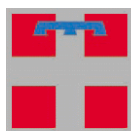




PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE
PIEMONTE



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

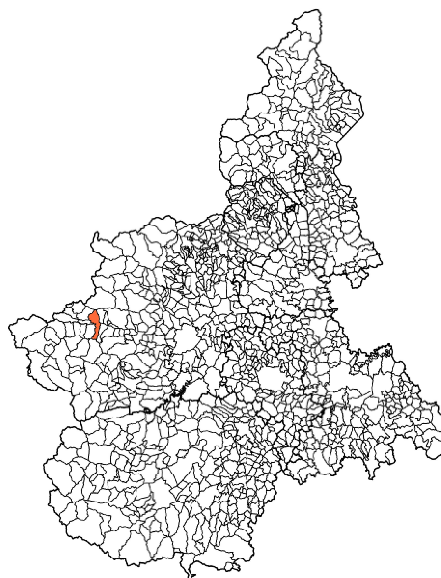
Attivazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Piemonte

Comune di Bussoleno



Regione

Soggetto realizzatore



Data:
20 gennaio 2015

INDICE

1	INTRODUZIONE	5
2	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	6
3	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	10
	3.1 Inquadramento geomorfologico.....	10
	3.2 Geologia e tettonica.....	11
	3.3 Depositi Quaternari	12
	3.4 Geologia strutturale	15
	3.4.1 Strutture duttili.....	15
	3.4.2 Strutture fragili (giunti e faglie).....	16
4	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	17
	4.1 Campagna integrativa	17
	4.1.1 Indagine Bussoleno 1	17
	4.1.2 indagine Bussoleno 2.....	19
	4.1.3 Indagine Bussoleno 3	20
	4.1.4 Indagine Bussoleno 4	21
	4.1.5 Indagine Bussoleno 5	23
5	MODELLO DEL SOTTOSUOLO	25
	5.1 Geotecnica	25
	5.2 Geomorfologia.....	25
6	INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	26
7	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	27
	7.1 OBIETTIVI E INDAGINI ESEGUITE	27
	7.2 STRUMENTAZIONE	28
	7.3 ELABORAZIONE DATI.....	30
	7.3.1 Prove per onde superficiali	31
	7.3.2 HVSR	37
	7.4 PROVE PER ONDE SUPERFICIALI – Nota tecnica.....	40
	7.4.1 Introduzione teorica.....	40
	7.4.2 Modalità di acquisizione.....	41
	7.4.3 Elaborazione dati di onde superficiali	42
	7.5 PROVE PASSIVE H/V.....	43
	7.5.1 Introduzione teorica.....	43
	7.5.2 Modalità di acquisizione.....	43
	7.5.3 Elaborazione dei dati H/V	43
	7.5.4 Identificazione della frequenza di risonanza f_0	44
8	ELABORATI CARTOGRAFICI	45
	8.1 Carta delle indagini.....	45
	8.2 Carta Geologico Tecnica	45
	8.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).....	46
	8.3.1 Zona 1	46
	8.3.2 Zona 2.....	46

8.3.3	Zona 3.....	46
8.3.4	Zona 4.....	47
8.3.5	Zona 5.....	47
8.3.6	Zona 6.....	47
9	BIBLIOGRAFIA.....	49
9.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE	49
9.2	INDAGINI GEOFISICHE (bibliografia essenziale)	49
9.3	LAVORI SCIENTIFICI.....	50
9.4	WEB.....	51
10	ALLEGATI.....	52
10.1	SWM_Bussoleno1	54
10.2	SWM_Bussoleno2	64
10.3	SWM Bussoleno 3	74
10.4	SWM_Bussoleno4	84
10.5	SWM Bussoleno5	95

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Storia sismica di Bussoleno (fonte: Database Macrosismico Italiano versione DBMI11)	7
Figura 2 – Campo macrosismico del terremoto del 1887 epicentro Liguria occidentale. (fonte: Database Macrosismico Italiano versione DBMI11).....	8
Figura 3 – Campo macrosismico del terremoto del 1914 epicentro Tavernette (Cumiana). (fonte: Database Macrosismico Italiano versione DBMI11).....	9
Figura 4 – Campo macrosismico del terremoto del 1943 epicentro Val Susa. (fonte: Database Macrosismico Italiano versione DBMI11).....	9
Figura 5 – Stereoplot delle giaciture riportate nella carta geologico tecnica.....	17
Figura 6 – Ubicazione planimetrica da immagine aerea (fuori scala).	29
Figura 7 – Sismografo Geometrics Geode (un modulo).....	30
Figura 8 – Geofono verticale SENSOR SM-6/U-B montato su land-streamer Gamut G1.25.....	30
Figura 9 – Sorgente Gamut Deep Impact 7kJ.....	31
Figura 10 – Sismometro triassiale Sercel L4C-3D con acquisitore Reftek PFC_130B.	31
Figura 11 – Stacking del sismogramma della prova SWM_Bussoleno4.....	32
Figura 12 – Spettro f-k del sismogramma di Figura 11.....	32
Figura 13 – Curva di dispersione estratta dallo spettro di Figura 12.....	33
Figura 14 – Modo fondamentale delle curve di dispersione espresso in funzione di $\lambda/2.5$	33
Figura 15 – Curve di dispersione delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente.	34
Figura 16 – Set di modelli delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente. In evidenza il profilo definitivo.	35
Figura 17 – Curva di distribuzione dei valori di V_{s30} stimati da piano campagna.	36
Figura 18 – Profilo stratigrafico di V_s (profondità da piano campagna).....	36
Figura 19 – Spettri f-k normalizzati e fitting delle curve di dispersione.	37

Figura 20 – Curva di dispersione da modello (punti rossi) e curva di dispersione sperimentali. ...	37
Figura 21 – Misura HVSR_Bussoleno3, spettri di ampiezza di ciascuna componente (dall'alto in basso: componente verticale, orizzontale H1 NordSud, orizzontale H2 EstOvest).....	39
Figura 22 – Misura HVSR_Bussoleno3, grafico di direzionalità della componente orizzontale. .	40
Figura 23 – Sezioni geologiche interpretative.	47

1 INTRODUZIONE

Con Determinazione dell'area tecnica di Servizio n. 596-346 del 18 dicembre 2013, il Comune di Bussoleno ha incaricato il Dott. Geol. Dario Fontan di eseguire uno studio di microzonazione sismica sul territorio comunale urbanizzato in attuazione dei disposti dell'articolo 11 del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77 e sulla base dei criteri riportati nell'allegato 2 dell'O.P.C.M. n. 4007/2012, con approfondimenti equivalenti al livello 1 degli Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica, secondo quanto previsto nella D.D. n. 3190 del 13/12/2012 della Regione Piemonte.

Gli elaborati tecnici di riferimento per l'esecuzione degli studi sono rappresentati dagli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS)" (2008) e da Colombi et al., (2011).

Per la redazione degli elaborati cartografici e l'organizzazione delle informazioni, i documenti di riferimento sono stati gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica", versione 3.0 elaborati dalla Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica datati ottobre 2013 (AA.VV., 2013).

Le attività fondamentali del progetto sono consistite nella raccolta di tutti i dati geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, geognostici, indagini geofisiche relativi al territorio oggetto d'indagine e nell'esecuzione di rilevamenti geologici di controllo sul terreno necessari alla ricostruzione dell'assetto geologico a scala locale.

Inoltre, per alcune zone suscettibili di amplificazioni locali ritenute significative, sono state eseguite indagini di sismica superficiale con metodologia MASW, espressi in termini di valori di Vs, accompagnate da indagini con tecnica HVSR, finalizzate a verificare la frequenza naturale del sito.

I prodotti sono consistiti in:

- Carta delle indagini (scala 1:10'000) dove sono state indicate le prove pregresse e quelle di nuova esecuzione; tutte le prove sono state classificate in base al tipo ed alla profondità raggiunta.
- Carta geologico-tecnica (scala 1:10'000) predisposta sulla base dei rilievi geologici e morfologici disponibili e dai dati derivanti dai rilievi di controllo effettuati, corredata da due sezioni geologiche significative orientate sia trasversalmente sia longitudinalmente all'asse vallivo.
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) (scala 1:10'000) in cui sono indicate le zone omogenee in prospettiva sismica, propedeutiche ai successivi livelli di approfondimento.
- Banche dati contenenti i dati relativi alle carte prodotte.
- Relazione illustrativa dove sono descritte in dettaglio le metodologie di studio utilizzate, i risultati ottenuti, le cartografie e le banche dati prodotte.

La base topografica utilizzata è la Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti (BDTRE) alla scala 1:10'000.

L'area indagata è stata perimetrata in modo da includere il fondovalle, maggiormente urbanizzato, e le principali frazioni presenti sui versanti vallivi.

2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

Per la definizione della pericolosità sismica di base del Comune di Bussoleno si è fatto riferimento a quanto riportato dalle banche dati ufficiali INGV e ARPA Piemonte; in particolare sono state consultate le seguenti fonti:

- il Database Macrosismico Italiano versione DBMI11 a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, dicembre 2011, visualizzato il 14 agosto 2014 al sito: http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/query_place/
- il Database Arpa Piemonte relativo alla sismicità strumentale dal 1982 ad oggi, visualizzabile sul sito: <http://webgis.arpa.piemonte.it/flxview/GeoViewerArpa/>
- il Database online delle pericolosità sismica in Italia, visualizzato il 14 agosto 2014 al sito: <http://esse1.mi.ingv.it/>

La storia sismica di Bussoleno è rappresentata dal seguente grafico, che evidenzia gli eventi storici contenuti nel catalogo italiano risentiti al sito:

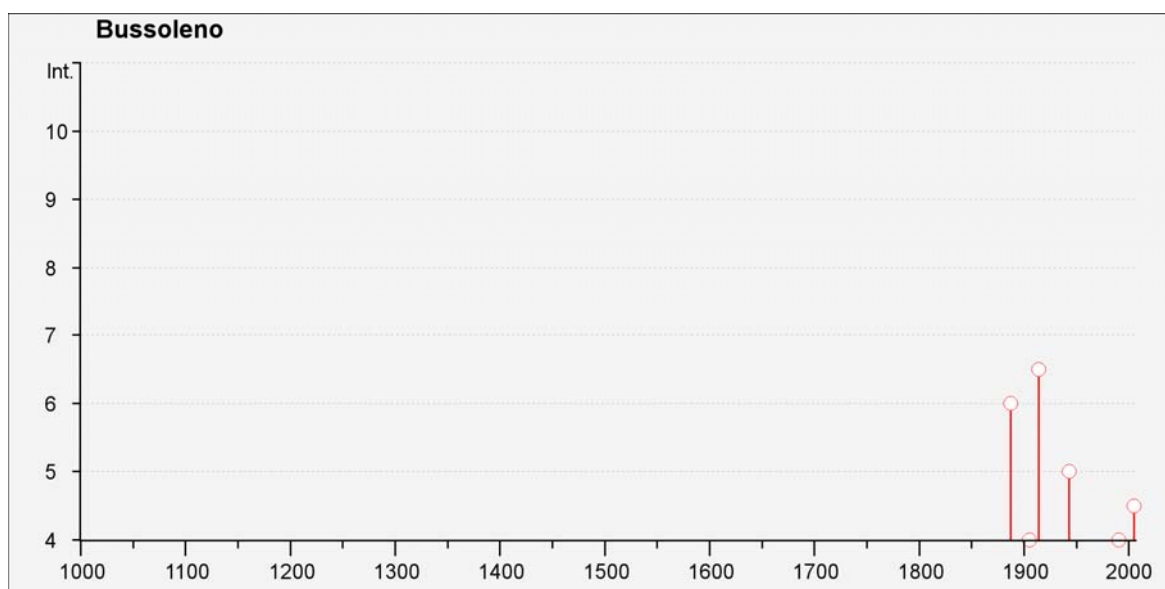


Figura 1 – Storia sismica di Bussoleno (fonte: Database Macrosismico Italiano versione DBMI11)

Le caratteristiche degli eventi risentiti sono riportate nella Tabella 1:

Storia sismica di Bussoleno [45.139, 7.148] Numero di eventi: 10					
Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
6	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516		6.97 ±0.15
F	1892 03 05	PONT S. MARTIN	86	7	4.90 ±0.19
3	1901 05 25 03:59	Torinese	35	5-6	4.81 ±0.34
4	1905 04 29 01:46	Alta Savoia	267	7-8	5.63 ±0.09
6-7	1914 10 26 03:43	TAVERNETTE	67	7	5.41 ±0.16
5	1943 05 22 19:03	VAL DI SUSA	3	5	4.40 ±0.25

Storia sismica di Bussoleno [45.139, 7.148] Numero di eventi: 10					
Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
2	1960 03 23 23:08	Vallese	178		5.00 ±0.20
4	1990 02 11 07:00	CANAVESE	201	6	4.71 ±0.09
NF	2000 08 21 17:14	Monferrato	597	6	4.86 ±0.09
4-5	2005 06 12 21:16	Val di Susa	103	5	4.09 ±0.14

Tabella 1 – Storia sismica di Bussoleno (fonte: Database Macrosismico Italiano versione DBMI11).

Come si nota dal diagramma di Figura 1 gli eventi maggiormente risentiti sono quelli del:

- 23 febbraio 1887 della Liguria occidentale di magnitudo MW 6.97
- 26 ottobre 1914 Tavernette (Cumiana) di magnitudo MW 6-7
- 22 maggio 1943 Val Susa di magnitudo Mw 5

Tali eventi hanno prodotto un risentimento al sito di intensità 5-6 MCS, dei quali si riportano i rispettivi campi macrosismici (Figura 2, Figura 3, Figura 4):

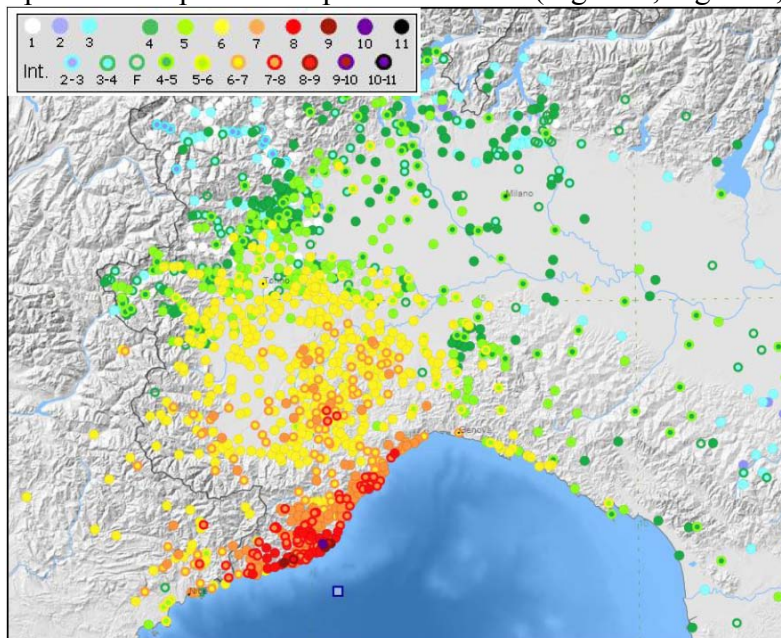


Figura 2 – Campo macrosismico del terremoto del 1887 epicentro Liguria occidentale. (fonte: Database Macrosismico Italiano versione DBMI11).

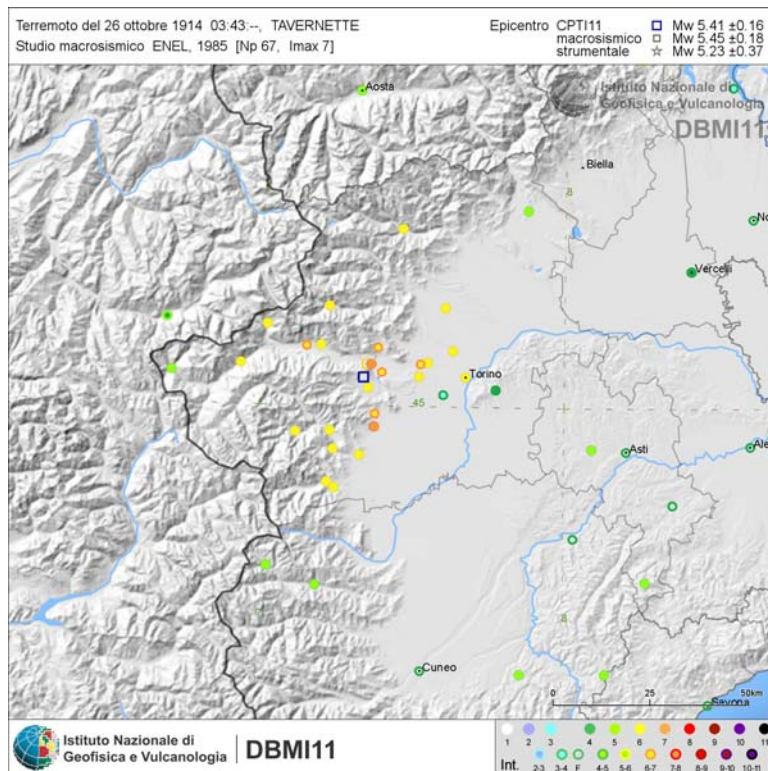


Figura 3 – Campo macrosismico del terremoto del 1914 epicentro Tavernette (Cumiana). (fonte: Database Macrosismico Italiano versione DBMI11).

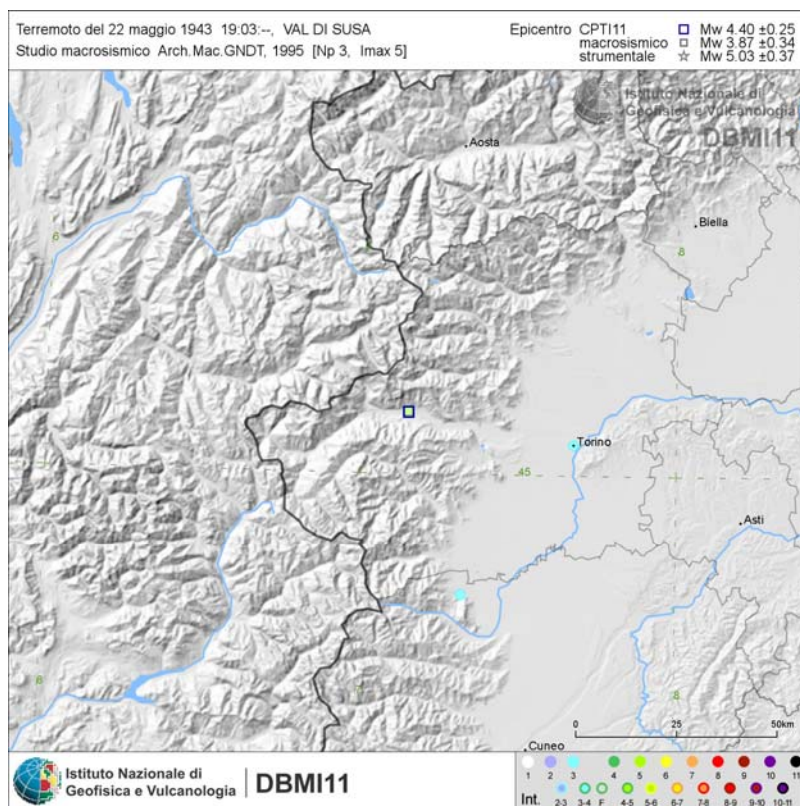


Figura 4 – Campo macrosismico del terremoto del 1943 epicentro Val Susa. (fonte: Database Macrosismico Italiano versione DBMI11).

Il Comune di Bussoleno è stato classificato in quarta categoria con Decreto Ministeriale 19 marzo 1982.

Nel 1997 la Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi, considerando i notevoli sviluppi delle conoscenze sulla sismicità del territorio italiano, ha incaricato il SSN di costituire un Gruppo di lavoro (G.d.L.) per la formulazione di una proposta di riclassificazione sismica del territorio italiano che non tenesse conto dell'eredità storica sulla normativa. In tale classificazione il comune di Bussoleno ricadeva in terza categoria.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 ha inserito il Comune di Bussoleno in zona 3, caratterizzata da valori dell'accelerazione orizzontale, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresi tra 0.10 e 0.15 g.

Per quanto riguarda la classificazione sismica attualmente vigente il Comune di Bussoleno risulta classificato in zona sismica 3; il valore rappresentativo dell'accelerazione orizzontale di base attesa a scala comunale, a cui si dovrà fare riferimento per l'applicazione di studi di livello 2 e, in combinazione con altri parametri indicatori di pericolosità, per l'applicazione di studi di livello 3, è di 0.1340 g.

Ai sensi del DM 14 gennaio 2008, tale valore, corrispondente a sollecitazioni su suolo rigido e pianeggiante con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Tempo di ritorno di 475 anni) è ottenuto tramite media pesata sull'inverso della distanza tra l'ubicazione ISTAT del municipio e i circostanti 4 nodi della griglia, riportati di seguito, ove sono calcolati i valori di pericolosità sismica:

ID	LON	LAT	Distanza	
[#]	[°]	[°]	[°]	[km]
13341	7.115	45.116	0.033	3.704
13342	7.185	45.120	0.035	3.867
13119	7.110	45.166	0.036	3.990
13120	7.180	45.169	0.037	4.104

Tabella 2 – Punti del reticolo e rispettiva distanza rispetto al baricentro del comune di Bussoleno (DM 14 gennaio 2008).

Media dei valori dei parametri dei 4 punti per la località in esame	T _R		a _g	F _O	T _C *
	[anni]		[g/10]	[adm]	[s]
	30	1	0.391	2.45	0.21
	50	2	0.524	2.41	0.23
	72	3	0.623	2.43	0.23
	101	4	0.734	2.42	0.24
	140	5	0.846	2.43	0.25
	201	6	0.981	2.43	0.25
	475	7	1.340	2.46	0.26
	975	8	1.687	2.49	0.27
	2475	9	2.187	2.55	0.28

Tabella 3 – Parametri sismici per differenti tempi di ritorno calcolati come media pesata sull'inverso della distanza tra l'ubicazione ISTAT del municipio e i circostanti 4 nodi della griglia (DM 14 gennaio 2008).

3 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Il territorio di Bussoleno è stato oggetto negli ultimi anni di approfondite indagini sia geologiche sia geofisiche collegate sia alla redazione della seconda edizione del Foglio 154 - "Susa" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50,000 (Carraro et al., 2002) e alla realizzazione del nuovo collegamento ferroviario Torino-Lione (Sacchi et al., 2004; Alpetunnel, 1996, 1997, 1999). Le informazioni attualmente disponibili, in buona parte riportate anche nel Piano Regolatore Generale (PRCG) del comune di Bussoleno (SEAConsulting Srl, 2008), costituiscono una base di dati consistente ed aggiornata su cui basare gli approfondimenti necessari allo studio di Microzonazione Sismica (MZS) di 1° livello.

3.1 Inquadramento geomorfologico

L'attuale assetto morfologico dell'area è il risultato di un complesso modellamento operato da diversi agenti morfogenetici che si sono susseguiti a partire dal Pliocene. Alla scala dell'intera Valle Susa si riconoscono forme e depositi associati al modellamento glaciale i cui relitti sono conservati prevalentemente alla fronte e ai lati dell'originaria massa glaciale. La loro distribuzione consente di ricostruire le fasi principali di espansione e di ritiro del ghiacciaio vallivo. Dopo l'ultimo ritiro, la morfologia glaciale è stata rimodellata ad opera dei processi di dinamica fluviale della Dora Riparia, fluviale torrentizia dei bacini laterali.

Il primo indizio di una fase glaciale si ha nel Pleistocene medio (?) con la formazione dell'Anfiteatro di Rivoli-Avigliana. In seguito, il deterioramento climatico ha determinato il passaggio da condizioni di tipo caldo-umido ad un periodo caratterizzato da forti contrasti climatici: a fasi "interglaciali", caratterizzate da un clima umido-temperato simile a quello attuale, si sono alternati periodi "glaciali" sensibilmente più freddi.

Dopo la fase di massima espansione dell'ultima glaciazione (Pleistocene sup., Last Glacial Maximum - LGM) nella Val Susa – Val Cenischia persisteva ancora il ghiacciaio vallivo, mentre si ritiene che nell'alta valle Susa il ghiacciaio vallivo fosse ridotto o assente. La persistenza del ghiacciaio vallivo della Val Susa – Val Cenischia ha determinato la formazione del "gradino di Graverè" che rappresenta una soglia morfologica allo sbocco dell'alta Val Susa sospesa di circa 200 m rispetto alla bassa valle Susa e Val Cenischia.

L'assetto geomorfologico del versante destro è influenzato dal complesso modellamento glaciale che ha determinato valli la formazione di vallette parallele all'asse vallivo ed interpretate come antichi scaricatori glaciali, con relative morfologie sepolte, al momento poco conosciute, e da dossi glaciali. Sulla base dello studio dei rapporti di sovrapposizione e di intersezione delle differenti unità morfostratigrafiche glaciali, Righi (1980) ha ipotizzato che tali morfologie sono state formate per progressiva migrazione verso nord dell'asse mediano del ghiacciaio principale.

La valle principale è colmata da depositi una sequenza di depositi alluvionali potente circa 100-130 m.

Una soglia sepolta, parallela all'asse mediano della valle principale si trova sul lato destro presso C.na Armonè e separa una zona al piede del versante con substrato a profondità massime di circa 20 m da una zona mediana con profondità dell'ordine del centinaio di metri.

3.2 Geologia e tettonica

Le informazioni di carattere generale relative all'assetto geologico dell'area sono state tratte dalle Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia - foglio 55 "Susa" - in scala 1:100.000 e 1:50.000, da numerose pubblicazioni scientifiche, dagli studi per il piano regolatore di Susa (SEAConsulting, 2008) e per gli studi relativi alla realizzazione della Linea ad Alta Velocità Torino – Lione.

Nel territorio indagato affiorano unità tettono-metamorfiche appartenenti al Dominio Penninico, rappresentato dal Massiccio Cristallino del Dora-Maira e costituite da un basamento cristallino pre-triassico e da coperture metasedimentarie mesozoiche.

Il **basamento cristallino** del Massiccio Dora-Maira è considerato un insieme composito di scaglie tettoniche di crosta continentale con caratteri litologici e metamorfici piuttosto variabili. Nel settore settentrionale del Massiccio si possono distinguere:

- Il Complesso polimetamorfico;
- Il Complesso grafítico del Pinerolese (monometamorfico);
- Il complesso degli Ortoderivati.

Nel territorio studiato il **Complesso polimetamorfico** è costituito da micascisti a granato e clorite, a grana media e colore rossastro, con intercalazioni centimetrico-decimetriche di quarziti.

Il **Complesso grafítico del Pinerolese (monometamorfico)** ed il complesso degli **Ortoderivati** non affiorano nel territorio studiato.

Le **coperture del massiccio** Dora-Maira (Franchi, 1898; Tallone, 1990; Cadoppi & Tallone, 1992) sono generalmente considerate sia autoctone sia parautoctone dalla maggior parte degli Autori, in ragione dell'affinità continentale che mostrano le successioni stratigrafiche.

Recentemente, per le coperture del settore settentrionale del massiccio del Dora-Maira, che riguardano direttamente l'area in studio, è stata proposta una ulteriore suddivisione in *Complesso di Pavaglione, di Foresto-Chianocco-M. Molaras* e di *Meana-M. Muretto* (Carraro et al, 2002).

Il *Complesso di Meana-M. Muretto* è stato riconosciuto solamente lungo il versante destro della Valle di Susa, per cui i rapporti con i complessi attigui non sono riconoscibili. Esso è costituito principalmente da una potente sequenza metapelitica con contenuto variabile di carbonato che include calcescisti s.s. e micascisti a granato, cloritoide e grafite. All'interno della sequenza metapelitica sono incluse rare masse di metagabbri completamente riequilibrati in facies scisti verdi e di serpentiniti. Fanno inoltre parte di questo complesso marmi impuri e paragneiss leucocratici con livelli di quarziti. Tali litotipi affiorano sporadicamente a sud dell'abitato di Santa Petronilla e presso Roncaglie.

Il *Complesso di Foresto-Chianocco-M. Molaras* affiora principalmente nel tratto compreso tra S. Giuliano e Chianocco ed è caratterizzato da una successione il cui termine litostratigrafico inferiore è costituito da marmi dolomitici più o meno micacei di colore da bianco a grigio azzurro ascrivibili al Trias medio sulla base del ritrovamento di alcuni resti di crinoidi (Franchi, 1898; Tallone, 1990). Al di sopra delle dolomie la successione prosegue con un livello di marmi grigio-azzurro, attribuibili al Malm per la loro affinità con litotipi simili affioranti nella Zona Brianzone (Marthaler et al., 1986). Segue un potente complesso di marmi silicatici e calcescisti con rare prasiniti ed ovariti che costituiscono la maggior parte degli affioramenti del versante sinistro.

Il *Complesso di Pavaglione*, evidenziato per la prima volta da Tallone (1990), consiste in un orizzonte basale di quarziti che si differenziano da quelle pre-mesozoiche per la presenza di paragenesi a cianite, rutilo, muscovite. A tetto delle quarziti segue un

complesso caratterizzato da alternanze di marmi di colore bianco e grigio chiaro, marmi bluastri e calcescisti. Il contatto con il complesso di Foresto-Chianocco-M. Molaras è mascherato da depositi colluviali. Il complesso affiora a sud di Truc del Vento, in aree ricadenti nei bacini del Rio Moletta e della Comba delle Foglie.

L'evoluzione metamorfica terziaria del settore settentrionale del massiccio Dora-Maira è caratterizzata da paragenesi di alta pressione (facies eclogitica caratterizzata da pressioni comprese tra 9 e 13 Kbar e temperature di circa 500°C) trasformate in modo pervasivo in associazioni di grado basso (facies scisti blu e scisti verdi caratterizzate da temperature e pressioni più basse) (Vialon, 1966; Borghi et al., 1985, Tallone, 1990).

Lungo i principali orizzonti di scollamento tra le principali unità tettoniche descritte in precedenza sono spesso presenti orizzonti di cataclasi carbonatiche caratterizzate da forte riduzione di grana e brecce cataclastiche di aspetto vacuolare a cemento carbonatico con clasti subangolosi di marmi, dolomie, e in quantità subordinata, scaglie di calcescisti e di micascisti, interessate da pervasivi fenomeni di dissoluzione, riprecipitazione e diffusa carsificazione (Carniole).

3.3 Depositi Quaternari

Le principali caratteristiche dei depositi quaternari sono descritte nelle successive tabelle in cui, per ogni litotipo (Standard V. 3.0.) è descritto l'ambiente genetico e deposizionale, la distribuzione, la potenza, i rapporti con altri litotipi e la collocazione cronologica. Tra parentesi è indicata la sigla della litologia prevalente di ciascuna unità, secondo la classificazione U.S.C.S..

Tabella 4: Copertura Detritico-Colluviale	
<i>Eluvi/colluvi (ec)</i>	
Distribuzione	Diffusa su tutto il territorio indagato
Litologia (GM)	La frazione detritica è costituita da ciottoli, con basso grado di arrotondamento e sfericità, immersi in un'abbondante matrice a composizione prevalentemente sabbioso-limosa.
Potenza	La potenza varia da 3-10 metri
Genesi	Eluvio-colluviale legata ai processi di alterazione, degradazione del substrato roccioso e degli altri depositi quaternari.
Rapporti con altri Complessi	Riveste tutti gli altri depositi.
Collocazione cronologica	Non esistono elementi di datazione diretta; i rapporti con gli altri depositi indicano un'età tardo Olocenica-attuale.

Tabella 5: Depositi alluvionali e torrentizi	
<i>Bacino (piana) in tramontana (in)</i>	
<i>Conoide alluvionale (ca)</i>	

Distribuzione	Corrispondono sia ai depositi della Dora Riparia sia a quelli legati ai rii tributari e sono in genere conservati lungo l'asse vallivo principale o lungo le più importanti incisioni secondarie. Quelli organizzati in conoidi occupano la maggior parte del fondovalle in corrispondenza delle principali valli tributarie della Dora Riparia. Da segnalare un antico apparato di conoide inciso, posto a monte di Baroni lungo il Rio Pissaglio.
Litotipo (GW)	Ciottoli, ghiaie e massi anche di grandi dimensioni con grado di arrotondamento medio-alto e sfericità medio-bassa, immersi in un'abbondante matrice di composizione prevalentemente da sabbiosa a sabbioso-limosa. Il grado di addensamento è mediamente elevato.
Potenza	La potenza varia da 3 m (lungo i rii laterali) a oltre 100 metri (?) nel fondovalle.
Genesi	Depositi alluvionali di ambiente torrentizio, fluviale e di conoide.
Rapporti con altri Complessi	Poggiano sul substrato lapideo.
Collocazione cronologica	Non esistono elementi di datazione diretta, la loro età varia dal l'Olocene all'attuale.

Tabella 6: Depositi detritici e depositi detritici a grossi blocchi.

<i>Falda detritica (fd)</i>	
Distribuzione	Sono distribuiti prevalentemente al piede dei principali affioramenti del substrato roccioso e in particolare al piede delle pareti presenti sulla sinistra idrografica della Dora Riparia.
Litologia (GW)	Ciottoli, massi e blocchi di forma irregolare in matrice sabbioso-ghiaioso-limosa
Potenza	Variabile tra 3 e 10 m.
Genesi	Detritica (crioclastismo e termoclastismo) e/o per crolli successivi da affioramenti disarticolati.
Rapporti con altri Complessi	Rivestono parte degli altri depositi ed il substrato roccioso.
Collocazione cronologica	Non esistono elementi di datazione diretta; i rapporti con gli altri depositi indicano un'età tardo Olocenica-attuale.

