

LILLY spa – COMUNE DI SESTO FIORENTINO

PIANO ATTUATIVO AT54a

in attuazione della Del. C.C. n.135 del 12/10/2017 e della DPGR n.156 del 18/10/2017

RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILTA'

ai sensi della DGR 537R/2011

FIRENZE, gennaio 2018

STUDIO DI GEOLOGIA

Dott. Andrea Nencetti Geologo
Via Nino Bixio, 9 – 50131 Firenze
Tel/Fax 055 9062212 ↔ Cell. 328 7213928
C.F. NNCNDR75A04D612B - P.IVA05340550481
andreanencetti@trigeo.it



STUDIO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Andrea Nencetti

INDICE

1.	CONTENUTI DEL PIANO ATTUATIVO	3
2.	LE INDAGINI DEL PIANO ATTUATIVO VALUTAZIONI PRELIMINARI SUGLI ASSETTI GEOLOGICI	7
2.1.	Assetti geologici e geomorfologici	7
2.2.	Assetti idraulici	9
2.3.	Assetti sismici.	9
3.	MODELLO GEOLOGICO E SISMICO	11
4.	MODELLO IDRAULICO	13
5.	FATTIBILITA GEOLOGICA.....	14

Il Piano Attuativo AT57a è suddiviso in UMI1 dove sono previsti volumi tecnici per mc 3970 e UMI2 a destinazione produttiva con 7280 mq di SUL, previa demolizione dell'edificio scolastico esistente; parcheggi pertinenziali per mq 2260, autorimesse e locali interrati. Il Piano inoltre prevede opere di urbanizzazione pubbliche e private e il collegamento viario con via Gaddi (Fig.1).



L'area di Piano è stata oggetto di variante contestuale al PS e RU del comune di Sesto Fiorentino con Delibera di Consiglio del settembre 2017; la scheda norma contiene le norme geologiche di fattibilità per l'attuazione del Piano Attuativo riferite al nuovo quadro della pericolosità (**figura 2**):

- pericolosità geomorfologica G2
- pericolosità idraulica I2*- I3 (limitata alla fascia limitrofa al fosso)
- pericolosità sismica S3

Fattibilità geomorfologica FG2

Prescrizioni: in fase di progettazione, mediante indagini geologiche e geognostiche in applicazione della DGR 36/R/2009, si dovrà procedere alla verifica di stabilità del versante in corrispondenza dei fronti di scavo che superano l'altezza di m 2,00, e prevedere opere di regimazione delle acque superficiali. In fase di progetto definitivo le strutture dell'attraversamento del corso d'acqua saranno accompagnate da indagini sismiche e geognostiche.

Fattibilità idraulica FI2*-FI3

Prescrizioni FI2*: dovrà essere adottato un franco di sicurezza idraulica di m 0,30 a prevenzione di fenomeni di locali allagamenti per malfunzionamento fognario.

Prescrizioni FI3: la fattibilità è subordinata alle seguenti condizioni:

- in fase di rilascio dei titoli abilitativi in corrispondenza del tratto di impluvio ricadente nella proprietà Lilly si dovrà procedere alla progettazione esecutiva, verificando il dimensionamento definitivo, delle sezioni idrauliche e organi di regimazione connessi compresa la modifica del corso del fosso Nencetti, secondo le indicazioni dell'ente idraulico competente.

- In corrispondenza del tratto di impluvio posto a monte della proprietà Eli Lilly fino alla strada comunale di Castello, e previo accordo con gli Enti competenti, dovrà essere definito il cronoprogramma nel tempo degli interventi di manutenzione dell'alveo e sponde del fosso Nencetti; tale cronogramma dovrà essere compatibile con l'attuazione dei lavori edilizi.

Per i suddetti interventi il progetto di riferimento è allegato con il titolo "Sistemazione idraulica del fosso Nencetti - (ing. Giachi 2017)".

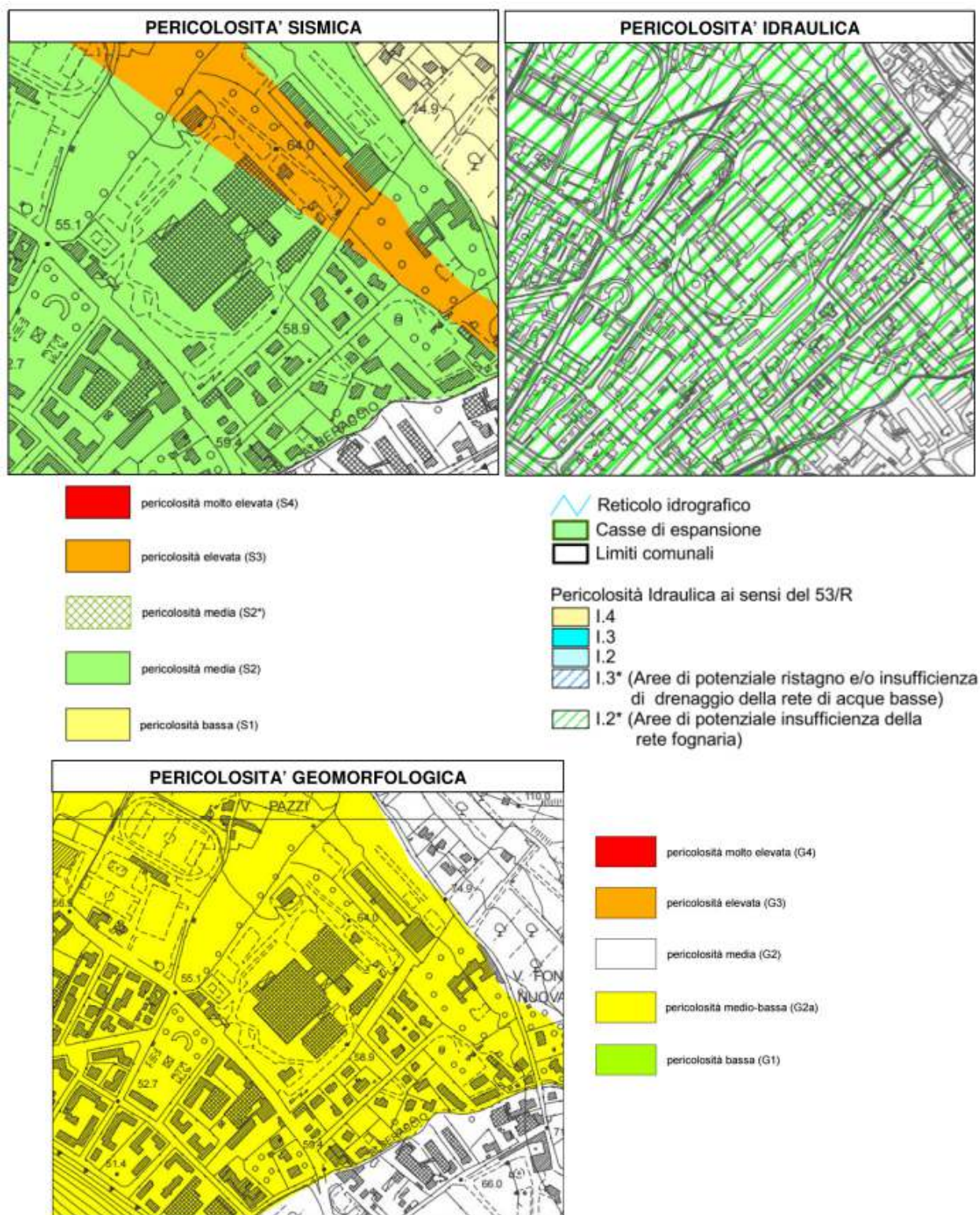
- Dovranno essere rispettati i vincoli di inedificabilità nella fascia di m 10 dalle sponde. Tale limite dovrà essere riportato nelle tavole di progetto.

Fattibilità sismica FS3

Prescrizioni: in corrispondenza del nuovo edificio, mediante indagini sismiche in superficie e in foro, si dovrà rilevare geometria e velocità sismica dei litotipi del substrato per valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica, all'origine di eventuali fenomeni di amplificazione fra coperture e bed-rock.

Tale classificazione evidenzia la necessità di affrontare opportuni approfondimenti prescrittivi, nell'ambito idraulico in fase di Piano Attuativo, e sismico in fase di progettazione. La presente relazione, tenuto conto delle suddette classificazioni, ha sviluppato gli approfondimenti e le verifiche sugli aspetti e problematiche messi in evidenza dagli studi a supporto della variante.

Figura 2 - Pericolosità geologica, idraulica e sismica da RUC



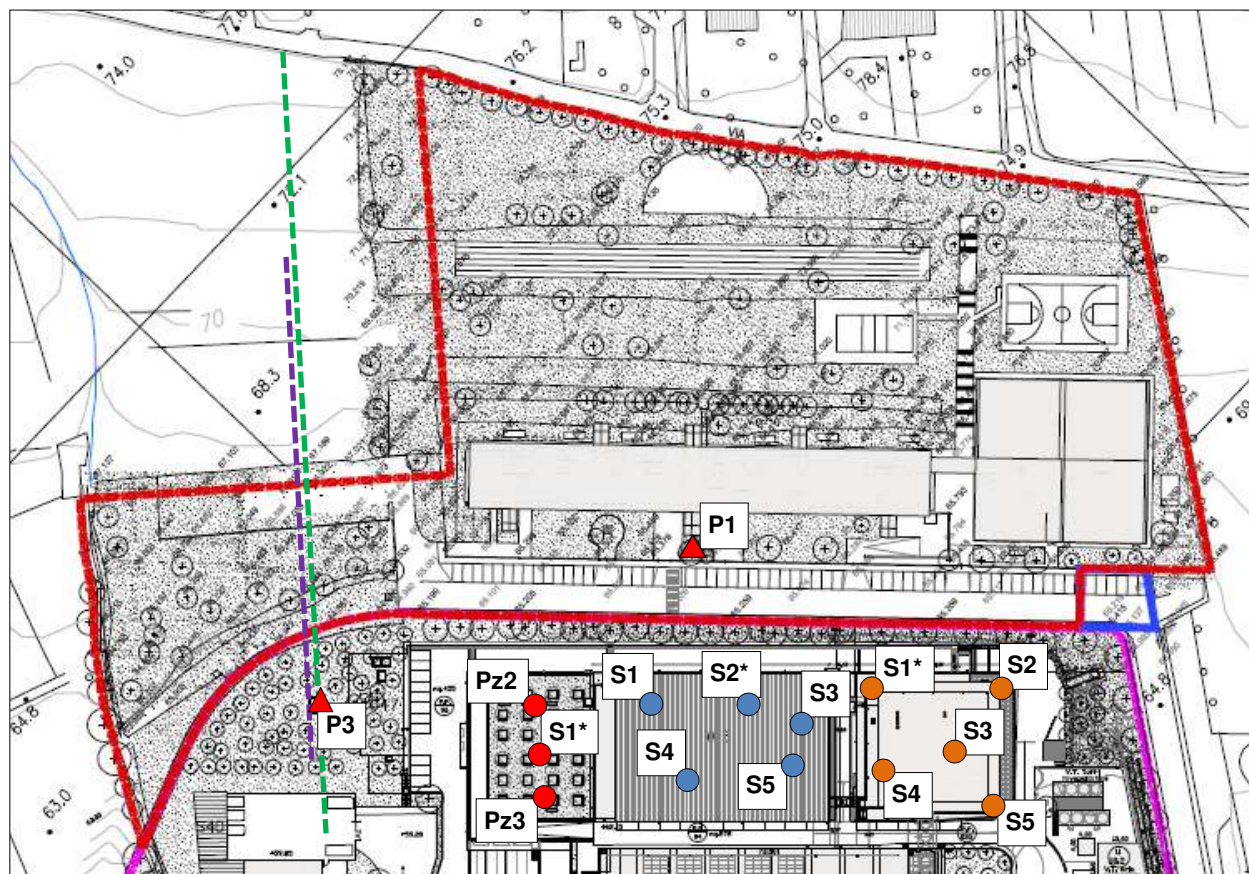
2. LE INDAGINI DEL PIANO ATTUATIVO VALUTAZIONI PRELIMINARI SUGLI ASSETTI GEOLOGICI

Le interferenze geologiche delle previsioni urbanistiche ed edilizie con l'area del Piano, già messe in evidenza negli studi di fattibilità della variante, hanno richiesto l'analisi approfondita delle conseguenti criticità e le soluzioni necessarie a conseguire il loro superamento mediante modalità costruttive idonee e compatibili con l'equilibrio geologico nell'insieme dell'area.

2.1. Assetti geologici e geomorfologici

L'attuazione del Piano comporta scavi consistenti aventi profondità comprese fra 5 e 10 metri. Per valutare le conseguenti interazioni geomorfologiche è stato pertanto necessario ricostruire la successione litostratigrafica locale riferita ai terreni interessati dallo sbancamento e di fondazione. A motivo dell'attuale non disponibilità di accesso all'area scolastica, si è proceduto con indagini di superficie mediante rilievi geofisici su stendimenti di sismica a rifrazione e di geoelettrica (la relativa certificazione viene riportata **in appendice**) ricollegandosi per la taratura e l'estensione con l'esauriente banca dati geognostica esistente (**figura 3**); tale banca comprende numerosi sondaggi, di cui tre allestiti per prove sismiche DH in foro, nel raggio di poche centinaia di metri.

Figura 3 - Ubicazioni indagini geofisiche 2018 nel quadro geognostico noto



● Indagini W17

● Indagini W16

● Indagini W15

▲ Pozzo per acqua

--- Tomografia elettrica

--- Sezione sismica P-SH

*Le prove down-hole sono contraddistinte dal simbolo **

2.2. Assetti idraulici

Localmente le condizioni di inefficienza idraulica in cui versa il piccolo impluvio classificato nel reticolo idrografico regionale, fosso “Nencetti”, a causa della totale assenza di manutenzione, rappresenta la maggiore interferenza in termini di sicurezza sulle aree adiacenti al corso d’acqua e alle si conferma la classe di pericolosità idraulica I3. Le problematiche già evidenziate nel corso della redazione della variante, sono state approfondite in quella sede mediante analisi idrologico-idraulica, sui cui esiti si è proceduto alla progettazione preliminare delle opere e degli interventi di messa in sicurezza in sicurezza dell’area (vedi allegato alla documentazione generale P2.5.d a cura dell’ing. R. Giachi).

