio, questi ultimi segnano per lunghi tratti il confine comunale rispettivamente ad ovest e ad est. 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 delle grandi valli torrentizie, del T. Nure e del T. Riglio; che scorrono in direzione all'incirca Sudovest-Nordest 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 76 m s.l.m. presso la località La Pezza e la quota di circa 250 m s.l.m. presso la località C. La Fagnona.

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

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

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



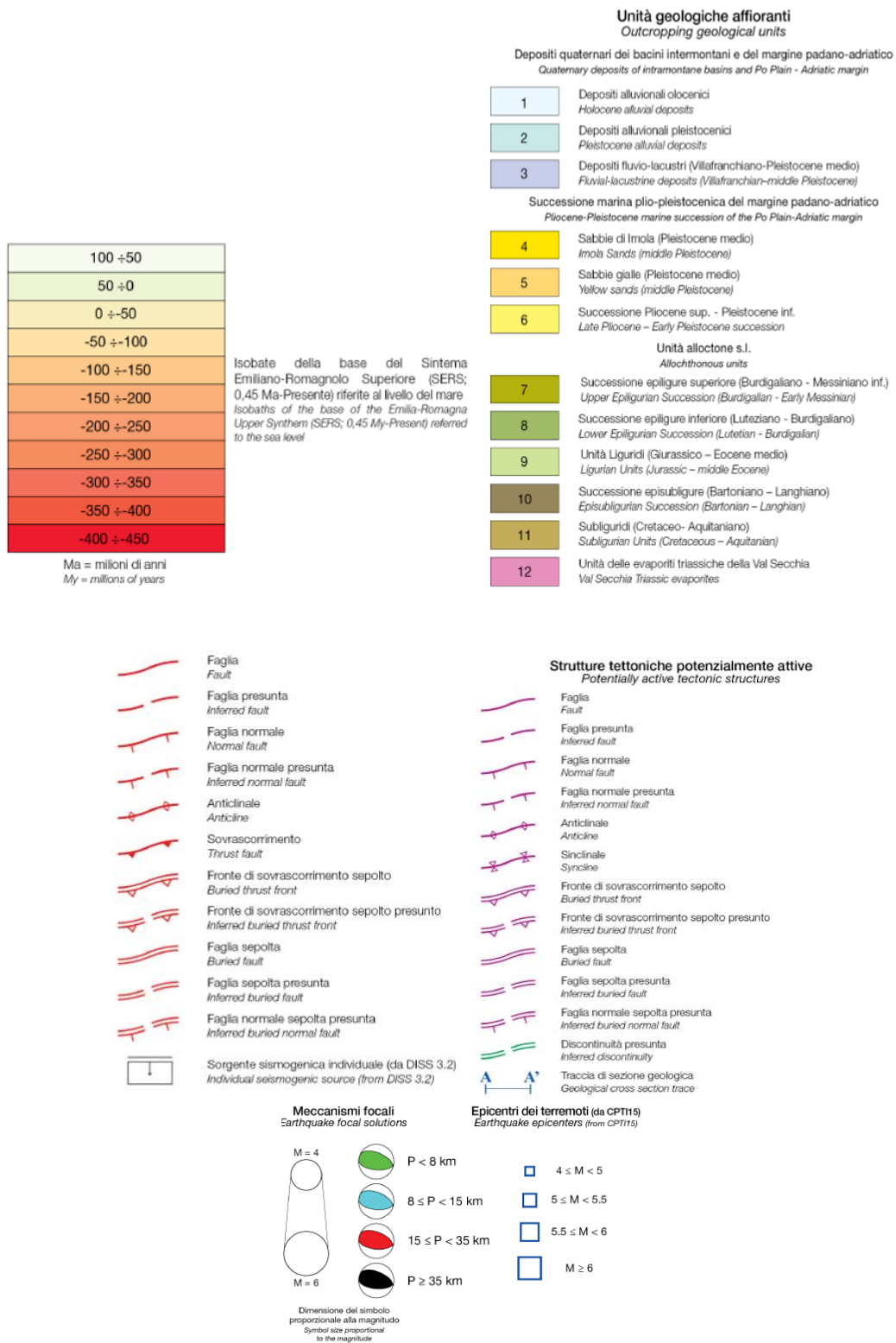


Figura 2.1. Estratto dalla “Carta Sismotettonica dell’Emilia Romagna e aree limitrofe” (2017) con indicazione del territorio comunale.

## 2.1 Zonazione sismogenetica

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

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

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

...

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

...

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

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

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

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

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

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

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

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

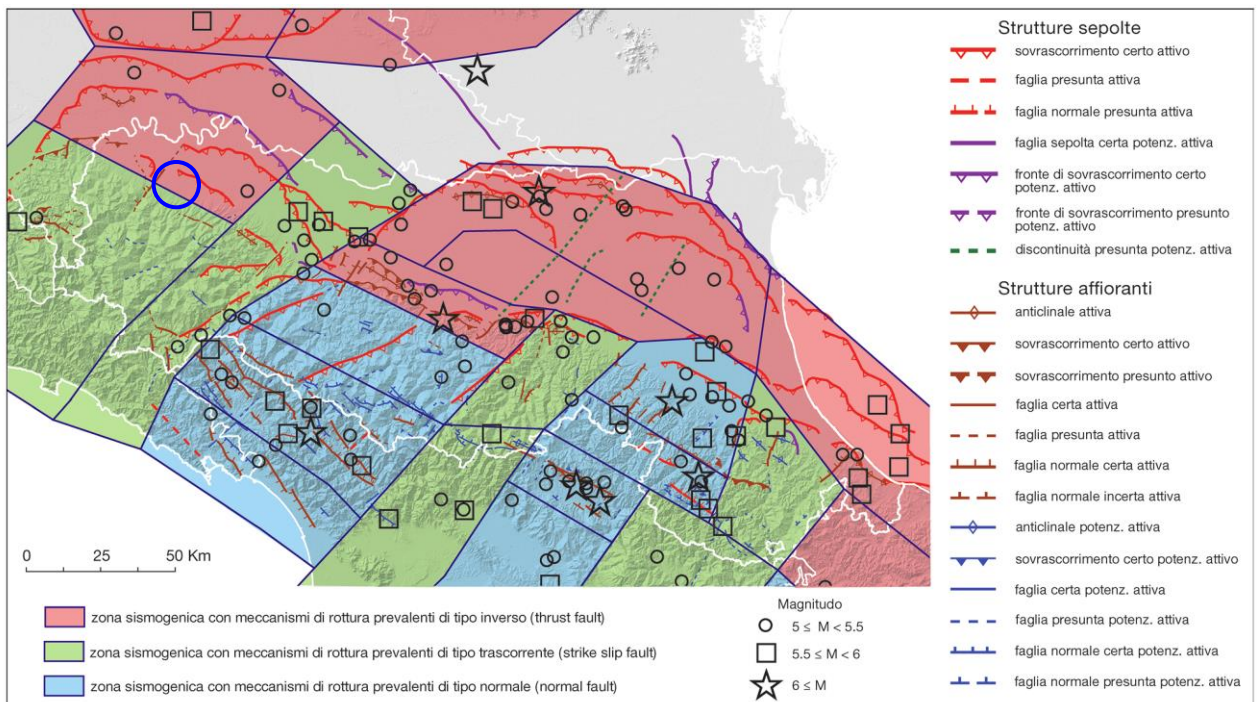


Figura 2.2. Mappa di confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute e la zonazione sismogenetica proposta da Martelli et al. (2017).

### 2.1.1 Le sorgenti sismogenetiche

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

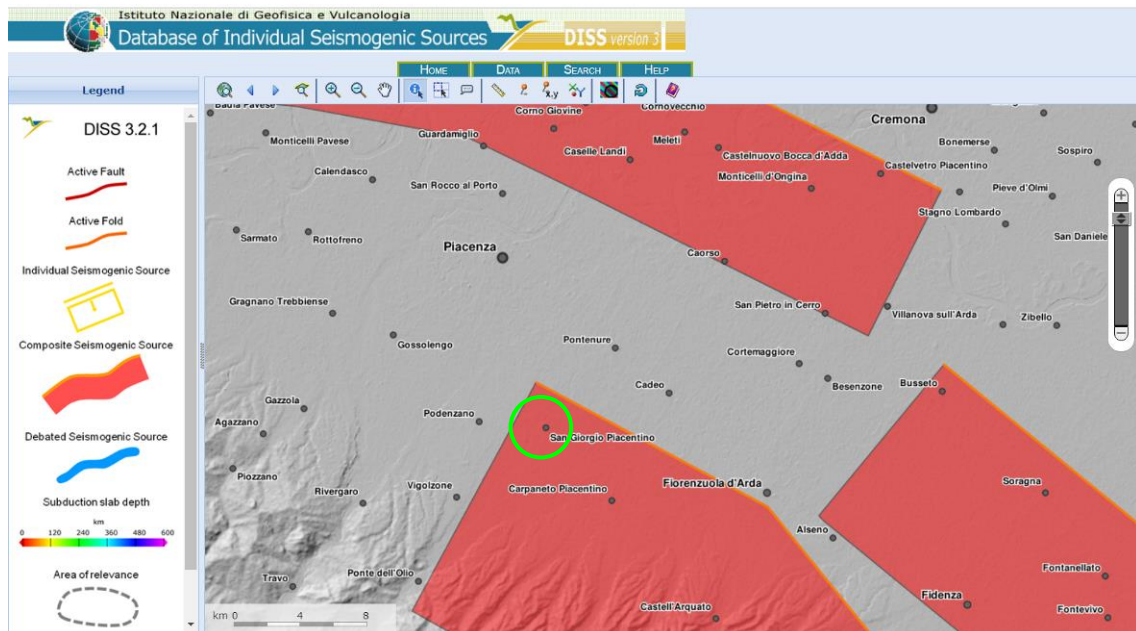


Figura 2.3. Mappa sorgenti sismogenetiche in cui si evidenzia la ITCS045\_San Giorgio – Fornovo di Taro. In cerchiato verde il comune di San Giorgio Piacentino.



Il database rappresenta la sintesi di tutte le evidenze geologiche e storiche relative alla fagliazione sismogenetica, con apporti derivanti dai dati della sismicità strumentale, dalla geodinamica a larga scala e dai caratteri geomorfologici. Il territorio comunale è compreso entro la sorgente sismogenetica denominata **ITCS045** “San Giorgio Piacentino – Fornovo di Taro”.

Nella figura seguente sono riportati i dati relativi alla sorgente estratta dal database .

**COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES**

**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

**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](http://www.ingv.it)).

Sono stati consultati i seguenti cataloghi:

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

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

Dall’interrogazione del “Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015” CPTI15-DBMI15 – relase 1.5 consultabile liberamente all’indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15> per un intorno significativo della sede del Municipio (un raggio di 50 Km con centro **lat. 44.996** e **long. 9.932**) sono stati identificati **454** eventi significativi dei quali si riporta l’ubicazione nella figura seguente; gli eventi principali presentano una Intensità massima I<sub>max</sub> pari a 8.

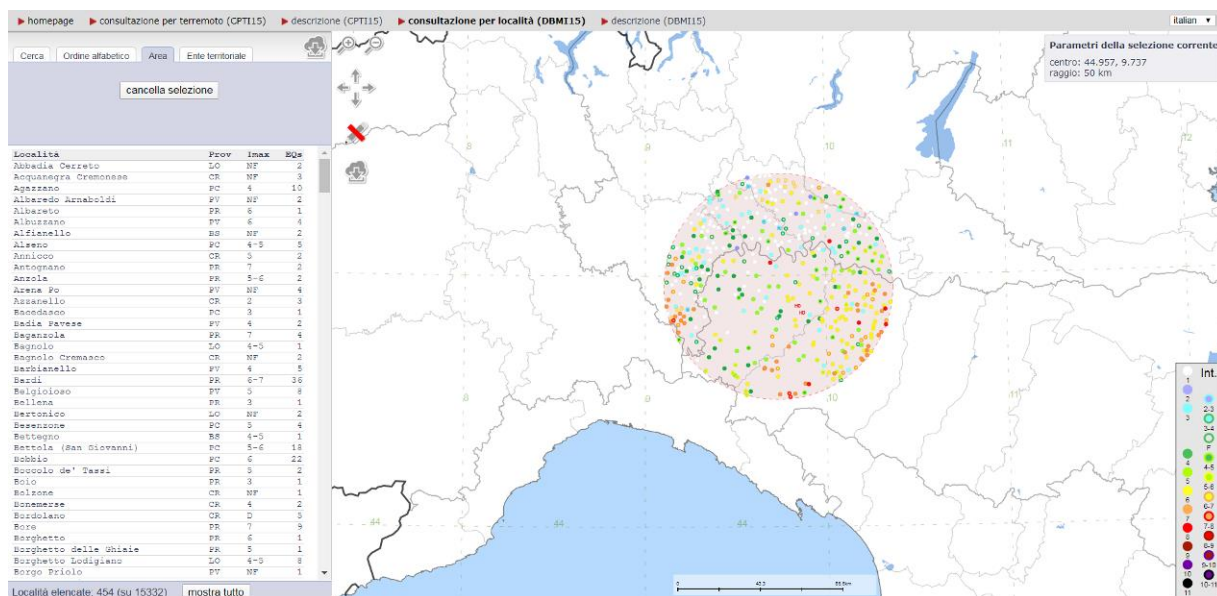
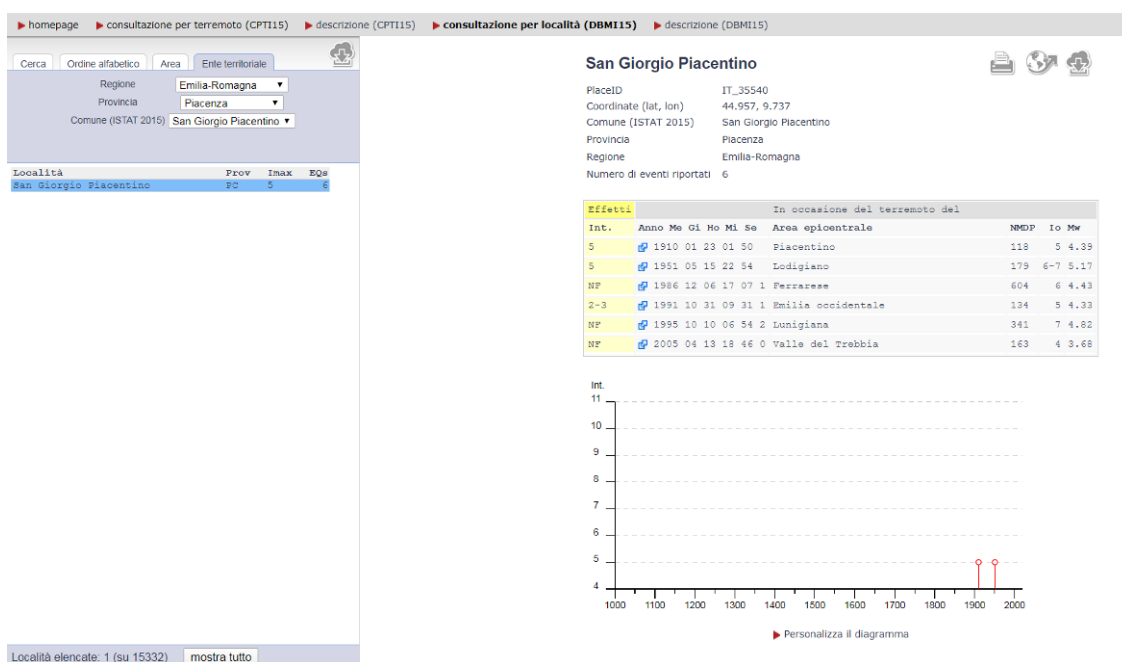


Tabella 2.1. Estratto dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani, terremoti con epicentro compreso in un raggio di 50Km dal centro abitato di San Giorgio.

Nel catalogo DBMI15 a cura di Locati et al. 2015 viene riportata la storia sismica nota del comune di San Giorgio Piacentino 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.