<i>Tabella 7: Depositi glaciali</i>	
<i>Morene (mr)</i>	
Distribuzione	Sono presenti sul versante sinistro al di sotto dei 1100 metri, fino al fondovalle, e sono molto più estesi nel versante destro.
Litotipo (GW)	Ciottoli, massi e subordinati blocchi con basso grado di arrotondamento e sfericità, immersi in un'abbondante matrice a composizione prevalentemente ghiaioso-sabbioso-limosa.
Potenza	La potenza varia da pochi metri a circa 3-20 metri.
Genesi	Glaciale principalmente per ablazione.
Rapporti con altri Complessi	Rivestono il substrato roccioso.
Collocazione cronologica	Non esistono elementi di datazione diretta; i rapporti con gli altri depositi indicano un'età Pleistocenica-attuale.

<i>Tabella 8: Depositi fluvioglaciali</i>	
<i>Depositi fluvio glaciali (fg)</i>	
Distribuzione	Sono stati riconosciuti sul versante sinistro, in particolare lungo le aste del Torrente Rocciamelone e del Rio Moletta.
Litotipo (GW)	Ghiaie più o meno grossolane, ghiaie sabbiose e sabbie a supporto di clasti, classati e stratificati a scala pluricentrica, con facies argilloso-siltose talora prevalenti. Talvolta i depositi si presentano cementati.
Potenza	Variabile tra 3 e 20 metri
Genesi	Depositi fluviali e torrentizi di ambiente glaciale.
Rapporti con altri Complessi	Poggiano sul substrato
Collocazione cronologica	Non esistono elementi di datazione diretta; i rapporti con gli altri depositi indicano un'età Pleistocenica-attuale.

<i>Tabella 9: Depositi detritici e depositi detritici a grossi blocchi</i>	
<i>Falda detritica (Fd)</i>	
Distribuzione	Sono distribuiti prevalentemente al piede dei principali affioramenti del substrato roccioso e in particolare al piede delle pareti presenti sulla sinistra idrografica della Dora Riparia.
Litologia (GW)	Ciottoli, massi e blocchi di forma irregolare in matrice sabbioso-ghiaioso-limosa
Potenza	Variabile tra 3 e 10 m

Genesi	Detritica (crioclastismo e termoclastismo) e/o per crolli successivi da affioramenti disarticolati.
Rapporti con altri Complessi	Rivestono parte degli altri depositi ed il substrato roccioso.
Collocazione cronologica	Non esistono elementi di datazione diretta; i rapporti con gli altri depositi indicano un'età tardo Olocenica-attuale.

3.4 Geologia strutturale

In letteratura sono state riconosciute almeno quattro fasi deformative di tipo duttile cronologicamente determinate sulla base a rapporti geometrici di sovrapposizione.

Tra le strutture di tipo fragile sono state riconosciute più famiglie di giunti responsabili dello stato di fratturazione dell'ammasso roccioso ed almeno un sistema di faglie.

Nella carta geologico-strutturale e litotecnica sono riportati gli elementi tettonici più significativi.

3.4.1 Strutture duttili

In tutte le unità strutturali, l'evento deformativo più antico riconoscibile è legato ad una fase duttile (F1) che ha prodotto la scistosità pervasiva e traspositiva (S1) ancora ben preservata soprattutto nei litotipi più competenti. Nei litotipi più plastici, con maggior frazione micacea quali micascisti e calcescisti, la scistosità S1 è sovrainpressa da una foliazione successiva (S2) legata alla fase (F2) che produce un fitto piegamento e spesso la parallelizzazione dei piani assiali dei due sistemi. Nell'area indagata la scistosità principale può dunque essere relativa sia alla fase deformativa (F1) sia a quella successiva (F2). Nei litotipi più rigidi sono spesso osservabili dei relitti del layering o delle foliazioni più antiche della S1 che definiscono cerniere di pieghe isoclinali sradicate.

Alla fase deformativa F2 viene attribuita in genere lo sviluppo di pieghe con stile serrato, nei litotipi più rigidi, con stile da isoclinale a serrato nei litotipi più plastici.

Le foliazioni descritte in precedenza sono deformate da pieghe asimmetriche con stile da aperto a quasi serrato associate alla fase deformativa (F3) senza sviluppo di clivaggio o scistosità.

Le osservazioni di terreno hanno inoltre messo in evidenza la presenza di una successiva fase di piegamento (F4) che forma pieghe non scistogene con stile aperto caratterizzate da una estrema variabilità dell'orientazione degli assi.

La foliazione regionale presenta immersioni piuttosto variabili congruenti con piegamenti con assi N-S verso NW legate alla fase deformativa tardiva (F3?) (Figura 5).

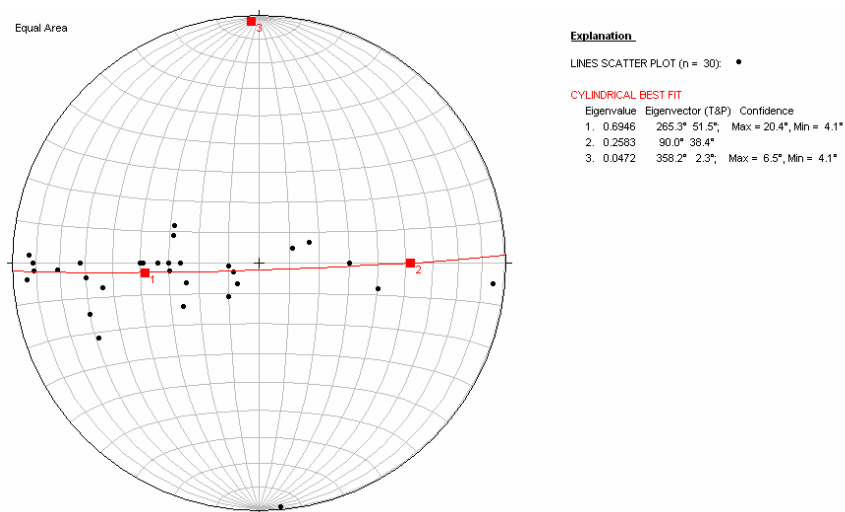


Figura 5 – Stereoplot delle giaciture riportate nella carta geologico tecnica

3.4.2 Strutture fragili (giunti e faglie)

Oltre alla presente di numerose famiglie di giunti, nell'area oggetto di studio sono state osservate poche discontinuità connesse alla deformazione fragile. Le zone di taglio fragili osservate mostrano una potenza piuttosto ridotta e una persistenza laterale limitata e dirette E-W e parallele ai contatti tettonici tra le unità tettonometamorfiche.

4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per la raccolta dei dati geotecnici e geofisici si è fatto riferimento alla documentazione alle indagini per la realizzazione dell'autostrada A32, della Ferrovia Torino – Bardonecchia, degli studi per la linea ad alta velocità Torino – Lione (indagini censite nel sito <http://webgis.arpa.piemonte.it>), del PRGC di Bussoleno (SEA Consulting 2008) ed ad indagini relative ad interventi edificatori (Ceccucci, 2009, 2012, 2013; Lauria, 2009; Alasia, 2010).

Nella seguente tabella sono riportati i dati utilizzati.

Sondaggi a carotaggio continuo (S)	18
Pozzi per acqua (PA)	11
Sondaggi a carotaggio continuo che intersecano il substrato (SS)	10
MASW	8
Linee sismiche rifrazione (SR)	5
Misure HVSR	5
Pozzetti esplorativi (T)	3
Down-hole (DH)	2
Prove SPT	1
Linee sismiche a riflessione (SL)	1
Prove penetrometriche super pesanti (DS)	1

A completamento dei dati geotecnici e geofisici già disponibili nell'ambito del presente studio sono state eseguite indagini geofisiche integrative, rappresentate da n. 5 indagini HVSR e n. 5 indagini MASW; per ogni sito sono state eseguite entrambe le indagini in modo da migliorare l'interpretazione sismostratigrafica. Le indagini aggiuntive sono allegate a fine testo.

4.1 Campagna integrativa

La campagna integrativa, eseguita 10-11 luglio 2014 dalla Gamut srl, consiste in un'indagine geofisica finalizzata alla caratterizzazione sismica di sito. A tale scopo sono state acquisite 5 prove per onde superficiali MASW utilizzando un land-streamer e 5 prove HVSR per la caratterizzazione stratigrafica del sottosuolo e la valutazione dell'effetto della risposta sismica locale e la misura della frequenza di risonanza.

4.1.1 Indagine Bussoleno 1

Il sito d'indagine è stato scelto per caratterizzare un settore distale di conoide alluvionale, caratterizzato da sedimenti relativamente più ghiaioso-sabbiosi rispetto ai settori apicali. Il fondovalle è colmato da potenti depositi conglomeratici alluvionali della Dora Riparia che si interdigitano con quelli alluvionali torrentizi provenienti dai conoidi alluvionali. Lo spessore di tali depositi quaternari non è conosciuto e sulla base di considerazioni geologico e geomorfologiche si dovrebbe attestare oltre i 100 m di profondità.

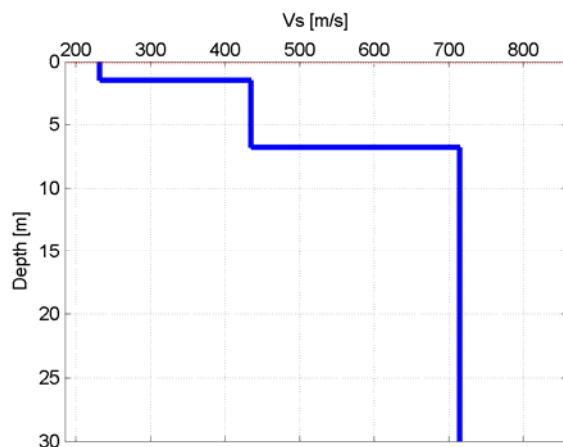


Figura 10 – Profilo stratigrafico di Vs - Modello finale (profondità da piano campagna).

Strato (numero)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	232	1.5	0 - 1.5
2	435	5.3	1.5 - 6.8
3	715		da 6.8

Tabella 1. Profilo Vs - Parametri del modello finale.

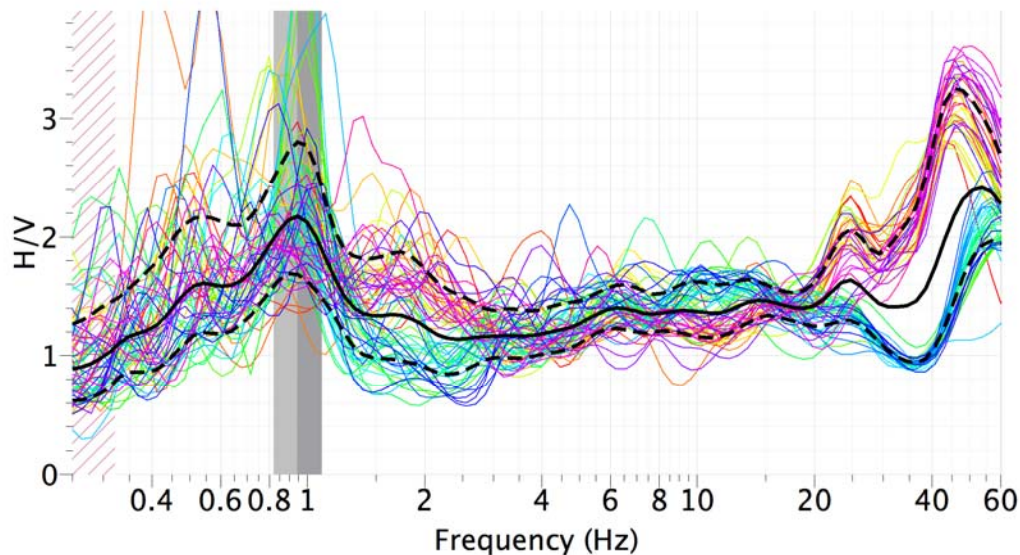


Figura 8 – H/V.

La curva H/V è affidabile e mostra un picco chiaro anche se rumoroso a 0,94 Hz. Per frequenze superiori a 20 Hz si nota una variazione delle sorgenti di rumore (peraltro fortemente direttive) nell'arco della registrazione. La frequenza di risonanza è compatibile con un bedrock con profondità dell'ordine di 100 m. Buona omnidirezionalità del dato.

La profondità del substrato geologico che si ottiene con la formula

$$h = \frac{V_s}{4 \cdot f_0}$$

è comparabile con quella desumibile da considerazioni geomorfologiche (oltre 100 m).

4.1.2 indagine Bussoleno 2

Il sito d'indagine è stato scelto per caratterizzare i terreni su cui sorge un edificio di proprietà comunale (ora non usufruibile) con interventi di risistemazione e riqualificazione in progetto.

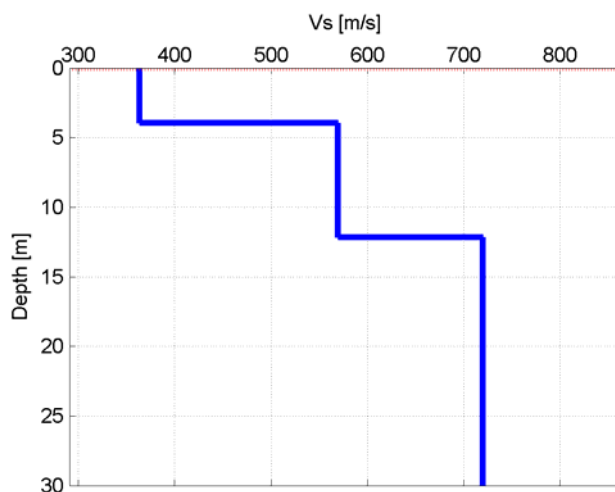


Figura 10 – Profilo stratigrafico di Vs - Modello finale (profondità da piano campagna).

Tabella 1. Profilo Vs - Parametri del modello finale.

Strato (numero)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	363	3.9	0 - 3.9
2	569	8.2	3.9 - 12.1
3	720		da 12.1

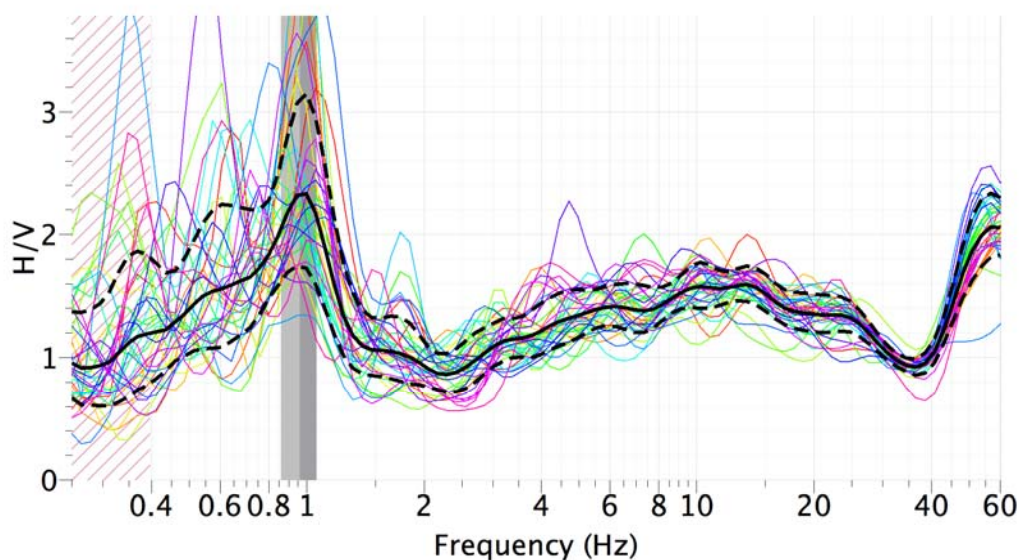


Figura 8 – H/V.

La curva H/V è affidabile e mostra un picco chiaro, anche se rumoroso a 0,96 Hz. Ottima omnidirezionalità del dato.

La profondità che si ottiene con la formula

$$h = \frac{V_s}{4 \cdot f_0}$$

è compatibile con un bedrock con profondità dell'ordine di 100 m.

4.1.3 Indagine Bussoleno 3

Il punto di misura dell'indagine è stato scelto per verificare l'estensione del vicino livello di sabbie fini (SMca) posto nella posizione distale del conoide del rio Gerardo. Il sondaggio S5, profondo 20 m circa e sito nei pressi, interseca livelli di sabbie fino a fondo foro senza raggiungere il substrato. Le misure indicano un bedrock sismico posto a circa 13 m di profondità.

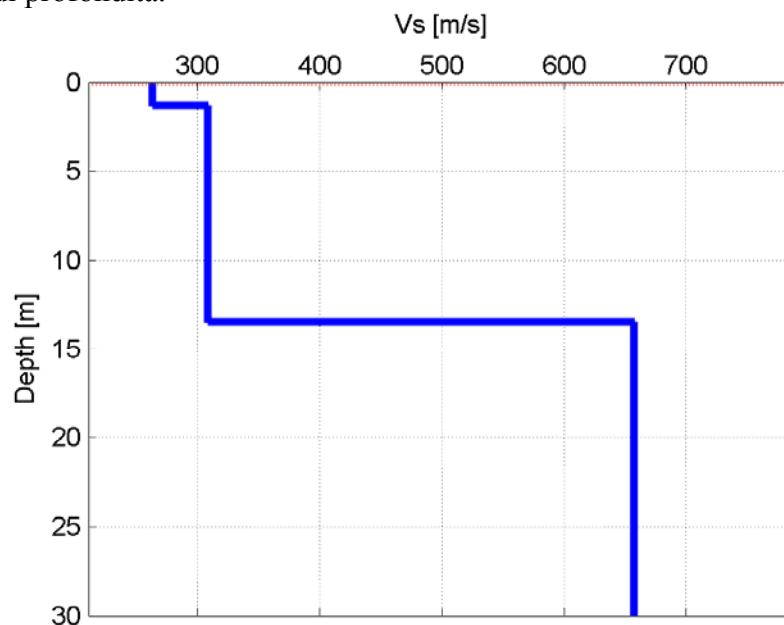


Figura 10 – Profilo stratigrafico di Vs - Modello finale (profondità da piano campagna).

Tabella 1. Profilo Vs - Parametri del modello finale.

Strato (numero)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	263	1.3	0 - 1.3
2	309	12.1	1.3 - 13.4
3	657		da 13.4

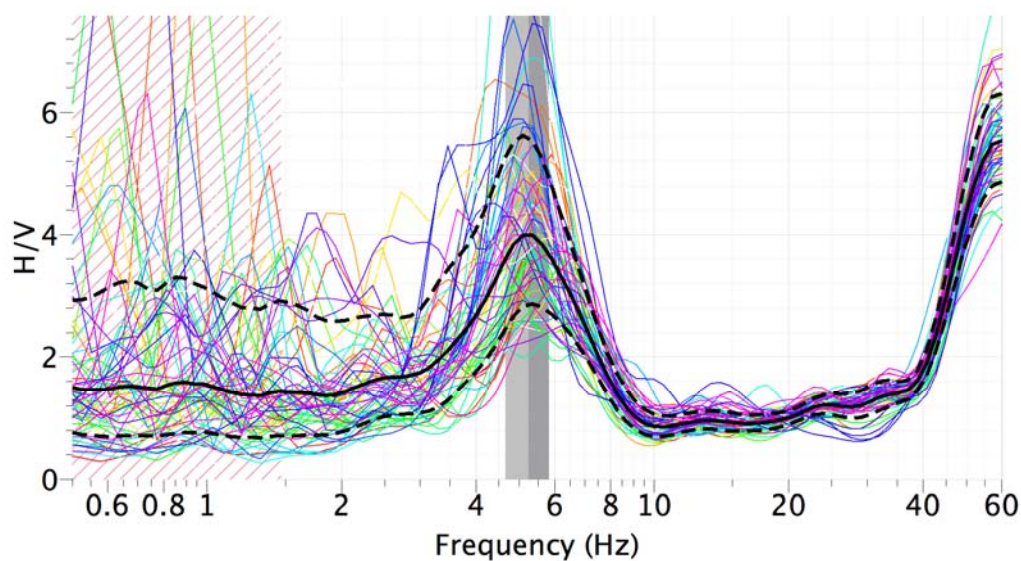


Figura 8 – H/V.

La curva H/V è affidabile e mostra un picco chiaro a 5.25 Hz. Ottima omnidirezionalità del dato.

La profondità del substrato lapideo che si ottiene con la formula

$$h = \frac{V_s}{4 \cdot f_0}$$

(circa 10-15 m) è discordante con i dati del sondaggio S5, che a fondo foro (circa 20) non raggiunge il substrato.

4.1.4 Indagine Bussoleno 4

Il punto di misura dell'indagine è stato scelto per verificare la stratigrafia sismica in corrispondenza di una zona edificabile posta nella parte mediana del conoide del rio Comba delle Foglie. Il bedrock sismico si trova a circa 15 m di profondità.

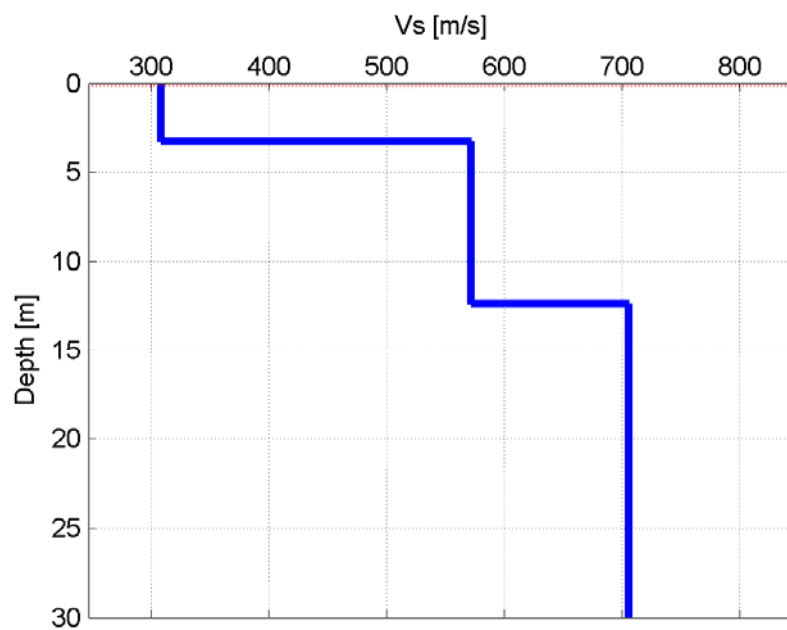


Figura 10 – Profilo stratigrafico di Vs - Modello finale (profondità da piano campagna).

Tabella 1. Profilo Vs - Parametri del modello finale.

Strato (numero)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	308	3.3	0 - 3.3
2	572	9.1	3.3 - 12.4
3	706		da 12.4

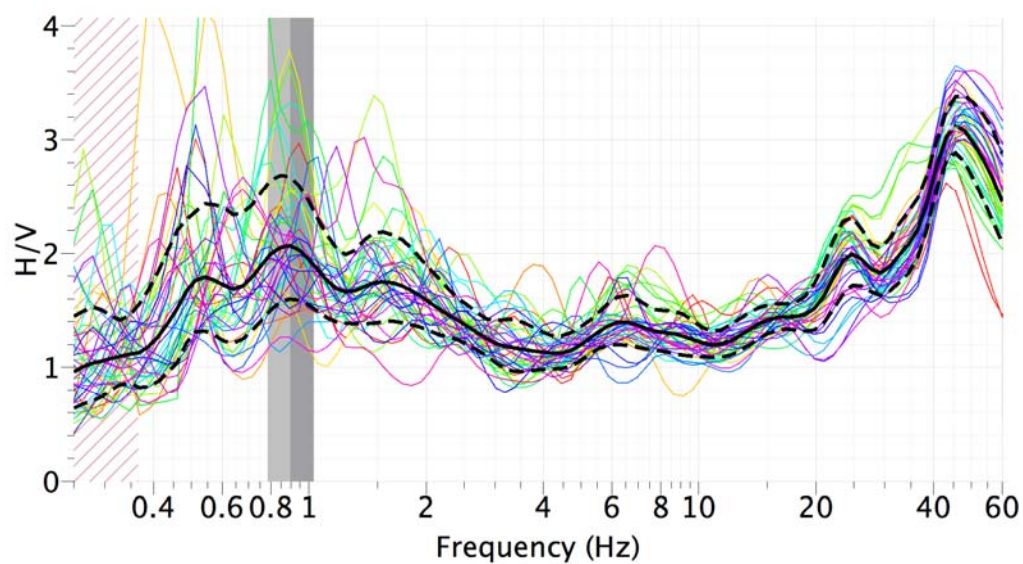


Figura 8 – H/V.

La curva H/V è affidabile e mostra un picco chiaro, anche se rumoroso e poco evidente a 0.89 Hz. Buona omnidirezionalità del dato. La frequenza di risonanza è compatibile con un bedrock con profondità dell'ordine di 100 m.

4.1.5 Indagine Bussoleno 5

Il punto di misura dell'indagine è stato scelto per verificare la profondità del substrato in prossimità dell'asse mediano di una valle di origine fluvio-glaciale, parallela alla valle principale (E-W) presso la loc. Meitre. La MASW indica una profondità del substrato lapideo a circa 9-10 m di profondità, valore in buon accordo con le osservazioni geologiche e geomorfologiche.

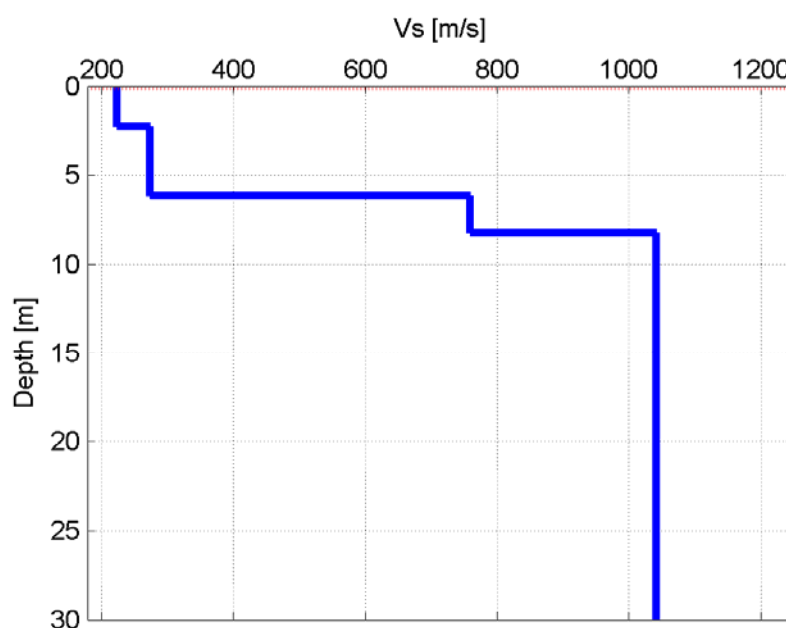


Figura 10 – Profilo stratigrafico di V_s - Modello finale (profondità da piano campagna).

Tabella 1. Profilo V_s - Parametri del modello finale.

Strato (numero)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	223	2.3	0 - 2.3
2	274	3.9	2.3 - 6.2
3	759	2.1	6.2 - 8.3
4	1041		da 8.3

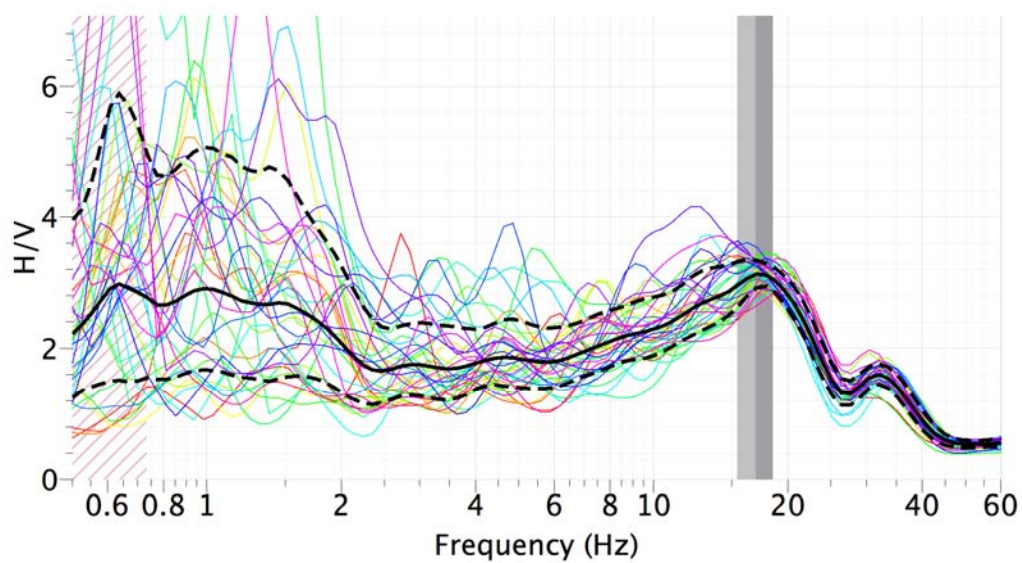


Figura 8 – H/V.

La curva H/V ma mostra un picco non chiaro a 16.98 Hz. La frequenza di risonanza individuata è tuttavia compatibile con la presenza di substrato che la prova attiva pone a circa 8 m. Pessima direzionalità.

5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Sulla base delle indagini reperite è stato possibile costruire il modello di riferimento per il sottosuolo dell'area indagata, finalizzato alla costruzione della Carta Geologico Tecnica.

5.1 Geotecnica

I depositi alluvionali più recenti che formano la piana di fondovalle ed i conoidi alluvionali sono costituiti da sedimenti a granulometria grossolana, con occasionali livelli cementati e sono classificabili secondo la classificazione delle terre U.S.C.S. come GW; sono pertanto materiali incoerenti con buon grado di addensamento, a comportamento esclusivamente attritivo e con rapida dissipazione delle pressioni interstiziali; presentano generalmente buone caratteristiche geotecniche.

Nell'ambito dei depositi alluvionali il bedrock sismico ($VS > 800$ m/s), dai dati a disposizione, si presenta alla profondità di circa 15-20 m.

Le vallecicole allungate E-W, che dividono i dossi glaciali, sono costituite in prevalenza da depositi fluvioglaciali, spesso cementati. Non è da escludere che alla base vi siano lembi di till di allogamento. Il loro spessore è compreso tra 3 e 10 m circa.

Le coperture eluvio-colluviali poste al raccordo tra il settore collinare e il settore di pianura, sono classificabili secondo la classificazione delle terre U.S.C.S. prevalentemente come GM; sono pertanto materiali sciolti o poco addensati, a granulometria media e poggianti direttamente sul substrato roccioso, che rappresenta il substrato rigido ed è posto a profondità variabile da 3 a 10 m.

5.2 Geomorfologia

I dati a disposizione non permettono di definire con certezza la morfologia del substrato lapideo sepolto dai sedimenti della piana di fondovalle. È stato ipotizzato che la morfologia del substrato sepolto sia pressoché analoga alla morfologia glaciale presente in destra orografica ed alla morfologia del versante sinistro.

Non ci sono dati a sufficienza per determinare la morfologia del raccordo tra il versante ed il fondovalle sepolto. Si ipotizza che in talune zone sia formato da soglie sepolte abbastanza ripide come ad esempio presso C.na Armonè dove il substrato lapideo è posto a circa 15-20 m di profondità ed è ricoperto da un complesso alluvionale rappresentato da sabbie fini, limi ed argille di origine fluviale (SMin).

Tra il versante e l'asse della valle principale è stata ipotizzata una fascia di raccordo in cui il basamento lapideo è a circa 15-20 di profondità. L'estensione di tale fascia di raccordo è stata tracciata sulla base di considerazioni geomorfologiche. In destra segue all'incirca l'allineamento tra le ripide pareti di Foresto, ipotizzate molto inclinate, e la zona di S. Lorenzo, dove la fascia appare più estesa. In sinistra segue all'incirca l'allineamento tra la dorsale rocciosa di Santa Petronilla ed il dosso roccioso di origine glaciale di S. Giorio (fuori carta).

6 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

I dati geologici e geotecnici a disposizione possono essere ritenuti sufficientemente rappresentativi dell'area indagata, in quanto caratterizzato da una buona omogeneità areale dal punto di vista litologico.

Per quanto riguarda i dati geofisici essi possono essere ritenuti sufficientemente attendibili, ma non sufficientemente distribuiti arealmente; si è pertanto ritenuto necessario integrare tali dati con nuove indagini geofisiche con l'obiettivo di verificarne l'attendibilità e l'omogeneità spaziale.

Dal punto di vista geologico e geomorfologico si evidenziano marcate incertezze relative alla morfologia del substrato geologico sepolto, all'effettiva presenza e all'andamento delle soglie sepolte ipotizzate e agli spessori delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) determinati dalla mancanza di sondaggi lungo i versanti e dalla posizione allineata, e quindi poco distribuita dei sondaggi nel fondovalle, allineati alle principali opere infrastrutturali (Alpetunnel, A32 e FF.SS Torino- Bardonecchia).

La zona di attenzione per liquefazione (ZAlq1) è stata cautelativamente individuata e perimetrata sulla base di pochi elementi geomorfologici, geologici e geotecnici.

Dal punto di vista idrogeologico si ravvisa la necessità di effettuare campagna di misura piezometrica estesa a tutto il fondovalle.

7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nelle date 10-11 luglio 2014 si è eseguita da GAMUT SRL (Elaborazioni e stesura: ing. Stefano Stocco, ing. Emanuele Bena) un'indagine geofisica finalizzata alla caratterizzazione sismica di tre siti retinati significativi.

A tale scopo sono state acquisite 5 prove per onde superficiali e 5 prove HVSR.

7.1 OBIETTIVI E INDAGINI ESEGUITE

Gli scopi dell'indagine sono caratterizzare stratigraficamente il sottosuolo e la misura della frequenza di risonanza.

Per soddisfare queste esigenze sono state condotte le seguenti indagini:

- 5 prove per onde superficiali utilizzando un land-streamer (sigla della prove: SWM).
- 5 acquisizioni HVSR (sigla della prova: HVSR).

