



REGIONE PIEMONTE - PROVINCIA DI TORINO
COMUNE DI BARDONECCHIA

P.R.G.C.

PROPOSTA TECNICA DEL
PROGETTO PRELIMINARE
(LR 56/77, art. 15 comma 1)

ELABORATO

MICROZONAZIONE SISMICA RELAZIONE ILLUSTRATIVA

GEO13

GENNAIO 2016

scala 1: 10.000

Il progetto urbanistico

StudioAF

arch. Giovanni Alifredi

arch. Alessandro Fubini

Studio di Microzonazione Sismica

dott. geol. Eugenio Zanella

dott. geol. Umberto Paire

Resp. Del Procedimento e
del Servizio E.P. e Urbanistica

ing. Francesco Cecchini

Il Sindaco

Il Segretario Comunale

I collaboratori

arch. Rossella Enrico

VERSIONE	DATA DI AGGIORNAMENTO	DESCRIZIONE	PROVVEDIMENTO AMMINISTRATIVO
00	Febbraio 2016	Proposta tecnica del Progetto preliminare	



ZANELLA dott. geol. Eugenio

Via Ferraris 11 - 10060 S. Pietro Val Lemina (TO) - tel/fax 0121 - 315512 - e-mail: eugeniozanella@virgilio.it

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. Elaborati cartografici
 - a. Carta delle indagini
 - b. Carta geologico tecnica per la micro zonazione sismica
 - c. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)

Allegato

1. INTRODUZIONE

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Bardonecchia sono stati predisposti gli studi di microzonazione sismica sul territorio, 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.2862 del 25/11/2013 e dell'Allegato B alla D.G.R. n.20-1250 del 30 marzo 2015..

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 3.0 elaborati dalla Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica dell'ottobre 2013.

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 comunali e le banche dati degli enti pubblici.

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 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 sezioni geologiche significative, in un numero adeguato orientate sia trasversalmente sia longitudinalmente ai principali elementi geologici.
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) (scala 1:10.000) 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.

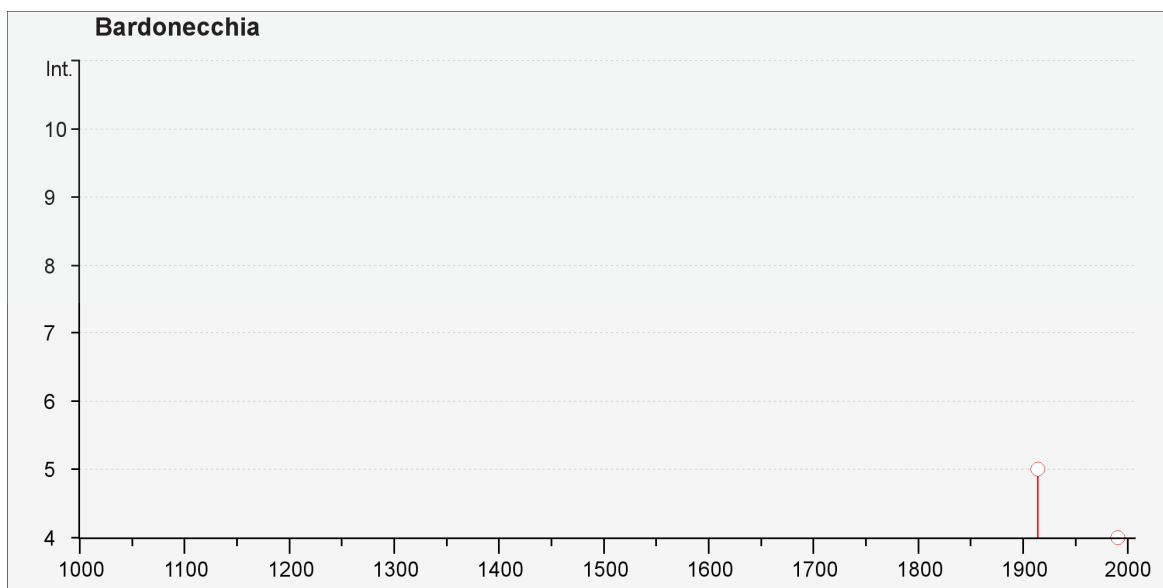
La base topografica utilizzata è la Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti (BDTRE) della Regione Piemonte.

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

Per la definizione della pericolosità sismica di base del Comune di Bardonecchia 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 DSMI11 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 della pericolosità sismica in Italia, visualizzabile al sito: <http://esse1.mi.ingv.it/>.

La storia sismica di Bardonecchia è rappresentata dal seguente grafico e dalla tabella, che rappresentano gli eventi storici contenuti nel catalogo italiano risentiti al sito <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>:



Storia sismica di Bardonecchia [45.077, 6.702]

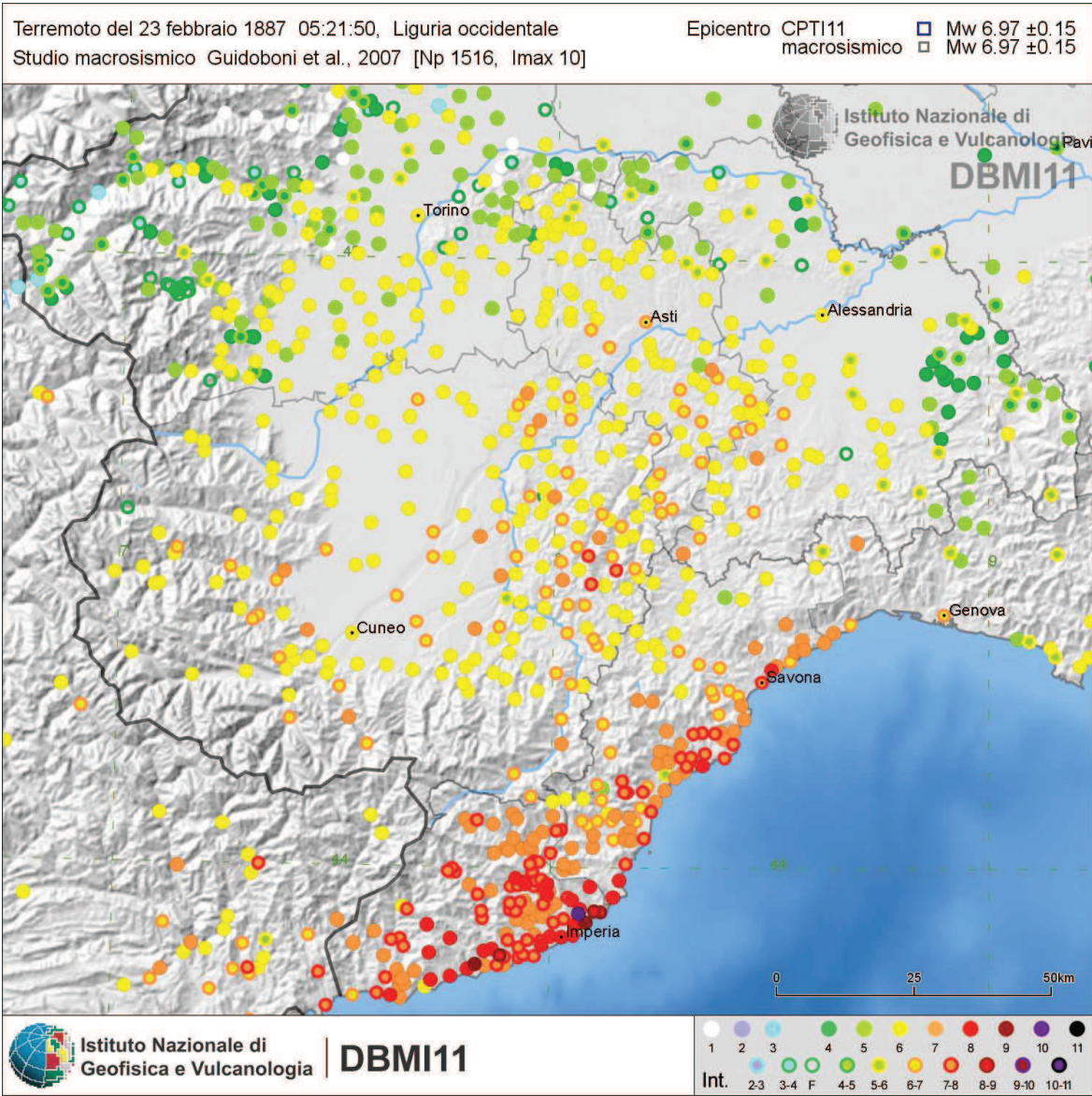
Numero di eventi: 4

Effetti

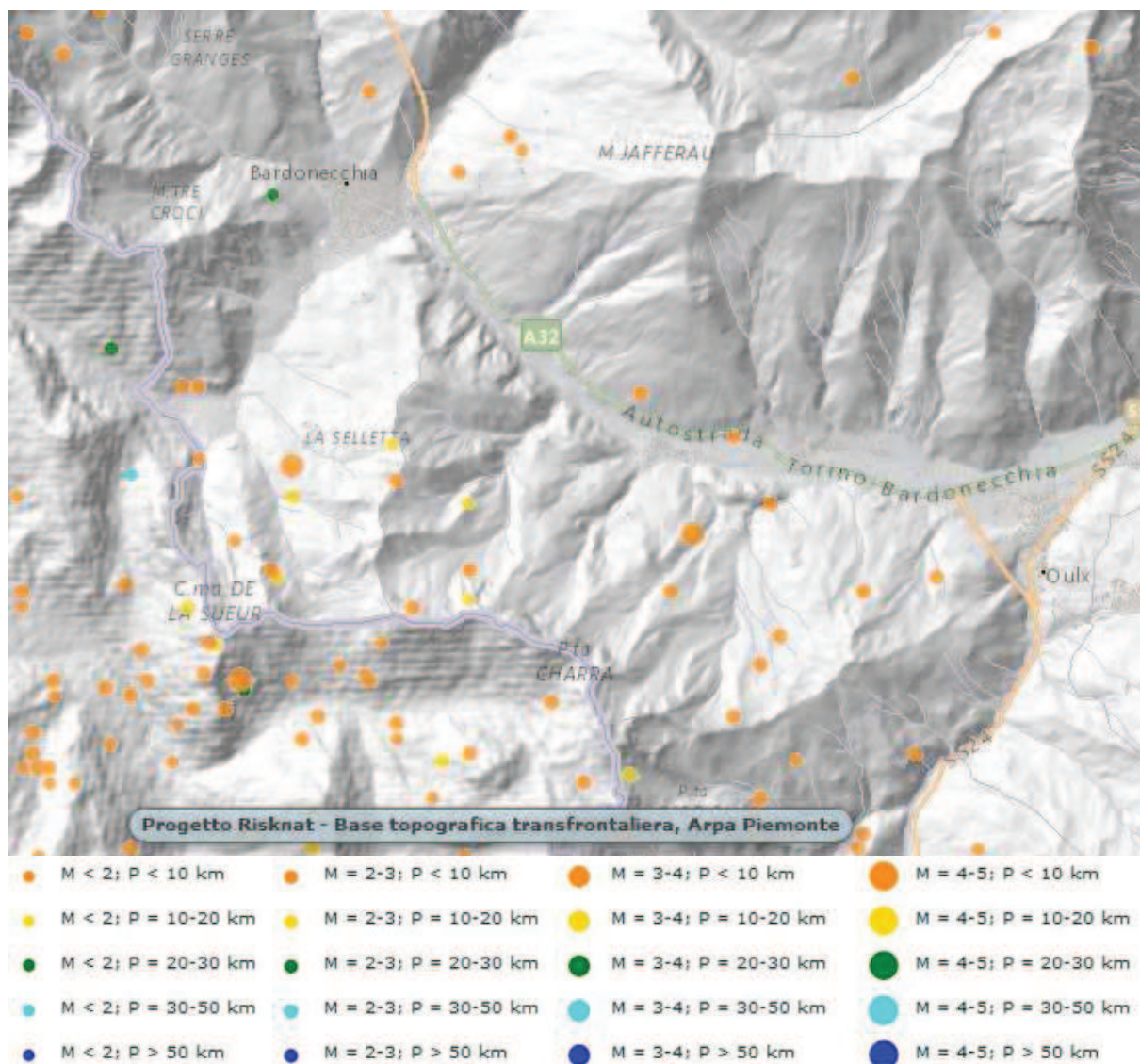
In occasione del terremoto del:

I [MCS]	Data	Ax	Np	Ic Mw
F	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15
NF	1905 04 29 01:46	Alta Savoia	267	7-8 5.63 ±0.09
5	1914 10 26 03:43	TAVERNETTE	67	7 5.41 ±0.16
4	1990 02 11 07:00	CANAVESE	201	6 4.71 ±0.09

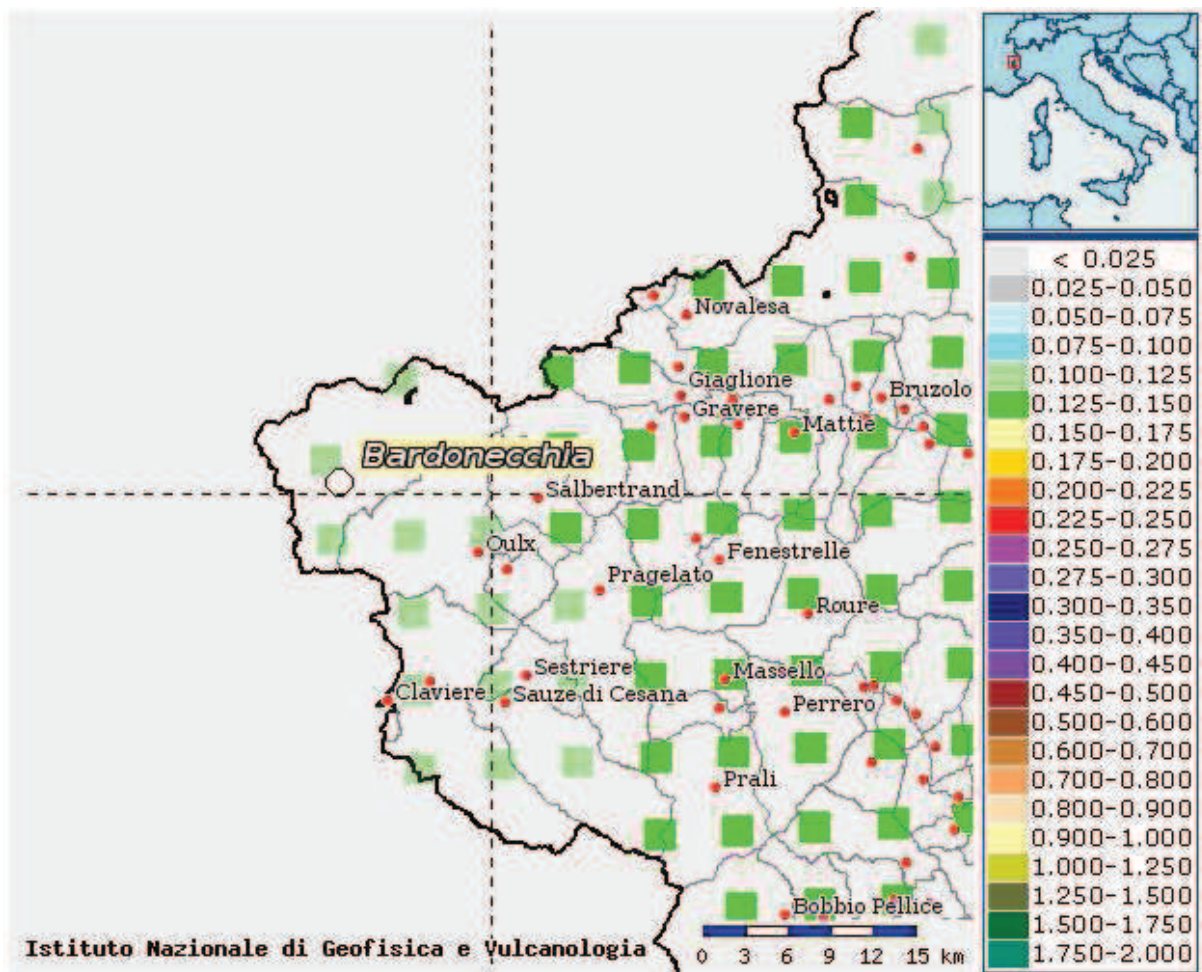
Come si nota dalla tabella l'evento maggiormente risentito a Bardonecchia è quello del 23 febbraio 1887, di magnitudo M_w 6.97, che ha prodotto un risentimento al sito di intensità 8 MCS, del quale si riporta il campo macrosismico.



