



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

MICROZONAZIONE SISMICA

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Regione Piemonte
Comune di Borgo San Dalmazzo



Regione

Soggetto realizzatore

Data



Politecnico di Milano
Dip. di Ingegneria Civile e Ambientale

SETTEMBRE 2013

Fioriana Pergalani
Massimo Compagnoni
Maria Pia Boni

INDICE

- 1. Introduzione**
- 2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento**
- 3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area**
- 4. Dati geotecnici e geofisici**
- 5. Modello del sottosuolo**
- 6. Interpretazioni ed incertezze**
- 7. Elaborati cartografici**
 - 7.1 Carta delle indagini**
 - 7.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica**
 - 7.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)**
- 8. Bibliografia**
- 9. Allegati**

1. Introduzione

L'obiettivo del lavoro è stato la predisposizione di studi di microzonazione sismica sul territorio regionale, 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 – annualità 2011 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.

L'elaborato tecnico di riferimento per l'esecuzione degli studi è rappresentato 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 2.0 elaborati dalla Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica del giugno 2012.

Le attività fondamentali del progetto sono consistite nella raccolta di tutti i dati geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, sondaggi, indagini geofisiche relativi ai territori oggetto d'indagine e nell'esecuzione di rilevamenti geologici di controllo sul terreno necessari alla ricostruzione dell'assetto geologico a scala locale, previa raccolta preliminare dei dati esistenti presso gli archivi e le banche dati interne.

Inoltre, per alcune zone suscettibili di amplificazioni locali ritenute significative, sono state eseguite indagini con tecnica HVSR, finalizzate a verificare la frequenza naturale del sito. Al fine di interpretare in termini di spessori i dati acquisiti con tecnica HVSR, per la ricostruzione del modello geologico e geotecnico del terreno, sono state eseguite indagini di sismica superficiale con metodologia MASW, espressi in termini di valori di Vs.

I prodotti sono costituiti in:

- Carta delle indagini (scala 1:10000) 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 1:10000) predisposta sulla base dei rilievi geologici e morfologici disponibili e dai dati derivanti dai rilievi di controllo effettuati, corredata da sezioni geologiche significative, in numero adeguato, orientate sia trasversalmente sia longitudinalmente ai principali elementi geologici.
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) (scala 1:10000) dove 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.

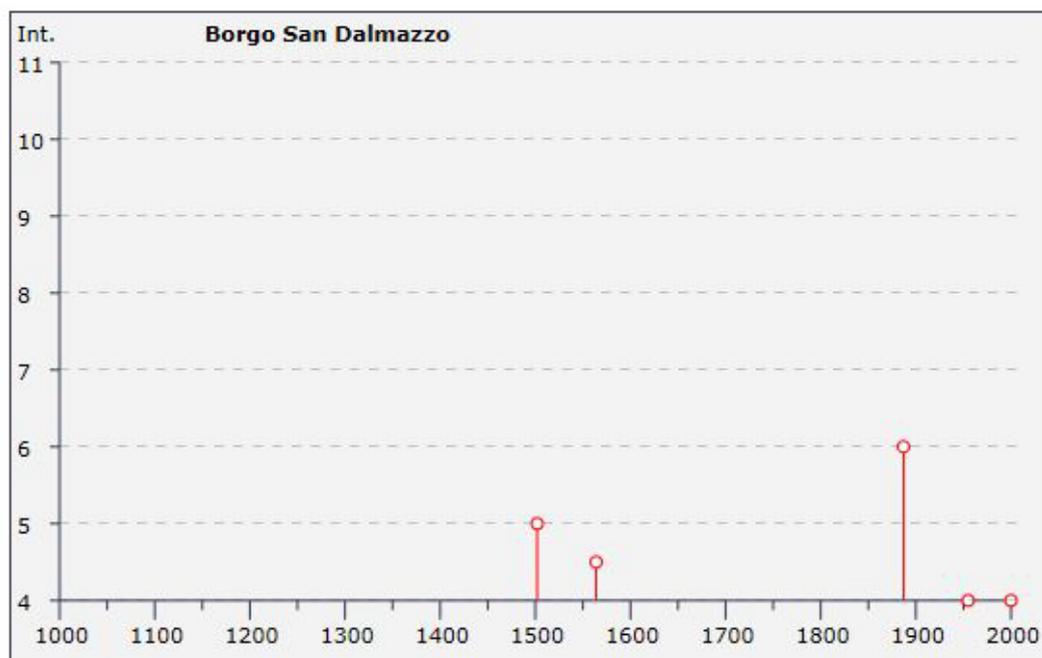
La base topografica utilizzata è la Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000.

2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

Per la definizione della pericolosità sismica di base del Comune di Borgo San Dalmazzo 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;
- 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, visualizzabile al sito: <http://esse1.mi.ingv.it/>

La storia sismica di Borgo San Dalmazzo è rappresentata dal seguente grafico, che rappresenta gli eventi storici contenuti nel catalogo italiano risentiti al sito:



Le caratteristiche degli eventi risentiti sono di seguito riportate:

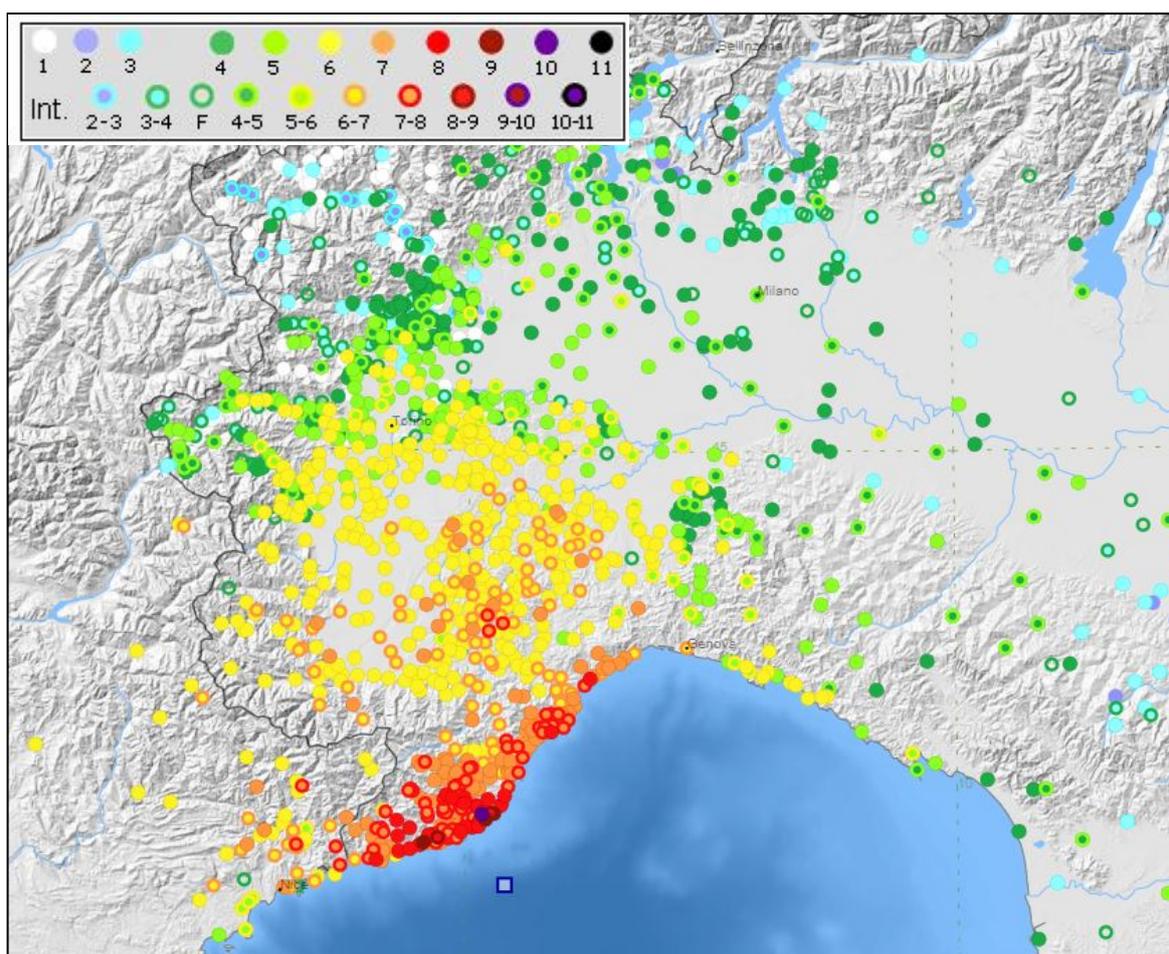
Storia sismica di Borgo San Dalmazzo [44.331, 7.487]



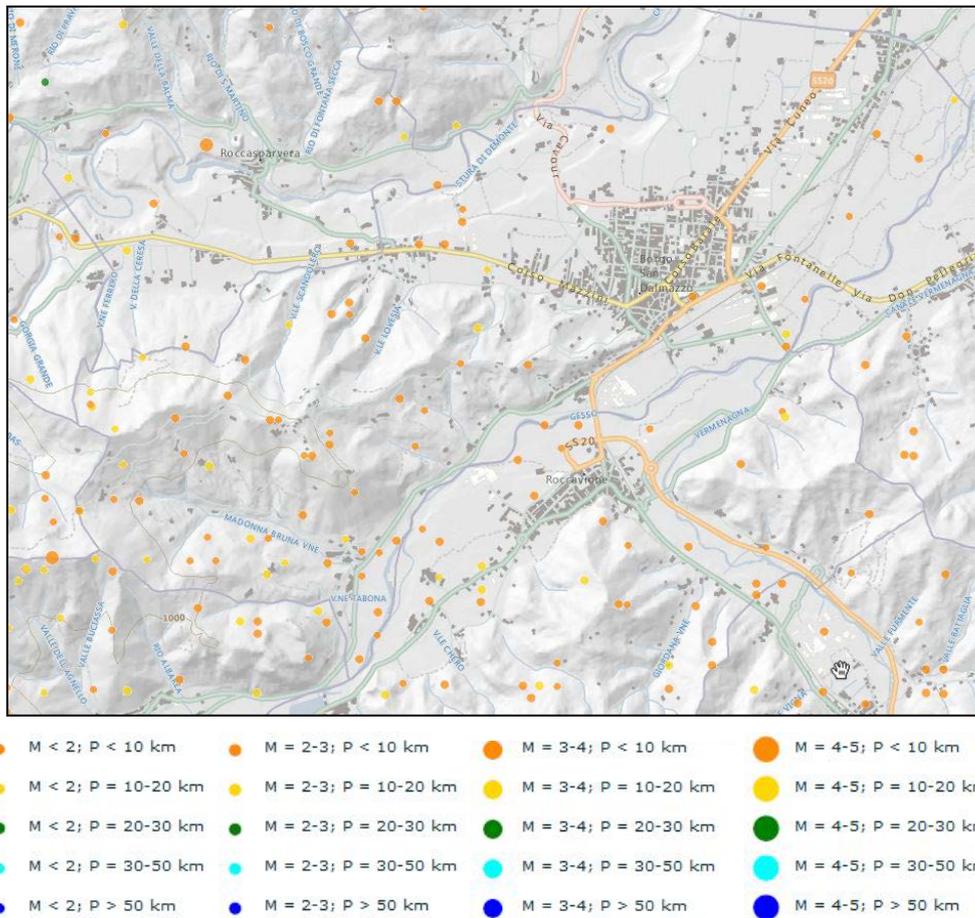
Numero di eventi: 7

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
5	1502 05 15	BORGO S.DALMAZZO	1	5 4.30 ±0.34
4-5	1564 07 20	ALPI MARITTIME	18	8-9 5.68 ±0.51
6	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15
4	1955 05 12 14:16	Alpi Cozie	39	6-7 4.80 ±0.20
NF	1989 12 26 19:59	Mar Ligure	290	4.60 ±0.22
2	1993 07 17 10:35	Finale Ligure	336	5 4.51 ±0.10
4	2000 08 21 17:14	Monferrato	597	6 4.86 ±0.09

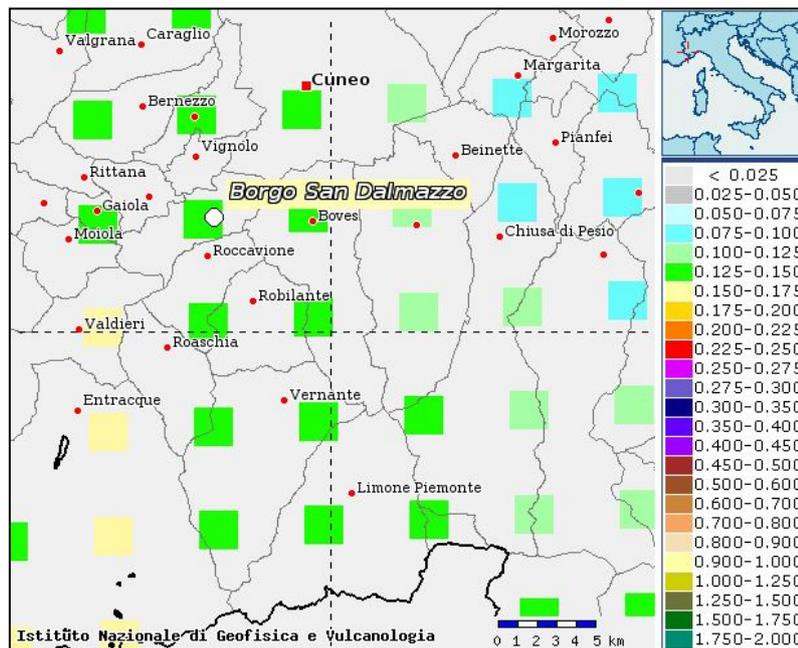
Come si nota dalla tabella l'evento maggiormente risentito a Borgo San Dalmazzo è quello del 23 febbraio 1887 della Liguria Occidentale, di magnitudo M_w 6.97, che ha prodotto un risentimento al sito di intensità 6 MCS, del quale si riporta il campo macrosismico:



Per quanto riguarda la sismicità recente, monitorata dal 1982, si segnala la presenza di numerosi eventi di bassa magnitudo (< 2) e bassa profondità (< 10 km e compresi tra 10 e 20 km):



Per quanto riguarda la classificazione sismica attualmente vigente il Comune di Borgo San Dalmazzo 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 0.140 g. 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:



3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

Dal punto di vista geologico e geomorfologico, da quanto disponibile nello studio Geologico Comunale a supporto della variante strutturale allo strumento urbanistico generale (Lanfranco M., 2003) il territorio comunale di Borgo San Dalmazzo è suddiviso in due settori, distinti su base altimetrica in:

- Settore settentrionale, costituito da terreni alluvionali legati agli apporti fluviali dei torrenti pedemontani, i quali hanno subito forti oscillazioni a seconda dei periodi glaciali;
- Settore meridionale, costituito da un lembo di Alpi Marittime suddiviso in formazioni appartenenti ai domini Brianzonese e Piemontese, costituiti principalmente da rocce metamorfiche generalmente laminate e fratturate.

