

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna Comune di Borgonovo Val Tidone



Regione	Soggetto realizzatore	Data
EMILIA-ROMAGNA	Dott. Geol. Paolo Mancioppi <u>Collaboratori:</u> Dott. Geol. Filippo Segalini Dott. Geol. Gian Marco Veneziani	Maggio 2020

INDICE

1	Introduzione	4
2	Definizione della pericolosità sismica di base e degli eventi di riferimento	5
2.1	Zonazione sismogenetica	7
2.1.1	Le sorgenti sismogenetiche	8
2.2	Sismicità storica	10
3	Assetto geologico e geomorfologico	11
3.1	Tettonica e sedimentazione	11
3.2	Stratigrafia comunale	12
3.3	Assetto geomorfologico	13
4	Dati geotecnici e geofisici	14
4.1	Indagini geognostiche pregresse	15
4.2	Indagini geognostiche eseguite per la presente microzonazione sismica	15
4.2.1	Prove sismiche MASW+HVSr	15
4.2.2	Prove sismiche tipo HVSr	18
4.2.3	Prove penetrometriche CPT	19
5	Modello del sottosuolo	19
6	Interpretazioni ed incertezze	20
7	Metodologie di elaborazione e risultati	21
8	Elaborati cartografici	22
8.1	Carta delle indagini	22
8.2	Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica	22
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	23
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)	24
8.4.1	Sezione geologica	29
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	29
8.6	Carta di microzonazione sismica (livello 2)	30
8.7	Carta H _{SM} Scuotimento atteso al sito in valore assoluto	35
8.8	Commenti finali e criticità	36
9	Confronto della distribuzione dei danni degli eventi passati	36
10	Bibliografia	37
11	Allegati	38
11.1	Prove sismiche tipo Masw+HVSr	38
11.2	Prove sismiche tipo HVSr	55
11.3	Prove penetrometriche CPT	69
11.4	Sezione Geologica	74

ELENCO ELABORATI

- Carta delle indagini (scala 1:13.000)
 - Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica (scala 1:13.000)
 - Carta delle frequenze naturali dei terreni (scala 1:13.000)
 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS – Livello 1) (scala 1:13.000)
 - Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s) (scala 1:13.000)
 - Carta di microzonazione sismica (livello 2) (scala 1:13.000)
 - FA P.G.A
 - FA SA1 $0.1s \leq T \leq 0.5s$
 - FA SA1 $0.4s \leq T \leq 0.8s$
 - FA SA1 $0.7s \leq T \leq 1.1s$
 - FA SA1 $0.5s \leq T \leq 1.5s$
 - 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 1:13.000)
 - 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:

- Borgonovo Val Tidone
- Mottaziana
- Castelnovo Val Tidone
- Bilegno
- Fabbiano
- Corano

Il comune di Borgonovo Val Tidone confina con i seguenti comuni: Agazzano, Alta Val Nure, Castel San Giovanni, Gragnano Trebbiense, Pianello Val Tidone, Rottofreno, Sarmato e Ziano Piacentino.

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 Borgonovo Val Tidone 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 Borgonovo Val Tidone è pari a **0.096g**.

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

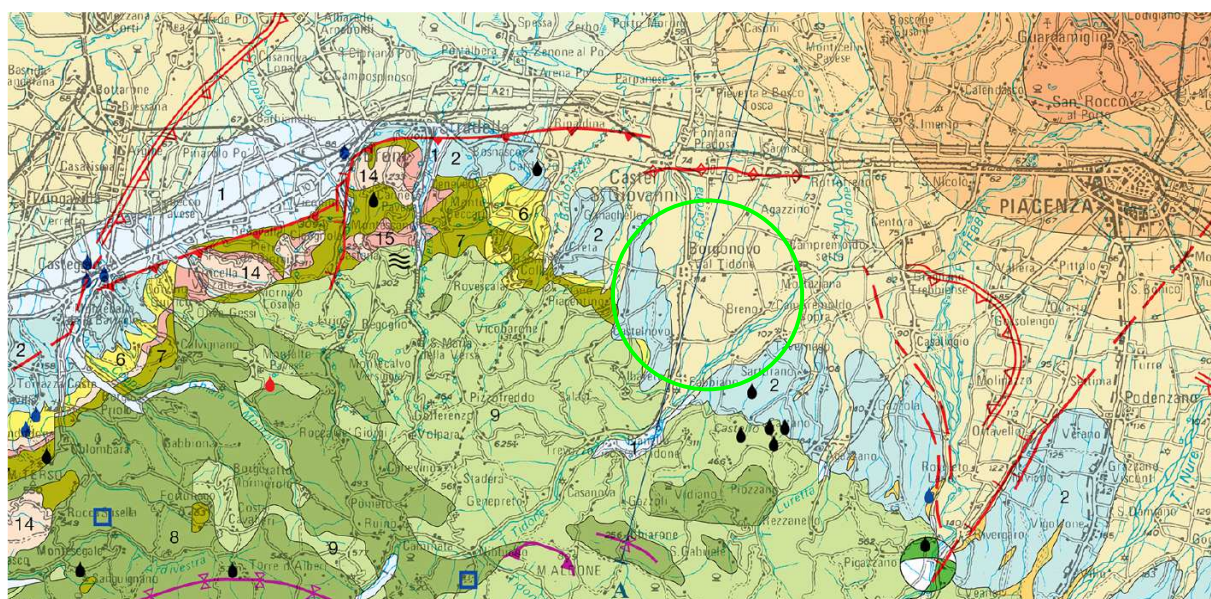
Il territorio comunale di Borgonovo Val Tidone si colloca nella media pianura piacentina, la rete idrica superficiale principale è costituita dal fiume T. Tidone. Altri corsi d'acqua minori sono i torrenti Torto, Marara, Carona e Corniolo. Esistono inoltre canali artificiali costruiti per interventi di miglioramento fondiario che costituiscono il drenaggio secondario.

I lineamenti morfologici che caratterizzano l'area comunale sono così determinati in principal modo dalla presenza della grande valle torrentizia, del T. Tidone; che scorre in direzione all'incirca Sudovest-Nordest e pressoché perpendicolare agli assi strutturali appenninici, per cui ne consegue una regolare distribuzione delle zone altimetriche in fasce degradanti verso Nord-Nordest. Per quanto riguarda le quote topografiche del territorio risultano comprese tra la quota 72 m s.l.m. presso la località Agazzino e la quota 320 m s.l.m. presso la località Casa Lami.

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

Il territorio del comune di Borgonovo Val Tidone (PC) è inserito in un contesto sismo-tettonico caratteristico del margine tra l'Appennino e la pianura padana.

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 ad est della porzione meridionale del territorio comunale (*“Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna” - 2017*).



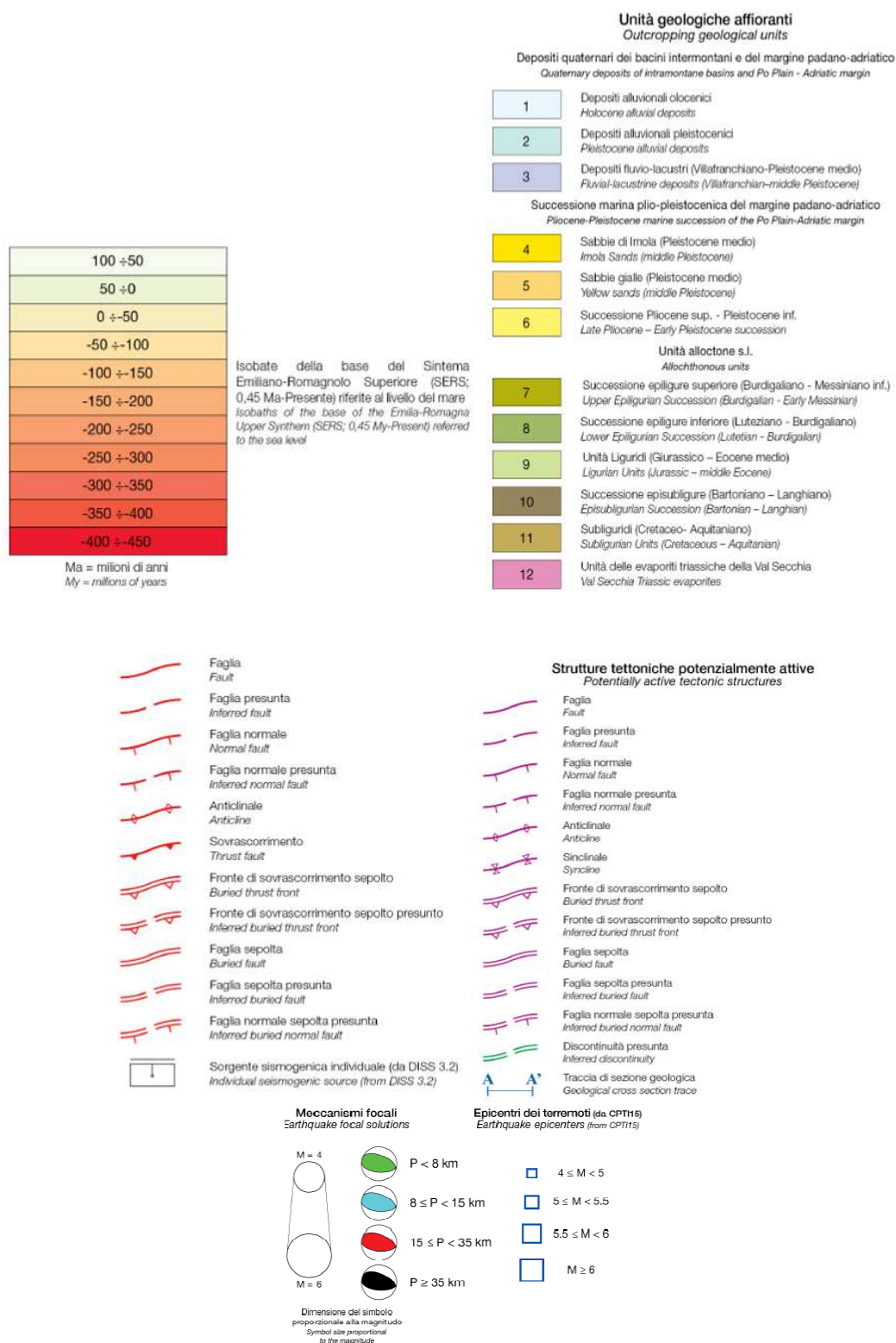


Figura 2.1. Estratto dalla “Carta Sismotettonica dell’Emilia Romagna e aree limitrofe” (2017) con indicazione del territorio comunale.

2.1 Zonazione sismogenetica

La zonazione sismogenetica rappresenta la traduzione operativa del modello sismotettonico: in particolare la nuova zonazione sismogenetica ZS9 “Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto conclusivo” pubblicata sul sito <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> (G.d L., 2004¹) è stata ottenuta partendo dalla zonizzazione ZS4 (Scandone e Stucchi, 1999), accorpendo 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 Borgonovo Val Tidone, nella nuova zonazione ZS9, ricade internamente alla zona sismogenetica **911** e nelle vicinanze 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 Borgonovo Val Tidone ricade in zona sismogenetica con

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

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

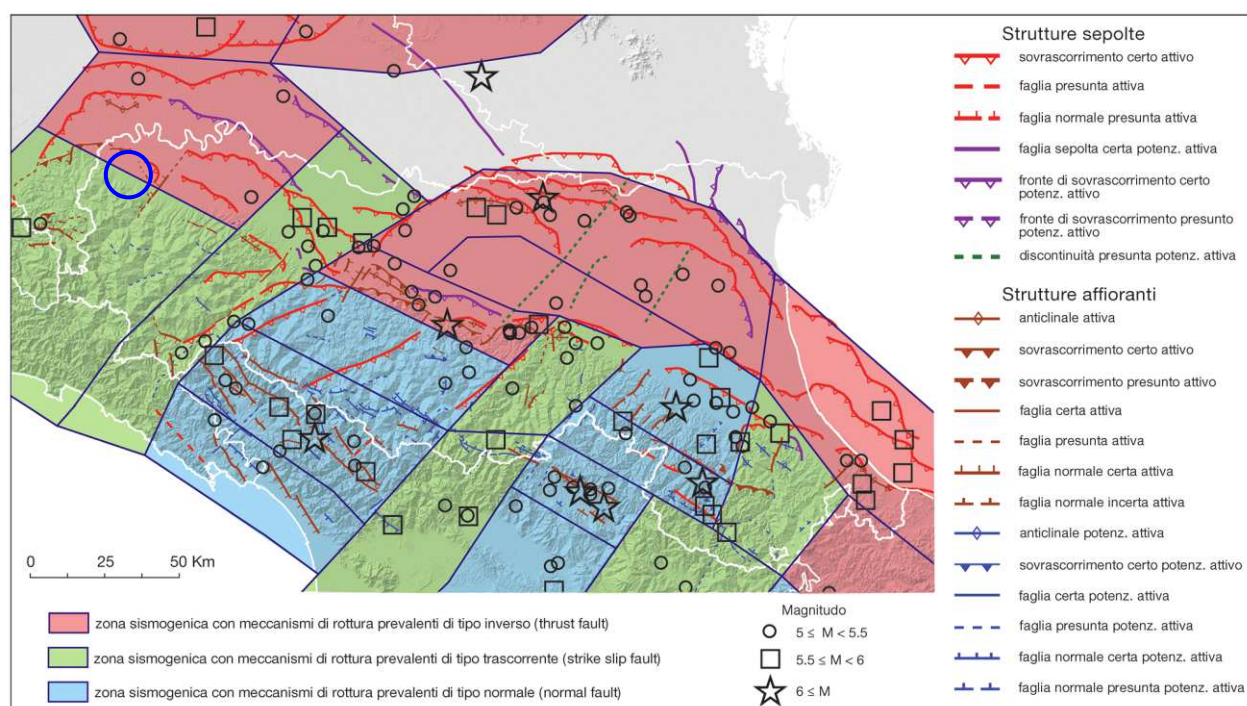


Figura 2.2. Mappa di confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute e la zonazione sismogenetica proposta da Martelli et al. (2017).

2.1.1 Le sorgenti sismogenetiche

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

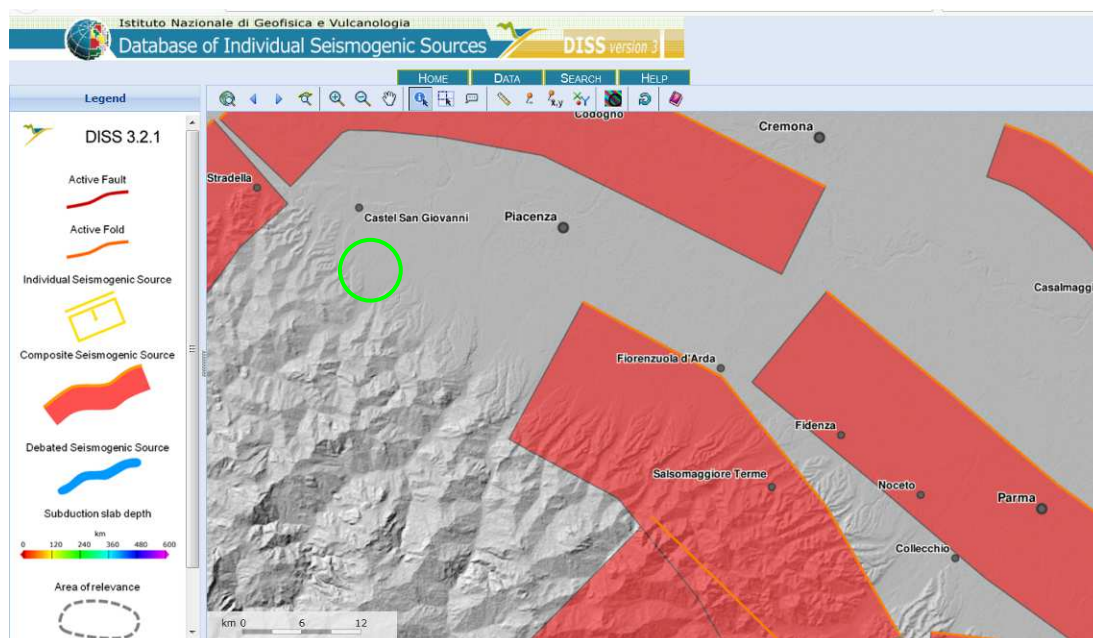


Figura 2.3. Mappa sorgenti sismogenetiche in cui si evidenzia la ITC5044_Portalbera-Cremona. In cerchiato verde il comune di Borgonovo Val Tidone.


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 non è nelle vicinanze di nessuna sorgente sismogenetica. Si riportano tuttavia le tre sorgenti più vicine: **ITCS044** “Portalbera - Cremona”, **ITCS009** “Busseto – Cavriago” e **ITCS045** “San Giorgio Piacentino – Fornovo di Taro”.

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

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES ?

[COMMENTARY](#) [PICTURES](#) [REFERENCES](#) [USER COMMENTS](#)

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS044
Name	Portalbera-Cremona
Compiler(s)	Burrato P.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), D'Ambrogi C.(2), Maesano F.E.(1), Toscani G.(3)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy 3) Universit� di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italy
Created	17-Oct-2013
Updated	19-Jun-2015
Display map ...	
Related sources	


PARAMETRIC INFORMATION

	PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	7.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	30...115	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.48...0.54	OD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Max Magnitude [Mw]	5.5	EJ	Assumed from regional seismological data.

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES ?

[COMMENTARY](#) [PICTURES](#) [REFERENCES](#) [USER COMMENTS](#)

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS009
Name	Busseto-Caviagio
Compiler(s)	Burrato P.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), D'Ambrogi C.(2), Maesano F.E.(1), Toscani G.(3)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy 3) Universit� di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italy
Created	17-Oct-2013
Updated	19-Jun-2015
Display map ...	
Related sources	

PARAMETRIC INFORMATION

	PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	8.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	120...140	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	90...120	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.16...0.53	OD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Max Magnitude [Mw]	5.6	LD	Derived from the strongest earthquake occurred in the region.

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES ?

[COMMENTARY](#) [PICTURES](#) [REFERENCES](#) [USER COMMENTS](#)

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS009
Name	Busseto-Cavriago
Compiler(s)	Burrato P.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), D'Ambrogi C.(2), Maesano F.E.(1), Toscani G.(3)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy 3) Universit di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italy
Created	17-Oct-2013
Updated	19-Jun-2015
Display map ...	
Related sources	

PARAMETRIC INFORMATION

	PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	8.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	120...140	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	90...120	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.16...0.53	OD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Max Magnitude [Mw]	5.6	LD	Derived from the strongest earthquake occurred in the region.

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Database of Individual Seismogenic Sources

DISS version 3

User: Guest | [Login](#)

[HOME](#)

[MAP](#)

[SEARCH](#)

[HELP](#)

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES

[COMMENTARY](#)

[PICTURES](#)

[REFERENCES](#)

[USER COMMENTS](#)

GENERAL INFORMATION

DISS-ID ITCS045

Name San Giorgio Piacentino-Fornovo di Taro

Compiler(s) Burrato P.(1)

Contributor(s) Burrato P.(1), Basili R.(1)

Affiliation(s) 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy

Created 08-Jan-2005

Updated 26-Jun-2015

Display map ...

Related sources

PARAMETRIC INFORMATION

	PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	10.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	110...150	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from regional geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.24...0.63	EJ	Inferred from geological data by Ponza et al. (2010) and Gunderson et al. (2013)
Max Magnitude [Mw]	5.5	EJ	Assumed from regional seismological data.

BY NC SA

GEOLOGICAL
GEOPHYSICAL
SOURCES

INDIVIDUAL
SEISMOGENIC
SOURCES

COMPOSITE
SEISMOGENIC
SOURCES

DEBATED
SEISMOGENIC
SOURCES

SUBDUCTION ZONES

USER COMMENTS

2.2 Sismicità storica

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

Sono stati consultati i seguenti cataloghi:

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

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

Dall'interrogazione del "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015" CPTI15-DBMI15 – relase 1.5 consultabile liberamente all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15> per un intorno significativo della sede del Municipio (un raggio di 50 Km con centro lat. **45.016** e long. **9.444**) sono stati identificati **490** eventi significativi dei quali si riporta l'ubicazione nella figura seguente; gli eventi principali presentano una Intensità massima I_{max} pari a 8, ubicati a Piacenza, Cremona, Gaminella (PV) e San Paolo (PV).

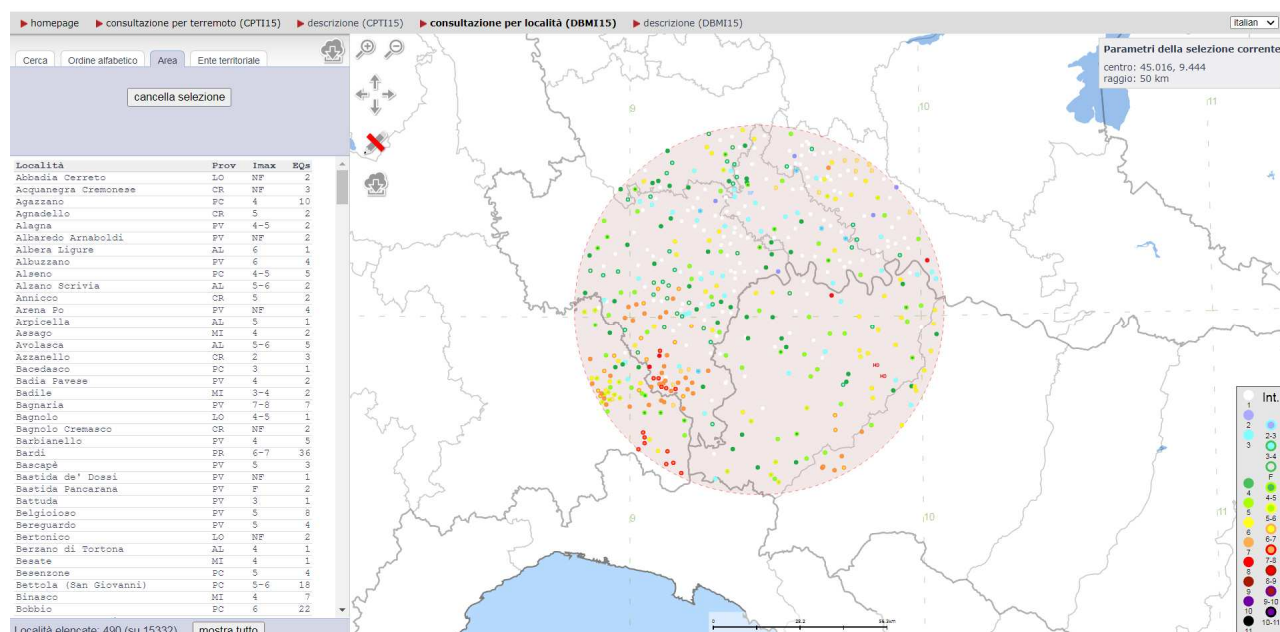
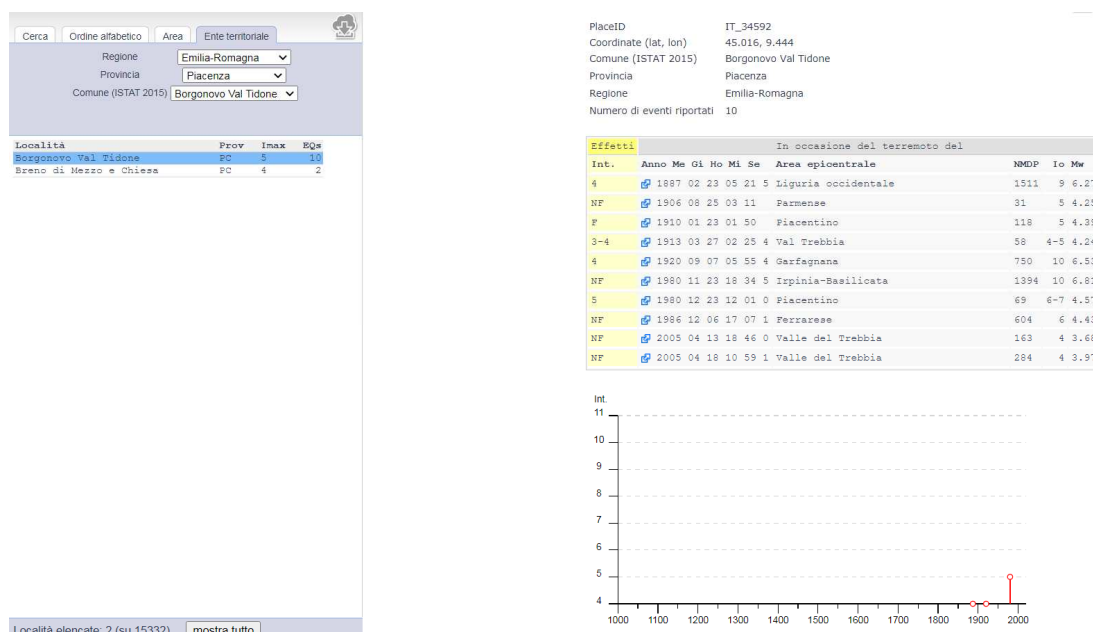


Tabella 2.1. Estratto dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani, terremoti con epicentro compreso in un raggio di 50Km dal centro abitato di Borgono Val Tidone.