Per quanto riguarda la sismicità recente, monitorata dal 1982, si segnala la presenza di numerosi eventi di bassa magnitudo (2-3) e da bassa a media profondità (< 10 Km e compresi tra 10 e 30 Km):



Per quanto riguarda la classificazione sismica attualmente vigente il Comune di Bardonecchia risulta classificato in zona 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 compreso tra 0,100 e 0,125 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

Da quanto disponibile dalle cartografie e dalla relazione a supporto della Variante di Adeguamento al PAI del Piano Regolatore Generale Comunale (Zanella E. e Leporati P. 1999-2009, il territorio comunale di Bardonecchia abbraccia tutto il bacino imbrifero del T.Bardonecchia entro il naturale confine orografico, fino alla stretta de ponte Bramafan subito a valle della confluenza dei torrenti Melezet e Rochemolles, cioè tutta la “conca di Bardonecchia” propriamente detta, nonché il successivo tronco vallivo della Dora per 179,5 kmq.

Essa include anche, dal lato NO., il bacino della Valle Stretta situato al dilà del nuovo confine politico.

A monte della stretta del Bramafan il bacino torrentizio si allarga bruscamente drenando un'area rettangolare allungata per 18 km in direzione SO-NE, ortogonalmente al tronco della bassa valle. Questa configurazione corrisponde ad una singolarità geografica del limite orografico delle Alpi Occidentali che in questa regione segna uno spiccato saliente planimetrico del versante italiano, più accentuato, verso Ovest.

Dallo spartiacque alpino che contorna da tre lati la Conca di Brdonecchia si distaccano, nel tratto più elevato tra il M. Tabor e la P.ta Sommellier, alcune altre direttrici orografiche secondarie, lunghe qualche km che delimitano i principali bacini idrologici della conca, compresa tra la quota minima di 1237 metri e la quota massima di 3505 metri della Pierre Menue.

A. SUBSTRATO

Nell'ambito del territorio in esame il substrato risulta costituito dai seguenti complessi geologico-strutturali :

- Copertura Brianzonese
- Complesso dei Calcescisti con pietre verdi
- Serie di Ambin (presente solo all'estremo margine NE del territorio comunale e quindi al di fuori dell'area considerata) che costituisce il substrato, piegato a cupola, su cui è sovrascorsa la formazione dei Calcescisti.

Complesso Brianzonese

Comprende un complesso di rocce sedimentogene quali calcari, dolomie, quarziti ecc, La formazione di gran lunga più sviluppata arealmente è quella del Trias medio-superiore costituita da dolomia passante a calcare magnesiaci, di colore grigio a tessitura microgranulare in banchi potenti (facies brianzonese) oppure di colore chiaro e netta stratificazione, a tessitura subsaccaroide (facies piemontese) e finemente reticolata da litoclasti calcitiche.

Spesso le dolomie includono lenti di anidrite, di gesso e di carnioli brecciate e cariate.

Al Trias inferiore appartengono litotipi rappresentati da quarziti subsaccaroidi localmente passanti alla base ad anageniti.

Il complesso carbonatico forma in pratica tutta la dorsale dei Re Magi tra la Valle Rho e la Valle Stretta ed il fianco destro di quest'ultima.

Complesso dei calcescisti con pietre verdi

Nel complesso dei calcescisti i principali litotipi riconoscibili sono rappresentati da calcescisti, calcemicascisti, calcari cristallini e altre rocce ad essi associate.

I calcescisti sono costituiti prevalentemente da carbonati, quarzo, mica bianca e clorite.

In generale si tratta di rocce molto laminate, poco coerenti, con forte tendenza superficiale allo sfaldamento ed allo scivolamento di masse intere quando la struttura si presenta a franapoggio. Con la listatura, che per lo più si identifica con l'originaria stratificazione, coincide di norma la scistosità, a giunti piano-paralleli per lo più di tinta nera e lucenti per la presenza di muscovite e grafite.

Associate ai calcescisti sono le “pietre verdi” cioè serpentiniti e prasiniti che nell'area considerata si presentano in affioramenti piuttosto ridotti come numero e dimensioni.

Le serpentiniti sono un litotipo massiccio, a grana mediamente fine, di colore verde o verde scuro, talvolta bluastro.

Le prasiniti presentano una tinta verde chiaro, grana medio-fine e tessitura ocellare.

B. COPERTURA QUATERNARIA

Il fondovalle della Conca di Bardonecchia è ricoperto da un materasso alluvionale costituito a monte della stretta del Bramafan essenzialmente dalle poderose conoidi scendenti dai valloni laterali.

A queste coperture quaternarie si associano depositi glaciali, coperture detritico-eluviali e colluviali, estesi e potenti accumuli gravitativi.

Coperture detritico-eluviali e colluviali

Queste coperture, a materiale detritico monogenico alterato fino a risolversi in sabbia e limo argilloide di aspetto terroso, pseudocoerente e di tinta bruna, rivestono estesamente i pendii mediamente inclinati, fluendo insensibilmente verso il basso a formare nei settore meno acclivi accumuli di eluvium a volte cementato in placche ed incrostazioni superficiali.

Il loro spessore è molto vario passando da pochi decimetri a molti metri in rapporto alla morfologia del substrato ed al litotipo generatore.

Queste coperture si presentano più francamente detritiche in corrispondenza delle aree di affioramento dei calcari e delle dolomie come sui pendii sottostanti le Rocce del Rouas e sul fianco destro della valle del T. Rho.

Coperture glaciali

Depositi glaciali sono presenti a quote varie sia nella valle principale che nei valloni secondari ma la loro persistenza ed estensione sono strettamente legati all'erosione ed al rimaneggiamento da parte del reticolato idrografico che incide facilmente questo deposito incoerente in cui risultano caoticamente associati elementi lapidei anche di notevoli dimensioni, freschi, angolosi o poco arrotondati, con una frazione limosa generalmente in notevole proporzione.

Conoidi alluvionali

Tutto il fondovalle principale è praticamente formato da una serie di poderose conoidi alluvionali che scendendo dai valloni laterali che si aprono sul fianco vallivo sinistro

arrivano fino alla Dora anastomizzandosi tra loro a formare dei piani inclinati estesi e con pendenza regolare e piuttosto ridotta.

Da occidente verso oriente si riconoscono questi principali e grandi apparati deposizionali:

- conoide del Rio Fosse con la frazione Melezet edificata sull'unghia in fregio alla Dora;
- conoide del Rio Sagna su cui è edificata la frazione Les Arnauds sempre sull'unghia;
- grandiosa conoide del T. Rho che anastomizzandosi con quella del T. Frejus forma il grande piano inclinato su cui si è sviluppato il capoluogo.

Questi depositi sono costituiti da accumuli di ghiaie e sabbie in lenti sovrapposte di vario spessore e continuità laterale caratterizzati da una classificazione granulometrica a largo raggio con presenza abbondante di materiale fine.

Al piede delle conoidi sono presenti striscie strette e allungate di depositi alluvionali di fondo valle a bordare l'alveo del corso d'acqua principale, non distinti cartograficamente in quanto del tutto identici come genesi, composizione e granulometria.

Accumuli gravitativi

Tutta la conca di Bardonecchia è interessata dalla presenza di un gran numero di dissesti di versante.

Da occidente verso oriente sul fianco sinistro vallivo della Dora si riconoscono i seguenti fenomeni principali:

- la frana di crollo attiva delle Rocce del Rouas o del Sacro Cuore
- il movimento gravitativo composito quiescente a settentrione della borgata Les Arnauds
- il grande movimento gravitativo delle Tre Croci, di natura composita e quiescente, con un ridotto lembo attivo al margine inferiore destro
- i grandi fenomeni gravitativi del tronco inferiore della valle del T. Rho, composito e quiescente quello sul fianco sinistro, del tipo colamento lento e attivi quelli presenti sul fianco destro
- i movimenti gravitativi composti considerati quiescenti sul fianco sinistro allo sbocco della valle del T. Frejus,
- il grande fenomeno gravitativo di tipo composito di Millaures con l'adiacente settore di Prerichard di tipo D.G.P.V. considerato quiescente.

Sul fianco destro vallivo :

- l'estesissima D.G.P.V. quiescente di Pian del Sole – Punta Colomion con l'adiacente movimento gravitativo composito considerato quiescente di Rio Coche
- all'estremo limite meridionale del territorio comunale la frana di tipo composito quiescente con il lobo inferiore destro attivo.

Nell'ambito della parte di territorio oggetto del presente studio sono stati riconosciuti i seguenti elementi tettonico-strutturali, geologici, idrogeologici e forme superficiali:

- faglie
- sondaggi e pozzi che hanno raggiunto il substrato geologico
- sondaggi e pozzi che non hanno raggiunto il substrato geologico
- conoide alluvionale
- falda detritica
- orlo di terrazzo fluviale (10-20 m)
- orlo di terrazzo fluviale (>20 m)
- asse di valle sepolta stretta ($C > 0.25$)
- asse di valle sepolta larga ($C < 0.25$)
- cresta

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per la raccolta dei dati geotecnici e geofisici esistenti per il territorio comunale si è fatto riferimento al catasto dati geognostici del PRGC e del sito <http://webgis.arpa.piemonte.it>.

In particolare sono stati censiti:

- n. 37 Sondaggi a carotaggio continuo, di cui 24 che intercettano il substrato;
- n. 3 Prove Down-Hole
- n. 18 Prove penetrometriche dinamiche in foro (SPT)
- n. 6 Profili sismici a rifrazione

Al fine di ottenere una più estesa distribuzione dei dati, a completamento di quelli geotecnici e geofisici già disponibili nell'ambito del presente studio sono state eseguite da Ingegneria e Controlli s.r.l. di Torino indagini geofisiche aggiuntive, rappresentate da n. 6. indagini HVSr e n. 3 indagini MASW.

Le indagini MASW sono state condotte in tre siti rappresentativi del territorio comunale non oggetto delle precedenti indagini sismiche e cioè in Loc. Les Arnauds, Borgo Vecchio e nel corpo del conoide del T. Rho. in modo da ottenere una griglia di dati significativa in rapporto alle condizioni geomorfologiche dell'area indagata.

L'obiettivo di tali 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).

Nella maggior parte delle indagini sismiche per cui si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga: questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi:

- l'acquisizione delle onde superficiali;
- la costruzione di una curva di dispersione;
- l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

Il sistema di acquisizione dati è costituito da:

- Sismografo: è stato utilizzato il sismografo Geometrics GEODE dotato di 24 canali a 24 bit, con possibilità di stacking, filtri analogici e digitali;

- Ricevitori: sono stati utilizzati geofoni con asse verticale con frequenza pari a 4,5 Hz;
- Sorgente di energizzazione: massa battente, costituita da un martello avente massa da 10 kg utilizzato da un operatore. L'impulso viene generato attraverso il colpo del martello su una piastra metallica appoggiata al terreno. L'istante di trigger è fornito da un geofono posizionato in prossimità del punto di battuta.

Per l'acquisizione dei nuovi dati è stato realizzato uno stendimento sismico MASW costituito da 24 geofoni. Lo stendimento ha previsto la collocazione dei geofoni ad una distanza reciproca di 2 m (dx) fino a coprire un'estensione lineare di 46 m complessivi (D). L'energizzazione è stata effettuata in 2 punti collocati a circa 10 m (x) di distanza dal primo e dall'ultimo geofono dello stendimento. Un geofono trigger è stato disposto accanto ad ogni punto di energizzazione per dare inizio alla registrazione del segnale trasmesso dai 24 geofoni al sismografo multicanale.

I risultati dell'indagine sono riportati nell'Allegato in cui sono fornite le tavole contenenti il sismogramma registrato in fase di misura ed i relativi grafici ottenuti dall'elaborazione, l'ubicazione dello stendimento e la relativa documentazione fotografica. Ogni tavola riporta il sismogramma prodotto dai 24 geofoni in fase di acquisizione dati, ossia a seguito dell'attivazione del geofono starter dopo l'energizzazione, le curve di velocità rapportate alla frequenza ed alla profondità del terreno e una tabella di calcolo delle Vs.

La MASW 1, in Località Borgo Vecchio, mostra per i primi 3,1 m una Vs media di 278 m/s, al di sotto si riscontrano Vs di 410 m/s per uno spessore di 2,8 m, poi seguono Vs di 312 m/s per 6,6 m. Invece, alla profondità di 12,5 m si registrano Vs di 844 m/s per 8,8 m, ed infine tra 23 e 30 m le Vs aumentano a 1125 m/s.

I risultati ottenuti consentono di evidenziare un sottosuolo stratificato, di discrete caratteristiche di resistenza meccanica nei primi 12,5 m dal p.c. caratterizzato da un'alternanza di strati a diversa velocità con un'inversione e, nel complesso, da graduale aumento della velocità. Il bedrock sismico di riferimento ($V_s > 800$ m/s) appare alla profondità di 12,5 m dal piano campagna.

La MASW 2, nel corpo del conoide del T. Rho, mostra per i primi 5,1 m una Vs media di 326 m/s, al di sotto si riscontrano Vs di 490 m/s per uno spessore di 6 m, poi seguono Vs di 432 m/s per 2,7 m. seguiti da Vs di 515 m/s per 8,8 m. Tra 22,6 e 26,1 m di profondità le Vs registrate mostrano valore di 44 m/s, ed infine a profondità di 30 m si registrano Vs di 760 m/s.

I risultati ottenuti consentono di evidenziare un sottosuolo composto da un mezzo di caratteristiche di resistenza meccanica da discrete a buone, al di sotto di un primo livello meno addensato, si rileva un orizzonte dalle caratteristiche omogenee malgrado il profilo presenti due inversioni. A circa 26 m di profondità si evidenzia un salto netto del profilo per l'improvviso aumento della velocità delle onde S. Il bedrock sismico di riferimento ($V_s > 800$ m/s) non è riscontrabile per tutta la profondità indagata, pari a 30 m dal piano campagna.

La MASW 3, in Località Les Arnauds, mostra per i primi 6,5 m una Vs media di 253 m/s, al di sotto si riscontrano Vs di 372 m/s per uno spessore di 10,5 m, poi seguono Vs di 262 m/s per 2,7 m. seguiti da Vs di 483 m/s per 6,9 m, ed infine a profondità di 30 m si registrano Vs di 1056 m/s.

I risultati ottenuti consentono di evidenziare un sottosuolo di discrete caratteristiche di resistenza meccanica, caratterizzato da un graduale aumento della velocità con un'inversione. Attraverso la sola indagine MASW il bedrock sismico di riferimento non è

riscontrabile per la profondità indagata, a causa della presenza dell'inversione, che riduce l'affidabilità del dato oltre i 20 m dal piano campagna. Solo grazie al confronto tra l'indagine MASW e l'indagine HVSR, hanno permesso di dimostrare l'effettiva presenza di un bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s).

Sono state effettuate indagini sismiche passive a stazione singola mediante l'acquisizione del microtremore sismico con sensori triassiali a bassa frequenza. Lo scopo è la stima della frequenza di risonanza di sito f_0 tramite rapporto spettrale tra le componenti verticale ed orizzontale registrate (metodo HVSR – H su V Spectral Ratio – Nakamura, 1989). In condizioni stratigrafiche semplici (uno strato soffice su uno rigido – bedrock sismico) è inoltre possibile stimare approssimativamente la profondità del bedrock.

Al fine di ottenere una distribuzione del dato in maniera significativa sul fondovalle della Dora i siti prescelti per tale indagine sono stati localizzati, partendo da occidente, nelle località Melezet, Les Arnauds, presso il cimitero, nel corpo del conoide del T. Rho, in Borgo Vecchio e, per la situazione geomorfologica particolare, in corrispondenza del grande accumulo gravitativo di Millaures.

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 perforazione o di sorgenti esterne in quanto da uso dei rumori ambientali presenti quasi ovunque. Sono state eseguite n. 7 misure, ed ogni punto di misura è composto da 3 terne di sensori e 3 acquisizioni distinte.

L'indagine HVSR fornisce i seguenti risultati:

- Sismogramma, il quale contiene la registrazione dei segnali di rumore sismico nel tempo per ogni componente (una verticale e due orizzontali) e per ogni punto di misura.
- Spettri delle componenti, le quali riportano il segnale di ciascuna componente nel dominio ampiezza – frequenza ottenuto tramite trasformata di Fourier e opportunamente filtrato.
- Curva H/V: rapporto delle ampiezze spettrali fra la combinazione delle componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V).