Le tabelle seguenti riportano sinteticamente i parametri di acquisizione delle indagini geofisiche eseguite.

Tabella 10. Schema riassuntivo delle indagini SWM.

Identificativo linea	SWM
Lunghezza stendimento [m]	58.75
Canali [numero]	48
Spaziatura geofoni [m]	1.25
Tempo di campionamento [μ s]	500
Finestra di acquisizione [s]	2

Tabella 11. Schema riassuntivo delle indagini HVSR.

Identificativo misura	HVSR
Frequenza sensore [Hz]	1
Tempo di campionamento [ms]	8
Finestra di acquisizione [min]	30 - 50

In Figura 6 si mostra l'ubicazione planimetrica delle indagini eseguite.

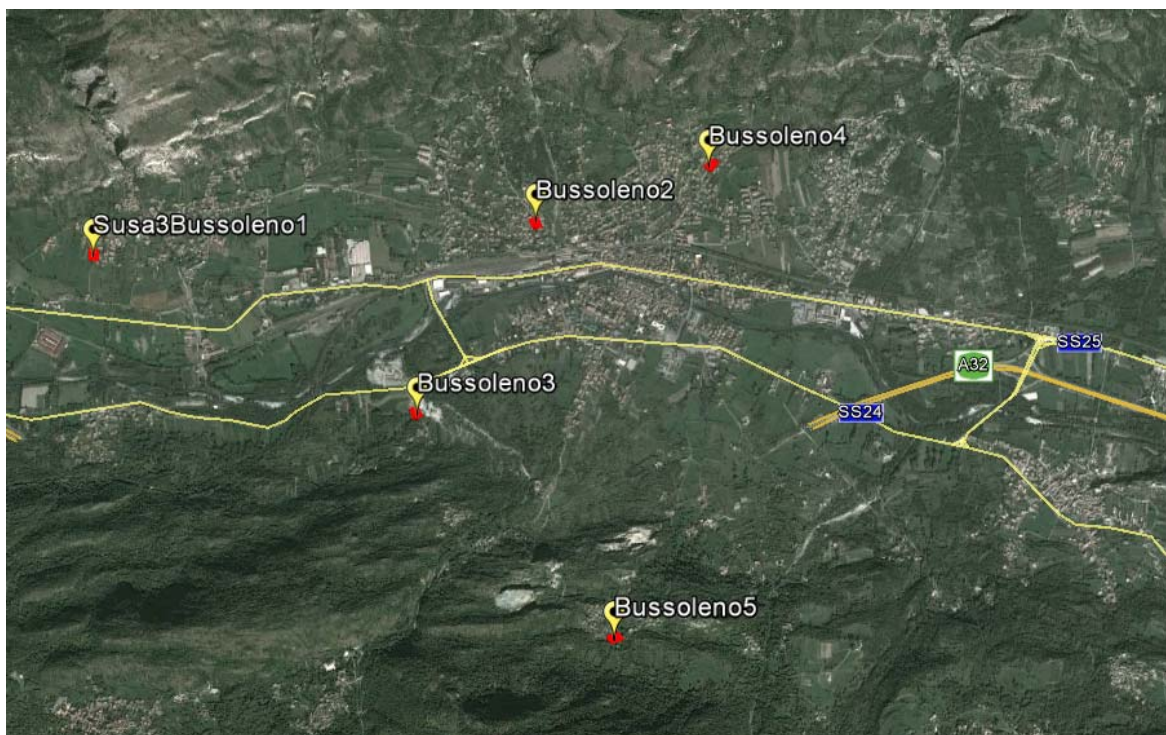


Figura 6 – Ubicazione planimetrica da immagine aerea (fuori scala).

7.2 STRUMENTAZIONE

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati è la seguente (da Figura 7 a Figura 10):

- Sismografo Geometrics GEODE costituito da due moduli a 24 canali controllati tramite laptop, per un totale di 48 canali disponibili; l'intervallo di campionamento è selezionabile tra 20 μ s e 16 ms; la durata dell'acquisizione è funzione della frequenza di campionamento con il limite di 64000 campioni per canale; la dinamica del convertitore analogico/digitale è di 24 bit.
- Geofoni verticali SENSOR SM-6/U-B con frequenza propria di 4.5 Hz.
- Land-streamer Gamut G1.25, 48 canali.
- Sorgente impulsiva: impattatore Gamut Deep Impact 7kJ o mazza battente.
- Sismometro triassiale Sercel L4C-3D con acquisitore Reftek PFC_130B, frequenza propria 1 Hz.

I dati sono stati elaborati e interpretati con:

- Software non commerciale Gamut GIADA.
- Geopsy 2.7.0, www.geopsy.org, licenza GNU GPL.



Figura 7 – Sismografo Geometrics Geode (un modulo).



Figura 8 – Geofono verticale SENSOR SM-6/U-B montato su land-streamer Gamut G1.25.



Figura 9 – Sorgente Gamut Deep Impact 7kJ.



Figura 10 – Sismometro triassiale Sercel L4C-3D con acquisitore Reftek PFC_130B.

7.3 ELABORAZIONE DATI

Nel seguito sono descritte le modalità di elaborazione e di interpretazione dei dati acquisiti mediante le prove geofisiche aggiuntive, corredate da alcune valutazioni critiche sulla qualità dei dati e sull'affidabilità dei risultati ottenibili.

7.3.1 Prove per onde superficiali

I dataset acquisiti sono composti da circa 15 sismogrammi ciascuno. Ciascuna registrazione contiene 48 tracce con spaziatura di 1.25 m.

Si fornisce la descrizione dettagliata dell'elaborazione effettuata sulla SWM_Bussoleno4. La Figura 11 riporta lo *stacking* dei sismogrammi.

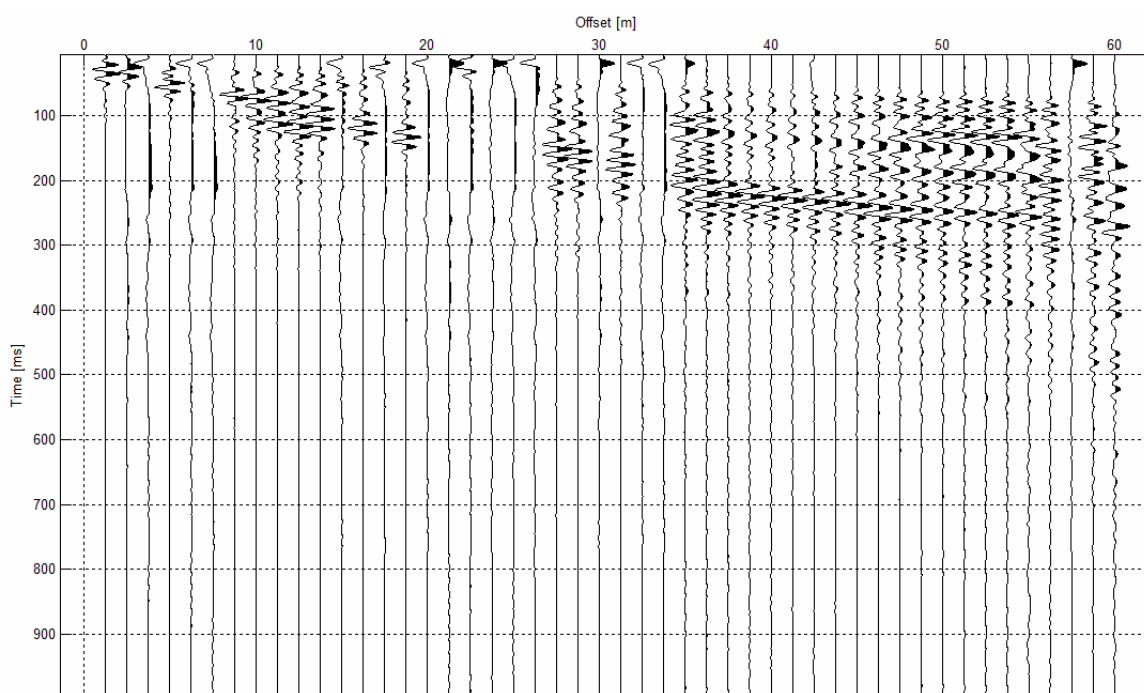


Figura 11 –Stacking del sismogramma della prova SWM_Bussoleno4.

Il dato è trasformato in dominio f-k (Figura 12) e sono estratte e pulite le curve di dispersione (Figura 13).

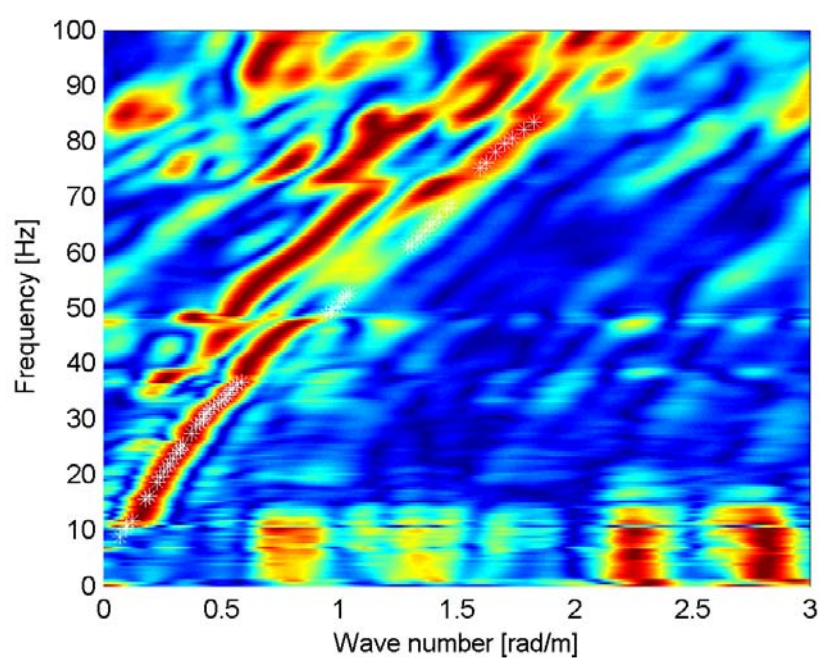


Figura 12 – Spettro f-k del sismogramma di Figura 11.

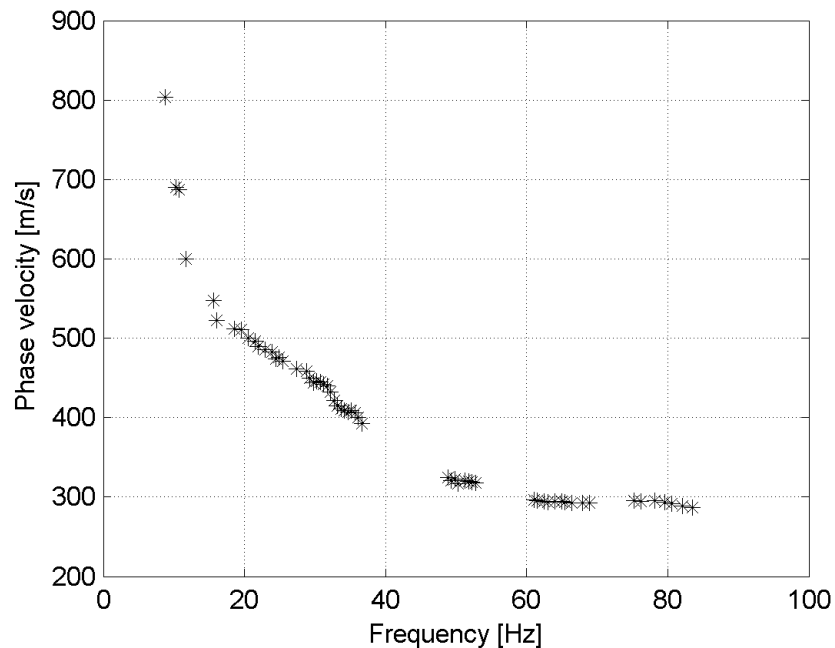


Figura 13 – Curva di dispersione estratta dallo spettro di Figura 12.

Il modo fondamentale delle curve di dispersione può essere mostrato in funzione della lunghezza d'onda λ diviso 2.5 (Figura 14) che dà un'idea qualitativa della profondità indagata e permette una valutazione preliminare sull'affidabilità dei risultati in funzione della profondità. La scala colori rappresenta la velocità di propagazione delle onde S per ogni lunghezza d'onda.

Si definisce un intervallo di variabilità dei parametri di modello (spessore degli strati, velocità delle onde di taglio, densità, coefficiente di Poisson), compatibile con la geologia del sito e si producono alcune migliaia di modelli di Vs compatibili con l'intervallo di variabilità dei parametri (Tabella 12)

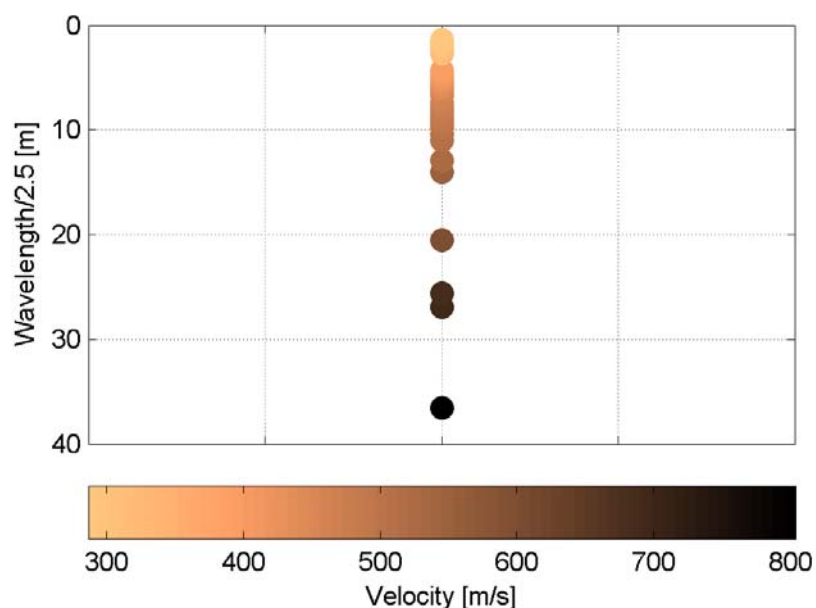


Figura 14 – Modo fondamentale delle curve di dispersione espresso in funzione di $\lambda/2.5$.

Tabella 12. Intervallo di variabilità dei parametri di modello.

Numero di profili generati	15000
Numero di strati	4
Densità associata ad ogni strato (kg/dm^3)	1.8 - 1.9 - 2.0 - 2.2
Coefficiente di Poisson	0.3 - 0.3 - 0.3 - 0.25
V_s minima (m/s)	290 - 500 - 580 - 900
V_s massima (m/s)	310 - 580 - 650 - 1100
Spessore minimo (m)	2 - 4 - 8
Spessore massimo (m)	4 - 8 - 16

Il problema diretto viene risolto per tutti i modelli estratti. Tramite un test statistico, si individuano i soli modelli in cui si minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali e il set di dati calcolati (Figura 15 e Figura 16).

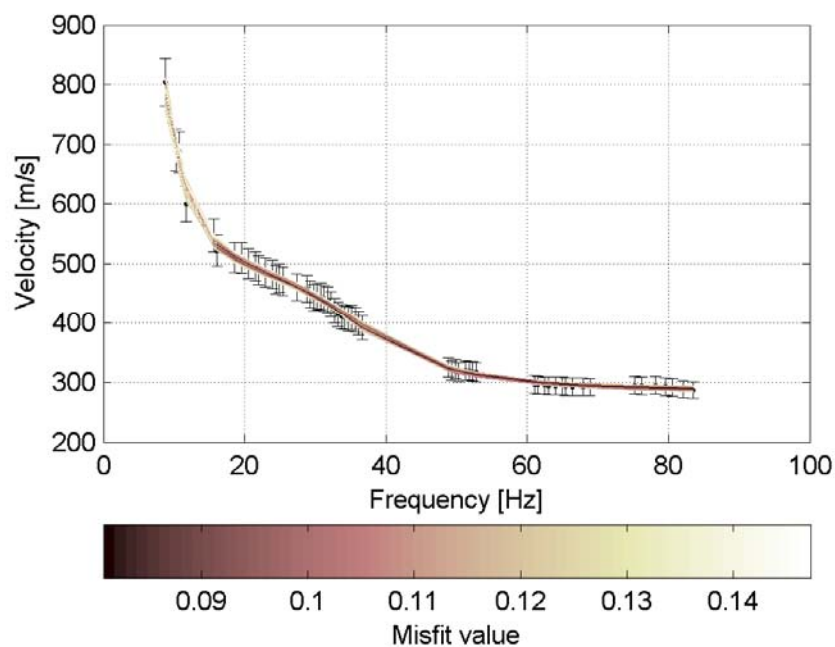


Figura 15 – Curve di dispersione delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente.

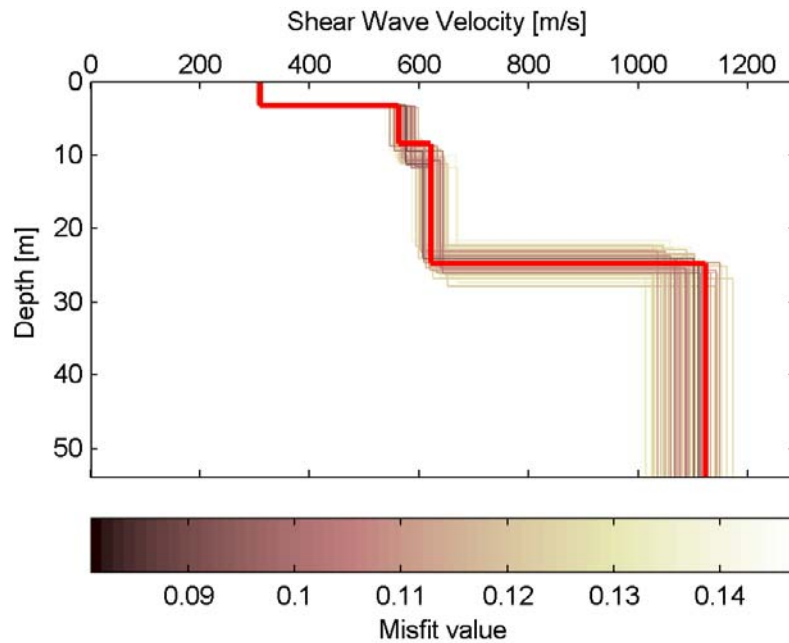


Figura 16 – Set di modelli delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente. In evidenza il profilo definitivo.

Per ognuno di questi modelli si calcola il valore di VS30 dal piano campagna, secondo la formulazione proposta nel D.M. 14/01/2008. Dalla distribuzione di tutti i valori di VS30 stimati (Figura 17) è possibile ricavare valore medio (349 m/s) e relativa deviazione standard (6 m/s).

Il profilo che meglio approssima la curva di dispersione sperimentale è mostrato in Figura 18.

In Figura 19 le curve di dispersione relative al profilo scelto di Figura 18 sono sovrapposte agli spettri f-k, mentre in Figura 20 sono sovrapposte alle curve di dispersione sperimentali.

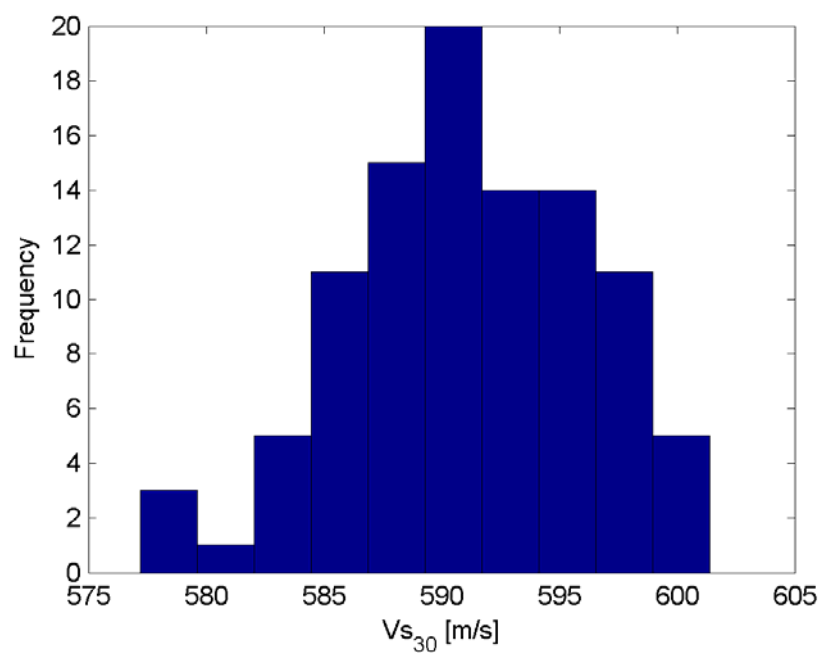


Figura 17 – Curva di distribuzione dei valori di V_{s30} stimati da piano campagna.

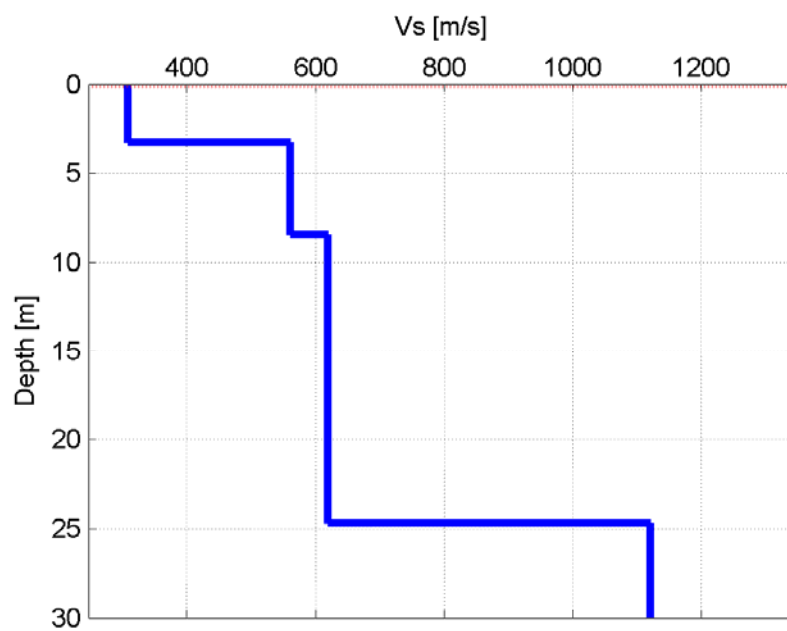


Figura 18 – Profilo stratigrafico di V_s (profondità da piano campagna).

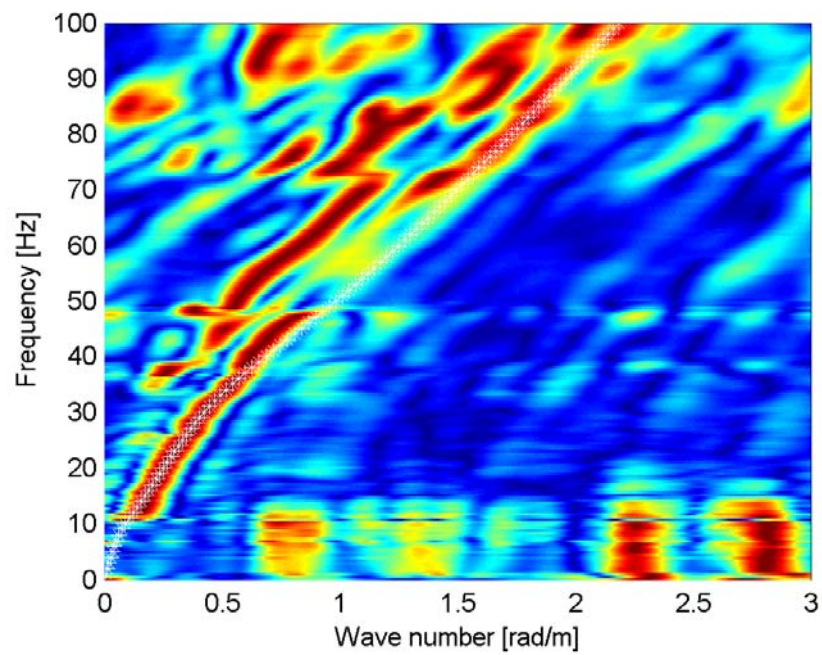


Figura 19 – Spettri f - k normalizzati e fitting delle curve di dispersione.

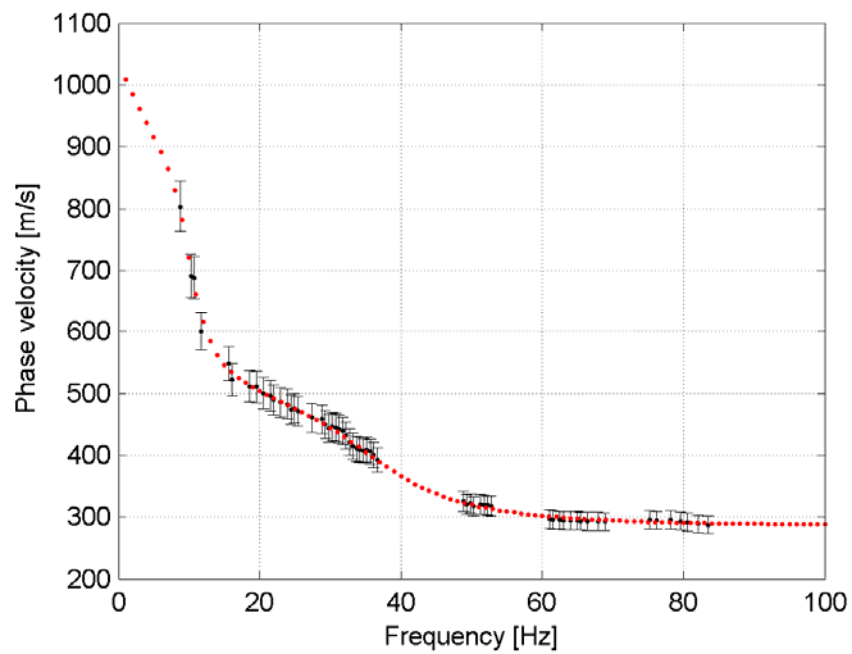


Figura 20 – Curva di dispersione da modello (punti rossi) e curva di dispersione sperimentali.

I parametri del modello di Figura 18 sono riportati in Tabella 13.

Tabella 13. Profilo Vs - Parametri del modello di Figura 18.

Strato (numero)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	309	3.3	0 - 3.3
2	561	5.2	3.3 - 8.5
3	620	16.2	8.5 - 24.7
4	1121		da 24.7

7.3.2 HVSR

Dopo una fase preliminare di rimozione di parte del segnale disturbato dalla vicinanza dell'operatore ai sensori, i segnali sismici sono finestrati sulla base dei parametri riassunti in Tabella 14. Il numero delle finestre, la dimensione e l'ubicazione sulla scala dei tempi sono uguali per le tre componenti, in modo da confrontare tra loro eventi riferiti al medesimo istante temporale.

La Tabella 15 riporta il numero di finestre ottenute per ogni misura.

Si mostra l'elaborazione della misura HVSR_Bussoleno3.

Tabella 14. Parametri imposti per la finestratura delle prove HVSR.

Lunghezza minima (s)	3-10
Lunghezza massima (s)	30-40
Overlap massimo tra le finestre	0%
STA (Short time average) (s)	2
LTA (Long time average) (s)	15-30
STA/LTA minima	92-95%
STA/LTA massima	105-108%

Tabella 15. Numero di finestre per ciascuna misura HVSR.

Id	numero di finestre
HVSR_Bussoleno1	67
HVSR_Bussoleno2	39
HVSR_Bussoleno3	71
HVSR_Bussoleno4	41
HVSR_Bussoleno5	23

Per ciascuna finestra di ogni componente viene calcolato lo spettro di ampiezza. La Figura 21 mostra gli spettri delle singole componenti: la linea nera continua individua la media degli spettri e le linee tratteggiate individuano i limiti inferiore e superiore delle ampiezze corrispondenti al valore di 1σ (deviazione standard) rispetto alla media. Gli spettri delle componenti orizzontali permettono la costruzione del grafico di direzionalità (Figura 22), utile per valutare qualitativamente l'omnidirezionalità del segnale alla frequenza corrispondente al valore di risonanza f_0 .

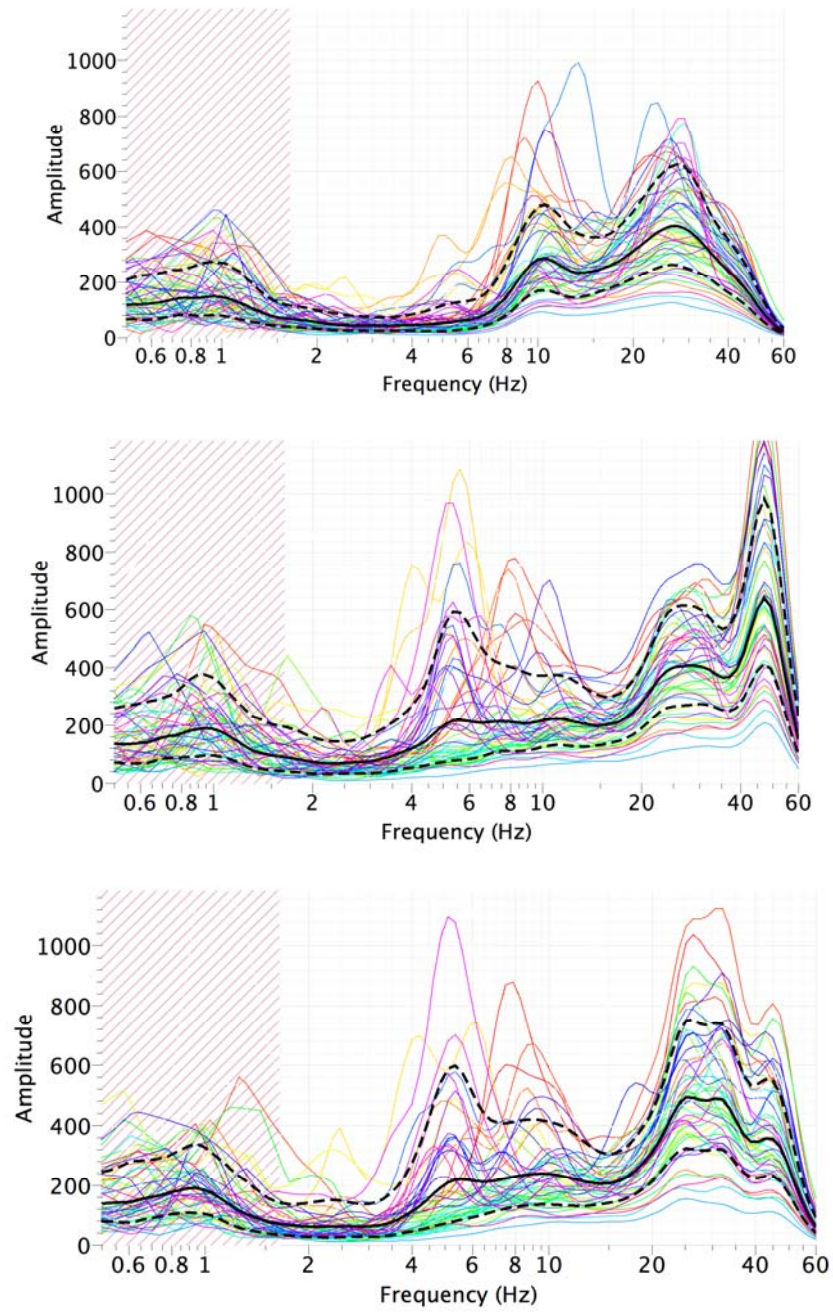


Figura 21 – Misura HVSR_Bussoleno3, spettri di ampiezza di ciascuna componente (dall'alto in basso: componente verticale, orizzontale H1 NordSud, orizzontale H2 EstOvest).

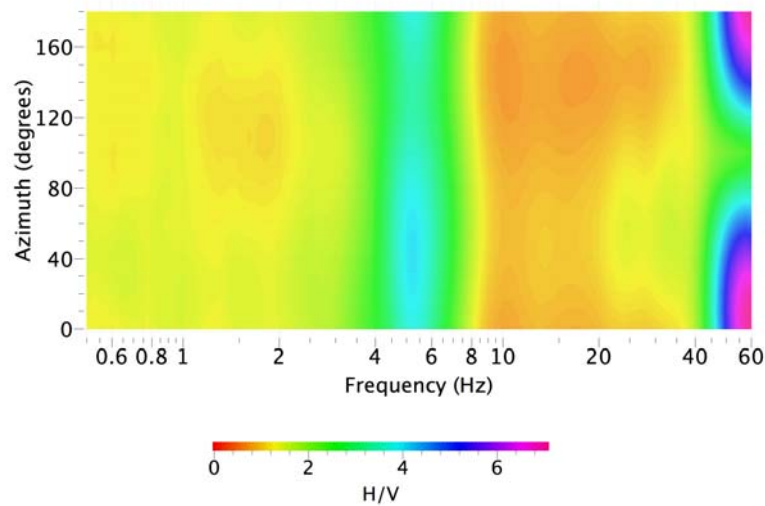


Figura 22 – Misura HVSR_Bussoleno3, grafico di direzionalità della componente orizzontale.

Il calcolo della curva H/V prevede i seguenti passi:

- ogni curva dello spettro di H1 viene combinata con la curva omologa dello spettro di H2 con una media quadratica, in modo da ottenere un unico spettro orizzontale H;
- ogni curva dello spettro medio orizzontale viene rapportata all'omologa curva dello spettro verticale V;
- tutte le curve H/V sono plottate nel dominio frequenza – H/V;
- si estrae una curva H/V media e se ne valuta la morfologia secondo un test suggerito dalle linee guida SESAME (Site EffectS assessment using AMbient Excitations; European Commission, n° EVG1-CT-2000-00026) (Tabella 16, Tabella 17 e Tabella 18);
- se la curva H/V media supera il test, si individua il massimo di ogni singola curva;
- si calcola la media dei massimi e relativa deviazione standard;
- la media dei massimi individua la frequenza di risonanza f_0 nella banda analizzata.

