



**IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO  
"CASA DEL CORTO"**

**[ID: 3212 - 3214] Risposte alle  
Richieste di Integrazioni**

***Allegato 10: Relazione Geologica Integrativa***

*Preparato per:*  
**Svolta Geotermica Srl**

Dicembre 2016

*Codice Progetto:*  
P16\_CAE\_021

Revisione: 0

**STEAM**  
**Sistemi Energetici Ambientali**  
Via Ponte a Piglieri, 8  
I – 56122 Pisa  
Telefono +39 050 9711664  
Fax +39 050 3136505  
Email : info@steam-group.net



STEAM

# GEOAMIATA

**GEOLOGIA GEOMORFOLOGIA IDROGEOLOGIA IDRAULICA**  
**GEOFISICA GEOTECNICA**

**IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO «CASA DEL CORTO»**  
**Indagine geologica, geomorfologica, sismica**  
**e geotecnica per la realizzazione di due**  
**postazioni di perforazione ed elettrodotto**  
**-Integrazione-**

## **Committente**

STEAM s.r.l

## **Località**

Casa del Corto

## **Comune**

PIANCASTAGNAIO (SI)

## **Incarico n.**

33/15

## **Data**

OTTOBRE 2016



## 1. PREMESSA

Nel presente lavoro si riferisce sulle risultanze di un'indagine geognostica integrativa effettuata su richiesta degli uffici tecnici della Regione Toscana per la VIA di competenza statale relativa al Progetto "Impianto Pilota Geotermico Casa del Corto" (Comune di Piancastagnaio). Su tale progetto è già stata prodotta dal Proponente una indagine geologica e geotecnica nel novembre 2015, in merito alla quale la Regione Toscana, di concerto con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, ha avanzato la richiesta di integrare ed approfondire una serie di aspetti. Questa indagine vuol rispondere alle richieste di cui al **punto 2.b.4.** relative alla necessità di **rielaborare gli elementi riferiti alla pericolosità geologica e idraulica** perché quelle contenute nelle relazioni allegate all'istanza risultavano riferite al Piano Strutturale di Piancastagnaio all'epoca adottato ma non ancora vigente, sul quale gli Uffici regionali avevano fatto una richiesta di integrazioni; in particolare, come richiesto nel documento sopracitato, sono stati riesaminati sia gli **aspetti geomorfologici relativi all'area di reiniezione e dell'elettrodotto sia gli aspetti idraulici relativi all'area di produzione.**

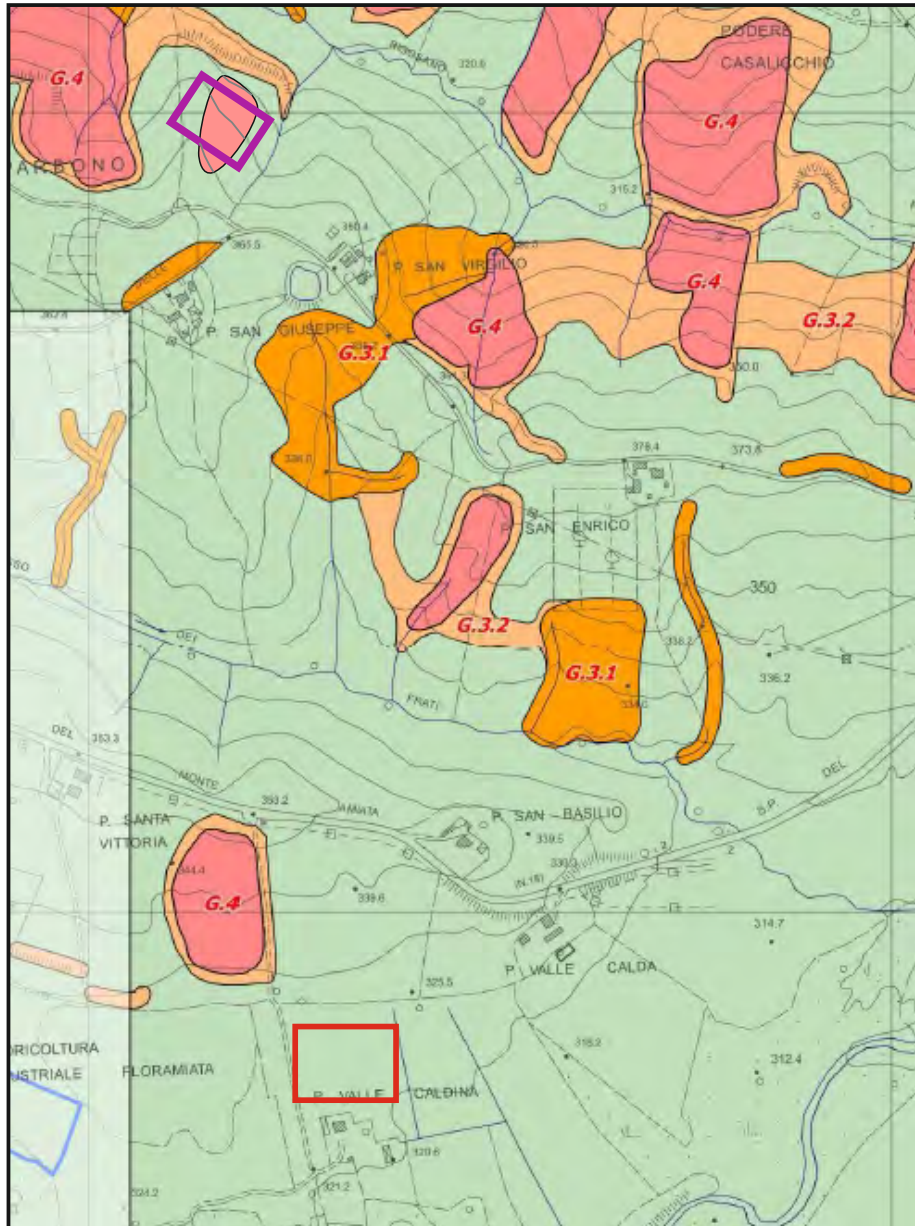
Di seguito si riportano le integrazioni e le rielaborazioni richieste, suddivise in due distinti capitoli, uno dedicato agli aspetti geologici e geomorfologici, l'altro riferito agli aspetti idraulici.