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato oltre a sensori Geospace 3D HS1-LT con frequenza propria di 2 Hz, anche un sismografo GEODE (Geometrics) costituito da un modulo a 24 canali controllato tramite laptop. La durata dell'acquisizione è funzionale della frequenza di campionamento con il limite di 64000 campioni per canale; la dinamica del convertitore analogico/digitale è di 24 bit.

Successivamente i dati sono stati elaborati attraverso il software Geopsy 2.7.0, www.geopsy.org, licenza GNU GPL.

Il segnale grezzo deve essere filtrato in dominio di tempo per eliminare i transitori associati a specifiche sorgenti, quali ad esempio traffico veicolare o vibrazione indotte dal passaggio di pedoni. La procedura per individuare i transitori si basa sul paragone tra la media a breve termine “STA” e quella a lungo termine “LTA”, di cui 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.

Il segnale filtrato viene segmentato in finestre di lunghezza di alcuni secondi ciascuna. La finestatura 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:

- calcolo dello spettro di ampiezza per ciascuna finestra e ciascun componente (V, H1, H2).
- combinazione degli spettri delle componenti orizzontali di ciascuna finestra in una componente orizzontale media:

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

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

Le linee guida SESAME stabiliscono una serie di criteri per la valutazione della significatività dei picchi H/V. Si tratta essenzialmente di criteri di tipo statistico che hanno lo scopo di segnalare situazioni poco chiare.

La prima parte di questi criteri è dedicata alla valutazione dell'attendibilità statistica della curva H/V, mentre 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 mediante la relazione:

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

I risultati delle misurazioni, riportati in Allegato, 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 f_0 calcolata;
- parametri di qualità SESAME per la curva H/V ottenuta.

I risultati finali in termini di f_0 sono riportati nella seguente tabella e sono stati cartografati nella Carta MOPS e nella Carta delle Indagini. Non è stata effettuata una carta degli F_0 , dato il non elevato numero di indagini effettuate:

Punto	1	2	3	4	5	6	
f_0	6.22	-	-	2.72	3.70	-	

Come riportato nelle schede in allegato, in alcuni casi non si è rilevata la presenza di un picco ben definito (-) che può essere interpretato come assenza di livelli caratterizzati da forte contrasto di impedenza sismica, in altri casi alcuni picchi non sono stati utilizzati in quanto dovuti a disturbi di origine antropica.

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 Geologica Tecnica.

Il modello vede un asse vallivo di notevole ampiezza e profondità completamente colmato da depositi alluvionali che, con andamento Est-Ovest, dalla barriera montuosa che segna il confine occidentale si estende fino alla conca di Bardonecchia ricevendo i grandi apparati deposizionali dei tributari di sinistra.

Alla confluenza con il T. Rochemolles l'asse vallivo piega ad angolo retto proseguendo verso Sud con sezione molto più ristretta e alveo molto meno inciso fino alla piana di Exilles.

Per quanto riguarda i vari complessi geolitologici individuati si possono formulare le seguenti osservazioni.

- I depositi alluvionali essenzialmente di conoide presenti nel fondovalle principale di spessore da pluri-metrico a pluri-decametrico,, sono costituiti da miscela di ghiaia e sabbia con componente limosa variabile ma elevata nei corpi deposizionali alimentati dai calcescisti, e sono classificabili secondo la classificazione delle terre U.S.C.S. come GM. Sono caratterizzati da un basso grado di addensamento, e presentano generalmente da buone ad elevate caratteristiche geotecniche. L'ambiente genetico-deposizionale è di tipo conoide alluvionale (ca).
Non è conosciuta la formazione su cui poggiano . E' ragionevole ,però pensare sia rappresentata dal substrato roccioso in quanto i depositi glaciali di fondo sono stati presumibilmente asportati dall'erosione subglaciale da parte dei torrenti alimentati dalle acque di fusione nelle fasi di regresso cataglaciale.
- Le coperture detritico-eluviali e colluviali limoso argillose, poste sul substrato roccioso, sono classificabili secondo la classificazione U.S.C.S. come ML; sono pertanto materiali poco consistenti, a granulometria fine o mista, poggianti direttamente sul substrato roccioso posto a profondità variabile dai 5 ai 10 m e l'ambiente genetico-deposizionale è di versante (ec).
- I depositi glaciali sono costituiti da diamicton massivi con clasti arrotondati o subarrotondati immersi in matrice sabbiosa o sabbioso-limosa, e sono classificabili secondo la classificazione delle terre U.S.C.S. come GM. L'ambiente genetico-deposizionale è glaciale classificabile come till di allogamento (tf).
- Gli accumuli gravitativi di versante sono costituiti da depositi eterogenei ed eterometrici a struttura caotica e grado di addensamento diverso. Non hanno ambiente genetico- deposizionale particolare.
- Il substrato geologico ($V_s > 800$ m/s) risulta costituito da litotipi con caratteristiche geomeccaniche da buone a ottime in relazioni alla scistosità, alla fratturazione ed al grado di alterazione. È attribuibile ad un substrato lapideo stratificato (LPS) e si presenta a profondità variabili rispettivamente da 6/8 m nei settori più prossimi agli sbocchi vallivi a oltre 100 m nella piana del capoluogo

6 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.

a. Carta delle indagini

Nella carta vengono riportati i punti ed il tipo di indagini effettuate.

In particolare sono stati reperiti dati inerenti, i sondaggi a carotaggio continuo, i sondaggi con prove penetrometriche SPT in foro, le prove Down-Hole e i profili sismici a rifrazione.

Sono anche riportati i punti nei quali sono state effettuate le indagini HVSR a stazione singola e la indagine MASW effettuate nell'ambito del presente studio.

Alla carta è allegata la banca dati inerente tutte le informazioni previste negli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica (Vers. 3.0).

b. Carta geologico tecnica

La carta geologico tecnica a supporto degli studi di micro zonazione 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 :

- le ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GMca)
- i limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (MLec).
- i depositi glaciali (GMti)

Per quanto riguarda il substrato geologico rigido si ha il substrato lapideo stratificato (LPS).

Sono infine riportate le aree con materiali di risulta e le aree riquotate antropicamente, classificate come Terreni contenenti resti di attività antropica (RI).

La carta riporta anche le tracce delle sezioni geologiche – tecniche rappresentative del modello geologico.

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

Inoltre sono state riportate le forme di superficie riconosciute all'interno del territorio comunale e in particolare: gli orli di terrazzi fluviali con altezze maggiori di 20 m, i conoidi alluvionali, la valle sepolta stretta ($C \geq 0,25$) e larga ($C < 0,25$)..

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

Di seguito sono state riportate le sezioni geologico tecniche ricostruite per l'area di studio. Nelle sezioni sono stati 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, finalizzate alla costruzione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) sulla base dei dati presenti nell'area.

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

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

Le microzone della carta sono classificate in due categorie:

- a) Zone stabili, nelle quali non si ipotizzano effetti locali dovuti ad amplificazione litostratigrafica (substrato geologico in affioramento);
- b) Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico locale;

Le zone classificate come Zone stabili sono quelle in cui si ha la presenza del substrato lapideo.

Le Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono state suddivise in diverse zone caratterizzate dalla presenza di terreni di copertura diversa e di diversa potenza fino al raggiungimento del terreno caratterizzato da Vs maggiori di 800 m/s.

Sono presenti Zone di attenzione (ZA) legate ad instabilità di versante mentre mancano zone di attenzione legate a fenomeni di liquefazione, faglie attive e capaci e cedimenti differenziali.

In particolare:

- La Zona 1 è caratterizzata dalla presenza di limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ML), con spessore variabile da 3 m a 15 m.
- La Zona 2 è caratterizzata dalla presenza di terreni contenenti resti di attività antropica, cioè aree riquotate antropicamente (RI), con spessore variabile da 5 a 10 m poggianti su ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GM), con spessore variabile da 10 m a 30 m.
- La Zona 3 è caratterizzata dalla presenza di ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia (GP), con spessore variabile da 5 m a 25 m.
- La Zona 4 è caratterizzata dalla presenza di ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GM), con spessore variabile da 5 m a 20 m.
- La Zona 5 è caratterizzata dalla presenza di ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GM), con spessore variabile da 20 m a 40 m.
- La Zona 6 è caratterizzata dalla presenza di limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ML), con spessore variabile da 5 m a 45 m.

Nella carta sono riportate anche le forme di superficie quali:

- gli orli di terrazzi fluviali con altezza compresa tra 10 e 20 m, e maggiore di 20 m;
- la valle sepolta stretta ($C \geq 0,25$) e larga ($C < 0,25$);
- le creste

Inoltre sono stati riportati i punti di misure di rumore ambientale con l'indicazione del valore della frequenza di risonanza f_0 (HVSF).

ALLEGATO

REGIONE PIEMONTE
PROVINCIA DI TORINO
COMUNE DI BARDONECCHIA

INDAGINI E STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA CON GRADO DI
APPROFONDIMENTO CORRISPONDENTE AL LIVELLO 1 DEGLI ICMS

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI SITO
MISURE DI SISMICA ATTIVA CON METODOLOGIA MASW
MISURE DI SISMICA PASSIVA H/V



RAPPORTO INTERPRETATIVO DELLE INDAGINI

GF

ELABORATO

ALLEGATO

--

DICEMBRE 2015

DATA EMISSIONE

15001-26-GF

CODICE



Via Donati, 14
10121 Torino

Tel: 011-3975311
Fax: 011-3493790
info@ing-con.org

Geol. M. Lavezzi

REDATTO

Ing. S. Monti

CONTROLLATO

Ing. S. Monti

APPROVATO



Comune di Bardonecchia
Piazza De Gasperi, 1
10052 Bardonecchia (TO)

SISMICA ATTIVA - MASW

ANALISI DEI DATI E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I risultati dell'indagine sono riportati in allegato; sono fornite le tavole contenenti il sismogramma registrato in fase di misura ed i relativi grafici ottenuti dall'elaborazione (Tavv. M-01, M-02, M-03), l'ubicazione di ciascun stendimento e la relativa documentazione fotografica.

Ogni tavola riporta il sismogramma prodotto dai 24 geofoni in fase di acquisizione dati, ossia a seguito dell'attivazione del geofono starter dopo l'energizzazione, le curve delle velocità rapportate alla frequenza ed alla profondità del terreno, una tabella di calcolo delle Vs ed il valore finale di Vs₃₀.

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti.

MASW1 – Borgo Vecchio

Schematizzazione dello stendimento geofonico MASW

Interdistanza geofonica	<i>dx</i>	2 m
Distanza sorgente da primo ed ultimo ricevitore	<i>x</i>	5 m
Lunghezza complessiva dell'array geofonico	<i>D</i>	46 m

Tipo di analisi: Onde di Rayleigh

Valori calcolati e stimati dal modello medio

Profondità	Spessori	Vs	Vp - stima	Poisson - stima	Densità - stima
3.1	3.1	278	681	0.40	1.96
5.9	2.8	410	932	0.38	2.04
12.5	6.6	312	658	0.35	1.95
21.3	8.8	844	1829	0.36	2.20
<i>half-space</i>	<i>half-space</i>	1125	2009	0.20	2.22

Vs₃₀ modello medio (m/s)	529
Classificazione suolo secondo D.M. 14/01/2008	Classe E

I risultati ottenuti consentono di evidenziare un sottosuolo costituito da un mezzo di discrete caratteristiche di resistenza meccanica nei primi 12.5 m da p.c. caratterizzato da alternanza di strati a diversa velocità con una inversione e, nel complesso, da graduale aumento della velocità. A -12.5 m di profondità da piano campagna è riscontrabile il bedrock sismico di riferimento ($V_s > 800$ m/s).

Ai sensi delle NTC/08, si può ragionevolmente assegnare il terreno alla classe E. La velocità media delle onde S, calcolata con media ponderata, nei primi 12,5 m è pari a 325 m/s e pertanto ricadrebbe in classe C, malgrado l'inversione misurata¹. Poiché tale orizzonte poggia direttamente sul bedrock, inteso come suolo rigido caratterizzato da $V_s > 800$ m/s, si rientra nella definizione di normativa della Classe E.

MASW2 – Pineta

Schematizzazione dello stendimento geofonico MASW

Interdistanza geofonica	<i>dx</i>	2 m
Distanza sorgente da primo ed ultimo ricevitore	<i>x</i>	10 m
Lunghezza complessiva dell'array geofonico	<i>D</i>	46 m

Tipo di analisi: Onde di Rayleigh

¹ Secondo le Linee Guida del Dipartimento della Protezione Civile per la Microzonazione Sismica si definisce l'inversione di velocità nel profilo delle V_s qualora sia realizzata la condizione in cui un terreno rigido sovrasta stratigraficamente un terreno meno rigido (soffice) con un rapporto $\frac{V_{s_{rig}}}{V_{s_{soft}}} > 2$ e con la V_s dello strato più rigido maggiore di 500 m/s.

Secondo questo criterio è possibile non considerare l'inversione di velocità riscontrata nell'indagine in oggetto come significativa al fine dell'attribuzione della classificazione sismica. Infatti, l'interpretazione rigorosa delle NTC/08 imporrebbe di assegnare il sottosuolo alla classe S2.

È opportuno ricordare che il criterio utilizzato per la definizione delle inversioni di velocità è applicabile in situazioni in cui il sottosuolo è assimilabile ad un modello monodimensionale (strati piano paralleli e orizzontali, omogenei e a comportamento viscoelastico); coerentemente con le Linee Guida per la Microzonazione sismica emanate dal Dipartimento di Protezione Civile, qualora le condizioni geologiche non permettano una tale semplificazione sono necessarie ulteriori indagini per valutare eventuali fenomeni di amplificazione e la risposta sismica locale.

Valori calcolati e stimati dal modello medio

Profondità	Spessori	Vs	Vp - stima	Poisson - stima	Densità - stima
5.1	5.1	326	659	0.34	1.95
11.1	6.0	490	1135	0.39	2.08
13.8	2.7	432	879	0.34	2.02
22.6	8.8	515	1147	0.37	2.09
26.1	3.5	440	829	0.30	2.01
<i>half-space</i>	<i>half-space</i>	760	1422	0.30	2.14

Vs₃₀ modello medio (m/s)	466
Classificazione suolo secondo D.M. 14/01/2008	Classe B [S2]

I risultati ottenuti consentono di evidenziare un sottosuolo composto da un mezzo di caratteristiche di resistenza meccanica da discrete a buone; al di sotto di un primo livello meno addensato, si rileva un orizzonte dalle caratteristiche abbastanza omogenee malgrado il profilo di velocità presenti due inversioni. A circa -26 m di profondità si evidenzia un salto netto del profilo per l'improvviso aumento della velocità delle onde S. Il bedrock sismico di riferimento ($V_s > 800$ m/s) non è riscontrabile per tutta la profondità indagata, pari a 30 m di profondità da piano campagna.

Ai sensi delle NTC/08, per un $V_{s,30} = 470$ m/s si potrebbe ragionevolmente assegnare il terreno alla classe B, malgrado l'inversione misurata. Valgono infatti le considerazioni sopra riportate (vedasi nota a pagina precedente). L'interpretazione rigorosa delle NTC/08 imporrebbe però di assegnare il sottosuolo alla classe S2.

