



Spett.le
Regione Toscana
Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile
Settore Genio Civile Valdarno Superiore
Sede di Firenze

regione.toscana@postacert.toscana.it

Oggetto: Deposito n. 3499 del 04/12/2018 “Piano Attuativo e contestuale Variante al Regolamento Urbanistico”, località Sieci, Via G. Galilei, Comune di Pontassieve, pratica sottoposta a controllo obbligatorio. ***Integrazioni in merito agli aspetti sismici.***

Con riferimento alla relazione “Indagini geologico-tecniche ai sensi del D.P.G.R. n. 53/R/2011” redatta dallo scrivente in data 13 luglio 2018 a supporto della pratica in oggetto, ed alla Vs. comunicazione inviata al Comune di Pontassieve tramite posta elettronica certificata in data 5 febbraio u.s., con la presente si forniscono i chiarimenti e le integrazioni richiesti per quanto riguarda gli aspetti sismici.

Come richiesto è stata eseguita, in data 8 marzo u.s., una campagna geognostica di indagini sismiche consistente in:

- una prospezione sismica a rifrazione in onde P e S_h la cui traccia è mostrata nella planimetria contenuta sulla tavola allegata;
- due misure di sismica passiva *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr), ubicate come mostrato nella planimetria suddetta.

Per la descrizione delle metodologie di acquisizione dei dati e il dettaglio dei risultati, si rimanda al rapporto finale ed alla tavola allegate alla presente.

Per quanto riguarda l'indagine sismica a rifrazione, la geometria del rilievo sismico di superficie in onde P e onde S_h ha previsto uno stendimento con distanza intergeofonica di 5 m, per un totale di 120 m; sono state effettuate sette energizzazioni. Come si evince dalla tavola allegata, l'elaborazione mostra tre orizzonti sismici principali definibili in funzione della velocità sismica e del relativo gradiente di velocità: sismostrato A associabile a terreni superficiali, con spessore circa da 4,00 a 8,00 m e velocità sismica inferiore a 1.200 m/s e 400 m/s rispettivamente per le onde P e le onde S; sismostrato B, riconducibile a terreni compatti, con spessore di circa 10,0÷14,00 m, caratterizzato da velocità sismica compresa tra 1.200 e 2.400 m/s (onde P) e tra 400 e 900 m/s (onde S); sismostrato C, riferibile a terreni molto compatti, caratterizzato da velocità sismica superiore a 2.400 m/s per le onde P e 900 m/s per le S.



La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di indagine sismica passiva HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio* – Metodo di Nakamura) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso: entrambi possono risultare passaggi litologici che generano fenomeni di possibile amplificazione della sollecitazione sismica.

Il tempo di registrazione è stato di 45' per entrambe le prove; nella prova HVSR1 è stato rilevato un picco a 8,81 Hz, mentre nella prova HVSR2 il picco è a 7,83 Hz. I suddetti picchi di frequenza indicano un contrasto di impedenza superficiale, in coerenza con la sismica a rifrazione eseguita e con le stratigrafie disponibili in aree limitrofe (si vedano i sondaggi allegati alla relazione del 2018).

A supporto della progettazione esecutiva le indagini indirette sopra descritte verranno integrate con le seguenti ulteriori indagini geognostiche:

- un sondaggio a carotaggio continuo, di profondità di 20 m;
- esecuzione di Standard Penetration Test (SPT) in foro;
- prelievo di n. 1/2 campioni indisturbati sui quali eseguire prove geotecniche di laboratorio;
- alcune prove penetrometriche statiche/dinamiche CPT/DPSH spinte fino alla profondità di 10 m dal p.c., con l'installazione di un tubo piezometrico per la verifica del livello della falda.


Distinti saluti

Firenze, 21 marzo 2019

Dott. Geol. Giorgio Cotroneo
(Ordine dei Geologi della Toscana n. 1158)
documento firmato digitalmente

Allegati

Rapporto finale delle indagini sismiche
Tavola del rilievo sismico

| REV. | DESCRIZIONE DELLA REVISIONE | DATA |
|--|---|----------------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| Committente: <div style="text-align: center;">  <p>TERRA & OPERE S.R.L. SOCIETÀ D'INGEGNERIA CONSULENZE GEOLOGICHE</p> </div> | | |
| <i>Piano Attuativo e contestuale Variante al regolamento Urbanistico Comunale "B. e B. di Barlondi Fabio e Bardi Marisa s.n.c"</i> | | |
| INDAGINI SISMICHE | | |
| LOCALITÀ VIA GALILEO GALILEI - SIECI | COMUNE PONTASSIEVE | PROVINCIA FIRENZE |
|  <p style="text-align: center;"> STUDIO DI GEOLOGIA GIORGI FILIPPO Sede: Strada d'Istieto n. 6 – 53100 SIENA – Tel: +39 0577 378209 Fax: +39 0577 378209 www.studiogf.eu e-mail: filippo.giorgi@studiogf.eu C.F.: GRGFPP70S30I726P – P.IVA: 01327030522 </p> | Archivio n. 201910 IL TECNICO Dott. Geol. Filippo Giorgi | DATA 16/03/2019 |
|  | | |



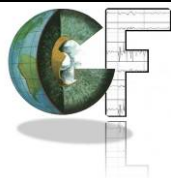
INDICE

| | | |
|----|---|----|
| 1. | PREMESSA..... | 2 |
| 2. | INDAGINI SVOLTE..... | 3 |
| 3. | FINALITA' DELLA PROSPEZIONE | 4 |
| 4. | STRUMENTAZIONE UTILIZZATA RILIEVI SISMICI | 4 |
| 5. | ESECUZIONE DEI RILIEVI..... | 5 |
| 6. | METODOLOGIE INTERPRETATIVE DELLE MISURE | 7 |
| 7. | ANALISI DEI RISULTATI GEOFISICI..... | 13 |

Misure HVSR

ALLEGATI

TAVOLA 1 *Rilievo sismico*





1. PREMESSA

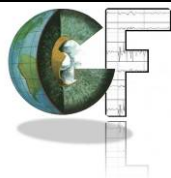
Nell'ambito delle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche a supporto del "PIANO ATTUATIVO E CONTESTUALE VARIANTE AL REGOLAMENTO URBANISTICO COMUNALE "B. E B. DI BARLONDI FABIO E BARDI MARISA S.N.C", è stata svolta un'indagine geofisica sviluppata con metodologia sismica di superficie con misura delle onde P e S.

Questa indagine si è prefissa lo scopo di sviluppare una caratterizzazione dinamica dei terreni secondo il parametro velocità sismica.

Le indagini sismiche sono state condotte secondo il piano di lavoro e le specifiche tecniche presentate dalla Committenza; le loro ubicazioni con le relative interpretazioni sono state riportate nella cartografia regionale di base .

Le finalità di questa indagine in ultima analisi sono state quelle di fornire elementi utili alla parametrizzazione dei sedimenti caratterizzati da un punto di vista fisico in riferimento alla propagazione delle onde sismiche.

Nella presente relazione sono descritte, secondo un criterio essenzialmente geofisico, le modalità d'esecuzione della fase di acquisizione dei dati sperimentali e le metodologie interpretative dei dati geofisici.





2. INDAGINI SVOLTE

La campagna di indagine è stata eseguita il giorno 8 Marzo 2019 secondo il piano di lavoro redatto dalla Direzione Lavori. Il rilievo sismico di superficie è stato sviluppato con un profilo sismico con interdistanza geofonica pari a 5,0 metri ed è stato acquisito sia con onde P sia con onde S_H . Inoltre sono state realizzate 2 misure HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratios).

L'ubicazione dettagliata delle indagini svolte è riportata nella tavola allegata.

Di seguito si riporta il dettaglio metrico delle indagini eseguite:

| profilo sismico | interdistanza geofoni (m) | Tipo di acquisizione | Tipo di geofoni | punti di scoppio n° | lunghezza * (m) |
|-----------------|---------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|-----------------|
| 1 | 5,0 | Onde P e S_H | Verticali - Orizzontali | 7 | 120 |

* Si ricorda che la misura riportata per il profilo è comprensiva dei punti di scoppio esterni allo stendimento geofonico realizzato.

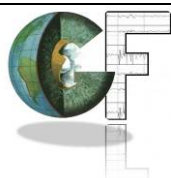


Fig. 2.1 : Operazioni di acquisizione dati rilievo sismico di superficie

| n° | Data e ora di inizio registrazione | Tempo di registrazione (Minuti) |
|---------------|------------------------------------|---------------------------------|
| HVSR 1 | 08/03/2019 9:31 | 45 |
| HVSR 2 | 08/03/2019 12:17 | 45 |



Fig. 2.2 : Operazioni di acquisizione dati per misure HVSR





3. FINALITA' DELLA PROSPEZIONE

Le finalità della prospezione geofisica possono così essere sinteticamente riassunte:

- fornire elementi di supporto alla definizione del modello geologico dell'area;
- Fornire elementi utili alla definizione della geometria e gli spessori dei terreni ricadenti le aree di studio;
- definire le velocità sismiche (onde P e S) caratteristiche dei terreni di fondazione;
- definire la frequenza di risonanza dei terreni.

4. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA RILIEVI SISMICI

Il rilievo sismico di superficie è stato realizzato con a seguente strumentazione:

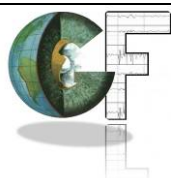
- Sismografo GEOMETRICS "GEODE" 24 ch- 24 bit
- Alimentazione: batteria a secco 12 V – 27 Ah
- P.C. portatile HP
- Cavo di collegamento con 24 prese intervallate di 5 m
- N 24 Geofoni Oyo-Geospace verticali con frequenza pari a 4,5 Hz
- N 24 Geofoni Oyo-Geospace orizzontali con frequenza pari a 14,0 Hz
- Mazza battente di 6,5 kg

Per l'esecuzione delle misure HVSR sono state utilizzate le seguenti strumentazioni:

| n° | Strumentazione Sismica per misure HVSR |
|----|---|
| 1 | Dispositivo di registrazione Dymas SOLGEO |
| 1 | Dispositivo di acquisizione sismometro triassiale VELOGET SEISMOMETER |



Fig.4.1: Strumentazione di acquisizione





5. ESECUZIONE DEI RILIEVI

Profilo sismico tomografico a rifrazione onde "P"

Lo scopo della prova consiste nel determinare il profilo di rigidità del sito attraverso la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di compressione (V_p), secondo fasi d'acquisizione differenti e determinare le geometrie sepolte (spessori e superfici di contatto) dei sismostrati individuati.

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, delle sollecitazioni dinamiche verticali per la generazione delle onde P e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate mediante sensori a componente verticale (geofoni). Di seguito si riporta lo schema dell'array sismico realizzato per la base da 24 geofoni utilizzati per lo svolgimento dell'indagine:

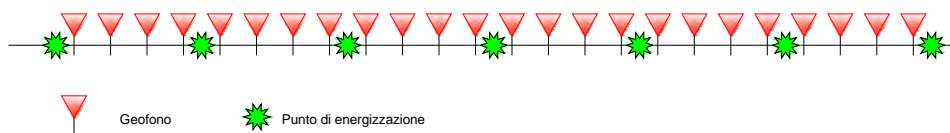


Fig. 5.1: Rappresentazione schematica di array sismico a rifrazione

Come sistema energizzante per la generazione delle onde P è stata adottata una massa battente in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza, con forme d'onda ripetibili, ovvero con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione.

