



GEOALPI CONSULTING

Geologia - Idrogeologia - Geotecnica - Geologia strutturale

GEOLOGI ASSOCIATI

Elisabetta ARRI - Marco BARBERO - Raffaella CANONICO - Francesco PERES

P.IVA 09303590013

**REGIONE PIEMONTE
CITTA' METROPOLITANA DI TORINO**

**COMUNE DI
VILAFRANCA PIEMONTE**

MICROZONAZIONE SISMICA
Livello I degli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica
(ICMS)

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Il Geologo:

dott. Marco Barbero

dott. Elisabetta Arri

maggio 2018



Via Saluzzo, 52 - 10064 Pinerolo (TO)



Telefono / Fax +39 0121 375017



info@gealpiconsulting.it



www.gealpiconsulting.it

INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. ASPETTI NORMATIVI.....	2
3. ZONAZIONE SISMOGENETICA NAZIONALE PER LA DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA	4
4. PERICOLOSITÀ DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO	6
5. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	11
6. ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO IDROGEOLOGICO – MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	12
7. DATI GEOGNOSTICI E GEOFISICI.....	14
8. ELABORATI CARTOGRAFICI	15
8.1. CARTA DELLE INDAGINI	15
8.2. CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA	15
8.3. CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (CARTA DELLE MOPS)	16
8.4. CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA STABILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	17
9. BIBLIOGRAFIA.....	19

Allegato 1: sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo.

Allegato 2: indagini geofisiche

1. PREMESSA

Su incarico del Comune di Villafranca Piemonte (TO) lo scrivente ha condotto le indagini e gli studi di microzonazione sismica con grado di approfondimento corrispondente al livello 1 di cui agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS), secondo quanto previsto dalla D.G.R. n. 17-2172 del 13/06/2011 e dall'Allegato A "Indirizzi e criteri per la predisposizione degli studi finalizzati alla prevenzione del rischio sismico negli strumenti di pianificazione" approvato dalla Direzione Regionale Codice DB1400 con Determinazione Dirigenziale n. 540 del 09/03/2012. Il presente studio costituisce parte integrante degli elaborati geologici a supporto della Variante Strutturale n. 4 del P.R.G.C. vigente.

A tal fine, si è provveduto in prima battuta alla definizione delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio comunale, facendo riferimento ai dati disponibili in bibliografia, nonché conducendo sopralluoghi mirati a definire il modello geologico-geomorfologico a scala locale; in secondo luogo si è proceduto al censimento dei dati geognostici e geofisici esistenti per il territorio comunale.

Inoltre, secondo quanto indicato nel parere unico ai sensi della DGR 64-7417 del 7/4/2014 espresso dalla Regione Piemonte, Direzione Opere Pubbliche, Difesa del Suolo, Montagna, Foreste, Protezione Civile, Trasporti e Logistica – Settore Tecnico regionale – Area Metropolitana di Torino (lettera protocollo 0001884 del 10/2/2017) in fase di conferenza di coopianificazione della Variante Strutturale n. 4 del Comune di Villafranca Piemonte, è stata condotta una specifica campagna di indagini geofisiche, individuata da n. 2 prove MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) e n. 2 misure di rumore sismico a stazione singola HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), ai fini della definizione della frequenza caratteristica di sito.

I risultati del livello 1 di microzonazione sismica sono rappresentati nei seguenti elaborati cartografici estesi su tutto il territorio comunale:

1. Carta delle indagini (scala 1:10.000);
2. Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (scala 1:10.000);
3. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS, scala 1:10.000).

La base topografica utilizzata è la BDTRE (Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti - Regione Piemonte, versione 2017) alla scala 1:10.000.

2. ASPETTI NORMATIVI

L'individuazione delle zone sismiche, in Italia, è avvenuta agli inizi del '900 attraverso lo strumento del Regio Decreto emanato a seguito dei terremoti distruttivi di Reggio Calabria e Messina del 28 dicembre 1908.

La legislazione antisismica vigente è essenzialmente basata sull'apparato normativo costituito dalla Legge 2 febbraio 1974, n. 64, recante Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche. Infatti, solamente nel 1974, attraverso la Legge n. 64, è stata approvata una nuova normativa sismica nazionale che ha stabilito il quadro di riferimento per le modalità di classificazione sismica del territorio nazionale, oltre che di redazione delle norme tecniche.

Successivamente, gli studi di carattere sismologico effettuati all'indomani del terremoto del Friuli Venezia Giulia del 1976 e di quello in Irpinia del 1980, svolti all'interno del Progetto finalizzato "Geodinamica" del CNR, hanno portato ad un notevole aumento delle conoscenze sulla sismicità del territorio nazionale ed hanno consentito la formulazione di una proposta di classificazione sismica presentata dal CNR al Governo, che è stata tradotta in una serie di decreti del Ministero dei Lavori Pubblici approvati tra il 1980 ed il 1984, costituendo, pertanto, la classificazione sismica italiana fino all'emanazione dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003.

Per quanto riguarda il territorio piemontese, con il Decreto Ministeriale 04/02/1982 n. 82 vengono individuati 41 Comuni sismici nella zona della bassa Val Susa e del Pinerolese.

Su tale impianto normativo si è inserito il nuovo processo di distribuzione delle competenze fra Stato, Regioni ed Enti Locali, attuato con le c.d. "leggi Bassanini" del 15 marzo 1997, n. 59. Conseguentemente, la competenza per l'individuazione delle zone sismiche, la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone è stata trasferita alle Regioni, mentre spetta allo Stato quella di definire i relativi criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e le norme tecniche per le costruzioni nelle medesime zone.

Per quanto riguarda nuovamente il territorio piemontese, con l'Ordinanza Ministeriale 2788/1998: "Comuni ad elevato rischio sismico", vengono individuati 72 territori comunali, compresi i 41 già classificati, ai quali vengono destinati incentivi finanziari finalizzati ad attività di mitigazione del rischio attraverso opere strutturali.

Immediatamente dopo il terremoto del 31 ottobre 2002 che ha colpito i territori al confine fra il Molise e la Puglia, la Protezione Civile ha adottato l'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274, al fine di fornire una risposta immediata alla necessità di aggiornamento della classificazione sismica e delle norme antisismiche.

Alla luce dell'Ordinanza n. 3274 e, a differenza di quanto previsto dalla normativa precedente, tutto il territorio nazionale è stato classificato come sismico e suddiviso in 4

zone, caratterizzate da pericolosità sismica decrescente; tali zone sono individuate da 4 classi di accelerazione massima del suolo con probabilità di accadimento del 10% in 50 anni. Le prime tre zone della nuova classificazione corrispondono, dal punto di vista degli adempimenti previsti dalla Legge n. 64 del 1974, alle zone di sismicità alta, media e bassa, mentre per la zona 4, di nuova introduzione, viene data facoltà alle regioni di imporre l'obbligo della progettazione antisismica. In ogni zona è, infatti, prevista l'applicazione della progettazione sismica con livelli differenziati di severità, salvo, come anzidetto, nella zona 4. Il collegamento tra la classificazione e le norme tecniche risulta, pertanto, molto stretto.

Posto che l'articolo 2, comma 1 dell'O.P.C.M. citata dispone che le Regioni provvedano alla formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche e che la Regione Piemonte con D.G.R. n. 61 - 11017 del 17/11/2003 ha recepito la classificazione sismica di cui all'O.P.C.M. succitata, alla luce dello studio affidato al Politecnico di Torino - Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica e all'Università di Torino, Facoltà di Geologia, (entrambi in collaborazione con il Centro di Competenza Eucentre di Pavia) e dei risultati conclusivi del gruppo di lavoro nazionale (a cui ha partecipato la Regione Piemonte) confluiti nelle linee guida "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" in Italia, nonché ad altri studi effettuati alla scala nazionale dall'I.N.G.V. ed avallati dalla normativa sovra-regionale, la Regione Piemonte con Deliberazione della Giunta Regionale 19 gennaio 2010, n. 11-13058 ha provveduto all'aggiornamento ed adeguamento dell'elenco delle zone sismiche.

In ultimo si precisa che il riferimento normativo più aggiornato risulta essere attualmente la Deliberazione della Giunta Regionale 21 maggio 2014, n. 65-7656: "Individuazione dell'ufficio tecnico regionale ai sensi del D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 e ulteriori modifiche e integrazioni alle procedure attuative di gestione e controllo delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. 12 dicembre 2011, n. 4-3084".

A livello nazionale si richiama il Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 con il quale sono state approvate le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC08) che definiscono i principi generali per il progetto, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni e forniscono i criteri generali di sicurezza a tutela della pubblica incolumità; le predette Norme Tecniche sono entrate in vigore a partire dal 1 luglio 2009 e si applicano indistintamente a tutte le costruzioni, indipendentemente dalla zona di classificazione sismica in cui sono realizzate.

COMUNE DI VILLAFRANCA PIEMONTE:

Classificazione ai sensi della DGR n. 11-13058 del 19 gennaio 2010

In vigore dal 1 gennaio 2012 a seguito della approvazione della DGR n. 4-3084 del 12 dicembre 2011: **classe 3**

3. ZONAZIONE SISMOGENETICA NAZIONALE PER LA DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) in ottemperanza all'O.P.C.M. 20/03/2002 n. 3274 ha provveduto a rielaborare le mappe relative alla zonazione sismogenetiche (ZS9) del territorio nazionale con la finalità di delineare uno strumento necessario alla ridefinizione della pericolosità sismica⁽¹⁾.

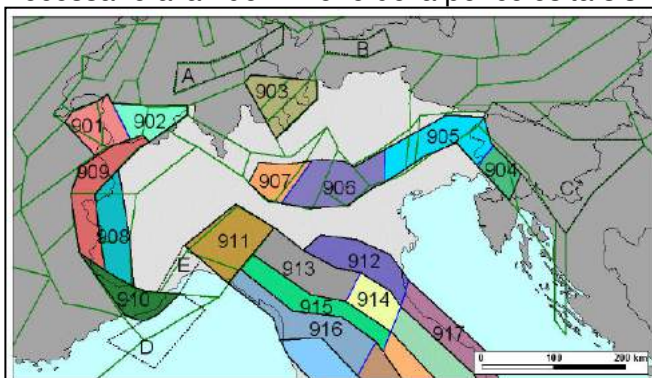


Figura 01
Zonazione sismogenetica ZS9 per il Nord Italia a confronto con zonazioni precedenti. Fonte INGV, 2004 (cfr. nota 4).

Per quanto riguarda il territorio oggetto del presente studio, la zona sismogenetica di riferimento risulta essere l'area denominata 908 (ricadente entro il settore di *Arco Alpino*) che, unitamente alla zona 909, disegna l'arco alpino occidentale. Si tratta di due zone disposte secondo due fasce parallele all'asse della catena alpina che rispecchiano i meccanismi focali che contraddistinguono le alpi occidentali secondo le due direttrici tettoniche dell'Arco sismico piemontese (zona interna della catena) e dell'Arco sismico brianzonese (zona esterna).

Di seguito si riporta in stralcio la tabella riassuntiva estrapolata dal Rapporto Conclusivo di cui alla nota n. 4 con le principali caratteristiche della zona sismogenetica 908.

Zona	Numero di eventi Md>2.0	Numero di eventi Md>2.5	Numero di eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
901	18	15	2	4.0	8-12	8
902	34	25	2	3.8	8-12	10
903	23	19	2	4.5	8-12	9
904	13	9	1	3.4	5-8	7 *
905	181	110	32	4.8	5-8	8 *
906	41	34	13	4.7	5-8	8 *
907	33	19	7	4.2	5-8	8 *
908	495	128	25	3.7	8-12	10
909	263	94	9	4.1	8-12	10
910	80	24	2	3.4	8-12	10
911	126	91	18	4.1	8-12	8

¹ INGV (2004) - Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica prevista dall'O.P.C.M. del 20 marzo 2003, n. 3274, All. 1 - Rapporto Conclusivo.

 MICROZONAZIONE SISMICA
 LIVELLO 1 DEGLI INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (ICMS)
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

La definizione delle aree sismogenetiche si compone come uno dei numerosi tasselli che hanno portato alla zonizzazione del territorio nazionale in aree omogenee sotto il profilo della pericolosità sismica (espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di accadimento del 10% in 50 anni) che si riflette, a livello normativo, in una serie di azioni volte alla riduzione del rischio sismico.

Analizzando nel dettaglio quanto presente nell'ambito del progetto DISS (*Database of Individual Seismogenic Sources*) predisposto su piattaforma GIS dall'INGV, si osserva come la sorgente sismogenetica alla quale ricondurre le valutazioni in merito alla pericolosità sismica del territorio comunale in esame sia di tipo composito e, nel particolare sia legata all'area denominata ITCS023, della quale si allega la scheda descrittiva.

In sintesi, si evince che, rispetto a quanto delineato nella normativa tecnica di riferimento, la sismicità dei territori che costituiscono la porzione più sud-occidentale della pianura pinerolese sia riconducibili a regimi tettonici connessi all'evoluzione del fronte appenninico in iterazione con l'arco del Monferrato.

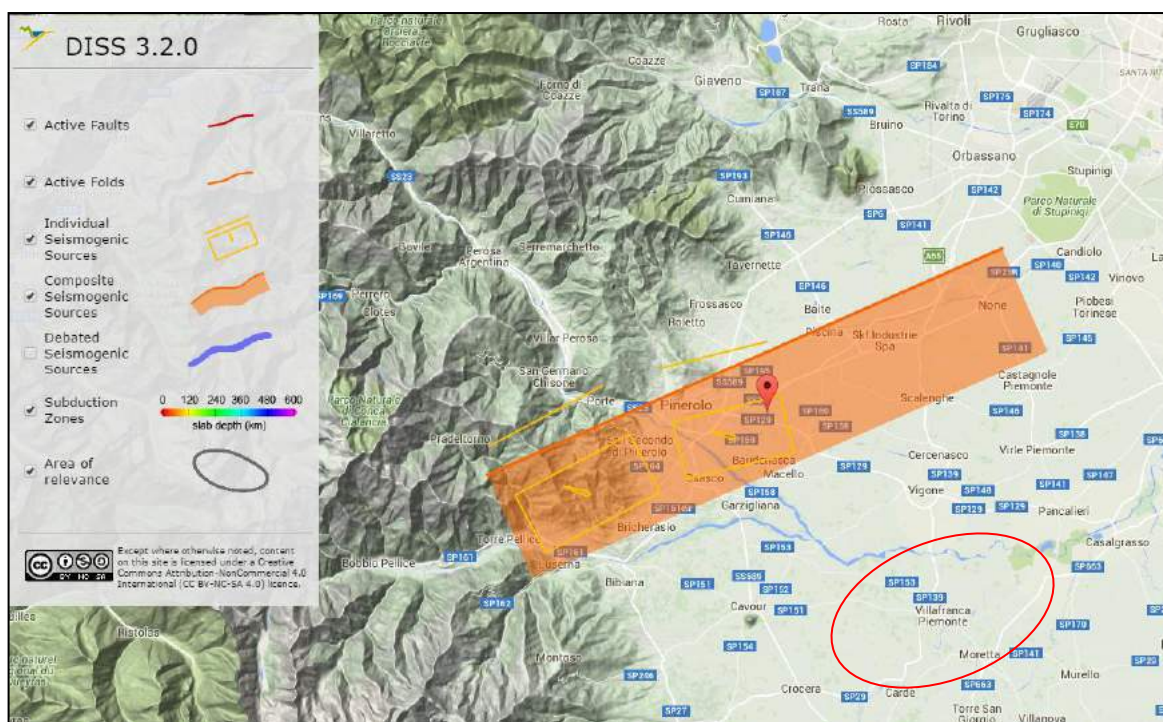


Figura 02
 INGV –DISS versione 3.2.0: Database of Individual Seismogenic Sources
<http://diss.rm.ingv.it/dissGM/index.html?II=ITCS023>
 In rosso si evidenzia il territorio comunale di Villafranca Piemonte.



COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES

[COMMENTARY](#) ▼[PICTURES](#) ▼[REFERENCES](#) ▼[USER COMMENTS](#) ▼GEOLOGICAL
GEOPHYSICAL
SOURCESINDIVIDUAL
SEISMOGENIC
SOURCESCOMPOSITE
SEISMOGENIC
SOURCESDEBATED
SEISMOGENIC
SOURCES

SUBDUCTION ZONES

USER COMMENTS

**GENERAL INFORMATION**

DISS-ID	ITCS023
Name	Western Piemonte
Compiler(s)	Burrato P.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	08-Jan-2005
Updated	03-Aug-2006

Display map ...



Related sources

[ITIS071](#) [ITIS073](#)**PARAMETRIC INFORMATION**

	PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	1.0	OD	Based on inference from intensity data of the 1808 earthquakes.
Max depth [km]	7.0	OD	Based on the maximum depth of the individual seismogenic sources.
Strike [deg] min... max	60...80	OD	Based on regional geological data.
Dip [deg] min... max	40...50	EJ	Inferred from regional geological data.
Rake [deg] min... max	130...155	EJ	Inferred from geological data, constrained by orientation of T axes.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...1.0	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	5.7	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

ACTIVE FAULTS**ACTIVE FOLDS****COMMENTARY**

COMMENTS

This composite source belongs to the Monferrato Arc of the Northern Apennines outermost thrust fronts. It includes the blind thrusts forming the western portion of the Monferrato Arc.

Historical and instrumental catalogues (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) show few moderate earthquakes that hit the Monferrato Arc. The largest events occurred south-west of Torino at the Alps foothills on 2 and 16 April 1808 (Mw 5.7 and 5.6, respectively).

The outermost Apennine thrust fronts are traditionally divided into three arcs, that from west to east are: the Monferrato, the Emilia, and the Ferrara-Romagna arcs. In the central and eastern sectors (i.e. Emilia and Ferrara-Romagna arcs) they are buried below the Po Plain sediments and have been mapped using subsurface geophysical exploration data. These structures deform the base of the Plio-Quaternary sequence south of the Po River, and are formed by blind, north-verging thrusts and folds. Conversely, the north-verging Monferrato Arc, that is the westernmost of the three Northern Apennines arcs, is an outcropping anticlinorium (Elter and Pertusati, 1973).

The strike of this source was taken from the general orientation of mapped tectonic structures

(N60°-80°). The dip was inferred from regional geological considerations concerning the thrust plane (40°-50°). The rake was assumed to represent thrusting with right-lateral component of motion, based on general geodynamic considerations (130-155). The minimum and maximum depths were inferred by geometrical considerations concerning the depth at which active thrusting is rooted (1.0 and 7.0 km, respectively). The slip rate was inferred from regional geodynamic data (0.1 – 1.0 mm/y). The maximum magnitude was taken from that of the largest historical earthquake occurred in the region (Mw 5.7).