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



In sintesi si segnalano in particolare il terremoto del 23/02/1887 di magnitudo 6.27 con epicentro nella Liguria Occidentale, il terremoto del 23/11/1980 di magnitudo 6.81 con epicentro in Irpinia-Basilicata e il terremoto del 07/09/1920 di magnitudo 6.53 con epicentro in Garfagnana.

3 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 Tettonica e sedimentazione

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

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

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

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

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

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

a. "depositi alluvionali attuali" del letto ordinario dei corsi d'acqua: coincidenti con le aree occupate

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

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

c. "unità liguridi", unità affioranti in un'area ristretta del territorio comunale (essenzialmente a sud nei dintorni di Corano) e costituiscono il settore più esterno dell'edificio strutturale dell'Appennino Settentrionale e vengono indicate in letteratura come "Liguridi Esterne" del versante padano; tutte queste unità geologiche sono di origine interamente alloctona e sono costituite in prevalenza da sedimenti torbiditici di fossa (Flysch di M.Cassio, di Bettola, di Farini d'Olmo, Formazione della Val Luretta, Arenarie di Scabiazza ecc.), i cui materiali derivano dallo smantellamento dei margini sovrascorrenti in sollevamento durante la fase di convergenza delle placche.

3.2 Stratigrafia comunale

Dal punto di vista geolitologico il territorio del Comune di Borgonovo Val Tidone si estende entro la fascia della medio – 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 quasi esclusivamente alluvionale, sono il risultato dell'azione di deposizione ed erosione dei tre principali corsi d'acqua: Torrenti Tidone e Carona. Di tutte le unità affioranti nell'ambito della Pianura Padana le seguenti sono presenti nel Comune di Borgonovo Val Tidone:

· **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.

. **AES2 – Subsistema di Maiatico:** Ghiaie e ghiaie sabbiose prevalenti, localmente cementate: depositi alluvionali intravallivi e di conoide ghiaiosa; limi argillosi e sabbie con subordinati livelli di ghiaie: depositi di interconoide. I depositi intravallivi delle valli del Torrente Nure e del Fiume Trebbia 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. Lo spessore è variabile da alcuni metri a 30-40 metri.

. **i2_Conoide torrentizia inattiva:** depositi alluvionali, prevalentemente ghiaiosi, a forma di ventaglio aperto verso valle, in corrispondenza dello sbocco di valli e vallette trasversali ai corsi d'acqua principali ove la diminuzione di pendenza provoca la sedimentazione del materiale trasportato dall'acqua, attualmente non soggetti ad evoluzione.

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

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

. **VLU2_Formazione della Val Luretta – Membro di Montevaroto:** rocce costituite da alternanze tra livelli lapidei (arenarie cementate, calcareniti e calcilutiti) e livelli pelitici (marne), con rapporto tra livelli lapidei e livelli pelitici $3 > L/P > 1/3$.

3.3 Assetto geomorfologico

Nel territorio comunale di Borgovo Val Tidone sono rappresentate quasi tutte le fasce altimetriche più significative della Regione Emilia-Romagna, partendo dalla media pianura per giungere ai rilievi collinari, anche se questi ultimi non raggiungono quote particolarmente elevate. Il raccordo tra la pianura e i rilievi si sviluppa attraverso un articolato sistema di terrazzi caratteristici; la conformazione generale del paesaggio fisico collinare rispecchia la disposizione delle successioni rocciose, la loro natura litologica e la struttura geologica che ne costituiscono l'ossatura.

In termini fisiografici, pertanto, appare piuttosto immediata la distinzione tra due fasce con caratteristiche geomorfologiche peculiari, chiaramente distinguibili da nord verso sud:

- la fascia dei terrazzi e della pianura;
- la fascia di collina.

LA FASCIA DEI TERRAZZI E LA PIANURA

Si tratta della zona corrispondente al margine meridionale della Pianura Padana, di transizione con il margine settentrionale dell'Appennino, e comprendente i grandi ripiani terrazzati, impostati sui depositi alluvionali più antichi e/o nei sedimenti marini recenti, e le aree alluvionali dei corsi d'acqua (T. Tidone e T. Carona). Alla macroscale, la fascia dei terrazzi antichi e della pianura tardo pleistocenica-olocenica è il

risultato di ripiani morfologici sovrapposti, di altezza variabile, dovuti ad una successione spazio-temporale di episodi di alterna erosione e sedimentazione dei corsi d'acqua principali, i quali hanno rappresentato i principali agenti morfogenetici quaternari in grado di modificare attraverso l'erosione, il trasporto e la deposizione, i caratteri originari del territorio.

Sono state dunque distinte le seguenti unità morfologiche (dalla più bassa e più recente):

- Gli alvei incisi dei principali corsi d'acqua (T. Tidone e T. Luretta), interessati dal deflusso in condizioni di piena ordinaria e costituiti dalle forme (alvei di magra, isole, barre ecc.) e dai depositi alluvionali soggetti a rapide modifiche e/o rimaneggiamenti (Olocene sup.).
- Il sistema di terrazzi sospesi sull'alveo attivo dei principali corsi d'acqua e costituito da depositi alluvionali recenti, occasionalmente occupati dal deflusso delle acque durante le piene eccezionali (Pleistocene sup. - Olocene).
- Le superfici terrazzate ai margini dei principali conoidi alluvionali (generalmente non più interessati dalla dinamica morfologica), interdigitati con i ripiani di fondovalle del reticolo secondario (Pleistocene sup. - Olocene).
- I ripiani di fondovalle del reticolo secondario (Pleistocene sup. - Olocene).
- Il sistema di ripiani e scarpate modellati nei depositi quaternari antichi, derivante da un progressivo ringiovanimento del rilievo e dal conseguente infossamento del reticolo idrografico (Pleistocene medio). I sistemi terrazzati più antichi si sono formati per coalescenza delle conoidi alluvionali depositate dai vari corsi d'acqua provenienti dall'Appennino, i quali hanno prodotto in origine una superficie sostanzialmente unitaria e uniforme. Successivamente, a seguito di variazioni climatiche, di fenomeni di sollevamento dell'area e del conseguente ringiovanimento del sistema idrografico sviluppatosi in più fasi nel corso del Quaternario, le superfici originarie sono state suddivise e smembrate anche ad opera dei corsi d'acqua minori, sino a formare una serie di costoni digitati a sommità più o meno regolari, di forma variabile ed immergenti verso NNE. L'elemento morfologico più caratteristico di questa zona, infatti, è costituito da uniformi e piatte superfici topografiche immergenti verso la pianura, che presentano scarpate laterali di erosione fluviale con altezza che diminuisce progressivamente da monte verso valle e che si raccordano verso settentrione in modo complessivamente regolare. Si riconoscono tuttavia vari ordini di ripiani, associabili a più fasi di ringiovanimento succedutesi nel corso del Quaternario. Verso N, i ripiani dei depositi alluvionali antichi e medi si immergono al di sotto delle unità alluvionali più recenti che costituiscono la pianura vera e propria, solcata dai corsi d'acqua che assumono il caratteristico andamento a canali intrecciati (T. Tidone)

LA COLLINA

Si tratta dei rilievi modellati nelle unità pre-quaternarie, la cui conformazione è caratterizzata da lunghi versanti irregolari, ai quali si alternano crinali e incisioni del reticolo secondario con forme legate frequentemente a una dinamica gravitativa. Il paesaggio collinare è modellato in terreni scarsamente selettivi nei confronti dei processi erosivi, come la Formazione di Val Luretta (qui rappresentata completamente dal membro di Monteventano); tale fatto porta a forme generalmente addolcite dei rilievi, dovute alla litologia a predominante componente argillosa. Il paesaggio risulta caratterizzato da una successione di forme arrotondate, sulle quali il paesaggio agrario si è frequentemente sovrapposto. Si tratta di aree interessate da fenomeni diffusi di dissesto idrogeologico, dovuti principalmente alla presenza di argille plastiche che interagiscono con le acque superficiali e/o di infiltrazione.

4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

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

4.1 Indagini geognostiche pregresse

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

Abbastanza numerose sono risultate le prove penetrometriche statiche [36], poche quelle dinamiche [7]. La stratigrafia del territorio è stata inoltre indagata da 36 pozzi per acqua, da 10 sondaggi a carotaggio continuo, di cui 4 attrezzati con piezometri. Abbastanza numerose sono risultate le indagini geofisiche, tra cui, 11 prove sismiche multicanale basate su onde di superficie (tipo MASW) e 17 prove a stazione singola (tipo HVSr), molte delle quali concentrate nel capoluogo Borgonovo Val Tidone.

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 1 prova sismica a stazione singola (HVSr) e 6 sismiche tipo MASW + HVSr. Inoltre, sono state eseguite sul territorio comunale altre 5 prove penetrometriche. Per tutte le indagini eseguite sono riportati in allegato i rapporti di prova.

4.2.1 Prove sismiche MASW+HVSr

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

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

La 6 prove Masw+HVSr sono state eseguite rispettivamente nei pressi degli abitati di:

- Borgonovo Val Tidone
- Mottaziana
- Castelnova Val Tidone
- Bilegno
- Fabbiano
- Corano

Castelnovo Val Tidone

Il valore di V_{S30} calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSr è risultato pari a 349 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di V_s registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

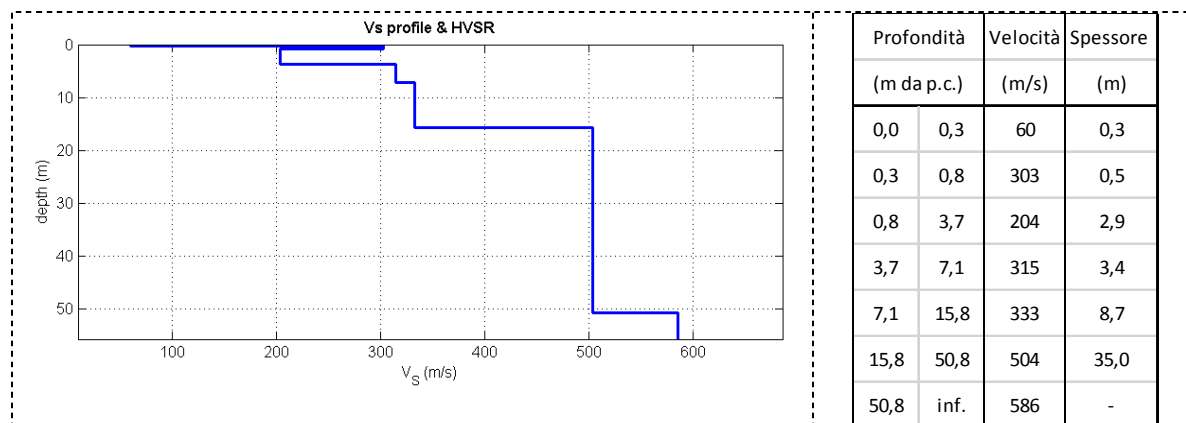


Figura 4.1. Profilo di V_s ricavato dalla prova MASW+HVSr e valori di V_s .

Mottaziana

Il valore di V_{S30} calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSr è risultato pari a 282 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di V_s registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

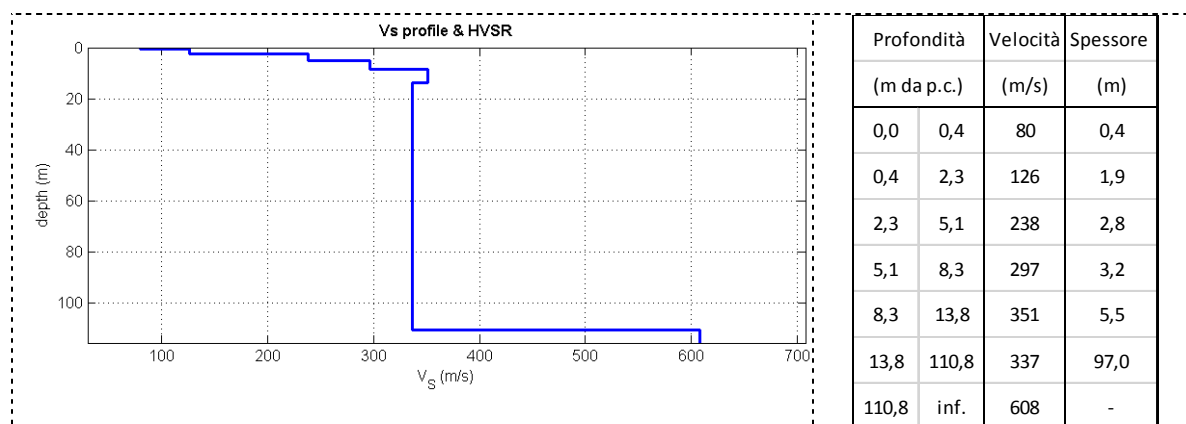


Figura 4.2. Profilo di V_s ricavato dalla prova MASW+HVSr e valori di V_s .

Fabbiano

Il valore di V_{S30} 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 V_s registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

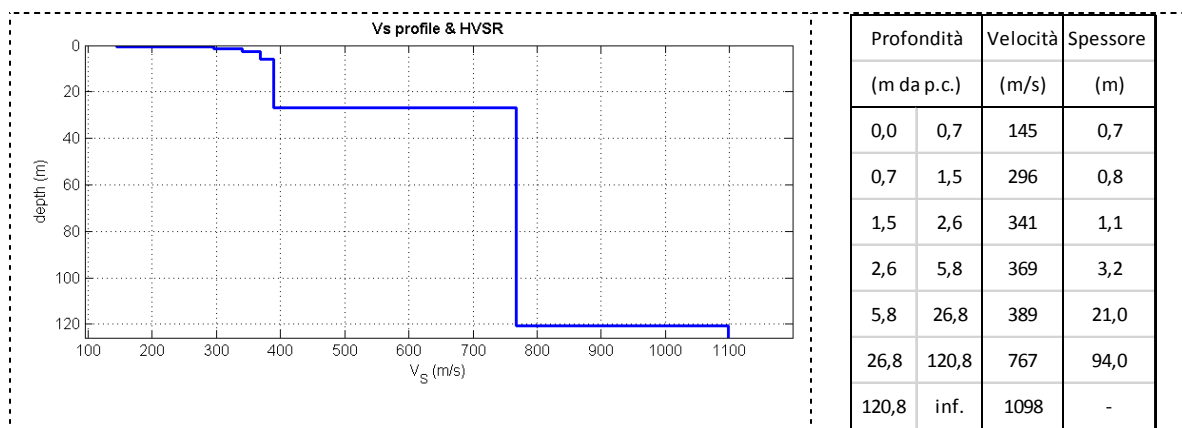


Figura 4.3. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSr e valori di Vs.

Borgonovo Val Tidone

Il valore di V_{s30} calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSr è risultato pari a 286 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.

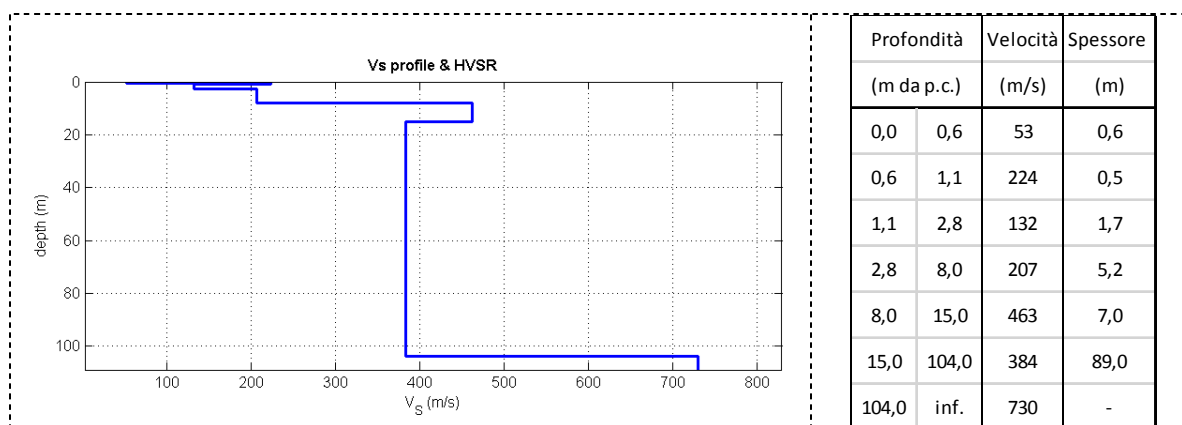


Figura 4.4. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSr e valori di Vs.

Corano

Il valore di V_{s30} calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSr è risultato pari a 406 m/s. Nella figura seguente si riportano i valori di Vs registrati alle differenti profondità ed il profilo verticale delle velocità; in allegato si riportano alcuni cenni sulle metodologie utilizzate e le elaborazioni complete dei dati ottenuti.

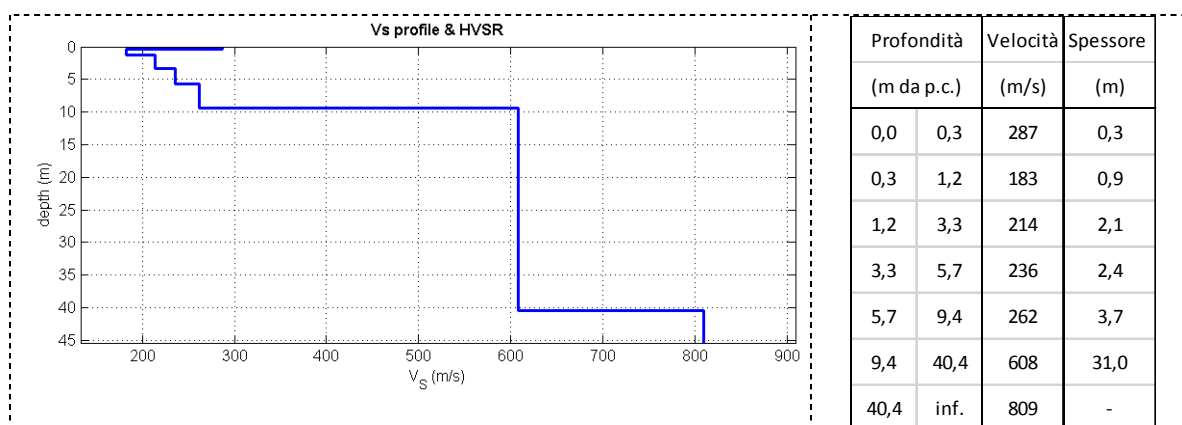


Figura 4.5. Profilo di Vs ricavato dalla prova MASW+HVSr e valori di Vs.

Bilegno

Il valore di V_{s30} calcolato al piano campagna sulla base dell'analisi congiunta MASW+HVSr è risultato pari a 295 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.

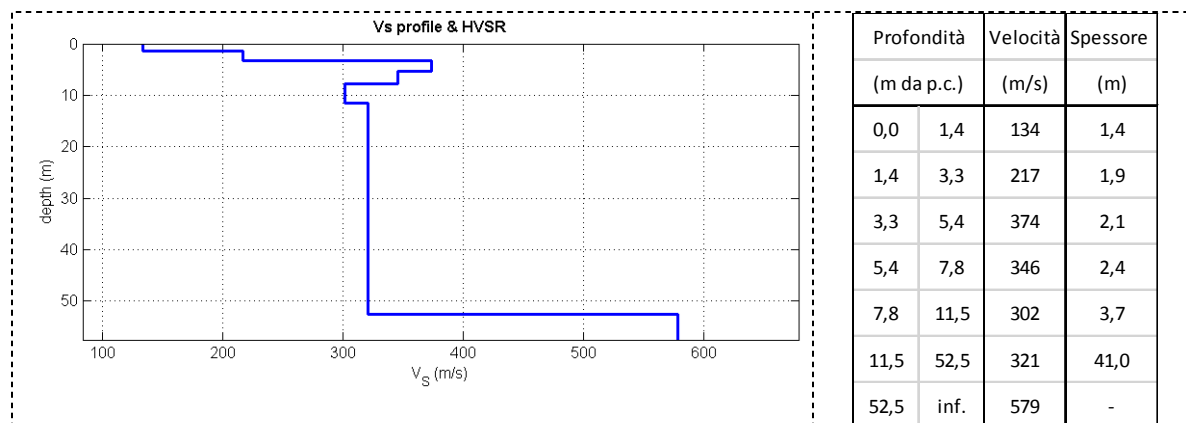


Figura 4.6. Profilo di V_s ricavato dalla prova MASW+HVSr e valori di V_s .

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 lisciamento con finestra triangolare con ampiezze 5-10%.

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

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

ID_INDPU	Data	F_0	Ampiezza	Altri picchi significativi	Località
033006P112	i2 – conoide ghiaiosa	-	-	-	Castelnovo Val Tidone
033006P113	AES8 – Ghiaia sabbiosa	9.5	2.7	-	Mottaziana
033006P114	AES7b – Sabbia limo argillosa	-	-	1.1	Fabbiano
033006P115	AES7a – Limo	7.6	2.4	-	Borgonovo Val Tidone
033006P116	VLU2_ Formazione della Val Luretta	6.4	2.6	-	Corano

<i>ID_INDP</i>	<i>Data</i>	<i>F₀</i>	<i>Ampiezza</i>	<i>Altri picchi significativi</i>	<i>Località</i>
033006P117	AES8 – Ghiaia sabbiosa	-	-	15.1	Bilegno
033006P118	AES2 – limo argilloso	-	-	-	Castelnovo Val Tidone

4.2.3 Prove penetrometriche CPT

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

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

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

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

<i>ID_INDP</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>Località</i>
033018P107	8,6	Borgonovo Val Tidone
033018P108	9,0	Borgonovo Val Tidone
033018P109	3,8	Mottaziana
033018P110	5,6	Borgonovo Val Tidone
033018P111	5,0	Borgonovo Val Tidone

5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il comune di Borgonovo Val Tidone, come descritto nei capitoli precedenti, è caratterizzato dalla presenza di due fasce con caratteristiche geomorfologiche peculiari, chiaramente distinguibili da nord verso sud:

- la fascia dei terrazzi e della pianura, caratterizzata dalla presenza di sedimenti alluvionali costituiti da ghiaie, argille, limi con intercalazioni sabbiose appartenenti al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore. Fanno parte di questa categoria gli abitati di Borgonovo Val Tidone, Mottaziana e Bilegno;
- la fascia di collina, caratterizzata da:
 1. coperture di tipo alluvionale (come nei centri di Castelnovo Val Tidone e Fabbiano), sovrastanti depositi di origine marina appartenenti al Sintema di Costamezzana;
 2. coltri di alterazione del substrato roccioso appartenente alla Formazione di Val Luretta (abitato di Corano);

Le unità del Sintema Emiliano-Romagnolo sono litologicamente contraddistinte dalla presenza di sedimenti alluvionali intercalati la cui distribuzione risulta legata, e spesso limitata, a canali torrentizi, che rendono impossibili uno schema preciso dei rapporti stratigrafici in quanto sono presenti repentine variazioni litologiche laterali e verticali. Il substrato marino nella porzione di territorio appartenente alla pianura è dunque ricoperto dalle unità del Sintema Emiliano-Romagnolo (superiore e/o inferiore). Il passaggio tra Subsintema Emiliano Superiore (AES) e quello inferiore (AEI), ove presente, è indicato invece a profondità di circa 50-60 metri slm, in accordo con la nuova “*Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e aree limitrofe*” (Regione Emilia-Romagna, 2017) di cui si riporta un estratto nella figura successiva.

Nella “Sezione Geologica”, realizzata correlando i dati contenuti nella pubblicazione “*Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di G. Di Dio. S.E.L.C.A. (Firenze), Regione Emilia-*

Romagna, ENI-AGIP (1998)”, sono schematizzate le principali unità geologiche e si evidenzia come il substrato marino sia presente nel territorio analizzato a quote di comprese tra circa 60 e 100 metri di profondità.