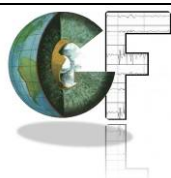
Riassumendo il profilo sismico a rifrazione eseguito presenta le seguenti caratteristiche:

- Numero geofoni: 24;
- Spaziatura dei geofoni: 5 metri;
- Frequenza geofoni: 4,5 Hz;
- Spaziatura dei tiri: 20 metri;
- Sorgente: massa battente

Profilo sismico tomografico a rifrazione onde "S_H"

Lo scopo della prova consiste nel determinare il profilo di rigidità del sito attraverso la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s), secondo fasi d'acquisizione differenti e determinare le geometrie sepolte (spessori e superfici di contatto) dei sismostrati individuati.

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, delle sollecitazioni dinamiche orizzontali per la generazione delle onde S_H e nel registrare le vibrazioni prodotte,





sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate mediante sensori a componente orizzontale (geofoni).

In riferimento all'indagine geofisica di sismica a rifrazione con onde polarizzate S_H sono state adottate le seguenti caratteristiche:

- Numero geofoni: 24;
- Frequenza geofoni: 14 Hz;
- spaziatura dei geofoni: 5 metri;
- spaziatura dei punti di scoppio: 20 metri;
- Sorgente: massa battente.

Per quanto riguarda la generazione di onde polarizzate S_H si è proceduto, viste le condizioni di accessibilità del sito, ad energizzare con la duplice battuta orizzontale ed è avvenuta secondo la procedura seguente:

- a) disposizione dei geofoni di tipo orizzontale lungo la linea, con il sensore (geofono) libero di vibrare lungo l'asse orizzontale ortogonale alla linea dello stendimento
- b) posizionamento del sistema energizzante (piastra metallica e mazza) in modo da energizzare nel senso ortogonale all'allineamento geofonico
- c) STACK1: energizzazione in un senso, definita convenzionalmente *battuta destra (dx)*, acquisita con polarità del sismografo *positiva*
- d) cambio di polarità sul sismografo, da positiva a negativa
- e) STACK2: energizzazione nel senso opposto al precedente (*battuta sinistra*)
- f) acquisizione del file generato dalla somma dello STACK1 + STACK2 - onde S_H polarizzate

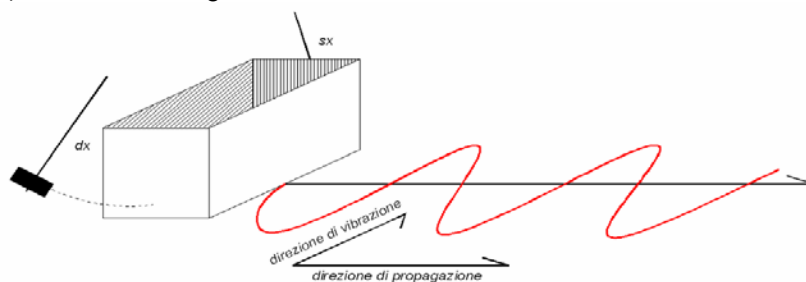
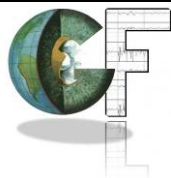


Fig. 5.2: Schema per la generazione di onde polarizzate S_H e schema di avanzamento del fronte d'onda

Misure HVSR - Horizontal to Vertical Spectral Ratios

Il tipo di misura rientra nel campo delle indagini a sismica passiva, per la registrazione del rumore sismico ambientale. La prova consiste nel posizionare la strumentazione composta da una terna sismica secondo le componenti cartesiane allineate con i riferimenti geografici, e in modo da eliminare eventuali disturbi prodotti da sorgenti esterne locali. (vento, radici, vegetazione,..). Successivamente viene realizzata la registrazione per un tempo relativamente lungo in modo da campionare eventi significativi alla ricostruzione di uno spettro di frequenze indicativo del sito di studio.





6. METODOLOGIE INTERPRETATIVE DELLE MISURE

Le indagini sismiche in sito hanno permesso di determinare direttamente la velocità di propagazione, all'interno del mezzo in esame, delle onde di compressione (onde "P") e delle onde di taglio (onde "S") ed indirettamente, utilizzando i valori delle velocità acquisite, alcune proprietà meccaniche delle litologie investigate.

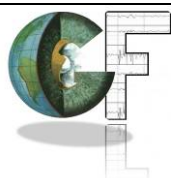
Nell'ambito degli studi geognostici delle litologie si è provveduto alla parametrizzazione dinamica dei terreni. Nello specifico sono state acquisite misure della velocità delle onde sismiche che hanno permesso di determinare la rigidità iniziale (G_0 o G_{max}), ossia la rigidità a livelli di deformazione molto bassi. Nell'indagine geofisica svolta tale parametrizzazione è stata ottenuta attraverso misure delle onde di compressione (P) e di taglio (S), mediante rilievi sismici di superficie.

Per quanto riguarda le principali proprietà dinamiche dei terreni, è opportuno ricordare che per sottosuoli naturali, a causa della rapidità delle azioni e del fatto che questi si trovano per gran parte sotto falda, ci si trova in condizioni di drenaggio impedito e pertanto il fenomeno sismico produce deformazioni volumetriche trascurabili, rispetto a quelle distorsionali. Per questo motivo appare giustificato ricondurre la modellazione meccanica di un fenomeno sismico all'analisi degli effetti prodotti da un insieme d'onde "S", che si propagano dal substrato alla superficie, con un campo di spostamenti del terreno in pratica orizzontale. Tale assunzione è oltretutto giustificata dal fatto che, da un punto di vista ingegneristico, il moto più verosimile ai fini della verifica sismica dei manufatti è quello orizzontale. In tal senso, a livelli di deformazione bassi, è assunta l'ipotesi che il terreno in esame presenti un comportamento tensione-deformazione di tipo elastico lineare (deformazioni inferiori a 10-3 %).

Le velocità delle onde P misurate per terreni perfettamente saturi ($S_r = 100\%$) dipendono talora in maniera decisiva dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale e perciò tali valori possono non essere rappresentativi delle proprietà meccaniche del materiale in questione secondo le relazioni matematiche espresse in precedenza; invece le velocità delle onde "S" e delle onde di superficie, sono caratteristiche delle vibrazioni trasmesse prevalentemente dal solo scheletro solido e perciò rappresentative delle proprietà meccaniche del terreno. Ne consegue che per alcuni terreni sotto falda, le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidità del terreno sono quelle di taglio e, subordinatamente, le onde di superficie.

Le onde elastiche si propagano nelle rocce con vari schemi e con diverse velocità. Secondo queste modalità le onde sismiche pertanto sono distinte in longitudinali, trasversali, superficiali (Stoneley, Love, Rayleigh, etc..).

Nelle varie applicazioni della sismica s'impiegano impulsi artificiali d'energizzazione che producono onde elastiche di diversi tipi; tra queste sono prese in esame solo le onde longitudinali o "prime" (P) e quelle trasversali o "seconde" (S).





Occorre ricordare che la componente dell'onda sismica compressionale (P) risulta più veloce dell'altra componente (S) e pertanto l'arrivo di queste onde di taglio deve essere ricercato all'interno del sismogramma registrato.

Le due onde, com'è noto, si differenziano per la diversa modalità di deformazione dei terreni durante la loro diffusione: la propagazione delle onde longitudinali avviene mediante compressioni e decompressioni delle rocce, mentre quella delle onde trasversali si basa sulla trasmissione di sforzi di taglio.

Nella prova sismica effettuata, i tempi di primo arrivo delle onde P ed S (Figura 6.1) sono stati letti e tabellati attraverso specifici programmi di picking che permettono di rimontare insieme le tracce relative alle varie profondità, per ciascun trasduttore, con precisione di lettura fino a 0,001 millisecondi

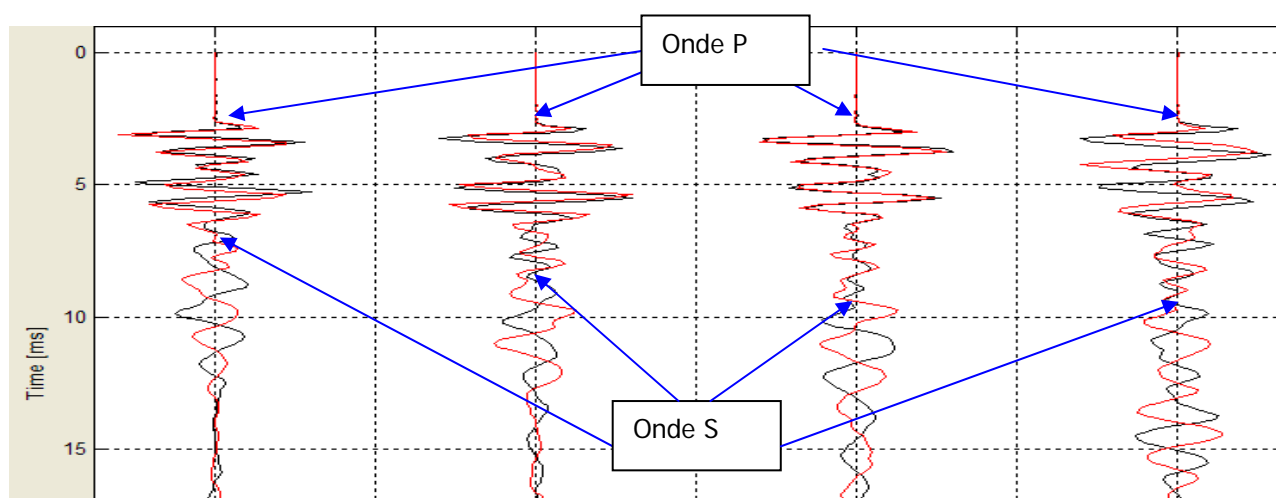


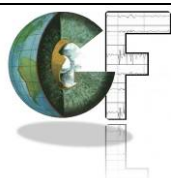
Fig. 6.1 : Sismogramma - Identificazione dei tempi onde P e onde S

I tempi di arrivo delle onde P e delle onde S misurate permettono in funzione della distanza, attraverso specifiche elaborazioni, di calcolare le velocità sismiche delle varie litologie incontrate alle diverse profondità.

Profilo sismico tomografico a rifrazione

La fase d'interpretazione dei dati acquisiti in campagna è stata preceduta dalla lettura dei tempi sismici registrati. Dai sismogrammi registrati con il rilievo sismico eseguito con le caratteristiche sopra citate si ricavano i tempi di "primo arrivo" dell'onda sismica. Tali tempi sono riportati nel grafico dromocrone presenti per ogni profilo sulle tavole allegate. I tempi d'arrivo delle onde "P" e successivamente delle onde "S_n" sono stati letti attraverso uno specifico programma di picking ed in seguito tabellati. Dopo, per mezzo dello specifico programma SeisOpt@Prov2.5, è stata eseguita un'interpretazione con metodologia tomografica dei profili sismici.