PICTURES

Blind thrusts SW of Torino
Seismotectonic map of the western Alps
Regional deformation of the western Alps



REFERENCES

- Aigotti, D., G. Collo and E. Zanella 1988 I depositi lacustri della bassa Val Pellice (Provincia di Torino). *Boll. Mus. Reg. Sc. Nat.*, 6, 1, 305-319.
- Aillères, L., J. M. Bertrand and M. Champenois 1995 New structural data from the "Zone Houillere Briançonnaise" (French Alps), nealpine Tectonics and consequences for the interpretation of the Pennine Front. *C. R. Acad. Sci.*, 321, 247-254.
- Armando, A., R. Lanza, E. Rodriguez and L. Sambuelli 1985 Studio geofisico della Rocca di Cavour e del basamento cristallino allo sbocco della Valle Pellice. *Geogr. Fis. Din. Quat.*, 8, 3-9.
- Baer, M., N. Deichmann, D. Fäh, U. Kradolfer, D. Mayer-Rosa, E. Rüttener, T. Schler, S. Sellami and P. Smit 1997 Earthquakes in Switzerland and surrounding regions during 1996. *Eclogae Geol. Helv.*, 90, 557-567.
- Baroux, E., N. Béthoux, and O. Bellier 2001 Analyses of the stress field in southeastern France from earthquake focal mechanisms. *Geophys. J. Int.*, 145, 336-348.
- Bethoux, N., M. Cattaneo, P. Y. Delpech, C. Eva and J. P. Réhault 1988 Mécanismes au foyer de séismes en mer Ligure et dans le sud des Alpes occidentales: Résultats et interpretation. *C. R. Acad. Sci.*, 307, 71-77.
- Biancotti, A. 1977 Dinamica ed evoluzione della Pianura Padana tra i fiumi Po e Pellice. *Boll. Soc. Geol. It.*, 225-241.
- Biancotti, A. 1979 Rapporti tra morfologia e tettonica nella pianura cuneese. *Geogr. Fis. Din. Quat.*, 2, 51-56.
- Bistacchi, A., E. Eva, M. Massironi and S. Solarino 2000 Miocene to Present kinematics of the NW-Alps: evidences from remote sensing, structural analysis, seismotectonics and thermochronology. *J. Geodyn.*, 30, 205-228.
- Bortolami, G. C., F. Campanino, F. Carraro, P. A. Clari, M. G. Forno, E. Ferrero, G. Ghibauda, V. Maso and B. Ricci 1978 Dati preliminari sulla neotettonica dei F. 56 Torino, F. 68 Carmagnola, F. 80 Cuneo. in: *Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia*, pubbl. n. 155 del P.F.G., C.N.R., 149-179.
- Boschi, E., E. Guidoboni, G. Ferrari, D. Mariotti, G. Valensise and P. Gasperini 2000 Catalogue of Strong Italian Earthquakes, 461 b.C to 1997. *Ann. Geofis.*, 43, 609-868, with database on CD-ROM.
- Calais, E. 1999 Continuous GPS measurements across the Western Alps, 1996–1998. *Geophys. J. Int.*, 138, 221-230.
- Calais, E., J. M. Nocquet, F. Jouanne and M. Tardy 2002 Current strain regime in the western Alps from continuous Global Positioning System measurements, 1996–2001. *Geology*, 30, 7, 651-654.
- Cannic, S., J. L. Mugnier and J. M. Lardeaux 1999 Neogene extension in the western Alps. *Mem. Sci. Geol. Padova*, 51, 1, 33-45.
- Capponi, G., C. Eva and F. Merlanti 1980 Some considerations on seismotectonics of the western Alps. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 22, 8, 223-240.
- Capponi, G., C. Eva and F. Merlanti 1981 Il terremoto del 5-1-1980 nel Pinerolese. *Boll. Soc. Geol. It.*, 4, 497-501.
- Champagnac, J. D., C. Sue, B. Delacou and M. Burkhard 2004 Brittle deformation in the inner NW Alps: from early orogen-parallel extrusion to late orogen-perpendicular collapse. *Terra Nova*, 16, 232-242, 10.1111/j.1365-3121.2004.00555.
- Champagnac, J. D., C. Sue, B. Delacou, P. Tricart, C. Allanin and M. Burkhard 2006 Miocene lateral extrusion in the inner western Alps revealed by dynamic fault analysis. *Tectonics*, 25, TC3014, 10.1029/2004TC001779.
- Collo, G. 1990 Segnalazione di sedimenti quaternari deformati in Val Pellice (TO). *Il Quaternario*, 3, 1, 5-14.
- Collo, G. 1994 Dislocazioni fragili ad attività tettonica olocenica in Val Germanasca (Alpi occidentali, Provincia di Torino). *Il Quaternario*, 7, 1, 103-108.
- Collo, G. 1995 L'evoluzione tettonica recente del Pinerolese (Alpi occidentali, prov. di Torino) nell'ambito dei rapporti tra le Alpi e la Collina di Torino. in: Polino, R. and R. Sacchi (eds), *Rapporti*

tra Alpi-Appennino e guide alle escursioni, 463-483.

Collo, G., and M. Giardino 1997 Deformation of "Villafranchian" lacustrine sediments in the Chisone valley (Western Alps, Italy). *J. Geodyn.*, 24, 1-4, 281-292.

Collombet, M., J. C. Thomas, Y. Chauvin, P. Tricart, J. P. Bouillin and J. P. Gratier 2002 Counterclockwise rotation of the western Alps since the Oligocene: new insights from paleomagnetic data. *Tectonics*, 21, 4, 1032, 10.1029/2001TC901016.

Delacou, B., C. Sue, J. D. Champagnac and M. Burkhard 2004 Present-day geodynamics in the bend of the western and central Alps as constrained by earthquake analysis. *Geophys. J. Int.*, 158, 753-774.

De Ritis, R., R. Dominici, G. Ventura, I. Nicolosi, M. Chiappini, F. Speranza, R. De Rosa, P. Donato and M. Sonnino 2010 A buried volcano in the Calabrian Arc (Italy) revealed by high-resolution aeromagnetic data. *J. Geophys. Res.*, 115, B11101, 10.1029/2009JB006938.

Elter, P., and P. Pertusati 1973 Considerazioni sul limite Alpi-Appennino e sulle relazioni con l'arco delle Alpi occidentali. *Mem. Soc. Geol. It.*, 12, 359-375.

Eva, E., and S. Solarino 1998 Variations of stress directions in the western Alpine arc. *Geophys. J. Int.*, 135, 438-448.

Eva, E., S. Solarino, C. Eva and G. Neri 1997 Stress tensor orientation derived from fault plane solutions in the southwestern Alps. *J. Geophys. Res.*, 102, 8171-8185.

Giglia, G., G. Capponi, L. Crispini and M. Piazza 1996 Dynamics and seismotectonics of the West-Alpine arc. *Tectonophysics*, 267, 143-175.

Gruppo di Lavoro CPTI 2004 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04). INGV Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>

Guidoboni, E., G. Ferrari, D. Mariotti, A. Comastri, G. Tarabusi and G. Valensise 2007 CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500). INGV-SGA. Available from <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.

Laubscher, H. 1991 The arc of the western Alps today. *Eclogae Geol. Helv.*, 84, 631-659.

Michetti, A. M., F. Giardina, F. Livio, K. Mueller, L. Serva, G. Sileo, E. Vittori, R. Devoti, F. Riguzzi, C. Carcano et al. 2013 Active compressional tectonics, Quaternary capable faults, and the seismic landscape of the Po Plain (northern Italy). *Ann. Geophys.-Italy*, 55, 5, 10.4401/ag-5462.

Nocquet, J. M., and E. Calais 2003 Crustal velocity field of western Europe from permanent GPS array solutions, 1996-2001. *Geophys. J. Int.*, 154, 72-88.

Perrone, G., E. Eva, S. Solarino, P. Cadoppi, G. Balestro, G. Fioraso and S. Tallone 2010 Seismotectonic investigations in the inner Cottian Alps (Italian Western Alps): An integrated approach. *Tectonophysics*, 496, 1-4, 1-16, 10.1016/j.tecto.2010.09.009.

Perrone, G., M. Morelli, F. Piana, G. Fioraso, G. NicolÃ², L. Mallen, P. Cadoppi, G. Balestro, and S. Tallone 2013 Current tectonic activity and differential uplift along the Cottian Alps/Po Plain boundary (NW Italy) as derived by PS-InSAR data. *J. Geodyn.*, 66, 65-78, 10.1016/j.jog.2013.02.004.

Pondrelli, S., S. Salimbeni, G. Ekström, A. Morelli, P. Gasperini and G. Vannucci 2006 The Italian CMT dataset from 1977 to the present. *Phys. Earth Planet. In.*, 159, 286-303.

Scafidi, D., S. Barani, R. De Ferrari, G. Ferretti, M. Pasta, M. Pavan, D. Spallarossa, and C. Turino 2015 Seismicity of Northwestern Italy during the last 30 years. *J. Seismol.*, 19, 1, 201-218, 10.1007/s10950-014-9461-0.

Schmid, S., and E. Kissling 2000 The arc of the western Alps in the light of geophysical data on deep structure. *Tectonics*, 19, 62-85.

Seward, D., and N. Mancktelow 1994 Neogene kinematics of the central and western Alps: evidence from fission-track dating. *Geology*, 22, 803-806.

Slejko, D., A. Caporali, M. Stirling and S. Barba 2010 Occurrence probability of moderate to large earthquakes in Italy based on new geophysical methods. *J. Seismol.*, 14, 27-51, 10.1007/s10950-009-9175-x.

Sue, C. 1998 Dynamique actuelle et récente des Alpes occidentales internes—Approche structurale et sismologique. MS Thesis, Univ. J. Fourier, Grenoble, France.

Sue, C., and P. Tricart 2002 Late-Alpine syncollisional extension in the core of the western Alps inferred from faulting analysis. *J. Geol. Soc. London*, 159, 61-70.

Sue, C., and P. Tricart 2003 Neogene to ongoing normal faulting in the inner western Alps: A major evolution of the late alpine tectonics. *Tectonics*, 22, 5, 1050, 10.1029/2002TC001426.

Sue, C., F. Thouvenot, J. Fréchet and P. Tricart 1999 Widespread extension in the core of the western Alps revealed by earthquake analysis. *J. Geophys. Res.*, 104, 25611-25622, 10.1029/1999JB900249.

Sue, C., J. Martinod, P. Tricart, F. Thouvenot, J. F. Gamond, J. Fréchet, D. Marinier, J. P. Glot and J. R. Grasso 2000 Active deformation in the inner western Alps inferred from comparison between 1972-classical and 1996-GPS geodetic surveys. *Tectonophysics*, 320, 17-29.

Sue, C., J. R. Grasso, F. Lahaie and D. Amitrano 2002 Mechanical behavior of western alpine structures inferred from statistical analysis of seismicity. *Geophys. Res. Lett.*, 29, 8, 1224, 10.1029/2001GL014050.

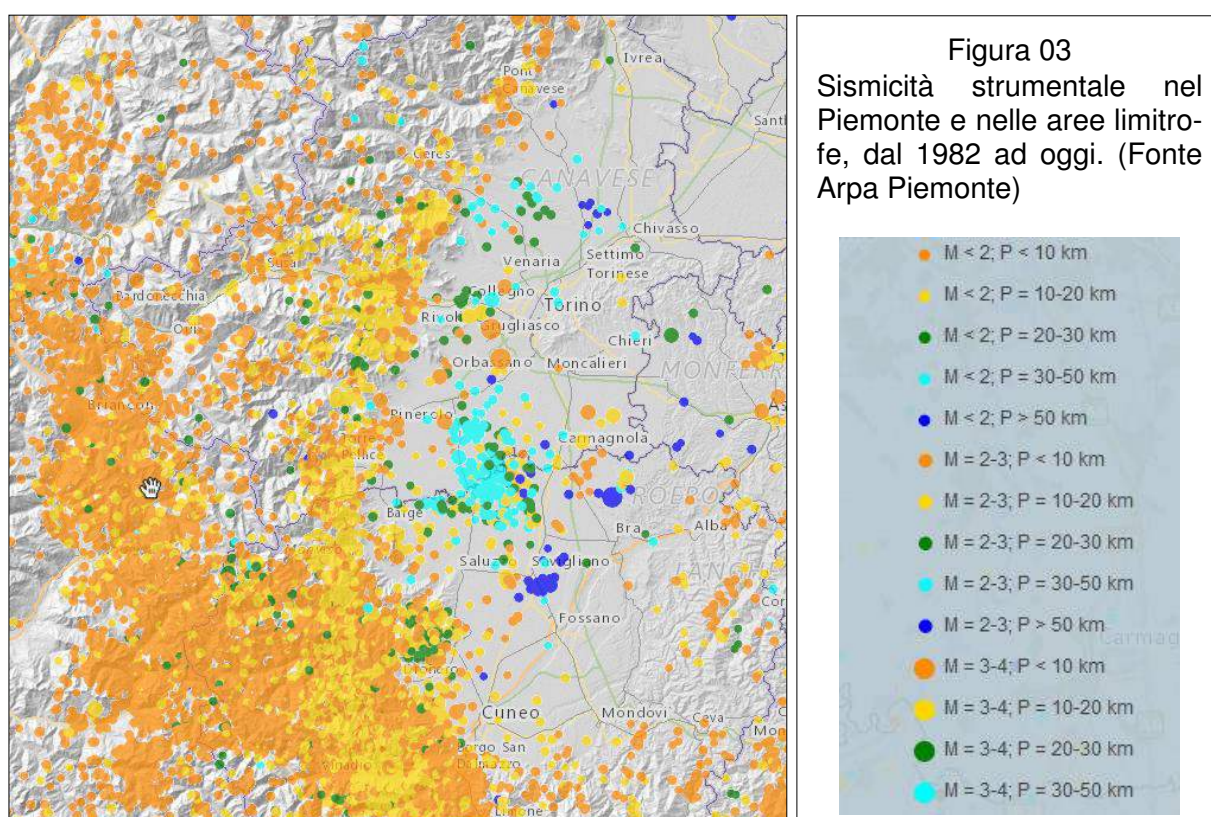
Vassalli Eandi, A. M. 1808 Rapport sur le tremblement de terre qui a commence' le 2 avril 1808. Parigi.

Vigny, C., J. Chery, T. Duquesnoy, F. Jouanne, J. Ammann, M. Anzidei, J. P. Avouac, F. Barlier, R. Bayer, P. Briole, E. Calais, F. Cotton, F. Duquenne, K. L. Feigl, G. Ferhat, M. Flouzat, J. F. Gamond, A. Geiger, A., Harmel, M. Kasser and M. Lapla 2002 GPS network monitors the Western

4. PERICOLOSITÀ DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO

La distribuzione areale degli epicentri dei terremoti storici che hanno interessato l'Italia nord-occidentale permette di individuare le aree sismicamente più attive nonché le direttrici principali lungo le quali si dispongono i meccanismi focali dei sismi.

Per la distribuzione degli epicentri settore piemontese, si rimanda alla mappa riportata di seguito (fonte Geoportale Risknat – Arpa Piemonte).



La rete sismica regionale rileva, nell'arco di un anno, circa un migliaio di terremoti con epicentro in Piemonte, o nei territori circostanti, che per lo più non sono percepiti dalle persone; nel dettaglio, il numero di sismi con magnitudo al di sopra di 3 (avvertiti dalla popolazione nei settori epicentrali) è dell'ordine della decina, mentre mediamente si registra un solo evento caratterizzato da magnitudo superiore a 4 tale da poter essere percepito anche a distanze maggiori. Oltre ai dati registrati dalla rete sismica regionale, sono noti un centinaio di terremoti storici che hanno interessato l'area dell'Italia nord-

 MICROZONAZIONE SISMICA
 LIVELLO 1 DEGLI INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (ICMS)
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

occidentale nell'ultimo millennio e caratterizzati da una magnitudo momento⁽²⁾ Mw stimata compresa tra 4.5 e 6; tra questi si rammenta l'evento del 1808 il cui epicentro fu localizzato in Val Pellice (Mw=5.7). L'evento strumentale di riferimento per il territorio pinerolese risulta essere quello che si verificò in data 5 gennaio 1980 con epicentro nel Comune di Giaveno (TO) e intensità pari a 4.85 Mw.

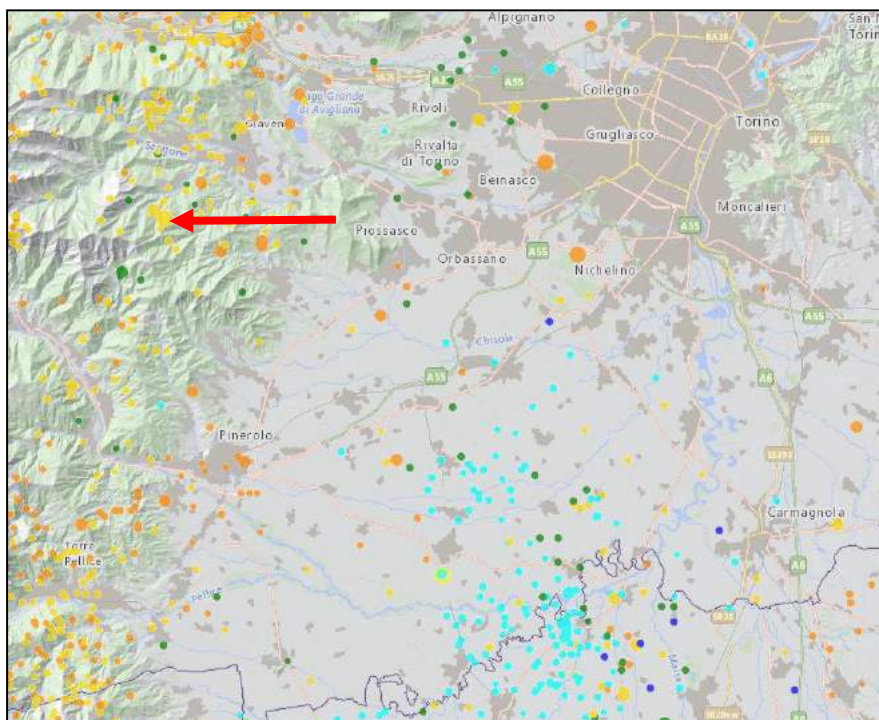


Figura 04
 Sismicità strumentale nel Piemonte e nelle aree limitrofe, dal 1982 ad oggi. (Fonte Arpa Piemonte) – ingrandimento della mappa in Figura 01.

La freccia rossa indica l'ubicazione dell'epicentro dell'ultimo terremoto registrato con magnitudo maggiore di 4 (Comune di Giaveno).

