

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 AIRASCA

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

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

IL TECNICO INCARICATO
Dott. Geologo Francesco Peres

 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.....	10
6. ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO ED IDROGEOLOGICO - MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	11
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
9. BIBLIOGRAFIA.....	19

Allegato 1: indagine geofisiche.

1. PREMESSA

Nell'ambito degli studi geologici a supporto della Variante di adeguamento al PAI del Piano Regolatore Generale Comunale, 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.

Le attività previste si sono articolate attraverso la ricerca bibliografica dei dati geognostici e geofisici disponibili sul territorio comunale, nonché provenienti da studi di microzonazione sismica condotti sui Comuni confinanti (None, Scalenghe cfr. § 9.). Si è provveduto, inoltre, alla conduzione di sopralluoghi mirati alla definizione del modello geologico e geomorfologico a scala locale. Sono state contestualmente condotte⁽¹⁾ indagini geofisiche mirate, costituite da n. 3 prove MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves, MASW1 - MASW2 - MASW3) e n. 3 prove HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HV1 - HV2 - HV3), finalizzate ad implementare il quadro conoscitivo, sotto il profilo sismico, del territorio comunale.

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

- Carta delle indagini (scala 1:5.000);
- Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (scala 1:5.000);
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS, scala 1:5.000).

La base topografica utilizzata è la BDTre alla scala 1:10.000.

¹ Techgea S.r.l., marzo 2017.

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, 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 provvede 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, con il Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 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 AIRASCA:

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'OPCM 20/03/2003 n. 3274 ha provveduto a rielaborare le mappe relative alla zonazione sismogenetica (ZS9) del territorio nazionale con la finalità di delineare uno strumento necessario alla ridefinizione della pericolosità sismica⁽²⁾.

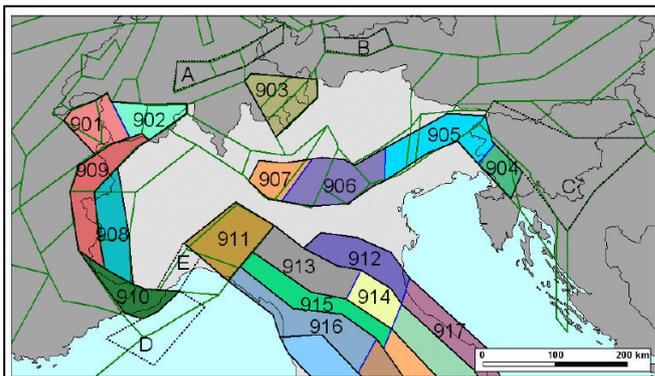


Figura 01
Zonazione sismogenetica ZS9 per il Nord Italia a confronto con zonazioni precedenti. Fonte INGV, 2004 (cfr. nota 4).

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, disegnano l'arco alpino occidentale. Si tratta di due zone disposte secondo due fasce parallele all'asse della catena e 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. 1 con le principali caratteristiche della zona sismogenetica 908.

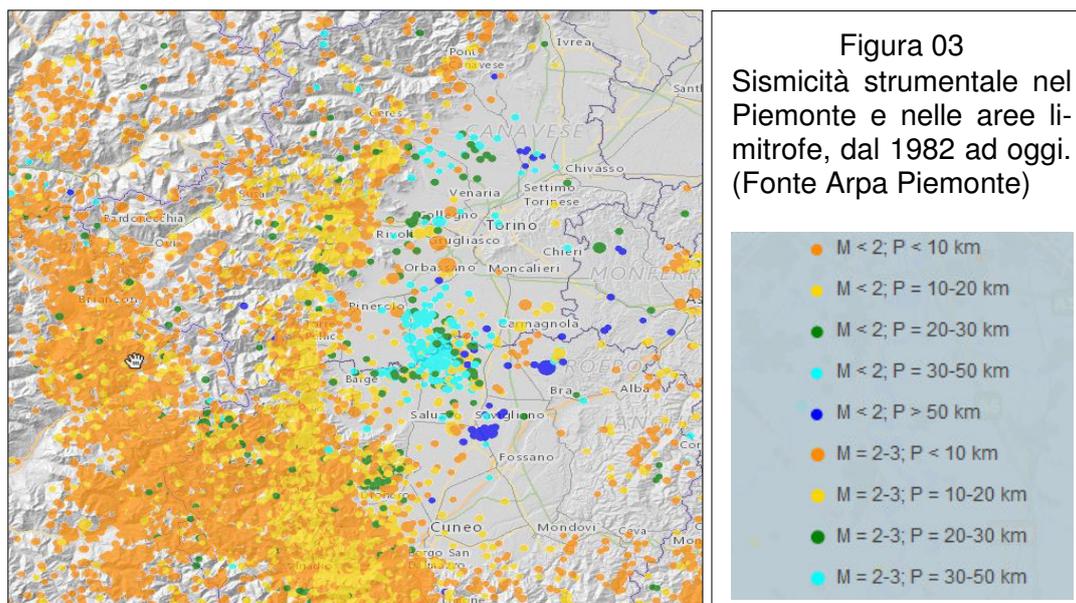
Zona	Numero di eventi Md>2.0	Numero di eventi Md>2.5	Numero di eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
901	18	15	2	4.0	8-12	8
902	34	25	2	3.8	8-12	10
903	23	19	2	4.5	8-12	9
904	13	9	1	3.4	5-8	7*
905	181	110	32	4.8	5-8	8*
906	41	34	13	4.7	5-8	8*
907	33	19	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

² INGV (2004) - Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica prevista dall'Ordinanza PCM del 20 marzo 2003, n. 3274, All. 1 - Rapporto Conclusivo.

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 del 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-occidentale nell'ultimo millennio e caratterizzati da una magnitudo momento⁽³⁾ 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 4.85 Mw.

³ 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 riconducibile agli effetti tettonici dell'area interessata dai terremoti 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.

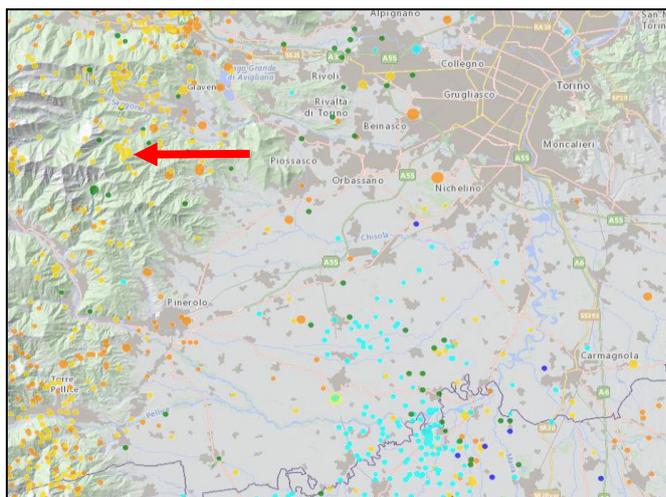


Figura 04
 Sismicità strumentale nel Piemonte e nelle aree limitrofe, dal 1982 ad oggi. (Fonte Arpa Piemonte) - ingrandimento della mappa in Figura 03. La freccia rossa indica l'ubicazione dell'epicentro dell'ultimo terremoto registrato con magnitudo maggiore di 4 (Comune di Giaveno).

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

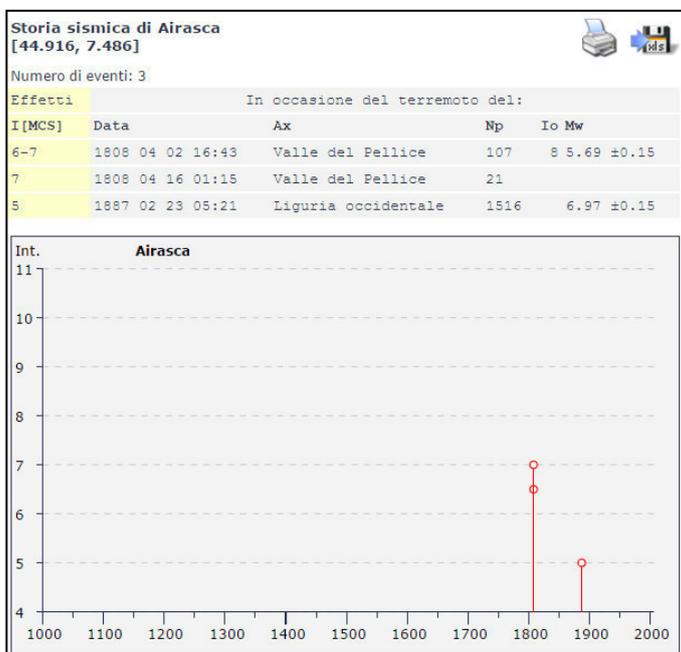


Figura 05
 Storia sismica di None - Catalogo INGV
 Aggiornamento 2011
http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/quiry_place/

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 l'analisi alla scala del territorio d'indagine, la normativa tecnica di riferimento prevede di adottare la metodologia di disaggregazione della componente $a_{(g)}$ finalizzata a definire la 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/>

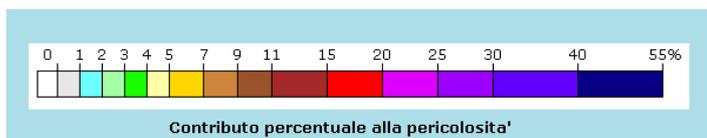
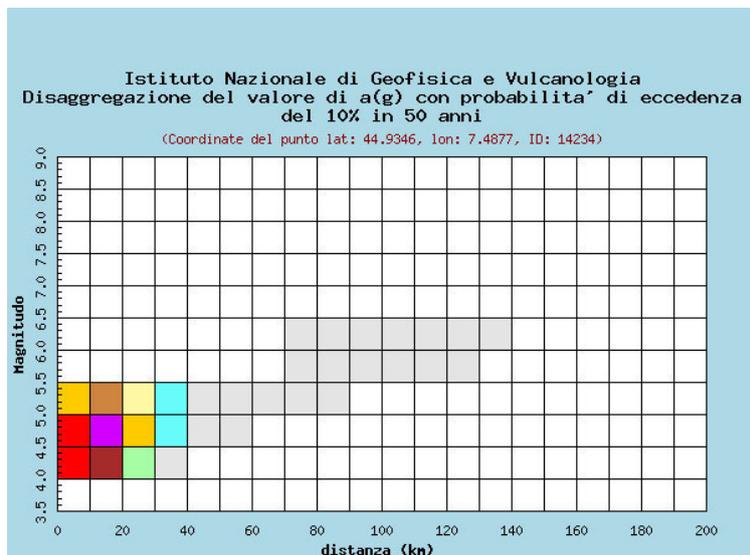


Figura 06
Grafico di disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, valutato in un punto baricentrico del territorio comunale in esame, secondo la maglia di riferimento INGV. Nella tabella sotto riportata si estrapolano i valori medi di magnitudo e distanza che individuano il sisma evento per il territorio oggetto del presente studio di microzonazione.

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.740	14.600	0.999

Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.9346, lon: 7.4877, ID: 14234)										
	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	15.000	18.600	5.640	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	12.400	20.100	8.900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	2.800	6.470	4.280	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.243	1.650	1.790	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.179	0.638	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.001	0.142	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.021	0.145	0.205	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.006	0.131	0.219	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.056	0.136	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.103	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	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

Secondo i riferimenti della normativa tecnica di riferimento e, nel dettaglio, ai sensi del punto 7.11.3.4.2 del D.M. 14 gennaio 2008, nei siti in cui la magnitudo massima attesa è minore di 5 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, precludendo 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 è possibile escludere la verifica alla liquefazione.

5. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Il Comune di Airasca si colloca nella porzione distale dei conoidi coalescenti fluvioglaciali ed alluvionali individuati dal Torrente Chisola e dai suoi principali affluenti (il Rio Torto e il Torrente Noce) allo sbocco delle omonime valli.

A scala regionale, il materasso fluvioglaciale ed alluvionale che individua il settore di pianura in esame è costituito da tre sequenze deposizionali principali:

1. depositi alluvionali recenti debolmente sospesi sugli alvei attuali (Olocene): affiorano in corrispondenza di ristrette aree fiancheggianti il reticolo idrografico principale ai cui processi di dinamica evolutiva sono geneticamente connessi;
2. depositi alluvionali e fluvioglaciali *rissiani* (Pleistocene): costituiscono il livello fondamentale dell'alta pianura torinese meridionale, definendo il corpo deposizionale arealmente più esteso;
3. depositi alluvionali e fluvioglaciali *mindeliani* (Pleistocene): costituiscono lembi smembrati che, in prossimità degli sbocchi vallivi sono fortemente terrazzati sui termini rissiani, mentre nei segmenti più distali dei conoidi appaiono marcatamente rimodellati e riconoscibili per la maggiore intensità dei processi pedogenetici coinvolgenti la copertura superficiale ("*Ferretto*" Auct.). Quest'ultimo corpo deposizionale affiora nella porzione Nord-occidentale nel territorio comunale in esame, al confine comunale con il Comune di Piscina..

L'evoluzione del settore di pianura in cui ricade l'area oggetto d'indagine è riconducibile ad un modello deposizionale tipico di torrenti a canali anastomizzati ("*Braided streams*"), che si caratterizzano per un alveo di piena relativamente ampio in cui il deflusso delle portate si organizza in molteplici canali separati da isole fluviali e barre laterali.

In condizioni di magra e di morbida, si attivano solamente i rami principali; durante le piene, che si contraddistinguono per un trasporto solido molto grossolano e prevalente sulla portata liquida, i canali secondari vengono colmati favorendo la tendenza del sistema a tracimare, con conseguente diminuzione dell'energia complessiva e deposizione dei sedimenti mobilizzati.

La ripetizione ciclica del processo ora in destra, ora in sinistra idrografica ("a ventaglio"), in funzione delle peculiarità geomorfiche dell'alveo di piena individuate dalla successiva propagazione delle portate al colmo, è responsabile della costruzione progressiva del conoide.

Sulla base delle caratteristiche del processo deposizionale descritto, appare chiaro come la sequenza stratigrafica associata sia marcatamente eterogenea ed individuata da una successione di corpi con continuità laterale ridotta e dalla geometria lentiforme costituiti da termini grossolani con brusche transizioni laterali verso sedimenti più fini.

La granulometria media dei depositi tende a diminuire con l'energia del sistema-corso d'acqua, ossia procedendo dalle porzioni apicali a quelle distali dei conoidi.

Il territorio comunale in oggetto è prevalentemente caratterizzato dall'affioramento dei depositi fluviali e fluvioglaciali rissiani (Pleistocene) che definiscono il livello di base della pianura torinese meridionale. Una ristretta area fiancheggiante il torrente Rio Torto è modellata sui termini olocenici recenti debolmente sospesi sull'alveo del corso d'acqua stesso. Inoltre, sebbene le evidenze morfologiche siano alquanto di difficile interpretazione (in rapporto allo sviluppo di un'appena percettibile cambio di pendenza della superficie topografica, interpretabile come un orlo di terrazzo fortemente rimodellato), si rileva la presenza di un lembo relitto di sedimenti fluviali e fluvioglaciali mindeliani (Pleistocene) a Nord di località "Gabellier", tra il rilevato della linea ferroviaria Torino-Pinerolo ed il Rio Bussonrondo.

6. ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO ED IDROGEOLOGICO - MODELLO DEL SOTTOSUOLO

La ricostruzione del modello del sottosuolo e dell'assetto litostratigrafico dei terreni che caratterizzano il territorio comunale di Airasca è stato effettuato a partire dai dati geognostici pregressi (cfr. § successivo), dalla documentazione bibliografica (cfr. § 9.), nonché dall'acquisizione dei risultati delle indagini geofisiche effettuate nell'ambito del presente studio.

In sintesi, i depositi alluvionali olocenici sono costituiti essenzialmente da sabbie fini in matrice limoso-argillosa con intercalazioni di lenti francamente limose, per una potenza pari, mediamente, a 3÷4 m.

I sedimenti alluvionali e fluvioglaciali rissiani sono individuati da ghiaie eterometriche in matrice sabbioso-limosa, localmente con ciottoli arrotondati (costituiti da litotipi provenienti dal substrato cristallino del Massiccio del Dora-Maira a conferma della genesi del settore di pianura oggetto d'indagine riconducibile all'evoluzione del conoide pleistocenico di cui al § 5.), sabbie, a tratti limose, con intercalazioni di termini fini coesivi argilloso-limosi. Il materasso alluvionale rissiano si caratterizza per la presenza di una coltre superficiale di limi, limi sabbiosi ed argille con locali passate ghiaiose fini di spessore da metrico a decametrico, derivante dalla diffusione dei processi di alterazione pedogenetici, associati a lembi di un'originaria copertura loessica costituita da sabbie argillificate di colore giallo-bruno.

Per quanto riguarda l'assetto litostratigrafico profondo ed il modello idrogeologico ad esso riconducibile, si è fatto riferimento alla letteratura specifica pubblicata negli anni scorsi a 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; A. IRACE, P. CLEMENTE, M. NATALICCHIO, L. OSSELLA, S. TRENKWALDER, D. A. DE LUCA, P. MOSCA, F. PIANA, R. POLINO e D. VIOLANTI *“Geologia e idrostratigrafia profonda della Pianura Padana occidentale”*, 2009).

Si è tenuto conto della stratigrafia del pozzo potabile ACEA PINEROLESE INDUSTRIALE S.p.A. ubicato presso gli impianti sportivi comunali e del sondaggio incluso nella Rete di Monitoraggio Regionale perforato poco a sud del pozzo idropotabile medesimo.

Infine, sono stati presi in esame i dati contenuti nelle monografie predisposte a supporto del Piano regionale di tutela delle acque (PTA).

Sulla base della documentazione bibliografica disponibile, tre complessi deposizionali sovrapposti.

Il **Complesso A** (riferibile al Pleistocene sup. - Olocene) è rappresentato da un materasso alluvionale di potenza pluridecametrica costituito da termini sabbiosi, sabbioso-limoso-argillosi e ghiaioso-ciottolosi all'interno del quale è ospitata una falda di tipo libero in equilibrio idraulico con il reticolo idrografico superficiale. Le intercalazioni di sedimenti argilloso-limosi in esso presenti non rappresentano dei setti impermeabili continui ma costituiscono 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, non solo in corrispondenza degli sbocchi vallivi, ma anche lungo il percorso di pianura. Sulla base di tali considerazioni è ragionevole ritenere che nel settore oggetto d'indagine la falda ospitata in questo acquifero sia caratterizzata da una direzione di deflusso subparallela all'andamento del reticolo idrografico superficiale, che è grosso modo orientato secondo la direttrice NordOvest-SudEst. 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 cartografia tematica elaborata dallo scrivente parte integrante dello Studio geologico per la Variante strutturale di adeguamento al PAI del P.R.G.C.. In merito alla soggiacenza del livello piezometrico, dalle carte tematiche poc'anzi citate si evince come nella quasi totalità del territorio comunale la superficie libera della falda freatica si attesti a profondità inferiori ai 5 m dal piano campagna in condizioni minime stagionali, affiorando localmente sul piano campagna ad alimentare fontanili.

Segue il **Complesso B** (*“Villafranchiano”* 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 *“Villafranchiano”* 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 bordo 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. Sulla base della documentazione bibliografica sopra citata e in relazione ai recenti aggiornamenti degli studi che definiscono la base del complesso acquifero superficiale⁽⁴⁾, il setto di separazione tra il Complesso I ed il Complesso II si attesta, per l'intero territorio in esame, ad una profondità pari a circa una trentina di metri da piano campagna.

Al di sotto del complesso precedentemente descritto si individua il **Complesso C** ("Pliocene" Auct.) rappresentato dalla così detta 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 i bordi alpino e 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), e depositi fini che consentono la presenza nei primi di falde idriche in pressione. L'interpretazione dei dati geognostici e geofisici a disposizione (cfr. § successivo), suggeriscono spessori del Complesso III pari ad almeno un centinaio di metri.

Per quanto riguarda strettamente il territorio comunale oggetto di studio, relativamente agli spessori dei complessi poc'anzi illustrati, facendo riferimento alle informazioni provenienti dalle due perforazioni più profonde, è possibile stimare la potenza della sequenza pleistocenica in circa 35 m. In particolare, come è possibile osservare dalla stratigrafia del pozzo potabile ACEA PINEROLESE INDUSTRIALE S.p.A. (Via Piscina, prossimità campi sportivi), alla profondità di 34.5 m si rileva un potente (15 m ca.) strato argilloso-sabbioso che segna verosimilmente l'inizio della successione di ambiente di transizione marino-continentale nota come "*Villafranchiano*" (Pleistocene inf. Pliocene sup.), la cui serie stratigrafica è tipicamente individuata (fino alla profondità di -148,5 m da piano campagna) da alternanze di argille e ghiaie e sabbie. La continua presenza di argilla di vari colori da -148,5 m fino a fondo foro (-199 m), lascia presupporre l'intercettazione della serie pliocenica in facies "*piacenziana*" tipica di ambiente marino profondo.

Tali dati sono confrontabili con quelli della stratigrafia semplificata del sondaggio incluso nella Rete di Monitoraggio Regionale (fonte Arpa Piemonte - banca dati geotecnica, localizzato immediatamente a Sud del pozzo idropotabile), la quale rileva, a partire dalla profondità di 34.5 m, il tetto della sequenza caratterizzata dalle intercalazioni di argille e sabbie e ghiaie, riferibili al complesso "*Villafranchiano*".

⁴ D.D. n. 900 del 3/12/2012 - Aggiornamento della cartografia della base dell'acquifero superficiale nelle aree di pianura alla scala 1:50.000 e revisione dei parametri numerici relativi ai criteri tecnici orientativi - Legge Regionale 30 aprile 1996 n.22, art.2, comma 7. Pubblicata sul BURP n.3 del 17/01/2013.

7. DATI GEOGNOSTICI E GEOFISICI

Come anticipato in premessa, le attività previste si sono articolate attraverso la ricerca bibliografica dei dati geognostici e geofisici disponibili sul territorio comunale, nonché provenienti da studi di microzonazione sismica condotti sui Comuni confinanti (None, Scalenghe, cfr. § 9.). Sono state prese in considerazione anche le indagini catalogate nella Banca Dati Geotecnica regionale, predisposta da Arpa Piemonte e consultabile su piattaforma web-gis⁵).

Nel dettaglio, si è fatto riferimento ai seguenti dati:

1. stratigrafie di n. 9 sondaggi a carotaggio continuo (S1→ S9) perforati (2001) nel contesto delle indagini geognostiche a supporto della progettazione del 2° Tronco della Diramazione autostradale Orbassano-Pinerolo;
2. stratigrafie di n. 2 piezometri (Pz1, Pz2) perforati (2004), a distruzione di nucleo, a sud dello stabilimento SKF in località “*Cappella Martin*”;
3. stratigrafia del pozzo ad uso idropotabile gestito da ACEA PINEROLESE INDUSTRIALE S.p.A. (Pinerolo, TO);
4. stratigrafia della perforazione inclusa nella Rete di Monitoraggio Regionale (codice: 00100200002);
5. stratigrafia del sondaggio perforato a supporto del progetto “*Raddoppio della linea ferroviaria Torino - Pinerolo nella tratta Sangone - Pinerolo*” lungo la linea ferroviaria esistente alla progressiva km 17+828 (nei pressi della stazione di Airasca);
6. stratigrafie di n. 15 pozzi ad uso irriguo (PZ1→ PZ15) in parte reperite presso la banca dati della Provincia di Torino - Area ambiente Risorse idriche, Catasto derivazioni, pozzi, sorgenti e scarichi di acque reflue, web cartografico;
7. stratigrafia del pozzo ad uso raffreddamento ed antincendio a servizio della centrale di cogenerazione C&T S.p.A.;
8. velocità delle onde di taglio acquisite nel corso di una prova MASW eseguita presso la centrale di cogenerazione C&T S.p.A. a supporto del progetto di un capannone ove ospitare un impianto di cippatura della biomassa.

Il presente studio di microzonazione sismica è stato supportato dalla conduzione⁶ di indagini geofisiche costituite da n. 3 prove MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves, MASW1 - MASW2 - MASW3) e n. 3 prove HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HV1 - HV2 - HV3). In particolare, gli stendimenti sismici MASW2 e MASW3 sono stati realizzati mediante 24 canali attivi equispaziati a 2 m, mentre lo stendimento MASW1 è stato realizzato raddoppiando il numero di sensori al fine di ottenere profondità di indagine più elevate (90 m).

⁵http://webgis.arpa.piemonte.it/ags101free/rest/services/geologia_e_dissesto/Banca_dati_Geotecnica/MapServer.

⁶ Techgea S.r.l., marzo 2017.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1. Carta delle indagini

Tutte le indagini di cui al paragrafo precedente sono state riportate sulla carta tematica in esame secondo la simbologia introdotta dagli Standard di microzonazione sismica (versione 4.0b) - § 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).

8.2. Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

La predisposizione di tale cartografia si basa sulla revisione degli studi geologici condotti dallo scrivente che costituiscono parte integrante della Variante strutturale di adeguamento al PAI del Piano Regolatore Generale Comunale di Airasca, contestualmente alla quale è stato elaborato il presente studio di Microzonazione Sismica. Come precedentemente discusso, l'ambito territoriale in questione si caratterizza principalmente per l'affioramento dei depositi alluvionali e fluvioglaciali pleistocenici rissiani; si tratta di sabbie e ghiaie con intercalazioni limoso-argillose associate ad una copertura superficiale fine coesiva, costituenti il livello di base del settore di pianura torinese oggetto d'indagine. Lungo la ristretta fascia fiancheggiante il Rio Torto si rilevano i termini sabbioso-limosi olocenici, mentre un lembo relitto dei depositi fluvioglaciali pleistocenici mindeliani è presente poco a Nord di località “*Gabellieri*” in prossimità del rilevato ferroviario della linea Torino-Pinerolo.

Seguendo la metodologia prevista dagli Standard di microzonazione sismica (versione 4.0b) 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;
- ✓ *GM* - Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo;
- ✓ *CL* - Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre.

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*

Tale scelta è stata intrapresa con la finalità di fare emergere le modeste differenze granulometriche, strutturali e tessiturali tra i depositi olocenici (generalmente più fini,

costituenti il corpo allungato lungo la principale direttrice di drenaggio individuata dal Rio Torto) ed i sedimenti pleistocenici moderatamente sospesi rispetto gli alvei attuali e contraddistinti da uno spettro più grossolano. Si differenzia, inoltre, il livello superficiale costituente un lembo relitto dei depositi pleistocenici più antichi caratterizzati dalla presenza di paleosuoli intensamente argillificati.

A tale proposito, come, peraltro, evidenziato dalla trattazione di cui alle pagine precedenti, si sottolinea che le varie tipologie dei depositi presenti nell'area oggetto di studio non si identificano del tutto nelle classi granulometriche proposte dagli standard rappresentativi di riferimento.

I depositi alluvionali si caratterizzano per uno spettro granulometrico estremamente eterogeneo: in particolare, entro i sedimenti olocenici sabbiosi si rilevano intercalazioni francamente limose, i termini pleistocenici "rissiani" sono contraddistinti da matrice sabbioso-limosa, frazione ciottolosa e lenti fini coesive argilloso-limose, oltre ad essere sormontati da una copertura di alterazione da metrica a decametrica di limi, limi sabbiosi ed argille con locali passate ghiaiose più o meno fini.

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, per ultimo, che durante l'analisi della morfologia del territorio comunale di Airasca non sono state rinvenute forme di superficie o sepolte 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 4.0b), 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 discusse ai paragrafi precedenti.

Come è possibile osservare, è stata definita un'unica zona stabile suscettibile di amplificazioni locali, Zona 1: lo spessore complessivo dei sedimenti costituenti i Complessi A, B e C descritti al § 6. è stimabile in 320÷340 m. Il contenuto in frequenza delle tre registrazioni HVSR distribuite sul territorio comunale presenta caratteristiche analoghe con un doppio ordine di picchi, evidenziati tra 0.27 e 0.31 Hz (modo fondamentale) e tra 5.5 e 6.5 Hz (modo superiore). È, pertanto, possibile associare tali picchi osservati a fenomeni di risonanza stratigrafica: a partire dalla velocità media delle

onde di taglio calcolata sul profilo definito per la prova MASW1, è stato possibile derivare per il periodo fondamentale di vibrazione una profondità del bedrock (substrato sismico di riferimento) pari a 320÷340 metri.

Al riguardo, l'utilizzo della relazione che lega la frequenza di risonanza alla velocità ed alla profondità del contrasto di impedenza in riferimento ai profili calcolati nelle prove MASW2 e MASW3 sarebbe azzardata, dal momento che i dati di V_s sono più superficiali (30÷36 m); tuttavia, il generale contesto geologico-stratigrafico regionale descritto e la similitudine delle componenti spettrali delle prove MASW2 e MASW3 con quelle della prova MASW1, consentono di adottare con continuità la profondità del substrato sismico definita nell'intervallo compreso tra 320 e 340 metri, escludendo alla scala del territorio comunale in esame locali amplificazioni e conseguenti effetti di sito riconducibili alla superficialità del substrato medesimo.