I sopralluoghi e le prove di caratterizzazione per l'accertamento delle condizioni locali sono stati compiuti nel **settembre-ottobre 2016.**

Si riportano all'interno della presente relazione:

- **Fig. 1: Carta della pericolosità geologica (stralcio da P.S. Comunale) integrata con le osservazioni dell'ufficio del Genio Civile di Siena in scala 1:10.000 - Siti di produzione e reiniezione;**
- **Fig. 2: Carta della pericolosità geologica (stralcio da P.S. Comunale) integrata con le osservazioni dell'ufficio del Genio Civile di Siena in scala 1:10.000 - Elettrodotto;**

Figura 1



**CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA**  
**Stralcio da P.S.**  
 (integrata con le osservazioni del G.C. di Siena)  
 Scala 1:10.000

**LEGENDA**

- PERICOLOSITA' GEOLOGICA**
- Pericolosità geologica Media (G.2)
    - (G.2.1) aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi/stabilizzati (naturalmente/artificialmente)
    - (G.2.2) aree con elementi geomorfologici, litologici, giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%
  - Pericolosità geologica Elevata (G.3):
    - (G.3.1) aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza
    - (G.3.2) aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25%
    - (G.3.3) aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche o per i quali possono essere ipotizzati cedimenti differenziali
    - (G.3.4) aree in degrado per processi di carattere antropico (siti estrattivi e miniere abbandonate)
  - Pericolosità geologica Molto Elevata (G.4)
    - aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza, aree interessate da soliflussi