Data origine	7/25/2011
Latitudine	45,011501
Longitudine	7,2915
Magnitudo	4,43
Orario origine	12:31:20.910
Profondità	19,969999

² La magnitudo momento (Mw) è direttamente correlata alle dimensioni delle superfici di rottura, allo spostamento relativo medio tra di esse ed alla loro resistenza, pertanto, è correlata agli effetti tettonici dell'area interessata dal terremoto ed è stimabile dalle osservazioni geologiche. Anche per terremoti storici, la magnitudo momento rappresenta la miglior stima (espressa attraverso un numero) della grandezza di un terremoto che può essere utilizzata per le varie correlazioni.

 MICROZONAZIONE SISMICA
 LIVELLO 1 DEGLI INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (ICMS)
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

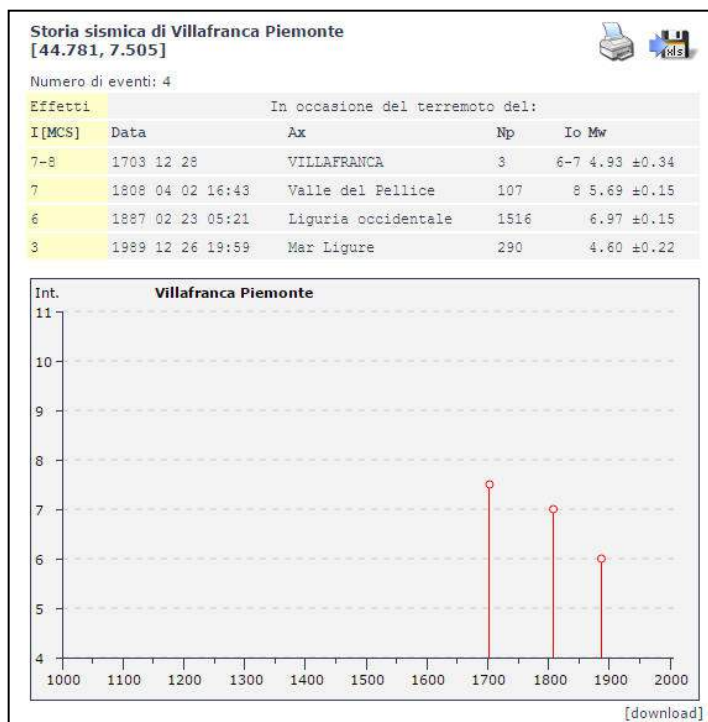


Figura 05
 Storia sismica di Villafranca Piemonte,
 Catalogo INGV

Aggiornamento 2011
http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/query_place/

L'analisi della pericolosità sismica di base a scala comunale è propedeutica a qualsiasi azione da intraprendere per la mitigazione del rischio sismico: essa, deve essere affrontata a partire dai dati storici e, per le forti ricadute anche in ambito di progettazione, deve essere volta all'identificazione dell'evento sismico di riferimento.

Come anticipato nel capitolo precedente, la zonizzazione del territorio nazionale in aree omogenee sotto il profilo sismico è espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di accadimento del 10% in 50 anni.

Per analisi a scala del territorio d'indagine, la normativa tecnica di riferimento prevede di adottare la metodologia di disaggregazione della componente $a_{(g)}$ finalizzata alla definizione della pericolosità di base del sito mediante tre parametri: la magnitudo massima attesa (M), la distanza media degli epicentri degli eventi di riferimento (R) e il parametro probabilistico ϵ (deviazione standard dalla mediana dal valore di scuotimento): in sintesi, il processo di disaggregazione permette la valutazione del contributo percentuale alla stima di pericolosità sismica del sito fornita dalle possibili copie di valori di magnitudo (M) e distanza (R).

La disaggregazione viene effettuata mediante l'applicativo web-gis fornito dall'INGV e consultabile in rete all'indirizzo <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

MICROZONAZIONE SISMICA
 LIVELLO 1 DEGLI INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (ICMS)
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

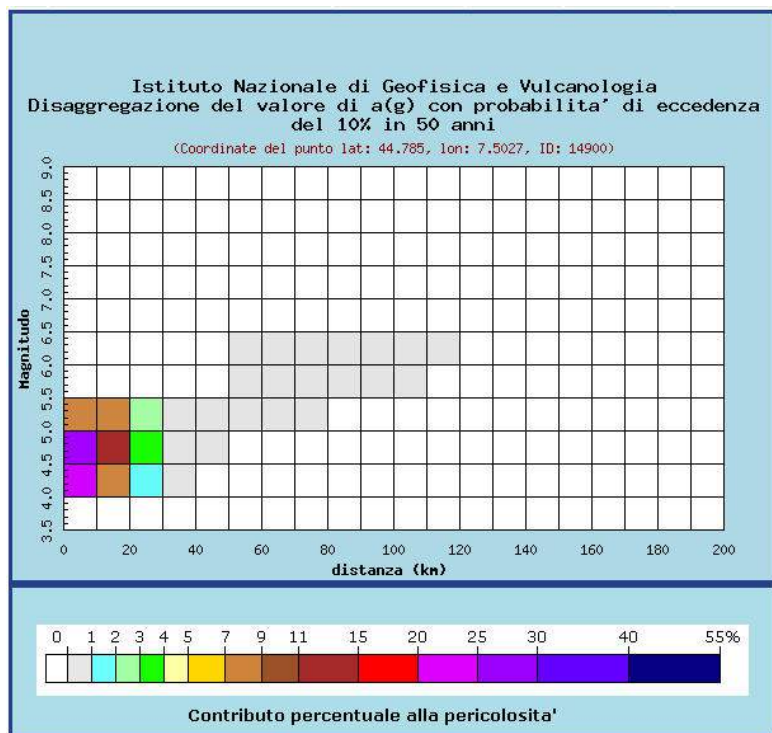


Figura 06

Grafico di disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, valutato in un punto baricentrico del territorio comunale in esame, secondo la maglia di riferimento INGV. Nell'ultima tabella sotto riportata si estrapolano i valori medi di magnitudo e distanza che individuano il sisma evento per il territorio oggetto del presente studio di microzonazione.

Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.785, lon: 7.5027, ID: 14900)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	22.800	27.500	8.210	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	8.610	14.700	7.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	1.330	3.650	2.730	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.021	0.621	0.983	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.021	0.254	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.034	0.011	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.058	0.290	0.386	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.008	0.135	0.223	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.052	0.133	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.087	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.730	11.100	0.747

Secondo i quanto previsto dalla normativa tecnica di riferimento e, nel dettaglio, ai sensi del punto 7.11.3.4.2 del DM 14 gennaio 2008, nei siti in cui la magnitudo massima attesa è minore di 5 ($M= 4.8$) può essere omessa la verifica a liquefazione dei terreni. Tuttavia i recenti sismi che si sono verificati nell'Italia nord-orientale (Emilia e Veneto), hanno permesso di osservare come l'assunzione dei valori medi ottenuti mediante la metodologia sopra descritta non è sufficientemente cautelativa e che può, al contrario, comportare una sottostima dell'evento atteso che preclude l'adozione degli opportuni accorgimenti da adottare in fase di progettazione e realizzazione degli interventi.

Sulla scorta delle analisi sismologiche effettuate poc'anzi, si procede all'adozione dei valori di magnitudo che corrispondono al 95° percentile di distribuzione, ottenendo un valore per il sisma evento pari a **M=5.5**, tale per cui non si può escludere la verifica alla liquefazione.

5. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Il territorio comunale di Villafranca Piemonte si estende in corrispondenza del settore di pianura geneticamente connessa al fiume Po ed al torrente Pellice, immediatamente a monte della loro confluenza.

Dal punto di vista geologico regionale l'area oggetto d'indagine è localizzata nel settore centrale della "pianura cuneese-torinese meridionale". Questo importante settore della pianura piemontese è separato dalla "pianura torinese s.s." per mezzo della strozzatura che caratterizza la traversa Piossasco-Moncalieri, in corrispondenza della quale la distanza fra il margine della Collina di Torino e il bordo interno della catena alpina è minima. Si precisa che questo particolare assetto è verosimilmente riconducibile al prolungamento in profondità delle strutture a vergenza appenninica della Collina di Torino.

Più in dettaglio, facendo riferimento allo studio geologico allegato alla Variante Strutturale n. 4 del P.R.G.C. vigente (procedimento in itinere, di cui il presente elaborato è parte integrante) il settore in esame si caratterizza per una morfologia pianeggiante, la cui continuità è interrotta dalla presenza di terrazzi fluviali che individuano complessi litologici all'interno del materasso alluvionale, separabili per età di deposizione.

Si precisa che l'assetto geologico riportato nella cartografia allegata al P.R.G.C. riprende i limiti delineati nella Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (Foglio n. 68 - Carmagnola) e comprende i seguenti termini (dai più recenti ai più antichi):

1. Alvei attuali e alluvioni sabbioso-argillose di poco sospese sugli alvei attuali, estese lungo il Fiume Po e i corsi d'acqua principali talora anche attualmente esondabili. Esse sono fissate e coltivate con insediamenti umani (Olocene inferiore).
2. Alluvioni prevalentemente argilloso-sabbiose a sud del Po, debolmente sospese sulle alluvioni medio recenti (Pleistocene superiore, parte superiore).
3. Sistema dei terrazzi a depositi argilloso-sabbioso-ghiaiosi con paleosuolo giallo-rossiccio sospesi sino ad una decina di metri sulle alluvioni medio recenti del Fiume Po (Pleistocene superiore, parte inferiore).

A tale proposito si sottolinea che la distinzione e la datazione dei depositi sopra riportata è stata effettuata per analogia a quanto riportato in un recente studio (ANSELMO V., CARRARO F. & LUCCHESI S., "Sull'opportunità di introdurre l'indicazione del bacino di provenienza dei sedimenti nelle carte geologiche delle aree di pianura", *Il Quaternario* 14(1), 2001).

In linea generale, dal punto di vista sedimentologico i terreni presenti nel territorio in esame sono dei depositi fluviali di natura essenzialmente ghiaioso-sabbiosa che, come è

stato poc'anzi riferito, sono geneticamente ascrivibili al Po ed al Pellice. Di norma in superficie il materasso costituito da questi depositi è “sigillato” da un orizzonte di sedimenti a granulometria sabbioso-limosa la cui origine è ascrivibile a passati cicli di esondazione del reticolo idrografico principale.

Differente è il grado di alterazione che interessa i depositi in esame e che, in funzione dell'età, risulta essere più elevato in corrispondenza delle superfici che costituiscono i sistemi dei terrazzi più antichi. Tale differenza si riflette anche nello sviluppo dei suoli.

Secondo quanto rappresentato nella “*Carta geologica del Piemonte*” (GeoPiemonte Map, a cura del CNR IGG, Arpa Piemonte - 2016) i depositi che caratterizzano il settore della pianura pinerolese oggetto della presente indagine sono riferibili alle sequenze quaternarie dei bacini sin-orogenici (bacino di Savigliano).

6. ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO IDROGEOLOGICO – MODELLO DEL SOTTOSUOLO

La ricostruzione del modello del sottosuolo e dell'assetto litostratigrafico dei terreni che caratterizzano il territorio comunale di Villafranca Piemonte è stato effettuato a partire dai dati geognostici pregressi (si veda il capitolo successivo) e dalla documentazione bibliografica.

In sintesi, i dati derivanti dalle sezioni stratigrafiche delle perforazioni effettuate confermano il quadro generale delineato nel capitolo precedente. In particolare, si evidenzia che il materasso alluvionale più superficiale che caratterizza il territorio del Comune di Villafranca Piemonte è individuato da un'alternanza stratigrafica di depositi a granulometria più fine, limi sabbiosi e sabbie limose con intercalazioni di ghiaietto, fino a profondità di ordine decametrico intercalati a livelli francamente ghiaiosi. A partire dalla profondità di -49,0 m da p.c., durante le operazioni di perforazione del pozzo idropotabile prossimo al concentrico sono state attraversati livelli metrici di argille alternati a livelli di ghiaie intensamente alterate.

Per quanto riguarda l'assetto litostratigrafico profondo ed idrogeologico, si è fatto riferimento alla letteratura specifica pubblicata negli anni scorsi cura della Provincia di Torino (BORTOLAMI G.C., FRANCERI E., RICCI B., “Lineamenti geoidrologici della provincia di Torino con riferimento allo stato idrogeochimico delle falde del sottosuolo dell'area ecologica torinese”, 1980; BORTOLAMI G.C., DE LUCA D., FILIPPINI G., “Le acque sotterranee della pianura di Torino - Aspetti e problemi”, 1990; BORTOLAMI G.C., DE LUCA D., MASCIOTTO L., MORELLI di POPOLO e TICINETO A., “Le acque sotterranee della pianura

di Torino - Carta della base dell'acquifero superficiale", 2003) e della Regione Piemonte ("Progetto per la pianificazione delle risorse idriche del territorio piemontese", 1980). Infine sono stati presi in esame i dati contenuti nelle monografie predisposte a supporto del Piano regionale di tutela delle acque (PTA).

Dall'esame di questa documentazione bibliografica emerge che nel sottosuolo del settore di pianura preso in considerazione sono distinguibili tre complessi sovrapposti.

Il **Complesso A** (riferibile al Pleistocene sup. - Olocene) è rappresentato da un materasso alluvionale di potenza pluridecimetrica costituito da materiali di natura essenzialmente ghiaioso-sabbiosa all'interno del quale è ospitata una falda di tipo libero in equilibrio idraulico con il reticolo idrografico superficiale. I livelli di potenza metrica di sedimenti a granulometria fine in esso presenti non rappresentano dei setti impermeabili continui ma costituiscono dei corpi lentiformi non continui lateralmente che possono dare origine a locali partizioni dell'acquifero freatico.

Si precisa che l'alimentazione di questo acquifero avviene per infiltrazione diretta degli apporti meteorici e per dispersione in subalveo dai corsi d'acqua, in particolare in corrispondenza del loro sbocco vallivo ma anche lungo il percorso di pianura. Sulla base di tali considerazioni è ragionevole ritenere che nel settore oggetto d'indagine questo acquifero sia caratterizzato da una direzione di deflusso subparallela all'andamento del reticolo idrografico superficiale, che è grosso modo orientato secondo la direttrice SudOvest-NordEst. L'assetto idrogeologico appena illustrato è confermato dall'analisi della monografia del PTA relativa alla Pianura Pinerolese (Tavola 3 - Elementi di assetto idrogeologico, parte 2), nonché dalla "Tav. GEO3 Carta della soggiacenza della falda" elaborata nell'ambito dello studio geologico a supporto del P.R.G.C. di Villagrancia Piemonte³). In merito alla soggiacenza, dalle carte tematiche poc'anzi citate si evince che in vaste porzioni del territorio comunale la superficie libera della falda freatica si attesta ad una profondità inferiore ai 5,0 metri dal piano campagna, mentre solamente nella porzione più occidentale la falda si posiziona nell'intervallo tra 5 e 10 m di profondità dal p.c..

Segue quindi il **Complesso B**, ("Villagranchiano" Auct.), costituito in prevalenza da sedimenti fini di ambiente palustro-lacustre (argille e limi), all'interno dei quali sono compresi livelli più grossolani e permeabili costituiti da ghiaie e sabbie di origine fluviale. Dal punto di vista idrogeologico, il complesso "Villagranchiano" è caratterizzato dalla presenza di acquiferi ospitati nei livelli ghiaioso-sabbiosi che danno origine ad un sistema multifalde in pressione. Più le falde si avvicinano al margine alpino e più tendono a collegarsi tra loro e con la falda superficiale, formando un acquifero praticamente indifferenziato. Nell'area perialpina, pertanto, va situata la zona di ricarica di questo sistema multifalde.

³A cura del dott. geol. Maurizio CANEPA (settembre 2000).

Al di sotto del complesso precedente viene individuato il **Complesso C** (“Pliocene” Auct.) rappresentato dalla cosiddetta sequenza marina. I dati litostratigrafici di numerosi pozzi per acqua hanno permesso la ricostruzione, in diverse zone della Pianura Torinese, dell’andamento del substrato marino pliocenico, anche se con un differente grado di precisione in funzione dell’area, a seconda della qualità delle informazioni.

I litotipi che caratterizzano il Complesso Pliocenico vanno dalle sabbie alle argille, con predominanza di depositi più grossolani verso il margine alpino e quello collinare, e di depositi fini verso la zona assiale della pianura. Nel complesso dei depositi marini pliocenici vi è una certa alternanza tra sedimenti grossolani, essenzialmente sabbiosi (la cosiddetta facies Astiana in affioramento nella collina), e depositi fini che consentono la presenza nei primi di falde idriche in pressione.

7. DATI GEOGNOSTICI E GEOFISICI

Come anticipato in premessa, al fine di pervenire alla definizione della microzonazione sismica di primo livello nel Comune di Villafranca Piemonte, si è proceduto ad una preliminare raccolta dei dati bibliografici inerenti alle indagini geognostiche condotte nel recente passato entro l’area di studio.

Nel dettaglio, si è fatto riferimento ai seguenti dati:

- n. 13 pozzetti esplorativi;
- n. 5 sondaggi a carotaggio continuo (di cui due eseguiti nel territorio comunale di Cardè a confine con Villafranca Piemonte);
- n. 3 prove penetrometriche dinamiche;
- n. 17 stratigrafie derivanti dalla perforazioni di pozzi per acqua;
- n. 1 stesa eseguita secondo la metodologica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- n. 2 prove geofisiche in foro di tipo down-hole eseguite nelle perforazioni presso il territorio di Cardè.

Infine, come già precisato in premessa, al fine di ottemperare alle richieste avanzate dai Settori regionali istruttori nell’ambito del procedimento amministrativo di approvazione della Variante Strutturale n. 4 del P.R.G.C. vigente, sono state effettuate le seguenti ulteriori indagini:

- n. 2 stesa eseguita secondo la metodologica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- 2 misure di rumore sismico a stazione singola HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1. Carta delle indagini

Tutte le indagini geognostiche raccolte (cfr. §7.) sono state riportate sulla carta tematica in esame, secondo la simbologia introdotta dagli Standard di microzonazione sismica (versione 3.0) di cui al § 1.1.1 “Carta delle Indagini”. La base cartografica utilizzata è la Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti (BDTRE) elaborata dalla Regione Piemonte (Base Cartografica di Riferimento Annuale 2017 raster b/n 1:10.000).

8.2. Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

L’elaborazione di tale cartografia si basa sulla revisione degli studi geologici pregressi, integrata dall’attività di aggiornamento nell’ambito delle indagini geologiche a supporto degli Strumenti Urbanistici del Comune di Villafranca Piemonte.