Nella carta in esame è stata perimetrata una zona di attenzione per liquefazioni di tipo 1, coincidente con l'areale di affioramento dei sedimenti alluvionali olocenici bordanti il Rio Torto. L'analisi sismologica del territorio comunale oggetto di studio (cfr. § 4.) non consente di escludere il rischio di liquefazione per l'evento di riferimento, dal momento che il valore di magnitudo del sisma evento corrispondente al 95° percentile di distribuzione è pari a 5.5. Si ritiene, tuttavia, eccessivamente cautelativa l'individuazione della zona di attenzione per instabilità da liquefazione estesa all'intero territorio comunale, poiché, la magnitudo dei terremoti non è l'unico fattore scatenante i fenomeni di liquefazione stessa. I materiali liquefacibili sono sabbie fini e limi con granulometria uniforme ($U < 5$), con falda superficiale (< 15 m da p.c.) e costituenti terreni deltaici, fluviali e marini recenti, meandri ecc...La letteratura specifica, inoltre, individua una bassa e/o molto bassa probabilità che si verifichino fenomeni di liquefazione a spese di sedimenti di età pleistocenica in rapporto a profondità della falda freatica inferiori a 9 m; per contro, sempre a fronte di soggiacenze del livello piezometrico inferiori a 9 m, risulta elevata la suscettibilità alla liquefazione dei depositi olocenici in rapporto, ovviamente, allo spettro granulometrico critico. Dal punto di vista geomorfologico, inoltre, sono improbabili fenomeni di liquefazione sui sedimenti terrazzati.

Sulla base di tutto quanto sopra esposto, appare chiaro come la scelta dello scrivente di perimetrare la zona di attenzione per liquefazioni di tipo 1 in coincidenza con la distribuzione dei sedimenti olocenici affioranti nel territorio comunale, sia da ricondurre a criteri cronostratigrafici, geomorfologici, sedimentologici ed idrogeologici: i depositi in questione, infatti, sono costituiti prevalentemente da termini sabbiosi e sabbioso-limoso-argillosi, oltre ad essere geneticamente riconducibili all'evoluzione delle linee di drenaggio del reticolo idrografico individuato dal Rio Torto. La soggiacenza del livello piezometrico della falda libera, inoltre, è inferiore ai 5 m.

Per contro, i termini pleistocenici sui quali è modellato il livello di base della pianura che ospita il territorio comunale di Airasca mostrano uno spettro granulometrico generalmente grossolano, dove la frazione più fine (sabbia e limi prevalenti) è da ricondurre alla matrice

e/o all'intercalazione di corpi dalla geometria lentiforme, caratterizzati, quindi, da scarsa continuità laterale e verticale. Conseguentemente, se ne ribadisce l'improbabilità della suscettibilità ai fenomeni di liquefazione.

In linea generale, sebbene le accelerazioni massime al piano campagna in condizioni *free field* non siano superiori a 0,1g per il territorio comunale di Airasca, vista la magnitudo del sisma evento, la progettazione degli interventi edilizi dovrà essere corredata dalla verifica di stabilità nei confronti della liquefazione secondo quanto stabilito dal punto 7.11.3.4 del D.M. 14/01/2008 e s.m.i.

9. BIBLIOGRAFIA

- ✓ 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.
- ✓ 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*”.
- ✓ BORTOLAMI G.C., MAFFEO B., MARADEI V., RICCI B., SORZANA F., “*Lineamenti di litologia e geoidrologia del settore piemontese della pianura padana*”, 1976.
- ✓ BORTOLAMI G.C., FRANCIERI 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.
- ✓ GIODA A., “*Dynamique paroxystique du bas Pellice*”, Torino, 25-27 settembre 1978, XVI Convegno di idraulica e costruzioni idrauliche.
- ✓ CONFERENZA DELLE REGIONI E DELLE PROVINCE 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.)*.
- ✓ REGIONE PIEMONTE, “*Progetto per la pianificazione delle risorse idriche del territorio piemontese*”, 1980.
- ✓ IRACE A., CLEMENTE P., NATALICCHIO M., OSSELLA L., TRENKWALDER S., DE LUCA D., MOSCA P., PIANA F., POLINO R. e VIOLANTI D., “*Geologia e idrostratigrafia profonda della Pianura Padana occidentale*”, 2009.
- ✓ DOTT. GEOLOGO P. BARILLÀ, “*Comune di Scalenghe: studio di microzonazione sismica, livello 1*”, aprile 2013.
- ✓ GEOALPI CONSULTING (DOTT. GEOLOGO F. PERES), “*Comune di None: microzonazione sismica - livello I per gli indirizzi e criteri di microzonazione sismica (IMCS)*”, settembre 2016.

ALLEGATO 1

INDAGINI GEOFISICHE

Committente:

Comune di Airasca

Sito:

Airasca (TO)



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

Relazione n:	3588/17
Redatto da:	Dott. Geol. Emmanuele Duò
Controllato da:	Dott. Geol. Mario Naldi
Data:	Aprile 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 (MASW)	3
4.1.1. Classificazione sismica	3
4.1.2. Attribuzione classe sismica di sito.....	4
5.1 Misure di rumore sismico ambientale (HVSR).....	5
5. RISULTATI OTTENUTI.....	6
5.1. Via Valdo Fusi.....	7
5.2. Zona industriale Est – Via Torino	8
5.3. Confine Scalenghe – Via del Nicola-S.P. n. 139	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 nei giorni 13, 14 e 22 marzo 2017 nel territorio del Comune di Airasca (TO). La campagna di indagini è stata progettata dal Consulente Tecnico del Comune di Airasca, Dott. Geol. Peres, che ne ha definito ubicazione e caratteristiche, in relazione agli obiettivi e alle finalità dello studio stesso.

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 nella seguente Figura 1.

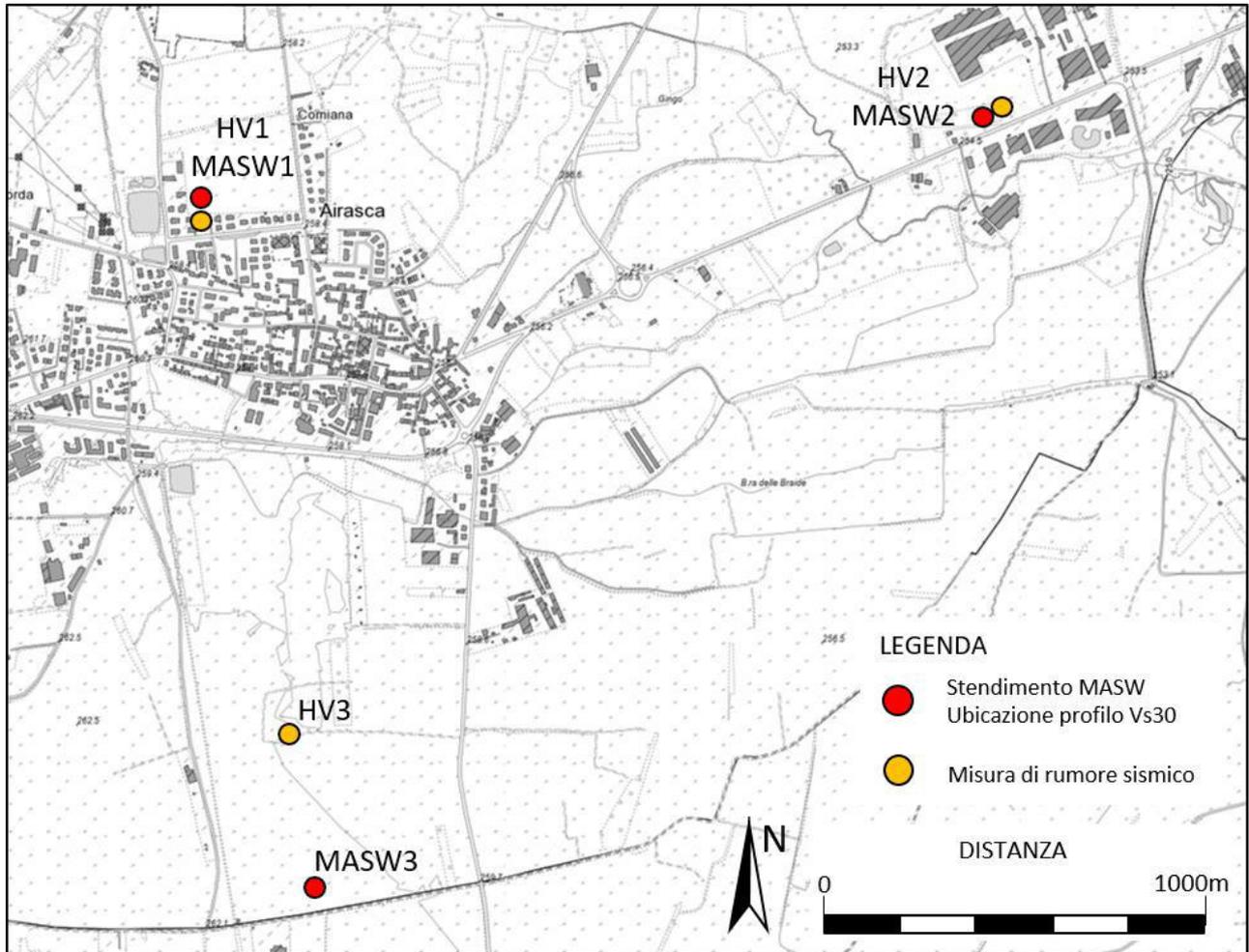


Figura 1 – Ubicazione indagini (Visualizzatore Cartografico Geoportale Regione Piemonte)

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 a nord del concentrico, negli spazi verdi localizzati presso via Valdo Fusi, ad una quota di circa 261 m s.l.m.
- HV2/MASW2: le indagini sono state ubicate presso l'area industriale Est, alcune decine di metri a nord di via Torino, ad una quota di circa 261 m s.l.m.
- HV3/MASW3: le misure sono state posizionate nei campi lungo il confine con Scalenghe, tra via del Nicola e la S.P. n. 139, ad una quota di circa 262 m s.l.m.

4. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

4.1 Indagini sismiche per onde di superficie (MASW)

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 e laptop

Gli stendimenti sismici MASW 2 e MASW 3 sono stati realizzati mediante 24 canali attivi equispaziati a 2 metri; lo stendimento MASW 1 è stato realizzato raddoppiando il numero di sensori e la lunghezza dello stendimento, al fine di ottenere profondità di indagine più elevate. 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. Le basi di energizzazione sono state disposte agli estremi degli stendimenti a distanze variabili e comprese tra 0 e 20 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 _i)	Receiver Spacing (dx)		Lateral Resolution ⁷			dt ⁹ (ms)	τ 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 - Caratteristiche geometriche ottimali dello stendimento 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 A.

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 Airasca 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.

5.1 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 Allegato A).

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 B.

5. RISULTATI OTTENUTI

I risultati delle indagini sono riportati in appendice al testo.

Per le prove MASW vengono riportati all'interno di ciascun 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 lisceate 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. Via Valdo Fusi

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 6 m di profondità, costituito da terreni sciolti o scarsamente addensati (V_s compresa tra 150 e 250 m/s);
2. un secondo sismostrato, esteso fino a circa 23 metri di profondità, costituito da materiali a grado di addensamento medio-moderato (V_s compresa tra 350 e 390 m/s);
3. un terzo sismostrato, esteso fino alla massima profondità di indagine (90 metri da p.c.), costituito da depositi a grado di addensamento medio con rigidità debolmente crescente con la profondità (velocità delle onde di taglio pari compresa tra 420 e 500 m/s);

Il valore di V_{s30} calcolato dal piano campagna è pari a 316 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 V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

FREQUENZA CARATTERISTICA DI SITO

L'andamento dei rapporti spettrali consente di osservare un picco di frequenza posizionato a circa 0.27 Hz. Il valore di picco selezionato è caratterizzato da buona stazionarietà ed isotropia e può essere correlato a fenomeni di risonanza stratigrafica profonda. L'andamento dei rapporti spettrali non filtrati conferma l'assenza di disturbi di origine antropica in corrispondenza della f_0 .

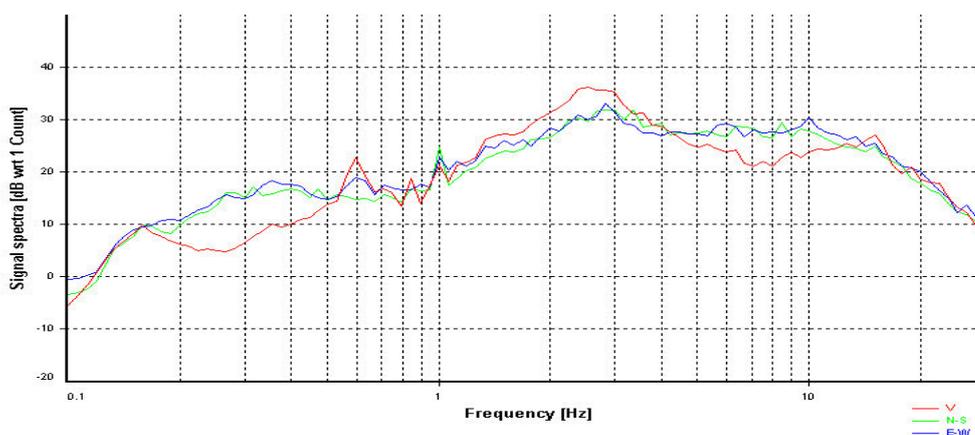


Figura 4 – Misura HV1. Componenti spettrali non lisceate

5.2. Zona industriale Est – Via Torino

MODELLO DI VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO

Il profilo di velocità delle onde di taglio è definito dai seguenti livelli sismostratigrafici:

1. un livello superficiale con spessore pari a circa 6 m, costituito da terreni sciolti (V_s compresa tra 120 e 190 m/s);
2. un secondo sismostrato, esteso fino a circa 16 metri di profondità, costituito da materiali a scarsa rigidità (V_s compresa tra 260 e 370 m/s);
4. un terzo sismostrato, che si approfondisce oltre i 30 metri da p.c., costituito da materiali a media rigidità (V_s compresa tra 400 e 440 m/s);

Il valore di V_{s30} calcolato dal piano campagna è pari a 296 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 V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

FREQUENZA CARATTERISTICA DI SITO

Il grafico dei rapporti spettrali mette in evidenza un primo picco alla frequenza di 0.3 Hz e di un secondo picco posizionato a circa 5.5 Hz. La persistenza temporale dei picchi spettrali e l'isotropia sono buone. L'analisi degli spettri delle singole componenti evidenzia una corretta caratterizzazione statistica del mezzo attraversato; per tale motivo è possibile considerare la frequenza di 0,3 Hz come rappresentativa del periodo fondamentale di vibrazione di sito.