Nel complesso, considerando i dati raccolti, la fascia di pianura in cui ricadono i centri di Borgonovo Val Tidone, Mottaziana e Bilegno, è caratterizzata dalla presenza di una coltre di depositi alluvionali intercalati, poggianti, a profondità normalmente comprese tra circa 60 e 100 m, su depositi di origine marina.

Le porzioni territoriali che interessano invece gli abitati di Fabbiano, Castelnovo Val Tidone e Corano sono caratterizzate invece da coltri superficiali aventi spessori rispettivamente variabili tra 10 e 11 m, tra 8 e 16 metri, tra 7.5 e 12.5 metri, poggianti su su substrato di origine marina.

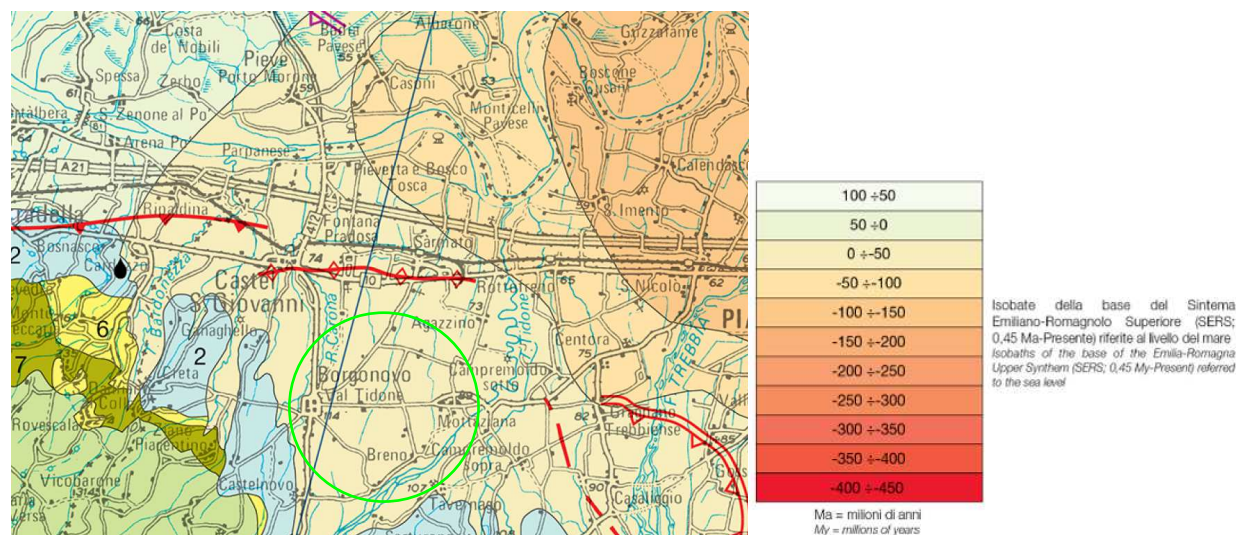


Figura 5.1. Estratto Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e isobate della base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore, in verde il territorio comunale di Borgonovo Val Tidone.

6 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

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

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

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

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

A fronte dell'assetto litostratimetrico descritto, le indagini relative ai microtremori effettuate sono sempre state interpretate cercando di individuare ove possibile, nelle curve H/V, dei picchi proprio dove le indagini geognostiche indicavano il passaggio tra i depositi coesivi e quelli ghiaiosi o del substrato roccioso, ove presente.

Quanto ai criteri delle linee guida SESAME 2005 relativi alla "chiarezza" del picco di possibile risonanza, in alcuni casi non risultano soddisfatti per i motivi di incertezza di cui si è scritto in parte nel paragrafo 5.

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 litostratimetriche.

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

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati:

Carta delle velocità delle onde di taglio S: carte in cui sono 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). Le carte SA4 e SI3 sono state elaborate per i centri abitati di Borgonovo Val Tidone, Bilegno e Mottaziana, siti in cui lo spessore dei terreni alluvionali al di sopra dei depositi marini è piuttosto ingente.

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 Borgonovo Val Tidone 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:

- ✓ 41 prove penetrometriche statiche, *di cui 5 eseguite per il presente lavoro*,
- ✓ 7 prove penetrometriche dinamiche,
- ✓ 36 pozzi per acqua,
- ✓ 10 sondaggi a carotaggio continuo di cui 4 attrezzati con piezometri,
- ✓ 17 prove sismiche a stazione singola HVSR, *di cui 7 eseguite per il presente lavoro*,
- ✓ 15 prove sismiche multicanale basate su onde di superficie, *di cui 5 realizzate per questo lavoro*,
- ✓ 6 stratigrafie tipo della microzona sismica.

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

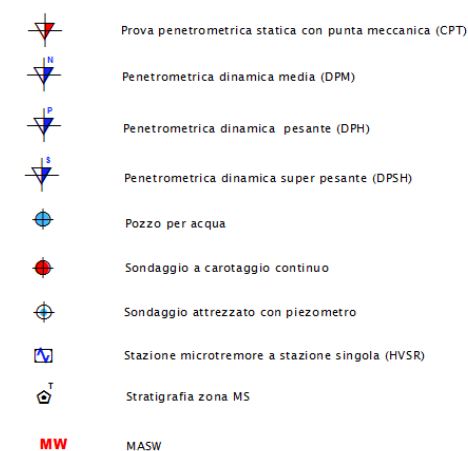


Figura 8.1. Legenda Carta delle Indagini.

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 Carte 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:

GCpi – Ghiaie argillose, sabbia e argilla - Depositi di piana: è cartografata lungo una fascia estesa nella porzione più occidentale. Comprendono gli abitati di Mottaziana, Bilegno, Fabbiano e la parte occidentale della frazione di Castelnovo Val Tidone.

OLTf – Limi e argille limose di bassa plasticità - Depositi di terrazzo fluviale: sono cartografate lungo un'estesa fascia nella porzione centro orientale del territorio comunale. Comprende l'abitato di Borgonovo Val Tidone e parte di Castelnovo Val Tidone.

SCpi – Sabbie argillose - Depositi di piana inondabile; sono cartografate in una fascia molto ristretta lungo il bordo orientale del territorio comunale.

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

pi – piana alluvionale

La parte collinare del territorio comunale evidenzia anche la presenza del substrato geologico, in carta così classificato:

- ALS - Alternanza di litotipi stratificati di tipo flyshoide (Formazione della Val Luretta – Membro di Mopnteventano)
- AL – Alternanza di litotipi (Marne di Antognola)
- GRS – Substrato stratificato granulare, quali le areniti del Sistema di Costamezzana (CMZ)

Infine, nella Carta geologico tecnica sono stati riportati:

- la profondità in metri della falda;
- la traccia della sezione geologica rappresentativa del modello di sottosuolo,
- i pozzi, rappresentativi del livello freaticometrico in depositi sabbiosi o ghiaiosi,
- i sondaggi che hanno intercettato il substrato geologico,
- i sondaggi che non hanno intercettato il substrato,
- le forme di superficie e sepolte,
- i depositi franosi, suddivisi per tipologia.







8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

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

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

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

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)
	$1,5 \leq HVSR < 2$	$2 \leq HVSR \leq 3$	$HVSR > 3$	
$F_0 \leq 0,6$				> 200
$0,6 < F_0 \leq 1$				$200 - 100$
$1 < F_0 \leq 2$				$100 - 30$
$2 < F_0 \leq 8$				$30 - 10$
$F_0 > 8$				< 10
assenza di picchi 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, ove presenti picchi litologici, compresa tra 2 e 3 indicando che la differenza di velocità tra i diversi depositi è abbastanza marcata, come logica conseguenza delle caratteristiche dei terreni costituenti il sedime all'interno del territorio comunale.

Dalle prove eseguite il territorio comunale risulta caratterizzato da misurazioni $HVSR$ aventi picchi litologici a frequenze variabili, con presenza di importanti riflettori: a Borgonovo Val Tidone e Mottaziana segnalano il passaggio dai sedimenti fini superficiali alle ghiaie, mentre a Corano si rileva il passaggio dalla coltre d'alterazione della Formazione della Val Luretta al substrato roccioso.

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:

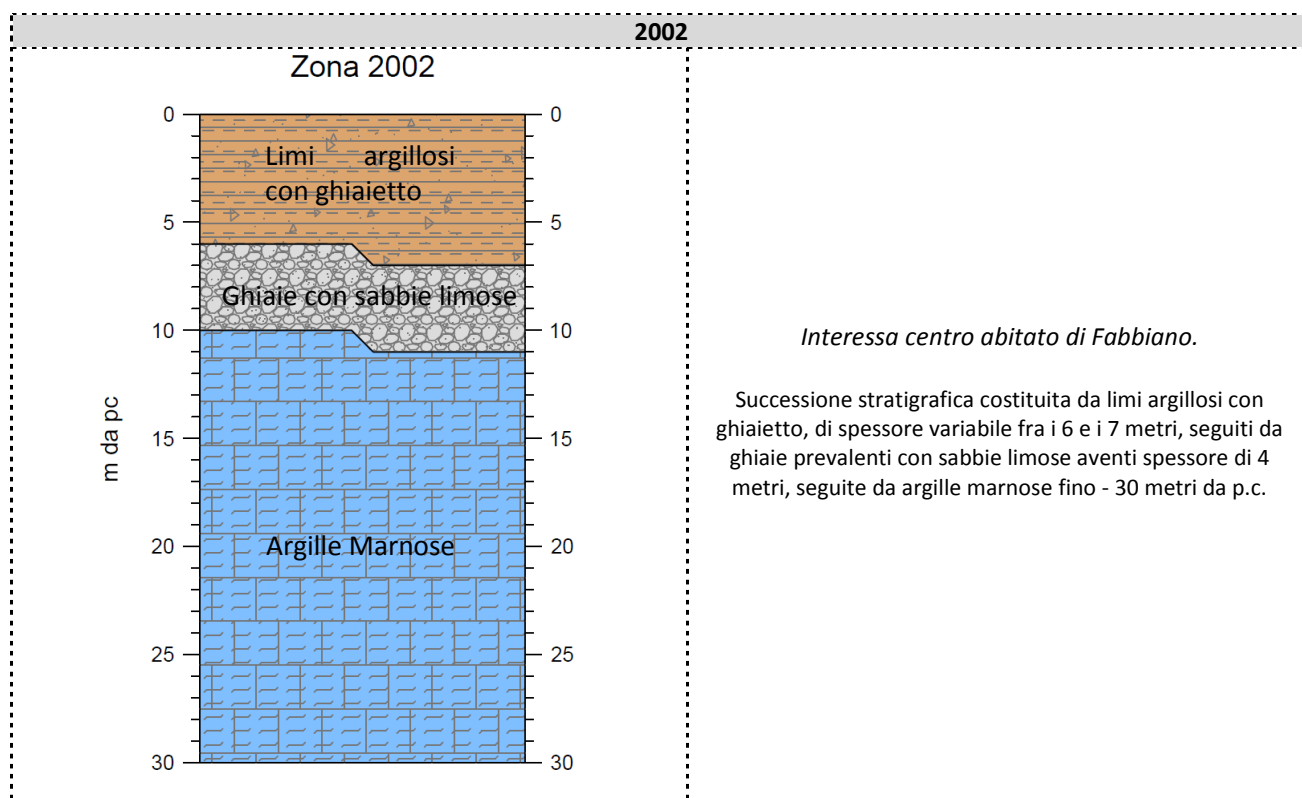
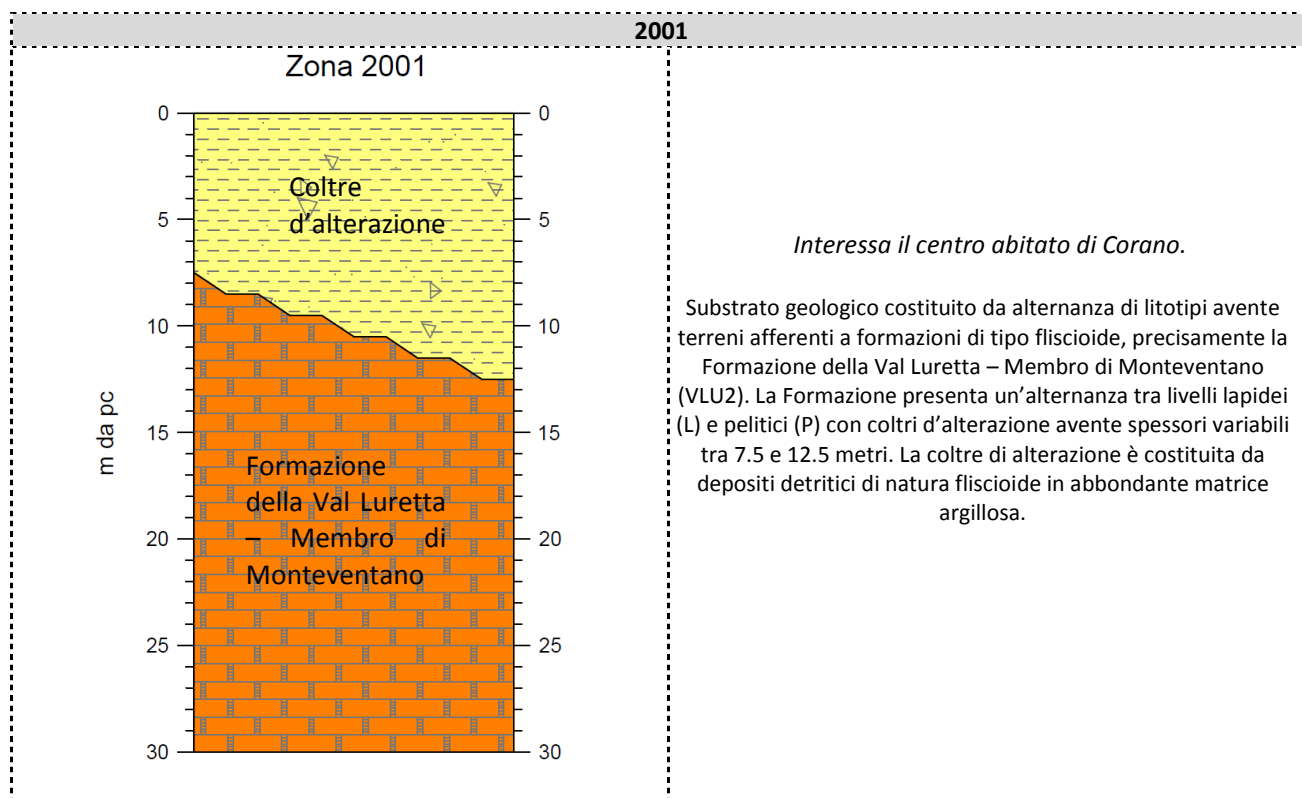
- 1. zone stabili.** Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti. Questa categoria non è presente sul territorio del Comune di Borgonovo Val Tidone.
- 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. Queste categorie sono presenti sul territorio del Comune di Borgonovo Val Tidone.
- 3. zone di attenzione per instabilità.** Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali liquefazioni e densificazione. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello. Questa categoria non è presente sul territorio del Comune di Borgonovo Val Tidone.

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 6 microzone omogenee, ciascuna con un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 30 m di sottosuolo.

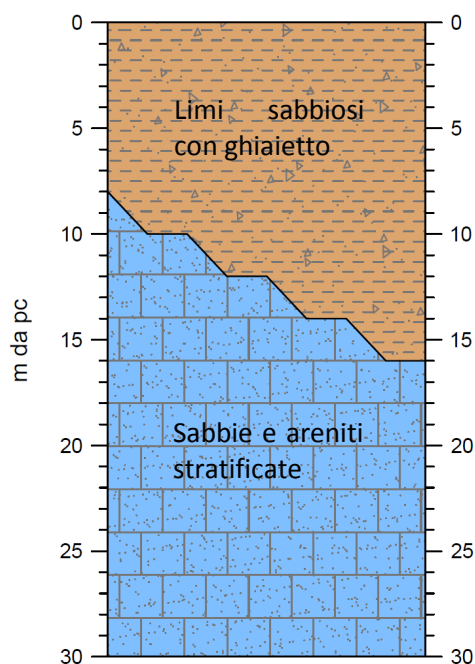
<i>Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali</i>			
<i>Zona n°</i>	<i>Località</i>	<i>Successione stratigrafica</i>	<i>Descrizione</i>
1	Corano	2001	Substrato geologico costituito da alternanza di litotipi avente terreni afferenti a formazioni di tipo flyshoide, precisamente la Formazione della Val Luretta – Membro di Monteventano (VLU2). La Formazione presenta un'alternanza tra livelli lapidei (L) e pelitici (P) con coltri d'alterazione avente spessori variabili tra 7.5 e 12.5 metri. La coltre di alterazione è costituita da depositi detritici di natura fliscioide in abbondante matrice argillosa.
2	Fabbiano	2002	Successione stratigrafica costituita da limi argillosi con ghiaietto, di spessore variabile fra i 6 e i 7 metri, seguiti da ghiaie prevalenti con sabbie limose aventi spessore di 4 metri, seguite da argille marnose fino - 30 metri da p.c.
3	Castelnovo Val Tidone	2003	Successione stratigrafica costituita da depositi limo sabbiosi con ghiaietto, di spessore variabile tra 8 e 16 metri, seguiti da sabbie e areniti stratificate fino ai - 30 metri da p.c.
4	Bilegno	2004	Successione stratigrafica costituita da ghiaie prevalenti in matrice limosa, di spessore variabile fra i 5 e i 6 metri, seguiti da argille con rare intercalazioni ghiaiose aventi spessore di 14-15 metri, seguite da ghiaie prevalenti fino a -25 metri da p.c. e da argille compatte fino - 30 metri da p.c.
5	Mottaziana	2005	Successione stratigrafica costituita da depositi argillo limosi, di spessore variabile tra 3 e 7 metri, seguiti da ghiaie prevalenti in matrice argillo sabbiosa fino ai - 30 metri da p.c.
6	Borgonovo Val Tidone	2006	Successione stratigrafica costituita da argille limose, di spessore variabile fra i 7 e i 9 metri, seguiti da ghiaie con intercalazioni di argille limose aventi spessore di 11 metri, seguite da argille fino - 30 metri da p.c.

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



2003

Zona 2003

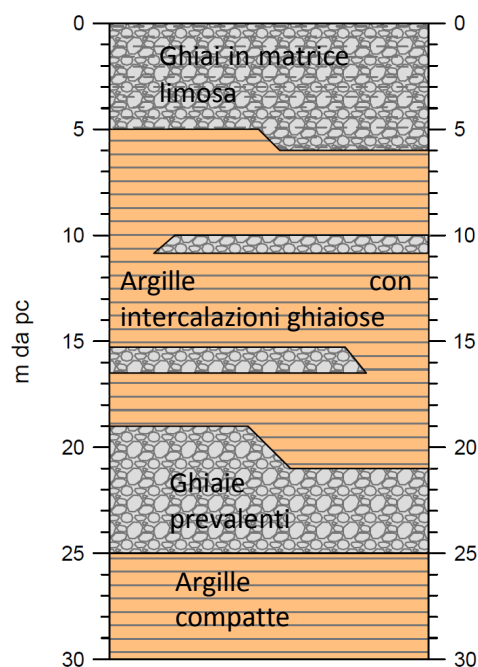


Interessa centro abitato di Castelnovo Val Tidone.

Successione stratigrafica costituita da depositi limo sabbiosi con ghiaietto, di spessore variabile tra 8 e 16 metri, seguiti da sabbie e areniti stratificate fino ai - 30 metri da p.c.

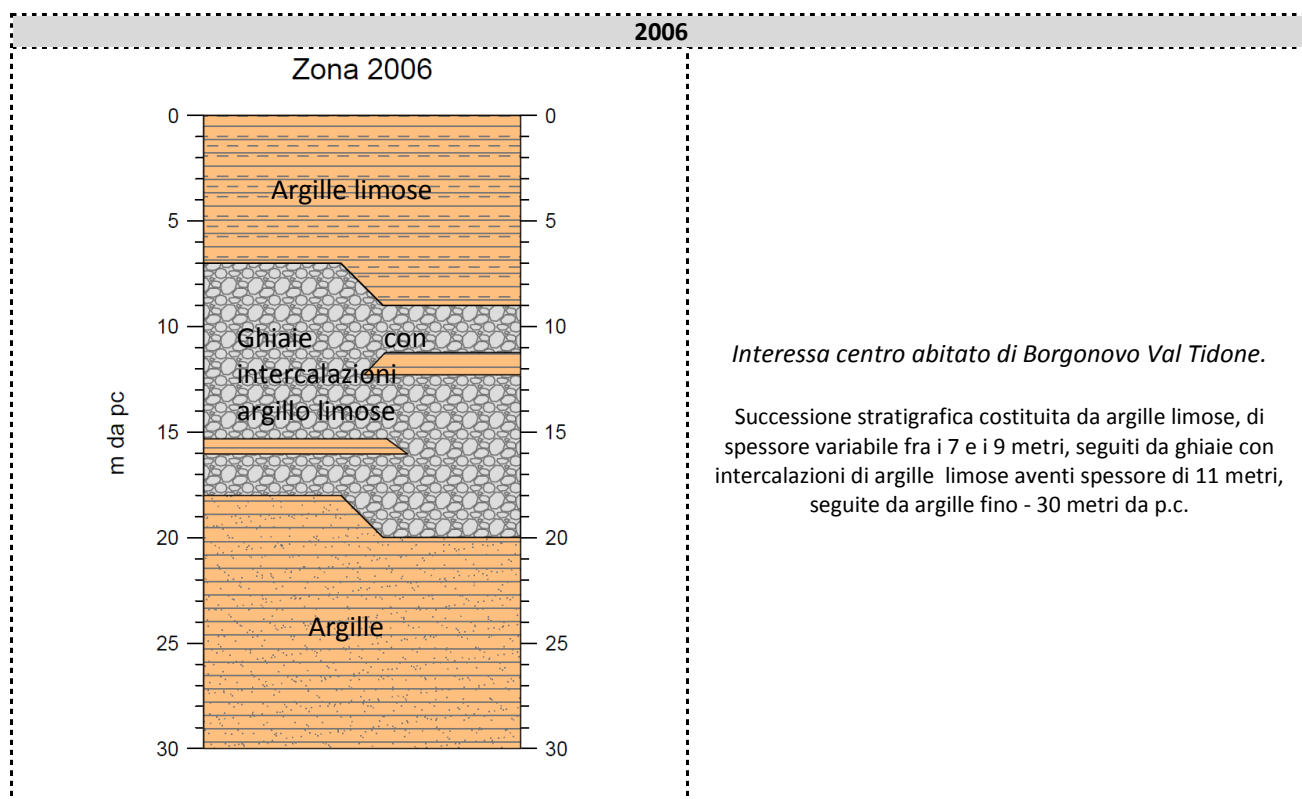
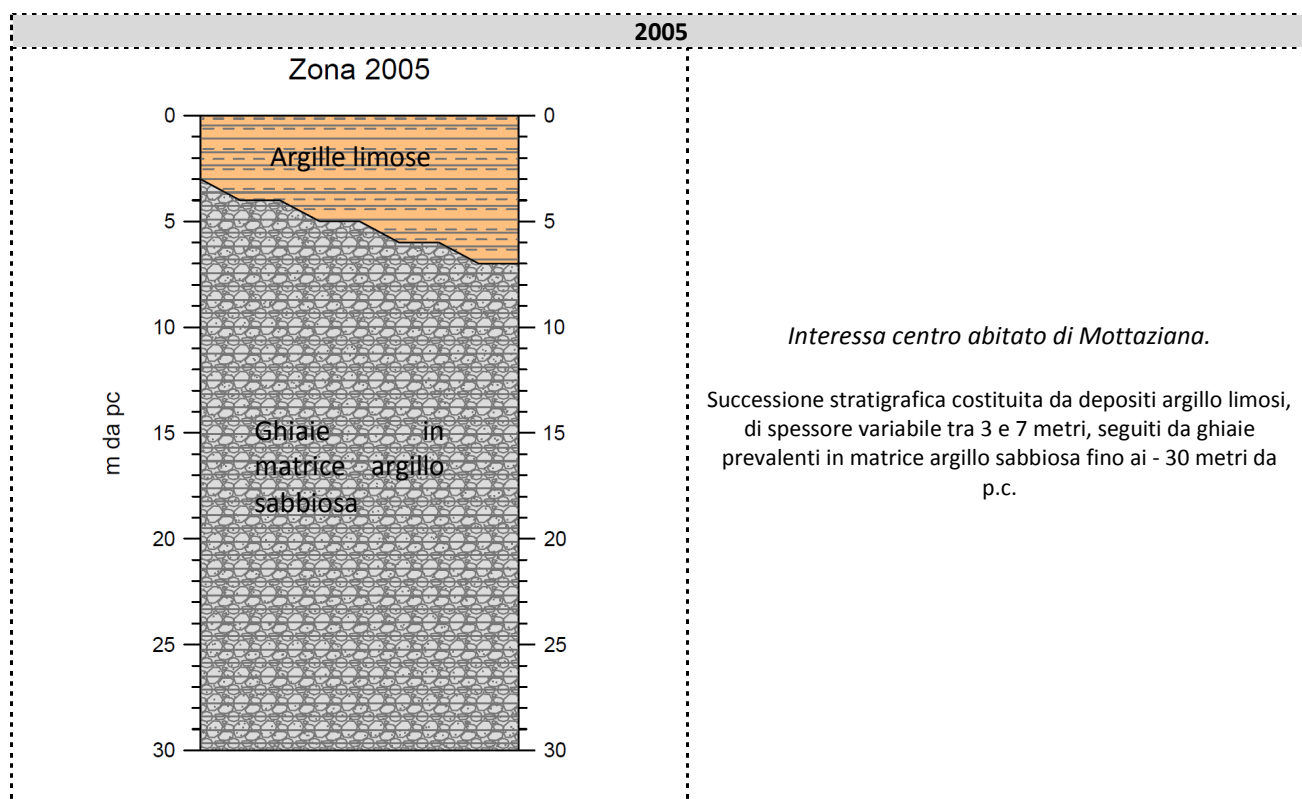
2004

Zona 2004



Interessa centro abitato di Bilegno.