### 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: T.Riglio e T.Nure, sono costituiti prevalentemente da ghiaie, sabbie, limi e argille. La litologia è eterogenea e rispecchia in gran parte le caratteristiche dei litotipi presenti nel bacino di alimentazione a monte, si tratta di materiali in prevalenza costituiti da elementi calcarei ed in parte arenacei. La giacitura di questi depositi è suborizzontale con tipica stratificazione incrociata e livelli a granulometria più fini (lenti discontinue argillose) che si alternano ad elementi più grossolani correlabili con i diversi regimi di piena e morbida del corso d'acqua. Lo spessore è contenuto entro 7/10 metri, ospitano una falda freatica direttamente collegata al quella di subalveo, conseguentemente le escursioni piezometriche sono assai rilevanti. Permeabilità elevata.**

**b. "depositi alluvionali medio-recenti" riferibili al dominio alluvionale dei T.Riglio e T.Nure: costituiti prevalentemente da ghiaie, limi, argille e sabbie. 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 e sono caratterizzati da una permeabilità media.**

### 3.2 Stratigrafia comunale

Dal punto di vista geolitologico il territorio del Comune di San Giorgio Piacentino si estende entro la fascia della alta 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 per la grandissima parte 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 le seguenti sono presenti nel Comune di San Giorgio Piacentino:

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

· **AES8 – Subsistema di Ravenna:** Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi: depositi intravallivi terrazzati e di conoide ghiaiosa. A volte si trovano limi e limi sabbiosi,si

*tratta di 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.*

*. **AES7a – Subsistema di Villa Verucchio\_Unità di Niviano:** Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati: depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati. Limi e limi sabbiosi con intercalazioni di ghiaie e sabbie: depositi di interconoide. Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto e raggiunge i 4-5 m di profondità. L'unità presenta una copertura fine, composita e discontinua, di spessore fino a 2 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri; il profilo di alterazione è molto evoluto. Lo spessore massimo dell'unità è di poche decine di metri.*

*. **AES7b – Subsistema di Villa Verucchio\_Unità di Vignola:** Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, localmente con copertura discontinua di limi argillosi: depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati. Il profilo di alterazione presenta uno spessore fino ad 1.5-2 m. Lo spessore massimo dell'unità è di circa 20 m.*

*. **AES3 – Subsistema di Agazzano:** Ghiaie e ghiaie sabbiose prevalenti: depositi alluvionali intravallivi e di conoide ghiaiosa; sabbie e limi argillosi, con subordinati livelli di ghiaie e sabbie, localmente stratificati: depositi di interconoide. I depositi intravallivi sono spesso terrazzati. Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto e raggiunge i 7-8 m di profondità. L'unità presenta una copertura fine, composita, dello spessore massimo di 4 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri contenenti manufatti del Paleolitico medio. Il suo profilo di alterazione è molto evoluto. Il contatto di base è erosivo e discordante sulle unità più antiche. Spessore variabile da alcuni metri a 25-30 m.*

La parte più alta del territorio comunale evidenzia la presenza anche di depositi diversi dalla dinamica fluviale, più precisamente di origine eolica e di origine marina:

*. **d1\_Depositi eolici:** Limi, limi argillosi e sabbie fini in genere notevolmente pedogenizzati. E' caratteristico il colore giallo-bruno e la assenza pressochè totale di inclusi. Lo spessore è limitato a pochi metri di spessore, distribuito su paleosuperfici subpianeggianti.*

*. **CMZ\_Sistema di Costamezzana:** Sabbie e Areniti stratificate con eventuale rara presenza di livelli pelitici, poco cementate. Si tratta di depositi marini appartenenti al dominio padano – adriatico.*

### 3.3 Assetto geomorfologico

Il territorio del Comune di San Giorgio si sviluppa con andamento SO - NE nella pianura pedecollinare 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 importanti rilievi o depressioni; essa si sviluppa sul ripiano alluvionale Rissiano 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 dal 20 % dei versanti posti a sud allo 0,2+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 entro le zone terrazzate e da forme positive, i terrazzi alluvionali di genesi fluvio-glaciali ed ubicati prevalentemente nella porzione sud orientale del territorio. Il torrente Riglio ha origine sull' Appennino Emiliano, e confluisce nel Torrente Chiavenna qualche Km prima dell'abitato di Caorso. Nel tratto alto l'alveo ha carattere pluricursale sinuoso con locali tendenze alla ramificazione; all'altezza di Carpaneto P.no inizia la graduale trasformazione verso la tipologia monocursale, che si accentua progressivamente verso valle fino alla confluenza, con meandri molto più accentuati in alcuni tratti alternati ad altri in cui l'andamento è circa rettilineo. Il percorso

tipico a meandri è indice del passaggio dei corsi d'acqua in una zona tipicamente pianeggiante o con blandi gradienti. L'assenza di direzioni particolari che si discostano dal normale percorso meandriforme denota l'assenza di un controllo tettonico o litologico sulla forme fluviali. Le caratteristiche morfologiche e idrodinamiche di questi corsi d'acqua determinano le caratteristiche dei sedimenti trasportati a valle: a causa di bassi gradienti, e quindi di bassa energia e velocità della corrente, il trasporto solido avviene prevalentemente in sospensione e subordinatamente per rotolamento o saltazione. Le particelle in sospensione sono generalmente rappresentate da argille e argille limose, durante eventi di piena ordinaria, durante i quali la velocità della corrente aumenta in misura considerevole le particelle che possono essere mantenute in sospensione sono oltre che di natura argillosa anche di natura limo-sabbiosa.

Oltre alle scarpate d'erosione attuali dei corsi d'acqua talvolta sono evidenti forme d'erosione più antiche rappresentate da vecchie scarpate di terrazzi alluvionali, quest'ultimi generalmente sono ubicati a quote topografiche più elevate delle scarpate e dei terrazzi attuali.

## **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 regionale connesso al CARG e dal database comunale composto dalle indagini relative alla pratiche connesse all'urbanizzazione.

Abbastanza numerose sono risultate le prove penetrometriche statiche [14] e quelle dinamiche [27]. La stratigrafia del territorio è stata inoltre indagata da 85 pozzi per acqua, da 2 pozzi per ricerca idrocarburi, da 2 sondaggi a carotaggio continuo e da 1 sondaggio a distruzione. Non troppo numerose sono risultate le indagini geofisiche, tra cui, 1 prova sismica multicanale basate su onde di superficie (tipo MASW) e 4 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 5 prove sismiche a stazione singola (HVSR) e 5 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 microtremori 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.

Le 5 prove Masw+HVSR sono state eseguite rispettivamente nei pressi degli abitati di:

- Centovera
- Godi
- S. Damiano
- Viustino
- San Giorgio Piacentino

#### Centovera

Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 405 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.

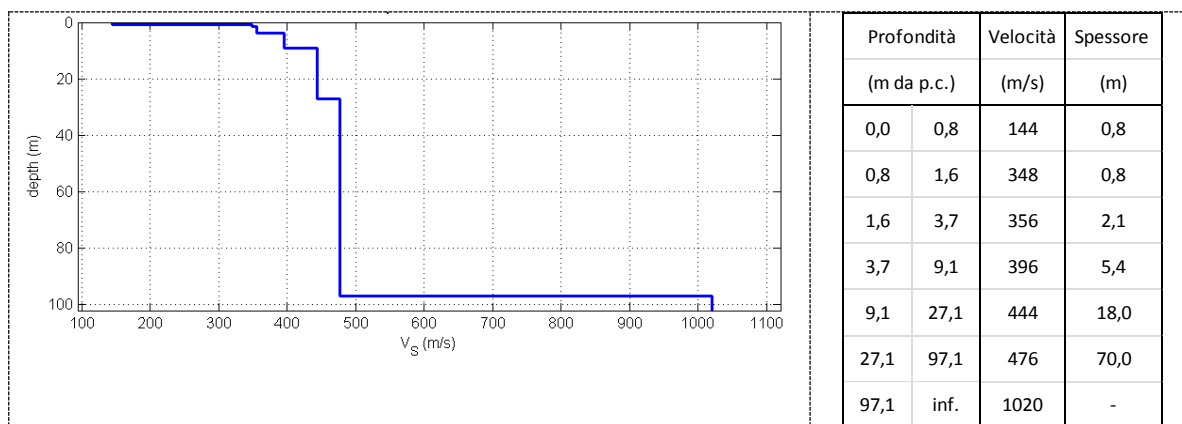


Figura 4.1. Profilo di  $V_s$  ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di  $V_s$ .

#### Godi

Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 393 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.

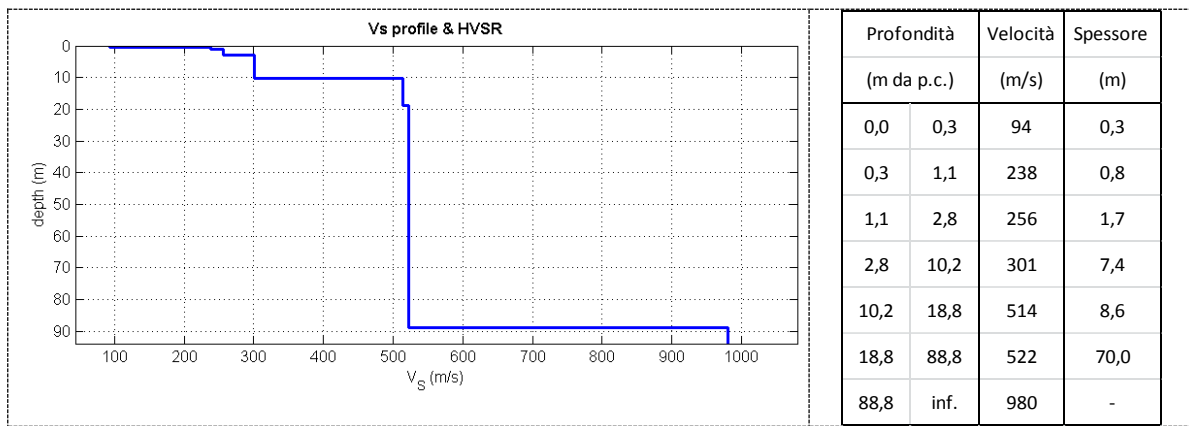


Figura 4.2. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di Vs.

San Damiano

Il valore di Vs<sub>30</sub> calcolato al piano campagna sulla base dell’analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 387 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.

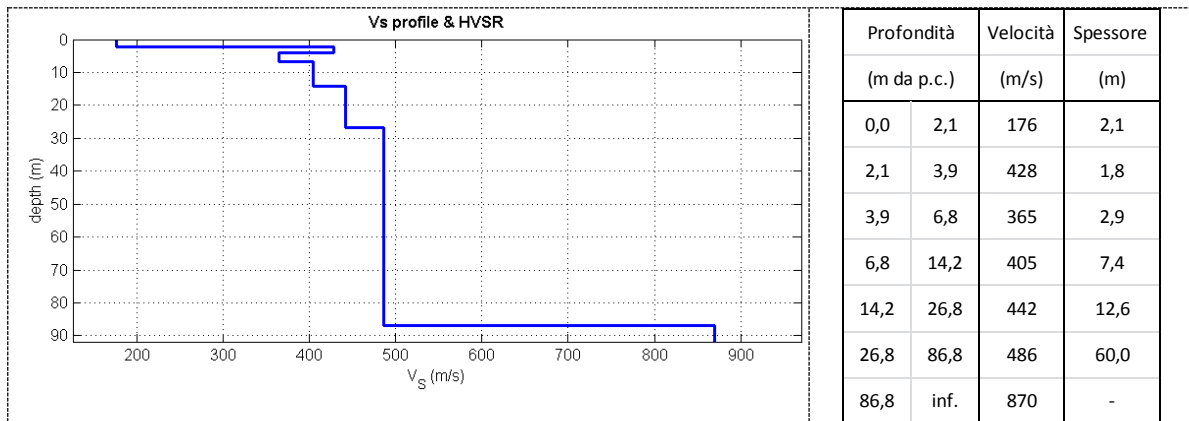


Figura 4.3. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di Vs.

Viustino

Il valore di Vs<sub>30</sub> calcolato al piano campagna sulla base dell’analisi congiunta MASW+HVSR è risultato pari a 379 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.

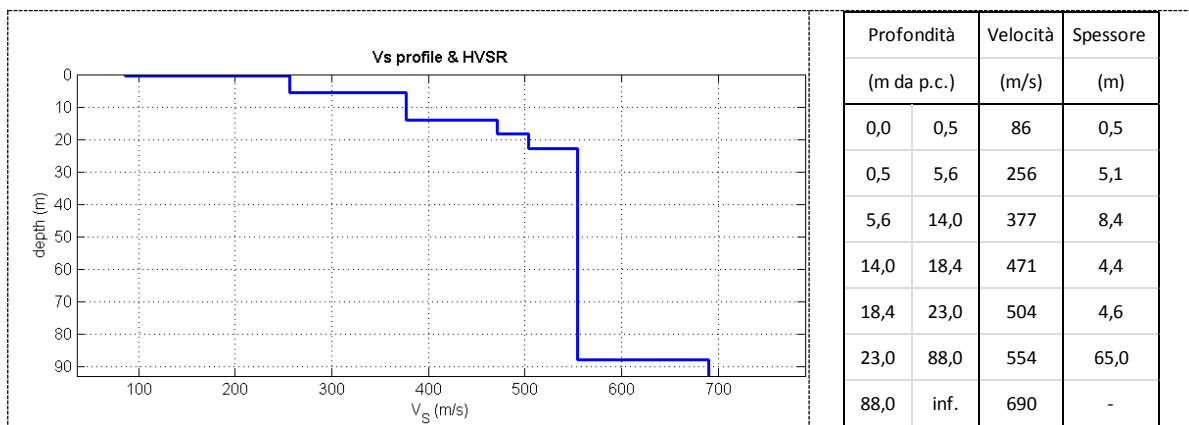


Figura 4.4. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSR e valori di Vs.

San Giorgio Piacentino

Il valore di  $V_{s30}$  calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSr è risultato pari a 450 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.

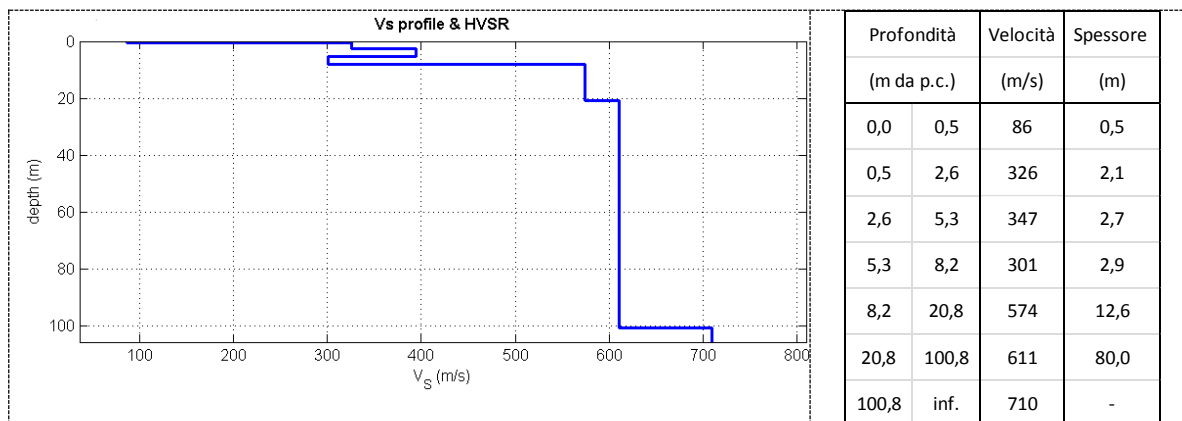


Figura 4.5. Profilo di  $V_s$  ricavato dalla prova MASW+HVSr e valori di  $V_s$ .

4.2.2 Prove sismiche tipo HVSr

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

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

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

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

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

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

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

N°	Data	Formazione/Copertura	$F_0$	Ampiezza	Altri picchi significativi	Località
033040P135HVSr135	20/01/2020	AES8 – Ghiaia	1.1	3.1	-	Centovera
033040P136HVSr136	20/01/2020	AES7a – Limo	1.1	2.5	6.6	Godi
033040P137HVSr137	20/01/2020	AES8 – Ghiaia	1.0	2.6	14.4	San Damiano
033040P138HVSr138	07/04/2020	AES8a - Ghiaia	-	-	5.3	Viustino
033040P139HVSr139	08/04/2020	AES8 – Ghiaia	-	-	7.9	San Giorgio Piacentino_ Campo Sportivo



<i>N°</i>	<i>Data</i>	<i>Formazione/Copertura</i>	<i>F<sub>0</sub></i>	<i>Ampiezza</i>	<i>Altri picchi significativi</i>	<i>Località</i>
033040P140HVS140	08/04/2020	AES8 – Ghiaia	-	-	-	San Giorgio Piacentino_Chiesa
033040P141HVS141	07/04/2020	AES7b – Limo	5.5	2.8	-	Viustino_Chiesa
033040P142HVS142	07/04/2020	AES8 – Ghiaia	-	-	5.9-20.5	San Damiano_Chiesa
033040P143HVS143	08/04/2020	AES8 – Ghiaia	-	-	-	Centovera Nord
033040P144HVS144	07/04/2020	AES7a – Limo	6.3	2.3	-	Costa Godi

## 5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Dal punto di vista geolitologico il territorio del Comune di San Giorgio si estende entro la fascia della pianura pedecollinare sviluppata al di sopra dei potenti sistemi deposizionali Plio-pleistocenici. Tali sistemi alluvionali (Fluviale Wurm e Riss, Alluvioni antiche, Alluvioni recenti e Attuali) 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 San Giorgio, di origine esclusivamente alluvionale sono il risultato dell'azione di deposizione ed erosione dei tre principali corsi d'acqua: Torrente Nure, Riglio e Ogone. Di tutte le unità affioranti nell'ambito della Pianura Padana solo cinque di queste sono presenti nel Comune di San Giorgio. Dalla più recente alla più antica si suddividono in: Alluvioni attuali, Alluvioni medio-recenti, Alluvioni antiche, Fluviale Wurm e Fluviale Riss. 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.

Il comune di San Giorgio Piacentino è caratterizzato dalla presenza di sedimenti alluvionali costituiti da ghiaie, argille, limi con intercalazioni di sabbie in matrice argilloso appartenenti al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES8a\_Subsintema di Ravenna, Unità di Modena AES8a; AES8\_Subsintema di Ravenna; AES7a\_Subsintema di Villa Verucchio, Unità di Niviano; AES7b\_Subsintema di Villa Verucchio, Unità di Vignola; AES3\_Subsintema di Agazzano).

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 (vedi sezione geologica allegata).

Le unità del Sintema Emiliano-Romagnolo sono litologicamente contraddistinte dalla presenza di ghiaie, argille e limi 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. Il substrato marino è dunque ricoperto dalle unità del Sintema Emiliano-Romagnolo (superiore e/o inferiore). Nella "Sezione Geologica" sono schematizzate le principali unità geologiche e si evidenzia come il substrato marino sia presente nel territorio analizzato a quote comprese tra circa 40 e 100 metri da piano campagna.

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

Nel complesso, considerando i dati raccolti, la fascia di pianura in cui ricade il comune di Cortemaggiore, è caratterizzata dalla presenza di una coltre superficiale di depositi prevalentemente ghiaiosi in matrice più fine (limi, argille e sabbie fini) fino a profondità abbastanza elevate.

A fronte di tale assetto litostratigrafico, le indagini tomografiche effettuate sono sempre state interpretate cercando di individuare ove possibile, nelle curve H/V, dei picchi proprio dove le indagini geognostiche indicavano il passaggio tra i depositi più fini a quelli più francamente ghiaiosi.

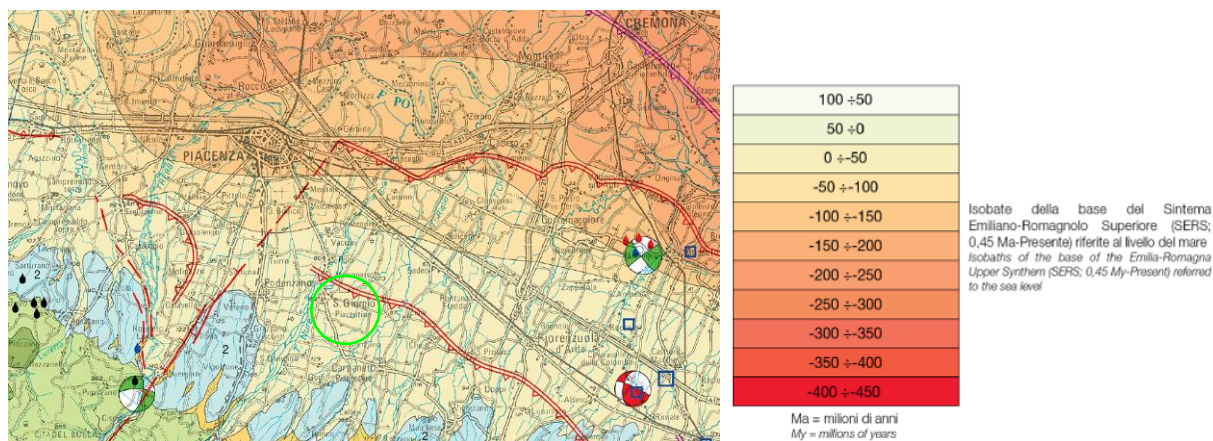


Figura 5.1. Estratto Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e isobate della base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore, in verde il territorio comunale di San Giorgio Piacentino.

