



COMUNE DI SOVICILLE

PROVINCIA DI SIENA

Proposta di riclassificazione dell'area doliniforme interessata dal Piano Attuativo "*Provinciale della Montagnola Senese n.52, località Le Mandrie a Sovicille*" da pericolosità G.4/PFME a G.3/PFE

[Studio geologico](#)

Committente: Settore Tecnico Edilizia/Urbanistica/LL.PP.

Dott.Geol.Alberto Tomei

INDICE

<i>Premessa</i>	pag.1
1. Inquadramento geologico e geomorfologico	pag.2
2. Indagine geognostica in situ	pag.5
2.1 Indagini geofisiche di sismica a rifrazione in onde P con elaborazione MASW	pag.6
2.2. Misura di microtremore a stazione singola HVSR	pag.8
2.3 Prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH)	pag.9
3. Interpretazione dei dati geognostici e valutazione della dolina	pag.10
4. Pericolosità geologica vigente e proposta di riclassificazione	pag.11
5. Nuova scheda di fattibilità geologica, idraulica e sismica per il Piano Attuativo "Provinciale della Montagnola Senese n.52, località Le Mandrie" (ex PA01.1)	pag.13

figure: Sezione 1 - Sezione 2

Appendice 1: Report dei profili di sismica a rifrazione in onde P

Appendice 2: Report dei profili MASW

Appendice 3: Report della misura di microtremore a stazione singola HVSR

Appendice 4: Report delle prove penetrometriche dinamiche



Premessa

Questo documento costituisce la relazione tecnica dello studio geologico-tecnico condotto nell'area doliniforme compresa all'interno della previsione del Piano Attuativo "*Provinciale della Montagnola Senese n.52, località Le Mandrie a Sovicille*" (ex PA.01.1) stralciata dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale nell'ambito delle verifiche di competenza dello studio geologico di supporto alla variante al Piano Strutturale e redazione del nuovo Piano Operativo comunale. Nel parere espresso dall'Autorità di Bacino (prot.n.3344 del 7 maggio 2018) si evidenziava, infatti, come parte dell'area perimetrata dal Piano Attuativo PA01.1 comprendesse una zona classificata dalla carta geologica di supporto al Piano Strutturale adottato come G.4 (pericolosità geologica molto elevata) e dalla carta del P.A.I. come zona PFME (pericolosità da frana molto elevata) e come tale occorrenza, ai sensi della normativa vigente, imponesse studi geologici, idrogeologici e geotecnici a supporto degli interventi di consolidamento, bonifica, protezione e sistemazione che potessero supportare la previsione del Piano Attuativo già a livello di Piano Operativo.

Il Comune di Sovicille al fine di produrre i necessari approfondimenti di studio necessari alla verifica della fattibilità del Piano Attuativo PA01.1 all'interno del nuovo Piano Operativo ha affidato al sottoscritto lo studio geologico dell'area anche in funzione di una verifica sull'effettivo grado di pericolosità geologica.

Qui di seguito si riporta la descrizione della campagna geognostica effettuata che è stata dimensionata anche a seguito di colloqui effettuati con i tecnici dell'Autorità di Bacino Distrettuale e le conclusioni che è stato possibile trarre a sostegno della proposta di declassazione della pericolosità geologica da G.4 a G.3 e quindi della possibilità di confermare il Piano Attuativo "*Provinciale della Montagnola Senese n.52, località Le Mandrie a Sovicille*" in sede di approvazione del Piano Operativo.

Conseguentemente alla proposta di riduzione della classe di pericolosità si allega la nuova scheda di fattibilità geologica, idraulica e sismica per il Piano Attuativo PA01.1 che andrebbe a sostituire quella precedentemente adottata.

1. Inquadramento geologico e geomorfologico

La zona oggetto di studio si trova a sud-ovest dell'abitato principale di Sovicille (figura 1)



figura 1 – ubicazione della dolina da foto aerea scala 1:5.000

lungo la strada provinciale della Montagnola Senese (S.P.52) in località Le Mandrie ed è caratterizzata da un substrato lapideo costituito dalla "Breccia di Grotti"; termine utilizzato per distinguere litotipi lapidei brecciati di formazione neogenica (Miocene). Questi depositi affiorano a contatto con la formazione sottostante del "Calcere cavernoso" della Serie Toscana (triassico superiore), di cui la Breccia di Grotti rappresenta la facies clastica che ha subito una significativa elaborazione ed alterazione "in situ" durante il periodo miocenico. I caratteri strutturali sono quelli di una breccia ad elementi calcarei e dolomitici, con presenza assai subordinata, di ciottoli anagenitici e/o di calcari silicei delle formazioni flyschoidi. L'elaborazione del materiale è scarsa e la classazione del tutto assente; il cemento risulta essere argilloso sabbioso o più raramente calcareo, intensamente limonitizzato.

Questa formazione, derivante dal rimaneggiamento in situ del sottostante "calcere cavernoso", mostra i classici caratteri di una breccia ad elementi calcareo dolomitici, ricementata con cemento argilloso sabbioso, spesso limonitizzato. Il suo spessore risulta di difficile definizione in quanto derivando dal sottostante "cavernoso" nella sua facies di contatto, può essere valutato al massimo in non oltre 80-100 metri. Da un punto di vista geomeccanico sono ipotizzabili i seguenti parametri geotecnici principali: angolo di attrito intorno ai 35-45°; peso di volume pari a 1,9/2,0 t/mc.

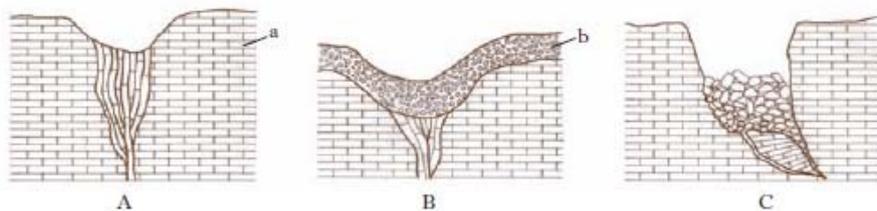
La formazione del Calcere cavernoso (Triassico superiore), appartenente alla Serie Toscana è costituita principalmente da un calcare dolomitico grigio scuro, localmente brecciato e/o "a cellette", con frequenti patine arrossate, "tasche" di terre rosse residuali e locali fenomeni carsici; subordinatamente si trovano, all'interno della facies calcarea, masse di gesso saccaroide e/o lenti di dolomia nerastra. In alcuni casi mostra invece i caratteri di "cenerone" cioè di sabbia



sviluppo di una dolina, la dissoluzione progressiva del calcare può portare a cedimenti all'interno del corpo roccioso che danno luogo, in superficie, a "collassi" del terreno e quindi alla formazione di conche dalla tipica morfologia circolare. Nel tempo la raccolta e l'infiltrazione delle acque di scorrimento superficiale verso il centro della forma carsica dove si può formare un vero e proprio inghiottitoio tendono ad approfondire la dolina che in questo caso è da ritenere "attiva".

La dolina "potenzialmente attiva", come sarebbe individuata nella cartografia di pericolosità geologica, dovrebbe consistere, quindi, in una forma morfologica a conca, costituita da terreni permeabili, che raccoglie e concentra le acque superficiali verso il centro della depressione dove si sviluppa in profondità un inghiottitoio che assorbe continuamente le acque favorendo la continuità al processo di dissoluzione dei terreni calcarei.

Lo schema tipico dell'evoluzione di una dolina attiva può essere così rappresentato:



dove da un prima fase di dissoluzione in profondità della roccia calcarea (nel nostro caso della "Breccia di Grotti") che può essere facilitata dalla presenza di fratture che agevolano la circolazione delle acque sotterranee, si passa ad una fase in cui la dissoluzione del calcare si estende in larghezza creando una forma a scodella che si riempie di terreno residuale (terre rosse) fino al crollo della superficie quando il calcare indebolito dalla dissoluzione non regge più il peso del terreno soprastante.

Le doline non più attive rappresentano, invece, delle forme carsiche "relitte", ancora evidenti nella tipica morfologia a conca depressa, ancora sub-circolare, ma dove il processo di dissoluzione del calcare sottostante non è più attivo in quanto manca un inghiottitoio che possa drenare continuamente le acque di infiltrazione superficiale. Una dolina non più attiva è quindi ricoperta da spessori variabili di terreni residuali, eluvio-colluviali e eventualmente di riporto laddove è stata esercitata una attività antropica.

In relazione all'assetto geologico-strutturale dell'area che vede la formazione della Breccia di Grotti già come un "sottoprodotto" della dissoluzione del calcare cavernoso sottostante avvenuta nel periodo miocenico, ed all'assetto geomorfologico che individua un'area sì depressa e di forma circolare ma comunque riempita uniformemente di terreno sciolto e mantenuta ad uso agricolo senza particolari segni di avvallamenti e/o cedimenti localizzati del terreno, si è ritenuto che l'area doliniforme classificata come "dolina potenzialmente attiva" possa essere riclassificata come "dolina inattiva".

A supporto di questa nuova interpretazione si è ritenuto necessario e sufficiente raccogliere delle informazioni di dettaglio sulla morfologia sepolta e sulle caratteristiche litologiche e fisiche del substrato in modo da poter escludere la presenza di elementi tipici di una dolina attiva quali, ad esempio, un inghiottitoio.

2. Indagini geognostica in situ

Per la caratterizzazione dell'area oggetto di studio, trattandosi di un'area doliniforme, in relazione sia alle dimensioni ed alla morfologia del luogo che alla tipologia del substrato roccioso si è ritenuto necessario e sufficiente acquisire i dati sulle caratteristiche meccaniche del terreno e anche sulla morfologia sepolta mediante la realizzazione di cinque prove penetrometriche dinamiche, due stendimenti di sismica a rifrazione in onde P, con direzione perpendicolare tra di loro, e una prova di microtremore a stazione singola HVSR (figura 3):

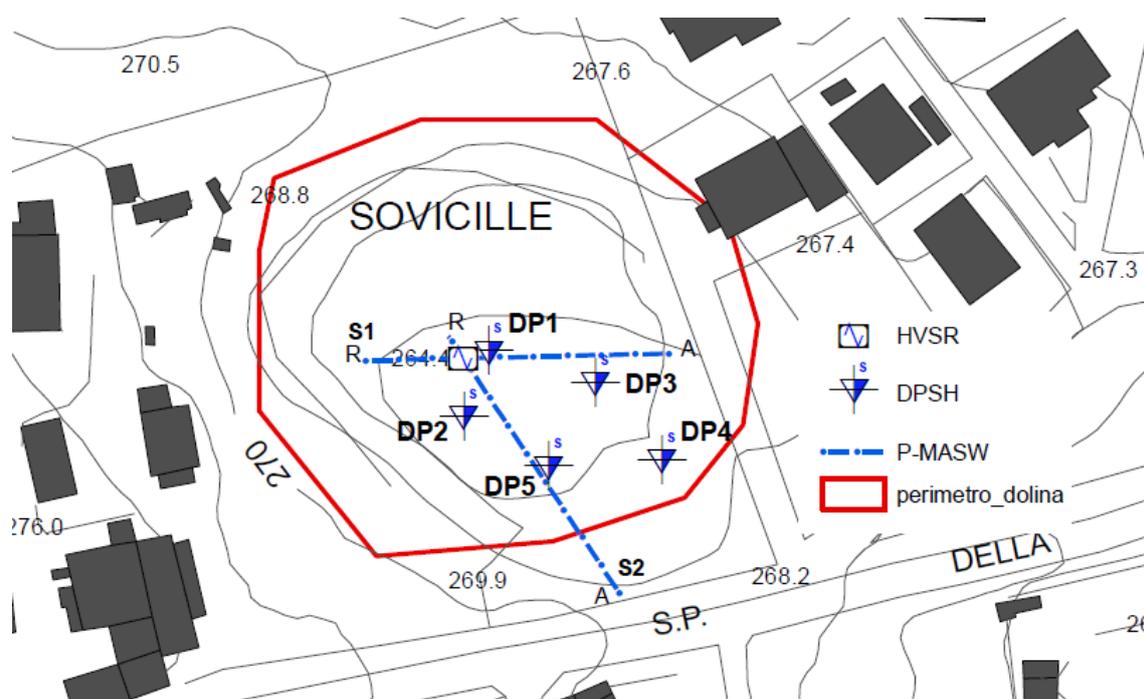


figura 3 – ubicazione delle indagini geognostiche scala 1:1.000

Le prove geognostiche sono state posizionate in base all'andamento morfologico della superficie del piano di campagna; in particolare lo stendimento S1 è allineato lungo la zona più depressa a quota di circa 6 metri più bassa della quota a cui scorre la strada provinciale e dove si attestano gli edifici sul lato occidentale della dolina. Oltre lo stendimento verso nord la superficie di campagna risale e sono ben evidenti gli affioramenti della Breccia di Grotti. Lo stendimento S2 è stato posizionato, invece, secondo l'altro asse della dolina in direzione quasi perpendicolare fino a incrociare lo stendimento 1 dove è stata posizionata la prova di microtremore HVSR. Le prove penetrometriche, preventivate in prima battuta come statiche e in un numero di quattro, sono state realizzate in numero di cinque (dinamiche) e distribuite intorno ai limiti presunti del fondo della conca pseudo-circolare.

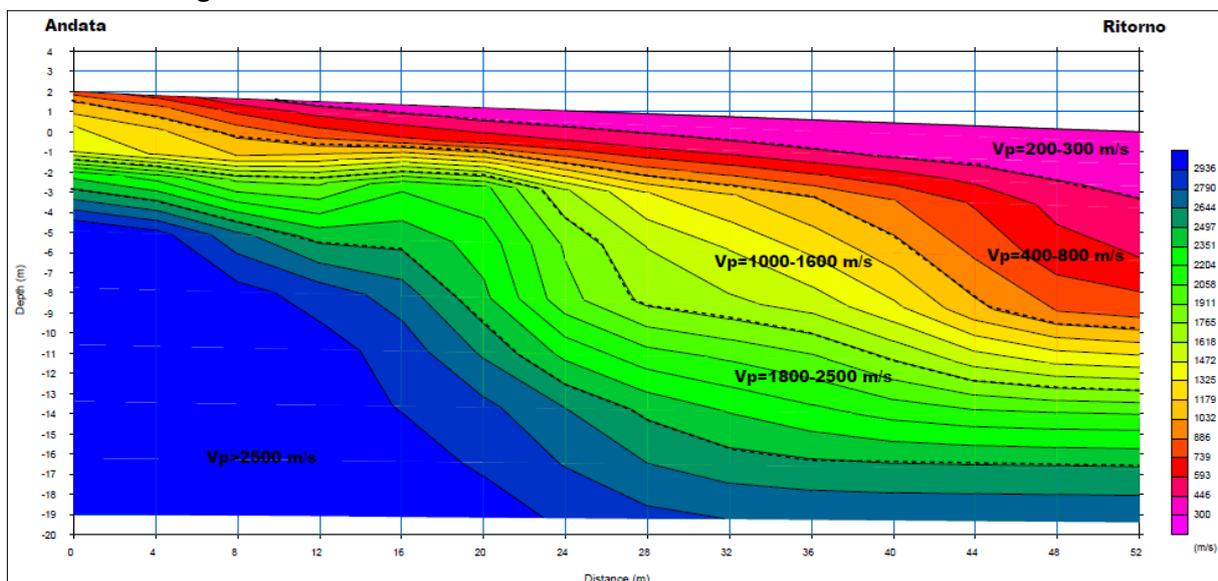
Nei due perfori relativi alle prove DP 1 e 2 sono stati inseriti due piezometri a tubo aperto fino alla profondità, rispettivamente, di 4,5 metri e 8,0 metri. Le misure della falda sono state realizzate a settembre, in un periodo sicuramente secco che può rappresentare il livello di minima e a fine novembre a seguito di un periodo di abbondanti piogge. Nel primo caso si è rilevato un livello dell'acqua a -4 metri di profondità dal piano campagna nel piezometro DP1 e assenza di acqua nel piezometro DP2; nel secondo caso il livello era risalito a -2 metri nel piezometro DP1 e nel piezometro DP2 l'acqua era stata rilevata a -4 metri dal piano campagna.



2.1 Indagini geofisiche di sismica a rifrazione in onde P con elaborazione MASW

I due profili di sismica a rifrazione sono stati eseguiti impiegando un sismografo "DOREMI" della SARA Electronic Instruments s.r.l. dove l'elettronica è distribuita lungo il cavo e la connessione al personal computer dedicato all'osservazione grafica ed al management del sistema è svolta da una interfaccia "DoReMi master". Il sismografo è pertanto distribuito con i suoi canali lungo la direttrice di rilevamento ed il software dedicato lo invia in forma digitale al sistema centrale in modo indipendente per ogni canale di registrazione. Alla strumentazione sismografica sono stati connessi sensori geofonici verticali da 4.5 Hz in numero di 12, posti a distanza reciproca di 4 metri in entrambe le basi sismiche; le energizzazioni, prodotte con massa battente, sono state ripetute ai due estremi della stesa geofonica ed in posizioni intermedie, al fine di dettagliare la morfologia dei rifrattori successivamente interpretati. I dati acquisiti consistono nelle registrazioni dei treni d'onda a partire dall'istante di energizzazione (+/- 1 msec), per un intervallo di tempo di 2000 msec, riprodotti da supporto magnetico sul quale è eseguita l'interpretazione. Quest'ultima, condotta mediante tecnica di tipo tomografico e mediante tecnica di analisi spettrale nel dominio delle frequenze tipo MASW. La sezione geofisica relativa alle base sismica 1 (figura 4 e Appendice 1) consente di rilevare la presenza nell'immediato sottosuolo di terreni eterogenei, prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi con frammenti rocciosi, di origine antropica, caratterizzati da velocità delle onde longitudinali variabili tra 200 m/s e 300 m/s, con uno spessore che varia da meno di mezzo metro in prossimità dell'estremo di andata dello stendimento fino a circa 3,0 metri in corrispondenza dell'estremo di ritorno. Al di sotto, i terreni risultano qualificati da valori di velocità variabili tra 400 m/s e 800 m/s, compatibili con terreni argilloso-sabbiosi mediamente consistenti, con spessore che varia da circa 1 metro, all'estremo di andata, fino a circa 6/7 metri verso il lato opposto. Tra 1,0 e 4,0 metri di profondità all'estremo di andata e tra 10 e 13 metri all'estremo di ritorno, con uno spessore massimo in corrispondenza del centro dello stendimento di circa 6/7 metri, i terreni risultano caratterizzati da velocità delle onde longitudinali comprese tra 1.000 m/s e 1.600 m/s, compatibili con terreni argilloso-sabbiosi consistenti con inclusi frammenti litoidi. Al di sotto, si rileva la porzione più superficiale alterata/fratturata del substrato litoide, costituito dalla Breccia di Grotti, qualificato da velocità comprese tra 1.800-2.500 m/s e caratterizzato da una morfologia a gradino rilevabile in prossimità del centro dello stendimento. A maggiore profondità è presente la porzione più competente del substrato litoide, caratterizzato da velocità superiori a 2.500 m/s.

figura 4 - sezione geofisica in onde P relativa alla base sismica 1



La sezione geofisica relativa alla base sismica 2 (figura 5 e Appendice 1) consente di rilevare la presenza nell'immediato sottosuolo di terreni eterogenei, prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi con frammenti rocciosi, caratterizzati da velocità delle onde longitudinali variabili tra 200 m/s e 400 m/s, con uno spessore che varia da meno di mezzo metro in prossimità dell'estremo di andata dello stendimento fino a circa 3 metri in corrispondenza dell'estremo di ritorno. Al disotto, i terreni risultano qualificati da valori di velocità variabili tra 500 m/s e 900 m/s, compatibili con terreni argilloso-sabbiosi mediamente consistenti, con spessore che varia da circa 2,5 metri all'estremo di andata fino a circa 4/5 metri a quello opposto. Tra 2,5 e 4,5 metri di profondità all'estremo di andata e tra 7/8 e 10/11 metri all'estremo di ritorno, con uno spessore massimo in corrispondenza del centro dello stendimento di circa 6/7 metri, i terreni risultano caratterizzati da velocità delle onde longitudinali comprese tra 1.000 m/s e 1.600 m/s, compatibili con terreni argilloso-sabbiosi consistenti con inclusi frammenti litoidi. Al di sotto, si rileva la porzione più superficiale alterata/fratturata del substrato litoide, costituito dalla Breccia di Grotti, qualificato da velocità comprese tra 1.800-2.500 m/s e caratterizzato da una morfologia a gradino rilevabile in prossimità del centro dello stendimento. A maggiore profondità è presente la porzione più competente del substrato litoide, caratterizzato da velocità delle onde longitudinali superiori a 2.500 m/s.

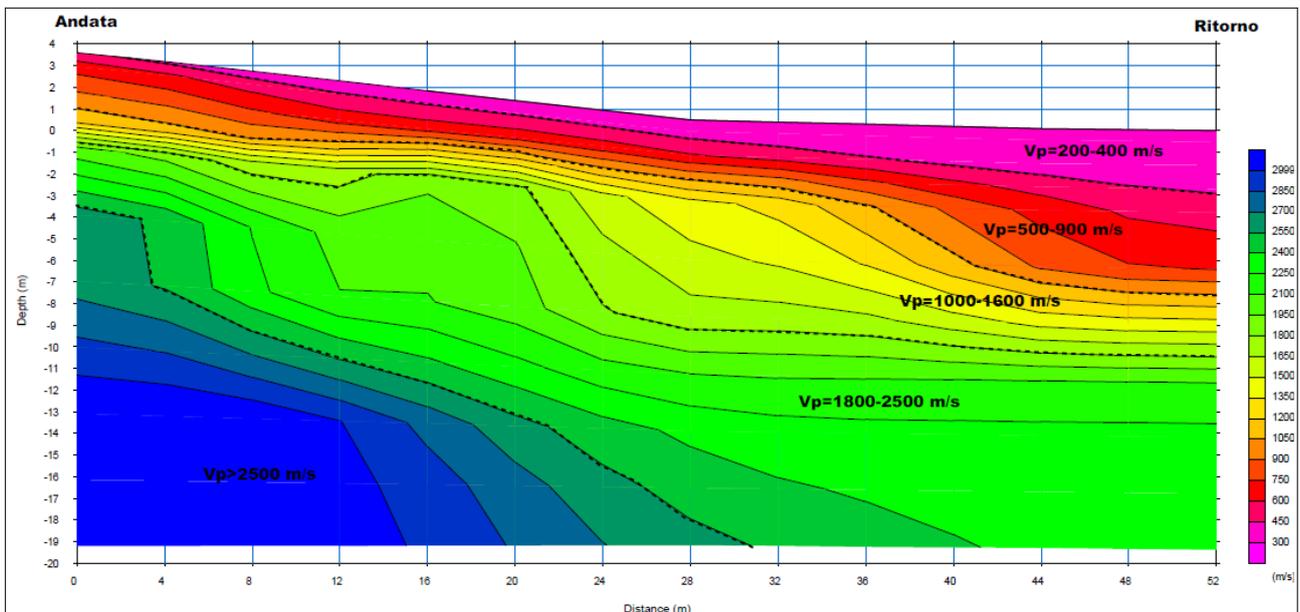


figura 5 - sezione geofisica in onde P relativa alla base sismica 2

L'indagine microsismica *Multichannels Analysis Surface Waves* per la valutazione della velocità delle onde S (di taglio) è stata eseguita impiegando il medesimo sismografo "DOREMI" multicanale, operando le acquisizioni sulle medesime direttrici geofoniche impiegate per le indagini a rifrazione, utilizzando una frequenza di campionamento di 5000 Hz e registrazione magnetica degli eventi per un intervallo di tempo di 2000 msec. I rilievi MASW sono stati condotti operando energizzazioni per l'acquisizione dei dati agli estremi delle stese geofoniche, restituendo i risultati su verticali rappresentative del sito e riferite agli estremi di energizzazione; alla strumentazione sismografica sono stati connessi sensori geofonici verticali da 4.5 Hz. I report completi delle elaborazioni sono riportati in Appendice 2.