I tempi sismici delle onde P e delle onde S_n sono stati elaborati con metodologia tomografica che prevede la suddivisione dello spazio bidimensionale in celle quadrate o rettangolari secondo una maglia



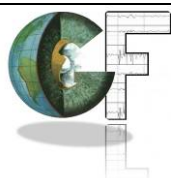


prefissata, con l'attribuzione ad ognuna di un determinato valore di velocità sismica. Nell'elaborazione il programma di calcolo determina il tempo di transito ipotizzando dei valori di velocità sismica per ogni cella, tale processo cessa quando si raggiunge la minore discordanza tra i tempi calcolati e i tempi sismici sperimentali misurati sui sismogrammi. Il modello sismico derivato da tale processo, detto inverso, permette di ottenere una sezione in due dimensioni che ci consente di poter effettuare una interpretazione per definire un assetto stratigrafico in base alla velocità sismica e al gradiente di velocità.

Una dettagliata descrizione dei fondamenti teorici della tomografia sismica è stata pubblicata da Nolet (1987). L'interpretazione dei dati, che viene sviluppata effettuando un'analisi di modellazione del sottosuolo su base anisotropia attraverso la suddivisione dello spazio in celle regolari, fornisce, previa elaborazione con tecniche di ricostruzione tomografica (ART, SIRT: Gilbert, 1972; Gordon, 1974; Miranda, 1989), il campo delle velocità sismiche del sottosuolo. Nel caso specifico per le sezioni tomografiche la scelta della dimensione delle celle (2,5 x 2,5 metri) è stata effettuata sulla base dei modelli interpretativi migliori. Per la determinazione di questi ultimi è stato utilizzato il metodo di inversione controllato "Monte Carlo" implementato su una modellazione avanzata, ove i modelli sono accettati o rifiutati basandosi su un criterio statistico. L'accuratezza del modello inverso è definita dallo scarto quadratico medio calcolato tra i tempi di primo arrivo sperimentali ed i calcolati. Per ogni cella investigata è stato calcolato un valore di velocità sismica e per renderne più immediata la comprensione, alle stesse celle è stato attribuito un colore secondo una scala con tonalità prefissate: da 200 a 2.500 m/s per le onde P e da 100 a 1.000 m/s per le onde S_H .

Analisi dei rapporti spettrali H/V

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. Le frequenze di risonanza corrispondono ai massimi della funzione che rappresenta rapporti spettrali medi in funzione della frequenza (funzione H/V). L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura. L'idea di base è quella secondo cui il rapporto H/V consente in media di eliminare il ruolo delle variazioni di intensità delle sorgenti nel corso della registrazione mettendo in evidenza il ruolo della struttura. Sperimentalmente si vede che, in presenza di un campo d'onde diffuso, la forma della funzione (e in particolare la posizione dei suoi valori massimi) risulta con buona approssimazione stabile nel tempo e fortemente correlata con le caratteristiche del sottosuolo al di sotto del sito di misura. In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza f_r relativa a quella configurazione strutturale (con f_r circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Si osserva anche una certa



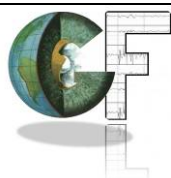


correlazione (fortemente non lineare) fra l'entità della variazione di velocità responsabile dei fenomeni di risonanza e l'ampiezza del massimo della funzione H/V (maggiore è il contrasto di impedenza sismica, maggiore è l'entità del massimo).

La struttura del campo d'onde presente nel terreno (rumore sismico ambientale, microtremore, rumore sismico o seismic noise) è condizionata dalle caratteristiche delle sorgenti che lo determinano (siano esse naturali o antropiche) e dalle proprietà meccaniche dei terreni. Infatti, ciascuna sorgente genera un treno d'onde che raggiunge il punto di misura con caratteristiche che dipendono dall'entità delle sollecitazioni nelle componenti orizzontali e verticali del moto e dalle modalità di propagazione fra la sorgente e il sito in funzione dei fenomeni di riflessione, rifrazione e diffrazione che hanno luogo in corrispondenza di variazioni delle proprietà meccaniche dei terreni nel sottosuolo. In genere, nel campo di rumore ambientale, saranno presenti sia onde di volume (P e S in quantità variabili) che onde superficiali (Love e Rayleigh).

Se si considera un intervallo di tempo opportunamente lungo (dell'ordine delle decine di minuti), le proprietà medie di un campo d'onde sismiche generato da una molteplicità di sorgenti differenti, distribuite casualmente attorno a un punto di misura, tendono ad avere un andamento che non dipende dalle singole sorgenti che hanno generato il campo, ma solo dalle proprietà del mezzo in cui le onde si propagano e dal livello energetico medio dell'attività antropica o naturale. In particolare, si può immaginare che, in media, le componenti orizzontali e verticali del moto del suolo tendano a essere sollecitate in modo equivalente, con un'ampiezza media pari al livello medio del rumore in quell'intervallo temporale. In questa ipotesi, i rapporti fra le ampiezze verticali e orizzontali del moto (H/V) saranno statisticamente indipendenti dalle caratteristiche delle sorgenti (dato che le ampiezze delle sollecitazioni sul piano orizzontale e verticale sono mediamente le stesse) e saranno condizionate dai soli effetti di propagazione ovvero dalle caratteristiche del mezzo interessato dal moto sismico. Queste ultime influenzeranno l'ampiezza relativa delle diverse fasi sismiche (onde P, S, Rayleigh e Love) e le direzioni di emergenza delle onde al punto di misura.

Si può dimostrare che la frequenza di risonanza v_0 di una copertura sedimentaria di spessore H sovrapposta a un basamento rigido e in condizioni di stratificazione piana è data dal rapporto fra la velocità media delle onde S nel sedimento (V_s) e 4 volte lo spessore H ($v_0 = V_s/4H$). Utilizzando questa relazione è possibile risalire dalla frequenza di risonanza misurata allo spessore della copertura una volta nota la velocità delle onde di taglio o, viceversa a questa ultima se lo spessore H è noto. Studi teorici mostrano che se il rumore è effettivamente dominato da onde di volume emergenti da direzioni sub-verticali, l'andamento e l'ampiezza della funzione H/V riflettono quelle della funzione di risposta del deposito sedimentario analizzato. In caso contrario si vede che l'ampiezza dei massimi della funzione H/V è correlata (ma non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica presente alla base della copertura. L'assenza di massimi della funzione H/V suggerisce l'assenza di fenomeni di amplificazione sismica dovuti a fenomeni di risonanza.



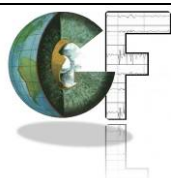


La misura della funzione H/V è stata effettuata tramite l'acquisizione del rumore sismico ambientale per ogni punto per un tempo di quaranta minuti. Questa durata ha lo scopo di garantire la misura del campo di rumore generato da una molteplicità di sorgenti dalle diverse direzioni dello spazio. La misura è stata effettuata utilizzando un sistema di acquisizione tri-direzionale caratterizzato da sufficiente sensibilità. I risultati di ogni analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software NAKAS, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, la serie di rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 10 secondi) per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto. Su ciascuna di queste finestre viene calcolato lo spettro di ampiezza del segnale nelle tre componenti. In questa fase è stato applicato un sistema di lisciamento (smoothing) adottato per la determinazione dello spettro. Dopo un opportuno lisciamento, le ordinate spettrali del moto sul piano orizzontale, ottenute mediando opportunamente i valori ottenuti nelle due direzioni principali, sono state divise per quelle ottenute nella direzione verticale. L'andamento dei rapporti spettrali è stato quindi ottenuto mediando i valori ottenuti per le diverse finestre temporali considerate. Per definire la qualità delle misure sono state anche valutate le variazioni temporali e azimutali dei rapporti spettrali nel corso della sessione di misura e fatta una stima del relativo intervallo di confidenza.

Di seguito sarà brevemente descritta la procedura di analisi seguita:

- Ciascuna delle tracce è suddivisa in segmenti o finestre di 10 secondi.
- In ogni finestra e per ciascuna delle tracce viene eseguita:
 - un'analisi preliminare: eliminazione di trend lineari (detrend) e tapering delle estremità.
 - la trasformata di Fourier (FFT)
 - il lisciamento degli spettri con finestra triangolare.
- Le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali vengono mediate in modo geometrico, e vengono calcolati i rapporti HVSR (f), in ciascuna finestra temporale.
- Si calcolano i rapporti HVSR medi ed il relativo intervallo di confidenza al 95%. Alla frequenza di risonanza viene associata una stima dell'incertezza sperimentale.

Lo spettro relativo alla componente orizzontale viene ottenuto effettuando la media (solitamente geometrica) delle due componenti spettrali del rumore sul piano orizzontale. La combinazione delle stime ottenute nelle diverse finestre temporali viene poi utilizzata per costruire la funzione H/V finale e stimare il relativo intervallo di confidenza. In particolare, la funzione H/V è ottenuta facendo la media dei valori delle funzioni H/V calcolate in ogni finestra temporale. Per verificare se le misure sono state effettuate in condizioni ottimali per i fini geognostici (campo d'onde diffuso), oltre alla stima della curva H/V, risulta quindi utile valutare l'eventuale presenza di fenomeni direzionali (eterogeneità del campo di rumore) e la stabilità nel tempo della funzione H/V durante la misura (stazionarietà). In presenza di un campo di rumore





diffuso il valore della funzione H/V non deve cambiare nel tempo o al variare della direzione. Al contrario, la presenza di sorgenti dominanti o il cattivo posizionamento dello strumento (basculamento) si manifesta come una variazione direzionale e/o temporale dei rapporti H/V.

Sperimentalmente, l'analisi di qualità della misura può essere effettuata confrontando le ampiezze spettrali medie del rumore misurato lungo le due componenti orizzontali, oppure calcolare diversi valori della funzione H/V di volta in volta proiettando lungo direzioni differenti le ampiezze spettrali ottenute sul piano orizzontale (Figura 6.2). La stazionarietà nel tempo, invece, può essere valutata rappresentando in funzione del tempo le funzioni H/V ottenute nelle diverse finestre temporali considerate.