## 6 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

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

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

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

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

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

## 7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

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

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

Gli elaborati prodotti in questa prima fase sono costituiti da:

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

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

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

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

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

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati:

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

**Carte di microzonazione sismica:** si tratta di carte in cui sono raffigurate le amplificazioni stimate, tramite procedure semplificate, per i vari settori di territorio in esame. L'amplificazione è stata quantificata sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale ( $PGA/PGA_0$ ), sia di rapporto di Intensità spettrale in accelerazione ( $SA/SA_0$ ) per prefissati intervalli (0,1-0,5s denominata SA1; 0,4-0,8s denominata SA2; 0,7-1,1s denominata SA3; 0,5-1,5s denominata SA4) sia di rapporto di Intensità di Housner ( $SI/SI_0$ ), per prefissati intervalli di periodi (0,1-0,5s denominata SI1; 0,5-1s denominata SI2 e 0,5-1,5s denominata SI3).

**Carta  $H_{SM}$ :** carta della distribuzione sul territorio dei valori di  $H_{SM}$ , parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in  $cm/s^2$ ).

## 8 ELABORATI CARTOGRAFICI

### 8.1 Carta delle indagini

Nel territorio del comune di San Giorgio Piacentino 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:

- ✓ 14 prove penetrometriche statiche,
- ✓ 8 prove penetrometriche dinamiche medie,
- ✓ 6 prove penetrometriche dinamiche pesanti,
- ✓ 13 prove penetrometriche dinamiche super pesanti,
- ✓ 85 pozzi per acqua,

- ✓ 2 sondaggi a carotaggio continuo,
- ✓ 2 pozzi per ricerca idrocarburi,
- ✓ 1 sondaggio a distruzione di nucleo,
- ✓ 14 prove sismiche a stazione singola HVSR, *di cui 10 eseguite per il presente lavoro,*
- ✓ 6 prove sismiche multicanale basate su onde di superficie, *di cui 5 realizzate per questo lavoro,*
- ✓ 1 prova sismica a rifrazione.

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

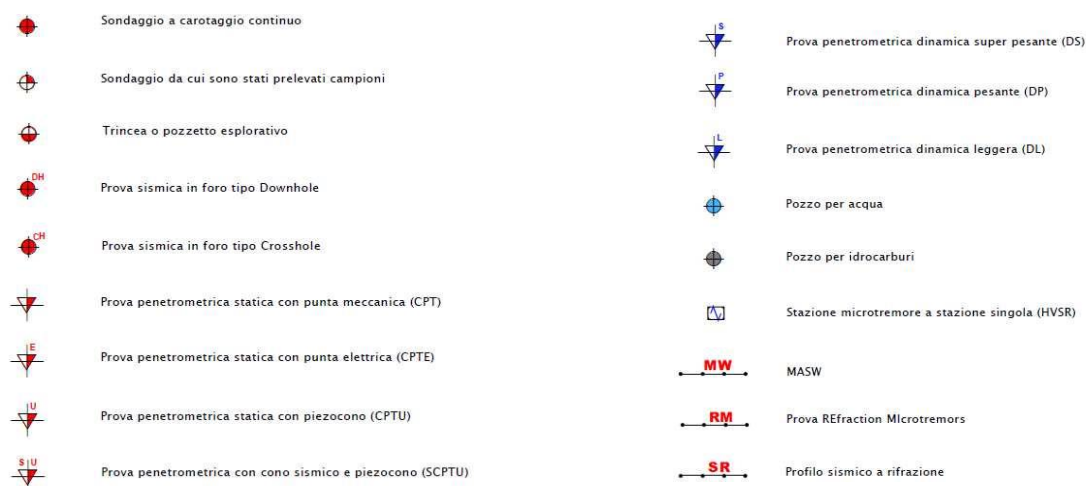


Figura 8.1. Legenda Carta delle Indagini.

## 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 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;
- 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:

**Gctf** – Miscela di ghiaie argillose e sabbia; si tratta di depositi di terrazzo fluviale: sono cartografate lungo fasce non troppo estese nella porzione meridionale e più alta del territorio comunale. Comprendono buona parte dell'abitato di Viustino e di Godi.

**GPca** – Ghiaie con granulometria poco assortita; si tratta di depositi di conoide alluvionale: sono cartografate ampiamente nella porzione centro-settentrionale del territorio comunale. Comprendono il capoluogo San Giorgio Piacentino e le frazioni di Centovera e San Damiano.

**MLca** – Limi argillosi di bassa plasticità, si tratta di depositi di conoide alluvionale; sono cartografate in una fascia abbastanza ampia nel settore centrale del territorio comunale comprendente parte dell'abitato di Godi e in una porzione ristretta lungo il confine orientale del comune.

**SPTf** – Sabbie pulite poco assortite; si tratta di terrazzo fluviale: sono cartografate in una porzione ristrettissima del territorio comunale a sud dell'abitato di Ronco.

Nella parte meridionale e più alta del territorio comunale sono stati cartografati anche lembi di substrato marino (Sintema di Costamezzana – CMZ) e precisamente:

**GRStm** – Substrato geologico granulare cementato stratificato, si tratta di depositi di depositi di terrazzo marino.

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

tf – terrazzo fluviale

ca – conoide alluvionale

tm – terrazzo marino

Infine nella Carta geologico tecnica sono stati riportati:

- la profondità in metri della falda;
- la traccia della sezione geologica rappresentativa del modello di sottosuolo;
- forme di superficie e sepolte (orlo di terrazzo fluviale, asse di paleoalveo e falda detritica).

### 8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

















Il comune di San Giorgio Piacentino è caratterizzato dalla presenza di sedimenti alluvionali costituiti da ghiaie, argille, limi con intercalazioni di sabbie in matrice argilloso appartenenti al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES8a\_Subsintema di Ravenna, Unità di Modena AES8a; AES8\_Subsintema di Ravenna; AES7a\_Subsintema di Villa Verucchio, Unità di Niviano; AES7b\_Subsintema di Villa Verucchio, Unità di Vignola; AES3\_Subsintema di Agazzano).

In questa carta sono stati riportati tutti i punti di misura HVSR 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

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

frequenza picco significativo (Hz)	Ampiezza picco			spessore atteso (m)
	$1,5 \leq \text{HVSr} < 2$	$2 \leq \text{HVSr} \leq 3$	$\text{HVSr} > 3$	
$F_0 \leq 0,6$				> 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 significativi				

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

Figura 8.2. Legenda Carta delle Frequenze naturali dei terreni.

Va rilevato che l'ampiezza del rapporto H/V è abbastanza significativa, quasi sempre compresa tra 2 e 3, indicando che la differenza di velocità tra i diversi depositi è moderata, come conseguenza delle caratteristiche dei terreni costituenti il sedime all'interno del territorio comunale.

Dalle prove eseguite il territorio comunale risulta caratterizzato da riflettori a frequenze variabili come conseguenza di ritrovamento di corpi ghiaiosi a profondità più o meno elevate. Da segnalare, in tre casi (San Damiano, Centovera e Godi), un riflettore a frequenza attorno a 1 Hz (profondità intorno ai 100 da piano campagna): esso potrebbe evidenziare il ritrovamento del substrato marino.

#### 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:

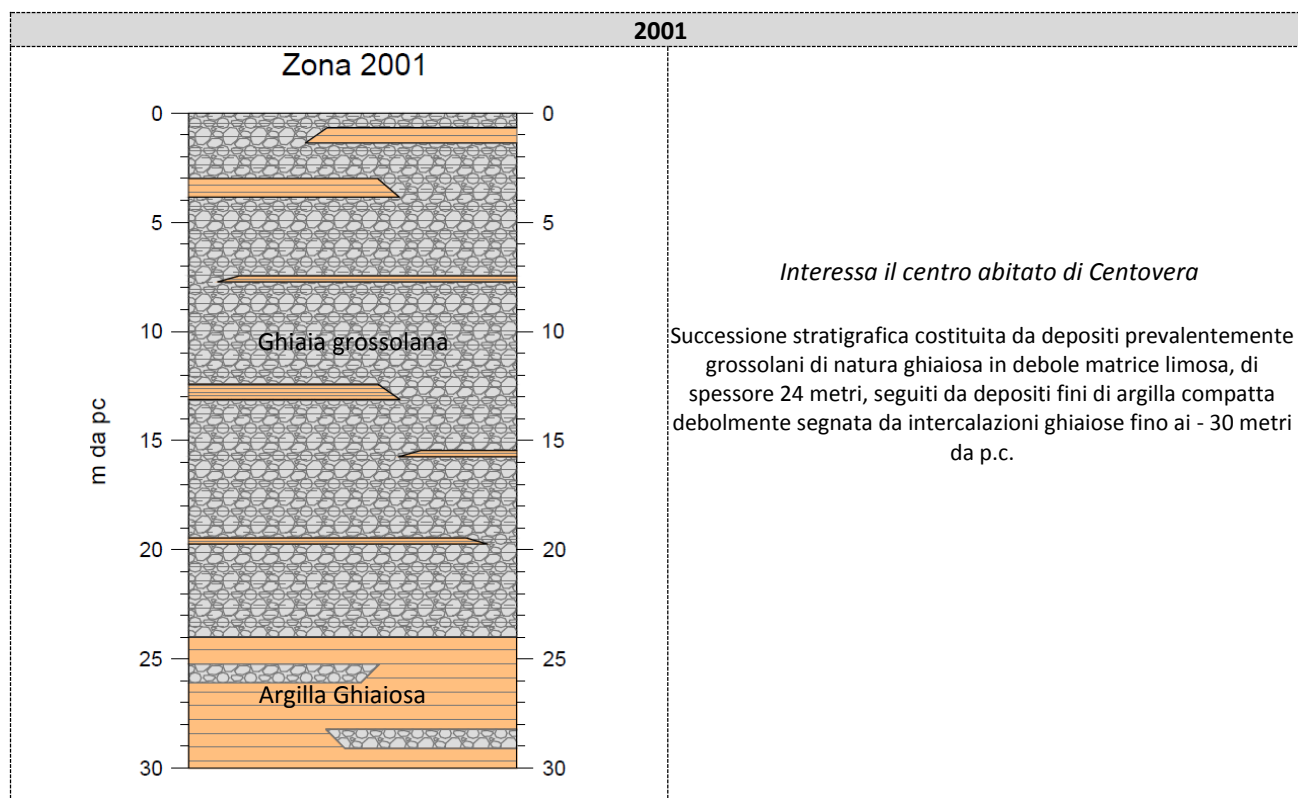
- 1. zone stabili.** Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti. Questa categoria non è presente sul territorio del Comune di San Giorgio Piacentino.
- 2. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.** Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. All'interno di queste aree si è operata un'ulteriore distinzione sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, identificando profili stratigrafici tipo ai quali possono essere ricondotti gli areali esaminati. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello.

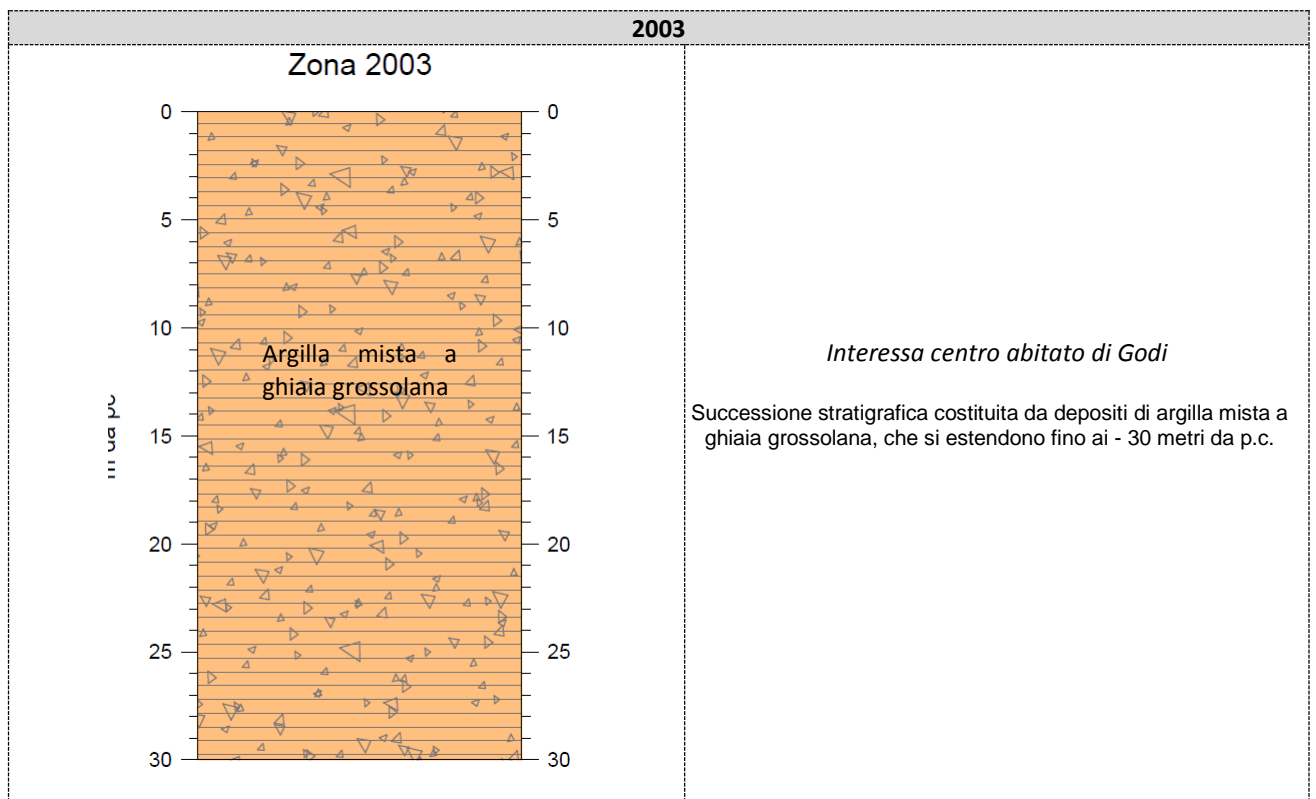
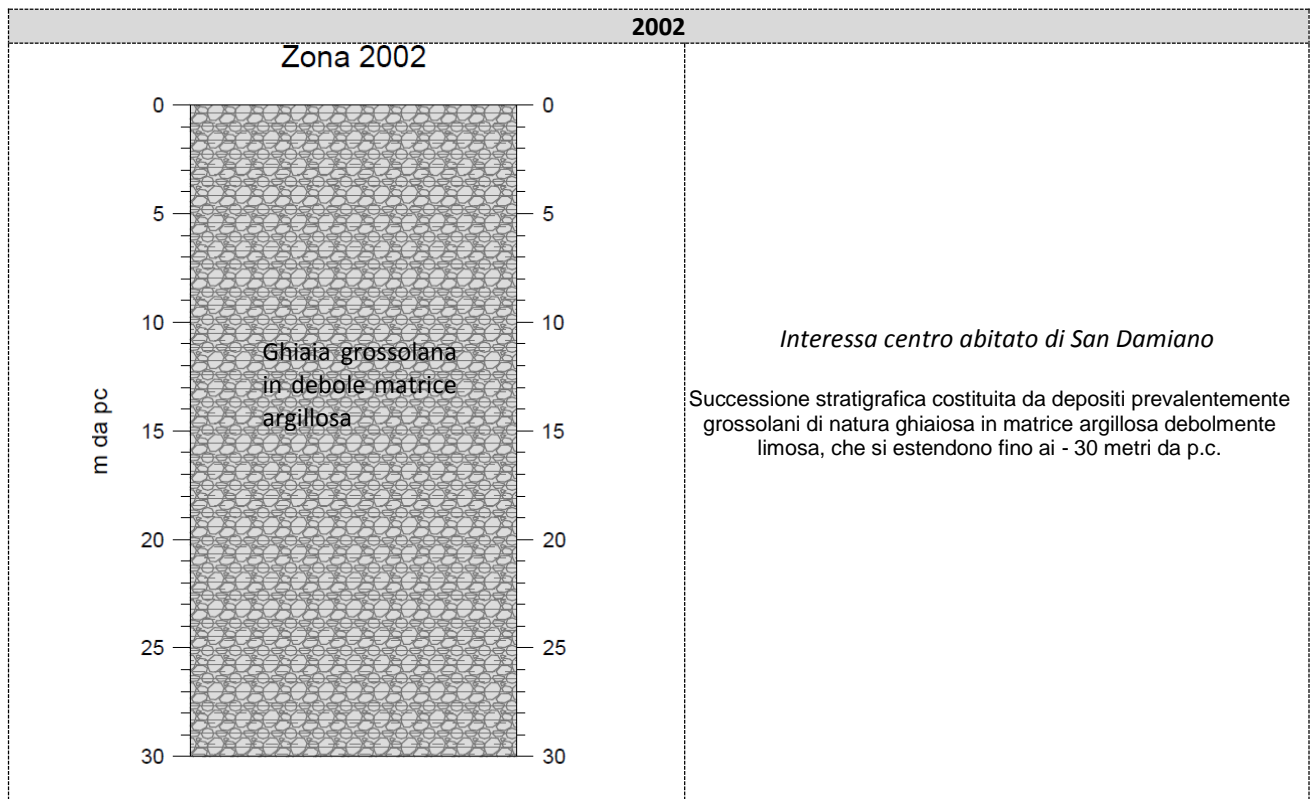
Le aree urbanizzate e urbanizzabili oggetto del presente studio risultano appartenenti *alla categoria 2 – zone stabili suscettibili di amplificazioni locali*, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, sono state identificate 5 microzone omogenee, ciascuna con un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 30 m di sottosuolo.