Il profilo di velocità relativo alla verticale di restituzione dell'estremo di andata della base sismica 1 individua nell'immediato sottosuolo la presenza di terreni eterogenei, prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi con frammenti rocciosi caratterizzati da valori di velocità delle onde S di circa



200 m/s, per uno spessore dell'ordine di 2 metri. Al di sotto, si rileva un debole incremento di rigidità e si misurano valori di velocità delle onde di taglio dell'ordine di 220-250 m/s, riconducibile a terreni alterati di natura prevalentemente coesiva da poco a mediamente consistenti. Tra circa 6,0 e 12,0 metri di profondità, sono presenti terreni prevalentemente coesivi consistenti con inclusi frammenti litoidi, caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio compresi fra 350 m/s e 450 m/s. Al di sotto, fino a circa 17/18 metri di profondità, è intercettata la porzione più superficiale alterata e fratturata del locale substrato litoide, qui rappresentato dalla Breccia di Grotti, caratterizzato da valori di velocità delle onde di taglio compresi tra 520 m/s e 600 m/s. Infine. A maggiore profondità si rileva la porzione più competente del substrato litoide caratterizzato da velocità comprese fra 680 m/s e 850 m/s.

Il profilo di velocità relativo alla verticale di restituzione dell'estremo di ritorno della base sismica 1 individua nell'immediato sottosuolo la presenza di terreni eterogenei, prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi con frammenti rocciosi caratterizzati da valori di velocità delle onde S di circa 200 m/s, per uno spessore di circa 4 metri. Al di sotto, si rileva un relativo incremento di rigidità e si misurano valori di velocità dell'ordine di 300-350 m/sec, riconducibile a terreni alterati di natura prevalentemente coesiva, mediamente consistenti. Tra circa 10 e 15 metri di profondità, sono presenti terreni prevalentemente coesivi, consistenti, con inclusi frammenti litoidi, caratterizzati da valori di velocità compresi fra 480 e 520 m/s. Al di sotto, fino alla massima profondità di indagine, è intercettata la porzione più superficiale alterata e fratturata del locale substrato litoide (Breccia di Grotti), caratterizzato da valori di velocità compresi tra 620 e 700 m/s.

Il profilo di velocità relativo alla verticale di restituzione dell'estremo di andata della base sismica 2 individua nell'immediato sottosuolo la presenza di terreni eterogenei, prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi con frammenti rocciosi caratterizzati da valori di velocità delle onde S di circa 180 m/s, per uno spessore dell'ordine di 2/3 metri. Al di sotto, si rileva un relativo incremento di rigidità dove si misurano valori di velocità dell'ordine di 280-390 m/sec, riconducibile a terreni di natura prevalentemente coesiva, mediamente consistenti. Oltre i 10 metri di profondità, è intercettata la porzione più superficiale alterata e fratturata del locale substrato litoide, caratterizzato da valori di velocità delle onde di taglio crescenti con la profondità e variabili da 520 fino circa 720 m/s.

Il profilo di velocità relativo alla verticale di restituzione dell'estremo di ritorno della base sismica 2 individua nell'immediato sottosuolo la presenza di terreni alterati di natura prevalentemente coesiva mediamente consistenti, caratterizzati da valori di velocità delle onde S di circa 300 m/s, per uno spessore di circa 6 metri. Al di sotto, si rileva un relativo incremento di rigidità con valori di velocità variabili tra 350 e 480 m/s, riconducibili a terreni prevalentemente coesivi consistenti con inclusi frammenti litoidi. Tra 12 e 17/18 metri è intercettata la porzione più superficiale alterata e fratturata del locale substrato litoide caratterizzato da valori di velocità crescenti con la profondità e variabili da 550 m/s fino circa 700 m/s. Infine, a maggiore profondità, è presente la porzione più competente del locale substrato litoide, qualificato da velocità delle onde di taglio di circa 800-850 m/s.

2.2. Misura di microtremore a stazione singola HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticali del rumore sismico ambientale misurato nelle tre direzioni ortogonali del moto. Le *frequenze di risonanza naturali* corrispondono ai massimi della curva dei rapporti spettrali in funzione della frequenza. L'ampiezza



di questi massimi è qualitativamente proporzionale all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura. Considerazioni quali-quantitative, derivanti da valori mediamente osservati, permettono di poter assumere che la frequenza di risonanza f_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 ; cioè $f_0 = V_s/4H$. Con questa formula empirica è quindi possibile risalire dalla frequenza di risonanza misurata in situ all'ordine di grandezza dello spessore H della copertura, una volta nota la velocità delle onde di taglio (V_s), oppure a quest'ultima, se è noto lo spessore H della copertura.

La misura delle frequenze naturali del terreno viene effettuata utilizzando un sistema di acquisizione tri-direzionale caratterizzato da sufficiente sensibilità. I dati raccolti sono quindi analizzati per determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore misurate sul piano orizzontale e verticale. In questo caso si è utilizzato un sismografo SR04S3 GeoBox della ditta Sara Electronic Instruments con le seguenti caratteristiche:

- Tre velocimetri con frequenza 4,5Hz
- Alimentazione: 10-16Vdc o da batteria interna < 1W
- Numero canali: 3 a 24 bit ($\Sigma\Delta$)
- Range dinamico: 124dB (144dB, 24 bit effettivi [enob], fra 0.1 e 10Hz)
- Campionamento: simultaneo sui tre canali
- Sampling rates: da 10-600 Hz
- Real Time Clock: +/-10ppm (-20/+50°C)
- Precisione rispetto a UTC: <50µs
- Formato dati: protocollo binario SADC20HS
- Velocità: 115200 baud

Il rilievo dei microtrempi è stato eseguito nel punto di incrocio delle due basi sismiche, per una durata di 15 minuti. L'elaborazione è stata eseguita con il software *GeoExplorerHVSR* della stessa ditta Sara. Questo software permette la verifica della rispondenza ai criteri statistici definiti dal progetto *Sesame* in merito alla affidabilità della registrazione, opportunamente completati con i criteri definiti da Albarello-Castellaro 2011, fornendo una serie di uscite grafiche che vengono a costituire il report della prova (Appendice 3). Relativamente al punto d'indagine, posto alla intersezione dei due stendimenti di sismici, si rileva un chiaro massimo del rapporto spettrale tra le componenti orizzontali e verticale del moto in corrispondenza di 8,6 Hz, valore che si può ben interpretare quale "picco" correlato al locale substrato litoide, la cui profondità è calcolabile intorno ai 10 metri di profondità rispetto al piano di campagna.

2.3 Prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH)

Le prove penetrometriche effettuate sono di tipo dinamico (DPSH) in quanto le caratteristiche superficiali del terreno non hanno consentito un corretto ancoraggio al suolo per l'esecuzione di prove di tipo statico, così come programmato preventivamente. Tutte e cinque le prove sono state eseguite in data 17 settembre u.s. (Appendice 4) dalla ditta EmmeElle - Indagini Geologiche di Greve in Chianti (FI), utilizzando un penetrometro Pagani TG-63 200 kN, con caratteristiche tecniche standardizzate, fino alla profondità massima raggiungibile oltre la quale non si è potuto procedere per rifiuto all'avanzamento della punta.

Le cinque prove hanno raggiunto, rispettivamente, la profondità di -10,20; -12,80, -4,00; 2,80; 6,20 metri da piano campagna e sono terminate in tutti i casi per il rifiuto all'avanzamento della punta.



L'esito delle prove può essere interpretato con le seguenti stratigrafie:

DP 1:

- da 0,00 a 0,80 – riporto sabbioso e ghiaioso con frammenti litoidi, consistente (A)
- da 0,80 a 2,60 – depositi coesivi con sabbia, consistenti (B)
- da 2,60 a 5,00 – terreno moderatamente consistente, umido (B1)
- da 5,00 a 9,60 – depositi coesivi con sabbia, consistenti (C)
- da 9,60 a 10,20 – substrato alterato (D)

DP 2:

- da 0,00 a 1,40 – riporto sabbioso e ghiaioso con frammenti litoidi, consistente (A)
- da 1,40 a 3,60 – depositi coesivi con sabbia, consistenti (B)
- da 3,60 a 4,80 – terreno moderatamente consistente, umido (B1)
- da 4,80 a 12,20 – depositi coesivi con sabbia, consistenti (C)
- da 12,20 a 12,80 – substrato alterato (D)

DP 3:

- da 0,00 a 1,20 – coperture superficiali sabbioso-limose, moderatamente addensate (A)
- da 1,20 a 3,40 – depositi coesivi e sabbiosi, molto consistenti (B-C)
- da 3,40 a 4,00 – substrato alterato (D)

DP 4:

- da 0,00 a 1,40 – coperture superficiali sabbioso-limose, moderatamente addensate (A)
- da 1,40 a 2,40 – depositi coesivi e sabbiosi, molto consistenti (B-C)
- da 2,40 a 2,80 – substrato alterato (D)

DP 5:

- da 0,00 a 2,00 – coperture superficiali sabbioso-limose, poco addensate (A)
- da 2,00 a 3,60 – depositi coesivi e sabbiosi, consistenti (B)
- da 3,60 a 5,60 – depositi coesivi e sabbiosi, molto consistenti (C)
- da 5,60 a 6,20 – substrato alterato (D)

3. Interpretazione dei dati geognostici e valutazione della dolina

Tutte le prove geognostiche eseguite hanno permesso di ricostruire l'andamento stratigrafico e morfologico dalla superficie in profondità, almeno fino al substrato lapideo in posto. Tale andamento può essere rappresentato con due sezioni lito-stratigrafiche tracciate lungo gli assi principali della depressione oggetto di studio, di fatto lungo i due stendimenti di sismica a rifrazione che sono stati tracciati più o meno lungo gli assi principali della dolina (sezioni 1 e 2 in fondo al testo). Dall'analisi delle diverse prove effettuate si rileva chiaramente anche in profondità una forma a conca con il fondo costituito dal substrato lapideo della Breccia di Grotti. Di fatto dalla strada provinciale della Montagnola, che scorre sulla Breccia di Grotti, il substrato si approfondisce verso nord per poi risalire rapidamente sul lato opposto alla strada. Le prove penetrometriche DP1 e DP2 infatti sono quelle che raggiungono la profondità maggiore fino a fermarsi per rifiuto nel sismostrato caratterizzato da velocità delle onde P comprese tra 1800 e 2500 m/s che può essere considerato lo strato alterato della formazione della Breccia di Grotti all'interno del quale si possono trovare anche detriti calcarei di grosse dimensioni (D). Al di sopra della "fascia" di alterazione del substrato si rilevano terreni sciolti costituiti da terreni fini (sabbie e argille) inglobanti

anche detriti calcarei già dal piano di campagna (B, B1, C). La consistenza di questi terreni è variabile ma tendenzialmente aumenta progressivamente con la profondità; sicuramente il primo sismostrato (A) contraddistinto da velocità delle onde P variabili tra 200 e 300 m/s è costituito anche da terreno di riporto come confermato dal proprietario e conduttore del terreno.

La ricostruzione stratigrafica riportata nelle sezioni 1 e 2 mostra quindi una continuità laterale dei depositi di copertura al di sopra del substrato lapideo rilevabile, secondo le elaborazioni MASW, almeno oltre i trenta metri di profondità. Le stesse analisi MASW indicano un progressivo aumento della velocità delle onde di taglio con la profondità per tutti e quattro gli estremi delle basi sismiche fino a velocità tipiche di un "bedrock" sismico.

In definitiva, dai dati raccolti così come sopra interpretati, si ritiene di poter escludere che al di sotto della superficie dell'area contrassegnata in cartografia come dolina possa esistere un inghiottitoio e/o comunque un sistema di circolazione attiva delle acque sotterranee entro cavità profonde che possa determinare crolli e/o sprofondamenti dei terreni superficiali.

Si ritiene pertanto che l'areale delimitato in cartografia come "dolina potenzialmente attiva" possa essere considerato una forma relitta, non più attiva, ormai ricoperta da terreni di riempimento eluvio-colluviali e di disfacimento in posto, più o meno rimaneggiati dall'attività antropica nella porzione più superficiale.

4. Pericolosità geologica vigente e proposta di riclassificazione

Nella cartografia di pericolosità del Piano Strutturale l'area oggetto di studio è classificata in pericolosità molto elevata G.4 (PFME relativamente alla classificazione del PAI) in quanto "Dolina potenzialmente attiva", al pari di altre aree del tutto simili per caratteristiche morfologiche e litologico-strutturali:

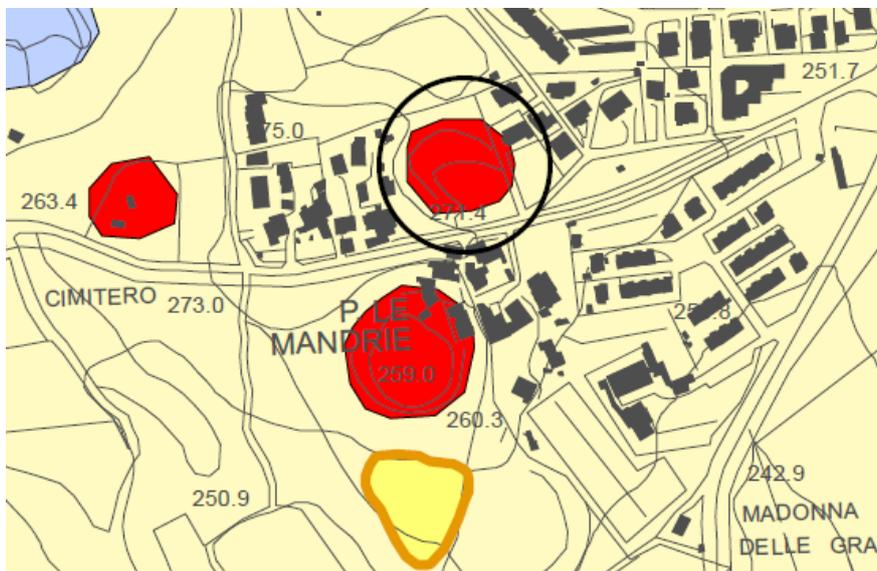


figura 6 – estratto della carta della pericolosità geologica del PS scala 1:5.000

G.4 - molto elevata

-  area interessata da frane attive
-  area soggetta a soliflusso
-  dolina potenzialmente attiva

PFME - molto elevata

-  area interessata da frane attive
-  area soggetta a soliflusso
-  dolina potenzialmente attiva

La classe di pericolosità molto elevata era quindi stata attribuita più che altro in virtù del principio di precauzione in quanto, a suo tempo, non erano stati condotti specifici studi né per la caratterizzazione dell'effettivo grado di attività del fenomeno carsico, né per l'individuazione dell'estensione del fenomeno supposto.

Con le evidenze riportate in questo studio si ritiene di aver indagato sufficientemente a fondo le caratteristiche morfologiche dell'area in esame in modo da escludere l'esistenza di un fenomeno carsico attivo tale da essere classificato in pericolosità G.4 (PFME) ma piuttosto di aver individuato sicuramente una dolina, non più attiva, riempita uniformemente da terreno sciolto principalmente sabbioso e argilloso caratterizzato da una generale buona omogeneità laterale e verticale in quanto a valori di consistenza e grado di addensamento.

Pertanto la classificazione di pericolosità geologica più corretta dell'area oggetto di studio e probabilmente anche delle doline individuate nelle immediate vicinanze, impostate sulla stessa formazione litologica (Breccia di Grotti) e con caratteristiche morfologiche superficiali del tutto simili, appare essere la G.3 (PFE).

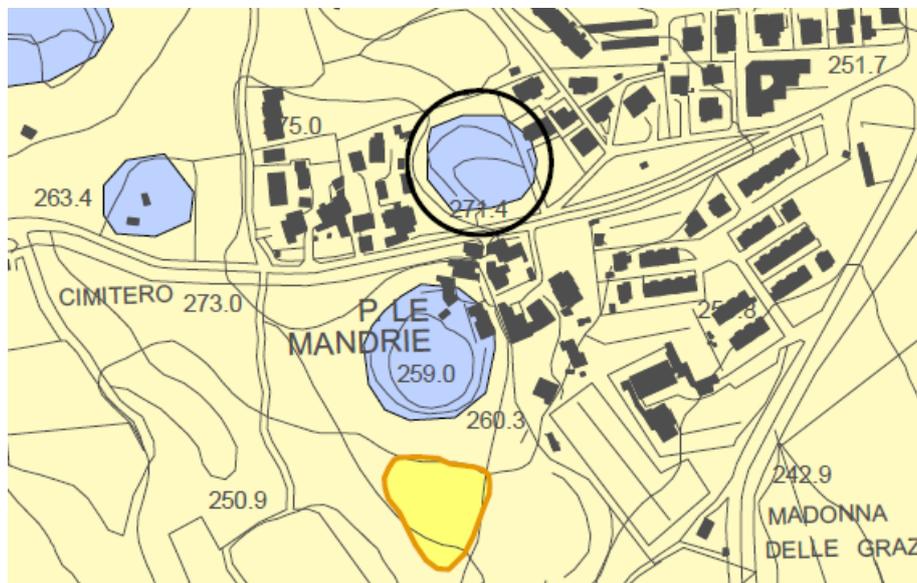


figura 7 – proposta di modifica della carta della pericolosità geologica del PS scala 1:5.000

G.3 - elevata PFE - elevata

 area interessata da intensi fenomeni erosivi (doline e uvala inattive/presunte)

Un elevato grado di pericolosità (G.3 - PME) si ritiene comunque necessario mantenerlo in quanto pur avendo effettuato una campagna geognostica finalizzata alla individuazione delle forme morfologiche sepolte e dell'andamento del substrato lapideo, i terreni di copertura, costituiti da materiale di disfacimento in posto, terreni eluvio-colluviali e terreni di riporto, andranno valutati accuratamente da un punto di vista geotecnico ai fini di un utilizzo per l'edilizia e/o per la realizzazione di reti infrastrutturali in quanto potenzialmente soggetti a cedimenti differenziali.

5. Nuova scheda di fattibilità geologica, idraulica e sismica per il Piano Attuativo “Provinciale della Montagnola Senese n.52, località Le Mandrie” (ex PA01.1)

A seguito della riclassificazione della pericolosità geologica dell'area della dolina che passa da molto elevata ad elevata, anche la fattibilità geologica attribuibile al Piano Attuativo può quindi essere rivalutata in fattibilità di classe F3 (fattibilità condizionata) anche in considerazione del fatto che il Piano Attuativo andrà ad interessare l'area della dolina nella sua porzione destinata a verde pubblico ed alla viabilità:

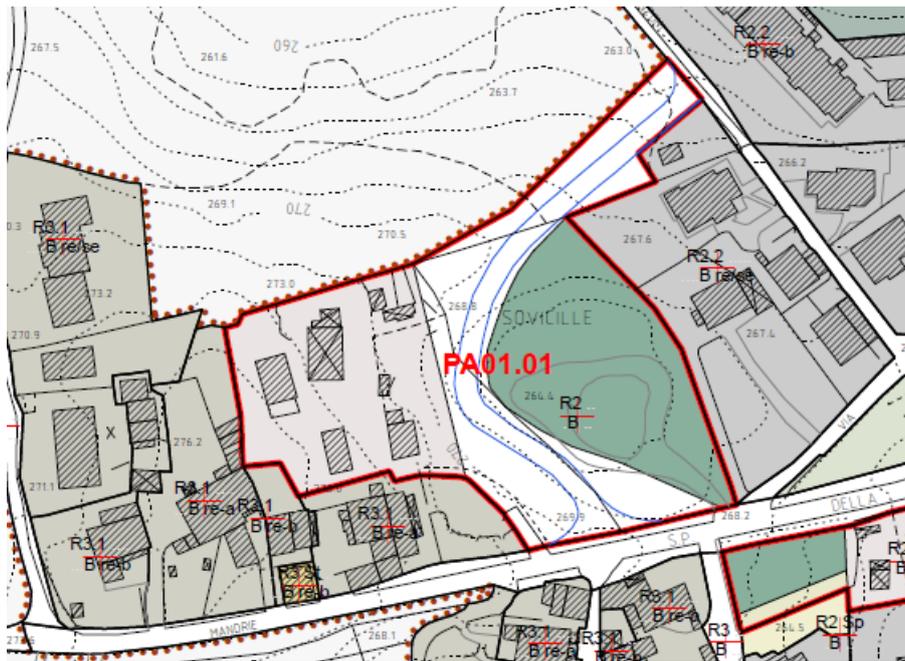


figura 8 – estratto della carta del Piano Operativo scala 1:2.000



figura 9 – perimetro del PA sovrapposto alla nuova carta della pericolosità geologica scala 1:2.000



PA - Provinciale della Montagnola Senese n. 52, località Le Mandrie a Sovicille (F3 - condizionata)

Descrizione dell'intervento

Obiettivi: riqualificazione, nuova edificazione residenziale e nuova strada di collegamento interno Le Mandrie-PEEP; implementazione della dotazione di verde e parcheggi pubblici.
Destinazione d'uso: Residenza.

Problematiche geologiche, idrauliche e sismiche

Pericolosità geologica

Classe G.3: areale in parte posto su un'area doliniforme inattiva con substrato costituito dalla formazione calcarea della "Breccia di Grotti" sopra il quale giace un accumulo di terreno eluvio-colluviale ed di riporto di vario spessore e gradi di consistenza.

Pericolosità idraulica

Classe I.1: zona non soggetta alle dinamiche fluviali

Pericolosità sismica

Classe S.3: l'area di intervento risulta compresa all'interno delle microzone 2003 e 2004 della carta delle MOPS caratterizzata da un substrato stabile potenzialmente suscettibile di amplificazioni locali per l'esistenza di un contrasto di impedenza sismica tra terreni di copertura e "bedrock" sismico la cui profondità è stimabile intorno ai 10 metri. In queste condizioni si possono determinare significativi effetti di amplificazione delle onde sismiche in superficie.

Condizioni e prescrizioni per le realizzazioni

Gli interventi previsti sono articolati in una parte edificata nella porzione ovest che ricade sul substrato litologico in posto costituito dalla formazione della "Breccia di Grotti", esternamente all'area doliniforme, e in una parte a verde che si estende entro la zona morfologicamente ribassata. Tra le due zone è prevista una strada di collegamento alla viabilità esistente che scorre lungo il bordo esterno dell'area individuabile come dolina.

Fattibilità geologica F3:

L'attuazione dell'intervento è subordinata alla effettuazione, già in fase di predisposizione del Piano Attuativo, di specifici approfondimenti geognostici oltre ai normali studi geologico-tecnici previsti dalla normativa vigente in materia (DPGR.n.36/R/09 e NTC 2018) finalizzati alla verifica delle caratteristiche geotecniche del substrato di fondazione in particolare relativamente alla consistenza e grado di addensamento dei terreni di copertura superficiali in merito alla possibilità del verificarsi di significativi cedimenti assoluti e/o differenziali per effetto dei carichi indotti dalle nuove strutture edilizie e dalla viabilità.