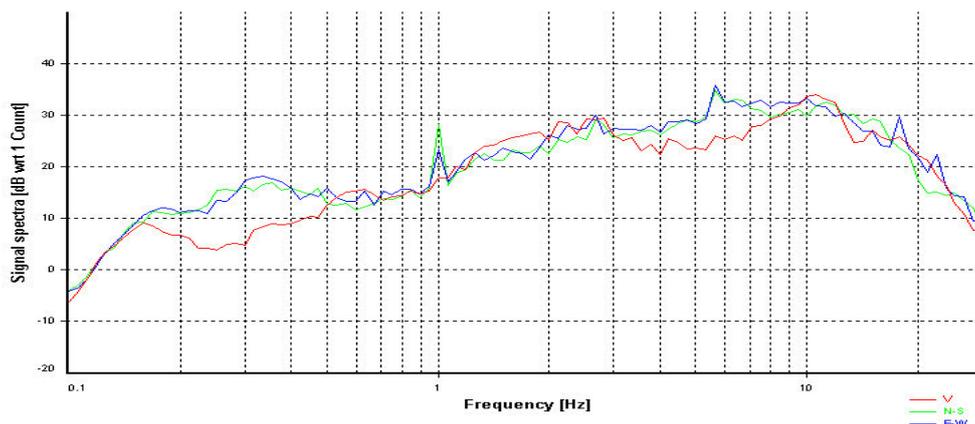


Figura 5 – Misura HV2. Componenti spettrali non lisciate

5.3. Confine Scalenghe – Via del Nicola-S.P. n. 139

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 5 m di profondità, costituito da terreni sciolti (V_s pari a circa 180 m/s);
2. un secondo sismostrato, esteso fino a circa 23 metri di profondità, costituito da materiali a grado di addensamento scarso (V_s compresa tra 230 e 340 m/s);
3. un terzo sismostrato, esteso oltre i 30 metri da p.c., costituito da materiali a rigidità media (V_s pari a circa 450 m/s);

Il valore di V_{s30} calcolato dal piano campagna è pari a 291 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 V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

FREQUENZA CARATTERISTICA DI SITO

La curva del rapporto HV evidenzia un massimo di ampiezza spettrale pari a circa 4 alla frequenza di 0.31 Hz. Si osservano anche in questo caso ottimi valori di stazionarietà e isotropia spettrale e assenza di disturbi elettromagnetici o antropici sulle frequenze comprese tra 0.2 e 0.7 Hz.

Si ritiene corretto anche in questo caso legare il picco di frequenza registrato all'interfaccia risonante tra il substrato roccioso e le coperture sedimentarie.

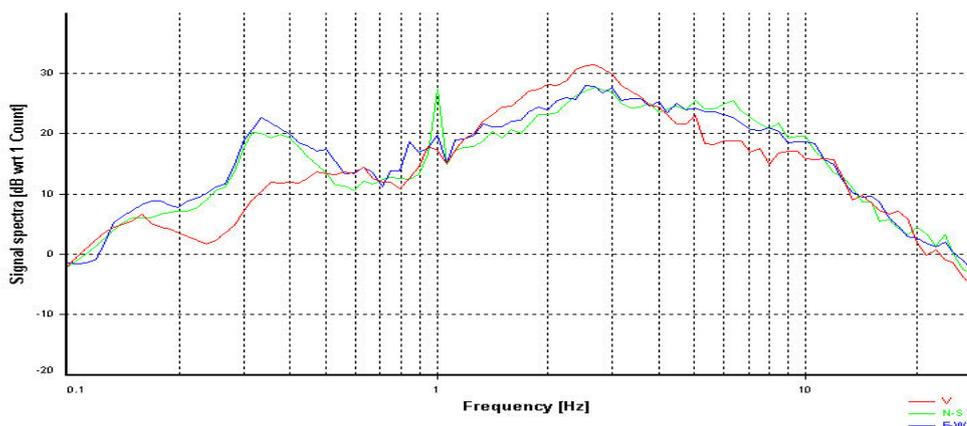


Figura 5 – Misura HV3. Componenti spettrali non lisciate

6. CONCLUSIONI

Le indagini sismiche eseguite nei giorni 13, 14 e 22 marzo 2017 nel comune di Airasca hanno fornito indicazioni preliminari utilizzabili nella redazione degli studi di microzonazione sismica del territorio comunale.

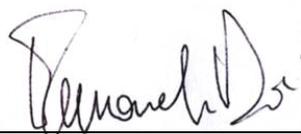
Le indagini per onde di superficie hanno definito la classe sismica di sito individuando terreni con caratteristiche geotecniche compatibili con suoli di tipo C.

Le misure di rumore sismico ambientale presentano, in tutti i casi, buone caratteristiche di stazionarietà ed isotropia spettrale e ridotti disturbi elettromagnetici o antropici.

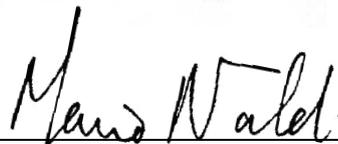
Il contenuto in frequenza delle tre registrazioni presenta caratteristiche analoghe con un doppio ordine di picchi, evidenziati tra 0.27 e 0.31 Hz (modo fondamentale) e 5.5 e 6.5 Hz (modo superiore). Si ritiene possibile legare i picchi osservati a fenomeni di risonanza stratigrafica. Utilizzando la relazione che lega la frequenza di risonanza alla velocità ed alla profondità ⁽¹⁾ del contrasto di impedenza, mediante l'adozione di una velocità media delle onde di taglio basata sul profilo calcolato nella prova MASW 1, si deriva per il periodo fondamentale di vibrazione una profondità del bedrock pari a circa 320-340 metri da p.c.

Techgea S.r.l.

Redatto da: Dott. Geol. Emmanuele Duò



Controllato da: Dott. Geol. Mario Naldi



$$v_0 = \frac{\hat{V}_s}{4H} \quad \text{dalla quale derivano:} \quad \hat{V}_s = \frac{4H}{T_0} \quad \text{e} \quad H = \frac{\hat{V}_s * T_0}{4}$$

APPENDICE A

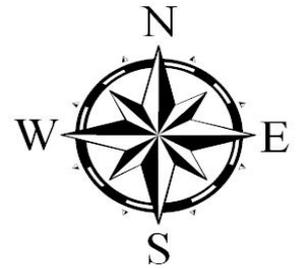
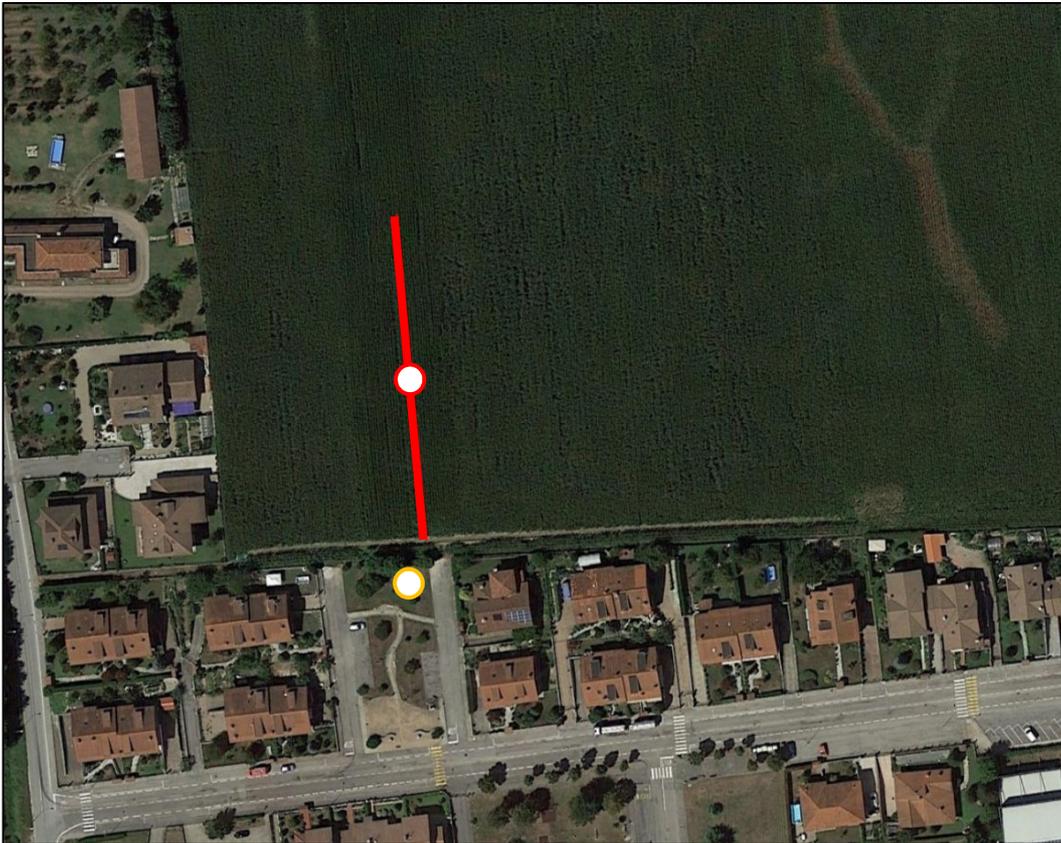
Report indagini sismiche per onde di superficie

COMMITTENTE	Comune di Airasca
RELAZIONE	3588/17
LOCALITA'	Via Valdo Fusi, Airasca (TO)
DATA	Aprile 2017



Certificato Prova
MASW 1- Pagina 1

UBICAZIONE INDAGINE MASW E MISURA DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE



LEGENDA

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

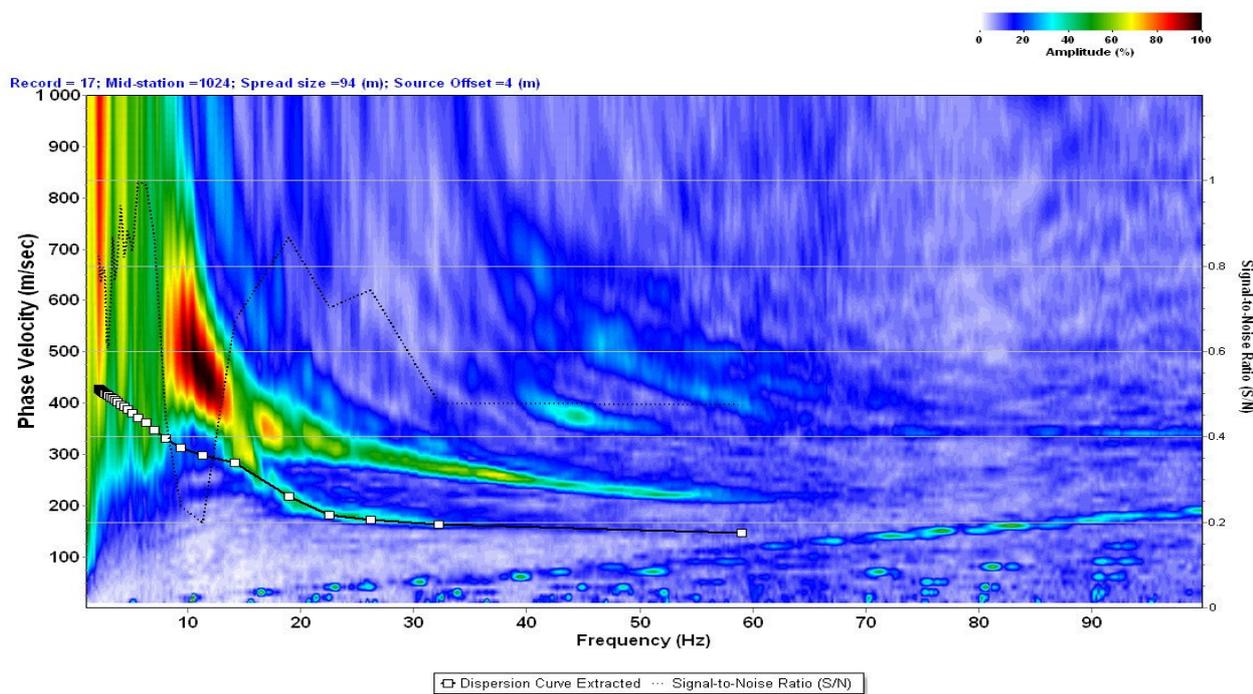
Ubicazione centro MASW	
Coordinate UTM WGS84	
Zona	32T
EST	380181
NORD	4975296

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

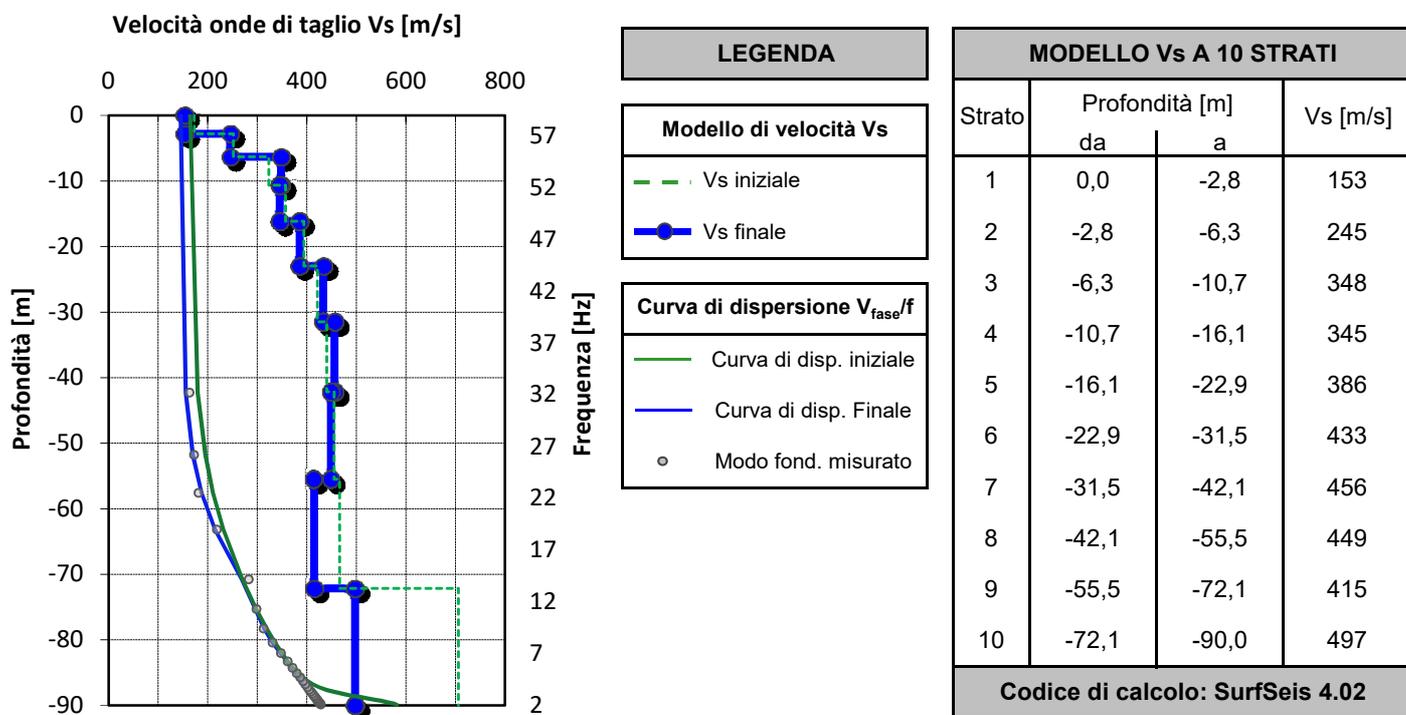


COMMITTENTE	Comune di Airasca	SISMOGRAFO	DAQ LINK III	 Certificato Prova MASW 1 - Pagina 2
RELAZIONE	3588/17	GEOFONI	48 (freq. 4.5 Hz)	
LOCALITA'	Via Valdo Fusi, Airasca (TO)	ACQUISITION TIME	2.0 s	
DATA	Aprile 2017	SAMPLE INTERVAL	0.250 ms	