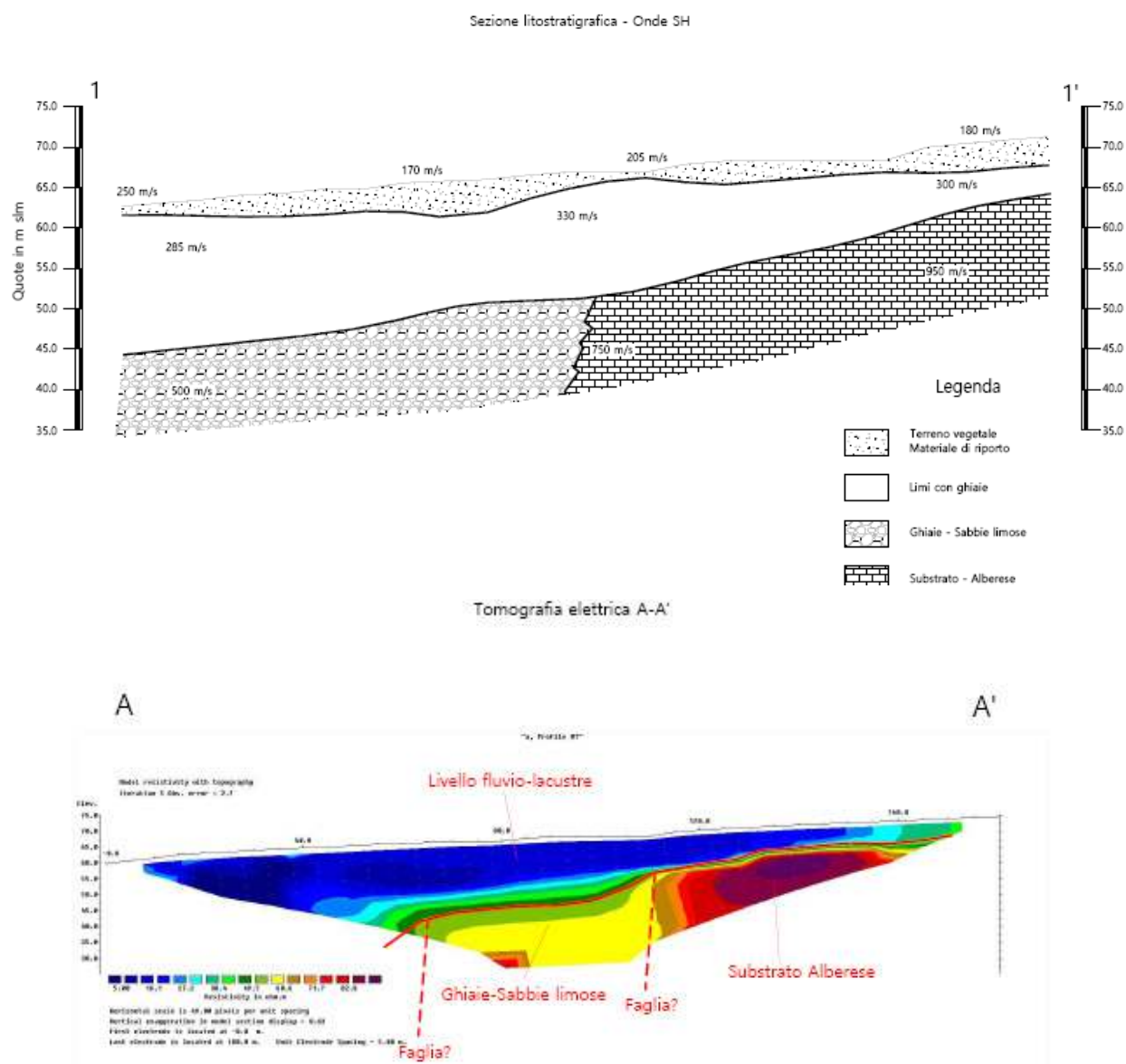
E’ stato confermato anche il quadro idraulico più generale comprendente il tratto terminale artificiale del fosso “Nencetti” e il bacino del fosso dell’Alberaccio adiacente allo stabilimento farmaceutico.

2.3. Assetti sismici

Avendo come riferimento il modello geologico, le specifiche indagini geofisiche di approfondimento consentono di ricostruire la complessa struttura del sottosuolo, caratterizzato da una netta discontinuità del bed-rock, attribuibile al sistema primario di faglie che delimitano il bordo dello sprofondamento del bacino lacustre plio-pleistocenico, mettendo a fuoco le caratteristiche sismiche dell’area (**figura 4**).

La sezione consente di definire con precisione l’andamento locale nel sottosuolo della faglia e valutazioni per la sua influenza.

Figura 4 - Sezioni interpretative derivanti dalle nuove indagini di superficie



3. MODELLO GEOLOGICO E SISMICO

L'area del Piano Attuativo occupa la parte basale del versante dei rilievi di Quinto Alto, con brusco raccordo a scarpata artificiale con il sottostante piano occupato dal moderno stabilimento della società Eli Lilly. Sul lato di valle la scarpata, nel tratto confinante con i nuovi edifici industriali, è sostenuta mediante un diaframma di contenimento in c.a.; il tratto rimanente fino al fosso Nencetti ha tipologia di muratura in pietrame. L'area, spianata nella parte basale ai tempi della costruzione del Liceo, si sviluppa con media pendenza fino alla sovrastante via di Castello che prosegue per Quinto Alto. I terreni sono costituiti in superficie da depositi detritici di versante e colluviali e formano la copertura del substrato roccioso calcareo marnoso della formazione di Monte Morello affiorante a monte. La struttura è troncata da una importante faglia che si reitera a valle con successivi gradoni che affondano il substrato fino a centinaia di metri di profondità sotto la copertura delle argille lacustri.

L'area del Piano Attuativo è situata ai piedi del rilievo proprio al passaggio fra i depositi lacustri e le coperture eluvio colluviali. Sulla base delle indagini svolte e dei dati esistenti è stato ricostruito il modello del sottosuolo lungo la linea del versante (fig. 4) e nell'area immediatamente a valle del Liceo rappresentato nella sezione di **figura 5**. Il modello sismico, ricostruito sulla base delle conoscenze geologiche locali (stendimenti sismici, down-hole e sondaggi geognostici), indica, in corrispondenza di AT57a, la presenza del bed-rock calcareo a profondità inferiori a m 30, sotto una copertura detritica variabile, valutabile mediamente intorno a 10/12 metri.

Si configura pertanto la **classe S3** di pericolosità sismica per condizioni di potenziale amplificazione per sensibile contrasto di impedenza sismica fra substrato e coperture. Sotto il profilo geomorfologico non si rilevano fenomeni di instabilità o di erosione in atto, confermandosi la **classe G2** di pericolosità.

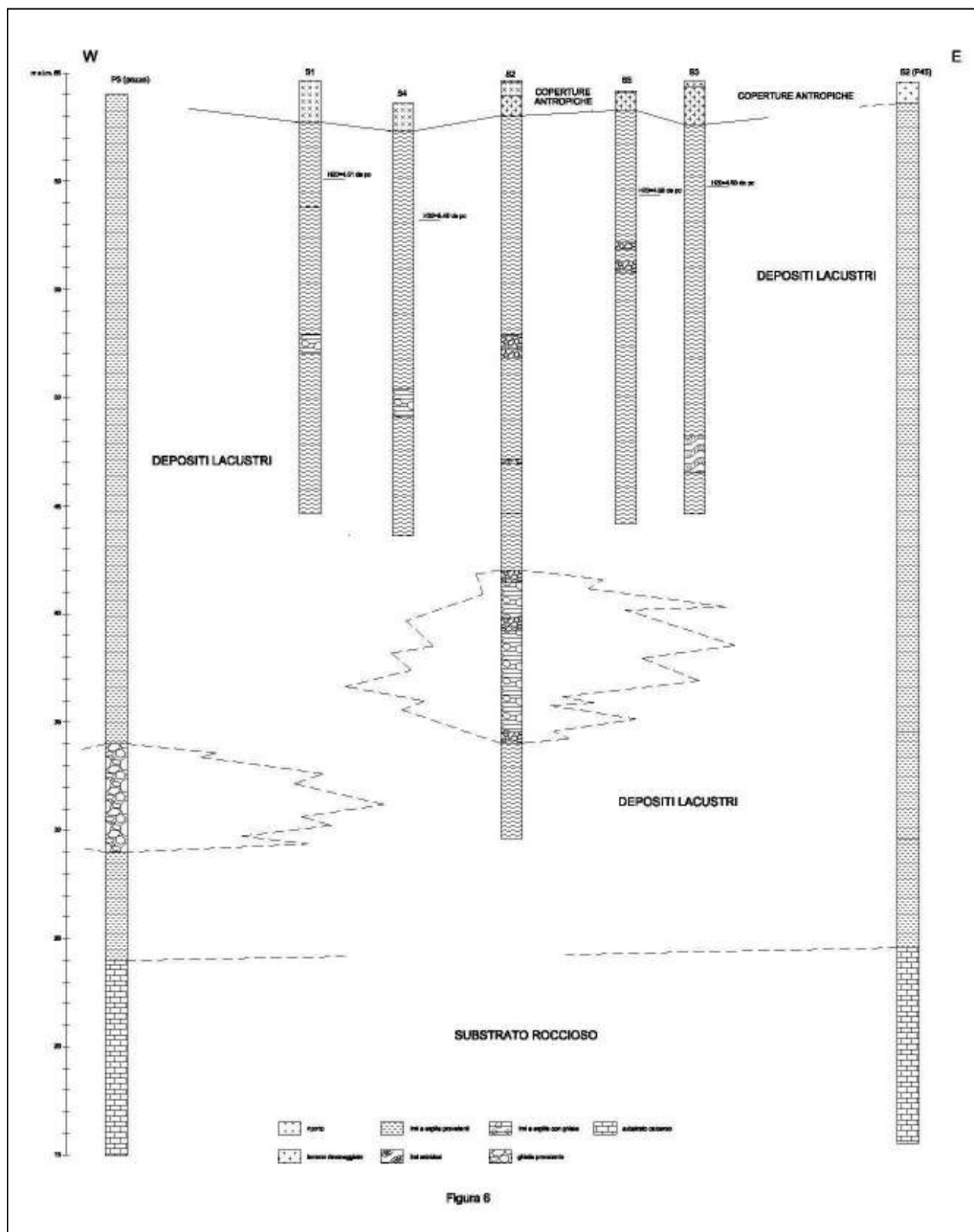


Figura 5 - Sezione litostratigrafica in corrispondenza degli edifici W16 e W15

4. MODELLO IDRAULICO

Il confine catastale occidentale dell'area di piano si identifica con l'alveo del fosso denominato Nencetti recentemente inserito nel reticolo delle acque pubbliche ai sensi della DGRT 57/2013, modificata con DGRT 9/2015. In occasione di precedenti lavori nel 2005 per il parcheggio pertinenziale il fosso è stato oggetto di deviazione nel tratto finale nella zona pianeggiante, con spostamento al confine dell'ambito: l'alveo artificiale inizia con un manufatto di testa e con idonea sezione si immette, con vasca di dissipazione e tramite scatolare in cls 100X70 cm, nell'emissario intubato (Gora di Quinto).

Il tratto di monte del corso d'acqua, facente parte dell'area della Variante, attualmente coperto di vegetazione e mal distinguibile per interrimento, presentava originariamente una sezione in terra in forma trapezia approssimativamente con base minore di cm 60/80 e altezza di cm 60/80.

Sul bacino idrografico del fosso "Nencetti" è stata condotta una verifica idraulica avendo come riferimento la geometria del 2005 e gli studi idrologici per l'"Aggiornamento del Piano Generale di Bonifica", con utilizzo delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica LSPP della Regione Toscana (aggiornamento 2012) per tempi di ritorno 200 anni.

Con l'assunzione del tempo critico di corrivazione pari a 1 h e intensità di pioggia costante di 65,52 mm/h è calcolata una portata di deflusso di 2,91 mc/sec.

Sulla base delle specifiche verifiche nello stato attuale l'alveo è insufficiente in corrispondenza del tratto compreso fra la proprietà Eli Lilly e la via di Castello al transito delle portate di piena, anche a causa della presenza di vegetazione e ingombri di varia natura.

Il rischio, esteso all'area limitrofa del fosso fino alla zona del parcheggio, verrà superato per tempi di ritorno duecentennali che determinano la classi di pericolosità I3, con la realizzazione e collaudo delle opere di regimazione e sistemazione idrauliche in progetto (vedi allegato alla documentazione generale P2.5.d - *Sistemazione idraulica fosso Nencetti a cura dell'Ing. Giachi*).

Analogamente per la parte comprendente l'edificio produttivo, le previste idonee fognature e canalizzazioni scolmanti a monte costituiscono interventi di prevenzione e superamento del rischio di allagamento derivante dalla attuale classe di pericolosità idraulica I2*. L'analisi del rischio è stata estesa all'eventuale influenza del Fosso dell'Alberaccio con metodi qualitativi mediante sopralluoghi, foto-interpretazione, ed esame delle altimetrie dalla CTR in scala 1 a 2000.

Il Fosso dell'Alberaccio attraversa con ampio fornice la via di Castello, con alveo incassato contenuto da muri di sponda posti alla base di terreni soprastanti aventi quota minima 69,9; il primo varco in detta cintura muraria è posto a quota 68,0 che può rappresentare il punto più elevato di potenziale fuoriuscita delle acque e che corrisponde alla quota del muro posto sul fronte dell'edificio scolastico; questo inoltre è protetto dal fabbricato limitrofo realizzato con un muraglione con sommità alla quota di oltre 70,0. Si può pertanto ragionevolmente escludere un'influenza idraulica dovuta al fosso dell'Alberaccio che dista inoltre circa 400 metri.

5. FATTIBILITA GEOLOGICA

Fattibilità geomorfologica FG3

Prescrizioni: *La progettazione sarà supportata da indagini geologiche e geognostiche in applicazione della DGR 36/R/2009; la progettazione dovrà contenere oltre alle verifiche di stabilità locali, anche le verifiche di stabilità del versante in corrispondenza dei fronti di scavo necessarie alla progettazione delle opere di contenimento sia in via definitiva che transitoria, per la messa in sicurezza del cantiere (ad es. cortine di micropali, ecc.).*

- Nel caso di attuazione per stralci del progetto generale, tali interventi dovranno essere coerenti e compatibili con le successive fasi.

- Si richiede inoltre di realizzare opere di regimazione delle acque superficiali provenienti dal versante in corrispondenza di precipitazioni concentrate e con recapito nel fosso "Nencetti". In tal senso, a tergo dell'eventuale diaframma di monte, la progettazione dovrà tenere conto della possibile interruzione del flusso ipodermico e prevedere eventuali opere di drenaggio.
- In fase di progetto definitivo le strutture dell'attraversamento del corso d'acqua saranno accompagnate da indagini sismiche e geognostiche.

Fattibilità idraulica FI2*-FI3

Prescrizioni FI2*: A prevenzione di fenomeni di locali allagamenti per insufficienza di drenaggio saranno realizzate canalette di raccolta delle acque di precipitazione provenienti dalla pendice soprastante con recapito nel fosso. Le fognature interne al comparto dovranno essere realizzate con capacità di smaltimento idonea a eventi di precipitazioni concentrate.

Prescrizioni FI3: la fattibilità è subordinata alle seguenti condizioni:

- in corrispondenza del tratto del fosso "Nencetti" ricadente nella proprietà Lilly si dovrà procedere alla progettazione esecutiva, verificando il dimensionamento definitivo, delle sezioni idrauliche e organi di regimazione connessi compresa la modifica del corso del fosso, secondo le indicazioni dell'Ente idraulico competente. Con il collaudo delle opere la pericolosità idraulica, come previsto nella Variante, viene contestualmente abbassata alla classe FI2: Il collaudo stesso è propedeutico al rilascio di agibilità.
- In corrispondenza del tratto del fosso "Nencetti" posto a monte della proprietà Eli Lilly fino alla strada comunale di Castello, e previo accordo con gli Enti idraulici competenti, dovrà essere definito il cronoprogramma nel tempo degli interventi di manutenzione dell'alveo e sponde; tale cronogramma dovrà essere compatibile con l'attuazione dei lavori edili.
- Dovranno essere rispettate i vincoli di inedificabilità nella fascia di m 10 dalle sponde. i cui limiti sono riportati nelle tavole di progetto.

Fattibilità sismica FS3

Prescrizioni: per la progettazione strutturale del nuovo edificio, mediante indagini sismiche in foro si dovrà precisare geometria e velocità sismica dei litotipi del substrato per valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica, all'origine di eventuali fenomeni di amplificazione fra coperture e bed-rock.