Fattibilità idraulica F2:

Non ci sono condizioni particolari per l'attuazione degli interventi previsti da un punto di vista della messa in sicurezza idraulica. Tuttavia le caratteristiche morfologiche del luogo (area depressa) impongono una attenta sistemazione del drenaggio delle acque di scorrimento superficiale per



evitare situazioni di ristagno. Le sistemazioni delle aree destinate alla viabilità ed agli spazi a verde dovranno seguire quanto prescritto agli artt.42, 43 e 56 delle NTA del PO.

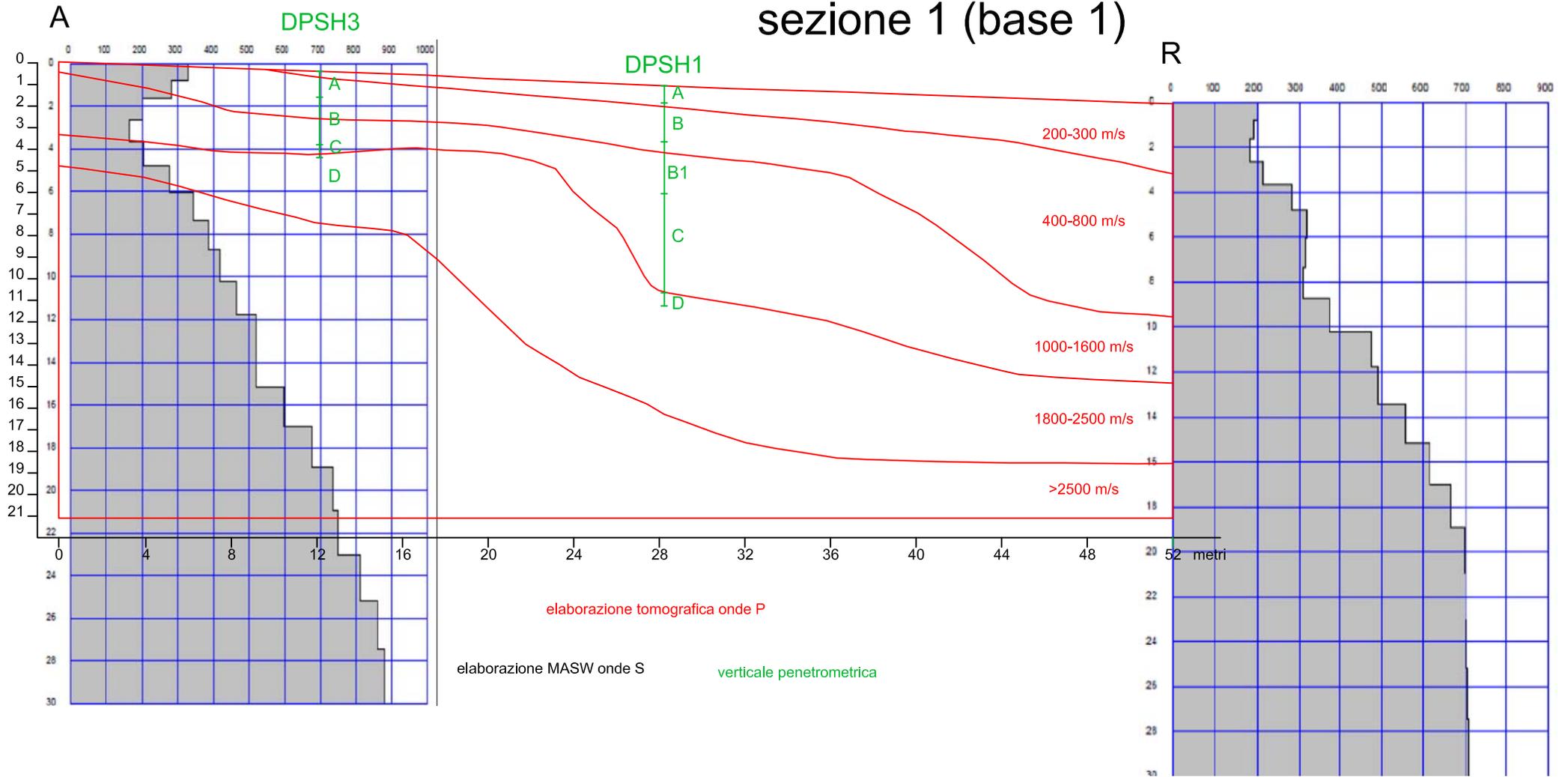
Fattibilità sismica F3:

A livello di Piano Attuativo si dovrà elaborare una indagine geofisica consistente in profili sismici a riflessione/rifrazione e/o MASW, e/o prove sismiche in foro finalizzate a individuare gli spessori, le geometrie e le velocità sismiche dei litotipi sepolti al fine di valutare la possibilità di definire l'azione sismica di progetto attraverso le categorie di sottosuolo semplificate ai sensi del paragrafo 3.2.2 del D.M.17/01/2018 oppure tramite specifiche analisi di risposta sismica locale ai sensi del paragrafo 7.11.3 dello stesso decreto.

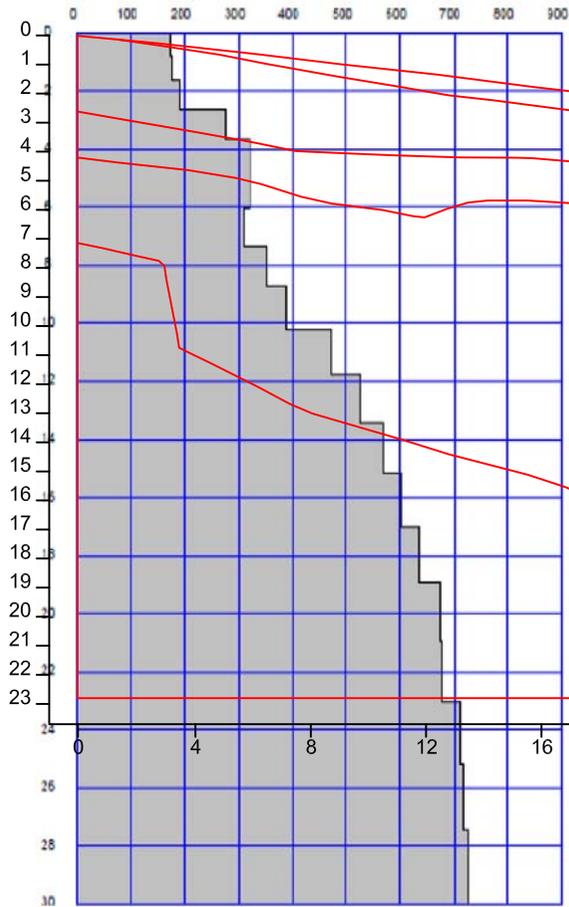
Prato, 10 Gennaio 2020

Dott.Geol.Alberto Tomei

sezione 1 (base 1)



A



sezione 2 (base 2)

DPSH5

DPSH2

A
B
C
D

A
B
B1
C
D

200-300 m/s

400-800 m/s

1000-1600 m/s

1800-2500 m/s

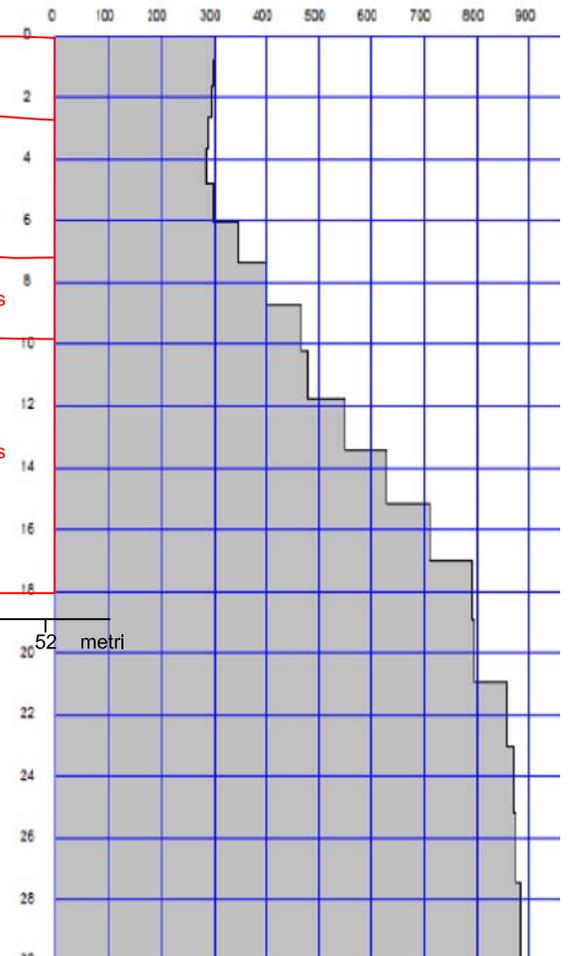
>2500 m/s

elaborazione tomografica onde P

elaborazione MASW onde S

verticale penetrometrica

R



52 metri

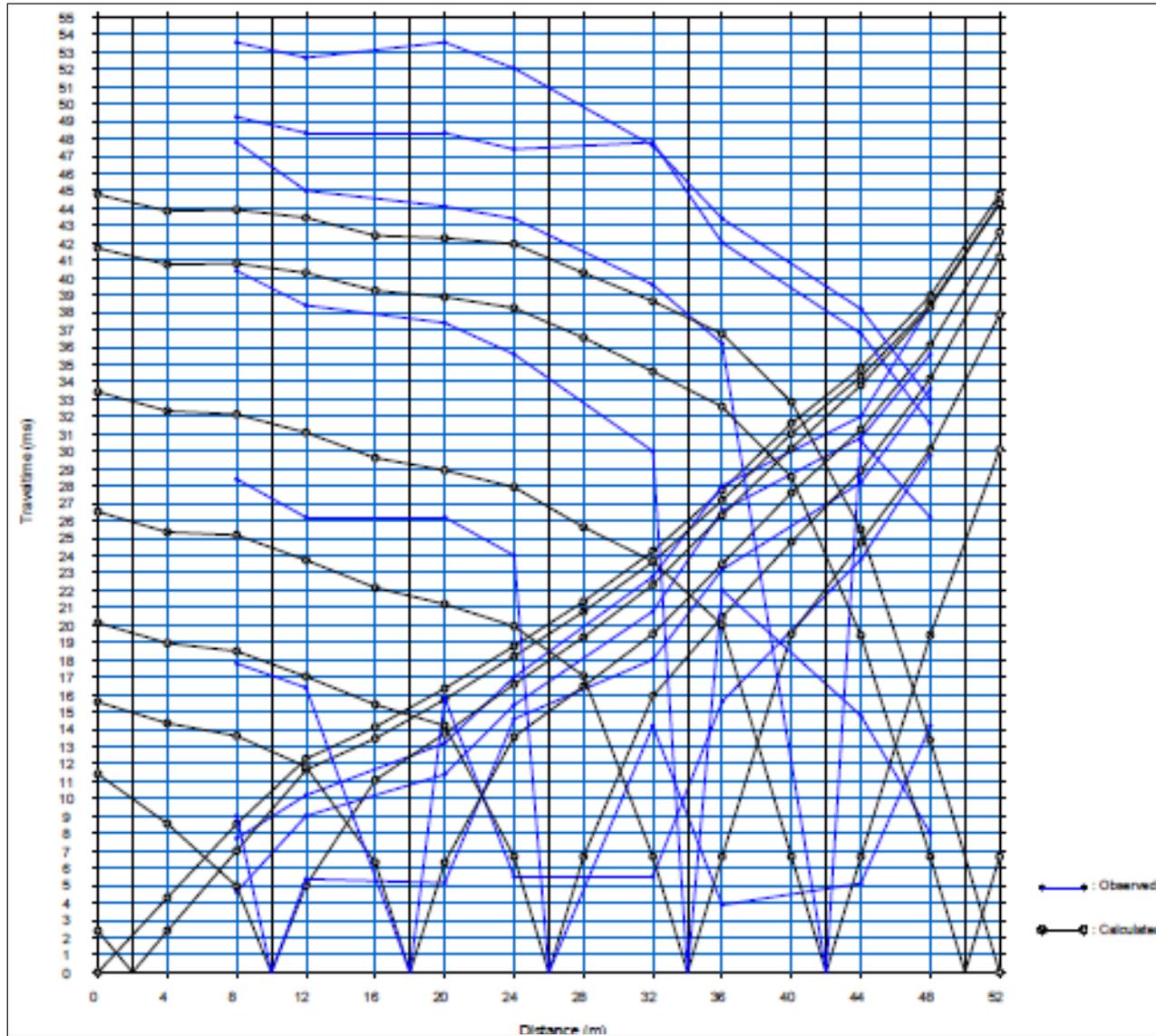


Appendice 1

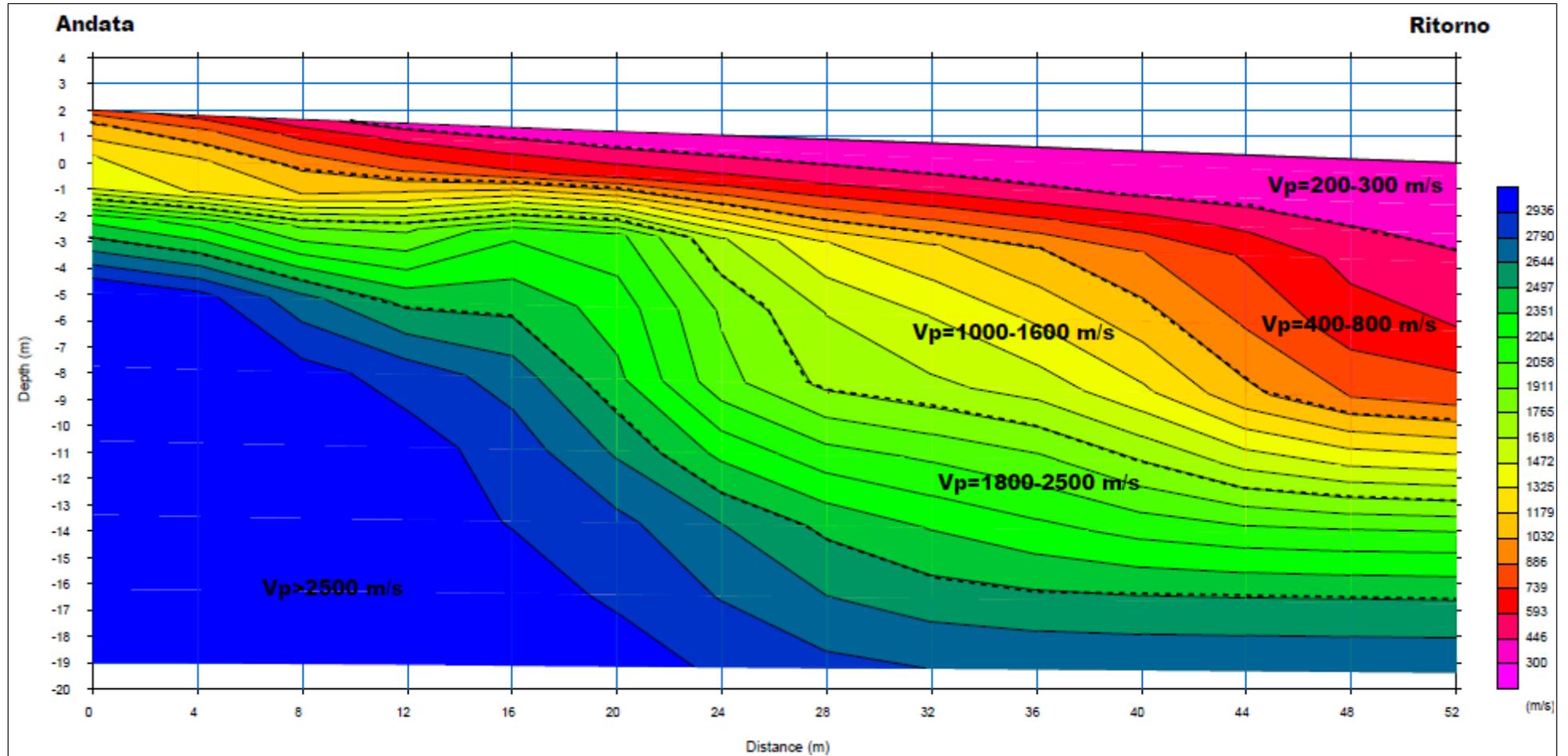
Report dei profili di sismica a rifrazione in onde P

Prospezione sismica a rifrazione P-waves base 1

Dromocrone elaborazione tomografica

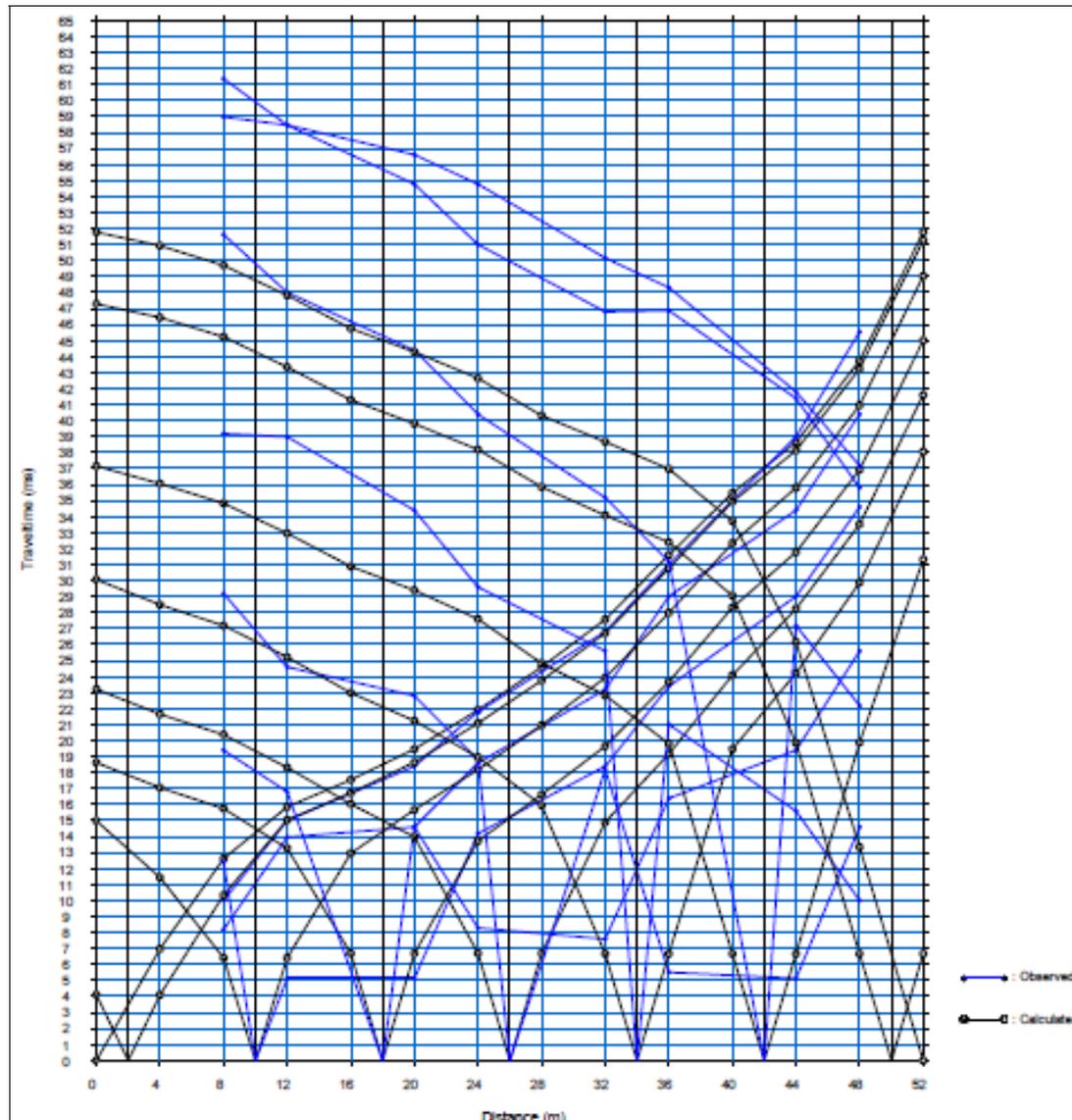


Sezione sismica a rifrazione rilievo P-wave elaborazione tomografica

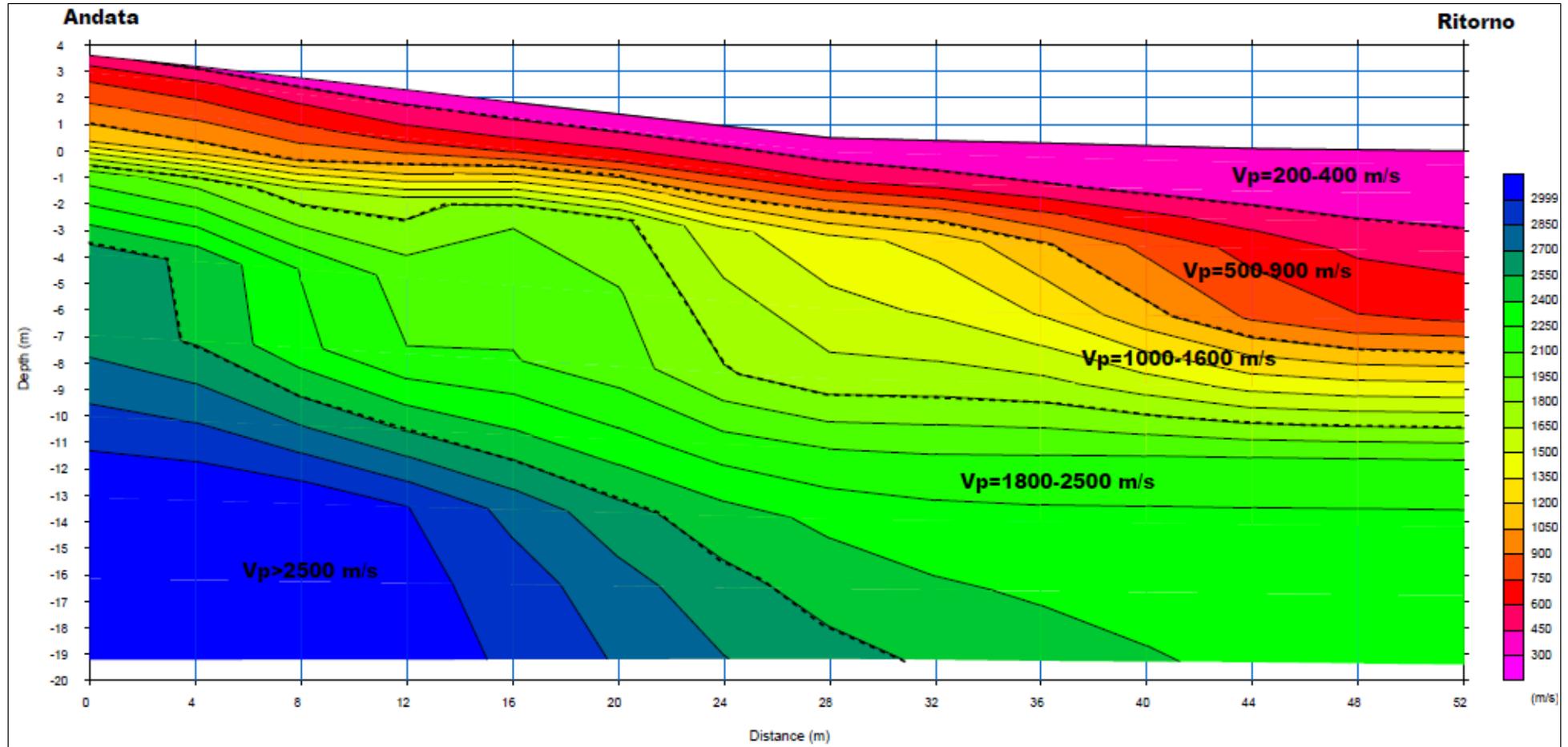


Prospezione sismica a rifrazione P-waves base 2

Dromocrone elaborazione tomografica



Sezione sismica a rifrazione rilievo P-wave elaborazione tomografica





Appendice 2

Report dei profili MASW

Multichannel Analysis Surface Wave

Strada Provinciale 52 della Montagnola Senese, Comune di Sovicille (SI)

