

# COMUNE DI PINEROLO

## STRUMENTO URBANISTICO ESECUTIVO (S.U.E.) ZONA DI PRG RU5.1. sub.A



### RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA

all. **1a**

aggiornamento MAGGIO 2021

#### SOGGETTI PROPONENTI:

GALLO FRANCESCO SAVERIO Legale  
rapp. COSTRUZIONI GALLO S.R.L.  
SALUZZO GIMMI Legale rapp. SALUZZO  
COSTRUZIONI S.R.L.  
TROMBOTTO LIVIO  
TROMBOTTO MARIO AUGUSTO  
CO.VIL. S.A.S. DI NANNI SILVIA E C.  
IMMOBILIARE DEL QUADRANGOLO DI  
F. GIUSTETTO E C. S.N.C.  
TROMBOTTO LUCIANO Leg. Rapp.  
SANGERMANO PARTECIPAZIONI S.N.C  
DI DANIELE GEOM. LUIGI & C.  
BARRA PIERLUIGI LEG. RAPP. SOC. TRE  
DI S.A.S. DI BARRA PIERLUIGI & C.

RASETTO FABRIZIO  
MANAVELLA BRUNO  
ANNOVATI STEFANO  
ANNOVATI NICOLA  
ANNOVATI MARIA  
ANTONELLA  
ANNOVATI MAURIZIO  
SPINOLA ENRICO  
BILLONE MARIA  
DIANA GIUSEPPE  
BERGER CARLA  
BRICCO PIERO  
VISCA ELENA  
ZANE MARIA LAURA

*[Handwritten signatures of Gallo Francesco Saverio, Gallo Saverio, Saluzzo GIMMI, Trombotto Livio, Trombotto Mario Augusto, Sangermano, Daniele Geom. Luigi, Barra Pierluigi, Barra Pierluigi & C., Rasetto Fabrizio, Manavella Bruno, Annovati Stefano, Annovati Nicola, Annovati Maria Antonella, Annovati Maurizio, Spinola Enrico, Billone Maria, Diana Giuseppe, Berger Carla, Bricco Piero, Visca Elena, Zane Maria Laura]*

#### IL TECNICO:

*[Handwritten signatures of Diana Giuffrè, Paola Berger, Ezio Bardini, Grazia, Riccardo, Francesco Bardini]*



**ARCH. EZIO BARDINI**  
STUDIO BARDINI ASSOCIATI  
VIA BROFFERIO 100 - ASTI  
TEL: 0141/53.02.04  
E-MAIL: INFO@BARDINIASSOCIATI.COM

INDICE

<b><u>1. PREMESSA</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b><u>2. DATI GENERALI</u></b>	<b><u>2</u></b>
2.1 UBICAZIONE GEOGRAFICA	2
2.2 RICERCA BIBLIOGRAFICA	2
2.3 IDONEITÀ ALL'UTILIZZAZIONE URBANISTICA	3
<b><u>3. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA</u></b>	<b><u>6</u></b>
3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	6
3.2 CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA ED IDROGRAFIA DI SUPERFICIE	6
3.3 ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE	7
3.4 INDAGINI IN SITO	8
3.5 CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA	9
<b><u>4. CONDIZIONI DI STABILITÀ DELL'AREA E QUADRO DEL DISSESTO</u></b>	<b><u>10</u></b>
<b><u>5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA</u></b>	<b><u>12</u></b>
5.1. PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE	12
5.2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA IN ESAME	13
<b><u>6. CONCLUSIONI</u></b>	<b><u>16</u></b>
6.1 CONSIDERAZIONI IN MERITO AL QUADRO DEL DISSESTO	16
6.2 CONSIDERAZIONI DI CARATTERE GEOTECNICO	19
6.3 CONSIDERAZIONI DI CARATTERE GEOSISMICO	19

**Figure al termine del testo:**

Figura 01 - Carta di inquadramento generale

Figura 02 - Ortoimmagine Regione Piemonte

Figura 03 - Carta del dissesto: stralcio PAI e PGRA

Figura 04 - Carta geologica, ubicazione indagini di riferimento e delle indagini in sito

**Allegati:**

Allegato 01 - Scheda n. 13 Area 16 - Elaborato GA02 “Cronoprogramma degli interventi di riassetto territoriale per l’attuazione delle previsioni urbanistiche delle aree 3b”

Allegato 02 - Indagini geognostiche di riferimento - sondaggi azzonamento RU 6.1

Allegato 03 - Indagini geotecniche in sito - sondaggi azzonamento RU 5.1

Allegato 04 - Estratto “Studi idraulici a supporto degli strumenti urbanistici”

Allegato 05 - Indagini geofisiche in sito maggio 2006 - profilo sismico a rifrazione onde P e SH azzonamento RU 5.1

Allegato 06 - Indagini geofisiche in sito marzo 2019 - HVSR azzonamento RU 5.1

Comune di Pinerolo (TO)

PIANO DI RECUPERO DI INIZIATIVA PUBBLICA CON VALORE DI PIANO PARTICOLAREGGIATO  
ZONA RU 5.1

## 1. PREMESSA

Il presente studio è stato condotto in riferimento al PIANO DI RECUPERO DI INIZIATIVA PUBBLICA CON VALORE DI PIANO PARTICOLAREGGIATO - ZONA RU 5.1 nel territorio comunale di Pinerolo (TO).

L'indagine condotta è stata incentrata sulla valutazione della presenza di eventuali interferenze potenzialmente esistenti tra l'assetto geologico, geomorfologico (con particolare riferimento alle condizioni di rischio idraulico determinate dal fatto che l'azzonamento in esame è delimitato a Sud dal Torrente Lemina e a Nord dal Canale Moirano) e idrogeologico del territorio e gli interventi di urbanizzazione dell'area.

A tale proposito si precisa che il presente studio è redatto a partire dai contenuti presenti nella Relazione geologica-geotecnica relativa al Piano di Recupero dell'Area RU 5.1, a firma del dott. Geol. Ermanno RAMBELLI (agosto 2003), elaborata sulla scorta di una campagna di indagini geognostiche individuata da n. 4 sondaggi a carotaggio continuo (ditta SONDECO S.R.L.), due dei quali completati mediante installazione di altrettanti piezometri utilizzati per effettuare periodiche misure freaticometriche; al riguardo si sottolinea che queste misure erano state estese per un intervallo temporale compreso tra il mese di maggio 2003 e il mese di maggio del 2004. Tale campagna di indagini era stata successivamente approfondita nel maggio 2006 mediante l'acquisizione di misurazione sismiche, eseguite dalla ditta CIS GEOFISICA S.R.L. (due profili sismici a rifrazione in onde P e S).

La caratterizzazione litostratigrafica, geotecnica e sismica dell'azzonamento in esame è stata quindi ulteriormente approfondita mediante la ricerca bibliografica delle indagini recentemente eseguite in prossimità dell'area RU 5.1, la conduzione di sopralluoghi e l'acquisizione dei dati rilevati nel corso della campagna di indagini geofisiche condotte in data 28 marzo 2019 ed individuata da n. 3 HVSR dalla ditta TECHGEA S.R.L..

Per quanto attiene le valutazioni in merito alla pericolosità geomorfologica, con particolare riguardo al rischio idraulico che parzialmente incide sull'azzonamento RU 5.1, si precisa che il presente studio è stato condotto in riferimento agli specifici "*Studi idraulici a supporto degli strumenti urbanistici*", a cura dello STUDIO ASSOCIATO POLITHEMA (2008).

Il presente studio è stato redatto ai sensi del D.M. 11/03/1988 e del D.M. 17/01/2018 (§6.2.1 e §6.2.2 delle NTC18) in riferimento al fatto che il Comune di Pinerolo è classificato in Zona sismica 3s a seguito dell'entrata in vigore della Deliberazione della Giunta Regionale 19/01/2010, n. 11-13058 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche", L.R. 10/11 art.29.

## 2. DATI GENERALI

### 2.1 UBICAZIONE GEOGRAFICA

L'area in esame è localizzata in prossimità del margine sud-occidentale del centro cittadino di Pinerolo; i lotti che individuano l'azonamento urbanistico RU 5.1 sono distinti al catasto la Foglio n. 60 della sezione A, particelle nn. 29-31-33-34-35-37-38-40-41-43-133-134-135-181-182-194-195-197-207-210-211-212-592-593-594-595-596-597-601-602-604-605 del Comune di Pinerolo.

La quota media di tale settore è di circa 364 m s.l.m. (DTM Regione Piemonte).

L'area è cartografata, alla scala 1:10.000, nella Tavola della BDTRE Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti della Regione Piemonte e nell'Ortoimmagine RGB della Regione Piemonte<sup>1</sup> AGEA 2015 (cfr. Figura 01 e Figura 02).

### 2.2 RICERCA BIBLIOGRAFICA

Date le caratteristiche del presente studio, si è proceduto alla ricerca bibliografica dei dati esistenti riguardanti il territorio su cui ricade l'area in esame.

Per informazioni relative all'inquadramento geologico del sito si è fatto riferimento al Foglio n. 67 "Pinerolo" della "Carta Geologica d'Italia" alla scala 1:100.000. Tali informazioni sono state confrontate con la recente pubblicazione della "Carta geologica del Piemonte" (GeoPiemonte Map, a cura del CNR IGG, Arpa Piemonte - 2016).

Allo scopo di verificare le condizioni di dissesto presenti nell'area d'indagine è stata consultata la seguente bibliografia tecnica:

- cartografia della Banca Dati Geologica della Regione Piemonte individuata dalla "Carta delle aree inondabili (Foglio n. 67 - Pinerolo);
- Piano stralcio per L'Assetto Idrogeologico (PAI), "Tavole di delimitazione delle fasce fluviali", Tavola 173090 Lemina 03 sez\_IV. A tale proposito si precisa che il quadro del dissesto delineato dal PAI è stato recentemente aggiornato, in ottemperanza alla c.d. Direttiva Alluvioni - 2007/60/CE, mediante l'elaborazione del Piano di Gestione del Rischio Alluvione (PGRA).

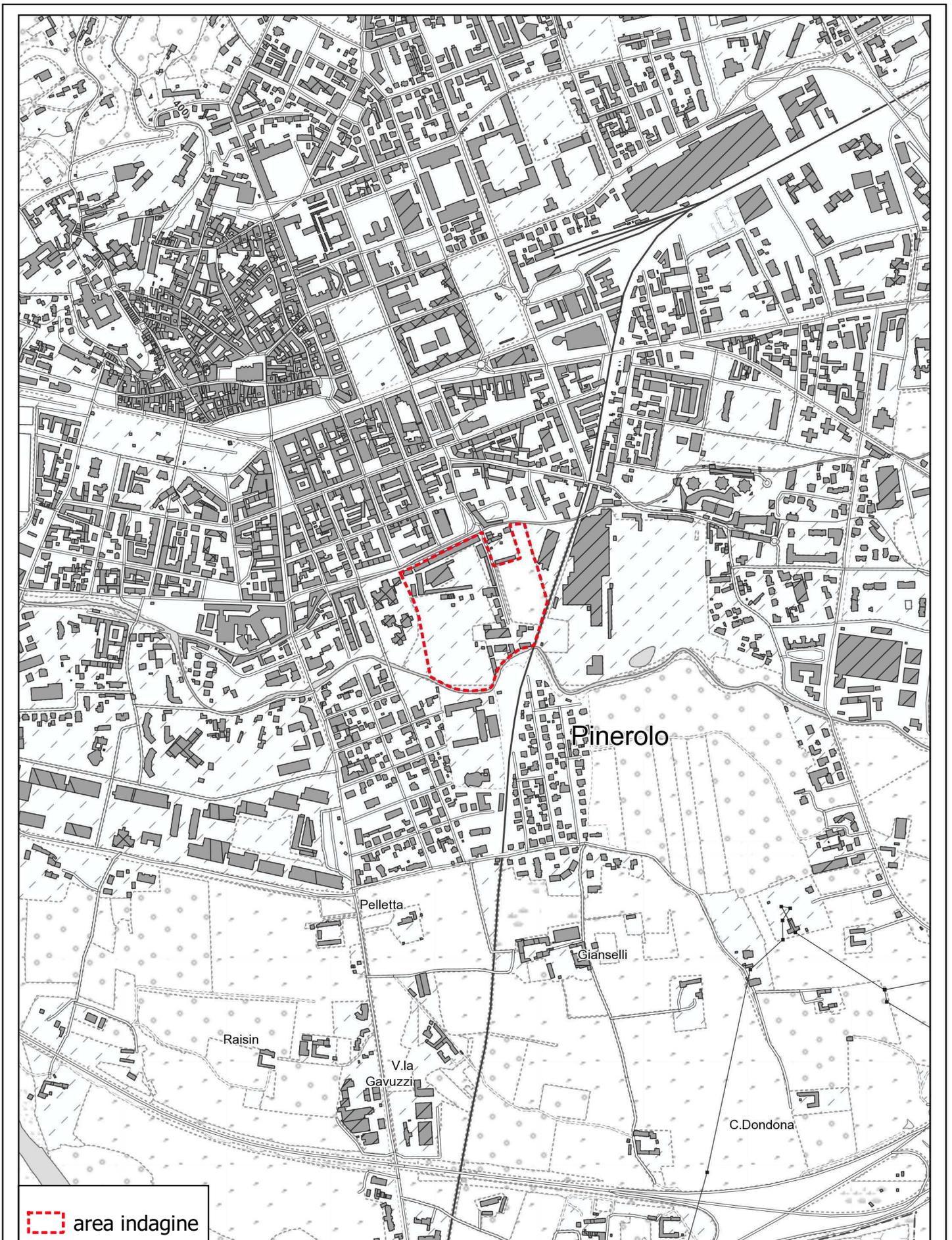
In linea generale, le informazioni relative al quadro del dissesto sono state approfondite mediante la consultazione dei documenti redatti a scala del territorio comunale, con particolare riferimento agli studi geologici facenti parte integrante del Progetto Definitivo di Variante di adeguamento al PAI del P.R.G.C. del Comune di Pinerolo (a firma del Dott. Geol. T. BARBERO e N. QUARANTA - luglio 2012), progressivamente citati nel corso del presente studio, e in particolare:

- elaborato GB02A "Carta geomorfologica e dei dissesti";
- Studi idraulici a supporto degli strumenti urbanistici a cura dello STUDIO ASSOCIATO POLITHEMA (ottobre 2009).

Come meglio verrà descritto nel corso del presente studio, i condizionamenti che gravano sull'azonamento urbanistico in esame derivano dal rischio idraulico dovuto dalla presenza del canale Moirano, che perimetra a Nord l'area RU 5.1, e del Torrente Lemina, che invece ne definisce il limite meridionale.

---

<sup>1</sup> Ortofoto 20cm / Ortofoto 50cm ©2015 Consorzio TeA.



CARTA DI INQUADRAMENTO GENERALE  
 BDTRE 2018  
 Base Dati Territoriale della Regione Piemonte  
 WMS - WGS84 32

AZZONAMENTO URBANISTICO RU 5.1

Aprile 2019

1:10000

Turck\_figure.qgs

Figura 01





ORTOIMMAGINE REGIONE PIEMONTE  
AGEA 2015

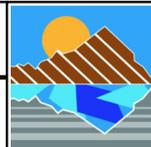
AZZONAMENTO URBANISTICO RU 5.1

Aprile 2019

1:5000

Turck\_figure.qgs

Figura 02



In particolare, si segnala che le tavole della Banca Dati regionale ascrivono il Torrente Lemina alla categoria dei corsi d'acqua per i quali sono documentati, nel periodo tra il 1830 ed il 1981, da sei a dieci episodi di violenta attività torrentizia.

Per quanto riguarda la cartografia PAI, in prima battuta si sottolinea che le aree normate da tale strumento sovraordinato lungo Torrente Lemina si dipartono da circa 180 m (distanza misurato verso monte lungo l'asta torrentizia) dal ponte ferroviario della Linea Pinerolo-Torre Pellice, pertanto solo la parte Sud-orientale dell'azzonamento RU 5.1 ricade entro le fasce. In particolare, una modesta porzione dell'azzonamento in esame è localizzata entro la Fascia B (fascia di esondazione della piena di progetto) estesa lungo la sponda sinistra del Torrente Lemina.

Inoltre, per quanto riguarda la cartografia del PGRA, l'area oggetto d'indagine e ricompresa nello scenario di alluvione "raro" (L), per quanto riguarda il settore centrale (esteso ad Est di Via Moriano) e meridionale, mentre il settore in fregio al Torrente Lemina è ricadente nello scenario d'evento frequente (H) di cui all'aggiornamento cartografico del 2015. Si precisa che, nell'ambito del presente studio, si farà riferimento a tale quadro normativo sovraordinato in quanto maggiormente aggiornato rispetto all'impianto del PAI.

Per maggiori dettagli in merito alla cartografia PAI e PGRA si rimanda alla Figura 03.

### 2.3 IDONEITÀ ALL'UTILIZZAZIONE URBANISTICA

In recepimento del quadro del dissesto sovraordinato e agli approfondimenti condotti a scala comunale richiamato nel paragrafo precedente, l'azzonamento urbanistico oggetto della presente indagine ricade nelle seguenti classi di sintesi di cui alla "*Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'uso urbanistico*" (Tav. GB07B) redatta a supporto della Variante strutturale per l'adeguamento del P.R.G.C. al PAI<sup>2</sup>; con particolare riferimento all'Art. 62 delle Norme di Attuazione del P.R.G.C., si dettagliano di seguito i vincoli derivanti dalla pericolosità geomorfologica:

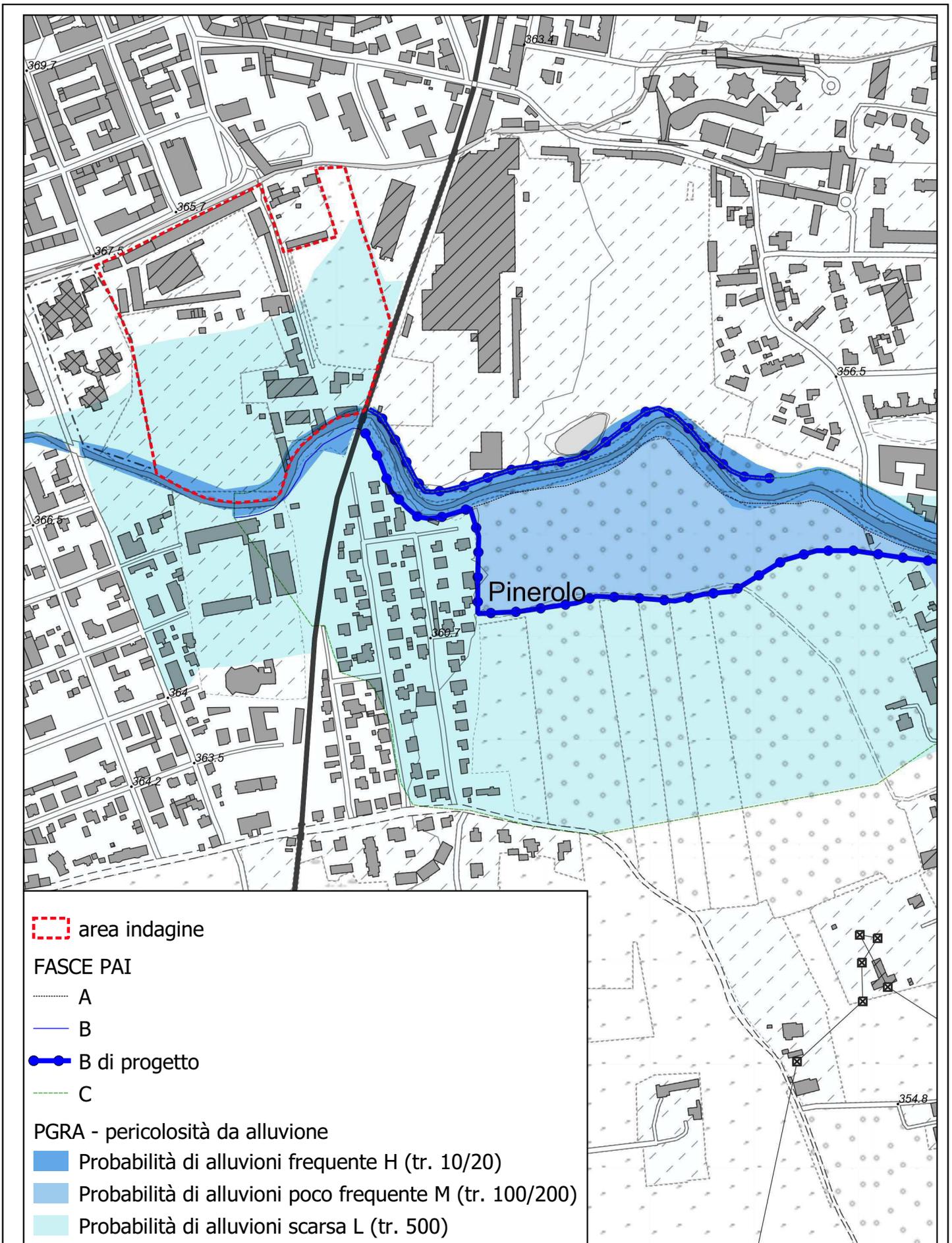
#### Classe 3a

In tale area ricadono le porzioni dell'azzonamento RU 5.1 poste in fregio alla sponda sinistra del Torrente Lemina ed entro la fascia definita secondo i criteri geometrici ex R.D. 523/1904 posta lungo il Canale Moirano.

A tale classe sono attribuite le "*aree di versante interessate da dissesti gravitativi, aree inondabili dal reticolato idrografico principale e minore e fasce di rispetto dei corsi d'acqua, settori di versante potenzialmente instabili. Porzioni di territorio inedificate che presentano caratteri geomorfologici o idrogeologici che le rendono inidonee a nuovi insediamenti. Per gli edifici isolati eventualmente presenti, fatte salve le norme più restrittive di cui agli artt. 9, 29 e 30 delle Norme di Attuazione del PAI e al R.D. 523/1904, sono consentite la manutenzione dell'esistente e, se fattibile dal punto di vista tecnico, la realizzazione di eventuali ampliamenti funzionali e interventi di ristrutturazione. Qualora le condizioni di pericolosità lo consentano, nell'ambito delle aziende agricole esistenti, è possibile la realizzazione di nuove costruzioni. Tali interventi dovranno essere subordinati all'esecuzione di studi specifici di dettaglio, indirizzati a valutare la loro compatibilità geologica e idraulica e a prescrivere gli accorgimenti tecnici eventualmente necessari per*

---

<sup>2</sup> A firma del Dott. Geol T. Barbero e N. Quaranta – novembre 2011.



*la mitigazione della pericolosità. Per gli interventi di carattere pubblico non altrimenti localizzabili varrà quanto previsto dall'art. 31 della L.R. 56/1977. All'interno delle fasce fluviali sono consentiti gli interventi di cui agli artt. 29 e 30 delle NTA del PAF'.*

#### Casse 3b2p

Nella classe di sintesi 3b2p sono scritte le porzioni centro e sud-occidentale dell'area RU5.1 la cui pericolosità medio moderata (EmA) è connessa alla potenziale attivazione di dissesti derivanti dalla dinamica evolutiva del Torrente Lemina ed individuati sulla scorta di approfondimenti idraulici, storici e morfologici (Tav GB2A di P.R.G.C., cfr. §2.2).

*A tale classe sono attribuite "aree inondabili dal reticolato idrografico principale e minore. Porzioni di territorio edificate, nelle quali gli elementi di pericolosità geologica e di rischio sono tali da imporre in ogni caso interventi di riassetto territoriale di carattere pubblico a tutela del patrimonio urbanistico esistente. A seguito della realizzazione delle opere sarà possibile, fatte salve le norme più restrittive di cui all'art. 9 delle Norme di Attuazione del PAI e al R.D. 523/1904, la realizzazione di nuove edificazioni, ampliamenti o completamenti".*

#### Classe 2b

Infine, il settore centro-settentrionale dell'azonamento urbanistico, interposto tra le suddette zone, risulta ricompresa nelle aree ascritte alla classe 2, che *"si riferisce ad ambiti nelle quali le condizioni di moderata pericolosità geomorfologica possono essere agevolmente superate attraverso l'adozione e il rispetto di modesti accorgimenti tecnici, realizzabili a livello di progetto esecutivo e sulla base di una relazione geologica e geotecnica redatta nel rispetto del D.M. 11/03/88, del D.M. 14/01/08 e s.m.i., esclusivamente nell'ambito del singolo lotto edificatorio o dell'intorno significativo circostante".*

Nel dettaglio, alla classe 2b sono specificatamente riferiti i *"settori di pianura e/o settori localizzati alla base dei versanti collinari potenzialmente allagabili da acque a bassa energia, settori depressi sede di ristagno.*

*Oltre alle prescrizioni generali della Classe 2, per le nuove edificazioni e per gli ampliamenti di superficie e volume il primo piano calpestabile dovrà essere realizzato prevedendo eventualmente un innalzamento rispetto al piano campagna la cui entità sarà da definirsi attraverso uno studio geologico-tecnico che valuti anche le possibili interferenze sui lotti circostanti. La realizzazione di piani interrati non dovrà interferire con il regime della falda idrica e sarà pertanto subordinata ai risultati di preventive indagini volte alla verifica della soggiacenza della falda e della relativa escursione massima annuale e storica dalla quale dovrà essere garantito un franco di almeno 50 cm. Inoltre, dovranno essere adottate adeguate soluzioni tecniche, da esplicitarsi a livello di progetto esecutivo, atte a impedire fenomeni di allagamento imputabili ad acque di ruscellamento o allo scarso drenaggio superficiale o a fenomeni di tracimazione locale del reticolo idrografico artificiale minore (rete fognaria, fossi irrigui e/o stradali) e a garantirne l'uso in condizioni di sicurezza. In riferimento agli edifici esistenti, per il cambio di destinazione d'uso a fini abitativi dei piani terra, seminterrati e interrati dovranno essere adottate le suddette soluzioni tecniche atte a prevenire allagamenti"*

Oltre alle indicazioni contenute nella cartografia di sintesi e nell'articolato delle NdA di P.R.G.C., le condizioni di dissesto e di propensione all'urbanizzazione e all'edificabilità

Comune di Pinerolo (TO)

PIANO DI RECUPERO DI INIZIATIVA PUBBLICA CON VALORE DI PIANO PARTICOLAREGGIATO

ZONA RU 5.1

sono esplicitate nella scheda n. 23 dello specifico elaborato GA03 “*Schede di sintesi relative alle previsioni urbanistiche*”, parte integrante del P.R.G.C. vigente. Nel dettaglio, si precisa che per le aree poste in classe 3b occorre fare preciso riferimento ai contenuti dell’elaborato GA02 “*Cronoprogramma degli interventi di riassetto territoriale per l’attuazione delle previsioni urbanistiche delle aree 3b*”, - area 16.2 e area16.3 - Scheda n. 13. In relazione all’importanza degli interventi di urbanizzazione previsti per l’azzonamento RU 5.1, si riporta integralmente la suddetta scheda (c.f.r Allegato 01).