APPENDICE
Indagini geofisiche
(a cura di TRIGEO SNC – AREZZO)

RELAZIONE TECNICA

TRIGEO snc

di Andrea Nencetti e Benedetto Burchini
Via Mazzini, 18
52011 Soci (AR)
P.IVA 02024110518
info@trigeo.it

FIRENZE

Via Nino Bixio, 9
50131 Firenze
firenze@trigeo.it
T/F 055 400619
M 328 7213928

AREZZO

Via Trasimeno, 7
52100 Arezzo
arezzo@trigeo.it
T/F 0575 294500
M 339 2288117

COMUNE DI SESTO FIORENTINO (FI) PIANO ATTUATIVO AT 54a INDAGINE GEOFISICHE DI SUPERFICIE - MEDIANTE SISMICA A RIFRAZIONE - TOMOGRFIA SISMICA (ONDE P ED SH), TOMOGRFIA ELETTRICA E N.2 MISURE HVSr

COMMITTENTE : ELI LILLY SPA

09 - GENNAIO - 2018



CERTIFICATO
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE
NON DISTRUTTIVE E
SEMIDISTRUTTIVE
NEL SETTORE CIVILE



WWW.TRIGEO.IT

INDICE

INTRODUZIONE	3
<i>TOMOGRAFIA SISMICA – MISURE DI RUMORE HVSR</i>	4
1.0 SCHEMA OPERATIVO	4
2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	4
3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI	7
4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA	7
5.0 CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE OTTENUTA DAI VALORI DI VS30	10
6.0 MISURA HVSR – SIGNIFICATIVITÀ E CLASSIFICAZIONE DELLE MISURE	11
6.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	13
6.2 INTERPRETAZIONE DELLE MISURE H/V	13
6.3 REPORT DEI RISULTATI – N. 2 MISURE HVSR	14
<i>TOMOGRAFIA ELETTRICA</i>	15
7.0 SCHEMA OPERATIVO	15
8.0 METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	16
9.0 ARRAY DI TIPO “SCHLUMBERGER”	18
10.0 “PROCESSING” DEI DATI	18
11.0 ANALISI DEI RISULTATI - TOMOGRAFIA ELETTRICA	19
12.0 CONSIDERAZIONI FINALI	20
ALLEGATI	22

INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geofisiche eseguita nel mese di **Dicembre 2017**, che sono consistite in una sezione sismica a rifrazione in onde P ed SH (24 ch, acquisizione ed elaborazione dati con metodologia tomografica), una sezione in tomografia elettrica e due misure di rumore sismico a stazione singola (HVSr). I rilievi geofisici sono stati eseguiti a supporto del **PIANO ATTUATIVO AT54a** presso lo Stabilimento **ELI LILLY** in **VIA GRAMSCI 731-733 – SESTO FIORENTINO (FI)** (**Fig. 1**).



Figura 1: Area d'intervento – Eli Lilly Spa – Via Gramsci 731-733 – Sesto Fiorentino (FI).

Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse è stata programmata una campagna di prospezioni geofisiche mediante sismica a rifrazione tesa a fornire, lungo la sezione, convenuta con il tecnico incaricato, una caratterizzazione delle litologie presenti nell'area d'indagine nonché determinare le geometrie (spessori e superfici di contatto) nel sottosuolo dei terreni in funzione dell'andamento in profondità delle velocità delle onde sismiche compressionali P e di taglio SH. I dati ottenuti sono stati elaborati sia con la metodologia classica della rifrazione (GRM) che con la metodologia tomografica che permette di ottenere, attraverso un maggior numero di "energizzazioni" (7 per ciascun stendimento) ed un opportuno software di elaborazione, un'ottima caratterizzazione del substrato e dei materiali di copertura.

L'acquisizione delle onde SH combinate alle onde di compressione consente di ottenere i principali parametri elastico/dinamici e di fornire i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui

primi 30 m (cosiddette V_{s30}), così come richiesto dal D.M. 14/01/2008 Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni.

L'indagine geoelettrica, effettuata mediante tomografia elettrica 2D, ha permesso di indagare in parallelo all'indagine sismica, le caratteristiche dei materiali presenti, consentendo di valutarne spessori e geometrie, nonché l'eventuale presenza di zone sature in acqua.

Inoltre lungo il perimetro dell'area d'indagine sono state eseguite n. 5 misure di rumore a stazione singola elaborata con tecnica HVSr.

Di seguito viene descritto lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

TOMOGRAFIA SISMICA – MISURE DI RUMORE HVSr

1.0 SCHEMA OPERATIVO

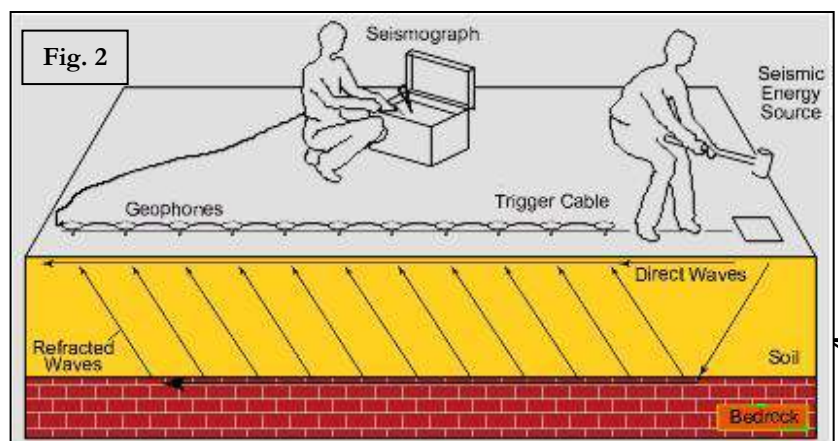
Nella **Tavola 01** allegata, è stato riportato un inquadramento corografico generale in scala 1:10.000, con inserita la sezione sismica eseguita (linea rossa). Nella **Tavola 02** viene illustrata la planimetria di dettaglio in scala 1:1.000.

Dopo una prima analisi dei test eseguiti in loco ed in considerazione dei risultati prefissati e degli spazi a disposizione è stata scelta una distanza intergeofonica pari a 5.0 m per la sezione eseguita sia con onde P che con onde SH. Complessivamente sono stati acquisiti **230 ml** di rilievo suddivisi in 2 basi di 115 ml ciascuna (onde P ed SH).

2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

• INDAGINE SISMICA

Il principio dell'analisi sismica è basato sul calcolo del tempo che impiega un'onda sismica ad attraversare differenti strati del sottosuolo; la velocità con cui la deformazione prodotta artificialmente si propaga nei terreni è funzione delle caratteristiche elastiche dei terreni stessi e pertanto la possibilità di determinare dette velocità con grande dettaglio



permette di assegnare caratteri ragionevolmente realistici ai terreni da investigare e di seguirne l'andamento in profondità.

Un sistema digitale di acquisizione dati (**Fig. 2**) in sismica, è costituito sostanzialmente da sismometri (geofoni o accelerometri), amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali.

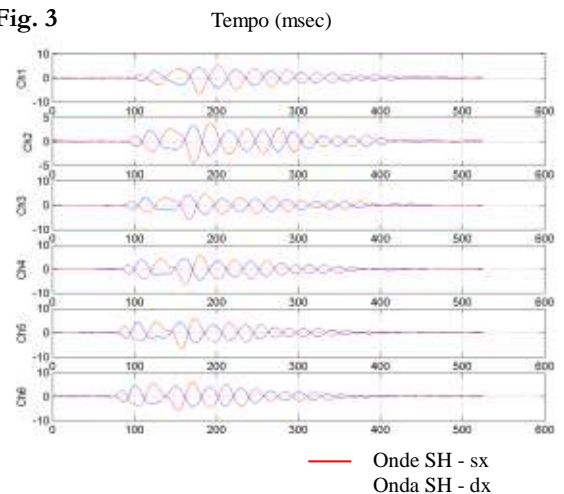
Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a **24** ch ciascuno, strumentazione che presenta le seguenti caratteristiche: **A/D Conversion:** 24 bit; **Dynamic Range:** 144 dB; **Distortion:** 0.0005% 2 ms, 1.75 to 208 Hz; **Bandwidth:** 1.75 Hz to 20 kHz; **Common Mode Rejection:** > -100 dB at <=100 Hz, 36 dB; **Crosstalk:** -125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms; **Noise Floor:** 0.2uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz; **Stacking Trigger Accuracy:** 1/32 of sample interval; **Maximum Input Signal:** 2.8 VPP; **Input Impedance:** 20 kOhm, 0.02 uf; **Preamplifier Gains; Anti-alias Filters:** -3 dB at 83% of Nyquist frequency; **Sample Interval:** 0.02 to 16.0 ms; **Record Length:** 16,000 samples; **Acquisition and Display Filters:** *LowCut, Notch, HighCut*; **Data Formats:** SEG-2 standard with SGOS.

Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati geofoni "PASI" verticali ed orizzontali, del tipo elettromagnetico a bobina mobile e nel caso dei geofoni orizzontali dotati di bolla livellante, con frequenza caratteristica di 10 Hz, 70 % di smorzamento. Il cavo di connessione tra geofoni e sismografo è uno standard NK-27-21C.

Generalmente come sorgente di energia sismica per le onde P, nel caso di rilievi a piccola profondità si fa uso di una mazza da 8 kg o del Minibang: nel nostro caso, dato le distanze in gioco, l'utilizzo della mazza ha consentito di ottenere risultati ottimali. Per quel che riguarda la produzione di onde SH si utilizza generalmente una trave di circa 2.00 m di lunghezza, la cui estremità viene colpita con una massa battente di ca. 10/15 kg. La trave è resa solidale al terreno mediante l'applicazione di un carico (rappresentato nel nostro caso dalla stessa autovettura). La tavola viene colpita lateralmente dalla massa, in modo da generare onde di taglio SH. Per poter riconoscere in maniera inequivocabile sui sismogrammi le onde di taglio S, che non costituiscono mai la prima fase, sono state effettuate energizzazioni ai due estremi della tavola, in modo da generare treni d'onda identici, ma in opposizione di fase (Fig. 3). Ogni energizzazione viene registrata sull'Hard Disk sia singolarmente che, invertendo la fase, come somma.

Qui di seguito vengono riportati alcuni esempi delle acquisizioni effettuate:

Fig. 3



Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati in rifrazione, è stato il Generalized Reciprocal Method (GRM) che consente di delineare rifrattori ondulati, ad ogni profondità e di numero infinito da dati sismici a rifrazione in linea che consistano di tempi-distanza in andata e ritorno. I tempi di arrivo a due sensori distinti e per profili in andata e ritorno sono combinati per ottenere la velocità del rifrattore, il calcolo della sezione tempi-profondità ed il fattore di conversione in profondità. Il fattore di conversione, e quindi il metodo, è indipendente dalla pendenza degli strati fino ad angoli superiori a 20 gradi. Il GRM in definitiva è un metodo di interpretazione globale e sintetico per il quale molti dei metodi esistenti sono dei casi particolari.

Oltre al GRM, in alcuni casi, è stato utilizzato, per conferma e confronto, un algoritmo di inversione che usa il delay-time method per ottenere un primo modello approssimato in profondità, che viene quindi affinato mediante una serie di ray-tracing, ed un processo di aggiustamento con iterazioni successive che tende a minimizzare le discrepanze tra i tempi di arrivo misurati in campagna ed il corrispondente modello di profondità. In questo caso specifico è stato utilizzato come sistema di elaborazione principale il delay-time method affinato mediante una serie di ray-tracing, ed il GRM come verifica e conferma dei risultati ottenuti.

Terminata la fase preliminare di verifica dati, mediante la metodologia GRM, è stato utilizzato un nuovo sistema di analisi dei dati sismici che consente di elaborare profili a bassa, media ed elevata copertura. Le dromocrone ricavate dall'interprete vengono elaborate sulla base di tre distinte metodologie analitiche: CMP (intercept time refraction), Plus-Minus e Wavefront. Il metodo Wavefront rappresenta un'ulteriore ottimizzazione del metodo GRM. Invece di assumere come costante la distanza XY tra i vari ricevitori, il metodo Wavefront stima ad ogni geofono la distanza rispetto agli altri, attraverso l'angolo d'emergenza del fronte d'onda sia diretto che inverso. Tale caratteristica permette di analizzare, con ottimi risultati, anche rifrattori con superfici irregolari.

Il software, utilizzato nel corso del presente lavoro, permette, successivamente ai predetti passaggi, di utilizzare il metodo "Delta-t-V" che è in grado di evidenziare gradienti di velocità verticali all'interno degli strati, aumenti lineari di velocità con la profondità, faglie e locali anomalie di velocità. Il metodo Delta-t-V valuta la distribuzione delle velocità lungo il profilo di interesse. Ciò consente, sfruttando il metodo dell'inversione, di ottenere in corrispondenza delle varie stazioni installate, valori di profondità in funzione della velocità.

I dati così ottenuti vengono definitivamente elaborati mediante metodologia tomografica che permette una stima migliore delle velocità, risultando meno dipendente dalla spaziatura dei ricevitori e da topografie estreme. Infine sono stati calcolati i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette VS30), come richiesto dalla nuova "Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. 14/01/2008.

3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI

Nelle **Tavole 03-07** sono rappresentate, le curve tempi-distanze, Dromocrone, che scaturiscono dalle letture eseguite sui dati di campagna (onde P-SH). Nel diagramma tempi-distanze, in ascisse, in scala 1:500 sono riportate le distanze dei sensori dall'inizio dell'allineamento e, in ordinate, i tempi di arrivo, espressi in millisecondi agli stessi sensori.

Nelle **Tavole 04-08**, sono state riportate le sezioni sismostratigrafiche ottenute (onde P-SH per ciascuna linea), dove, al di sotto della superficie topografica l'involuppo dei cerchi rappresenta l'interfaccia tra uno strato ed un altro. I metodi di interpretazione in sismica a rifrazione forniscono, infatti, gli spessori degli strati valutando la distanza minima tra i sensori ed il rifrattore sulla perpendicolare allo strato e non sulla sua verticale; di conseguenza la superficie rifrangente, al di sotto di ogni dato punto, può giacere ovunque su di un cerchio centrato in quel punto e con raggio uguale allo spessore dello strato. Ciò è quanto riportato nelle sezioni al di sotto della superficie topografica. L'involuppo dato da questi cerchi è una buona approssimazione della forma e posizione del rifrattore. Al di sotto della sezione viene riportata una tabella riassuntiva relativa a ciascun punto con indicato il numero di geofono, la progressiva, la quota assoluta in m slm e le profondità del rifrattore individuato.

Nelle **Tavole 05-09** invece vengono riportate le sezioni litostratigrafiche sulla base sia dei dati ottenuti (sezioni sismostratigrafiche), che di considerazioni geologiche generali relative alla zona in esame che sulla base dei dati forniti dai sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nell'area.

Nelle **Tavole 06-10** abbiamo le sezioni tomografiche interpretate realizzate mediante la "WET Tomography" con le relative curve di isovelocità. La scala in falsi colori presente, esprime i valori di velocità all'interno della sezione.

4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA

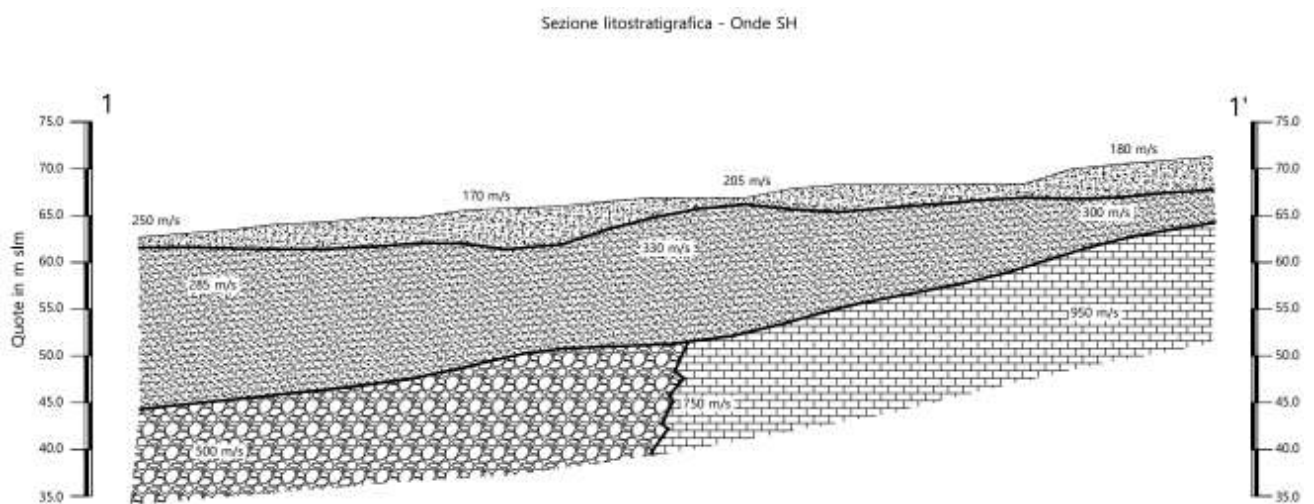
I risultati ottenuti dalla sezione eseguita con onde P ed SH, indicano la presenza di due superfici rifrangenti: la prima ubicata a profondità comprese tra 0.30 e 4.40 m (onde P-SH); la seconda più profonda si localizza a profondità tra 7.00 e 18.20 m (P-SH).

Nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto i materiali più superficiali caratterizzati da velocità delle onde P pari a 425-690 m/s e velocità delle onde SH pari a 170-250 m/s, con il livello intermedio costituito da limi con ghiaie che presenta velocità comprese tra 950 e 1.470 m/s (Onde P) e tra 285 e 330 m/s (onde SH). La superficie più profonda mette in contatto il livello intermedio con il substrato costituito: nella prima parte, da ghiaie e sabbie limose con velocità prossime a 2.000 m/s (onde P) e 500 m/s (onde SH); nella seconda parte invece si osservano velocità maggiori, soprattutto delle onde SH, che indicherebbero il passaggio al substrato roccioso, ca. 1.800 m/s (onde P) e comprese tra 750 e 950 m/s (onde SH).



Figura 2: Fase di acquisizione della sezione sismica **1-1'** presso Eli Lilly Spa.

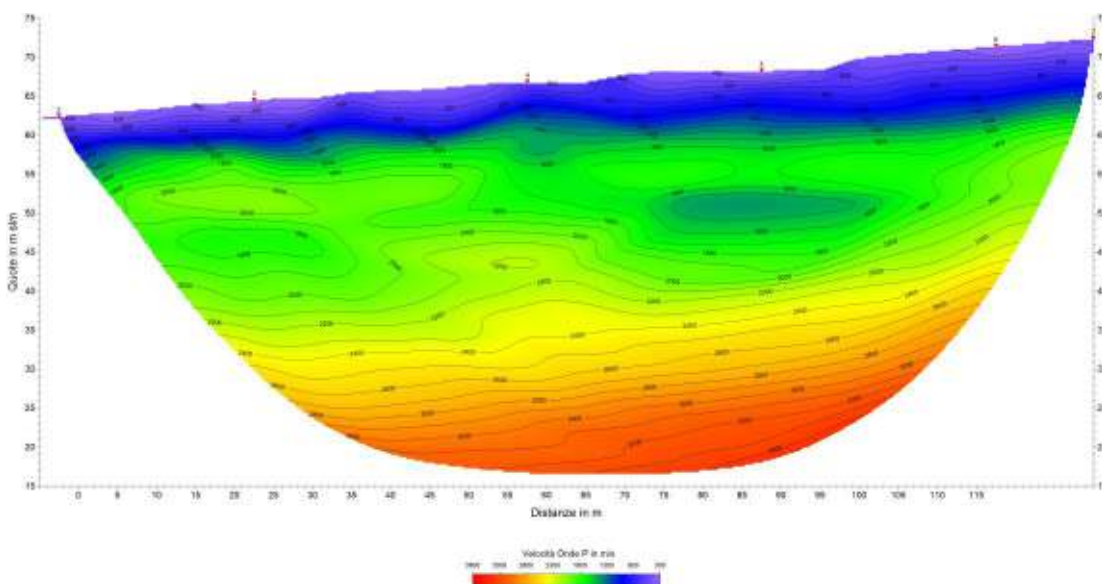
La **Sezione 1-1'**, soprattutto l'elaborazione in onde SH, ha messo in evidenza un rifrattore profondo con spessori molto variabili, che tendono a decrescere verso la parte finale dello stendimento con profondità che passano dai ca. 18.00 m del tratto iniziale ai ca. 7.00 m del tratto finale.



La sezione elaborata in onde P mostra profondità inferiori e velocità che sembrano essere riconducibili alla presenza di una falda superficiale che influenza la propagazione più in profondità delle onde di compressione

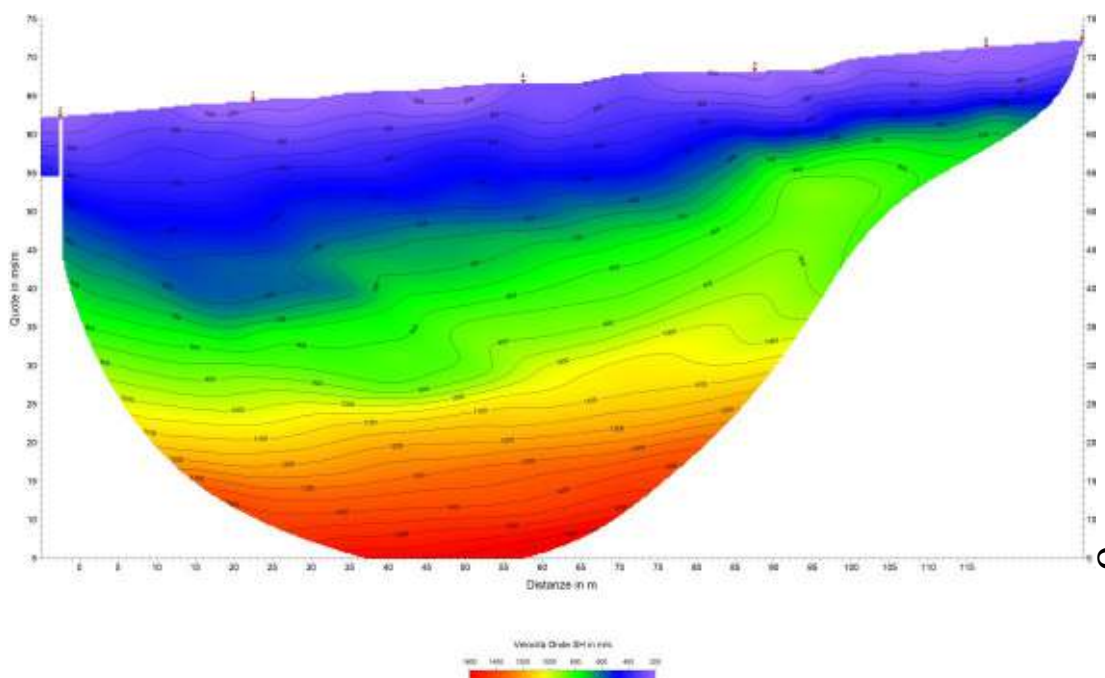
L'andamento delle velocità delle onde compressionali P relative al substrato mostra valori decrescenti che variano dai ca. 2.050 del tratto iniziale ai 1.800 m/s del tratto finale, mentre per le onde SH si notano valori crescenti lungo lo stendimento compresi tra 500 e 950 m/s. Il livello intermedio mostra velocità rispettivamente comprese tra 950-1.470 m/s (onde P) e tra 285-330 m/s (onde SH). I materiali superficiali mostrano velocità variabili comprese tra 425-690 m/s (onde P) e tra 170-250 m/s (onde SH).

L'analisi tomografica eseguita sia con onde P che onde SH, individua il passaggio al substrato, a



partire dalle curve 1.000-1.200 m/s per le Onde P e dei 500-600 m/s per le onde SH. La tomografia in onde P mostra un andamento più regolare probabilmente come detto legata all'effetto della

presenza di una falda superficiale. La tomografia in onde SH mostra più chiaramente la tendenza del substrato ad approfondirsi verso valle. Nel livello di



copertura i materiali caratterizzati da velocità sismiche più basse, risultano omogeneamente distribuiti lungo la sezione.

5.0 CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE OTTENUTA DAI VALORI DI Vs30

L'indagine mediante onde SH fornisce i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette **Vs30**), così come previsto dal D.M. 14/01/2008 Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni.

Le “**Nuove Norme Tecniche per le costruzioni**” definiscono 7 tipologie di suoli principali:

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere a depositi di terreni a grana grossa molto sabbiosi o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{50,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente sabbiosi o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{50,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente sabbiosi o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{50,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

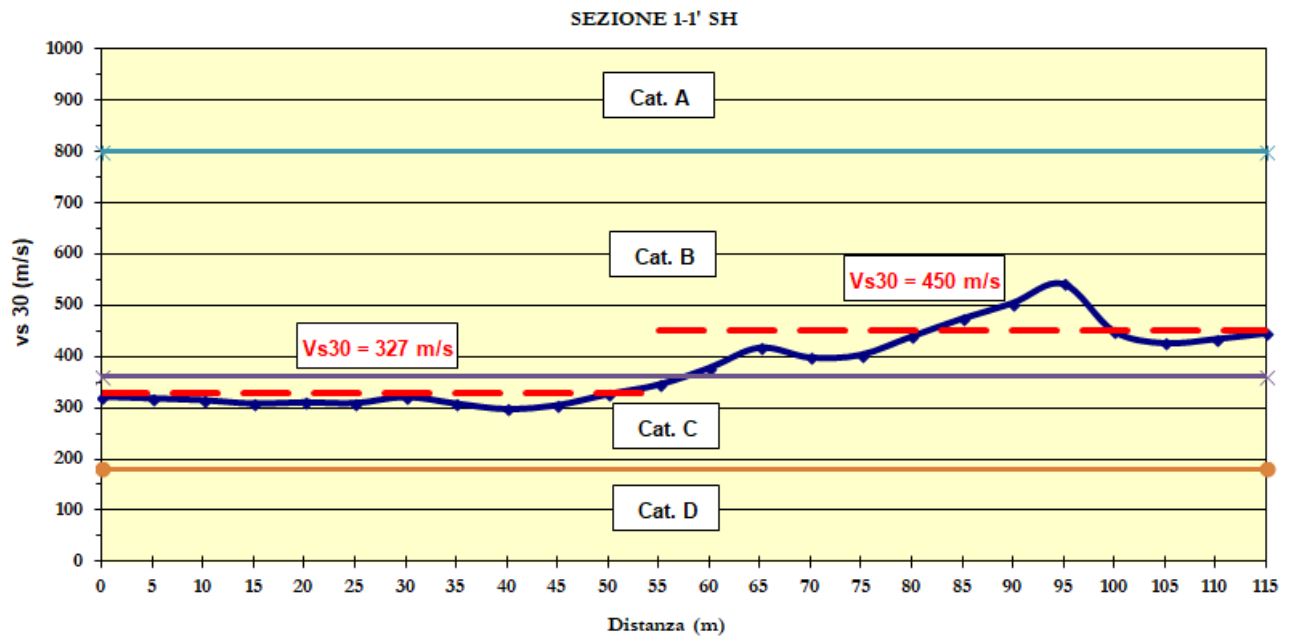
La profondità tenuta in considerazione nel calcolo della Vs30 differisce in funzione del tipo di fondazione e del tipo di opera:

Per le **fondazioni superficiali**, tale profondità è riferita al **piano di imposta** delle stesse, mentre per le fondazioni su **pali** è riferita alla **testa dei pali**.

Nel caso di **opere di sostegno di terreni naturali**, la profondità è riferita alla **testa dell'opera**.

Per **muri di sostegno di terrapieni**, la profondità è riferita al **piano di imposta della fondazione**.

Sulla base delle caratteristiche litologiche, ma soprattutto sulla base dei valori di velocità ottenuti è stato possibile definire due valore di **Vs30** lungo la sezione eseguita:



Il primo valore che interessa tutta la prima parte della sezione, è caratterizzato da valori medi prossimi a **327 m/s**; il secondo valore, relativo alla parte che va dalla progressiva 55 alla 115 ml, risulta superiore e prossimo a **450 m/s**.

6.0 MISURA HVSR – SIGNIFICATIVITÀ E CLASSIFICAZIONE DELLE MISURE

Sono state inoltre eseguite due misure di rumore a stazione singola elaborata con tecnica HVSR.





La misura di microtremore a stazione singola deve avere una durata commisurata alla frequenza di indagine di interesse. Le misure di tipo passivo mirano a determinare caratteristiche medie del moto del suolo associato alle vibrazioni ambientali.

Poiché una misura di interesse ingegneristico ricade nell'intervallo 0.1-20 Hz, segue che un campionamento adeguato deve durare 15-40 minuti, in modo da poter analizzare il segnale su finestre di almeno 30 s di lunghezza e da avere almeno 20-30 finestre su cui effettuare una media, considerando che qualcuna potrà essere rimossa per la presenza di disturbi (transienti) che alterano lo spettro medio. Nel nostro caso la durata delle misure è stata pari a **1200 secondi (20 minuti)**.

La Frequenza di campionamento adeguata per questo tipo di prove non deve essere inferiore a 50 Hz, in modo da permettere una ricostruzione spettrale sino ad almeno 20 Hz.

Nel nostro caso è stata utilizzata una Frequenza di campionamento pari a **300 Hz** ed in fase di elaborazione i dati sono stati ricampionati a **128 Hz**.

Dal punto di vista pratico, nelle prove di sismica passiva si tratta di misurare vibrazioni del terreno caratterizzate da ampiezze molto piccole. Questo implica che la prova vada effettuata con cura, soprattutto per quanto riguarda l'accoppiamento dello strumento di misura con il terreno e la riduzione delle possibili fonti di disturbo nelle immediate vicinanze dei

sensori. Lo strumento di misura va dunque posto a diretto contatto col terreno e reso solidale con questo, possibilmente senza interfacce intermedie.

6.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La strumentazione utilizzata nel presente lavoro risulta essere:
SISMOMETRO SR04S3 “GeoBox” della Sara electronic instruments, dotato di 3 velocimetri GS11D 4.5 Hz Geospace, Technology – Huston – Texas –USA con frequenza di ca. 4.5 Hz.

I dati sono stati quindi registrati ed archiviati su un *notebook Toshiba satellite*, mediante il software di acquisizione **SEISMOWIN** mediante l'applicazione **SEISMOLOG-MT** per l'acquisizione dei microtremori.

6.2 INTERPRETAZIONE DELLE MISURE H/V

Le misure H/V possono essere utilizzate negli ambiti:

- 1) della microzonazione sismica (**uso esplorativo**)
- 2) della stratigrafia sismica, nel qual caso la tecnica aspira a fornire indicazioni di tipo quantitativo sul profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (uso stratigrafico).

In questo contesto, le misure H/V hanno lo scopo di individuare la presenza di fenomeni di risonanza sismica dando indicazioni sulle frequenze interessate dal fenomeno. In funzione di questi risultati è possibile fornire indicazioni qualitative e relative sull'entità del contrasto di impedenza responsabile del fenomeno di risonanza e informazioni sullo spessore delle coperture che ne sono responsabili. Elementi chiave di questo genere di applicazione delle misure H/V sono: un buon controllo geologico dell'area di interesse e la disponibilità di un campione significativo di siti di misura (almeno 2 o 3) per ciascuna delle diverse unità litologiche o formazioni affioranti nella zona esplorata e potenzialmente interessanti ai fini della caratterizzazione sismica. Vengono prese in considerazione solo **misure di classe A o B** secondo la classificazione riportata sopra.

Vengono distinte le misure nelle quali è presente almeno un picco della curva H/V statisticamente significativo nell'intervallo di frequenze di interesse (**misure di Tipo 1** secondo la classificazione di Albarello et al. 2010) e quelle dove non ci sono picchi significativi (**misure di Tipo 2**). Le prime saranno rappresentative di siti o unità litologiche caratterizzate da possibili fenomeni di risonanza.