- 1.1) $f_0 > 10 / l_w$
 1.2) $n_c(f_0) > 200$
 1.3) $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ oppure $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$

Tabella 16. Criteri per una curva H/V affidabile.

- 2.1) $\exists \bar{f} \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(\bar{f}) < A_0/2$
 2.2) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
 2.3) $A_0 > 2$
 2.4) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$
 2.5) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
 2.6) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

Tabella 17. Criteri per un picco H/V chiaro (almeno 5 su 6 soddisfatti).

- l_w = lunghezza della finestra;
- n_w = numero di finestre selezionate;
- $n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0$ = numero di cicli significativi;
- f = frequenza in esame;
- f_0 = frequenza del picco H/V;
- σ_f = deviazione standard della frequenza del picco H/V ($f_0 \pm \sigma_f$);
- $\varepsilon(f_0)$ = valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$;
- A_0 = Ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0 ;
- $A_{H/V}(f)$ = Ampiezza media della curva H/V alla generica frequenza f ;
- f^- = frequenza compresa tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$;
- f^+ = frequenza compresa tra f_0 and $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$;
- $\sigma_A(f)$ = deviazione standard di $A_{H/V}(f)$;
- $\theta(f_0)$ = valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$;

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f)$					
Range di frequenza [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58

Tabella 18. Legenda dei criteri.

Le curve H/V sono riportate in allegato nelle schede dei singoli punti di misura.

In Tabella 19 si riassumono le frequenze f_0 e le deviazioni standard delle misure.

Id	frequenza f_0 (Hz)	deviazione standard (Hz)
HVSR Bussoleno1	0.94	0.12
HVSR Bussoleno2	0.96	0.10
HVSR Bussoleno3	5.25	0.59
HVSR Bussoleno4	0.89	0.12
HVSR Bussoleno5	16.98 (picco non chiaro)	1.56

Tabella 19. Prove HVSR – Frequenze f_0 e deviazione standard.

7.4 PROVE PER ONDE SUPERFICIALI – Nota tecnica

7.4.1 Introduzione teorica

Il metodo delle onde superficiali attive (anche detto S.W.M. – Surface Wave Method) è un metodo di caratterizzazione sismica basato sull'analisi della dispersione geometrica delle onde superficiali. La procedura consiste nella valutazione delle caratteristiche dispersive del sito a partire dall'acquisizione e il trattamento dei dati sismici e nella loro successiva analisi per determinare le proprietà meccaniche del sottosuolo. La velocità di propagazione delle onde di Rayleigh in un semispazio elastico, omogeneo e isotropo, è indipendente dalla frequenza e il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente con la profondità, sino ad estinguersi a una profondità circa pari a una lunghezza d'onda.

La profondità raggiunta dalla perturbazione dipende, quindi, dalla lunghezza d'onda e, in mezzi omogenei, a diverse lunghezze d'onda corrisponde un'unica velocità di fase (V_R). In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito, cioè, da strati aventi proprietà meccaniche differenti, il comportamento delle onde superficiali diventa dispersivo: a frequenze diverse corrispondono differenti velocità di fase. Lunghezze d'onda diverse interessano, infatti, strati diversi ai quali sono associate proprietà meccaniche specifiche: ogni lunghezza d'onda (e quindi ogni frequenza) si propaga a una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche degli strati interessati dalla propagazione.

Nel caso di un mezzo eterogeneo, quindi, le onde superficiali non hanno una singola velocità, ma diverse velocità di fase in corrispondenza delle diverse frequenze: tale fenomeno, dipendente dalla distribuzione spaziale delle proprietà sismiche del sottosuolo, è noto come dispersione geometrica e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di curva di dispersione.

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo, è un fenomeno multi-modale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse velocità di propagazione, a ognuna delle quali corrisponde un modo di vibrazione del sito. Differenti modi di vibrazione possono manifestarsi simultaneamente.

Da un punto di vista teorico, per quanto riguarda il modo fondamentale, alle alte frequenze, la velocità di fase coincide con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre, alle basse frequenze, l'effetto degli strati più profondi diventa importante e la velocità di fase tende asintoticamente alla velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato più profondo come se questo fosse esteso infinitamente in profondità. La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni; infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo e può essere utilizzata per un processo inverso avente come obiettivo la stima delle caratteristiche di rigidità stesse.

7.4.2 Modalità di acquisizione

La fase di acquisizione prevede l'utilizzo di una sorgente, impulsiva o controllata, tramite la quale viene creata una perturbazione che si propaga lungo la superficie libera e viene rilevata da uno o più ricevitori posti lungo dispositivi lineari sul piano campagna. La sorgente è posta a un estremo dello stendimento di misura e di norma si effettuano energizzazioni ai due lati opposti dello stendimento per avere ridondanza di informazione e gestire eventuali disomogeneità del sottosuolo. L'obiettivo è indagare la propagazione delle onde superficiali in una banda di frequenza più ampia possibile, poiché ciò consente di ottenere informazioni sulle proprietà degli strati profondi, che influenzano le componenti a bassa frequenza, e di risolvere con adeguata risoluzione gli strati più superficiali, che influenzano in maniera significativa soprattutto le componenti ad alta frequenza. Questo implica la scelta di corretti parametri di acquisizione (nello spazio e nel tempo) atti a permettere un'adeguata risoluzione spettrale nella fase di elaborazione.

Il campionamento temporale deve garantire che tutto il treno d'onda relativo alla propagazione delle onde superficiali sia registrato, quindi la durata dell'acquisizione (T) deve essere maggiore o uguale al tempo necessario per l'armonica più lenta a raggiungere il sensore più lontano. L'intervallo di campionamento (dt) deve garantire la stima delle armoniche di interesse in base alle regole del campionamento (frequenza di

campionamento almeno doppia (meglio pari a cinque volte) della frequenza più alta da registrare).

Il campionamento spaziale deve consentire di stimare in modo affidabile le lunghezze d'onda di interesse. In particolare la lunghezza dello stendimento di misura (L) non deve essere inferiore alla metà della massima lunghezza d'onda e la distanza intergeofonica (dl) deve essere metà della minima lunghezza d'onda.

Inoltre, poiché dal punto di vista fisico le onde di superficie sono sensibili alle proprietà del mezzo in cui si propagano, fino ad una profondità pari a circa 0.4 volte la lunghezza d'onda massima, la lunghezza L deve essere definita anche in funzione della profondità d'indagine desiderata.

7.4.3 Elaborazione dati di onde superficiali

Obiettivo dell'elaborazione è la stima della curva di dispersione caratteristica del sito, che esprime la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza.

La procedura può essere sintetizzata nei seguenti punti:

I dati di campagna vengono trasformati tramite una doppia trasformata di Fourier in dominio f - k (frequenza-numero d'onda). I massimi di energia sono associabili alle onde di Rayleigh (Tselentis and Delis, 1998) e vengono riconosciuti gli eventi coerenti in ampi intervalli di frequenza, discriminando gli eventi associabili ai diversi modi di propagazione.

Le curve di dispersione sperimentali sono ricavate con un algoritmo di ricerca dei massimi spettrali. Per ogni frequenza f , il picco spettrale è associato a un determinato valore del numero d'onda k , da cui è possibile ricavare la velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso la relazione:

$$V_R(f) = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{k}$$

Il modello di sottosuolo viene schematizzato come un mezzo elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati.

Si definisce uno spazio dei parametri di modello (spessore degli strati, velocità delle onde di taglio, densità, coefficiente di Poisson), compatibile con la geologia del sito.

Tramite un algoritmo di inversione probabilistica, si producono alcune migliaia di profili di V_s (modelli) compatibili con il range di variabilità dei parametri.

Il problema diretto viene risolto per tutti i modelli estratti e si individuano i soli modelli in cui si minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione simulata). La procedura è condotta con tecniche di ricerca globale della soluzione (Wathelet et al, 2004; Socco and Boiero, 2008).

7.5 PROVE PASSIVE H/V

7.5.1 Introduzione teorica

La prova, comunemente nota con il termine H/V o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), (Nogoshi e Igarashi 1970, Nakamura 1989) è una valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e verticali (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno, misurate con un apposito sismometro a tre componenti.

L'esito di questa prova è una curva sperimentale (curva H/V o curva HVSR) che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra i massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura.

7.5.2 Modalità di acquisizione

Lo strumento di misura è posto a diretto contatto con il terreno e reso solidale con esso, possibilmente senza mezzi estranei di interfaccia. L'accoppiamento è tale da evitare ogni minimo movimento dello strumento durante la registrazione. Le eventuali parti mobili, quali i cavi di collegamento, sono poste al riparo da spostamenti d'aria, e da contatto con elementi mobili (fili d'erba, ecc.). E' da evitare nei limiti del possibile l'acquisizione in prossimità di edifici, alberi e strutture verticali che possano trasmettere al suolo frequenze proprie di risonanza e da sorgenti di disturbo impulsive o monocromatiche.

Una lista di cautele per l'esecuzione di questo genere di misura è stata sviluppata nell'ambito del progetto SESAME (Site EffectS Assessment using AMbient Excitations, 2004 - <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>), dove viene in particolare sottolineata la necessità di acquisire sempre almeno tre misure per ciascun sito di indagine.

I parametri di acquisizione richiedono una frequenza di campionamento in grado di campionare correttamente la frequenza di risonanza attesa, si suggerisce 10 volte f_0 , ma non eccessivamente alta da produrre inutile occupazione di memoria. Le linee guida SESAME suggeriscono inoltre la lunghezza della registrazione e il numero delle finestre in funzione della frequenza di risonanza attesa. Per valori compresi tra 5 e 10 Hz si raccomandato tempi di registrazione di circa 5'.

7.5.3 Elaborazione dei dati H/V

Il segnale grezzo deve essere filtrato in dominio di tempo per eliminare i transitori associati a specifiche sorgenti, quali ad esempio traffico veicolare troppo vicino o vibrazioni indotte dal passaggio di pedoni. La procedura per individuare i transitori si basa sul paragone tra la media a breve termine "STA" (Short Time Average) e quella a lungo termine "LTA" (Long Time Average). La prima è una media dell'ampiezza del segnale su un periodo breve di tempo mentre la seconda è una media dell'ampiezza calcolata su una finestra di alcune decine di secondi.

In alcuni casi possono esistere lunghi transitori in cui il rapporto STA/LTA rimane nei limiti imposti, ma in cui il segnale non è rappresentativo delle reali vibrazioni ambientali.

In questi casi si possono eliminare le finestre in cui LTA supera un certo valore percentuale dell'LTA massima calcolata sull'intera registrazione.

Il segnale filtrato viene segmentato in finestre di lunghezza di alcuni secondi ciascuna. La finestratura deve minimizzare gli effetti di bordo per evitare la creazione di frequenze parassite. Le linee guida SESAME definiscono la lunghezza minima e il numero minimo di finestre in funzione della frequenza principale di risonanza f_0

La curva H/V è il rapporto delle ampiezze spettrali fra le componenti orizzontali (H) e verticali (V). Il calcolo della curva H/V avviene secondo i seguenti passi:

- 1) Calcolo dello spettro di ampiezza per ciascuna finestra e ciascuna componente (V, H1, H2).
- 2) Combinazione degli spettri delle componenti orizzontali di ciascuna finestra in una componente orizzontale media:

$$H(f) = \sqrt{\frac{H1^2(f) + H2^2(f)}{2}}$$

- 3) Lisciatura delle componenti V e H con un'opportuna funzione di smoothing (Konno K. and T. Ohmachi, 1998).
- 4) Calcolo del rapporto H/V per ogni finestra.
- 5) Calcolo della curva finale H/V come media di tutte le curve H/V provenienti dalle singole finestre.

7.5.4 Identificazione della frequenza di risonanza f_0

Le linee guida SESAME stabiliscono una serie di criteri per la valutazione della significatività dei picchi H/V.

La prima parte di questi criteri è dedicata alla valutazione dell'attendibilità statistica della curva H/V. In pratica, individuata la frequenza del picco di risonanza, i criteri aiutano a verificare se la registrazione sia stata effettuata per un periodo abbastanza lungo e analizzata per un numero sufficiente di finestre temporali.

La seconda parte è dedicata alla valutazione della chiarezza del picco H/V tramite un'analisi morfologica. Il picco che risponde ai criteri di selezione di SESAME corrisponde alla frequenza di risonanza f_0 .

Solo in presenza di stratigrafia particolarmente semplice (coperture soffici al di sopra di un basamento sismico rigido), è possibile stabilire una relazione fra lo spessore h dello strato soffice, la velocità media delle onde S all'interno di quest'ultimo (V_s) e la frequenza di risonanza fondamentale f_0 dello strato, tramite la relazione:

$$f_0 = \frac{V_s}{4h}$$

8 ELABORATI CARTOGRAFICI

Nell'ambito dello studio in oggetto sono state prodotte a scala 1:10'000 la carta delle indagini, la carta geologico tecnica e la carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

8.1 Carta delle indagini

Nella carta sono localizzati e caratterizzati le indagini reperite e le indagini integrative. Alla carta è allegata la banca dati contenente tutte le informazioni previste negli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica (V.3.0).

8.2 Carta Geologico Tecnica

La carta geologico tecnica a supporto degli studi di microzonazione sismica di livello 1 ha la funzione di condensare tutte le informazioni geologiche raccolte e disponibili dagli studi geologici pregressi: obiettivo finale è quello di supportare la definizione di microzone omogenee in prospettiva sismica e quindi, nel caso delle zone stabili suscettibili di amplificazione sismica, quello di indicare la profondità dell'ipotetico substrato rigido, inteso come materiale caratterizzato da valori di VS superiori a 800 m/s, e la tipologia di sedimento che lo ricopre (unità litotecniche).

Le seguenti tabelle indicano per ogni ambiente genetico la tipologia prevalente dei terreni:

Sigla e ambiente genetico		Tipologia	Descrizione
tf	Terrazzo fluviale	GW	Depositi legati all'attività della Dora Riparia
in	Bacino (piana) intramontano	GW, SM	
ca	Conoide alluvionale	GW	Depositi legati all'attività dei maggiori rii laterali
cz	Conoide di deiezione	GW	Depositi legati all'attività dei rii laterali minori
ec	Eluvi/colluvi	GM	Copertura eluvio-colluviale e detritico-colluviale
fd	Falda detritica	GW	Falda detritica
fg	Deposito fluvio glaciale	GW	Depositi fluvioglaciali antichi spesso cementati
mr	Morena	GW	Depositi glaciali

La carta riporta anche le tracce delle sezioni rappresentative del modello geologico tecnico.

Per quanto riguarda gli elementi geologici ed idrogeologici sono riportati i sondaggi con l'indicazione della profondità del substrato rigido o nel caso di non raggiungimento del substrato la profondità del sondaggio.

Per quanto riguarda le forme di superficie e sepolte sono stati evidenziati i conoidi alluvionali, gli orli delle scarpate morfologiche con altezza compresa tra 10-20 m e maggiore di 20 m.

Sulla base delle indagini geofisiche pregresse e di nuova esecuzione, sulla base dei profili geologici e mediante interpretazione basate sulla conoscenza del territorio è stata

individuata la profondità del substrato geologico e sismico per tutta l'area oggetto di studio.

Le due sezioni geologico-tecniche ricostruite per l'area di studio sono riportate di seguito in scala minore per esigenze grafiche, e sulla carta geologico tecnica alla scala alla scala 1:10'000.

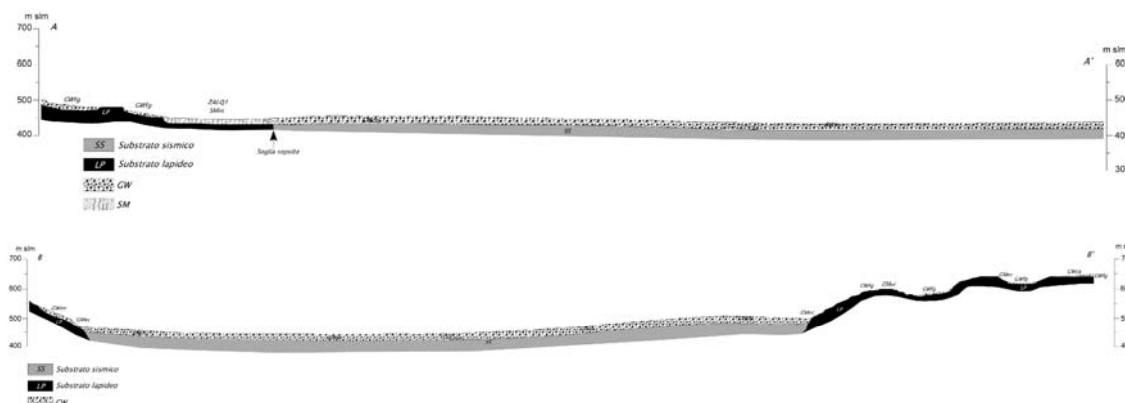


Figura 23 – Sezioni geologiche interpretative.

Nelle sezioni sono riportati gli andamenti dei terreni di copertura fino al raggiungimento del terreno caratterizzato da velocità delle onde S maggiori di 800 m/s e del substrato geologico, finalizzate alla costruzione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).

8.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

8.3.1 Zona 1

Comprende settori costituiti da depositi fluvioglaciali (GW) che colmano il fondo delle valleciole glaciali, presenti soprattutto sul versante destro, da estesi lembi di depositi glaciali (GW) presenti sul versante sinistro, da piccoli lembi di depositi di falda (GW) e da limitati areali di depositi torrentizi dei rii minori (GW). Il substrato roccioso si colloca a profondità comprese tra 3 e 10 m.

8.3.2 Zona 2

Comprende areali in cui i depositi eluvio-colluviali (GM) ricoprono il substrato geologico. Lo spessore è molto variabile ed è compreso tra 3 m e 10 m.

8.3.3 Zona 3

Comprende il settore sul versante destro presso loc. Grangia delle Alpi in cui i depositi (GW) di conoide e fluvioglaciali (GW) ricoprono il substrato geologico e la fascia di raccordo tra la piana di fondovalle (zona 6) ed i versanti. In assenza di dati certi, l'estensione di tale fascia di raccordo è stata tracciata sulla base di considerazioni

geomorfologiche. In destra segue all'incirca l'allineamento tra le ripide pareti di Foresto, ipotizzate molto inclinate, e la zona di S. Lorenzo, dove la fascia appare più estesa. In sinistra segue all'incirca l'allineamento tra la dorsale rocciosa di Santa Petronilla ed il dosso roccioso di origine glaciale di S. Giorio (fuori carta). Il substrato geologico si colloca presumibilmente tra 10 e 15 m di profondità

8.3.4 Zona 4

Comprende limitati areali in cui i depositi eluvio-colluviali (GM), con spessori compresi tra 3 e 5 m, ricoprono i depositi fluvio-glaciali (GW). Il substrato geologico si colloca tra 10 e 15 m, come per la zona 3.

8.3.5 Zona 5

Comprende una limitata zona compresa tra C.na Armonè ed il confine comunale con Susa in cui il substrato geologico è ricoperto da spessori compresi tra 15-20 m di depositi sabbioso-limosi e limoso-argillosi (SM).

La soggiacenza della falda stagionale si situa a circa 5-10 m dal p.c.

L'area è stata cautelativamente definita come **Zona di Attenzione per la liquefazione** (ZALQ - Livello 1).

Gli elementi informativi utilizzati per la sua definizione derivano da criteri geologici-tecnici, ai sensi del DM 14/01/2008, criteri geomorfologici e da tre sondaggi (S4, S4bis e S5):

1. nella successione litologica sono presenti orizzonti di sabbie limose e limi argillosi a profondità inferiori di 20 m dal p.c.;
2. la falda è presumibilmente ad una profondità media stagionale inferiore a 15 m dal piano campagna;
3. l'accelerazione massima attesa su roccia $\geq$ a 0.10 g (valore di ag nella pericolosità di base (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>);
4. eventi sismici attesi di magnitudo $M > 5$ (ICMS, 2008; <http://esse1-gis.mi.ingv.it>). Utilizzando le raccomandazioni dalle norme si considera il valore della magnitudo massima ($M_{w \max}$) della zona sismogenetica 908 che è pari a 6.14.

8.3.6 Zona 6

Comprende i depositi alluvionali e torrentizi che formano gran parte della piana di fondovalle e degli ampi conoidi laterali. La litofacies grossolana, che trova una distribuzione più generalizzata e dominante, è costituita da ghiaie e ghiaie ciottolose sabbioso-ghiaiose *clast-supported*, sovente mal stratificate, passanti a sabbie ghiaiose con stratificazione planare (GW); la litofacies limoso-sabbiosa compare solo localmente, ed è costituita da lenti sabbie limose, con uno spessore medio di 1 - 2 metri. La profondità del substrato geologico non è conosciuta; da indizi geologici e geomorfologici e dalle prove HVSR si attesta oltre 100 m di profondità.

Il substrato sismico determinato da prove MASW si trova a circa 15-20 m dal piano campagna.

I dati di una campagna di misura piezometrica eseguita a fine novembre 2001 (SEA Consulting Srl, 2008) evidenziano che nel concentrico – tra la Dora e la base del versante

sinistro - la soggiacenza della falda varia tra circa 10 metri e oltre 40 metri ed evidenziano che la falda superficiale è alimentata sia dall'idrografia secondaria e dalle acque provenienti dal versante, sia dalla Dora Riparia.

9 BIBLIOGRAFIA

9.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

ALASIA M., ALASIA B. (2010) – Relazione geologica e geotecnica per il progetto di manutenzione straordinaria di un edificio scolastico in Comune di Bussoleno (Torino), in loc. Foresto. Relazione inedita.

ALPETUNNEL (1996) –Indagini geofisiche relative al tunnel di base Maurienne-Ambin e del tunnel di Bussoleno e alla galleria geognostica in val Cenischia (Venaus) della nuova linea transalpina Torino-Lione della nuova linea alta velocità Torino-Lione. Relazione di sintesi indagini geofisiche. PROGEO s.r.l. 50 pp.

ALPETUNNEL (1997) – Seconda campagna di indagini geofisiche occorrenti per la progettazione della sezione internazionale della nuova linea ferroviaria Torino-Lione. Relazione di sintesi indagini geofisiche. PROGEO s.r.l. 42 pp.

ALPETUNNEL (1999) – Lavori e prestazioni occorrenti per l'esecuzione delle indagini relative al tunnel di base Maurienne-Ambin e del tunnel di Bussoleno della nuova linea transalpina Torino-Lione. Relazione di sintesi campagna geofisica 1999. PROGEO s.r.l. 8 pp.

CECCUCCI M. (2012) – Campagna di indagini integrativa per l'approfondimento del modello geotecnico del sottosuolo e la modellazione sismica del sito. Intervento di riqualificazione ex scuola Argiassera. Relazione inedita.

LAURIA N. (2009) – Indagine geologica relativa alla costruzione di un fabbricato di civile abitazione. Relazione inedita.

CECCUCCI M. (2013) – Scuola secondaria di 1° grado “E. Fermi”. Studio geologico-tecnico sulla indagini. Relazione inedita.

9.2 INDAGINI GEOFISICHE (bibliografia essenziale)

KONNO, K., T. OHMACHI, 1998. Ground motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremors. Bull. seism. Soc. Am., 88-1, 228-241.

NAKAMURA, Y., 1989, “A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface”, Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), Vol. 30, No.1.

NOGOSHI M. E IGARASHI T.; 1970: On the propagation characteristics of microtremor. J. Seism. Soc. Jpn., 23, 264-280.

SESAME Project (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation, WP12, deliverable no. D23.12, http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Papers/HV_User_Guidelines.pdf

SOCCO, L.V., AND D. BOIERO, 2008, Improved Monte Carlo inversion of surface wave data: Geophysical Prospecting, 56, 357-371.

TSELENTIS, G.A., and G. DELIS, 1998, Rapid assessment of S-wave profiles from the inversion of multichannel surface wave dispersion data: Annali di Geofisica, 41, 1-15.

WATHELET, M., D. JONGMANS, and M. OHRNBERGER, 2004, Surface-wave inversion using a direct search algorithm and its application to ambient vibration measurements: Near Surface Geophysics, 2, 211-221.

9.3 LAVORI SCIENTIFICI

AA.VV. (2011) - Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" Supplemento alla rivista Anno XXVIII - n. 2.

AA.VV. (2013) - STANDARD DI RAPPRESENTAZIONE E ARCHIVIAZIONE INFORMATICA. Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907). Versione 3.0. Roma, ottobre 2013

BORGHI S., CADOPPI P., PORRO A., SACCHI R. (1985) - Metamorphism in the north part of the Dora-Maira Massif (Cottian Alps), Boll. Mus. Reg. Sci. Nat. Torino, 3-2, 369-380.

CADOPPI P. & TALLONE S. (1992) – Structural and lithostratigraphic heterogeneity of the northern part of Dora-Maira massif (Western Alps). Atti. Tic. Sci. Terra, 35, 9-18.

CADOPPI P., CASTELLETTO M., SACCHI R., BAGGIO P., CARRARO F. & GIRAUD V. (2002a) – Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000 – Foglio 154, Susa. Servizio Geologico d'Italia, 123 pp.

CARRARO F., CADOPPI P., BAGGIO P., BELLINO L., CASTELLETTO M., GIRAUD V. & MENSIO L. (2002) – Foglio 154 – Susa – Carta Geologica d'Italia, scala 1:50.000. Servizio Geologico d'Italia.

COLOMBI A., COMPAGNONI M., PERGALANI F. (2011): Risposta sismica locale: la MS come strumento discriminante per l'utilizzo di approcci semplificati o di specifiche analisi. Ingegneria Sismica (Supplemento), anno XXVIII, 2, pp 65-68.

CTMS; 2013. Standard per l'informatizzazione degli studi di Microzonazione Sismica - Specifiche tecniche per la redazione in ambiente GIS degli elaborati cartografici della Microzonazione Sismica.

FRANCHI S. (1898) - Sull'età mesozoica della zona delle pietre verdi nelle Alpi occidentali. Boll. R. Comit. Geol. It., 29, 173-247.

GDL MS; 2008: Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome –Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e DVD.

M. LOCATI, R. CAMASSI E M. STUCCHI (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>, DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11

MARTHALER M., FUDRAL S., DEVILLE E. & RAMPNOUX J.P. (1986) - Mise en évidence du Crétacé supérieur dans la couverture septentrionale de Dora Maira, région de Suse, Italie (Alpes occidentales). C.R. Acad. Sci. Paris, 302, Série II, 91-96.

RIGHI, R. (1980) - Studio morfostratigrafico del basso versante della Valle di Susa nel settore compreso tra Susa e Bussoleno. Tesi di Laura inedita, Univ. Di Torino, 120pp.

SACCHI R., BALESTRO G., CADOPPI P., CARRARO F., DELLE PIANE L., DI MARTINO L., ENRIETTI M., GALLARA' F., GATTIGLIO M., MARTINOTTI G., PERELLO P. (2004). Studi geologici in Val di Susa finalizzati ad un nuovo collegamento ferroviario Torino-Lione. Museo Regionale di Scienze Naturali (Torino), monografie, XLI, 103-115.

SEA CONSULTING SRL (2008) - Relazione e cartografie del Piano Regolatore Comunale del Comune di Bussoleno. Archivio Comunale. Relazione inedita.

TALLONE, S. (1990) - Il Dora-Maira settentrionale e le sue coperture mesozoiche: relazioni tra litostratigrafia, struttura ed evoluzione metamorfica. Tesi di Dottorato Univ. Cagliari-Genova-Torino, inedita, 147pp.

VIALON P. (1966) - Etude géologique du Massif Cristallin Dora-Maira (Alpes Cottiennes internes-Italie). Trav. Lab. Géol. Grenoble, mém., 4, 293pp.

9.4 WEB

http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/query_place/

<http://webgis.arpa.piemonte.it/flxview/GeoViewerArpa/>

<http://esse1.mi.ingv.it/>

<http://webgis.arpa.piemonte.it>

10 ALLEGATI



Comune di Susa (TO).

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI SITO

Relazione n.: RS14002_susa
Data stesura: 16/07/2014
Revisione n.: 0
Elaborazioni: ing. Stefano Stocco, ing. Emanuele Bena
Stesura: ing. Stefano Stocco, ing. Emanuele Bena

GAMUT S.r.l. CF e IVA: 10087030010
REA: TO1104410 - Capitale Sociale: € 10000 i.v.
Sede legale: via Lamarmora 16, 10128 Torino
Sede operativa: via Maiole 15, 10040 Leini
www.gamutgeophysics.com - info@gamutgeophysics.com

10.1 SWM_Bussoleno1



Figura 1 – Foto - Da inizio linea (sinistra) e da fine linea (destra).

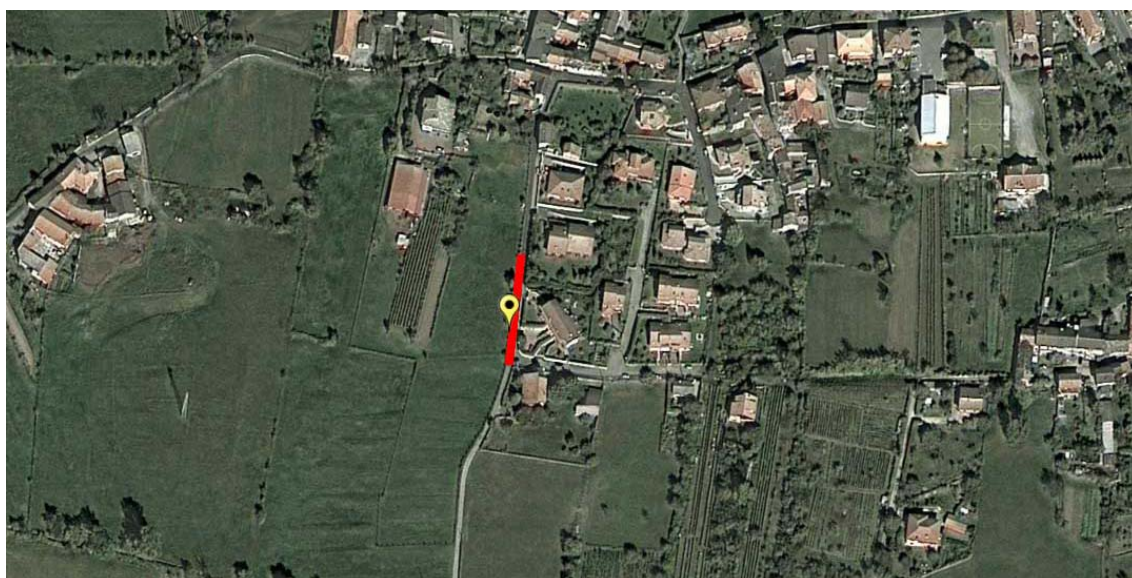


Figura 2 – Ubicazione (Fonte: Google Earth) - Linea rossa: stendimento sismico - Punto giallo: HVSR.

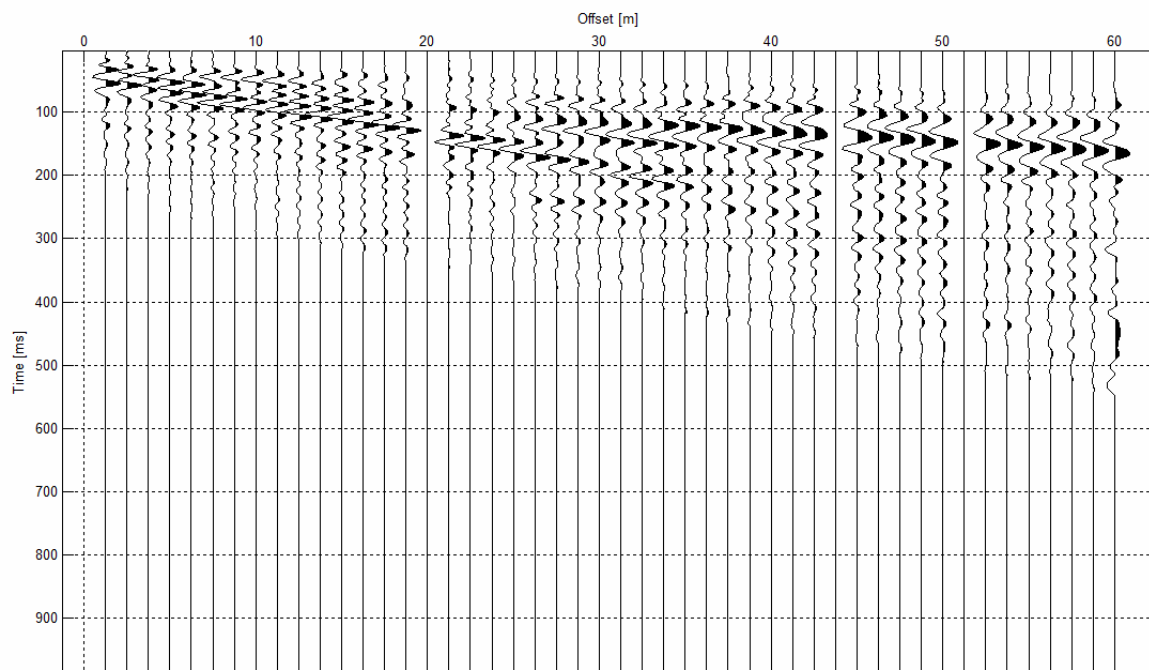


Figura 3 – Sismogramma.