CURVA DI DISPERSIONE DELLE ONDE DI RAYLEIGH



PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



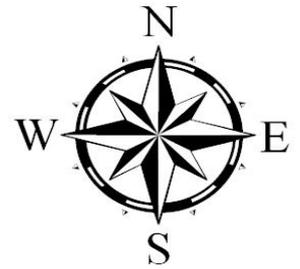
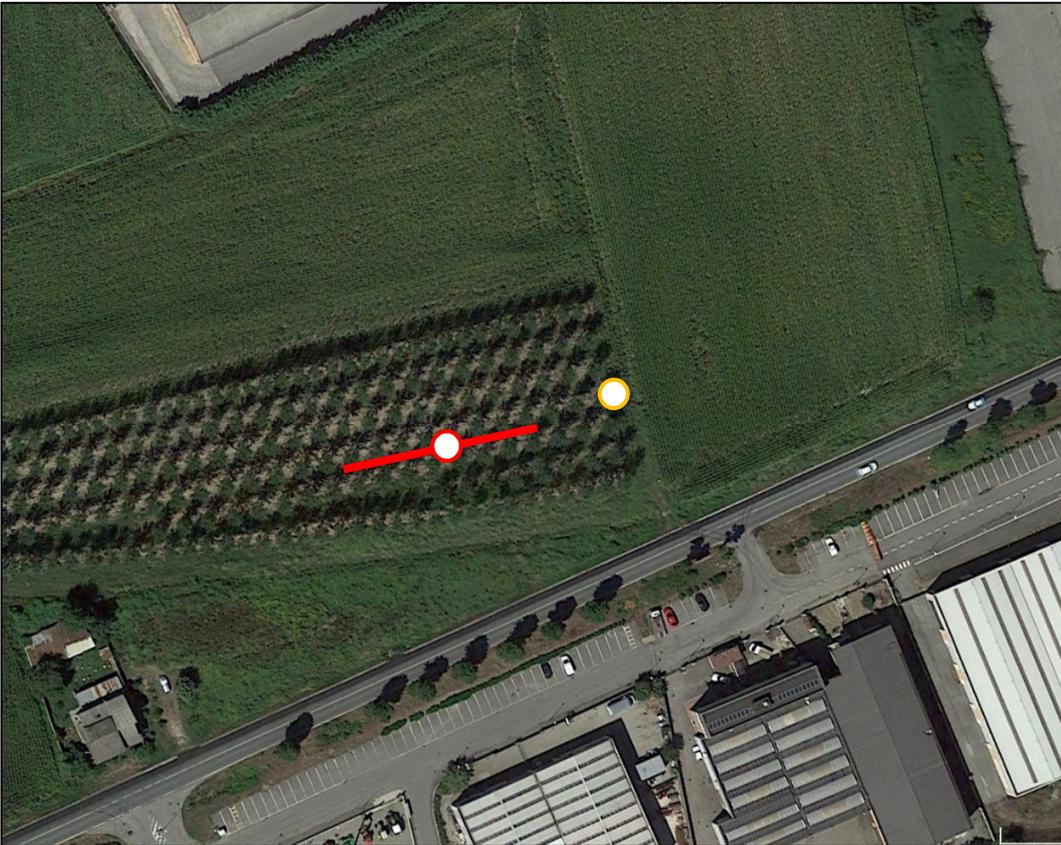
SUOLO	DESCRIZIONE GEOTECNICA	Vs ₃₀ [m/s]
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).	316 (media pesata sugli spessori compresi tra 0 e -30 m)

COMMITTENTE	Comune di Airasca
RELAZIONE	3588/17
LOCALITA'	Via Torino, Airasca (TO)
DATA	Aprile 2017



Certificato Prova
MASW 2 - Pagina 1

UBICAZIONE INDAGINE MASW E MISURA DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE



LEGENDA

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

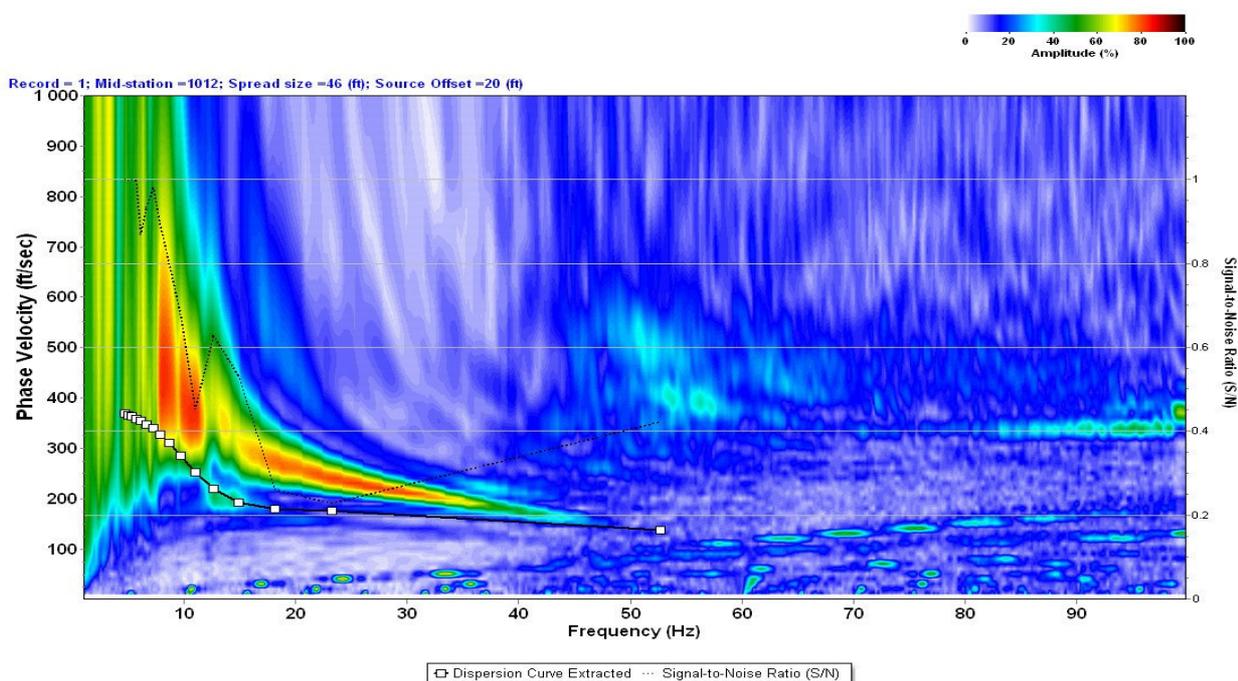
Ubicazione centro MASW	
Coordinate UTM WGS84	
Zona	32T
EST	382161
NORD	4975495

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

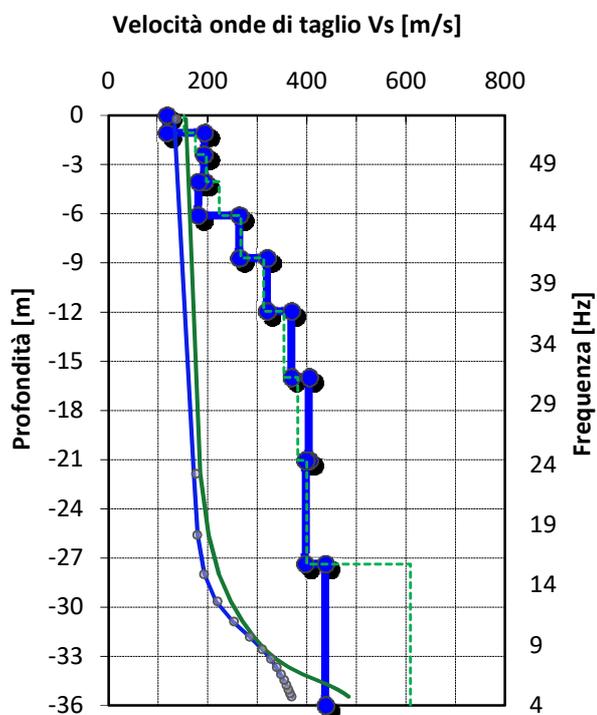


COMMITTENTE	Comune di Airasca	SISMOGRAFO	DAQ LINK III	 Certificato Prova MAS2 - Pagina 2
RELAZIONE	3588/17	GEOFONI	24 (freq. 4.5 Hz)	
LOCALITA'	Via Torino, Airasca (TO)	ACQUISITION TIME	1.0 s	
DATA	Aprile 2017	SAMPLE INTERVAL	0.250 ms	

CURVA DI DISPERSIONE DELLE ONDE DI RAYLEIGH



PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



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	-1,1	118
2	-1,1	-2,4	194
3	-2,4	-4,0	193
4	-4,0	-6,1	181
5	-6,1	-8,7	264
6	-8,7	-11,9	319
7	-11,9	-16,0	369
8	-16,0	-21,1	404
9	-21,1	-27,4	398
10	-27,4	-36,0	437

Codice di calcolo: SurfSeis 4.02

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 e da valori di Vs ₃₀ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).	296 (media pesata sugli spessori compresi tra 0 e -30 m)

COMMITTENTE	Comune di Airasca
RELAZIONE	3588/17
LOCALITA'	Via del Nicola/S.P. n.139, Airasca (TO)
DATA	Aprile 2017



Certificato Prova
MASW 3 - Pagina 1

UBICAZIONE INDAGINE MASW



LEGENDA

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

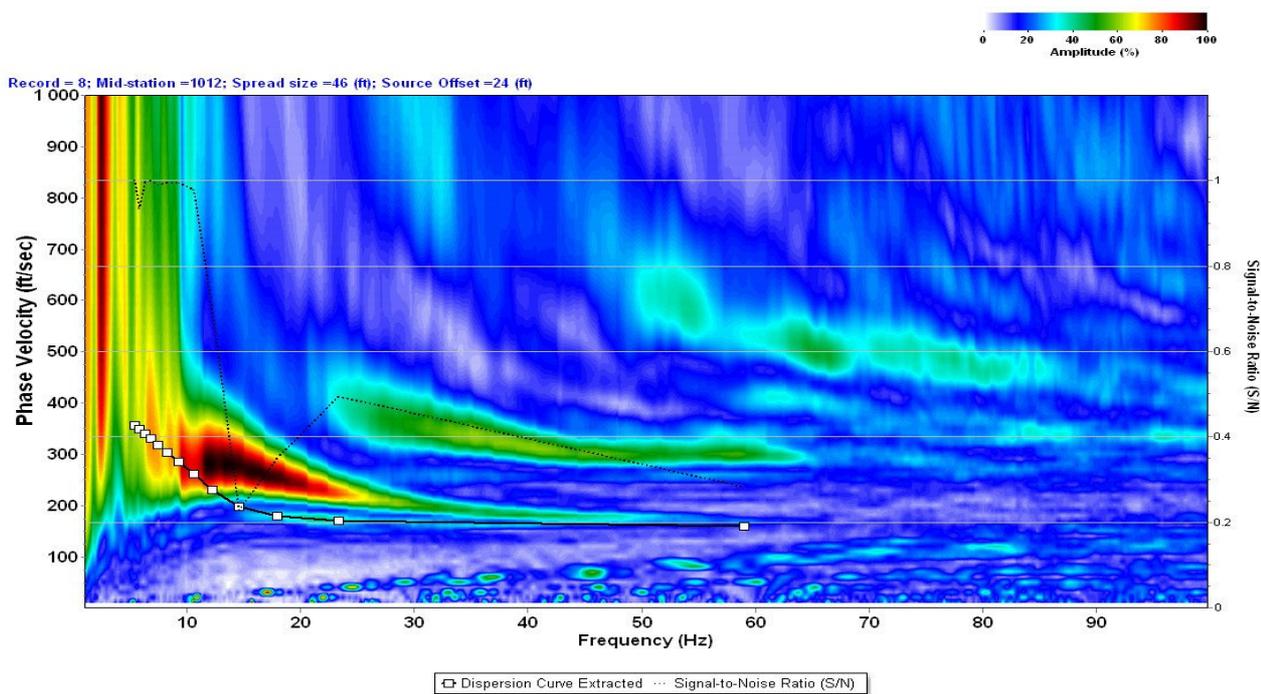
Ubicazione centro MASW	
Coordinate UTM WGS84	
Zona	32T
EST	380447
NORD	4973490

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

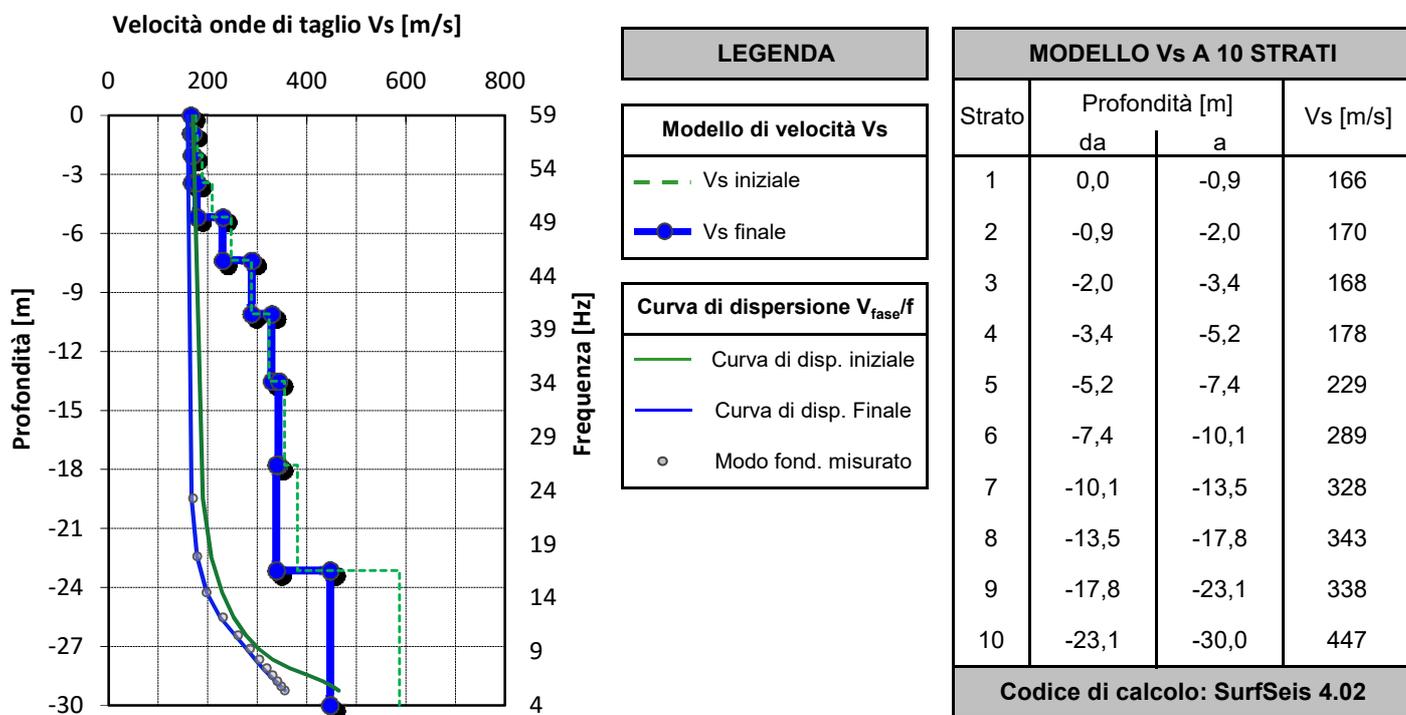


COMMITTENTE	Comune di Airasca	SISMOGRAFO	DAQ LINK III	 Certificato Prova MAS3 - Pagina 2
RELAZIONE	3588/17	GEOFONI	24 (freq. 4.5 Hz)	
LOCALITA'	Via del Nicola/S.P. n.139, Airasca (TO)	ACQUISITION TIME	1.0 s	
DATA	Aprile 2017	SAMPLE INTERVAL	0.250 ms	