MASW3 – Les Arnauds

Schematizzazione dello stendimento geofonico MASW

Interdistanza geofonica	<i>dx</i>	2 m
Distanza sorgente da primo ed ultimo ricevitore	<i>x</i>	10 m
Lunghezza complessiva dell'array geofonico	<i>D</i>	46 m

Tipo di analisi: Onde di Rayleigh

Valori calcolati e stimati dal modello medio

Profondità	Spessori	Vs	Vp - stima	Poisson - stima	Densità - stima
6.5	6.5	253	533	0.35	1.90
17.0	10.5	372	792	0.36	2.00
19.7	2.7	262	547	0.35	1.91
26.6	6.9	483	1019	0.36	2.06
<i>half-space</i>	<i>half-space</i>	1056	2042	0.32	2.23

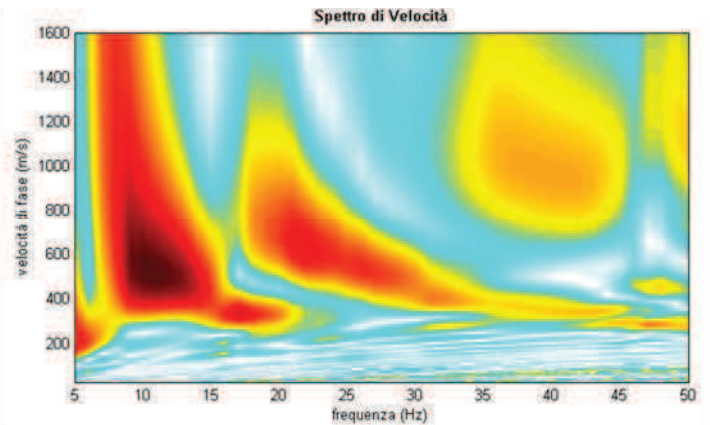
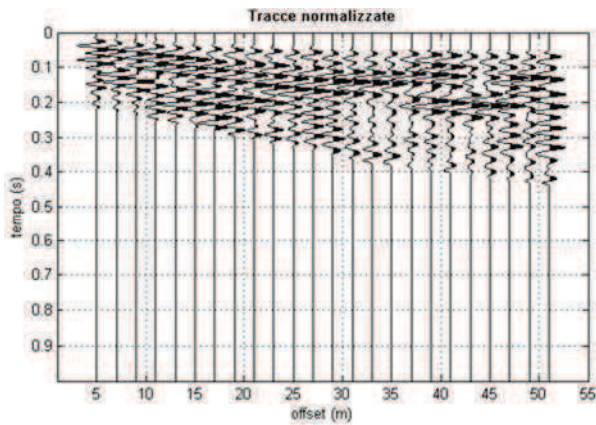
V_{s30} modello medio (m/s)	367
Classificazione suolo secondo D.M. 14/01/2008	Classe B [S2]

I risultati ottenuti consentono di evidenziare un sottosuolo un mezzo di discrete caratteristiche di resistenza meccanica, caratterizzato da graduale aumento della velocità con una inversione. Il bedrock sismico di riferimento ($V_s > 800$ m/s) non è riscontrabile per tutta la profondità indagata, pari a 30 m di profondità da piano campagna.

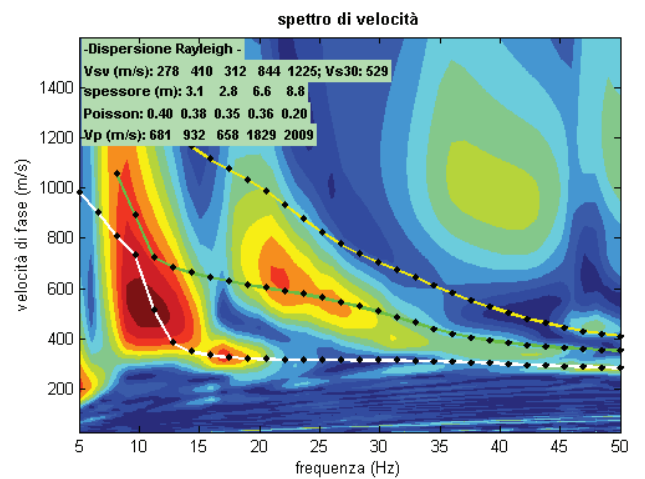
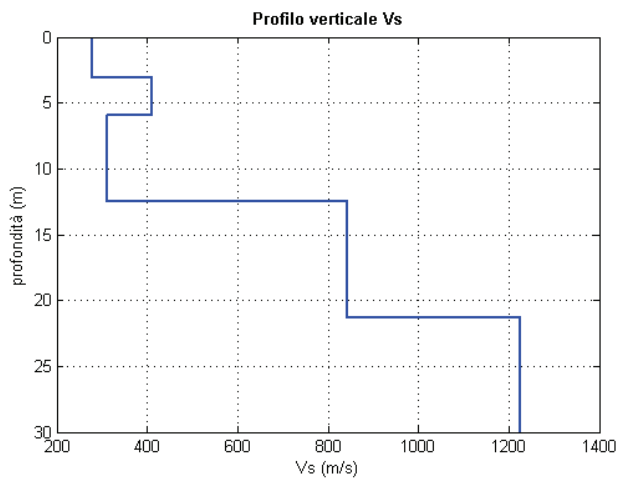
Ai sensi delle NTC/08, per un $V_{s,30} = 367$ m/s si può ragionevolmente assegnare il terreno alla classe B, malgrado l'inversione misurata. Valgono infatti le considerazioni sopra riportate, in quanto l'interpretazione rigorosa delle NTC/08 imporrebbe di assegnare il sottosuolo alla classe S2 (non è verificata la condizione di un amento graduale delle velocità causa il passaggio al bedrock; questo inoltre non si trova entro i 20 m di profondità).

L'attribuzione della categoria sismica è comunque responsabilità del professionista incaricato dello studio di microzonazione sismica in funzione dell'assetto geologico e geomorfologico, della pericolosità sismica di base e di ogni altra informazione in suo possesso: in questa sede si fornisce solamente una indicazione preliminare descrittiva del profilo sismico del terreno.

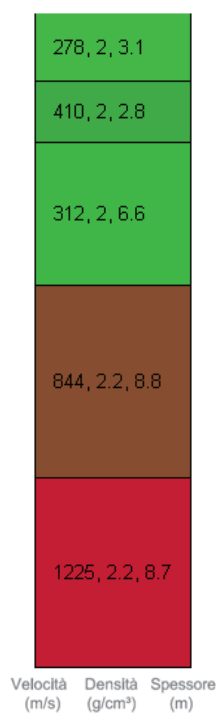
DATI ACQUISITI E SPETTRO DI VELOCITA' CALCOLATO



PROFILO VERTICALE DI Vs IDENTIFICATO E SPETTRO DI VELOCITA' CON CURVA DI DISPERSIONE



PROFILO VERTICALE DI Vs IDENTIFICATO



MODELLO INDIVIDUATO	
Profondità	Vs (m/s)
3.1	278
5.9	410
12.5	312
21.3	844
30	1125

Vs 30	529 m/s
-------	---------

Regione Piemonte
Provincia di Torino
Comune di Bardonecchia

Indagini e studi di microzonazione sismica con grado di approfondimento corrispondente al livello 1 degli ICMS

INDAGINE GEOFISICA MASW
(multichannel analysis of surface waves)

MASW1
Borgo Vecchio



Tavola

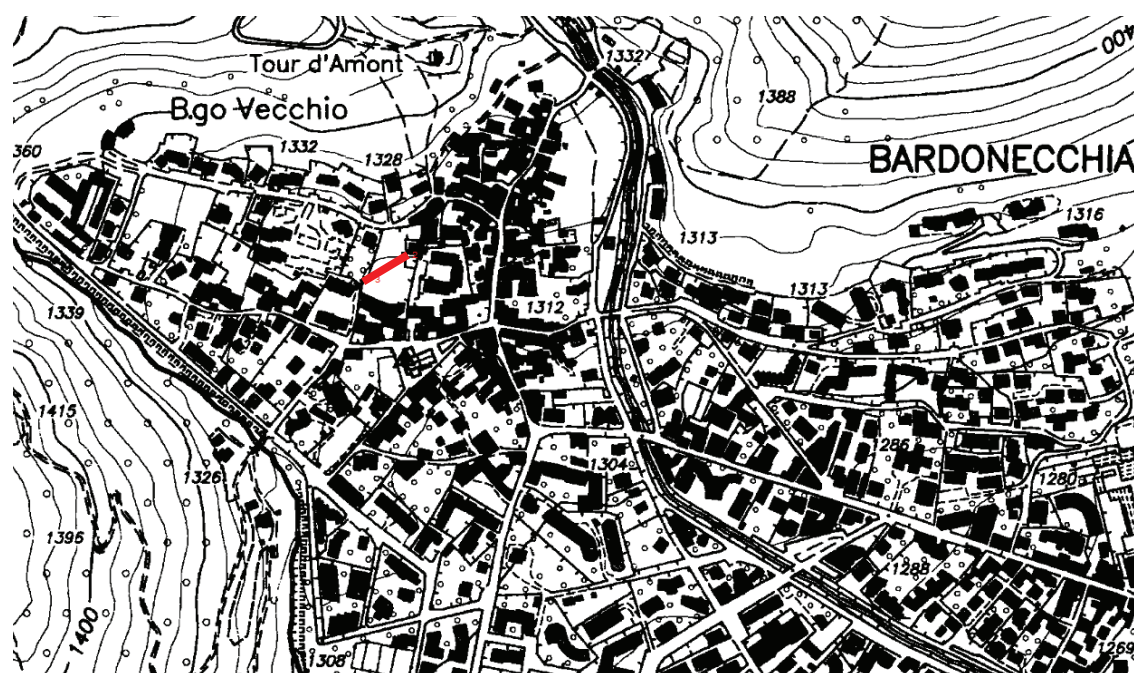
M-01

Data: 24/11/2015
Operatore: geol. M. Lavezzo

UBICAZIONE



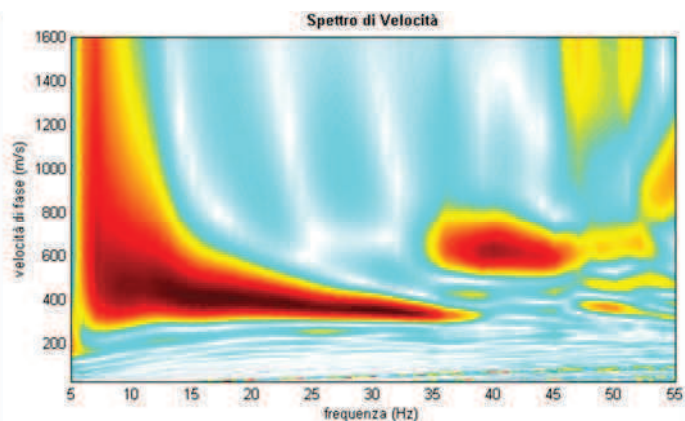
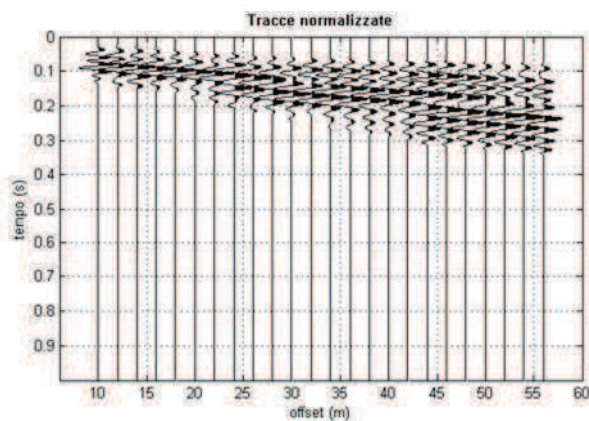
(Fonte: Google Earth).



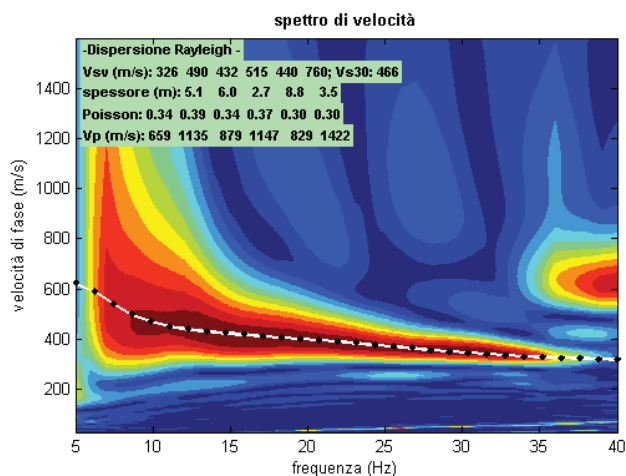
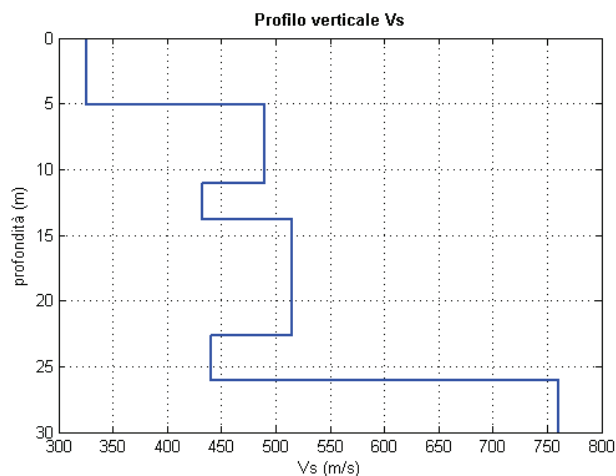
(Fonte: CTR Piemonte Sez. 153090).



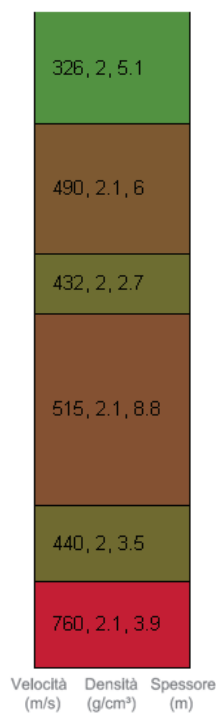
DATI ACQUISITI E SPETTRO DI VELOCITA' CALCOLATO



PROFILO VERTICALE DI Vs IDENTIFICATO E SPETTRO DI VELOCITA' CON CURVA DI DISPERSIONE



PROFILO VERTICALE DI Vs IDENTIFICATO



MODELLO INDIVIDUATO	
Profondità	Vs (m/s)
5.1	326
11.1	490
13.8	432
22.6	515
26.1	440
30	760

Vs 30	466 m/s
-------	---------

Regione Piemonte
Provincia di Torino
Comune di Bardonecchia

Indagini e studi di microzonazione sismica con grado di approfondimento corrispondente al livello 1 degli ICMS

INDAGINE GEOFISICA MASW
(multichannel analysis of surface waves)

MASW2
Pineta



Tavola

M-02

Data: 24/11/2015
Operatore: geol. M. Lavezzo

UBICAZIONE



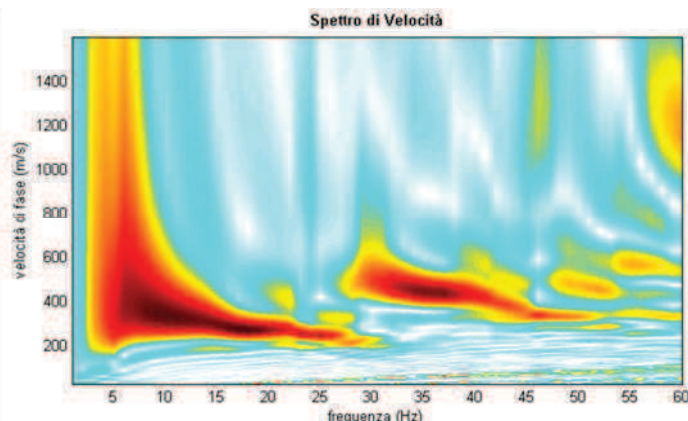
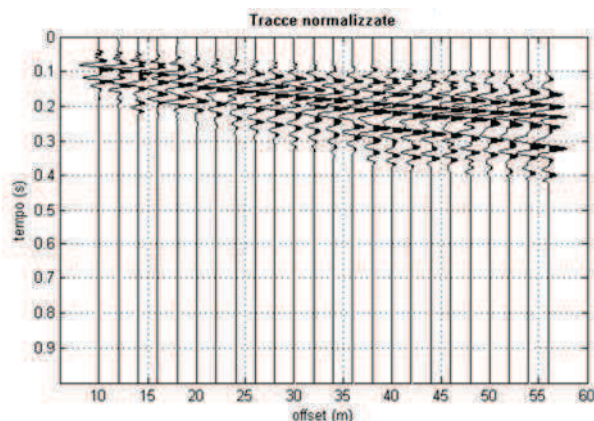
(Fonte: Google Earth).