Al passaggio tra i due settori si ritrovano depositi di raccordo di tipo eluvio-colluviali e detritico, a granulometria prevalentemente medio-grossana.

I dati geologici più recenti, disponibili e riferiti ai depositi quaternari presenti nell'area, sono contenuti nel sopraccitato studio geologico, nel quale sono suddivise le:

- Alluvioni attuali: alluvioni ghiaiose e ghiaioso-ciottolose degli alvei attuali (Olocene);
- Alluvioni medio-recenti: alluvioni ghiaioso-sabbiose di poco sospese rispetto agli alvei attuali e ancora interessate da fenomeni di esondazione (Olocene – Pleistocene superiore);
- Alluvioni fluviali e fluvio-glaciali rissiani e dell'interglaciale Riss-Wurm, talora cementati (Pleistocene superiore).

Tali depositi sono legati all'attività del Fiume Stura e dei Torrenti Gesso e Grana, la cui attività più recente, post-glaciale, ha depositato i materiali attualmente affioranti, caratterizzati da alluvioni ghiaioso-sabbiose da moderatamente addensate ad addensate con frequenti ciottoli arrotondati a basso grado di sfericità e diametro massimo di 40 cm; la matrice sabbiosa, prevalentemente media e grossolana, presenta una frazione fine limosa talora non trascurabile, ma comunque sempre subordinata.

I depositi alluvionali post-glaciali ricoprono i depositi fluviali e fluvio-glaciali Rissiani di età pleistocenica superiore, con potenze decametriche.

4. Dati geotecnici e geofisici

Per la raccolta dei dati geotecnici e geofisici esistenti per il territorio comunale si è fatto riferimento alle relazioni geologiche e geotecniche disponibili, quali Viada (2005), Bertagnin (2007a, 2007b, 2007c) Cambursano (2007a, 2007b) e Costagli (2005, 2006) e ai dati presenti nel sito <http://webgis.arpa.piemonte.it>.

In particolare sono stati censiti n. 19 pozzi per acqua, la cui ubicazione è disponibile nella carta geoidrologica contenuta nello studio geologico comunale; per tali dati è stata estratta come unica informazione attendibile la soggiacenza della falda freatica, riferita alla campagna di misura del luglio 1996.

Per quanto riguarda le indagini geofisiche sono state censite n. 5 indagini di sismica a rifrazione e n. 1 indagine MASW.

A completamento dei dati geotecnici e geofisici già disponibili nell'ambito del presente studio sono state eseguite indagini geofisiche aggiuntive, rappresentate da n. 4 indagini HVSR e n. 2 indagini MASW; in particolare in 2 siti sono state eseguite entrambe le indagini al fine di migliorarne l'interpretazione in termini sismostratigrafici.

La tecnica HVSR è stata scelta perché poco invasiva, molto rapida e applicabile quasi ovunque rispetto alle indagini geofisiche classiche. Infatti non necessita di lunghi stendimenti di geofoni, di perforazioni o di sorgenti esterne in quanto fa uso dei rumori ambientali presenti quasi ovunque.

Attraverso il rapporto spettrale $HVSR = \frac{\sqrt{NS^2 + EW^2}}{Z}$, in cui NS, EW e Z sono le tre componenti degli spettri di Fourier, in funzione della frequenza di vibrazione, è possibile valutare la frequenza fondamentale del sito investigato che sarà tanto più precisa quanto maggiore è il contrasto di impedenza sismica fra gli strati. Nell'ipotesi di investigare coperture soffice al di sopra di un basamento sismico rigido è possibile stabilire una relazione tra lo spessore dello strato soffice h, la velocità media delle Vs e la frequenza f di risonanza fondamentale del sito attraverso la formula:

$$f = \frac{V_s}{4 \times h}$$

Ottenuto il valore di f dalle misure effettuate, avendo a disposizione dati provenienti da indagini pregresse, ad esempio la Vs, è possibile stimare lo spessore dello strato soffice h e viceversa conoscendo lo spessore si può ricavare la velocità media.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato il sismometro tridirezionale ad alta sensibilità *Veloget 3D 1 Hz* con il *Geode a 24 canali della Geometrics* con estensione di banda fino a 0,6 Hz. La frequenza di campionamento del segnale è stata impostata a 125 Hz.

Una volta identificato il punto di misura se ne è definita la posizione mediante l'utilizzo di un dispositivo GPS. Nel posizionare il sensore si è curato particolarmente l'accoppiamento con il terreno eliminando possibili fonti di disturbo come l'erba. Infatti si è sempre posizionato il sensore a diretto contatto con il terreno.

Per garantire un'attendibilità statistica dei dati per ogni punto l'intervallo di tempo per ogni acquisizione è stato fatto variare da un minimo di 20 min ad un massimo di 26 min.

Per l'elaborazione dei dati e la definizione della frequenza fondamentale del sito è stato utilizzato il software open source Geopsy (<http://www.geopsy.org>). Il rapporto H/V è stato calcolato analizzando il segnale definendo i seguenti parametri:

- finestre temporali su cui mediare il segnale (numero di finestre ≥ 20) con sovrapposizione variabile dal 20%-50%;
- uso dell'algoritmo anti-trigger STA/LTA (Lee e Stewart 1981) per la rimozione degli intervalli temporali con segnale non stazionario;
- uso filtro passa banda (metodo di Butterworth);
- liscio degli spettri tramite l'operatore di Konno e Ohmachi (1998).

I risultati delle misurazioni, riportati in Allegato 1, per ogni stazione di misura comprendono:

- scheda di campo che riporta le condizioni in cui sono state effettuate le misure;
- immagini relative all'ubicazione dei punti di misura, alla strumentazione utilizzata e all'orientamento del sensore;
- grafico componenti spettrali non filtrate e non lisce;
- grafico componenti spettrali non filtrate e lisce tramite operatore Konno & Ohmachi (1998);
- grafico andamento del rapporto H/V in funzione della direzione;
- grafico del rapporto H/V e relativa F0 calcolata;
- parametri di qualità SESAME per la curva H/V ottenuta.

I risultati finali in termini di F0 sono di seguito riportati:

Punto	1	2	3	4
F0	4.4	10.6	11.2	2.4

Le indagini MASW sono state condotte in 2 siti rappresentativi del Comune, in corrispondenza di 2 punti oggetti di misure HVSR.

L'obiettivo delle indagini è la determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s) mediante analisi multicanale di onde superficiali (MASW – *Multichannel Analysis of Surface Waves*; per onde di superficie si intendono in questo caso le onde di *Rayleigh*); le ipotesi fondamentali sulle quali comunemente si basa il metodo MASW sono: i) mezzo a strati piani paralleli (assenza di variazioni laterali); ii) propagazione piana delle onde di *Rayleigh*; iii) il modo di propagazione fondamentale è quello dominante. Generalmente *offset* (ovvero la distanza sorgente-ricevitori) maggiori permettono di ottenere una separazione più efficace tra i diversi modi associati alla propagazione delle onde di *Rayleigh* e quindi permettono di identificare il modo fondamentale più facilmente. Inoltre una distanza opportuna tra sorgente e ricevitori permette di evitare l'insorgere del *Near-field effect* (effetto di campo vicino) in presenza del quale non si ha propagazione piana delle onde di superficie. È chiaro che i benefici di *offset* grandi vanno pesati con la necessità di avere un buon rapporto segnale rumore (SNR – *Signal to Noise Ratio*) su tutti i canali acquisiti e di evitare il *Far-field effect* che si manifesta con l'attenuazione delle alte frequenze. Considerazioni analoghe possono essere fatte confrontando pregi e svantaggi di stendimenti di ricevitori lunghi e corti. In questo caso anche le variazioni laterali del mezzo possono avere un grande impatto sull'interpretazione dei risultati, perché contraddicono l'ipotesi di un modello unidimensionale del sottosuolo. Metodi speditivi per la valutazione della presenza di variazioni laterali di velocità possono consistere nel controllare la congruenza delle curve di dispersione per tiri coniugati, oppure la linearità delle differenze di fase alle frequenze di interesse. Poiché l'ampiezza delle onde superficiali decade esponenzialmente con la profondità, la loro propagazione interessa solamente una parte del mezzo vicina alla sua superficie libera, corrispondente grossolanamente ad una lunghezza d'onda (per la frequenza e la velocità considerate). Come regola pratica, alcuni autori sostengono che la massima profondità investigata con il metodo MASW possa essere uguale alla massima lunghezza d'onda, mentre altri suggeriscono di dimezzare tale valore. La sensibilità sugli strati più superficiali dipende invece dalla minima lunghezza d'onda che corrisponde alla spaziatura intergeofonica.

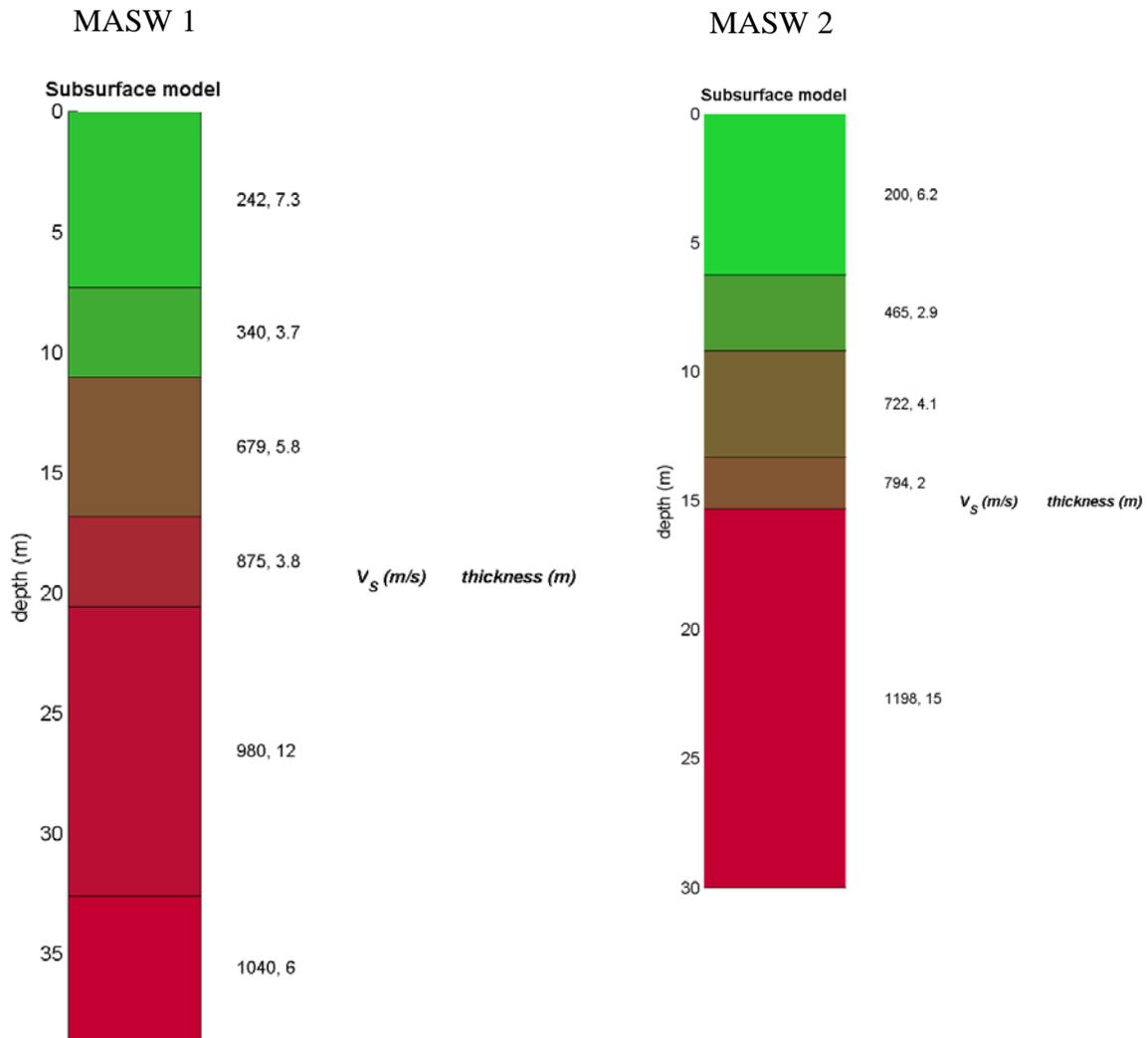
Per le acquisizioni, in accordo con le considerazioni espresse qui sopra e in base a vincoli di natura logistica riguardanti i siti investigati, gli obiettivi delle indagini ed il tempo a disposizione per i rilievi, è stato utilizzato uno stendimento di lunghezza 70 m, con n. 24 geofoni con frequenza di risonanza a 4.5 Hz, adottando come *offset* sorgente 1, 2, 4, 6, 10, 20 m (tiri coniugati); come sorgente è stata utilizzata sia una mazza da 8 kg sia il fucile sismico (*Shotgun*); sono state utilizzate finestre di acquisizione di 1 s, con finestra di campionamento temporale di 1 kHz.