CURVA DI DISPERSIONE DELLE ONDE DI RAYLEIGH



PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



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 e da valori di Vs ₃₀ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT ₃₀ < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu ₃₀ < 250 kPa nei terreni a grana fina).	291 (media pesata sugli spessori compresi tra 0 e -30 m)

APPENDICE B

Report misure di rumore sismico ambientale

STATION INFORMATION

Station code: SO1 HV

Model: SARA SL06

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: Instrumental Y axis = Magnetic north

PLACE INFORMATION

Place ID: Comune di Airasca (TO)

Address: Via Valdo Fusi

Latitude: 4975241 m N

Longitude: 380181 m E

Coordinate system: WGS84

Elevation: 261 m s.l.m.

Weather: Cloudy

Notes: Soft soil coupling

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

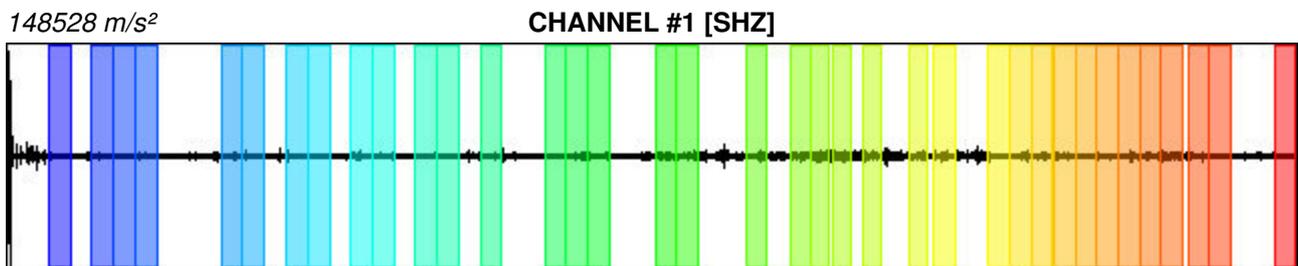
Recording start time: 2017/03/22 06:48:00

Recording length: 3600 sec

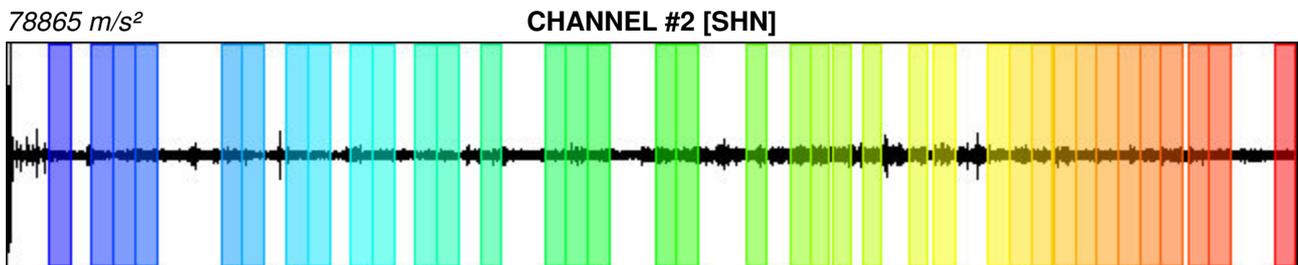
Windows count: 37

Average windows length: 58.92

Signal coverage: 60.55%



-156115 m/s²



-68951 m/s²



-45049 m/s²

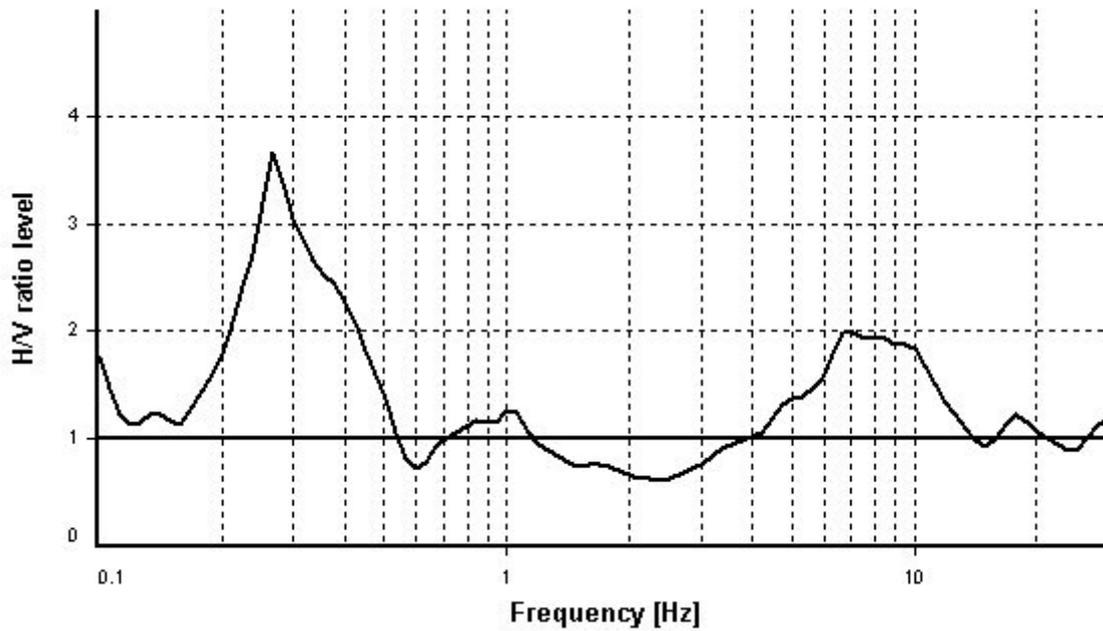
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

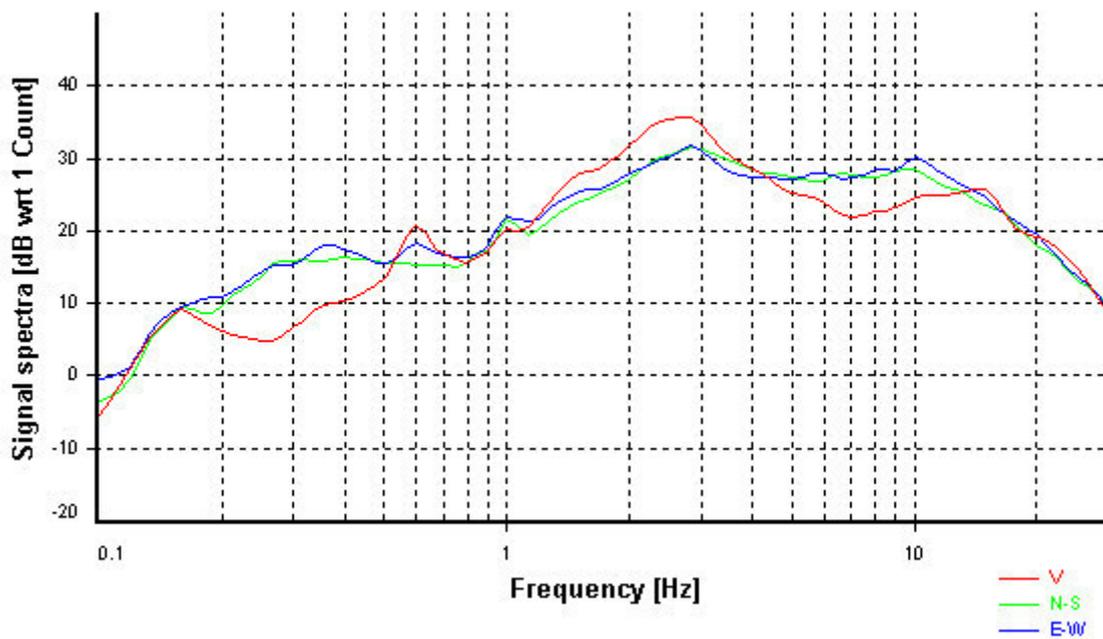
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

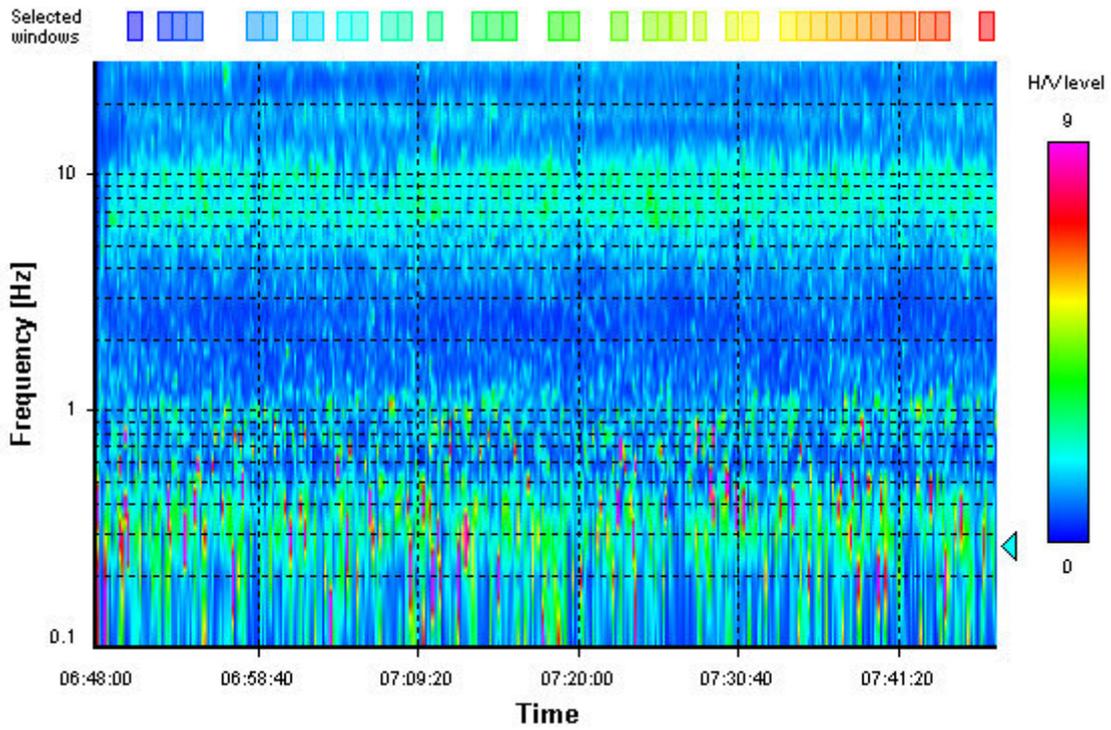
HVSR average



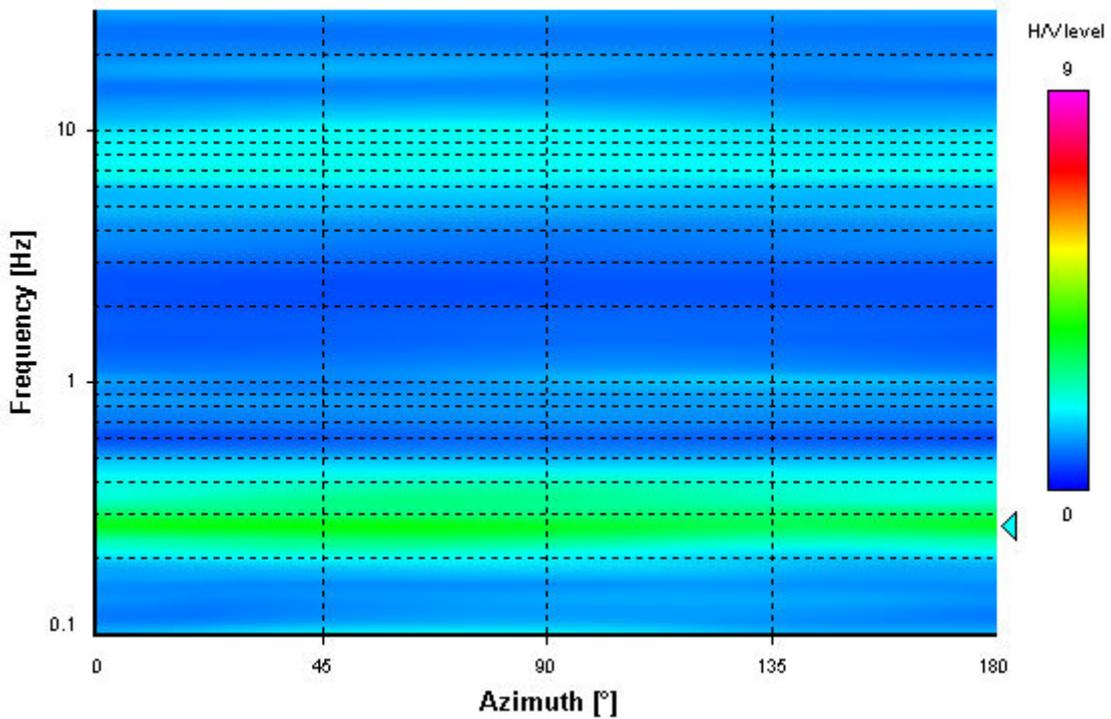
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (10 seconds windows)



HVSR directional analysis



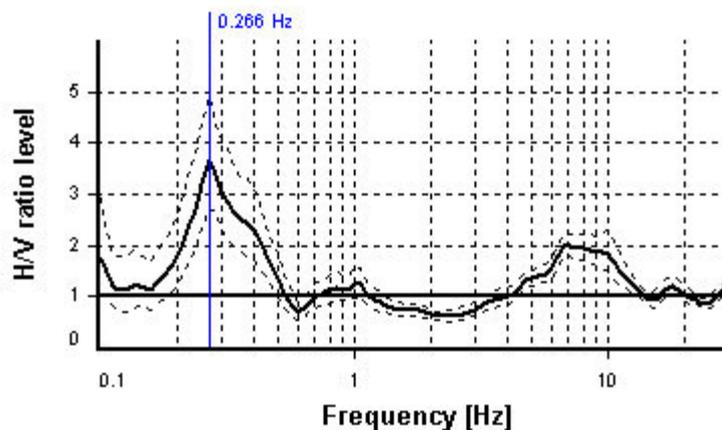
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.266 Hz

A_0 amplitude = 3.671

Average $f_0 = 0.275 \pm 0.037$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	37 valid windows (length > 37.55 s) out of 37	OK
$n_c(f_0) > 200$	580.5 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 25	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.19964 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	0.44726 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.67 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.03683 < 0.05326	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.33935 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: SO1 HV

Model: SARA SL06

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: Instrumental Y axis = Magnetic north

PLACE INFORMATION

Place ID: Comune di Airasca (TO)

Address: Via Torino

Latitude: 4975500 m N

Longitude: 382206 m E

Coordinate system: WGS84

Elevation: 261 m s.l.m.