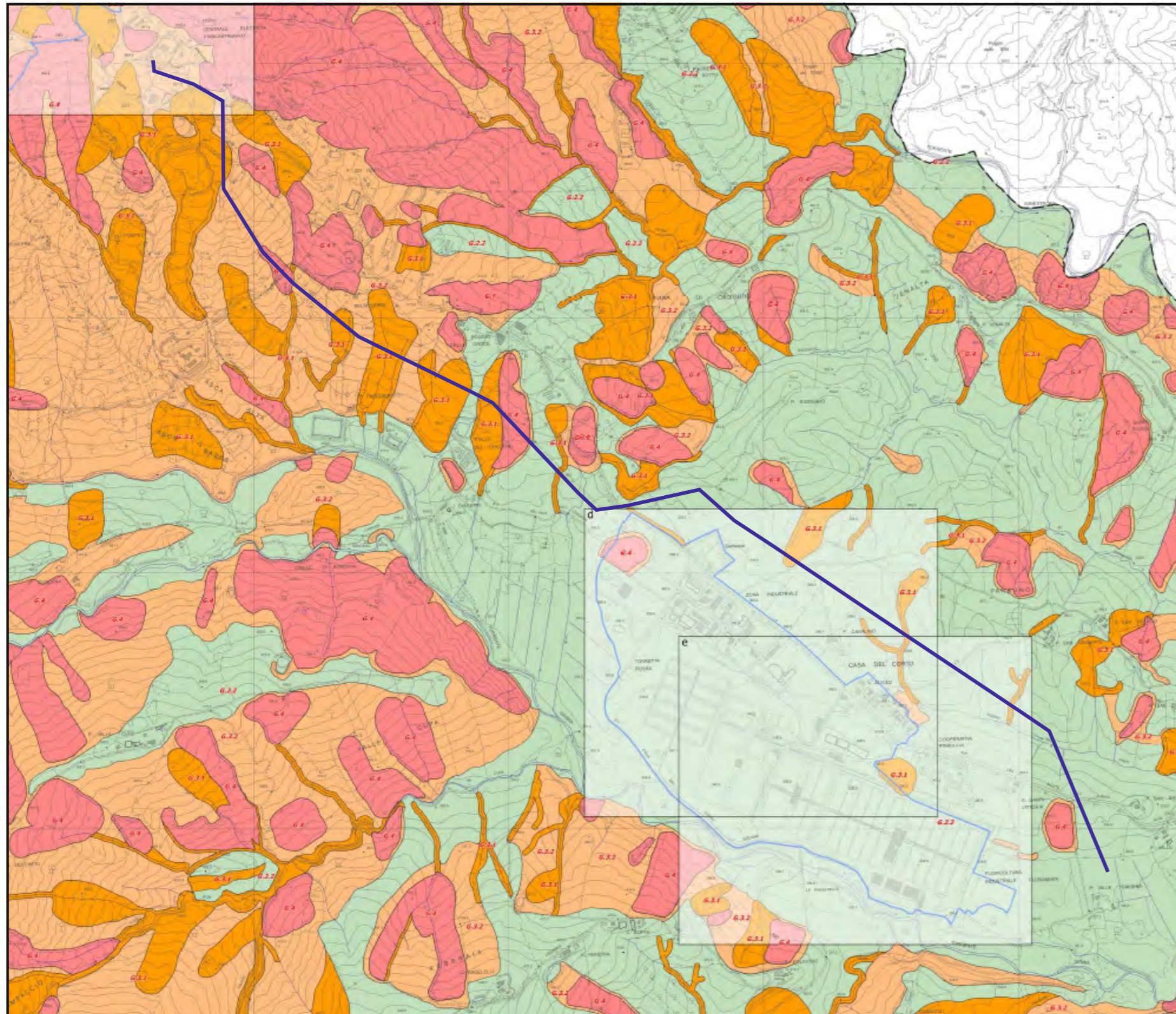
-  Sito di Produzione
-  Sito di Reiniezione

Figura 2

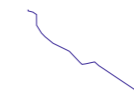


**CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA**  
**Stralcio da P.S.**  
(integrata con le osservazioni del G.C. di Siena)  
Scala 1:20.000

## LEGENDA

### PERICOLOSITA' GEOLOGICA

- Pericolosità geologica Media (G.2)
- (G.2.1) aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi/stabilizzati (naturalmente/artificialmente)
- (G.2.2) aree con elementi geomorfologici, litologici, giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%
- Pericolosità geologica Elevata (G.3):
- (G.3.1) aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza
- (G.3.2) aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25%
- (G.3.3) aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche o per i quali possono essere ipotizzati cedimenti differenziali
- (G.3.4) aree in degrado per processi di carattere antropico (siti estrattivi e miniere abbandonate)
- Pericolosità geologica Molto Elevata (G.4)
- aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza, aree interessate da soliflussi



Tracciato elettrodotto MT

Figura 3

# CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

## Stralcio da P.S.

(integrata con le osservazioni del G.C. di Siena)

Scala 1:10.000

## LEGENDA

### PERICOLOSITA' IDRAULICA

#### PERICOLOSITA' IDRAULICA MEDIA (I.2).

Aree di fondovalle per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

- non vi sono notizie storiche di inondazioni;
- sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o in mancanza, al ciglio di sponda.