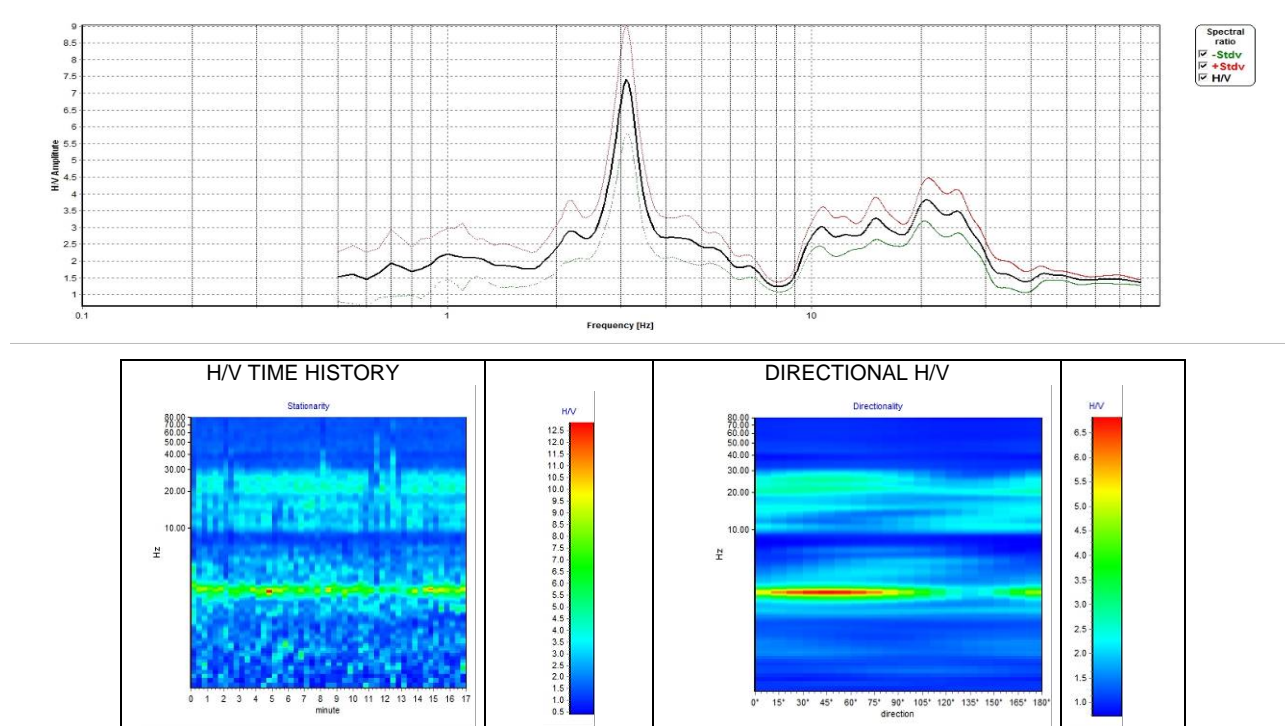
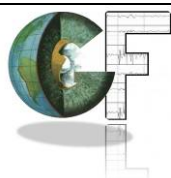


Figura 6.2: Esempio di risultati delle analisi di rumore sismico relative a una corretta misura H/V. In alto sono riportati i valori del rapporto spettrale H/V in funzione della frequenza con il relativo intervallo di confidenza al 95%. Sono anche indicati i valori delle frequenze corrispondenti ai massimi della funzione H/V. In basso a sinistra è riportato l'andamento nel tempo (ascissa) dei valori H/V (colori) in funzione della frequenza (ordinata): il grafico ha lo scopo di valutare la stabilità nel tempo della curva H/V. In basso a destra sono invece riportati i valori della funzione H/V (colore) in funzione della frequenza (in ordinata) al variare della direzione del segnale (ascissa): il grafico serve a valutare la direzionalità del segnale registrato.

Ai fini dell'affidabilità e della chiarezza del massimo della funzione H/V, infine è stata effettuata una analisi secondo i criteri determinati nell'ambito del progetto europeo SESAME per l'eliminazione di massimi spuri della funzione H/V, la cui presenza è frutto delle caratteristiche del campo d'onde sismiche e non della struttura locale del sottosuolo. Infine, un buon indicatore della qualità del picco H/V può essere ottenuto dall'esame degli spettri singoli. Infatti, massimi fisicamente significativi sono generalmente associati a valori di ampiezza spettrale minima sulla componente verticale.





7. ANALISI DEI RISULTATI GEOFISICI

Rilievo sismico tomografico a rifrazione

Il rilievo di superficie sviluppato con sismica a rifrazione elaborato con metodologia tomografica è stato acquisito sia con onde P che con onde S_H

Dall'analisi della sezione sismica tomografica (tavola allegata), possiamo asserire che il modello stratigrafico può essere sintetizzato secondo una successione rappresentata da 3 orizzonti sismici, definibili in funzione della velocità e del gradiente di velocità sismica disposti nella seguente successione sismostratigrafica:

Sismostrato A: strato superficiale caratterizzato da velocità sismica inferiore a 1200 m/s per le onde P e inferiore a 400 m/s per le onde S, associabile a terreni superficiali. Tale livello si sviluppa con spessore generalmente non superiore a 8 metri.

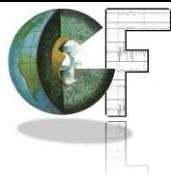
Sismostrato B: strato caratterizzato da velocità sismica compresa fra 1200 m/s e 2.400 m/s per le onde P e tra 400 e 900 m/s per le onde S, questo sismostrato è riconducibile a terreni compatti.

Sismostrato C: strato caratterizzato da velocità superiore a 2.400 m/s per le onde P e superiore 900 m/s per le onde S; questo livello è riconducibile a terreni molto compatti.

In riferimento alla velocità sismica delle onde di taglio (onde S) e per il calcolo del V_{seq} per la definizione della categoria di sito, il modello ha reso evidente la seguente successione sismostratigrafica:

| Profondità da P.C (m) | | Velocità Onde S (m/s) |
|--------------------------|------|--------------------------|
| 0 | 2,6 | 200 |
| 2,6 | 6,7 | 300 |
| 6,7 | 8,9 | 400 |
| 8,9 | 10,2 | 500 |
| 10,2 | 11,5 | 600 |
| 11,5 | 12,7 | 700 |
| 12,7 | 14,2 | 800 |
| 14,2 | 26,5 | 900 |
| 26,5 | 35,0 | 950 |

La successione sismica permette di calcolare il V_{seq} al piano campagna pari a 329 m/s che in riferimento alla normativa (NTC2018) determina una categoria di suolo di tipo **C**: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*





ANALISI DEI RAPPORTI SPETTRALI - HVSR

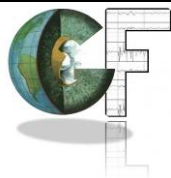
L'indagine sismica sviluppata con misure HVSR ha permesso di definire la frequenza caratteristica di sito.

| Misura HVSR | Frequenza di picco (Hz) | Rapporto H/V |
|-------------|----------------------------|--------------|
| n | | |
| 1 | 7,83 | 5,46 |
| 2 | 8,81 | 3,84 |

Dall'analisi delle misure HVSR si rileva la presenza di un picco nel rapporto tra gli spettri orizzontali e verticali mediamente in corrispondenza della frequenza di 8 Hz (che indica indice di un contrasto di impedenza superficiale) con rapporto di amplificazione medio 4,6.

Siena, Marzo 2019

IL TECNICO
Dr. Geol. Filippo GIORGI



H/V Spectral ratio

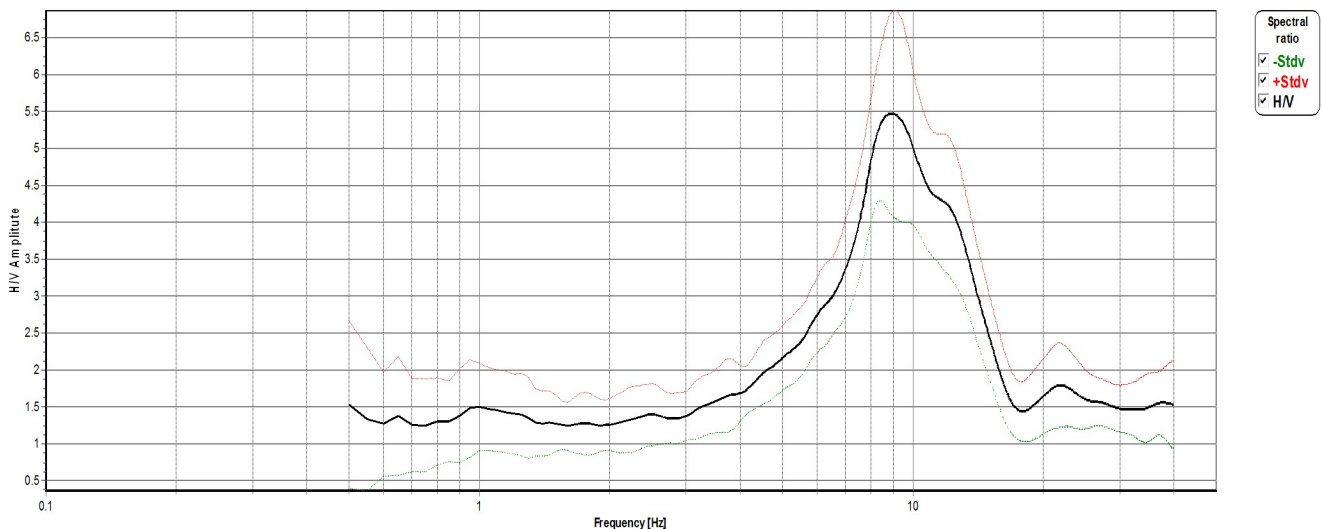
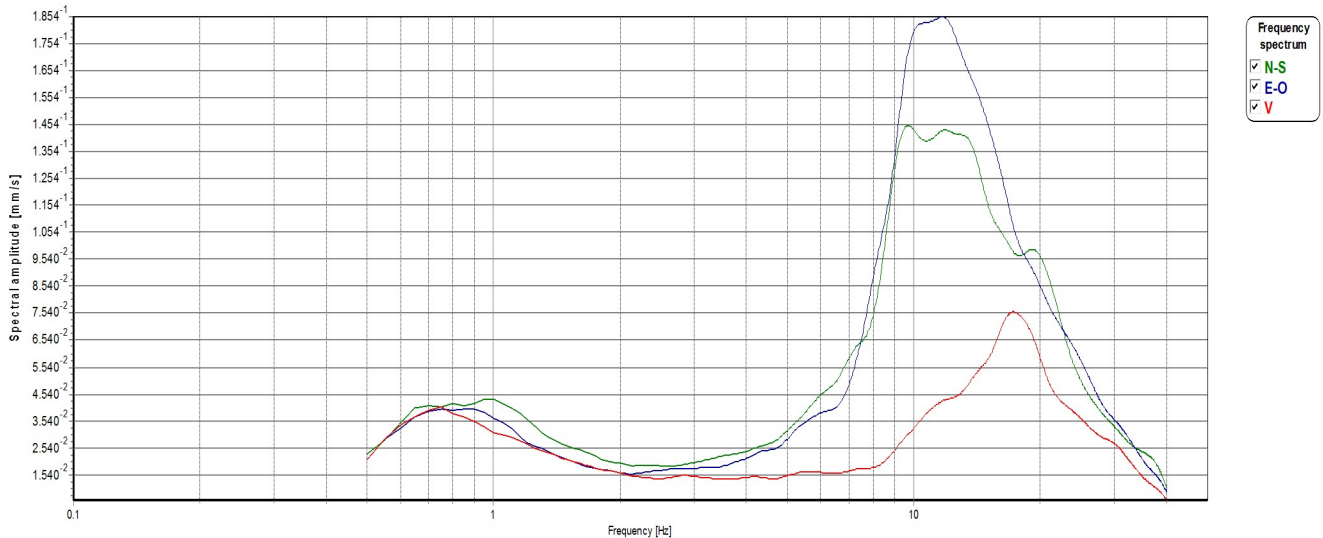
Analysis site: **Sieci**