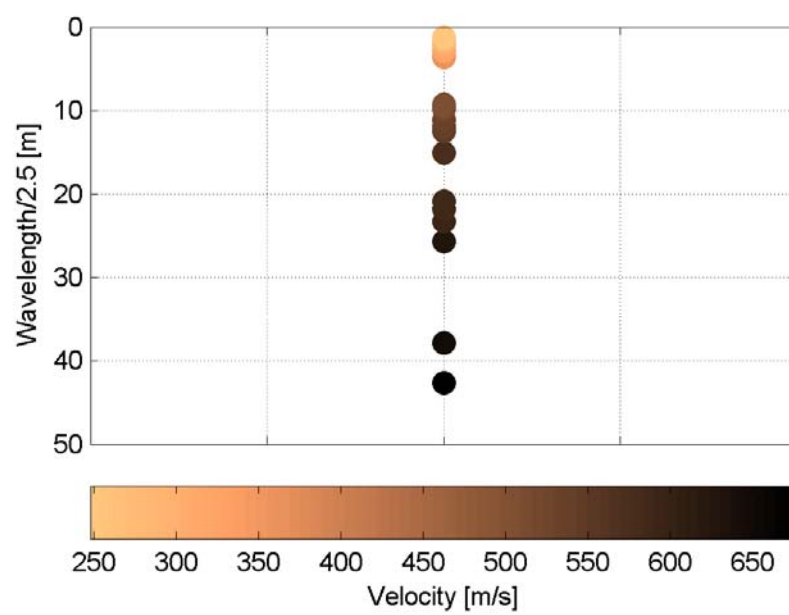


Figura 4 – Modo fondamentale della curva di dispersione espresso in funzione di $\lambda/2.5$.

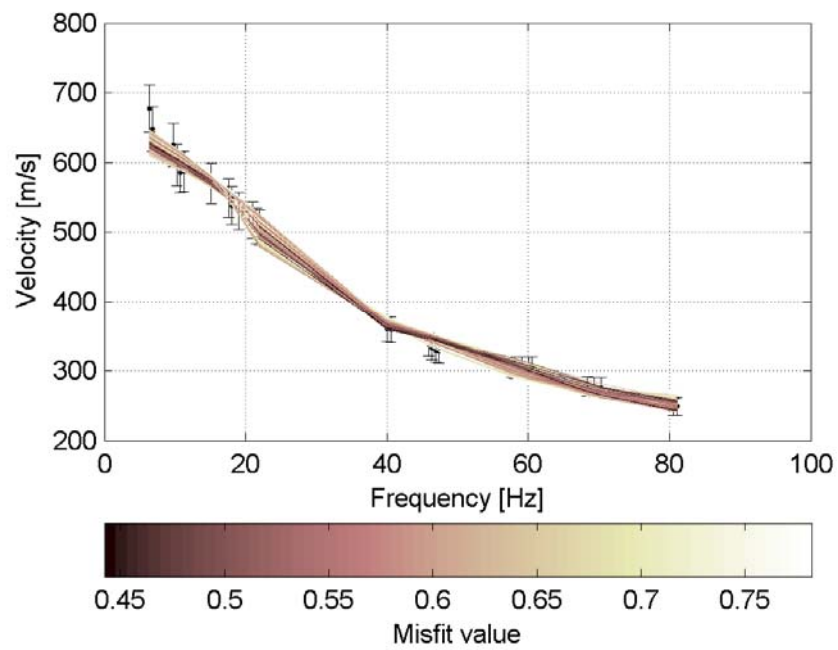


Figura 5 – Curve di dispersione delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente.

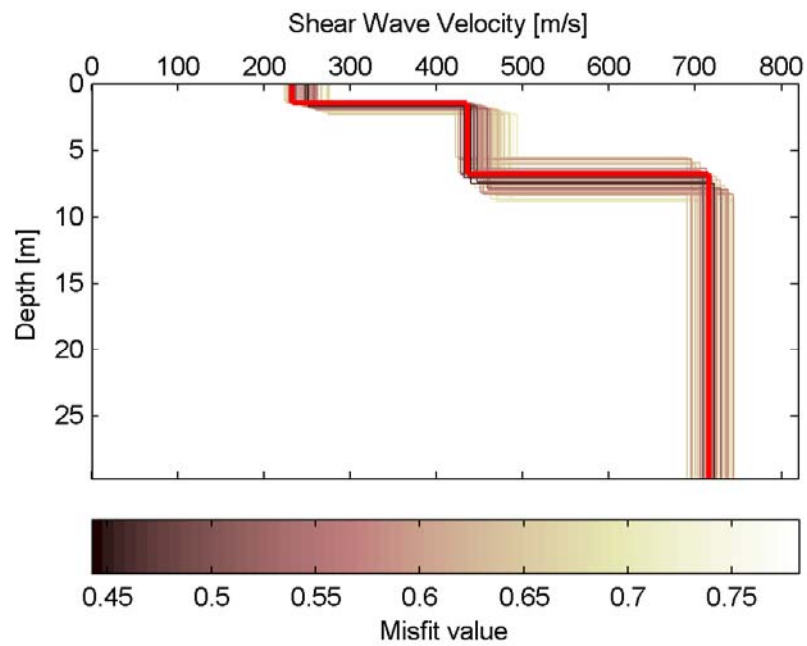


Figura 6 – Set di modelli delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente. In evidenza il profilo definitivo.

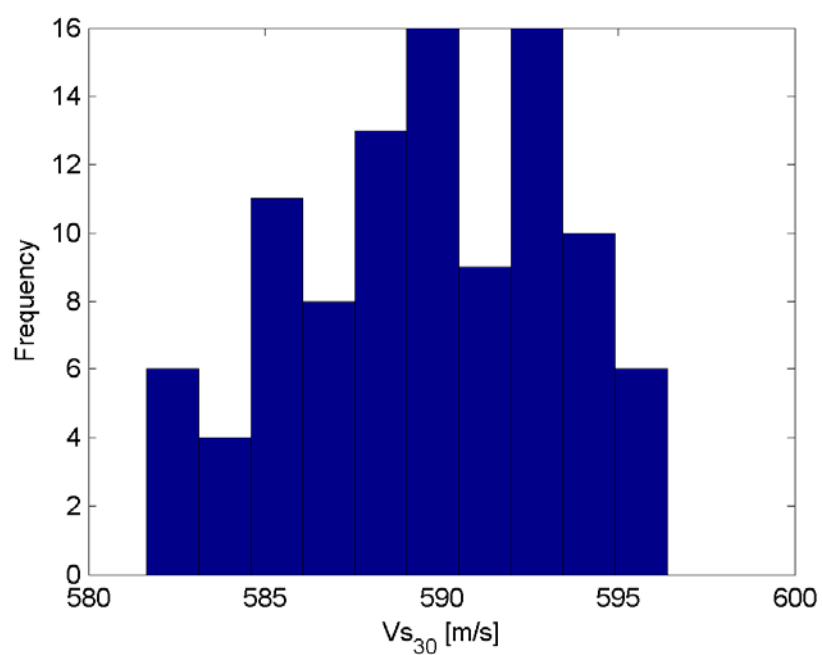


Figura 7 – Curva di distribuzione dei valori di V_{s30} stimati da piano campagna.

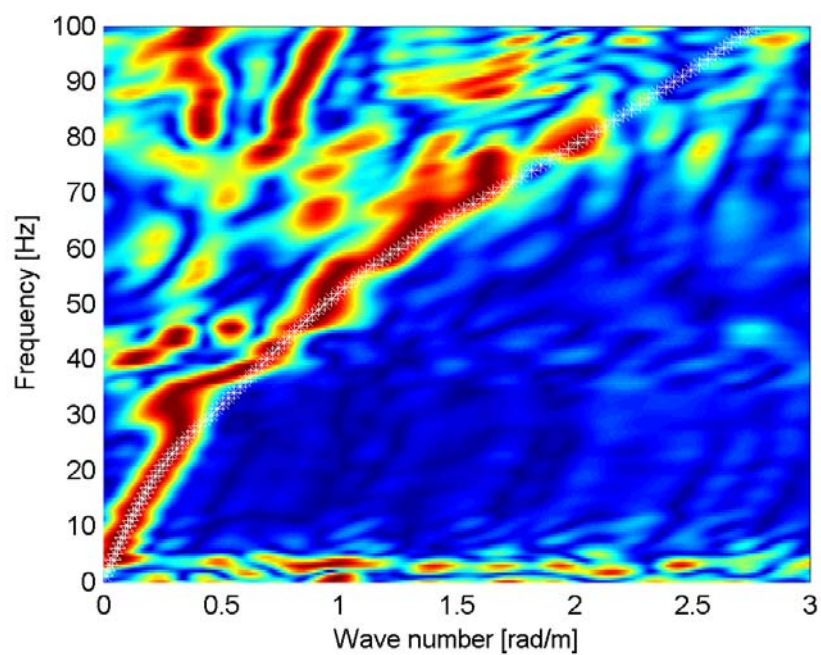


Figura 8 – Spettro f - k normalizzato e fitting della curva di dispersione del modello finale.

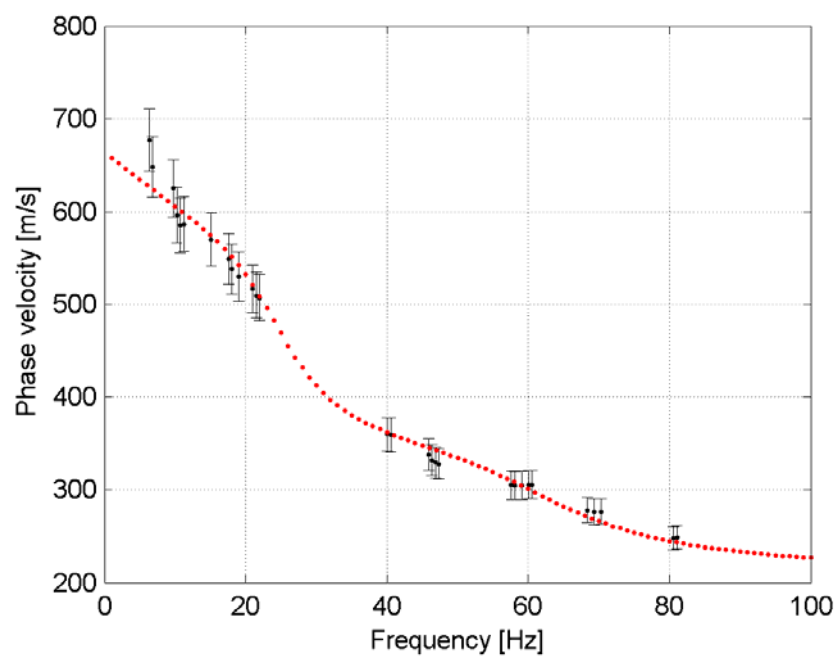


Figura 9 – Curva di dispersione da modello finale (punti rossi) e curva di dispersione sperimentale.

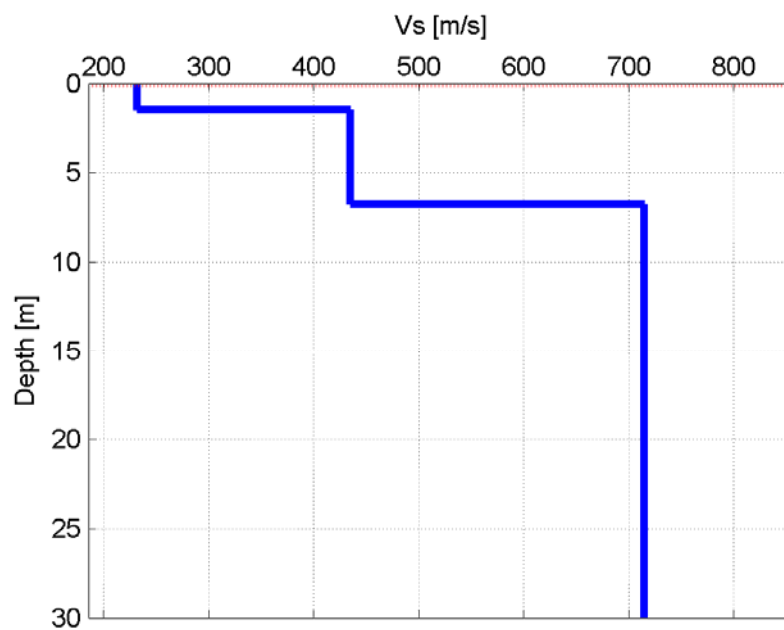


Figura 10 – Profilo stratigrafico di Vs - Modello finale (profondità da piano campagna).

Tabella 1. Profilo Vs - Parametri del modello finale.

Strato (numero)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	232	1.5	0 - 1.5
2	435	5.3	1.5 - 6.8
3	715		da 6.8

HVSR_Susa3Bussoleno1						
LUOGO: Bussoleno		DATA: 11/07/2014			ORA: 04:16	
OPERATORE: ing. Emanuele Bena						
LATITUDINE: 45° 8' 21.77" N		LONGITUDINE: 7° 6' 44.96" E			ALTEZZA ELLISSOIDICA: 469 m	
TIPO STAZIONE: Stazione singola		TIPO SENSORE: Sercel L4C-3D 1 Hz con acquisitore Reftek PFC_130B			TIPO GPS:	
N° STAZIONE: 1		N° SENSORE: 1			NOME STAZIONE: HVSR_Susa3Bussoleno1	
GUADAGNO:		FREQ. CAMP.: 125 Hz			DURATA REG.: 50'	
CONDIZIONI METEO		VENTO: Forte				
		PIOGGIA: No				
		TEMPERATURA: 20 °C			OSSERVAZIONI:	
TIPO DI TERRENO		Asfalto				
ACCOPIAMENTO ARTIFICIALE TERRENO-STRUMENTO		No				
DENSITÀ EDIFICI		Radi				
TRANSITI	nessuno	poco frequenti	moderato	frequenti	molto frequenti	distanza [m]
macchine	X					
camion	X					
pedoni	X					
altro						
SORGENTI DI RUMORE		Alberi, edificio				
STRUTTURE VICINE						



Figura 1 – Foto sensore - dettaglio.

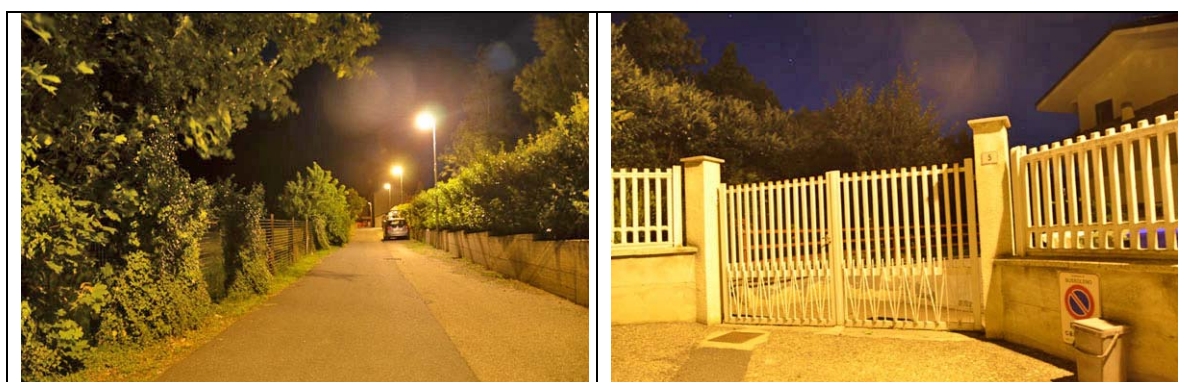


Figura 2 – Foto sensori - Direzione nord (sinistra) e est (destra).

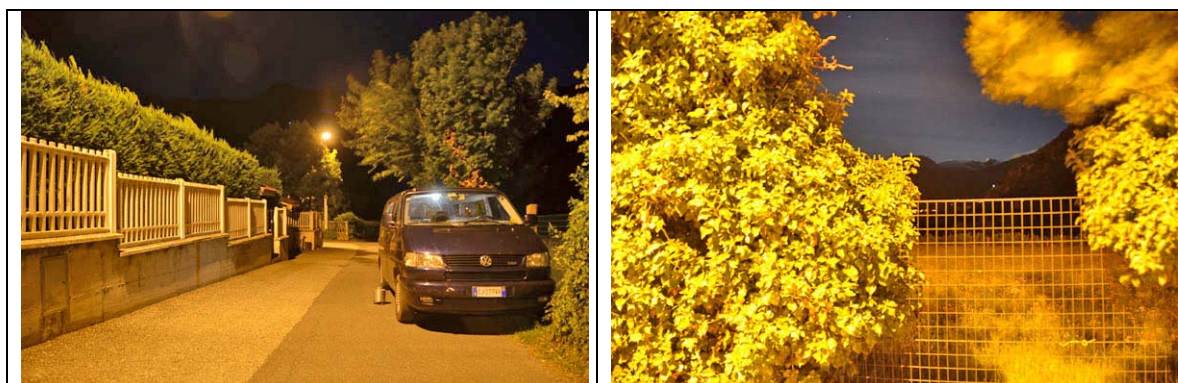


Figura 3 – Foto sensori - Direzione sud (sinistra) e ovest (destra).



Figura 4 – Ubicazione (Fonte: Google Earth - Linea rossa: stendimento sismico - Punto giallo: HVSR).

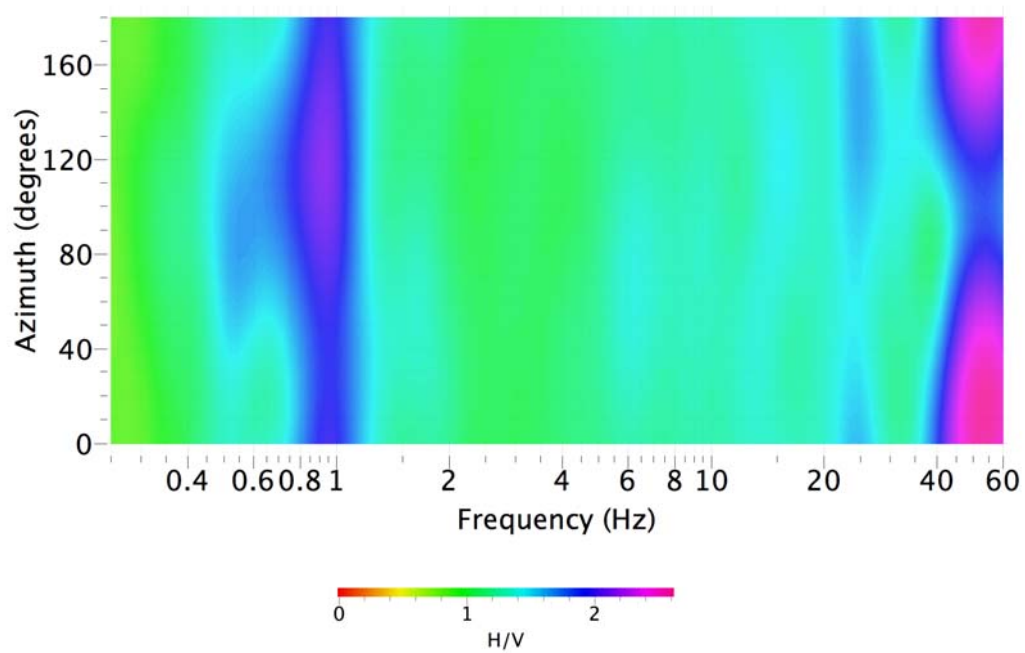


Figura 5 – Direzionalità rapporto H/V.

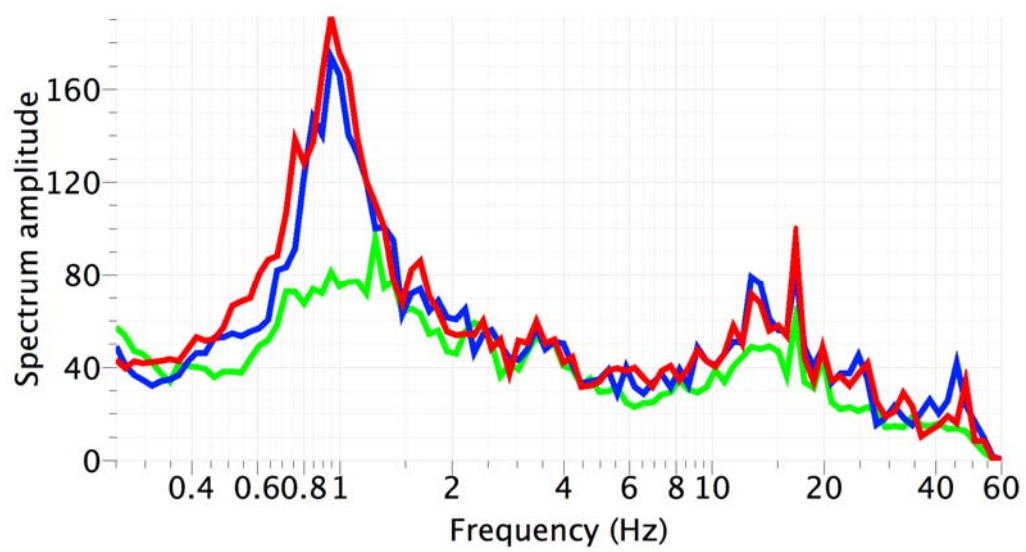


Figura 6 – Componenti spettri non lisciati - Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

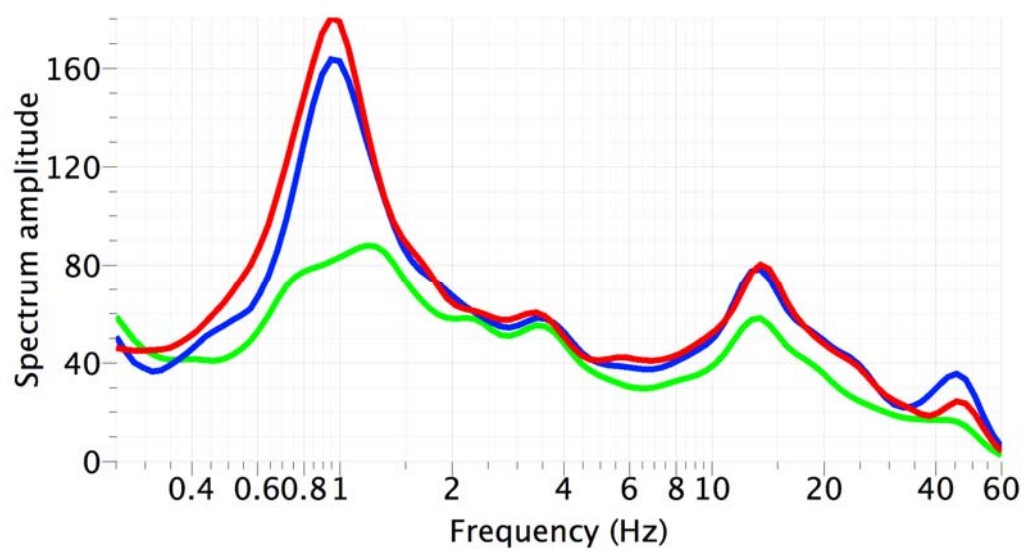


Figura 7 – Componenti spettri lisciati - Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

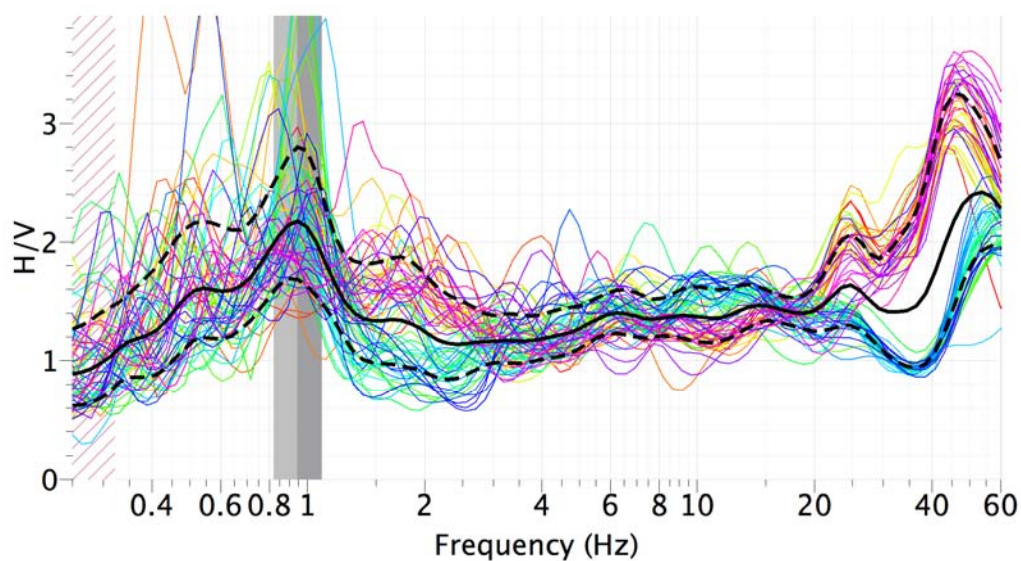


Figura 8 – H/V.

La curva H/V è affidabile e mostra un picco chiaro anche se rumoroso a 0,94 Hz. Per frequenze superiori a 20 Hz si nota una variazione delle sorgenti di rumore (peraltro fortemente direttive) nell'arco della registrazione. La frequenza di risonanza è compatibile con un bedrock con profondità dell'ordine di 100 m. Buona omnidirezionalità del dato.

Picco H/V a 0.94 ± 0.12 Hz			
Criteri per una curva H/V affidabile			
criterio	limite	valore	pass
1.1) $f_0 > 10 / l_w$	> 0.83	0.94	ok
1.2) $n_c(f_0) > 200$	> 200	755.76	ok
1.3) $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	< 2	0.55	ok
Criteri per un picco H/V chiaro			
criterio	limite	valore	pass
2.1) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	< 1.09	0.89	ok
2.2) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	< 1.09	1.14	no
2.3) $A_0 > 2$	> 2	2.17	ok
2.4) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$[0.89 - 0.99]$	$[0.90 - 0.95]$	ok
2.5) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	< 0.14	0.12	ok
2.6) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	< 2.00	0.56	ok

10.2 SWM_Bussoleno2



Figura 1 – Foto - Da inizio linea (sinistra) e da fine linea (destra).



Figura 2 – Ubicazione (Fonte: Google Earth) - Linea rossa: stendimento sismico - Punto giallo: HVSR.

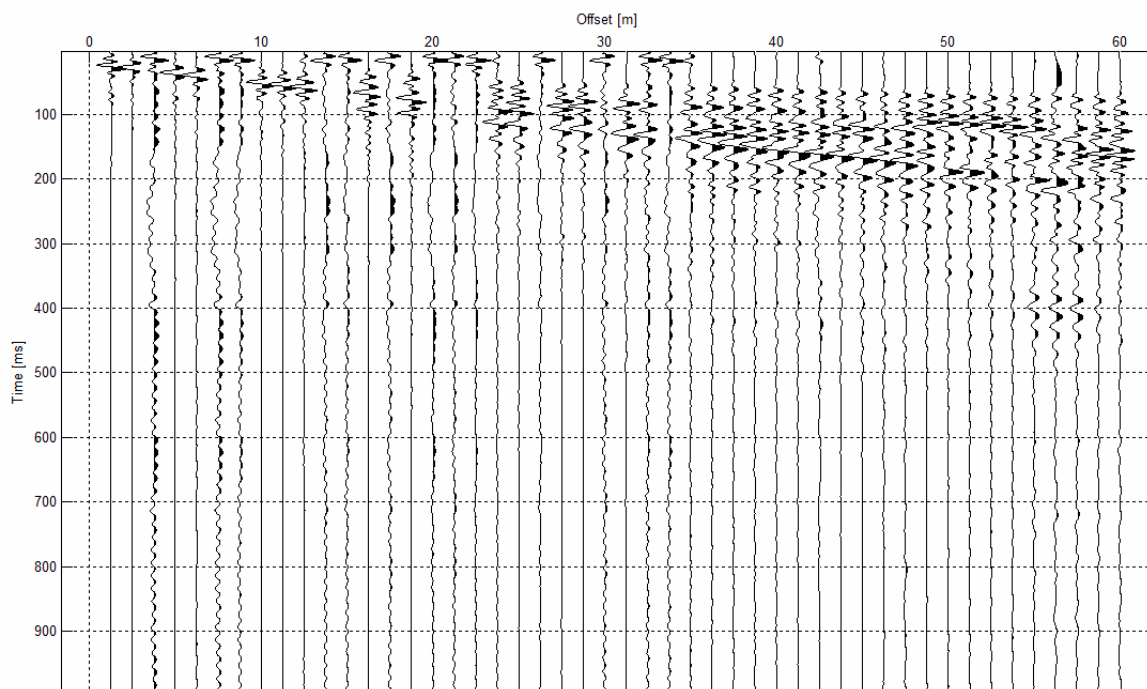


Figura 3 – Sismogramma.

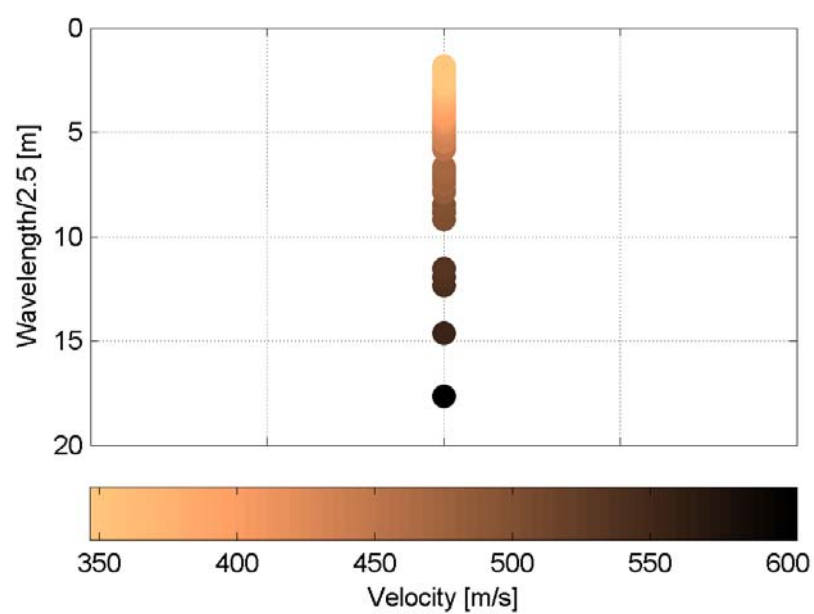


Figura 4 – Modo fondamentale della curva di dispersione espresso in funzione di $\lambda/2.5$.

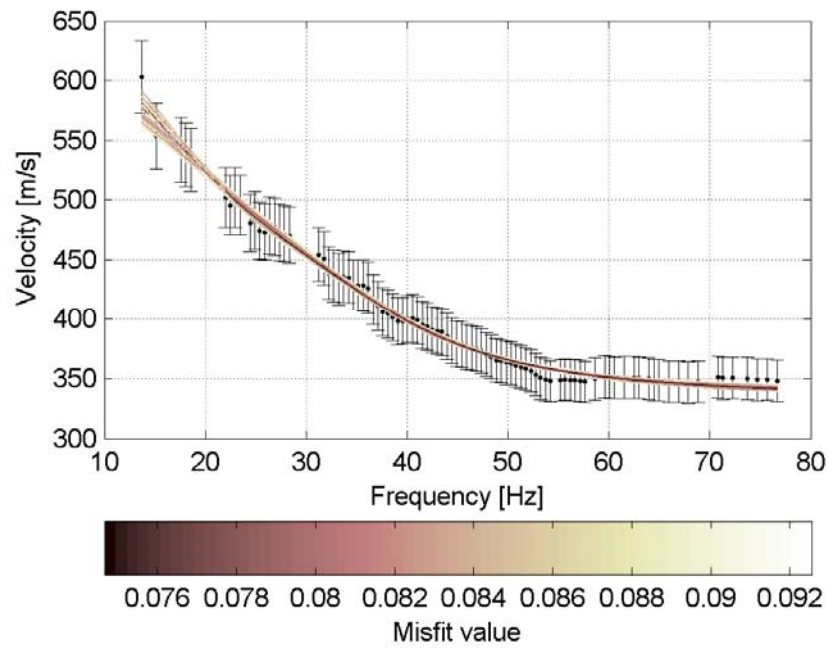


Figura 5 – Curve di dispersione delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente.

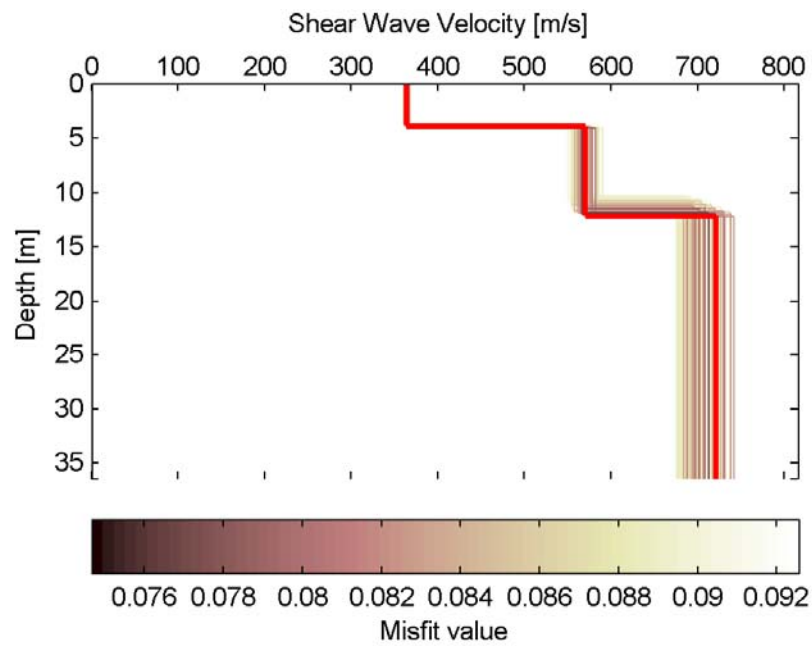


Figura 6 – Set di modelli delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente. In evidenza il profilo definitivo.