Successione stratigrafica costituita da ghiaie prevalenti in matrice limosa, di spessore variabile fra i 5 e i 6 metri, seguiti da argille con rare intercalazioni ghiaiose aventi spessore di 14-15 metri, seguite da ghiaie prevalenti fino a -25 metri da p.c. e da argille compatte fino - 30 metri da p.c.



8.4.1 Sezione geologica

La sezione geologica è stata realizzata correlando i dati contenuti nella pubblicazione “*Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di G. Di Dio. S.E.L.C.A. (Firenze), Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP (1998)*”.

Per l’individuazione e la definizione degli acquiferi che caratterizzano il sottosuolo della pianura si è fatto riferimento al modello delle Unità Idrostratigrafico-Sequenziali². Queste unità sono denominate informalmente Gruppi Acquiferi A (sedimenti afferenti all’AES), B (depositi riconducibili all’AEI) e C (depositi marini). Entro ogni Gruppo vengono poi distinte unità di rango gerarchico inferiore denominate Complessi Acquiferi.

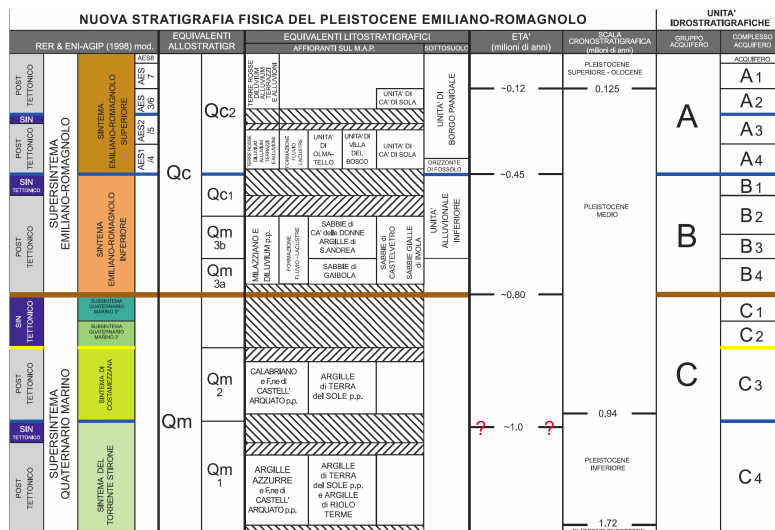


Figura 8.3. Schema stratigrafico e idrostratigrafico del Pleistocene Emiliano-Romagnolo³.

E’ stata creata una sezione nord-sud e est-ovest all’interno del territorio comunale passante per il capoluogo (Borgonovo Val Tidone) e per le due frazioni più “basse” (Mottaziana e Bilegno), schematizzando le principali unità geologiche rinvenute e si evidenzia come il substrato marino sia presente nel territorio analizzato a quote di comprese tra comprese tra circa 60 e 100 metri di profondità.

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 (15 misurazioni Masw unite in 6 casi all’analisi HVSR). In particolare sono stati riportati per ogni punto il tipo di misura (MASW, SAWS, HVSR, etc), il valore di Vs₃₀ e di Vs_H (calcolato come riportato in § 8.6).

L’analisi complessiva dei dati rilevati a livello comunale mette in luce valori di Vs₃₀ variabili e compresi tra 282 e 651 m/s e valori di Vs_H tra 155 e 365 m/s.

Di seguito si riporta la tabella che riporta i valori dei parametri Vs₃₀ e Vs_H per le prove MASW+HVSR eseguite per il presente studio.

² Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP (1998), *Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di G. Di Dio. S.E.L.C.A. (Firenze)*, 120 pp.

³ Di Dio G., Lasagna S., Martini A., Zanzucchi G.(2005), *Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000 Foglio 199 Parma Sud*.

ID_INDP	Vs₃₀	Vs_H	Tipo di deposito interessato	Località
033006L6	349	273	i2 – conoide ghiaiosa	Castelnovo Val Tidone
033006L7	282	187	AES8 – Ghiaia sabbiosa	Mottaziana
033006L8	387	365	AES7b – Sabbia limo argillosa	Fabbiano
033006L9	286	155	AES7a – Limo	Borgonovo Val Tidone
033006L10	406	235	VLU2_Formazione della Val Luretta – Marne Rosate	Corano
033006L11	295	-	AES8 – Ghiaia sabbiosa	Bilegno

L'elemento che si preme sottolineare è comunque la variazione piuttosto accentuata dei valori di Vs_H e Vs₃₀ come conseguenza delle caratteristiche dei depositi interessati, sintomo di disomogeneità nei depositi costituenti il sedime del territorio comunale.

8.6 Carta di microzonazione sismica (livello 2)

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

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

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

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

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

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

- intensità spettrale

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

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

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

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

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

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

$$V_{S_H} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

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

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

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

La scelta dell'abaco per la stima dei fattori di amplificazione è stata valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo e agli abachi proposti dagli indirizzi regionali (cfr. DGR 630/2019). Nello specifico, sulla base delle caratteristiche descritte nei capitoli precedenti si è scelto di utilizzare la Tabella APPENNINO con *bedrock* avente $V_s < 800$ m/s per i centri di Corano, Fabbiano e Castelnovo Val Tidone, per il centro abitato di Bilegno si è utilizzata la Tabella MARGINE di tipo B, caratterizzato da spessore dei terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini. Per gli abitati di Borgonovo Val Tidone e Mottaziana invece si è utilizzata la Tabella MARGINE di tipo A, caratterizzato da terreni fini o grossolani poco consolidati, di spessore non superiore a 30 m, sovrastanti orizzonti prevalentemente grossolani a comportamento più rigido (indicativamente con valore di V_s media almeno doppio rispetto a quello dei sedimenti sovrastanti); H è riferito allo spessore di sedimenti fini o grossolani poco consolidati sovrastanti i sedimenti continentali più rigidi caratterizzato da spessore dei terreni superficiali fini o grossolani

Si riportano di seguito gli abachi utilizzati.

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

Fattore di Amplificazione **PGA**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Fattori di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$) e **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	1,7	1,6
SI2	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1	2,0
SI3	3,3	3,1	2,7	2,4	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 8.5. Abachi utilizzati per la stima dei FA_Margine di TIPO B.

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	2,3	2,1	1,8	1,5		
10	2,3	2,2	2,0	1,8		
15	2,1	2,1	2,0	1,8		
20	2,1	2,1	2,0	1,9		
25	2,0	2,0	2,0	1,9		
30	1,9	1,9	1,9	1,9		

Fattore di Amplificazione **PGA**

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	2,3	2,0	1,7	1,5		
10	2,5	2,3	2,0	1,8		
15	2,4	2,4	2,1	1,9		
20	2,3	2,3	2,1	2,0		
25	2,2	2,2	2,1	2,0		
30	2,0	2,0	2,0	1,9		

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

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

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

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

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

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

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

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	1,8	1,7	1,6	1,6		
10	2,3	2,0	1,8	1,7		
15	3,2	2,6	2,1	2,0		
20	3,5	3,1	2,5	2,1		
25	3,7	3,4	2,8	2,4		
30	3,6	3,5	3,0	2,6		

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

Figura 8.6. Abachi utilizzati per la stima dei FA_Margine di TIPO A.

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
Corano Zona2001	2.0	1.9	1.5	1.4
Fabbiano Zona2002	1.9	2.0	1.7	1.4
Castelnovo Val Tidone Zona2003	2.1	2.2	1.9	1.5

Sito	FH SI1	FH SI2
Corano Zona2001	1.9	1.4
Fabbiano Zona2002	2.0	1.5
Castelnovo Val Tidone Zona2003	2.3	1.6

Sito	FA PGA	FA SA1	FA SA2	FA SA3	FA SA4
Bilegno Zona2004	1.6	1.7	2.1	2.4	2.3
Mottaziana Zona2005	2.3	2.3	1.9	1.6	-
Borgonovo Val Tidone Zona2006	2.3	2.3	1.9	1.6	-

Sito	FH SI1	FH SI2	FH SI3
Bilegno Zona2004	1.8	2.3	2.4
Mottaziana Zona2005	2.2	1.8	-
Borgonovo Val Tidone Zona2006	2.2	1.8	-

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

Zone stabili suscettibili di 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 Appennino con substrato non rigido $V_s < 800$ m/s per le zone 2001, 2002 e 2003, utilizzando valore di V_sH .
Allegato 2 - Tabella Margine tipo A per le zone 2005 e 2006, utilizzando valore di V_sH)
Allegato 2 - Tabella Margine tipo B per la zona 2004, utilizzando valore di V_s30)











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

Figura 8.7. 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 ΔT (in questo caso pari a 0,4s), per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodo:

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

dove valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$ 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 Appennino con substrato non rigido $V_s < 800$ m/s per le zone 2001, 2002 e 2003, utilizzando valore di V_sH .
Allegato 2 – Tabella Margine tipo A per le zone 2005 e 2006, utilizzando valore di V_sH)
Allegato 2 – Tabella Margine tipo B per la zona 2004, utilizzando valore di V_s30)

Scuotimento atteso al sito in valore assoluto H_{SM}



	$H_{SM} = 300 - 400 \text{ cm/s}^2$
	$H_{SM} = 400 - 500 \text{ cm/s}^2$

Figura 8.8. Legenda adottata per la mappa di scuotimento atteso.

I valori di H_{SM} sono risultati i seguenti:

- Borgonovo Val Tidone: 470.58 cm/s^2
- Mottaziana: 474.03 cm/s^2
- Bilegno: 356.56 cm/s^2
- Castelnuovo Val Tidone: 461.42 cm/s^2
- Fabbiano: 419.48 cm/s^2
- Corano: 393.76 cm/s^2

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 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 variabili tra di 1.6 e 2.3 nei vari abitati studiati.

La carta di microzonazione relativa a SA1 (intervallo 0.1-0.5 s) presenta fattori di amplificazione tra 1.7 e 2.3 per le varie località, la carta relativa a SA2 (intervallo 0.4-0.8 s) presenta FA compresi tra 1.5 e 2.1, quella per l'intervallo SA3 (0.7-1.1 s) presenta FA compresi tra 1.4 e 2.4 mentre quella per l'intervallo SA4 (0.5-1.5 s), valida solo per Bilegno, presenta FA pari a 2.3.

La carta di microzonazione relativa a SI1 (intervallo 0.1-0.5 s) presenta fattori di amplificazione variabili tra 1.8 e 2.3 per le varie località, la carta relativa a SI2 (intervallo 0.5-1.0 s) presenta FA compresi tra 1.4 e 2.3, mentre quella per l'intervallo SI3 (0.5-1.5 s), valida solo per Bilegno, presenta FA pari a 2.4.

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.

Borgonovo Val Tidone, maggio 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 della pericolosità sulla base di un modello 3D delle sorgenti sismiche" – Rapporto conclusivo.

11 ALLEGATI

11.1 Prove sismiche tipo Masw+HVSr

033006L6_ loc. Castelnovo Val Tidone

ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

STRUMENTAZIONE

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

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



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

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

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

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

ANALISI RAYLEIGH

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

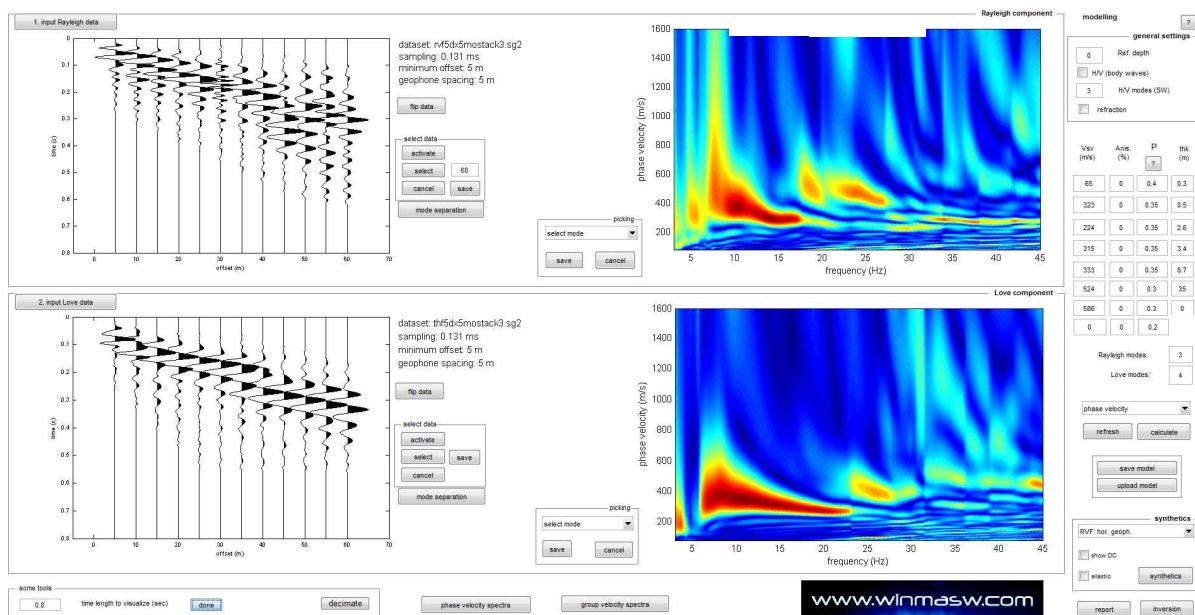


Figura 11.2. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

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

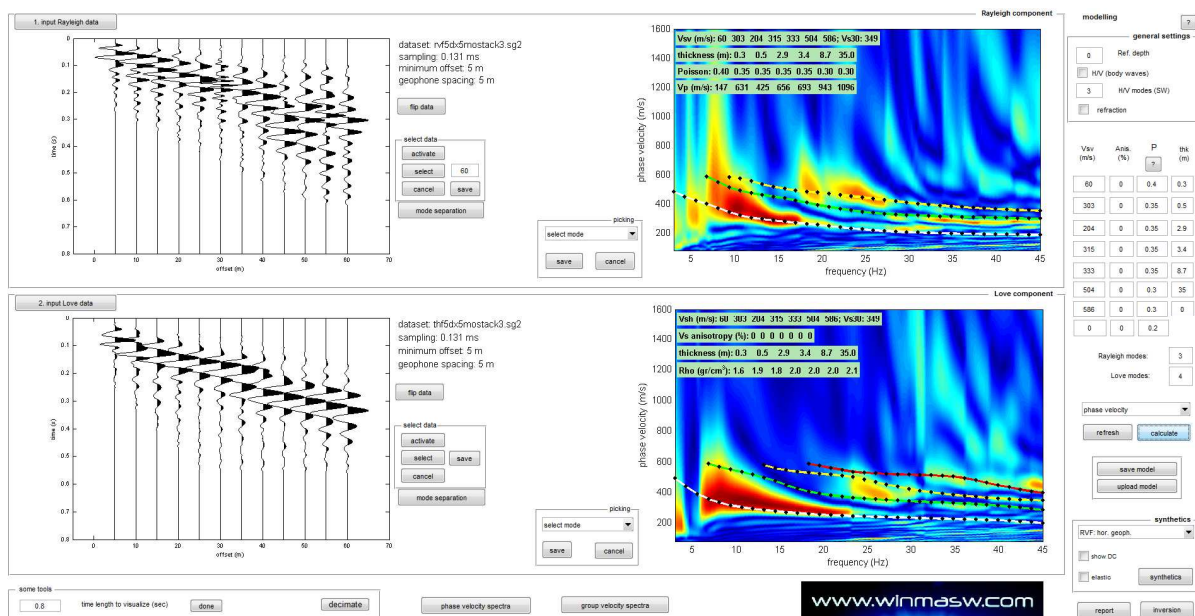


Figura 11.3. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

RAPPORTI SPETTRALI H/V

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

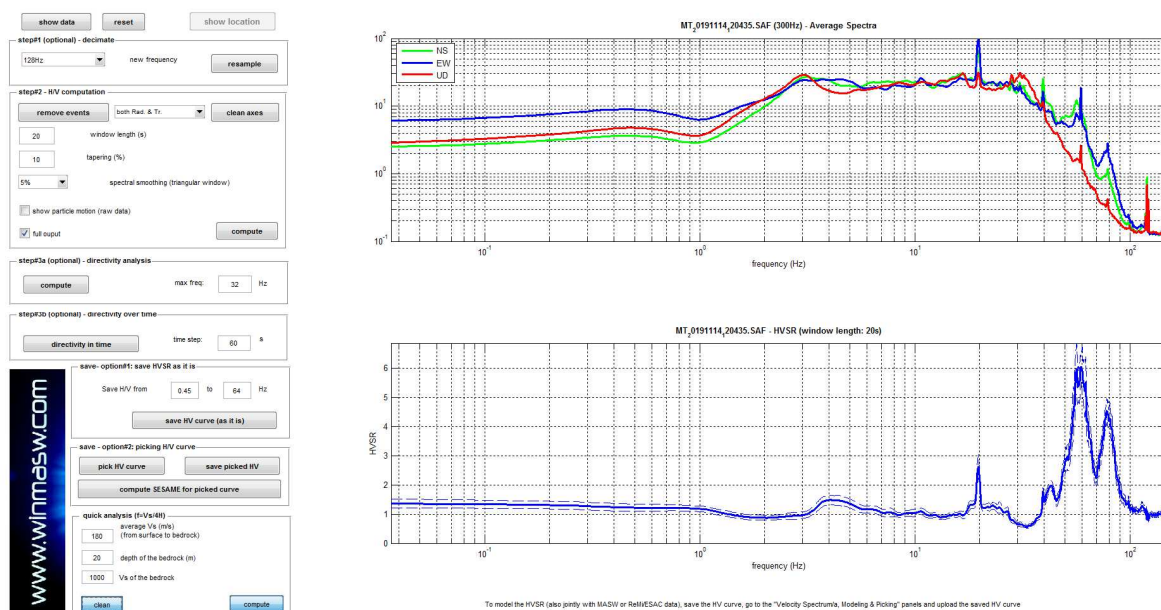


Figura 11.4. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

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

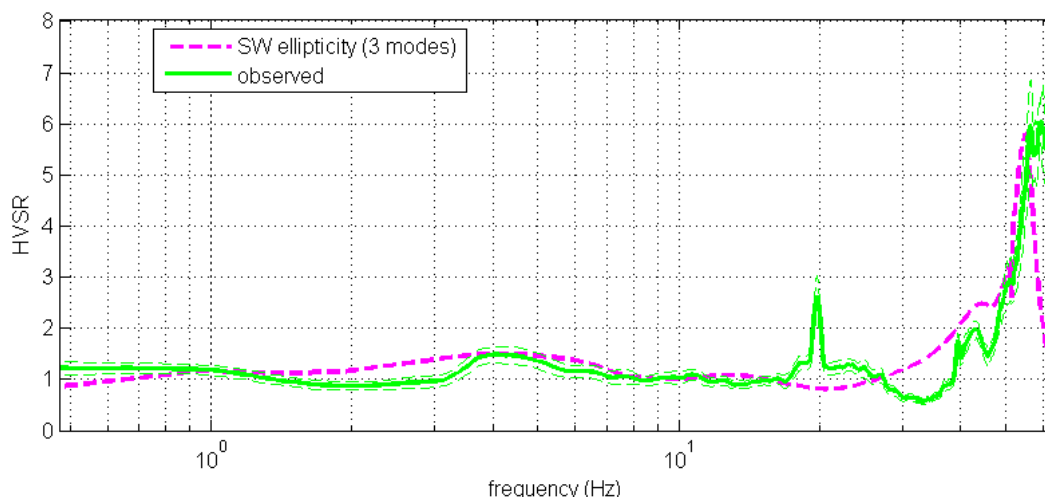


Figura 11.5. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

033006L7_loc. Mottaziana

ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

STRUMENTAZIONE

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

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

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



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

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

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

ANALISI RAYLEIGH + LOVE

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

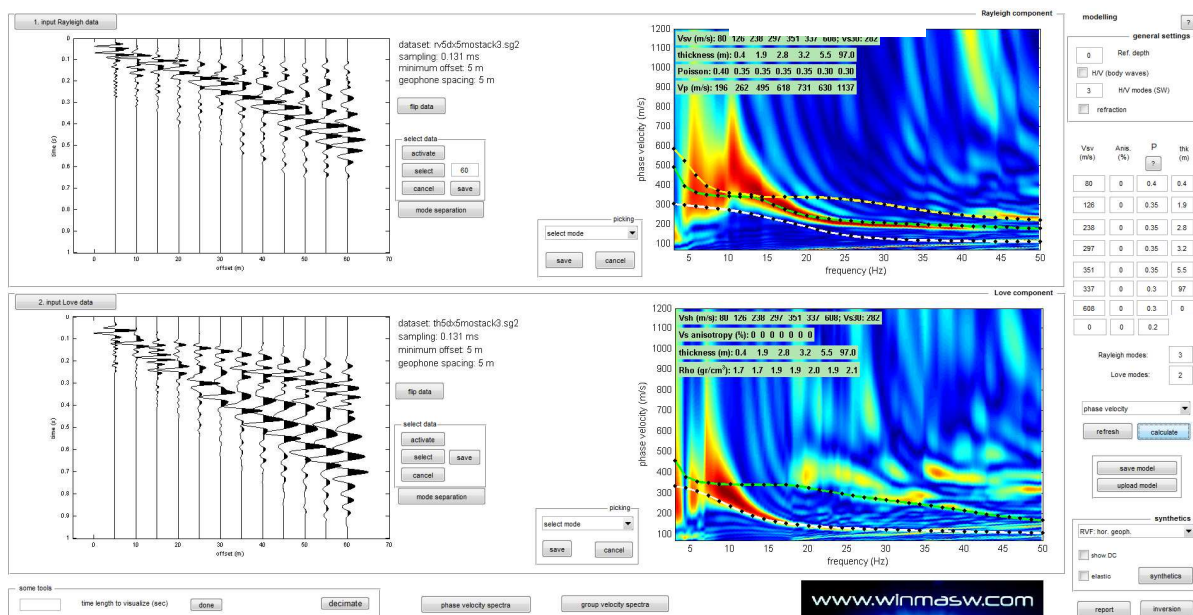


Figura 11.7. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

Successivamente alla pulizia del dato si è proceduto alla modellazione diretta delle curve di dispersione ottenendo le curve riportate di seguito. Da notare come lo spettro di velocità delle onde Rayleigh è stato modellato come una somma tra modo fondamentale e più modi superiori, mentre lo spettro delle onde di Love evidenzia la presenza del modo fondamentale e del primo superiore.