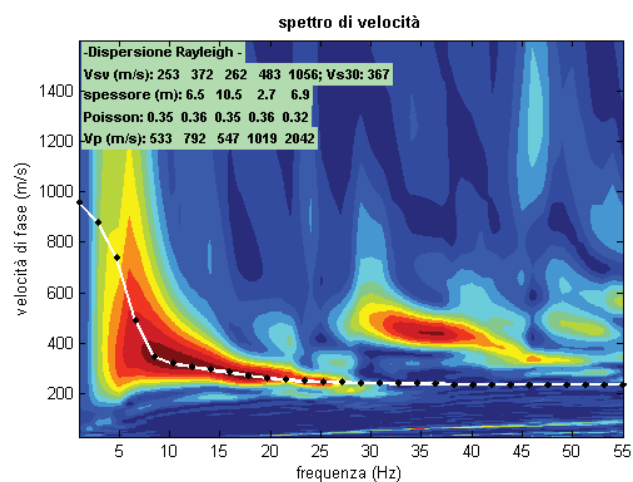
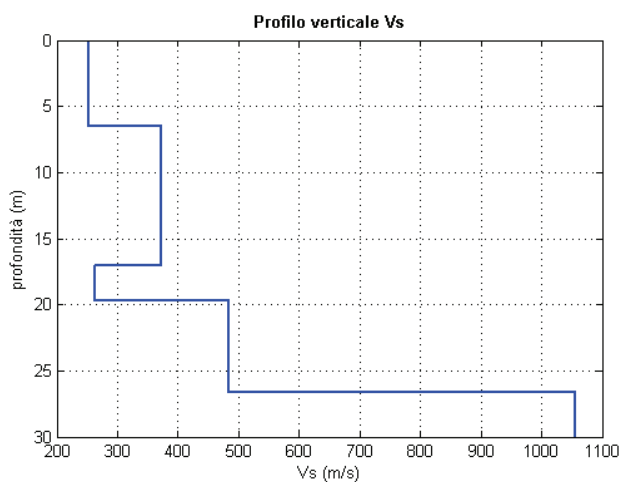
(Fonte: CTR Piemonte Sez. 153090).



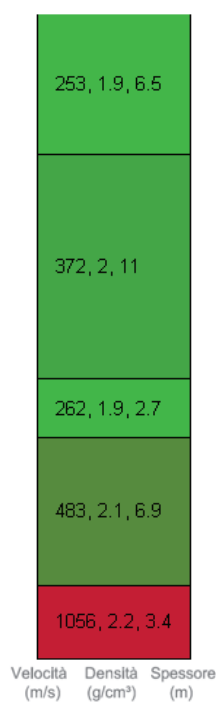
DATI ACQUISITI E SPETTRO DI VELOCITA' CALCOLATO



PROFILO VERTICALE DI Vs IDENTIFICATO E SPETTRO DI VELOCITA' CON CURVA DI DISPERSIONE



PROFILO VERTICALE DI Vs IDENTIFICATO



MODELLO INDIVIDUATO	
Profondità	Vs (m/s)
6.5	253
17.0	372
19.7	262
26.6	483
30	1056

Vs 30	367 m/s
-------	---------

Regione Piemonte
 Provincia di Torino
 Comune di Bardonecchia

Indagini e studi di microzonazione sismica con
 grado di approfondimento corrispondente al
 livello 1 degli ICMS

INDAGINE GEOFISICA MASW
 (multichannel analysis of surface waves)

MASW3
 Les Arnauds



Tavola

M-03

Data: 24/11/2015
 Operatore: geol. M. Lavezzo

UBICAZIONE



(Fonte: Google Earth).



(Fonte: CTR Piemonte Sez. 153090).



SISMICA PASSIVA – H/V

HVSR1

LUOGO: Bardonecchia (Borgo Vecchio)	DATA: 10/12/2015	ORA: 13.15
OPERATORE: ing. Emanuele Bena		
LATTUDINE: 45.081428° N	LONGITUDINE: 6.696648° E	ALTEZZA ELLISSOIDICA: 1332 m
TIPO STAZIONE: Stazione singola	TIPO SENSORE: Geospace 3D-HS1-LT 2 Hz e Geometrics Geode	TIPO GPS:
N° STAZIONE: 1	N° SENSORE: 2	NOME STAZIONE: HVSR1
GUADAGNO: 24 dB	FREQ. CAMP.: 125 Hz	DURATA REG.: 26' 12"
CONDIZIONI METEO	VENTO: No	
	PIOGGIA: No	
	TEMPERATURA: 5 °C	OSSERVAZIONI:
TIPO DI TERRENO	Terra	
ACCOPPIAMENTO ARTIFICIALE TERRENO-STRUMENTO	No	
DENSITÀ EDIFICI	Radi	

SORGENTI DI RUMORE

Transiti	nessuno	poco frequenti	moderato	frequenti	molto frequenti	distanza [m]
Macchine		X				200
Camion	X					
Pedoni	X					
altro						
Sorgenti di rumore	Ambiente urbano					
Strutture vicine						

Regione Piemonte
Provincia di Torino
Comune di Bardonecchia

Indagini e studi di microzonazione sismica con grado di approfondimento corrispondente al livello 1 degli ICMS

MISURA MICROTREMORE SISMICO
(metodologia HVSR – H/V Spectral Ratio)

HVSR1
Loc. Borgo Vecchio



Tavola

H-01

Pag.1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 1 – Foto sensori – dettaglio.

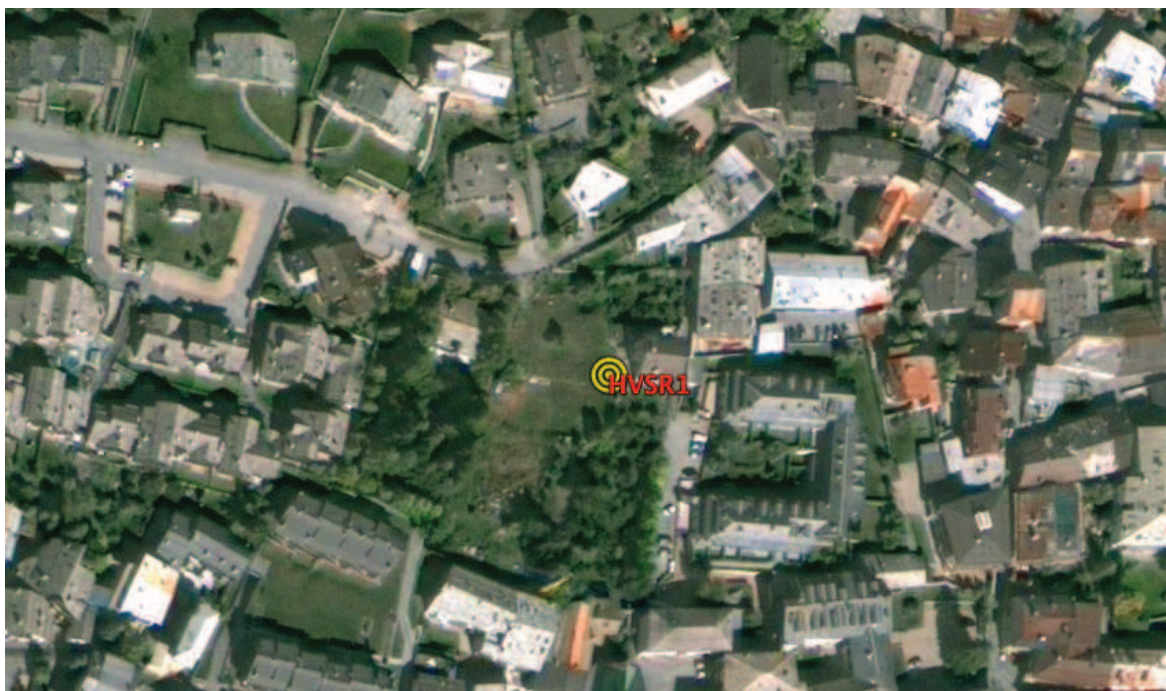


Figura 2 – Foto sensori - Direzione nord (sinistra) e sud (destra).

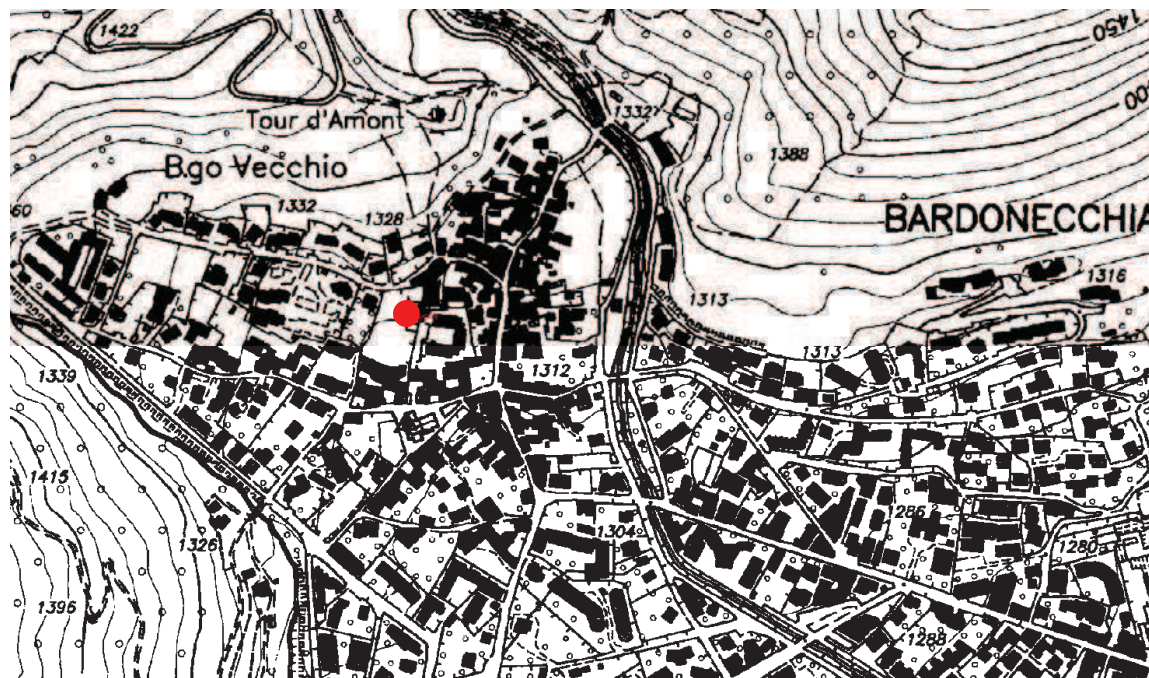


Figura 3 – Foto sensori - Direzione est (sinistra) e ovest (destra).

UBICAZIONE

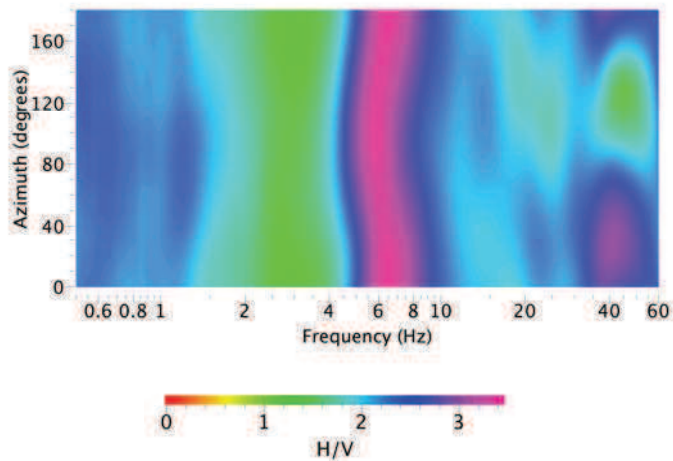


(Fonte: Google Earth).

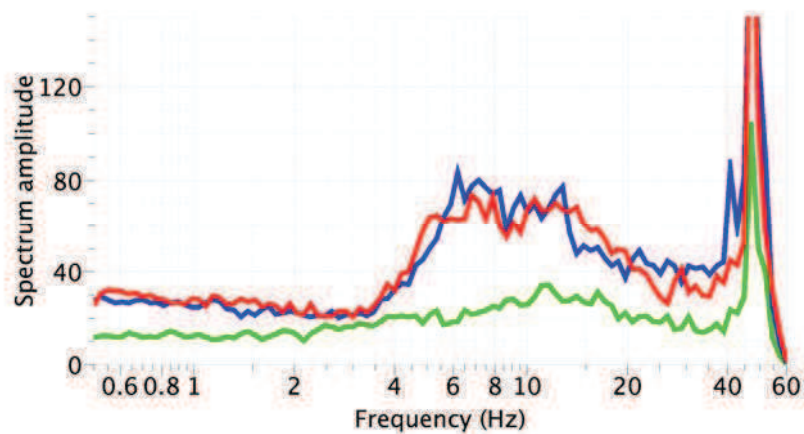


(Fonte: CTR Piemonte Sez. 153090).

DIREZIONALITA' RAPPORTO H/V

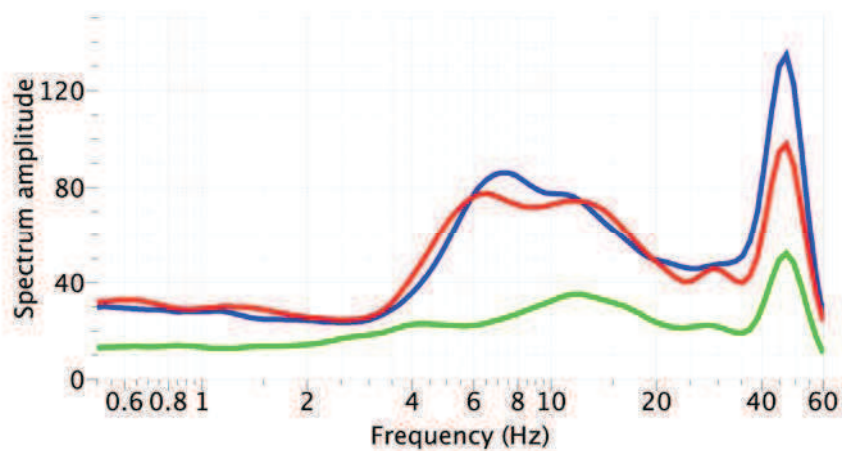


COMPONENTI SPETTRI NON LISCIATI

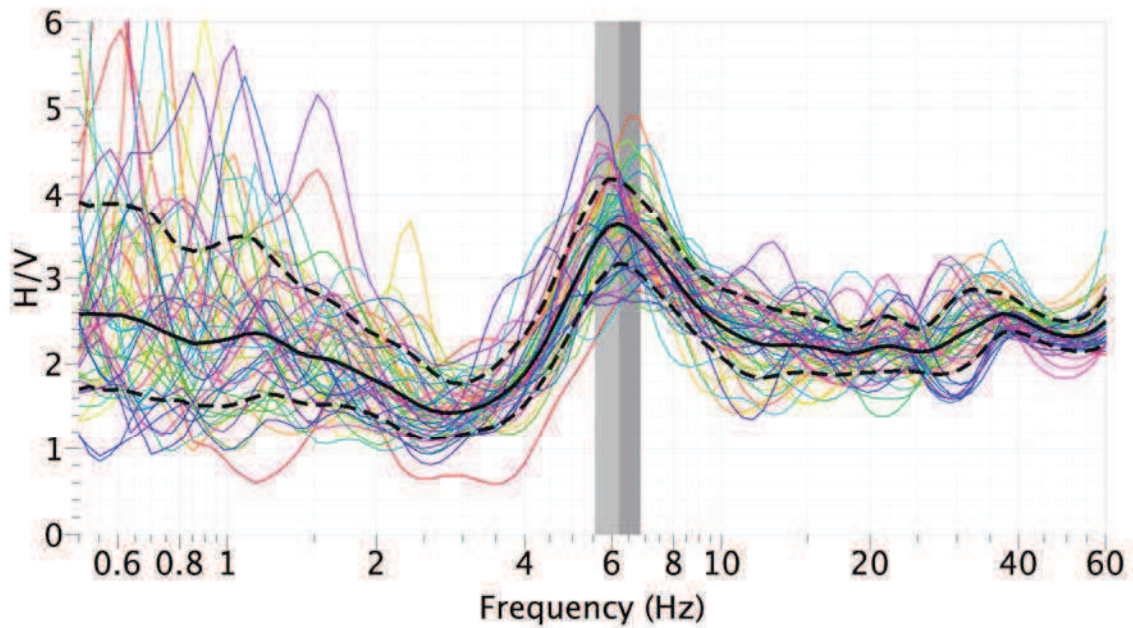


Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

COMPONENTI SPETTRI LISCIATI



Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.



La curva H/V è affidabile ma il picco a 6.22 Hz non è chiaro.

La mappa di direzionalità è ottima e pertanto si ritiene credibile l'esistenza di una risonanza a questa frequenza. Nell'ipotesi di una V_s superficiale pari a circa 300 m/s, si evidenzerebbe un cambio stratigrafico a profondità comprese tra 10 e 15 m.