### **3. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA**

#### **3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE**

Dal punto di vista geologico regionale, l'area oggetto d'indagine è parte integrante della pianura pedemontana pinerolese che si estende al margine dei primi rilievi della catena alpina occidentale, in corrispondenza dello sbocco vallivo del Torrente Chisone e del Torrente Lemina.

Più precisamente l'area considerata è posizionata al margine occidentale della cosiddetta "pianura cuneese-torinese meridionale". Questo importante settore della pianura piemontese è separato dalla "pianura torinese s.s." per mezzo della strozzatura che caratterizza la traversa Piossasco-Moncalieri, in corrispondenza della quale la distanza fra la Collina di Torino (appartenente al sistema appenninico) ed il bordo interno della catena alpina è minima.

In particolare, l'area in esame insiste sulla pianura alluvionale recente geneticamente legata ai torrenti Chisone e Lemina ed è caratterizzata dalla presenza di depositi che, nella Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (Foglio n. 67 - Pinerolo), sono stati assegnati al "Diluviale recente ed alluviale" ("Alluvioni terrazzate" e "Alluvioni recenti"), terminologia ormai considerata poco precisa e desueta. A questo proposito si segnala che i depositi in esame, sulla base degli studi più recenti (COLLO G., "L'evoluzione tettonica del Pinerolese nell'ambito dei rapporti tra le Alpi e la Collina di Torino", 1995), possono essere riferiti all'Olocene (si veda la tavola d'inquadramento geologico riportata nella Figura 04). Secondo quanto rappresentato nella "*Carta geologica del Piemonte*" i depositi che caratterizzano il settore della pianura pinerolese oggetto della presente indagine sono riferibili alle sequenze di origine fluviale quaternarie oloceniche-attuali dei bacini sin-orogenici.

Dal punto di vista sedimentologico, i terreni presenti nell'area oggetto d'indagine sono dei depositi fluvio-torrentizi di natura essenzialmente grossolana e, a grande scala, sono caratterizzati da una certa omogeneità. Più precisamente essi sono costituiti da ghiaie *clast-supported* in matrice sabbioso-limosa. Peraltro, non si può escludere la presenza di livelli a granulometria più fine (sabbie e limi) che possono dare origine a corpi lentiformi di varia potenza ed estensione laterale. I depositi grossolani poc'anzi descritti possono essere sormontati da sedimenti di natura sabbioso-limosa di potenza metrica che, di norma, costituiscono il "top" di una sequenza deposizionale di ambiente fluviale.

In ultimo, dal punto di vista pedologico, facendo riferimento alla Carta dei Suoli (I.P.L.A. 2007), nell'area oggetto di studio sono riscontrabili suoli attribuiti alla categoria U0585 (inceptisuoli di pianura ghiaiosi).

#### **3.2 CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA ED IDROGRAFIA DI SUPERFICIE**

Dal punto di vista morfologico l'area oggetto d'indagine si presenta da sub pianeggiante a debolmente inclinata verso Est. In particolare, essa è localizzata entro il contesto urbano di Pinerolo, in un settore interposto tra l'alveo del Torrente Lemina che, come precedentemente richiamato, definisce il margine meridionale dell'azonamento in esame e il Canale Moriano, che scorre in fregio alla viabilità comunale (Corso Piave) e delimita a Nord l'area RU 5.1.

Comune di Pinerolo (TO)

PIANO DI RECUPERO DI INIZIATIVA PUBBLICA CON VALORE DI PIANO PARTICOLAREGGIATO

ZONA RU 5.1

Si precisa che il Torrente Lemina scorre entro un alveo delimitato da scarpate plurimetrie e presenta un andamento debolmente meandriforme, vincolato da opere di difesa longitudinali più o meno continue.

### 3.3 ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE

Le caratteristiche del materasso alluvionale recente descritto nei lineamenti geologici generali sono state confermate mediante l'esame dei risultati alle campagne geognostiche eseguite nell'ambito della progettazione di interventi edilizi, condotte nel recente passato nel settore sud-orientale del centro abitato di Pinerolo e, in particolare, facendo riferimento a n. 3 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nella adiacente area RU 6.1, denominati S1<sub>RU6.1</sub> - S2<sub>RU6.1</sub> - S3<sub>RU6.1</sub> in Figura 04.

Come è possibile osservare dalle stratigrafie riportate in Allegato 02, spinte fino ad una profondità massima pari a 20,0 m da p.c., il materasso alluvionale è caratterizzato dalla presenza di ghiaie eterometriche con ciottoli ( $\varnothing_{\max}=10-12$  cm) in matrice sabbiosa eterometrica, a tratti limoso-sabbiosa: il grado di alterazione cresce con l'approfondimento e risulta interessante sia la matrice che la frazione grossolana a partire dalla profondità tra gli 8,0 e i 9,0 m a da p.c.. Nell'intervallo variabile compreso tra ca. 9,0 m e 12,0 m di profondità da p.c. è stato riscontrato un livello di trovanti ( $\varnothing_{\max}=20-25$  cm) alterati e non (tale livello è stato riscontrato anche a fondo foro lungo la verticale del sondaggio S2<sub>RU6.1</sub>. Superficialmente i depositi alluvionali grossolani sono sigillati da depositi fini (argilla limosa con sporadico ghiaietto), presenti al di sotto del terreno di riporto e/o del terreno agricolo. L'orizzonte fine, riconducibile al "top" della sequenza deposizionale in ambiente fluvio-torrentizio, è stato riscontrato fino alla profondità massima di 2,5 m da p.c..

Al fine di valutare le caratteristiche geotecniche dei terreni indagati, nel corso delle operazioni di perforazione, lungo la verticale dei sondaggi di cui sopra sono state eseguite delle prove penetrometriche SPT che hanno fornito i seguenti risultati<sup>3</sup>:

Sondaggio S1<sub>RU6.1</sub>

- 4,0 m da p.c. → NSPT = R
- 17,5 m da p.c. → NSPT = R

Sondaggio S2<sub>RU6.1</sub>

- 7,5 m da p.c. → NSPT = R
- 18,3 m da p.c. → NSPT = 60

Sondaggio S3<sub>RU6.1</sub>

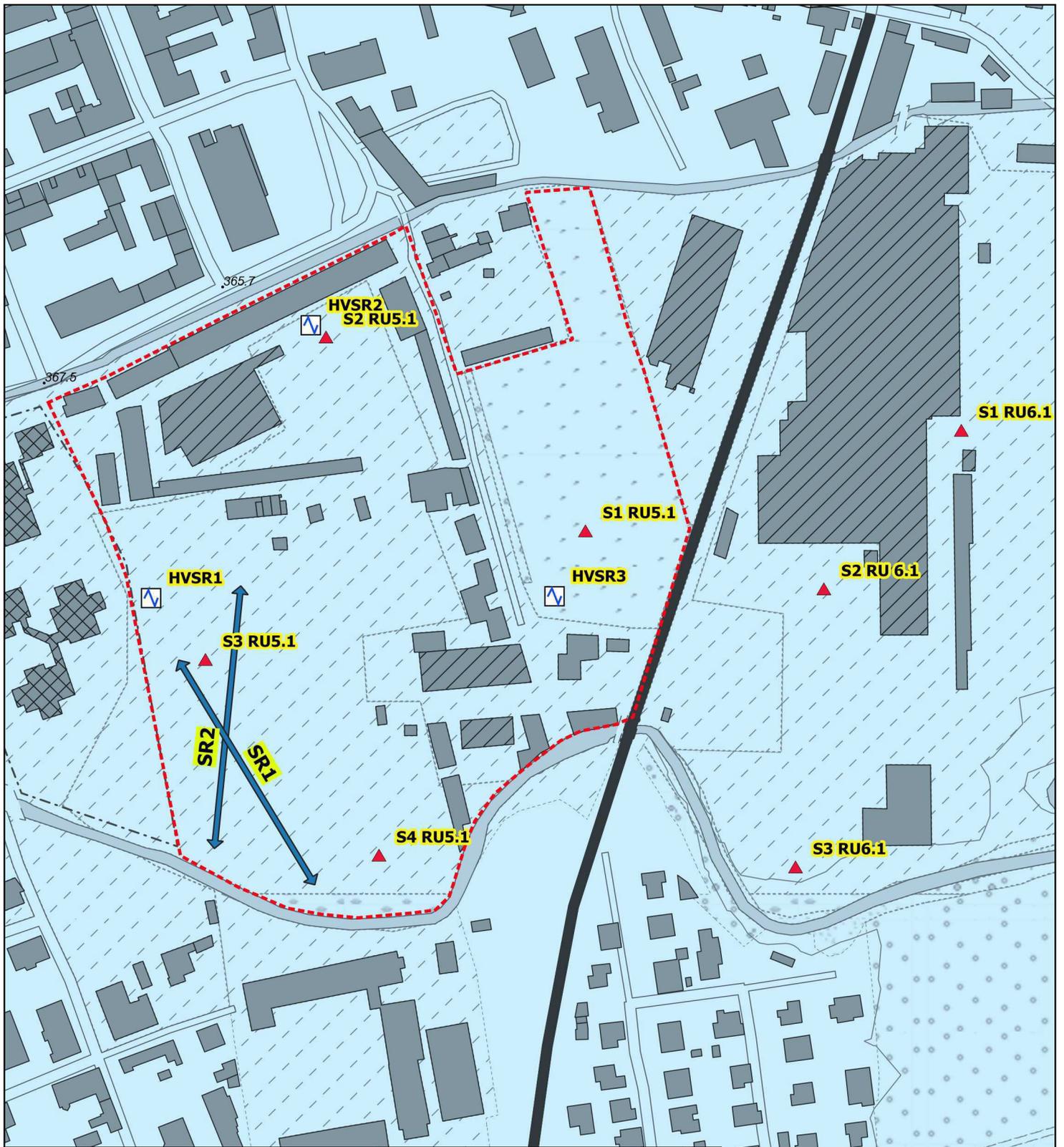
- 7,5 m da p.c. → NSPT = 32

In sintesi, i risultati sopra riportati mettono in evidenza che i depositi riscontrati presentano un grado di addensamento piuttosto elevato.

Per maggiori dettagli si rimanda alla Figura 04 e all'Allegato 02 (al termine della relazione).

---

<sup>3</sup> Si precisa che i valori indicati nelle colonne stratigrafiche riportate nell'allegato corrispondono ad un approfondimento di 15 cm. Per ottenere il valore NSPT occorre sommare gli ultimi due valori di ciascuna terza in quanto il primo valore può ritenersi disturbato per effetto del carotaggio.



## LEGENDA

- |  |   |
|--|---|
|  area indagine | INDAGINI LINEARI  |
| INDAGINI PUNTUALI  |  SISMICA A RIFRAZIONE                          |
|  SONDAGGIO     | DEPOSITI  |
|  HVSR          |  fluvio-torrentizi attuali e recenti (Olocene) |

CARTA GEOLOGICA  
UBICAZIONE INDAGINI DI RIFERIMENTO  
E DELLE INDAGINI IN SITO

AZZONAMENTO URBANISTICO RU 5.1

Aprile 2019

1:2500

Turck\_figure.qgs

Figura 04



### 3.4 INDAGINI IN SITO

Al fine di delineare con maggiore dettaglio l'assetto litostratigrafico dell'area oggetto della presente indagine e di valutare le caratteristiche geotecniche dei terreni che saranno interessati dalla messa in opera delle strutture di fondazione inerenti all'urbanizzazione dell'azonamento in esame, sono stati eseguiti, nell'intervallo di tempo tra il 29/04/2003 ed il 14/05/2003, n. 4 sondaggi a carotaggio continuo<sup>4</sup> spinti fino ad una profondità massima di 20,0 m da p.c.. L'ubicazione delle indagini eseguite (S1<sub>RU5.1</sub>-S2<sub>RU5.1</sub>-S3<sub>RU5.1</sub>-S4<sub>RU5.1</sub>) è riportata in Figura 04.

Due dei fori di sondaggio realizzati sono stati attrezzati mediante la posa di tubi piezometrici ( $\varnothing=2''$ ) al fine di monitorare le oscillazioni della falda mediante una campagna di misure piezometriche. Come verrà dettagliato successivamente (cfr. § 4.), attualmente solo il foro di sondaggio denominato S2<sub>RU5.1</sub> è risultato ancora accessibile per le misurazioni di soggiacenza della falda freatica.

Nelle aree non occupate dagli edifici attualmente esistenti, i sondaggi geognostici hanno evidenziato la presenza di un primo livello superficiale di terreno agrario e/o di riporto sabbioso-ghiaioso avente potenza massima di 1,0 m cui segue un orizzonte costituito da materiali sabbioso-limosi di colore bruno che, come accennato in precedenza, rappresenta il "top" della sequenza deposizionale di ambiente fluvio-torrentizio. I due livelli sopra descritti raggiungono una potenza massima di circa 2,3 m; a partire da questa profondità e fino a fondo foro sono presenti ghiaie eterometriche in matrice sabbioso-limosa addensata con ciottoli e trovanti pluridecimetrici ( $\varnothing_{max}=40$  cm). La porzione inferiore di questi depositi (a partire da una profondità di ca. 5,0÷7,0 m da p.c.) mostra segni di alterazione relativamente più accentuata a carico dei clasti e della matrice che tuttavia non ne modificano le caratteristiche tessiturali.

Nel corso delle operazioni di perforazione dei sondaggi sono state eseguite n. 11 prove SPT, i cui risultati, sintetizzati qui di seguito<sup>5</sup>, confermano sostanzialmente quelli ottenuti nel corso di precedenti campagne d'indagine effettuate su depositi analoghi.

Sondaggio S1<sub>RU5.1</sub>

- 6,0 m da p.c. → NSPT = 19
- 9,0 m da p.c. → NSPT = 24
- 12,0 m da p.c. → NSPT = 42

Sondaggio S2<sub>RU5.1</sub>

- 14,0 m da p.c. → NSPT = 52
- 17,5 m da p.c. → NSPT = R

Sondaggio S3<sub>RU5.1</sub>

- 6,0 m da p.c. → NSPT = 31
- 9,0 m da p.c. → NSPT = 31
- 12,0 m da p.c. → NSPT = R
- 15,0 m da p.c. → NSPT = 38

---

<sup>4</sup> Ditta SONDECO s.r.l. (Torino).

<sup>5</sup> Si veda la nota n. 3.

Sondaggio S4<sub>RU5.1</sub>

- 4,5 m da p.c. → NSPT = R
- 12,0 m da p.c. → NSPT = 32

Per maggiori ragguagli in merito alle indagini sopra richiamate si rimanda all'Allegato 02. In sintesi, la campagna di indagini geognostiche condotte nell'azzonamento urbanistico RU 5.1 confermano il quadro litostratigrafico delineato nei precedenti capitoli: il materasso dei depositi alluvionali che caratterizza la porzione di pianura oggetto della presente indagine è contraddistinto da sedimenti con buon grado di addensamento.

Inoltre, anche le indagini geofisiche eseguite entro l'azzonamento RU 5.1 nel mese di maggio 2006 (stese sismiche a rifrazione in onde P e SH eseguite dalla ditta CIS GEOFISICA S.R.L. – Allegato 05) evidenziano come i depositi indagati siano contraddistinti da un buon grado di consolidazione a partire dai 5 - 7 metri di profondità da piano campagna con incrementi via via più consistenti scendendo in profondità.

Come richiamato in premessa, le indagini in sito sono state implementate mediante l'acquisizione dei dati relativi ad una campagna di indagini geofisiche realizzate nel mese di marzo u.s.. Per maggiori dettagli a tale proposito si rimanda al capitolo 5.1.

### 3.5 CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA

La circolazione idrica sotterranea in corrispondenza del territorio indagato è direttamente condizionata dall'assetto litostratigrafico descritto alle pagine precedenti. In particolare, è nota in letteratura la sovrapposizione di due distinti complessi:

- il *complesso I* costituisce il serbatoio acquifero più superficiale e, nell'area in esame, è individuato dai sedimenti alluvionali quaternari ghiaiosi e sabbiosi con ciottoli, blocchi e trovanti per spessori pari a circa una cinquantina di metri (PTA, Piano regionale di Tutela delle acque, Pianura Pinerolese, Tav. 2 - Elementi di assetto idrogeologico, parte 1). Mostra buone caratteristiche di permeabilità ed è sede di una falda freatica il cui livello piezometrico si colloca a profondità dell'ordine 5÷10 m dal p.c. ed è caratterizzata da una direzione di deflusso subparallela all'andamento del reticolo idrografico superficiale, che è grosso modo orientato secondo la direttrice Est-Ovest. L'alimentazione di tale acquifero avviene per infiltrazione diretta degli apporti meteorici e per dispersione in subalveo dai corsi d'acqua;
- il *complesso II* è formato dalle alternanze di sedimenti ghiaioso - sabbiosi con termini argillosi in facies "villafranchiana" (Pleistocene inf. - Pliocene sup.). Nei depositi grossolani e ben permeabili sono contenute varie falde idriche in pressione confinate dai livelli fini, che funzionano da setti impermeabili, che compaiono, come detto, a partire da circa 50 m di profondità dal piano campagna.

Indagini di maggiore dettaglio sono state effettuate per meglio definire i valori di soggiacenza della falda freatica.

Nel corso delle operazioni di perforazione dei sondaggi eseguiti entro l'azzonamento RU5.1, la superficie libera della stessa è stata intercettata ad una profondità compresa fra -5,00 metri (S1<sub>RU5.1</sub> e S4<sub>RU5.1</sub>) e -6,00 metri dal p.c. (S3<sub>RU5.1</sub>).

Comune di Pinerolo (TO)

PIANO DI RECUPERO DI INIZIATIVA PUBBLICA CON VALORE DI PIANO PARTICOLAREGGIATO

ZONA RU 5.1

A questo proposito si precisa inoltre che, vista la potenziale interferenza tra le strutture interrante previste nell'ambito delle opere edili che si intende realizzare nell'azzonamento in esame e la falda freatica, si è proceduto con una specifica campagna di misure piezometriche, estesa da mese di aprile 2003 e il mese di maggio 2004, prolungata pertanto lungo un intero anno idrologico. Le misurazioni sono state effettuate in corrispondenza dei fori dei sondaggi S2<sub>RU5.1</sub> e S4<sub>RU5.1</sub>, opportunamente attrezzati mediante la posa di un tubo piezometrico Ø=2". I risultati ottenuti sono sintetizzati nella tabella sottostante:

data	S2 <sub>RU5.1</sub>	S4 <sub>RU5.1</sub>	note
07/05/2003	/	7.35	Copiose infiltrazioni a 5.00 m (S4 <sub>RU5.1</sub> )
14/05/2003	4.83	7.34	
18/06/2003	4.55	6.75	Copiose infiltrazioni a 4.80 m (S4 <sub>RU5.1</sub> )
12/08/2003	4.65	6.62	Copiose infiltrazioni a 4.15 m (S4 <sub>RU5.1</sub> )
22/09/2003	4.72	6.80	Copiose infiltrazioni a 4.23 m (S4 <sub>RU5.1</sub> )
24/10/2003	4.94	7.20	Copiose infiltrazioni a 4.31 m (S4 <sub>RU5.1</sub> )
12/11/2003	5.12	7.35	Copiose infiltrazioni a 4.25 m (S4 <sub>RU5.1</sub> )
05/11/2003	<b>4.54</b>	<b>6.53</b>	Copiose infiltrazioni a 4.13 m (S4 <sub>RU5.1</sub> )
27/01/2004	5.00	5.85	
08/03/2004	5.18	7.09	
26/04/2004	4.86	7.20	
15/05/2004	4.80	7.12	

In grassetto si evidenziano le condizioni di massimo innalzamento stagionale.

In ultimo, si segnala che in data 22/02/2019 è stata effettuata una misura della soggiacenza della falda in corrispondenza del piezometro S2<sub>RU5.1</sub>, in quanto risulta l'unico accessibile. Il valore misurato è di 7,30 m da p.c.: la differenza di quota rispetto ai valori rilevati durante la stagione invernale dell'anno idrologico di riferimento (si veda la tabella) è verosimilmente riconducibile alla scarsità di precipitazioni meteoriche che ha caratterizzato il periodo compreso fra i mesi di dicembre e marzo appena trascorsi.

#### 4. CONDIZIONI DI STABILITÀ DELL'AREA E QUADRO DEL DISSESTO

In prima battuta si evidenzia che, durante gli specifici sopralluoghi, condotti in data 22/03/2019 e 28/03/2019, non sono stati individuati indizi di dissesto potenziale o in atto che, dato l'assetto morfologico precedentemente descritto, possono essere riconducibili unicamente alla dinamica evolutiva del reticolo idrografico principale e secondario, come individuato al § 3.2.

Come anticipato nel paragrafo 2.2, al fine di ricostruire il quadro del dissesto insistente nell'area d'intervento e di verificare la ricorrenza di processi di dinamica che possono interferire con l'area in esame, è stata analizzata la documentazione bibliografica e tecnica, dalla quale si evince che essa risulta essere ricompresa nelle aree soggette a pericolosità idraulica legata al reticolo idrografico principale e secondario, con particolare riferimento a potenziali fenomeni di laminazione del Torrente Lemina.

Comune di Pinerolo (TO)

PIANO DI RECUPERO DI INIZIATIVA PUBBLICA CON VALORE DI PIANO PARTICOLAREGGIATO  
ZONA RU 5.1

Valutazioni in merito al rischio idraulico di dettaglio sono state effettuate mediante l'analisi degli "Studi idraulici a supporto degli strumenti urbanistici"<sup>6</sup>, con particolare riferimento alle sezioni idrauliche del Torrente Lemina riferite all'intorno significativo dell'azonamento in esame (sezioni progressivamente numerate da monte verso valle da L023 a L31 e ponti: MPIN016, MPIN023 e MPIN018).

In sintesi, dalla consultazione degli elaborati degli studi idraulici di cui sopra, si evince che il settore oggetto di analisi ricade entro la perimetrazione dell'area di dissesto a pericolosità medio/moderata individuata dal codice Ar<sub>9</sub>, estesa in corrispondenza di entrambe le sponde del Torrente Lemina, tra l'intersezione di Via Juvenal (passerella pedonale individuata con il codice MPIN023 e l'attraversamento ferroviario individuato dal codice MIN018). Nel dettaglio, le verifiche condotte sulle sezioni idrauliche che interessano l'azonamento in esame e citate in precedenza mettono in evidenza che, lungo tutto il tratto compreso tra l'intersezione con Via Raviolo (MPIN016) e il ponte ferroviario (MPIN018), l'alveo del Torrente Lemina presenta una morfologia delle sponde non in grado di contenere i livelli della piena di riferimento (portata con Tr = 200 anni). Inoltre, tale analisi ha evidenziato come i manufatti degli attraversamenti sono stanzialmente insufficienti allo smaltimento delle portate di piena. I valori di pericolosità medio-moderata sono stati attribuiti in relazione ai tiranti piuttosto contenuti in riferimento ai processi di esondazione (pari a circa 30÷40 cm). Si sottolinea infine che, nel corso delle indagini di terreno, è stato possibile verificare che lo stato dei luoghi, con particolare riguardo all'alveo del Torrente Lemina, non presenta sostanziali modifiche rispetto alla situazione oggetto delle verifiche condotte nell'ambito dello studio idraulico di riferimento.