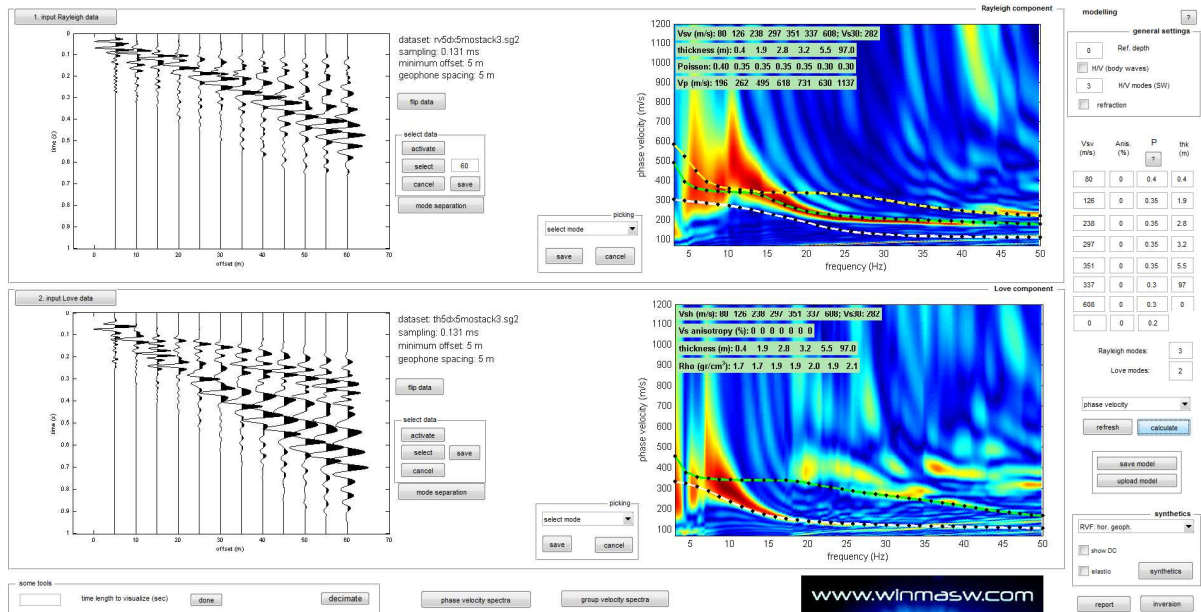


Figura 11.8. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

RAPPORTI SPETTRALI H/V

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

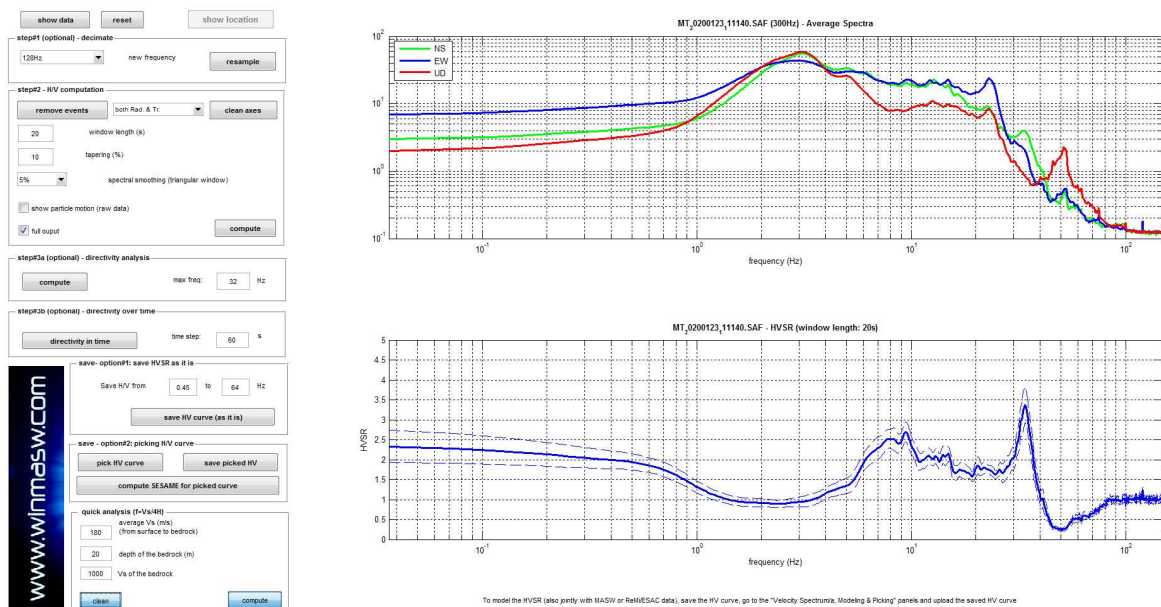


Figura 11.9. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

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

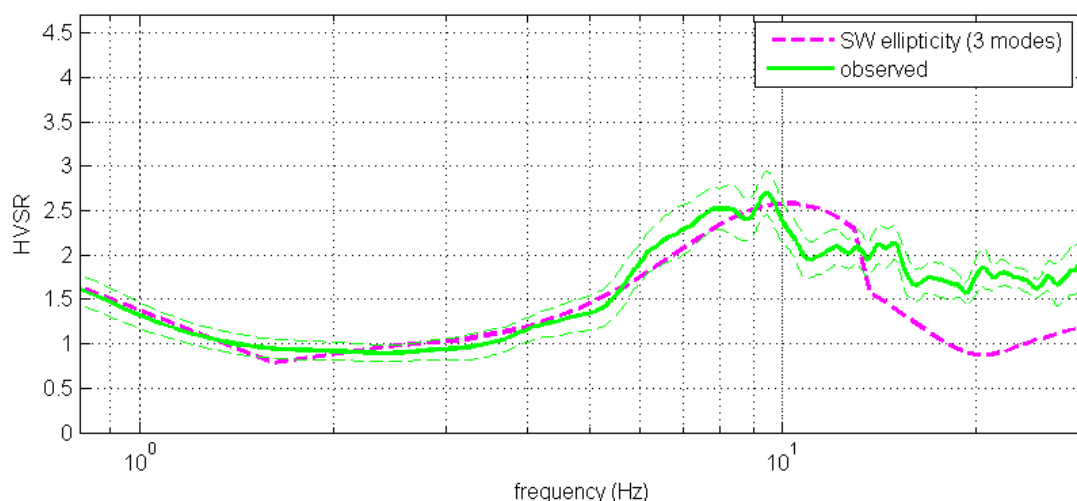


Figura 11.10. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

033006L8_loc. Fabbiano

ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

STRUMENTAZIONE

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

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

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



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

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

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

ANALISI RAYLEIGH + LOVE

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

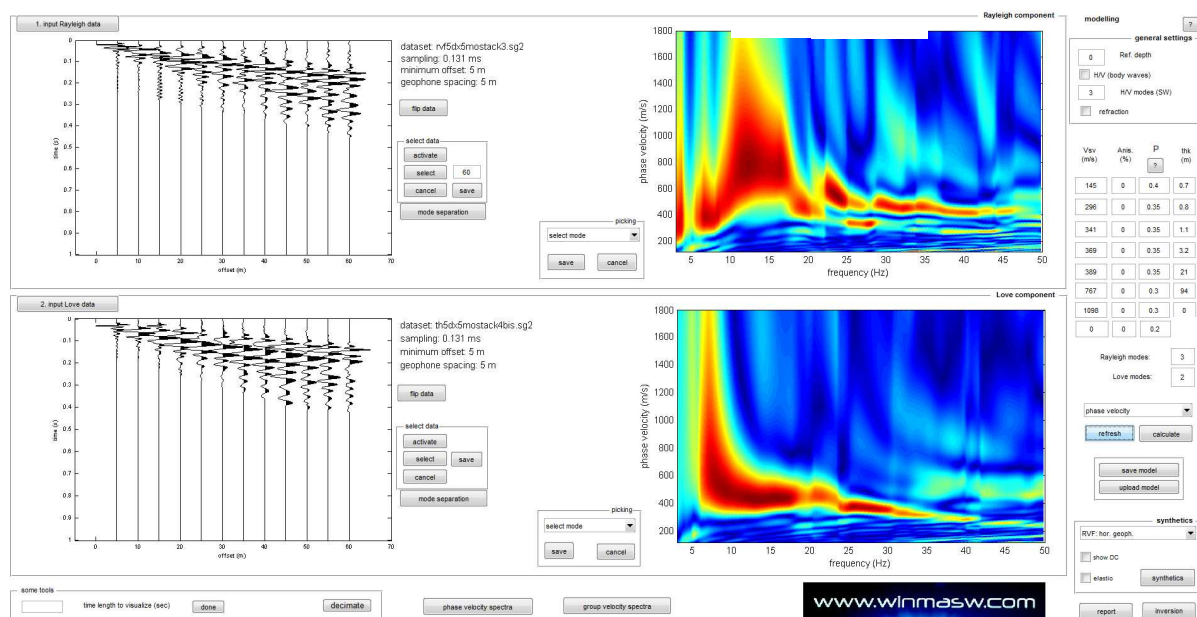


Figura 11.12. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

Successivamente alla pulizia del dato si è proceduto alla modellazione diretta delle curve di dispersione ottenendo le curve riportate di seguito. Da notare come allo spettro di velocità osservato siano state sovrapposte tramite la tecnica della modellazione diretta le curve di dispersione del modo fondamentale e dei primi 6 modi superiori per le onde di Rayleigh e del modo fondamentale e dei primi 2 superiori per le onde di Love.

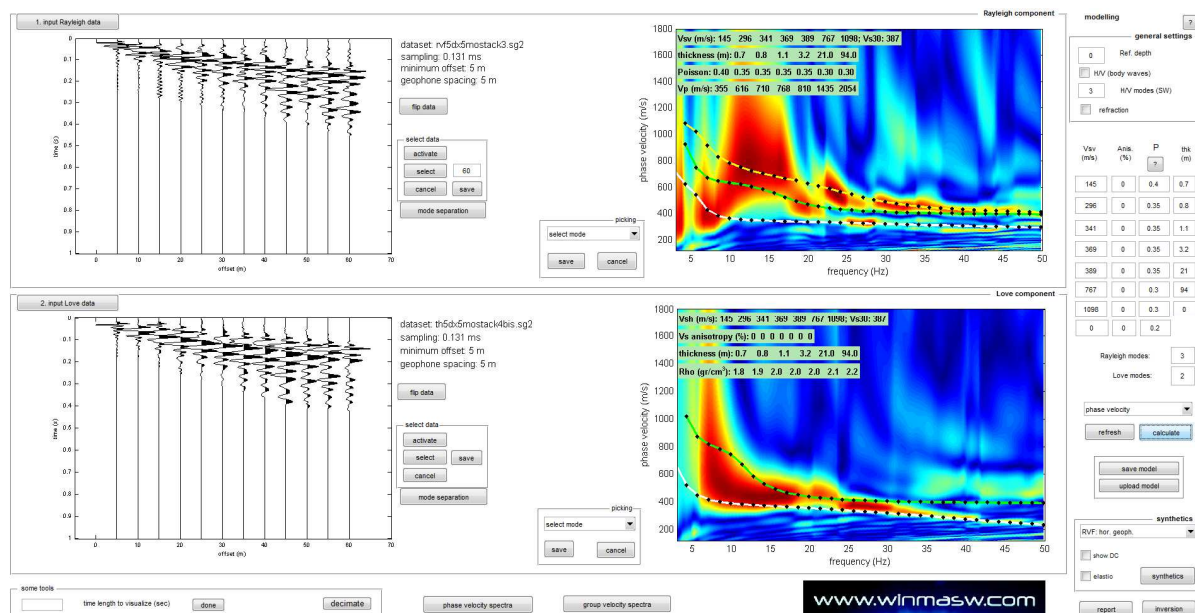


Figura 11.13. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

RAPPORTI SPETTRALI H/V

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

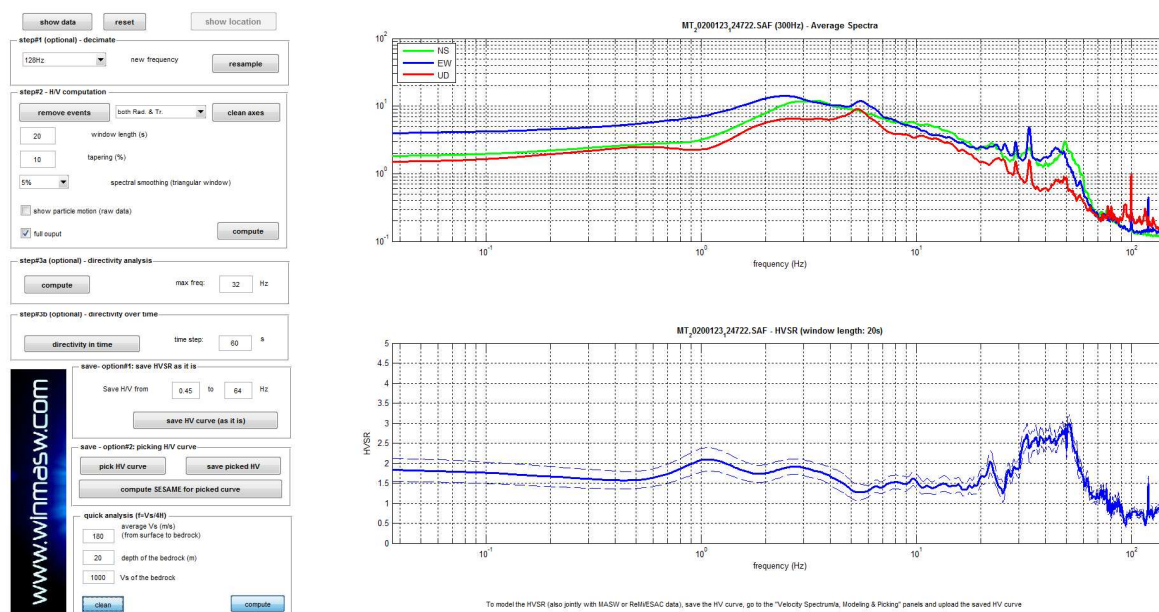


Figura 11.14. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

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

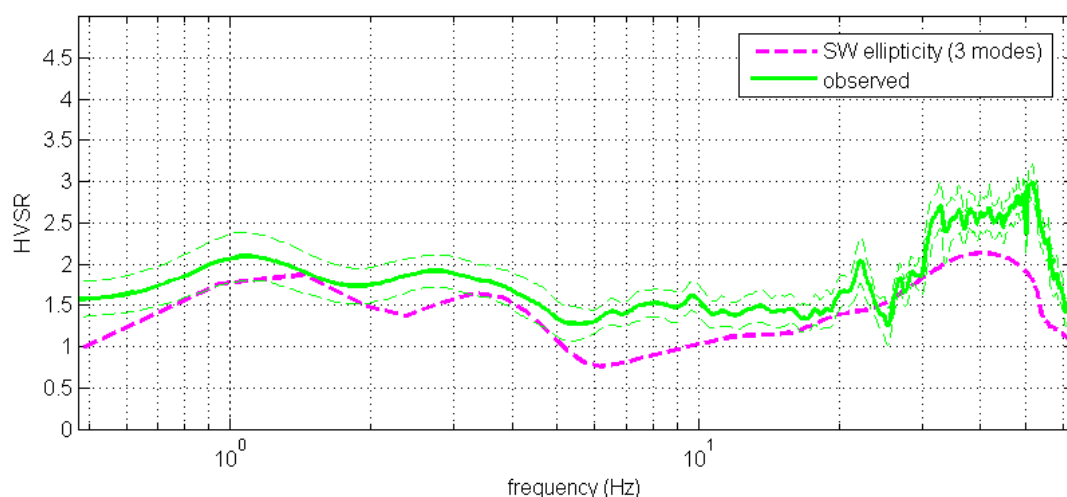


Figura 11.15. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

033006L9_loc. Borgonovo Val Tidone

ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

STRUMENTAZIONE

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

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

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



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

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

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

ANALISI RAYLEIGH + LOVE

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

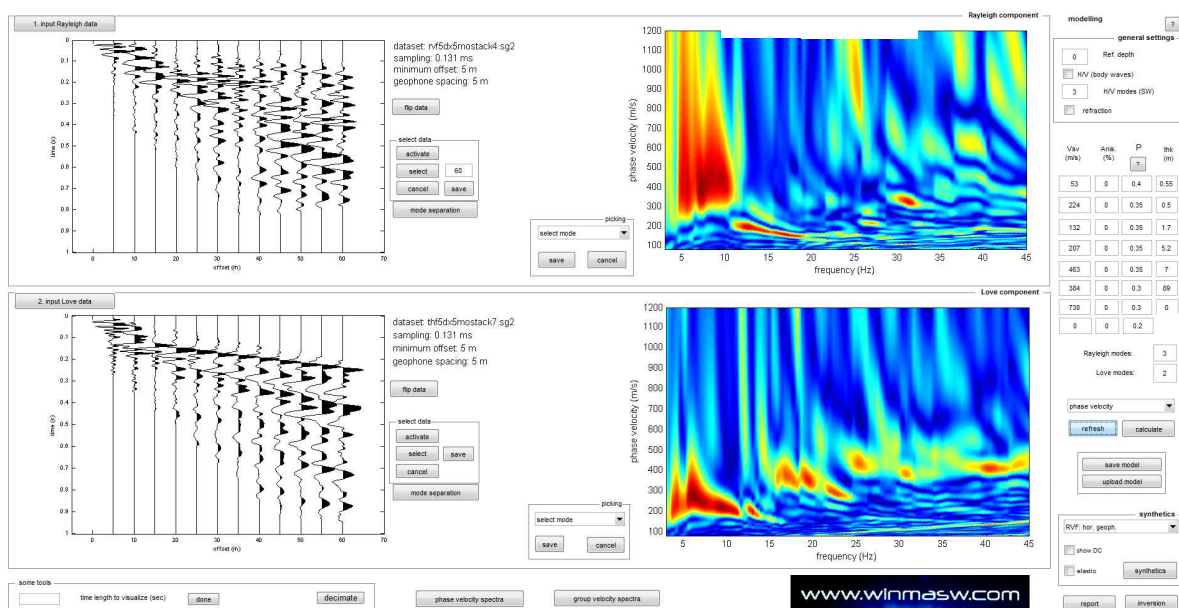


Figura 11.17. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

Successivamente alla pulizia del dato si è proceduto alla modellazione diretta delle curve di dispersione ottenendo le curve riportate di seguito. Da notare come allo spettro di velocità osservato siano state sovrapposte tramite la tecnica della modellazione diretta le curve di dispersione, dei primi 3 modi per le onde di Rayleigh e dei primi 2 modi per le onde di Love.