Come precedentemente anticipato, l’ambito territoriale oggetto del presente studio di microzonazione sismica si colloca entro il settore della “pianura cuneese-torinese meridionale” interposto tra il fiume Po (a Sud) ed il torrente Pellice (a Nord), immediatamente a monte del punto di confluenza dei suddetti corsi d’acqua. Si tratta, in linea generale, di un territorio pianeggiante, moderatamente degradante verso Est-SudEst, la cui continuità è talora interrotta dalla presenza di scarpate di terrazzo che attualmente, ad eccezione di quelle che definiscono gli alvei di piena, possono anche presentarsi fortemente rimodellate dall’azione antropica.

Seguendo la metodologia prevista dagli Standard di microzonazione sismica (versione 3.0) di cui al § 1.1.2 “Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica”, sono state cartografate le seguenti coperture detritiche:

- ✓ *SM- sabbie limose, miscela di sabbia e limo.*

Nella carta, al codice identificativo della litologia del terreno di copertura è associato un secondo codice relativo all’ambiente genetico e deposizionale:

- ✓ Ambiente fluvio – lacustre:
 - *tf - terrazzo fluviale;*

A tale proposito si ribadisce che le varie tipologie di depositi presenti nell’area oggetto di studio non sono del tutto compiutamente rappresentate nelle classi granulometriche proposte dagli standard rappresentativi di riferimento.

I depositi alluvionali si contraddistinguono per uno spettro granulometrico estremamente eterogeneo, caratterizzato dall’abbondante presenza di frazione più fine (sabbioso-limoso e argilloso) soprattutto nei primi metri a partire dal p.c. (orizzonti che

volutamente risultano evidenziati nella carta in esame), ma che risultando in transizione con livelli più grossolani francamente ghiaiosi più o meno alterati a seconda dell'età di deposizione. A questo riguarda si rimanda alla sezione geologica rappresentativa del modello sopra delineato.

Infine, per quanto riguarda gli elementi geologici e idrogeologici sono stati cartografati come elementi puntuali:

- ✓ *profondità (m) sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato geologico;*
- ✓ *profondità (m) della falda in aree con sabbie e/o ghiaie;*
- ✓ *traccia della sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo.*

Si segnala, infine, che durante l'analisi della morfologia del territorio comunale di Villafranca Piemonte non sono state rinvenute forme di superficie o sepolte, *ad eccezione degli assi di paloealveo*, che risultano essere significative nella definizione del quadro sismico dell'ambito territoriale in esame. A tale proposito si precisa che, seguendo gli Standard di microzonazione sismica (versione 3.0) devono essere cartografati gli orli di terrazzo eventi un'altezza pari o superiore ad almeno 10 m.

8.3. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Carta delle MOPS)

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica è stata predisposta sulla base delle informazioni di cui ai paragrafi precedenti, facendo riferimento alle indagini geofisiche condotte entro il territorio comunale di Villafranca Piemonte (con particolare riferimento a quanto emerso nel corso delle indagini specificatamente effettuate nell'ambito degli studi di MS), alle indagini ed ai dati disponibili nei territori limitrofi ed, infine, alla proposta di microzonazione elaborata per il Comune di Cavour⁽⁴⁾. In prima battuta, la definizione delle "Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali" è stata effettuata a seguito delle indagini geofisiche specificatamente condotte nell'ambito dello studio di microzonazione sismica per il confinante Comune di Cavour. Successivamente, il modello delineato è stato confrontato con le risultanze delle indagini effettuate presso il concentrico e presso la Frazione San Luce nel mese di settembre 2017.

Nella carta in esame sono state riportate unicamente le "Zone suscettibili di amplificazioni locali" in quanto non sono presenti "Zone stabili" (rappresentate da areali di affioramento del substrato roccioso), né "Zone di attenzione per instabilità" (corrispondenti a settori interessati da dissesti gravitativi di versante, aree i cui terreni possono essere interessati da processi di liquefazione e porzioni di territorio caratterizzati

⁴ A cura dello studio scrivente – dott. Geol. Francesco PERES, luglio 2014.

da cedimenti per la presenza di cavità sepolte).

In particolare, nella fase preliminare di indagine illustrata nel corso della presente relazione, è stata prevista un'unica zona in quanto i dati attualmente a disposizione non permettono di differenziare differenti settori ciascuno caratterizzato da diversi spessori dei sedimenti fino al raggiungimento del substrato sismico di riferimento ($V_s > 800$ m/s).

In particolare, nella zona 1 il substrato sismico con $V_s > 800$ m/s si rileva ad una profondità media di circa 260÷300 m ipotizzando l'approfondimento costante del basamento roccioso procedendo da Ovest verso Est-SudEst⁽⁵⁾. La successione litostratigrafica che caratterizza quindi questo settore della pianura si caratterizza per la presenza di depositi prettamente alluvionali antichi (con potenza di circa 50÷60 m), cui segue il complesso "villafanchiano" raggiunge uno spessore di una settantina di metri circa; seguono sedimenti fini sabbiosi ed argillosi di ambiente marino (Pliocene).

I dati di nuova acquisizione sostanzialmente confermano il modello proposto in quanto, le misure di rumore sismico ambientale (HVSR) non consentono di determinare il periodo fondamentale di risonanza di sito. I dati acquisiti, permettono di ipotizzare unicamente che il substrato sismico sia localizzato a profondità superiori a 100 metri da p.c. (per ulteriori dettagli sulle interpretazione dei dati acquisiti si rimanda all'Allegato 02). Come già sottolineato al capitolo 2, la distinzione dei terreni di copertura in depositi di età e potenza differente è stata condotta su basi bibliografiche (cfr. capitolo 6.).

8.4 Considerazioni in merito alla stabilità alla liquefazione

Ai sensi della normativa tecnica vigente ed in particolare del punto 7.11.3.4.2 del DM 14 gennaio 2008 occorre procedere alla determinazione del potenziale di liquefazione dei terreni.

In particolare, la modellizzazione di casi reali ha permesso di stabilire le cause scatenanti dei processi di liquefazione che interessano i terreni a seguito di una scossa sismica; in particolare, è stato verificato che si devono verificare contemporaneamente le seguenti condizioni:

- CARATTERI PREDISPOSTI (suscettibilità del sottosuolo):
 - Presenza di sabbie sciolte ($D_r < 60$) a profondità inferiori a 15÷20 m da p.c.;
 - Presenza della falda a profondità < 15 m da p.c.;

⁵ Si rimanda allo studio di cui alla nota n. 2: In particolare, sono state prese in considerazione le indagini HVSR eseguite presso la località Castellazzo e C.na Paschere nel territorio comunale di Cavour. Sebbene si riveli una certa distanza con le suddette indagini, si precisa che esse possono essere considerate rappresentative anche per il territorio in esame, alla luce del fatto che i risultati di tali indagini sembrano non mostrare condizionamenti dettati dall'assetto geologico particolare della porzione centrale del territorio di Cavour, legato all'emersione del substrato geologico presso la Rocca e, in direzione Nord, presso il rilievo di Montebruno.

- Terreni omogenei dal punto di vista granulometrico con diametro medio $0,02 \text{ mm} < D_{50} < 2 \text{ mm}$;
- Scarso contenuto di termini fini (diametro $< 0.05 \text{ mm}$ inferiore al 15%);
- Età recente dei sedimenti (nei corpi deposizionali Pleistocenici la probabilità di liquefazione è da bassa a molto bassa);
- Morfologia dei corpi deposizionali
- CARATTERI SCATENANTI (sismicità)
 - Sisma di $M > 5$;
 - Accelerazione massima al suolo (PGA, a_g, a_{max}) $> 0.15g$;
 - Durata dello scuotimento $> 15-20 \text{ s}$.

Per il territorio comunale in analisi, come si evince dalla disanima relativa alla sismicità che caratterizza il settore della pianura pinerolese in esame, non si possono escludere, tra i fattori scatenanti, terremoti con magnitudo massima attesa inferiore a 5 (cfr. capitolo 4). Per contro, in merito ai caratteri predisponenti, sebbene sia emersa la presenza della falda a bassa profondità dal p.c. pressoché in tutto il territorio comunale in esame, le stratigrafie consultate sembrerebbero escludere la presenza di terreni che dal punto di vista strutturale, tessiturale e granulometrico siano fortemente soggetti a fenomeni di liquefazione.

Tuttavia, in relazione al fatto che il presente studio è stato effettuato a scala del territorio comunale, occorre rimandare alle fasi progettuali dei singoli interventi edilizi l'individuazione di un piano di indagini atto alla verifica quantitativa, secondo la normativa tecnica vigente, del potenziale di liquefazione dei terreni di fondazione.

9. BIBLIOGRAFIA

- AGIP SpA, Direzione Generale Servizi Centrali per l'Esplorazione (1994) "Acque dolci sotterranee. Inventario dei dati raccolti dall'AGIP durante la ricerca di idrocarburi in Italia (dal 1971 al 1990)".
- BORTOLAMI, MAFFEO, RICCI, SORZANA, "Lineamenti di litologia e geoidrologia del settore piemontese della pianura padana".
- BORTOLAMI, FRANCERI, RICCI, "Lineamenti geoidrologici della Provincia di Torino con riferimento allo stato idrogeochimico delle falde del sottosuolo dell'area ecologica torinese".
- BORTOLAMI, DE LUCA, FILIPPINI: le acque sotterranee della pianura di Torino: aspetti e problemi.
- GIODA A., "Dynamique paroxystique du bas Pellice", Torino, 25-27 settembre 1978, XVI Convegno di idraulica e costruzioni idrauliche.
- CANEPA M., studio geologico a supporto del P.R.G.C. vigente del Comune di Villafranca Piemonte.
- Conferenza delle Regioni e delle Provincie autonome (Commissione protezione civile, Sottocommissione 8, Attuazione della normativa sismica), Presidenza del Consiglio dei Ministri (Dipartimento della Protezione Civile) (2008): *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica, parti I, II e III (a cura di BRAMERINI F., DI PASQUALE G., NASO G., SEVERINO M.)*.
- IRACE, A., CLEMENTE, P., NATALICCHIO, M., OSSELLA, L., TRENKWALDER, S., DE LUCA, D. A. VIOLANTI, D. (2009). *Geologia e idrostratigrafia profonda della Pianura Padana occidentale* (135 pp.). Firenze: Edizioni La Nuova Lito.
- F. PIANA, G. FIORASO, A. IRACE, P. MOSCA, A. D'ATRI, L. BARALE, P. FALLETTI, G. MONEGATO, M. MORELLI, S. TALLONE & G. B. VIGNA (2017) *Geology of Piemonte region (NW Italy, Alps–Apennines interference zone)*, Journal of Maps, 13:2, 395-405.
- Provincia di Torino, Università degli Studi di Torino - Dipartimento di Scienze della Terra "Le acque sotterranee della pianura di Torino - carta della base dell'acquifero superficiale".

ALLEGATO 1

SEZIONE GEOLOGICA RAPPRESENTATIVA DEL MODELLO DEL SOTTOSUOLO

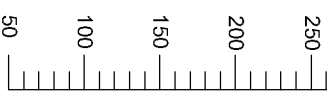
SEZIONE GEOLOGICA

Scala 1:5.000

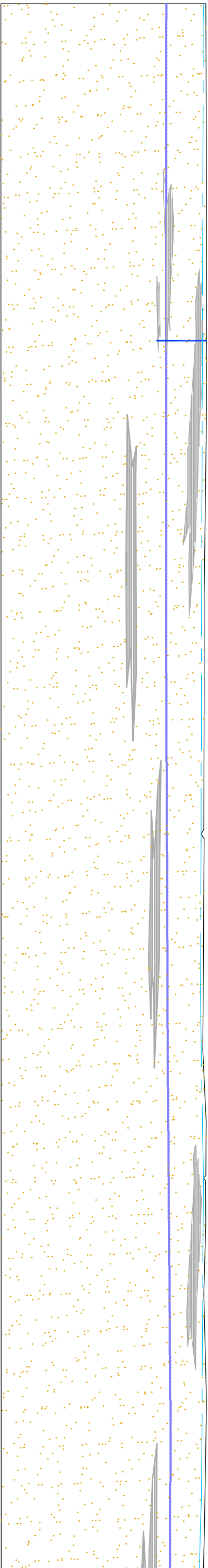
P17
↑

Bealera grosso
del Mulino
↑


Bealera grosso
del Mulino
↑




A




LEGENDA

 Sabbie e ghiaie

 Argille

 Base dell'acquifero superficiale

 Livello di soggiacenza della falda superficiale

ALLEGATO 2

INDAGINI GEOFISICHE

Committente:

Geoalpi Consulting

Sito:

Comune di Villafranca Piemonte (TO)



Indagini e studi a supporto della microzonazione sismica con grado di approfondimento corrispondente al livello I degli ICMS

Relazione n:	3782/17
Redatto da:	Dott. Geol. Emmanuele Duò
Controllato da:	Dott. Geol. Mario Naldi
Data:	Ottobre 2017
Revisione:	0

Sommario

1. INTRODUZIONE	1
2. GEODESIA	1
3. UBICAZIONE INDAGINI	2
4. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	3
4.1. INDAGINI SISMICHE PER ONDE DI SUPERFICIE	3
4.1.1. <i>CLASSIFICAZIONE SISMICA</i>	3
4.1.2. <i>ATTRIBUZIONE CLASSE SISMICA DI SITO</i>	4
4.2. MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE (HVSR)	5
5. RISULTATI OTTENUTI	7
5.1. SITO 1 – PIAZZA VITTORIO VENETO	7
5.2. SITO 2 – FRAZIONE SAN LUCA	9
6. CONCLUSIONI	10

In allegato:

Appendice A	Report indagine MASW
Appendice B	Report misure di rumore sismico ambientale
Appendice C	Cenni sulla metodologia MASW
Appendice D	Cenni teorici sulle misure di rumore sismico ambientale

1. INTRODUZIONE

La presente relazione illustra e descrive le indagini sismiche per onde di superficie e le misure di rumore sismico ambientale realizzate in data 25 settembre 2017 per conto del Dott. Geol. Arri nel territorio del Comune di Villafranca Piemonte (TO).

Le indagini sismiche per onde di superficie o MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono finalizzate a definire il modello di velocità delle onde di taglio ed il parametro V_{s30} per la classificazione sismica dei suoli.

Le misure di rumore sismico ambientale analizzate mediante la tecnica dei rapporti spettrali "HVSR" (Nakamura 1989) consentono di definire la frequenza caratteristica di sito.

Entrambe le tipologie di misura sono finalizzate ad assistere le valutazioni relative alla microzonazione sismica del territorio comunale secondo quanto previsto nell'allegato A della D.G.R. n. 17 – 2172 della Regione Piemonte.

I risultati delle analisi sono illustrati nei report tecnici allegati al testo e commentati nelle pagine seguenti.

2. GEODESIA

Si riferisce per completezza la geodesia del progetto. I parametri completi sono riportati nella tabella 1 e tutte le coordinate riportate nel testo sono riferite a questo sistema geodetico.

SFEROIDE	
Datum	WGS 84
Sferoide	WGS 84
Semiasse maggiore,	6378137.000
Semiasse minore, b	6356752.314
Schiacciamento, 1/f	298.2572235
Eccentricità, e^2	0.00669438

PROIEZIONE	
Proiezione	UTM
Tipo	UTM (emisfero)
Zona	32
Origine longitudine	9 E
Origine latitudine	0 N
False easting	500000
False northing	0
Scale factor on CM	0.99996
Units	m

Tabella 1 – Sistema geodetico utilizzato per la restituzione delle coordinate delle misure sismiche

3. UBICAZIONE INDAGINI

La disposizione delle indagini è stata definita sulla carta e verificata in sito in funzione delle caratteristiche dell'area ed in relazione all'obiettivo dell'indagine.

I punti di misura sono riportati su estratto Carta Tecnica Regionale (non in scala) nella seguente Figura 1.

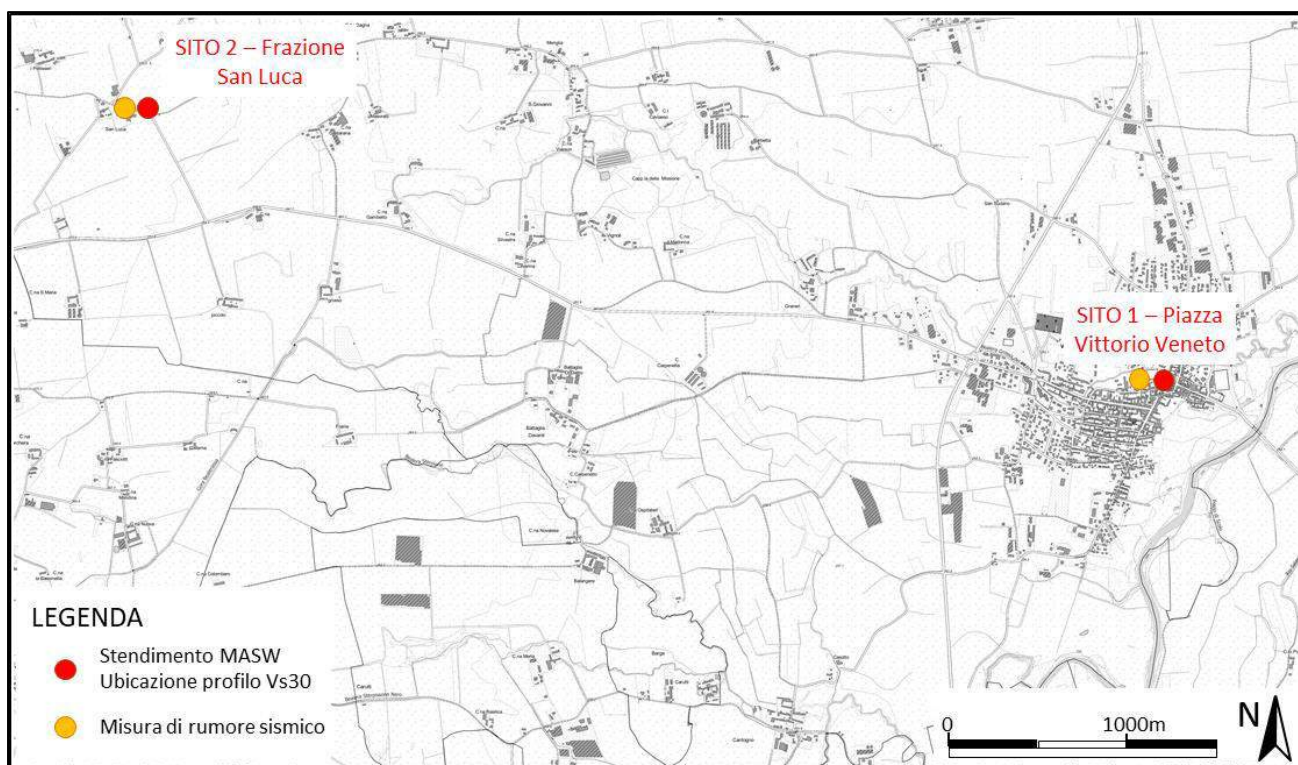


Figura 1 – Ubicazione indagini geofisiche (base C.T.R. Piemonte 1:10000)

In ciascuno dei siti di indagine individuati dal Consulente Tecnico è stata realizzata una misura sismica per onde di superficie e una misura di rumore sismico ambientale. I siti scelti sono i seguenti:

- HV1/MASW1: le misure sono state ubicate nel campo di calcio localizzato in Piazza Vittorio Veneto, ad una quota di circa 253 m s.l.m.
- HV2/MASW2: le indagini sono state posizionate ad est della frazione San Luca, lungo il muro perimetrale dell'edificio di pertinenza della chiesa, ad una quota di 273 m s.l.m.

4. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

4.1. Indagini sismiche per onde di superficie

4.1.1. Classificazione sismica

L'acquisizione dei dati sismici per onde di superficie è stata realizzata con sismografo Daq Link IV (Seismic Source, USA) a 24 canali. L'unità di acquisizione, dotata di un convertitore analogico/digitale a 24 bit è fornita di una connessione di rete standard 10/100 (base RJ45) per la comunicazione con un laptop su cui è installato il software (VibraScope ® v.2.4.40) che gestisce la visualizzazione, l'analisi e la memorizzazione delle forme d'onda registrate.



Figura 2 – Strumentazione utilizzata – Sismografo Daq Link IV

Lo stendimento sismico per onde di superficie è stato realizzato mediante 24 canali attivi equispaziati a 1.5 metri; i sensori utilizzati (geofoni, Weihai Sunfull) possiedono una frequenza di risonanza pari a 4.5 Hz, con distorsione inferiore allo 0.2%. La generazione del segnale sismico è stata realizzata con mazza da 10 Kg dotata di interruttore inerziale in sette basi di energizzazione distribuite ad uno degli estremi della linea a distanza variabile compresa tra 0 e 10 interassi geofonici.

La Tabella 2 illustra le caratteristiche ottimali degli stendimenti sismici in funzione della profondità di indagine richiesta. Sono evidenziate in rosso le caratteristiche geometriche generali di riferimento per gli stendimenti utilizzati nella campagna di indagini.

Recommended Values in ()														
Depth (Z _{max}) ¹ (m)	Source (S) ² (lb)	Receiver (R) ³ (Hz)	Receiver Spread (RS) (m)				SR Move ⁶ (dx)			Recording ⁸				
			Length ⁴ (D)	Source Offset ⁵ (X ₁)	Receiver Spacing (dx)		Lateral Resolution ⁷			dt ⁹ (ms)	T ¹⁰ (sec)	Vertical Stack ¹¹		
24-ch*	48-ch	High			Medium	Low	C	N	VN					
≤ 1.0	≤ 1 (1)**	4.5-100 (40)	1-3 (2.0)	0.2-3.0 (0.4)	0.05-0.1 (0.1)	0.02-0.05 (0.05)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	0.5-1.0 (0.5)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
1-5	1-5 (5)	4.5-40 (10)	1-15 (10)	0.2-15 (2)	0.05-0.6 (0.5)	0.02-0.3 (0.25)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	0.5-1.0 (0.5)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
5-10	5-10 (10)	≤ 10 (4.5)	5-30 (20)	1-30 (4)	0.2-1.2 (1.0)	0.1-0.6 (0.5)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	0.5-1.0 (1.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
10-20	≥ 10 (20)	≤ 10 (4.5)	10-60 (30)	2-60 (10)	0.4-2.5 (1.5)	0.2-1.2 (1.0)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	1.0-2.0 (1.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
20-30	≥ 10 (20)	≤ 4.5 (4.5)	20-90 (50)	4-90 (10)	0.8-3.8 (2.0)	0.4-1.9 (1.5)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (1.0)	1.0-2.0 (1.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
30-50	≥ 10 (20) or passive	≤ 4.5 (4.5)	30-150 (70)	6-150 (15)	1.2-6.0 (3.0)	0.6-3.0 (2.0)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (1.0)	1.0-3.0 (1.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
> 50	≥ 10 (20) or passive	≤ 4.5 (4.5)	> 50 (150)	> 10 (30)	> 2.0 (6.0)	> 1.0 (4.0)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (1.0)	≥ 1.0 (2.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)

Tabella 2 - Disposizione geometrica ottimale linea MASW in relazione alla profondità di indagine (da www.masw.com)

I dati relativi all'indagine sismica per onde di superficie (nel seguito MASW) sono stati elaborati con il software Surfseis V. 5.1 (Kansas University, USA), che analizza la curva di dispersione sperimentale per le onde di Rayleigh. L'inversione numerica della curva, secondo un processo iterativo ai minimi quadrati, consente di ottenere un profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo. Cenni teorici relativi alla metodologia di indagine sono riportati in Appendice C.

4.1.2. Attribuzione classe sismica di sito

Secondo la normativa sismica vigente, costituita per la Regione Piemonte dalla D.G.R. n. 4-3084 del 12.12.2011 e s.m.i., il Comune di Villafranca Piemonte ricade in zona 3.

Il D.M. 14/01/2008 "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni" individua come parametro di riferimento per la classificazione sismica dei suoli la velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna (V_{s30}) e viene calcolato con la seguente formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità (in m/s) delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

4.2. Misure di rumore sismico ambientale (HVSR)

L'acquisizione dei dati di rumore ambientale è stata effettuata con il sismometro SL06 prodotto da SARA Electronic Instruments. Lo strumento è costruito con 3 sensori (velocimetri da 2 Hz di frequenza naturale), un digitalizzatore a 24 bit, un ricevitore GPS ed un'unità di calcolo/datalogger.

Lo strumento utilizzato è in grado di riprodurre fedelmente il segnale in arrivo (ossia mantiene una risposta costante per tutte le frequenze contenute nel segnale in arrivo) come evidenziato nel Technical Report n°26 "Test of seismic recorders with 4,5 Hz sensors: GBV 316 from GeoSig and SL07 from SARA" del Norwegian National Seismic Network e certificato nel documento del costruttore "Noise performance of the SADC20 A/D Converter".

La fase di acquisizione dei dati di rumore microtremore è proceduta attraverso i seguenti passaggi:

- scelta del sito ottimale in relazione alla presenza di elementi di disturbo quali erba alta, alberi, ecc.;
- preparazione del suolo (rimozione dello strato di terreno con apparati radicali o rimozione di erba o riporto di sabbia);
- precisa messa in bolla dello strumento onde evitare distorsioni nella risposta;
- sorveglianza dello strumento a distanza maggiore di 100 metri.

Le condizioni meteorologiche, e la documentazione fotografica sono riportate nelle pagine 1 e 2 del certificato predisposto per ciascuna prova (vedi Appendice B).

I principali parametri utilizzati nell'acquisizione dei dati sono i seguenti:

- frequenza di campionamento ≥ 200 sps;
- durata registrazione ≥ 30 minuti.

Le misure di rumore sismico a stazione singola sono state elaborate attraverso il software Geoexplorer HVSR, distribuito da Sara Electronics Instruments; per il calcolo della direzionalità dello spettro delle componenti orizzontali è stato utilizzato un modulo della suite *Geopsy*.

Il software *Geopsy* (open source, www.geopsy.org) nasce durante il SESAME European Project da una collaborazione tra l'ISTerre di Grenoble (France), l'IGUP di Postdam (Germany) l'UNLV (Las Vegas, USA) e l'USGS (Nevada USA).

Per l'elaborazione dei dati e la determinazione della frequenza fondamentale si è proceduto al calcolo del rapporto H/V analizzando il segnale con i seguenti parametri:

- finestre temporali di ampiezza maggiore di 20 s, con sovrapposizione massima del 5%, in numero maggiore di 30;
- rimozione manuale degli intervalli temporali con segnale non stazionario;
- lisciamento degli spettri tramite l'operatore di Konno e Ohmachi (1998).



Figura 3 – Strumentazione utilizzata – Registratore sismico SL06

Cenni teorici relativi alla metodologia di indagine sono riportati in Appendice D.

5. RISULTATI OTTENUTI

I risultati delle indagini sono riportati in appendice al testo.

Per la prova MASW vengono riportati all'interno del report:

- ubicazione stendimento su immagine aerea;
- documentazione fotografica di sito;
- coordinate GPS;
- immagine dell'analisi della curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel dominio velocità di fase vs frequenza;
- modello di velocità delle onde di taglio;
- classificazione sismica di sito.

I report di prova stilati per ciascuna misura di rumore sismico ambientale comprendono le seguenti informazioni:

- pagina 1: tipo di strumento utilizzato ed informazioni geografiche (e GPS) sul sito;
- pagina 2: documentazione fotografica;
- pagina 3: tempo UTC di inizio della prova, durata della misura, numero ed ampiezza media delle finestre di selezione del segnale e percentuale di sismogramma utilizzato. Sono riportati inoltre i sismogrammi relativi a ciascun canale del sismografo (nell'ordine verticale, N-S ed E-W);
- pagina 4: rapporto spettrale H/V e singole componenti spettrali lisciate con l'operatore di Konno e Ohmachi;
- pagina 5: grafici di stazionarietà e direzionalità dei rapporti spettrali nel tempo;
- pagina 6: frequenza fondamentale selezionata e soddisfacimento dei criteri SESAME per la chiarezza della curva e del picco.

Si commentano di seguito i risultati ottenuti in ciascun sito di misura.

5.1. SITO 1 – Piazza Vittorio Veneto

MODELLO DI VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO

Il modello di velocità delle onde di taglio (v. Appendice A in allegato) evidenzia la seguente successione sismostratigrafica:

1. un livello superficiale, esteso fino a circa 6 m di profondità, costituito da terreni sciolti con scadenti caratteristiche geotecniche (V_s compresa tra 100 e 150 m/s);
2. un secondo sismostrato, esteso fino a circa 11 m di profondità, costituito da terreni a rigidità bassa (V_s compresa tra 190 e 230 m/s);

3. un terzo sismostrato, esteso oltre la massima profondità di indagine (30 metri da p.c.), costituito da materiali a grado di addensamento medio con rigidità crescente con la profondità (velocità delle onde di taglio compresa tra 270 e 390 m/s);

Il valore di Vs30 calcolato dal piano campagna è pari a 229 m/s. Pertanto è possibile definire il contesto geotecnico esaminato come suolo di classe sismica "C".

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati, o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

FREQUENZA CARATTERISTICA DI SITO

La misura di rumore sismico ambientale presenta segnali isotropi e stazionari nell'intervallo di frequenze 1 – 30 Hz: la stazionarietà decresce sotto il valore di 1 Hz, come si può osservare dai grafici "HVSr Average" a pagina 4 e "HVSr time-frequency analysis" a pagina 5 del report allegato in Appendice B. Disturbi di origine elettromagnetica/antropica sono anche presenti alla frequenza di 1 Hz. Si può rilevare, ed è stato selezionato in elaborazione, un picco relativo dello spettro alla frequenza di 4,17 Hz; tale massimo relativo, di ampiezza modesta (2.4) è associato a risonanza stratigrafica ma la misura non è rappresentativo del periodo fondamentale di vibrazione di sito. Ponendo in relazione i valori di velocità delle onde di taglio con il picco di frequenza osservato si può ipotizzare la presenza di un contrasto di impedenza alla profondità di circa 6 metri da p.c.

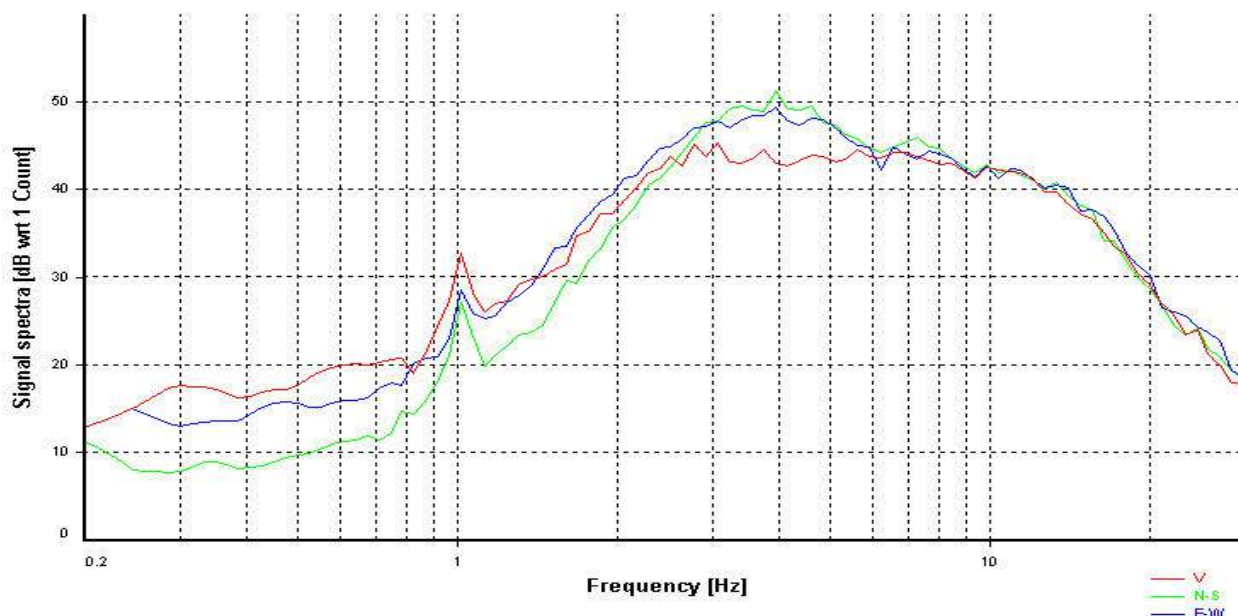


Figura 4 – Stazione per la misura di rumore sismico S1 – Componenti spettrali non lisce

5.2. SITO 2 – Frazione San Luca

MODELLO DI VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO

Il modello di velocità delle onde di taglio evidenzia la seguente successione sismostratigrafica:

1. un livello superficiale, esteso fino a circa 3 m di profondità, costituito da terreni sciolti o debolmente addensati (V_s compresa tra 180 e 200 m/s);
2. un secondo sismostrato, esteso fino a circa 9 m di profondità, costituito da terreni a rigidità medio-bassa (V_s compresa tra 290 e 300 m/s);
3. un terzo sismostrato, esteso oltre la massima profondità di indagine (30 metri da p.c.), costituito da materiali a grado di addensamento medio con rigidità crescente con la profondità (velocità delle onde di taglio compresa tra 350 e 580 m/s);

Il valore di V_{s30} calcolato dal piano campagna è pari a 361 m/s. Pertanto è possibile definire il contesto geotecnico esaminato come suolo di classe sismica "B".

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

FREQUENZA CARATTERISTICA DI SITO

Nel grafico illustrato nel report allegato in Appendice B (pagina 10) è mostrato l'andamento del rapporto spettrale tra le componenti orizzontali (mediate) e verticale del moto sismico al suolo nel sito di indagine unitamente al grafico delle singole componenti spettrali lisceate.

La misura evidenzia segnali scarsamente isotropi e stazionari sotto i 2 Hz. Sono anche presenti disturbi di origine antropica/elettromagnetica alle frequenze di 1 e 23 Hz.

L'analisi del rapporto spettrale non permette di evidenziare un picco di frequenza associabile a risonanza stratigrafica.

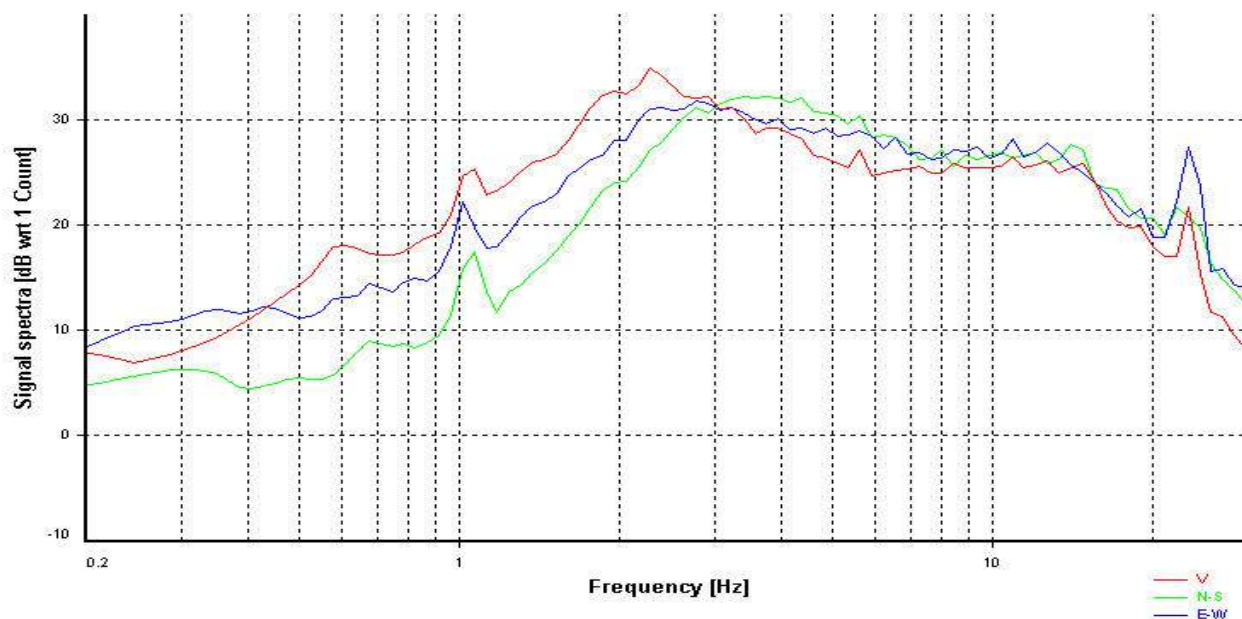


Figura 5 – Stazione per la misura di rumore sismico S2 – Componenti spettrali non lisciate

6. CONCLUSIONI

Le indagini sismiche eseguite in data 25 settembre 2017 nel comune di Villafranca Piemonte hanno fornito indicazioni preliminari utilizzabili nella redazione degli studi di microzonazione sismica del territorio comunale.