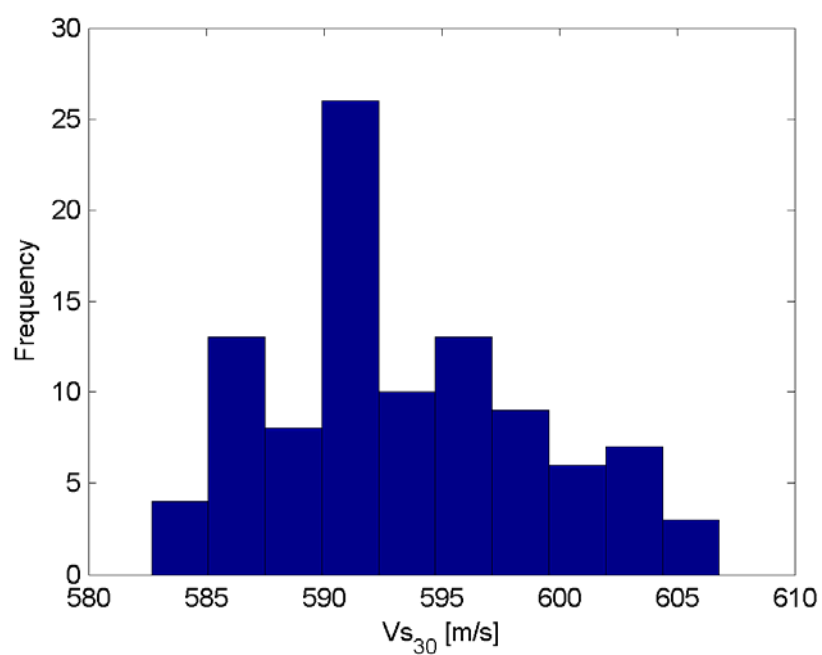


Figura 7 – Curva di distribuzione dei valori di V_{s30} stimati da piano campagna.

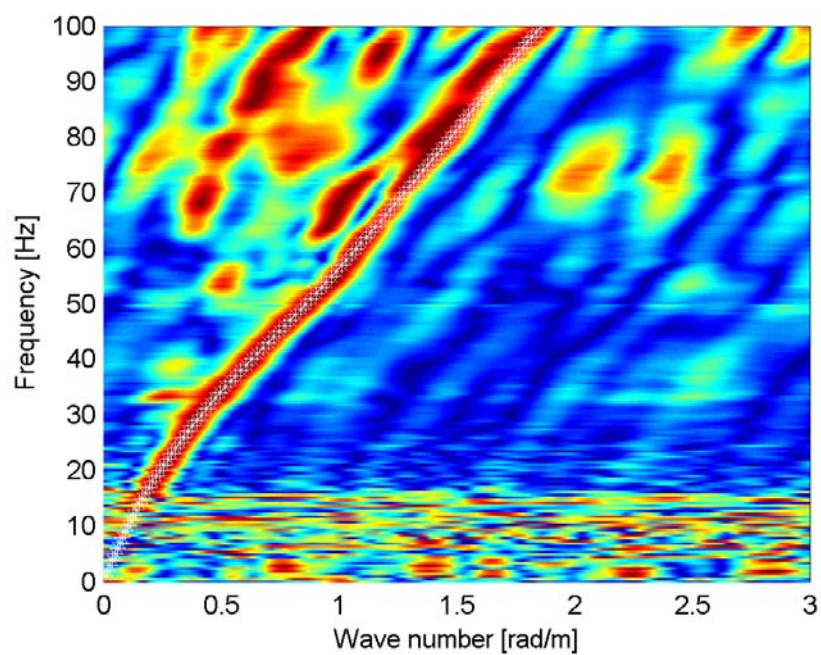


Figura 8 – Spettro f - k normalizzato e fitting della curva di dispersione del modello finale.

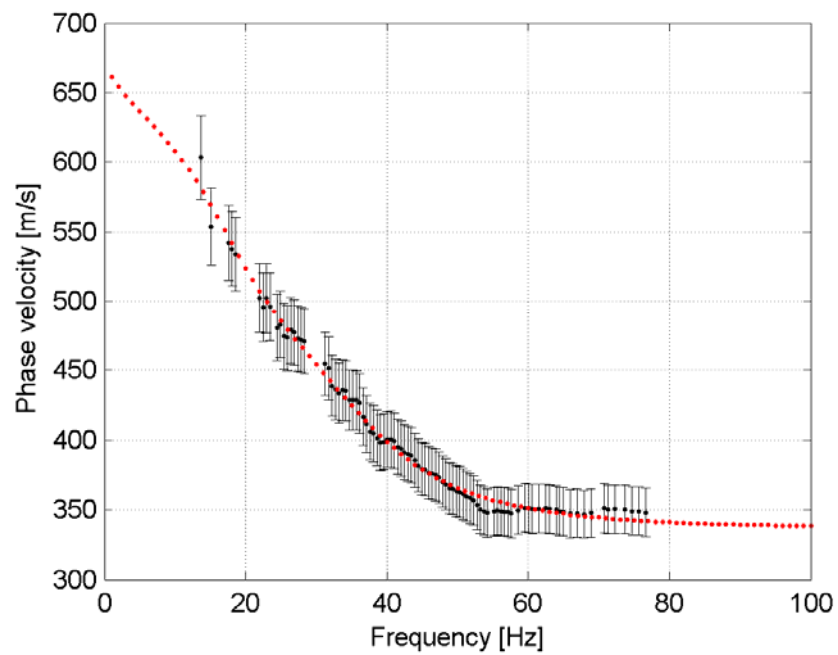


Figura 9 – Curva di dispersione da modello finale (punti rossi) e curva di dispersione sperimentale.

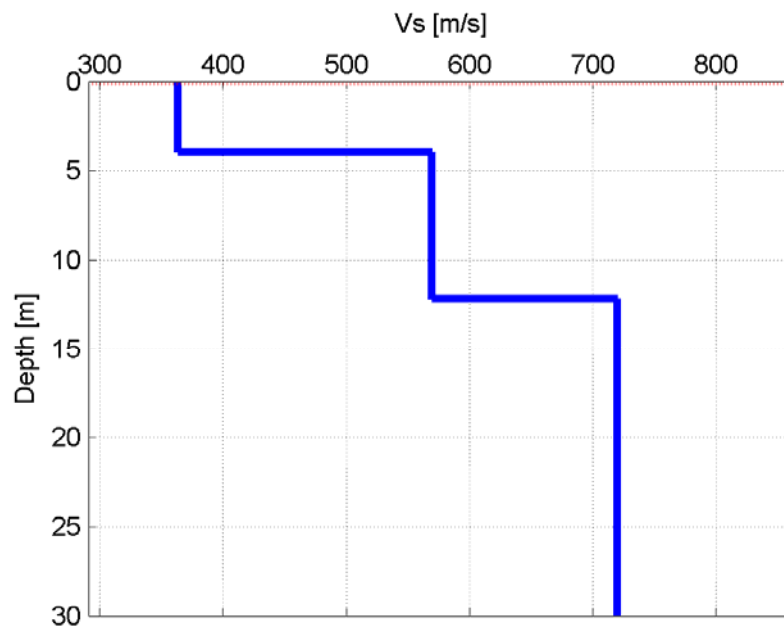


Figura 10 – Profilo stratigrafico di Vs - Modello finale (profondità da piano campagna).

Tabella 1. Profilo Vs - Parametri del modello finale.

Strato (numero)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	363	3.9	0 - 3.9
2	569	8.2	3.9 - 12.1
3	720		da 12.1

HVSR_Bussoleno2						
LUOGO: Bussoleno		DATA: 11/07/2014		ORA: 01:08		
OPERATORE: ing. Emanuele Bena						
LATITUDINE: 45° 8' 28.06" N		LONGITUDINE: 7° 8' 29.52" E		ALTEZZA ELLISSOIDICA: 452 m		
TIPO STAZIONE: Stazione singola		TIPO SENSORE: Sercel L4C-3D 1 Hz con acquisitore Reftek PFC_130B		TIPO GPS:		
N° STAZIONE: 1		N° SENSORE: 1		NOME STAZIONE: HVSR_Bussoleno2		
GUADAGNO:		FREQ. CAMP.: 125 Hz		DURATA REG.: 30'		
CONDIZIONI METEO		VENTO: Assente/debole				
		PIOGGIA: No				
		TEMPERATURA: 23 °C		OSSERVAZIONI:		
TIPO DI TERRENO		Asfalto				
ACCOPIAMENTO ARTIFICIALE TERRENO-STRUMENTO		No				
DENSITÀ EDIFICI		Frequenti				
TRANSITI	nessuno	poco frequenti	moderato	frequenti	molto frequenti	distanza [m]
macchine	X					
camion	X					
pedoni	X					
altro (treno)		X				200
SORGENTI DI RUMORE						
STRUTTURE VICINE		Edifici				



Figura 1 – Foto sensore - dettaglio.

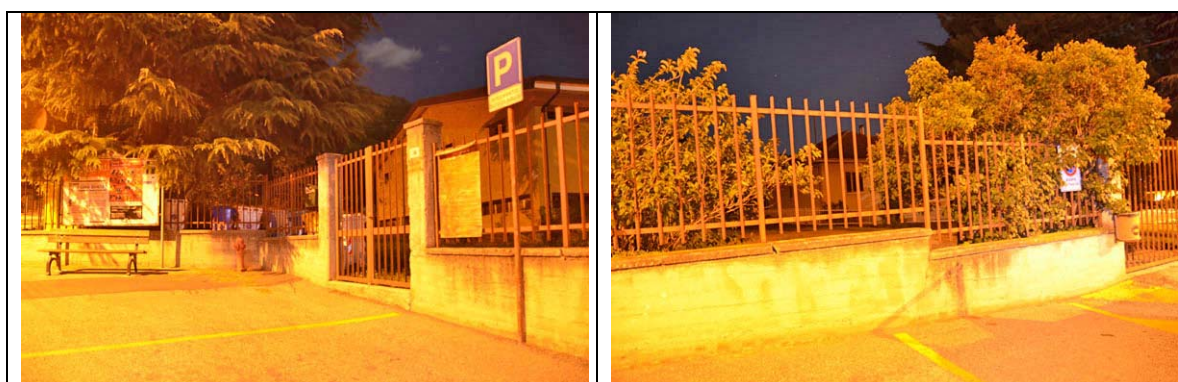


Figura 2 – Foto sensori - Direzione nord (sinistra) e est (destra).



Figura 3 – Foto sensori - Direzione sud (sinistra) e ovest (destra).



Figura 4 – Ubicazione (Fonte: Google Earth) - Linea rossa: stendimento sismico - Punto giallo: HVSR.

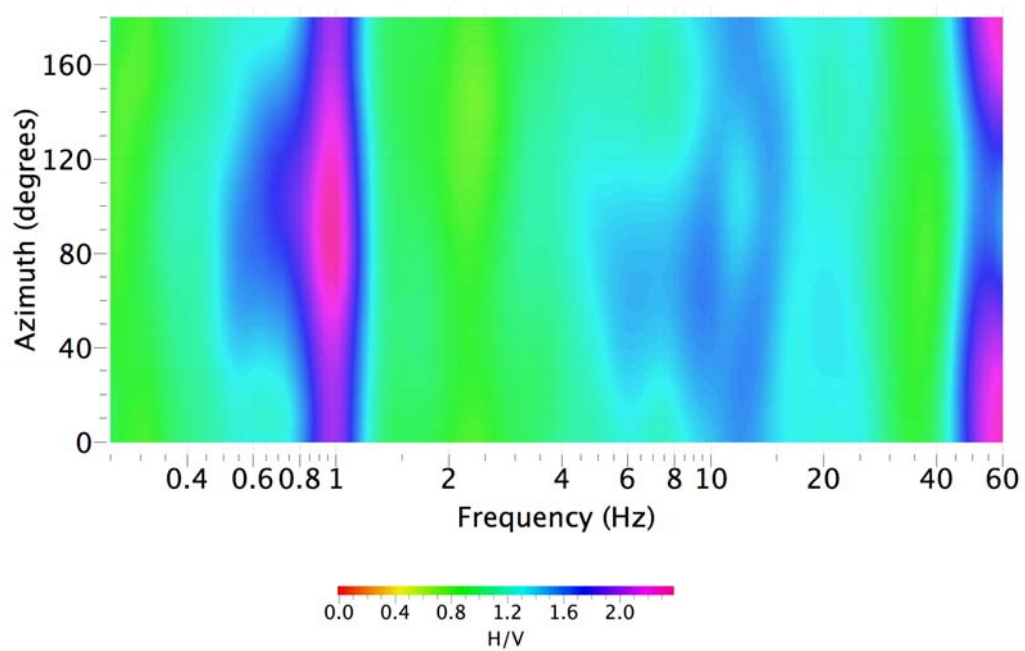


Figura 5 – Direzionalità rapporto H/V.

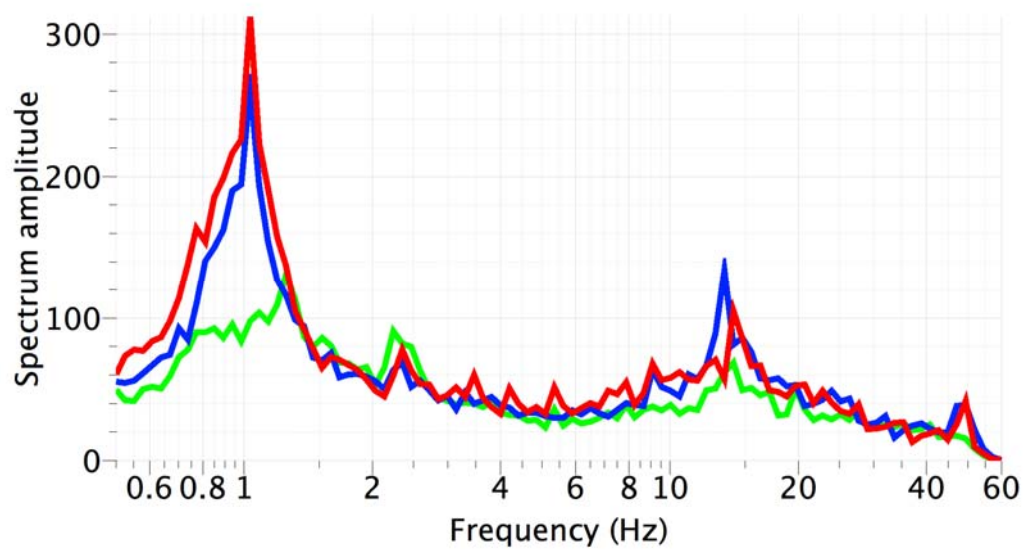


Figura 6 – Componenti spettri non lisciati - Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

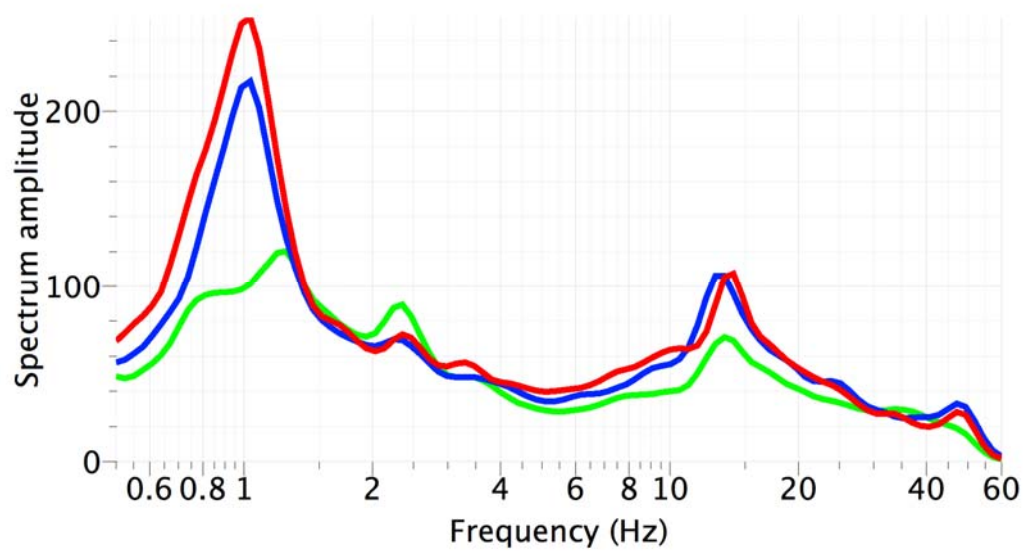


Figura 7 – Componenti spettri lisciati - Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

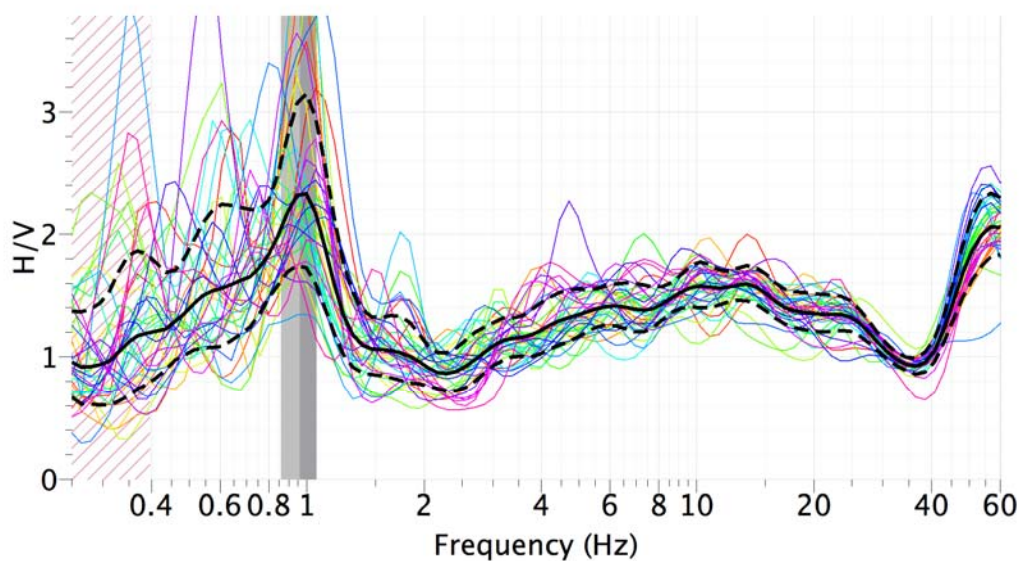


Figura 8 – H/V.

La curva H/V è affidabile e mostra un picco chiaro, anche se rumoroso a 0,96 Hz. La frequenza di risonanza è compatibile con un bedrock con profondità dell'ordine di 100 m. Ottima omnidirezionalità del dato.

Picco H/V a 0.96 ± 0.10 Hz			
Criteri per una curva H/V affidabile			
criterio	limite	valore	pass
1.1) $f_0 > 10 / l_w$	> 0.95	0.96	ok
1.2) $n_c(f_0) > 200$	> 200	393.12	ok
1.3) $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	< 2	0.68	ok
Criteri per un picco H/V chiaro			
criterio	limite	valore	pass
2.1) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	< 1.16	0.93	ok
2.2) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	< 1.16	0.87	ok
2.3) $A_0 > 2$	> 2	2.32	ok
2.4) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$[0.91 - 1.01]$	$[0.96 - 0.99]$	ok
2.5) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	< 0.14	0.1	ok
2.6) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	< 2.00	0.675	ok

10.3 SWM Bussoleno 3



Figura 1 – Foto - Da inizio linea (sinistra) e da fine linea (destra).



Figura 2 – Ubicazione (Fonte: Google Earth) - Linea rossa: stendimento sismico - Punto giallo: HVSR.

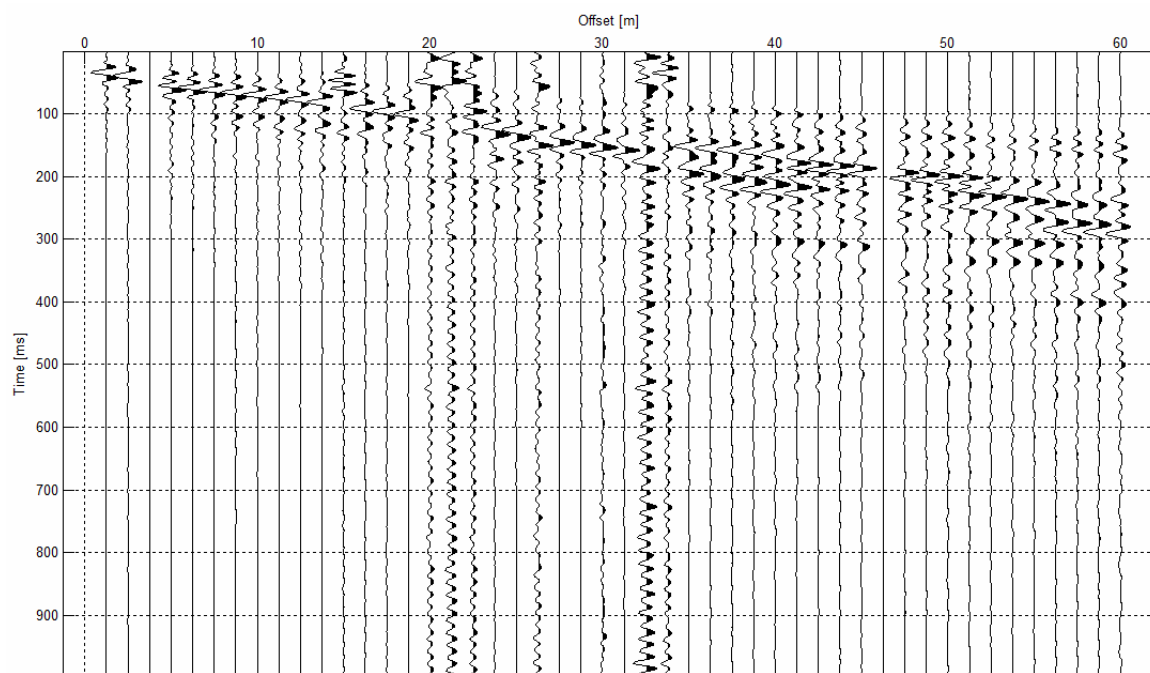


Figura 3 – Sismogramma.

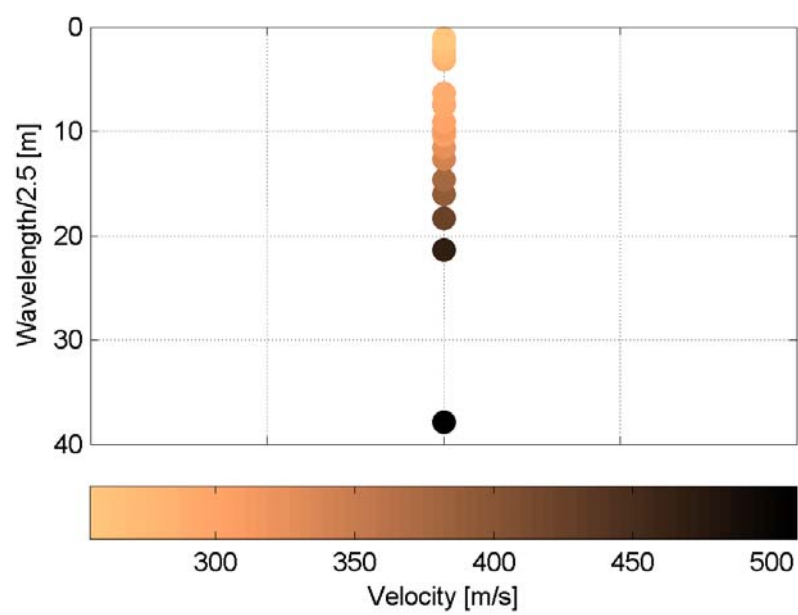


Figura 4 – Modo fondamentale della curva di dispersione espresso in funzione di $\lambda/2.5$.

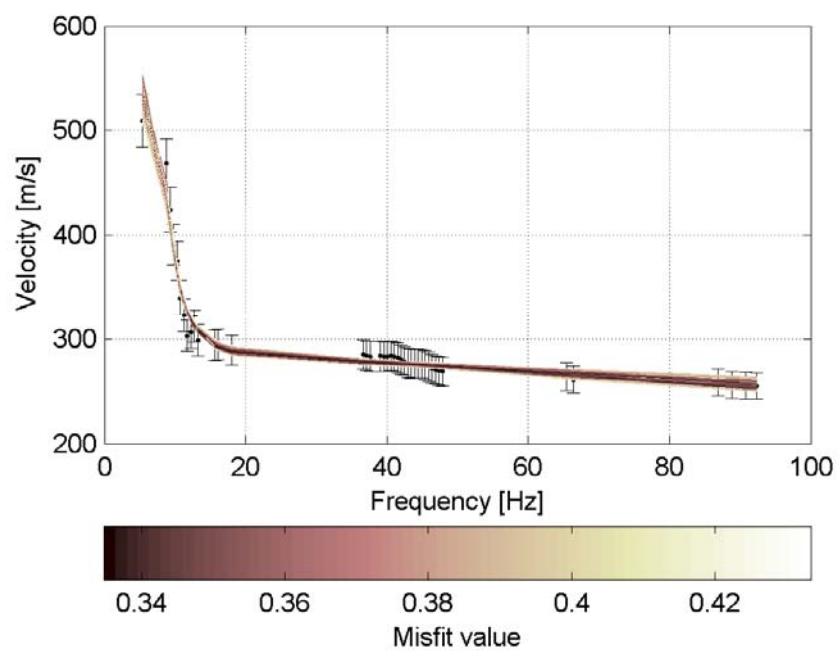


Figura 5 – Curve di dispersione delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente.

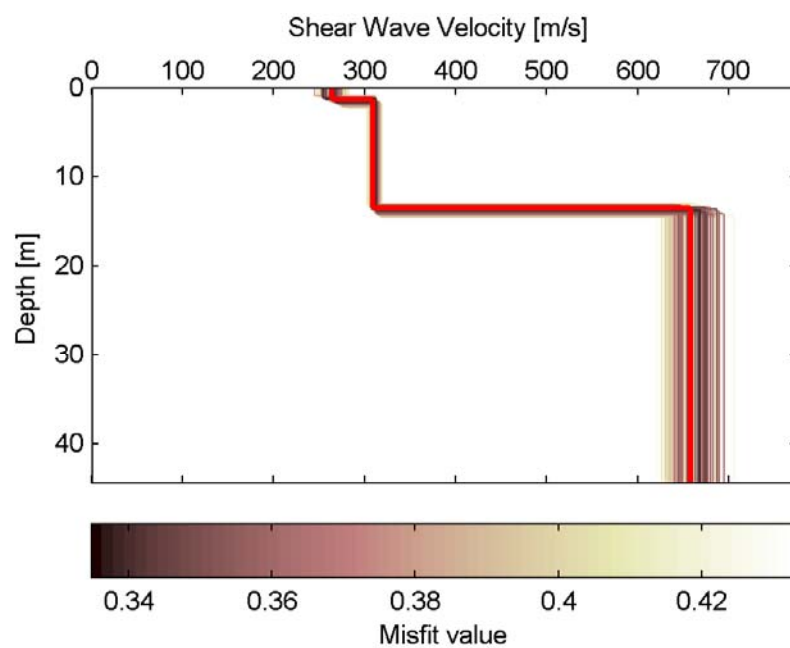


Figura 6 – Set di modelli delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente. In evidenza il profilo definitivo.

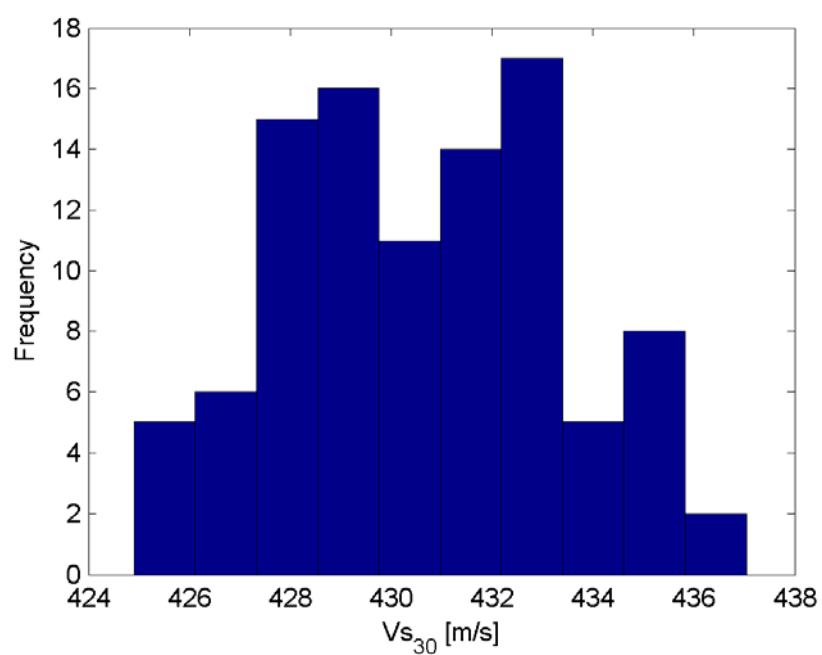


Figura 7 – Curva di distribuzione dei valori di V_{s30} stimati da piano campagna.

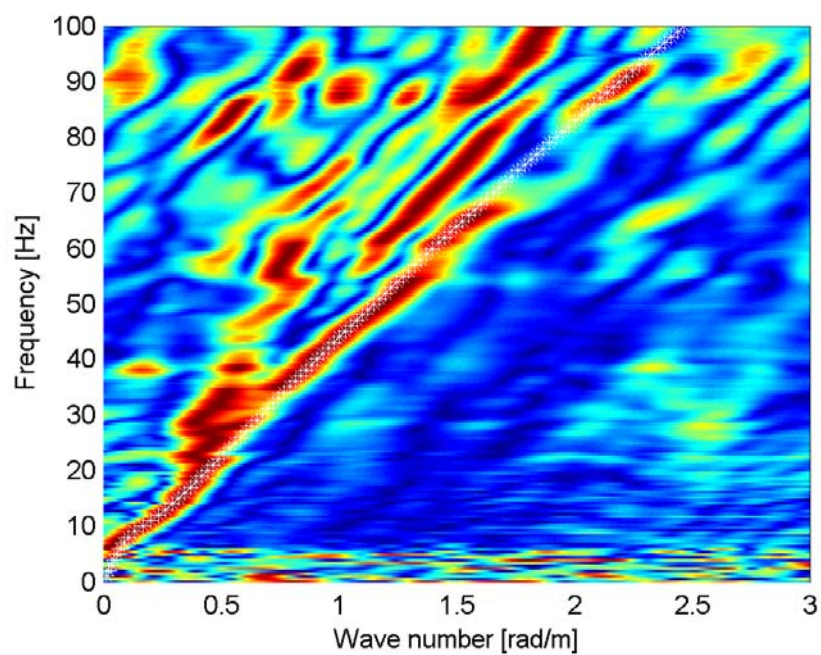


Figura 8 – Spettro f - k normalizzato e fitting della curva di dispersione del modello finale.

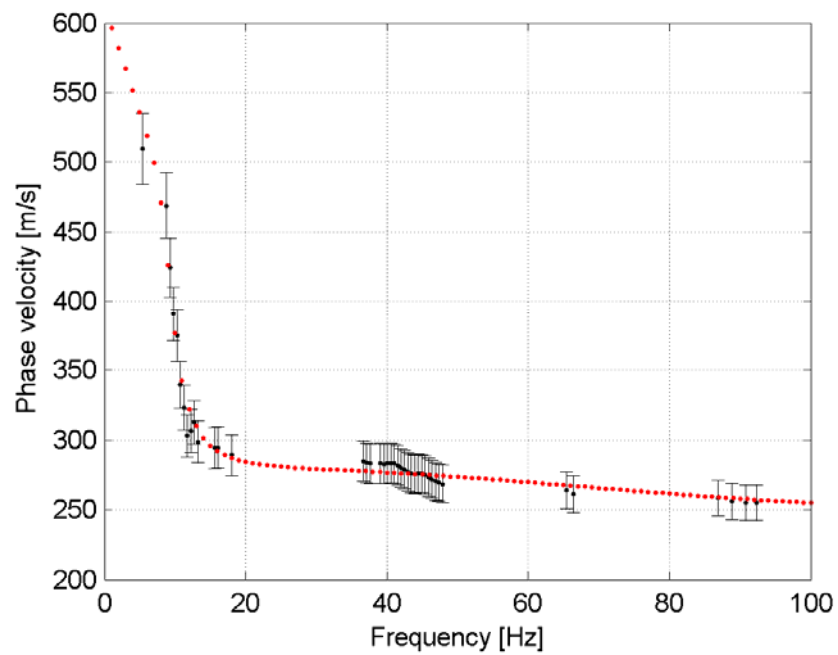


Figura 9 – Curva di dispersione da modello finale (punti rossi) e curva di dispersione sperimentale.

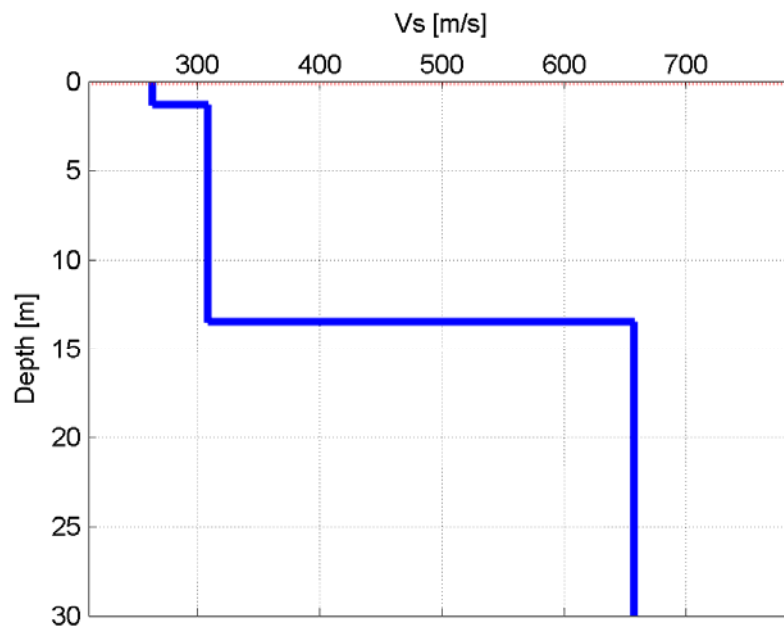


Figura 10 – Profilo stratigrafico di Vs - Modello finale (profondità da piano campagna).