Measure point: **1**

Note:

| Analysis parameters | | | |
|--------------------------|---------------|---------------------------|----------------------------|
| Sample frequency [Hz]: | 200.00 | Start recordings: | 08/03/2019 09:31:26 |
| Automatic spike removal: | No | Stop recordings: | 08/03/2019 10:16:26 |
| LTA [s]: | 5.0 | High pass frequency [Hz]: | 0.50 |
| STA [s]: | 0.5 | Low pass frequency [Hz]: | 40.00 |
| Ratio: | 1.9 | Nw number of windows: | 99 |
| Lw Windows [s]: | 20 | Recording length [s]: | 2700 |
| Overlap Windows s]: | 0.0 | Discarded windows: | 36 |
| Konno-Ohmachi parameter: | 40 | | |

| Analysis results | | | |
|--------------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| H/V peak frequency f_0 [Hz]: | 8.812 | Standard deviation [Hz]: | 1.401 |



H/V Spectral ratio

Analysis site: **Sieci**

Measure point: **1**

| Criteria for a reliable H/V curve | | |
|---|--|------------|
| $f_0 > 10/Lw$ | 8.81 \geq 0.50 | Yes |
| $Nc(f_0) > 200$ | 17447.00 \geq 200.00 | Yes |
| $sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ | exceeded 0 out of 264 | Yes |
| Criteria for a clear H/V peak | | |
| Exists f in $[f_0/4, f_0]$ where $A(f) < A_0/2$ | 2.250 | Yes |
| Exists f in $[f_0, 4f_0]$ where $A(f) < A_0/2$ | 14.550 | Yes |
| $A_0 > 2$ | 5.46 $>$ 2.00 | Yes |
| Criteria for a stable H/V peak | | |
| $F_{peak}[A(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm \%$ | 4.67% $<$ 5.00% | Yes |
| $sf < e(f_0)$ | 1.4014 $>$ 0.4406 | No |
| $sA(f_0) < ?(f_0)$ | 1.3173 $<$ 1.5800 | Yes |

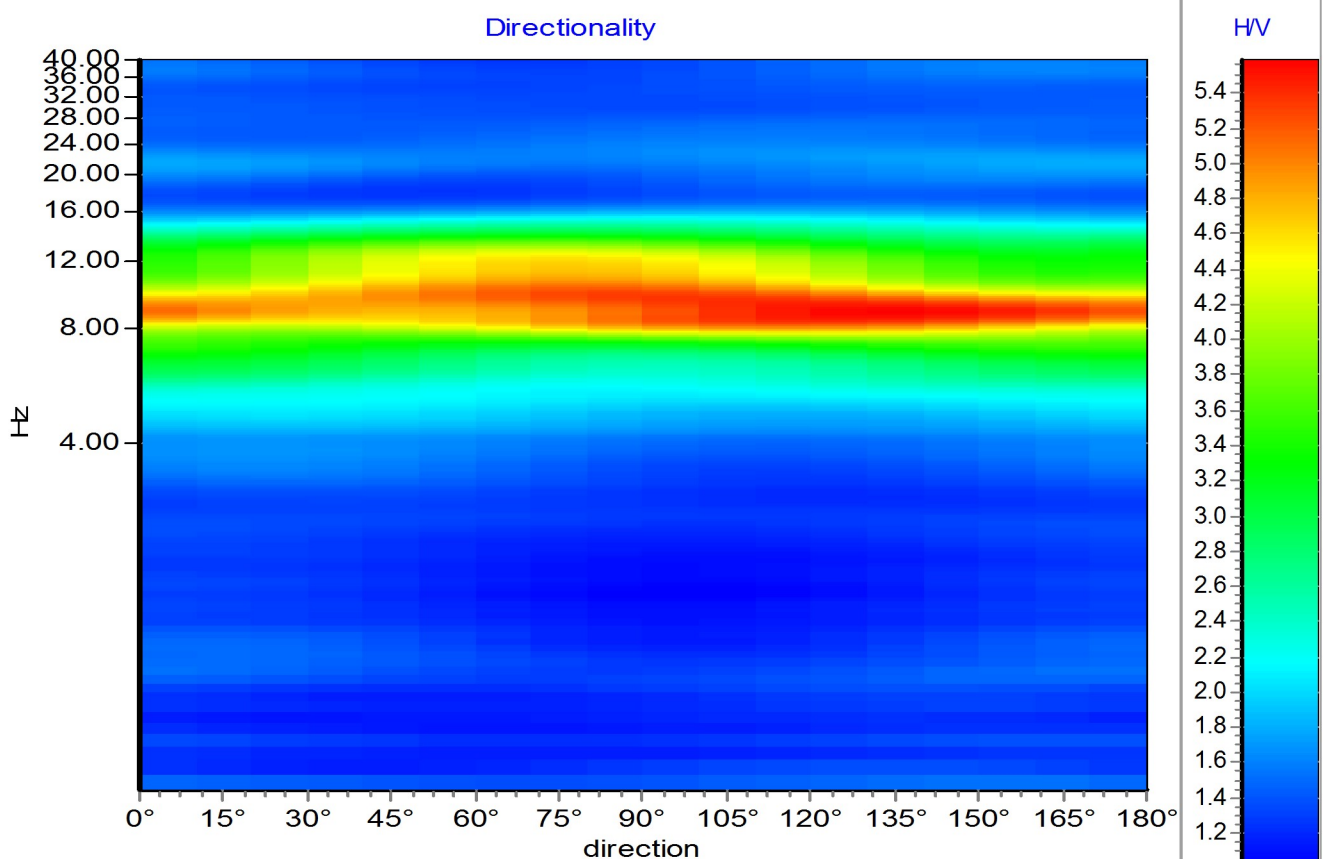
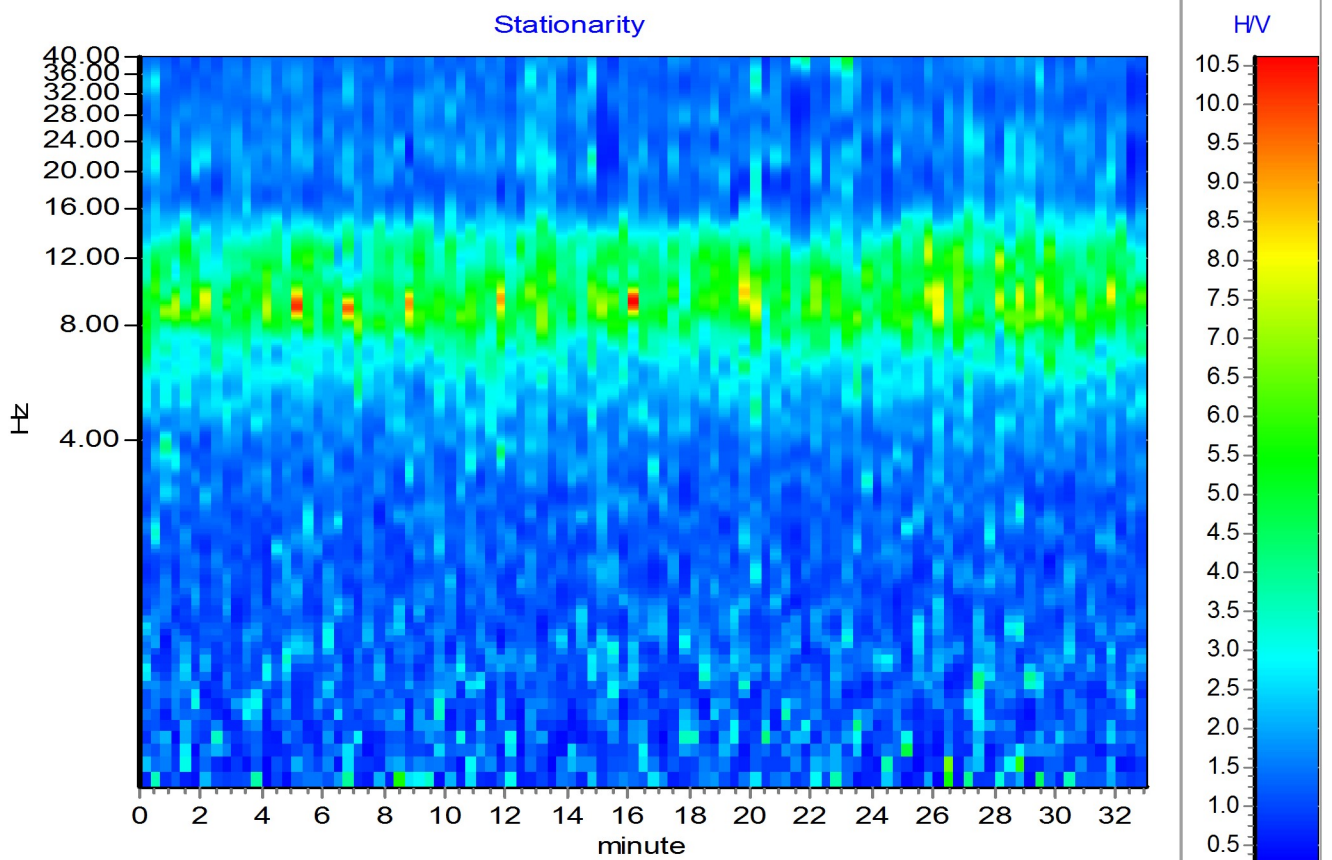
| | |
|---|--|
| Lw | window length |
| Nw | number of windows used in the analysis |
| f | current frequency |
| f_0 | H/V peak frequency |
| sf | standard deviation of H/V peak frequency |
| $Nc = f_0 \times Lw \times Nw$ | number of significant cycles |
| AH/V(f) | H/V curve amplitude at frequency f |
| A_0 | H/V peak amplitude at frequency f_0 |
| sA(f) | standard deviation of AH/V(f) |
| $sA(f_0)$ | standard deviation of AH/V(f) at f_0 frequency |
| $e(f_0)$ | threshold value for the stability condition $sf < e(f_0)$ |
| $?(f_0)$ | threshold value for the stability condition $sA(f_0) < ?(f_0)$ |
| $F_{peak}[A(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm \%$ | maximum deviation from the f_0 peak, expressed as a percentage |

| Threshold values for sf and $sA(f_0)$ | | | | | |
|---------------------------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| f_0 frequency range [Hz] | < 0.2 | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0 | 1.0 – 2.0 | > 2.0 |
| $e(f_0)$ [Hz] | 0.25 f_0 | 0.2 f_0 | 0.15 f_0 | 0.1 f_0 | 0.05 f_0 |
| $?(f_0)$ for $sA(f_0)$ | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.78 | 1.58 |