Le perimetrazioni in termini di pericolosità valutate nell'ambito dello studio idraulico di P.R.G.C. sono state assunte e tradotte negli "scenari d'alluvione" contenuti nel PGRA di cui al capitolo 2.2 della presente relazione. A tale riguardo si richiama che la porzione centrale e meridionale dell'azonamento in esame risulta essere ricompresa nello scenario "raro" (L), mentre una ristretta fascia, parzialmente edificata, disposta parallelamente alla sponda dell'alveo attivo del Torrente Lemina, è ascritta allo scenario d'evento frequente (H). Si precisa, a tale proposito, che il Decreto del Segretario Generale dell'Autorità di bacino del Fiume Po n. 115/2015 del 19/06/2015 ha introdotto il Titolo V alle Norme di Attuazione del PAI al fine di coordinare quest'ultimo con il PGRA. Nello specifico caso, l'Art. 58 contenuto nel suddetto decreto stabilisce che alle aree interessate da alluvioni rare (L) si applicano le limitazioni di cui all'Art. 31 del PAI vigente (fascia C) e alle perimetrazioni interessate da alluvioni frequenti si applicano le limitazioni di cui all'Art. 29 del PAI vigente (fascia A).

In relazione a quanto attiene il Canale Moirano, dall'analisi delle sezioni Mo2 (attraversamento di accesso allo spigolo Nord-occidentale dell'area RU 5.1), Mo3 (sezione in corrispondenza del tratto in fregio a C.so Piave e la cui sponda destra coincide con la manica principale dell'ex stabilimento Turk) e Mo4, si evince che le portate di piena sono contenute entro l'alveo di tale direttrice di deflusso, non dando origine a potenziali dissesti areali. A tale riguardo si osserva che, sebbene il Canale Moirano si configuri anche come recettore delle acque provenienti dalle superfici impermeabilizzate presenti nel tessuto urbano che attraversa, le portate sono normalmente regolate dal sistema di derivazione e ripartizione.

Per maggiori dettagli si rimanda all'Allegato 04.

---

<sup>6</sup> C.f.r. §2.2.

## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

### 5.1. PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE

La parametrizzazione dei depositi grossolani (essenzialmente ghiaie eterometriche in matrice sabbioso e sabbiosa-limosa presenti a partire da una profondità di 2,3 m ca.) entro i quali dovrà essere ricavato il piano di appoggio delle fondazioni delle strutture in progetto è stata effettuata attraverso il confronto con materiali simili riportati nella letteratura specifica e a partire dai risultati delle indagini geognostiche illustrate nei capitoli 4 e 6, con particolare riferimento agli esiti delle prove SPT eseguite lungo le verticali dei sondaggi di riferimento. Escludendo l'orizzonte più superficiale comprendente il terreno di riporto e/o agrario, nonché il livello limoso che "sigilla" la sequenza deposizionale, si è proceduto mediante la parametrizzazione dei terreni ghiaiosi che si distinguono sostanzialmente per il grado di alterazione crescente secondo la profondità.

livello	profondità	descrizione
1	1,7÷2,3 → 5,0÷7,0	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa con ciottoli
2	5,0÷7,0 → 20,0	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa con ciottoli con fenomeni di alterazione

In particolare, per ciascun livello è stato cautelativamente utilizzato il valore inferiore dei risultati delle prove SPT eseguite lungo le verticali di sondaggio perforati entro l'azzonamenti RU 5.1.

La misura di  $N_{SPT}$  deve essere normalizzata, riportando il valore rispetto ad un valore teorico ( $N_{60}$ ) valutato alla tensione efficace verticale di 100 kPa ( $N_{1-60}$ ): sinteticamente, secondo CESTARI (1996)  $N_{SPT}=N_{60}$ , mentre il valore di  $N_{1-60}$  viene ricavato applicando il coefficiente  $C_N^7$ . Pertanto, una volta definito il valore di  $N_{1-60}$ , è stato calcolato l'angolo di attrito interno in condizioni di picco ( $\varphi'_{picco}$ ) come valore medio ricavato attraverso l'applicazione dei seguenti criteri più utilizzati recentemente<sup>8</sup>:

KULHAWY & MAYNE (1990)

HUTANAKA & UCHIDA (1996)

WOLFF (1989)

MAYNE ET AL. (2001)

JRA (1996)

Al fine di valutare il parametro alla profondità di indagine, il valore medio dei risultati ricavati è stato quindi corretto<sup>9</sup> in funzione del valore della densità relativa  $D_R^{10}$  valutata presente in funzione dell'approfondimento, ottenendo l'angolo di attrito a volume costante ( $\varphi'_{cv}$ )

<sup>7</sup> E' stato considerato il valore più cautelativo ricavato mediante le metodologie di LIANO e WITHMANN (1986), SKEMPTON (1986) e CASTRO (1995).

<sup>8</sup> Come riportato dal NCHRP - NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (2010).

<sup>9</sup> BOLTON (1986).

<sup>10</sup>  $D_R$  valutata con la correlazione di SKEMPTON, 1986.

Comune di Pinerolo (TO)

PIANO DI RECUPERO DI INIZIATIVA PUBBLICA CON VALORE DI PIANO PARTICOLAREGGIATO

ZONA RU 5.1

Il modello geotecnico proposto trascura il contributo alla resistenza al taglio fornito dalle forze di coesione facendo riferimento, pertanto, al comportamento geotecnico controllato dalle tensioni efficaci.

Il valore del peso di volume (pari a 19 kN/m<sup>3</sup>) si basa su correlazioni empiriche con terreni caratterizzati da analoga tessitura e densità relativa D<sub>R</sub>.

In sintesi, i principali parametri geotecnici attribuiti ai terreni di fondazione, che devono essere riferiti ai depositi in condizioni indisturbate, sono i seguenti:

livello	N <sub>SPT</sub>	N <sub>1-60</sub>	D <sub>R</sub>	φ' <sub>picco</sub>	φ' <sub>cv</sub>	γ	c
1	19	19	55%	33°	30°	19,0 kN/m <sup>3</sup>	0,0 kN/m <sup>2</sup> .
2	31	27	70%	39°	32°	19,0 kN/m <sup>3</sup>	0,0 kN/m <sup>2</sup> .

## 5.2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA IN ESAME

Secondo quanto prevede il Decreto 17/01/2018 del Ministero delle Infrastrutture, riprendendo l'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., le azioni sismiche di progetto attese al suolo, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito oggetto di studio. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche che sono sostanzialmente controllate dall'assetto locale litostratigrafico e riconducibili al profilo di velocità delle onde di taglio V<sub>s</sub> nel sottosuolo.

In primo luogo, il citato decreto prevede che si proceda alla classificazione dei suoli di fondazione secondo i criteri definiti al punto 3.2.2 delle “Norme tecniche per le costruzioni” allegate al D.M. poc'anzi richiamato.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V<sub>S,eq</sub> (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

h<sub>i</sub>: spessore dell'i-esimo strato;

V<sub>S,i</sub>: velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N: numero di strati;

H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V<sub>s</sub> non inferiore a 800 m/s.

Si precisa che per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio V<sub>S,eq</sub> è definita dal parametro V<sub>S,30</sub> ottenuto ponendo H = 30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Al riguardo si sottolinea che, secondo il modello geologico generale ricostruito nel presente studio, emerge che il materasso alluvionale che caratterizza il settore di pianura su cui insiste l'area in esame presenta uno spessore superiore ai 30 m, pertanto la V<sub>S,eq</sub> è definita dal parametro V<sub>S,30</sub>.

Comune di Pinerolo (TO)

PIANO DI RECUPERO DI INIZIATIVA PUBBLICA CON VALORE DI PIANO PARTICOLAREGGIATO

ZONA RU 5.1

Per quanto concerne l'area oggetto della presente indagine, la classificazione dei suoli è stata effettuata a partire dal quadro geologico delineato nel capitolo 3 e sulla scorta delle risultanze della campagna di indagini geofisiche cui si è fatto riferimento al §3.4, con particolare riferimento alla stesa sismica a rifrazione in onde SH, dalla quale sono stati misurati valori di  $V_{S,30}$  che variano da 710 a ca. 780 m/s ca.

Pertanto, i depositi indagati sono stati assegnati alla categoria B dei suoli di fondazione di cui alla tabella 3.2.II delle NTC18 (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 360 m/s e 800 m/s).

La caratterizzazione geosismica dei terreni permette di definire l'azione sismica di progetto che è contraddistinta dalle componenti trasversali (orizzontali e verticali da ritenersi tra di loro indipendenti). Tali componenti possono essere modellizzate mediante il calcolo dell'accelerazione massima e del relativo spettro di risposta atteso in superficie.

Nella tabella sottostante si riassumono i parametri di ingresso ed i valori ottenuti<sup>11</sup> in corrispondenza di un punto baricentrico entro l'azonamento urbanistico RU 5.1, relativi allo spettro di risposta orizzontale da adottare per la conduzione dei calcoli in presenza degli effetti inerziali indotti dal sisma di progetto:

Parametro	Riferimento NTC18	Valore per l'intervento in esame
$V_N$ - vita nominale della costruzione	Tabella 2.4.I	50 anni
Classe d'uso	Paragrafo 2.4.2.	II
$C_u$ - coefficiente d'uso della costruzione	Tabella 2.4.II	1
Stato limite ultimo		<b>SLV- Salvaguardia della vita</b>
<b>Spettro di risposta</b>		
<b><math>a_g</math> orizzontale massima del terreno = 0,130g</b>		
<b><math>F_0</math> valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale = 2,459</b>		
<b><math>T'_c</math> periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale = 0,263 s</b>		

in particolare, l'accelerazione di picco attesa al suolo ( $a_{max}$ ) è espressa dalla seguente equazione, i cui parametri sono esplicitati nella tabella sottostante:

<sup>11</sup> Geostru PS Parametri sismici 2018.

$$a_{max} = S_s * S_T * a_g$$

Parametro	Riferimento NTC18	Valore per l'intervento in esame
S <sub>s</sub> coefficiente stratigrafico di amplificazione dipendente dalla categoria di sottosuolo	Tabella 3.2.V	1,2
T categoria topografica	Tabella 3.2.III	T <sub>1</sub>
S <sub>T</sub> coefficiente topografico dipendente dalla categoria T	Tabella 3.2.V4	1
<b>a<sub>max</sub> = 0,156g</b>		

In merito all'individuazione degli elementi topografici che concorrono nella valutazione dell'accelerazione di picco attesa al suolo durante un evento sismico, si rammenta che i coefficienti di amplificazione topografici sono maggiori all'unità per gli elementi topografici che possono essere considerati bidimensionali (creste/dorsali allungate) con sviluppo altimetrico superiore ai 30 m ed inclinazione superiore ai 15° sessagesimali.

Per quanto concerne le problematiche relative alla pericolosità sismica locale, alla luce dell'assetto litostratigrafico, è stata omessa in tale fase di indagine la verifica a liquefazione dei depositi; tuttavia, occorre precisare che in fase di progettazione degli interventi edilizi si dovrà procedere alla valutazione quantitativa, secondo la normativa tecnica vigente, del potenziale di liquefazione dei terreni di fondazione.

Per meglio completare la caratterizzazione sismica dell'area oggetto di studio, si richiama che in data 29 marzo u.s.<sup>12</sup>, sono state effettuate in sito n. 3 misure di rumore sismico a stazione singola i cui dati sono stati elaborati secondo la tecnica dei rapporti spettrali "HVSr" (NAKAMURA 1989), ai fini della definizione della frequenza caratteristica di sito. La localizzazione delle indagini è indicata in Figura 04. Di seguito si riportano sinteticamente i risultati delle indagini per ciascun sito.

- ✓ **HVSr1:** la misura di rumore sismico ambientale presenta segnali stazionari e isotropi nell'intervallo di frequenze 0,5÷30Hz. Disturbi di origine elettromagnetica/antropica sono presenti alle frequenze di 1,04Hz, 5Hz, 7,3Hz e 8, Hz. Si può rilevare un picco della curva spettrale centrato sulla frequenza di 1,59Hz; tale massimo relativo, di ampiezza pari a 2,75, è legato a risonanza stratigrafica profonda e può essere associato al periodo fondamentale di vibrazione di sito.
- ✓ **HVSr2:** la misura di rumore sismico ambientale presenta segnali stazionari ed abbastanza isotropi nell'intervallo di frequenze 1÷30 Hz: alle basse frequenze la stazionarietà dei rapporti spettrali si riduce e diventa preponderante la componente spettrale orizzontale E-W. Disturbi di origine elettromagnetica/antropica sono presenti alla frequenza di 1,04Hz, 4,1Hz e 5,1Hz. (tali disturbi suggeriscono cautela nel considerare il risultato della misura definitivo). Il picco della curva HV selezionato in corrispondenza della frequenza di 1,19Hz è caratterizzato da ampiezza pari a 3,28, ottima stazionarietà e discreta isotropia. Il picco di frequenza è legato a risonanza stratigrafica profonda e può essere associato al periodo fondamentale di vibrazione di sito.

<sup>12</sup> Ditta TECHGEA S.R.L..

- ✓ HVSR3: La misura di rumore sismico ambientale presenta segnali stazionari nell'intervallo di frequenze 0,5÷30 Hz, mentre il campo di rumore ambientale risulta scarsamente isotropo con una prevalenza della componente E-W del segnale orizzontale. Disturbi di origine elettromagnetica/antropica sono presenti alla frequenza di 1,04 Hz e nel range 4÷6Hz. Il picco di frequenza selezionato a 1,19 Hz, di ampiezza pari a 2,92, è disturbato dagli spike elettromagnetici già identificati sulle precedenti stazioni di misura. Esso è legato a risonanza stratigrafica profonda e potrebbe essere associato al periodo fondamentale di vibrazione di sito. L'incertezza data dalla scarsa isotropia dei segnali e dalle interferenze elettromagnetiche riscontrate suggeriscono cautela nel considerare il risultato della misura attendibile.

Per dettagli si rimanda all'Allegato 06.

## 6. CONCLUSIONI

È stato condotto uno studio geologico incentrato sulla valutazione delle potenziali interferenze tra le opere di urbanizzazione ed edificazione previste nel PIANO DI RECUPERO DI INIZIATIVA PUBBLICA CON VALORE DI PIANO PARTICOLAREGGIATO - ZONA RU 5.1 con il locale assetto geologico, geomorfologico (con particolare riferimento alle condizioni di rischio idraulico) e idrogeologico che caratterizzano la porzione del territorio comunale di Pinerolo su cui sorge l'azzonamento urbanistico in esame.

Le indagini sono state inoltre volte alla delineazione del modello geotecnico (in termini di parametrizzazione dei terreni che saranno interessati dalle operazioni di edificazione dell'area) e geosismico, al fine di orientare i progettisti nella scelta e nel dimensionamento delle strutture.

I risultati dello studio geologico-tecnico di cui alle pagine precedenti sono sintetizzati nei paragrafi seguenti.

### 6.1 CONSIDERAZIONI IN MERITO AL QUADRO DEL DISSESTO

In merito al rischio geologico e geomorfologico insistente sull'area in esame, alla luce del contesto morfologico esaminato, le condizioni di potenziale dissesto sono principalmente connesse alla dinamica del reticolo idrografico che attraversa il tessuto urbano di Pinerolo. Come più volte specificato, azzonamento RU 5.1 è delimitato a Nord dal Canale Moirano, derivato dal Torrente Chisone e dal Torrente Lemina, corso d'acqua principale che scorre, entro un alveo inciso, lungo il perimetro meridionale del medesimo azzonamento urbanistico.

In riferimento all'assetto litostratigrafico e idrogeologico, i potenziali condizionamenti derivano dal fatto che la falda freatica si attese a moderata profondità dal p.c. attuale: nel dettaglio, la campagna piezometrica eseguita durante un anno idrologico (maggio 2003-maggio 2004) ha mostrato che il massimo innalzamento stagionale del livello della falda è stato rilevato nel piezometro prossimo a Corso Piave e si attesta ad una profondità di ca. 4,50 m da p.c..

Dal punto di vista del quadro vincolistico determinato dalle condizioni di pericolosità geologica e geomorfologica, si richiamano le prescrizioni dettagliate derivanti dalla

zonazione del territorio comunale di cui alla “*Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell’idoneità all’uso urbanistico*”, le cui norme sono esplicitate nell’Art. 62 delle NtA del P.R.G.C. vigente e nel quale si richiamano, tra l’altro, i contenuti dell’elaborato GA02 “*Cronoprogramma degli interventi di riassetto territoriale per l’attuazione delle previsioni urbanistiche delle aree 3b*” e dell’elaborato GA03 “*Schede di sintesi relative alle previsioni urbanistiche*”

#### **Prescrizioni derivanti dalla classe 2b**

- ✓ il primo piano calpestabile dovrà essere realizzato prevedendo eventualmente un innalzamento rispetto al piano campagna la cui entità sarà da definirsi attraverso uno studio geologico-tecnico (in fase esecutiva) che valuti anche le possibili interferenze sui lotti circostanti;
- ✓ la realizzazione di piani interrati non dovrà interferire con il regime della falda idrica e dovrà essere garantito un franco minimo di 50 cm dal massimo livello valutato nell’ambito della campagna piezometrica di riferimento (si rammenta che il massimo innalzamento valutato corrisponde a valori di soggiacenza pari a -4,5 m da p.c. attuale);
- ✓ si dovranno adottare specifiche soluzioni tecniche, a livello di progetto esecutivo, atte a impedire fenomeni di allagamento imputabili ad acque di ruscellamento o allo scarso drenaggio superficiale o a fenomeni di tracimazione locale del reticolo idrografico artificiale minore e a garantirne l’uso in condizioni di sicurezza;
- ✓ in relazione al punto precedente ed in conseguenza all’impermeabilizzazione del suolo derivante dall’urbanizzazione ed edificazione dell’azonamento urbanistico, al fine di garantire un migliore inserimento nel tessuto urbano, limitando gli aggravii sulla rete fognaria esistente ritardandone il recapito nel corpo ricettore finale e, in ogni caso, di assicurare una maggiore protezione nei confronti dell’allagamento delle aree circostanti, occorrerà adottare, nell’ambito dei singoli lotti, opportuni sistemi di raccolta mediante vasche interrate, che consentiranno anche una valorizzazione della risorsa utilizzabile per l’irrigazione delle aree verdi;

#### **Prescrizioni derivanti dalla classe 3a**

- ✓ in linea generale, per gli ambiti ricadenti entro le fasce di rispetto del Torrente Lemina e del Canale del Moirano (definite geometricamente pari a 10 m dal ciglio superiore delle sponde in ottemperanza al R.D. 523/1904 e all’art. 29 della L.R. n. 56/1977 - Art. 59 delle NtA del P.R.G.C.) è vietata la realizzazione di nuovi edifici;
- ✓ la realizzazione di altri tipi di interventi è vincolata alle prescrizioni di cui alla classe 3a: Art. 62, punto 1.3.2, di seguito riportati:  
Porzioni di territorio generalmente inedificate che presentano caratteri geomorfologici o idrogeologici che le rendono inidonee a nuovi insediamenti. Per tali ambiti sono ammessi, relativamente agli eventuali edifici non rurali esistenti, gli interventi sotto indicati:
  - a) manutenzione ordinaria
  - b) manutenzione straordinaria
  - c) ampliamento per adeguamento igienico-funzionale
  - d) restauro e risanamento conservativo
  - e) ristrutturazione edilizia
  - f) realizzazione di pertinenze, impianti tecnologici e loro locali accessori a servizio degli edifici esistenti

Comune di Pinerolo (TO)

PIANO DI RECUPERO DI INIZIATIVA PUBBLICA CON VALORE DI PIANO PARTICOLAREGGIATO

ZONA RU 5.1

g) cambio di destinazione d'uso nei casi previsti dalla Nota Tecnica Esplicativa del Dicembre 1999 alla Circolare P.G.R. 8 Maggio 1996 n. 7/LAP.

In riferimento al punto g) si precisa che, in accordo con il punto 6.3 della Nota Tecnica Esplicativa del Dicembre 1999 alla Circolare P.G.R. 8 Maggio 1996 n. 7/LAP, "nel caso di modesti interventi, può essere eventualmente previsto un cambio di destinazione d'uso in territori pericolosi di cui alle classi III, IIIa, IIIb l.s solo a seguito di indagini puntuali che dettagliano il grado di pericolosità, individuino adeguate opere di riassetto, accorgimenti tecnici o interventi manutentivi da attivare, e verifichino, dopo la loro realizzazione, l'avvenuta riduzione del rischio". Inoltre, l'Allegato A della D.G.R. n. 2-11830 del 28 luglio 2009 introduce un nuovo concetto di carico antropico, più flessibile in quanto da valutarsi caso per caso. In tal senso, gli ambiti edificati ricadenti in settori a pericolosità elevata accertata sono già di per sé ascritti alla successiva classe 3b e pertanto tutelati dalle prescrizioni contenute nel Cronoprogramma degli interventi di riassetto territoriale per l'attuazione delle previsioni urbanistiche nelle aree 3b (elaborato GA02), mentre quelli ricadenti in classe 3a in quanto compresi anche solo parzialmente nelle fasce di rispetto dei corsi d'acqua naturali e artificiali sono interessati dalle prescrizioni associate alle stesse.

La fattibilità degli interventi indicati ai punti b) - c) - d) - e) - f) - g) dovrà essere verificata da specifiche indagini geologiche, geotecniche e, nel caso si tratti di aree potenzialmente soggette alla dinamica dei corsi d'acqua, idrologiche-idrauliche. [...]

Le opere infrastrutturali, quali per esempio le strade, non dovranno costituire ostacolo ai regolari deflussi e pertanto, se non altrimenti localizzabili, potranno essere realizzate a raso, in viadotto o in rilevato con opportuni fornici.

All'interno delle Fasce A e B è consentita la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico, riferite a servizi essenziali non altrimenti localizzabili, a condizione che non modifichino i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativo. A tal fine i progetti dovranno essere corredati da uno studio di compatibilità, così come descritto dalla Direttiva dell'Autorità di Bacino del Fiume Po "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" (Allegato alla deliberazione n. 2/99, in data 11 maggio 1999) e s.m.i. da sottoporre all'Autorità competente. In ogni caso, gli interventi in progetto non dovranno in alcun modo incidere negativamente sulle aree limitrofe, né condizionarne la propensione all'edificabilità.

### **Prescrizioni derivanti dalla classe 3b2p**

- ✓ il cronoprogramma degli interventi prevede: il potenziamento delle difese longitudinali lungo la sponda sinistra del Torrente Lemina e l'adeguamento degli attraversamenti previo studio idraulico di dettaglio, aggiornato alla normativa vigente, ispirato alle risultanze dello studio al P.R.G.C.; per la porzione dell'azonamento definita a Sud e a Ovest da Via Moirano, gli interventi di riassetto sono individuati da opere di pulizia e di manutenzione dell'alveo;
- ✓ gli interventi di nuovo impianto sono ammissibili solo a seguito della realizzazione e del collaudo degli interventi previsti nel cronoprogramma sintetizzati al punto precedente;
- ✓ valgono tutte le prescrizioni riportate per la classe 2b;
- ✓ per l'area delimitata a Sud e a Ovest da Via Moirano (esterna all'ex area industriale), oltre alle prescrizioni della classe 2b, in fase di progettazione degli interventi edificatori si dovranno rispettare le seguenti prescrizioni:
  - realizzazione del primo piano calpestabile a fini abitativi a una quota minima di sicurezza +0,40 cm rispetto al piano stradale di Via Moirano;

Comune di Pinerolo (TO)

PIANO DI RECUPERO DI INIZIATIVA PUBBLICA CON VALORE DI PIANO PARTICOLAREGGIATO

ZONA RU 5.1

- ingressi ai box interrati dal settore settentrionale ricadente in classe 2b, con un risalto minimo di +0,30 cm della rampa di accesso rispetto al piano stradale di Via Moirano;
- completa impermeabilizzazione dei piani interrati;
- eventuale riquotatura del terreno dell'area previa verifica che tale intervento non riduca la capacità di invaso nell'eventualità di allagamento e che pertanto non provochi effetti negativi sulle aree adiacenti o ne pregiudichi la futura fruibilità urbanistica.

## 6.2 CONSIDERAZIONI DI CARATTERE GEOTECNICO

Per quanto concerne gli aspetti geotecnici, le indagini geognostiche effettuate entro l'azzonamento RU 5.1 hanno messo in luce che la porzione di territorio su cui si estende l'area in esame è caratterizzata dalla presenza di un materasso alluvionale formato da depositi contraddistinti da buone caratteristiche geotecniche.

Escludendo il livello superficiale avente potenza massima pari a 2,3 m e formato dal terreno agrario e/o di riporto nonché da sedimenti fini che presentano caratteristiche geotecniche scadenti, si è proceduto mediante la parametrizzazione dei materiali a spettro granulometrico grossolano (ghiaie eterometriche con ciottoli in matrice sabbiosa) che litologicamente si differenziano in due livelli in funzione del grado alterazione. In sintesi, il modello previsto nel corso della presente indagine è riportato nella tabella sottostante:

livello	profondità	descrizione	D <sub>R</sub>	φ' piccolo	φ' cv	γ	c
1	1,7÷2,3 → 5,0÷7,0	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa con ciottoli	55%	33°	30°	19,0 kN/m <sup>3</sup>	0,0 kN/m <sup>2</sup> .
2	5,0÷7,0 → 20	Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa con ciottoli con fenomeni di alterazione	70%	39°	32°	19,0 kN/m <sup>3</sup>	0,0 kN/m <sup>2</sup> .

Il modello geotecnico proposto trascura il contributo alla resistenza al taglio fornito dalle forze di coesione facendo riferimento, pertanto, al comportamento geotecnico controllato dalle tensioni efficaci.