<b>Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali</b>			
<b>Zona n°</b>	<b>Località</b>	<b>Successione stratigrafica</b>	<b>Descrizione</b>
1	Centovera	2001	Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente grossolani di natura ghiaiosa in debole matrice limosa, di spessore 24 metri, seguiti da depositi fini di argilla compatta debolmente segnata da intercalazioni ghiaiose fino ai - 30 metri da p.c.
2	San Damiano	2002	Successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente grossolani di natura ghiaiosa in matrice argillosa debolmente limosa, che si estendono fino ai - 30 metri da p.c.
3	Godi	2003	Successione stratigrafica costituita da depositi di argilla mista a ghiaia grossolana, che si estendono fino ai - 30 metri da p.c.
4	Viustino	2004	Successione stratigrafica costituita da depositi di argilla limosa con intercalazioni sabbioso - ghiaiose, di spessore circa 15 metri, seguiti da depositi di ghiaia debolmente argillosa fino ai - 30 metri da p.c.
5	San Giorgio Piacentino	2005	Successione stratigrafica costituita da ghiaie in matrice argillosa debolmente sabbiosa, di spessore variabile fra i 12 e i 15 metri, seguita da argille di spessore compreso tra 4 e 5 metri, seguiti da ghiaie in matrice limo-argillosa fino ai - 30 metri da p.c.

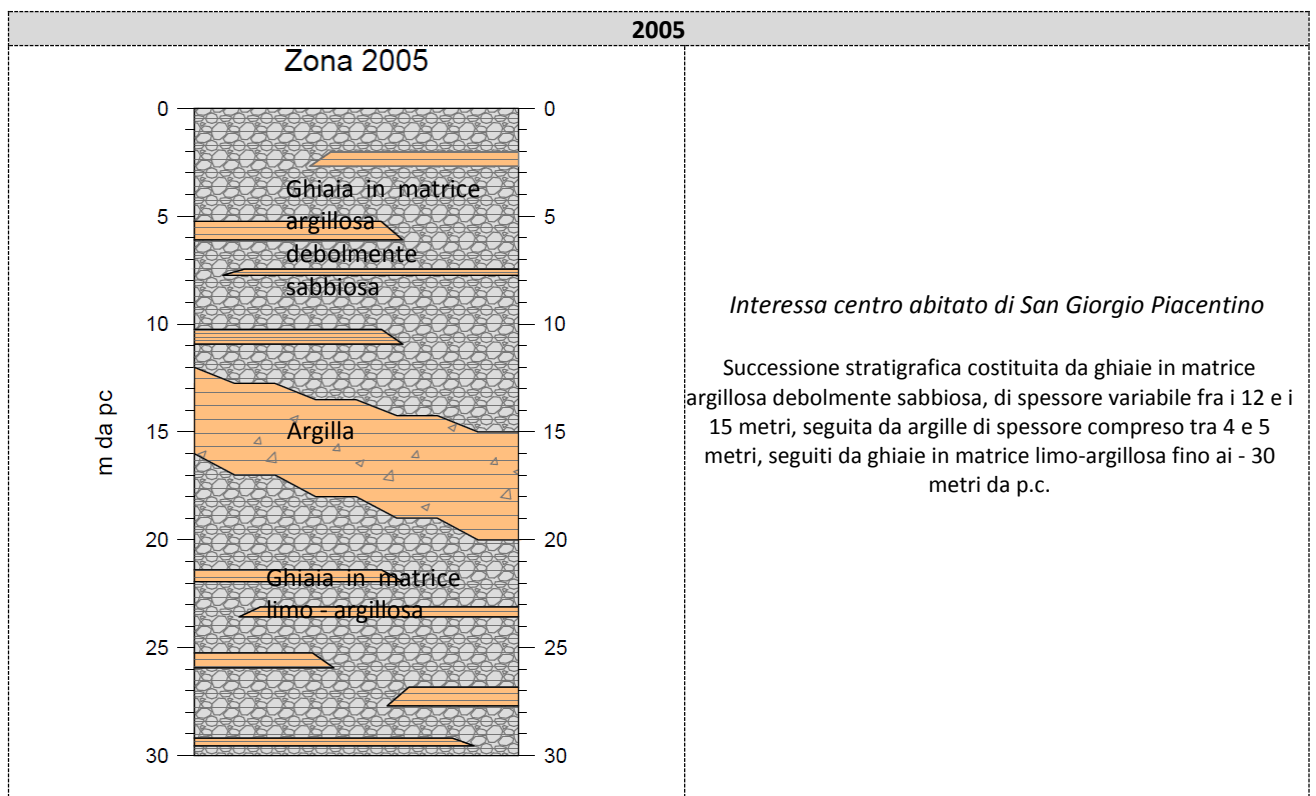
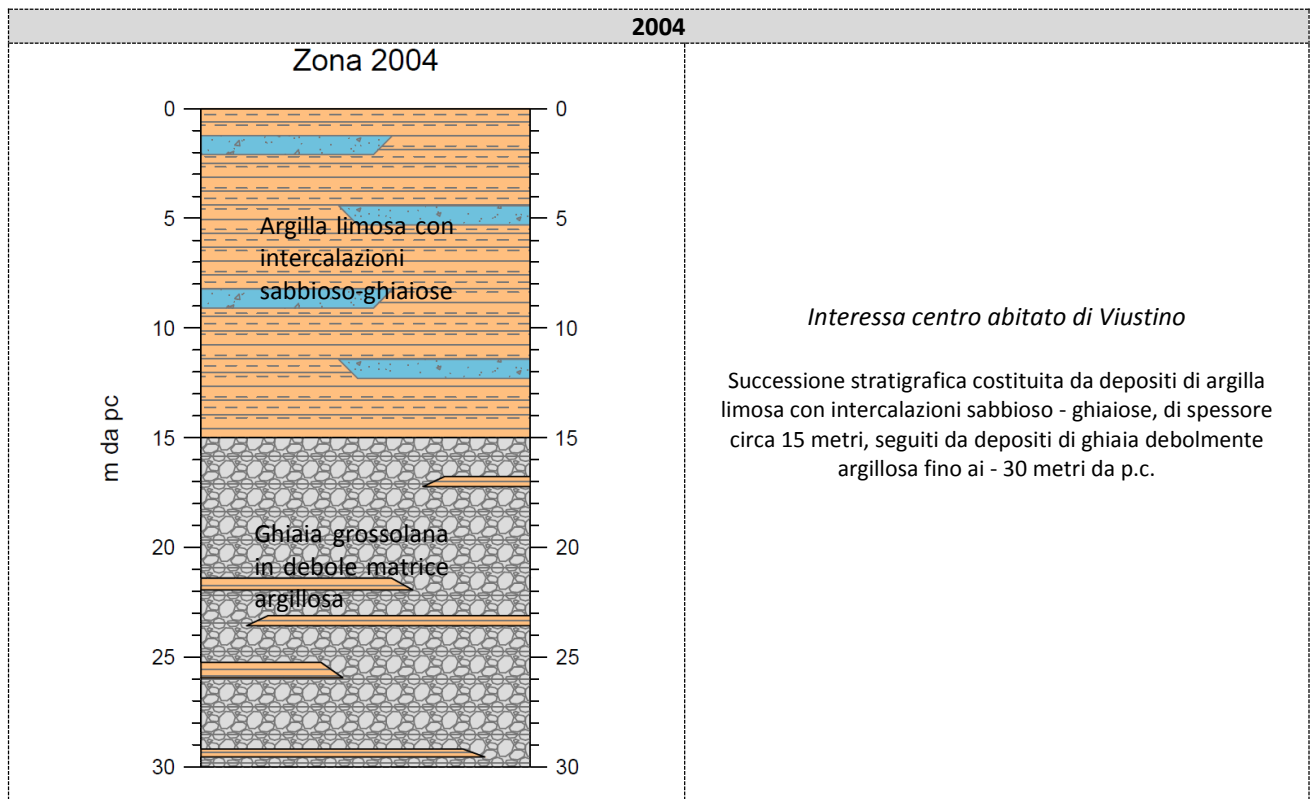
#### 8.4.1 Schemi dei rapporti stratigrafici

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









### 8.4.2 Sezione geologica

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

E' stata creata una sezione nord-sud all'interno del territorio comunale passante per il capoluogo (San Giorgio Piacentino) e per nelle vicinanze di due frazioni interessate dallo studio (Centovera e Godi), schematizzando le principali unità geologiche rinvenute.

Il substrato marino è ricoperto dalle unità del Sintema Emiliano-Romagnolo (superiore o inferiore). Nella "Sezione Geologica" sono schematizzate le principali unità geologiche e si evidenzia come il substrato marino sia presente nel territorio analizzato a quote comprese tra circa 40 m e 100 m da piano campagna.

### 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 (6 misurazioni Masw unite in 5 casi all'analisi HVSR). In particolare sono stati riportati per ogni punto il tipo di misura (MASW, SAWS, HVSR, etc), il valore di Vs<sub>30</sub> (calcolato come riportato in § 8.6).

L'analisi complessiva dei dati rilevati a livello comunale mette in luce valori di Vs<sub>30</sub> variabili e compresi tra 379 e 450 m/s. Analizzando più in dettaglio occorre fare una distinzione sulle 6 prove prese in considerazione:

- 1 è pregressa (in nero nella tabella sotto riportata),
- 5 sono state effettuate (in rosso nella tabella sotto riportata) per il presente lavoro.

Di seguito la tabella esemplificativa al riguardo.

ID_INDP	Vs30	Tipo di deposito interessato	Località
033040L2MASW2	493	AES8a_Subsistema di Ravenna_Unità di Modena	San Giorgio Piacentino_nord
033040L3MASW3	405	AES8a_Subsistema di Ravenna_Unità di Modena	Centovera
033040L4MASW4	397	AES8a_Subsistema di Ravenna_Unità di Modena	Godi
033040L5MASW5	387	AES8a_Subsistema di Ravenna_Unità di Modena	San Damiano
033040L6MASW6	379	AES8a_Subsistema di Ravenna_Unità di Modena	Viustino
033040L7MASW7	450	AES8a_Subsistema di Ravenna_Unità di Modena	San Giorgio Piacentino_Campo Sportivo

L'elemento che si preme sottolineare è comunque una variabilità poco accentuata dei valori Vs<sub>30</sub> come conseguenza delle caratteristiche dei depositi interessati, con una netta prevalenza di materiali ghiaiosi fino a profondità medie.

### 8.6 Carta di microzonazione sismica (livello 2)

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

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

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

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

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

	$T_1$	$T_2$
<b>SA1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SA2</b>	0,4 s	0,8 s
<b>SA3</b>	0,7 s	1,1 s
<b>SA4*</b>	0,5 s	1,5 s

- intensità spettrale

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

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

	$T_1$	$T_2$
<b>SI1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SI2</b>	0,5 s	1,0 s
<b>SI3*</b>	0,5 s	1,5 s

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

Per 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 la Tabella PIANURA 1 in quanto la profondità del substrato in tutto il territorio comunale è compresa tra 0 e 100 metri, limite suggerito nella Tabella PIANURA 1, proposta dagli indirizzi regionali (cfr. DGR 630/2019):

$V_{s30}$ (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 8.3. Abachi utilizzati per la stima dei FA.

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
Centovera Zona 2001	1.5	1.5	1.9	2.2	2.0
Godi Zona 2002	1.5	1.5	1.9	2.2	2.0
San Damiano Zona 2003	1.5	1.5	1.9	2.2	2.0
Viustino Zona 2004	1.5	1.5	1.9	2.2	2.0
San Giorgio Piacentino Zona 2005	1.5	1.5	1.9	2.2	2.0

Sito	FH SI1	FH SI2	FH SI3
Centovera Zona 2001	1.5	2.1	2.0
Godi Zona 2002	1.5	2.1	2.0
San Damiano Zona 2003	1.5	2.1	2.0
Viustino Zona 2004	1.5	2.1	2.0
San Giorgio Piacentino Zona 2005	1.5	2.1	2.0

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

*Simbologia (zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, Carta di Microzonazione Sismica)*











Parametro di amplificazione <sup>34</sup>	Simbolo	CMYK
1.1 - 1.2		0,0,51,0
1.3 - 1.4		0,7,50,0
1.5 - 1.6		0,16,37,0
1.7 - 1.8		0,51,100,1
1.9 - 2.0		0,75,90,0
2.1 - 2.2		0,79,100,1
2.3 - 2.4		30,47,0,0
2.5 - 3.0		40,60,0,0
3.1 - 3.5		50,70,0,0
>3.5		60,85,20,0

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

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

E' stata anche prodotta una carta della distribuzione sul territorio dei valori di  $H_{SM}$ , parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in  $cm/s^2$ ), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity ( $ASI_{UHS}$ ), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ , diviso per  $\Delta T$  (in questo caso pari a  $0,4s$ ), per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodo:

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

dove valori di  $ASI_{UHS}/\Delta T$  sono stati ripresi dal file `all_4_coord.kmz`, nella cartella `Allegato_4.zip` disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna. Nella figura successiva si riporta la legenda adottata.

### Zone stabili suscettibili di amplificazione locale

Negli areali interessati da microzonazione sismica di Livello 2, i valori dei Fattori di Amplificazione, sono stati ricavati dalle tabelle allegate alla DGR n.630/2019 della Regione Emilia Romagna. (Allegato 2 - Tabella Pianura 1)

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


  $H_{SM} = 300 - 400 \text{ cm/s}^2$

Figura 8.5. Legenda adottata per la mappa di scuotimento atteso.

## 8.8 Commenti finali e criticità

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

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

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 spettrale ( $SA/SA_0$ ) che Intensità di Housner ( $SI/SI_0$ ) abbastanza costanti in relazione all'intervallo di frequenza considerato in tutto il territorio comunale.

Per quanto riguarda il PGA sono stati stimati valori di F.A. di P.G.A. di 1.5 in tutti gli abitati studiati.

La carta di microzonazione relativa a SA1 (intervallo  $0.1-0.5 \text{ s}$ ) presenta fattori di amplificazione di 1.5 per le varie località, la carta relativa a SA2 (intervallo  $0.4-0.8 \text{ s}$ ) presenta FA di 1.9, quella per l'intervallo SA ( $0.7-1.1 \text{ s}$ ) presenta Fa di 2.2 mentre quella per l'intervallo SA ( $0.5-1.5 \text{ s}$ ) presenta FA di 2.0 per ognuna delle località studiate.

La carta di microzonazione relativa a SI1 (intervallo  $0.1-0.5 \text{ s}$ ) presenta fattori di amplificazione di 1.5 per le varie località, la carta relativa a SI2 (intervallo  $0.5-1.0 \text{ s}$ ) presenta FA di 2.1, mentre quella per l'intervallo SI3 ( $0.5-1.5 \text{ s}$ ) presenta FA di 2.0 per ognuna delle località studiate.

## 9 CONFRONTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

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

San Giorgio Piacentino, aprile 2020

Dott.Geol.Paolo Mancioffi




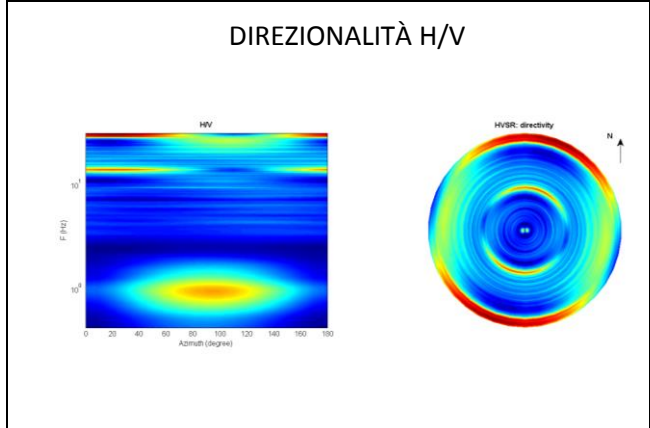
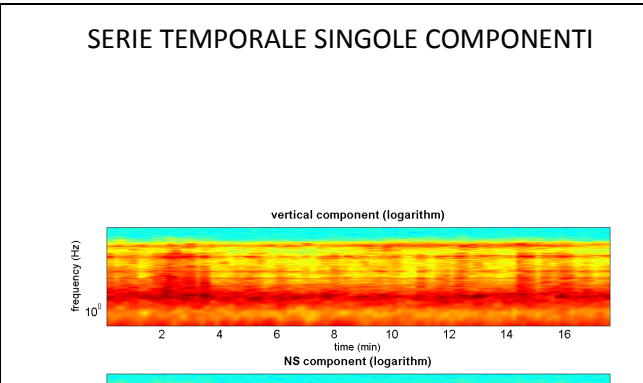
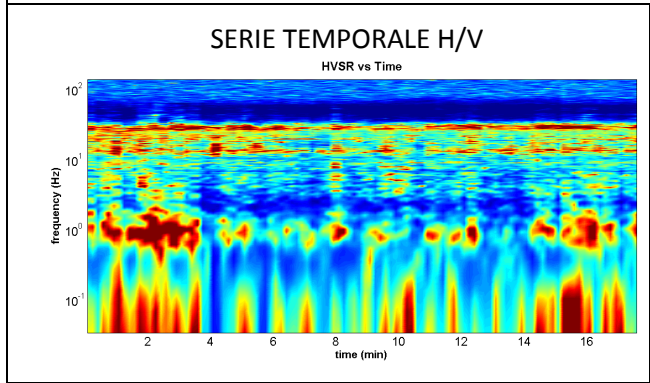
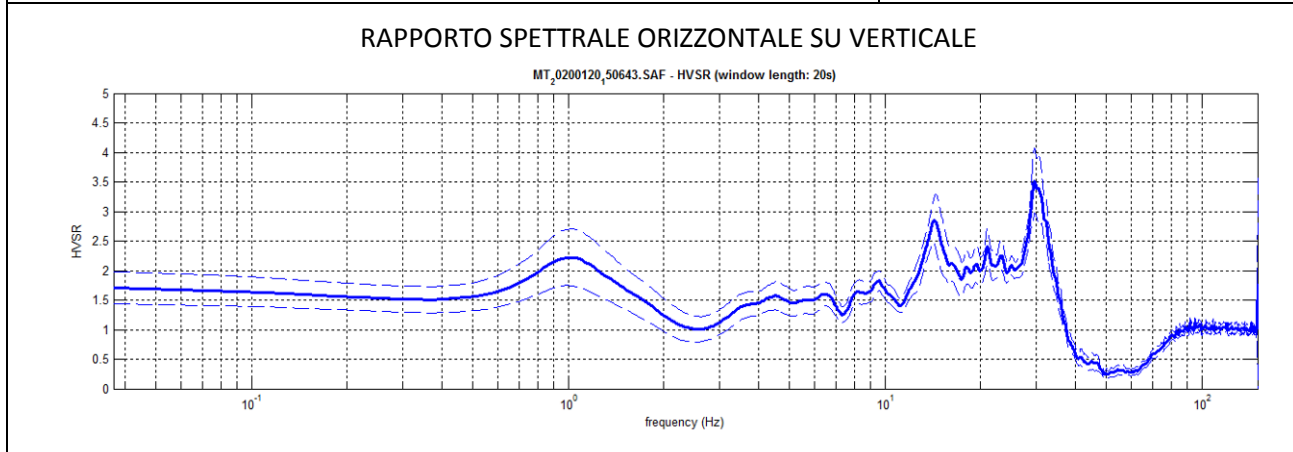
## 10 BIBLIOGRAFIA

- .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
- .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 dell' pericolosità sulla base di un modello 3D delle sorgenti sismiche" – Rapporto conclusivo.