L'indagine sismica per onde di superficie ha definito la classe sismica di sito individuando terreni con caratteristiche geotecniche compatibili con suoli di tipo C e terreni che localmente presentano maggiore rigidità e possono essere classificati come suoli di tipo B.

Le misure di rumore sismico ambientale non consentono di determinare il periodo fondamentale di risonanza di sito. I dati acquisiti, che presentano caratteristiche soddisfacenti per effettuare valutazioni sui possibili contrasti di impedenza meno profondi, consentono di ipotizzare che il substrato sismico sia localizzato a profondità superiori a 100 metri da p.c.

Techgea S.r.l.

Redatto da: Dott. Geol. Emmanuele Duò

Controllato da: Dott. Geol. Mario Naldi

APPENDICE A

Report indagini sismiche per onde di superficie

COMMITTENTE	Comune di Villafranca Piemonte
RELAZIONE	3782/17
LOCALITA'	Piazza Vittorio Veneto
DATA	Ottobre 2017

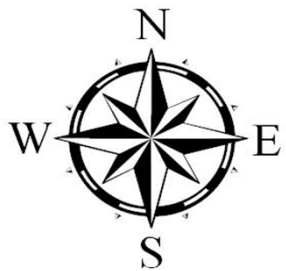
Azienda certificata UNI EN ISO
9001:2008
Certificato n. IT246983
Bureau Veritas Italia S.p.A.



ALLEGATO A

Pagina 1

UBICAZIONE INDAGINE MASW 1

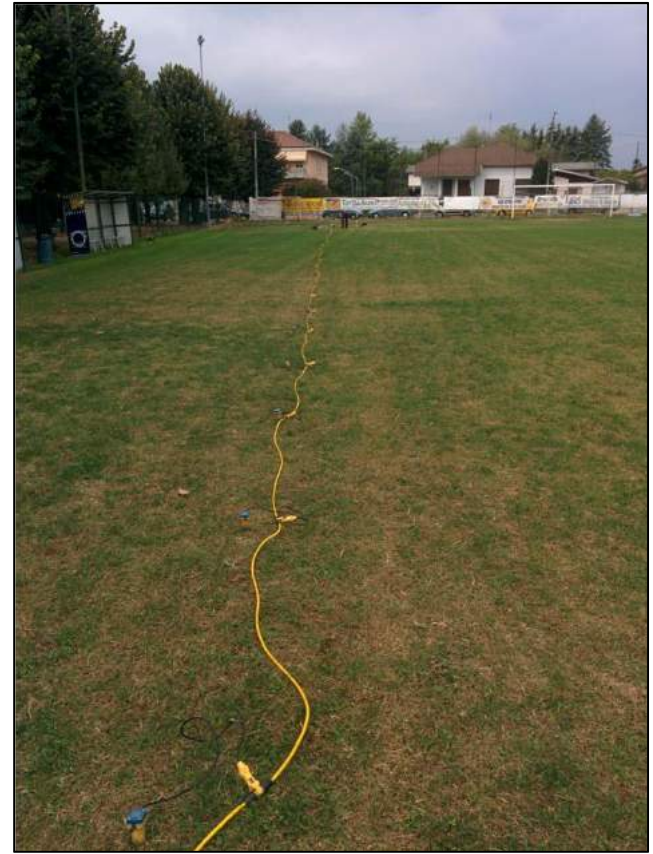


LEGENDA

- Stendimento linea MASW
- Centro linea MASW Ubicaz. profilo Vs₃₀

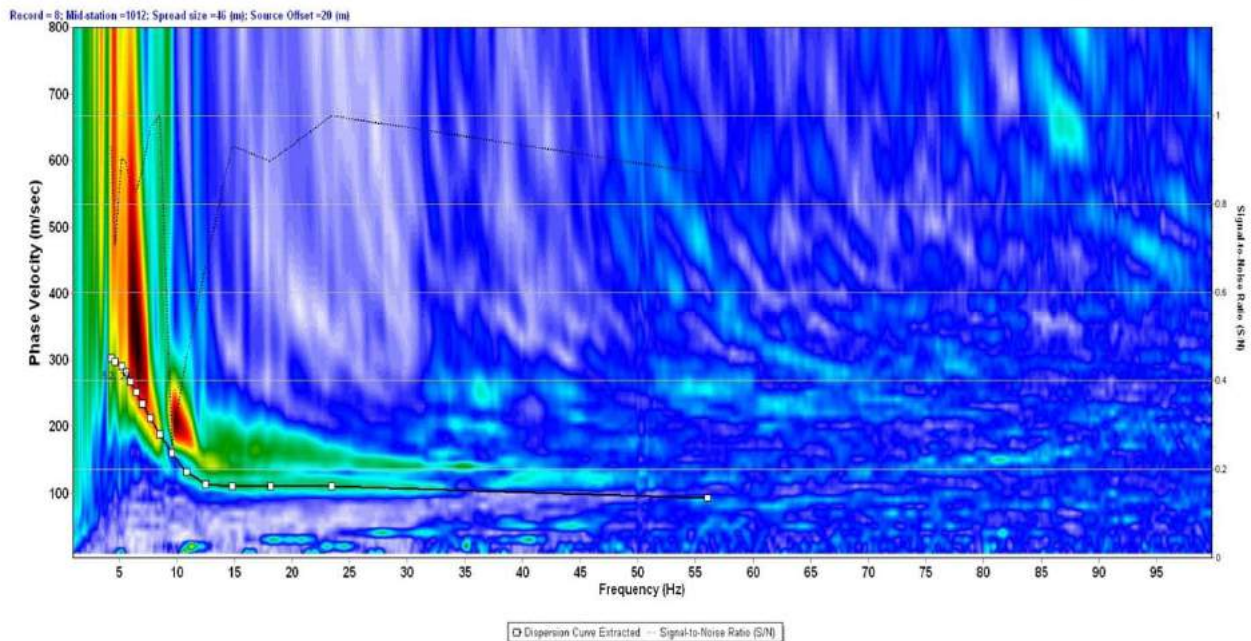
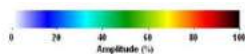
Ubicazione centro MASW	
Coordinate UTM WGS84	
Zona	32T
EST	378146
NORD	4959871

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



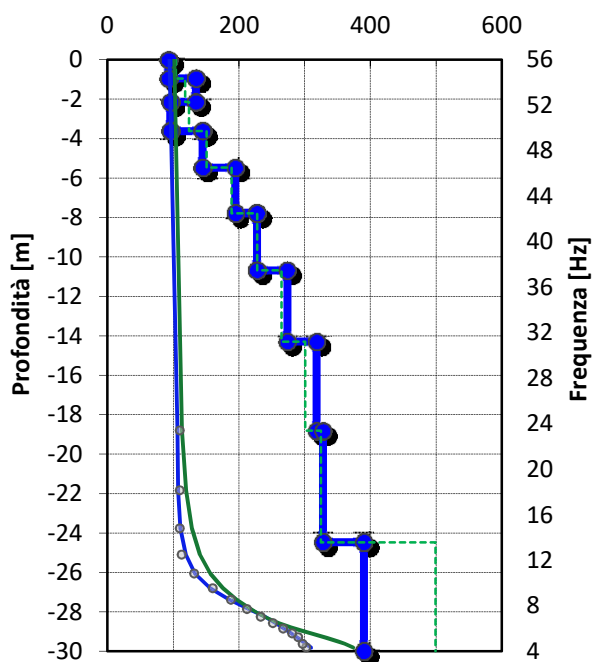
COMMITTENTE	Comune di Villafranca Piemonte	SISMOGRAFO	DAQ LINK III	
RELAZIONE	3782/17	GEOFONI	24 (freq. 4.5 Hz)	
LOCALITA'	Piazza Vittorio Veneto	ACQUISITION TIME	1.0 s	ALLEGATO A
DATA	Ottobre 2017	SAMPLE INTERVAL	0.250 ms	Pagina 2

PROVA MASW 1 - CURVA DI DISPERSIONE DELLE ONDE DI RAYLEIGH



PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO

Velocità onde di taglio Vs [m/s]



LEGENDA	
Modello di velocità Vs	
---	Vs iniziale
—●—	Vs finale
Curva di dispersione V_{fase}/f	
---	Curva di disp. iniziale
—●—	Curva di disp. Finale
○	Modo fond. misurato

MODELLO Vs A 10 STRATI			
Strato	Profondità [m]		Vs [m/s]
	da	a	
1	0.0	-0.9	93
2	-0.9	-2.1	134
3	-2.1	-3.6	95
4	-3.6	-5.5	145
5	-5.5	-7.8	194
6	-7.8	-10.7	228
7	-10.7	-14.3	274
8	-14.3	-18.8	318
9	-18.8	-24.5	328
10	-24.5	-30.0	390

Codice di calcolo: SurfSeis 5.3.1.9

SUOLO	DESCRIZIONE GEOTECNICA	Vs ₃₀ [m/s]
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati, o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	229 (media pesata sugli spessori compresi tra 0 e -30 m)

COMMITTENTE	Comune di Villafranca Piemonte
RELAZIONE	3782/17
LOCALITA'	Frazione San Luca
DATA	Ottobre 2017

Azienda certificata UNI EN ISO
9001:2008
Certificato n. IT246983
Bureau Veritas Italia S.p.A.



ALLEGATO A

Pagina 3

UBICAZIONE INDAGINE MASW 2



LEGENDA

- Stendimento linea MASW
- Centro linea MASW Ubicaz. profilo Vs₃₀

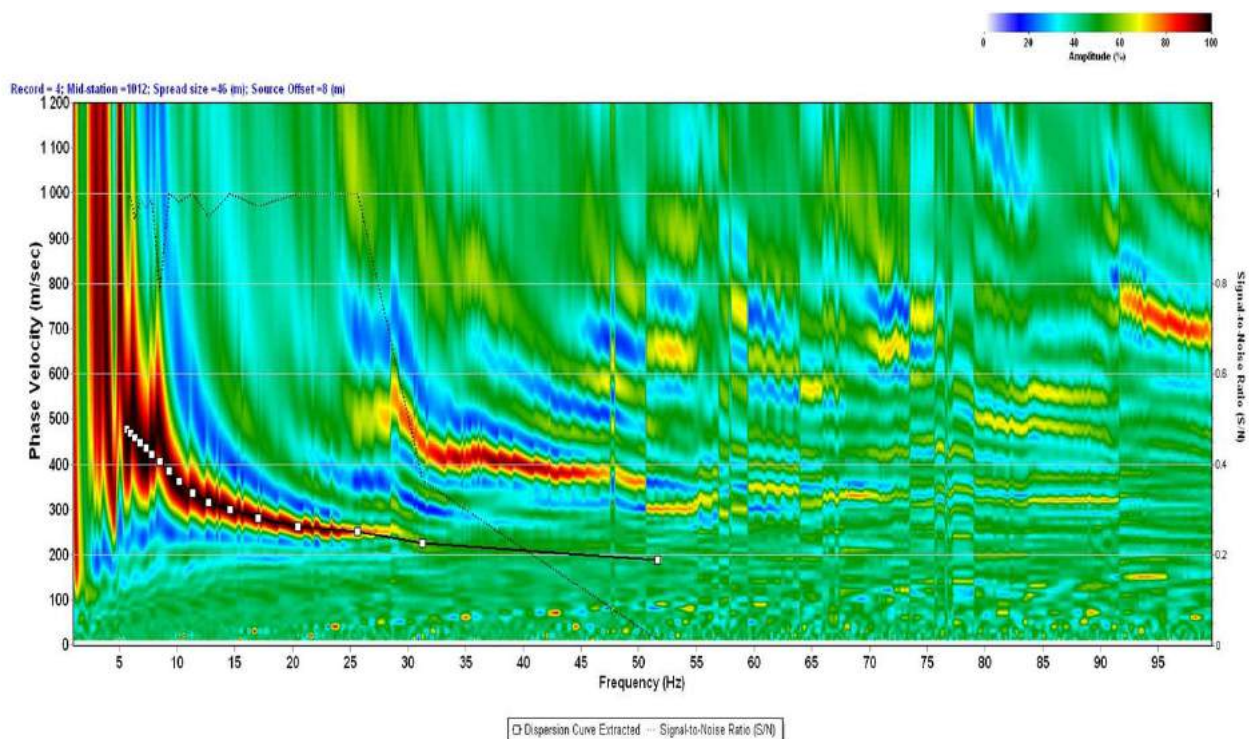
Ubicazione centro MASW	
Coordinate UTM WGS84	
Zona	32T
EST	375973
NORD	4961407

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

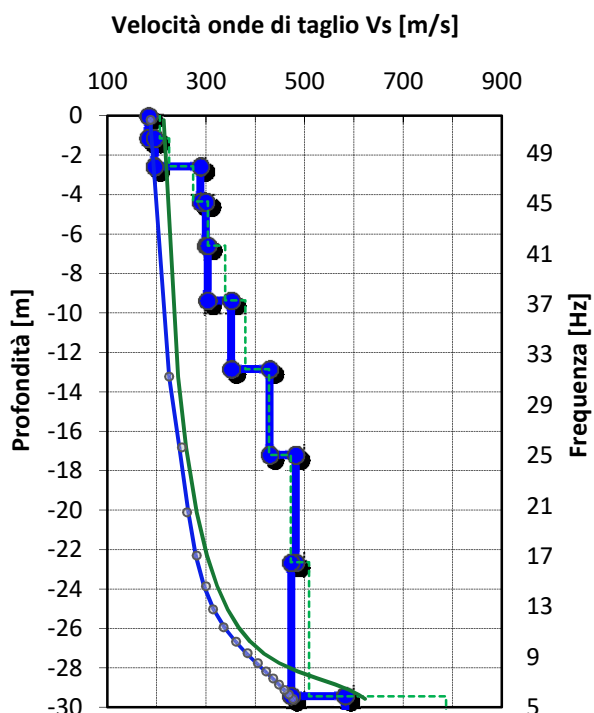


COMMITTENTE	Comune di Villafranca Piemonte	SISMOGRAFO	DAQ LINK III	
RELAZIONE	3782/17	GEOFONI	24 (freq. 4.5 Hz)	
LOCALITA'	Frazione San Luca	ACQUISITION TIME	1.0 s	ALLEGATO A
DATA	Ottobre 2017	SAMPLE INTERVAL	0.250 ms	Pagina 4

PROVA MASW 2 - CURVA DI DISPERSIONE DELLE ONDE DI RAYLEIGH



PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



LEGENDA	
Modello di velocità V_s	
—	V_s iniziale
—●—	V_s finale
Curva di dispersione V_{fase}/f	
—	Curva di disp. iniziale
—	Curva di disp. Finale
○	Modo fond. misurato

MODELLO V_s A 10 STRATI			
Strato	Profondità [m]		V_s [m/s]
	da	a	
1	0.0	-1.1	183
2	-1.1	-2.6	196
3	-2.6	-4.4	288
4	-4.4	-6.6	299
5	-6.6	-9.4	303
6	-9.4	-12.8	351
7	-12.8	-17.2	429
8	-17.2	-22.6	482
9	-22.6	-29.4	473
10	-29.4	-36.8	583

Codice di calcolo: SurfSeis 5.3.1.9

SUOLO	DESCRIZIONE GEOTECNICA	V_{s30} [m/s]
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	361 (media pesata sugli spessori compresi tra 0 e -30 m)

APPENDICE B

Report misure di rumore sismico ambientale

STATION INFORMATION

Station code: S01

Model: SARA SL06

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: Instrumental Y axis = Magnetic north

PLACE INFORMATION

Place ID: Comune di Villafranca Piemonte

Address: Piazza Vittorio Veneto

Latitude: 4959871

Longitude: 381707

Coordinate system: WGS84

Elevation: 253 m s.l.m.

Weather: Cloudy

Notes: Soft soil coupling

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

Recording start time: 2017/09/25 07:46:30

Recording length: 2678 sec

Windows count: 51

Average windows length: 20

Signal coverage: 38.09%

108174 m/s²

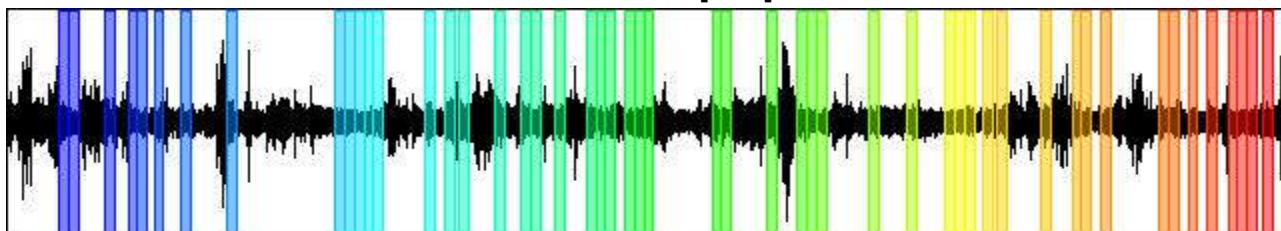
CHANNEL #1 [SHZ]



-122390 m/s²

78297 m/s²

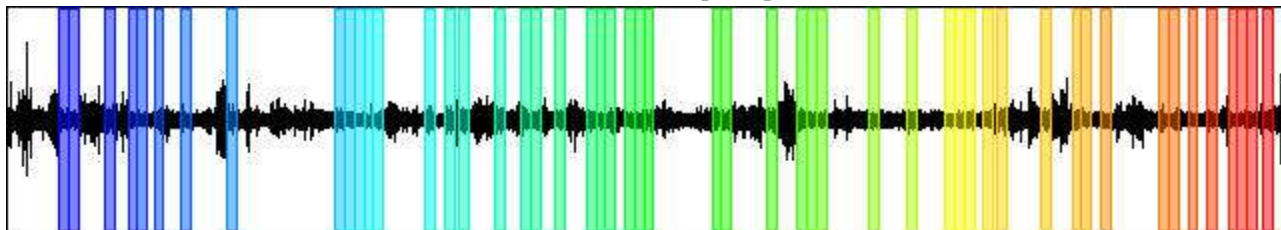
CHANNEL #2 [SHN]



-84418 m/s²

92984 m/s²

CHANNEL #3 [SHE]