PARAMETRI DI QUALITA' SESAME

Picco H/V a 6.22 ± 0.66 Hz			
Criteri per una curva H/V affidabile			
criterio	limite	valore	pass
1.1) $f_0 > 10 / I_w$	> 1.43	6.22	ok
1.2) $n_c(f_0) > 200$	> 200	2307.62	ok
1.3) $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	< 2	0.495	ok
Criteri per un picco H/V chiaro			
criterio	limite	valore	pass
2.1) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	< 1.82	1.42	ok
2.2) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	< 1.82	2.11	no
2.3) $A_0 > 2$	> 2	3.63	ok
2.4) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	[5.91 - 6.53]	[6.03 - 6.30]	ok
2.5) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	< 0.31	0.66	no
2.6) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	< 1.58	0.495	ok

HVSR2

LUOGO: Bardonecchia (Pineta)	DATA: 10/12/2015	ORA: 12.20
OPERATORE: ing. Emanuele Bena		
LATTUDINE: 45.074877° N	LONGITUDINE: 6.699922° E	ALTEZZA ELLISSOIDICA: 1280 m
TIPO STAZIONE: Stazione singola	TIPO SENSORE: Geospace 3D-HS1-LT 2 Hz e Geometrics Geode	TIPO GPS:
N° STAZIONE: 1	N° SENSORE: 4	NOME STAZIONE: HVSR2
GUADAGNO: 24 dB	FREQ. CAMP.: 125 Hz	DURATA REG.: 26' 12"
CONDIZIONI METEO	VENTO: No	
	PIOGGIA: No	
	TEMPERATURA: 5 °C	OSSERVAZIONI:
TIPO DI TERRENO	Terra	
ACCOPPIAMENTO ARTIFICIALE TERRENO- STRUMENTO	No	
DENSITÀ EDIFICI	Media	

SORGENTI DI RUMORE

Transiti	nessuno	poco frequenti	moderato	frequenti	molto frequenti	distanza [m]
Macchine		X				200
Camion	X					
Pedoni		X				20
altro						
Sorgenti di rumore		Ambiente urbano				
Strutture vicine		Alberi alti				

Regione Piemonte
Provincia di Torino
Comune di Bardonecchia

Indagini e studi di microzonazione sismica con
grado di approfondimento corrispondente al
livello 1 degli ICMS

MISURA MICROTREMORE SISMICO
(metodologia HVSR – H/V Spectral Ratio)

HVSR2
Loc. Pineta



Tavola

H-02

Pag.1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 1 – Foto sensori – dettaglio.

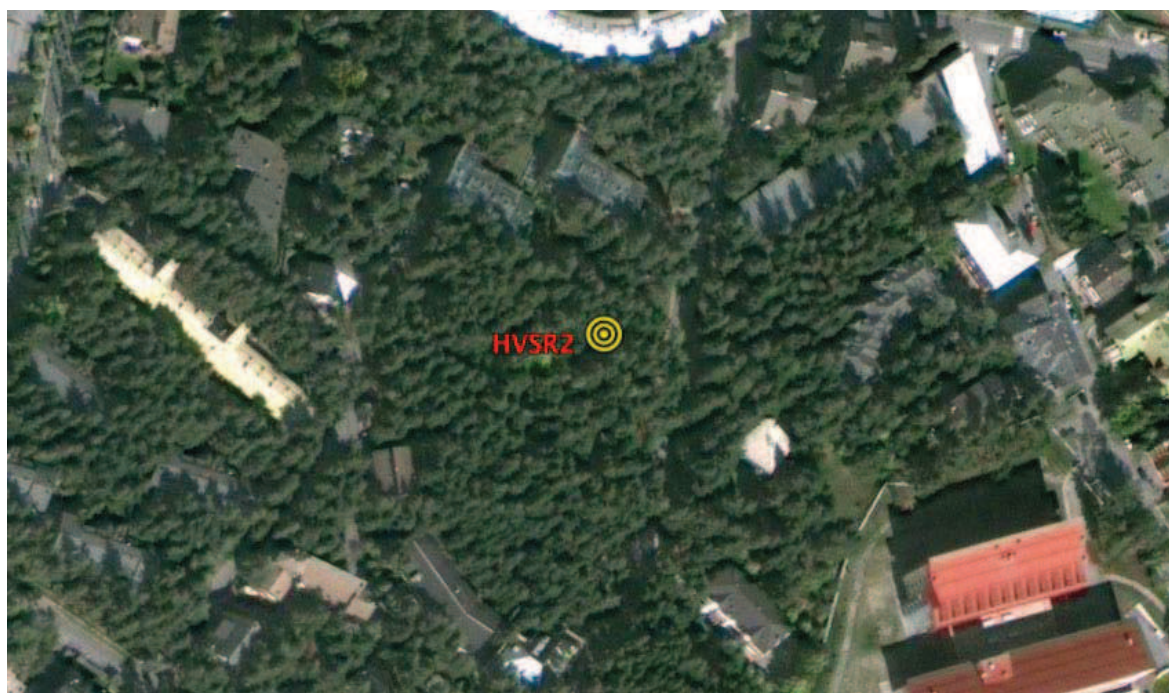


Figura 2 – Foto sensori - Direzione nord (sinistra) e sud (destra).



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

UBICAZIONE

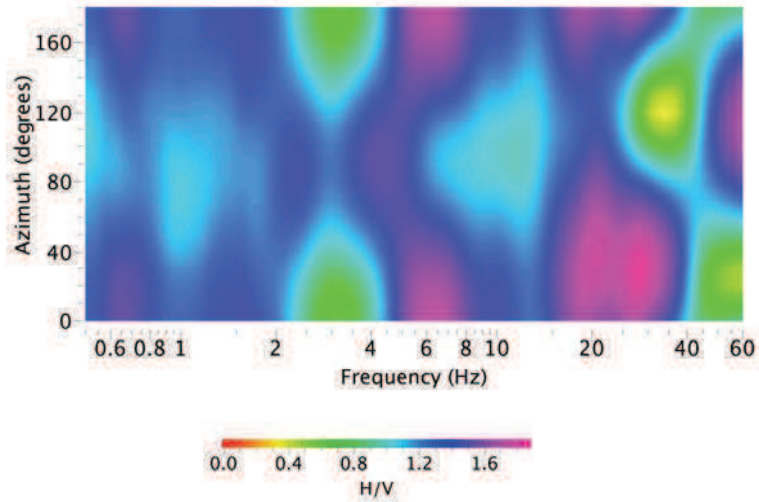


(Fonte: Google Earth).

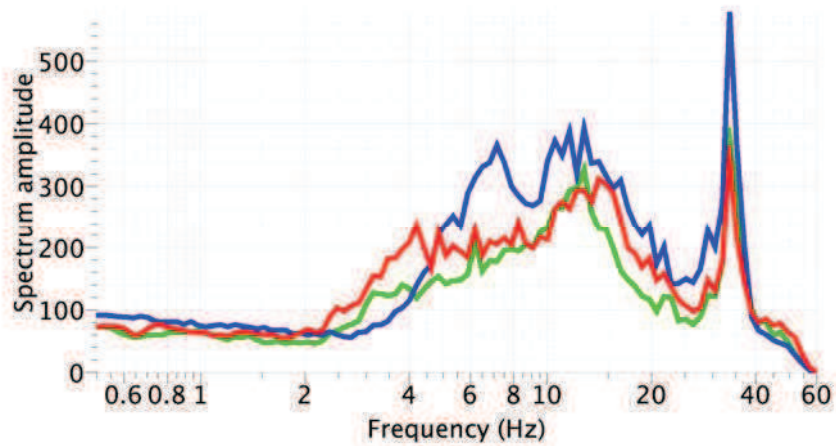


(Fonte: CTR Piemonte Sez. 153090).

DIREZIONALITA' RAPPORTO H/V

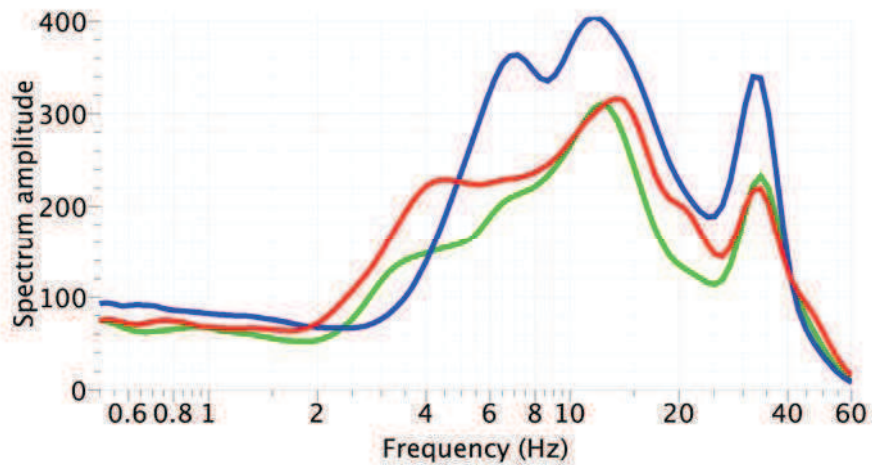


COMPONENTI SPETTRI NON LISCIATI

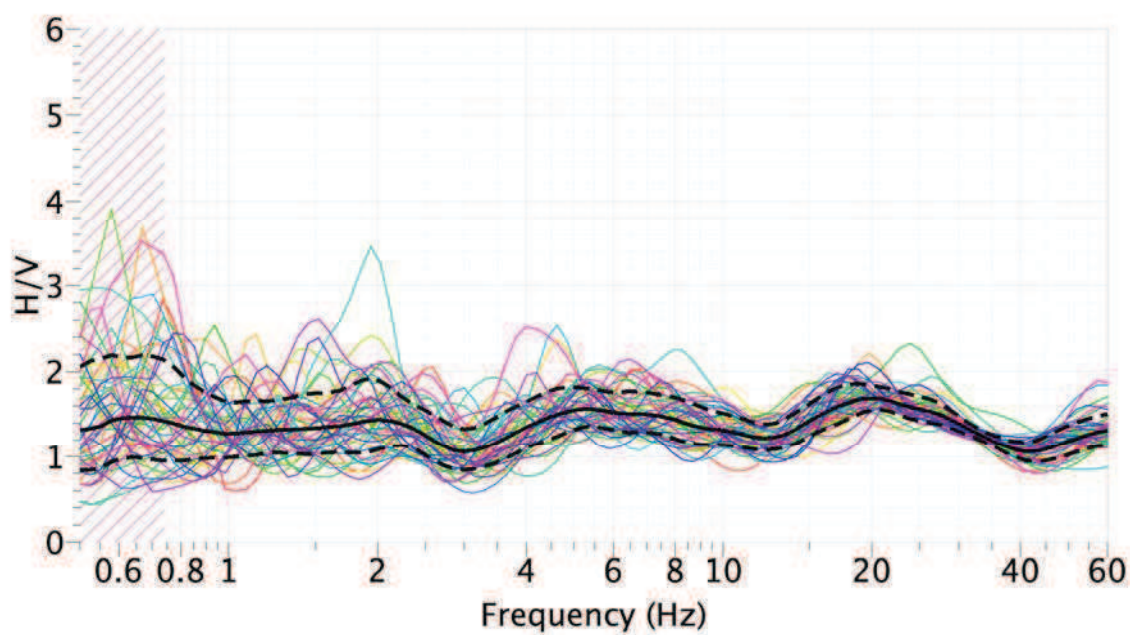


Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

COMPONENTI SPETTRI LISCIATI



Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.



La curva H/V non mostra picchi evidenti.

Poiché la geologia della zona di indagine esclude la presenza di substrato affiorante, è possibile che esista risonanza al di fuori della banda di frequenza investigata.

HVSR3

LUOGO: Bardonecchia Les Arnauds	DATA: 10/12/2015	ORA: 15.00
OPERATORE: ing. Emanuele Bena		
LATITUDINE: 45.066594° N	LONGITUDINE: 6.687826° E	ALTEZZA ELLISSOIDICA: 1355 m
TIPO STAZIONE: Stazione singola	TIPO SENSORE: Geospace 3D-HS1-LT 2 Hz e Geometrics Geode	TIPO GPS:
N° STAZIONE: 1	N° SENSORE: 4	NOME STAZIONE: HVSR3
GUADAGNO: 24 dB	FREQ. CAMP.: 125 Hz	DURATA REG.: 26' 12"
CONDIZIONI METEO	VENTO: No	
	PIOGGIA: No	
	TEMPERATURA: 5 °C	OSSERVAZIONI:
TIPO DI TERRENO	Terra	
ACCOPIAMENTO ARTIFICIALE TERRENO-STRUMENTO	No	
DENSITÀ EDIFICI	Assenti	

SORGENTI DI RUMORE

Transiti	nessuno	poco frequenti	moderato	frequenti	molto frequenti	distanza [m]
Macchine				X		30
Camion		X				30
Pedoni	X					
altro						
Sorgenti di rumore						
Strutture vicine						

Regione Piemonte
Provincia di Torino
Comune di Bardonecchia

Indagini e studi di microzonazione sismica con grado di approfondimento corrispondente al livello 1 degli ICMS

MISURA MICROTREMORE SISMICO
(metodologia HVSR – H/V Spectral Ratio)

HVSR3
Loc. Les Arnauds



Tavola

H-03

Pag.1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 1 – Foto sensori – dettaglio.



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



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

UBICAZIONE

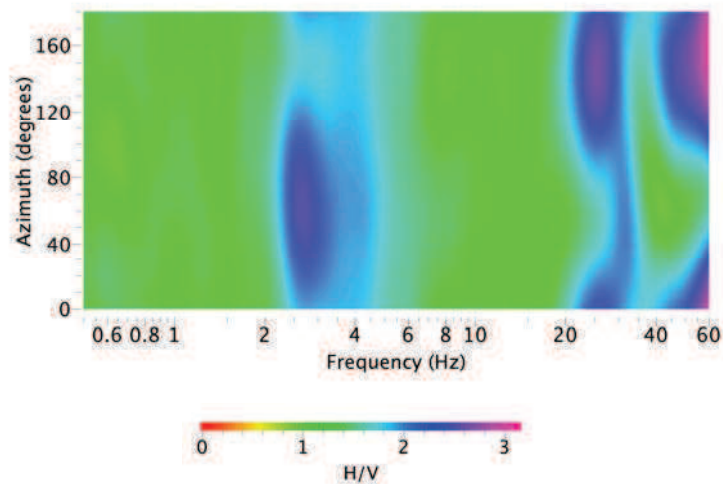


(Fonte: Google Earth).

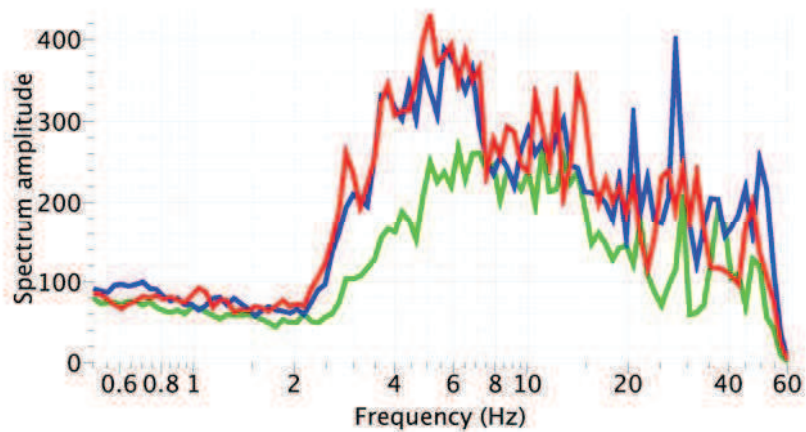


(Fonte: CTR Piemonte Sez. 153090).