Nel dimensionamento e nel calcolo delle capacità portanti del sistema fondazione-terreno che sarà effettuato nell'ambito della progettazione degli interventi di urbanizzazione ed edilizi nell'area RU 5.1 si dovrà considerare la potenziale interferenza della falda freatica che, come evidenziato più volte nel corso del presente studio, può raggiungere valori di soggiacenza pari a 4,50 m da p.c..

## 6.3 CONSIDERAZIONI DI CARATTERE GEOSISMICO

La caratterizzazione geosismica del sito in esame è stata effettuata in riferimento al quadro normativo nazionale in materia di costruzioni ed in particolare al D.M. 17/01/2018 del Ministero delle Infrastrutture. A tale proposito si richiama che il Comune di Pinerolo, a seguito dell'entrata in vigore della Deliberazione della Giunta Regionale 19/01/2010, n. 11-13058 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche" (L.R. 10/11 art.29), è classificato in zona sismica 3s.

Comune di Pinerolo (TO)

PIANO DI RECUPERO DI INIZIATIVA PUBBLICA CON VALORE DI PIANO PARTICOLAREGGIATO

ZONA RU 5.1

Secondo le disposizioni di cui al § 3.2.2 delle NTC18, sulla base dei risultati delle indagini geofisiche condotte nell'azzonamento RU 5.1 (due stese a rifrazione sismica in onde P e SH), i terreni sono stati assegnati alla categoria B dei suoli di fondazione.

Per quanto concerne le problematiche relative alla pericolosità sismica locale, alla luce dell'assetto litostratigrafico ed idrogeologico del settore oggetto del presente studio, è stata omessa in tale fase di indagine la verifica a liquefazione dei terreni; tuttavia, occorre precisare che in fase di progettazione degli interventi edilizi si dovrà procedere alla valutazione quantitativa, secondo la normativa tecnica vigente, del potenziale di liquefazione dei materiali interessati dalla messa in opera delle strutture di fondazione.

Per completare il quadro conoscitivo geosismico dell'area in esame, sono state effettuate n. 3 misure di rumore sismico a stazione singola (HVSR), ai fini della definizione della frequenza caratteristica di sito. I picchi di frequenza rilevati, sintetizzati nella tabella sottostante, sebbene presentino disturbi, sono ragionevolmente correlabili all'effetto della risonanza stratigrafica profonda e pertanto si possono prestare ad interpretazioni in ambito di microzonazione sismica dell'area oggetto di studio.

SITO HVSR1	1,59 Hz
SITO HVSR2	1,19 Hz
SITO HVSR3	1,19 Hz

Pinerolo, 15 aprile 2019  
dott. Geol. Elisabetta ARRI

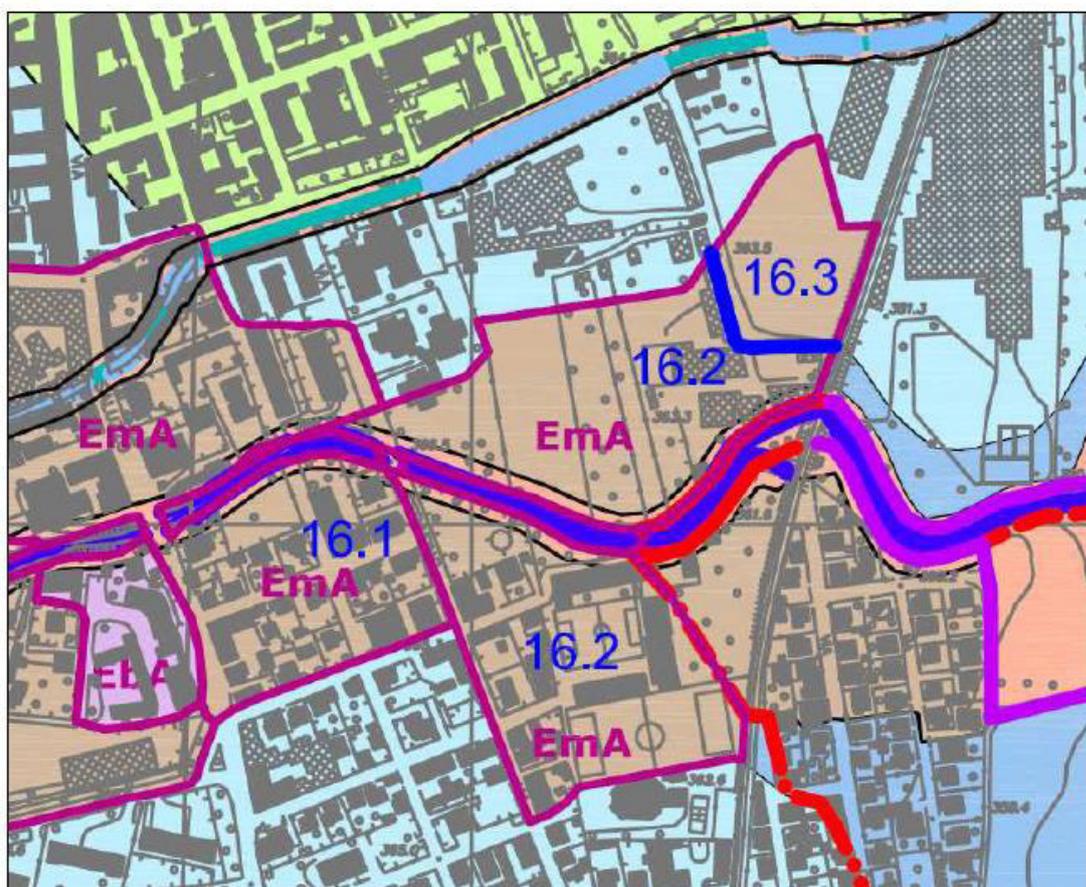
# **ALLEGATO 01**

**STRALCIO ELABORATO  
GA02 "CRONOPROGRAMMA  
DEGLI INTERVENTI DI  
RIASSETTO TERRITORIALE  
PER L'ATTUAZIONE DELLE  
PREVISIONI URBANISTICHE  
DELLE AREE 3B"**

**SCHEDA N. 13 AREA 16**

## Scheda n°13

## AREA 16



## CRITICITÀ

L'area 16 è una porzione del territorio urbanizzato di Pinerolo a cavallo del T. Lemina e compresa tra Via Serafino a Ovest e la linea ferroviaria Pinerolo-Torre Pellice a Est.

L'area 16.1 ricade in ambiti storicamente interessati, anche se talora solo parzialmente, da allagamenti imputabili al T. Lemina.

L'area 16.2 è potenzialmente soggetta a inondazione per insufficienza delle sezioni idrauliche e soprattutto a causa di attraversamenti non pienamente rispondenti alla Direttiva ponti dell'Autorità di Bacino e al rischio di ostruzione da parte della vegetazione arborea localmente presente sulle sponde. Il ponte ferroviario si è ostruito

recentemente (16-17 giugno 2010), provocando allagamenti in destra idrografica immediatamente a monte (area 16.2) e a valle (area 17.1) dello stesso.

L'area 16.3 si localizza a quote superiori al livello della piena con tempo di ritorno cinquecentennale, tuttavia non si possono completamente escludere locali allagamenti con tiranti modesti imputabili a tracimazione in sponda sinistra nel settore a monte delle Fasce Fluviali del PAI.

#### OPERE DI RIASETTO NECESSARIE

Per l'area 16.1 e per l'area 16.3: manutenzione e pulizia dell'alveo.

Per l'area 16.2: potenziamento delle difese spondali e adeguamento degli attraversamenti previo progetto di sistemazione ispirato alle risultanze dello studio idrologico-idraulico allegato al P.R.G.C.<sup>7</sup>, fatti salvi i necessari approfondimenti a scala di maggior dettaglio e aggiornamenti alla normativa vigente.

#### INTERVENTI EDILIZI IN ASSENZA DI OPERE DI RIASETTO

Per l'area 16 sono ammesse le seguenti tipologie di interventi edilizi: manutenzione ordinaria (con eventuale adeguamento igienico funzionale, ai sensi della normativa vigente, senza aumento di superficie o volume); manutenzione straordinaria; restauro e risanamento conservativo; aumento delle volumetrie abitative, mediante recupero di volumi esistenti, per i locali aventi il piano calpestabile rilevato di almeno 1.5 m rispetto al piano della viabilità circostante. Gli interventi di ristrutturazione, nonché gli interventi edilizi minori (scale esterne, balconi, verande ecc.) e le pertinenze sono ammessi se non riducono la capacità d'invaso nelle aree potenzialmente allagabili e in generale non incidono negativamente sulle aree limitrofe, né ne condizionano la propensione all'edificabilità; gli ampliamenti fuori sagoma, il recupero di SLP esistenti e il cambio di destinazione d'uso sono ammessi alle suddette condizioni e se non comportano un aumento delle condizioni di rischio, come valutato e dichiarato dal tecnico abilitato nella relazione geologica e/o in quella idraulica.

Per tutte le aree ove previste pulizia e manutenzione sul T. Lemina si precisa quanto segue: le aree possono essere svincolate a seguito di "interventi di pulizia e

---

<sup>7</sup> POLITHEMA STUDIO ASSOCIATO (2009) - *Comune di Pinerolo. P.R.G.C. Studi idraulici a supporto degli strumenti urbanistici (ai sensi della Circolare del Presidente della Giunta Regionale dell'8 maggio 1996 n.7/LAP).*

manutenzione" realizzate dall'Agenzia Interregionale per il Po (AIPO) e/o da altri soggetti autorizzati da quest'ultima. Tuttavia, in assenza di modificazioni dell'alveo e/o delle opere idrauliche, indotte da eventi alluvionali successivi agli studi idrologico-idraulici realizzati per la presente Variante, o imputabili a evidenti segni di deterioramento dei manufatti è possibile valutare e verificare attraverso apposita relazione tecnica (relazione geologica e/o relazione idrologica-idraulica), che confronti lo stato dei luoghi rispetto a quanto riportato negli studi del P.R.G.C. relativamente al tratto di corso d'acqua interessato, la non necessità di interventi di pulizia e manutenzione.

La fattibilità dei suddetti interventi, ad eccezione della manutenzione ordinaria, dovrà essere verificata da specifiche indagini geologiche, geotecniche e idrauliche.

#### INTERVENTI EDILIZI DOPO LA REALIZZAZIONE E IL COLLAUDO DELLE OPERE DI RIASSETTO

Per l'area 16.1, fatte salve le prescrizioni relative alle fasce di rispetto dei corsi d'acqua, sono ammessi tutti gli interventi urbanistici previsti nel P.R.G.C. nel rispetto delle prescrizioni della classe 2b.

Per l'area 16.2, fatte salve le prescrizioni relative alle fasce di rispetto dei corsi d'acqua, sono ammessi tutti gli interventi urbanistici previsti nel P.R.G.C. nel rispetto delle prescrizioni della classe 2b.

Per l'area 16.3, fatte salve le prescrizioni relative alle fasce di rispetto dei corsi d'acqua, sono ammessi tutti gli interventi urbanistici previsti nel P.R.G.C. nel rispetto delle prescrizioni della classe 2b e con le seguenti prescrizioni aggiuntive:

1. realizzazione del primo piano calpestabile a fini abitativi a una quota minima di sicurezza +0,40 rispetto al piano stradale di Via Moirano;
2. ingressi ai box interrati dal settore settentrionale ricadente in classe 2b, con un risalto minimo di +0,30 cm della rampa di accesso rispetto al piano stradale di Via Moirano;
3. completa impermeabilizzazione dei piani interrati;
4. eventuale riquotatura del terreno dell'area previa verifica che tale intervento non riduca la capacità di invaso nell'eventualità di allagamento e che pertanto non provochi effetti negativi sulle aree adiacenti o ne pregiudichi la futura fruibilità urbanistica.

## **ALLEGATO 02**

**INDAGINI GEOGNOSTICHE  
DI RIFERIMENTO -  
SONDAGGI AZZONAMENTO  
RU 6.1**



Committente: Immobiliare Francia 90.	Cantiere: Pinerolo - Area RU 6.1.
N. sondaggio: 1	Scala: 1:100
Coord.:	Quota (p.c.):
Data inizio: 16/04/2003	Data ultimazione: 17/04/2003
Metodo perf.: Rotazione a carotaggio continuo.	Fluido perf.:

Profondita'	Potenza	Scala 1:100	Stratigrafia	Descrizione	Falda	Perforazione	Rivestimento	% Carotaggio	RQD	Piezometro	Inclinometro	Prove S.P.T.	Campioni
1.70	1.70	1		Terreno di riporto sabbioso ghiaioso, a tratti debolmente limoso, poco addensato, presenza di ciottoli sparsi (diam. max 4-6 cm); colore bruno-scuro.									
2.50	0.80	2		Argilla limosa con sporadico ghiaietto sparso; colore variabile da bruno-scuro a bruno-rossastro.									
5.50	5.50	3-8		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 8-10 cm) in matrice sabbioso-limosa, a tratti limoso-sabbiosa, presenza di diffusi fenomeni di alterazione di clasti e matrice, presenza di diversi trovanti cristallini pluridecimetrici (diam. max 20 cm) e frammenti di grafite centimetrici, a volte molto alterati; colore variabile da bruno-grigio a bruno-giallastro con screziature rossastre.							4.00 R		
8.00	8.00	9-12		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 10-12 cm) in matrice limoso-sabbiosa eterometrica, presenza di passate decimetriche a matrice limosa prevalente, sporadici fenomeni di alterazione di clasti e matrice, presenza di diversi trovanti cristallini pluridecimetrici alterati e non (diam. max 20-25 cm), specialmente nell'intervallo da 10.00 m a 12.20 m e da 19.00 a 20.00 m; colore bruno-scuro.								8.00 R	
12.00	12.00	13-19			12.00	101		80					
20.00	20.00	20											



Committente: Immobiliare Francia 90.	Cantiere: Pinerolo - Area RU 6.1.
N. sondaggio: 2	Scala: 1:100
Coord.:	Quota (p.c.):
Data inizio: 17/04/2003	Data ultimazione: 18/04/2003
Metodo perf.: Rotazione a carotaggio continuo.	Fluido perf.:

Profondita'	Potenza	Scala 1:100	Stratigrafia	Descrizione	Falda	Perforazione	Rivestimento	% Carotaggio	RQD	Piezometro	Inclinometro	Prove S.P.T.	Campioni
1.00	1.00	1		Terreno di riporto sabbioso ghiaioso con ciottoli sparsi (diam. max 4-6 cm), a tratti debolmente limoso, poco addensato; colore bruno-scuro.									
2.40	1.40	2		Argilla debolmente limosa, a tratti poco addensata, con sporadico ghiaietto sparso; colore bruno-scuro.									
9.00	6.60	3		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 8-10 cm) in matrice sabbiosa eterometrica sciolta, a tratti limosa, presenza di fenomeni di alterazione di clasti e matrice; colore variabile da bruno scuro a bruno-giallastro.									
		4											
		5											
		6											
		7											
		8										7.50	
		9										18 - 27 - R	
9.00		10		Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 10-12 cm) in matrice sabbioso-limosa, presenza di passate decimetriche a matrice limosa prevalente, sporadici fenomeni di alterazione di clasti e matrice, presenza di diversi trovanti cristallini pluri-decimetrici (diam. max 20-25 cm), specialmente nell'intervallo da 9.00 m a 10.00 m e da 19.00 a 20.00 m; colore bruno-scuro.									
		11											
		12											
		13											
		14											
		15											
		16											
		17											
		18											
		19											
20.00	11.00	20			12.00	101		80				18.27	25 - 20 - 40



Committente: Immobiliare Francia 90.	Cantiere: Pinerolo - Area RU 6.1.
N. sondaggio: 3	Scala: 1:100
Coord.:	Quota (p.c.):
Data inizio: 18/04/2003	Data ultimazione: 19/04/2003
Metodo perf.: Rotazione a carotaggio continuo.	Fluido perf.:

Profondita'	Potenza	Scala 1:100	Stratigrafia	Descrizione	Falda	Perforazione	Rivestimento	% Carotaggio	RQD	Piezometro	Inclinometro	Prove S.P.T.	Campioni	
0.30	0.30			Terreno agricolo sabbioso.										
	1.70		1	Argilla limosa; colore bruno-scuro.										
2.00			2											
	6.70		3	Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 8-10 cm) in matrice sabbiosa eterometrica, a tratti limoso-sabbiosa, sporadici fenomeni di alterazione di clasti e matrice, rari trovanti cristallini pluridecimetri (diam. max < 15 cm); colore variabile da bruno-grigio a bruno-giallastro.										
			4											
			5											
			6											
			7											
			8									7.50		
8.70			9	Ghiaia eterometrica con ciottoli (diam. max 10-12 cm) in matrice limoso-sabbiosa eterometrica, presenza di passate decimetriche a matrice limosa prevalente, sporadici fenomeni di alterazione di clasti e matrice, presenza di diversi trovanti cristallini pluridecimetri alterati (diam. max 20-25 cm) e non, specialmente nell'intervallo da 10.00 m a 10.80 m, colore bruno-scuro.	8.10		127					8 - 15 - 17		
			10											
			11											
			12											
			13											
			14											
			15											
			16											
			17											
			18											
19.00		10.30	19			101		80						

## **ALLEGATO 03**

**INDAGINI GEOGNOSTICHE  
IN SITO - SONDAGGI  
AZZONAMENTO RU 5.1**



Committente Geoalpi Studio Geologico Associato  
 Cantiere Area RU 5.1 del PRGC  
 Località Pinerolo (TO)  
 Data Inizio 12/05/2003      Data Fine 13/05/2003

SONDAGGIO **1**      FOGLIO **1/1**  
 Quota (p.c.)

Profondita'	Potenza	Scala 1:100	Stratigrafia	Descrizione	Falda	Perforazione	Rivestimento	% Carotaggio	RQD	Piezometro	Inclinometro	Prove S.P.T.	Campioni	
0.40	0.40			Terreno agricolo sabbioso.										
	1.60	1		Limo debolmente argilloso, addensato; colore bruno scuro.										
2.00		2												
	4.00	3		Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa eterometrica, abbondanti ciottoli pluricentrici (diam. max 6-8 cm), presenza di trovanti cristallini (diam. max 20-25 cm); colore bruno-chiaro.										
		4												
		5												
		6											6.00	
6.00		7		Ghiaia eterometrica in matrice limoso-sabbiosa abbondante, presenza di livelli decimetrici a matrice limosa prevalente, presenza di abbondanti ciottoli pluricentrici (diam. max 6-8 cm), presenza di rari trovanti pluridecimetrici cristallini (diam. max 20-25 cm), presenza di diffusi fenomeni di alterazione di clasti e matrice; colore bruno-scuro con screziature rossastre localizzate.								10 - 7 - 12		
		8												
		9											9.00	
		10											10 - 9 - 15	
		11												
		12											12.00	
		13											18 - 19 - 23	
		14												
		15												
		16												
		17												
		18												
		19												
20.00	14.00	20												





Committente Geoalpi Studio Geologico Associato

Cantiere Area RU 5.1 del PRGC

Località Pinerolo (TO)

Data Inizio 29/04/2003

Data Fine 05/05/2003

SONDAGGIO

FOGLIO

**3**

**1/1**

Quota (p.c.)

Profondita'	Potenza	Scala 1:100	Stratigrafia	Descrizione	Falda	Perforazione	Rivestimento	% Carotaggio	RQD	Piezometro	Inclinometro	Prove S.P.T.	Campioni	
0.50	0.50			Terreno vegetale.										
	1.80	1		Sabbia fine limosa; colore bruno-scuro.										
	2.30	2												
	2.60	3		Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa-limosa, con abbondanti ciottoli (diam. max < 5 cm), presenza di trovanti cristallini pluridecimetri (diam. max 35 cm), rari fenomeni di alterazione dei clasti; colore grigio-bruno.										
	4.90	4												
	6.00	5												
	7.10	6		Sabbia limosa con abbondante ghiaia eterometrica; colore bruno.	6.00							6.00		
		7										18 - 15 - 16		
		8		Ghiaia eterometrica in abbondante matrice limoso-sabbiosa, presenza di abbondanti ciottoli (diam. max 4-6 cm), fenomeni di alterazione di clasti e matrice, matrice addensata, presenza di sporadici piccoli trovanti cristallini (diam. max 20-25 cm); colore bruno con screziature rossastre.								9.00		
		9											22 - 16 - 15	
		10												
		11												
		12											12.00	
		13											R	
		14												
		15											15.00	
		16											18 - 18 - 20	
		17												
		18												
		19												
20.00	12.90	20												



Committente Geoalpi Studio Geologico Associato  
 Cantiere Area RU 5.1 del PRGC  
 Località Pinerolo (TO)  
 Data Inizio 05/05/2003      Data Fine 06/05/2003

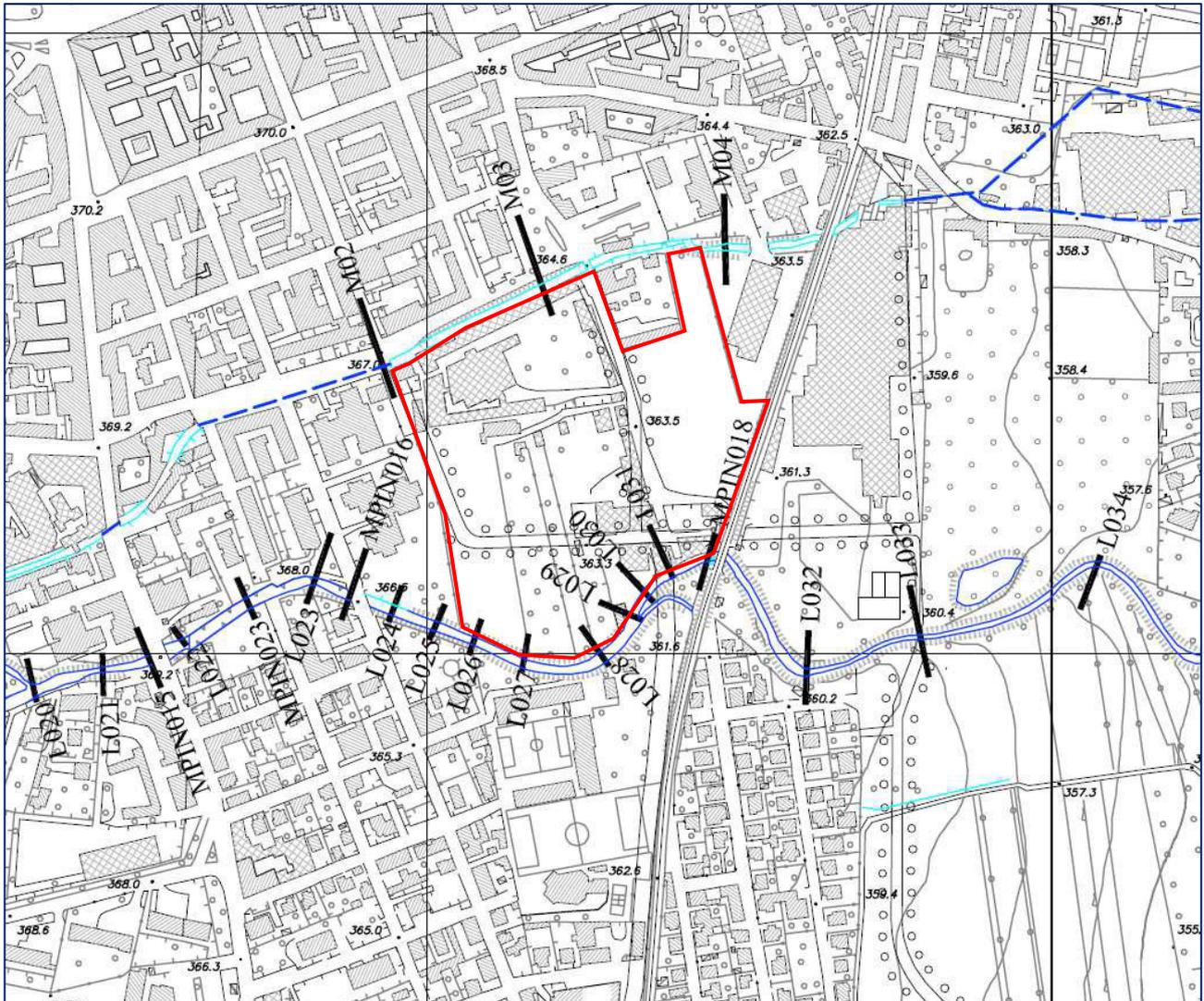
SONDAGGIO	FOGLIO
<b>4</b>	<b>1/1</b>
Quota (p.c.)	