#### PERICOLOSITA' IDRAULICA ELEVATA (I.3).

Aree di fondovalle per le quali ricorre almeno una delle seguenti condizioni:

- I.3.1) vi sono notizie storiche di inondazioni;
- I.3.2) sono morfologicamente in condizione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o in mancanza, sopra il ciglio di sponda.
- I.3.3) Tratti intubati o tombati in cui dovranno essere effettuati specifici studi idraulici in caso di previsione di trasformazioni.

#### PERICOLOSITA' IDRAULICA MOLTO ELEVATA (I.4).

Aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrono contestualmente le seguenti condizioni:

- vi sono notizie storiche di inondazioni;
- sono morfologicamente in situazione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

--- Tratto del reticolo idrografico intubato o tombato

— Canale scolmatore in fase di realizzazione

### PERICOLOSITA' IDRAULICA AI SENSI DEL P.A.I. TEVERE

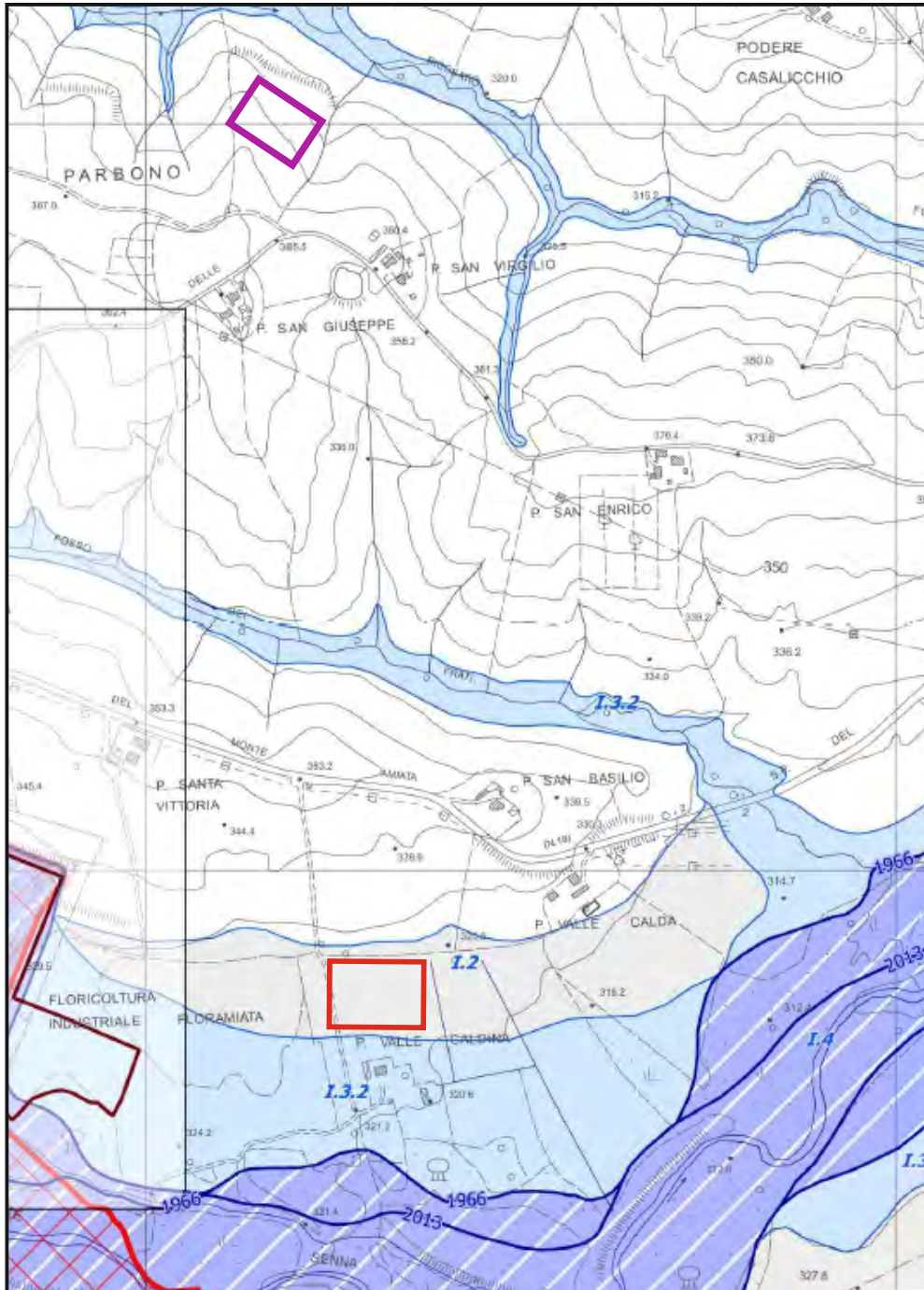
— Fascia Fluviale A- Fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno di 50 anni.