Weather: Cloudy

Notes: Soft soil coupling

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

Recording start time: 2017/03/22 05:28:00

Recording length: 3600 sec

Windows count: 25

Average windows length: 53.98

Signal coverage: 37.48%



-235962 m/s²



-323613 m/s²



-137545 m/s²

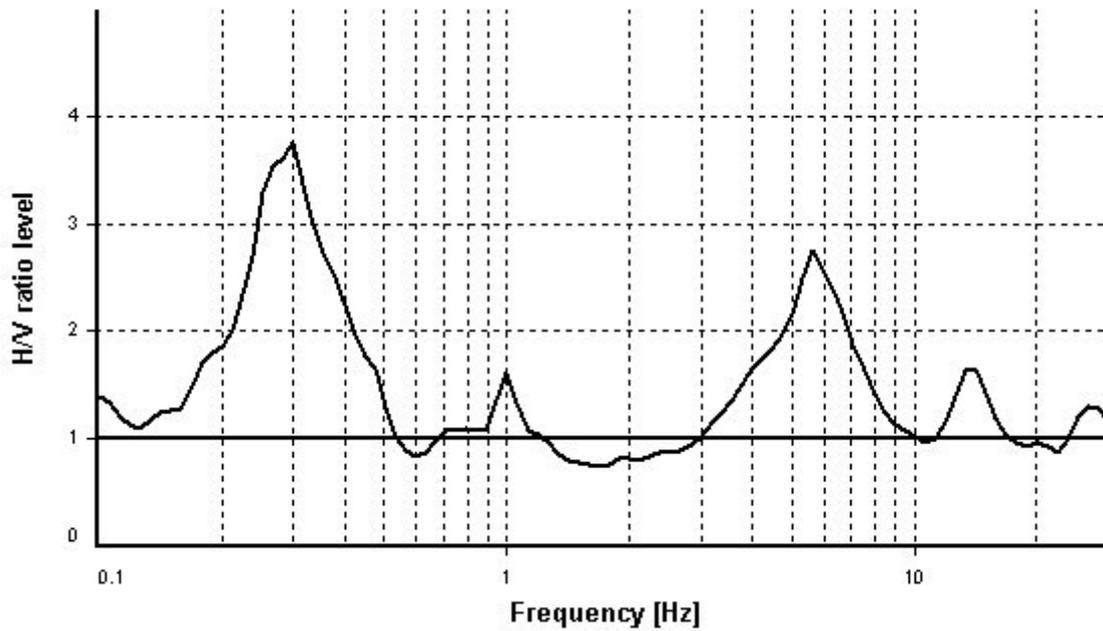
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

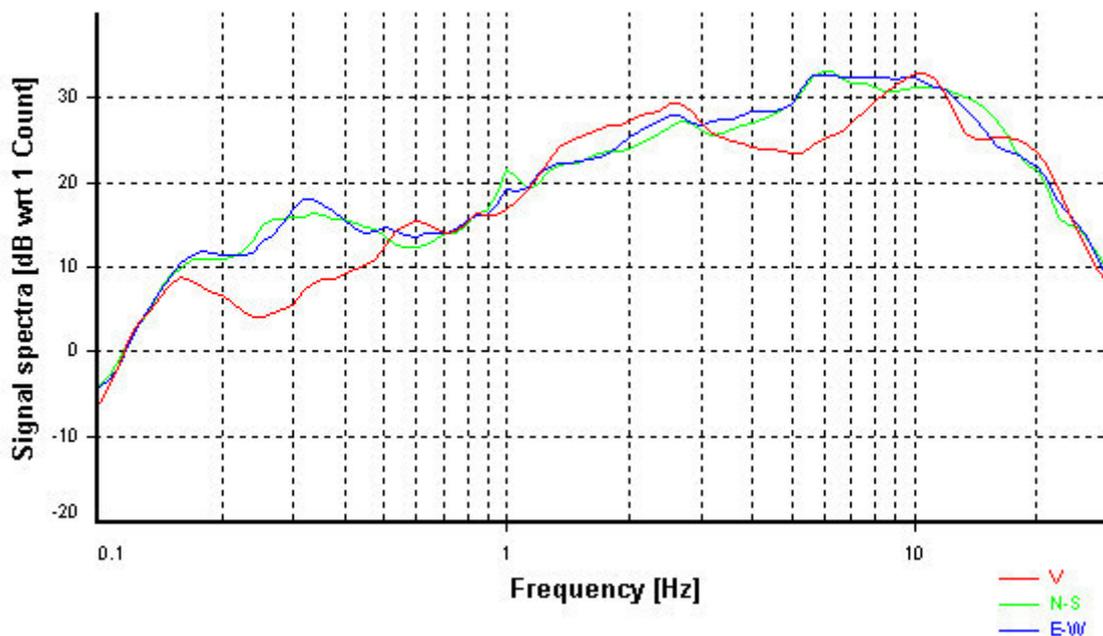
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

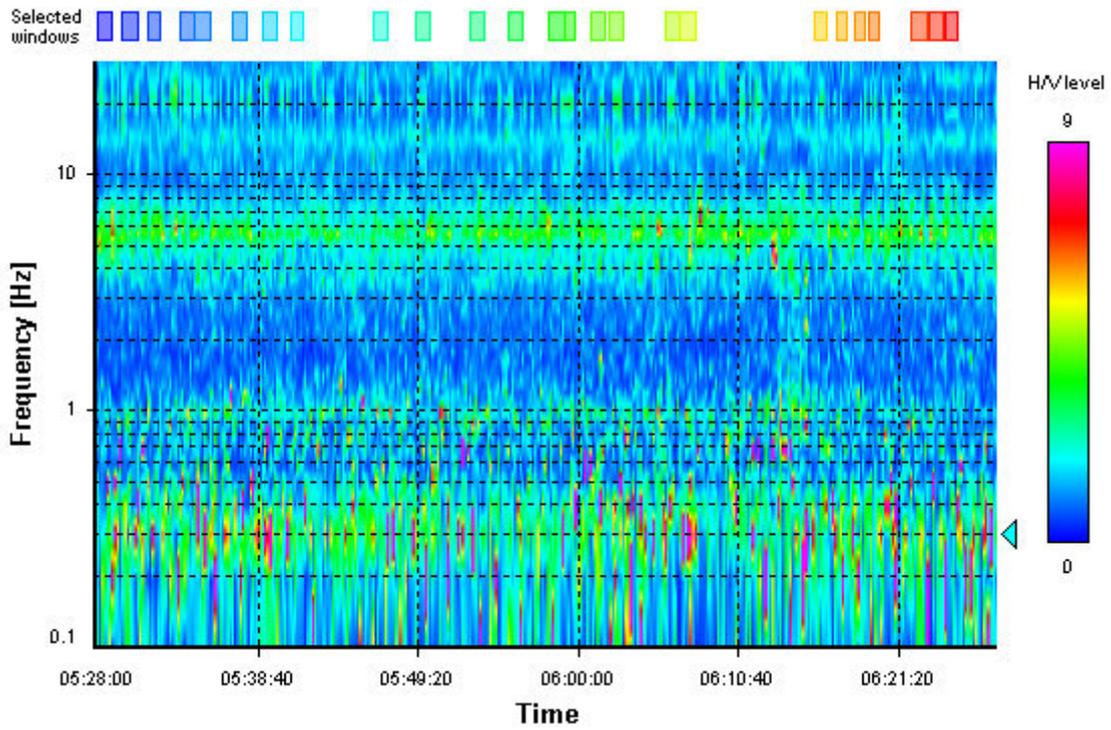
HVSR average



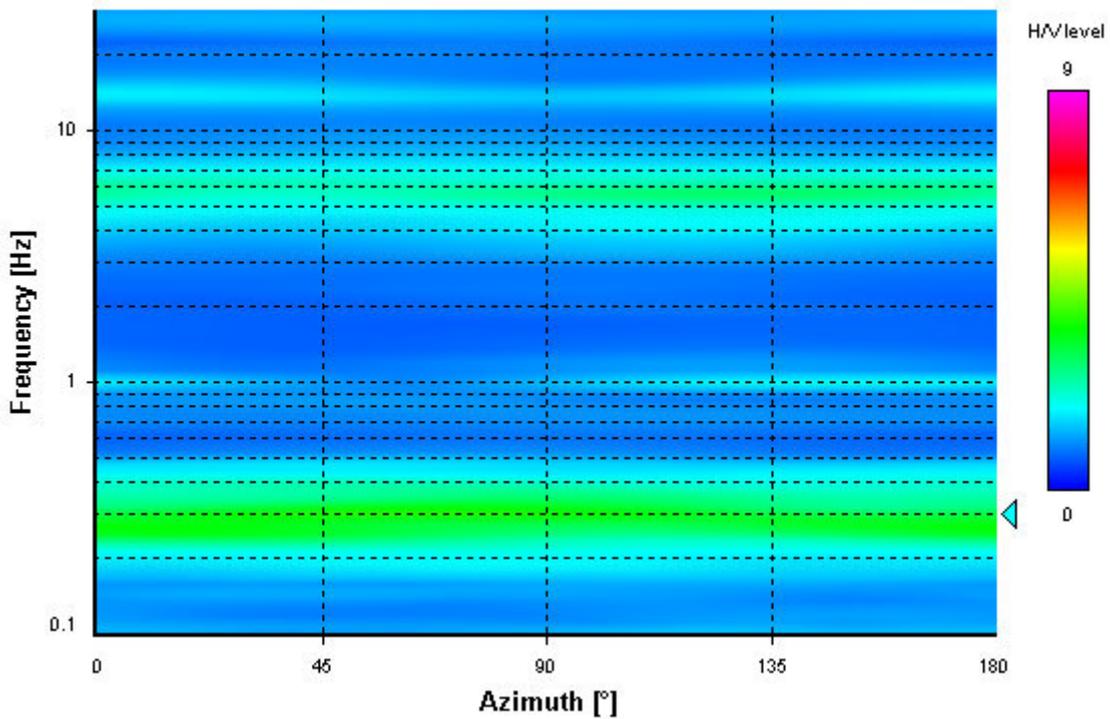
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (10 seconds windows)



HVSR directional analysis



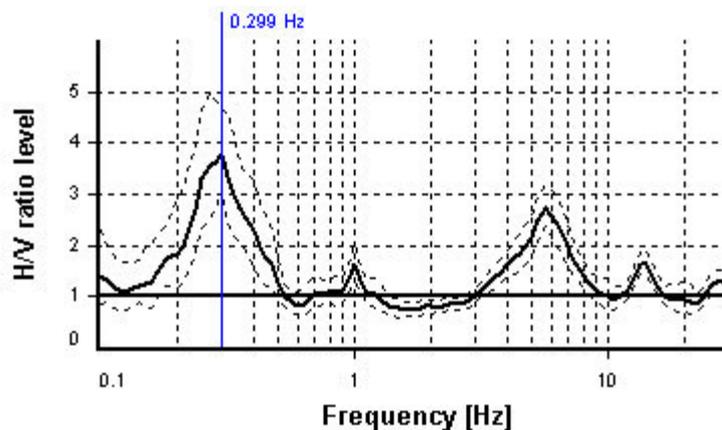
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.299 Hz

A_0 amplitude = 3.773

Average $f_0 = 0.285 \pm 0.030$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	25 valid windows (length > 33.47 s) out of 25	OK
$n_c(f_0) > 200$	403.23 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 25	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.19964 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	0.44726 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.77 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	10.88% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.02982 < 0.05976	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.23298 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: SO1 HV

Model: SARA SL06

Sensor: SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

Notes: Instrumental Y axis = Magnetic north

PLACE INFORMATION

Place ID: Comune di Airasca (TO)

Address: Strada Provinciale 139

Latitude: 4973903 m N

Longitude: 380390 m E

Coordinate system: WGS84

Elevation: 262 m s.l.m.