Per l'elaborazione sono stati analizzati tutti gli scoppi e sono riportati in Allegato 2 solo quelli ritenuti più favorevoli in termini di qualità del dato acquisito ed affidabilità del risultato.

Nelle figure seguenti vengono riportati i risultati finali delle due analisi condotte.

La MASW 1 mostra per i primi 7 m una V_s media di 250 m/s, al di sotto si riscontrano V_s di 340 m/s per uno spessore di 4 m, poi seguono V_s di 680 m/s per 6 m ed infine si registrano V_s di 980 m/s per 12 m, corrispondenti al substrato rigido, al di sotto del quale si hanno V_s di 1050 m/s per 6 m.

La MASW 2 mostra una sequenza che vede per i primi 6 m una V_s di 200 m/s, a cui segue per uno spessore di 3 m una V_s di 465 m/s, al di sotto si ha una V_s di 722 m/s per 4 m, seguita per 2 m da una V_s di 794 m/s che costituiscono il substrato rigido, al di sotto del quale si hanno V_s di 1200 m/s per 15 m.



5. Modello del sottosuolo

Sulla base di tutte le indagini reperite è stato possibile costruire il modello di riferimento per il sottosuolo del territorio comunale, finalizzato alla costruzione della Carta Geologico Tecnica.

In particolare i depositi alluvionali più recenti, di spessore decametrico, 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 substrato rigido ($V_s > 800$ m/s), dai dati a disposizione, si presenta a profondità variabile dai 5 ai 20 m di profondità e quindi sia all'interno dello stesso deposito sia costituito dal substrato roccioso.

Le coperture eluvio-colluviali e detritiche sabbioso-limose, poste al raccordo tra il settore collinare e il settore di pianura, sono classificabili secondo la classificazione delle terre U.S.C.S. come SM; 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 dai 5 ai 10 m.

6. Interpretazioni ed incertezze

I dati geologici e geotecnici a disposizione possono essere ritenuti sufficientemente rappresentativi dell'intero territorio comunale, 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.

7. Elaborati cartografici

Nell'ambito dello studio in oggetto sono state prodotte a scala 1:10000 la carta delle indagini, la carta geologico tecnica e la carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

7.1 Carta delle indagini

Nella carta vengono riportati i punti ed il tipo di indagine effettuata, in particolare per l'area oggetto di studio sono stati reperiti dati inerenti i pozzi per acqua, i profili sismici a rifrazione e indagini MASW; sono anche riportati i punti nei quali sono state effettuate le indagini HVSR da microtremore a stazione singola e le indagini MASW, effettuate nell'ambito di questo progetto.

Alla carta è allegata la banca dati contenente tutte le informazioni previste negli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica (V.2.0).

7.2 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 V_S superiori a 800 m/s, e la tipologia di sedimento che lo ricopre (unità litotecniche).

Le unità litotecniche presenti nel territorio in esame sono per quanto riguarda i terreni di copertura, i Terreni contenenti resti di attività antropica (RI), le Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia (GWpd, GWtf, GWes e GWcz) con ambiente genetico-deposizionale ascrivibili alla piana pedemontana, al terrazzo fluviale, alle zone di argine/barre/canali e al conoide di deiezione rispettivamente e le Sabbie limose, miscela di sabbia e limo (SMec) con ambiente genetico-deposizionale ascrivibili alle zone di eluvi/colluvi. Per quanto riguarda il substrato geologico rigido il Substrato lapideo stratificato e non (LPS e LP) (Lanfranco, 2003).

I Terreni contenenti resti di attività antropica sono formati da rilevati artificiali e ferroviari, discariche e depositi di materiali inerti.

Le Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia sono caratterizzate da depositi legati all'attività del Fiume Stura e dei Torrenti Gesso e Grana, sono caratterizzati dalla presenza di materiali sciolti grossolani da moderatamente addensati ad addensati, in cui la presenza di ciottoli è frequente; questi ultimi si mostrano arrotondati ma con basso grado di sfericità. La matrice sabbiosa, prevalentemente media e grossa, presenta una frazione fina limosa ed in essa sono immersi i ciottoli di diametro massimo pari a circa 40 cm; in generale i terreni descritti mostrano una struttura interna mal definita, date le numerose variabili che entrano in gioco durante gli eventi deposizionali, le quali sono principalmente legate alle numerose fluttuazioni nella velocità della corrente che li ha depositati.

Le Sabbie limose, miscela di sabbia e limo sono caratterizzate da materiali compressibili che possono indurre sulle strutture cedimenti e risultano direttamente influenzati dalla litologia del substrato su cui il deposito si è sviluppato.

Il Substrato geologico lapideo, evidenziato in carta come affiorante, è caratterizzato da rocce carbonatiche e silicatiche scistose, localmente molto laminate, calcescisti, filladi, porfiroidi, scisti quarzoso sericitici e scisti ardesiaci e dolomie e calcari dolomitici massivi.

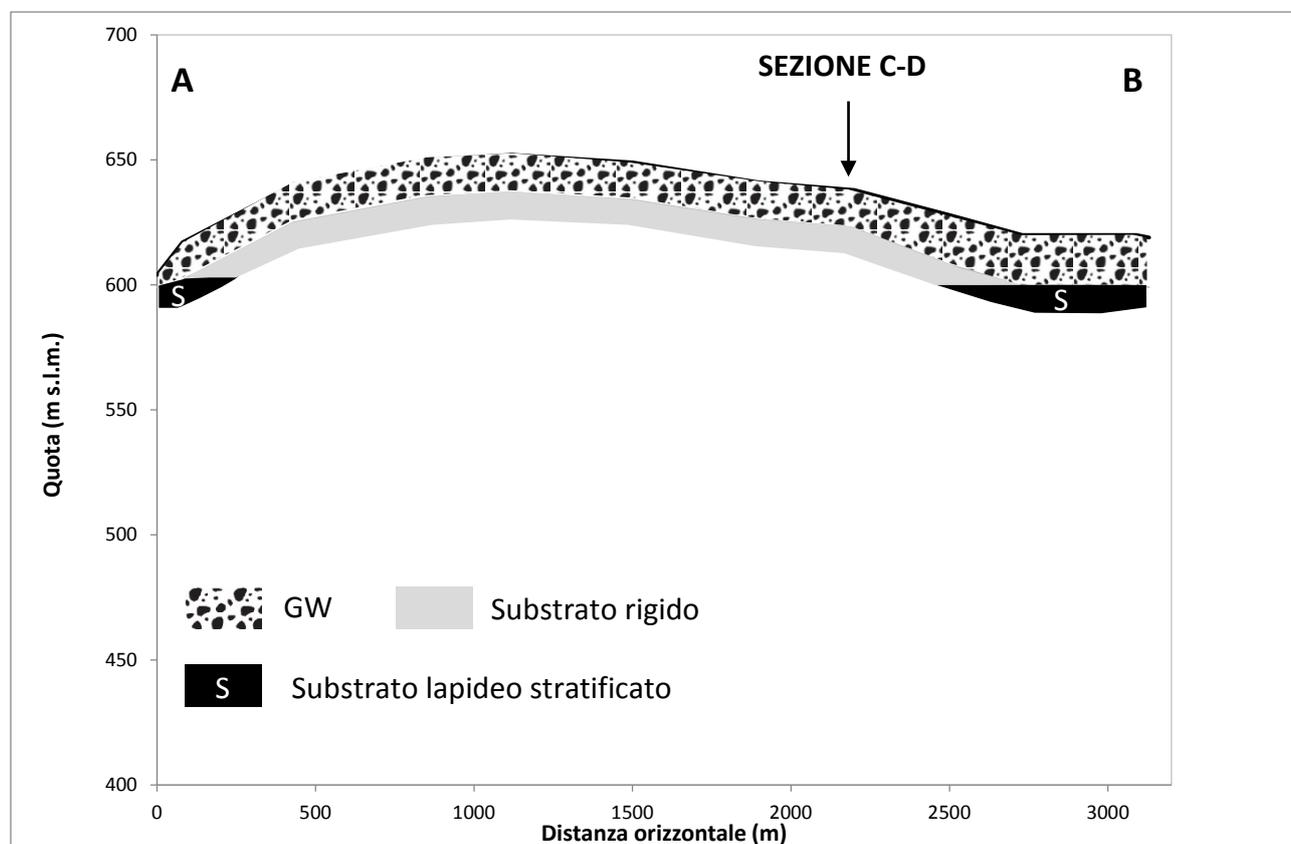
La carta riporta anche le tracce delle sezioni rappresentative del modello geologico tecnico.

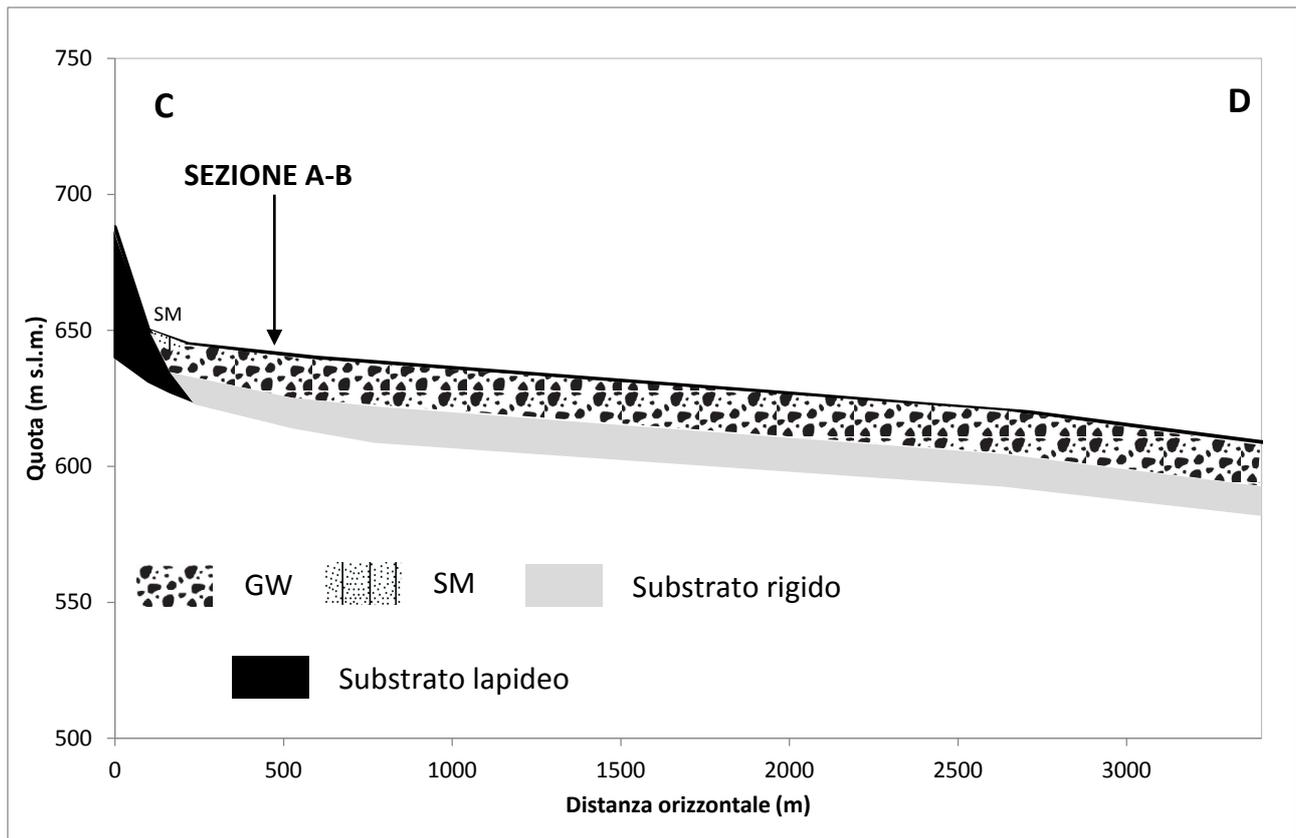
Per quanto riguarda gli elementi geologici ed idrogeologici sono riportati i sondaggi con l'indicazione della profondità del substrato rigido o nel caso di non raggiungimento del substrato la profondità del sondaggio.

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

Sulla base delle indagini geofisiche pregresse e di nuova esecuzione e in base ad operazioni di estrapolazione areale è stata individuata la profondità del substrato rigido per tutta l'area oggetto di studio.

Di seguito si riportano le due sezioni geologico-tecniche ricostruite per l'area di studio.





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 lapideo stratificato e non, finalizzate alla costruzione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), sulla base dei dati presenti nell'area.

7.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

Sulla base delle informazioni e delle carte precedentemente descritte è stata redatta la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

Nella carta sono riportate le zone classificate come Zone stabili e Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (Zona 1, 2, 3 e 4). In particolare nelle Zone stabili ricadono le aree con la presenza di substrato lapideo stratificato e non, mentre nelle Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali ricadono le aree caratterizzate dalla presenza dei terreni di copertura poggianti su substrato rigido.

Per quanto riguarda le Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono state suddivise 6 diverse zone, caratterizzate dalla presenza di diversi terreni di copertura e diverse profondità fino al raggiungimento del terreno caratterizzato da V_s maggiori di 800 m/s; in particolare:

- la Zona 1 è caratterizzata dalla presenza di Sabbie limose, miscela di sabbia e limo (SM) con spessori variabili da 5 a 10 m;
- la Zona 2 è caratterizzata dalla presenza di Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie (GW), con spessore di 15 m;
- la Zona 3 è caratterizzata dalla presenza di Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie (GW), con spessore di 20 m;
- la Zona 4 è caratterizzata dalla presenza di Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie (GW), con spessori variabili da 5 a 10 m;

- la Zona 5 è caratterizzata dalla presenza di Terreni contenenti resti di attività antropica (RI) con uno spessore di 5 m, al di sotto dei quali sono presenti o il substrato rigido o le Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie (GW), con spessore di 5 m;
- la Zona 6 è caratterizzata dalla presenza di Terreni contenenti resti di attività antropica (RI) con uno spessore di 5 m, al di sotto dei quali sono presenti Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie (GW), con spessore di 10 m.