DIREZIONALITA' RAPPORTO H/V

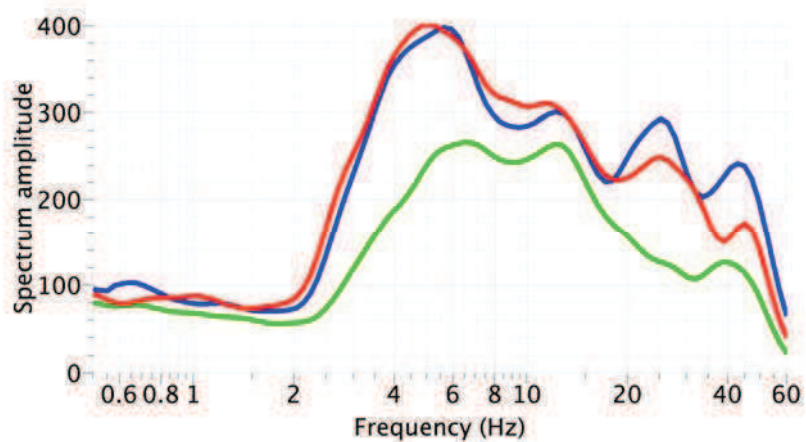


COMPONENTI SPETTRI NON LISCIATI



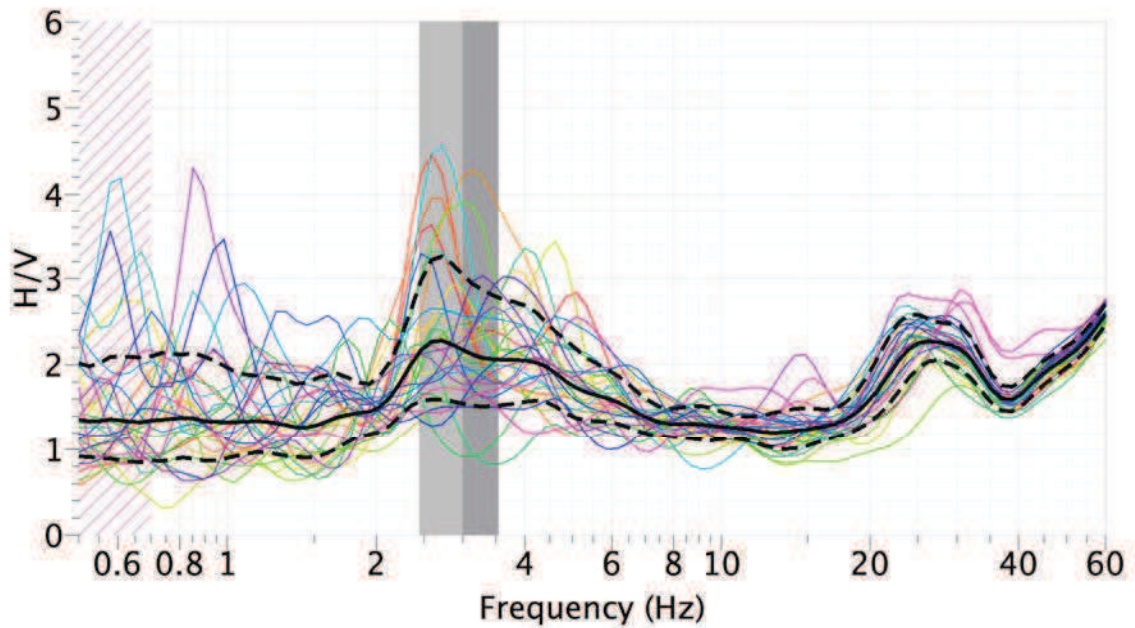
Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

COMPONENTI SPETTRI LISCIATI



Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

H/V



La curva H/V è affidabile ma il picco decisamente poco chiaro.
Alla frequenza di 3 Hz la mappa di direzionalità è discreta.

PARAMETRI DI QUALITA' SESAME

Picco H/V a 3.00 ± 0.55 Hz			
Criteri per una curva H/V affidabile			
criterio	limite	valore	pass
1.1) $f_0 > 10 / l_w$	> 1.43	3.00	ok
1.2) $n_c(f_0) > 200$	> 200	651	ok
1.3) $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	< 2	0.835	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	1.28	no
2.2) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	< 1.09	1.23	no
2.3) $A_0 > 2$	> 2	2.17	ok
2.4) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$[2.85 - 3.15]$	$[2.64 - 2.67]$	no
2.5) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	< 0.15	0.55	no
2.6) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	< 1.58	0.745	ok

HVSR4

LUOGO: Bardonecchia Campo Smith	DATA: 10/12/2015	ORA: 16.40
OPERATORE: ing. Emanuele Bena		
LATITUDINE: 45.072706° N	LONGITUDINE: 6.693335° E	ALTEZZA ELLISSOIDICA: 1295 m
TIPO STAZIONE: Stazione singola	TIPO SENSORE: Geospace 3D-HS1-LT 2 Hz e Geometrics Geode	TIPO GPS:
N° STAZIONE: 1	N° SENSORE: 3	NOME STAZIONE: HVSR4
GUADAGNO: 24 dB	FREQ. CAMP.: 125 Hz	DURATA REG.: 26' 12"
CONDIZIONI METEO	VENTO: No	
	PIOGGIA: No	
	TEMPERATURA: 2 °C	OSSERVAZIONI:
TIPO DI TERRENO	Terreno di riporto gelato	
ACCOPIAMENTO ARTIFICIALE TERRENO-STRUMENTO	No	
DENSITÀ EDIFICI	Assenti (campo cimiteriale)	

SORGENTI DI RUMORE

Transiti	nessuno	poco frequenti	moderato	frequenti	molto frequenti	distanza [m]
Macchine		X				100
Camion	X					
Pedoni		X				
altro						
Sorgenti di rumore	Canale impianto idroelettrico					
Strutture vicine						

Regione Piemonte
Provincia di Torino
Comune di Bardonecchia

Indagini e studi di microzonazione sismica con grado di approfondimento corrispondente al livello 1 degli ICMS

MISURA MICROTREMORE SISMICO
(metodologia HVSR – H/V Spectral Ratio)

HVSR4
Loc. Campo Smith



Tavola

H-04

Pag.1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 1 – Foto sensori – dettaglio.



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

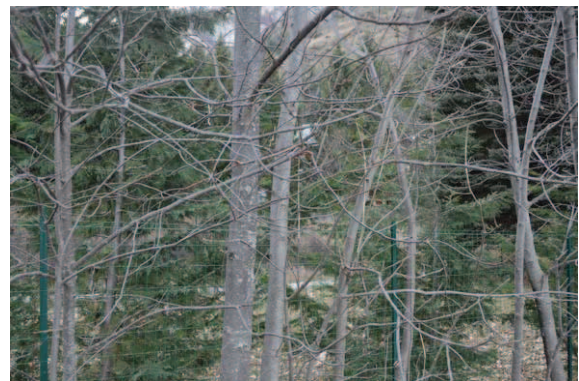


Figura 3 – Foto sensori - Direzione est (sinistra) e ovest (destra).

UBICAZIONE



(Fonte: Google Earth).



(Fonte: CTR Piemonte Sez. 153090).



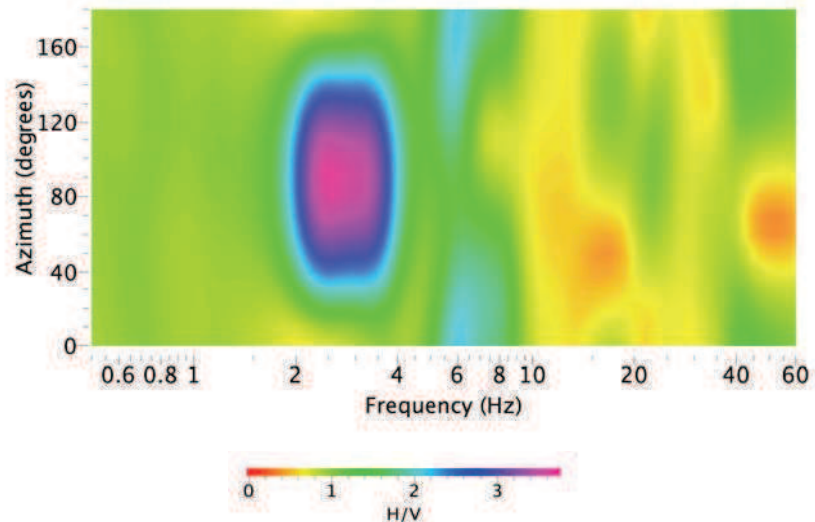
HVSR4
Loc. Campo Smith

Tavola	H-04
	Pag. 3

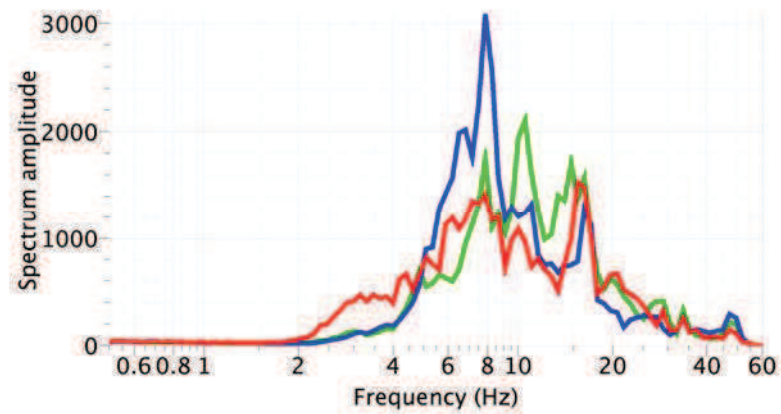
Tavola

Pag. 3

DIREZIONALITA' RAPPORTO H/V

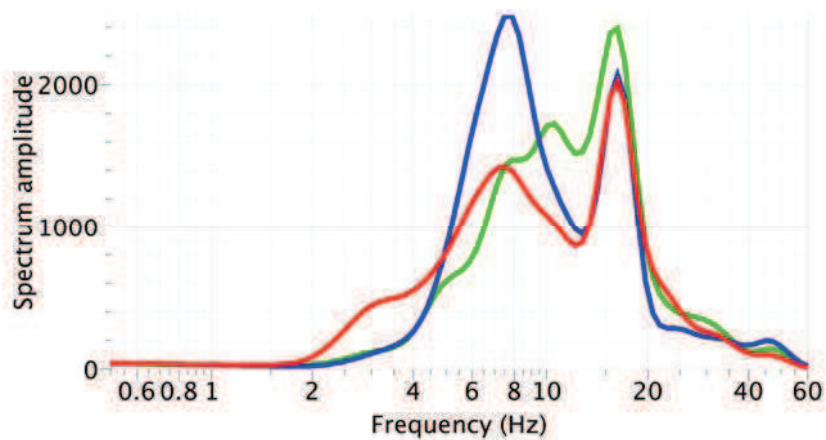


COMPONENTI SPETTRI NON LISCIATI



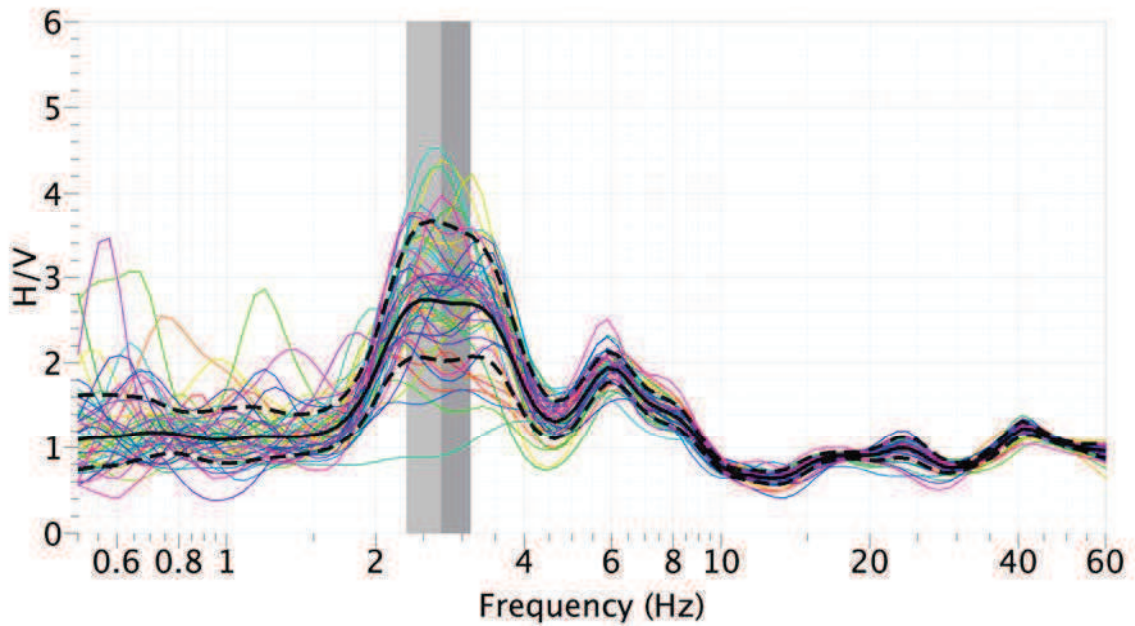
Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

COMPONENTI SPETTRI LISCIATI



Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

H/V



La curva H/V è affidabile e il picco a 2.72 Hz non è chiaro.

Il problema di questa curva è la forte direzionalità della sorgente, probabilmente dovuta alle vibrazioni propagate dalla centrale idroelettrica, posta a nord-ovest del punto di indagine.

PARAMETRI DI QUALITA' SESAME

Picco H/V a 2.72 ±0.40 Hz			
Criteri per una curva H/V affidabile			
criterio	limite	valore	pass
1.1) $f_0 > 10 / l_w$	> 1.43	2.72	ok
1.2) $n_c(f_0) > 200$	> 200	1009.12	ok
1.3) $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	< 2	0.81	ok
Criteri per un picco H/V chiaro			
criterio	limite	valore	pass
2.1) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	< 1.36	1.09	ok
2.2) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	< 1.36	0.71	ok
2.3) $A_0 > 2$	> 2	2.71	ok
2.4) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	[2.58 - 2.86]	[2.43 - 2.60]	no
2.5) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	< 0.14	0.4	no
2.6) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	< 1.58	0.81	ok

HVSR5

LUOGO: Bardonecchia Melezet	DATA: 10/12/2015	ORA: 15.50
OPERATORE: ing. Emanuele Bena		
LATITUDINE: 45.059062° N	LONGITUDINE: 6.681748° E	ALTEZZA ELLISSOIDICA: 1370 m
TIPO STAZIONE: Stazione singola	TIPO SENSORE: Geospace 3D-HS1-LT 2 Hz e Geometrics Geode	TIPO GPS:
N° STAZIONE: 1	N° SENSORE: 2	NOME STAZIONE: HVSR5
GUADAGNO: 24 dB	FREQ. CAMP.: 125 Hz	DURATA REG.: 26' 12"
CONDIZIONI METEO	VENTO: No	
	PIOGGIA: No	
	TEMPERATURA: 3 °C	OSSERVAZIONI:
TIPO DI TERRENO	Terra	
ACCOPIAMENTO ARTIFICIALE TERRENO-STRUMENTO	No	
DENSITÀ EDIFICI	Radi	

SORGENTI DI RUMORE

Transiti	nessuno	poco frequenti	moderato	frequenti	molto frequenti	distanza [m]
Macchine				X		30
Camion			X			30
Pedoni	X					
altro						
Sorgenti di rumore	Cantiere del vallo paramassi					
Strutture vicine						

Regione Piemonte
Provincia di Torino
Comune di Bardonecchia

Indagini e studi di microzonazione sismica con grado di approfondimento corrispondente al livello 1 degli ICMS

MISURA MICROTREMORE SISMICO
(metodologia HVSR – H/V Spectral Ratio)

HVSR5
Loc. Melezet



Tavola

H-05

Pag.1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 1 – Foto sensori – dettaglio.



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

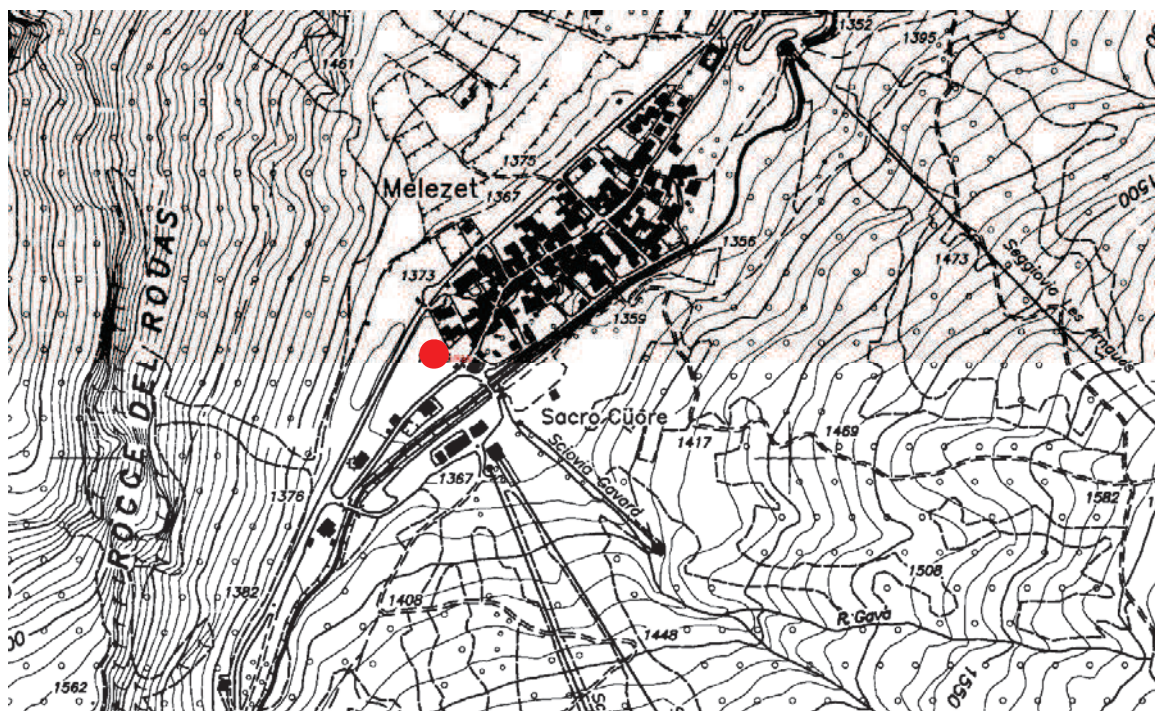


Figura 3 – Foto sensori - Direzione est (sinistra) e ovest (destra).