data 05/09/2019

base sismica n.1, estremo di andata

coordinate WGS84 43.276685° N 11.224789° E

Time history

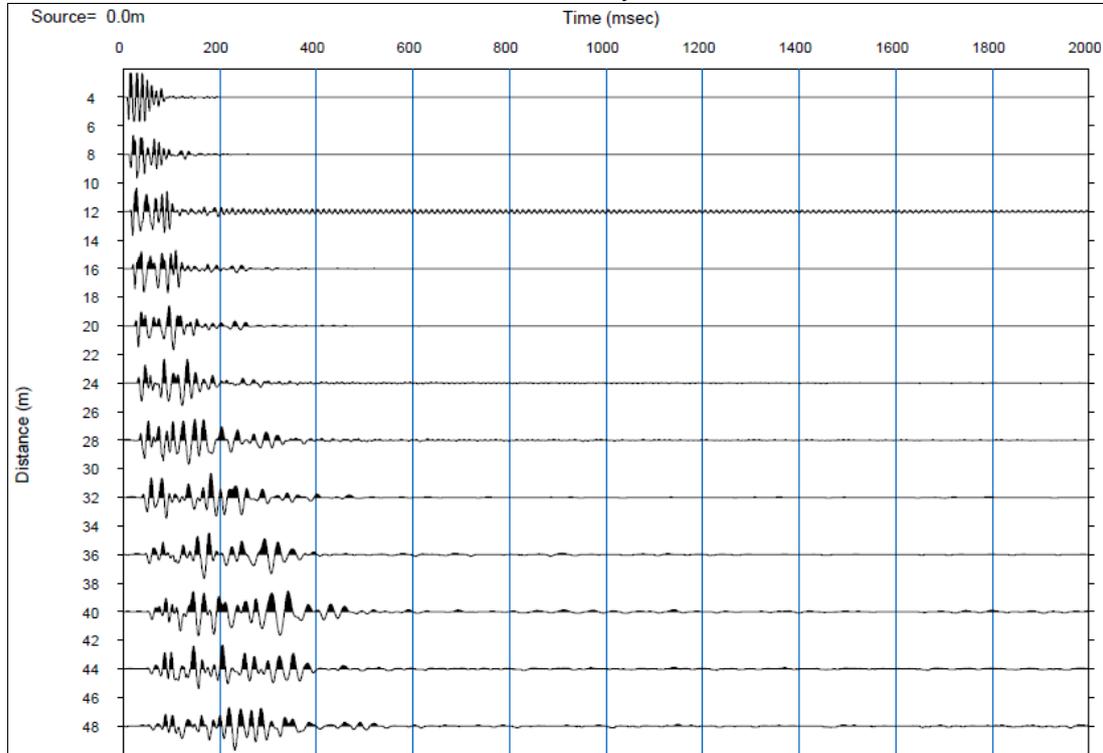
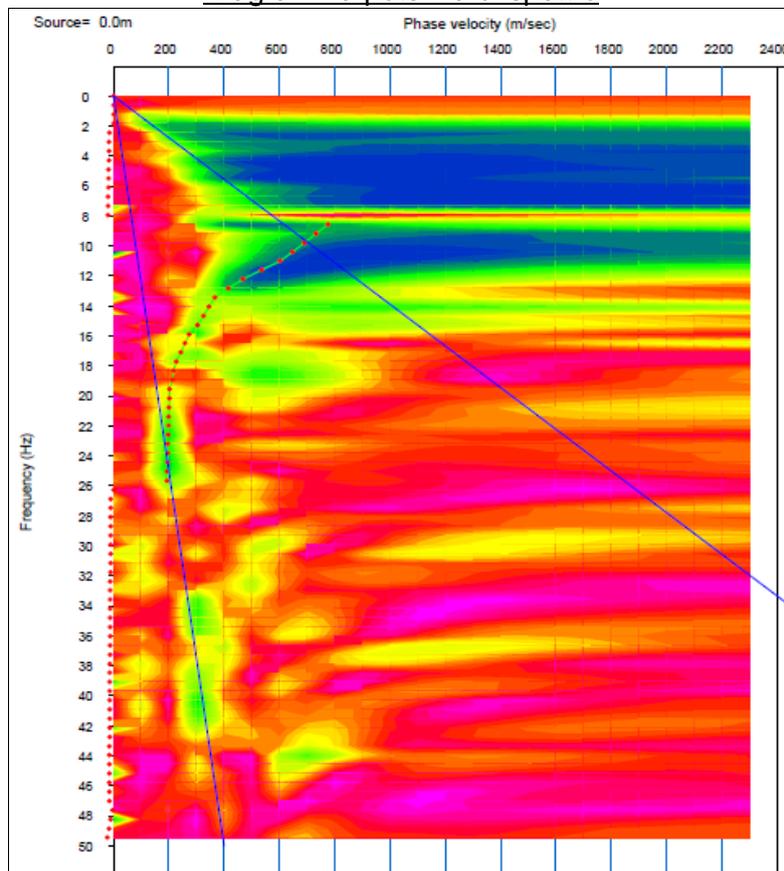
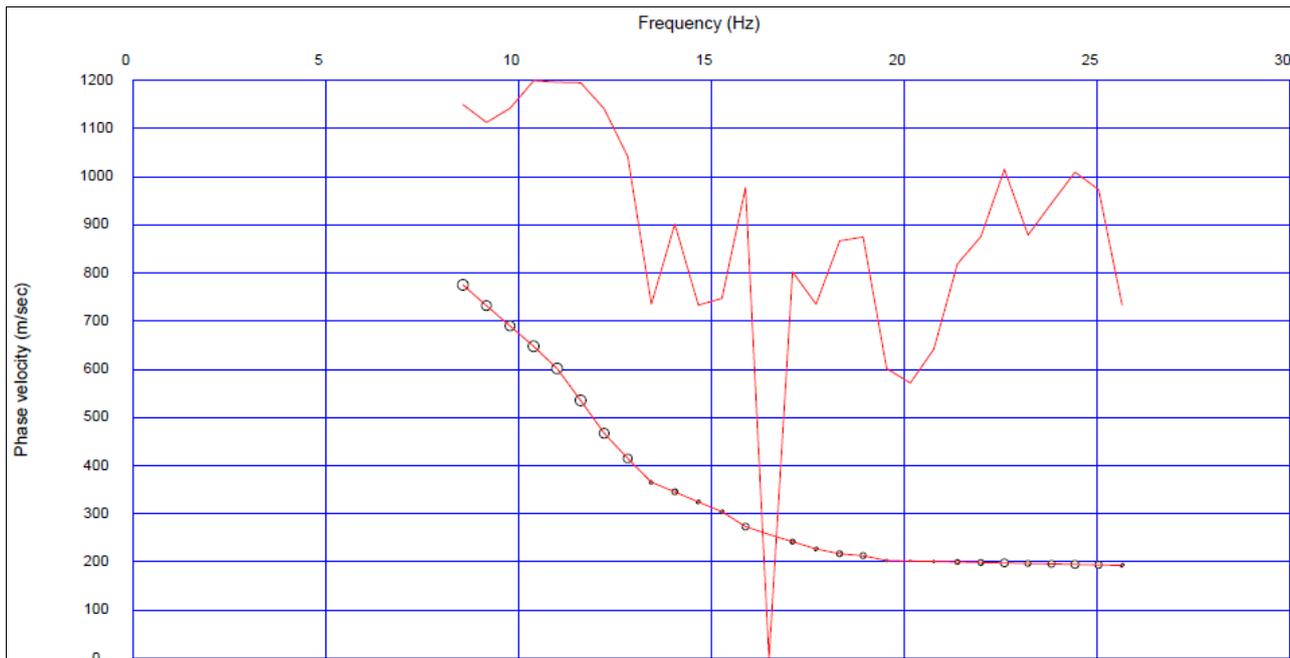


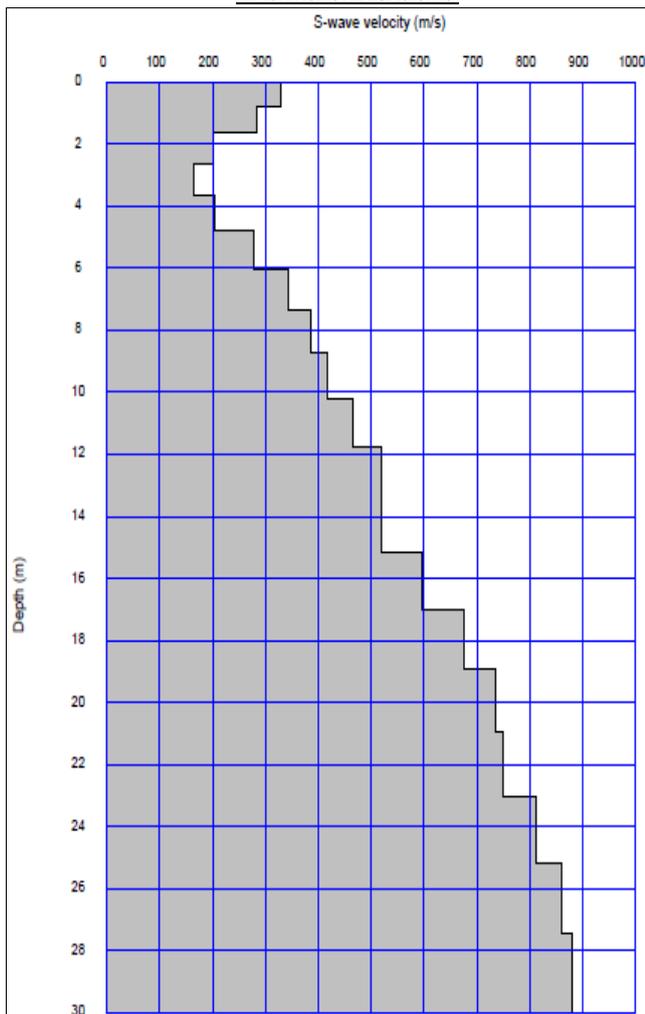
Diagramma potenza di spettro



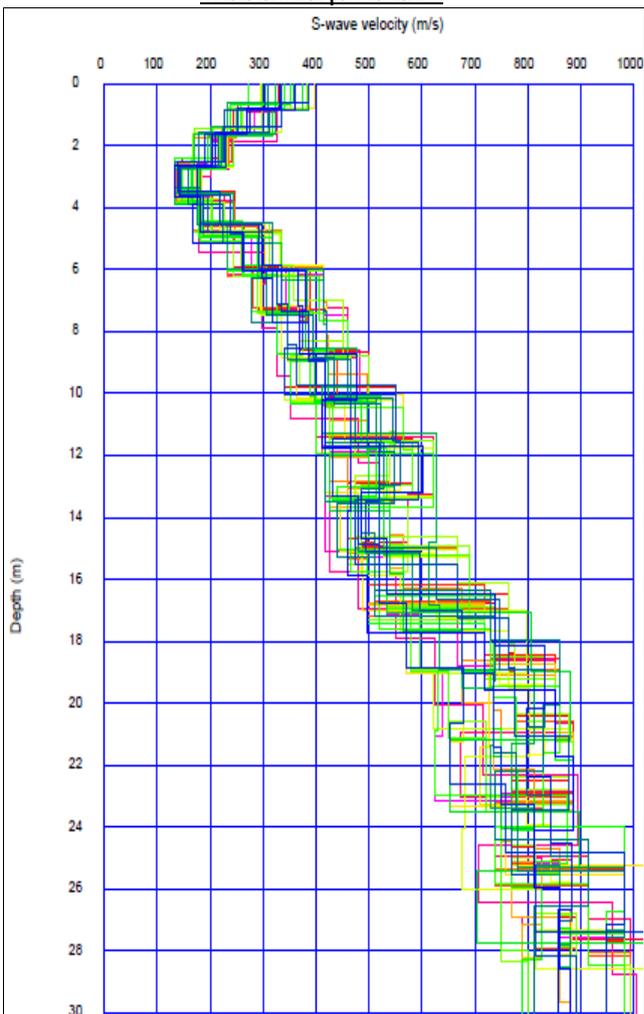
Curva di dispersione



Profilo di velocità



Modelli equivalenti



Multichannel Analysis Surface Wave

Strada Provinciale 52 della Montagnola Senese, Comune di Sovicille (SI)

data 05/09/2019

base sismica n.1, estremo di ritorno

coordinate WGS84 43.276678° N 11.224197° E

Time history

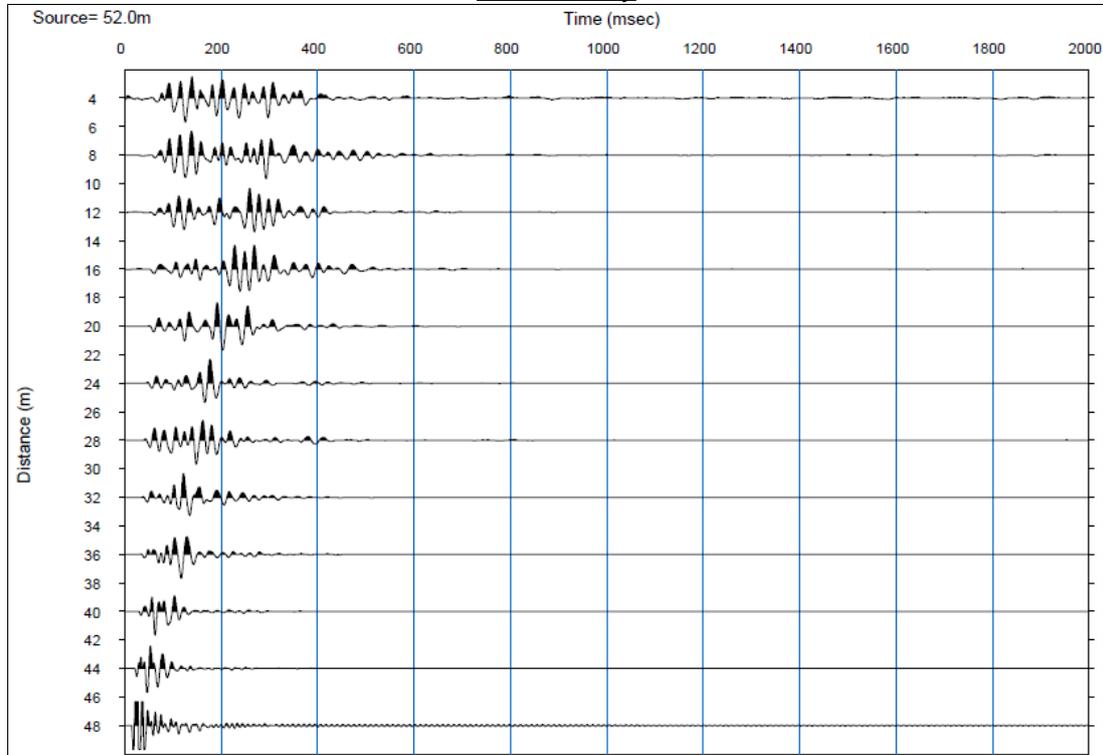
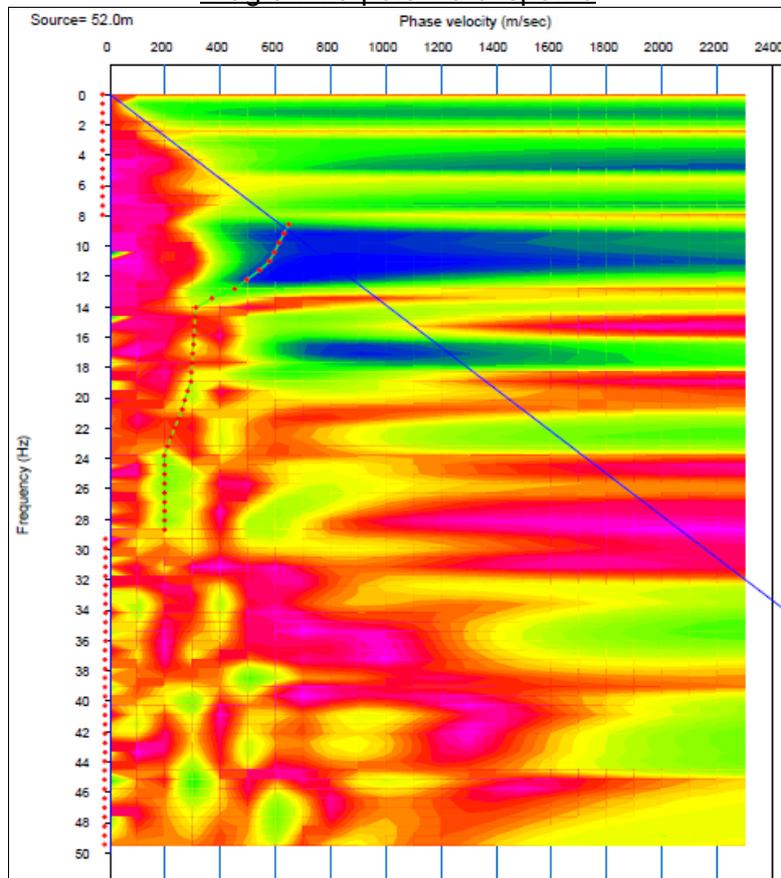
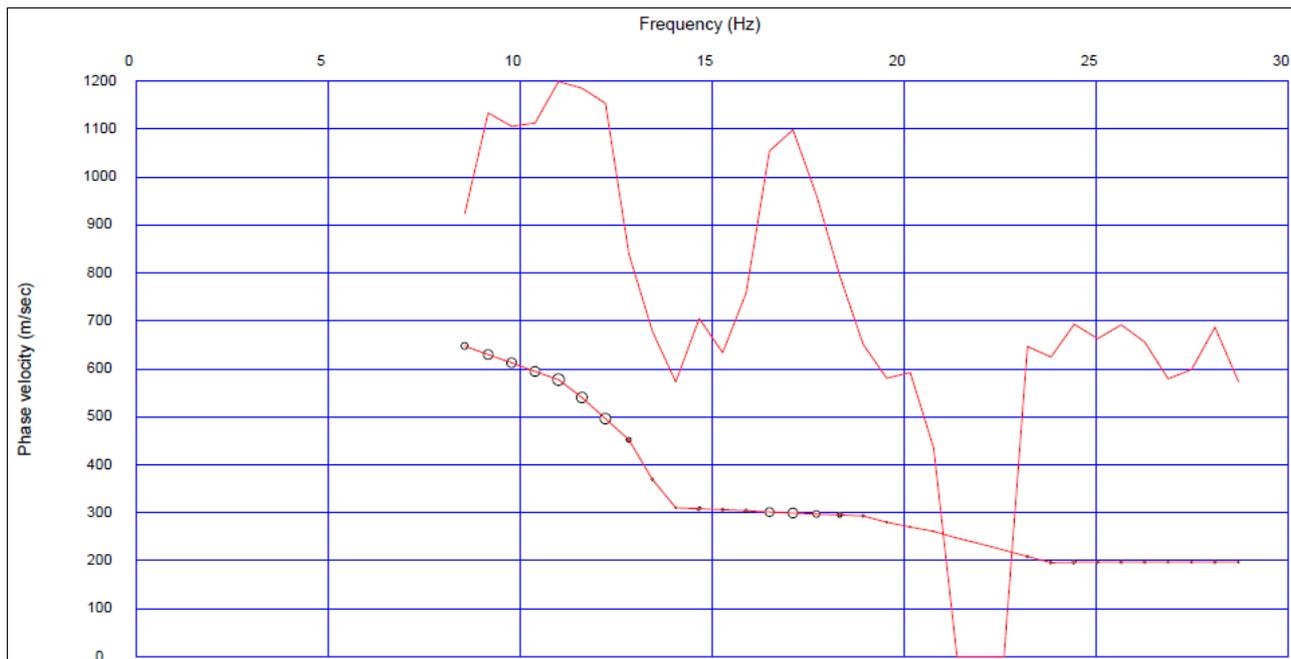