Se tutte le stime H/V dell'area sono state ottenute utilizzando le stesse procedure numeriche per l'analisi del dato

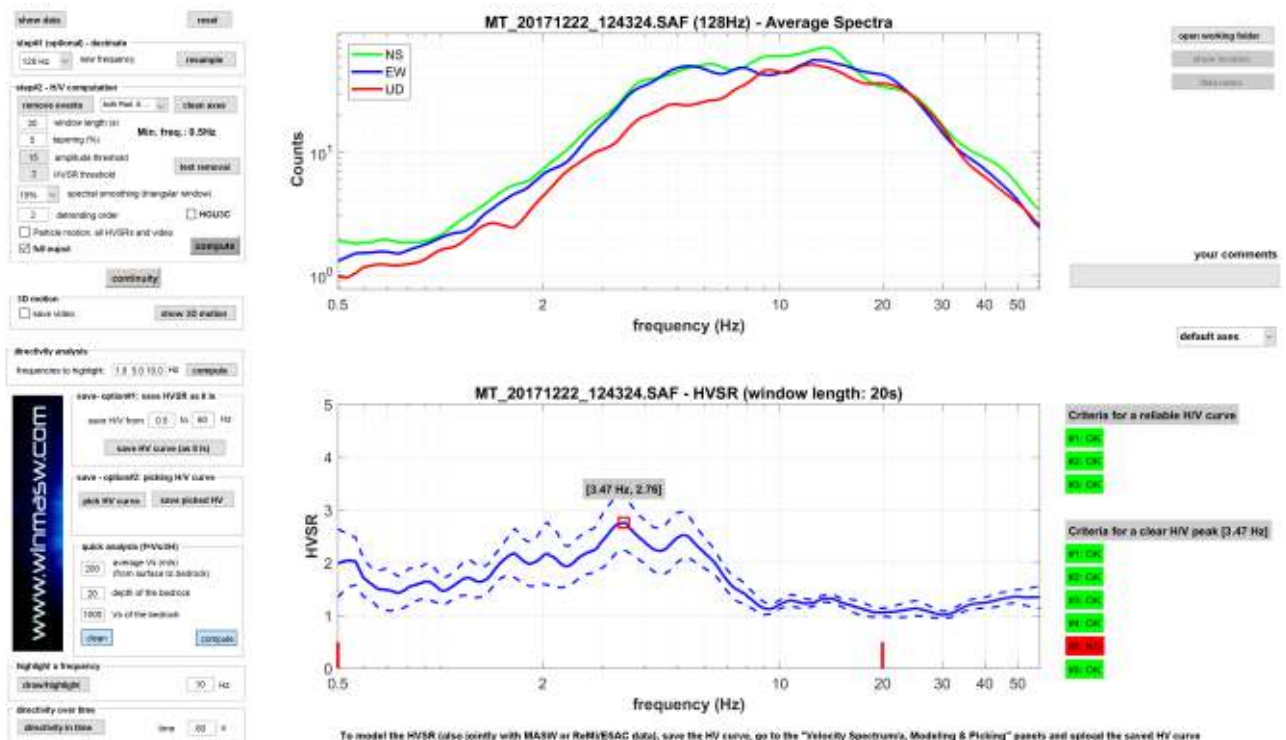
F_0 (Hz)	h (m)
<1	>100
1-2	50-100
2-3	30-50
3-5	20-30
5-8	10-20
8-20	5-10
>20	<5

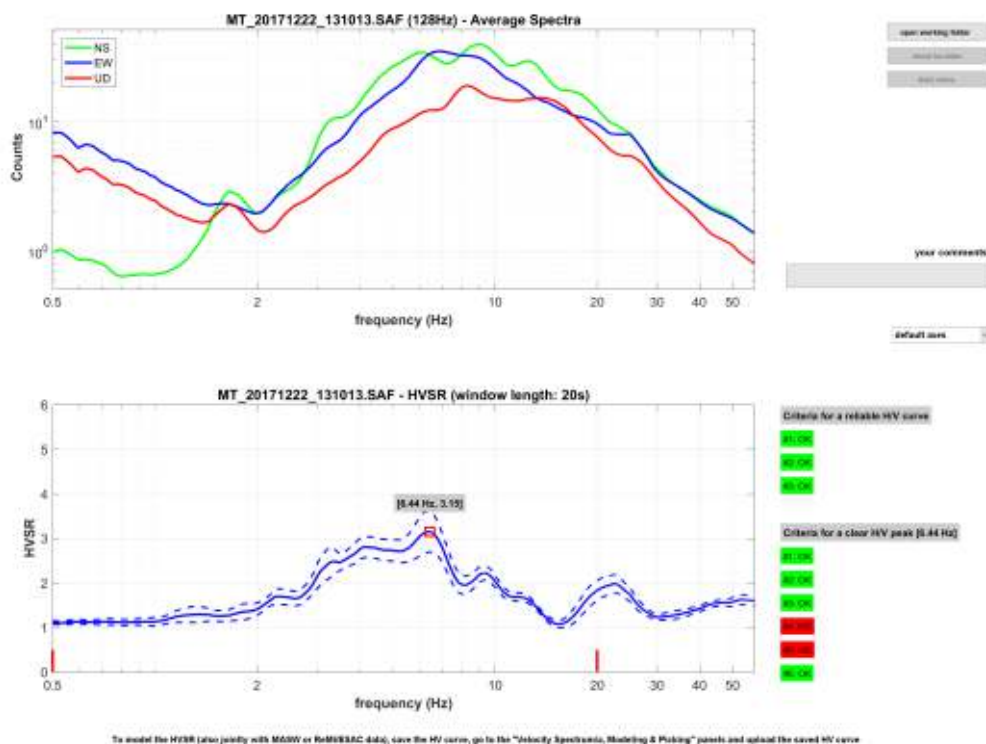
(durata delle misure, ampiezza e caratteristiche delle finestre di lisciamento, ecc.) sarà possibile distinguere in prima approssimazione le aree dove ci si aspetta la presenza nel sottosuolo di variazioni significative del contrasto di impedenza sismica alla base delle coperture (ampiezza $H/V > 3$) da zone dove questi contrasti hanno ampiezze ridotte ($H/V < 3$). Sulla base delle frequenze di risonanza determinate sperimentalmente sarà poi possibile fornire una stima di massima degli spessori delle coperture soffici responsabili dei possibili fenomeni di risonanza osservati. Un abaco utile in questo senso, che è stato utilizzato nell'ambito delle attività per il livello1 di microzonazione sismica nell'area interessata dal terremoto aquilano dell'Aprile 2009 (Albarello et al., 2010), è fornito in **Tabella 1**. Va sottolineato ancora una volta che i risultati prodotti a partire da un'interpretazione semplificata delle misure H/V , quale quella effettuata mediante la Tabella 1 hanno carattere statistico e semiquantitativo e vanno considerati solo previo confronto con le indicazioni derivanti da prove indipendenti.

6.3 REPORT DEI RISULTATI – N. 5 MISURE HVSR

Vengono qui riportati i Report dell'elaborazione della misura eseguita secondo la tecnica H/V mediante software **WINMASW 4.8 pro**. I dati registrati sono stati ripuliti dai transienti attribuibili a disturbi locali e puntuali. Sui dati ripuliti è stata quindi eseguita l'elaborazione.

HVSR1





STAZIONE HVS2	PEAK FREQUENCY (Hz)	PEAK HVS2 VALUE
HVS21	3.50 (±1.5)	2.8 (±0.5)
HVS22	6.40 (±1.3)	3.1 (±0.4)

In accordo con i risultati della sezione sismica a rifrazione, non sono evidenti picchi di risonanza. Mediamente si rileva per le due acquisizioni un "Peak frequency medio" (Hz) crescente che passa dai 3.50 Hz (tratto centrale della sezione sismica 1-1') ai 6.40 Hz (eseguita nel tratto finale della sezione sismica), che applicando la formula $f = \frac{V_s}{4h}$, e considerando una V_s di copertura attorno ai 250 m/s, è relativo ad un contrasto di impedenza acustica a profondità di ca. 20 m da p.c. (HVS21) e ca. 10 m da p.c. (HVS22).

TOMOGRFIA ELETTRICA

7.0 SCHEMA OPERATIVO

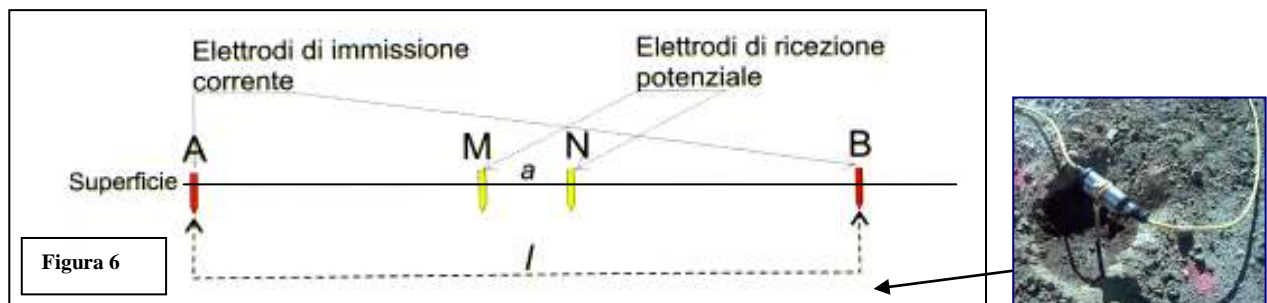
Nella **Tavola 02** allegata, è stato riportato un inquadramento corografico di dettaglio, in scala 1:1.000 con inserita la sezione di tomografia elettrica eseguita (in blu). In considerazione dei risultati

prefissati, sono state scelte distanze inter-elettrodo pari a 5.0 m. Complessivamente sono stati acquisiti **180 ml** (A-A').

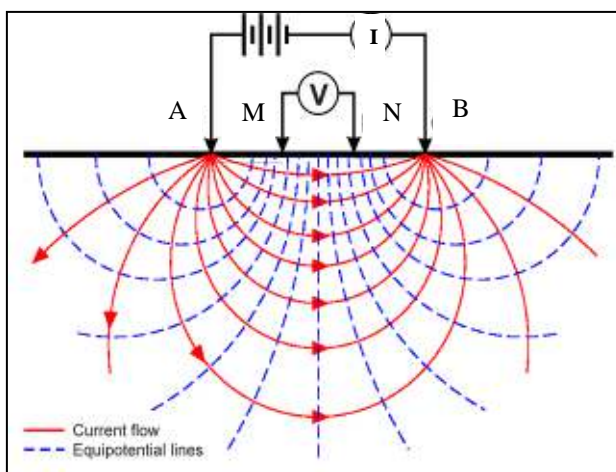
8.0 METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Il metodo geoelettrico nelle indagini geofisiche sfrutta le proprietà di rocce, sedimenti (terre) di condurre in modo diverso la corrente elettrica. Il parametro che viene misurato è la resistività elettrica che dipende dalla porosità, dalla permeabilità e dal contenuto ionico dei fluidi di ritenzione.

La tomografia elettrica rappresenta un'evoluzione recente dei sondaggi elettrici verticali (S.E.V.), ed è funzionale grazie ai notevoli progressi dell'elettronica digitale e della modellistica geofisica. A seconda della distanza reciproca tra gli elettrodi che immettono la corrente e gli altri che la misurano, si possono investigare profondità sempre maggiori di terreno. Vengono usati *array* diversi a seconda della problematica da indagare, in generale i più utilizzati sono: *Schlumberger*, *Wenner*, *dipolo-dipolo*. L'esecuzione di un profilo tomografico prevede l'installazione di una serie di picchetti metallici (elettrodi), in questo caso 40, che vengono utilizzati tanto come elettrodi di corrente che di potenziale (Figura 4).



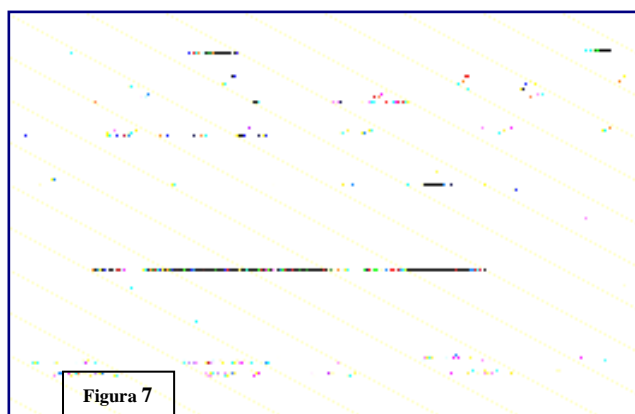
Tramite gli elettrodi **A - B** si immette nel terreno una corrente continua I_c , mentre tramite gli elettrodi **M-N** viene rilevata la differenza di potenziale V che si instaura. Conoscendo I_c e misurando V si calcola la resistività elettrica relativa alla configurazione elettrodo utilizzata, usando la formula:



$$\rho_a = \frac{\pi(l_{(A,B)} / 2)^2 - (a_{(M,N)} / 2)^2}{a_{(M,N)}} \cdot \frac{V}{I_c}$$

Spostando lateralmente il dispositivo elettronico (**M-N**) si rilevano le variazioni orizzontali della resistività e con il progressivo incremento della distanza che intercorre tra le due coppie di elettrodi (**A-B**) si esplorano strati via via più

profondi, il risultato è una sezione bidimensionale in profondità (**Fig. 5**).



Dato che il caso di un sottosuolo omogeneo può ritenersi solo teorico, i valori di resistività rilevati sono valori di resistività “apparente” (ρ_a), influenzati e mediati sull’intero spessore indagato. La resistività apparente si misura in $\Omega \cdot m$ (Ohm per metro lineare) ed esprime il valore della resistività calcolato con una certa configurazione geometrica ed è dipendente dai valori di resistività dei singoli strati interessati dalla corrente immessa.

Per quanto riguarda la strumentazione utilizzata, nel caso specifico si è trattato di un georesistivimetro ARES (GF Instruments,s.r.o.®) con 40 elettrodi le cui caratteristiche tecniche vengono qui riportate (**Fig.6**).



TRANSMITTER:	
POWER	Up to 300 W
CURRENT	up to 2.0 A
VOLTAGE	10-550 V (1100 Vp-p)
PROTECTION	FULL ELECTRONIC PROTECTION
PRECISION	0,10%
RECEIVER:	
INPUT IMPEDANCE	20 M Ω
INPUT VOLTAGE RANGE	-5 V
MAINS FREQUENCY FILTERING	50 or 60 Hz
PRECISION	0,10%

Figura 8

9.0 ARRAY DI TIPO “SCHLUMBERGER”

L'array di tipo “Schlumberger” prevede di lasciare i due elettrodi di potenziale M e N ad una distanza fissa (a) sempre nel centro dello stendimento elettrodo.

Nella prima misura gli altri due elettrodi di corrente A e B vengono allineati rispettivamente alla stessa distanza a , agli estremi opposti.

Via via che l'indagine vuole esplorare sezioni di terreno a profondità maggiore si allarga la distanza degli elettrodi di corrente per multipli di a fino ad un valore compatibile con il numero degli elettrodi a disposizione (Fig. 7). In questo caso si introduce il fattore n , ovvero il rapporto tra A-M (o N-B) e M-N.