ALLEGATI

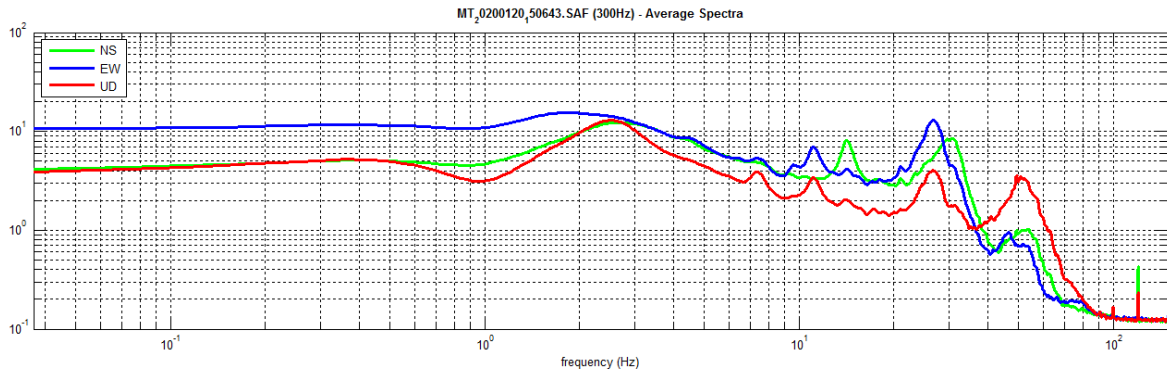
10.1 Prove sismiche tipo HVSR

<h1 style="font-size: 2em; margin: 0;">HV01</h1> <p>Località: Centovera Data acquisizione: 20/01/2020</p> <p>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</p>	
---	---





SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20200120\_112818.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 20.0

Tapering (%): 10

=====  
**In the following the results considering the data in the 0.7-20.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 1.1 (q3.8)

Peak HVSR value: 3.1 (q0.6)

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

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $1.1 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[n_c > 200]$ :  $2507 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

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

- #1.  $[\text{exists } f \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f) < A_0/2]$ : (NO)
- #2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 2.5Hz (OK)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $3.1 > 2$  (OK)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \text{ q } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ q } 5\%]$ : (NO)
- #5.  $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)]$ :  $3.812 > 0.106$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $0.554 < 1.78$  (OK)

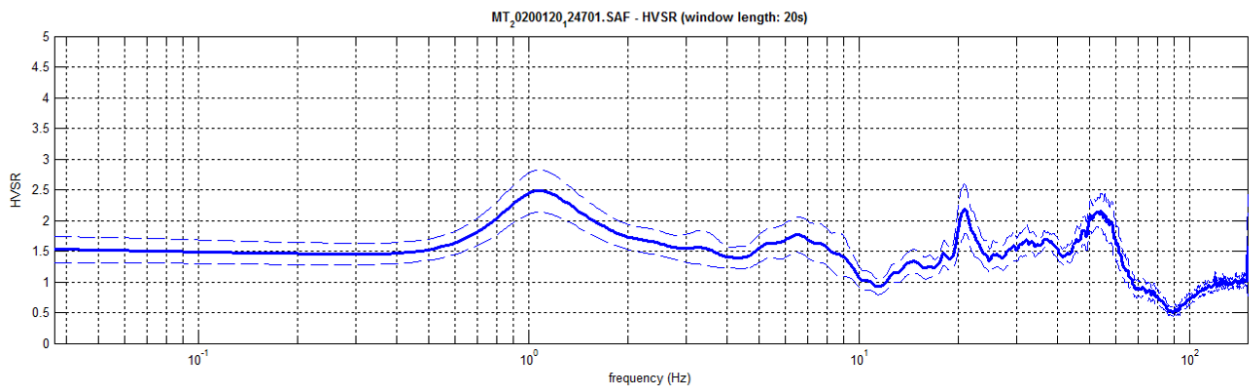
# HV02

Località: Godi  
 Data acquisizione: 20/01/2020

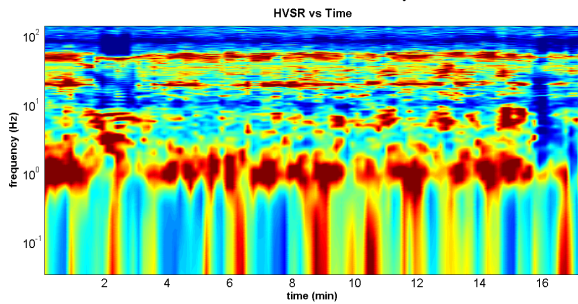
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare



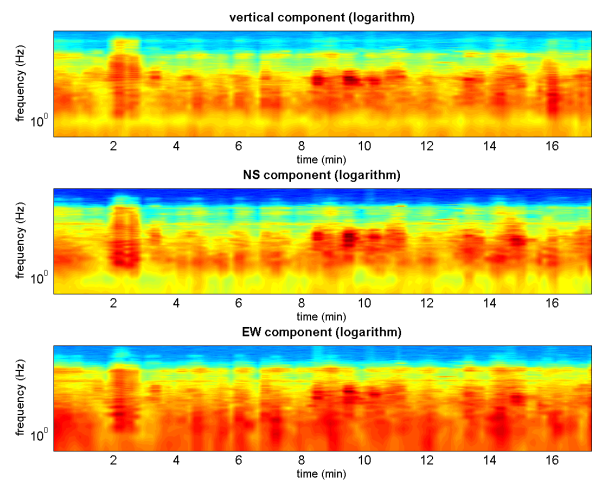
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



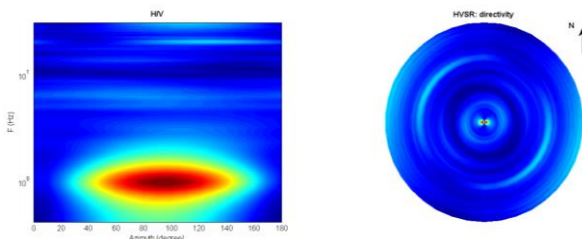
## SERIE TEMPORALE H/V



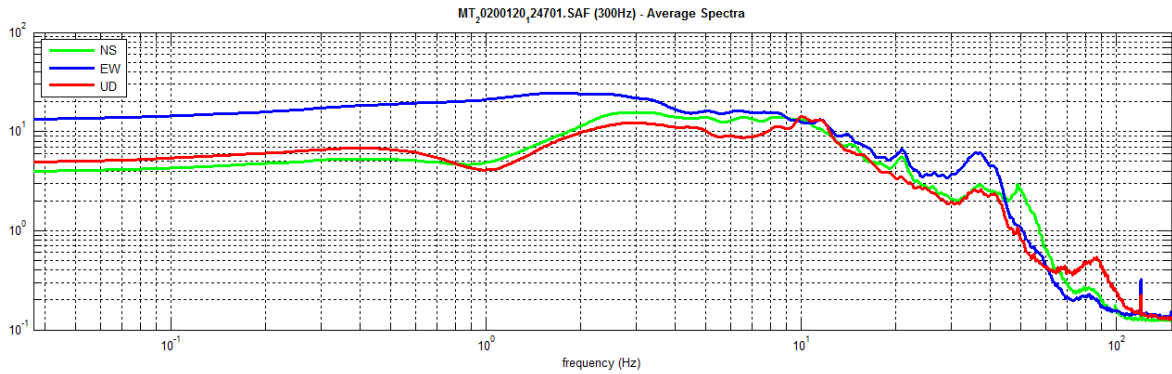
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20200120\_124701.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 17.6

Tapering (%): 10

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

Peak frequency (Hz): 1.1 (q6.0)

Peak HVSR value: 2.5 (q0.3)

Criteria for a reliable H/V curve

- #1.  $[f0 > 10/Lw]$ :  $1.1 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $2286 > 200$  (OK)
- #3.  $[f0 > 0.5Hz; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f0 < f < 2f0]$  (OK)

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

- #1.  $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f0/4, f0] | AH/V(f^-) < A0/2]$ : (NO)
- #2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f0, 4f0] | AH/V(f^+) < A0/2]$ : (NO)
- #3.  $[A0 > 2]$ :  $2.5 > 2$  (OK)
- #4.  $[f_{peak}[Ah/v(f) \text{ q } \sigma_A(f)] = f0 \text{ q } 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[\sigma_{maf} < \epsilon(f0)]$ :  $5.980 > 0.110$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f0) < \theta(f0)]$ :  $0.341 < 1.78$  (OK)

Dataset: MT\_20200120\_124701.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 17.6

Tapering (%): 10

In the following the results considering the data in the 4.0-10.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 6.6 (q1.3)

Peak HVSR value: 1.8 (q0.3)

Criteria for a reliable H/V curve

- #1.  $[f0 > 10/Lw]$ :  $6.6 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $13638 > 200$  (OK)
- #3.  $[f0 > 0.5Hz; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f0 < f < 2f0]$  (OK)

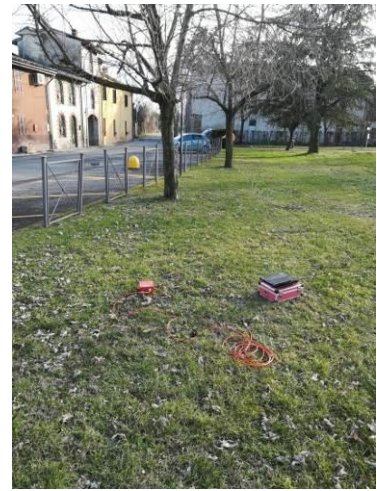
Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1.  $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f0/4, f0] | AH/V(f^-) < A0/2]$ : (NO)
- #2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f0, 4f0] | AH/V(f^+) < A0/2]$ : (NO)
- #3.  $[A0 > 2]$ :  $1.8 < 2$  (NO)
- #4.  $[f_{peak}[Ah/v(f) \text{ q } \sigma_A(f)] = f0 \text{ q } 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[\sigma_{maf} < \epsilon(f0)]$ :  $1.331 > 0.328$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f0) < \theta(f0)]$ :  $0.289 < 1.58$  (OK)

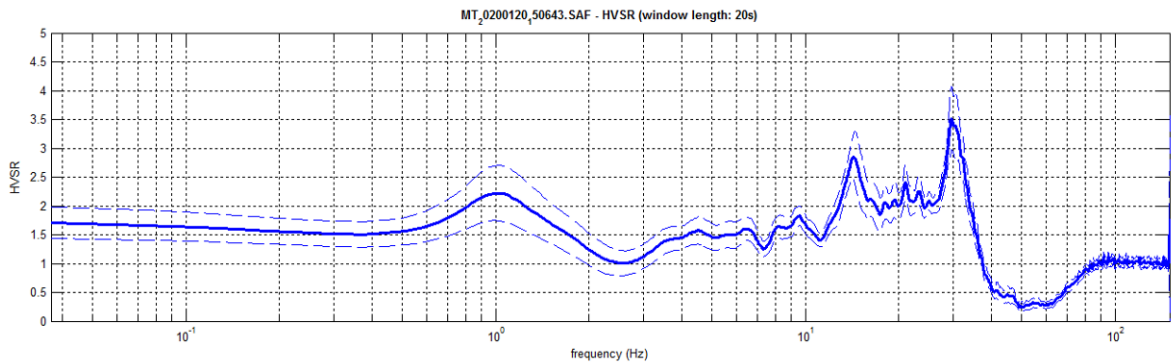
# HV03

Località: San Damiano  
 Data acquisizione: 20/01/2020

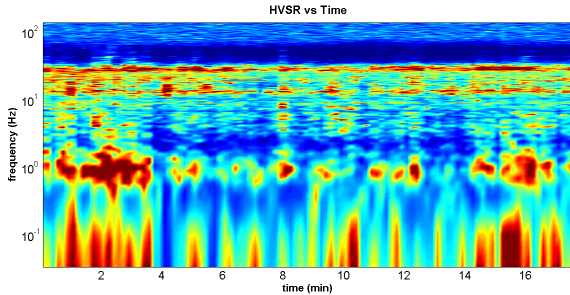
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di liscio: triangolare



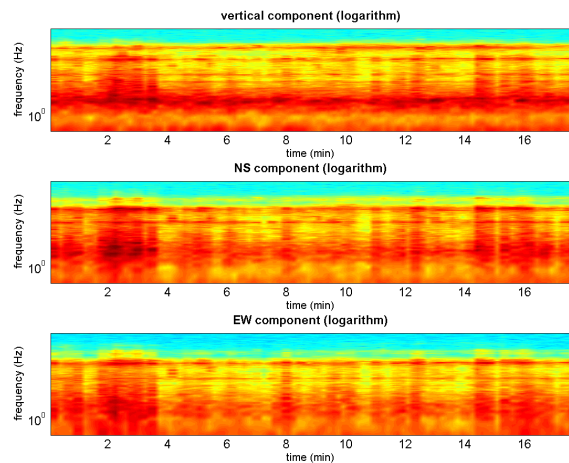
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



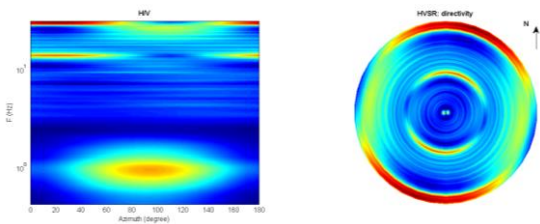
## SERIE TEMPORALE H/V



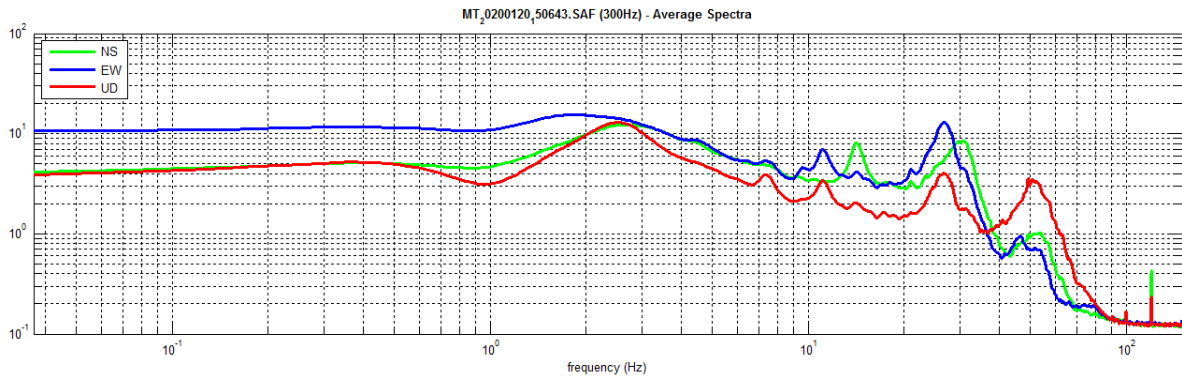
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20200120\_150643.SAF  
 Sampling frequency (Hz): 300  
 Window length (sec): 20  
 Length of analysed temporal sequence (min): 17.9  
 Tapering (%): 10

**In the following the results considering the data in the 0.5-10.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 1.0 (q3.8)  
 Peak HVSR value: 2.6 (q0.6)

Criteria for a reliable H/V curve

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $1.0 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $2174 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5Hz; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

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

- #1.  $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid \Delta H/V(f^-) < A_0/2]$ : (NO)
- #2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid \Delta H/V(f^+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 2.0Hz (OK)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $2.6 > 2$  (OK)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[\Delta h/v(f) \text{ q } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ q } 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)]$ :  $3.796 > 0.103$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $0.634 < 1.78$  (OK)

Dataset: MT\_20200120\_150643.SAF  
 Sampling frequency (Hz): 300  
 Window length (sec): 20  
 Length of analysed temporal sequence (min): 17.9  
 Tapering (%): 10

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

Peak frequency (Hz): 14.4 (q5.9)  
 Peak HVSR value: 3.0 (q0.5)

Criteria for a reliable H/V curve

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $14.4 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $30441 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5Hz; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

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

- #1.  $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid \Delta H/V(f^-) < A_0/2]$ : yes, at frequency 11.5Hz (OK)
- #2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid \Delta H/V(f^+) < A_0/2]$ : (NO)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $3.0 > 2$  (OK)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[\Delta h/v(f) \text{ q } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ q } 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)]$ :  $5.885 > 0.718$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $0.473 < 1.58$  (OK)

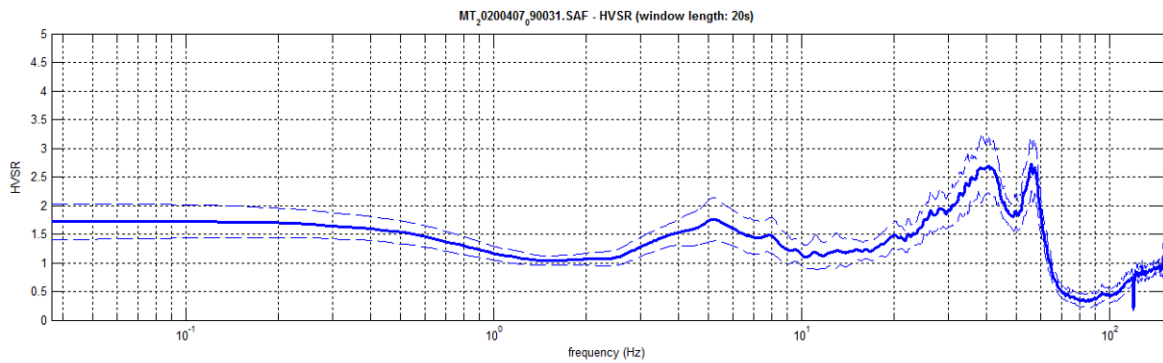
# HV04

Località: Viustino  
 Data acquisizione: 07/04/2020

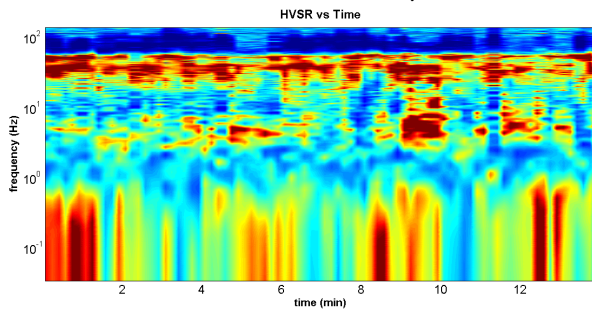
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare



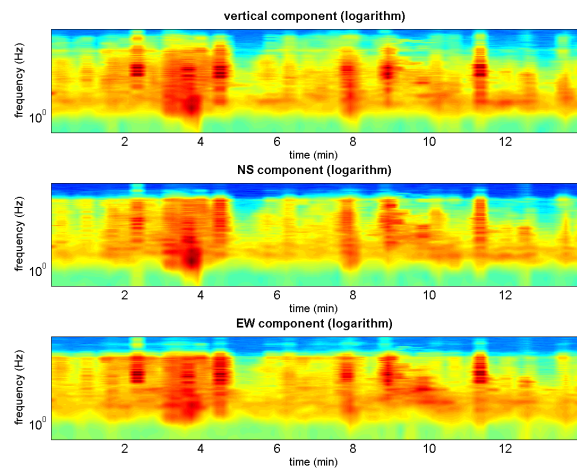
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



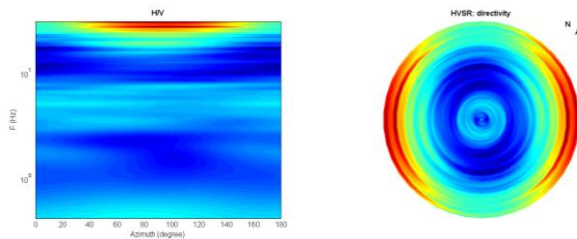
## SERIE TEMPORALE H/V



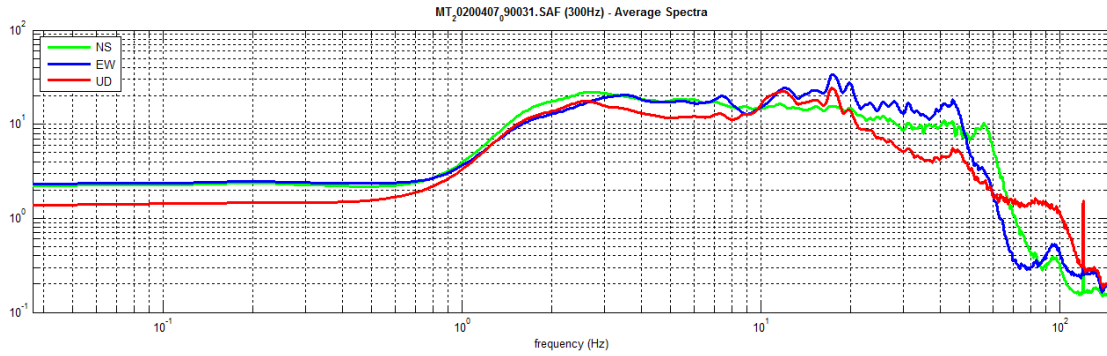
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20200407\_090031.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 14.3

Tapering (%): 10

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

Peak frequency (Hz): 5.3 (q6.0)

Peak HVSR value: 1.8 (q0.4)

Criteria for a reliable H/V curve

- #1.  $[f_0 > 10/L.w]: 5.3 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]: 8862 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5Hz; \sigma_{A(f)} < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

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

- #1.  $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] | AH/V(f^-) < A_0/2]:$  (NO)
- #2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] | AH/V(f^+) < A_0/2]:$  (NO)
- #3.  $[A_0 > 2]: 1.8 < 2$  (NO)
- #4.  $[f_{peak}[Ah/v(f) \text{ q } \sigma_{A(f)} = f_0 \text{ q } 5\%]:$  (OK)
- #5.  $[\sigma_{maf} < \epsilon_{\sigma}(f_0)]: 5.984 > 0.264$  (NO)
- #6.  $[\sigma_{A(f_0)} < \theta(f_0)]: 0.377 < 1.58$  (OK)

# HV05

Località: San Giorgio Piacentino campo sportivo

Data acquisizione: 08/04/2020

Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz

Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0

Durata registrazione: 20 minuti

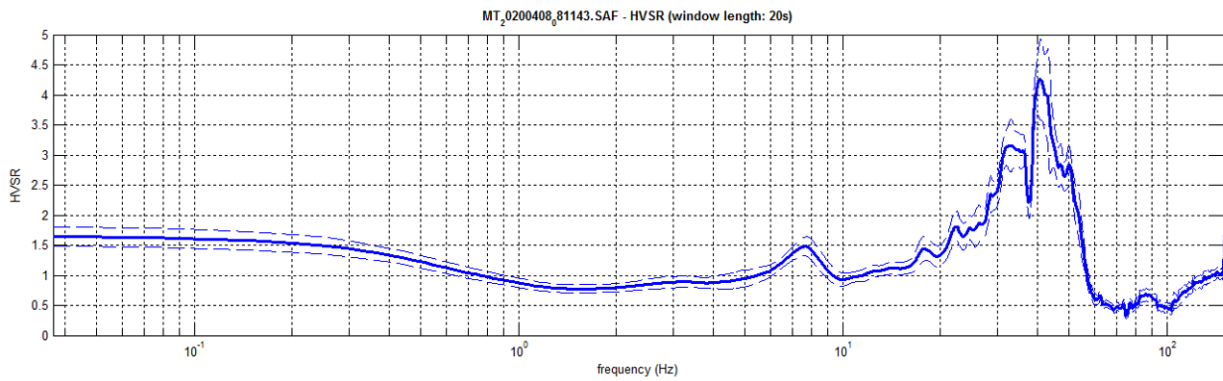
Frequenza campionamento: 300 Hz

Lunghezza finestre: 20 secondi

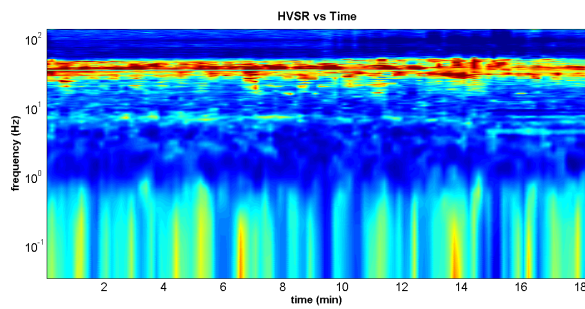
Tipo di lisciamento: triangolare



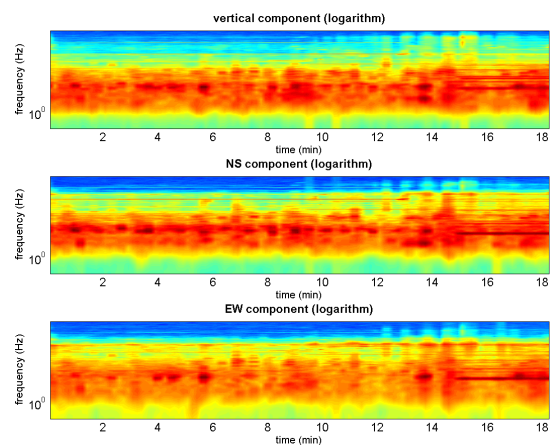
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



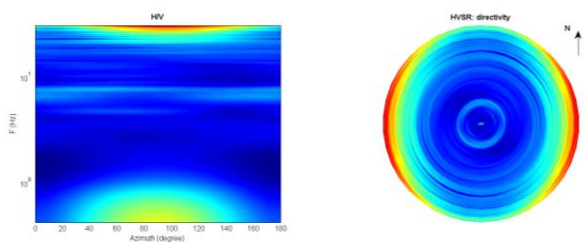
## SERIE TEMPORALE H/V



## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI

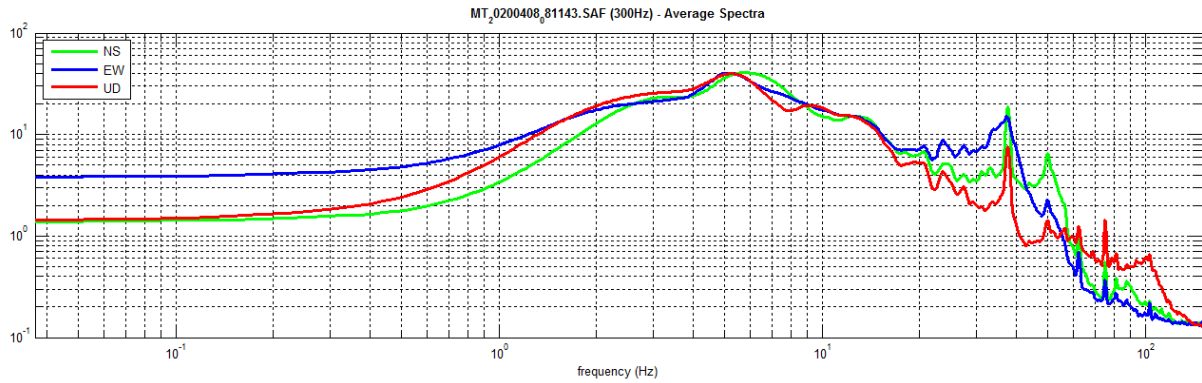


## DIREZIONALITÀ H/V





SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20200408\_081143.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 18.7

Tapering (%): 10

Criteria for a reliable H/V curve

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $7.9 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $17326 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

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

- #1.  $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]$ : yes, at frequency 2.1Hz (OK)
- #2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$ : (NO)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $1.6 < 2$  (NO)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[Ah/V(f) \text{ q } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ q } 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)]$ :  $1.211 > 0.394$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $0.202 < 1.58$  (OK)

In the following the results considering the data in the 2.0-10.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 7.9 (q1.2)

Peak HVSR value: 1.6 (q0.2)

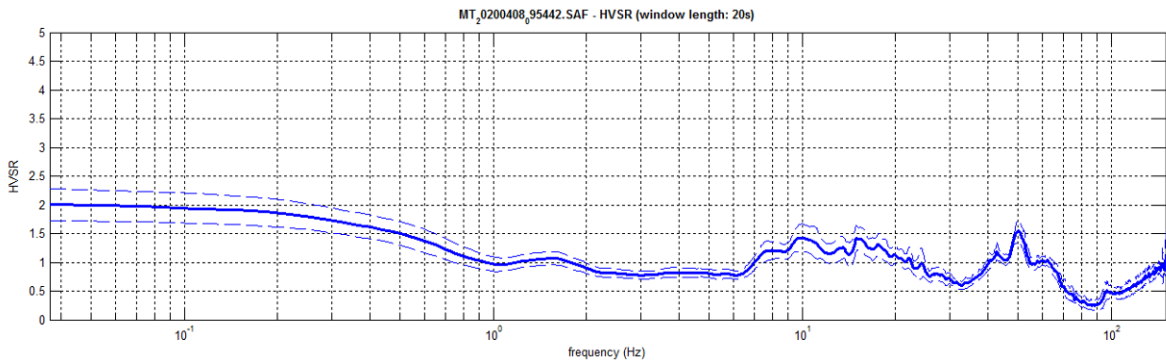
# HV06

Località: San Giorgio Piacentino Chiesa  
 Data acquisizione: 08/04/2020

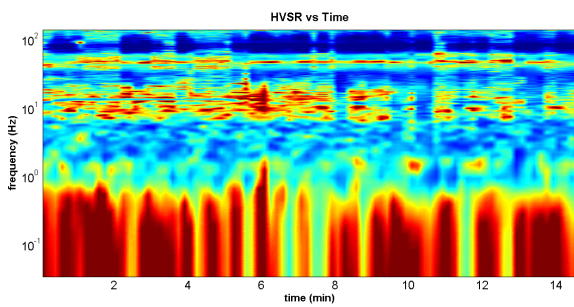
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare



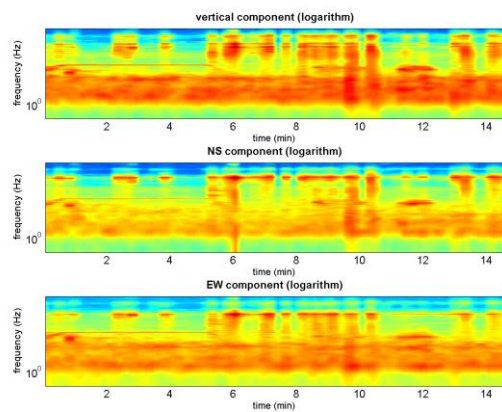
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



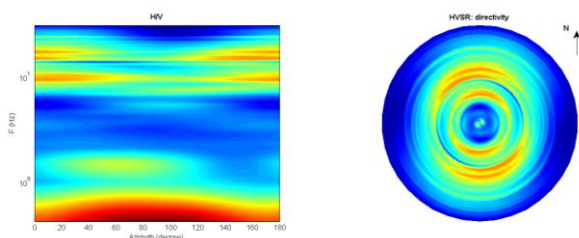
## SERIE TEMPORALE H/V



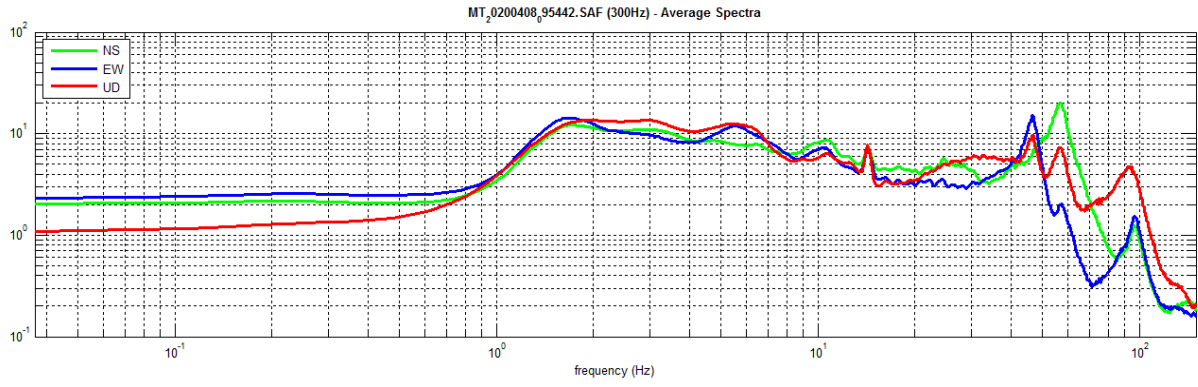
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



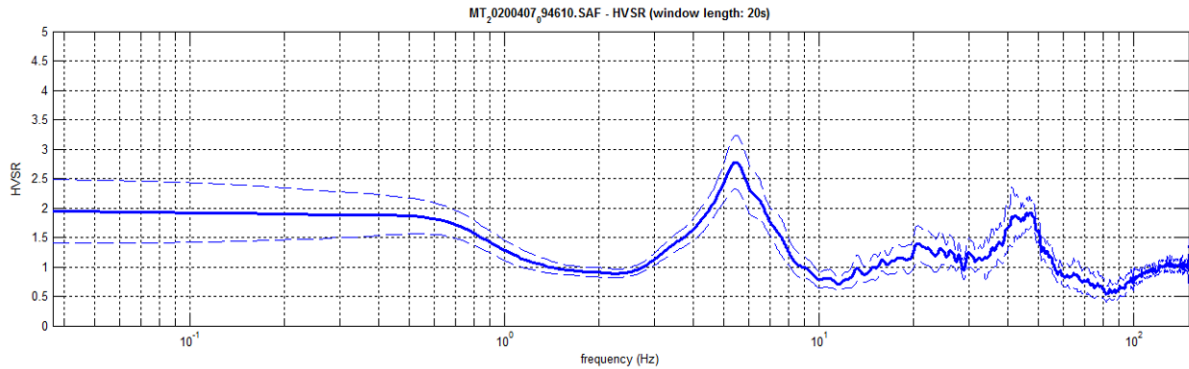
# HV07

Località: Viustino Chiesa  
 Data acquisizione: 07/04/2020

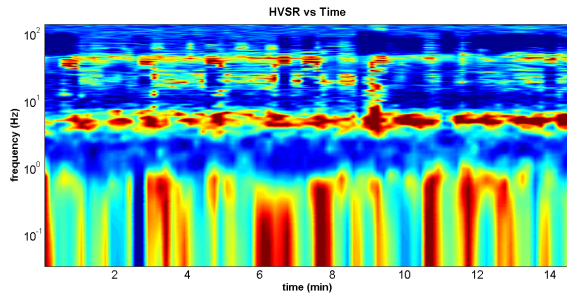
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare



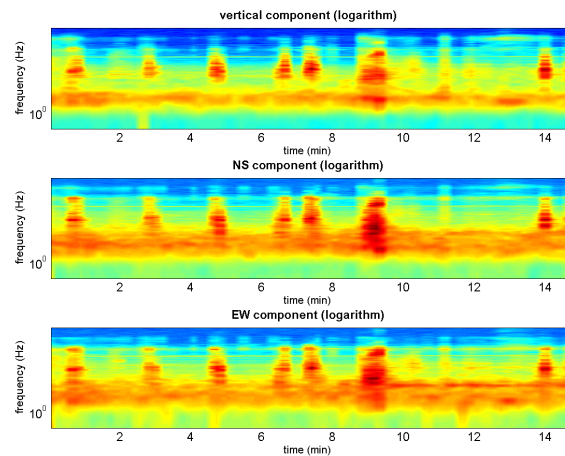
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