Nella carta sono riportate anche le forme di superficie quali i conoidi alluvionali e gli orli di terrazzi fluviali con altezze variabili dai 10-20 m e maggiore di 20 m; sono inoltre riportati i punti di misura di rumore ambientale con l'indicazione del valore della frequenza di risonanza f_0 ; sono inoltre rappresentate le tracce delle sezioni topografiche per gli eventuali successivi approfondimenti.

In generale l'area è caratterizzata da orizzonti piano paralleli e non sono presenti particolari geometrie sepolte; pertanto nelle zone individuate si può prevedere l'applicazione di indagini di livello 2, come previsto dagli ICMS, previo approfondimento di indagine.

8. Bibliografia

- Bertagnin G. (2007a): Determinazione delle onde di taglio Vs30, Località Cascina San Pietro.
- Bertagnin G. (2007b): Determinazione delle onde di taglio nel sito oggetto di P.E.C., Via Magnacane.
- Bertagnin G. (2007c): Determinazione delle onde di taglio nel sito oggetto di P.E.C., via Tesoriere.
- Cambursano F. (2007a): Relazione geologico tecnica caratterizzazione sismica, Piano esecutivo convenzionato in zona 2R6.1.1.
- Cambursano F. (2007b): Relazione geologico tecnica caratterizzazione sismica, Piano esecutivo convenzionato in zona 2R6.1.1.
- Costagli Studio Geologico (2005): Relazione geologica e geotecnica, Piano esecutivo convenzionato Zona 7T2.4 COM-Nuovi impianti commerciali, direzionali ed espositivi.
- Costagli Studio Geologico (2006): Relazione geologica e geotecnica, Piano esecutivo convenzionato di libera iniziativa Zona 2R6.1.2- via Perosa.
- 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.
- 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.
- Konno K., Ohmachi T. (1998): Ground motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremors. *Bull. seism. Soc. Am.*, 88-1, 228-241.
- Lanfranco M. (2003): Relazione geologico tecnica, variante strutturale 2003.
- Lee W., Stewart S.(1981): Principles and Applications of Microearthquake Networks. Academic Press.
- Viada E. (2005): Relazione geologico-tecnica e geoidrologica, Progetto P.E.C. zona 2R.
<http://www.geopsy.org>
<http://webgis.arpa.piemonte.it>

ALLEGATO 1

MISURE HVSR a stazione singola

LOCALIZZAZIONE

Nell'area indagata sono stati effettuati 4 punti di misura come mostrato in Fig. 1.



Fig. 1 - Localizzazione delle misure: i punti in rosso identificano le stazioni di misura.

Risultati elaborazione Punto HVSR1

DATA: 28/03/2013		ORA: 9:00		LUOGO: <i>Borgo San Dalmazzo (CN)</i>				
OPERATORE: Dott. Ing. Giancarlo Saccà			TIPO GPS: Garmin etrex Vista					
LATITUDINE: 44° 19'56.5" N		LONGITUDINE: 7° 27' 39.2" E		ALTITUDINE: 702 m				
TIPO STAZIONE : <i>Stazione Singola</i>		TIPO SENSORE: <i>Veloget 3D 1 Hz e Geode a 24 canali della Geometrics con estensione di banda fino a 0,6 Hz</i>						
N° STAZIONE: 1		N° SENSORE: 1		DIRECTORY: <i>BSD/HVSR1</i>				
NOME FILE: Cuneo1.txt				PUNTO: HVSR1				
GUADAGNO:		FREQ. CAMP. 125 Hz		DURATA REG: 26 min				
CONDIZIONI METEO	VENTO <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> debole (5m/s) <input type="checkbox"/> medio <input type="checkbox"/> forte Misure:							
	PIOGGIA <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> debole (5m/s) <input type="checkbox"/> medio <input type="checkbox"/> forte Misure:							
	Temperatura 2 °C		Osservazioni:					
TIPO TERRENO	<input checked="" type="checkbox"/> terra $\left(\begin{array}{l} \square \text{ dura} \\ \blacksquare \text{ soffice} \end{array} \right)$ <input checked="" type="checkbox"/> ghiaia <input type="checkbox"/> sabbia <input type="checkbox"/> roccia <input type="checkbox"/> erba $\left(\begin{array}{l} \square \text{ alta} \\ \square \text{ bassa} \end{array} \right)$							
	<input type="checkbox"/> asfalto <input type="checkbox"/> cemento <input type="checkbox"/> cls <input type="checkbox"/> pavimentato <input type="checkbox"/> altro							
	<input type="checkbox"/> terreno asciutto <input checked="" type="checkbox"/> terreno bagnato Osservazioni:							
ACCOPIAMENTO ARTIFICIALE TERRENO STRUMENTO				<input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> si, tipo:				
DENSITA' EDIFICI		<input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> sparpagliati <input type="checkbox"/> addensati <input type="checkbox"/> altro, tipo:						
TRANSITI	nessuno	poco frequenti	moderato	frequentissimi	molto frequentissimi	distanza (m)	SORGENTI DI RUMORE (fabbriche,lavori,fiumi,...) <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> si,tipo:	
	macchine					20	STRUTTURE VICINE (alberi,edifici,ponti,strutture sotterranee,...) (descrizione,altezza,distanza)	
	camion					20		
	pedoni							
	altro							



Fig. 1- Orientamento sensore Veloget e accoppiamento strumento-terreno



Fig. 2- Direzione Nord



Fig. 3-Direzione Sud



Fig. 4-Direzione Est



Fig.1-Direzione Ovest

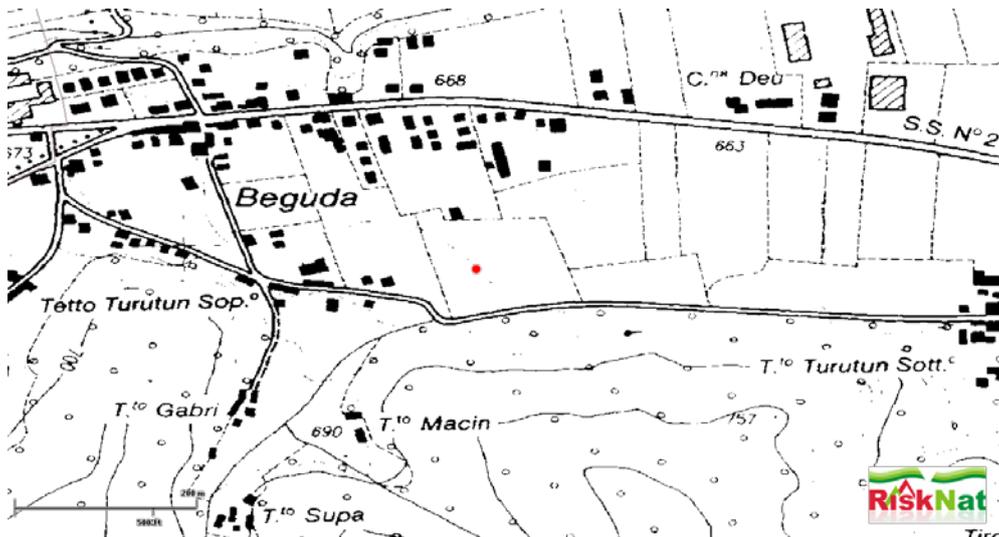


Fig.2- Estratto carta Tecnica Regione Piemonte scala 1:10.000



Fig.3- Fonte dati: Immagini TerraItalyTM-Blom C.G.R, ortofoto 2005

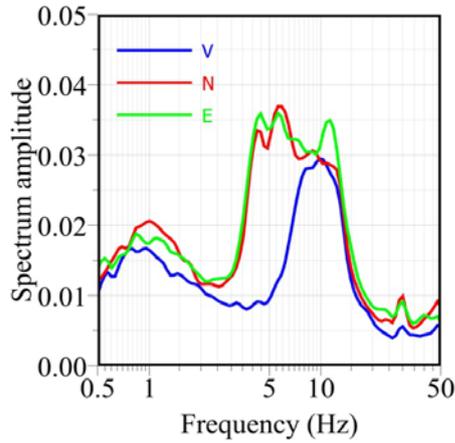


Fig.4- Componenti spettri lisciati

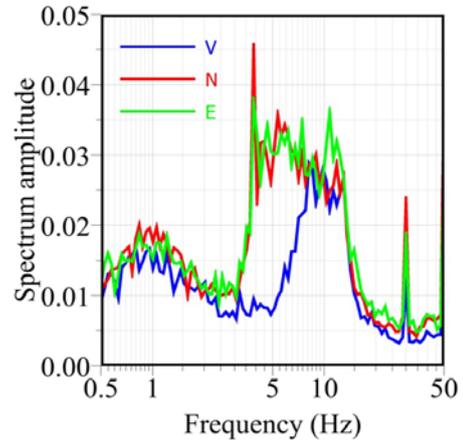


Fig. 5- Componenti spettri non lisciati

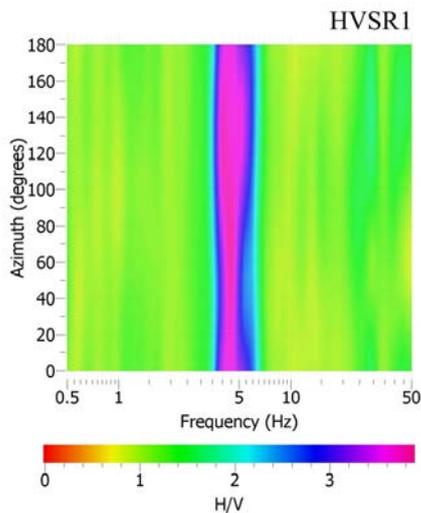


Fig.6- Direzionalità rapporto H/V

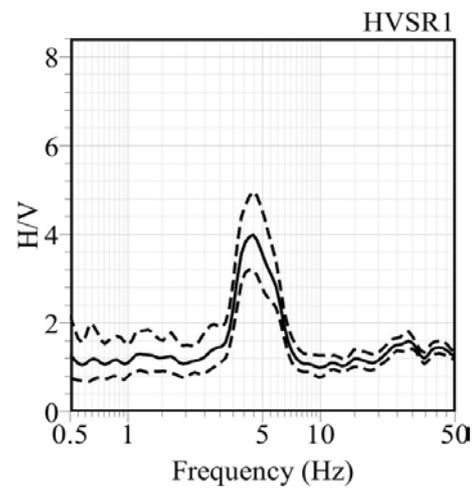


Fig.7- Rapporto H/V calcolato

Picco H/V a 4.44 ± 0.53 Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz)			
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10/Lw$	4.44	> 0.333	OK
$n_c(f_0) > 200$	4527	> 200.00	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 30		OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$			
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f) < A_0/2$	2.215	Hz	OK
Esiste f^* in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	6.45775	Hz	OK
$A_0 > 2$	4.0	> 2	OK
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.18974	< 0.05	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.535	< 0.222	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.254	< 1.580	OK

Tabella 1 - Parametri di qualità SESAME

Risultati elaborazione HVSR2

DATA: 27/03/2013		ORA: 15:45		LUOGO: <i>Borgo san Dalmazzo (CN)</i>			
OPERATORE: Dott. Ing. Giancarlo Saccà			TIPO GPS: Garmin etrex Vista				
LATITUDINE: 44° 20'52.6" N		LONGITUDINE: 7° 30'15.7" E		ALTITUDINE: 619 m			
TIPO STAZIONE : <i>Stazione Singola</i>		TIPO SENSORE: <i>Veloget 3D 1 Hz e Geode a 24 canali della Geometrics con estensione di banda fino a 0,6 Hz</i>					
N° STAZIONE: 1		N° SENSORE: 1		DIRECTORY: <i>BSD/HVSR2</i>			
NOME FILE: bsd2.txt				PUNTO: HVSR2			
GUADAGNO:		FREQ. CAMP. 125 Hz		DURATA REG: 24 min			
CONDIZIONI METEO		VENTO <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> debole (5m/s) <input type="checkbox"/> medio <input type="checkbox"/> forte Misure:					
		PIOGGIA <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> debole (5m/s) <input type="checkbox"/> medio <input type="checkbox"/> forte Misure:					
		Temperatura 1 °C		Osservazioni:			
TIPO TERRENO		<input checked="" type="checkbox"/> terra $\left(\begin{array}{l} \square \text{ dura} \\ \blacksquare \text{ soffice} \end{array} \right)$ <input type="checkbox"/> ghiaia <input type="checkbox"/> sabbia <input type="checkbox"/> roccia <input checked="" type="checkbox"/> erba $\left(\begin{array}{l} \square \text{ alta} \\ \blacksquare \text{ bassa} \end{array} \right)$					
		<input type="checkbox"/> asfalto <input type="checkbox"/> cemento <input type="checkbox"/> cls <input type="checkbox"/> pavimentato <input type="checkbox"/> altro <input type="checkbox"/> terreno asciutto <input checked="" type="checkbox"/> terreno bagnato Osservazioni:					
ACCOPIAMENTO ARTIFICIALE TERRENO STRUMENTO				<input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> si, tipo:			
DENSITA' EDIFICI		<input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> sparpagliati <input type="checkbox"/> addensati <input type="checkbox"/> altro, tipo:					
TRANSITI	nessuno	poco frequenti	moderato	frequenti	molto frequenti	distanza (m)	SORGENTI DI RUMORE (fabbriche,lavori,fiumi,..) <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> si,tipo: E74-SS20 STRUTTURE VICINE (alberi,edifici,ponti,strutture sotterranee,..) (descrizione,altezza,distanza) <i>Edifici aziendali H=10-15-m , d=40 m</i>
	macchine					60	
	camion					60	
	pedoni						
	altro						
OSSERVAZIONI:							