Tabella 1. Profilo Vs - Parametri del modello finale.

Strato (numero)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	263	1.3	0 - 1.3
2	309	12.1	1.3 - 13.4
3	657		da 13.4

HVSR_Bussoleno3						
LUOGO: Bussoleno		DATA: 11/07/2014		ORA: 01:58		
OPERATORE: ing. Emanuele Bena						
LATITUDINE: 45° 7' 55.59" N		LONGITUDINE: 7° 8' 1.51" E		ALTEZZA ELLISSOIDICA: 460 m		
TIPO STAZIONE: Stazione singola		TIPO SENSORE: Sercel L4C-3D 1 Hz con acquisitore Reftek PFC_130B		TIPO GPS:		
N° STAZIONE: 1		N° SENSORE: 1		NOME STAZIONE: HVSR_Bussoleno3		
GUADAGNO:		FREQ. CAMP.: 125 Hz		DURATA REG.: 40'		
CONDIZIONI METEO		VENTO: Moderato con folate				
		PIOGGIA: No				
		TEMPERATURA: 20 °C		OSSERVAZIONI:		
TIPO DI TERRENO		Terra duro				
ACCOPIAMENTO ARTIFICIALE TERRENO-STRUMENTO		No				
DENSITÀ EDIFICI		Assenti				
TRANSITI	nessuno	poco frequenti	moderato	frequenti	molto frequenti	distanza [m]
macchine	X					
camion	X					
pedoni	X					
altro (treno)		X				500
SORGENTI DI RUMORE		Alberi alti				
STRUTTURE VICINE						



Figura 1 – Foto sensore - dettaglio.



Figura 2 – Foto sensori - Direzione nord (sinistra) e est (destra).



Figura 3 – Foto sensori - Direzione sud (sinistra) e ovest (destra).



Figura 4 – Ubicazione (Fonte: Google Earth) - Linea rossa: stendimento sismico - Punto giallo: HVSR.

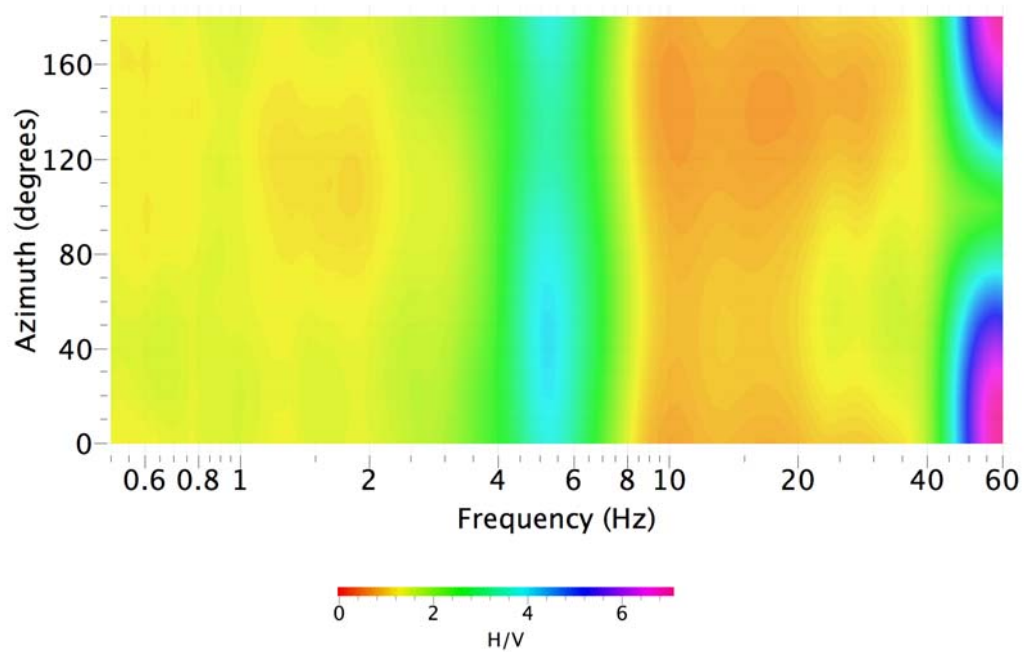


Figura 5 – Direzionalità rapporto H/V.

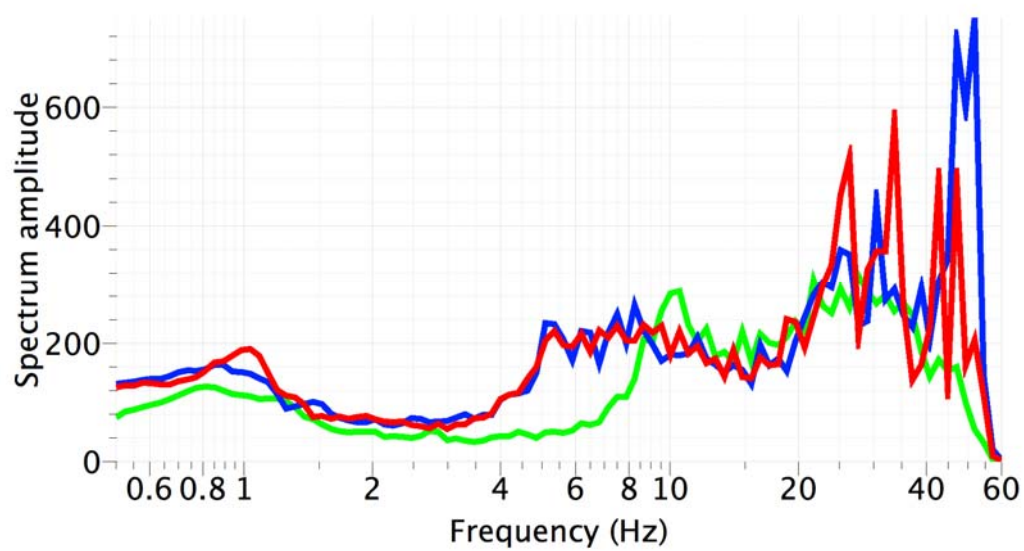


Figura 6 – Componenti spettri non lisciati - Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

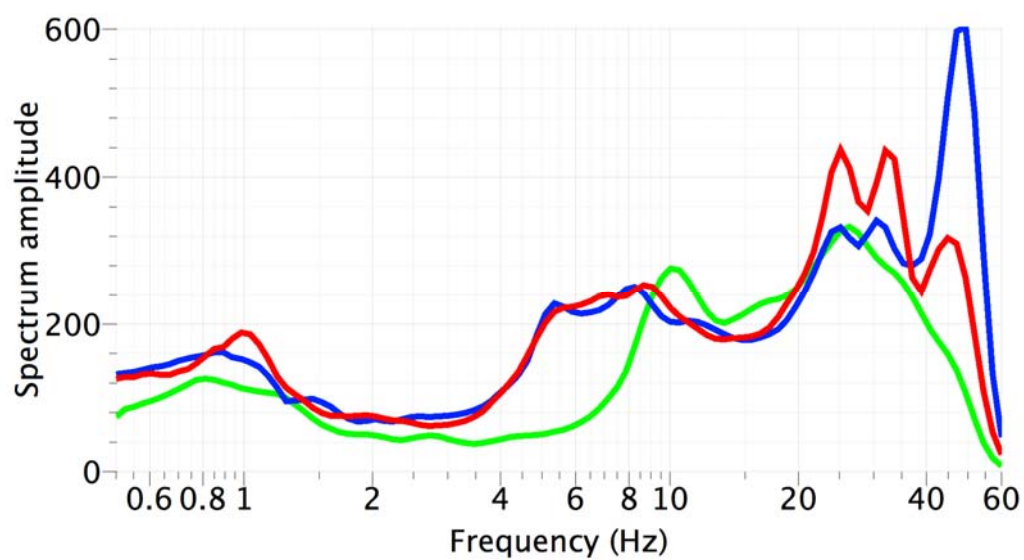


Figura 7 – Componenti spettri lisciati - Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

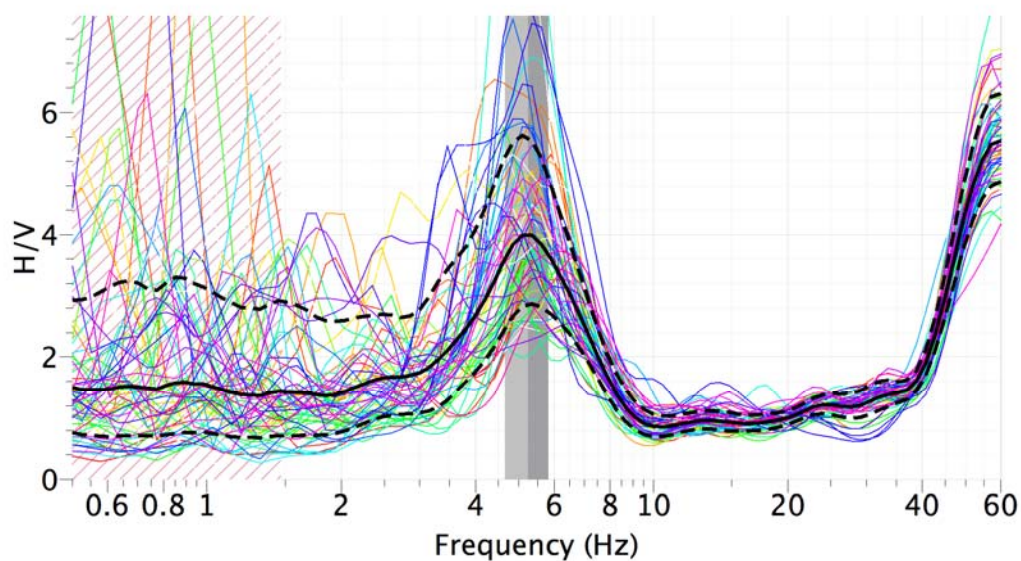


Figura 8 – H/V.

La curva H/V è affidabile e mostra un picco chiaro a 5.25 Hz. La frequenza di risonanza è compatibile con la presenza di substrato individuato dalla prova attiva a circa 13 m. Ottima omnidirezionalità del dato.

Picco H/V a 5.25 ±0.59 Hz			
Criteri per una curva H/V affidabile			
criterio	limite	valore	pass
1.1) $f_0 > 10 / l_w$	> 3.33	5.25	ok
1.2) $n_c(f_0) > 200$	> 200	1118.25	ok
1.3) $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	< 2	1.38	ok
Criteri per un picco H/V chiaro			
criterio	limite	valore	pass
2.1) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	< 2.00	1.38	ok
2.2) $\exists f'' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f'') < A_0/2$	< 2.00	0.86	ok
2.3) $A_0 > 2$	> 2	3.99	ok
2.4) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	[4.99 - 5.51]	[5.03 - 5.18]	ok
2.5) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	< 0.26	0.59	no
2.6) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	< 1.58	1.36	ok

10.4 SWM_Bussoleno4



Figura 1 – Foto - Da inizio linea (sinistra) e da fine linea (destra).



Figura 2 – Ubicazione (Fonte: Google Earth) - Linea rossa: stendimento sismico - Punto giallo: HVSR.

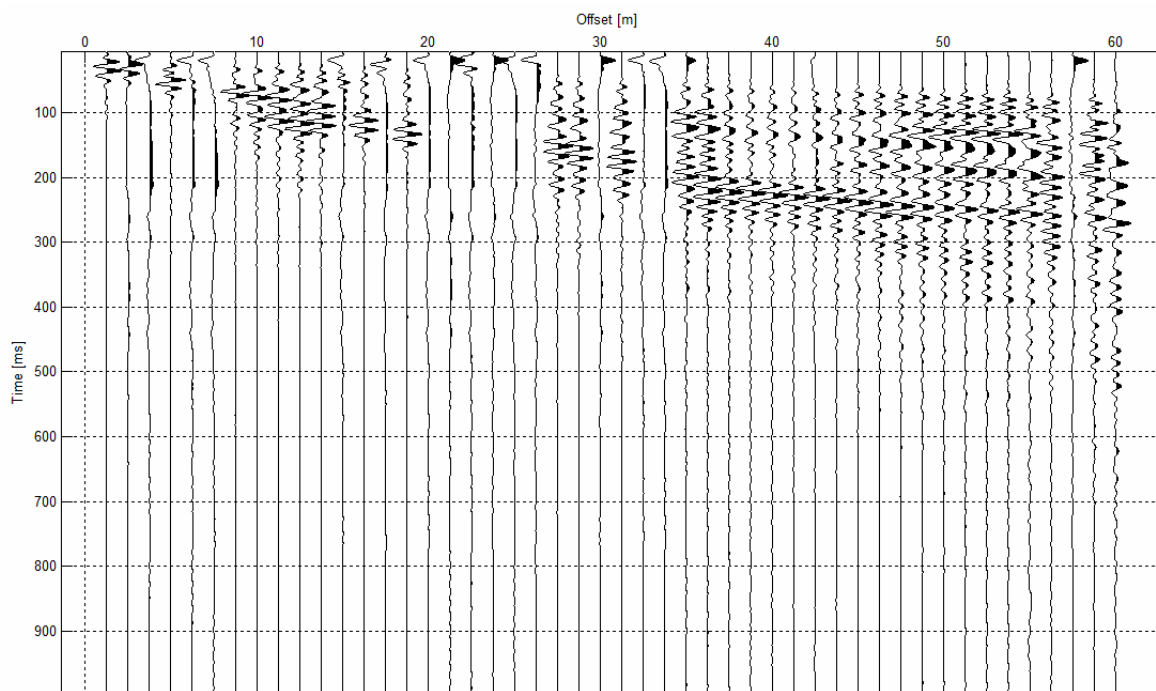


Figura 3 – Sismogramma.

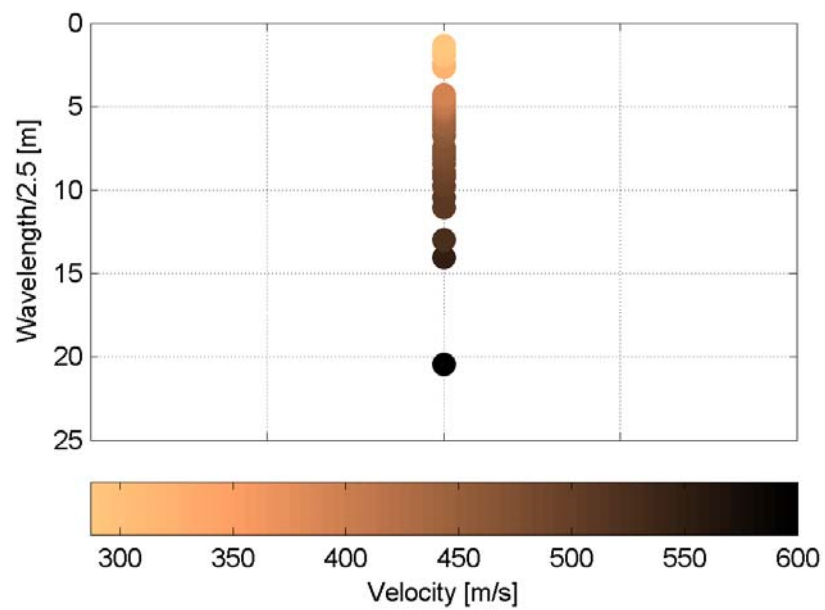


Figura 4 – Modo fondamentale della curva di dispersione espresso in funzione di $\lambda/2.5$.

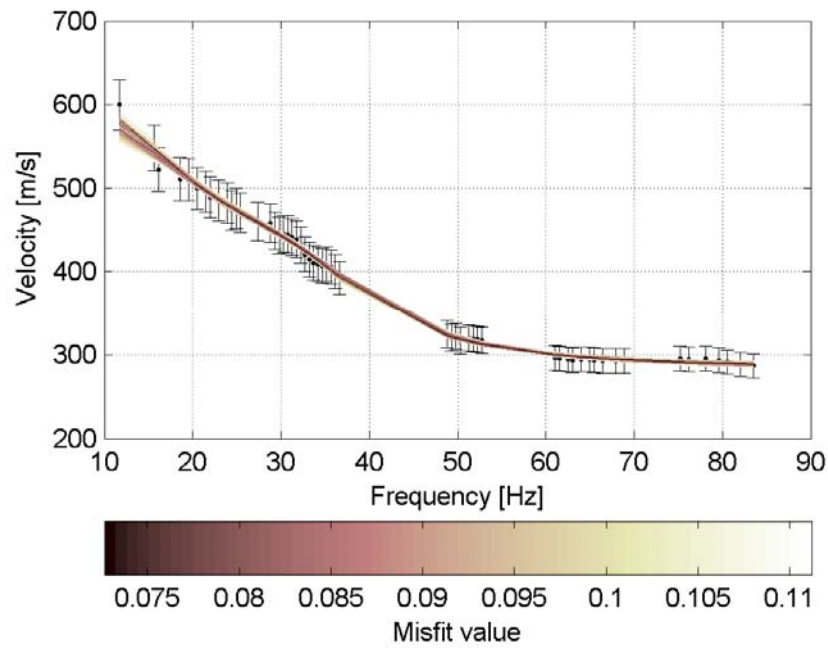


Figura 5 – Curve di dispersione delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente.

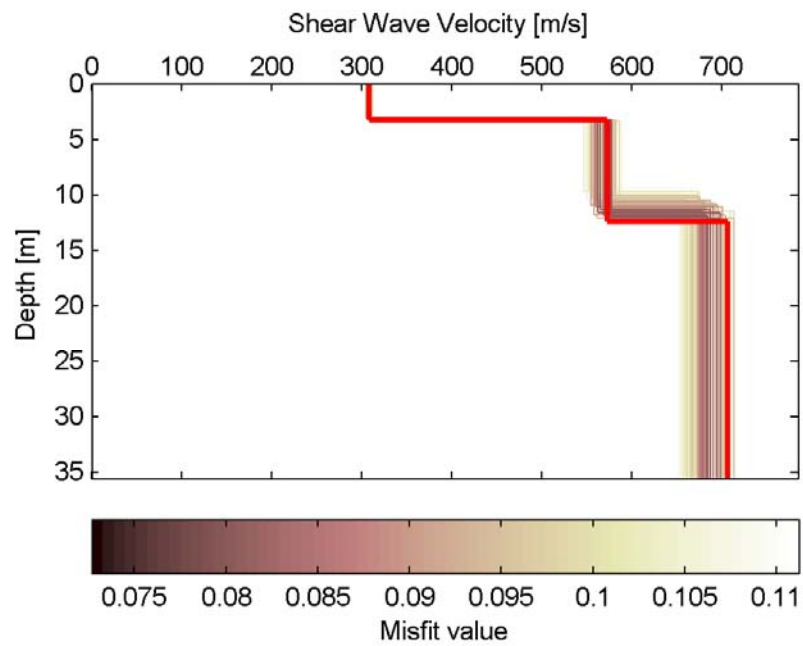


Figura 6 – Set di modelli delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente. In evidenza il profilo definitivo.

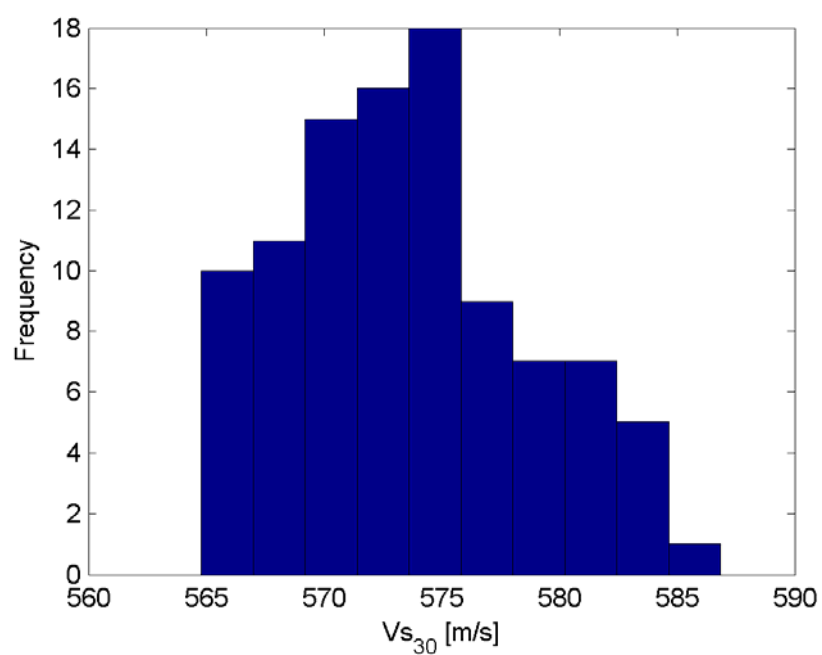


Figura 7 – Curva di distribuzione dei valori di V_{s30} stimati da piano campagna.

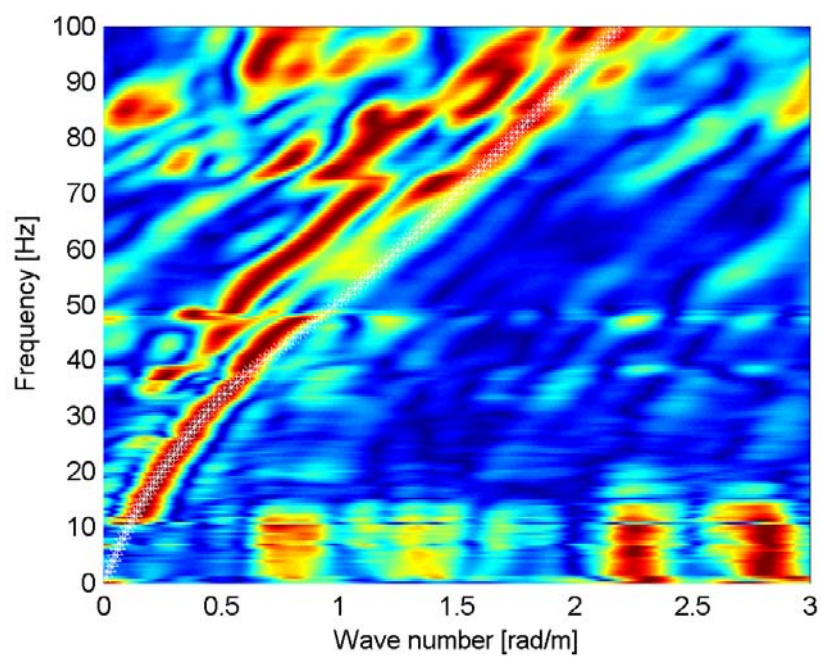


Figura 8 – Spettro f - k normalizzato e fitting della curva di dispersione del modello finale.

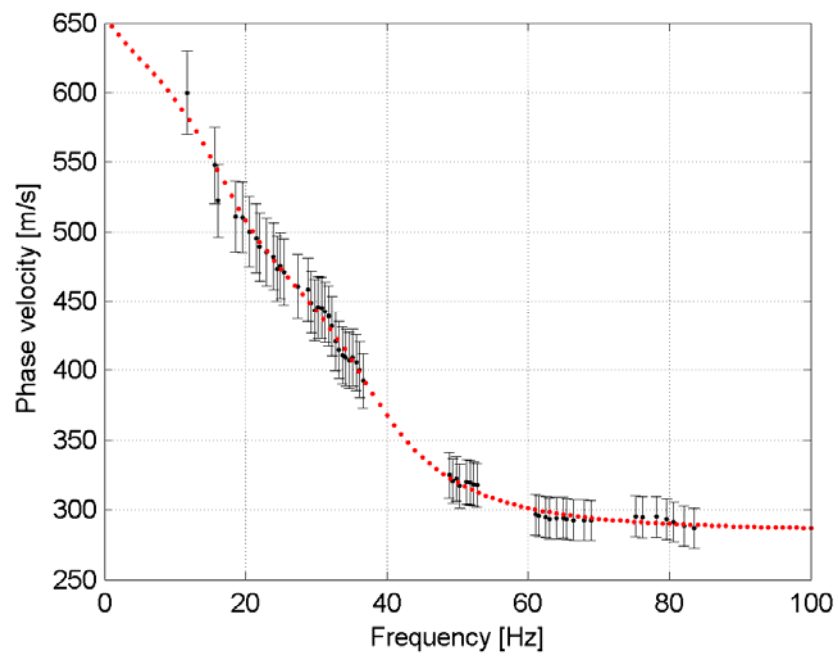


Figura 9 – Curva di dispersione da modello finale (punti rossi) e curva di dispersione sperimentale.

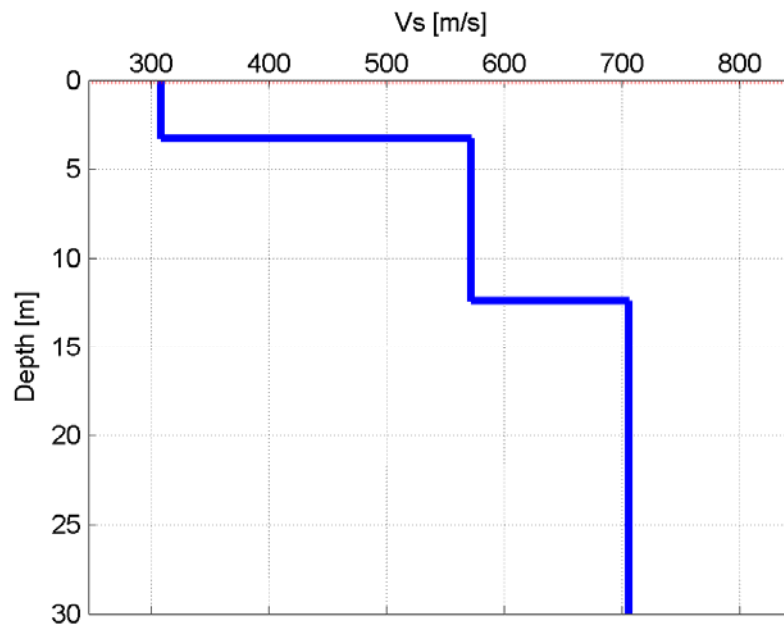


Figura 10 – Profilo stratigrafico di V_s - Modello finale (profondità da piano campagna).

Tabella 1. Profilo V_s - Parametri del modello finale.

Strato (numero)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	308	3.3	0 - 3.3
2	572	9.1	3.3 - 12.4
3	706		da 12.4

HVSR_Bussoleno4						
LUOGO: Bussoleno		DATA: 11/07/2014		ORA: 00:22		
OPERATORE: ing. Emanuele Bena						
LATITUDINE: 45° 8' 37.24" N		LONGITUDINE: 7° 9' 10.65" E		ALTEZZA ELLISSOIDICA: 450 m		
TIPO STAZIONE: Stazione singola		TIPO SENSORE: Sercel L4C-3D 1 Hz con acquisitore Reftek PFC_130B		TIPO GPS:		
N° STAZIONE: 1		N° SENSORE: 1		NOME STAZIONE: HVSR_Bussoleno4		
GUADAGNO:		FREQ. CAMP.: 125 Hz		DURATA REG.: 30'		
CONDIZIONI METEO		VENTO: Assente/debole				
		PIOGGIA: No				
		TEMPERATURA: 23 °C		OSSERVAZIONI:		
TIPO DI TERRENO		Asfalto				
ACCOPIAMENTO ARTIFICIALE TERRENO-STRUMENTO		No				
DENSITÀ EDIFICI		Radi				
TRANSITI	nessuno	poco frequenti	moderato	frequenti	molto frequenti	distanza [m]
macchine	X					
camion	X					
pedoni	X					
altro (treno)		X				400
SORGENTI DI RUMORE		Alberi bassi				
STRUTTURE VICINE						



Figura 1 – Foto sensore - dettaglio.

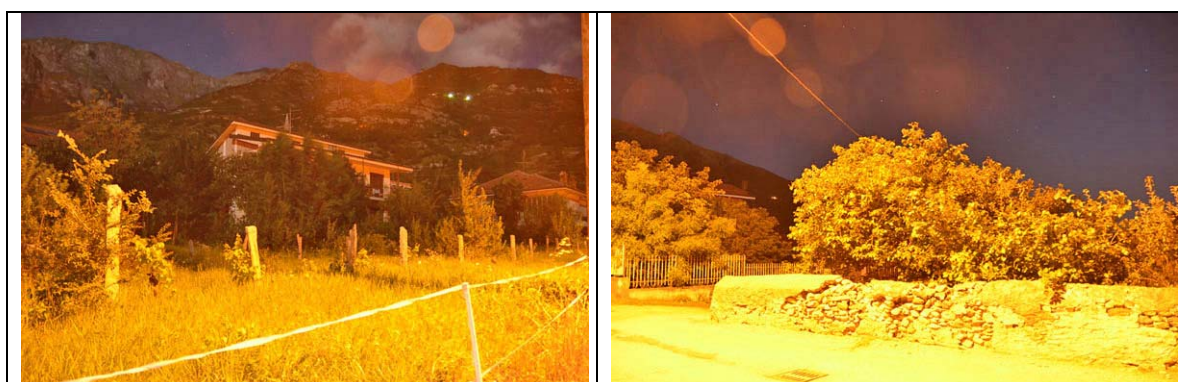


Figura 2 – Foto sensori - Direzione nord (sinistra) e est (destra).

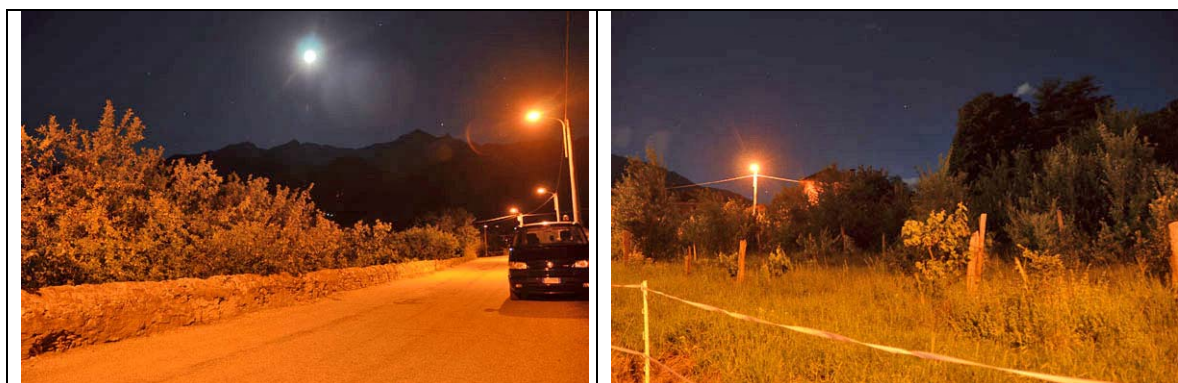


Figura 3 – Foto sensori - Direzione sud (sinistra) e ovest (destra).



Figura 4 – Ubicazione (Fonte: Google Earth) - Linea rossa: stendimento sismico - Punto giallo: HVSR.

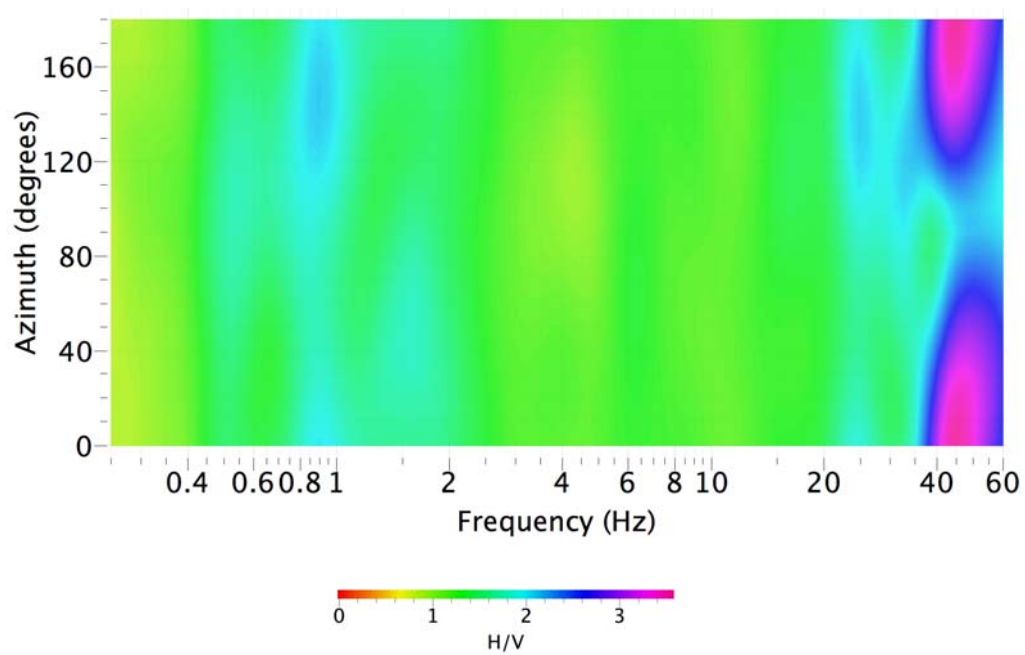


Figura 5 – Direzionalità rapporto H/V.