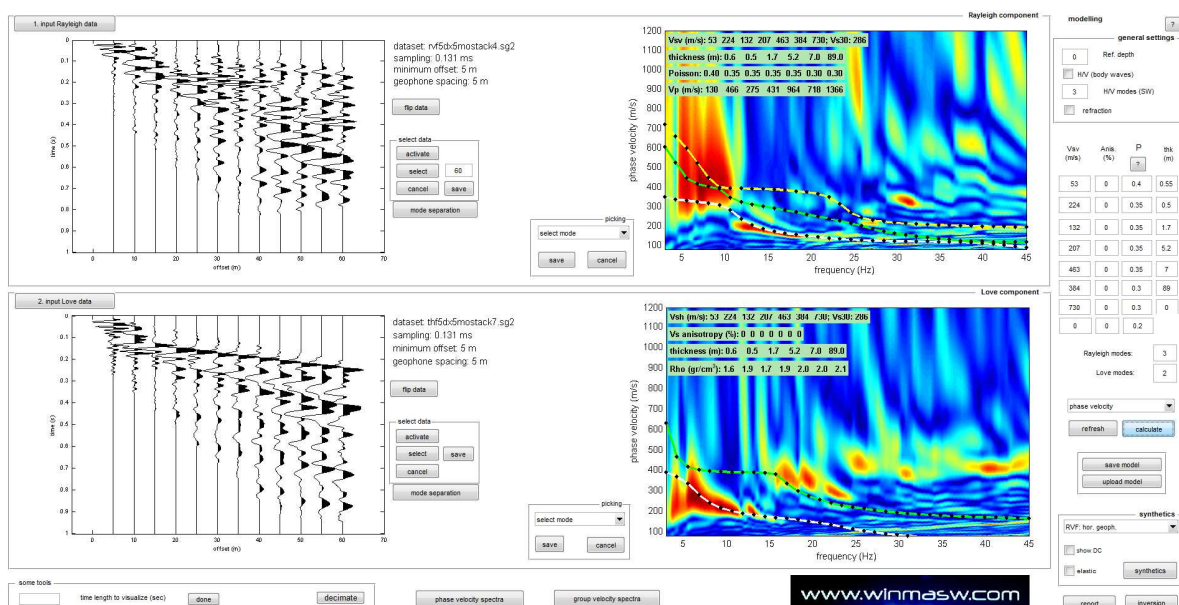


Figura 11.18. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

RAPPORTI SPETTRALI H/V

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

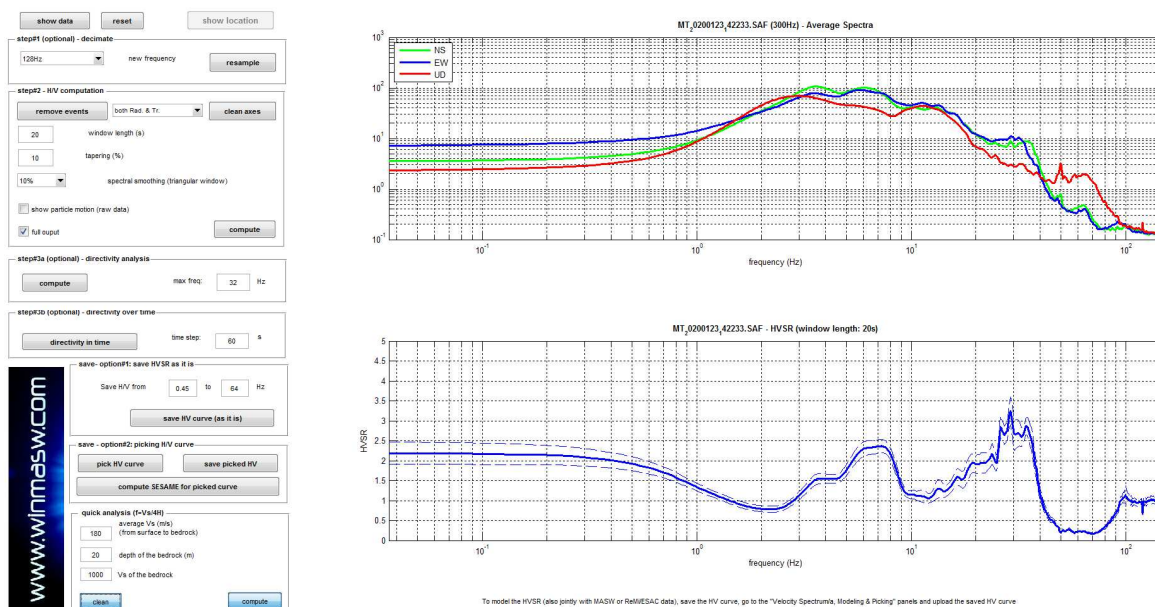


Figura 11.19. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

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

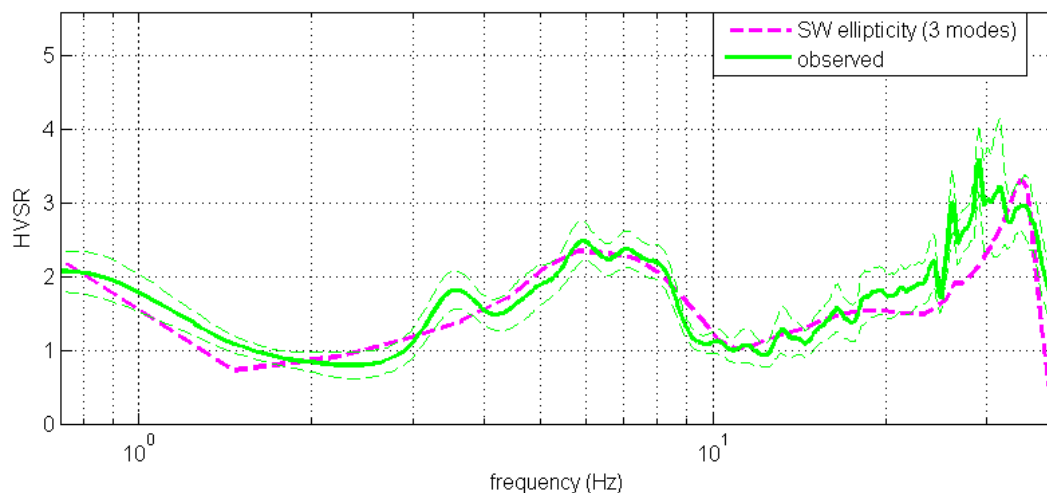


Figura 11.20. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

033006L10_loc. Corano

ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

STRUMENTAZIONE

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

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

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



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

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

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

ANALISI RAYLEIGH + LOVE

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

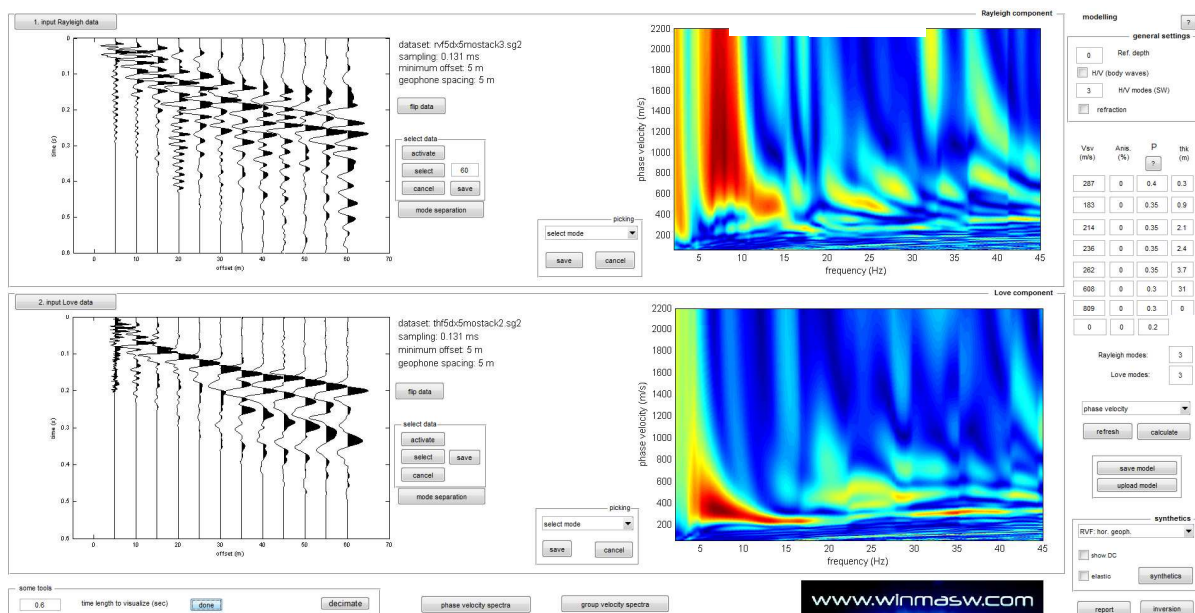


Figura 11.22. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

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

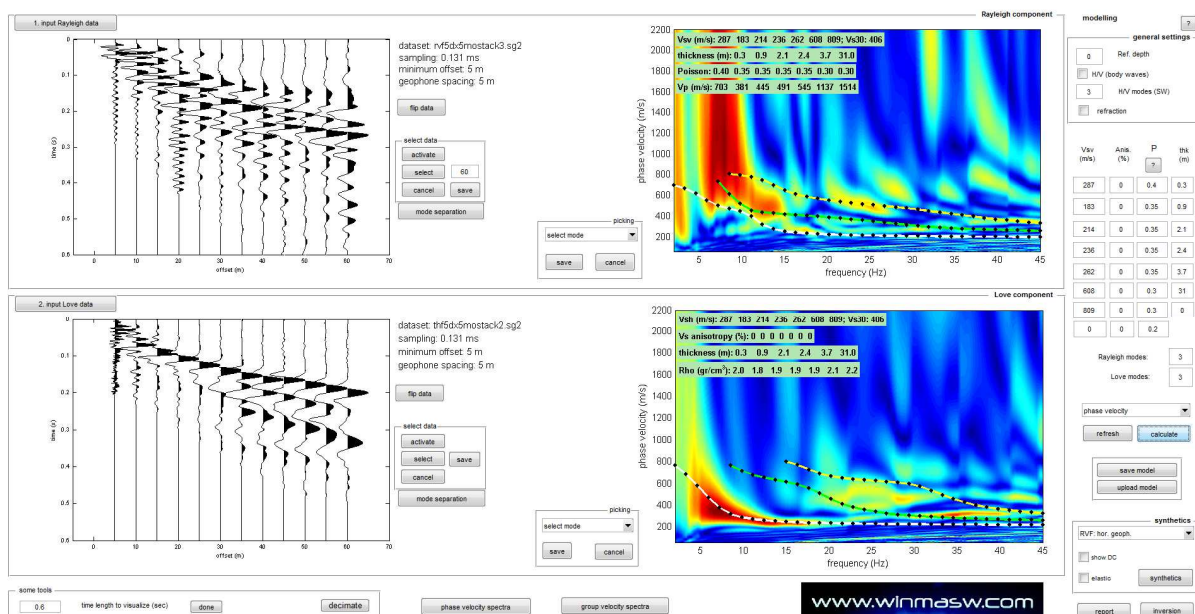


Figura 11.23. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

RAPPORTI SPETTRALI H/V

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

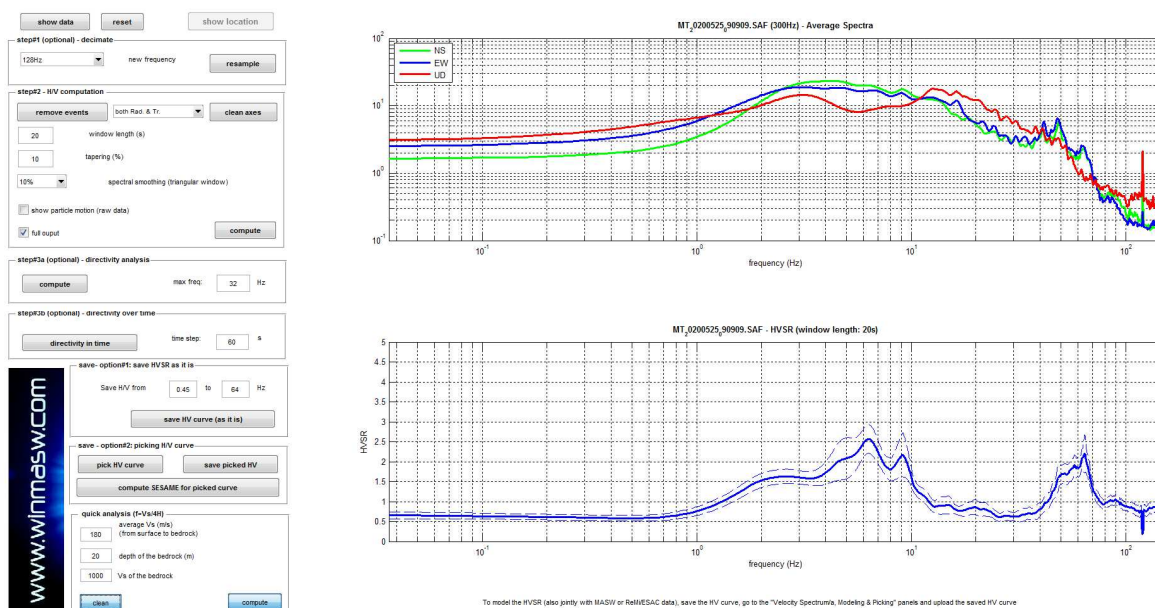


Figura 11.24. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

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

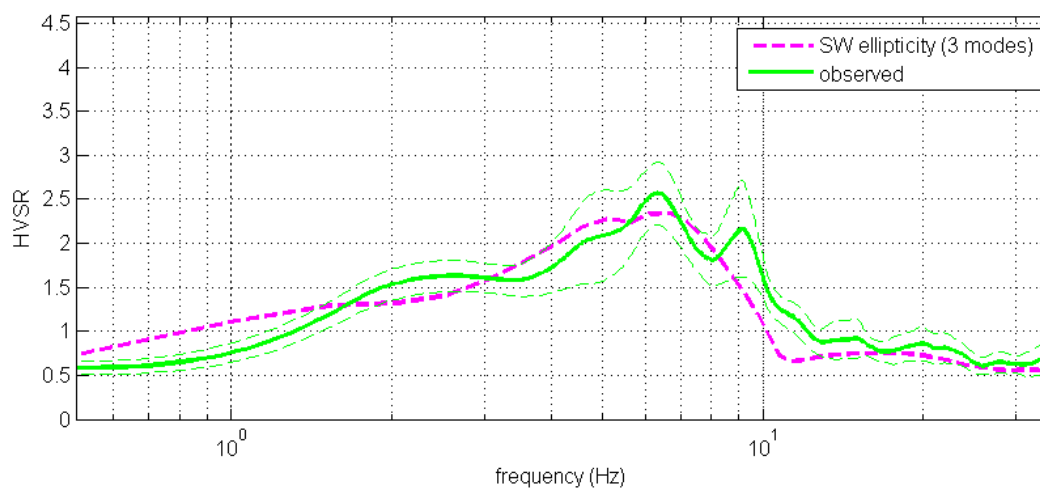


Figura 11.25. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

033006L10_loc. Corano

ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

STRUMENTAZIONE

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

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

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



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

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

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

ANALISI RAYLEIGH + LOVE

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

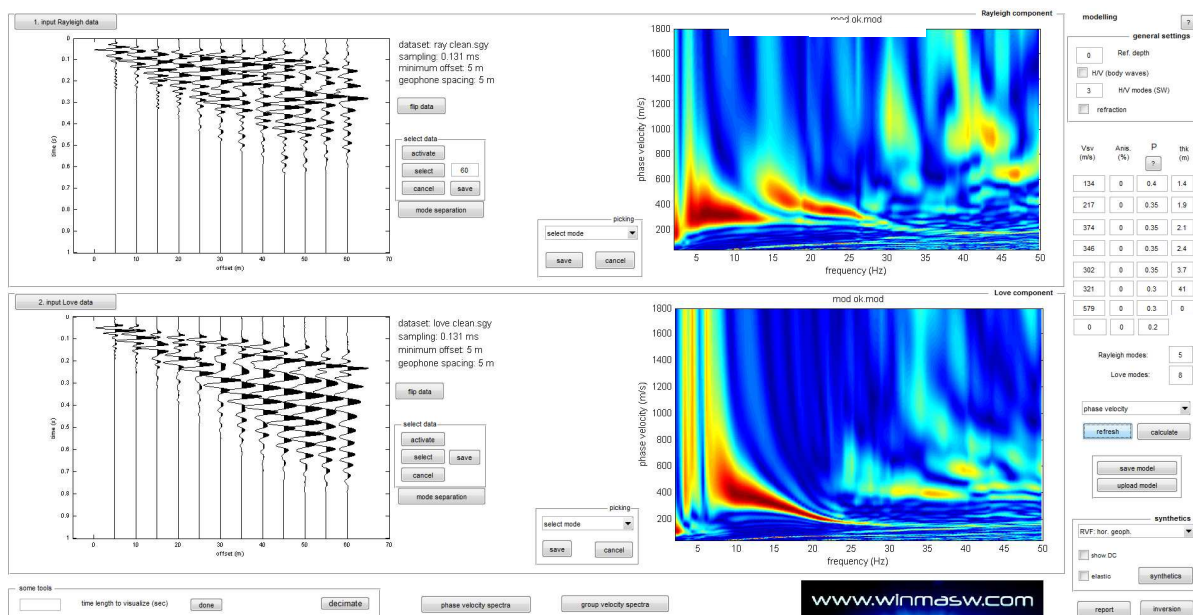


Figura 11.27. Acquisizione della componente orizzontale delle onde Rayleigh (RVF) e delle onde di Love (THF). Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

Successivamente alla pulizia del dato si è proceduto alla modellazione diretta delle curve di dispersione ottenendo le curve riportate di seguito. Da notare come allo spettro di velocità osservato siano state sovrapposte tramite la tecnica della modellazione diretta le curve di dispersione, dei primi 5 modi per le onde di Rayleigh e di 8 modi per le onde di Love.

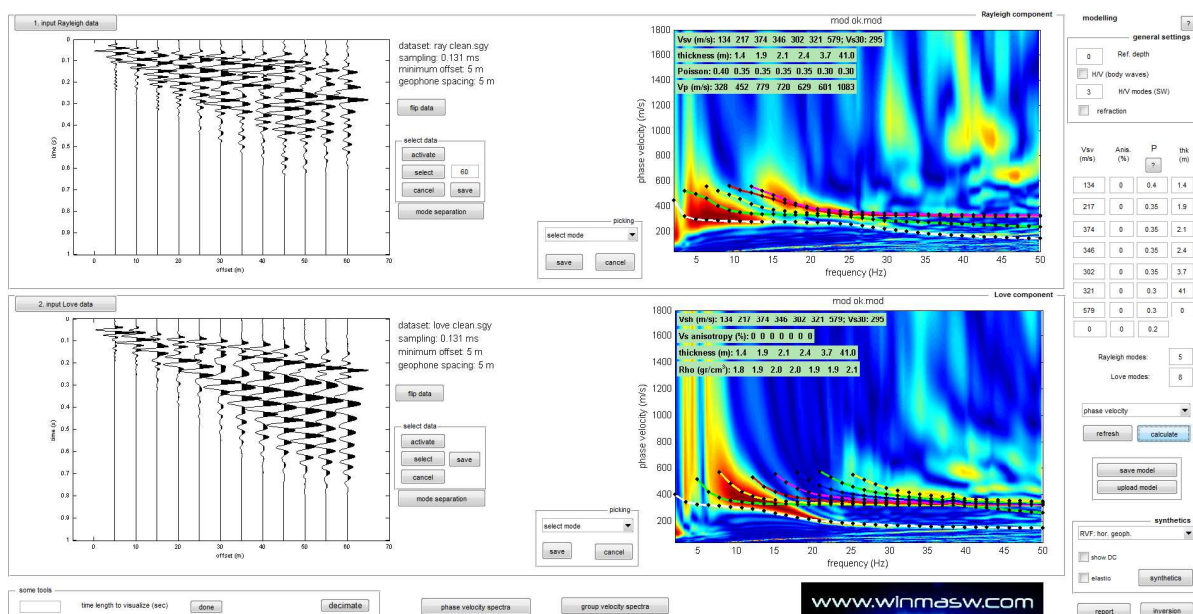


Figura 11.28. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti.

RAPPORTI SPETTRALI H/V

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

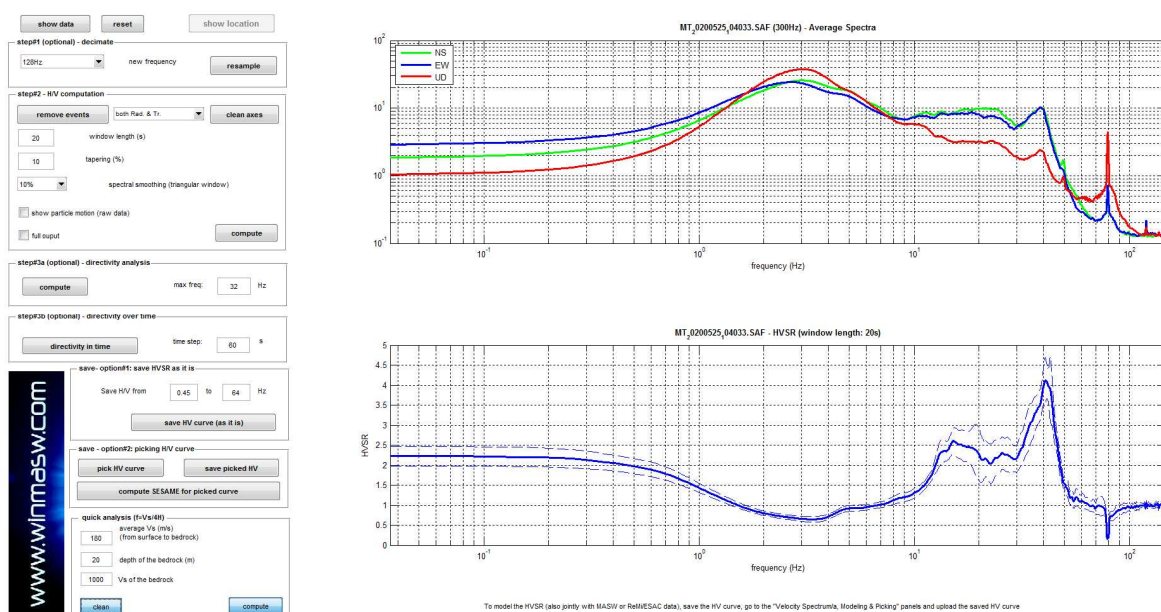


Figura 11.29. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

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

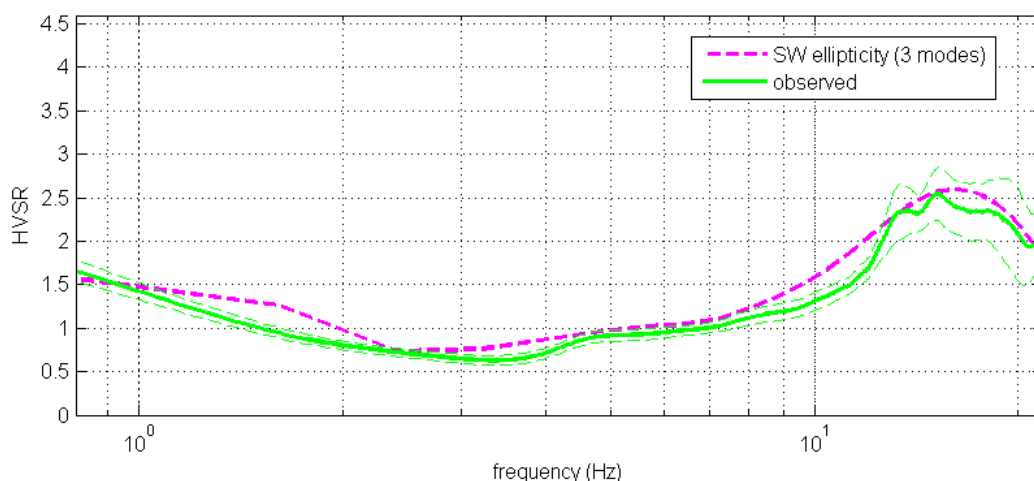


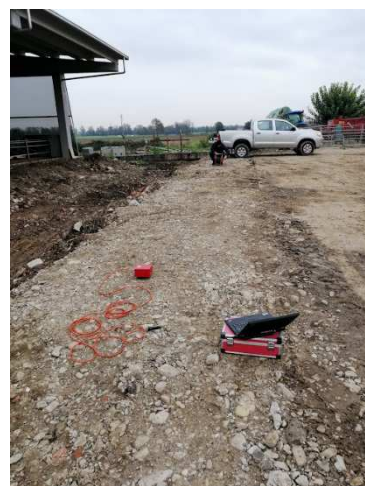
Figura 11.30. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

11.2 Prove sismiche tipo HVSR

HV01

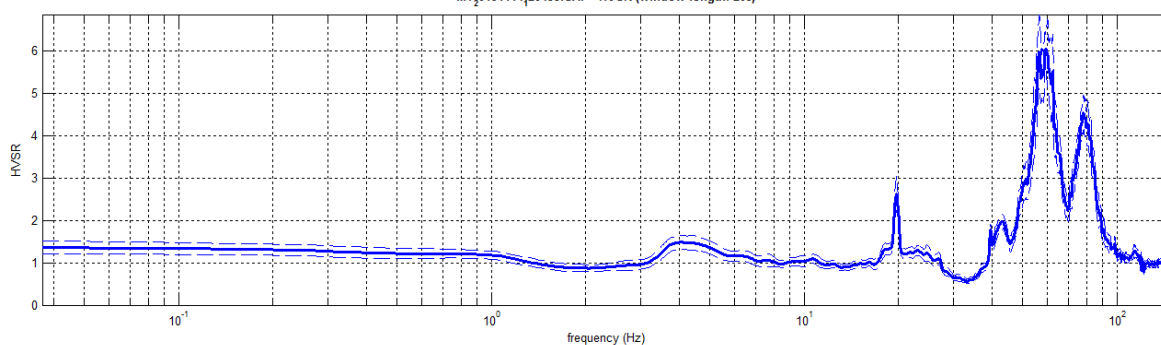
Località: Castelnuovo V.T.
Data acquisizione: 22/01/2020

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



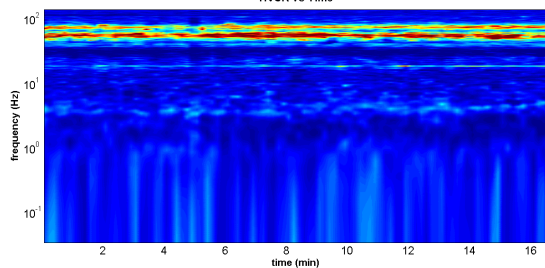
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

MT_0191114_20435.SAF - HVSR (window length: 20s)



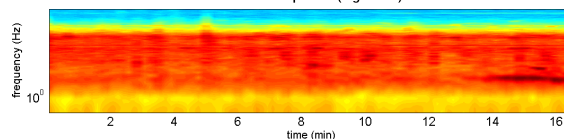
SERIE TEMPORALE H/V

HVSR vs Time

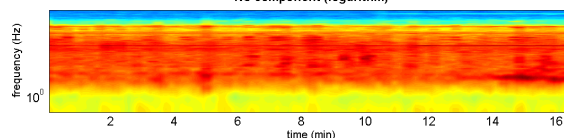


SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI

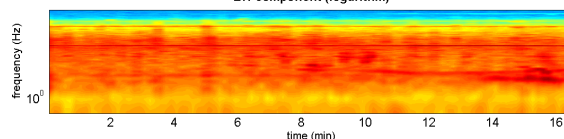
vertical component (logarithm)



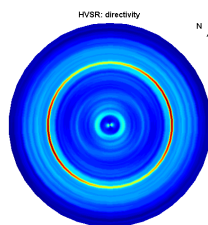
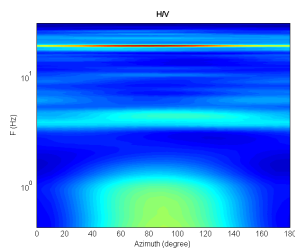
NS component (logarithm)



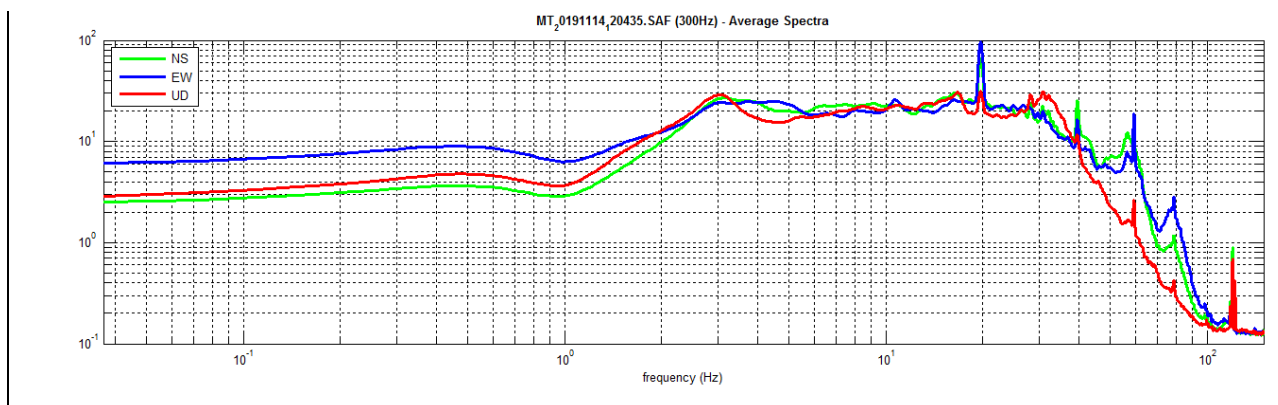
EW component (logarithm)



DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



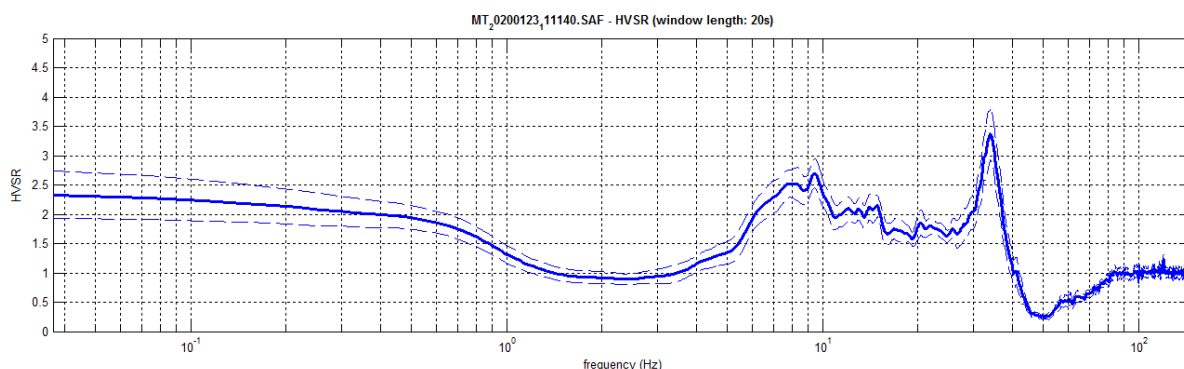
HV02

Località: Mottaziana
Data acquisizione: 23/01/2020

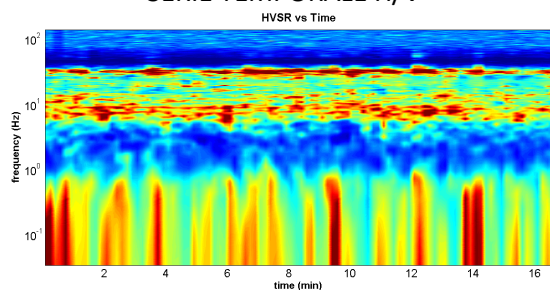
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz
Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0
Durata registrazione: 20 minuti
Frequenza campionamento: 300 Hz
Lunghezza finestre: 20 secondi
Tipo di lisciamento: triangolare



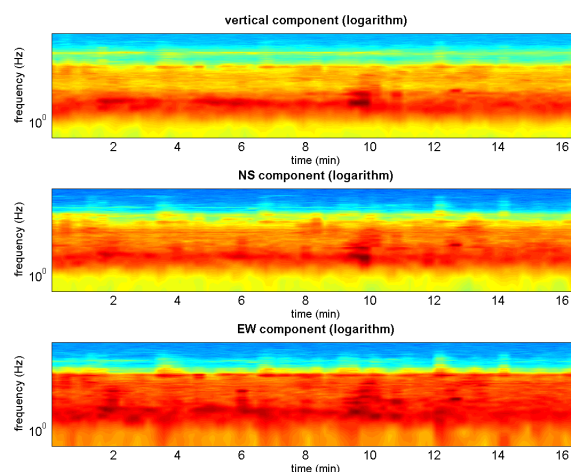
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



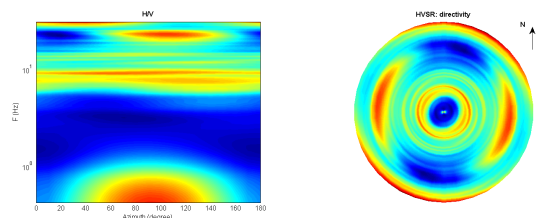
SERIE TEMPORALE H/V



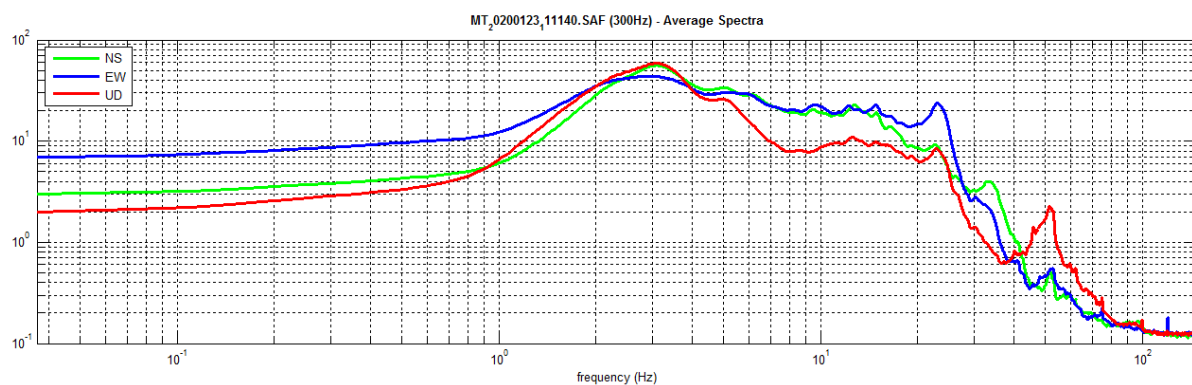
SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT_20200123_111140.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 17.0

Tapering (%): 10

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

Peak frequency (Hz): 9.5 (± 3.0)

Peak HVSr value: 2.7 (± 0.3)

Criteria for a reliable H/V curve

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: 9.5 > 0.5 (OK)
- #2. $[nc > 200]$: 18974 > 200 (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5Hz; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

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

- #1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]$: yes, at frequency 5.0Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$: (NO)
- #3. $[A_0 > 2]$: 2.7 > 2 (OK)
- #4. $[f_{peak}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)
- #5. $[\sigma_{maf} < \epsilon(f_0)]$: 3.006 > 0.474 (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: 0.249 < 1.58 (OK)

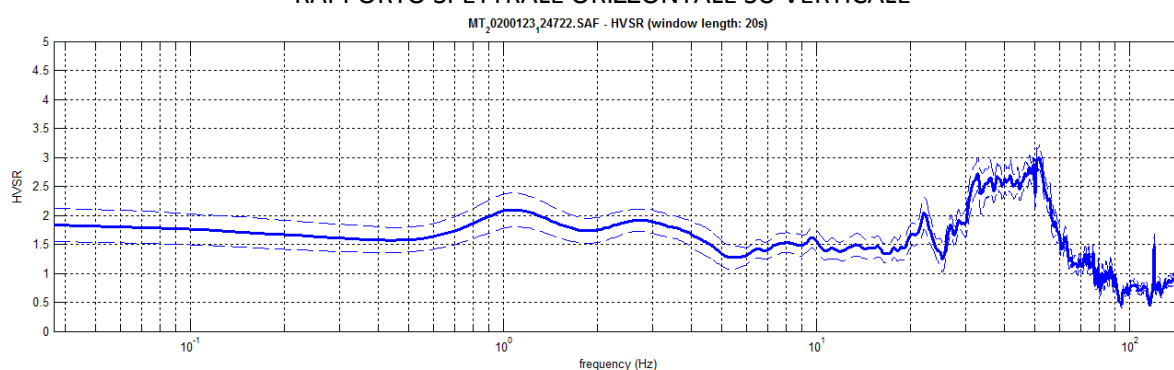
HV03

Località: Fabbiano
Data acquisizione: 23/01/2020

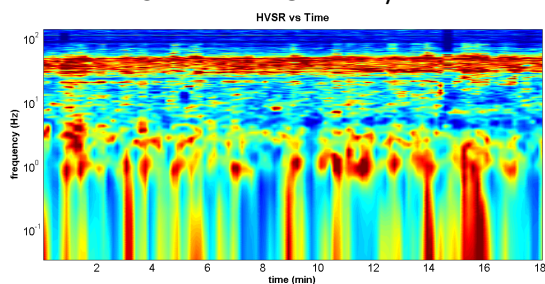
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz
Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0
Durata registrazione: 20 minuti
Frequenza campionamento: 300 Hz
Lunghezza finestre: 20 secondi
Tipo di lisciamento: triangolare



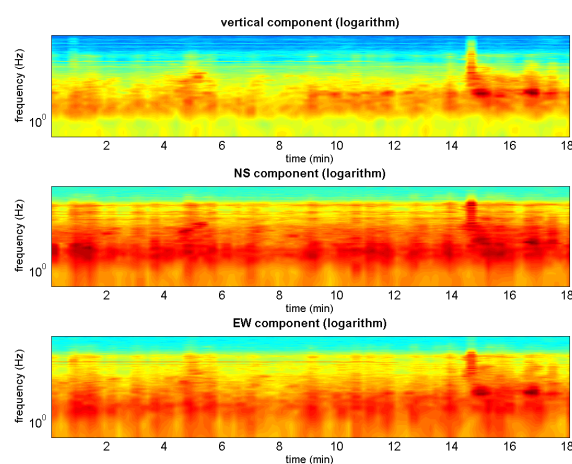
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



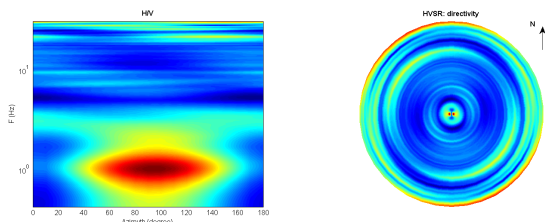
SERIE TEMPORALE H/V



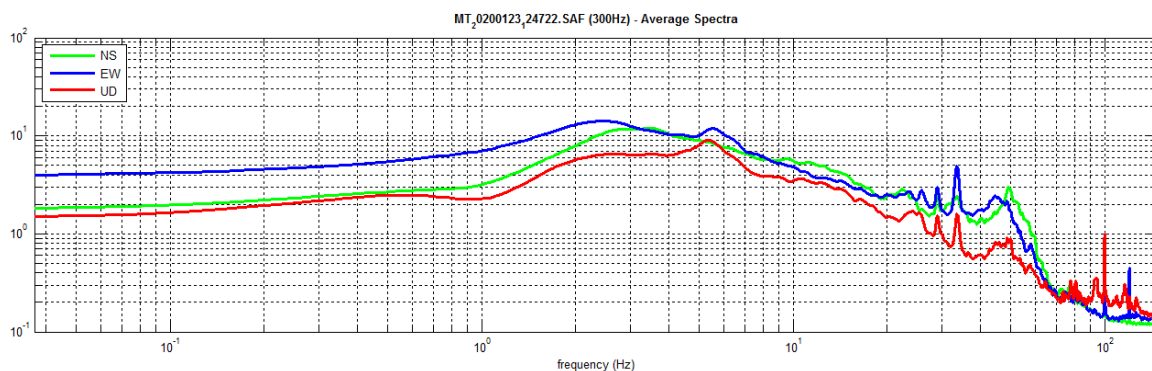
SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT_20200123_124722.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 18.4

Tapering (%): 10

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

Peak frequency (Hz): 1.1 (± 5.5)

Peak HVSR value: 2.1 (± 0.3)

Criteria for a reliable H/V curve

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: 1.1 > 0.5 (OK)
- #2. $[nc > 200]$: 2475 > 200 (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

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

- #1. $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$: (NO)
- #2. $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$: (NO)
- #3. $[A_0 > 2]$: 2.1 > 2 (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)
- #5. $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]$: 5.484 > 0.114 (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: 0.291 < 1.78 (OK)

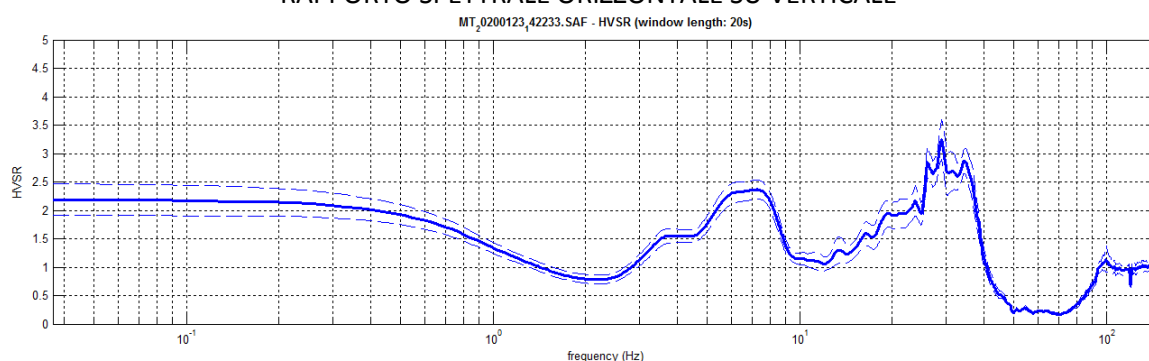
HV04

Località: Borgonovo V.T.
Data acquisizione: 23/01/2020

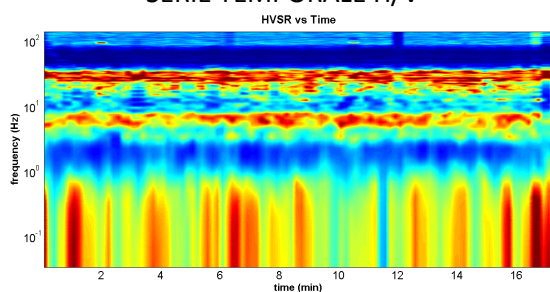
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz
Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0
Durata registrazione: 20 minuti
Frequenza campionamento: 300 Hz
Lunghezza finestre: 20 secondi
Tipo di lisciamiento: triangolare



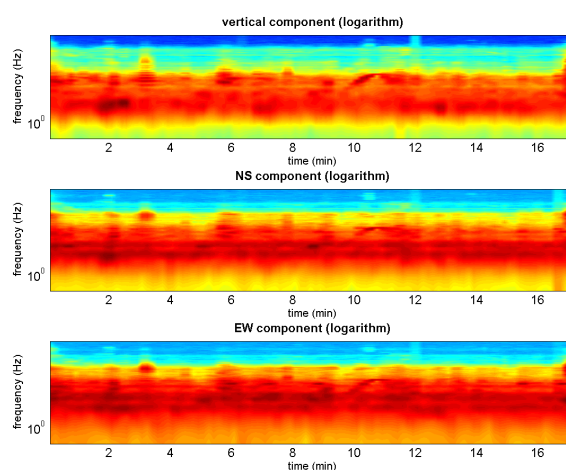
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



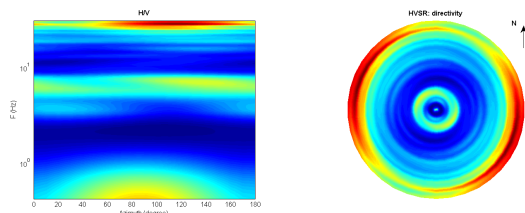
SERIE TEMPORALE H/V



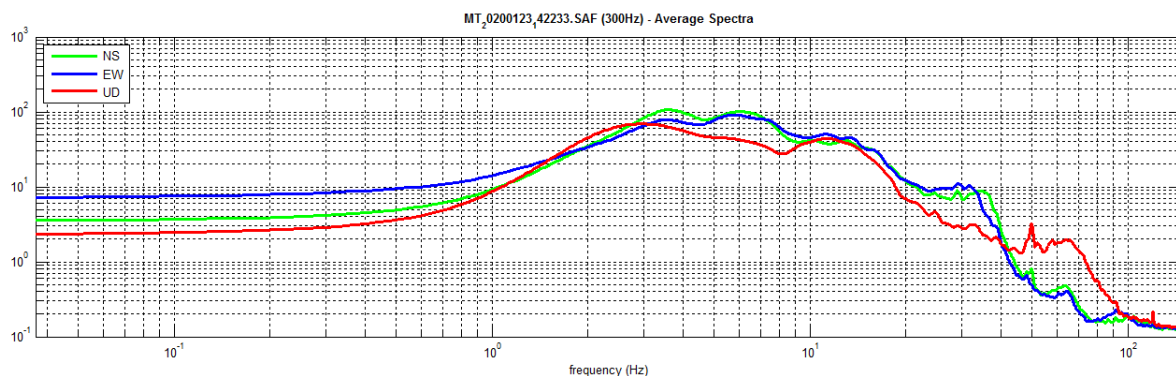
SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT_20200123_142233.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): 7.3 (± 5.2)

Peak HVSR value: 2.4 (± 0.2)

Criteria for a reliable H/V curve

- #1. $[f_0 > 10/L_w]$: 7.3 > 0.5 (OK)
- #2. $[n_c > 200]$: 15238 > 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. [exists f^- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f^-) < A_0/2$]: yes, at frequency 3.1Hz (OK)
- #2. [exists f^+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f^+) < A_0/2$]: yes, at frequency 9.6Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]$: 2.4 > 2 (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)
- #5. $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)]$: 5.209 > 0.366 (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: 0.168 < 1.58 (OK)

HV05

Località: Corano

Data acquisizione: 25/05/2020

Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz

Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0

Durata registrazione: 20 minuti

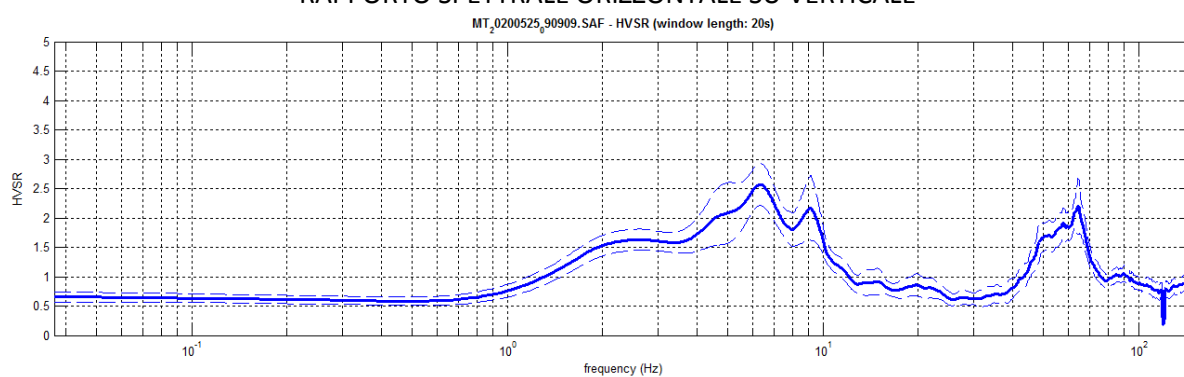
Frequenza campionamento: 300 Hz

Lunghezza finestre: 20 secondi

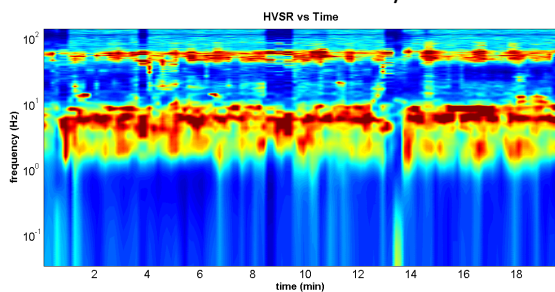
Tipo di lisciamento: triangolare



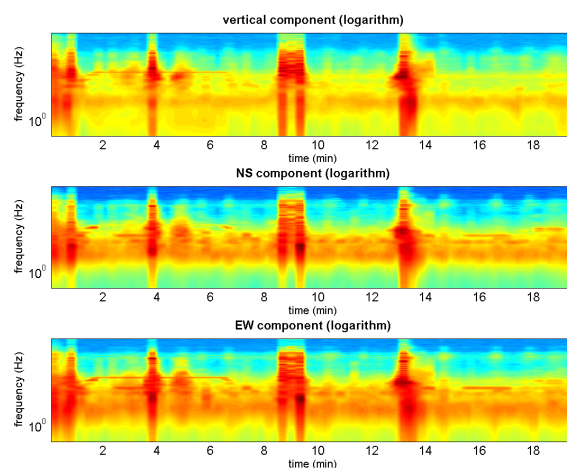
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



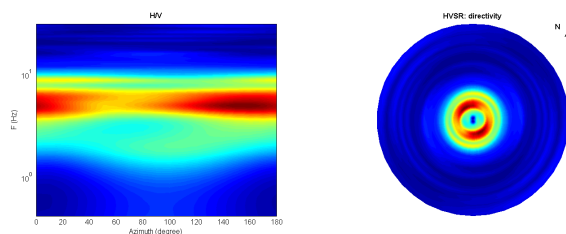
SERIE TEMPORALE H/V



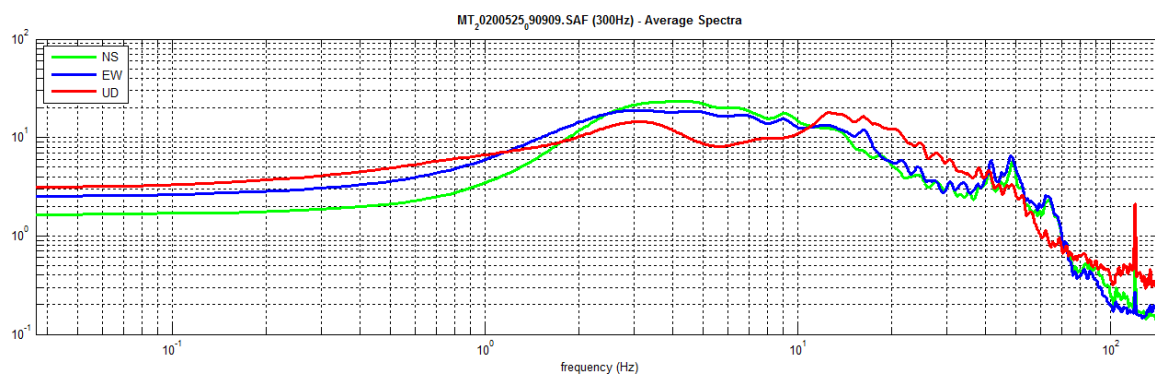
SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT_20200525_090909.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 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 6.4 (± 2.2)

Peak HVSR value: 2.6 (± 0.4)

Criteria for a reliable H/V curve

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: $6.4 > 0.5$ (OK)
- #2. $[n_c > 200]$: $15042 > 200$ (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 1.6Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$: yes, at frequency 10.7Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]$: $2.6 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)
- #5. $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)]$: $2.165 > 0.319$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.355 < 1.58$ (OK)

HV06

Località: Bilegno

Data acquisizione: 25/05/2020

Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz

Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0

Durata registrazione: 20 minuti

Frequenza campionamento: 300 Hz

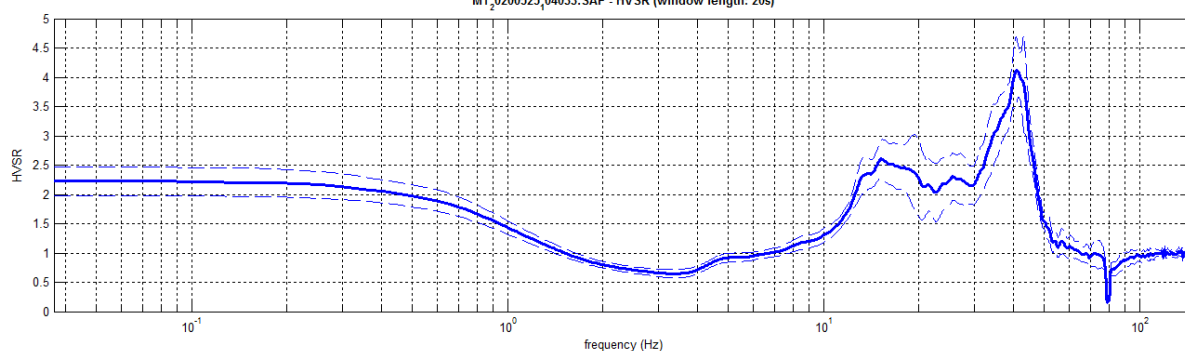
Lunghezza finestre: 20 secondi

Tipo di lisciamento: triangolare



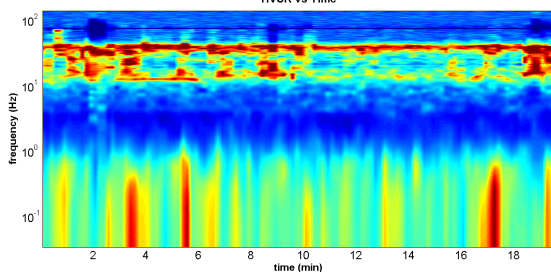
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

MT_0200525_04033.SAF - HVSR (window length: 20s)



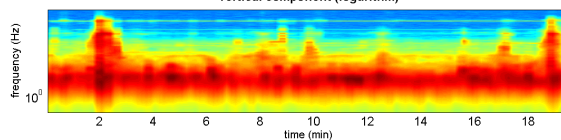
SERIE TEMPORALE H/V

HVSR vs Time

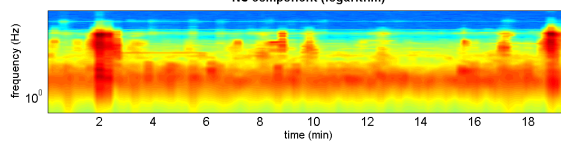


SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI

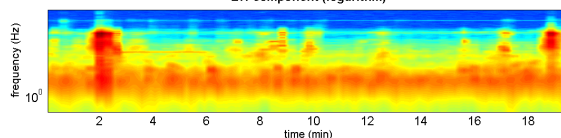
vertical component (logarithm)



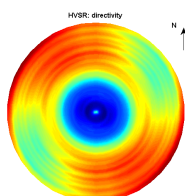
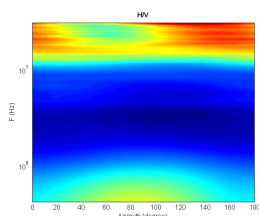
NS component (logarithm)