H/V Spectral ratio

Analysis site: **Sieci**

Measure point: **1**



H/V Spectral ratio

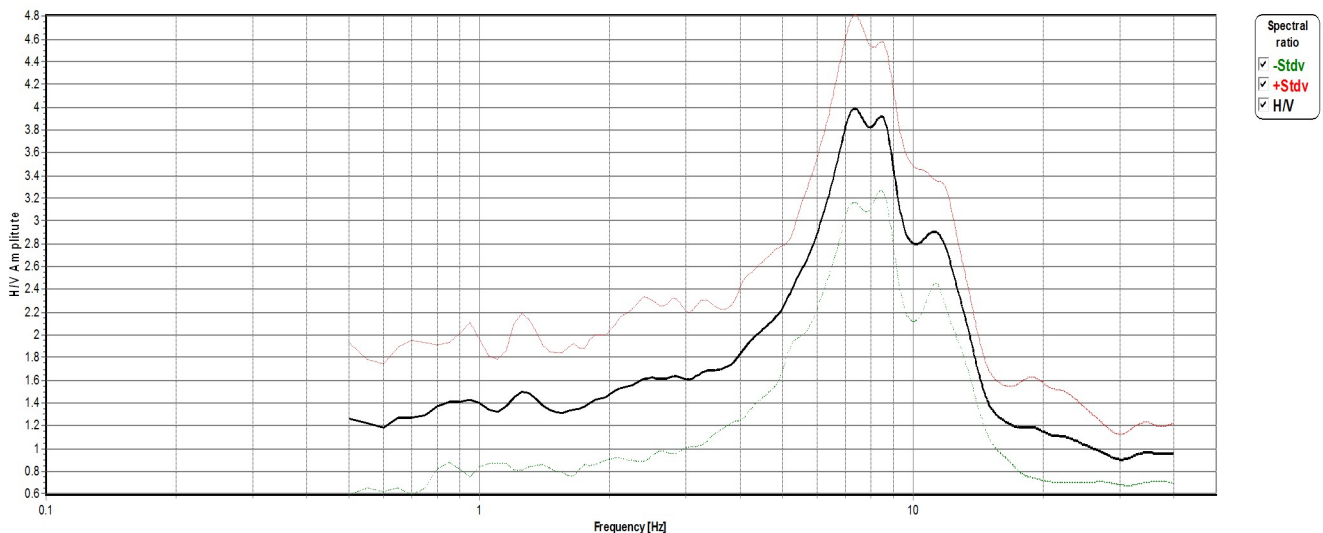
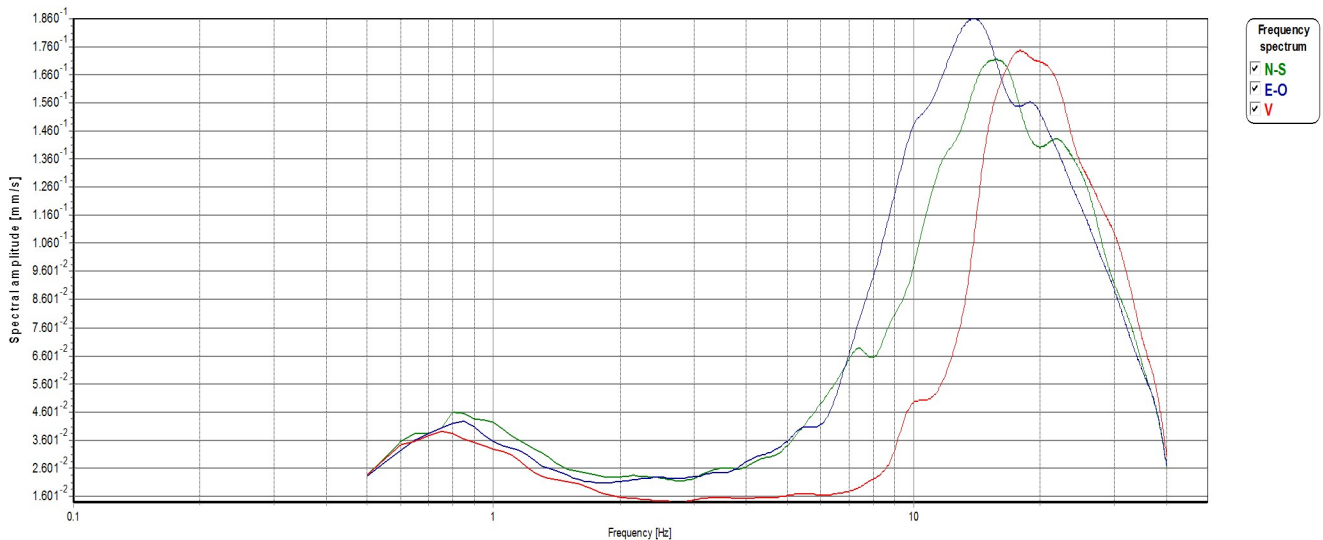
Analysis site: **Sieci**

Measure point: **2**

Note:

| Analysis parameters | | | |
|--------------------------|---------------|---------------------------|----------------------------|
| Sample frequency [Hz]: | 200.00 | Start recordings: | 08/03/2019 12:17:12 |
| Automatic spike removal: | No | Stop recordings: | 08/03/2019 13:02:12 |
| LTA [s]: | 5.0 | High pass frequency [Hz]: | 0.50 |
| STA [s]: | 0.5 | Low pass frequency [Hz]: | 40.00 |
| Ratio: | 1.9 | Nw number of windows: | 96 |
| Lw Windows [s]: | 20 | Recording length [s]: | 2700 |
| Overlap Windows s]: | 0.0 | Discarded windows: | 39 |
| Konno-Ohmachi parameter: | 40 | | |

| Analysis results | | | |
|--------------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| H/V peak frequency f_0 [Hz]: | 7.831 | Standard deviation [Hz]: | 0.693 |



H/V Spectral ratio

Analysis site: **Sieci**

Measure point: **2**

| Criteria for a reliable H/V curve | | |
|---|--|------------|
| $f_0 > 10/Lw$ | 7.83 \geq 0.50 | Yes |
| $Nc(f_0) > 200$ | 15036.00 \geq 200.00 | Yes |
| $sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ | exceeded 0 out of 235 | Yes |
| Criteria for a clear H/V peak | | |
| Exists f in $[f_0/4, f_0]$ where $A(f) < A_0/2$ | 2.000 | Yes |
| Exists f in $[f_0, 4f_0]$ where $A(f) < A_0/2$ | 13.700 | Yes |
| $A_0 > 2$ | 3.84 $>$ 2.00 | Yes |
| Criteria for a stable H/V peak | | |
| $F_{peak}[A(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm \%$ | 7.90% $>$ 5.00% | No |
| $sf < e(f_0)$ | 0.6929 $>$ 0.3916 | No |
| $sA(f_0) < ?(f_0)$ | 0.7491 $<$ 1.5800 | Yes |

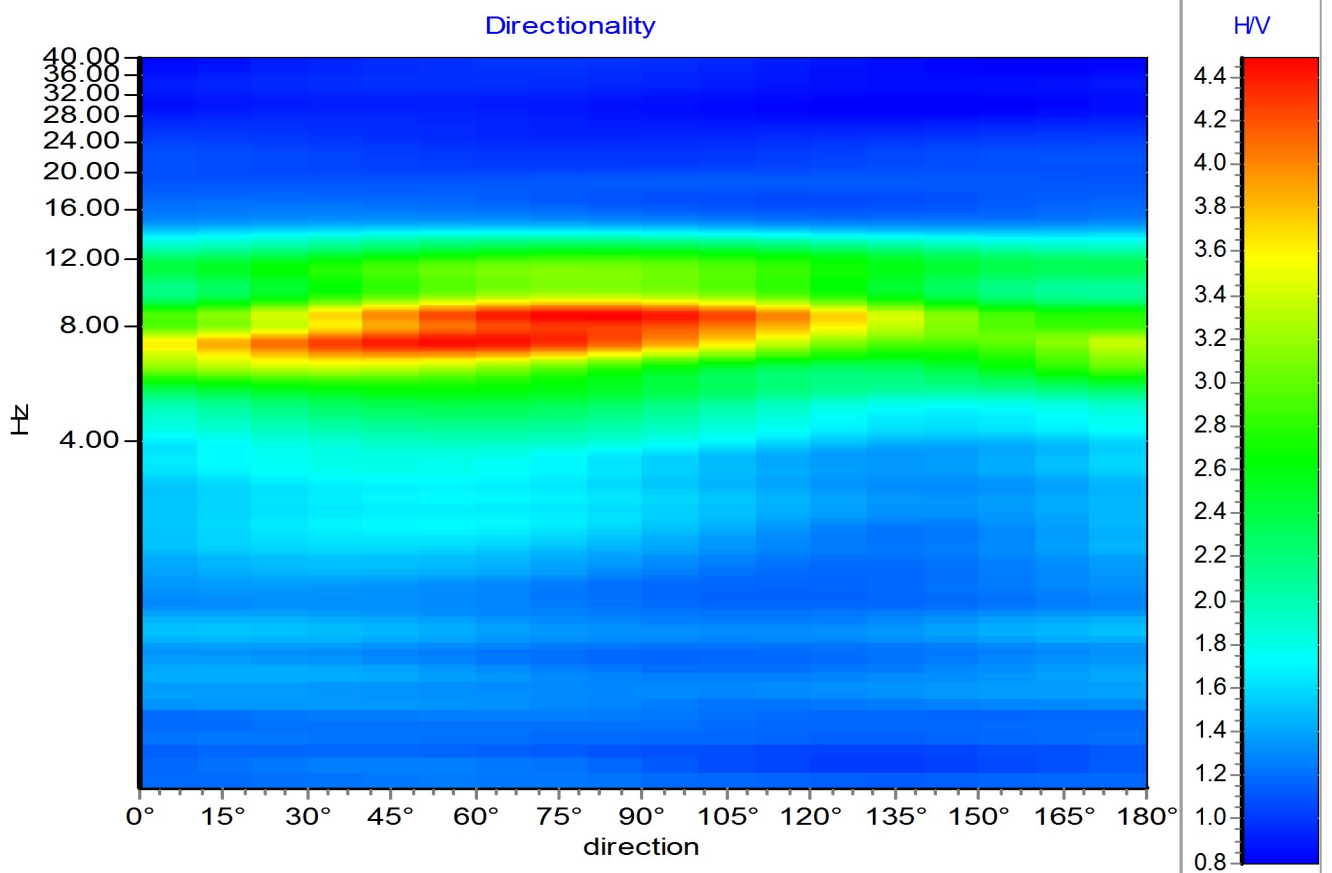
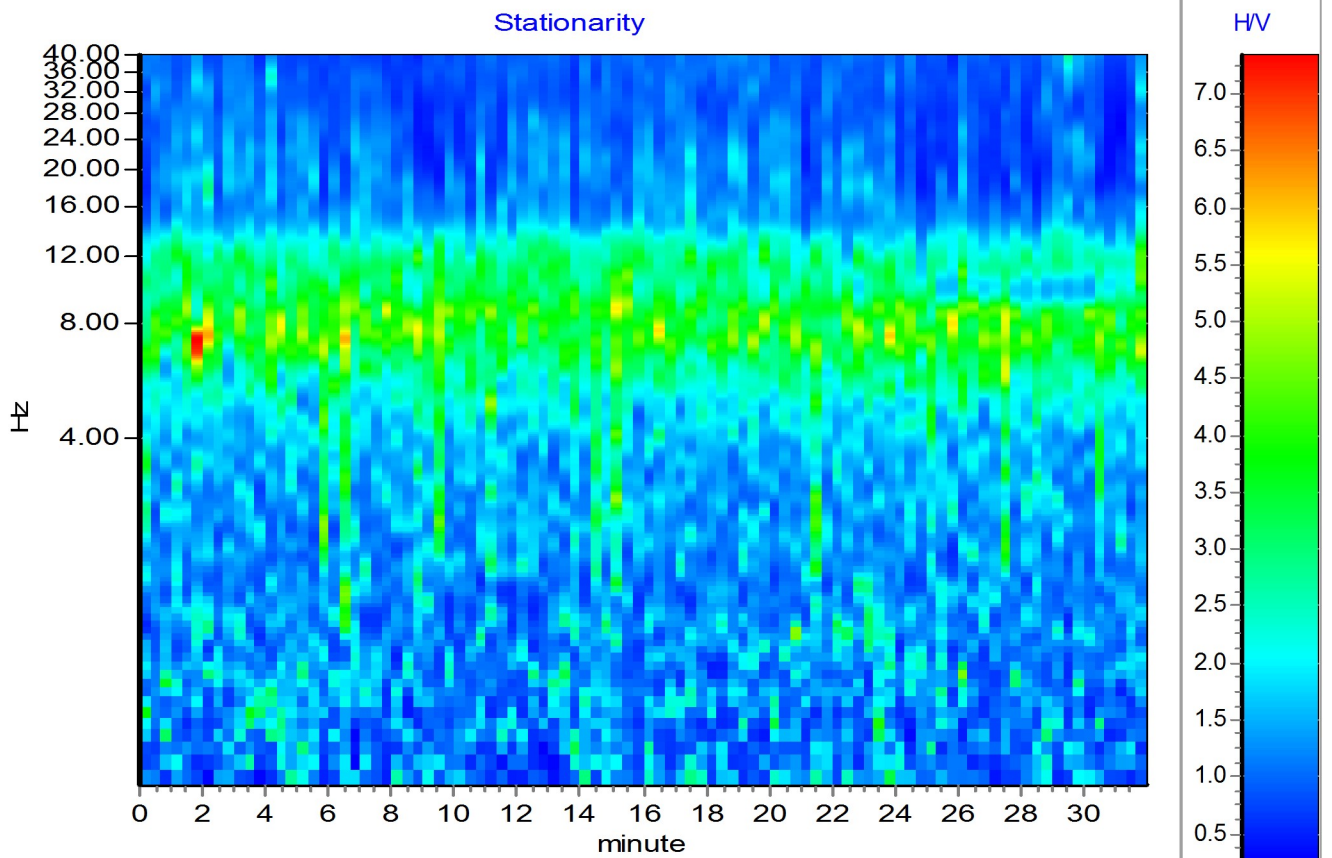
| | |
|---|--|
| Lw | window length |
| Nw | number of windows used in the analysis |
| f | current frequency |
| f_0 | H/V peak frequency |
| sf | standard deviation of H/V peak frequency |
| $Nc = f_0 \times Lw \times Nw$ | number of significant cycles |
| AH/V(f) | H/V curve amplitude at frequency f |
| A_0 | H/V peak amplitude at frequency f_0 |
| sA(f) | standard deviation of AH/V(f) |
| $sA(f_0)$ | standard deviation of AH/V(f) at f_0 frequency |
| $e(f_0)$ | threshold value for the stability condition $sf < e(f_0)$ |
| $?(f_0)$ | threshold value for the stability condition $sA(f_0) < ?(f_0)$ |
| $F_{peak}[A(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm \%$ | maximum deviation from the f_0 peak, expressed as a percentage |