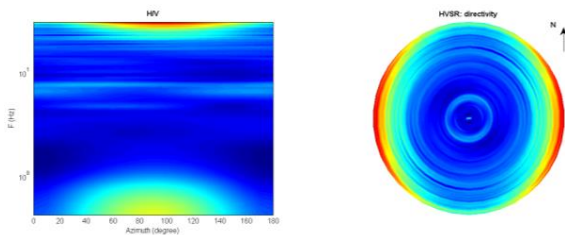
## SERIE TEMPORALE H/V



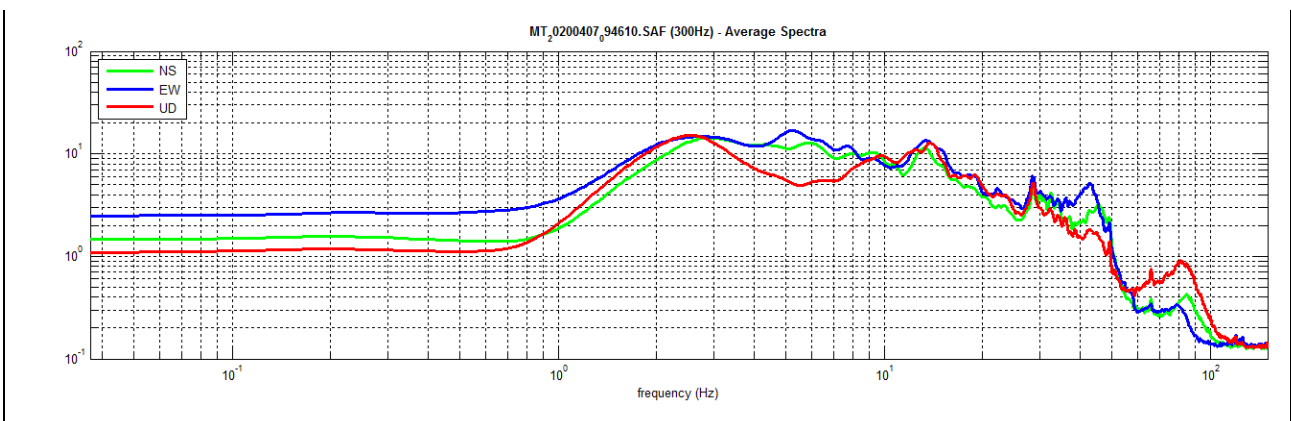
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20200407\_094610.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 15.0

Tapering (%): 10

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

Peak frequency (Hz): 5.5 (q2.4)

Peak HVSR value: 2.8 (q0.5)

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

- #1. [f0 > 10/Lw]: 5.5 > 0.5 (OK)
- #2. [nc > 200]: 9670 > 200 (OK)
- #3. [f0 > 0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

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

- #1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 3.5Hz (OK)
- #2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 7.8Hz (OK)
- #3. [A0 > 2]: 2.8 > 2 (OK)
- #4. [fpeak[Ah/v(f) q sigmaA(f)] = f0 q 5%]: (OK)
- #5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 2.414 > 0.275 (NO)
- #6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.453 < 1.58 (OK)

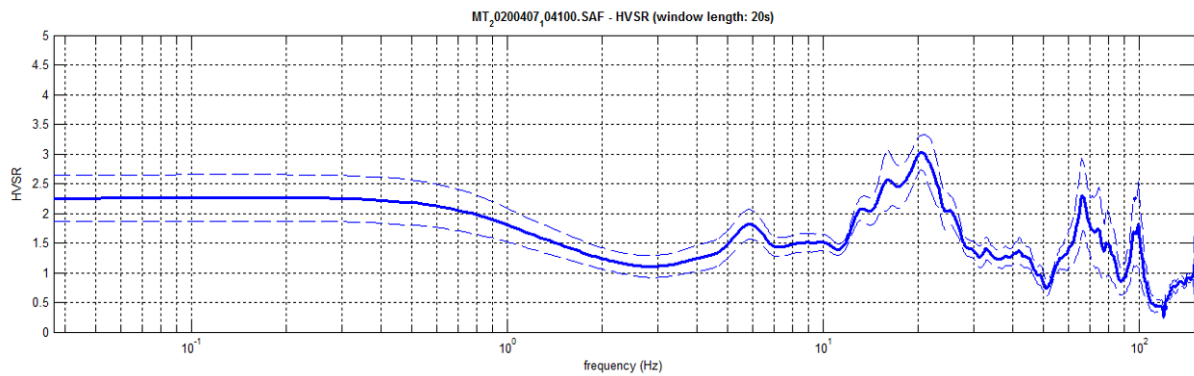
# HV08

Località: San Damiano Chiesa  
 Data acquisizione: 07/04/2020

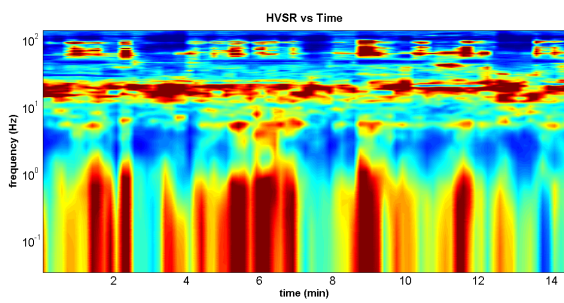
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare



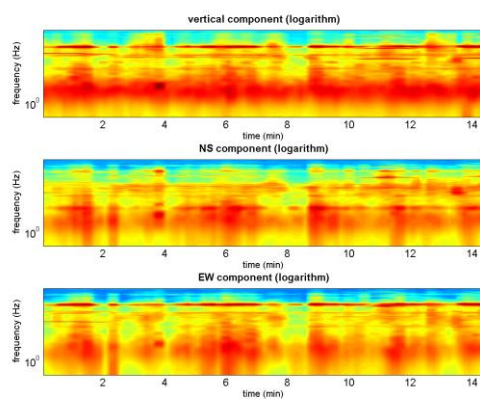
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



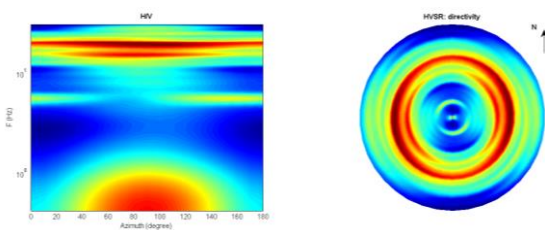
## SERIE TEMPORALE H/V

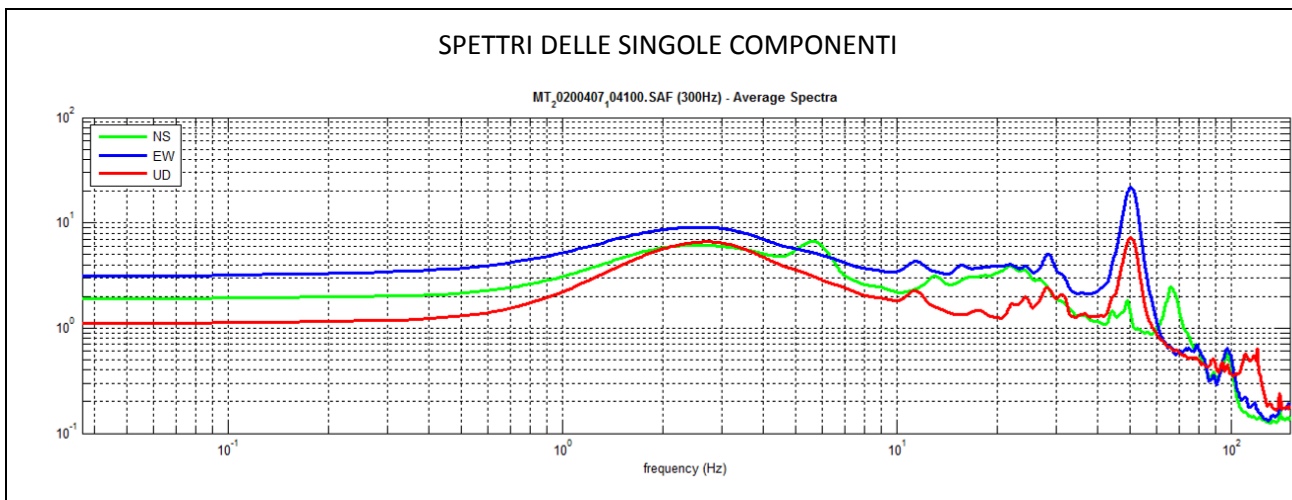


## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V





<p>Dataset: MT_20200407_104100.SAF                  Sampling frequency (Hz): 300                  Window length (sec): 20                  Length of analysed temporal sequence (min): 14.8                  Tapering (%): 10</p> <hr/> <p><b>In the following the results considering the data in the 0.5-22.0Hz frequency range</b></p> <p>Peak frequency (Hz): 20.5 (q7.1)                  Peak HVSR value: 3.1 (q0.3)</p>	<p style="text-align: center;">— Criteria for a reliable H/V curve —</p> <p>#1. [f0 &gt; 10/Lw]: 20.5 &gt; 0.5 (OK)                  #2. [nc &gt; 200]: 35692 &gt; 200 (OK)                  #3. [f0 &gt; 0.5Hz; sigmaA(f) &lt; 2 for 0.5f0 &lt; f &lt; 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-) &lt; A0/2]: yes, at frequency 11.9Hz (OK)                  #2. [exists f+ in the range [f0, 4f0]   AH/V(f+) &lt; A0/2]: (NO)                  #3. [A0 &gt; 2]: 3.1 &gt; 2 (OK)                  #4. [fpeak[Ah/v(f) q sigmaA(f)] = f0 q 5%]: (OK)                  #5. [sigmaf &lt; epsilon(f0)]: 7.102 &gt; 1.026 (NO)                  #6. [sigmaA(f0) &lt; theta(f0)]: 0.302 &lt; 1.58 (OK)</p>
<p>Dataset: MT_20200407_104100.SAF                  Sampling frequency (Hz): 300                  Window length (sec): 20                  Length of analysed temporal sequence (min): 14.1                  Tapering (%): 10</p> <hr/> <p><b>In the following the results considering the data in the 2.0-10.0Hz frequency range</b></p> <p>Peak frequency (Hz): 5.9 (q1.7)                  Peak HVSR value: 1.8 (q0.2)</p>	<p style="text-align: center;">— Criteria for a reliable H/V curve —</p> <p>#1. [f0 &gt; 10/Lw]: 5.9 &gt; 0.5 (OK)                  #2. [nc &gt; 200]: 9790 &gt; 200 (OK)                  #3. [f0 &gt; 0.5Hz; sigmaA(f) &lt; 2 for 0.5f0 &lt; f &lt; 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-) &lt; A0/2]: (NO)                  #2. [exists f+ in the range [f0, 4f0]   AH/V(f+) &lt; A0/2]: (NO)                  #3. [A0 &gt; 2]: 1.8 &lt; 2 (NO)                  #4. [fpeak[Ah/v(f) q sigmaA(f)] = f0 q 5%]: (OK)                  #5. [sigmaf &lt; epsilon(f0)]: 1.690 &gt; 0.295 (NO)                  #6. [sigmaA(f0) &lt; theta(f0)]: 0.250 &lt; 1.58 (OK)</p>

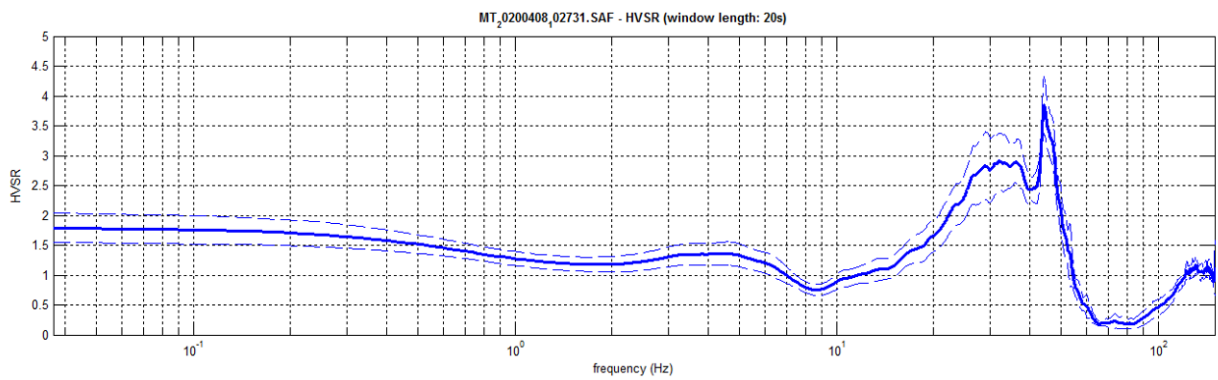
# HV09

Località: Centovera nord  
 Data acquisizione: 08/04/2020

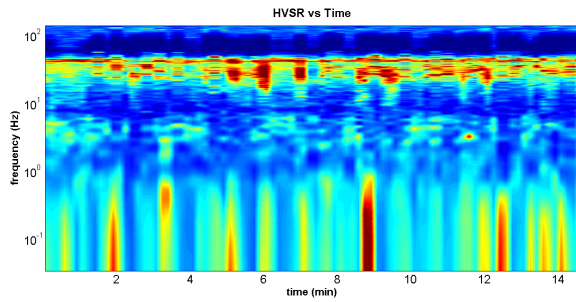
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz  
 Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0  
 Durata registrazione: 20 minuti  
 Frequenza campionamento: 300 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 secondi  
 Tipo di lisciamento: triangolare



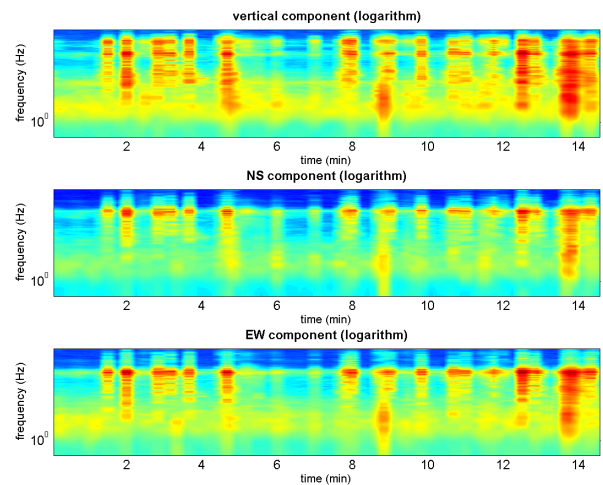
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



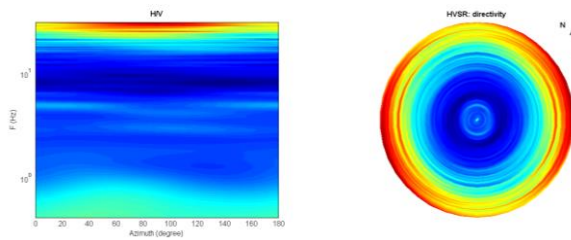
## SERIE TEMPORALE H/V



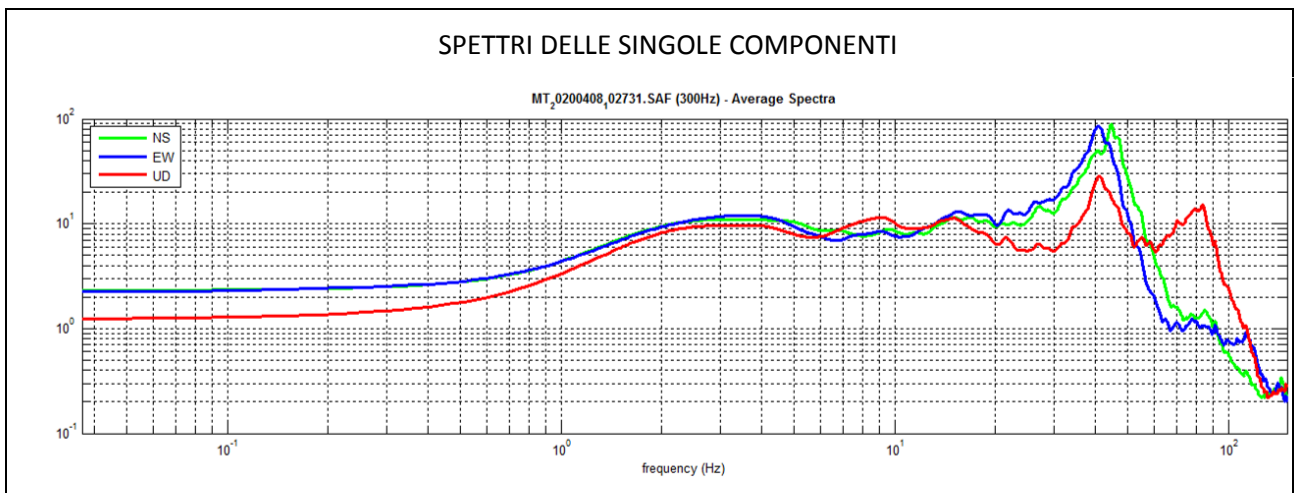
## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



## DIREZIONALITÀ H/V







# HV10

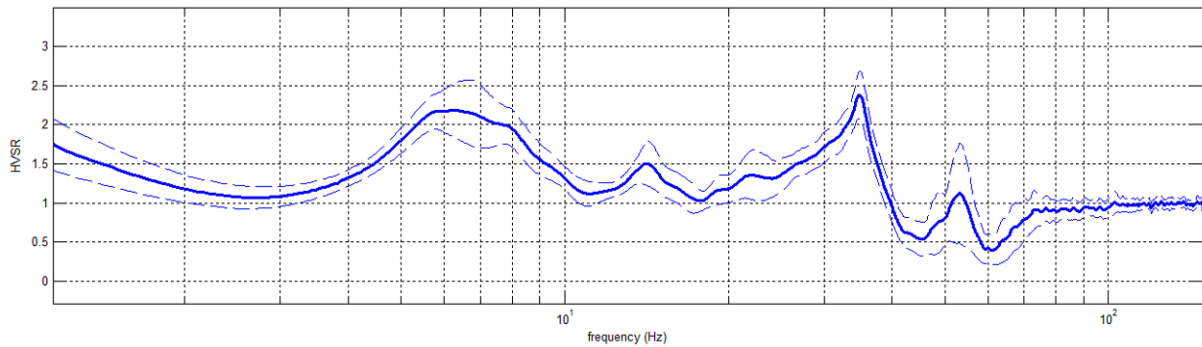
Località: Costa Godi  
 Data acquisizione: 07/04/2020

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



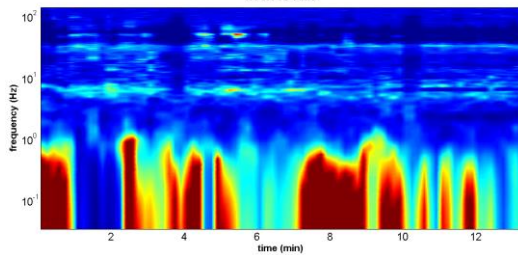
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

MT\_0200407\_01303.SAF - HVSR (window length: 20s)