-134682 m/s²

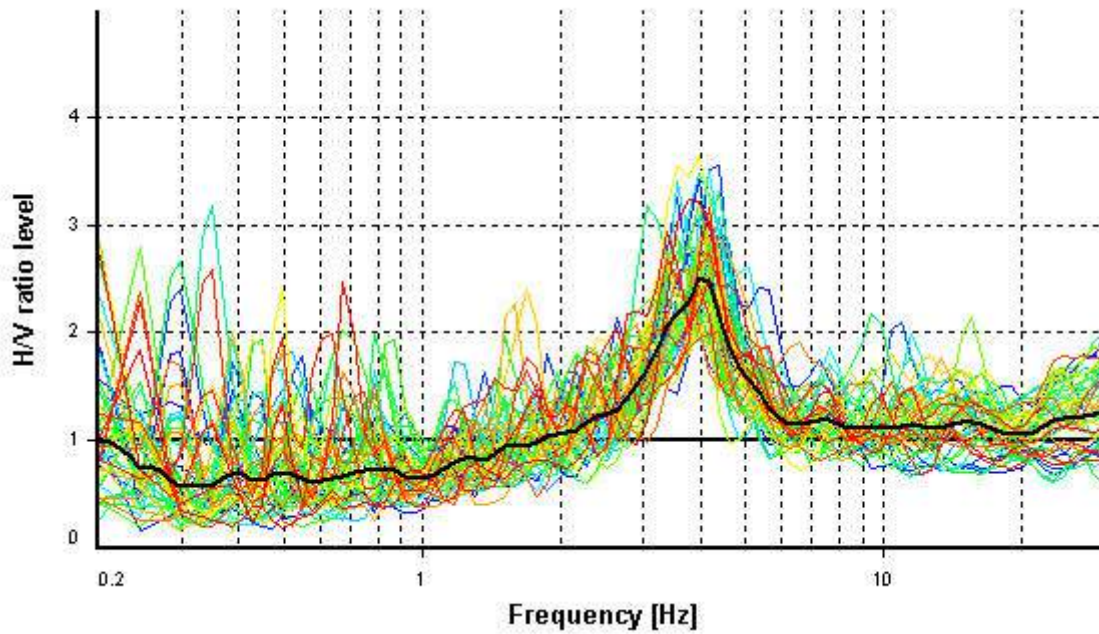
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

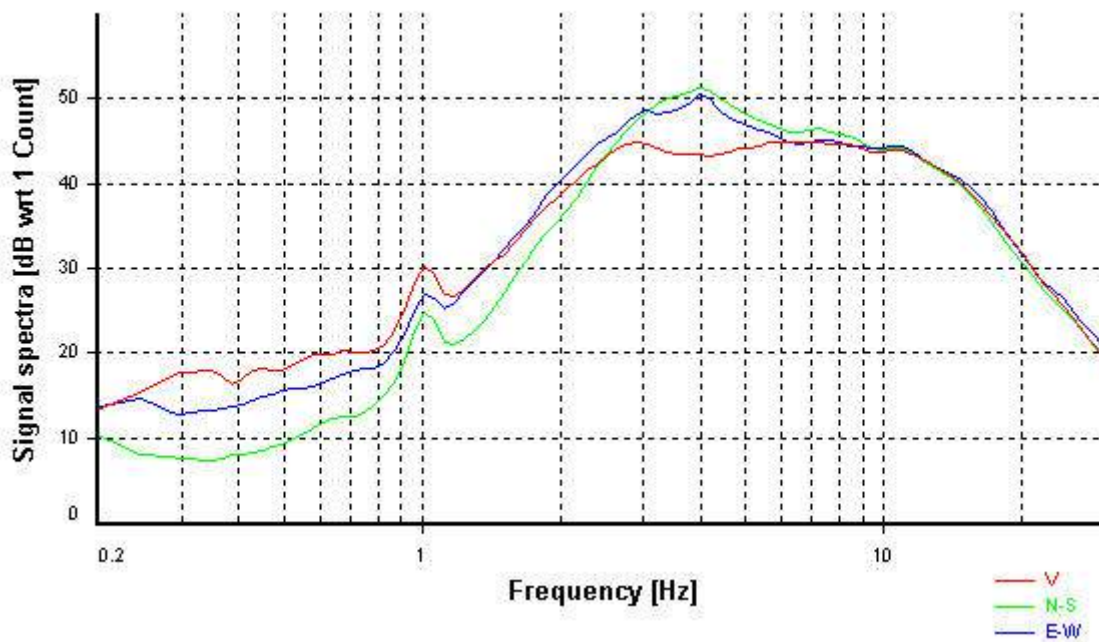
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

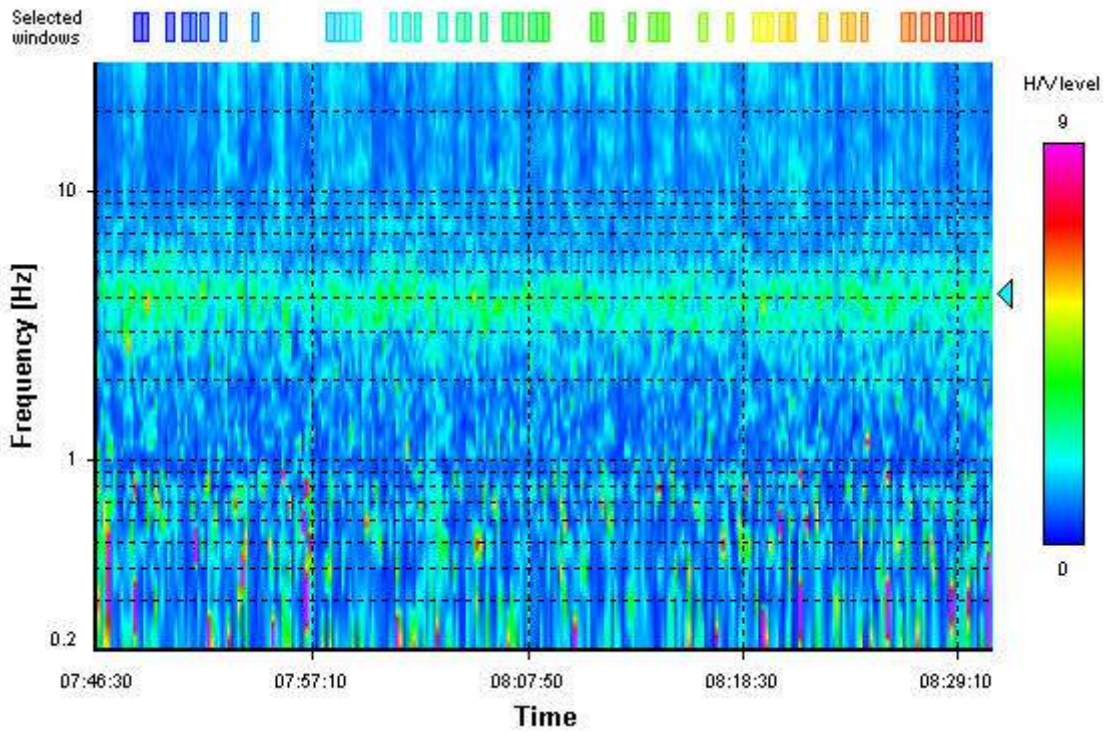
HVSR average



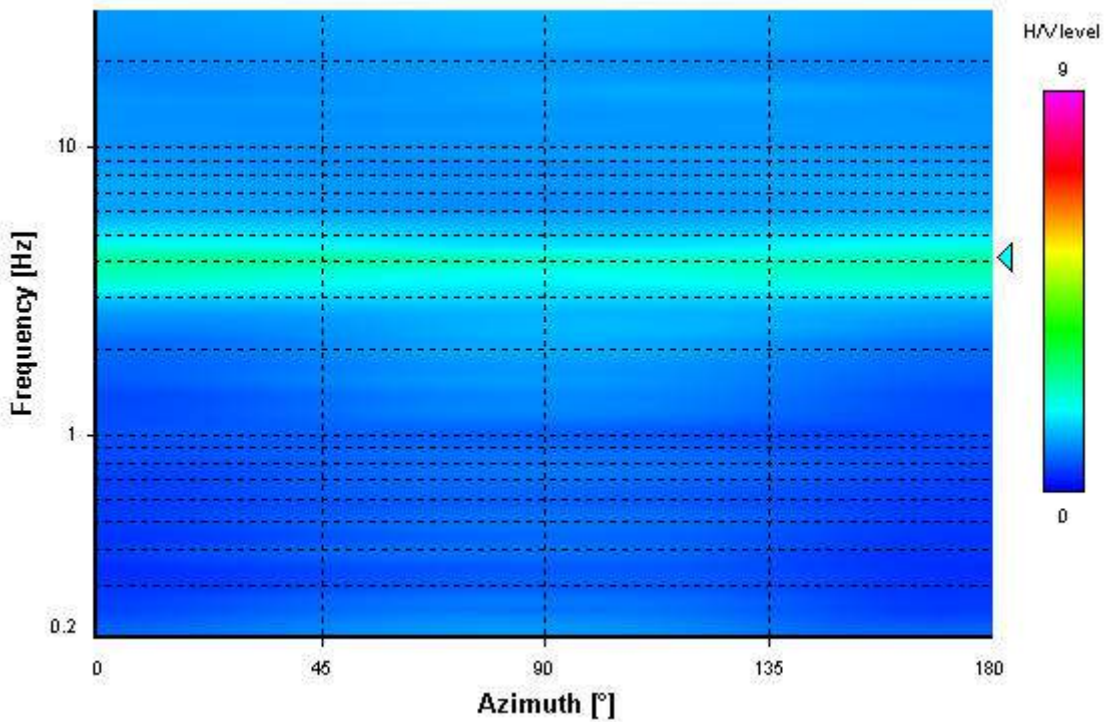
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (10 seconds windows)



HVSR directional analysis



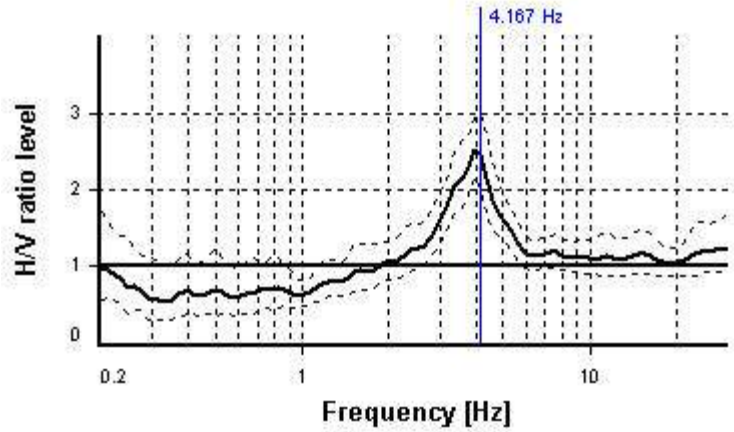
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

4.167 Hz

A_0 amplitude = 2.466

Average $f_0 = 3.979 \pm 0.274$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	51 valid windows (length > 2.4 s) out of 51	OK
$n_c(f_0) > 200$	4250.83 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 27	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	2.38828 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	5.93934 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.47 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	4.94% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.27377 >= 0.20837	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.21478 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: S02

Model: SARA SL06

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: Instrumental Y axis = Magnetic north

PLACE INFORMATION

Place ID: Comune di Villafranca Piemonte

Address: Frazione San Luca

Latitude: 4961412

Longitude: 375968

Coordinate system: WGS84

Elevation: 273 m s.l.m.

Weather: Cloudy

Notes: Soft soil coupling

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

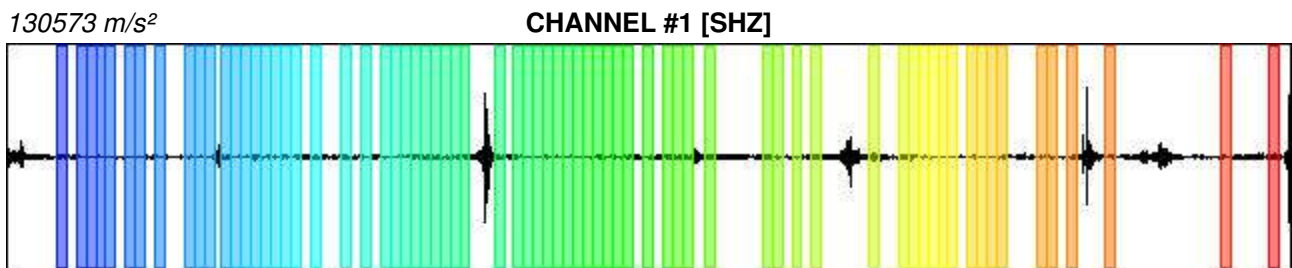
Recording start time: 2017/09/25 08:59:30

Recording length: 2580 sec

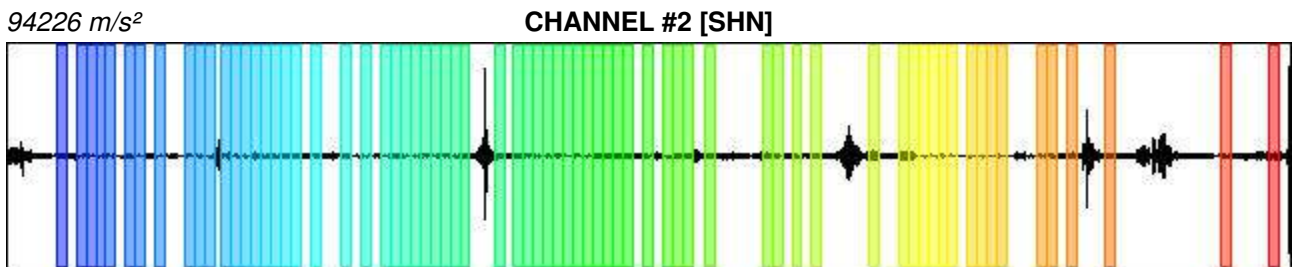
Windows count: 70

Average windows length: 20

Signal coverage: 54.26%



-132583 m/s²



-117966 m/s²



-81069 m/s²

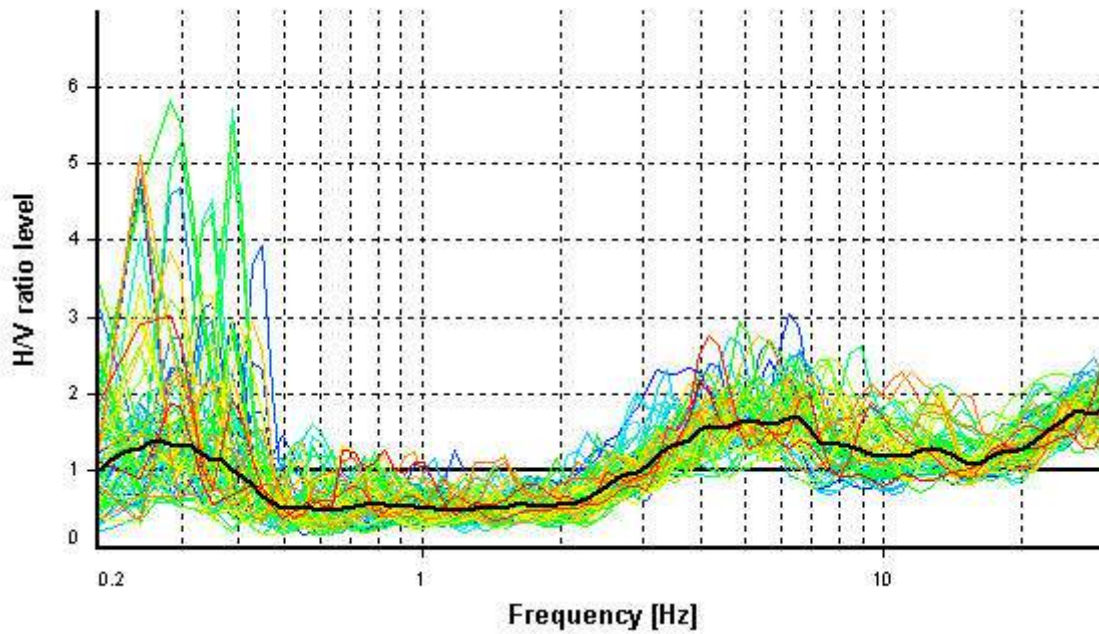
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

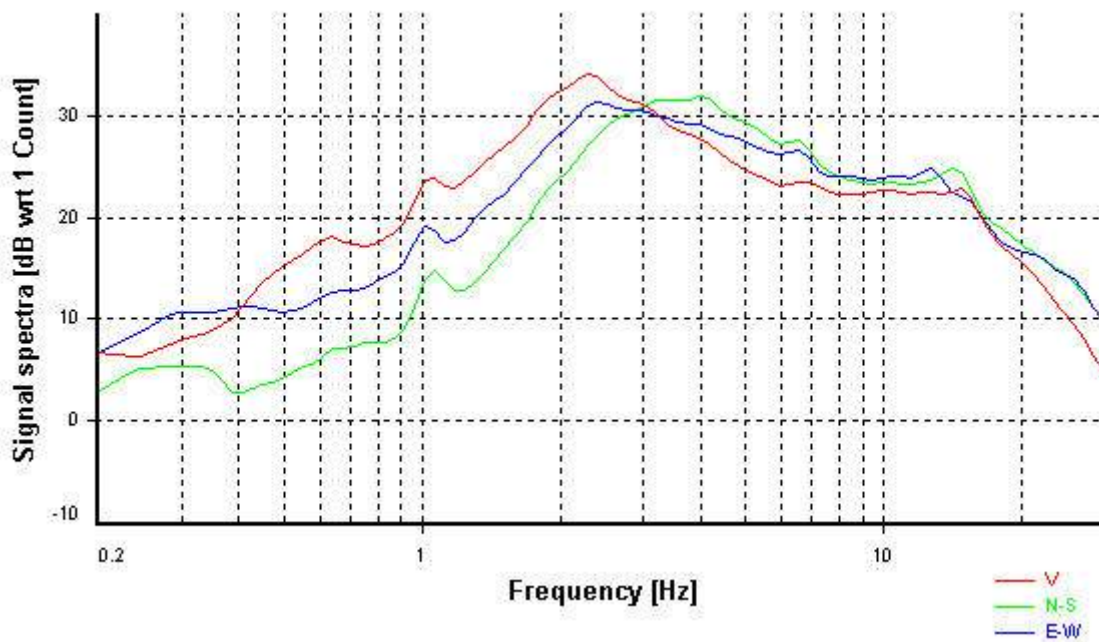
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