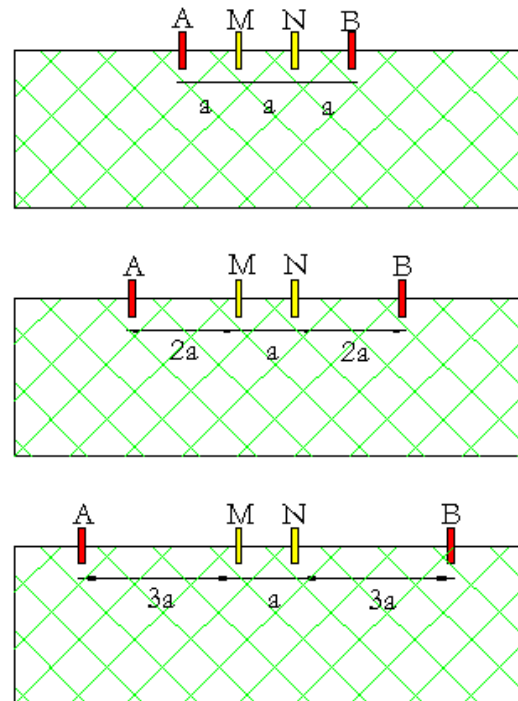
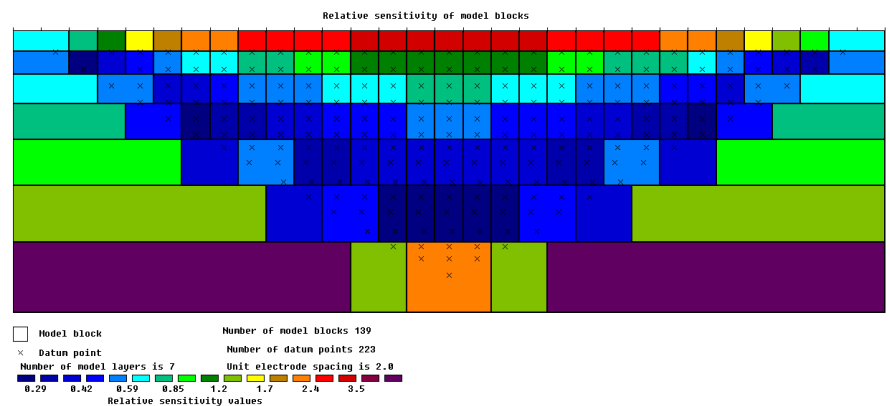


Fig. 9 – Geometria del metodo “Schlumberger”.

10.0 “PROCESSING” DEI DATI

Il software RES2DINV[®] (Geotomo Software[®]), utilizzato nel corso del presente lavoro, permette di ottenere un modello bidimensionale di resistività per i dati ottenuti dal rilievo elettrico e sfruttando il metodo dell'inversione permette partendo dai valori di resistività apparente di arrivare a quelli reali del terreno investigato.

Il modello bidimensionale utilizzato nel programma di inversione consiste in un numero di blocchi rettangolari il cui arrangiamento dipende dalla posizione dei dati rilevati.

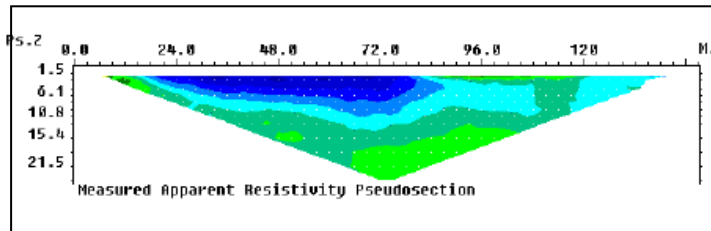


La distribuzione e posizione dei blocchi è automaticamente generata dal programma in modo tale che il numero dei blocchi non superi il numero dei dati acquisiti.

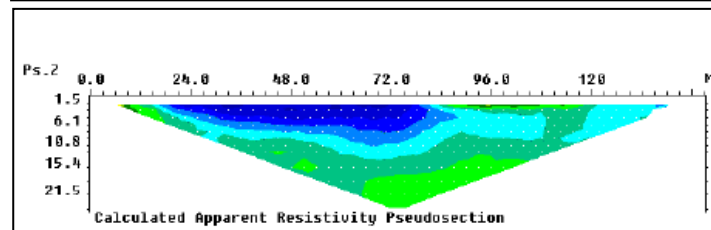
Una complessa routine di modellizzazione viene utilizzata per calcolare i valori di resistività apparente mentre per la routine di inversione viene utilizzata una tecnica di ottimizzazione ai minimi quadrati non lineare.

Nelle sezioni estrapolate si individua nell'asse orizzontale la distanza progressiva dell'allineamento elettrodico sul terreno e nell'asse verticale la profondità rispetto al piano di campagna.

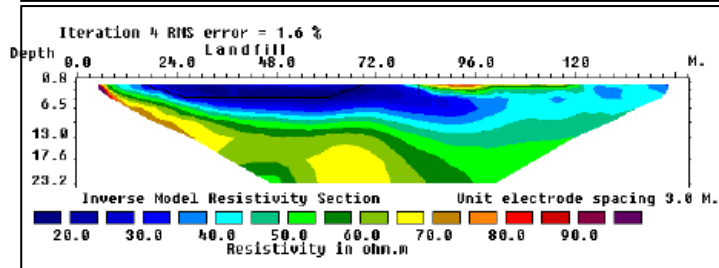
Il software RES2DINV® restituisce 3 profili tomografici che esprimono rispettivamente:



La pseudosezione misurata, che rappresenta una distribuzione laterale e verticale della resistività apparente in funzione di una profondità teorica.



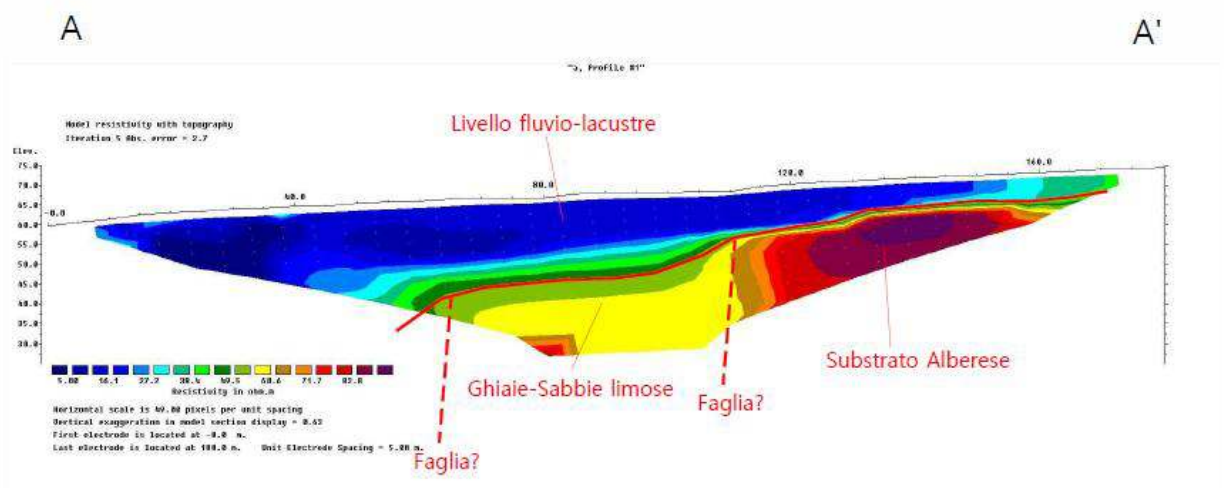
La pseudosezione calcolata, che è stata ottenuta dal modello bidimensionale.



La vera e propria sezione 2D, dove è rappresentata la distribuzione verticale ed orizzontale della resistività reale del terreno oggetto d'indagine.

11.0 ANALISI DEI RISULTATI - TOMOGRAFIA ELETTRICA

Nella **Tavola 11** è stata riportata la sezione di tomografia elettrica. I risultati evidenziano generalmente forti variazioni dei valori di resistività, soprattutto lungo la sezione A-A', che mostrano mediamente la presenza di un livello superficiale caratterizzato da valori medio-bassi di resistività (5-30 Ohm.m), e un livello più profondo caratterizzato da valori di resistività intermedi, nel tratto centrale,



prossimi ai 40-60 Ohm.m (ghiaie-sabbie limose), e con valori decisamente superiori nella parte finale, dove si rilevano valori di resistività superiori ai 70-80 Ohm.m, riferibili alla Formazione dell'Alberese. Lungo la sezione sono state inserite, in fase di interpretazione, due linee tratteggiate, che indicherebbero le due possibile faglie che ribassano il substrato roccioso.

12.0 CONSIDERAZIONI FINALI

Le indagini eseguite a supporto del **PIANO ATTUATIVO AT54a**, hanno permesso di evidenziare le caratteristiche geofisiche, quali velocità delle onde sismiche compressionali e di taglio, dei materiali superficiali e profondi nell'area in oggetto, ubicata in prossimità dello Stabilimento **ELI LILLY** di **SESTO FIORENTINO (FI)**.

L'indagine geofisica di superficie, eseguita mediante sismica a rifrazione ed elaborazione tomografica, ha permesso di identificare in profondità il passaggio tra i materiali più superficiali ed il substrato.

Sulla base di quanto fino ad ora riportato è possibile trarre le seguenti considerazioni conclusive relativamente all'area in oggetto:

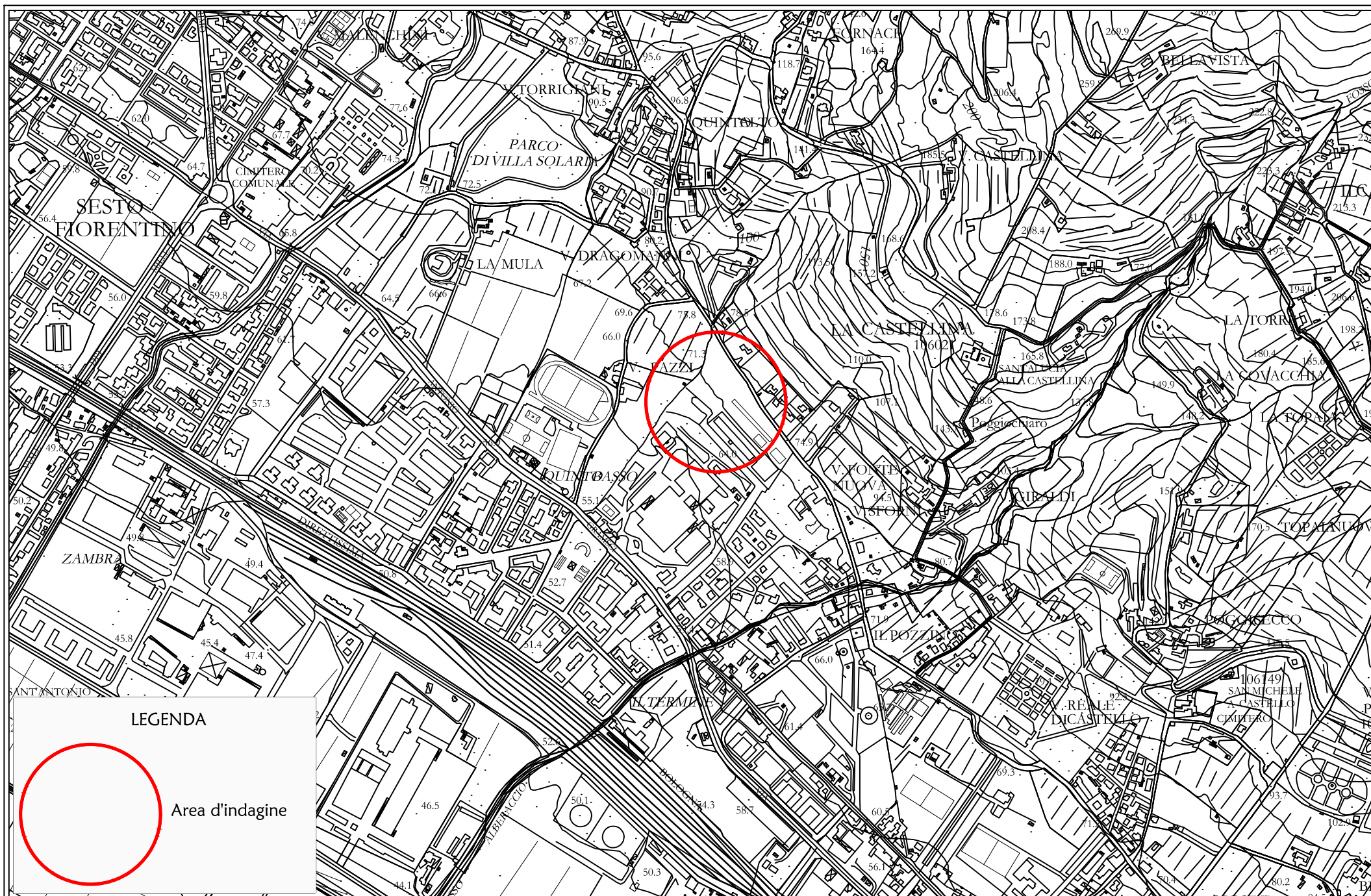
- i risultati ottenuti dalla sezione eseguita con onde P ed SH, indicano la presenza di due superfici rifrangenti: la prima ubicata a profondità comprese tra 0.30 e 4.40 m (onde P-SH); la seconda più profonda si localizza a profondità tra 7.00 e 18.20 m (P-SH);
- nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto i materiali più superficiali caratterizzati da velocità delle onde P pari a 425-690 m/s e velocità delle onde SH pari a 170-250 m/s, con il livello intermedio costituito da limi con ghiaie che presenta velocità comprese tra 950 e 1.470 m/s (Onde P) e tra 285 e 330 m/s (onde SH). La superficie più profonda mette in contatto il livello intermedio con il substrato costituito: nella prima parte, da ghiaie e sabbie limose con velocità prossime a 2.000 m/s (onde P) e 500 m/s (onde SH); nella seconda parte invece si osservano velocità maggiori, soprattutto delle onde SH, che indicherebbero il passaggio al substrato roccioso, ca. 1.800 m/s (onde P) e comprese tra 750 e 950 m/s (onde SH);
- è stata calcolata per la sezione, come previsto dal D.M. 14/01/2008 Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni, una Vs30 per la prima parte pari a 327 m/s ed una Vs30 per la seconda parte pari a 450 m/s.
- le misure HVSR hanno evidenziato un picco a 3.50 Hz (HVSR1), riconducibile ad un substrato a ca. 20 m di profondità, ed un picco a 6.40 Hz (HVSR2), riferibile ad un substrato a ca. 10 m;

- infine l'indagine eseguita mediante tomografia elettrica ha confermato la presenza una coltre più superficiale di materiale conduttivo con spessori decrescenti lungo lo stendimento; più in profondità il substrato mostra valori di resistività crescenti verso monte, dove i valori più elevati, probabilmente, si riferiscono alla presenza della Formazione dell'Alberese

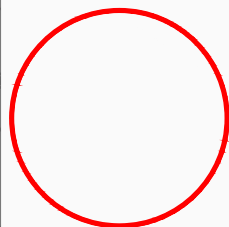
Arezzo, lì 09/01/2018

TRIGEO s.n.c.
di Nencati Andrea & D'Amico Benedetto
Via Mazzini n°19 - 50014 AREZZO (AR)
P.IVA 02022710545
Tel/Fax 0573 254800 - 056 9960212
Cell. 339 8048117 - 326 7213623
www.trigeo.it - info@trigeo.it