Profondita'	Potenza	Scala 1:100	Stratigrafia	Descrizione	Falda	Perforazione	Rivestimento	% Carotaggio	RQD	Piezometro	Inclinometro	Prove S.P.T.	Campioni	
0.50	0.50	1		Terreno vegetale.										
1.50	1.50	2		sabbia fine limosa; colore bruno scuro.										
2.00	3.00	3		Ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa, presenza di ciottoli abbondanti (diam. max 4-6 cm); colore grigio.										
3.00	4.00	4												
4.00	5.00	5											4.50 R	
5.00	15.00	6		Ghiaia eterometrica in abbondante matrice limoso-sabbiosa, presenza di abbondanti ciottoli (diam. max 8-10 cm) con fenomeni di alterazione localizzati, presenza di abbondanti trovanti cristallini pluridecimetrici (diam. max fino a 35 cm) specialmente nell'intervallo 7-8.7 m; colore bruno con screziature rossastre.	5.00									
6.00	7.00	7												
7.00	8.00	8												
8.00	9.00	9												
9.00	10.00	10												
10.00	11.00	11												
11.00	12.00	12												
12.00	13.00	13												
13.00	14.00	14												
14.00	15.00	15												
15.00	16.00	16												
16.00	17.00	17												
17.00	18.00	18												
18.00	19.00	19												
19.00	20.00	20												
20.00														

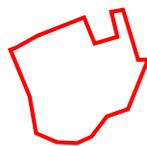
## **ALLEGATO 04**

**ESTRATTO "STUDI  
IDRAULICI A SUPPORTO  
DEGLI STRUMENTI  
URBANISTICI"**

### Elab. 3 - Planimetria con individuazione delle sezioni d'alveo

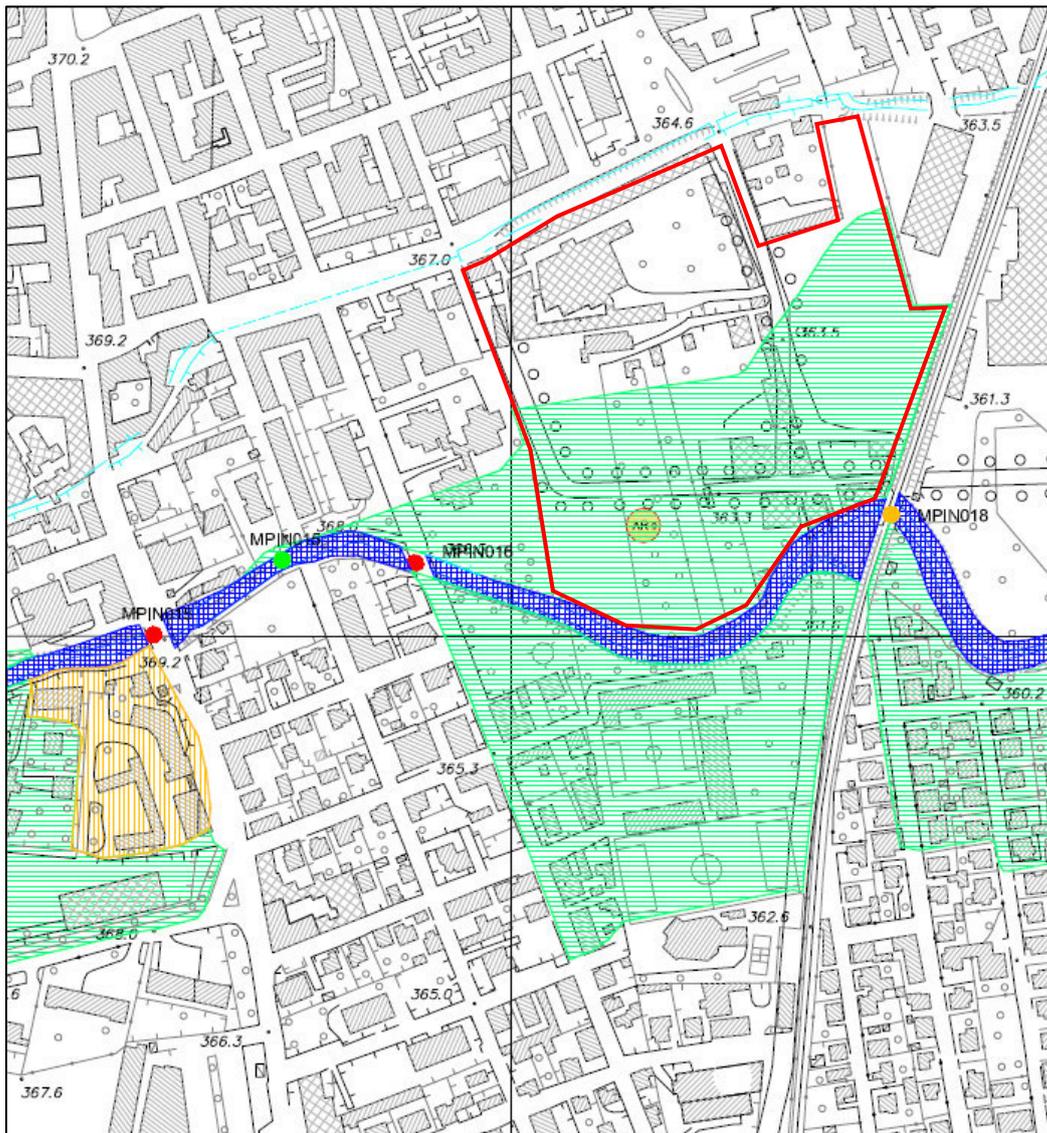


LEGENDA	
	Reticolo idrografico naturale rappresentabile a misura
	Reticolo idrografico naturale non rappresentabile a misura
	Reticolo idrografico artificiale rappresentabile a misura
	Reticolo idrografico artificiale non rappresentabile a misura
	Canaletta in muratura non rappresentabile a misura
	Canaletta in muratura rappresentabile a misura
	Tratti Intubati corsi d'acqua naturali
	Tratti Intubati corsi d'acqua artificiali
	Andamento presunto di tratti Intubati
	Sezioni rilevate

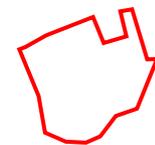


AZZONAMENTO URBANISTICO RU 5.1

## Elab. 5.3 - Carta dei dissesti legati alla dinamica fluviale e torrentizia



LEGENDA	
	Reticolo idrografico naturale rappresentabile a misura
	Reticolo idrografico naturale non rappresentabile a misura
	Reticolo idrografico artificiale rappresentabile a misura
	Reticolo idrografico artificiale non rappresentabile a misura
	Canaletta in muratura non rappresentabile a misura
	Canaletta in muratura rappresentabile a misura
	Tratti Intubati corsi d'acqua naturali
	Tratti Intubati corsi d'acqua artificiali
	Andamento presunto di tratti Intubati
	Dissesto lineare a pericolosità molto elevata (EeL)
	Dissesto lineare a pericolosità elevata (EeL)
	Dissesto lineare a pericolosità media/moderata (EmL)
	Nodo idraulico critico (assenza di franco idraulico) (Portata di riferimento $T=200$ anni)
	Nodo idraulico fortemente critico (manufatto che crea notevole ostacolo al deflusso) (Portata di riferimento $T=200$ anni)
	Nodo idraulico con verifica idraulica positiva (Portata di riferimento $T=200$ anni)
	Dissesto areale a pericolosità molto elevata (Ee A)
	Dissesto areale a pericolosità elevata (Ee A)
	Dissesto areale a pericolosità media/moderata (Em A)
	Area di ristagno non dovuta ad esondazione
	Numero di riferimento dell'area di dissesto



AZZONAMENTO  
URBANISTICO

RU 5.1

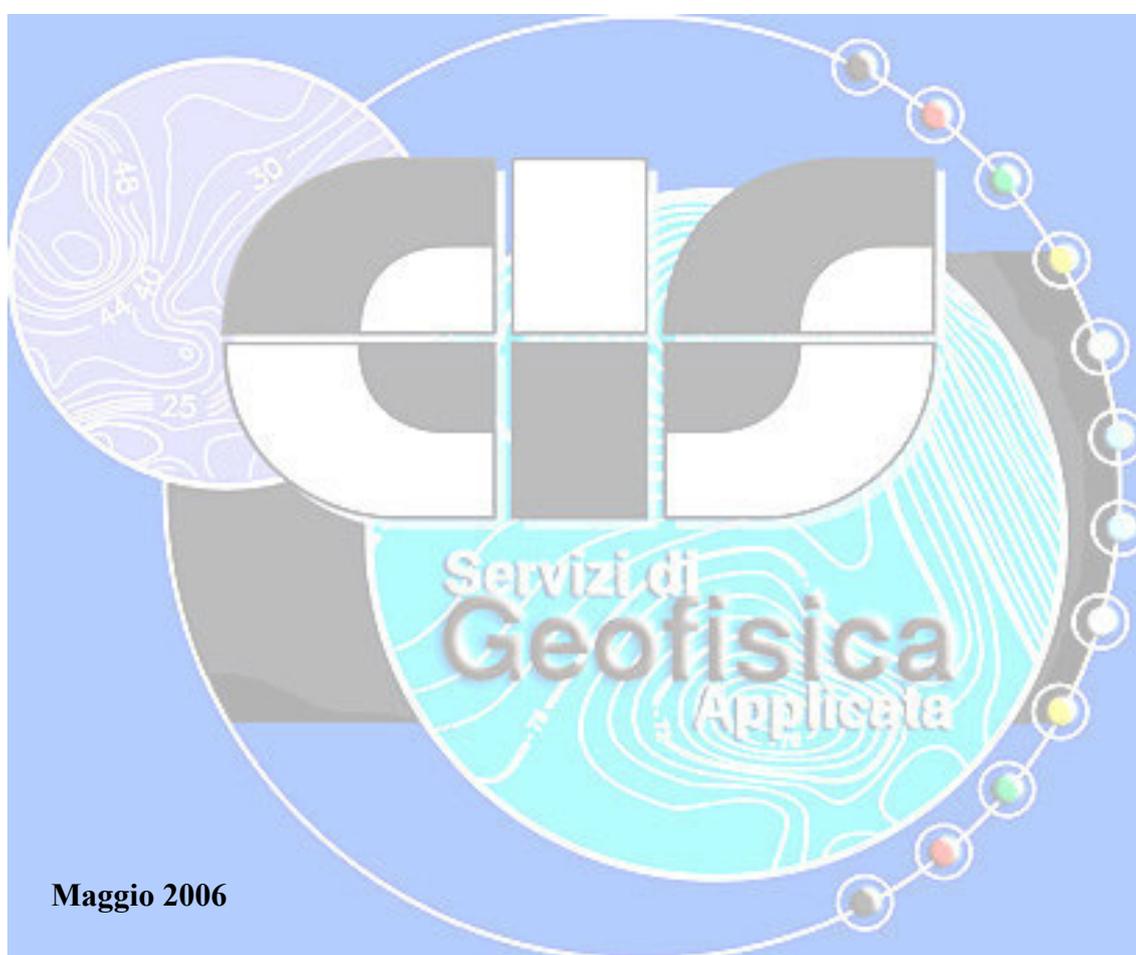
## **ALLEGATO 05**

**INDAGINI GEOFISICHE IN  
SITO MAGGIO 2006 -  
PROFILO SISMICO A  
RIFRAZIONE ONDE P E SH  
AZZONAMENTO RU 5.1**

**Piano Esecutivo Convenzionato**

**Area RU5.1 – P.R.G. di Pinerolo (To)**

**INDAGINE GEOFISICA FINALIZZATA AGLI  
STUDI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA  
PER LA RISPOSTA LOCALE**



**CIS GEOFISICA s.r.l.**

Sede legale: Via Gorizia, 25/a – 21016 Luino (Va)  
Tel +39 - 033 530343 - Cell. +39 348-2531683 - Fax 02-700520970

Sede operativa Piemonte: via Saluzzo 52 – 10064 Pinerolo (TO)  
Tel e Fax +39 0121-375017 - Cell. +39 335-257407

email: [info@cis-geofisica.it](mailto:info@cis-geofisica.it)

[www.cis-geofisica.it](http://www.cis-geofisica.it)

**INDICE**

<b>1 – PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2 – INDAGINI EFFETTUATE.....</b>	<b>2</b>
<b>3 – INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE SISMICA - (basate sulla propagazione di onde rifratte P e SH).....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 – ELABORAZIONE TOMOGRAFICA DEI DATI.....</b>	<b>5</b>
<b>4 – RISULTATI .....</b>	<b>7</b>

**ALLEGATI**

<b>1</b>	<b>Ubicazione delle indagini</b>
<b>2 a/b</b>	<b>Sezioni sismiche interpretate</b>

## 1 – PREMESSA

Il giorno 4 maggio 2006, sono state eseguite delle indagini geofisiche nell'area di P.E.C. RU5.1 del P.R.G. del comune di Pinerolo in provincia di Torino, per conto e su incarico dello Studio Arch. Arione.

Lo scopo di queste indagini era valutare la risposta sismica del suolo oggetto di studio ai fini di una corretta microzonazione locale.

A tale scopo, le indagini geofisiche realizzate si sono avvalse di prove di caratterizzazione basate sulla propagazione di onde sismiche rifratte P ed SH.

Gli andamenti rilevati sono visibili sugli elaborati grafici allegati.

Nella presente relazione vengono riportati i risultati ottenuti dalla indagini eseguite.

## 2 – INDAGINI EFFETTUATE

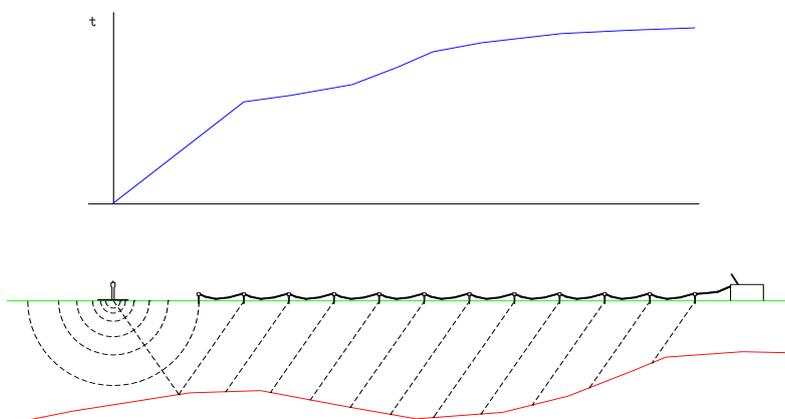
L'ubicazione delle indagini eseguite è legata alle caratteristiche dell'intervento in progetto ed è riportata in scala 1:2000 nell'allegato 1.

Di seguito il dettaglio delle prove:

Nome sezione	lunghezza (m)	passo geofoni	nr. Geofoni
Base 1	110	10	12
Base 2	110	10	12

### 3 – INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE SISMICA - (*basate sulla propagazione di onde rifratte P e SH*)

Queste indagini geosismiche hanno lo scopo di caratterizzare in modo dinamico, tramite la misura delle onde di compressione ( $V_p$ ) e di taglio ( $V_{sh}$ ), i litotipi presenti nell'area d'interesse e definirne la geometria di sviluppo nel sottosuolo.



Tale metodologia trova il miglior campo di applicazione per profondità di studio inferiori ai 30-40 metri da p.c. E' necessario che il volume di terreno sia caratterizzato da valori di velocità di  $V_p$  e  $V_s$  progressivamente crescenti con la profondità, infatti, come è noto, il principale limite di tale metodologia è rappresentato dal non poter distinguere ed individuare strati con velocità minori delle onde P e SH sottostanti a strati con velocità più elevate.

L'indagine consiste nel creare delle onde sismiche artificiali sulla superficie del terreno da investigare e registrare le vibrazioni prodotte a distanze note e prestabilite mediante geofoni a prevalente componente verticale ed orizzontale.

E' importante precisare che le onde SH dirette e rifratte costituiscono sempre il primo arrivo rispetto alle onde superficiali (onde di Love) e che per brevi stendimenti risultano sufficientemente forti da poter essere registrate. Inoltre con questo tipo di metodologia di studio non esistono le limitazioni connesse con l'orizzontalità degli strati proprie delle tecniche utilizzando le onde superficiali.



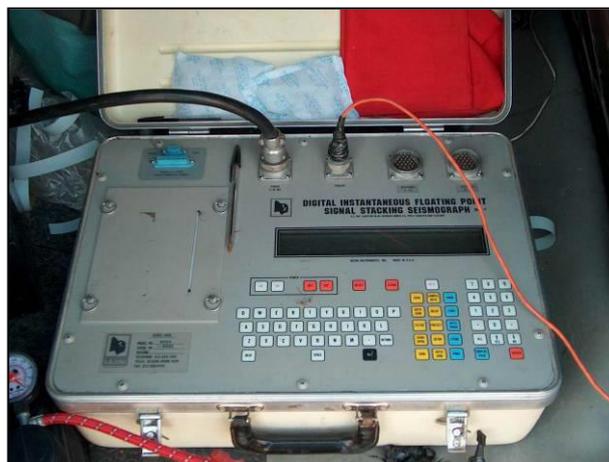
*Sistema sorgente onde VP-VSh*

Il sistema sorgente utilizzato è in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripertibili e direzionali sia di tipo Vp che Vsh.

Per la ricezione dei segnali sono stati utilizzati dei geofoni verticali per le onde P a frequenza propria di 10 Hz e geofoni orizzontali per le onde Sh a frequenza propria 4,5 Hz.

### La strumentazione geosismica utilizzata comprende:

- Sismografo Bison 9024 (DIFP) che consente la rappresentazione degli impulsi sismici mediante stampa su carta termica e visualizzazione su PC tramite un apposito programma; le prime onde rifratte vengono registrate simultaneamente su 12 - 24 geofoni e risulta possibile sommare fra loro successivi impulsi sismici migliorando il rapporto fra segnale e rumore;



*Sismografo Bison 9024 DIFP*

- geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile che consentono di convertire in segnali elettrici gli spostamenti che si verificano nel terreno, e relativo cavo di collegamento a 24 fili;



*Geofono elettromagnetico*

- Minibang, mazza e coppia a pendolo

### 3.1 – ELABORAZIONE TOMOGRAFICA DEI DATI

La procedura elaborativa è sinteticamente descrivibile nei passi seguenti.

- Trasferimento dei sismogrammi al programma di prelevamento dei tempi di primo arrivo
- Emissione delle dromocrone misurate sia in forma grafica che in forma leggibile dal programma di elaborazione tradizionale basato su l'algoritmo GRM (Generalized Reciprocal Method).
- Immissione dei valori delle quote dei geofoni e degli spari nel programma di interpretazione GRM e lettura delle dromocrone misurate.
- Elaborazione dei dati e interpretazione tradizionale.
- Emissione delle sezioni interpretate riportanti le interfacce fra strati di diversa velocità sismica e i valori stessi di velocità. Si noti che le velocità sismiche attribuite a ciascun strato sono caratterizzate da un gradiente nullo in direzione verticale (sono costanti in verticale per ciascuno strato). Vi è una utile possibilità di modellizzare con la procedura GRM delle variazioni orizzontali di velocità che comunque risultano discrete e non continue.
- Emissione di un file riportante l'ubicazione e la quota di ciascun punto di sparo e di ciascun geofono, leggibile dal programma di iterazione tomografica e di ray-tracing (tracciamento dei percorsi dei raggi sismici).
- Emissione del modello bidimensionale del terreno ricavato dalla procedura GRM sotto forma di una matrice a celle di dimensione definibile (inferiori al metro), adatta ad essere letta dal programma di ray-tracing e di elaborazione tomografica. L'interpretazione GRM viene quindi a fornire il modello iniziale delle velocità del terreno, necessario ad attivare le iterazioni del completo modello matematico bidimensionale (modellizzazione tomografica). Il terreno viene quindi suddiviso in celle di dimensione minima, ciascuna dotata di una diversa velocità sismica e ciascuna pronta a venir modificata dalla procedura di iterazione tomografica allo scopo di ridurre al minimo l'errore fra le dromocrone calcolate in base al modello di terreno e quelle effettivamente misurate durante la prospezione.
- Il file contenente le ubicazioni e le quote viene letto dal programma tomografico assieme al file contenente la matrice di velocità e la procedura di ray-tracing e di controllo viene attivata.
- Per prima cosa viene controllata la correttezza delle ubicazioni dei sensori e degli spari e quindi vengono visionati i percorsi dei raggi sismici e valutato il primo "fitting" con i dati misurati, allo scopo di iniziare la procedura tomografica senza la presenza di errori sistematici previamente correggibili.
- Lo scopo della procedura iterativa tomografica è quello di ridurre l'errore fra i tempi delle dromocrone calcolate in base al modello rispetto a quelle effettivamente misurate. Questo avviene per approssimazioni successive (iterazioni) controllate dall'operatore al quale è possibile intervenire nella scelta di molti coefficienti che influenzano il calcolo come anche nella scelta della procedura stessa che viene utilizzata per realizzare la minimizzazione degli errori.

- Il risultato finale sarà una matrice rappresentativa del terreno indagato costituita da celle ciascuna caratterizzata da una velocità sismica e tale complessivamente da presentare un errore minimo se utilizzata nella procedura di tracciamento dei raggi sismici.
- Questa matrice viene visualizzata tramite un opportuno programma di contouring utilizzando, se ritenuto necessario, diversi colori per diverse velocità

## 4 – RISULTATI

I risulti ottenuti sono dettagliatamente illustrati negli allegati grafici.

Dall'analisi delle sezioni tomografiche elaborate in onde P sono stati ricavati gli andamenti principali dei depositi, sciolti o coesivi, che caratterizzano il sottosuolo indagato.

Tali depositi presentano valori di velocità prevalentemente comprese tra 400 e 2300 m/s in funzione del grado di consolidazione e di saturazione.

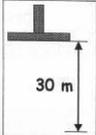
Si ricorda che il valore della velocità nell'acqua varia tra 1480 e 1520 m/s al variare della temperatura e della salinità.

In generale si evidenzia già un buon grado di consolidazione a partire dai 5 - 7 metri di profondità da piano campagna con incrementi via via più consistenti scendendo in profondità.

Gli allegati grafici evidenziano come le velocità sismiche subiscano delle variazioni anche lateralmente, in funzione anche della storia geologica dei depositi e della loro genesi.

Dai valori delle velocità sismiche delle onde di taglio calcolate e riportate, è possibile valutare il valore di **Vs30** calcolato direttamente in sito secondo la formula sotto esplicitata.

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

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


Per ciascuna sezione sismica, il valore Vs30 è stato definito lungo due punti equidistanti per valutare ed escludere la presenza di disomogenità geologiche che possano indurre a grosse variazioni laterali di tale parametro. In realtà le velocità sono risultate tutte abbastanza omogenee. Tali variazioni sono imputabili al diverso grado di consistenza dei depositi indagati e non mutano la sostanza del parametro Vs30 calcolato.

In entrambe le sezioni sismiche, il parametro **Vs30** si è sempre mostrato **compreso nella categoria B dei suoli di fondazione** (valori di velocità maggiori di 360 m/s e minori di 800 m/s) secondo la distinzione indicata dal O.P.C.M. 3274/03 (tipica di depositi quali sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti) con i valori di Vs30 misurati che variano da 710 a circa 780 m/s.

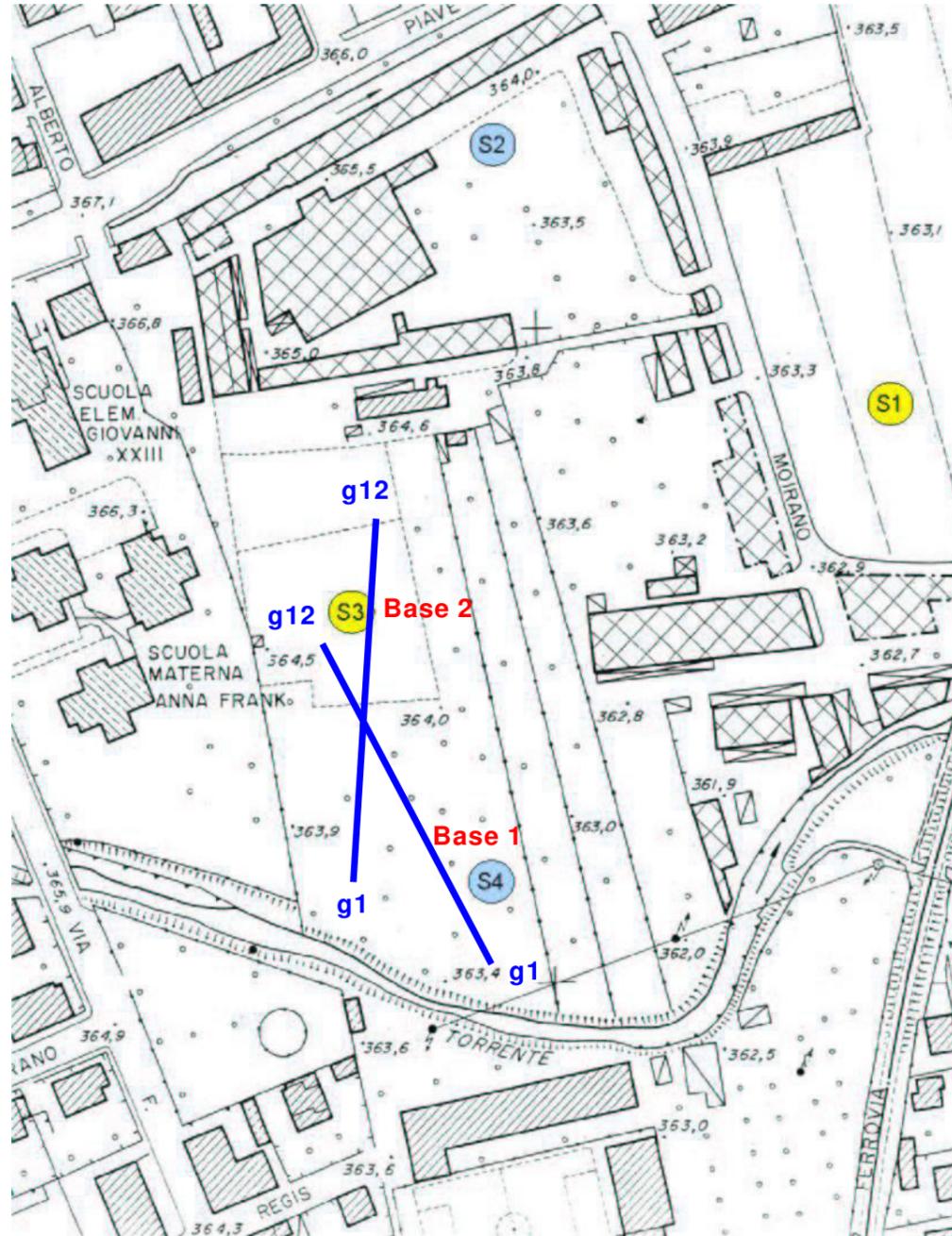
Nelle rappresentazioni grafiche sono stati indicati solo alcuni dei valori numerici delle velocità VSH utilizzate per determinare il parametro Vs30. Le velocità indicate, insieme all'incremento grafico di tonalità dei retini, servono a dare un'idea di come la velocità VSH vari sia lateralmente che in profondità lungo le sezioni indagate.