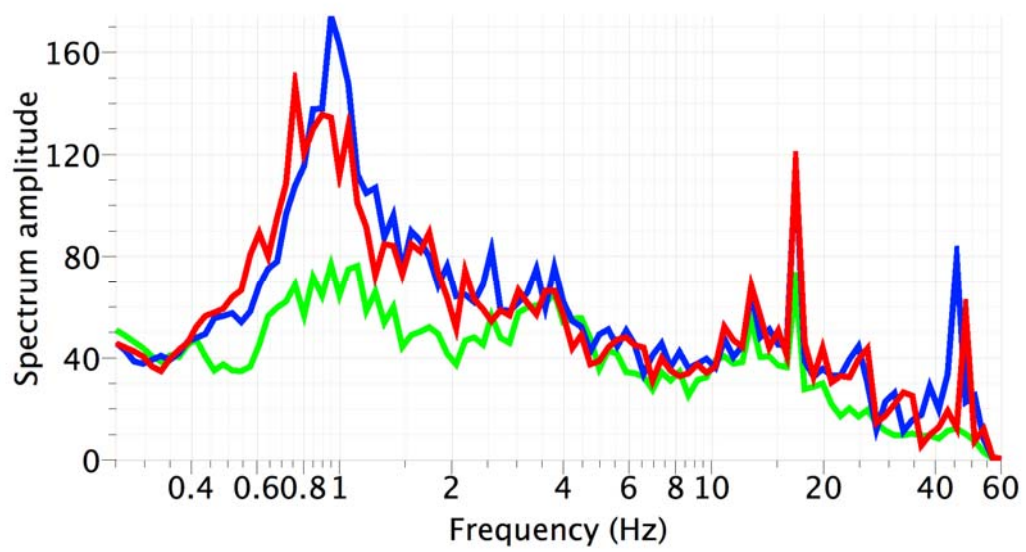


Figura 6 – Componenti spettri non lisciati - Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

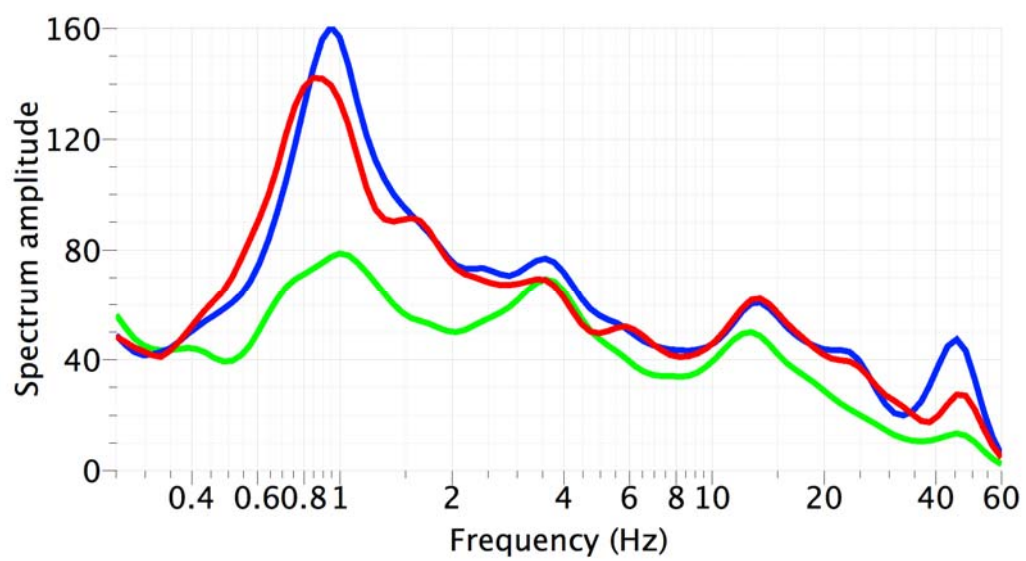


Figura 7 – Componenti spettri lisciati - Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

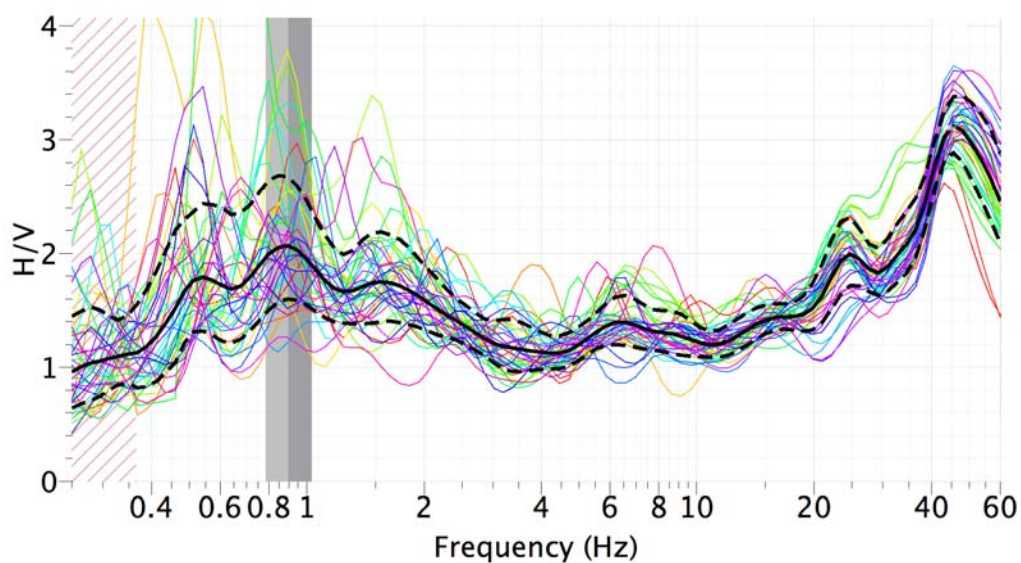


Figura 8 – H/V.

La curva H/V è affidabile e mostra un picco chiaro, anche se rumoroso e poco evidente a 0.89 Hz. La frequenza di risonanza è tuttavia compatibile con un bedrock con profondità dell'ordine di 100 m. Buona omnidirezionalità del dato.

Picco H/V a 0.89 ± 0.12 Hz			
Criteri per una curva H/V affidabile			
criterio	limite	valore	pass
1.1) $f_0 > 10 / l_w$	> 0.83	0.89	ok
1.2) $n_c(f_0) > 200$	> 200	437.88	ok
1.3) $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	< 2	0.57	ok
Criteri per un picco H/V chiaro			
criterio	limite	valore	pass
2.1) $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	< 1.04	0.83	ok
2.2) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	< 1.04	1.18	no
2.3) $A_0 > 2$	> 2	2.07	ok
2.4) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$[0.85 - 0.93]$	$[0.86 - 0.91]$	ok
2.5) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	< 0.13	0.12	ok
2.6) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	< 2.00	0.535	ok

10.5 SWM Bussoleno5



Figura 1 – Foto - Da inizio linea (sinistra) e da fine linea (destra).



Figura 2 – Ubicazione (Fonte: Google Earth) - Linea rossa: stendimento sismico - Punto giallo: HVSR.

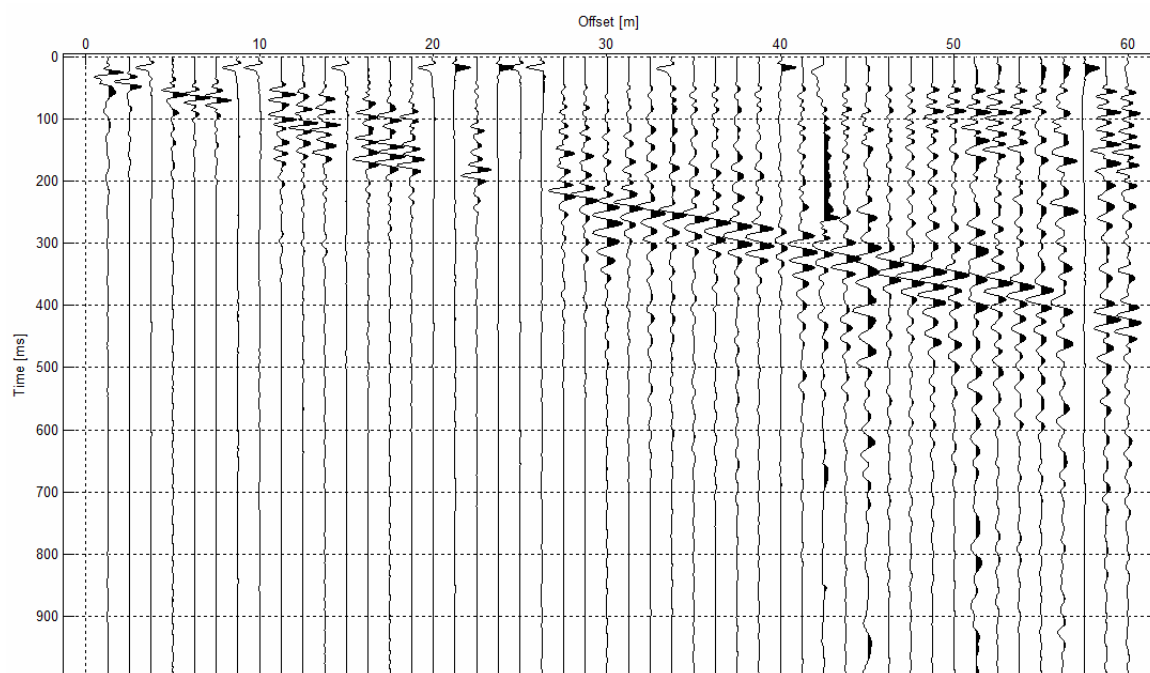


Figura 3 – Sismogramma.

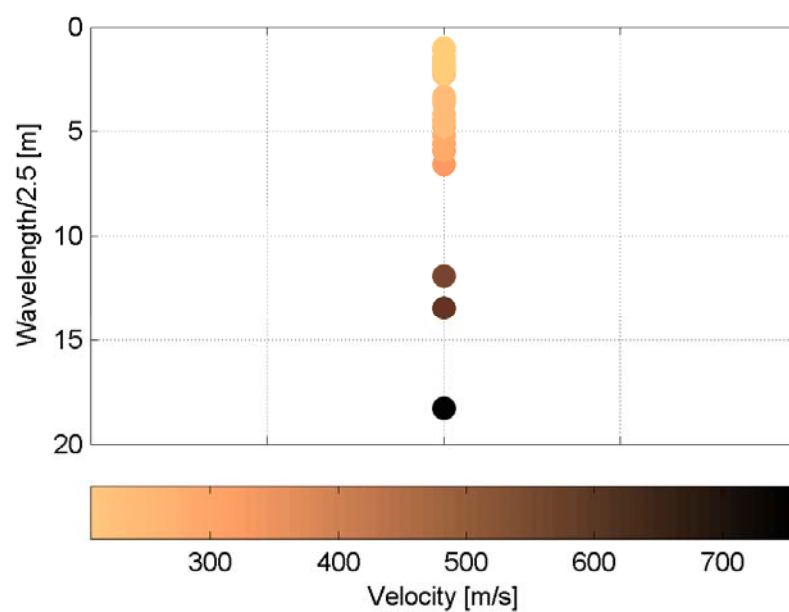


Figura 4 – Modo fondamentale della curva di dispersione espresso in funzione di $\lambda/2.5$.

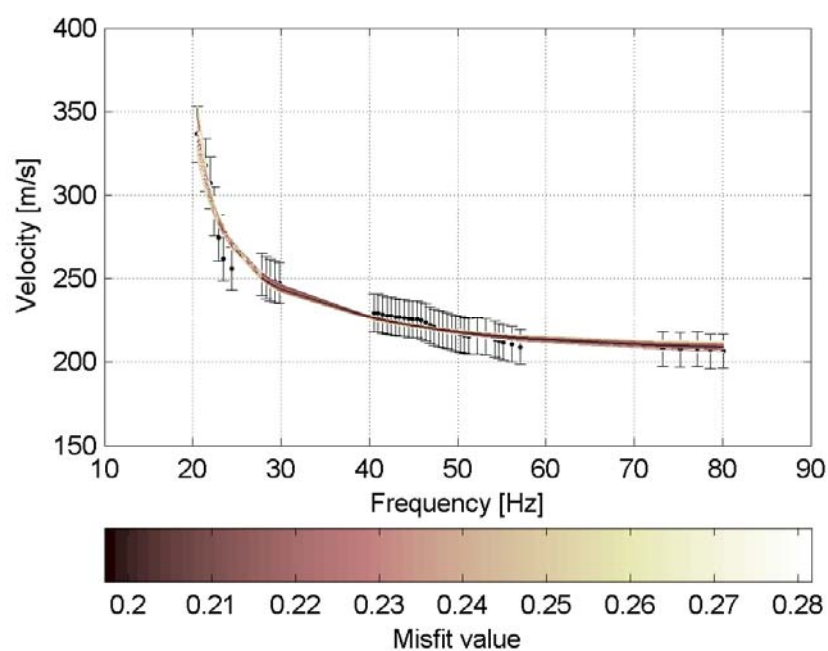


Figura 5 – Curve di dispersione delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente.

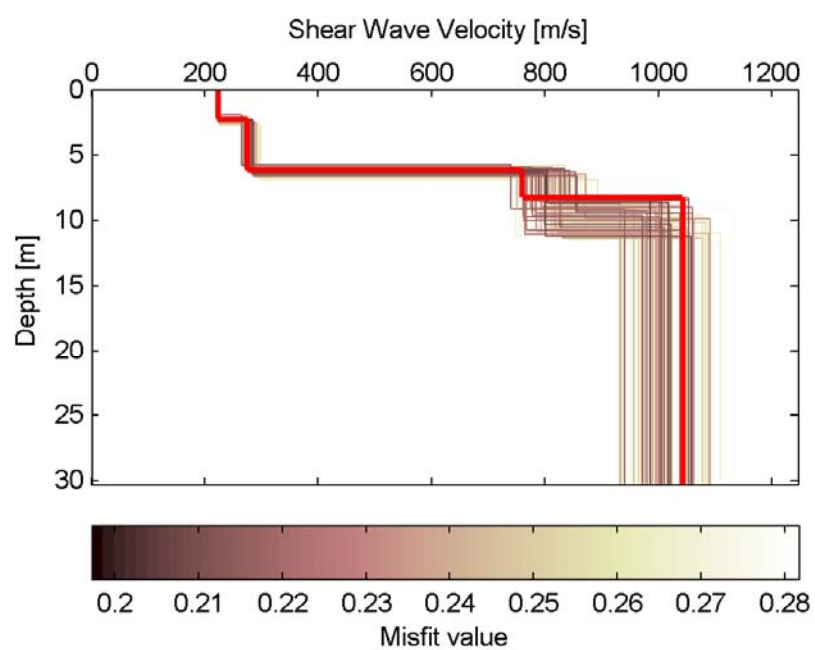


Figura 6 – Set di modelli delle possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente. In evidenza il profilo definitivo.

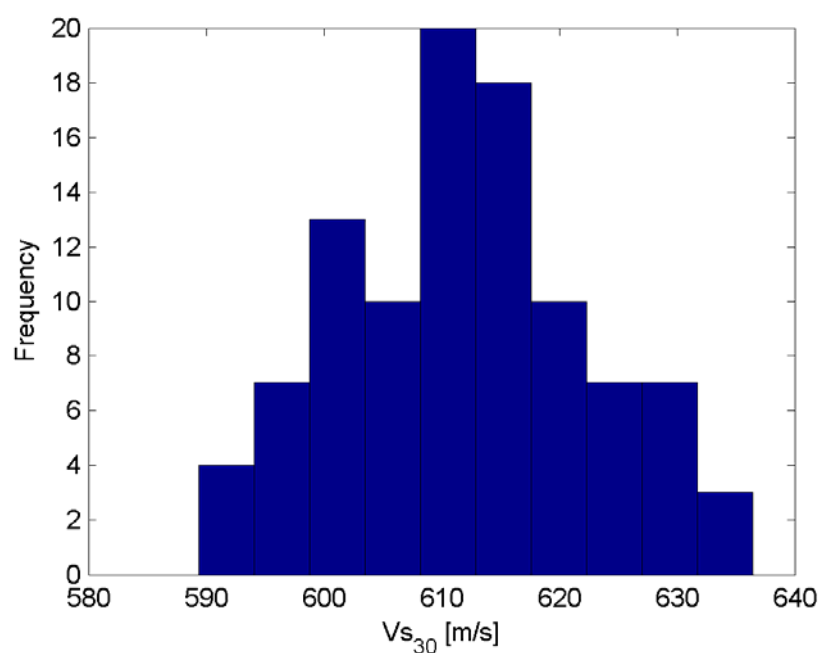


Figura 7 – Curva di distribuzione dei valori di V_{s30} stimati da piano campagna.

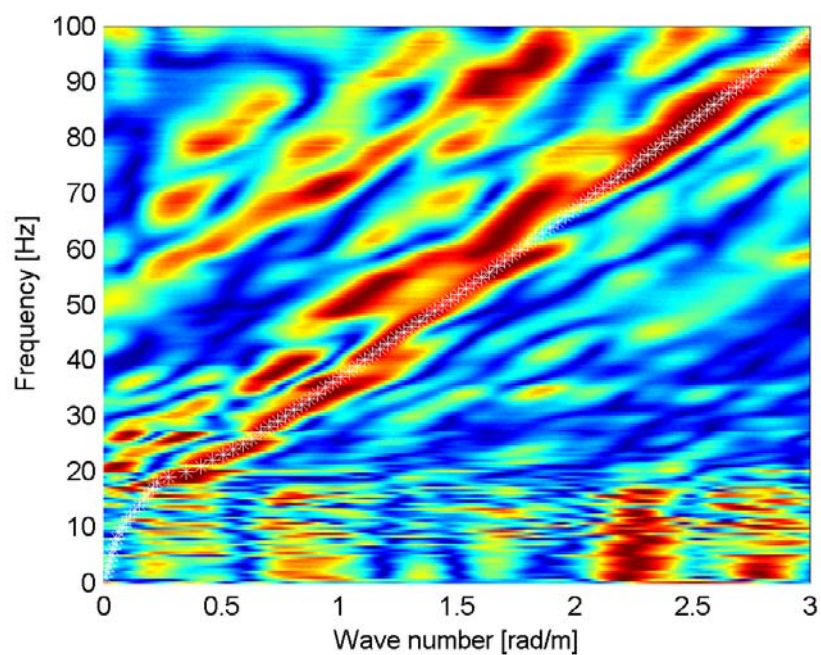


Figura 8 – Spettro f - k normalizzato e fitting della curva di dispersione del modello finale.

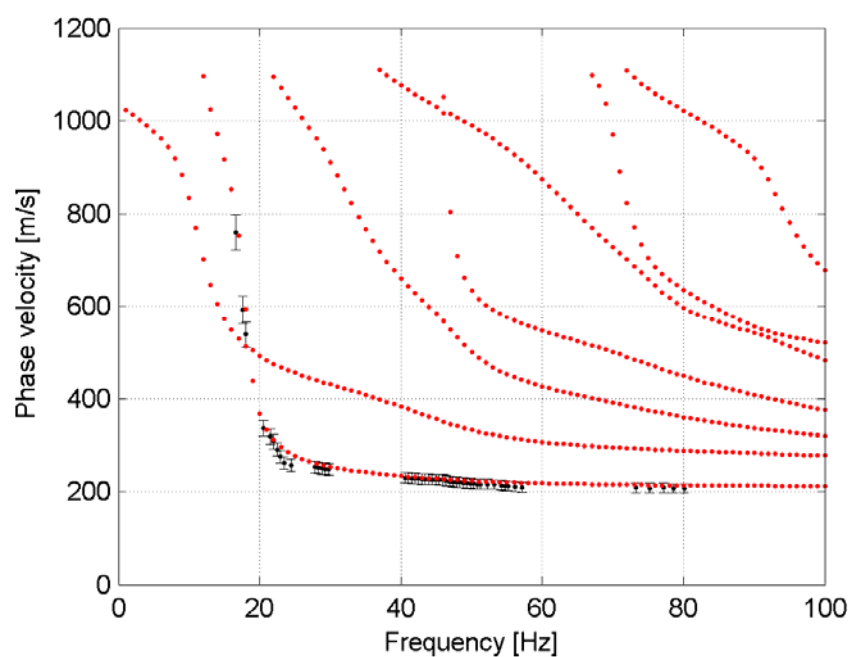


Figura 9 – Curva di dispersione da modello finale (punti rossi) e curva di dispersione sperimentale.

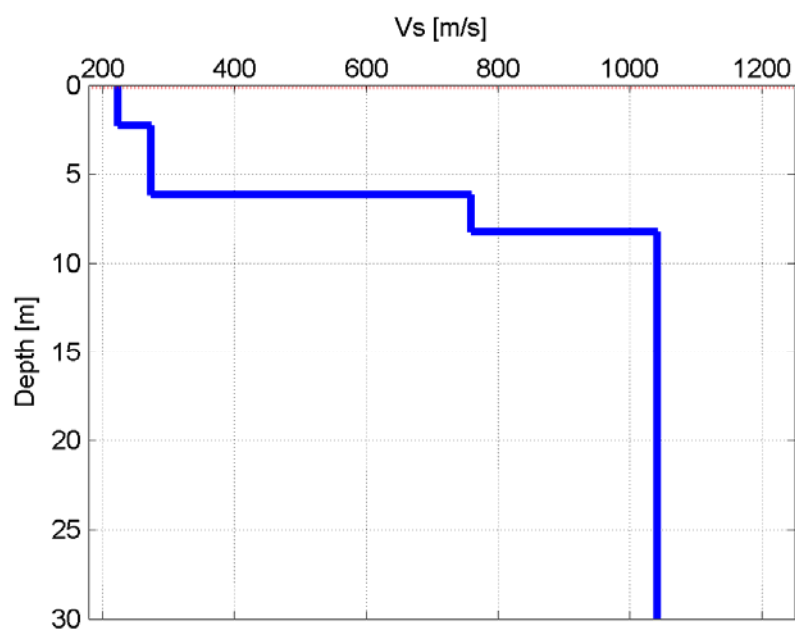


Figura 10 – Profilo stratigrafico di V_s - Modello finale (profondità da piano campagna).

Tabella 1. Profilo V_s - Parametri del modello finale.

Strato (numero)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	223	2.3	0 - 2.3
2	274	3.9	2.3 - 6.2
3	759	2.1	6.2 - 8.3
4	1041		da 8.3

HVSR_Bussoleno5						
LUOGO: Bussoleno		DATA: 11/07/2014		ORA: 00:20		
OPERATORE: ing. Emanuele Bena						
LATITUDINE: 45° 7' 19.03" N		LONGITUDINE: 7° 8' 49.25" E		ALTEZZA ELLISSOIDICA: 645 m		
TIPO STAZIONE: Stazione singola		TIPO SENSORE: Sercel L4C-3D 1 Hz con acquisitore Reftek PFC_130B		TIPO GPS:		
N° STAZIONE: 1		N° SENSORE: 1		NOME STAZIONE: HVSR_Bussoleno5		
GUADAGNO:		FREQ. CAMP.: 125 Hz		DURATA REG.: 30'		
CONDIZIONI METEO		VENTO: Debole/folate forti				
		PIOGGIA: No				
		TEMPERATURA:		OSSERVAZIONI:		
TIPO DI TERRENO		Terra (erba alta)				
ACCOPIAMENTO ARTIFICIALE TERRENO-STRUMENTO		No				
DENSITÀ EDIFICI		No				
TRANSITI	nessuno	poco frequenti	moderato	frequenti	molto frequenti	distanza [m]
macchine	X					
camion	X					
pedoni	X					
altro						
SORGENTI DI RUMORE		Alberi				
STRUTTURE VICINE						



Figura 1 – Foto sensore - dettaglio .

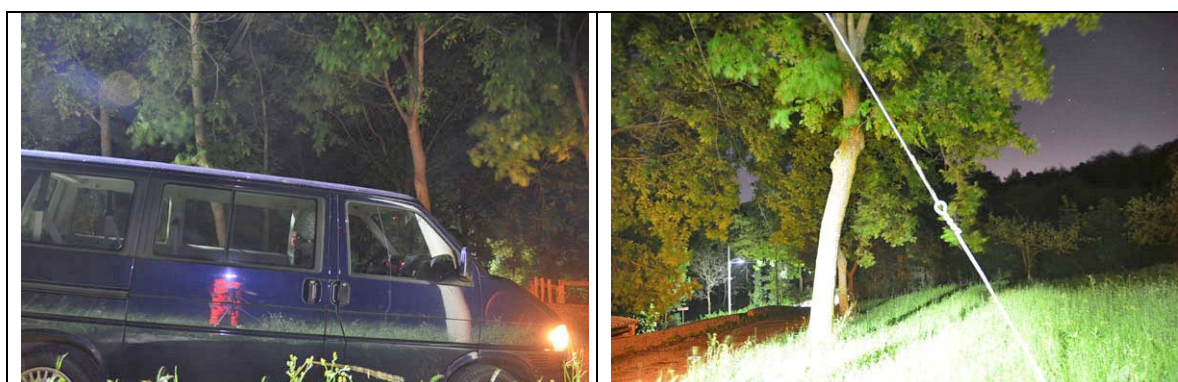


Figura 2 – Foto sensori - Direzione nord (sinistra) e est (destra).



Figura 3 – Foto sensori - Direzione sud (sinistra) e ovest (destra).



Figura 4 – Ubicazione (Fonte: Google Earth) - Linea rossa: stendimento sismico - Punto giallo: HVSR.

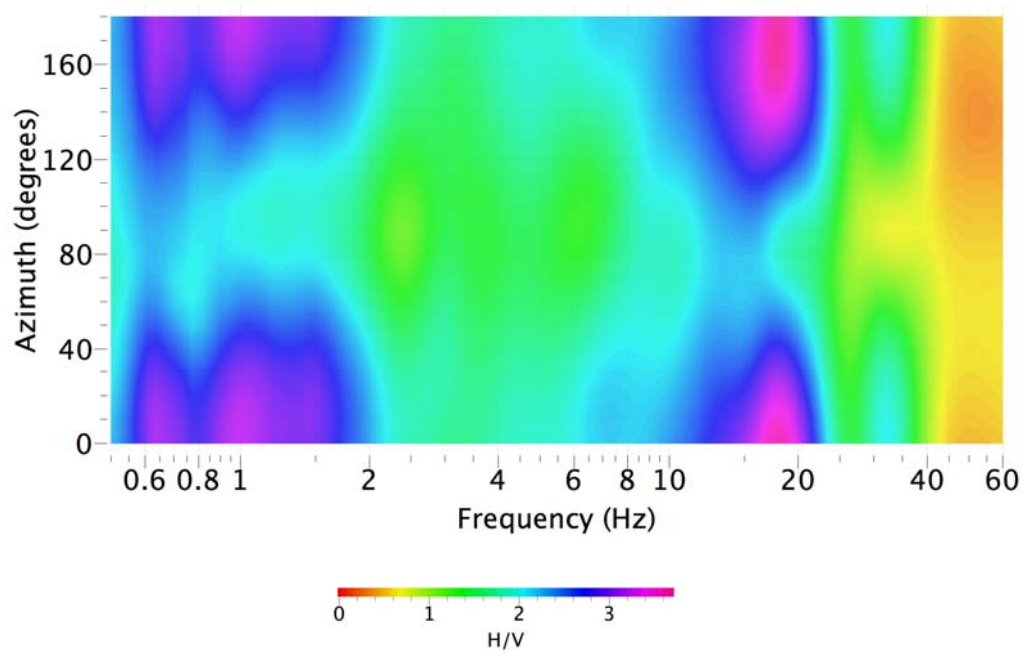


Figura 5 – Direzionalità rapporto H/V .

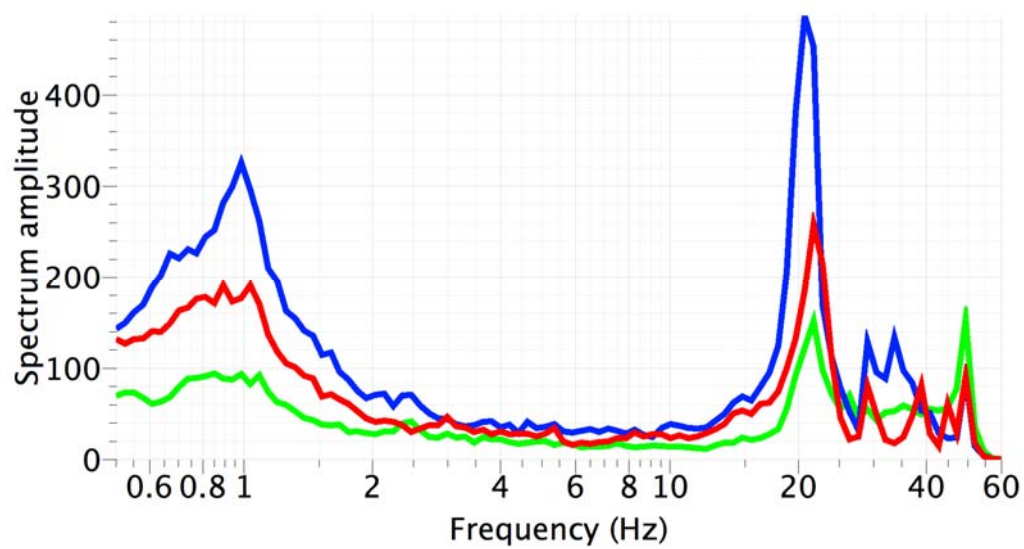


Figura 6 – Componenti spettri non lisciati - Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

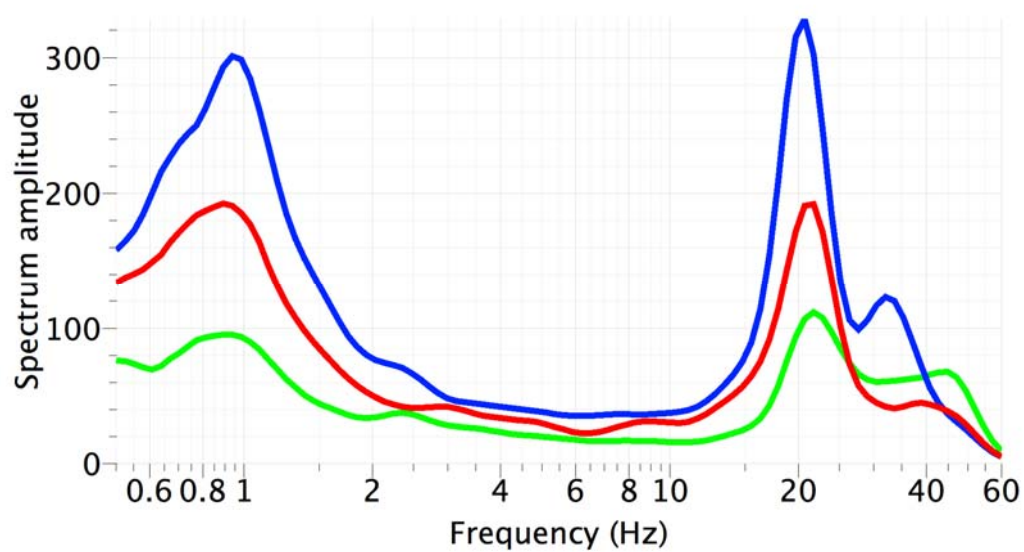


Figura 7 – Componenti spettri lisciati - Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

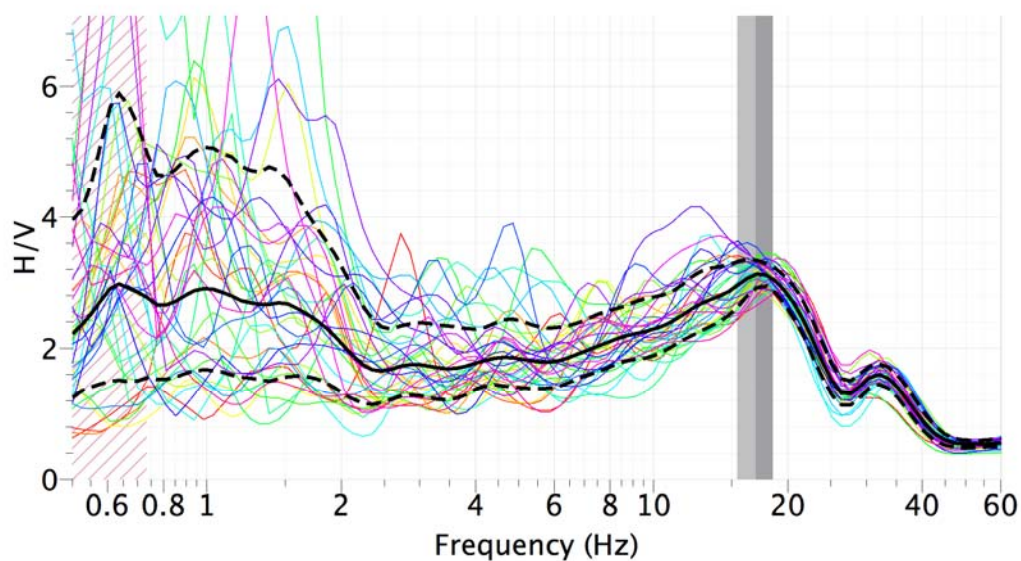


Figura 8 – H/V.

La curva H/V ma mostra un picco non chiaro a 16.98 Hz. La frequenza di risonanza individuata è tuttavia compatibile con la presenza di substrato che la prova attiva pone a circa 8 m. Pessima direzionalità.

Picco H/V a 16.98 ±1.56 Hz			
Criteri per una curva H/V affidabile			
criterio	limite	valore	pass
1.1) $f_0 > 10 / l_w$	> 2.50	16.98	ok
1.2) $n_c(f_0) > 200$	> 200	1562.16	ok
1.3) $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	< 2	0.44	ok
Criteri per un picco H/V chiaro			
criterio	limite	valore	pass
2.1) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	< 1.56	1.8	no
2.2) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	< 1.56	0.52	ok
2.3) $A_0 > 2$	> 2	3.12	ok
2.4) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	[16.13 - 17.83]	[16.19 - 17.33]	ok
2.5) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	< 0.85	1.56	no
2.6) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	< 1.58	0.215	ok