ALLEGATI



LEGENDA



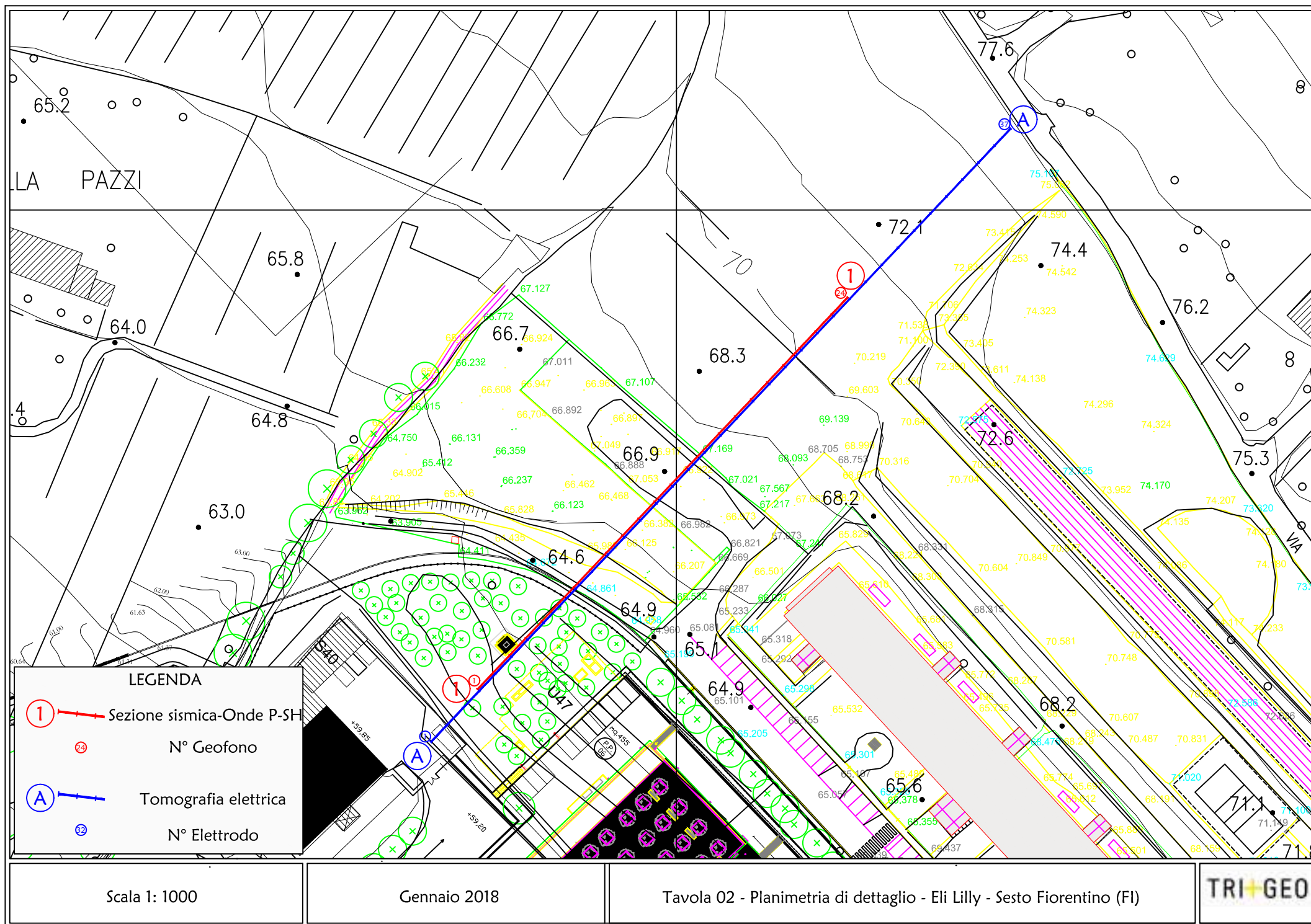
Area d'indagine

Scala 1: 10000

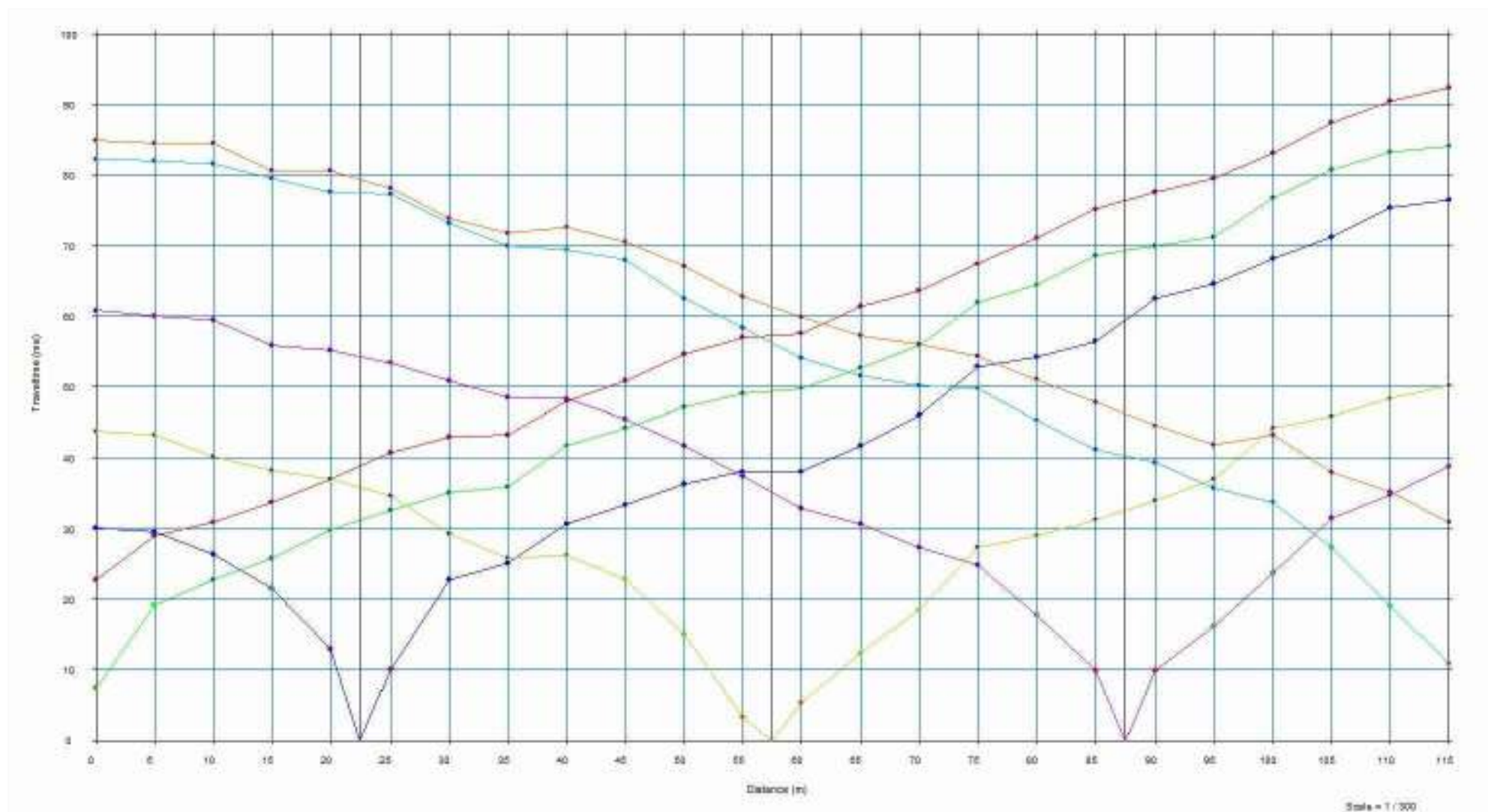
Gennaio 2018

Tavola 01 - Planimetria generale - Eli Lilly - Sesto Fiorentino (FI)

TRI+GEO



Dromocrone

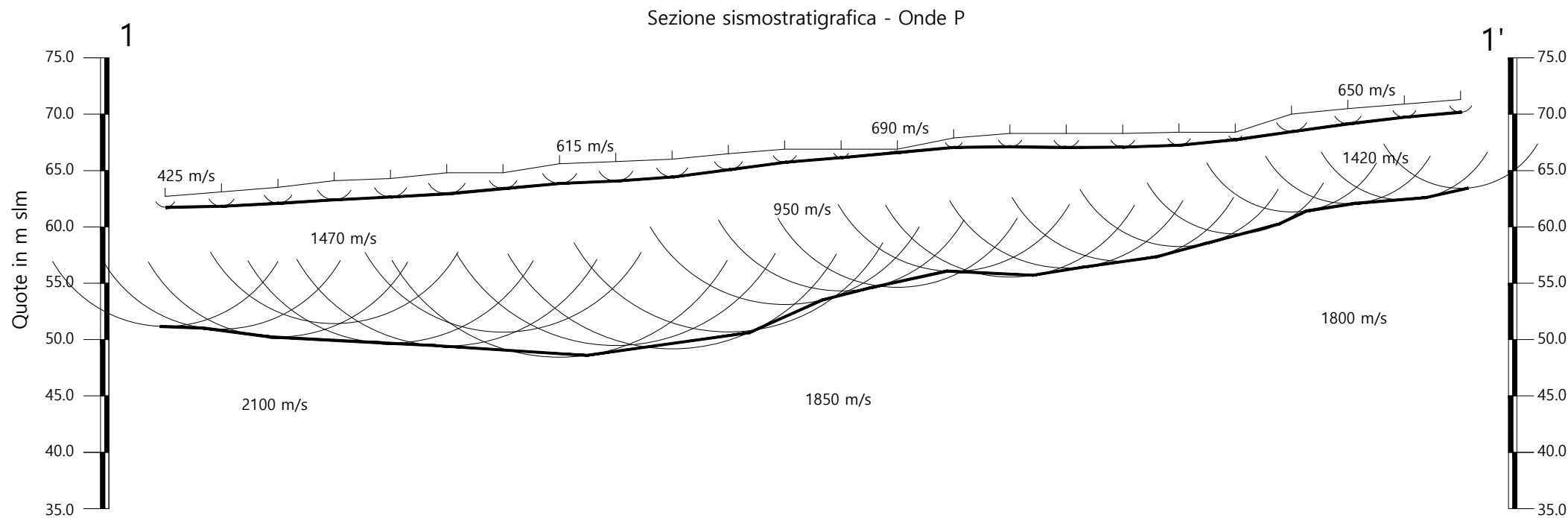


Scala Verticale 1:500
Scala Orizzontale 1:500

Gennaio 2018

Tavola 03 - Dromocrone-Onde P-Sezione 1-1'- Eli Lilly - Sesto Fiorentino (FI)

TRI+GEO



Numero geofono	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distanze (m)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115
Quote in m slm Quote rilievo	62.70	63.10	63.50	64.10	64.30	64.80	64.80	65.60	65.80	66.00	66.50	66.90	66.90	66.90	67.90	68.30	68.30	68.30	68.40	68.40	70.00	70.50	70.90	71.30
Profondità da p.c. Livello 1 (m)	0.97	1.28	1.41	1.70	1.65	1.87	1.40	1.75	1.73	1.58	1.43	1.17	0.76	0.30	0.85	1.19	1.26	1.22	1.16	0.66	1.54	1.35	1.17	1.13
Profondità da p.c. Livello 2 (m)	11.54	12.19	13.28	12.70	14.61	15.37	14.16	17.17	16.34	16.84	15.83	13.80	12.58	12.27	11.84	12.75	11.96	11.36	10.15	9.02	8.69	8.44	8.51	7.89



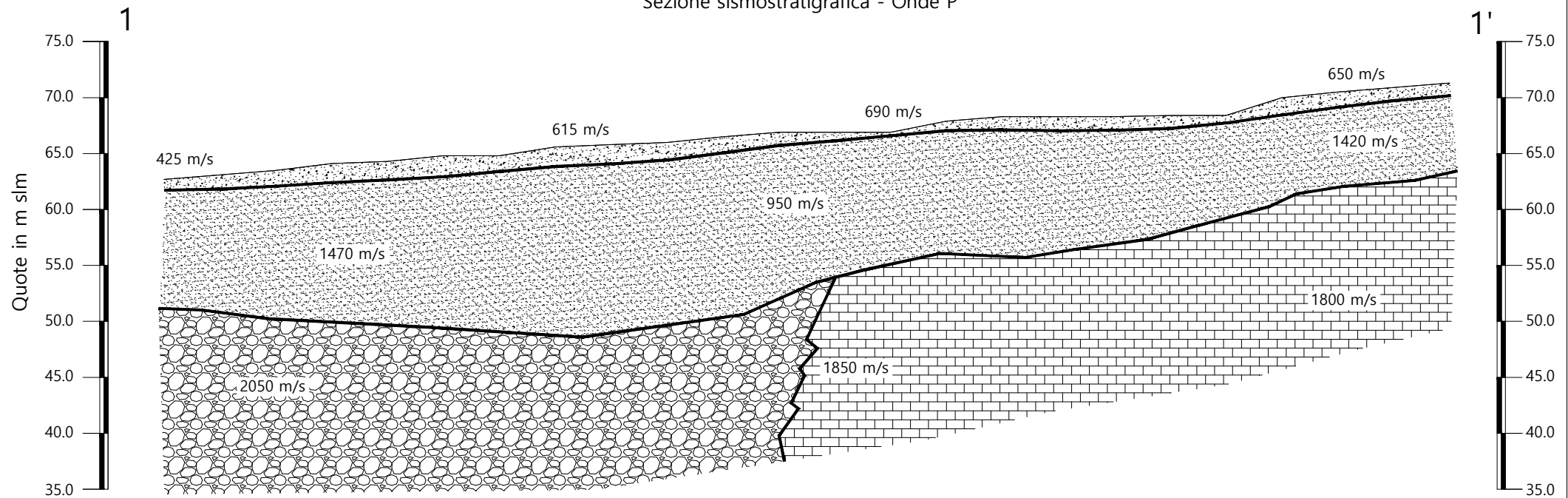
Scala Verticale 1:500
Scala Orizzontale 1:500

Gennaio 2018





Tavola 04 - Sezione sismostratigrafica-Onde P-Eli Lilly-Sesto Fiorentino (FI)

TRI+GEO

Sezione sismostratigrafica - Onde P



Legenda

-  Terreno vegetale
Materiale di riporto
-  Limi con ghiaie
-  Ghiaie - Sabbie limose
-  Substrato - Alberese

Scala Verticale 1:500
Scala Orizzontale 1:500

Gennaio 2018

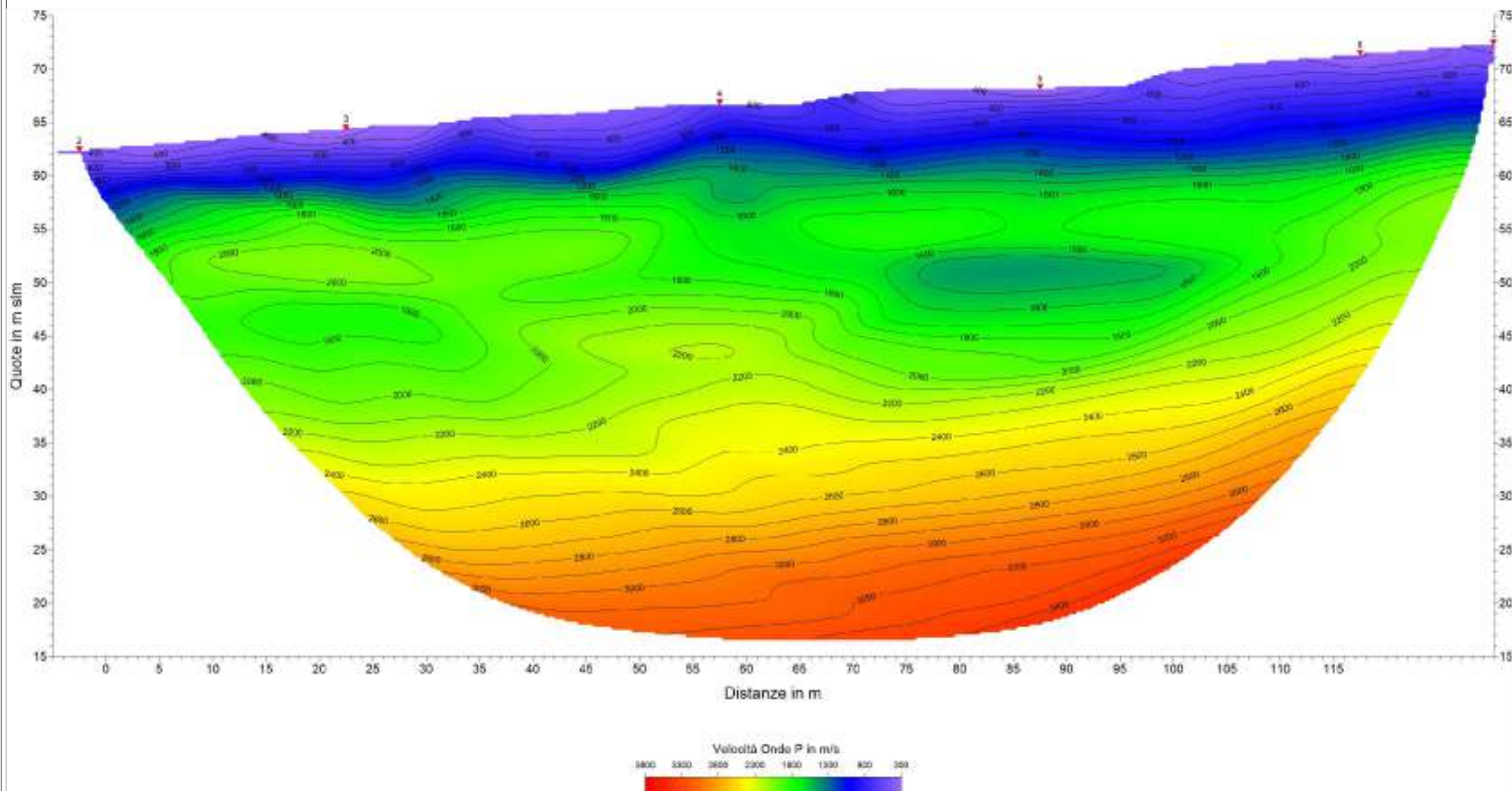
Tavola 05 - Sezione litostratigrafica - Onde P - Eli Lilly - Sesto Fiorentino (FI)