| Threshold values for sf and $sA(f_0)$ | | | | | |
|---------------------------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| f_0 frequency range [Hz] | < 0.2 | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0 | 1.0 – 2.0 | > 2.0 |
| $e(f_0)$ [Hz] | 0.25 f_0 | 0.2 f_0 | 0.15 f_0 | 0.1 f_0 | 0.05 f_0 |
| $?(f_0)$ for $sA(f_0)$ | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.78 | 1.58 |

H/V Spectral ratio

Analysis site: **Sieci**

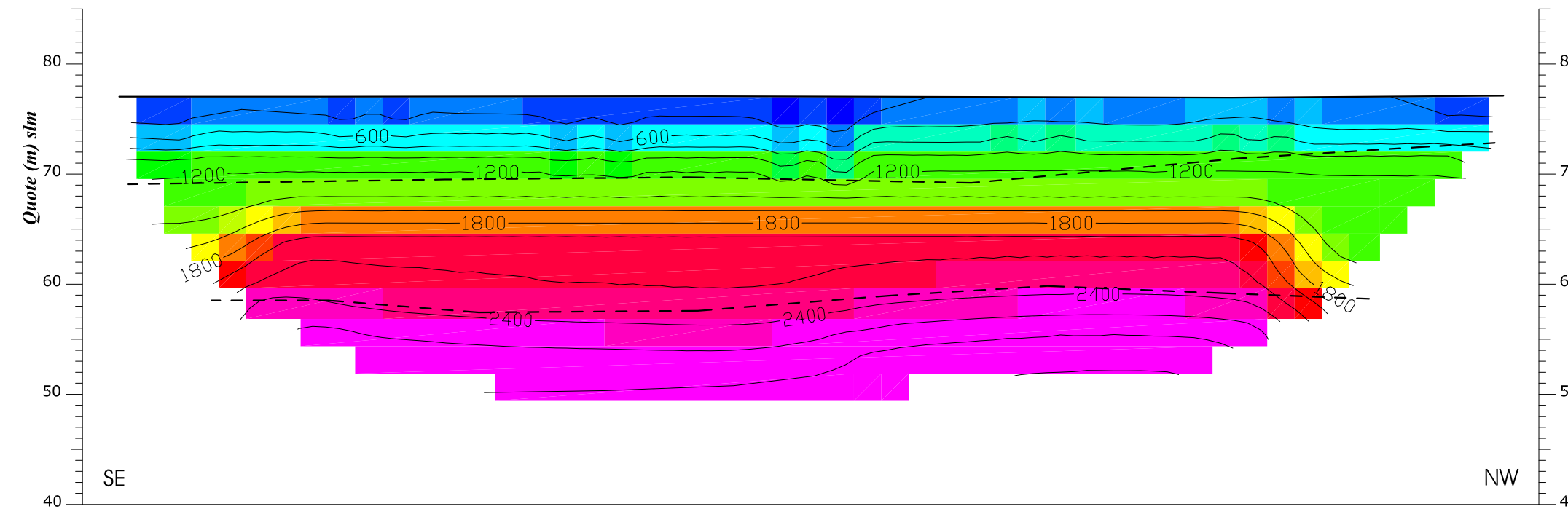
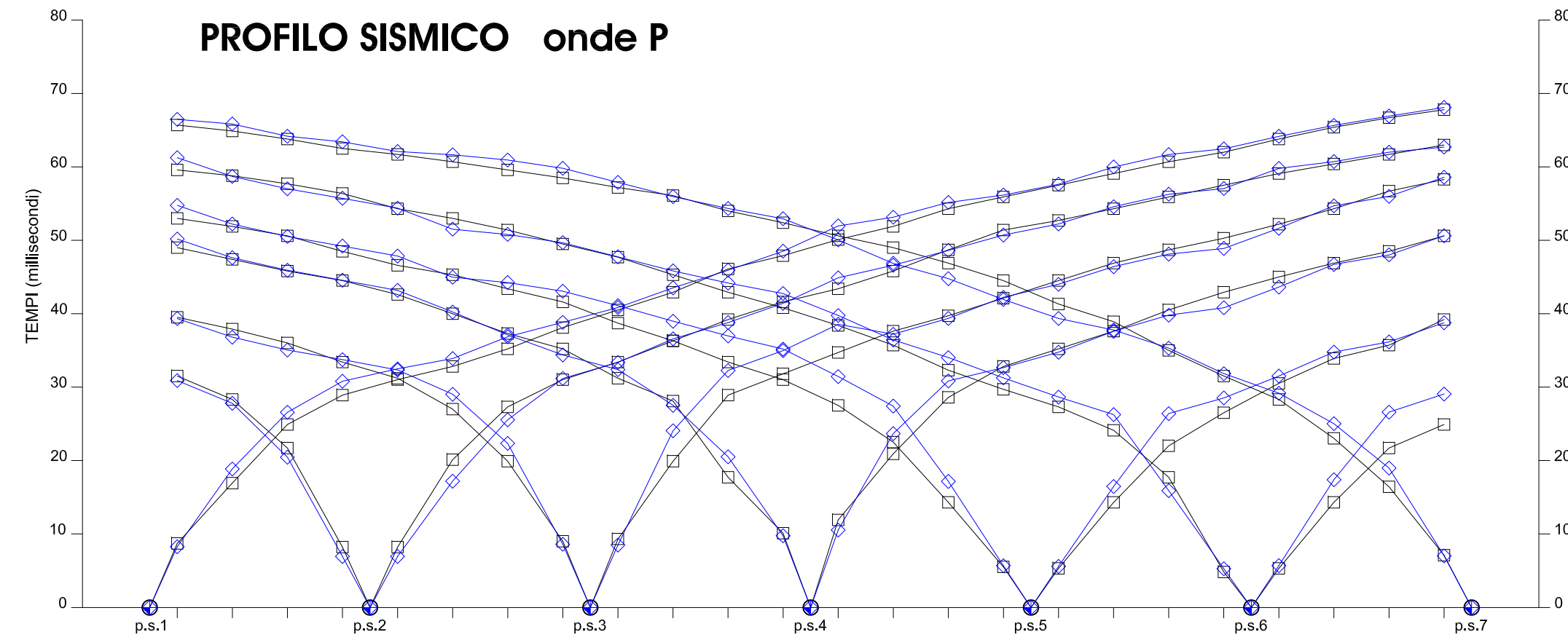
Measure point: **2**