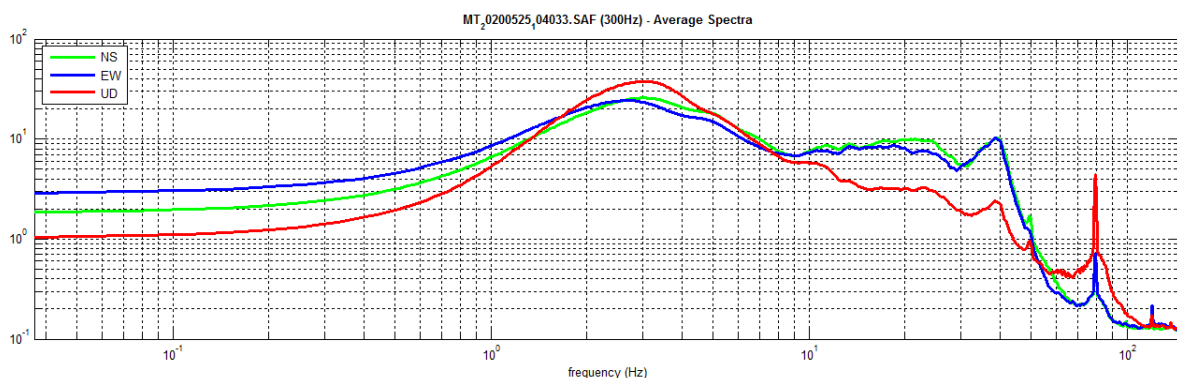
EW component (logarithm)



DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT_20200525_104033.SAF

Sampling frequency (Hz): 300

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 17.7

Tapering (%): 10

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

Peak frequency (Hz): 15.1 (± 5.0)

Peak HVSR value: 2.7 (± 0.3)

Criteria for a reliable H/V curve

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: $15.1 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]$: $31615 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5Hz; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

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

- #1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]$: yes, at frequency 10.5Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$: (NO)
- #3. $[A_0 > 2]$: $2.7 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{peak}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)
- #5. $[\sigma_{maf} < \epsilon(f_0)]$: $5.009 > 0.753$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.334 < 1.58$ (OK)

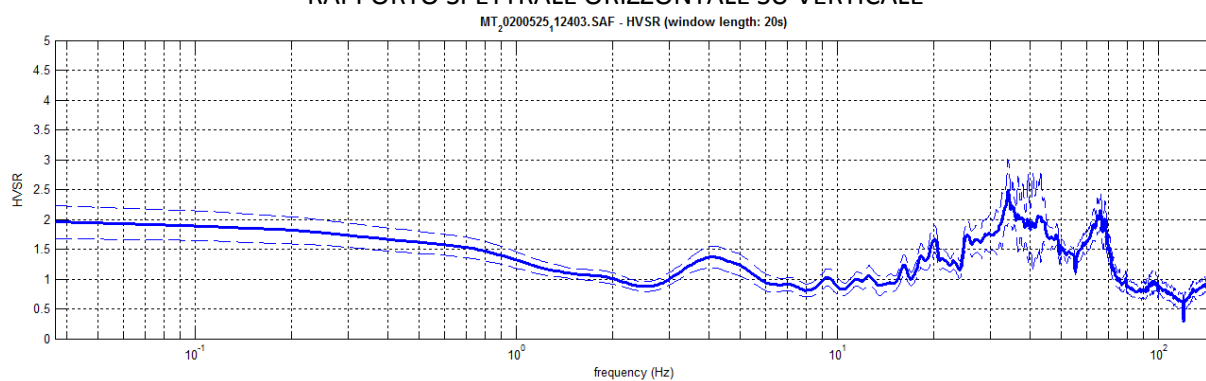
HV07

Località: Castelnuovo V.T.
Data acquisizione: 25/05/2020

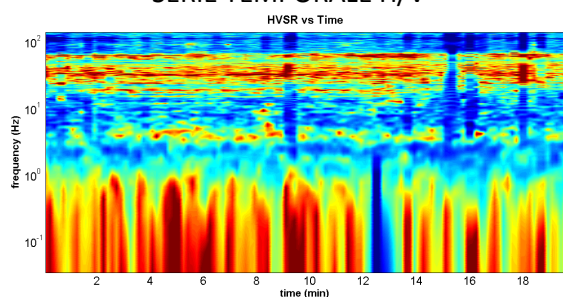
Strumento: sismografo SR04-GEOBOX Sensore 2.0 Hz
Software elaborazione: WINMASW Professional 6.0
Durata registrazione: 20 minuti
Frequenza campionamento: 300 Hz
Lunghezza finestre: 20 secondi
Tipo di lisciamento: triangolare



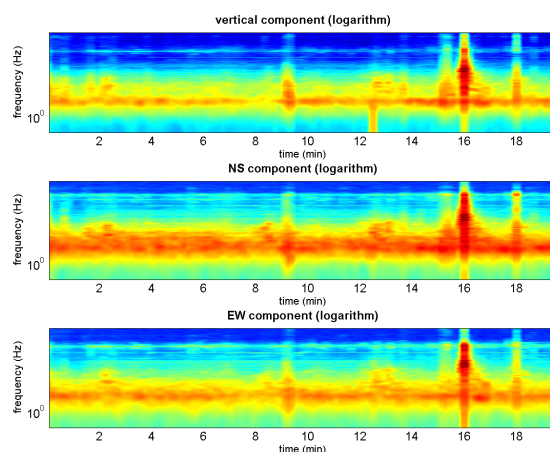
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



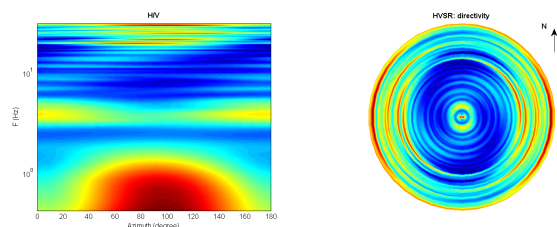
SERIE TEMPORALE H/V



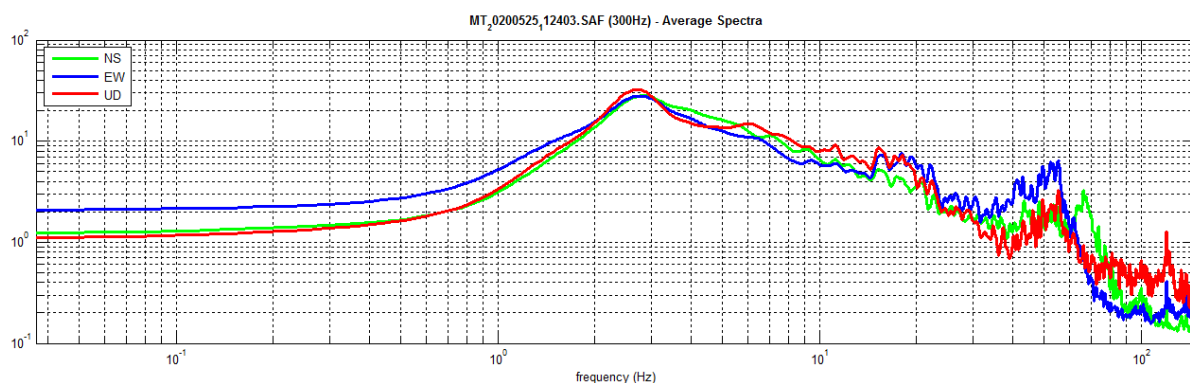
SERIE TEMPORALE SINGOLE COMPONENTI



DIREZIONALITÀ H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Dataset: MT_20200525_112403.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 2.0-12.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 4.1 (± 2.5)

Peak HVSR value: 1.4 (± 0.2)

Criteria for a reliable H/V curve

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: 4.1 > 0.5 (OK)
- #2. $[nc > 200]$: 9682 > 200 (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

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

- #1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]$: (NO)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$: (NO)
- #3. $[A_0 > 2]$: 1.4 < 2 (NO)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)
- #5. $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)]$: 2.478 > 0.205 (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: 0.180 < 1.58 (OK)

11.3 Prove penetrometriche CPT

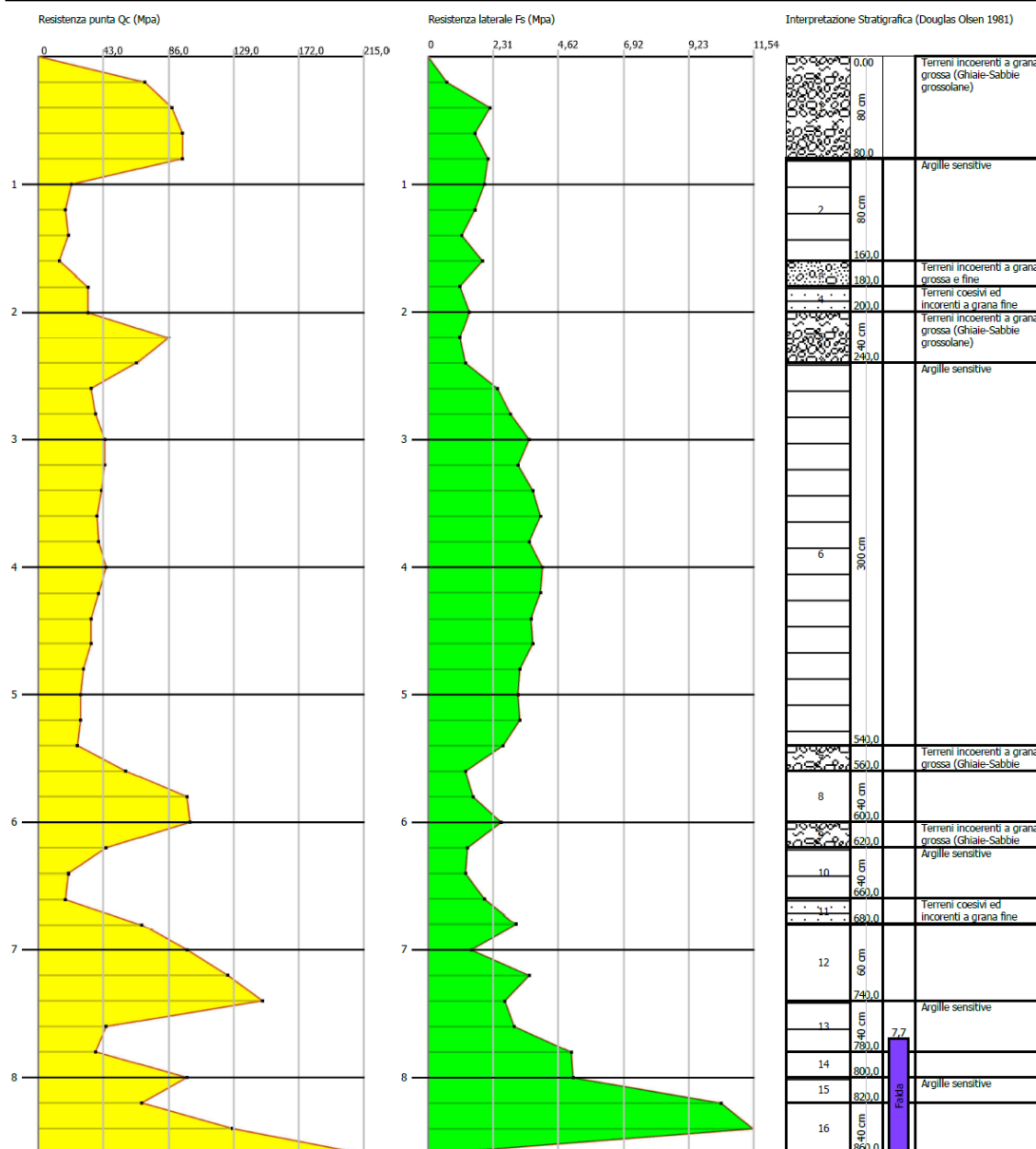
033006P107

Dott. Geol. Paolo Mancipipi
Studio Geologico
Via D. Vitali, 32
29121 Piacenza

Probe CPT - Cone Penetration PROVA 1
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: COMUNE di BORGONOVO V.T.
Cantiere: MZS BORGONOVO V.T.
Località:

Data: 09/01/2020



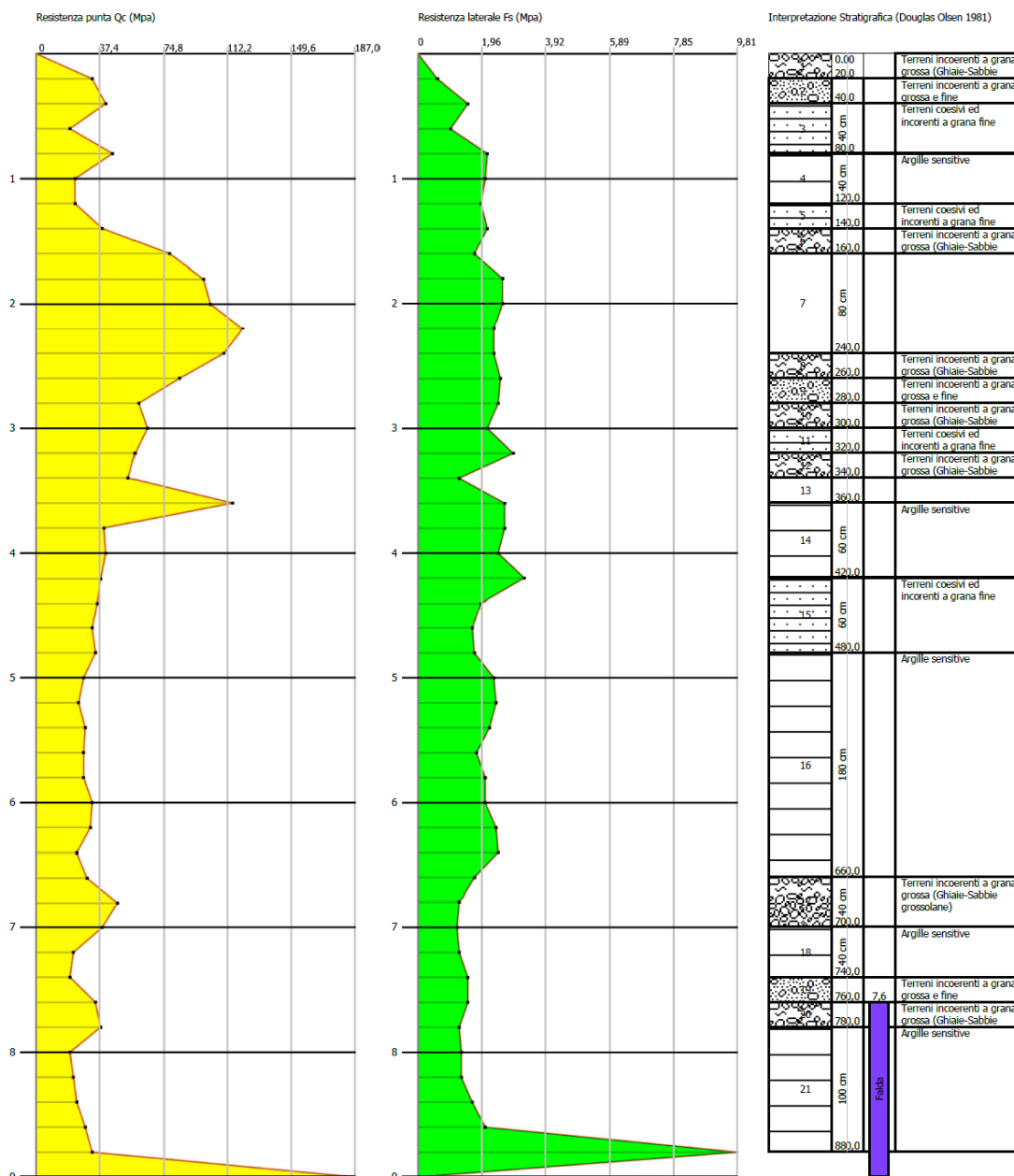
033006P108

Dott. Geol. Paolo Mancipoli
Studio Geologico
Via D. Vitali, 32
29121 Piacenza

Probe CPT - Cone Penetration PROVA 2
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: COMUNE di BORGONOVIO V.T.
Cantiere: MZS BORGONOVIO V.T.
Località:

Data: 09/01/2020



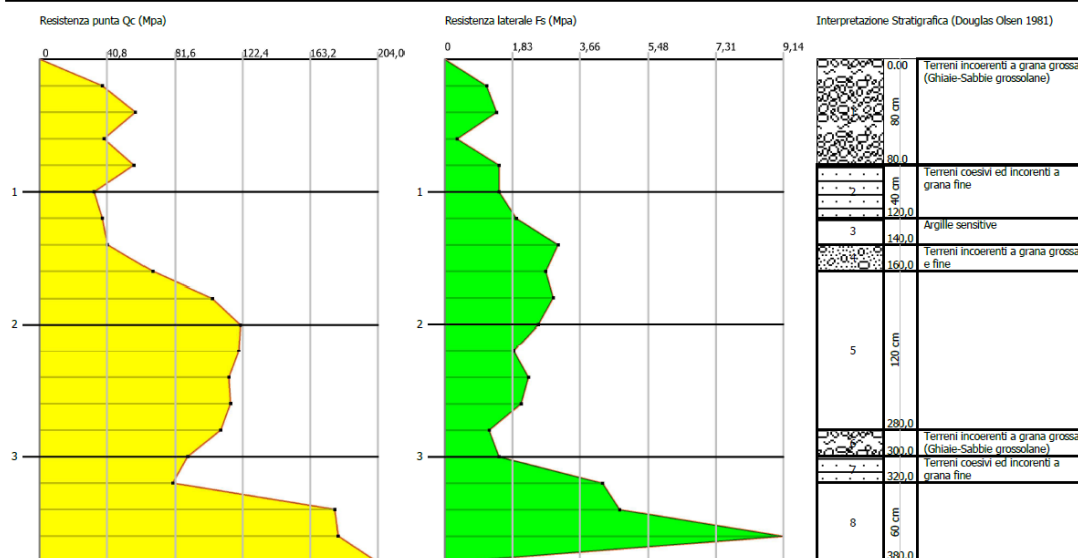
033006P109

Dott. Geol. Paolo Mancipoli
Studio Geologico
Via D. Vitali, 32
29121 Piacenza

Probe CPT - Cone Penetration PROVA 3
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: COMUNE di BORGONOVO V.T.
Cantiere: MZS BORGONOVO V.T.
Località:

Data: 09/01/2020



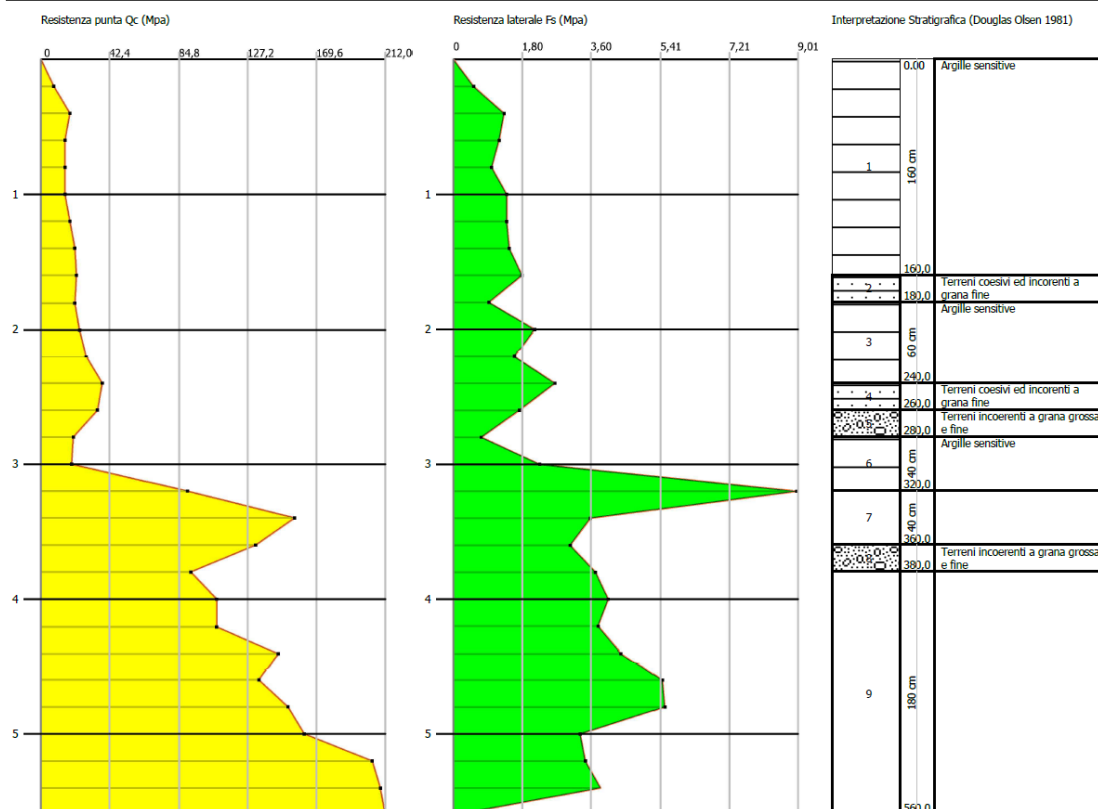
033006P110

Dott. Geol. Paolo Mancipoli
Studio Geologico
Via D. Vitali, 32
29121 Piacenza

Probe CPT - Cone Penetration PROVA 4
Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Committente: COMUNE di BORGONOVATO V.T.
Cantiere: MZS BORGONOVATO V.T.
Località:

Data: 09/01/2020



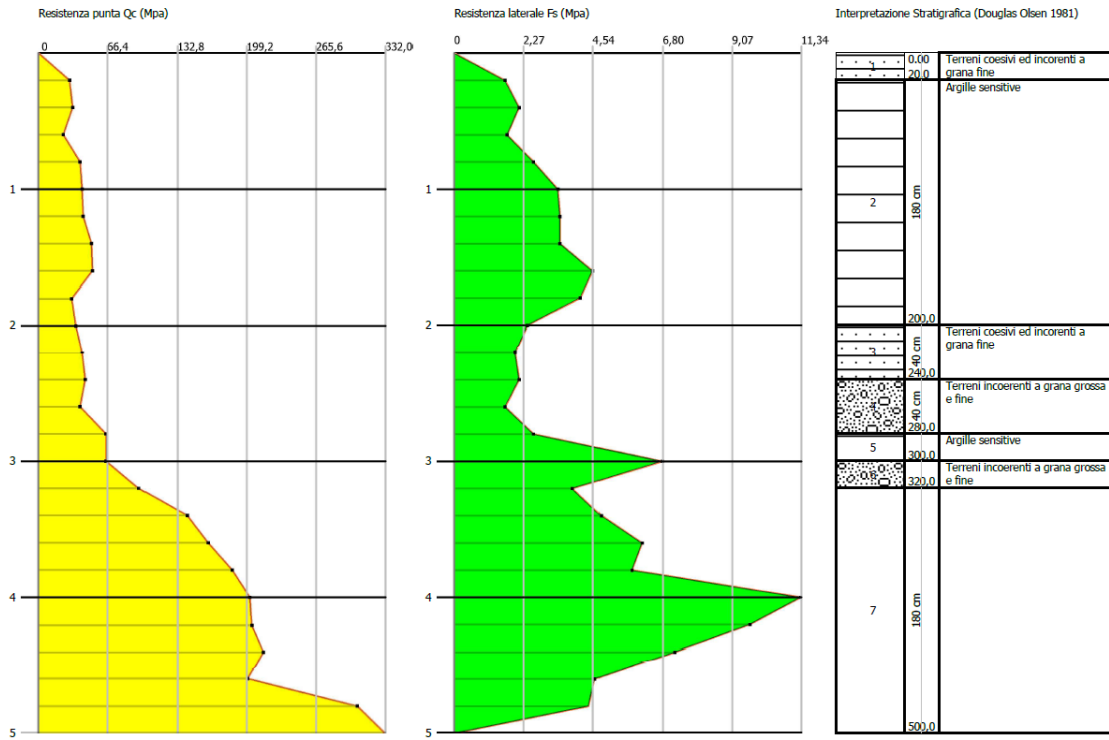
033006P111

Dott. Geol. Paolo Mancioffi
Studio Geologico
Via D. Vitali, 32
29121 Piacenza

Probe CPT - Cone Penetration PROVA 5
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: COMUNE di BORGONOVO V.T.
Cantere: MZS BORGONOVO V.T.
Località:

Data: 09/01/2020



11.4 Sezione Geologica