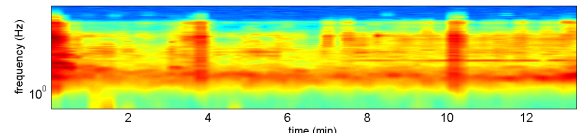
## SERIE TEMPORALE H/V

HVSR vs Time

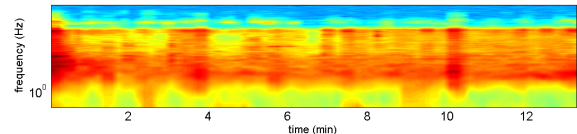


## SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI

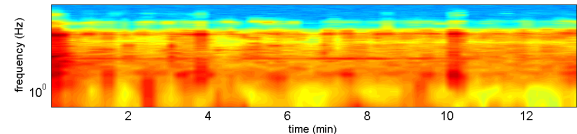
vertical component (logarithm)



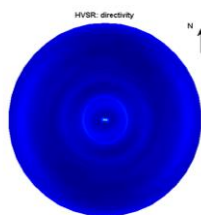
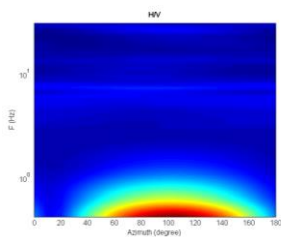
NS component (logarithm)



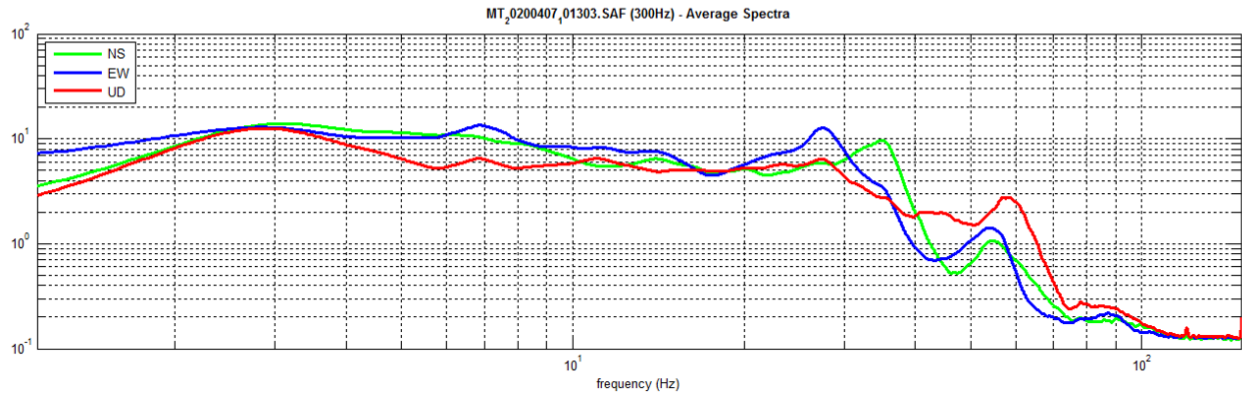
EW component (logarithm)



## DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT\_20200407\_01303.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 15.0

Tapering (%): 10

In the following the results considering the data in the 2.0-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 6.3 (q2.3)

Peak HVSr value: 2.3 (q0.3)

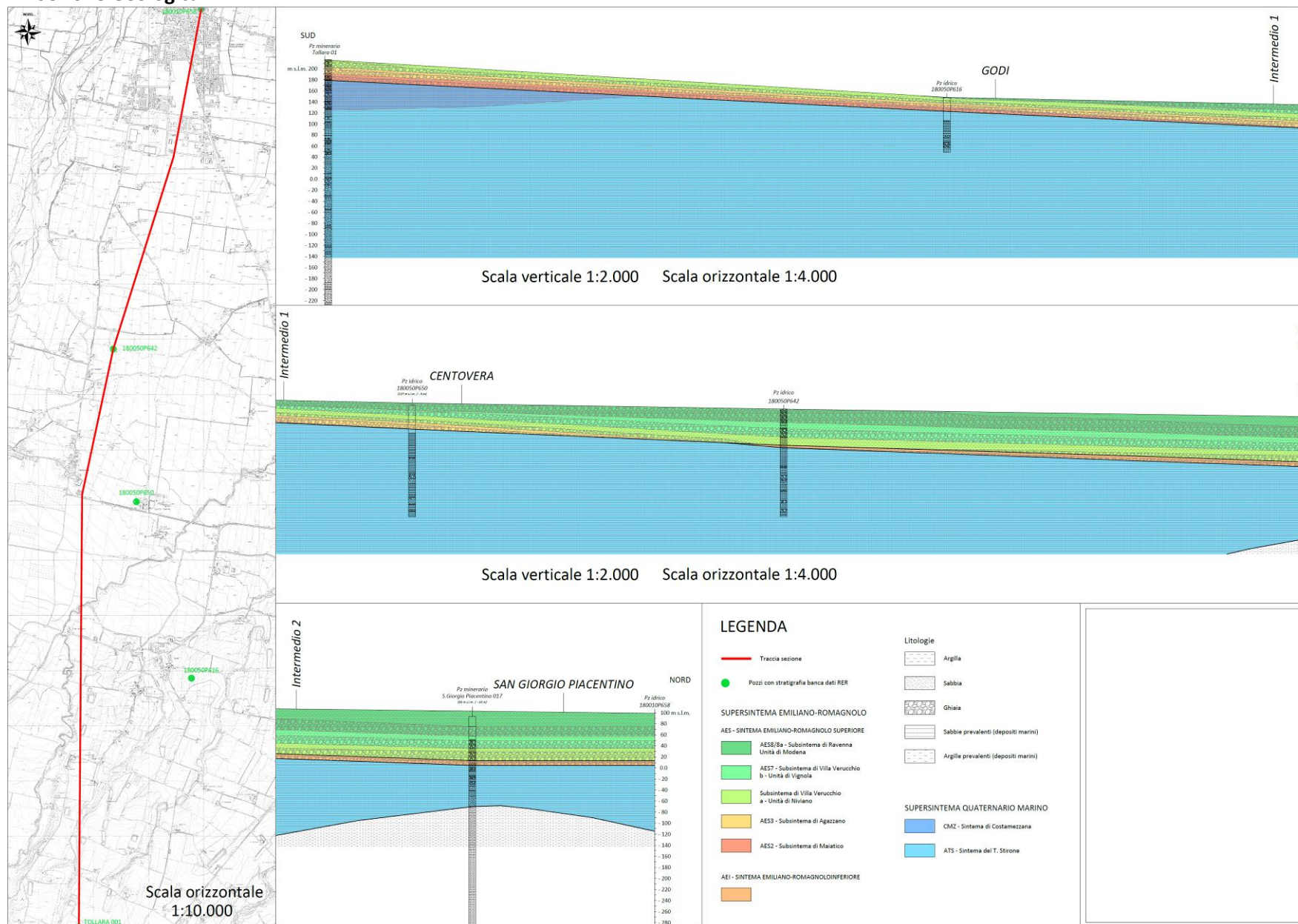
Criteria for a reliable H/V curve

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $6.3 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $10022 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5Hz; \sigma_{A(f)} < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

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

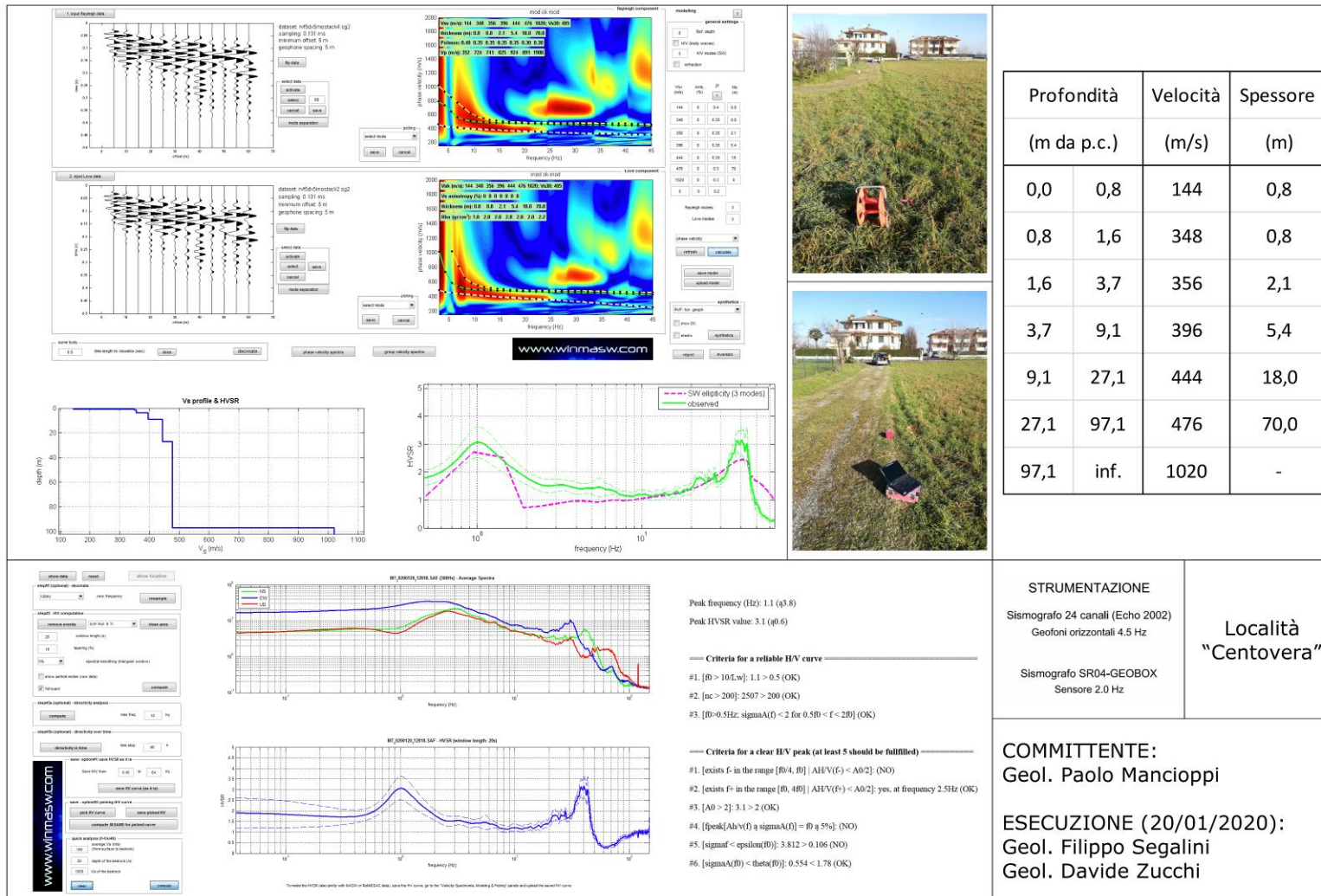
- #1.  $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] | AH/V(f^-) < A_0/2]$ : yes, at frequency 3.1Hz (OK)
- #2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] | AH/V(f^+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 10.6Hz (OK)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $2.3 > 2$  (OK)
- #4.  $[f_{peak}[Ah/v(f)] \text{ q } \sigma_{A(f)} = f_0 \text{ q } 5\%]$ : (NO)
- #5.  $[\sigma_{maf} < \epsilon(f_0)]$ :  $2.301 > 0.313$  (NO)
- #6.  $[\sigma_{A(f_0)} < \theta(f_0)]$ :  $0.324 < 1.58$  (OK)

10.2 Sezione Geologica



10.3 Prove sismiche tipo Masw+HVSR

033040L3MASW3\_loc.Centovera



Profondità (m da p.c.)	Velocità (m/s)	Spessore (m)
0,0	0,8	0,8
0,8	1,6	0,8
1,6	3,7	2,1
3,7	9,1	5,4
9,1	27,1	18,0
27,1	97,1	70,0
97,1	inf.	-

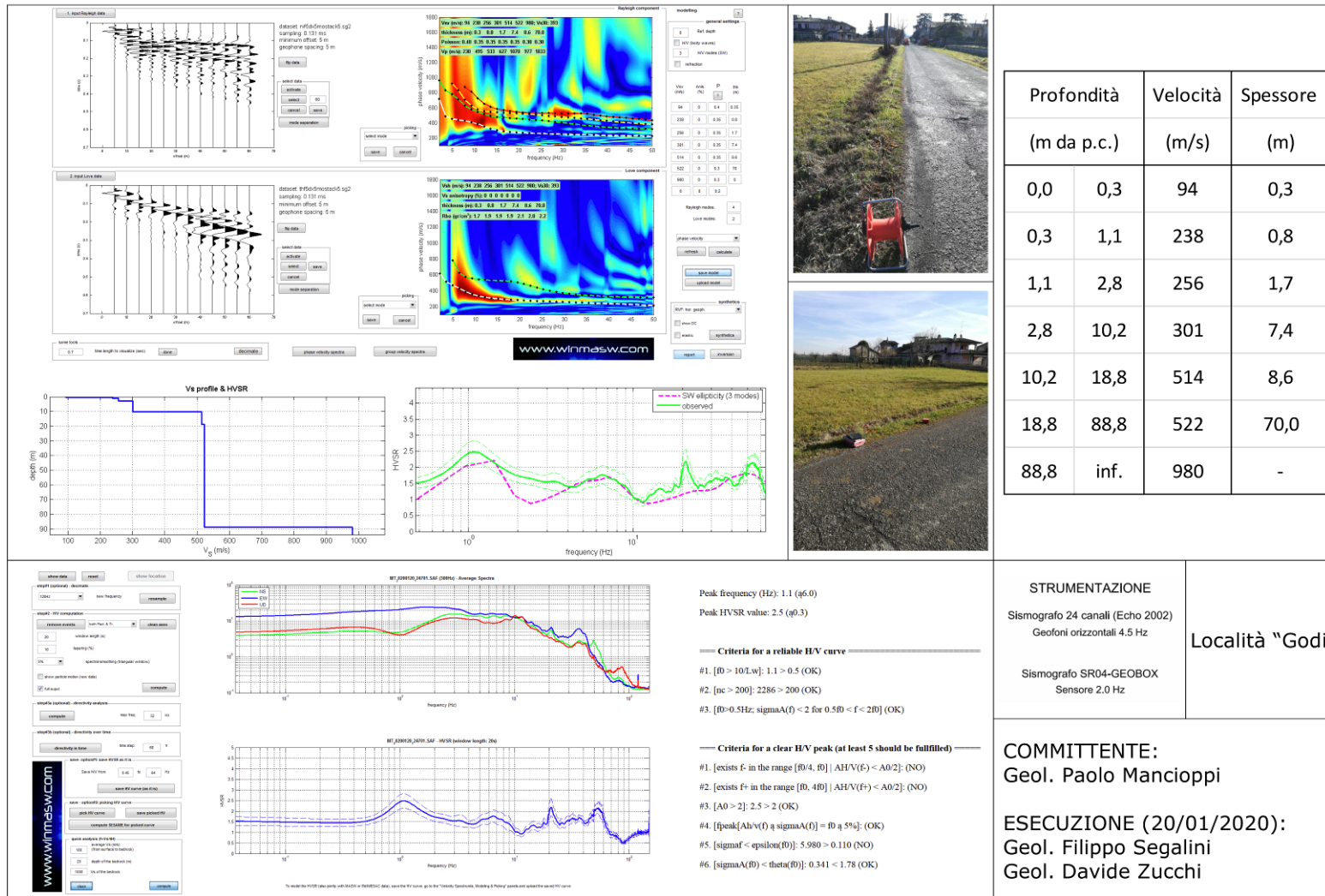
**STRUMENTAZIONE**  
 Sismografo 24 canali (Echo 2002)  
 Geofoni orizzontali 4.5 Hz  
 Sismografo SR04-GEOBOX  
 Sensore 2.0 Hz

Località  
 "Centovera"

**COMMITTENTE:**  
 Geol. Paolo Mancioppi  
**ESECUZIONE (20/01/2020):**  
 Geol. Filippo Segalini  
 Geol. Davide Zucchi

- Peak frequency (Hz): 1.1 (q3.8)  
 Peak HVSR value: 3.1 (q0.6)
- Criteria for a reliable HVV curve
- [B] > 10[Lw]: 1.1 > 0.5 (OK)
  - [bc > 200]: 2507 > 200 (OK)
  - [B > 0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5B < f < 2B] (OK)
- Criteria for a clear HVV peak (at least 5 should be fulfilled)
- [exists F- in the range [B/4, B]] | AHV(F-) < A0/2] (NO)
  - [exists F+ in the range [B, 4B]] | AHV(F+) < A0/2] yes, at frequency 2.5Hz (OK)
  - [A0 > 2]: 3.1 > 2 (OK)
  - [peak[AB^n(f) q sigmaA(f)] = B] q 5%] (NO)
  - [sigma1 < epsilon(B)]: 3.812 > 0.106 (NO)
  - [sigmaA(B) < theta(B)]: 0.554 < 1.78 (OK)

033040L4MASW4\_loc.Godi



033040L5MASW5\_ loc.San Damiano

Peak frequency (Hz): 1.0 (q3.8)  
Peak HVSR value: 2.6 (q0.6)

— Criteria for a reliable HV curve —

- #1. [R0 > 10L.w]: 1.0 > 0.5 (OK)
- #2. [ac > 200]: 2174 > 200 (OK)
- #3. [R0 > 0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5R0 < f < 2R0] (OK)

— Criteria for a clear HV peak (at least 5 should be fulfilled) —

- #1. [exists Fc in the range [R0.4, R0] AHV(Fc) < A0\*2]: (NO)
- #2. [exists Fc in the range [R0, 4R0] AHV(Fc) < A0\*2]: yes, at frequency 2.0Hz (OK)
- #3. [A0 > 2]: 2.6 > 2 (OK)
- #4. [peak(AHv(f)) & sigmaA(f)] = R0 & 5%]: (OK)
- #5. [sigmaA < epsilon(R0)]: 3.796 > 0.103 (NO)
- #6. [sigmaA(R0) < theta(R0)]: 0.634 < 1.78 (OK)

Profondità (m da p.c.)	Velocità (m/s)	Spessore (m)
0,0	2,1	176
2,1	3,9	428
3,9	6,8	365
6,8	14,2	405
14,2	26,8	442
26,8	86,8	486
86,8	inf.	870

STRUMENTAZIONE	Località "San Damiano"
Sismografo 24 canali (Echo 2002) Geofoni orizzontali 4.5 Hz	
Sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz	

**COMMITTENTE:**  
Geol. Paolo Mancioffi

**ESECUZIONE (20/01/2020):**  
Geol. Filippo Segalini  
Geol. Davide Zucchi





033040L7MASW7\_ loc.San Giorgio Piacentino