Fig. 12- Orientamento sensore
Veloget e accoppiamento
strumento-terreno



Fig.13- Direzione Nord



Fig. 14-Direzione Sud



Fig. 15-Direzione Est



Fig. 16-Direzione Ovest

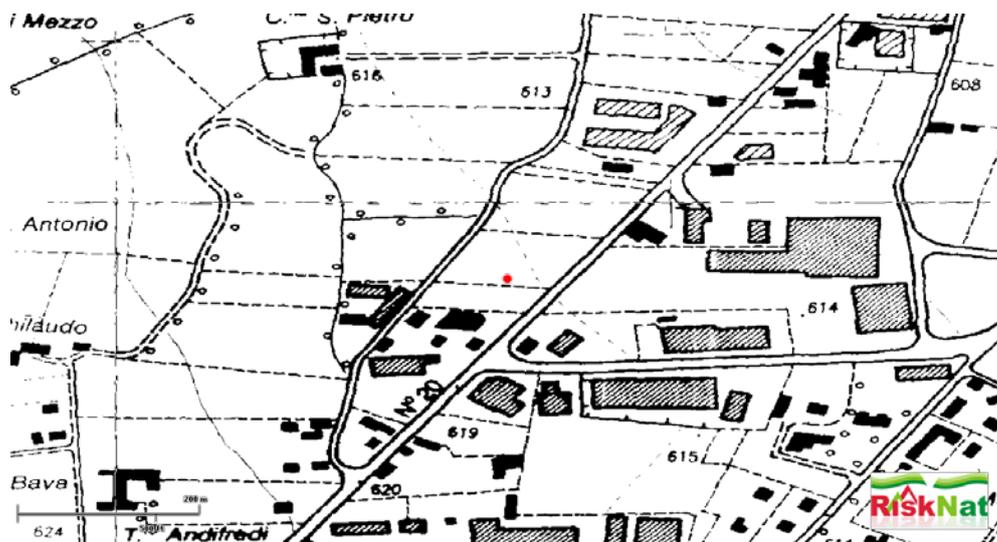


Fig. 17- Estratto carta Tecnica Regione Piemonte scala 1:10.000



Fig. 18- Fonte dati: Immagini TerraItalyTM-Blom C.G.R, ortofoto 2005

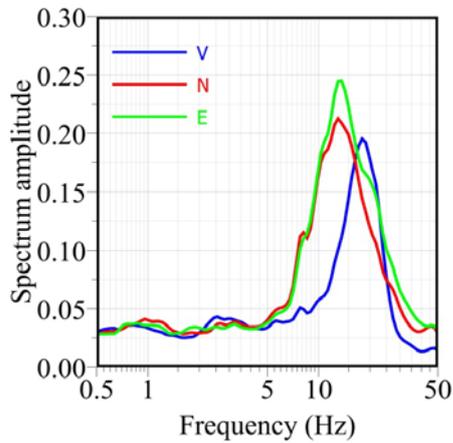


Fig. 19- Componenti spettri lisciati

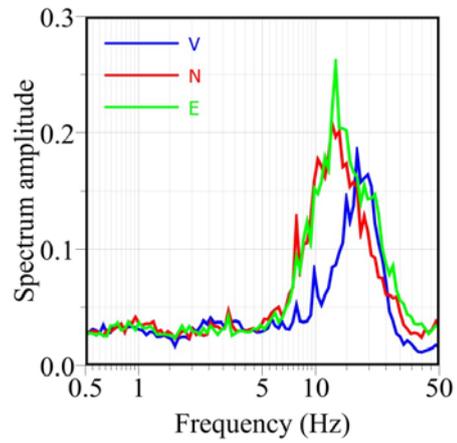


Fig. 20- Componenti spettri non lisciati

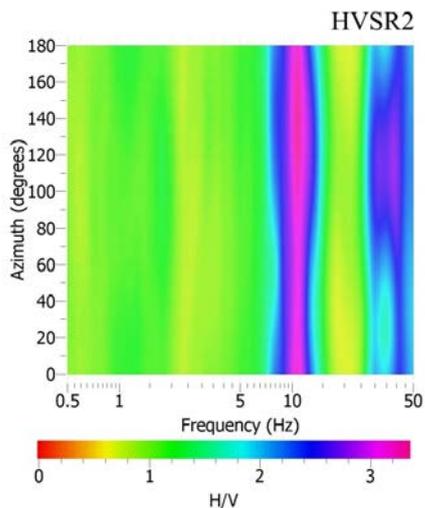


Fig. 21- Direzionalità rapporto H/V

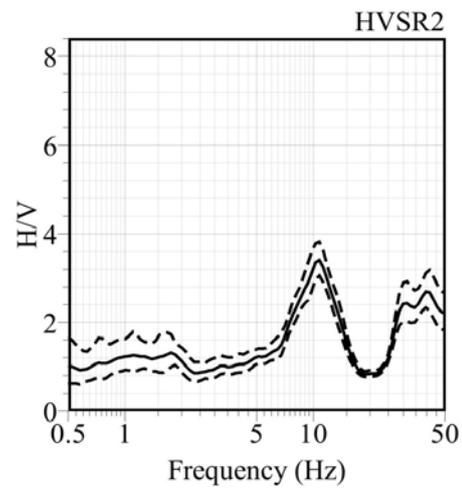


Fig. 22- Rapporto H/V calcolato

Picco H/V a 10.6 ± 0.66 Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz)			
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10/Lw$	10.61	> 0.333	OK
$n_c(f_0) > 200$	14966	> 200.00	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 30		OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz			
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f) < A_0/2$	5.118	Hz	OK
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	14.9182	Hz	OK
$A_0 > 2$	3.4	> 2	OK
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.1582	< 0.05	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.665	< 0.531	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.128	< 1.580	OK

Tabella 2 - Parametri di qualità SESAME

Risultati elaborazione HVSR3

DATA: 27/03/2013		ORA: 16:40		LUOGO: <i>Borgo san Dalmazzo (CN)</i>				
OPERATORE: Dott. Ing. Giancarlo Saccà			TIPO GPS: Garmin etrex Vista					
LATITUDINE: 44° 20'14.4" N		LONGITUDINE: 7° 29'16.3" E		ALTITUDINE: 642 m				
TIPO STAZIONE : <i>Stazione Singola</i>		TIPO SENSORE: <i>Veloget 3D 1 Hz e Geode a 24 canali della Geometrics con estensione di banda fino a 0,6 Hz</i>						
N° STAZIONE: 1		N° SENSORE: 1		DIRECTORY: <i>Cuneo/HVSR3</i>				
NOME FILE: Cuneo3.txt				PUNTO: HVSR3				
GUADAGNO:		FREQ. CAMP. 125 Hz		DURATA REG: 26 min				
CONDIZIONI METEO		VENTO <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> debole (5m/s) <input type="checkbox"/> medio <input type="checkbox"/> forte Misure:						
		PIOGGIA <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> debole (5m/s) <input type="checkbox"/> medio <input type="checkbox"/> forte Misure:						
		Temperatura 1 °C		Osservazioni:				
TIPO TERRENO		<input checked="" type="checkbox"/> terra $\left(\begin{array}{l} \square \text{ dura} \\ \blacksquare \text{ soffice} \end{array} \right)$ <input checked="" type="checkbox"/> ghiaia <input type="checkbox"/> sabbia <input type="checkbox"/> roccia <input checked="" type="checkbox"/> erba $\left(\begin{array}{l} \square \text{ alta} \\ \blacksquare \text{ bassa} \end{array} \right)$						
		<input type="checkbox"/> asfalto <input type="checkbox"/> cemento <input type="checkbox"/> cls <input type="checkbox"/> pavimentato <input type="checkbox"/> altro <input type="checkbox"/> terreno asciutto <input checked="" type="checkbox"/> terreno bagnato Osservazioni:						
ACCOPIAMENTO ARTIFICIALE TERRENO STRUMENTO				<input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> si, tipo:				
DENSITA' EDIFICI		<input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> sparpagliati <input checked="" type="checkbox"/> addensati <input type="checkbox"/> altro, tipo:						
TRANSITI	nessuno	poco frequenti	moderato	frequentissimi	molto frequentissimi	distanza (m)	SORGENTI DI RUMORE (fabbriche,lavori,fiumi,..) <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> si,tipo: lavori ristrutturazione	
	macchine					5-15	STRUTTURE VICINE (alberi,edifici,ponti,strutture sotterranee,..) (descrizione,altezza,distanza) <i>Case da 2-3 piani H=8-9 m</i>	
	camion					5-15		
	pedoni					5-15		
	altro							
OSSERVAZIONI:								



Fig. 23- Orientamento sensore
Veloget e accoppiamento
strumento-terreno



Fig. 24- Direzione Nord



Fig. 25- Direzione Sud



Fig. 26- Direzione Est



Fig. 27- Direzione Ovest



Fig. 28- Estratto carta Tecnica Regione Piemonte scala 1:10.000

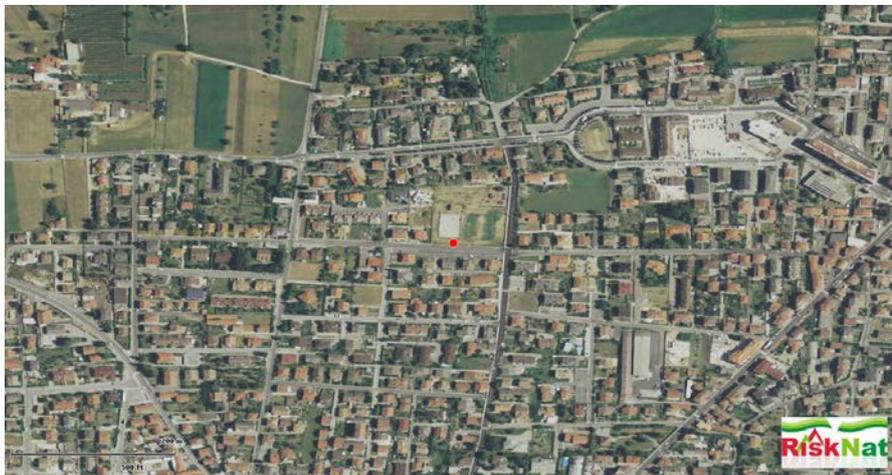


Fig. 29- Fonte dati: Immagini Terraltaly^{IM}-Blom C.G.R, ortofoto 2005

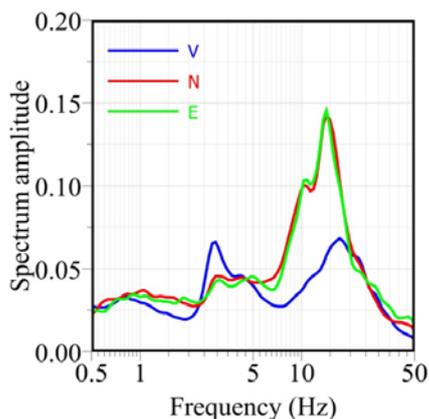


Fig. 30- Componenti spettri lisciati

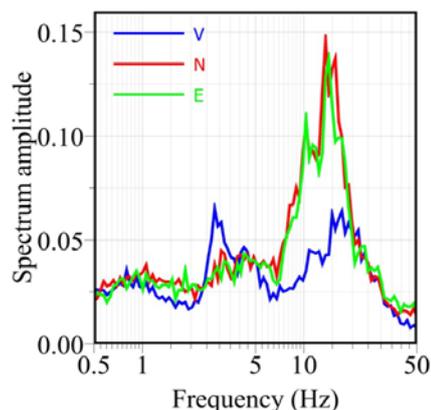


Fig. 31- Componenti spettri non lisciati

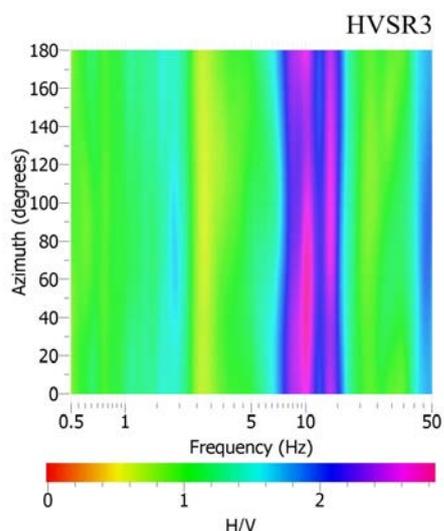


Fig. 32- Direzionalità rapporto H/V

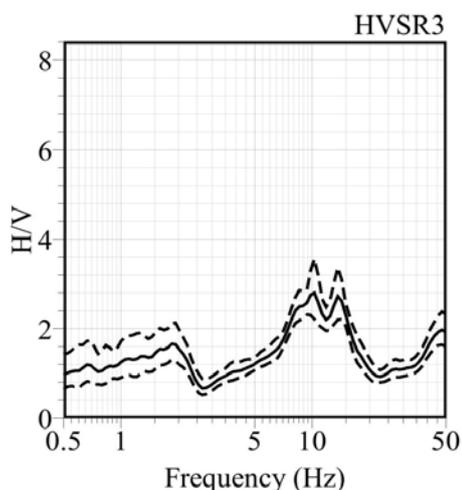


Fig. 33- Rapporto H/V calcolato

Picco H/V a 11.2 ± 0.92 Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz)			
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10/Lw$	11.20	> 0.333	OK
$n_c(f_0) > 200$	12099	> 200.00	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 30		OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$			
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f) < A_0/2$	4.885	Hz	OK
Esiste f^* in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	19.721	Hz	OK
$A_0 > 2$	2.4	> 2	OK
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.9203	< 0.05	NO
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	2.187	< 0.560	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.159	< 1.580	OK