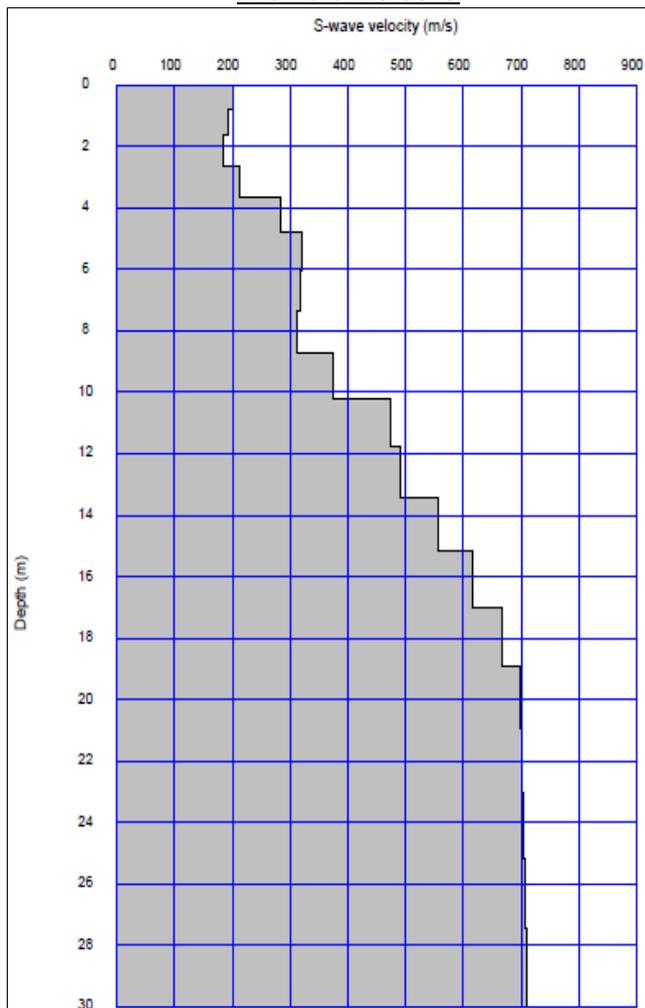
Diagramma potenza di spettro



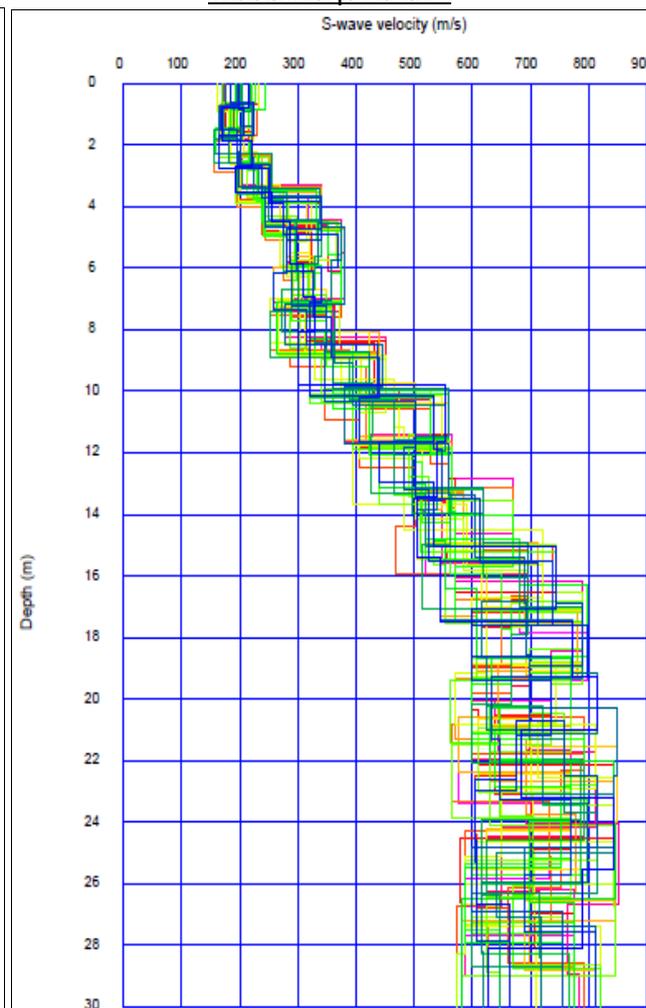
Curva di dispersione



Profilo di velocità



Modelli equivalenti



ALLEGATO FOTOGRAFICO



Multichannel Analysis Surface Wave

Strada Provinciale 52 della Montagnola Senese, Comune di Sovicille (SI)

data 05/09/2019

base sismica n.2, estremo di andata

coordinate WGS84 43.276336° N 11.224690° E

Time history

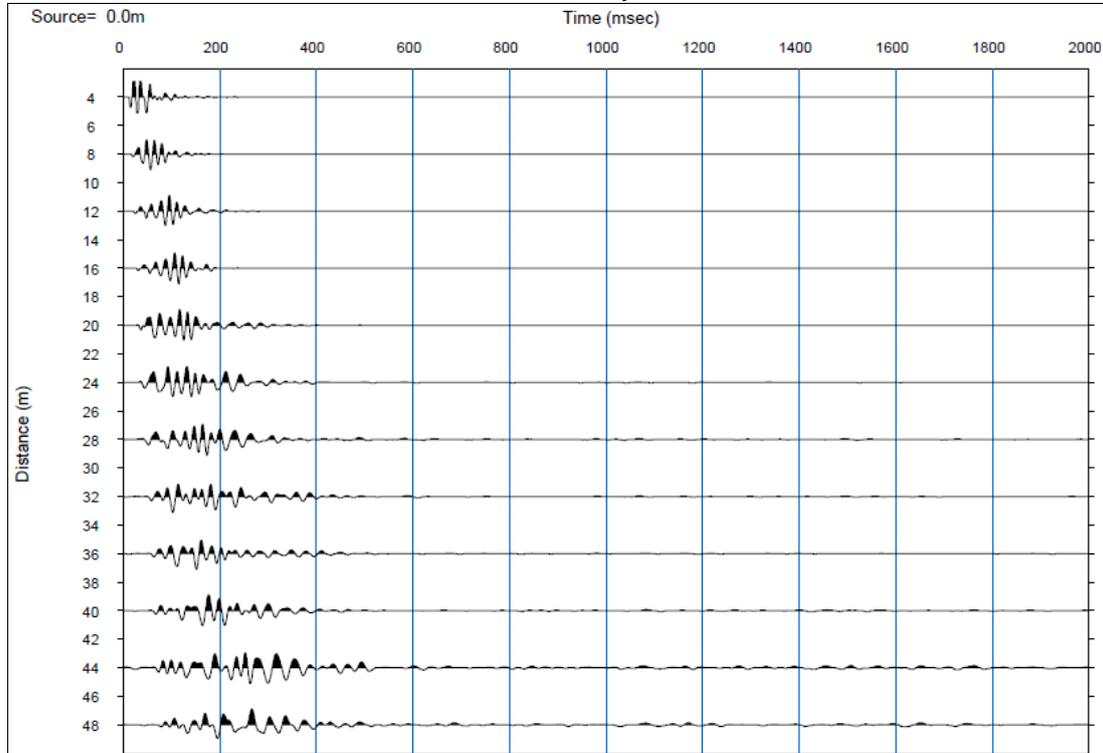
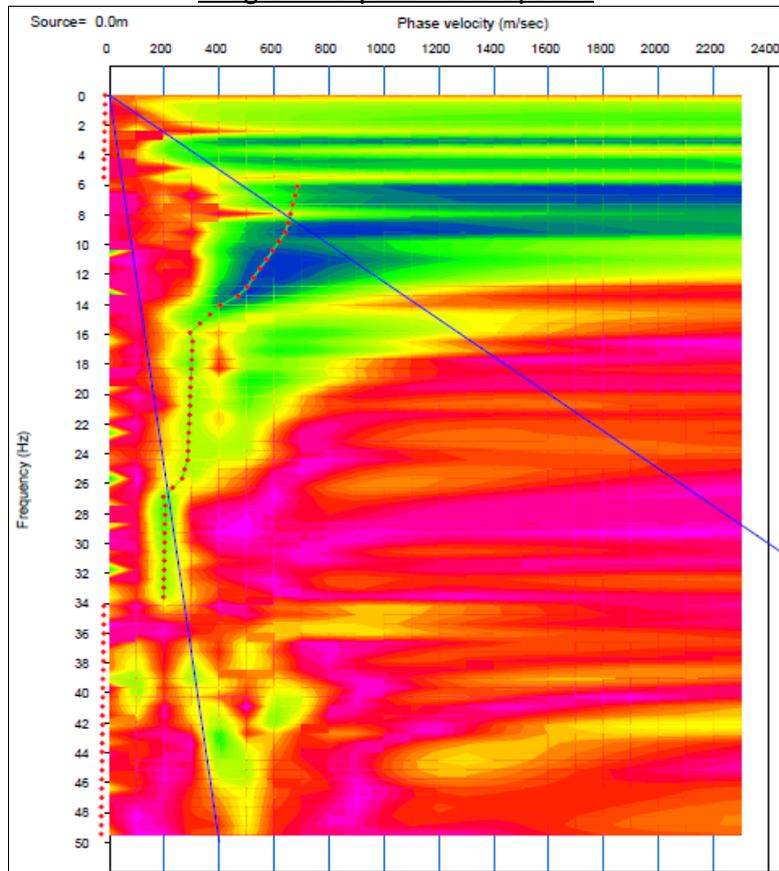
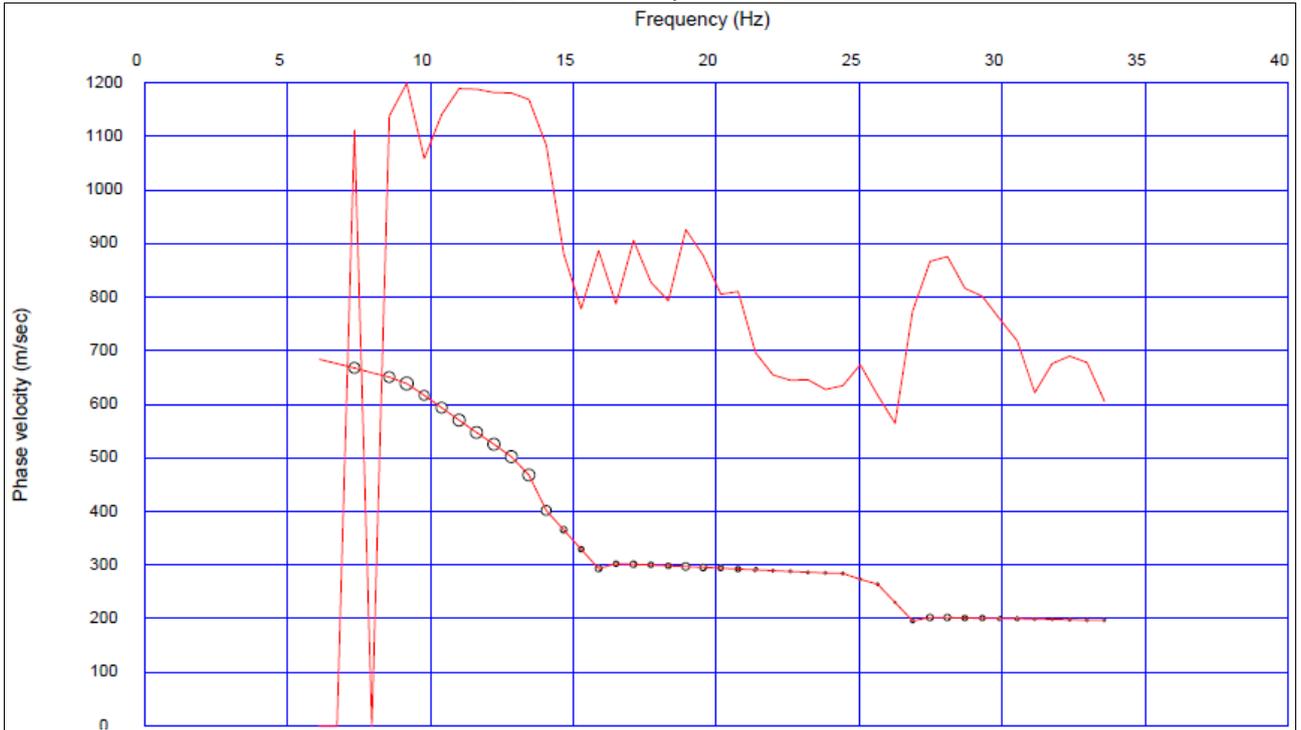


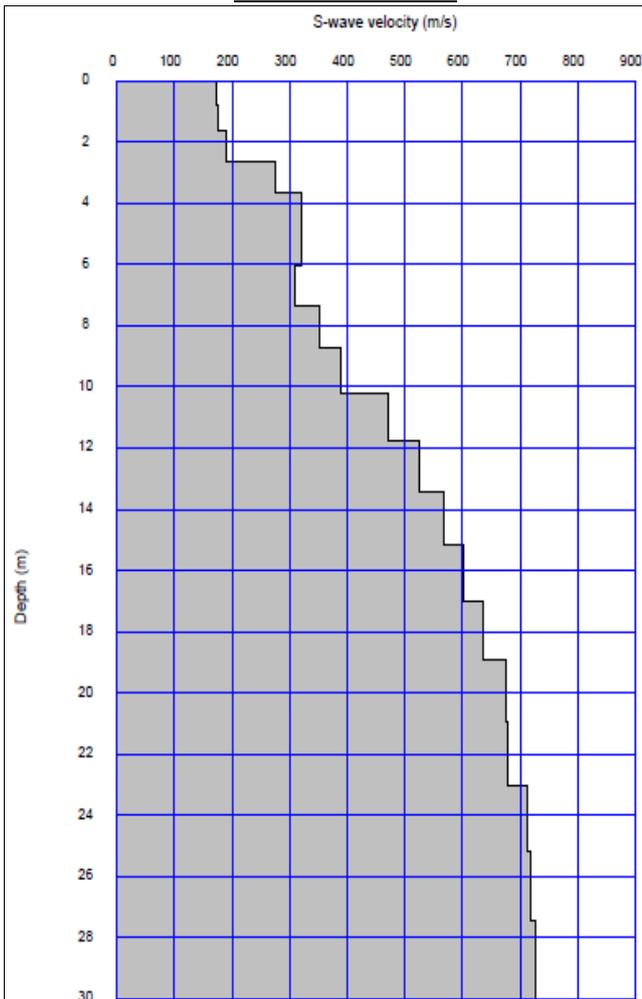
Diagramma potenza di spettro



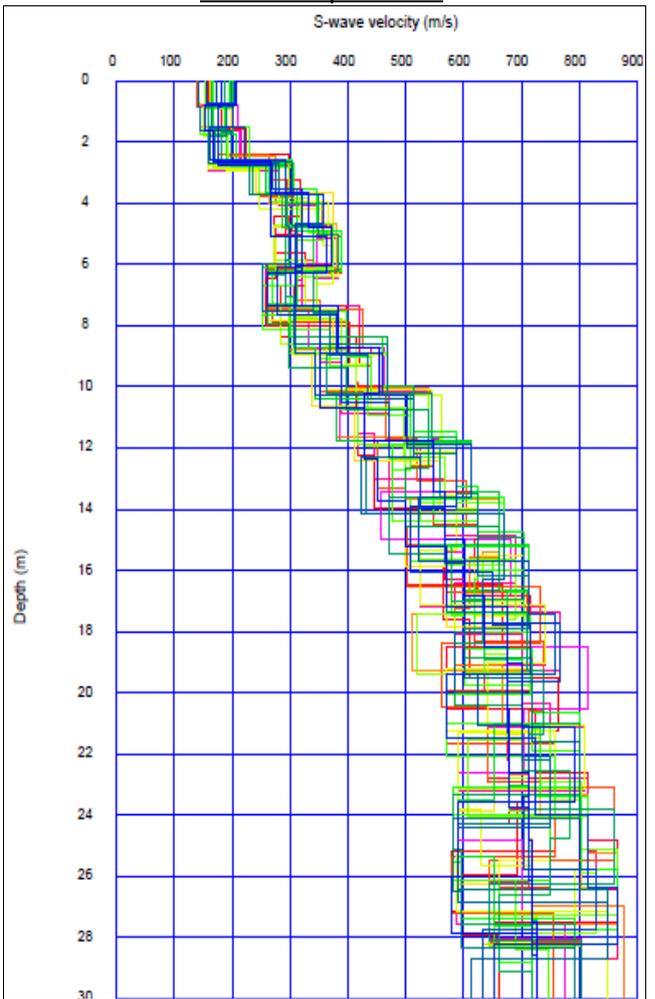
Curva di dispersione



Profilo di velocità



Modelli equivalenti



Multichannel Analysis Surface Wave

Strada Provinciale 52 della Montagnola Senese, Comune di Sovicille (SI)

data 05/09/2019

base sismica n.2, estremo di ritorno

coordinate WGS84 43.276711° N 11.224670° E

Time history

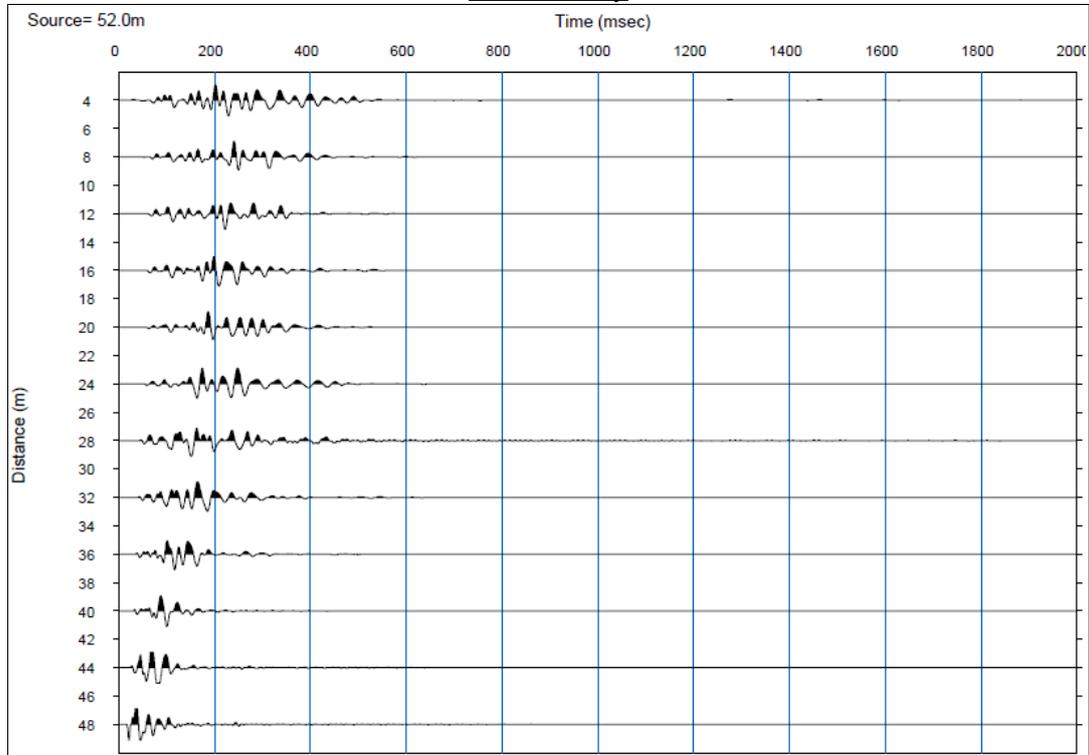
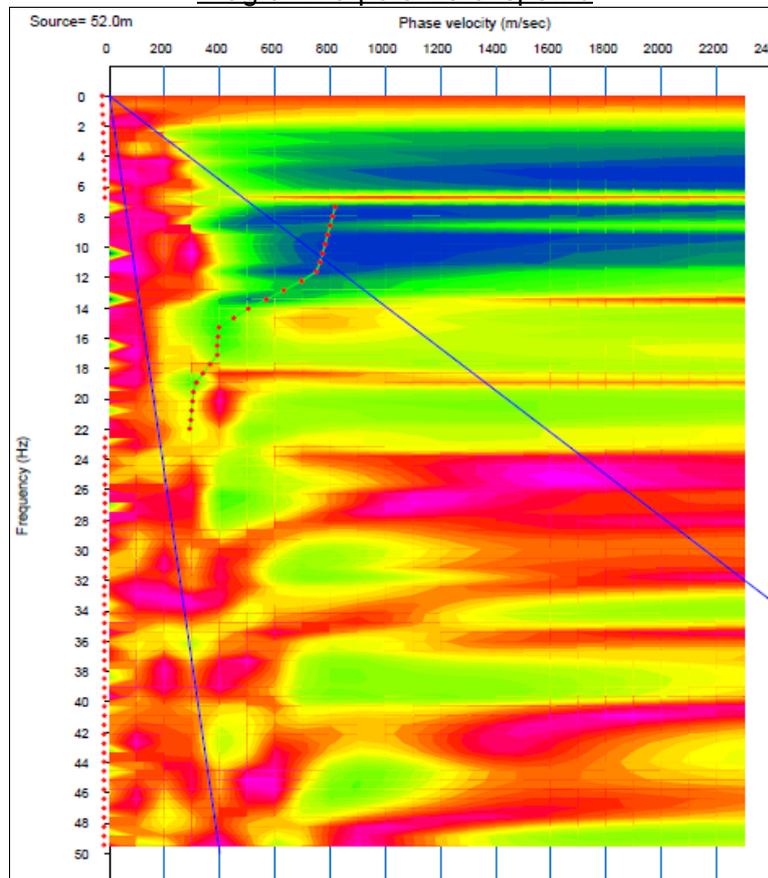
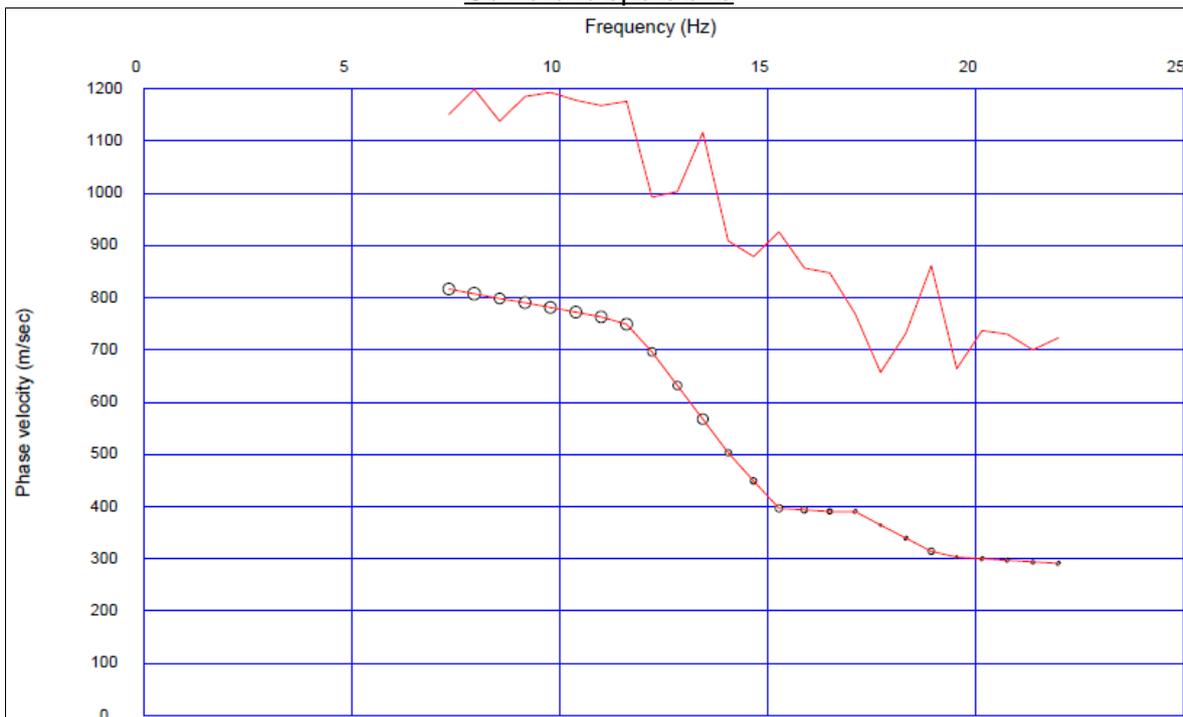


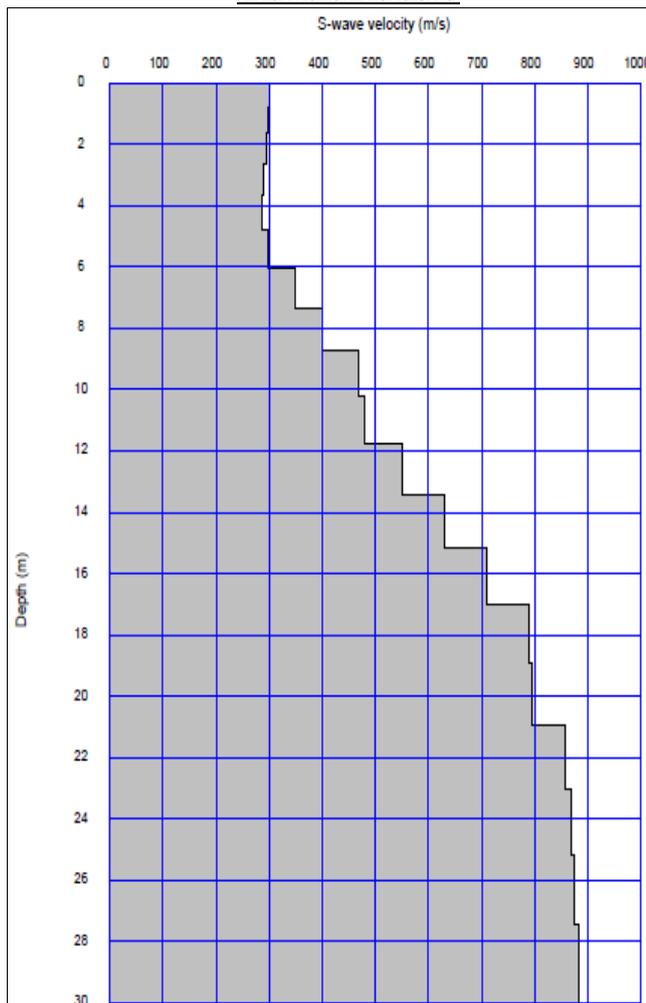
Diagramma potenza di spettro



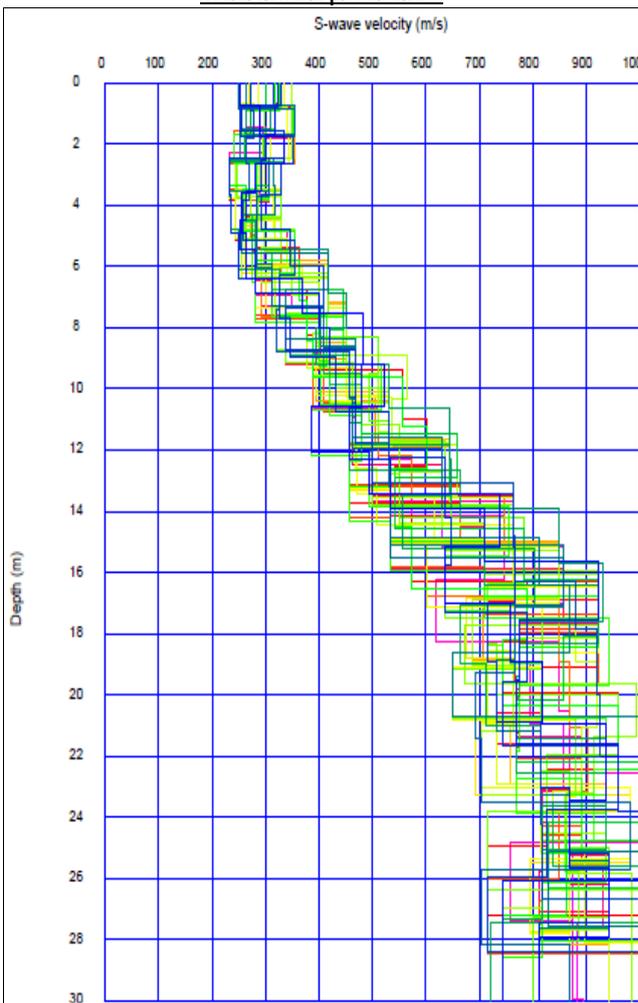
Curva di dispersione



Profilo di velocità



Modelli equivalenti



ALLEGATO FOTOGRAFICO





Appendice 3

Report della misura di microtremore a stazione singola HVSR

STATION INFORMATION

Station code: prova 1

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: SOVICILLE (SI)

Address: Strada Provinciale 52 della Montagnola Senese

Latitude: 43,27667N

Longitude: 011,22442E

Coordinate system: WGS84

Elevation: 270 m s.l.m.