— Area a rischio idraulico R4

— Sezioni idrauliche rilevate e relativo codice identificativo

— Sito di Produzione

— Sito di Reiniezione



- **Fig. 3: Carta della pericolosità idraulica (stralcio da P.S. Comunale) integrata con le osservazioni dell'ufficio del Genio Civile di Siena in scala 1:10.000 - Siti di produzione e reiniezione;**
- **Fig. 4: Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche effettuate (scala 1:2.500);**
- **Fig. 4.1: Planimetria con limiti dell'area in frana attiva nel sito di reiniezione (scala 1:2.500);**
- **Fig. 4.2: Sezione litostratigrafica del versante;**
- **Fig. 5: Carta delle frane attive e quiescenti presenti sul tracciato dell'elettrodotto.**

Si riportano in appendice:

1. **indagine geofisica** svolta in corrispondenza dell'impianto di reiniezione;
2. grafici e documentazione fotografica delle **prove penetrometriche** eseguite in corrispondenza dell'impianto di reiniezione;
3. **verifica di stabilità del versante.**

## **2. ASPETTI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA**

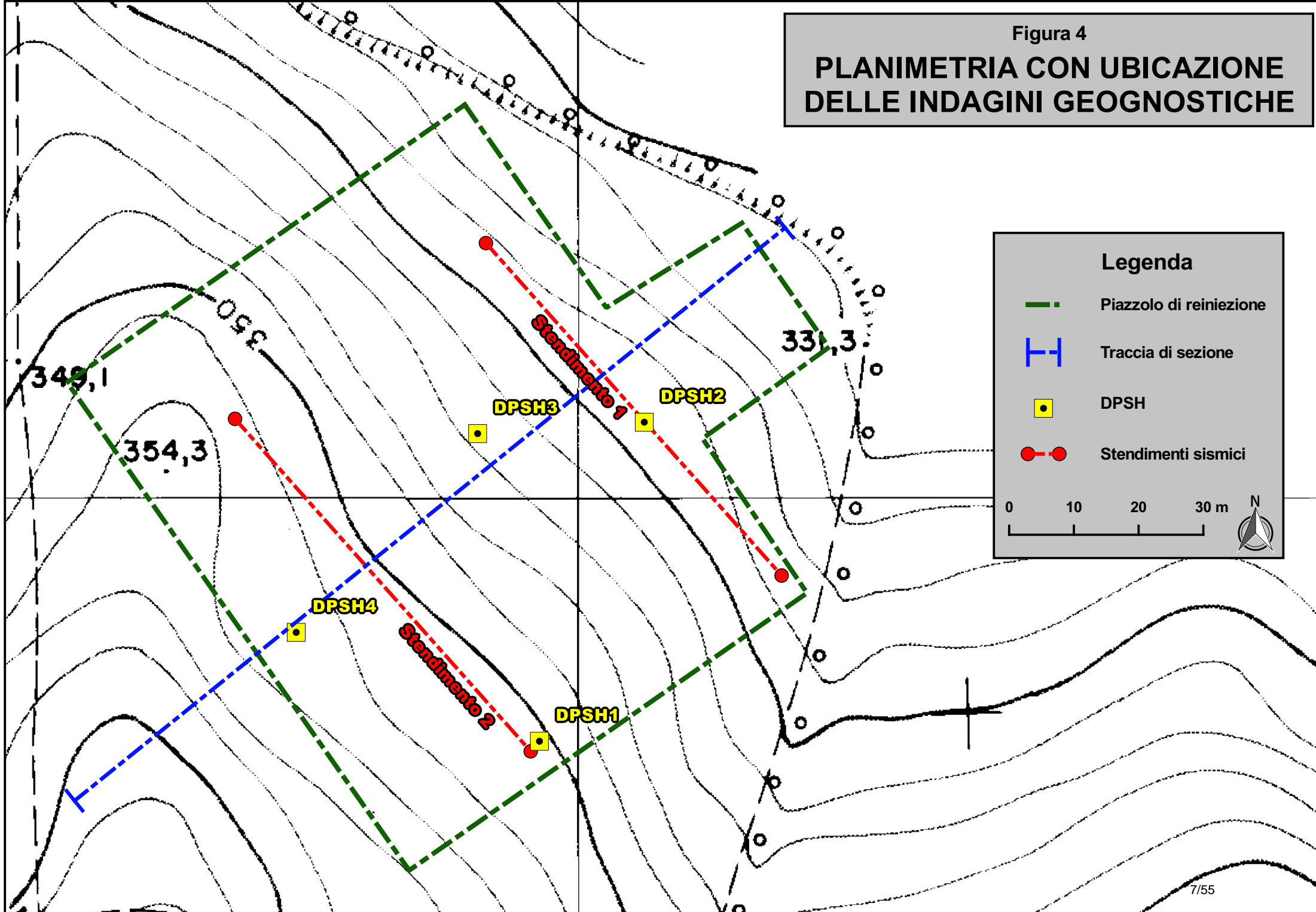
Gli approfondimenti di indagine riguardano due diverse aree di progetto: la prima si riferisce all'impianto di reiniezione, in località Podere San Giuseppe, la seconda all'elettrodotto MT che collegherà, per una lunghezza di circa 5,3 km, l'impianto di produzione alla cabina primaria.