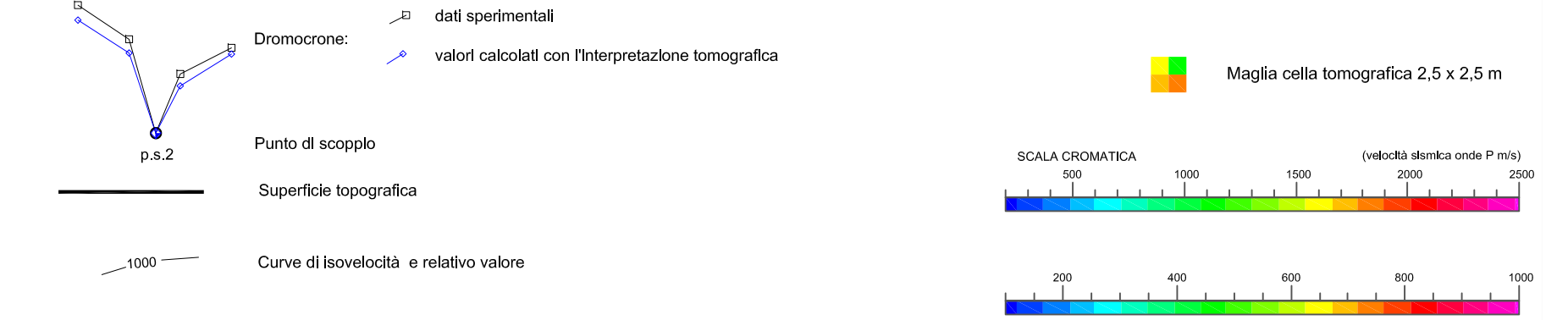
PLANIMETRIA GENERALE scala 1:10.000



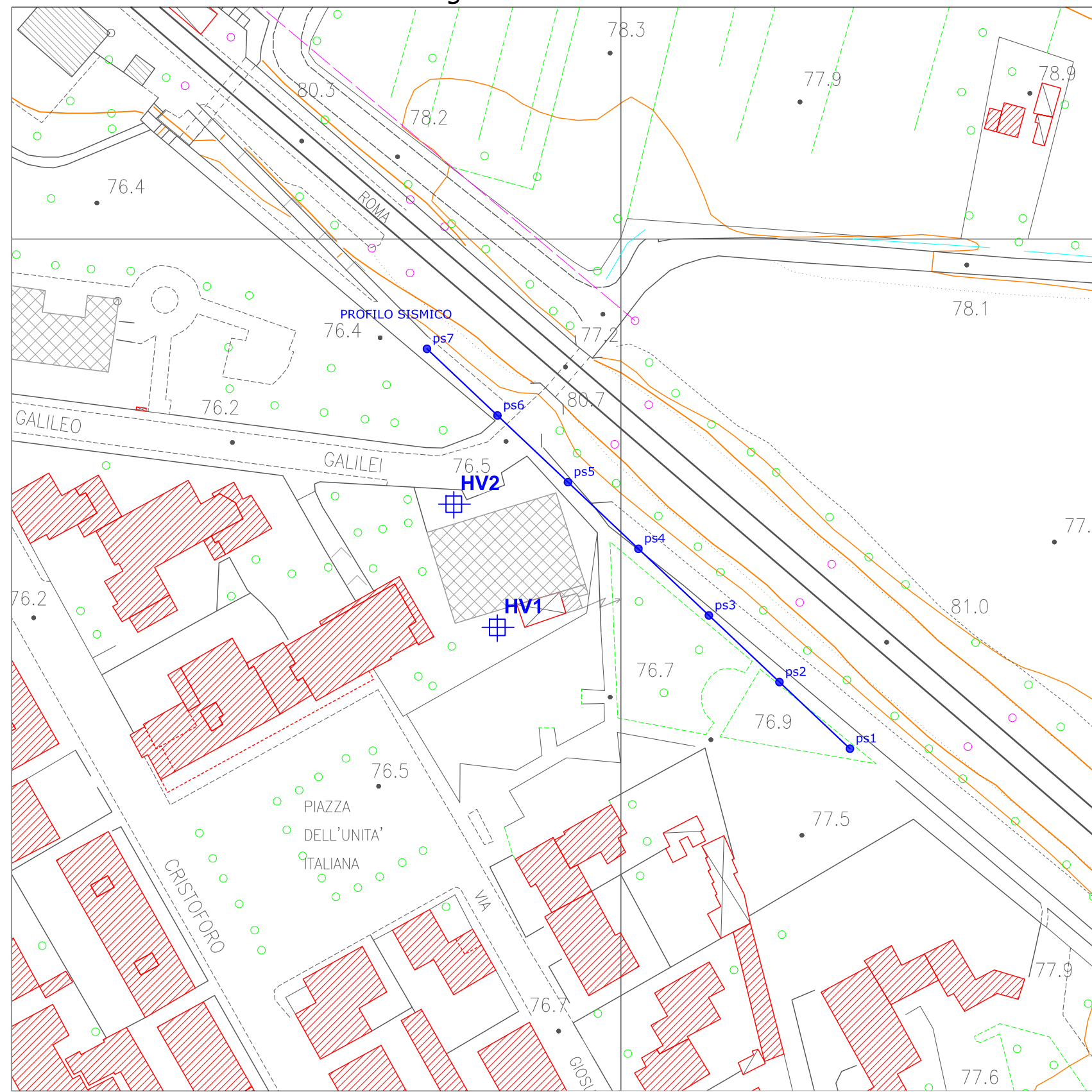
PROFILO SISMICO onde P



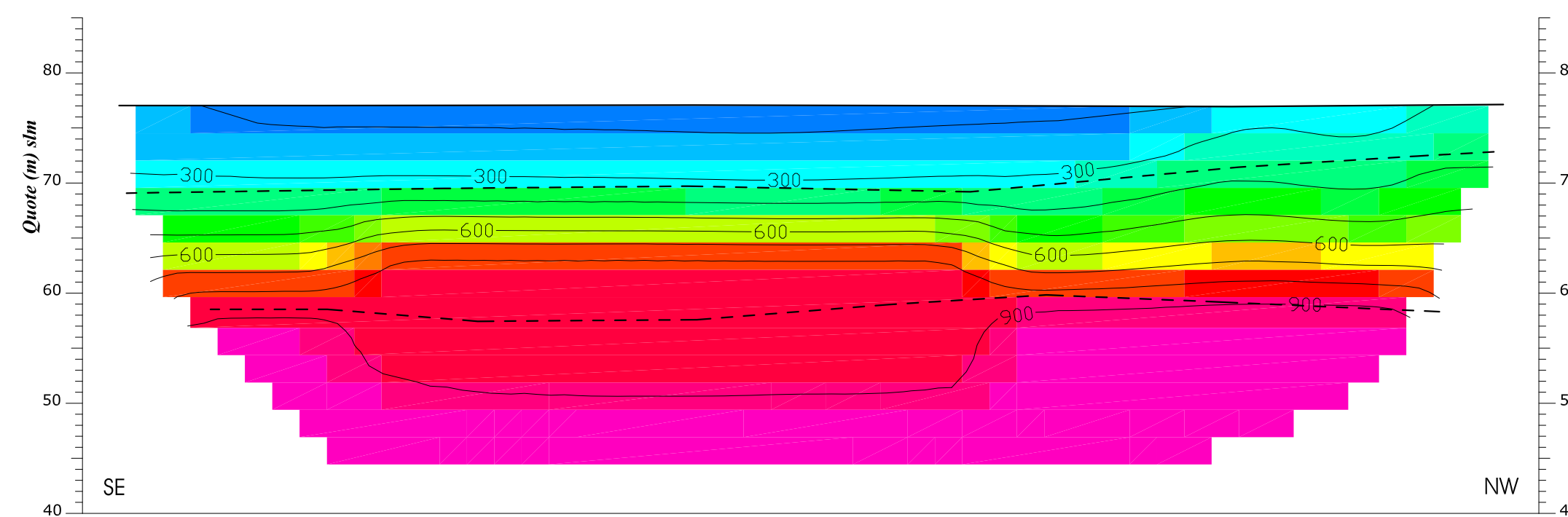
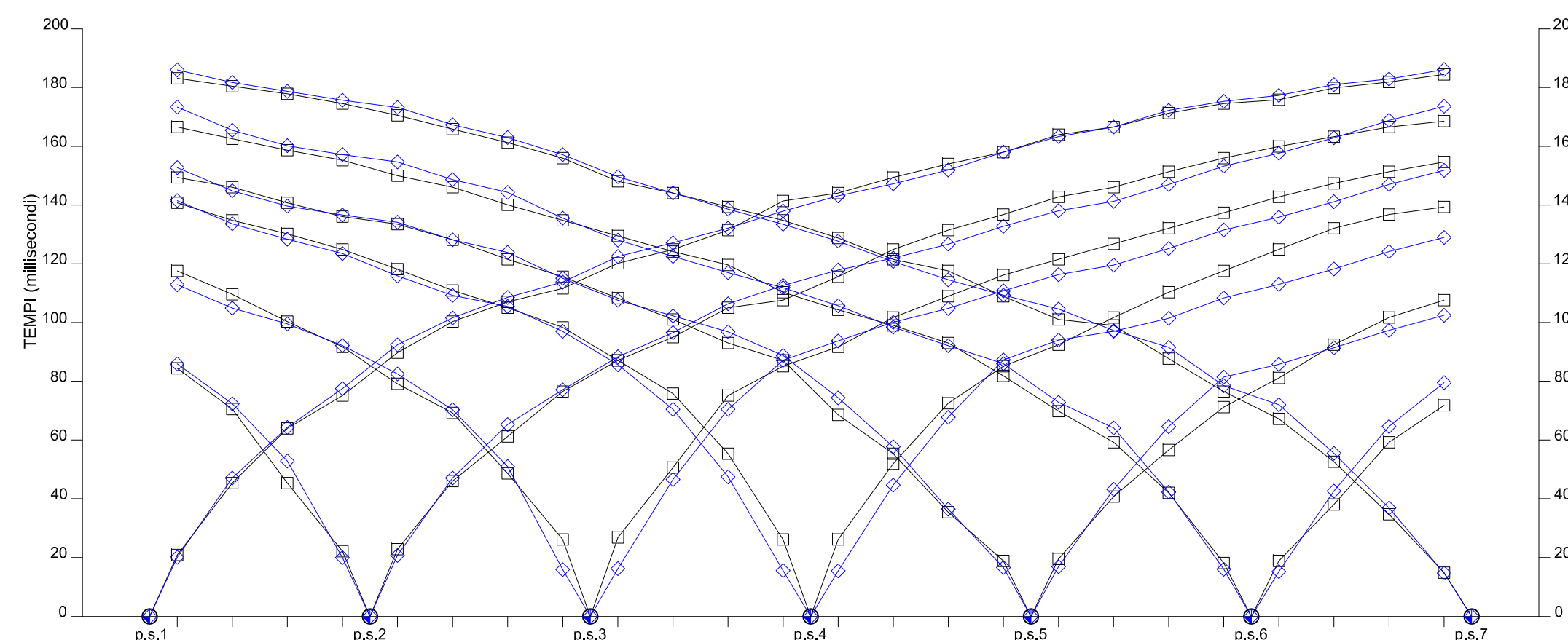
LEGENDA:



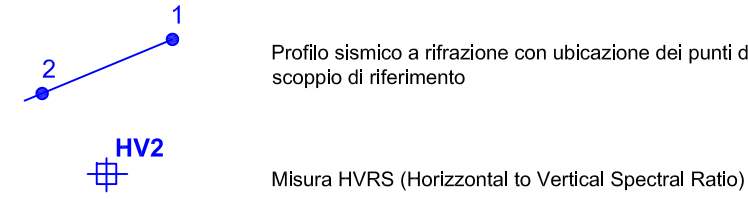
Planimetria ubicativa delle indagini scala 1:1.000



PROFILO SISMICO onde S



LEGENDA:



| REV. | DESCRIZIONE DELLA REVISIONE | DATA |
|--|-----------------------------|-----------|
| | | |
| | | |
| | | |
| <p>TERRA & OPERE S.R.L. SOCIETÀ D'INGEGNERIA CONSULENZE GEOLOGICHE</p> | | |
| Piano Attuativo e contestuale Variante al regolamento Urbanistico Comunale 'B. e B. di Bartoloni Fabio e Barali Marisa s.n.c. INDAGINE SISMICA | | |
| Località | Comune | Provincia |
| VIA GALILEO GALILEI SECI | PONTASSIEVE | FIRENZE |
| TAV. 1 RILEVO SISMICO Data: 16/03/2019 Tecnico: Dott. Geol. Filippo Giorgi scala: 1:500 scala plot: 1:1 Archivio n. 201910 nome file: 201910_1.dwg | | |
| STUDIO DI GEOLOGIA GIORGI FILIPPO Sede: Strada di Sesto n. 6 - 53100 SIENA - Tel.: +39 0577 378209 Fax: +39 0577 378209 e-mail: filippo.giorgi@studiogf.eu www.studiogf.eu C.F.: GRGFPP70530F226P - P.IVA: 01327030522 | | |