Weather: Cloudy

Notes: Soft soil coupling

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

Recording start time: 2017/03/14 05:31:00

Recording length: 3600 sec

Windows count: 46

Average windows length: 60

Signal coverage: 76.67%



-482512 m/s²



-34200 m/s²



-34196 m/s²

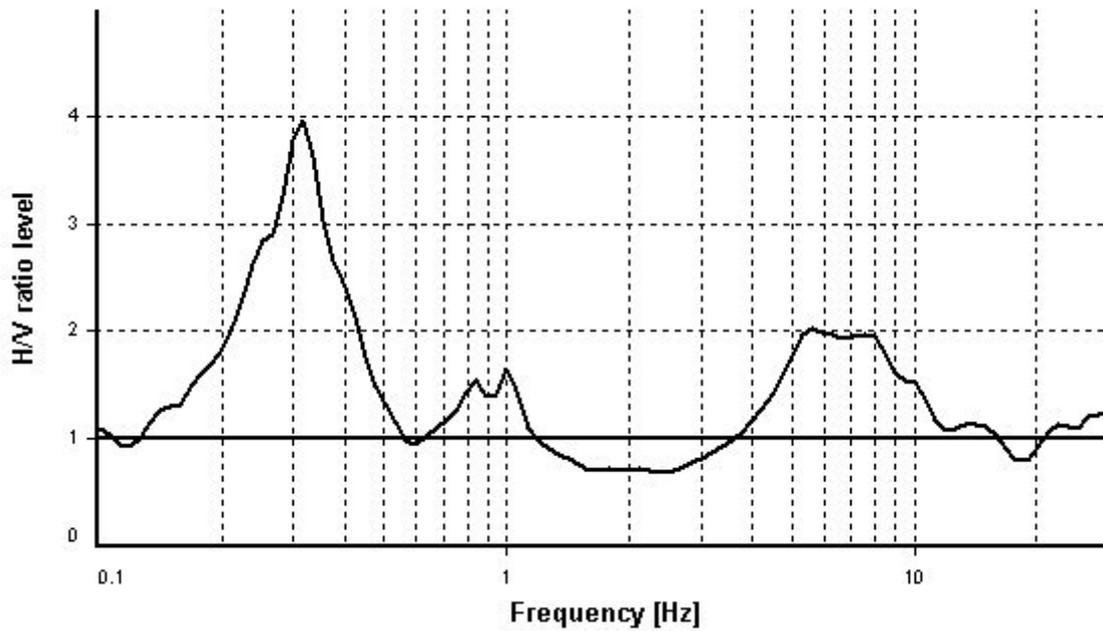
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

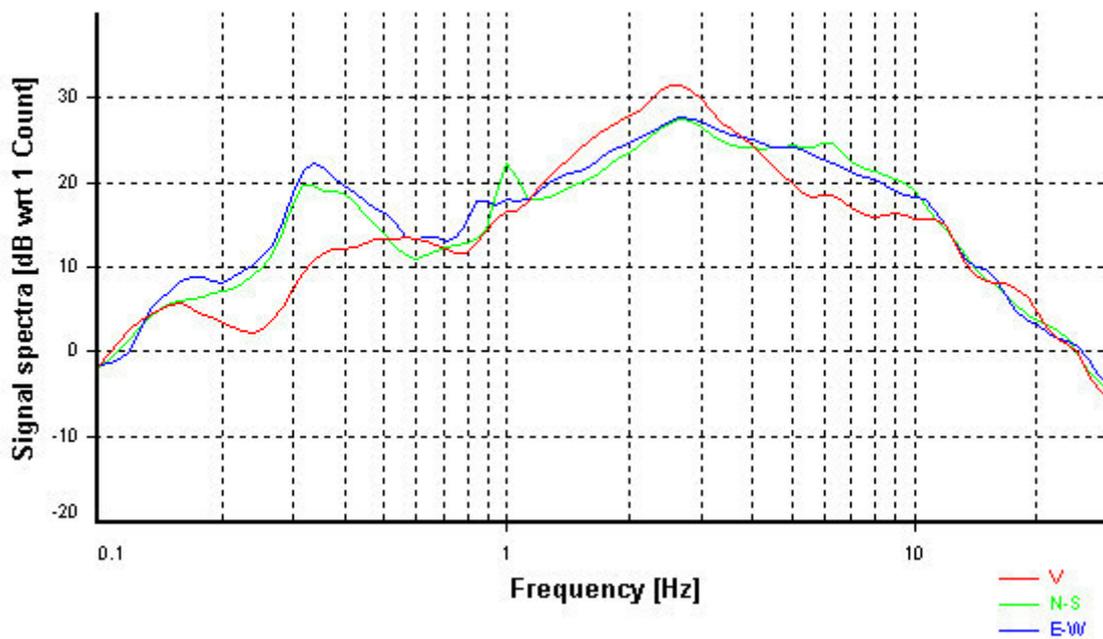
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

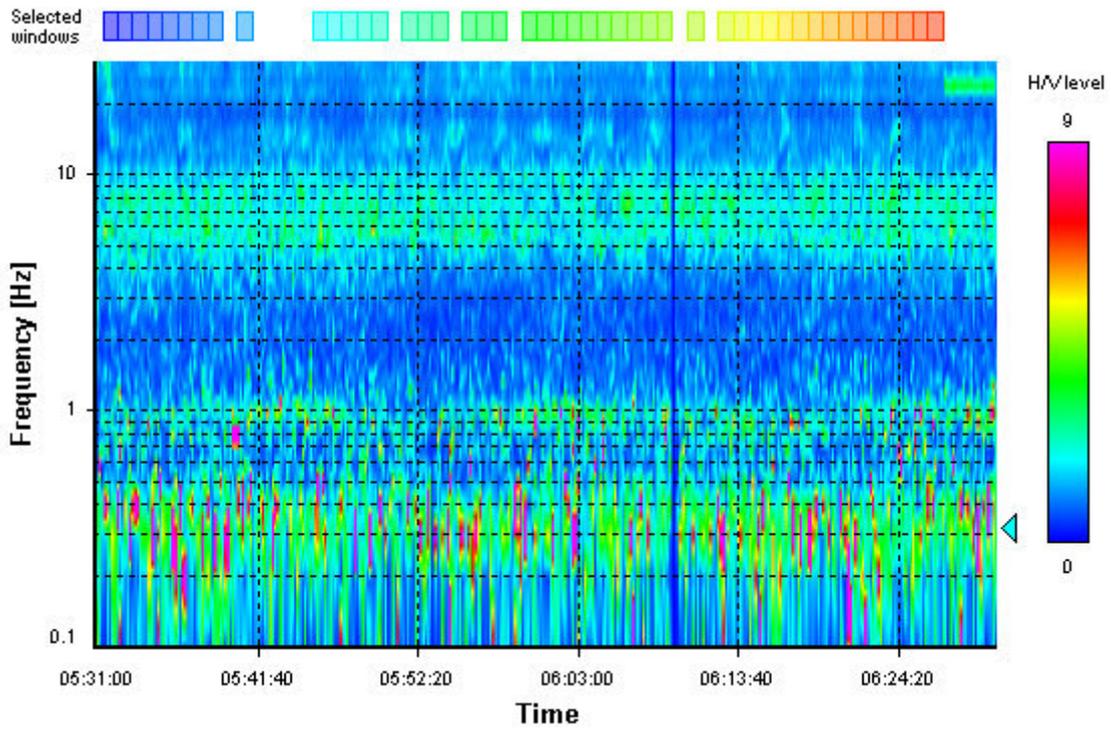
HVSR average



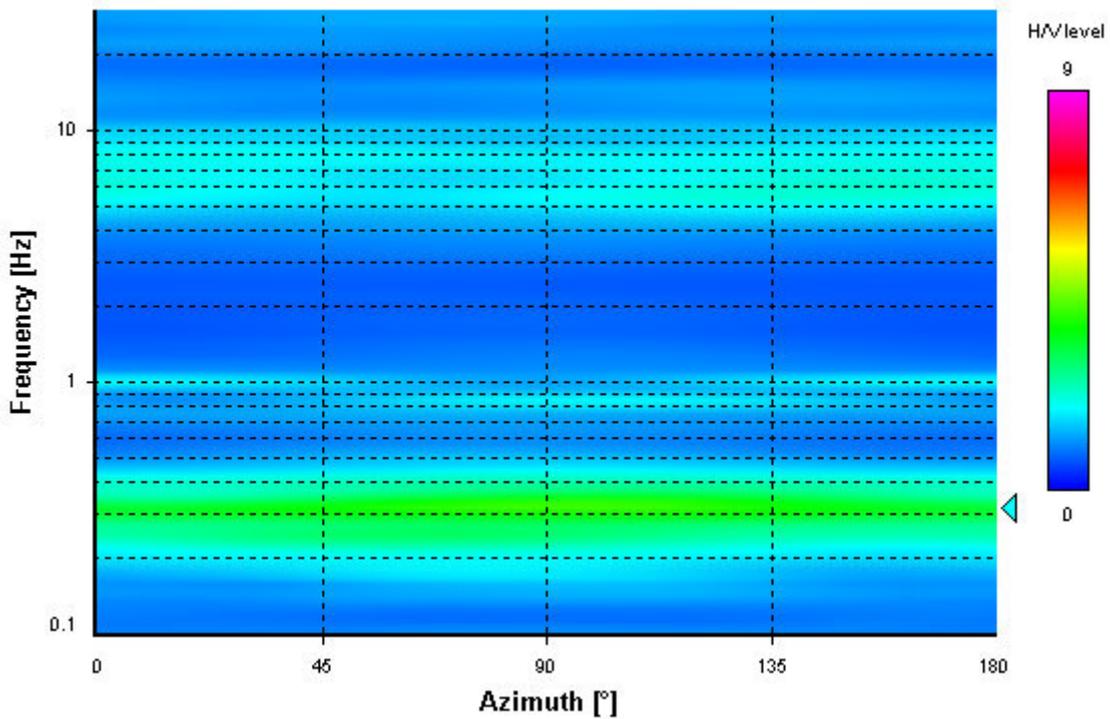
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (10 seconds windows)



HVSR directional analysis



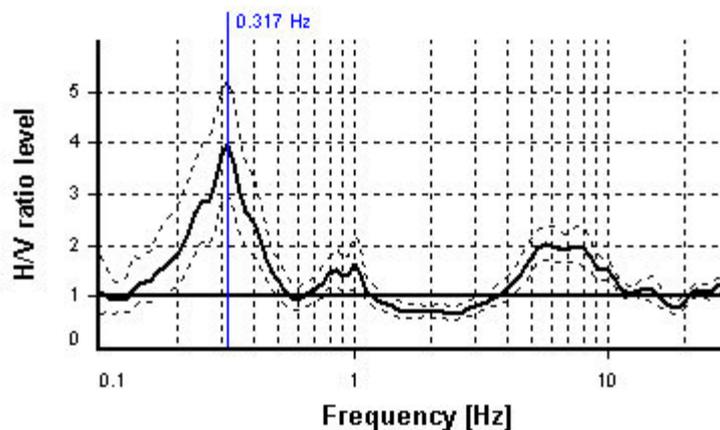
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.317 Hz

A_0 amplitude = 3.970

Average $f_0 = 0.311 \pm 0.043$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	46 valid windows (length > 31.59 s) out of 46	OK
$n_c(f_0) > 200$	873.65 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 25	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.19964 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	0.44726 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.97 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.04269 < 0.06331	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.31559 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK

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).

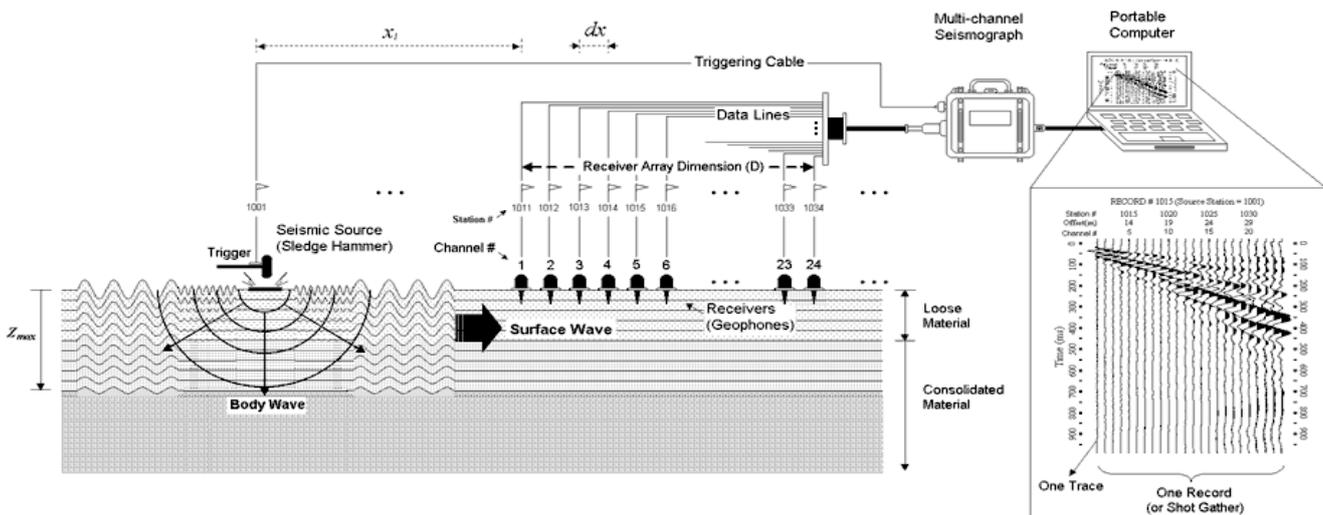


Figura 1 - Schema di acquisizione dati MASW

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).

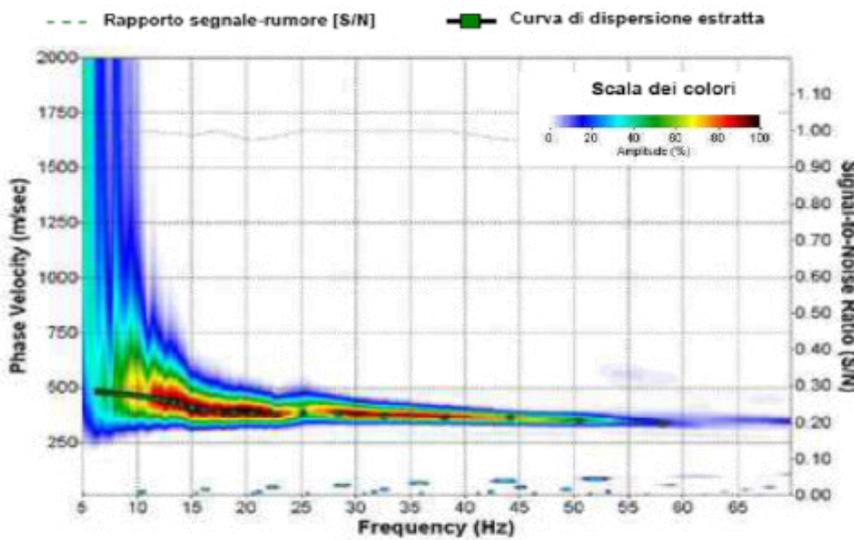


Figura 2 - Curva di dispersione della velocità V_s in funzione della frequenza e della velocità di fase

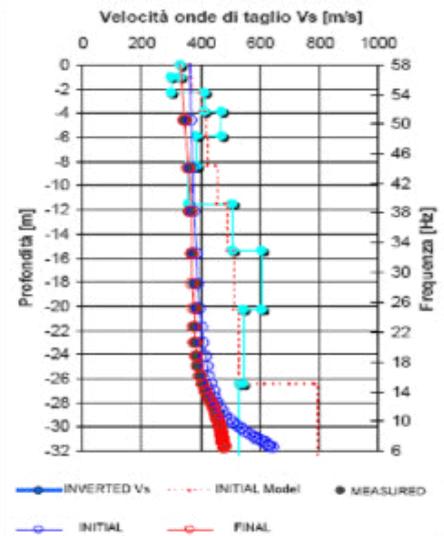


Figura 3 - Modello di propagazione delle velocità delle onde V_s

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 sovrice 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.