Tabella 3 - Parametri di qualità SESAME

Risultati elaborazione HVSR4

DATA: 27/03/2013		ORA: 17:40		LUOGO: <i>Borgo San Dalmazzo (CN)</i>									
OPERATORE: Dott. Ing. Giancarlo Saccà			TIPO GPS: Garmin etrex Vista										
LATITUDINE: 44° 19'58.9" N		LONGITUDINE: 7° 30'20.4" E		ALTITUDINE: 609 m									
TIPO STAZIONE : <i>Stazione Singola</i>		TIPO SENSORE: <i>Veloget 3D 1 Hz e Geode a 24 canali della Geometrics con estensione di banda fino a 0,6 Hz</i>											
N° STAZIONE: 1		N° SENSORE: 1		DIRECTORY: <i>BSD/HVSR4</i>									
NOME FILE: bsd4.txt				PUNTO: HVSR4									
GUADAGNO:		FREQ. CAMP. 125 Hz		DURATA REG: 26 min									
CONDIZIONI METEO		VENTO <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> debole (5m/s) <input type="checkbox"/> medio <input type="checkbox"/> forte Misure:											
		PIOGGIA <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> debole (5m/s) <input type="checkbox"/> medio <input type="checkbox"/> forte Misure:											
		Temperatura 1 °C		Osservazioni:									
TIPO TERRENO		<input checked="" type="checkbox"/> terra <input type="checkbox"/> dura <input checked="" type="checkbox"/> soffice <input checked="" type="checkbox"/> ghiaia <input type="checkbox"/> sabbia <input type="checkbox"/> roccia <input type="checkbox"/> erba <input type="checkbox"/> alta <input type="checkbox"/> bassa											
		<input type="checkbox"/> asfalto <input type="checkbox"/> cemento <input type="checkbox"/> cls <input type="checkbox"/> pavimentato <input type="checkbox"/> altro <input type="checkbox"/> terreno asciutto <input checked="" type="checkbox"/> terreno bagnato Osservazioni:											
ACCOPIAMENTO ARTIFICIALE TERRENO STRUMENTO				<input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> si, tipo:									
DENSITA' EDIFICI		<input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> sparpagliati <input type="checkbox"/> addensati <input type="checkbox"/> altro, tipo:											
TRANSITI	nessuno	poco frequent	moderato	frequent	molto frequent	distanza (m)	SORGENTI DI RUMORE (fabbriche,lavori,fiumi,..) <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> si,tipo: SP21						
							STRUTTURE VICINE (alberi,edifici,ponti,strutture sotteranee,..) (descrizione,altezza,distanza)						
							macchine					50	
							camion					50	
							pedoni						
altro													
OSSERVAZIONI:													



Fig. 34- Orientamento sensore
Veloget e accoppiamento
strumento-terreno

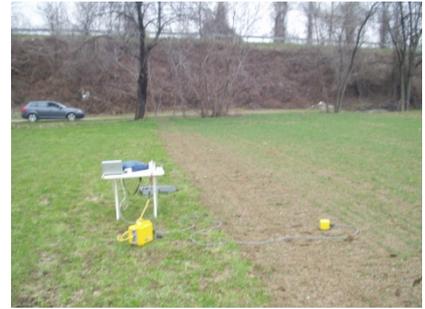


Fig. 35- Direzione Nord



Fig. 36-Direzione Ovest



Fig. 37-Direzione Est



Fig. 38-Direzione Sud



Fig. 39- Estratto carta Tecnica Regione Piemonte scala 1:10.000



Fig. 40- Fonte dati: Immagini TerraltalyTM-Blom C.G.R, ortofoto 2005

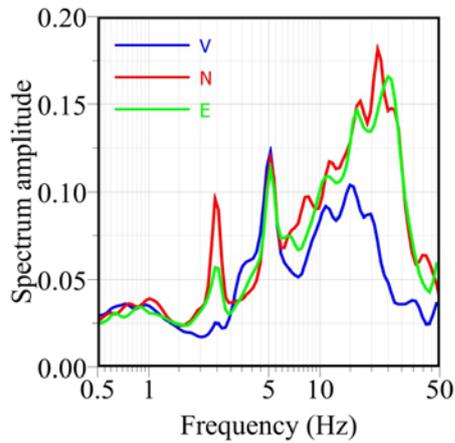


Fig. 41- Componenti spettri lisciati

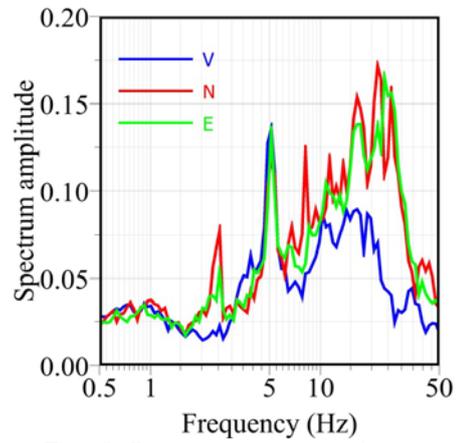


Fig. 42- Componenti spettri non lisciati

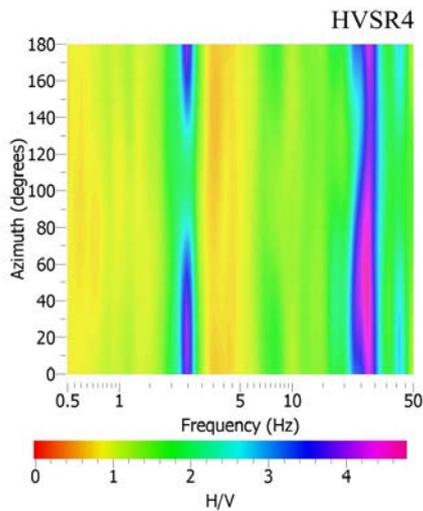


Fig. 43- Direzionalità rapporto H/V

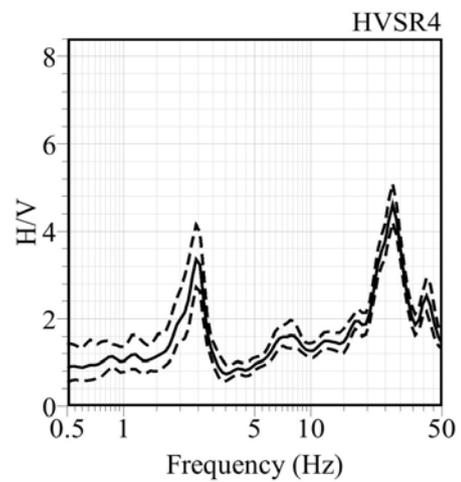


Fig. 44- Rapporto H/V calcolato

Picco H/V a 2.45 ± 0.10 Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz)		
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]		
$f_0 > 10/Lw$	2.45 > 0.333	OK
$n_c(f_0) > 200$	2576 > 200.00	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 30	OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$		
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]		
Esiste f in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f) < A_0/2$	1.210 Hz	OK
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	2.9285 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.4 > 2	OK
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.0218 < 0.05	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.107 < 0.123	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.264 < 1.580	OK

Tabella 4 - Parametri di qualità SESAME

ALLEGATO 2
MISURE MULTICANALE DI ONDE SUPERFICIALI (MASW)

QUADRO INTRODUTTIVO

LOCALITA'	Borgo San Dalmazzo (Fig. 1)
OBIETTIVI	Determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s) mediante analisi multicanale delle onde superficiali
METODO D'INDAGINE	MASW - <i>Multichannel Analysis of Surface Waves</i> .
STRUMENTAZIONE	Sismografo 24 canali (Fig. 2) Geofoni verticali (frequenza di risonanza 4.5Hz). (Fig. 4) Cavo sismico 24 canali interdistanza 3m. Notebook per registrazione dati.(Fig. 2) Fucile sismico "ISOTTA" con cartucce 8KIN (Fig. 3) Mazza da 8Kg.

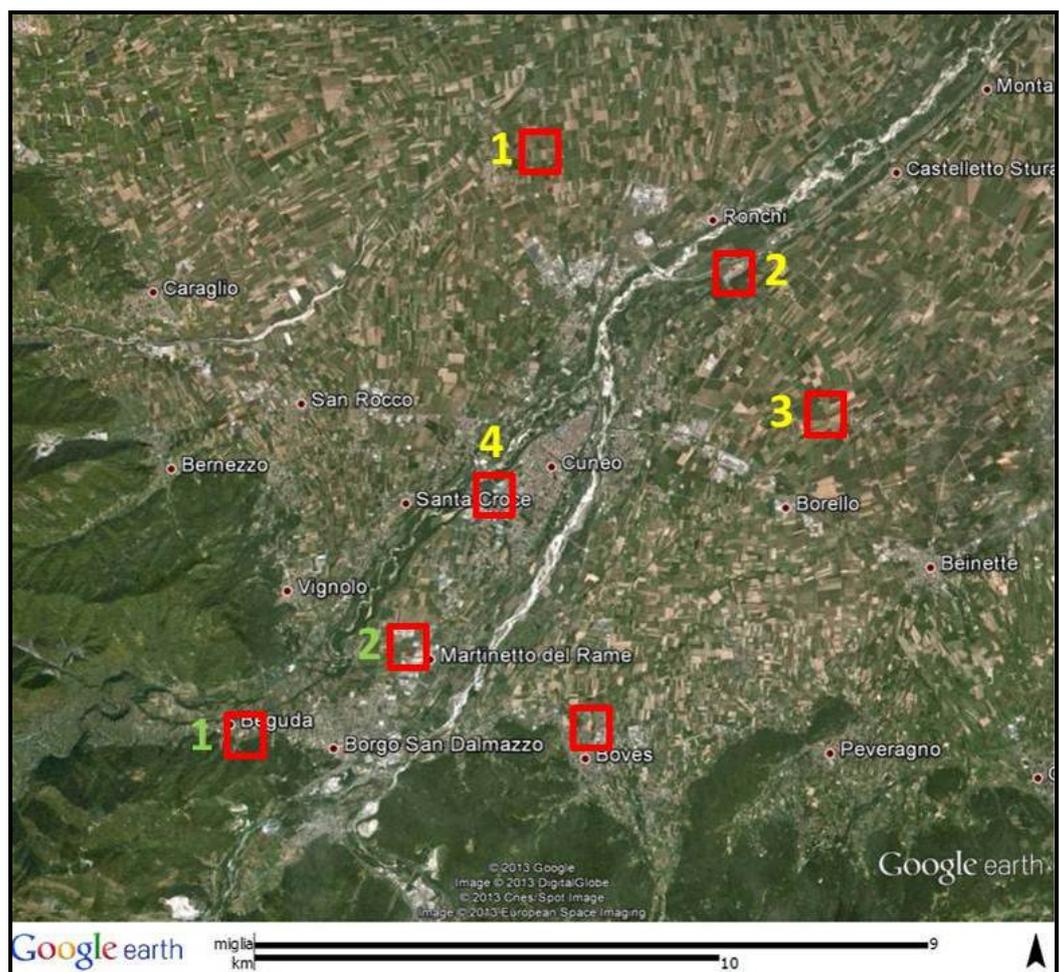


Fig. 1 Aree acquisite a Borgo San Dalmazzo (numerazione in verde)



Fig. 2 Sismografo a 24 canali della Geometrics (in giallo) collegato ad una batteria al Pb a 12V e in primo piano il PC per il salvataggio delle acquisizioni e la gestione dei parametri di indagine.



Fig. 3 Fucile sismico utilizzato per le energizzazioni. Modello ISOTTA prodotto e distribuito da PASI.



Fig. 4 Geofono verticale con frequenza di risonanza a 4.5Hz

Nelle figure riportate di seguito si mostrano in dettaglio le zone ove sono state eseguite le acquisizioni, accompagnando ogni zona con informazioni relative alla posizione dei geofoni, spaziatura tra gli stessi e modalità di acquisizione.

Per le energizzazioni di tutti i siti, si è utilizzato un fucile sismico.

Borgo San Dalmazzo 1	
Distanza intergeofonica (Δx)	3m
Frequenza di campionamento	1KHz
Finestra di registrazione	2,5Sec
Distanze scoppi dal primo geofono	3m, 6m, 12m
Numero stendimenti	1
Numero geofoni sovrapposti	N/A
Lunghezza totale stendimento	69m
Numero scoppi	3
Coordinate primo geofono	44°19'56.48" N
	7°27'39.03" E
Coordinate ultimo geofono	44°19'58.62" N
	7°27'38.26" E



Fig. 5 Borgo San Dalmazzo 1 – Dettaglio dello stendimento con la posizione del primo geofono e del ventiquattresimo. Le sorgenti sono state posizionate dal lato del primo geofono.

Borgo San Dalmazzo 2	
Distanza intergeofonica (Δx)	3m
Frequenza di campionamento	1KHz
Finestra di registrazione	2,5Sec
Distanze scoppi dal primo geofono	3m, 6m, 12m
Numero stendimenti	1
Numero geofoni sovrapposti	N/A
Lunghezza totale stendimento	69m
Numero scoppi	3
Coordinate primo geofono	44°20'54.01" N
	7°30'14.04" E
Coordinate ultimo geofono	44°20'52.94" N
	7°30'16.80" E



Fig. 6 Borgo San Dalmazzo 2 – Dettaglio dello stendimento e localizzazione della posizione dei geofoni. Le sorgenti sono state posizionate dal lato del geofono 1.

ELABORAZIONE DEL SEGNALE

I dati sono stati elaborati utilizzando il software WinMASW applicando le operazioni indicate in tabella.

DATI	PROCESSING	NOTE
<p>La scelta del dato più adatto all'elaborazione è stata fatta dopo una visione preliminare dei vari colpi eseguiti a diverse distanze per ogni località in esame.</p>	Time cut	- Riduce la finestra temporale di acquisizione in base ai tempi di propagazione delle onde di superficie
	Muting	- Elimina dal dato collezionato le forme d'onda corrispondenti agli arrivi rifratti
	Band Pass Filter	- Filtra i dati nella banda di frequenze dominate dalle onde di superficie
	Velocity Spectrum	- Genera una immagine in scala colori che scompone le onde di superficie in funzione della velocità di fase e della frequenza
	Direct Modeling	- Genera le curve di dispersione ipotizzando i parametri degli strati del modello (utile per stabilire un modello di input per l'inversione)
	FK Filter	- Enfatizza la presenza del modo fondamentale o di modi superiori filtrando rispettivamente i secondi o il primo
	Velocity picking (FV & FK domains)	- Funzione interattiva per il picking della curva di velocità di fase.
	Inversion for Vs model	- La curva di velocità selezionata viene invertita in termini di modello a strati della velocità Vs.
	Model output	- Genera i grafici del profilo della velocità Vs e del modello a strati ricostruito.