Merita essere ricordato che i parametri ricavati per via dinamica hanno in genere valori superiori a quelli ricavati da prove statiche in laboratorio proprio per il diverso campo di sollecitazione applicata e la diversa deformazione raggiunta.

Da tutte queste premesse scaturisce che per via indiretta geosismica è possibile definire le caratteristiche del sottosuolo in esame in modo molto più completo e corretto, ottenendo valori progettuali dell'insieme piuttosto che puntuali.

Pinerolo 19/05/2006  
CIS Geofisica s.r.l.

*Dott. Geol. Ermanno Rambelli*



**LEGENDA**

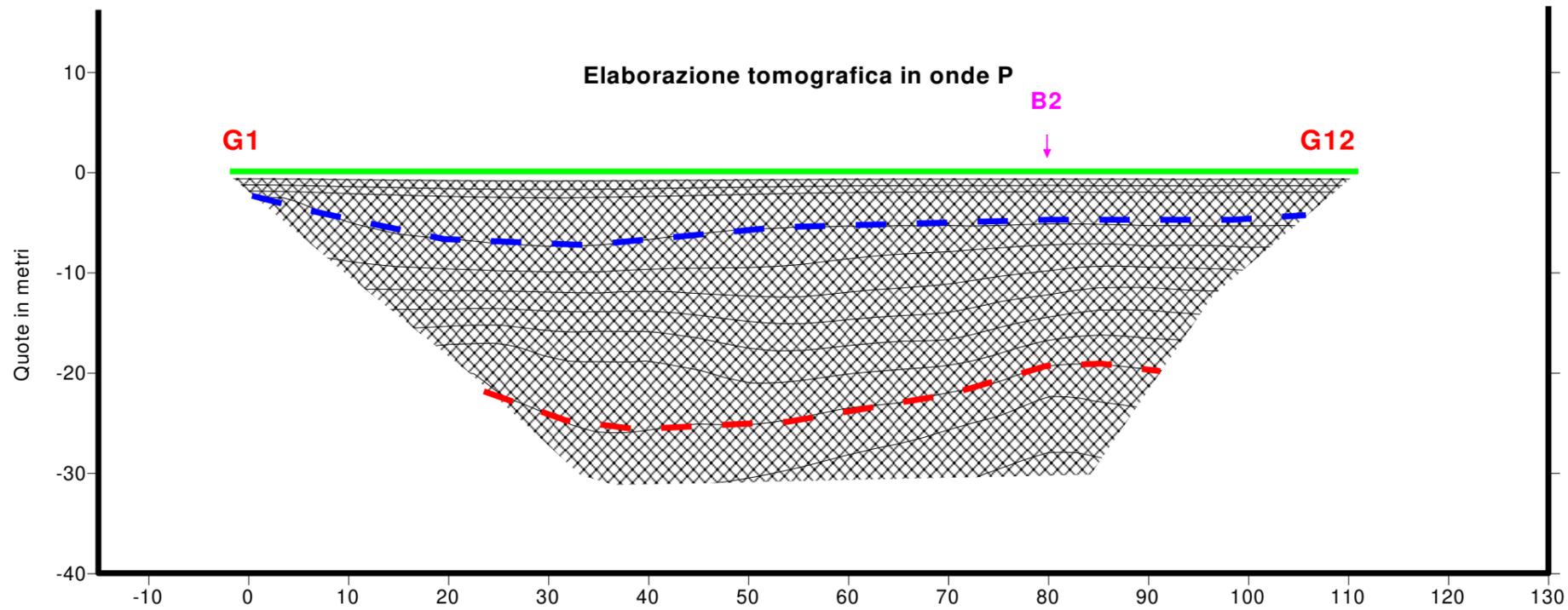
Base 1      g12

g1

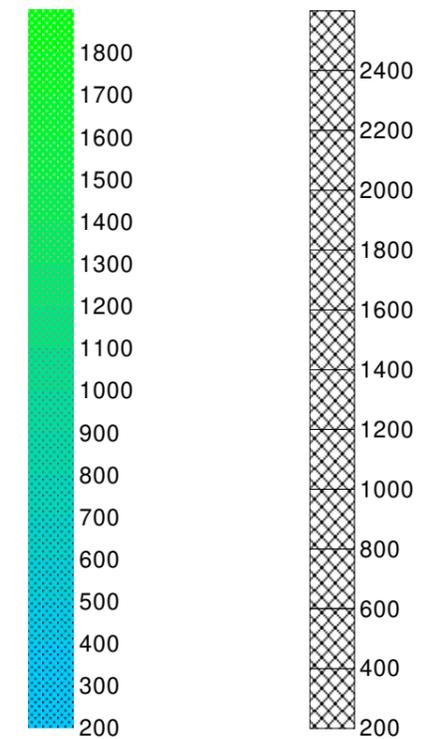
Ubicazione della stesa sismica  
nome, orientazione geofoni P e SH

Scala 1:2000

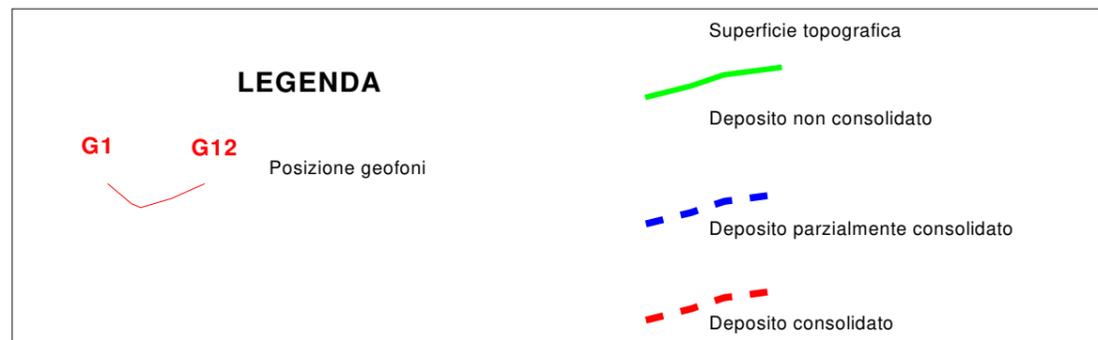
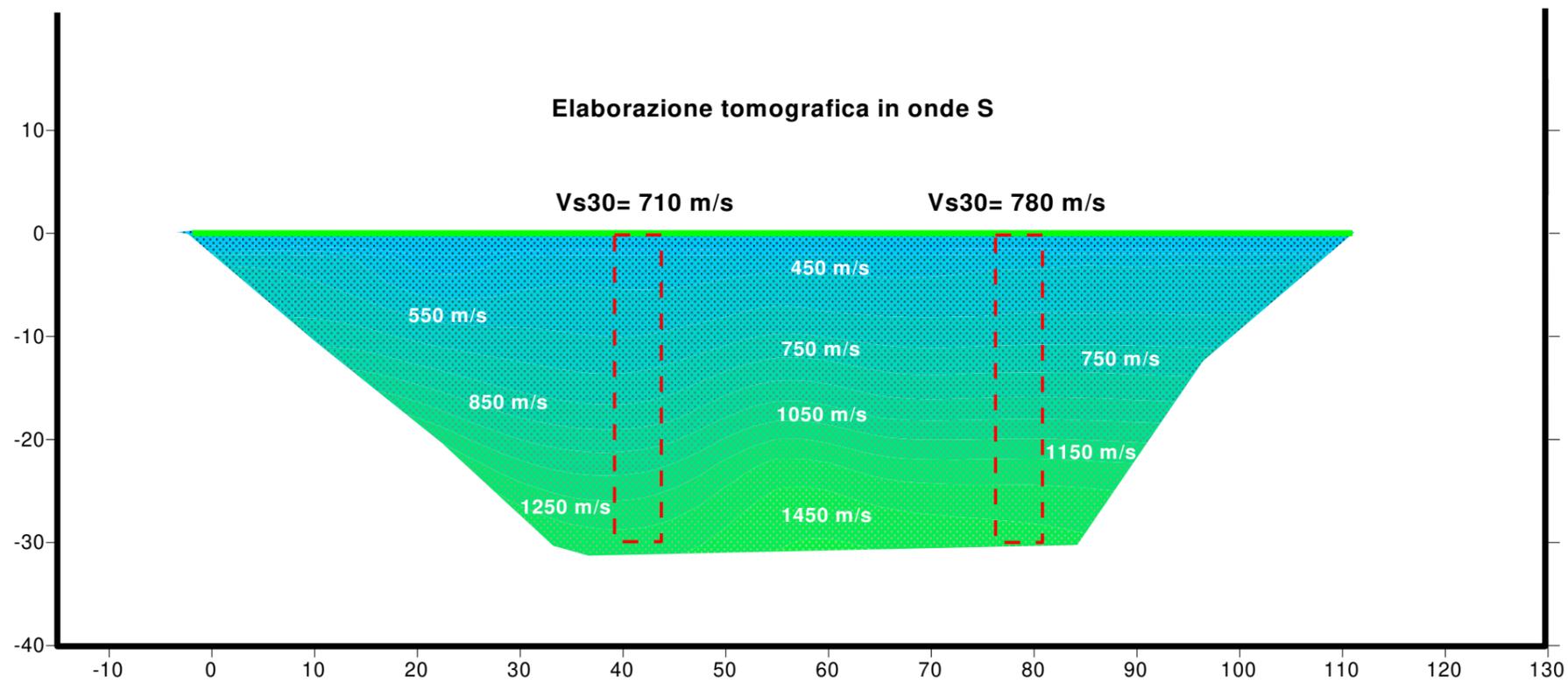
<b>INDAGINE GEOFISICA</b>		
Comune di Pinerolo (To) P.E.C. RU5.1 del P.R.G.		
Microzonazione sismica		
Committente: Studio Arch. Arione		
<b>Ubicazione delle sezioni</b>		
All.1	Maggio 2006	 CIS Geofisica s.r.l.



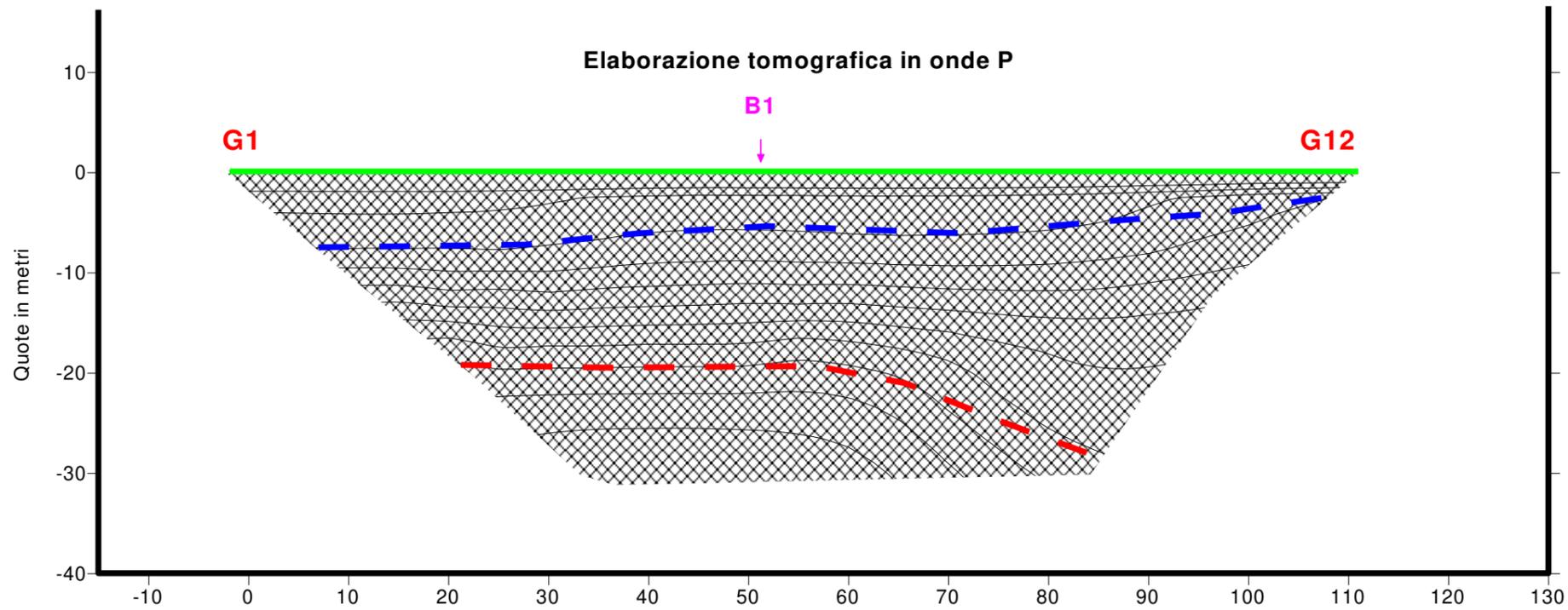
Velocità sismiche misurate



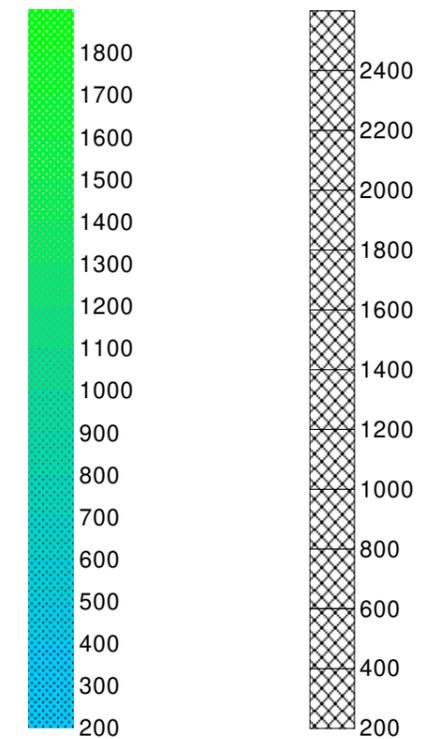
Scala delle velocità sismiche ONDE S in m/s      Scala delle velocità sismiche ONDE P in m/s



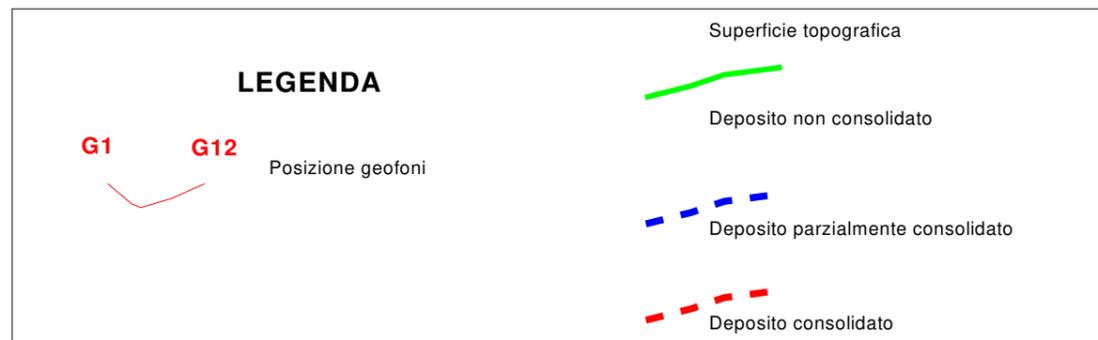
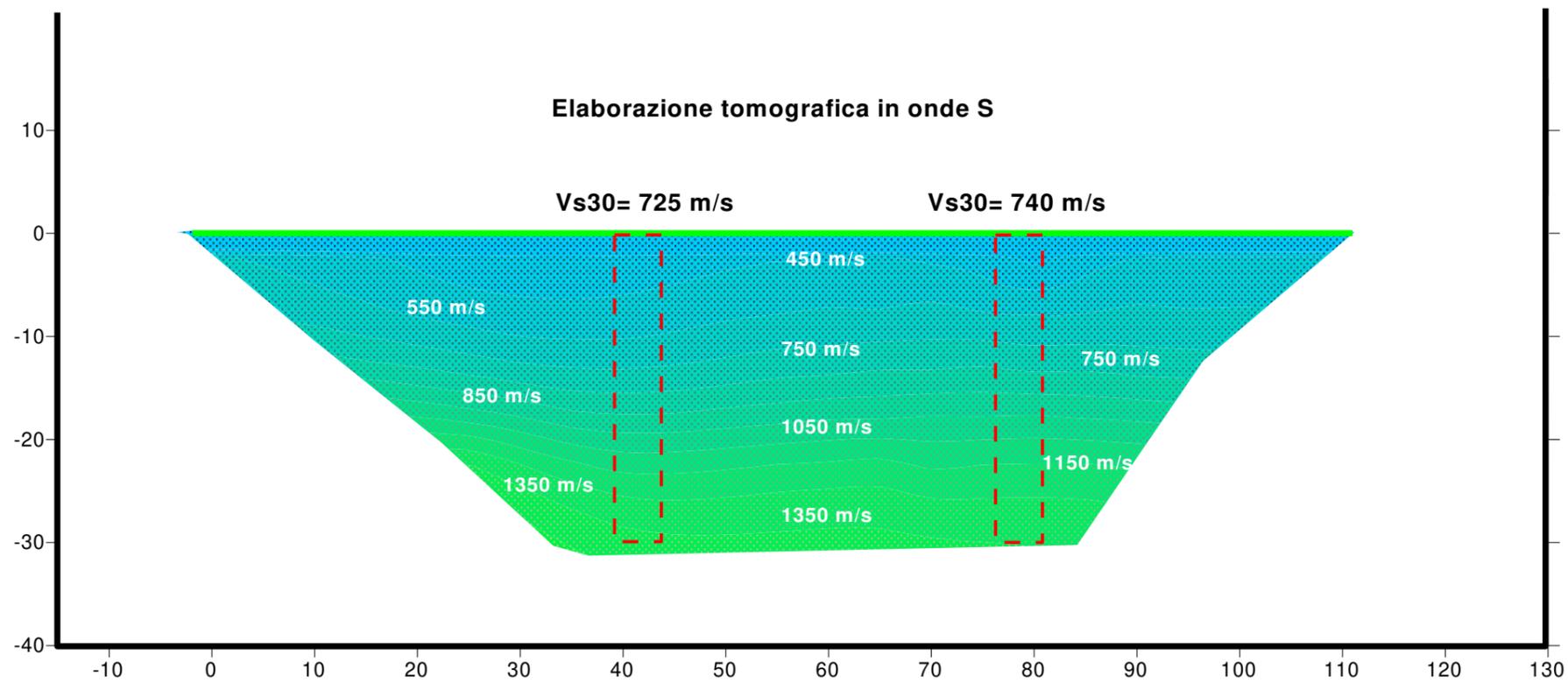
<b>INDAGINE GEOFISICA</b>		
Comune di Pinerolo (To) P.E.C. RU5.1 del P.R.G.		
Microzonazione sismica		
Committente: Studio Arch. Arione		
<b>Interpretazione sismica base 1</b>		
All.2/a	Maggio 2006	CIS Geofisica s.r.l.



**Velocità sismiche misurate**



Scala delle velocità sismiche ONDE S in m/s      Scala delle velocità sismiche ONDE P in m/s



<b>INDAGINE GEOFISICA</b>		
Comune di Pinerolo (To) P.E.C. RU5.1 del P.R.G.		
Microzonazione sismica		
Committente: Studio Arch. Arione		
<b>Interpretazione sismica base 2</b>		
All.2/b	Maggio 2006	<b>CIS Geofisica s.r.l.</b>

## **ALLEGATO 06**

**INDAGINI GEOFISICHE IN  
SITO FEBBRAIO 2019 -  
HVSR AZZONAMENTO RU  
5.1**

Committente:

**Geoalpi Consulting**

Sito:

**Zona di P.R.G. RU 5.1 - Pinerolo (TO)**



**Indagine geofisica - studio geologico azzonamento urbanistico RU 5.1.**

Relazione n:	4392/19
Redatto da:	Marco Bacenetti Geol. Ph.D.
Controllato da:	Dott. Geol. Mario Naldi
Data:	Aprile 2019
Revisione:	0

## Sommario

1. INTRODUZIONE .....	1
2. GEODESIA.....	1
3. UBICAZIONE INDAGINI .....	2
4. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI.....	3
4.1. MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE (HVSR).....	3
5. RISULTATI OTTENUTI.....	5
5.1. SITO 1.....	6
5.2. SITO 2.....	6
5.3. SITO 3.....	7

In allegato:

Appendice A	Report misure di rumore sismico ambientale
Appendice B	Cenni teorici sulle misure di rumore sismico ambientale

## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione illustra e descrive le misure di rumore sismico ambientale realizzate nel giorno 28 marzo 2019 per conto dello studio Geoalpi Consulting presso l'azzonamento urbanistico RU 5.1, nel territorio del Comune di Pinerolo (TO).

La progettazione della campagna di misure è stata coordinata dal consulente tecnico Geol. Arri ed è consistita di n° 3 misure di rumore sismico a stazione singola i cui dati sono stati elaborati secondo la tecnica dei rapporti spettrali "HVSR" (Nakamura 1989), ai fini della definizione della frequenza caratteristica di sito.

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

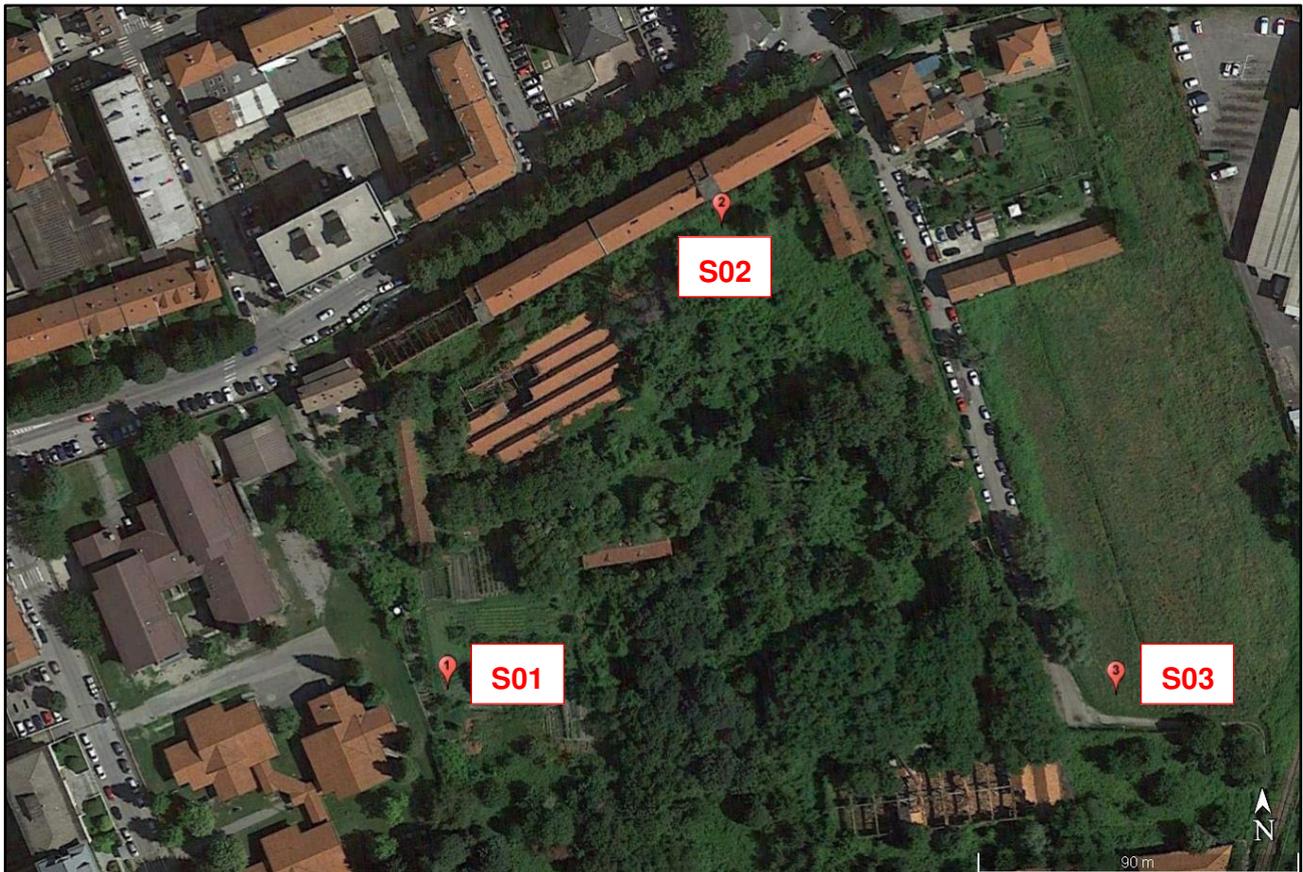
PROIEZIONE	
Proiezione	UTM
Tipo	UTM (emisfero N)
Zona	32
Origine longitudine	9 E
Origine latitudine	0 N
False easting	500000
False northing	0
Scale factor on CM	0.99996
Units	m

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 immagine Google Earth (non in scala) nella seguente Figura 1.