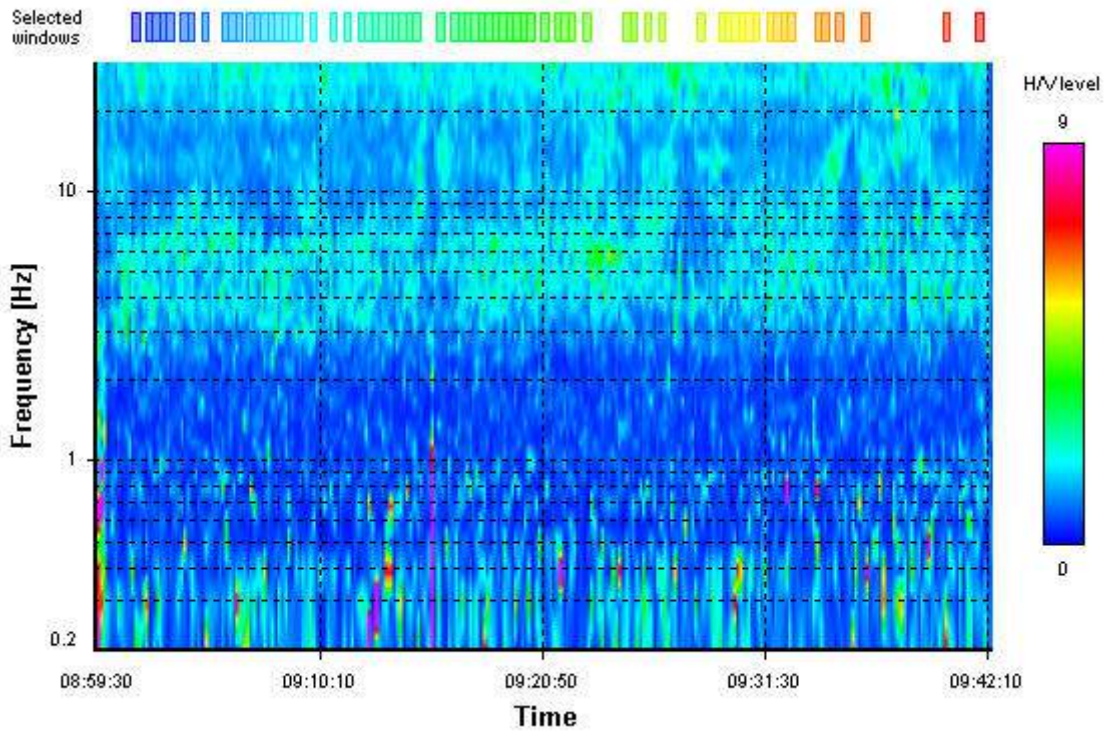
HVSR average



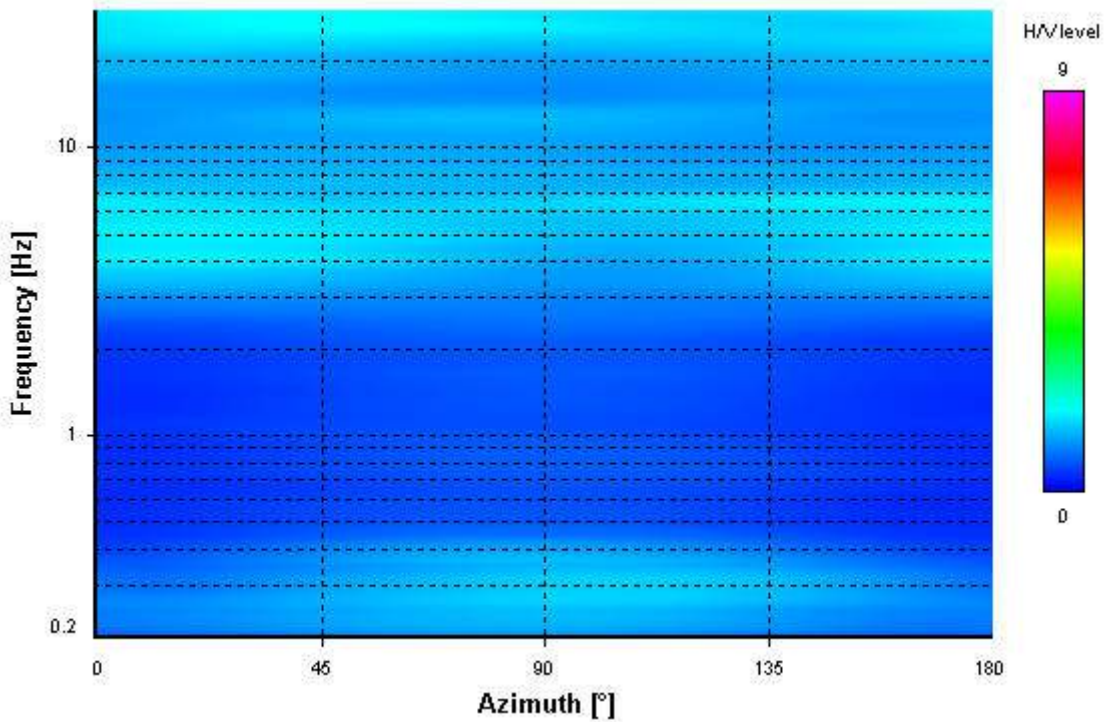
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (10 seconds windows)



HVSR directional analysis



APPENDICE C

Cenni teorici sulla metodologia MASW

CENNI TEORICI SULLA METODOLOGIA DI INDAGINE MASW

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multimodale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente.

La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche col metodo SWM (Surface Waves Multichannel) è una curva apparente derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione, e che, per i limiti indotti dal campionamento, non necessariamente coincide con singoli modi nei diversi intervalli di frequenza campionati.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali, schematizzato nelle Figure 1, 2 e 3, può essere suddiviso in tre fasi:

- 1) Acquisizione dati (Figura 1);
- 2) Elaborazione dati (Figura 2);
- 3) Inversione numerica (Figura 3).

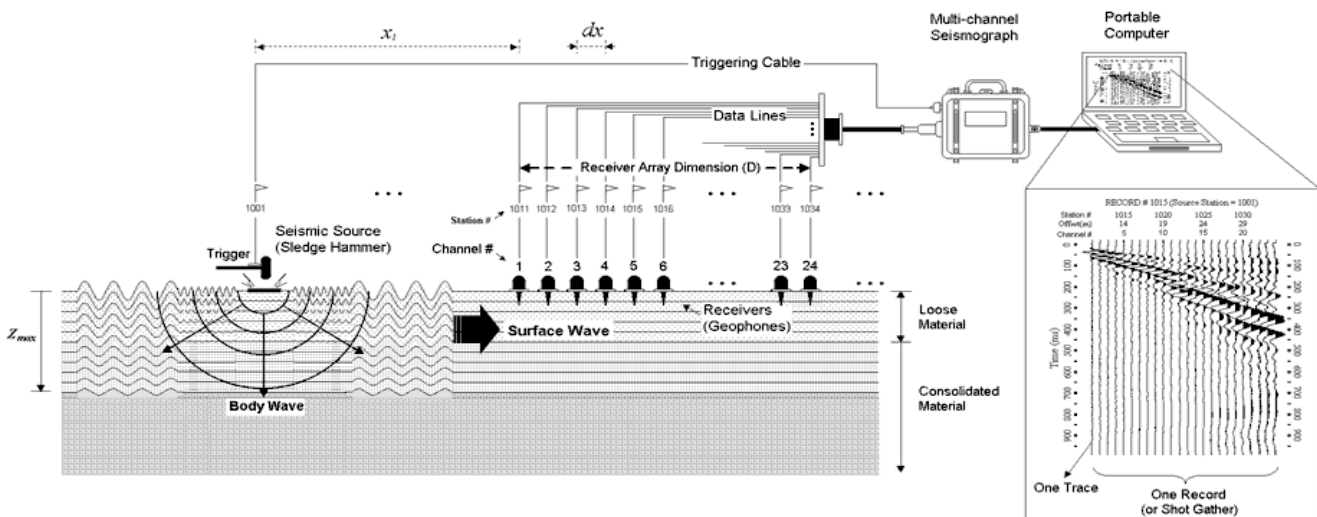


Figura 1 - Schema di acquisizione dati MASW

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto ovvero, la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (il codice di calcolo utilizzato è SurfSeis® versione 4.0.2, Kansas University USA).

Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti a una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere la curva di dispersione delle onde di Rayleigh, nell'ipotesi che, nell'intervallo di frequenze analizzato, le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh, e che le caratteristiche del sito siano tali da consentire la propagazione delle onde superficiali, nonchè un comportamento dispersivo delle stesse.

Si dimostra infatti che la velocità delle onde di Rayleigh è associata ai massimi dello spettro f-k; si può ottenere facilmente una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza il picco spettrale, al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_R , determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_R(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori (V_R, f) in un grafico, si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione (Figura 2). La fase di inversione deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati.

Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura (Figura 3).

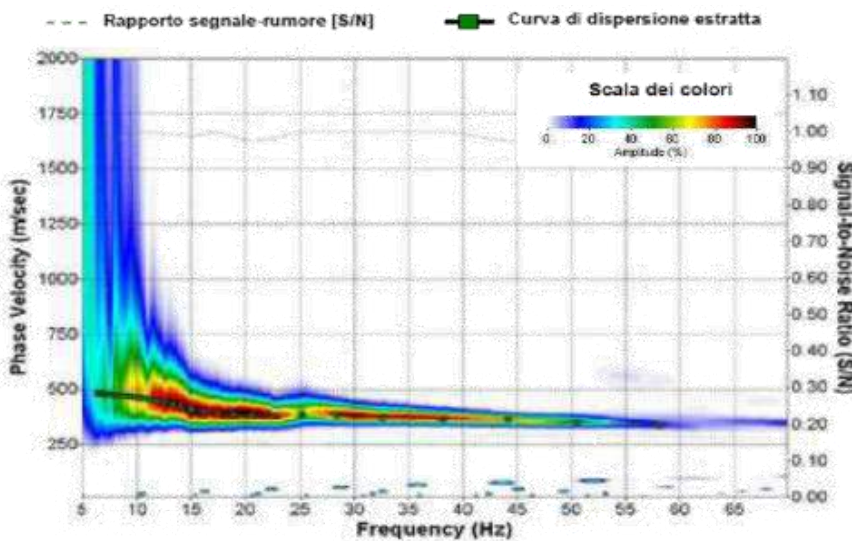


Figura 2 - Curva di dispersione della velocità V_s in funzione della frequenza e della velocità di fase

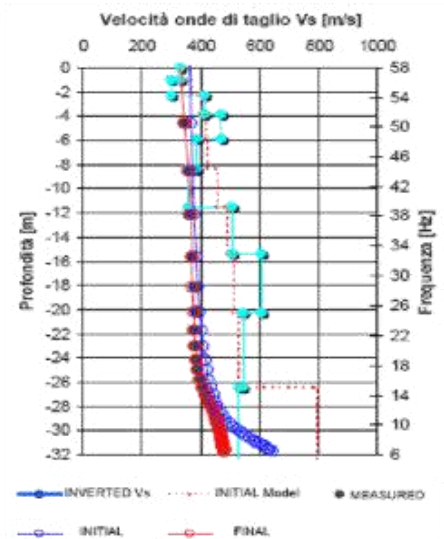


Figura 3 - Modello di propagazione delle velocità delle onde V_s

APPENDICE D

Cenni teorici sulla metodologia HVSR

CENNI TEORICI SULLA METODOLOGIA HVSR

La sismica passiva a stazione singola fornisce informazioni sui terreni di indagine relativamente alle frequenze naturali e di risonanza. La metodologia, chiamata anche tecnica di Nakamura (1989), è stata introdotta da Nogoshi e Igarashi (1971) sulla base degli studi di Kanai e Tanaka (1961). Questa tecnica si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti locali (sismici) di sito.

La tecnica proposta da Nakamura assume che i microtremori (il cosiddetto rumore di fondo registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali, le onde di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato sovrastante su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

Per l'applicazione e l'interpretazione di questa tecnica è fondamentale una buona conoscenza dell'ingegneria sismologica combinata con un background di informazioni relative alle caratteristiche geologiche, geofisiche e geotecniche del sito. Questa tecnica presenta il vantaggio di poter essere adoperata pressoché ovunque, purché siano garantite l'assenza di forti vibrazioni indotte da attività umane nelle vicinanze del punto di misura. Il metodo è generalmente applicato per studi di microzonazione e per valutare la risposta sismica locale. Questa tecnologia è stata oggetto del progetto di ricerca SESAME (Site Effects assessment using Ambient Excitations) ed a questo si rimanda per le linee guida della tecnica H/V spectral ratio (<http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>).

Basi teoriche

Le basi teoriche dell'HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D) è abbastanza semplice.

Si consideri un sistema in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene parzialmente riflessa dall'orizzonte che separa i due strati, e questa, una volta riflessa, interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore h del primo strato.

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{p1}/(4h)$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$f_r = V_{s1}/(4h)$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima della velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati. Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto, ma la prassi di usare il rapporto degli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per *a)* il contenuto in frequenza, *b)* la risposta strumentale e *c)* l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo. Si rileva inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994). Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

L'applicabilità pratica della semplice formula sopra riportata relativa alle onde S è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica sia nell'ambito ingegneristico. Poiché la situazione illustrata è tipica delle coltri sedimentarie sovrastanti basamenti rocciosi, il metodo HVSR è parso immediatamente applicabile alla determinazione dello spessore delle coltri sedimentarie (Ibs-Von Seht e Wohleberg, 1999).

Attrezzature e modalità esecutive

La misura prevede la registrazione, senza utilizzo di alcun strumento di energizzazione del terreno, del microtremore sismico ambientale nel dominio del tempo, sulle tre componenti dello spazio attraverso il posizionamento di adeguati strumenti sismometrici costituiti da sensori tridimensionali. Per queste misure è sconsigliato l'impiego di accelerometri, non sufficientemente sensibili a frequenze inferiori a 1 Hz, né di accelerometri sismologici. Essendo la stabilità una caratteristica fondamentale non sono impiegabili sismometri broadband con periodo naturale > 20 sec. in quanto richiedono lunghi tempi di stabilizzazione, come non sono raccomandabili sensori con frequenza naturale inferiore alla più bassa frequenza di interesse. Indicativamente, la frequenza di sito è funzione diretta della vicinanza del bedrock dalla superficie topografica e della rigidità dei materiali.

Per l'installazione lo strumento di misura dovrà essere orientato secondo le direzioni geografiche (E e W) e dovrà essere dotato di bolla sferica per il posizionamento mentre l'accoppiamento con la superficie dovrà essere diretto o assicurato con piedini o puntazze in terreni morbidi. Bisognerà altresì fare attenzione alla presenza di radici, sottoservizi, vicinanza edifici, vento ecc., in quanto creano disturbo nel segnale H/V inducendo una forte perturbazione a bassa frequenza.

Per uno studio di risposta di sito è consigliabile effettuare almeno tre misure per punto, possibilmente in tempi diversi durante la giornata, da cui derivare il valore di frequenza di risonanza.

La strumentazione di acquisizione presenta le seguenti specifiche:

- 1 trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza (< 1-2 Hz);
- 2 amplificatori;
- 3 digitalizzatore;
- 4 frequenza di campionamento: > 50 Hz;
- 5 convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit;
- 6 durata registrazione: >10 minuti;
- 7 collegamento al tempo GPS per la referenziazione temporale.

Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati raccolti impiega un software (**Geopsy**) in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations, 2005).

Il processing dei dati verte sul rapporto spettrale tra il segnale del sensore verticale e quelli orizzontali operando su finestre di selezione del segnale che dovranno essere non meno di 10 per un segnale complessivo utile non inferiore a 200-400 secondi.

I principali passi del processing sono i seguenti:

- 1 FFT (incluso il tapering);
- 2 operatore di smoothing (Konno & Ohmachi);
- 3 merging dei componenti orizzontali;
- 4 H/V Spectral Ratio per ogni finestra utilizzata (>10);
- 5 media degli spettri H/V;
- 6 valutazione della deviazione standard.

Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di f_0 – Frequenza/e di risonanza e la sua deviazione standard.

Il certificato finale della prova presenta (<http://www.geo.uib.no/seismo/REPORTS/SESAME/USER-GUIDELINES/SESAME-HV-User-Guidelines.doc>):

- 1 i criteri di attendibilità della misura;
- 2 i criteri di validità del picco di f_0 ;
- 3 i valori di soglia delle condizioni di stabilità;

- 4 l'analisi dei criteri in particolare con verifica rispetto alla frequenza del sensore ed alla presenza di rumore di origine industriale;
- 5 l'interpretazione di f_0 e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche del sito.

Per gli scopi e finalità dell'indagine le misure HVSR offrono la possibilità di determinare:

- 1 valutazione dell'omogeneità del sito rispetto alle frequenze di risonanza;
- 2 spessori della coltre di copertura.

Frequenze

Per quanto riguarda la mappatura delle frequenze principali di risonanza, tale elaborazione permette di valutare il grado di omogeneità sulla risposta di sito relativamente alle frequenze dei materiali.

L'analisi di queste permette di definire il campo delle frequenze significative di risonanza da utilizzare direttamente nella progettazione degli edifici.

Spessori¹

L'assunzione di base è che, per un modello di sottosuolo monodimensionale (stratificazione piana e parallela) costituito da sedimenti soffici sovrastanti il substrato, la frequenza di risonanza f_r dovuta alla propagazione di onde S incidenti perpendicolarmente la base del substrato è data dalla relazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

da cui la frequenza di risonanza

$$f_r = \frac{1}{T}$$

dove h è lo spessore dello strato di sedimenti e V_s dipende dalla velocità delle onde di taglio al suo interno. In base a tale relazione, quindi, a partire da valori misurati di f_r e V_s ricavati è possibile stimare lo spessore della coltre sedimentaria di un bacino.

Tuttavia, non essendo sempre presente la misura di V_s come profilo sismico fino al bedrock geofisico, allora si può far riferimento alla relazione di Ibs-von Seht e Wohlenberg (1999).

Poiché l'andamento del log in V_s in terreni sedimentari è principalmente regolato dall'incremento del modulo di rigidità al crescere della pressione di confinamento e quindi della profondità, a partire dai valori di V_s

¹ Ibs-von Seht M. and Wohlenberg J. (1999). Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments. Bull. Seism. Soc. Am., 89 (1): 250-259. Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, QR Railway Tech. Res. Inst., 30: 25-33.

per la porzione più superficiale del terreno, è possibile estrapolare l'andamento delle Vs a profondità più elevate tramite l'impiego di relazioni empiriche.

A questo scopo, Ibs-von Seht e Wohlenberg (1999) suggeriscono la seguente funzione:

$$V_s = V_0(1 + Z)^a$$

dove V_0 è la velocità al tetto dello strato ed a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.).

Questa relazione, combinata con la precedente, consente infatti la stima dello spessore della coltre di sedimenti soffici:

$$Z = \left[\frac{V_0(1-a)}{4f_r} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

Nei casi più complessi è possibile invertire le curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale fino a considerare ottimale il modello teorico più prossimo alle curve sperimentali.

Per l'inversione delle curve si può far riferimento alle procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004)² usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love.

² Arai H. e Tokimatsu, 2004. S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum. Bull. Seismol. Soc. Am., 94, p. 53-63.