RISULTATI

Si illustrano di seguito i risultati di tutte le indagini eseguite.

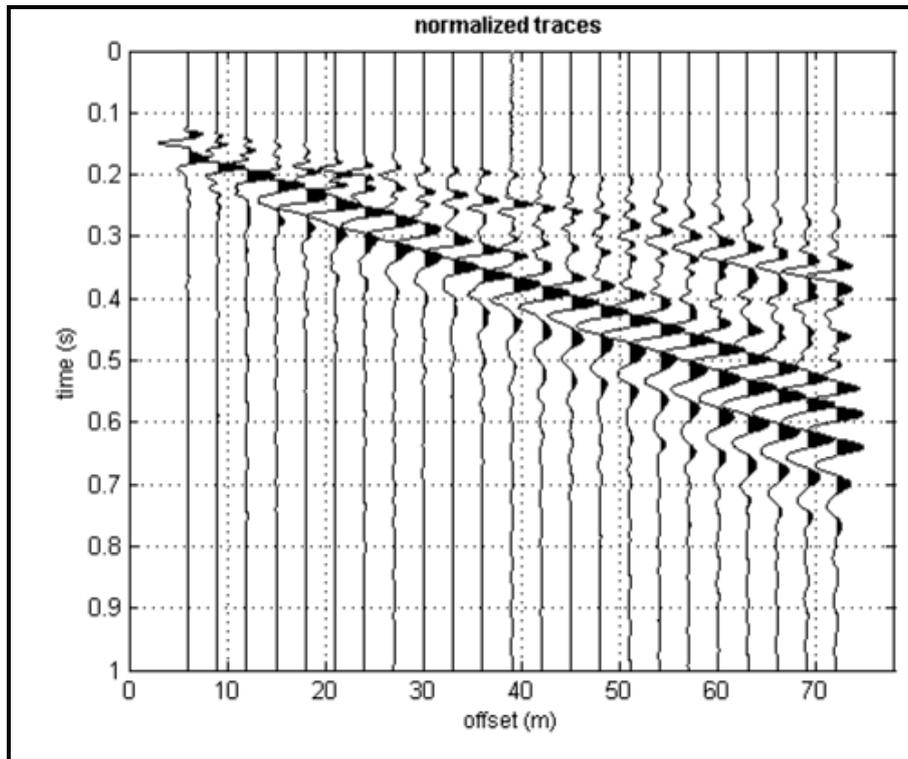


Fig. 7 Borgo San Dalmazzo 1 - Dato grezzo relativo all'acquisizione con sorgente a 6m dal primo geofono (ampiezze normalizzate al massimo di ciascuna traccia).

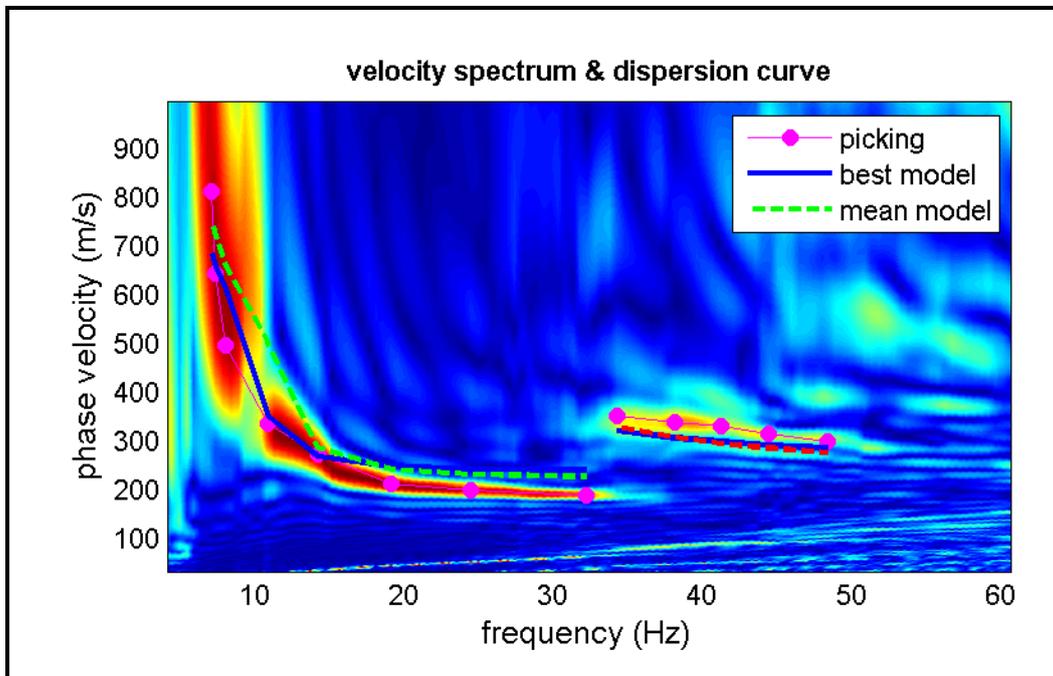


Fig.8 Borgo San Dalmazzo 1 - Risultato della procedura di inversione. Immagine con curva di dispersione selezionata (picking) e curve di dispersione ottenute a seguito dell'inversione. Lo spettro delle frequenze presenti in questo sito va da 5 a 50 Hz con una buona separazione tra modo fondamentale e primo modo superiore.

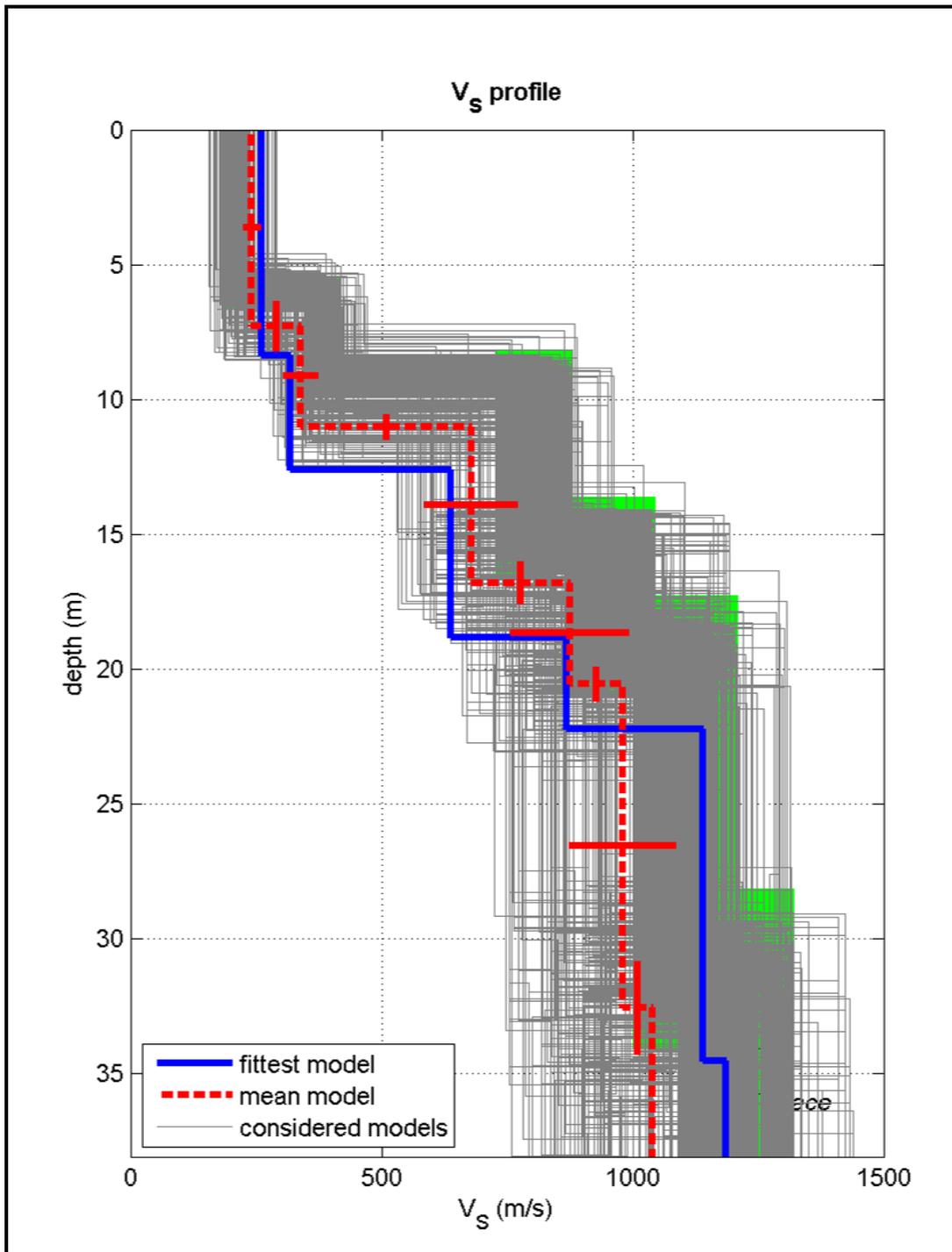


Fig. 9 Borgo San Dalmazzo 1 - Risultato della procedura di inversione . Profili di velocità V_s con modello migliore (linea blu), modello medio (linea tratteggiata rossa) e spazio di ricerca dell' algoritmo di inversione (in grigio) Velocità V_{s30} modello medio 455m/s, mentre la V_{s30} del modello migliore è 472 m/s

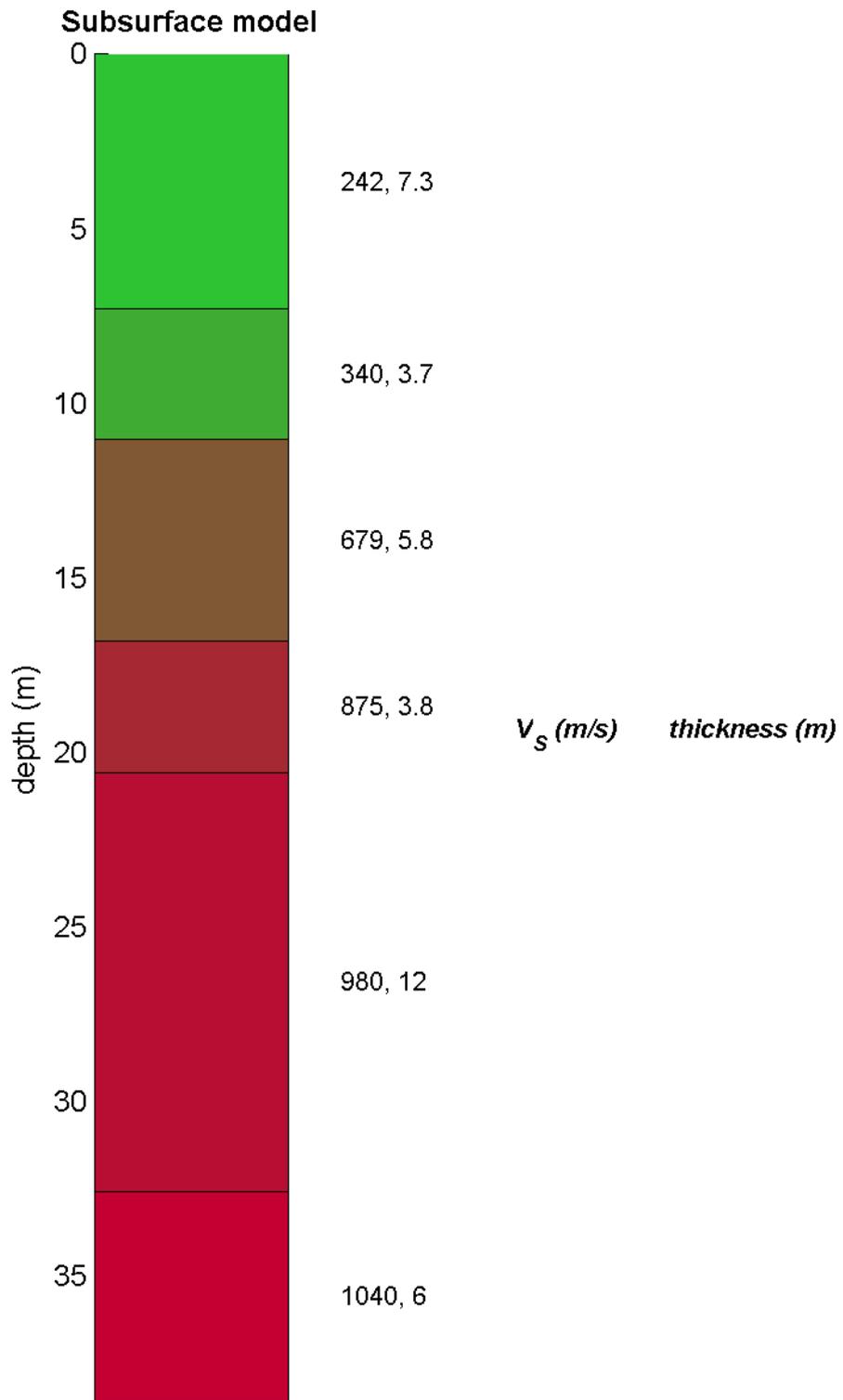


Fig. 10 Borgo San Dalmazzo 1 - Rappresentazione del modello a strati ottenuto con l'inversione.