*Figura 1 – Ubicazione indagini geofisiche (base Google Earth luglio 2018)*

I siti di indagine individuati dal Consulente Tecnico sono i seguenti:

- SITO1: le misure sono state ubicate nel settore occidentale dell'azzonamento RU 5.1, ad una quota di circa 366 m s.l.m.
- SITO2: le indagini sono state posizionate in prossimità del capannone principale dell'area Ex Turk, ad una quota di 367 m s.l.m.
- SITO3: lo strumento è stato posizionato nell'area prativa posta al fondo di via Moirano, ad una quota di circa 364 metri s.l.m.

## 4. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

### 4.1. 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 Appendice B).

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

- frequenza di campionamento  $\geq 200$  sps;
- durata registrazione  $\geq 30$  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](http://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 2 – 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.

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 lisce con l'operatore di Konno e Ohmachi;
- pagina 5: grafici di stazionarietà e direzionalità dei rapporti spettrali nel tempo;
- pagina 6: frequenza fondamentale selezionata e soddisfacimento dei criteri SESAME per la chiarezza della curva e del picco.

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

## 5.1. SITO 1

### FREQUENZA CARATTERISTICA DI SITO

La misura di rumore sismico ambientale presenta segnali stazionari e isotropi nell'intervallo di frequenze 0.5 ÷ 30 Hz. Disturbi di origine elettromagnetica/antropica sono presenti alle frequenze di 1.04 Hz, 5 Hz, 7,3 Hz e 8,2 Hz (Figura 3).

Si può rilevare, ed è stato selezionato in elaborazione, un picco della curva spettrale centrato sulla frequenza di 1.59 Hz; tale massimo relativo, di ampiezza pari a 2,75, è legato a risonanza stratigrafica profonda e può essere associato al periodo fondamentale di vibrazione di sito.

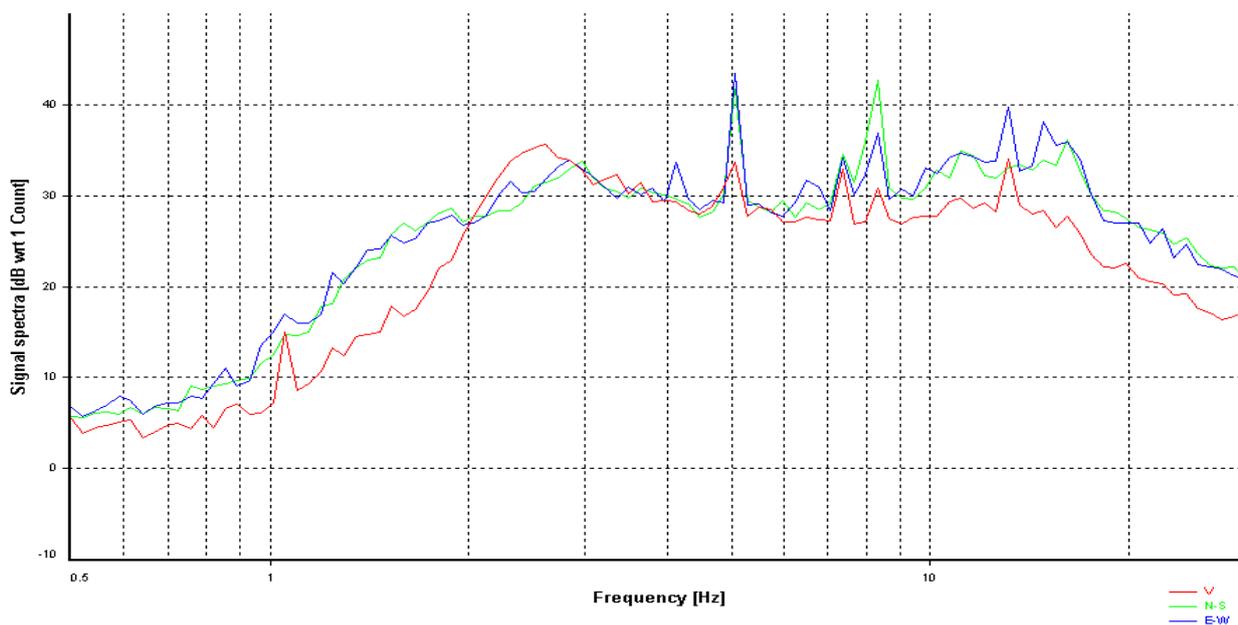


Figura 3 – Stazione per la misura di rumore sismico S01 – Componenti spettrali non lisce

## 5.2. SITO 2

### FREQUENZA CARATTERISTICA DI SITO

La misura di rumore sismico ambientale presenta segnali stazionari ed abbastanza isotropi nell'intervallo di frequenze 1 ÷ 30 Hz: alle basse frequenze la stazionarietà dei rapporti spettrali si riduce e diventa preponderante la componente spettrale orizzontale E-W, come si può osservare dal grafico "HVSr directional analysis" a pagina 5 del report allegato in Appendice B.

Disturbi di origine elettromagnetica/antropica sono presenti alla frequenza di 1.04 Hz, 4,1 Hz e 5,1 Hz.

Il picco della curva HV selezionato in corrispondenza della frequenza di 1.19 Hz; è caratterizzato da ampiezza pari a 3.28, ottima stazionarietà e discreta isotropia. Il picco di frequenza è legato a risonanza stratigrafica profonda e può essere associato al periodo fondamentale di vibrazione di

sito. L'incertezza data da un disturbo di natura elettromagnetica alla frequenza di circa 1 Hz suggeriscono cautela nel considerare il risultato della misura definitivo.

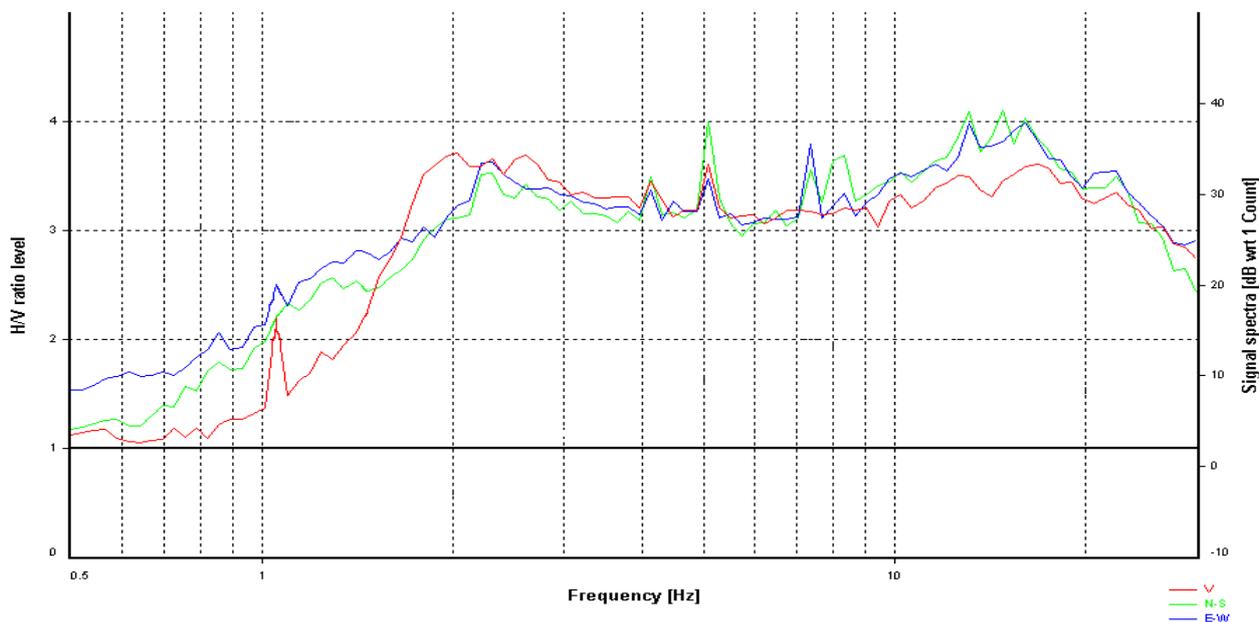


Figura 4 – Stazione per la misura di rumore sismico S02 – Componenti spettrali non lisciate

### 5.3. SITO 3

#### FREQUENZA CARATTERISTICA DI SITO

La misura di rumore sismico ambientale presenta segnali stazionari nell'intervallo di frequenze 0.5 ÷ 30 Hz, mentre il campo di rumore ambientale risulta scarsamente isotropo con una prevalenza della componente E-W del segnale orizzontale come si può osservare dal grafico "HVSr directional analysis" a pagina 5 del report allegato in Appendice B.

Disturbi di origine elettromagnetica/antropica sono presenti alla frequenza di 1.04 Hz e nel range 4 ÷ 6 Hz..

Il picco di frequenza selezionato a 1.19 Hz, di ampiezza pari a 2.92, è disturbato dagli spike elettromagnetici già identificati sulle precedenti stazioni di misura. Esso è legato a risonanza stratigrafica profonda e potrebbe essere associato al periodo fondamentale di vibrazione di sito. L'incertezza data dalla scarsa isotropia dei segnali e dalle interferenze elettromagnetiche riscontrate suggeriscono cautela nel considerare il risultato della misura attendibile.

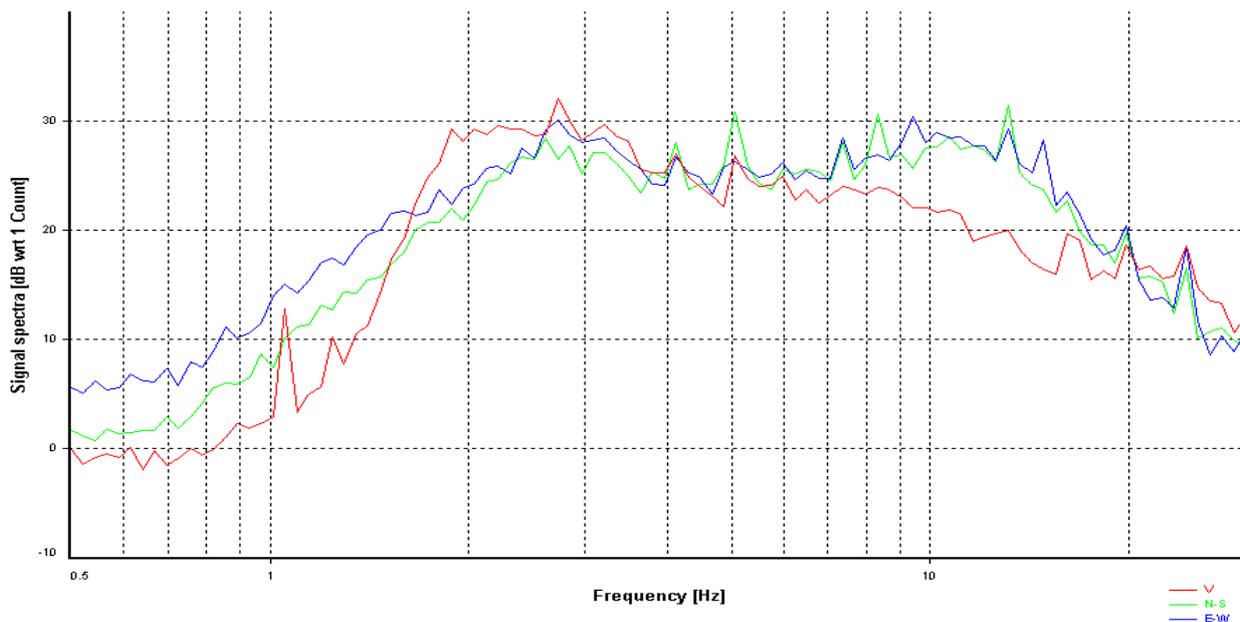


Figura 5 – Stazione per la misura di rumore sismico S03 – Componenti spettrali non lisciate

## Techgea S.r.l.

Redatto da: Marco Bacenetti Geol. Ph.D.

Controllato da: Dott. Geol. Mario Naldi

## **APPENDICE A**

### **Report misure di rumore sismico ambientale**

## STATION INFORMATION

*Station code:* S01

*Model:* SARA SL06

*Sensor:* SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

*Notes:* Soft soil coupling

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Comune di Pinerolo

*Address:* Zona di P.R.G. RU 5.1

*Latitude:* 368482 m

*Longitude:* 4971120 m

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 366 m s.l.m.

*Weather:* Sunny

*Notes:* Magnetic North = instrumental Y

## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



## SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

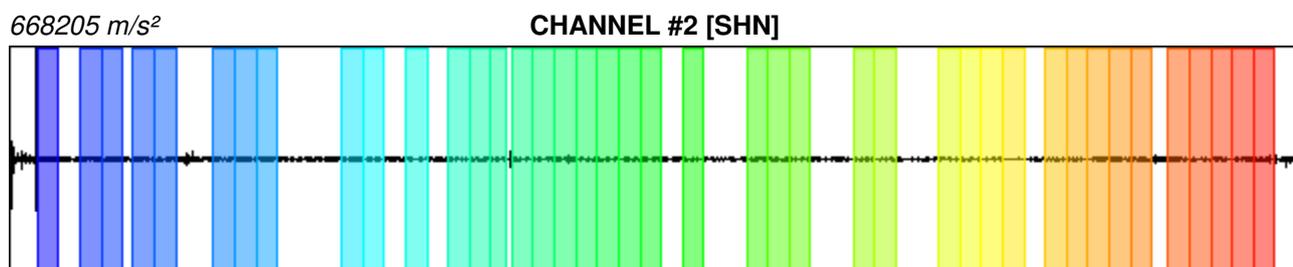
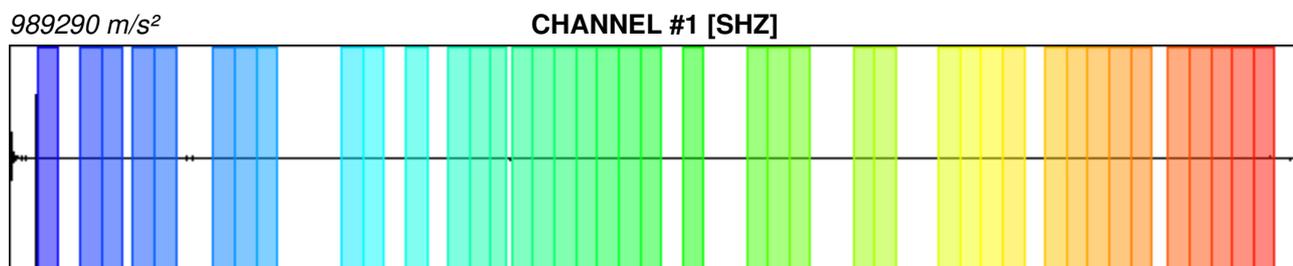
Recording start time: 2019/03/28 10:49:00

Recording length: 2419 sec

Windows count: 41

Average windows length: 39.77

Signal coverage: 67.4%



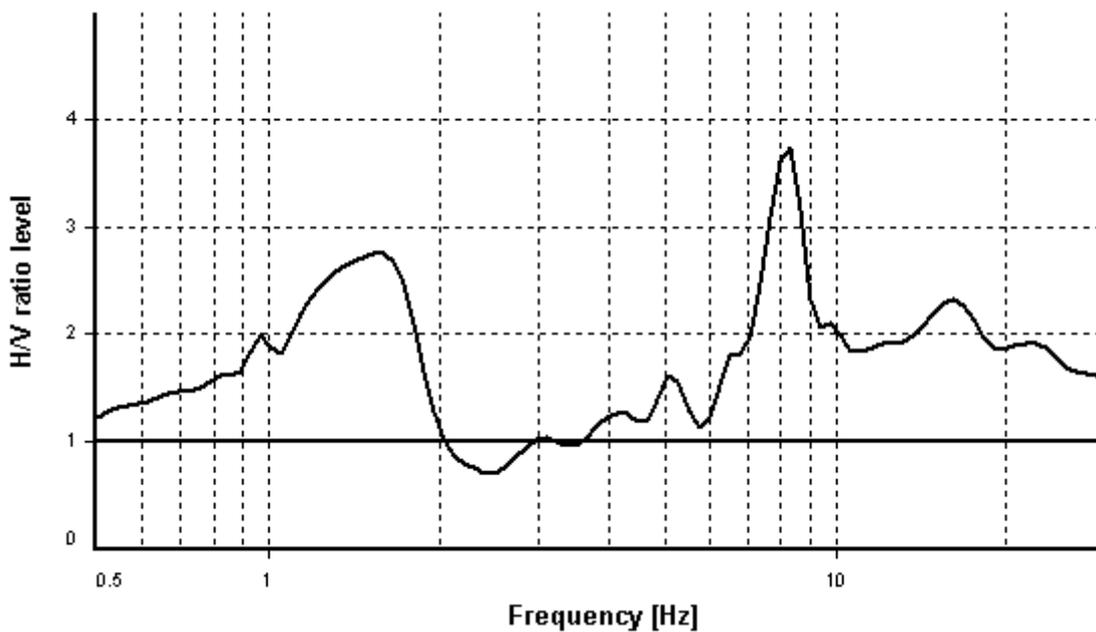
## HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

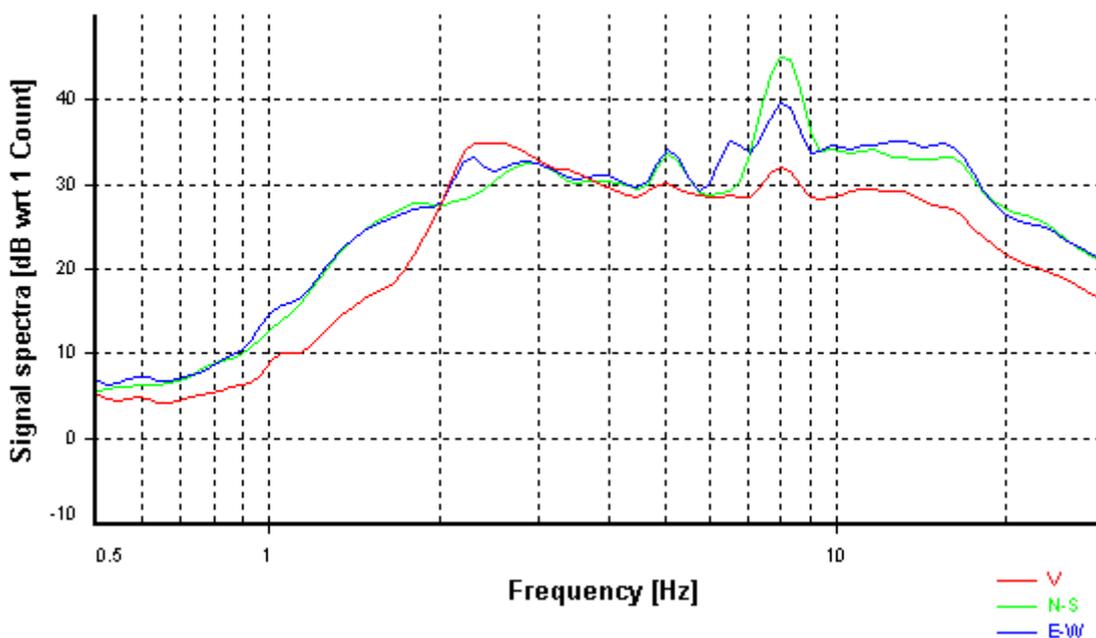
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Disabled

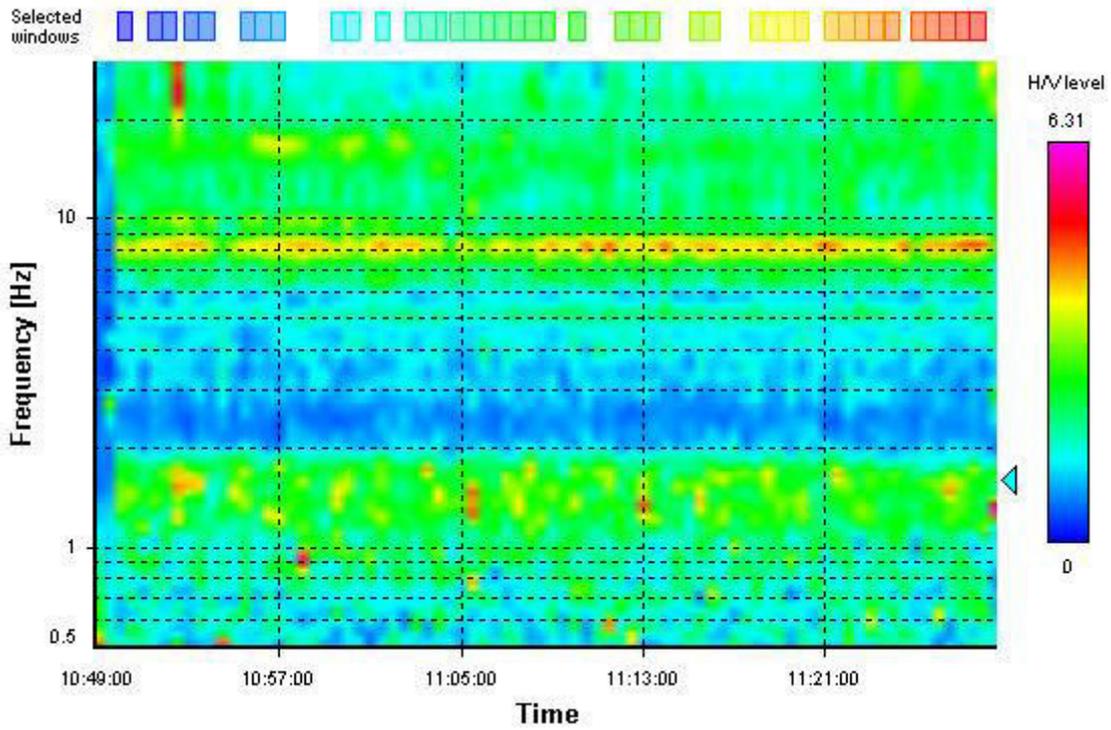
### HVSR average



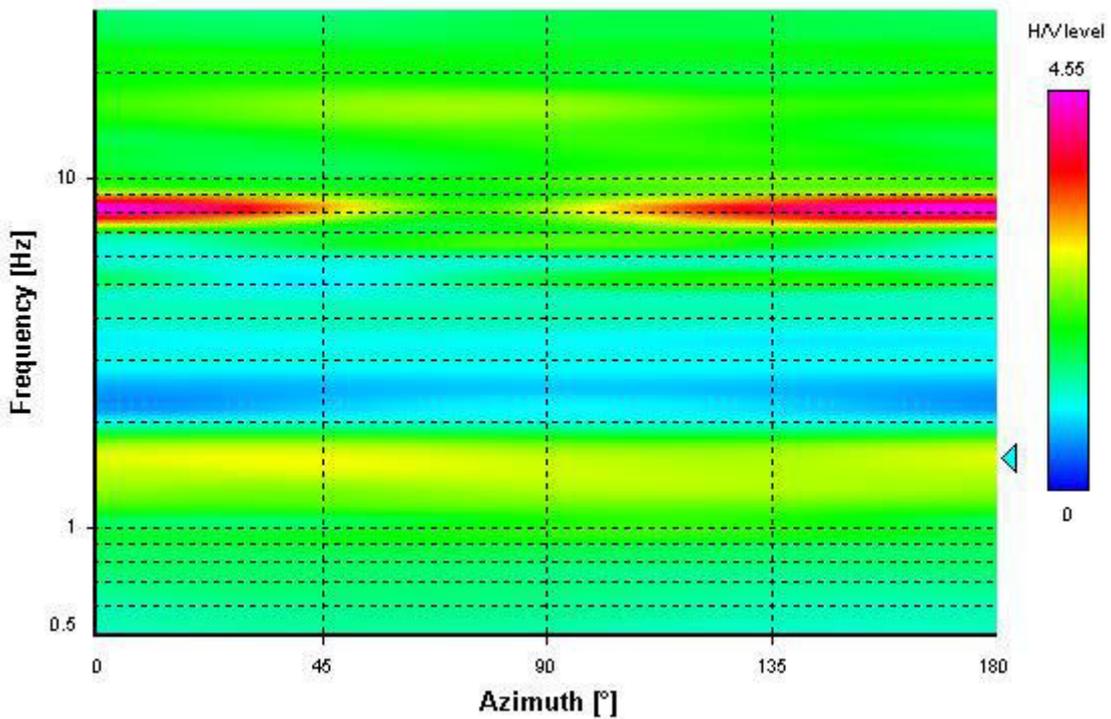
### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis



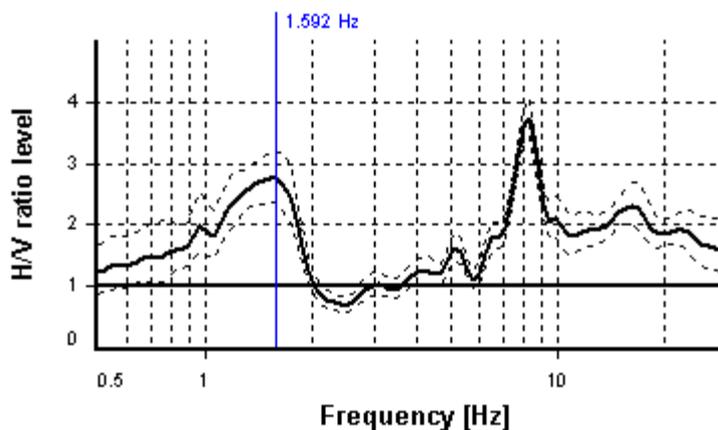
### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

1.592 Hz

**$A_0$  amplitude = 2.745**

**Average  $f_0 = 1.470 \pm 0.175$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	41 valid windows (length > 6.28 s) out of 41	OK
$n_c(f_0) > 200$	2595.2 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 33	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.61486 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.95743 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.74 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	4.05% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.17534 >= 0.15918	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.1627 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		OK

## STATION INFORMATION

*Station code:* S02

*Model:* SARA SL06

*Sensor:* SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

*Notes:* Soft soil coupling

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Comune di Pinerolo

*Address:* Zona di P.R.G. RU 5.1

*Latitude:* 368563 m

*Longitude:* 4971254 m

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 367 m s.l.m.