Weather: sereno

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

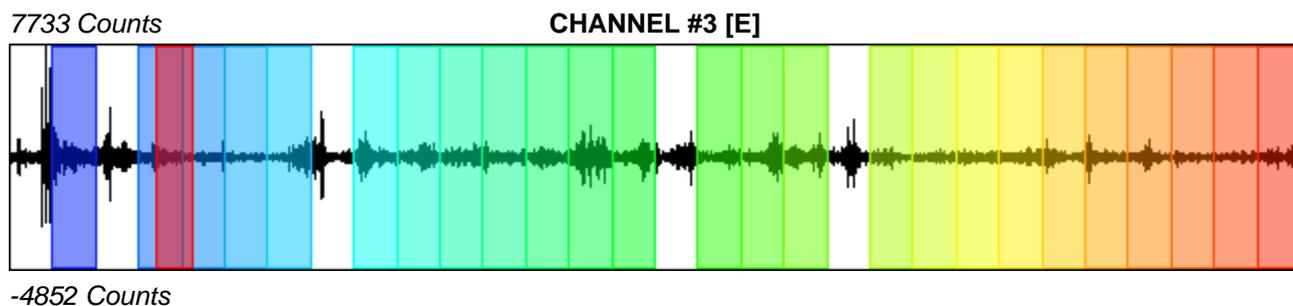
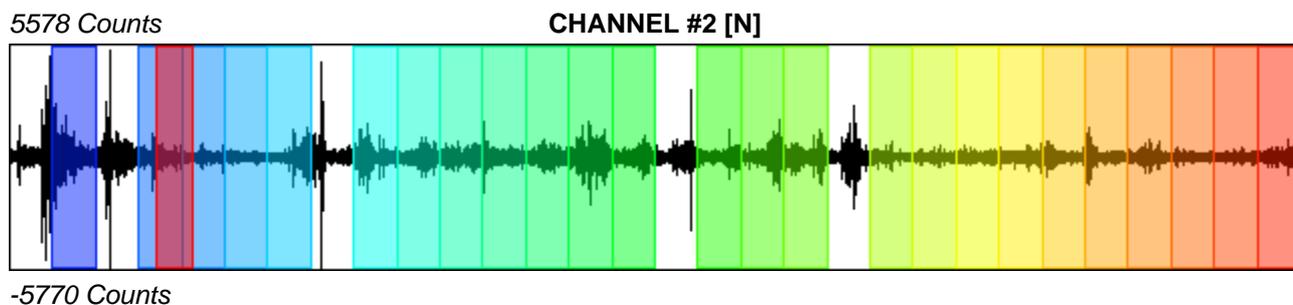
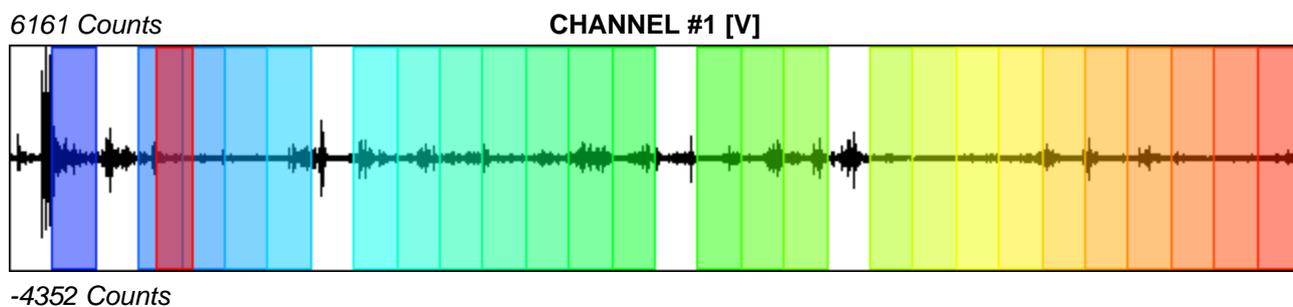
Recording start time: 2019/09/05 12:08:17

Recording length: 15 min

Windows count: 26

Average windows length: 29.82

Signal coverage: 86.14%



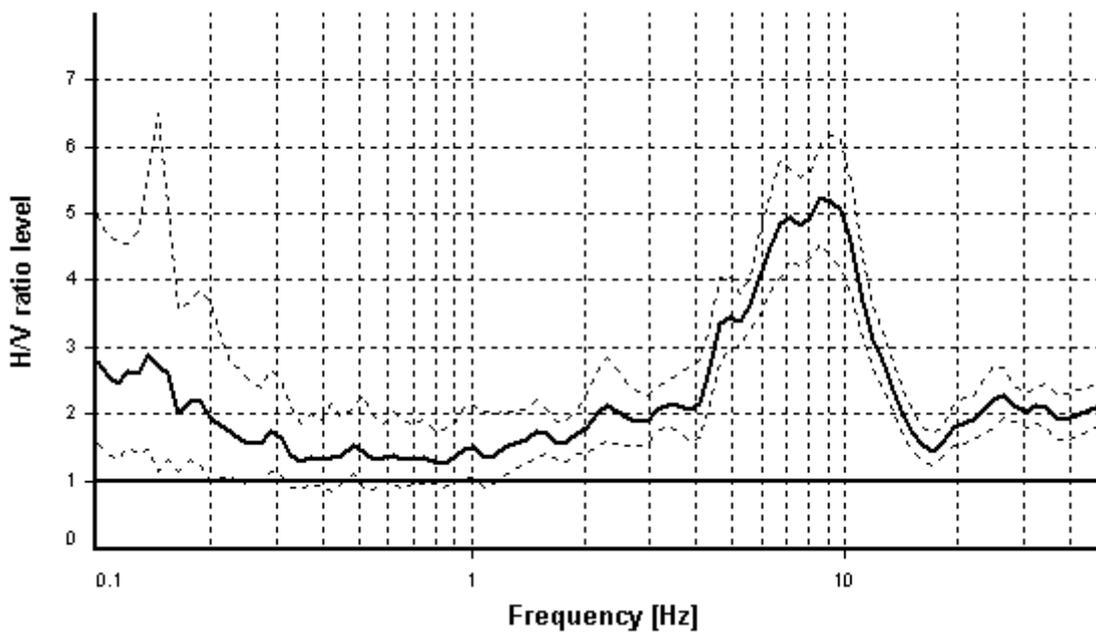
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

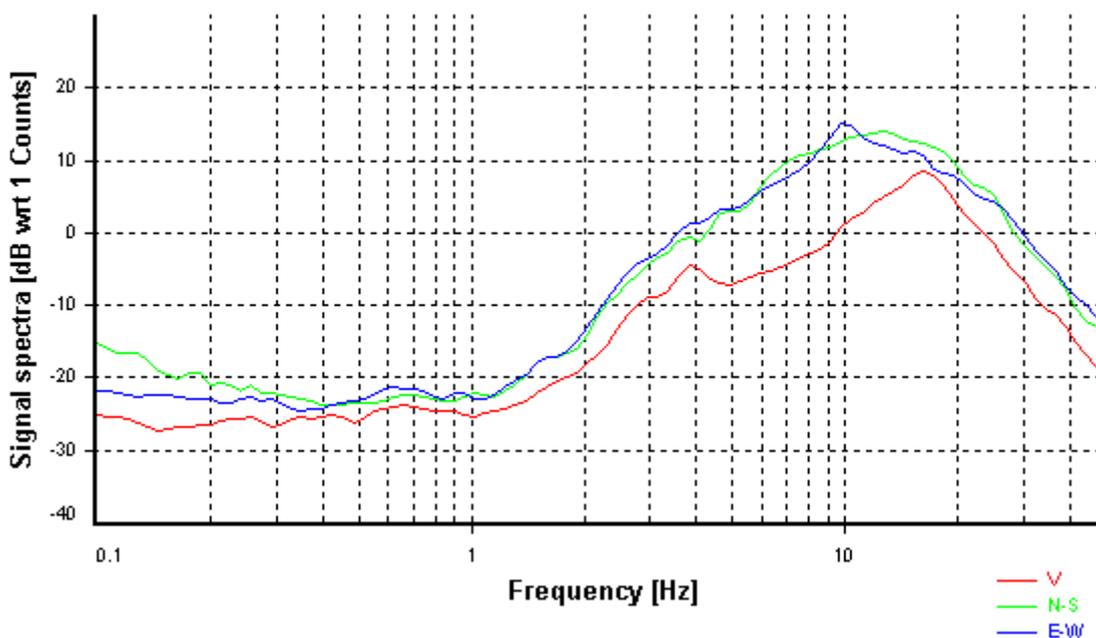
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

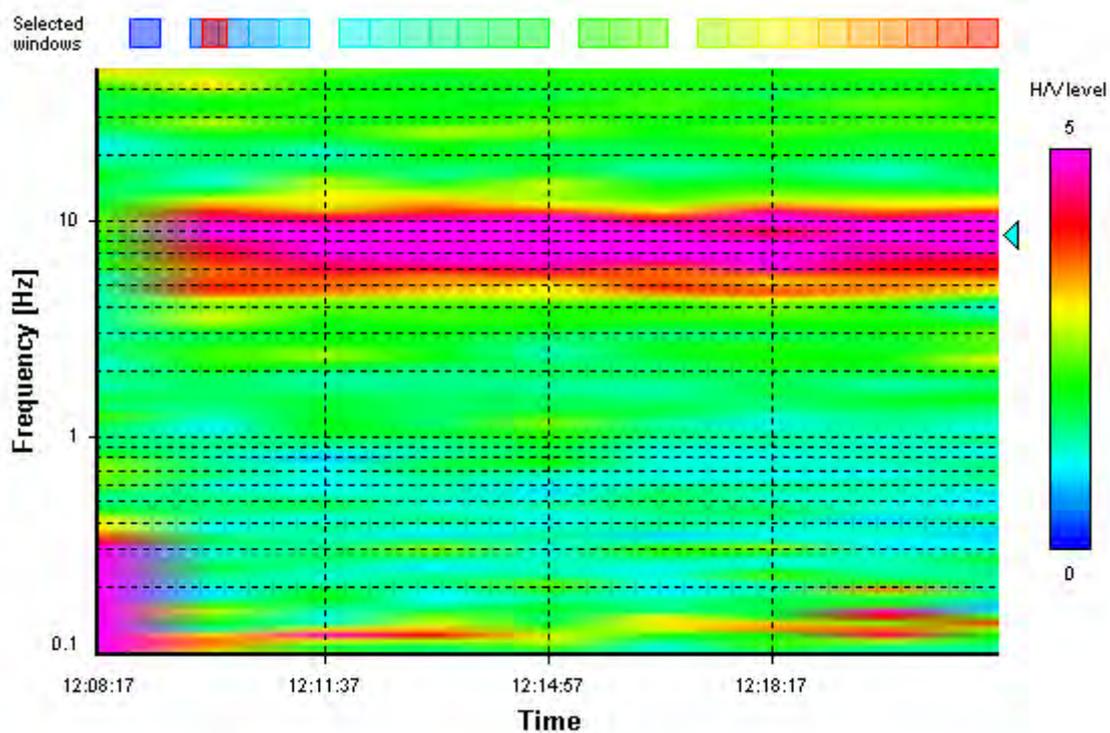
HVSR average



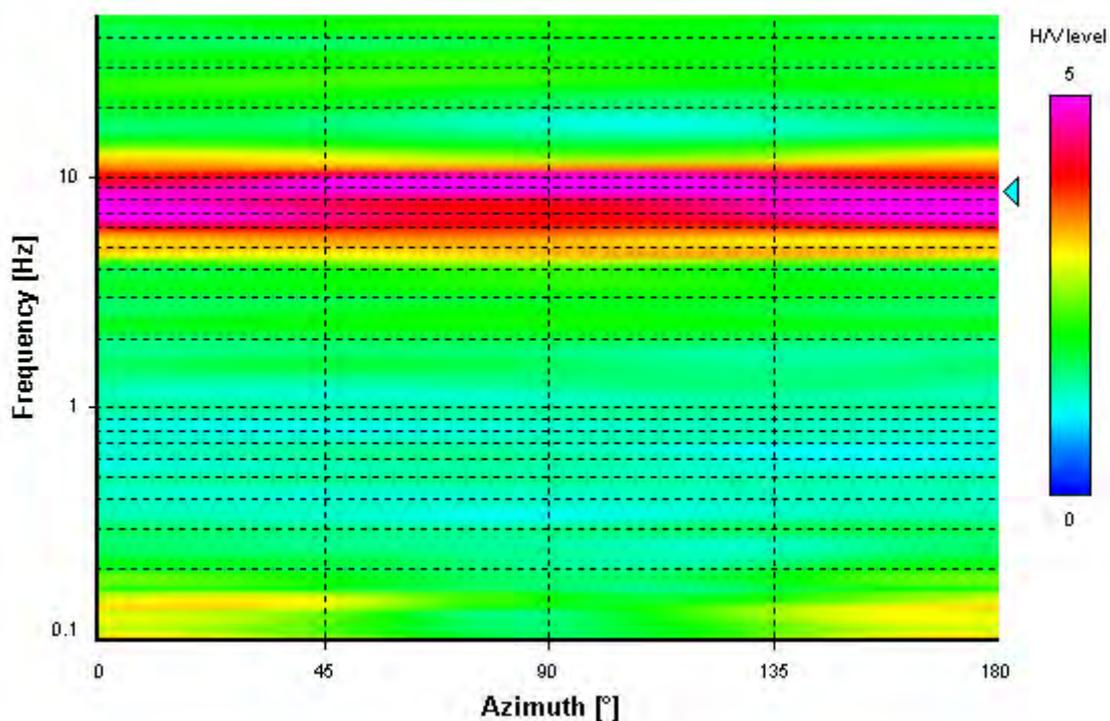
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (100 seconds windows)



HVSR directional analysis



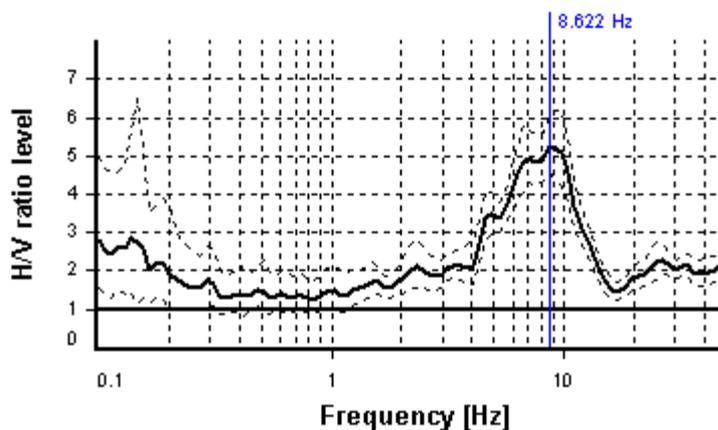
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

8.622 Hz

A_0 amplitude = 5.251

Average $f_0 = 8.424 \pm 1.228$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	26 valid windows (length > 1.16 s) out of 26	OK
$n_c(f_0) > 200$	6684.47 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 23	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	4.05954 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	13.38016 Hz	OK
$A_0 > 2$	5.25 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	6.48% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.22807 >= 0.43112	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.15402 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		NO



Appendice 4

Report delle prove penetrometriche dinamiche



PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH

Committente	Dott. Geol. Alberto Tomei
Località	Sovicille – via Pascoli
Data	17/09/19
N° di prove	5
Rif. N°	38/19
Intervento	Studio pericolosità geomorfologica

Strumentazione utilizzata TG-63 200 EML. Pagani (DPSH-B)

CARATTERISTICHE TECNICHE	
Rif. Norme	ISSMFE (1988)
	EN ISO 22476-2-2003
Peso massa battente	63,5 Kg
Altezza caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	< 30 Kg
Diametro punta conica	50,5 mm
Area di base punta conica	20,43 cm ²
Angolo apertura punta	90°
Lunghezza aste	1,0 m
Peso aste/metro	6,0 Kg
Passo di avanzamento	0,2 m
Energia specifica per colpo (Q)	11,65 kg/cm ²
Coefficiente teorico di energia (βt)	1,489



UBICAZIONE INDAGINI E COORDINATE GEOGRAFICHE

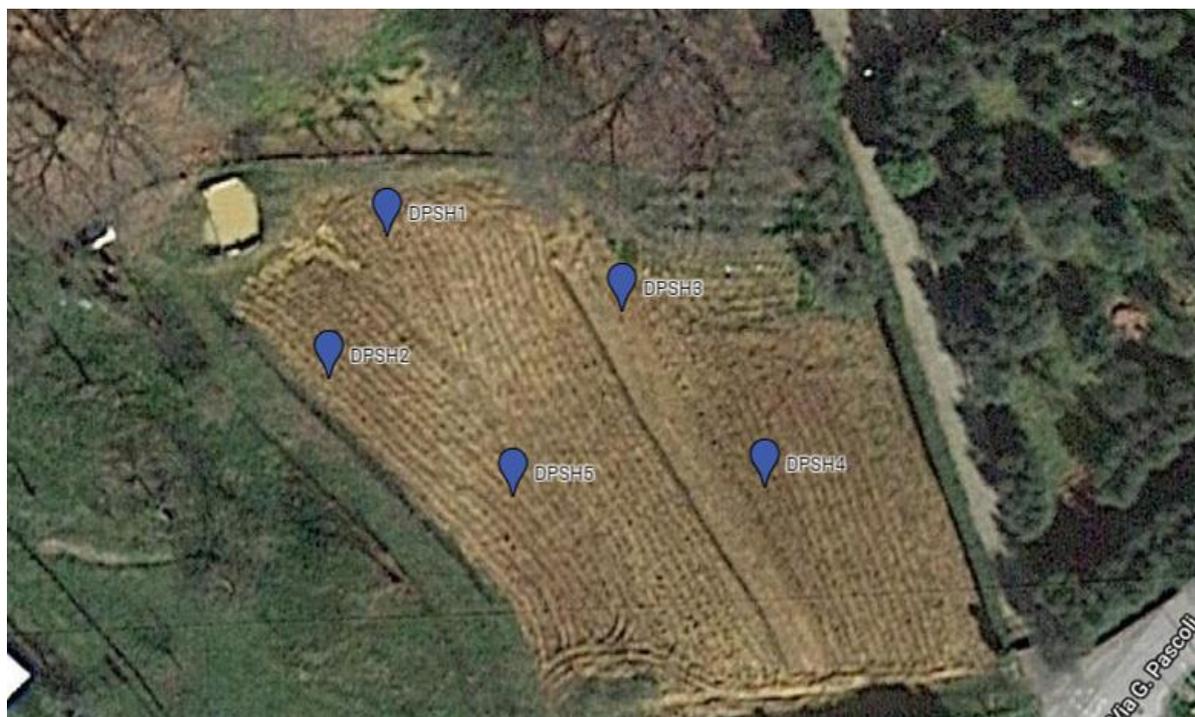


Immagine aerea Google Maps

	X (LONG)	Y (LAT)
DPSH1	11,2244491	43,2766949
DPSH2	11,2243981	43,2766036
DPSH3	11,2246542	43,2766465
DPSH4	11,2247790	43,2765342
DPSH5	11,2245591	43,2765289

Coordinate geografiche



DPSH1



Committente	Dott. Geol. Alberto Tomei	Profondità prova (m)	10,20
Località	Sovicille - via Pascoli	Quota inizio	p.c.
Prova	DPSH-1	Profondità falda (m)	Aste bagnate a circa - 4,0 m
Data	17/09/2019	Note	Piezometro (4,5 m)