UBICAZIONE

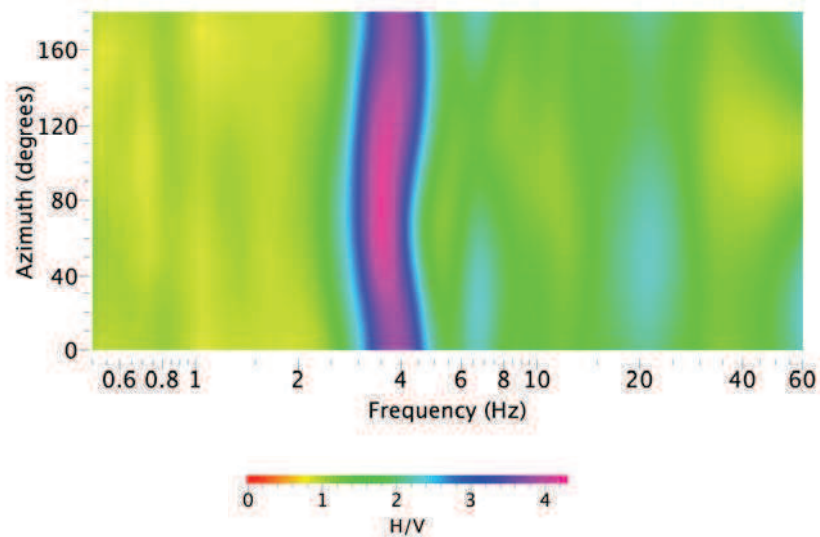


(Fonte: Google Earth).

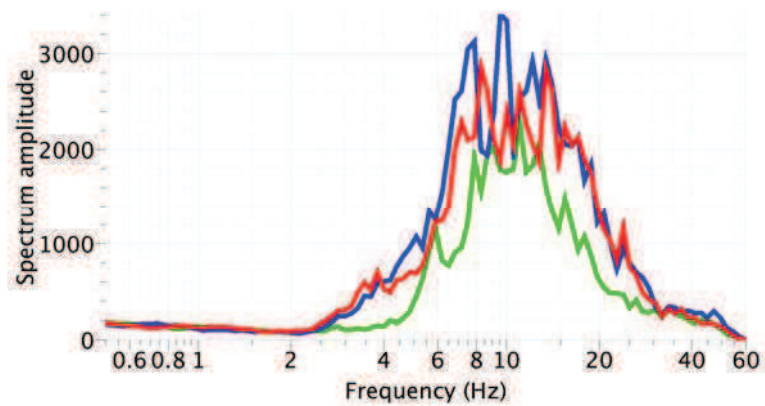


(Fonte: CTR Piemonte Sez. 153090).

DIREZIONALITA' RAPPORTO H/V

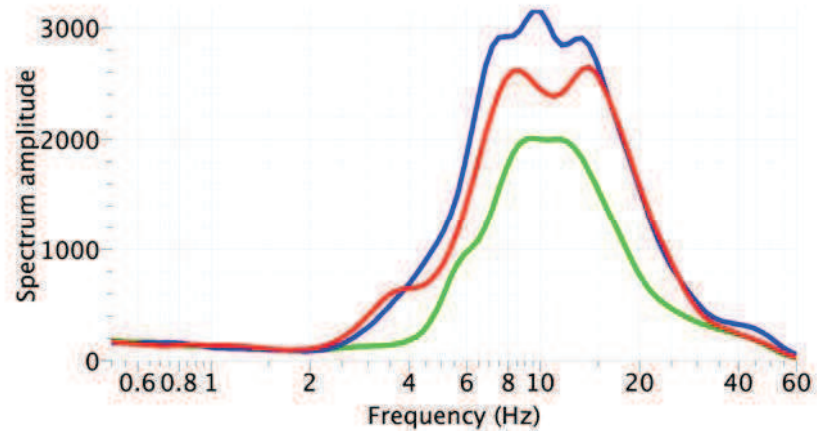


COMPONENTI SPETTRI NON LISCIATI



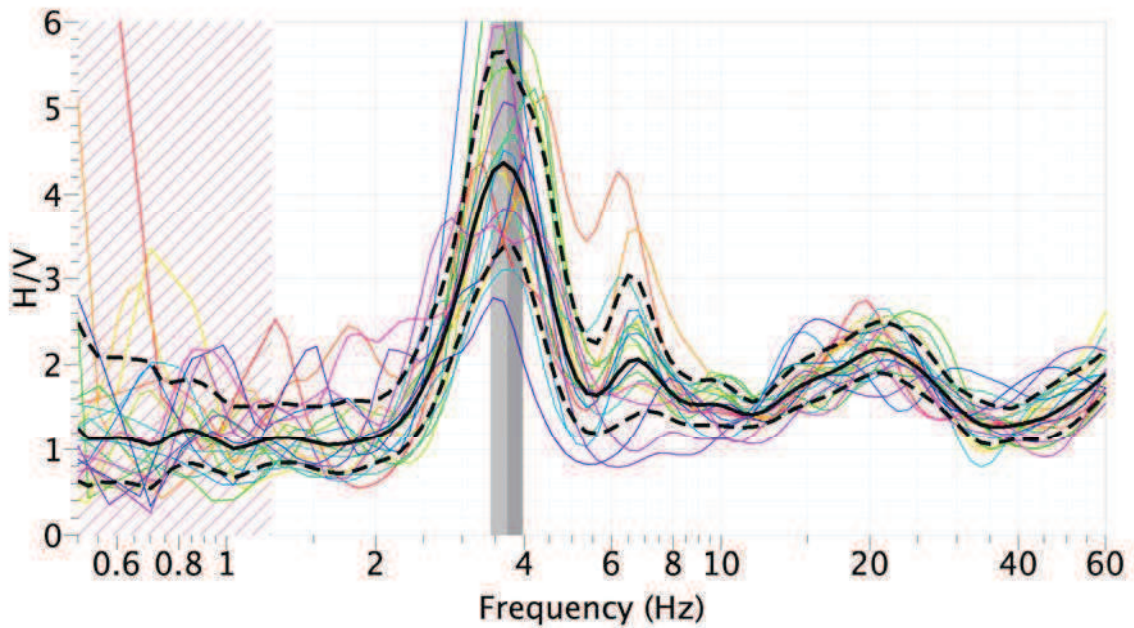
Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

COMPONENTI SPETTRI LISCIATI



Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

H/V



La curva H/V è affidabile e il picco a 3.70 Hz è chiaro.

La mappa di direzionalità è ottima. Sulla base di informazioni geofisiche pregresse, anche il picco a 6.8 Hz ha significato stratigrafico. Si conferma la presenza di substrato alla profondità di circa 35 m.

PARAMETRI DI QUALITA' SESAME

Picco H/V a 3.70 ± 0.28 Hz			
Criteri per una curva H/V affidabile			
criterio	limite	valore	pass
1.1) $f_0 > 10 / l_w$	> 2.00	3.7	ok
1.2) $n_c(f_0) > 200$	> 200	388.5	ok
1.3) $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	< 2	1.095	ok
Criteri per un picco H/V chiaro			
criterio	limite	valore	pass
2.1) $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	< 2.17	1.02	ok
2.2) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	< 2.17	1.4	ok
2.3) $A_0 > 2$	> 2	4.33	ok
2.4) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$[3.52 - 3.89]$	$[3.59 - 3.71]$	ok
2.5) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	< 0.19	0.28	no
2.6) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	< 1.58	1.095	ok

HVSR6

LUOGO: Bardonecchia Millaures	DATA: 10/12/2015	ORA: 11.25
OPERATORE: ing. Emanuele Bena		
LATITUDINE: 45.072013° N	LONGITUDINE: 6.722424° E	ALTEZZA ELLISSOIDICA: 1380 m
TIPO STAZIONE: Stazione singola	TIPO SENSORE: Geospace 3D-HS1-LT 2 Hz e Geometrics Geode	TIPO GPS:
N° STAZIONE: 1	N° SENSORE: 4	NOME STAZIONE: HVSR6
GUADAGNO: 24 dB	FREQ. CAMP.: 125 Hz	DURATA REG.: 26' 12"
CONDIZIONI METEO	VENTO: No	
	PIOGGIA: No	
	TEMPERATURA: 3 °C	OSSERVAZIONI:
TIPO DI TERRENO	Terra	
ACCOPIAMENTO ARTIFICIALE TERRENO-STRUMENTO	No	
DENSITÀ EDIFICI	Radi	

SORGENTI DI RUMORE

Transiti	nessuno	poco frequenti	moderato	frequenti	molto frequenti	distanza [m]
Macchine	X					
Camion	X					
Pedoni	X					
altro						
Sorgenti di rumore	Autostrada e ferrovia a fondovalle					
Strutture vicine						

Regione Piemonte
Provincia di Torino
Comune di Bardonecchia

Indagini e studi di microzonazione sismica con grado di approfondimento corrispondente al livello 1 degli ICMS

MISURA MICROTREMORE SISMICO
(metodologia HVSR – H/V Spectral Ratio)

HVSR6
Loc. Millaures



Tavola

H-06

Pag.1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 1 – Foto sensori – dettaglio.



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



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

UBICAZIONE

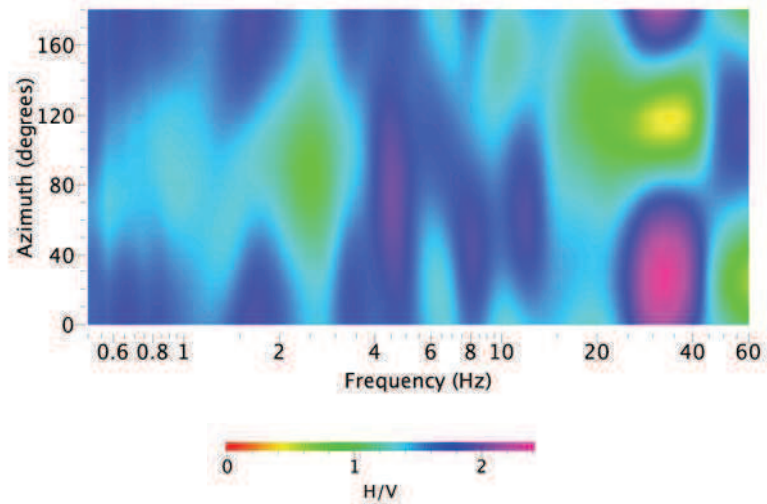


(Fonte: Google Earth).

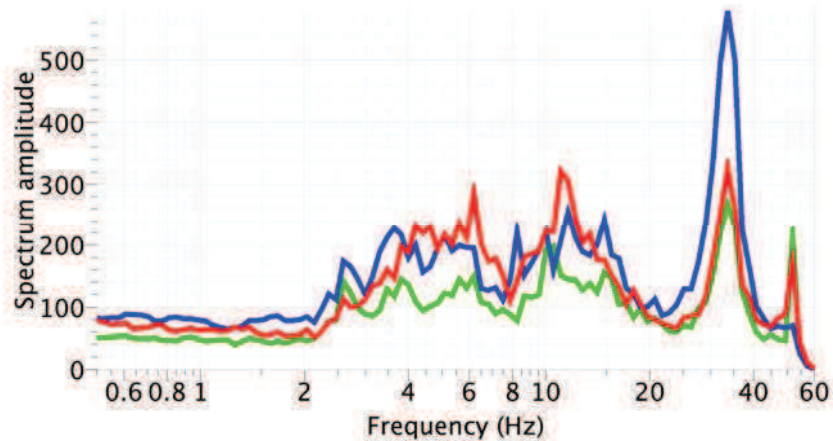


(Fonte: CTR Piemonte Sez. 153090).

DIREZIONALITA' RAPPORTO H/V

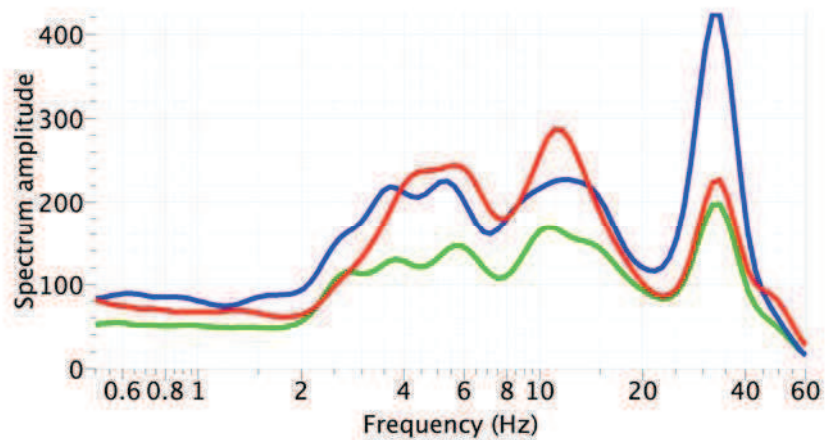


COMPONENTI SPETTRI NON LISCIATI

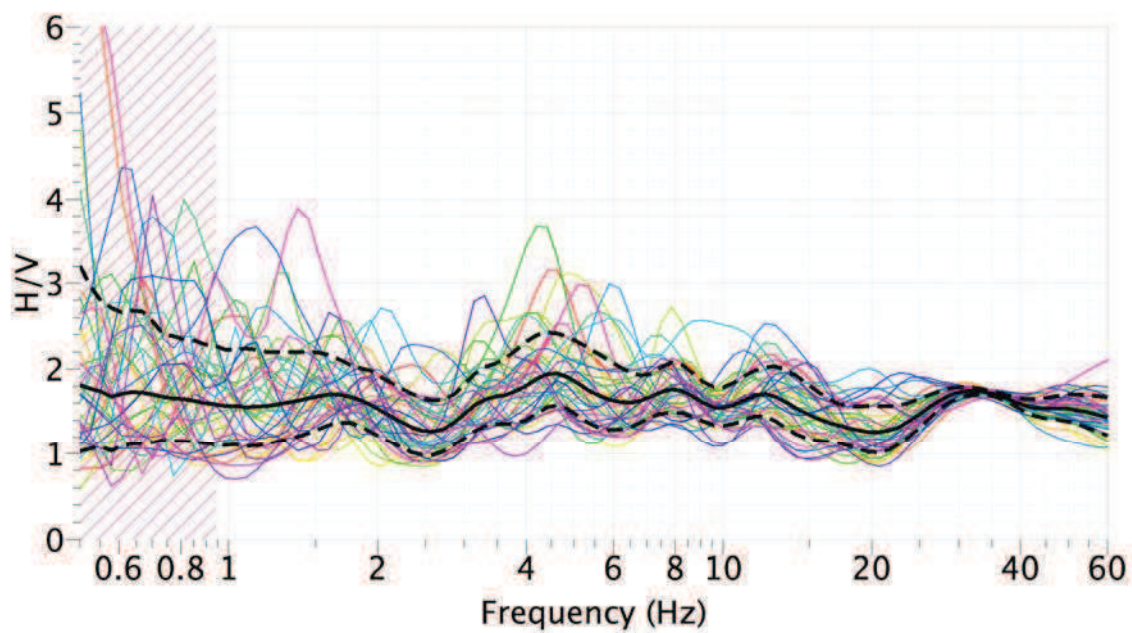


Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.

COMPONENTI SPETTRI LISCIATI



Verde: Z - Blu: N-S - Rosso: E-O.



Non esistono picchi evidenti nella banda 0.5 – 60 Hz.
 Vista la morfologia del versante, è ipotizzabile la presenza di substrato subaffiorante.