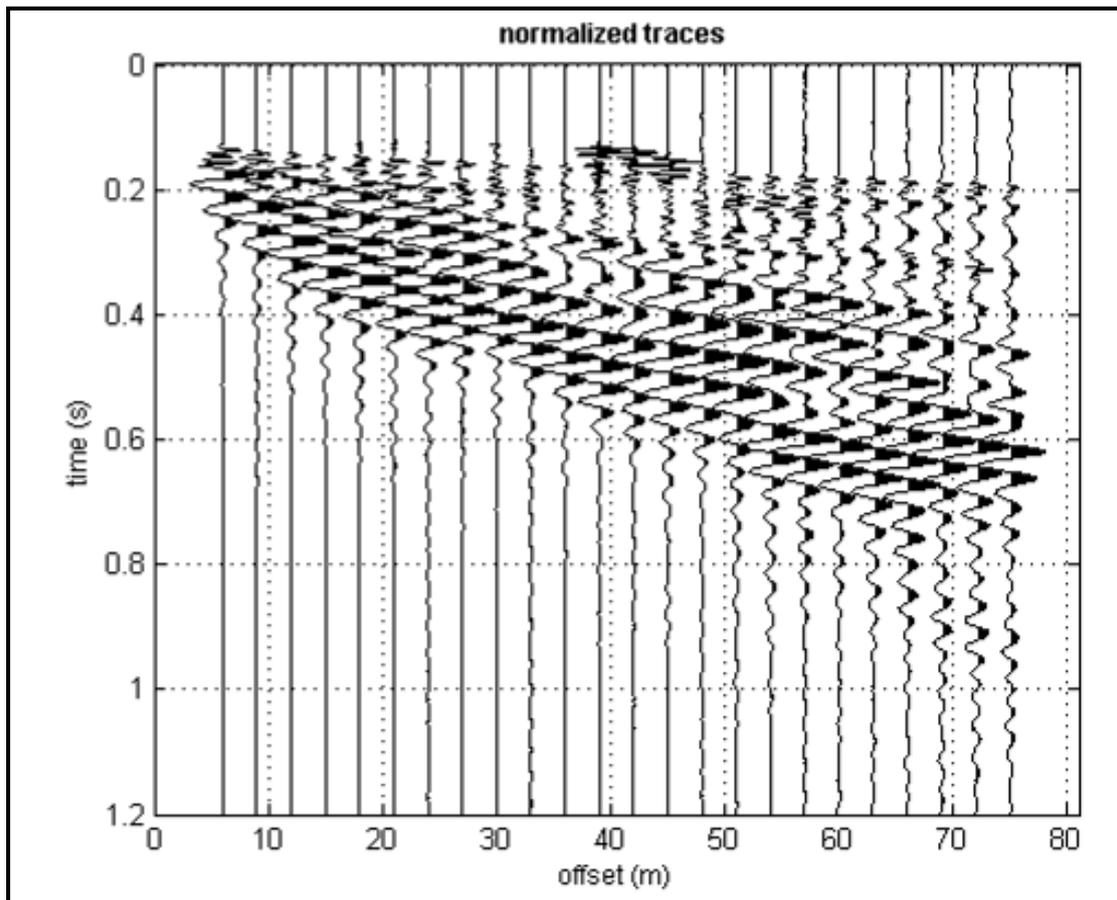


Fig. 11 Borgo San Dalmazzo 2 - Dato grezzo relativo all'acquisizione con sorgente a 6m dal primo geofono (ampiezze normalizzate al massimo di ciascuna traccia).

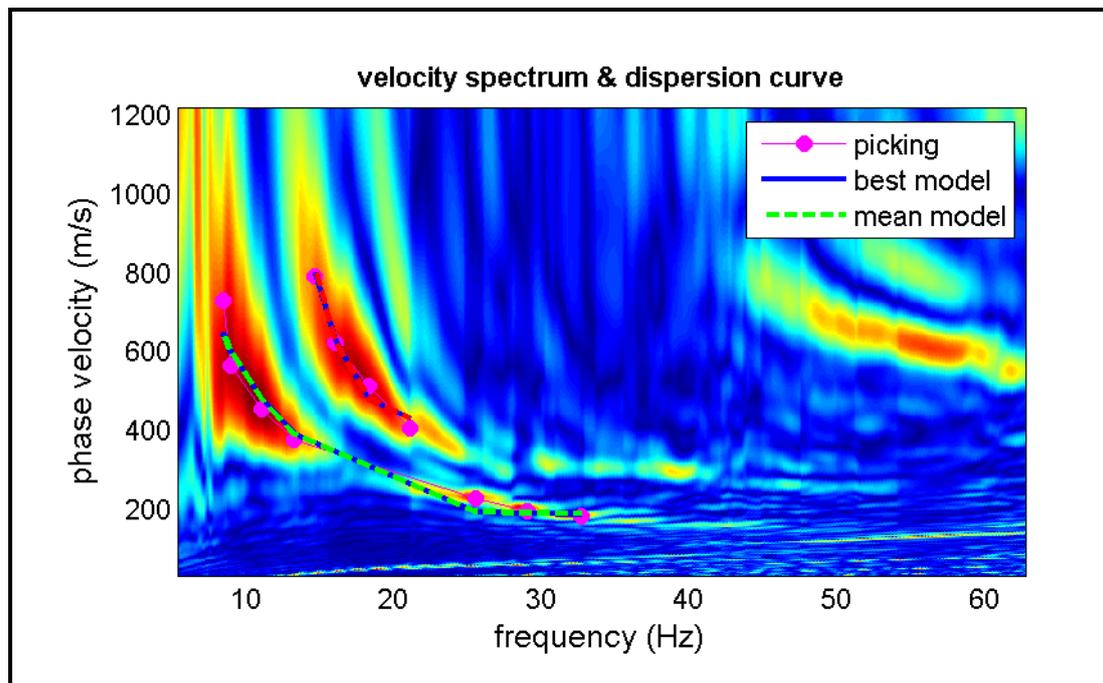


Fig. 12 Borgo San Dalmazzo 2 - Risultato della procedura di inversione. Immagine con curva di dispersione selezionata (picking) e curve di dispersione ottenute a seguito dell'inversione

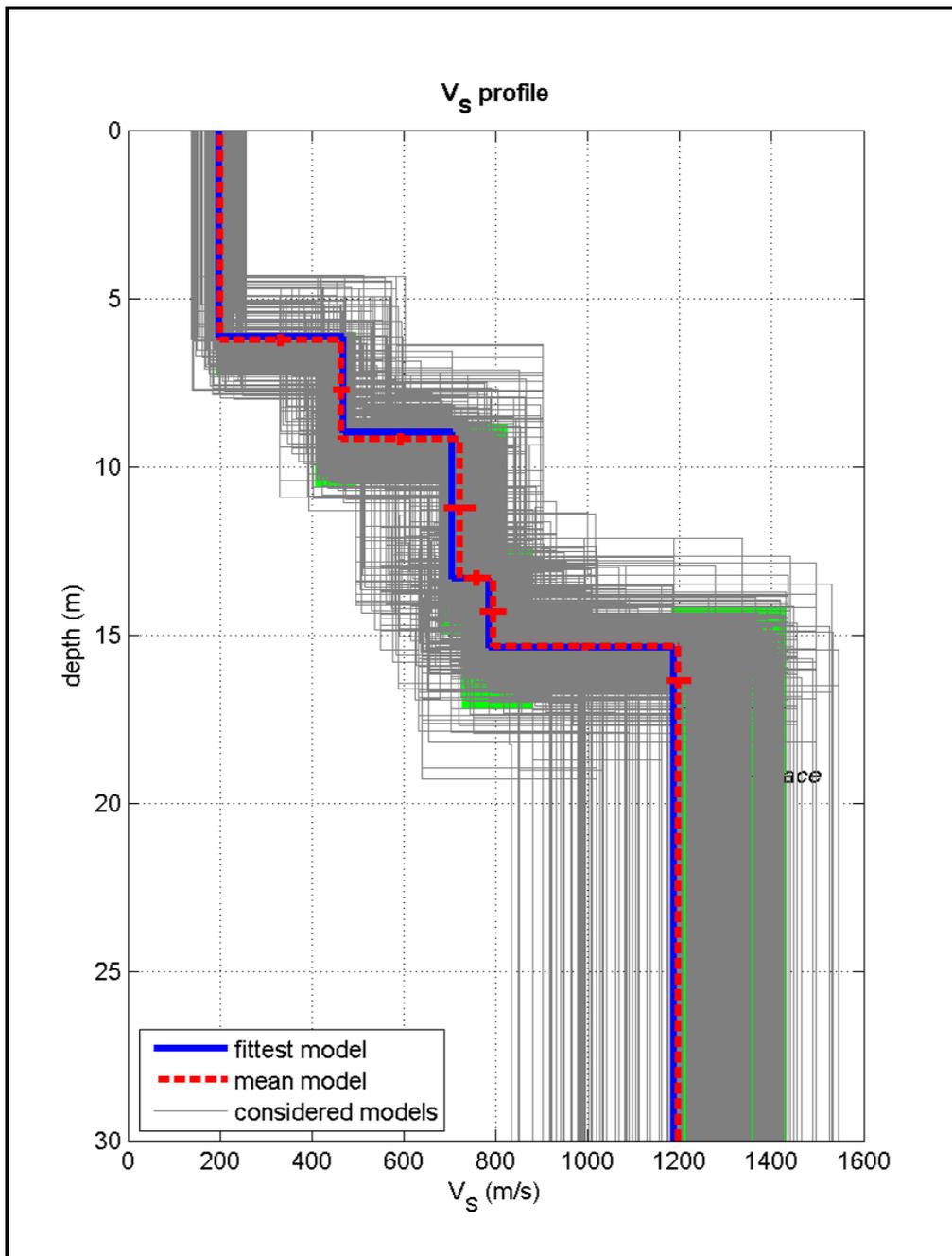


Fig. 13 Borgo San Dalmazzo 2 - Risultato della procedura di inversione . Profili di velocità Vs con modello migliore (linea blu), modello medio (linea tratteggiata rossa) e spazio di ricerca dell' algoritmo di inversione (in grigio) Velocità Vs30 modello medio 516m/s, mentre la Vs30 del modello migliore è 517 m/s

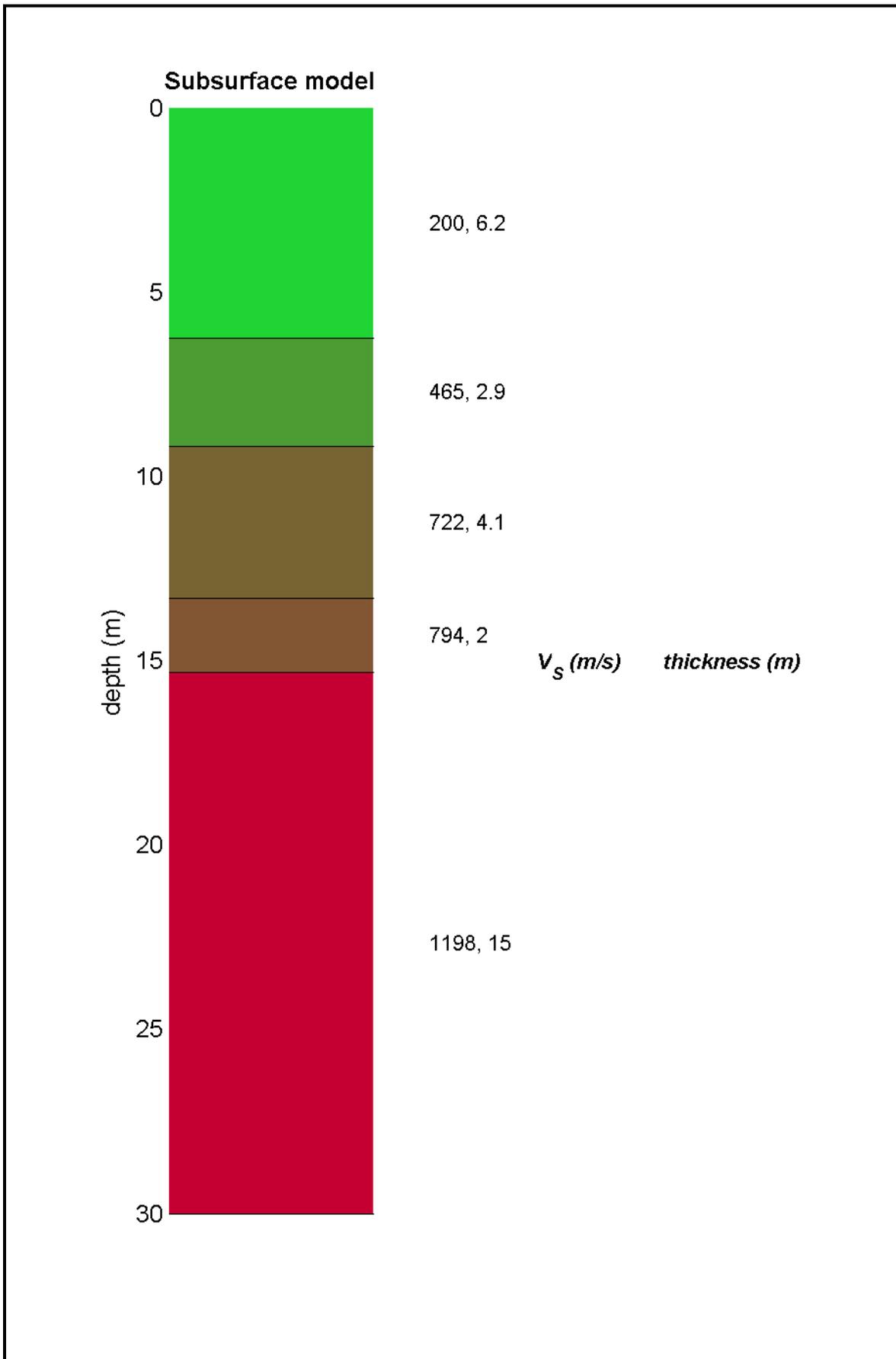


Fig. 14 Borgo San Dalmazzo 2 - Rappresentazione del modello a strati ottenuto con l'inversione.