TABELLA RIASSUNTIVA

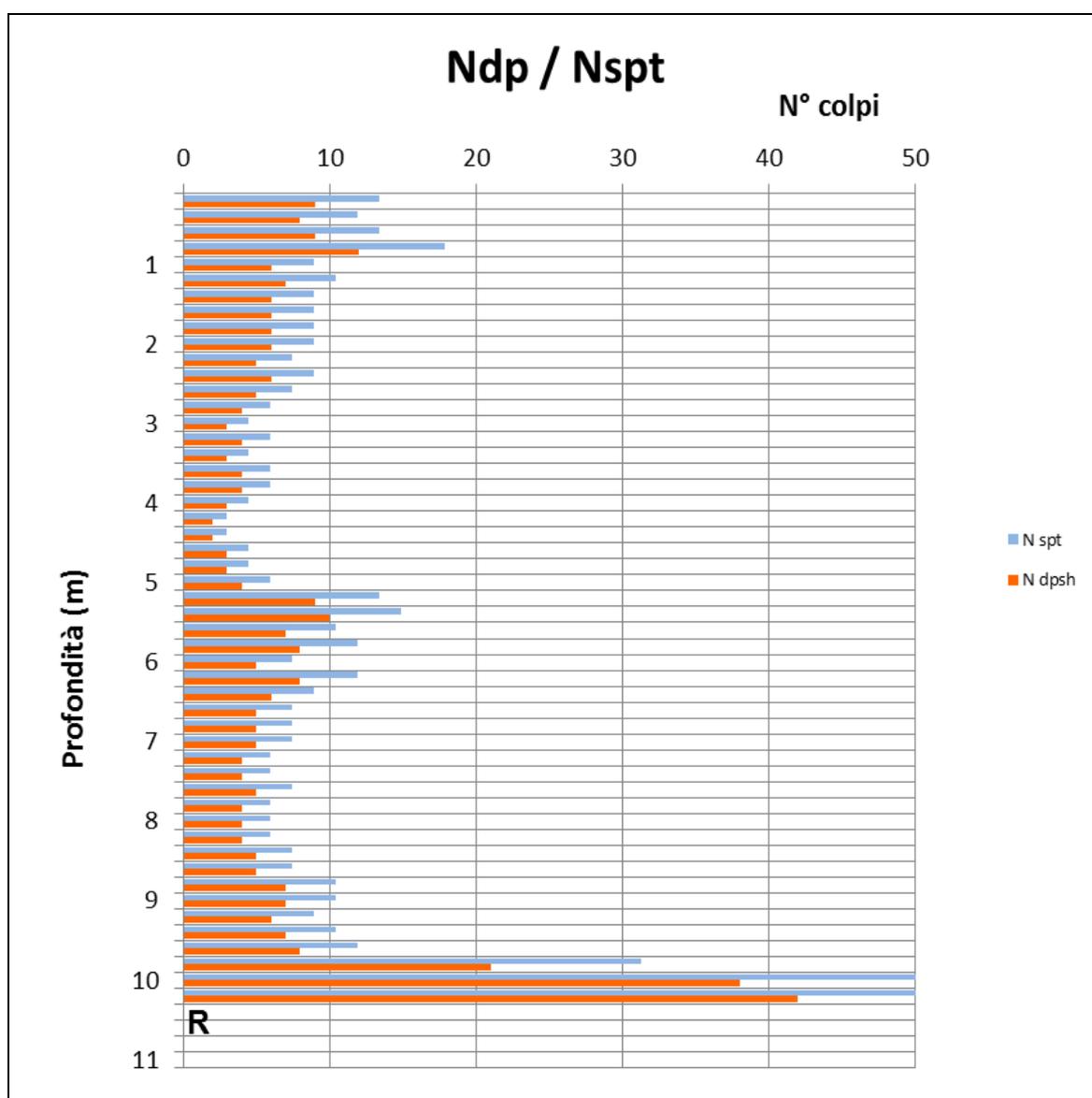
Profondità	N _{DP}	N _{SPT}	N ₁₍₆₀₎	Granulometria	Dr (%)	φ (°) medio	C _u (kPa)
0,2	9	13,4	23,8	cg	63,0	37,8	89,8
0,4	8	11,9	20,5	cg	58,5	36,6	79,8
0,6	9	13,4	22,4	cg	61,0	37,3	89,8
0,8	12	17,9	28,8	cg	69,3	39,4	119,7
1	6	8,9	14,1	cg	48,5	33,9	59,9
1,2	7	10,4	16,0	cg	51,7	34,8	69,8
1,4	6	8,9	13,4	cg	47,3	33,6	59,9
1,6	6	8,9	13,1	cg	46,7	33,4	59,9
1,8	6	8,9	12,7	cg	46,1	33,2	59,9
2	6	8,9	12,4	cg	45,5	33,1	59,9
2,2	5	7,4	10,2	cg	41,1	31,9	49,9
2,4	6	8,9	11,9	cg	44,5	32,8	59,9
2,6	5	7,4	9,7	cg	40,2	31,6	49,9
2,8	4	6,0	7,6	cg	35,7	30,3	39,9
3	3	4,5	5,7	cg	30,7	28,8	29,9
3,2	4	6,0	7,3	cg	35,0	30,1	39,9
3,4	3	4,5	5,4	cg	30,1	28,6	29,9
3,6	4	6,0	7,0	cg	34,3	29,9	39,9
3,8	4	6,0	6,9	cg	33,9	29,8	39,9

4	3	4,5	5,1	cg	29,2	28,4	29,9
4,2	2	3,0	3,4	cg	23,8	26,7	20,0
4,4	2	3,0	3,3	cg	23,6	26,6	20,0
4,6	3	4,5	4,9	cg	28,5	28,1	29,9
4,8	3	4,5	4,8	cg	28,2	28,1	29,9
5	4	6,0	6,2	cg	32,1	29,3	39,9
5,2	9	13,4	13,2	cg	46,9	33,6	89,8
5,4	10	14,9	14,4	cg	48,9	34,2	99,8
5,6	7	10,4	10,0	cg	40,9	31,9	69,8
5,8	8	11,9	11,2	cg	43,2	32,6	79,8
6	5	7,4	7,0	cg	34,3	29,9	49,9
6,2	8	11,9	10,8	cg	42,5	32,4	79,8
6,4	6	8,9	8,1	cg	36,8	30,7	59,9
6,6	5	7,4	6,7	cg	33,5	29,7	49,9
6,8	5	7,4	6,6	cg	33,2	29,6	49,9
7	5	7,4	6,5	cg	33,0	29,6	49,9
7,2	4	6,0	5,2	cg	29,4	28,5	39,9
7,4	4	6,0	5,1	cg	29,2	28,4	39,9
7,6	5	7,4	6,2	cg	32,2	29,4	49,9
7,8	4	6,0	5,0	cg	28,8	28,3	39,9
8	4	6,0	4,9	cg	28,6	28,3	39,9
8,2	4	6,0	4,8	cg	28,4	28,2	39,9
8,4	5	7,4	5,9	cg	31,4	29,1	49,9
8,6	5	7,4	5,8	cg	31,2	29,1	49,9
8,8	7	10,4	7,9	cg	36,3	30,7	69,8
9	7	10,4	7,8	cg	36,0	30,6	69,8
9,2	6	8,9	6,7	cg	33,3	29,8	59,9
9,4	7	10,4	7,6	cg	35,6	30,5	69,8
9,6	8	11,9	8,5	cg	37,6	31,2	79,8
9,8	21	31,3	20,8	cg	58,9	37,5	209,5
10	38	56,6	35,8	cg	77,3	42,9	379,1
10,2	42	62,5	38,9	cg	80,5	43,9	419,0
10,4	R	-	-	cg	-	-	-
Legenda	N_{DP}	n° colpi della prova DP		Dr%	(Skempton, 1989)		
	N_{SPT}	corrispondente n° di colpi SPT		φ(°)	valore medio dei 4 metodi proposti		
	N₁₍₆₀₎	N _{SPT} corretto per falda e stato tensionale		Cu (kPa)	(Sanglerat, 1972)		
	Granulometria	"c"= coesivo ; "g"= granulare; "cg" = misto					



Committente	Dott. Geol. Alberto Tomei	Profondità prova (m)	10,20
Località	Sovicille - via Pascoli	Quota inizio	p.c.
Prova	DPSH-1	Profondità falda (m)	Aste bagnate a circa - 4,0 m
Data	17/09/2019	Note	Piezometro (4,5 m)

Resistenza alla penetrazione [Ndp/Nspt] - Profondità [m]



Committente	Dott. Geol. Alberto Tomei	Profondità prova (m)	10,20
Località	Sovicille - via Pascoli	Quota inizio	p.c.
Prova	DPSH-1	Profondità falda (m)	Aste bagnate a circa - 4,0 m
Data	17/09/2019	Note	Piezometro (4,5 m)

PARAMETRI GEOTECNICI MEDI DEI VARI LIVELLI

Strato	Intervallo	H strato	Litologia	Nspt *	γ'	Consistenza	Addensamento	Dr %		φ (°)					Cu (Kpa)	E (Mpa)	M (Mpa)		OCR
								Terzaghi - Peck	Skempton	Wolff	Hatanaka & Uchida	Muromachi	valore medio	valore medio			Stroud (1989)	incoerenti	
															Mayne e Frost (1988)	Schultze e Menzenbach (1961)		Mayne e Kemper (1988)	
1	0,0 - 0,8	0,8	Riperto sabbioso e ghiaioso con frammenti rocciosi	14,1	19,5	consistente	moderatamente addensato	35-65	63,1	34,1	39,2	33,2	36,0	139,5	8,0	17,6	13,0	9,7	
2	0,8 - 2,6	1,8	Depositi coesivi con sabbia, consistenti	8,8	18,7	consistente	poco addensato	35-65	45,8	30,7	33,9	30,4	31,6	86,5	5,5	11,9	8,4	1,5	
3	2,6 - 5,0	2,4	Livello moderatamente consistente, umido	4,8	17,6	moderatamente consistente	poco addensato	15-35	30,7	28,6	29,3	27,7	27,5	47,7	3,6	7,3	5,0	0,4	
4	5,0 - 9,6	4,6	Depositi coesivi con sabbia, consistenti	8,9	18,7	consistente	poco addensato	15-35	35,7	29,2	30,9	30,5	29,1	88,1	5,6	12,1	8,5	0,4	
5	9,6 - 10,2	0,6	Substrato alterato	50,1	22,0	estremamente consistente	molto addensato	65-85	72,8	36,4	42,1	44,8	40,0	494,4	21,4	49,6	44,2	1,2	

Legenda	H	spessore dello strato	Dr (%)	densità relativa media dello strato	Consistenza	Classifica AGI (1977)
	Litologia	ipotizzata	φ (°)	angolo di attrito medio dello strato	Addensamento	Classifica AGI (1977)
	N_{SPT}	valore di SPT corretto medio dello strato	C_u (kPa)	resistenza al taglio non drenata media dello strato	OCR	(Mayne & Kemper, 1988)
	γ (kN/m³)	peso di volume medio dello strato	E (Mpa)	Modulo di Young medio dello strato	M (Mpa)	Modulo edometrico medio dello strato



DPSH2



Committente	Dott. Geol. Alberto Tomei	Profondità prova (m)	12,80
Località	Sovicille - via Pascoli	Quota inizio	p.c.
Prova	DPSH-2	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/09/2019	Note	Piezometro (8,0 m)

TABELLA RIASSUNTIVA

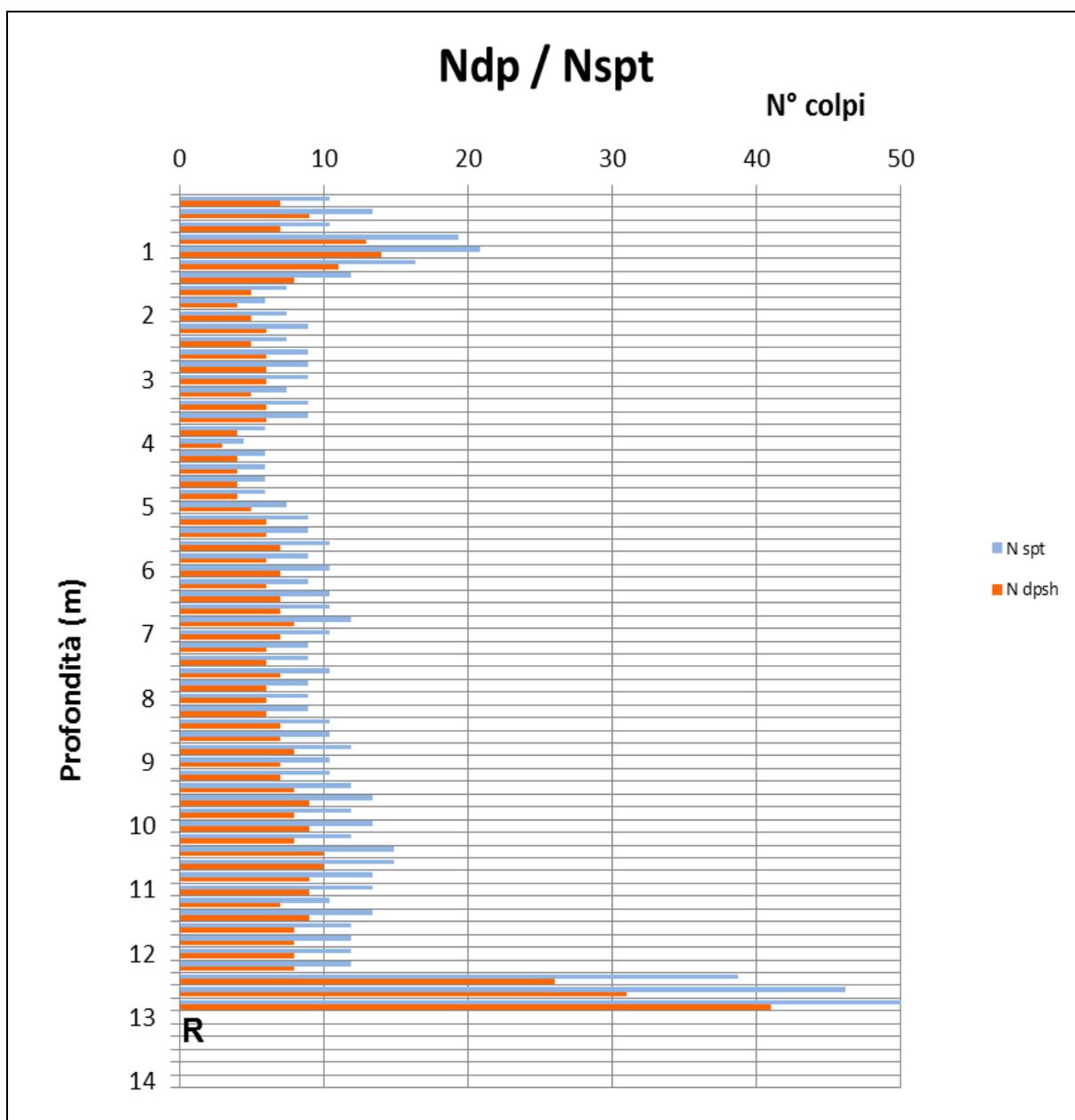
Profondità	N _{DP}	N _{SPT}	N1 ₍₆₀₎	Granulometria	Dr (%)	φ (°) medio	C _u (kPa)
0,2	7	10,4	18,5	cg	55,5	35,9	69,8
0,4	9	13,4	23,0	cg	62,0	37,5	89,8
0,6	7	10,4	17,4	cg	53,9	35,4	69,8
0,8	13	19,4	31,2	cg	72,1	40,1	129,7
1	14	20,8	32,6	cg	73,7	40,5	139,7
1,2	11	16,4	25,0	cg	64,5	38,2	109,7
1,4	8	11,9	17,8	cg	54,4	35,5	79,8
1,6	5	7,4	10,9	cg	42,7	32,3	49,9
1,8	4	6,0	8,6	cg	37,8	30,9	39,9
2	5	7,4	10,4	cg	41,6	32,0	49,9
2,2	6	8,9	12,1	cg	45,0	32,9	59,9
2,4	5	7,4	9,9	cg	40,7	31,7	49,9
2,6	6	8,9	11,6	cg	43,9	32,6	59,9
2,8	6	8,9	11,3	cg	43,5	32,5	59,9
3	6	8,9	11,1	cg	43,0	32,4	59,9
3,2	5	7,4	9,1	cg	38,9	31,2	49,9

3,4	6	8,9	10,6	cg	42,1	32,1	59,9
3,6	6	8,9	10,4	cg	41,7	32,0	59,9
3,8	4	6,0	6,9	cg	33,9	29,8	39,9
4	3	4,5	5,1	cg	29,2	28,4	29,9
4,2	4	6,0	6,6	cg	33,3	29,6	39,9
4,4	4	6,0	6,5	cg	33,0	29,5	39,9
4,6	4	6,0	6,4	cg	32,7	29,4	39,9
4,8	4	6,0	6,3	cg	32,4	29,3	39,9
5	5	7,4	7,7	cg	35,7	30,3	49,9
5,2	6	8,9	9,0	cg	38,7	31,2	59,9
5,4	6	8,9	8,8	cg	38,3	31,1	59,9
5,6	7	10,4	10,0	cg	40,9	31,9	69,8
5,8	6	8,9	8,5	cg	37,7	30,9	59,9
6	7	10,4	9,7	cg	40,2	31,7	69,8
6,2	6	8,9	8,2	cg	37,1	30,8	59,9
6,4	7	10,4	9,4	cg	39,6	31,5	69,8
6,6	7	10,4	9,3	cg	39,3	31,5	69,8
6,8	8	11,9	10,3	cg	41,5	32,1	79,8
7	7	10,4	9,0	cg	38,7	31,3	69,8
7,2	6	8,9	7,6	cg	35,7	30,4	59,9
7,4	6	8,9	7,5	cg	35,4	30,3	59,9
7,6	7	10,4	8,6	cg	37,8	31,1	69,8
7,8	6	8,9	7,3	cg	34,9	30,2	59,9
8	6	8,9	7,2	cg	34,7	30,1	59,9
8,2	6	8,9	7,1	cg	34,4	30,1	59,9
8,4	7	10,4	8,1	cg	36,8	30,8	69,8
8,6	7	10,4	8,0	cg	36,5	30,8	69,8
8,8	8	11,9	9,0	cg	38,6	31,4	79,8
9	7	10,4	7,8	cg	36,0	30,6	69,8
9,2	7	10,4	7,7	cg	35,8	30,6	69,8
9,4	8	11,9	8,6	cg	37,9	31,2	79,8
9,6	9	13,4	9,5	cg	39,8	31,8	89,8
9,8	8	11,9	8,4	cg	37,4	31,1	79,8
10	9	13,4	9,3	cg	39,3	31,7	89,8
10,2	8	11,9	8,2	cg	36,9	31,0	79,8
10,4	10	14,9	10,0	cg	40,8	32,2	99,8
10,6	10	14,9	9,9	cg	40,5	32,1	99,8
10,8	9	13,4	8,8	cg	38,3	31,5	89,8
11	9	13,4	8,7	cg	38,1	31,4	89,8
11,2	7	10,4	6,8	cg	33,7	30,0	69,8
11,4	9	13,4	8,5	cg	37,7	31,3	89,8
11,6	8	11,9	7,5	cg	35,5	30,6	79,8
11,8	8	11,9	7,5	cg	35,3	30,6	79,8
12	8	11,9	7,4	cg	35,1	30,5	79,8
12,2	8	11,9	7,3	cg	34,9	30,5	79,8
12,4	26	38,7	21,7	cg	60,2	38,3	259,4
12,6	31	46,2	25,3	cg	65,0	39,7	309,3
12,8	41	61,0	32,5	0	73,6	42,4	409,0
13	R	-	-	0	-	-	-
Legenda	N_{DP}	n° colpi della prova DP			Dr%	(Skempton, 1989)	
	N_{SPT}	corrispondente n° di colpi SPT			φ(°)	valore medio dei 4 metodi proposti	
	N1₍₆₀₎	N _{SPT} corretto per falda e stato tensionale			Cu (kPa)	(Sanglerat, 1972)	
	Granulometria	"c"= coesivo ; "g"= granulare; "cg" = misto					



Committente	Dott. Geol. Alberto Tomei	Profondità prova (m)	12,80
Località	Sovicille - via Pascoli	Quota inizio	p.c.
Prova	DPSH-2	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/09/2019	Note	Piezometro (8,0 m)

Resistenza alla penetrazione [Ndp/Nspt] - Profondità [m]



Committente	Dott. Geol. Alberto Tomei							Profondità prova (m)	12,80										
Località	Sovicille - via Pascoli							Quota inizio	p.c.										
Prova	DPSH-2							Profondità falda (m)	non rilevata										
Data	17/09/2019							Note	Piezometro (8,0 m)										
PARAMETRI GEOTECNICI MEDI DEI VARI LIVELLI																			
Strato	Intervallo	H strato	Litologia	Nspt *	γ'	Consistenza	Addensamento	Dr %		φ (°)				Cu (Kpa) valore medio	E (Mpa) Stroud (1989)	M (Mpa)		OCR Mayne e Kemper (1988)	
								Terzaghi - Peck	Skempton	Wolff	Hatanaka & Uchida	Muromachi	valore medio			valore medio	incoerenti Mayne e Frost (1988)		coesivi Schultze e Menzenbach (1961)
1	0,0 - 1,4	1,4	Riperto sabbioso e ghiaioso con frammenti rocciosi	14,7	19,6	consistente	moderatamente addensato	35-65	62,8	34,0	39,1	33,4	35,9	144,8	8,2	18,1	13,5	6,6	
2	1,4 - 3,6	2,2	Depositi coesivi con sabbia, consistenti	8,1	18,5	consistente	poco addensato	35-65	41,9	30,1	32,7	30,0	30,6	80,1	5,2	11,2	7,8	0,9	
3	3,6 - 4,8	1,2	Livello moderatamente consistente, umido	5,7	17,9	moderatamente consistente	poco addensato	15-35	32,5	28,8	29,9	28,4	28,1	56,3	4,0	8,4	5,7	0,4	
4	4,8 - 12,2	7,4	Depositi coesivi con sabbia, consistenti	11,0	19,1	consistente	moderatamente addensato	35-65	37,5	29,4	31,4	31,6	29,7	108,4	6,6	14,3	10,3	0,4	
5	12,2 - 12,8	0,6	Substrato alterato	48,6	22,0	estremamente consistente	addensato	65-85	66,5	34,8	40,2	44,4	38,5	479,7	20,9	48,4	42,9	0,9	
Legenda	H spessore dello strato Litologia ipotizzata N_{SPT} valore di SPT corretto medio dello strato γ (kN/m³) peso di volume medio dello strato							Dr (%) densità relativa media dello strato φ (°) angolo di attrito medio dello strato C_u (kPa) resistenza al taglio non drenata media dello strato E (Mpa) Modulo di Young medio dello strato				Consistenza Addensamento Classifica AGI (1977) OCR Classifica AGI (1977) (Mayne & Kemper, 1988) M (Mpa) Modulo edometrico medio dello strato							



DPSH3



Committente	Dott. Geol. Alberto Tomei	Profondità prova (m)	4,00
Località	Sovicille - via Pascoli	Quota inizio	p.c.
Prova	DPSH-3	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/09/2019	Note	