TRI+GEO

1

Sezione tomografica - Onde P

1'



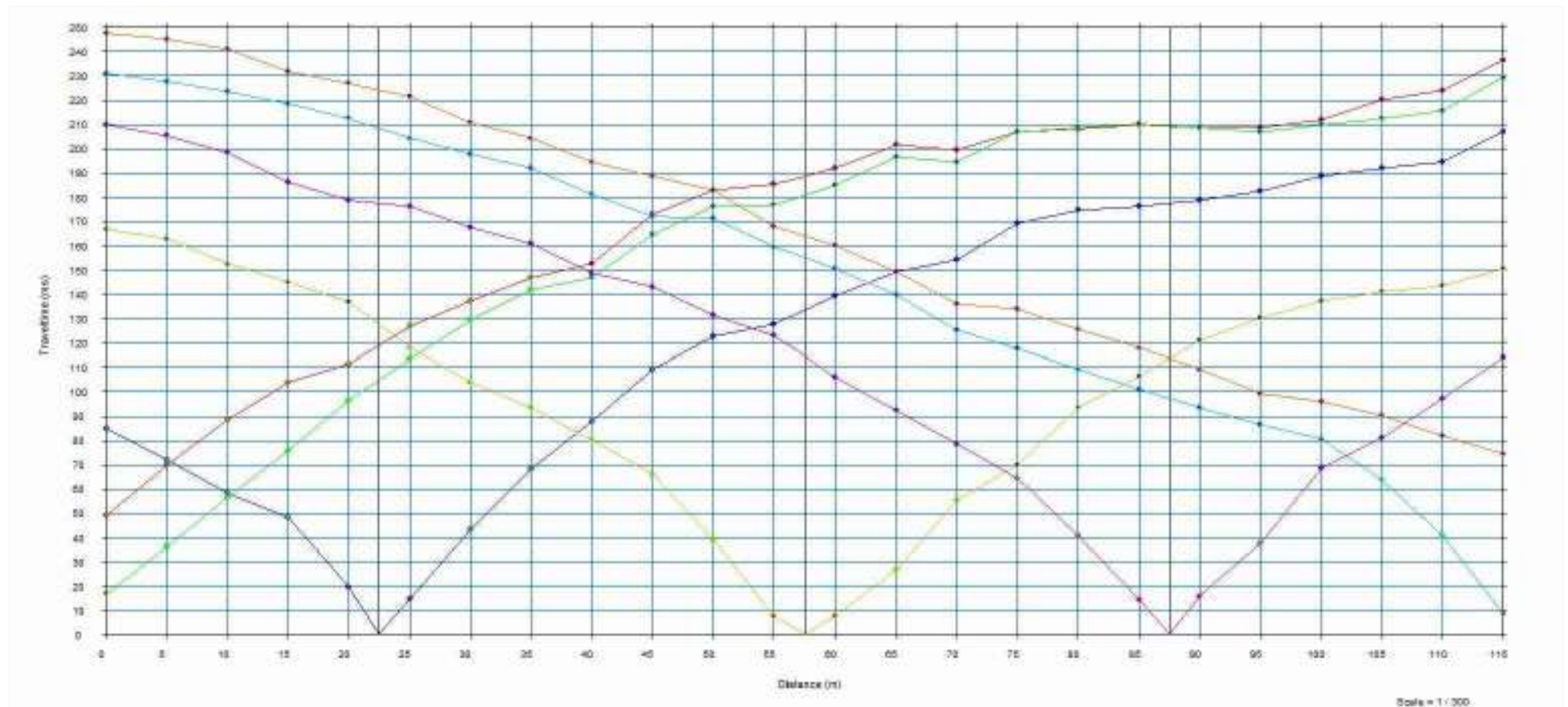
Scala Verticale 1:500
Scala Orizzontale 1:500

Gennaio 2018

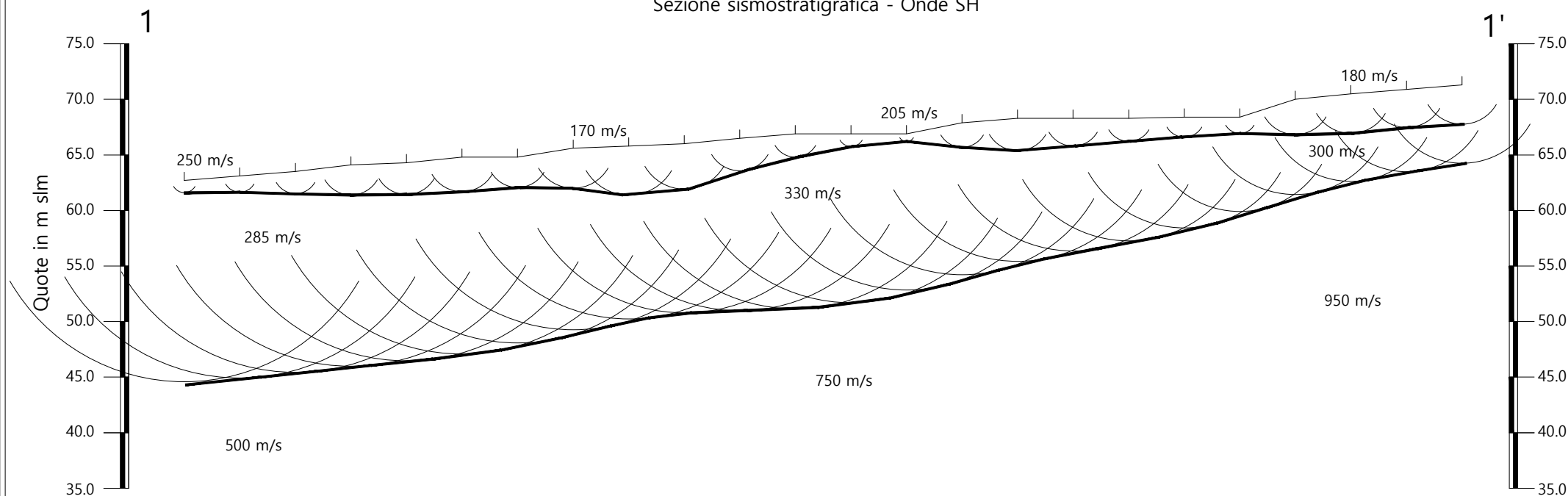
Tavola 06 - Sezione tomografica - Onde P - Eli Lilly - Sesto Fiorentino (FI)

TRI+GEO

Dromocrone



Sezione sismostratigrafica - Onde SH



Numero geofono	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distanze (m)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115
Quote in m slm Quote rilievo	62.70	63.10	63.50	64.10	64.30	64.80	64.80	65.60	65.80	66.00	66.50	66.90	66.90	66.90	67.90	68.30	68.30	68.30	68.40	68.40	70.00	70.50	70.90	71.30
Profondità da p.c. Livello 1 (m)	1.12	1.47	2.01	2.71	2.87	3.13	2.74	3.61	4.44	4.10	2.93	2.10	1.16	0.70	2.22	2.93	2.50	2.08	1.80	1.48	3.19	3.56	3.45	3.55
Profondità da p.c. Livello 2 (m)	18.14	18.20	18.08	18.14	17.84	17.72	16.74	16.35	15.57	15.23	15.52	15.76	15.20	14.07	13.68	12.88	11.94	11.04	9.98	8.50	8.59	7.89	7.41	7.07



Profilo topografico

Profilo topografico strato

830 m/s

Velocità sismica dello strato
in m/s

Geofoni



Distanza dalla superficie
topografica del limite di strato
all'involuppo degli archi

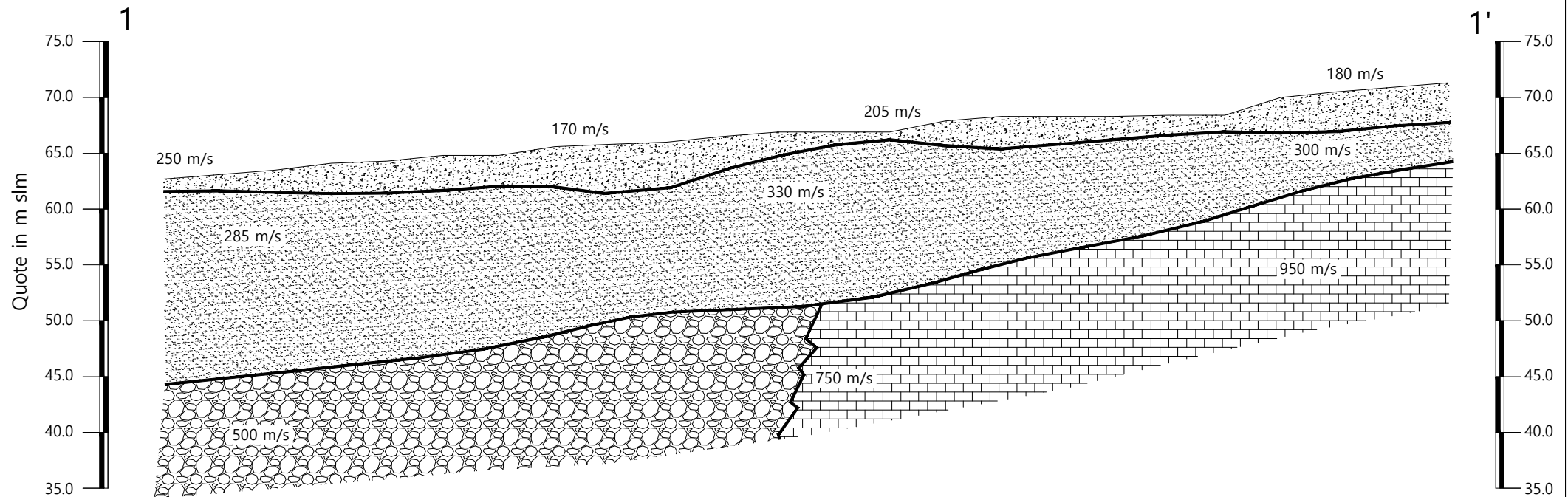
Scala Verticale 1:500
Scala Orizzontale 1:500

Gennaio 2018





Tavola 08 - Sezione sismostratigrafica-Onde SH -Eli Lilly-Sesto Fiorentino (FI)

TRI+GEO

Sezione litostratigrafica - Onde SH



Legenda

-  Terreno vegetale
Materiale di riporto
-  Limi con ghiaie
-  Ghiaie - Sabbie limose
-  Substrato - Alberese

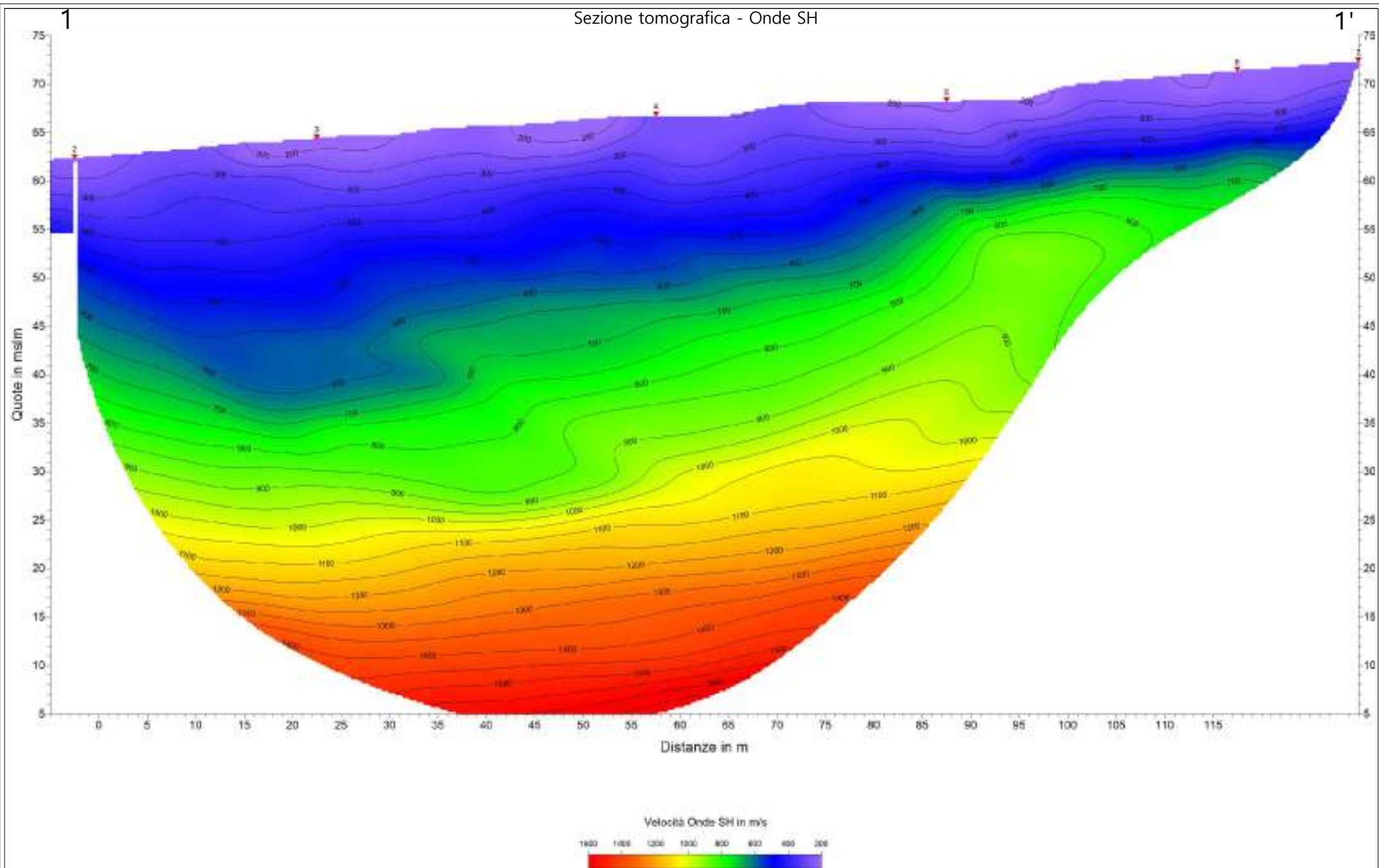
Scala Verticale 1:500
Scala Orizzontale 1:500

Gennaio 2018

Tavola 09 - Sezione litostratigrafica -Onde SH- Eli Lilly - Sesto Fiorentino (FI)

TRI+GEO

Sezione tomografica - Onde SH



Scala Verticale 1:500
Scala Orizzontale 1:500

Gennaio 2018

Tavola 10 - Sezione tomografica - Onde SH - Eli Lilly - Sesto Fiorentino (FI)

TRI+GEO

Tomografia elettrica A-A'