### **2.1 IMPIANTO DI REINIEZIONE**



In quest'area la **Carta geomorfologica** e la **Carta della Pericolosità geologica** del R.U. comunale integrate con le osservazioni del Genio Civile di Siena **hanno messo in evidenza la presenza di una zona in frana attiva** (Pericolosità geologica molto elevata, G.4) sul versante destinato ad ospitare l'impianto di reiniezione. Per approfondire le conoscenze su quest'area, sono state realizzate all'interno della zona destinata ad ospitare l'impianto quattro prove penetrometriche DPSH, due

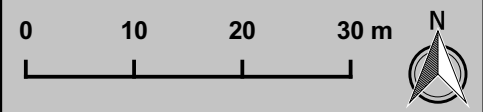
Figura 4

# PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE



## Legenda

-  Piazzolo di reiniezione
-  Traccia di sezione
-  DPSH
-  Stendimenti sismici





indagini sismiche a rifrazione ed una indagine MASW, tutte ubicate nella **Planimetria** in **Fig. 4** della presente relazione.

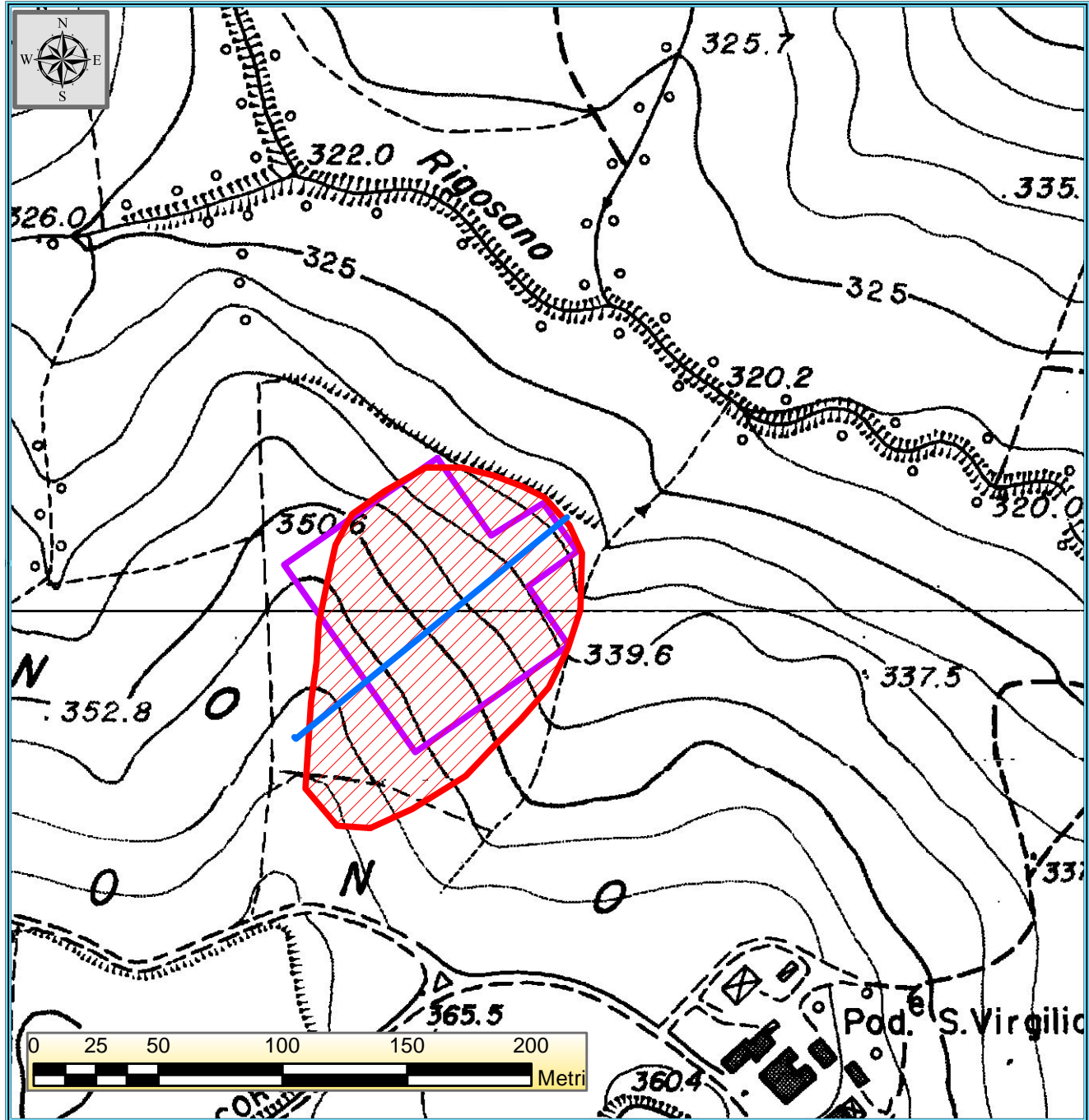
Tali indagini, nel loro complesso, hanno evidenziato **su tutta l'area destinata ad ospitare il sito di reiniezione la presenza di uno strato superficiale dello spessore di circa 5,50 metri la cui resistenza alla penetrazione è praticamente nulla** (cfr. grafici e tabulati DPSH in appendice): si tratta di un **terreno limoso di scadenti caratteristiche geotecniche** soggetto a **movimenti lenti** causati dalla saturazione in acqua che ne riduce drasticamente la resistenza al taglio. Superficialmente non sono evidenti forme geomorfologiche legate a tale condizione in quanto le lavorazioni agricole alle quali il versante è periodicamente sottoposto ne obliterano la presenza (cfr. **Planimetria, Fig. 4.1**).

Al di sotto dello strato superficiale è presente il **substrato argilloso** non soggetto a movimenti, dotato di caratteristiche geotecniche discrete.

Lo spessore dello strato superficiale varia tra 3.5 m e 5.5 m e la geometria di tale strato e di quello sottostante è ben rappresentata dai grafici delle prove penetrometriche e dalla **Sezione litostratigrafica, Fig. 4.2**.

La presenza del terreno di scadenti caratteristiche geotecniche imporrà una rivisitazione del progetto della postazione di reiniezione prevedendo la messa in opera di strutture e accorgimenti adeguati alle mutate caratteristiche geotecniche dei terreni presenti. In particolare si consiglia di:




- sostituire la terra armata prevista a monte della postazione **con un muro di sostegno in cemento armato** fondato sul substrato in posto, sbancando completamente il terreno di scadenti caratteristiche geotecniche;
- sostituire la terra armata prevista a valle della postazione **con un muro di contenimento in cemento armato** dotato da una **fondazione profonda** rappresentata da pali di grosso diametro affiancati (paratia) realizzati in opera e appoggiati ad una **profondità minima di 8 metri** dall'attuale piano di campagna e comunque ad una profondità tale da essere in grado di contra-