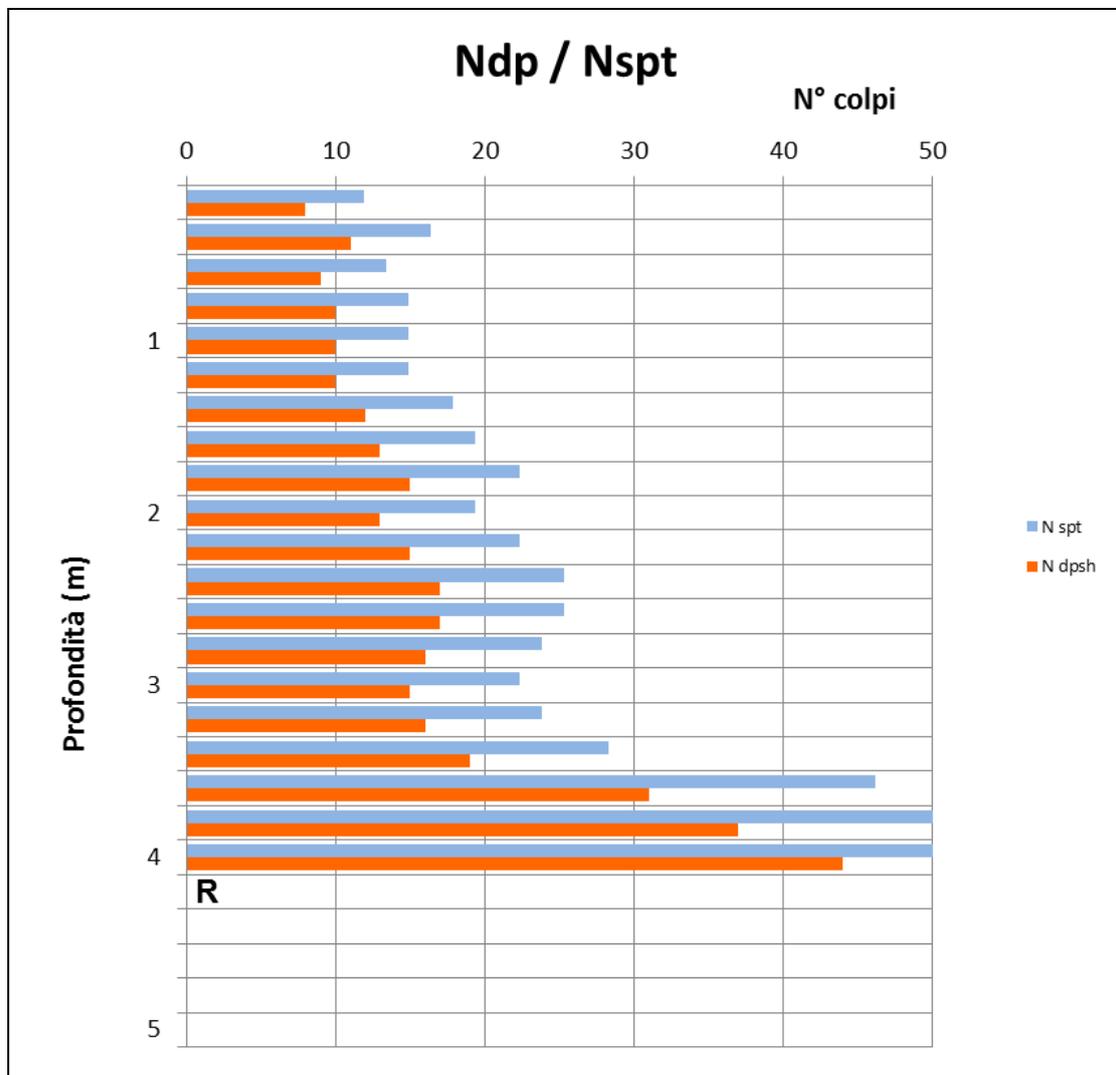
TABELLA RIASSUNTIVA

Profondità	N _{DP}	N _{SPT}	N ₁₍₆₀₎	Granulometria	Dr (%)	φ (°) medio	C _u (kPa)
0,2	8	11,9	21,1	cg	59,4	36,9	79,8
0,4	11	16,4	28,1	cg	68,5	39,2	109,7
0,6	9	13,4	22,4	cg	61,0	37,3	89,8
0,8	10	14,9	24,1	cg	63,4	37,9	99,8
1	10	14,9	23,4	cg	62,4	37,6	99,8
1,2	10	14,9	22,7	cg	61,6	37,4	99,8
1,4	12	17,9	26,5	cg	66,4	38,7	119,7
1,6	13	19,4	27,9	cg	68,1	39,1	129,7
1,8	15	22,3	31,2	cg	72,1	40,1	149,6
2	13	19,4	26,4	cg	66,4	38,7	129,7
2,2	15	22,3	29,6	cg	70,3	39,7	149,6
2,4	17	25,3	32,7	cg	73,8	40,6	169,6
2,6	17	25,3	31,9	cg	72,9	40,4	169,6
2,8	16	23,8	29,3	cg	69,9	39,7	159,6
3	15	22,3	26,9	cg	67,0	38,9	149,6
3,2	16	23,8	28,0	cg	68,3	39,3	159,6
3,4	19	28,3	32,4	cg	73,4	40,7	189,5
3,6	31	46,2	50,7	cg	91,9	45,6	309,3
3,8	37	55,1	58,8	cg	99,0	47,5	369,1
4	44	65,5	67,9	cg	106,4	49,5	439,0
4,2	R	-	-	cg	-	-	-
Legenda	N_{DP}	n° colpi della prova DP		Dr%	(Skempton, 1989)		
	N_{SPT}	corrispondente n° di colpi SPT		φ(°)	valore medio dei 4 metodi proposti		
	N₁₍₆₀₎	N _{SPT} corretto per falda e stato tensionale		Cu (kPa)	(Sanglerat, 1972)		
	Granulometria	"c"= coesivo ; "g"= granulare; "cg" = misto					



Committente	Dott. Geol. Alberto Tomei	Profondità prova (m)	4,00
Località	Sovicille - via Pascoli	Quota inizio	p.c.
Prova	DPSH-3	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/09/2019	Note	

Resistenza alla penetrazione [Ndp/Nspt] - Profondità [m]



Committente	Dott. Geol. Alberto Tomei	Profondità prova (m)	4,00
Località	Sovicille - via Pascoli	Quota inizio	p.c.
Prova	DPSH-3	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/09/2019	Note	

PARAMETRI GEOTECNICI MEDI DEI VARI LIVELLI

Strato	Intervallo	H strato	Litologia	Nspt *	γ'	Consistenza	Addensamento	Dr %		φ (°)				Cu (Kpa)	E (Mpa)	M (Mpa)		OCR
								Terzaghi - Peck	Skempton	Wolff	Hatanaka & Uchida	Muromachi	valore medio			valore medio	Stroud (1989)	
														incoerenti	coesivi			
1	0,0 - 1,2	1,2	Coperture superficiali sabbioso-limose, moderatamente addensate	14,4	19,6	consistente	moderatamente addensato	35-65	62,8	34,0	39,1	33,3	35,9	142,0	8,1	17,8	13,3	7,7
2	1,2 - 3,4	2,2	Depositi coesivi e sabbiosi molto consistenti	22,7	20,4	molto consistente	moderatamente addensato	65-85	69,9	35,7	41,3	36,7	37,9	224,3	11,5	25,9	20,5	2,6
3	3,4 - 4,0	0,6	Substrato alterato	55,6	22,2	estremamente consistente	molto addensato	85-100	99,3	44,6	50,2	46,1	45,9	548,2	23,2	54,0	48,9	3,5

Legenda	H	spessore dello strato	Dr (%)	densità relativa media dello strato	Consistenza	Classifica AGI (1977)
	Litologia	ipotizzata	φ (°)	angolo di attrito medio dello strato	Addensamento	Classifica AGI (1977)
	N_{SPT}	valore di SPT corretto medio dello strato	C_u (kPa)	resistenza al taglio non drenata media dello strato	OCR	(Mayne & Kemper, 1988)
	γ (kN/m³)	peso di volume medio dello strato	E (Mpa)	Modulo di Young medio dello strato	M (Mpa)	Modulo edometrico medio dello strato



DPSH4



Committente	Dott. Geol. Alberto Tomei	Profondità prova (m)	2,80
Località	Sovicille - via Pascoli	Quota inizio	p.c.
Prova	DPSH-4	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/09/2019	Note	

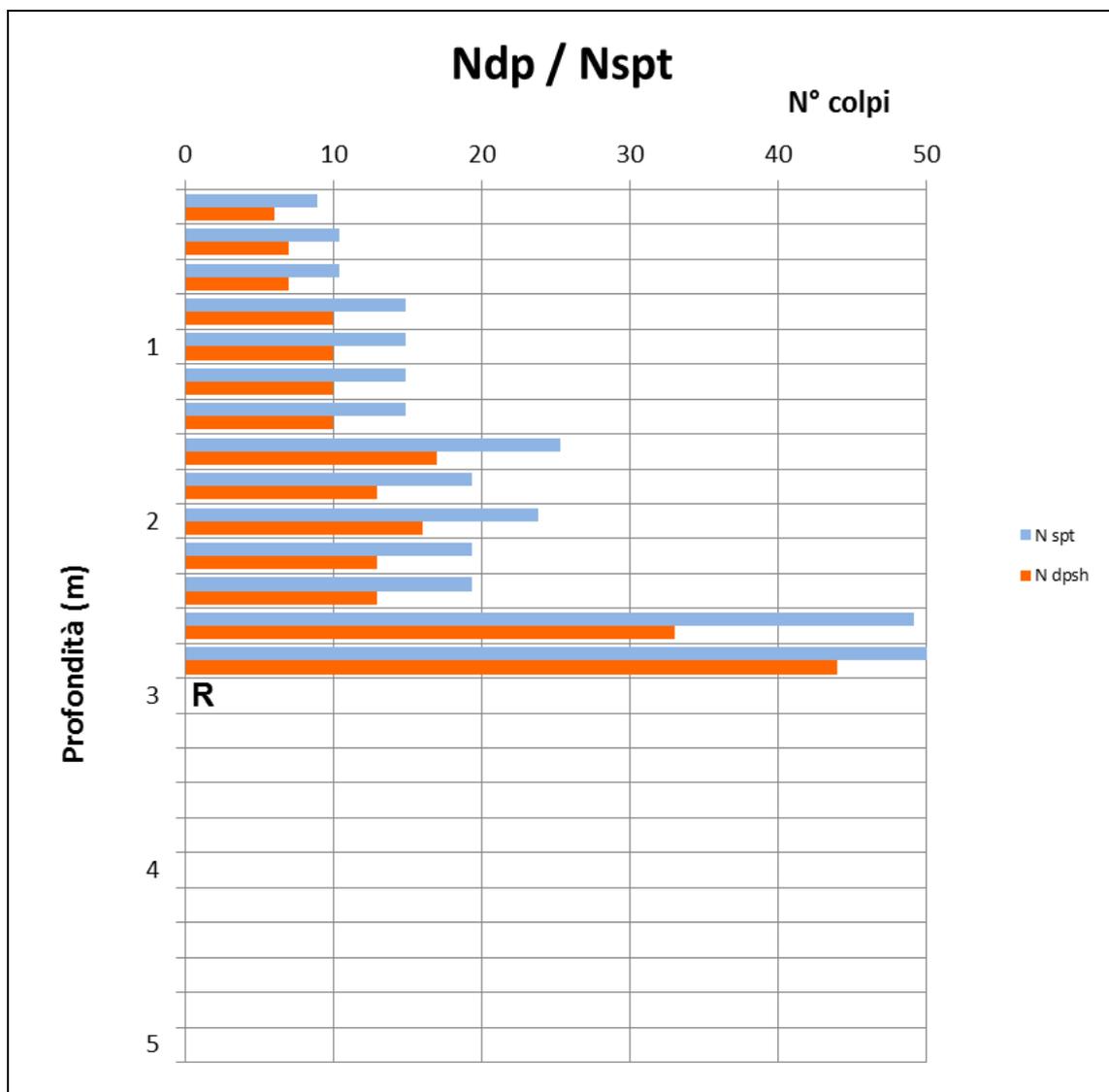
TABELLA RIASSUNTIVA

Profondità	N _{DP}	N _{SPT}	N ₁₍₆₀₎	Granulometria	Dr (%)	φ (°) medio	C _u (kPa)
0,2	6	8,9	15,9	cg	51,4	34,8	59,9
0,4	7	10,4	18,0	cg	54,7	35,6	69,8
0,6	7	10,4	17,4	cg	53,9	35,4	69,8
0,8	10	14,9	24,1	cg	63,4	37,9	99,8
1	10	14,9	23,4	cg	62,4	37,6	99,8
1,2	10	14,9	22,7	cg	61,6	37,4	99,8
1,4	10	14,9	22,1	cg	60,7	37,2	99,8
1,6	17	25,3	36,2	cg	77,7	41,6	169,6
1,8	13	19,4	27,1	cg	67,2	38,9	129,7
2	16	23,8	32,4	cg	73,5	40,5	159,6
2,2	13	19,4	25,8	cg	65,6	38,5	129,7
2,4	13	19,4	25,2	cg	64,8	38,3	129,7
2,6	33	49,1	60,6	cg	100,5	47,6	329,2
2,8	44	65,5	78,1	cg	114,1	51,1	439,0
3	R	-	-	cg	-	-	-
Legenda	N_{DP}	n° colpi della prova DP		Dr%	(Skempton, 1989)		
	N_{SPT}	corrispondente n° di colpi SPT		φ(°)	valore medio dei 4 metodi proposti		
	N₁₍₆₀₎	N _{SPT} corretto per falda e stato tensionale		C_u (kPa)	(Sanglerat, 1972)		
	Granulometria	"c"= coesivo ; "g"= granulare; "cg" = misto					



Committente	Dott. Geol. Alberto Tomei	Profondità prova (m)	2,80
Località	Sovicille - via Pascoli	Quota inizio	p.c.
Prova	DPSH-4	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/09/2019	Note	

Resistenza alla penetrazione [Ndp/Nspt] - Profondità [m]



Committente	Dott. Geol. Alberto Tomei							Profondità prova (m)	2,80										
Località	Sovicille - via Pascoli							Quota inizio	p.c.										
Prova	DPSH-4							Profondità falda (m)	non rilevata										
Data	17/09/2019							Note											
PARAMETRI GEOTECNICI MEDI DEI VARI LIVELLI																			
Strato	Intervallo	H strato	Litologia	Nspt *	γ'	Consistenza	Addensamento	Dr %		φ (°)				Cu (Kpa)	E (Mpa)	M (Mpa)		OCR	
								Terzaghi - Peck	Skempton	Wolff	Hatanaka & Uchida	Muromachi	valore medio			valore medio	Stroud (1989)		Mayne e Frost (1988)
1	0,0 - 1,4	1,4	Coperture superficiali sabbioso-limose, moderatamente addensate	12,8	19,3	consistente	moderatamente addensato	35-65	58,5	33,1	37,8	32,5	34,9	125,9	7,4	16,2	11,8	5,7	
2	1,4 - 2,4	1,0	Depositi coesivi e sabbiosi molto consistenti	21,4	20,3	molto consistente	moderatamente addensato	65-85	69,9	35,7	41,3	36,2	37,8	211,5	10,9	24,7	19,3	2,9	
3	2,4 - 2,8	0,4	Substrato alterato	57,3	22,3	estremamente consistente	molto addensato	85-100	107,5	47,6	52,7	46,5	47,8	565,4	23,8	55,4	50,4	5,0	
Legenda		H	spessore dello strato ipotizzata			Dr (%)	densità relativa media dello strato			Consistenza		Classifica AGI (1977)							
		Litologia				φ (°)	angolo di attrito medio dello strato			Addensamento		Classifica AGI (1977)							
		N_{SPT}	valore di SPT corretto medio dello strato			C_u (kPa)	resistenza al taglio non drenata media dello strato			OCR		(Mayne & Kemper, 1988)							
		γ (kN/m³)	peso di volume medio dello strato			E(Mpa)	Modulo di Young medio dello strato			M(Mpa)		Modulo edometrico medio dello strato							



DPSH5



Committente	Dott. Geol. Alberto Tomei	Profondità prova (m)	6,20
Località	Sovicille - via Pascoli	Quota inizio	p.c.
Prova	DPSH-5	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/09/2019	Note	

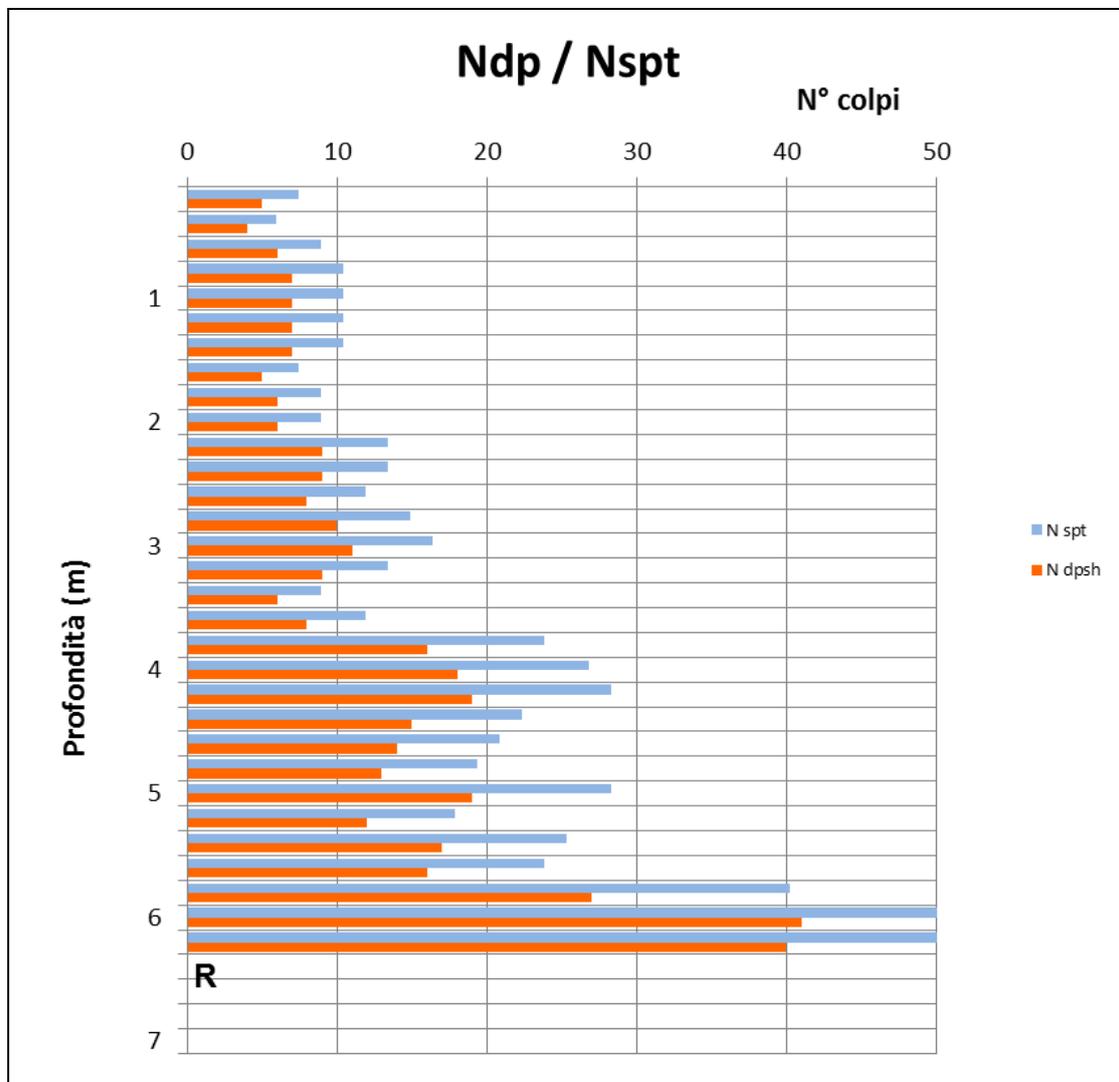
TABELLA RIASSUNTIVA

Profondità	N _{DP}	N _{SPT}	N ₁₍₆₀₎	Granulometria	Dr (%)	φ (°) medio	C _u (kPa)
0,2	5	7,4	13,2	cg	47,0	33,6	49,9
0,4	4	6,0	10,3	cg	41,4	32,1	39,9
0,6	6	8,9	15,0	cg	49,9	34,4	59,9
0,8	7	10,4	16,9	cg	53,1	35,2	69,8
1	7	10,4	16,5	cg	52,4	35,0	69,8
1,2	7	10,4	16,0	cg	51,7	34,8	69,8
1,4	7	10,4	15,6	cg	51,0	34,6	69,8
1,6	5	7,4	10,9	cg	42,7	32,3	49,9
1,8	6	8,9	12,7	cg	46,1	33,2	59,9
2	6	8,9	12,4	cg	45,5	33,1	59,9
2,2	9	13,4	18,0	cg	54,8	35,6	89,8
2,4	9	13,4	17,6	cg	54,1	35,4	89,8
2,6	8	11,9	15,3	cg	50,5	34,5	79,8
2,8	10	14,9	18,6	cg	55,7	35,9	99,8
3	11	16,4	19,9	cg	57,7	36,4	109,7
3,2	9	13,4	16,1	cg	51,8	34,8	89,8
3,4	6	8,9	10,6	cg	42,1	32,1	59,9
3,6	8	11,9	13,8	cg	47,9	33,8	79,8
3,8	16	23,8	26,3	cg	66,2	38,8	159,6
4	18	26,8	28,8	cg	69,3	39,6	179,6
4,2	19	28,3	29,7	cg	70,4	40,0	189,5
4,4	15	22,3	23,2	cg	62,2	37,8	149,6
4,6	14	20,8	21,3	cg	59,6	37,1	139,7
4,8	13	19,4	19,5	cg	57,0	36,4	129,7
5	19	28,3	27,5	cg	67,7	39,4	189,5
5,2	12	17,9	17,4	cg	53,8	35,6	119,7
5,4	17	25,3	23,8	cg	63,0	38,1	169,6
5,6	16	23,8	22,1	cg	60,7	37,5	159,6
5,8	27	40,2	35,7	cg	77,2	42,1	269,4
6	41	61,0	52,2	cg	93,3	46,5	409,0
6,2	40	59,6	50,1	cg	91,4	46,1	399,1
6,4	R	-	-	cg	-	-	-
Legenda	N_{DP}	n° colpi della prova DP		Dr%	(Skempton, 1989)		
	N_{SPT}	corrispondente n° di colpi SPT		φ(°)	valore medio dei 4 metodi proposti		
	N₁₍₆₀₎	N _{SPT} corretto per falda e stato tensionale		Cu (kPa)	(Sanglerat, 1972)		
	Granulometria	"c"= coesivo ; "g"= granulare; "cg" = misto					



Committente	Dott. Geol. Alberto Tomei	Profondità prova (m)	6,20
Località	Sovicille - via Pascoli	Quota inizio	p.c.
Prova	DPSH-5	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/09/2019	Note	

Resistenza alla penetrazione [Ndp/Nspt] - Profondità [m]



Committente	Dott. Geol. Alberto Tomei	Profondità prova (m)	6,20
Località	Sovicille - via Pascoli	Quota inizio	p.c.
Prova	DPSH-5	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/09/2019	Note	

PARAMETRI GEOTECNICI MEDI DEI VARI LIVELLI

Strato	Intervallo	H strato	Litologia	Nspt *	γ'	Consistenza	Addensamento	Dr %		φ (°)				Cu (Kpa)	E (Mpa)	M (Mpa)		OCR	
								Terzaghi - Peck	Skempton	Wolff	Hatanaka & Uchida	Muromachi	valore medio			valore medio	Stroud (1989)		Mayne e Frost (1988)
														incoerenti	coesivi				
1	0,0 - 2,0	2,0	Coperture superficiali sabbioso-limose, poco addensate	8,9	18,7	consistente	poco addensato	35-65	48,2	31,1	34,7	30,5	32,2	88,1	5,6	12,1	8,5	3,5	
2	2,0 - 3,6	1,6	Depositi coesivi e sabbiosi consistenti	13,0	19,4	consistente	moderatamente addensato	35-65	52,0	31,8	35,8	32,6	33,2	128,5	7,5	16,4	12,1	1,3	
3	3,6 - 5,6	2,0	Depositi coesivi e sabbiosi molto consistenti	23,7	20,5	molto consistente	moderatamente addensato	35-65	63,2	34,1	39,2	37,0	36,4	233,5	11,8	26,8	21,3	1,3	
4	5,6 - 6,2	0,6	Substrato alterato	53,6	22,2	estremamente consistente	molto addensato	85-100	87,6	40,6	46,6	45,6	43,2	528,7	22,6	52,4	47,2	2,1	
Legenda		H	spessore dello strato ipotizzata		Dr (%)	densità relativa media dello strato		Consistenza	Classifica AGI (1977)		Addensamento	Classifica AGI (1977)		OCR	(Mayne & Kemper, 1988)		M(Mpa)	Modulo edometrico medio dello strato	
		Litologia			φ (°)	angolo di attrito medio dello strato													
		N_{SPT}	valore di SPT corretto medio dello strato		C_u (kPa)	resistenza al taglio non drenata media dello strato													
		Y (kN/m³)	peso di volume medio dello strato		E(Mpa)	Modulo di Young medio dello strato													