*Weather:* Sunny

*Notes:* Magnetic North = instrumental Y

## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



## SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

Recording start time: 2019/03/28 11:46:00

Recording length: 2372 sec

Windows count: 40

Average windows length: 38.24

Signal coverage: 64.49%



-259393 m/s<sup>2</sup>



-54187 m/s<sup>2</sup>



-84788 m/s<sup>2</sup>

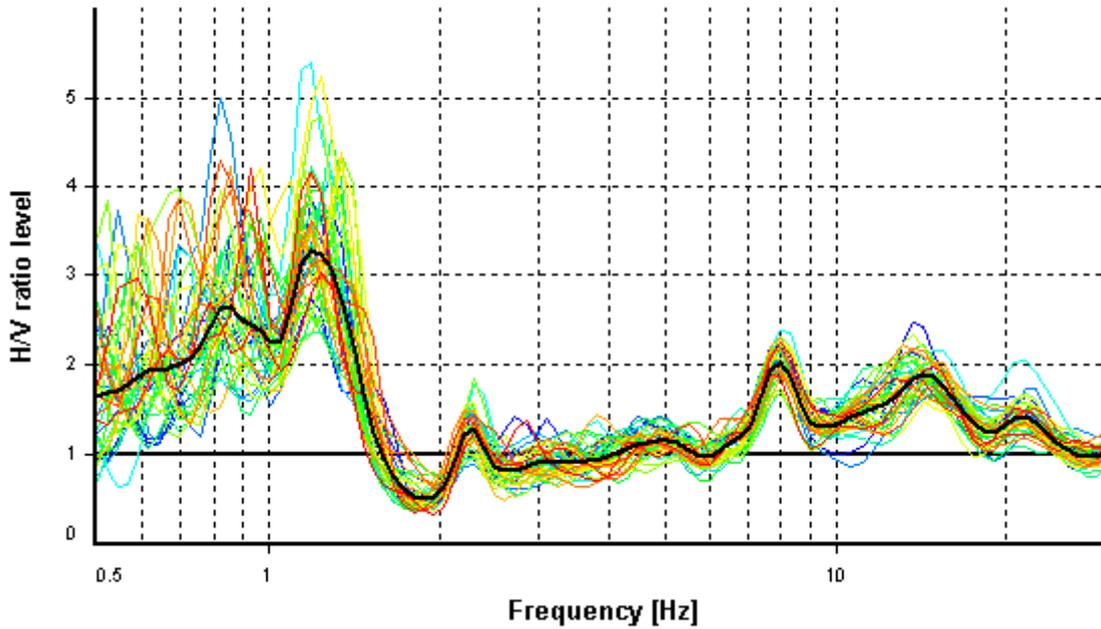
## HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

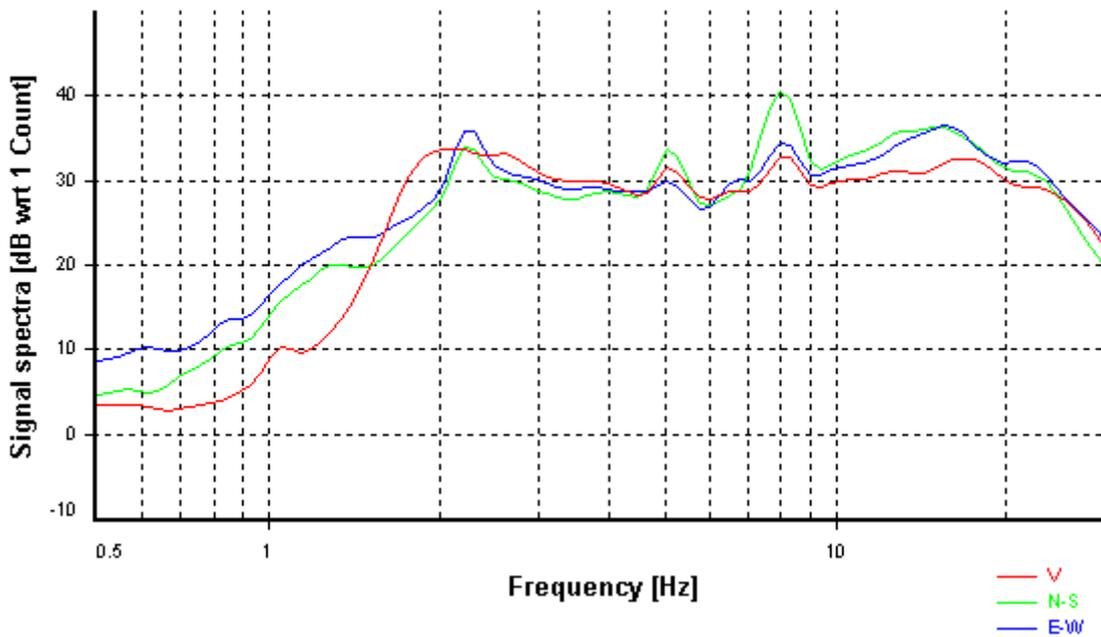
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Disabled

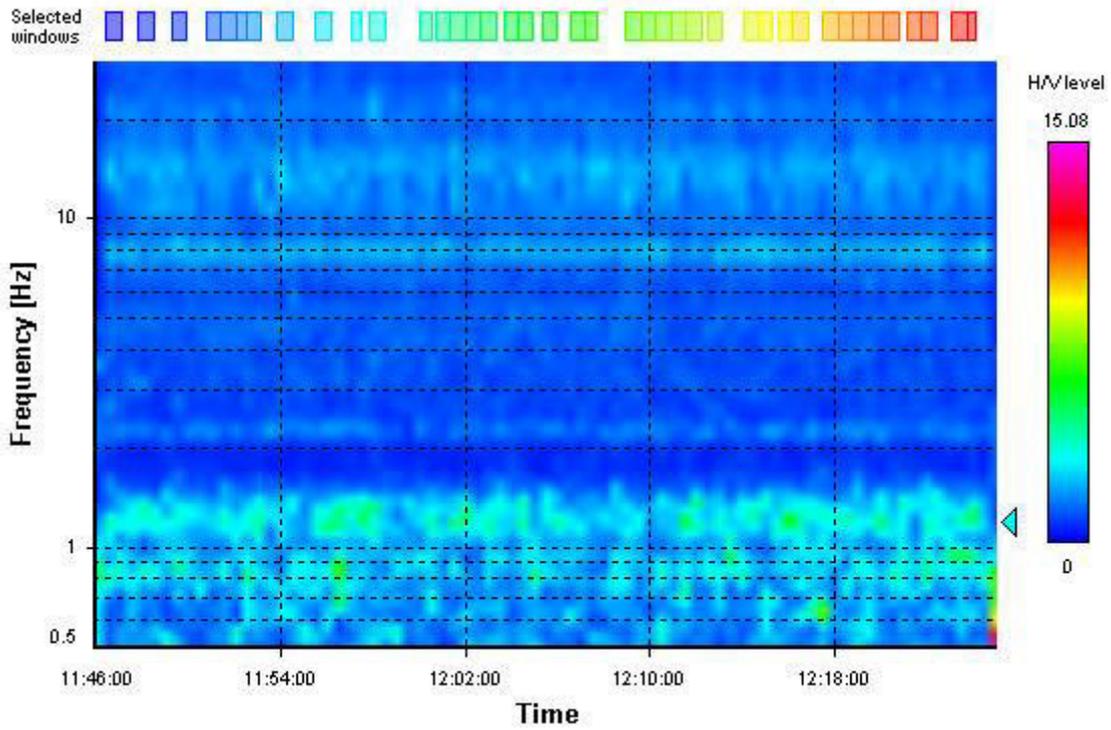
### HVSR average



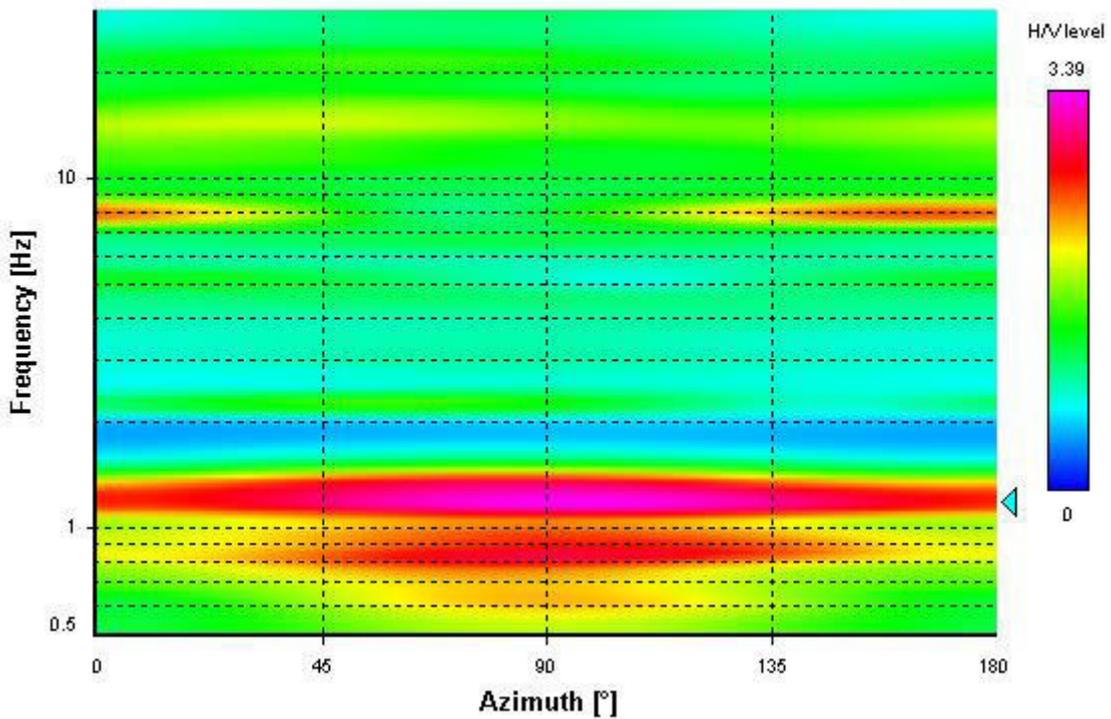
### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis



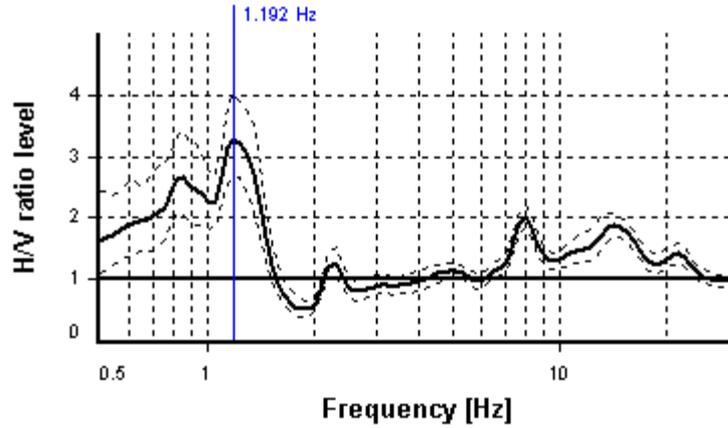
### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

1.192 Hz

**$A_0$  amplitude = 3.275**

**Average  $f_0 = 1.132 \pm 0.179$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	40 valid windows (length > 8.39 s) out of 40	OK
$n_c(f_0) > 200$	1822.95 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 33	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.5 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.52729 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.27 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.17851 >= 0.11917	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.22637 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		OK

## STATION INFORMATION

*Station code:* S03

*Model:* SARA SL06

*Sensor:* SARA SS20PACK (integrated 2.0 Hz sensors)

*Notes:* Soft soil coupling

## PLACE INFORMATION

*Place ID:* Comune di Pinerolo

*Address:* Zona di P.R.G. RU 5.1

*Latitude:* 368672 m

*Longitude:* 4971115 m

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 364 m s.l.m.

*Weather:* Sunny

*Notes:* Magnetic North = instrumental Y

## PHOTOGRAPHIC REFERENCES



## SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 200 Hz

Recording start time: 2019/03/28 12:39:00

Recording length: 2700 sec

Windows count: 40

Average windows length: 60

Signal coverage: 88.89%



-19739 m/s<sup>2</sup>



-19573 m/s<sup>2</sup>



-21621 m/s<sup>2</sup>

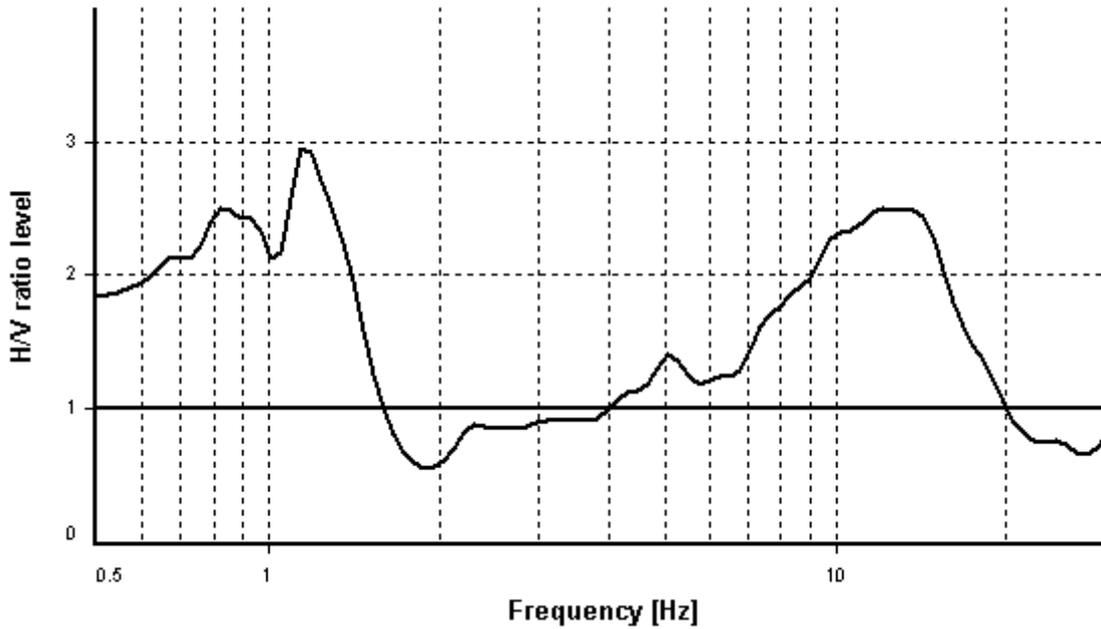
## HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

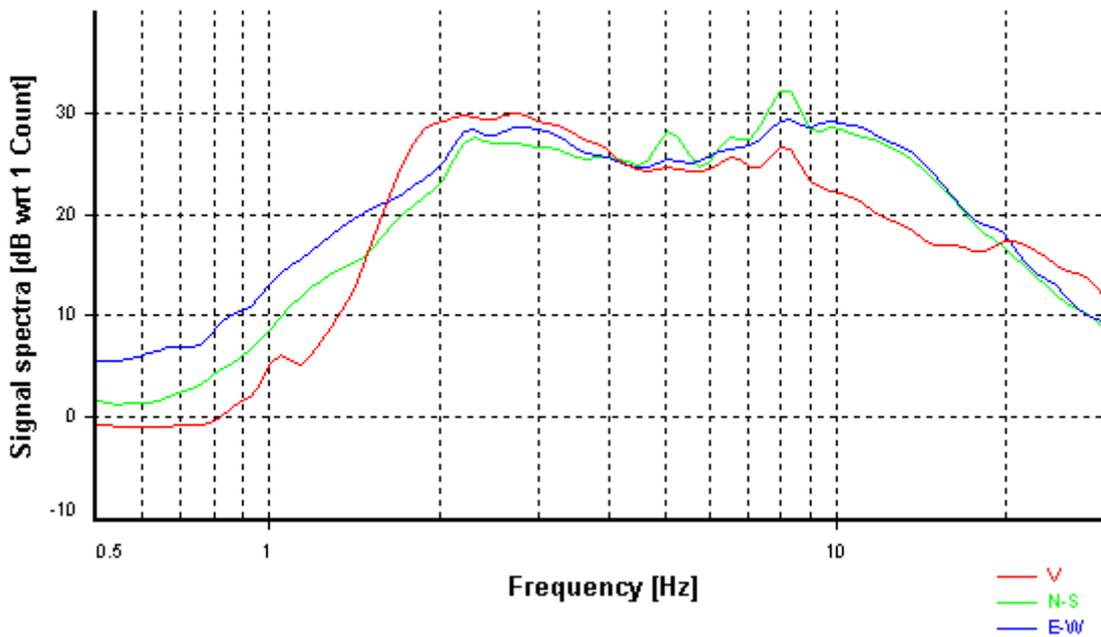
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Disabled

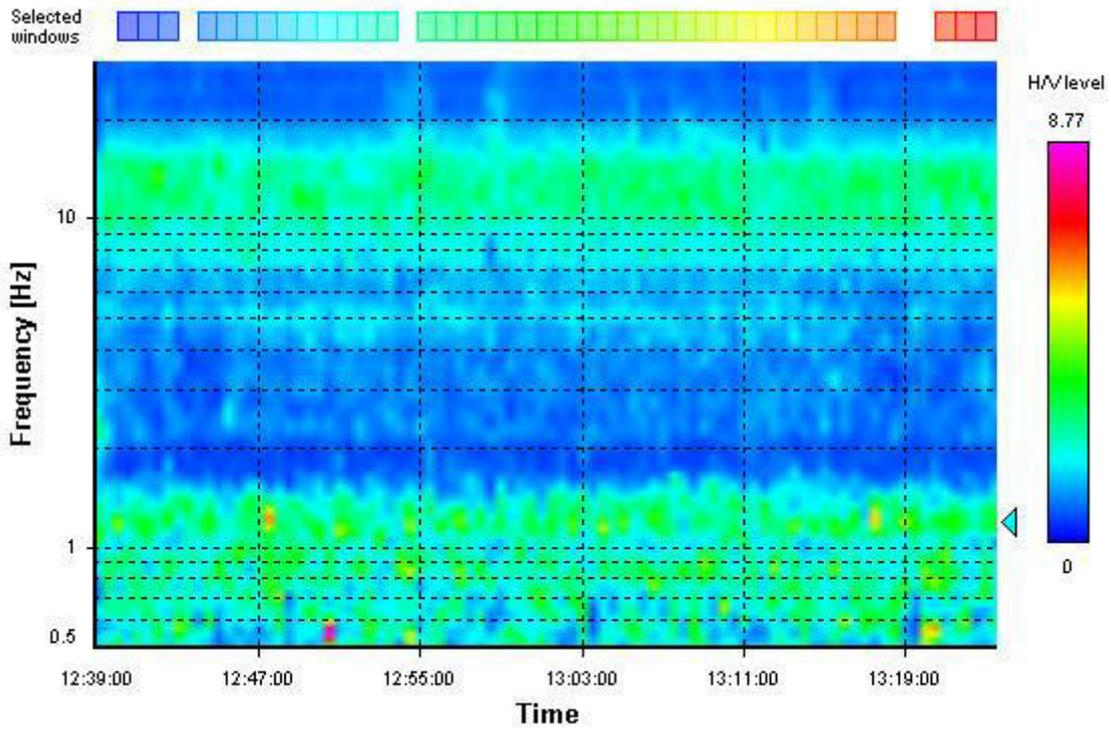
### HVSR average



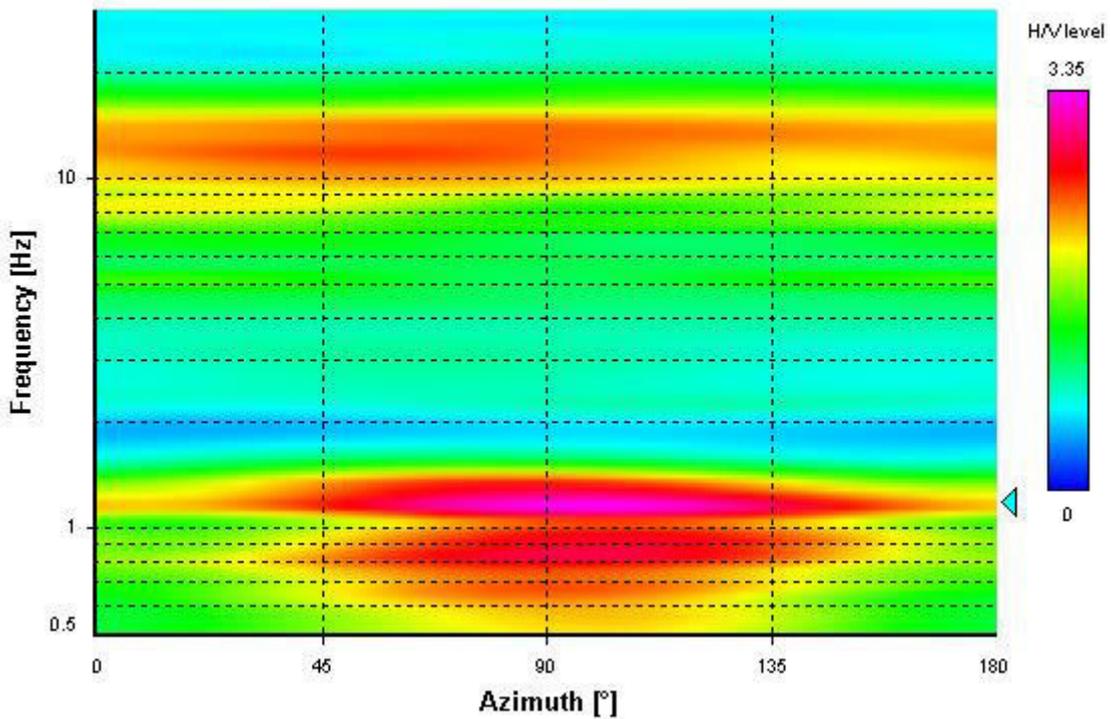
### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis



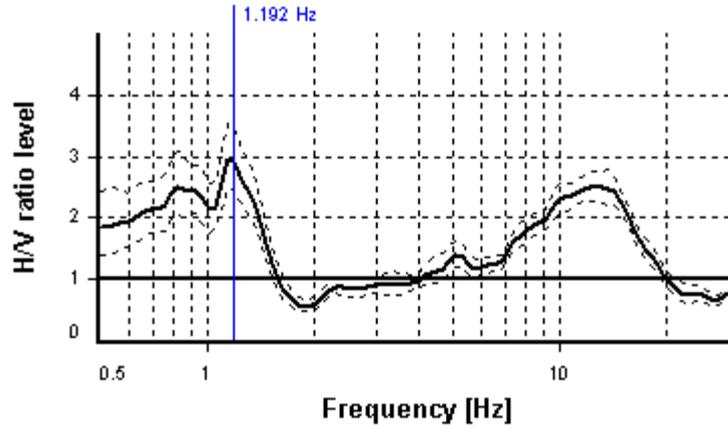
### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

1.192 Hz

**$A_0$  amplitude = 2.918**

**Average  $f_0 = 1.078 \pm 0.164$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	40 valid windows (length > 8.39 s) out of 40	OK
$n_c(f_0) > 200$	2859.99 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 33	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.52729 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.92 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	4.05% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.16413 >= 0.11917	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.1874 < 1.78	OK
<b>Overall criteria fulfillment</b>		<b>NO</b>

## **APPENDICE B**

### **Cenni teorici sulle misure di rumore sismico ambientale**

---

## CENNI TEORICI SULLA METODOLOGIA HVSR

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

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

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

### Basi teoriche

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

Si consideri un sistema in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) 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 ( $\lambda$ ) 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.

## Spessori<sup>1</sup>

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  $V_s$

---

<sup>1</sup> 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)<sup>2</sup> usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love.

---

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