**Figura 4.1**  
**PLANIMETRIA CON LIMITI**  
**DELL'AREA IN FRANA ATTIVA**




Scala 1:2.500

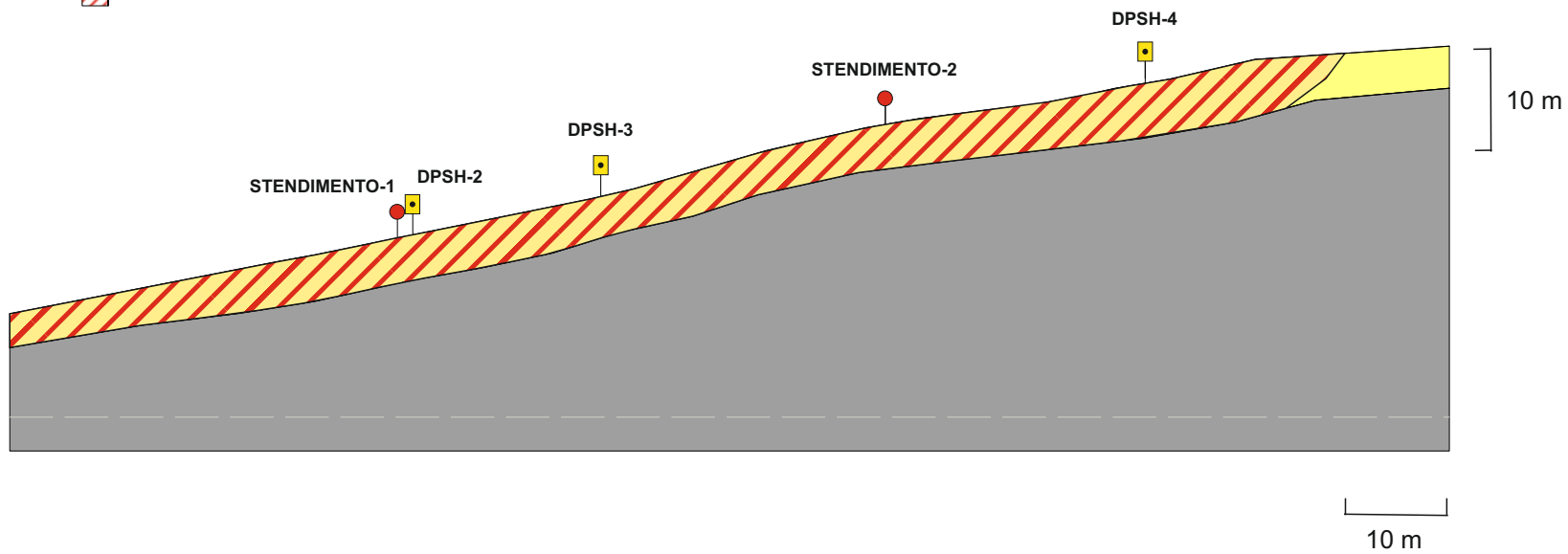
**Legenda**

-  Area in frana
-  Sito di Reiniezione
-  Traccia di sezione

# SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA

Fig. 4.2

-  Limi
-  Argille grigie
-  Terreni mobilizzati



stare la spinta del terreno alle proprie spalle; eventualmente il muro dovrà essere dotato di adeguate **tirantature** in testa, ben ammorsate nel substrato, per evitare il ribaltamento della struttura;

- **drenare con accuratezza le opere di cui ai punti precedenti**, in modo tale da mantenere asciutto il terreno fino almeno alla base delle strutture murarie.

Quanto sopra permetterà da un lato di migliorare le caratteristiche di resistenza al taglio della coltre superficiale, dall'altro di fornire adeguate fondazioni alle strutture di sostegno, senza la necessità di operare gli sbancamenti per la messa in opera delle terre rinforzate originariamente previste.

Attraverso correlazioni tra il numero di colpi delle DPSH ed il numero di colpi dello Standard Penetration Test (SPT) è stata tratteggiata la **caratterizzazione geotecnica** sia dello strato superficiale che del substrato argilloso; tale caratterizzazione è stata utilizzata in questa sede per la verifica di stabilità del pendio.

La **stabilità del versante** è stata rivista alla luce delle indagini supplementari svolte e inserendo le strutture di sostegno e contenimento sopra descritte; la realizzazione delle strutture indicate, in condizioni drenate, permette al versante di mantenere delle condizioni di stabilità, in assenza della falda, superiori all'equilibrio: **il valore del coefficiente di sicurezza del cerchio critico risulta infatti pari a 1,76.**

Si riportano in **appendice** sezione e tabulati della verifica svolta.

Per quanto riguarda il **tipo di suolo** presente nell'area di intervento, l'indagine geofisica ne ha confermato l'inserimento in **classe C** già determinato nella indagine precedente. Anche in questo caso si riporta in **appendice** la relazione geofisica completa.

## 2.2 ELETTRODOTTO

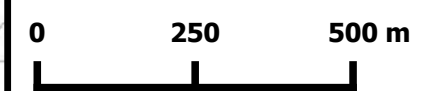
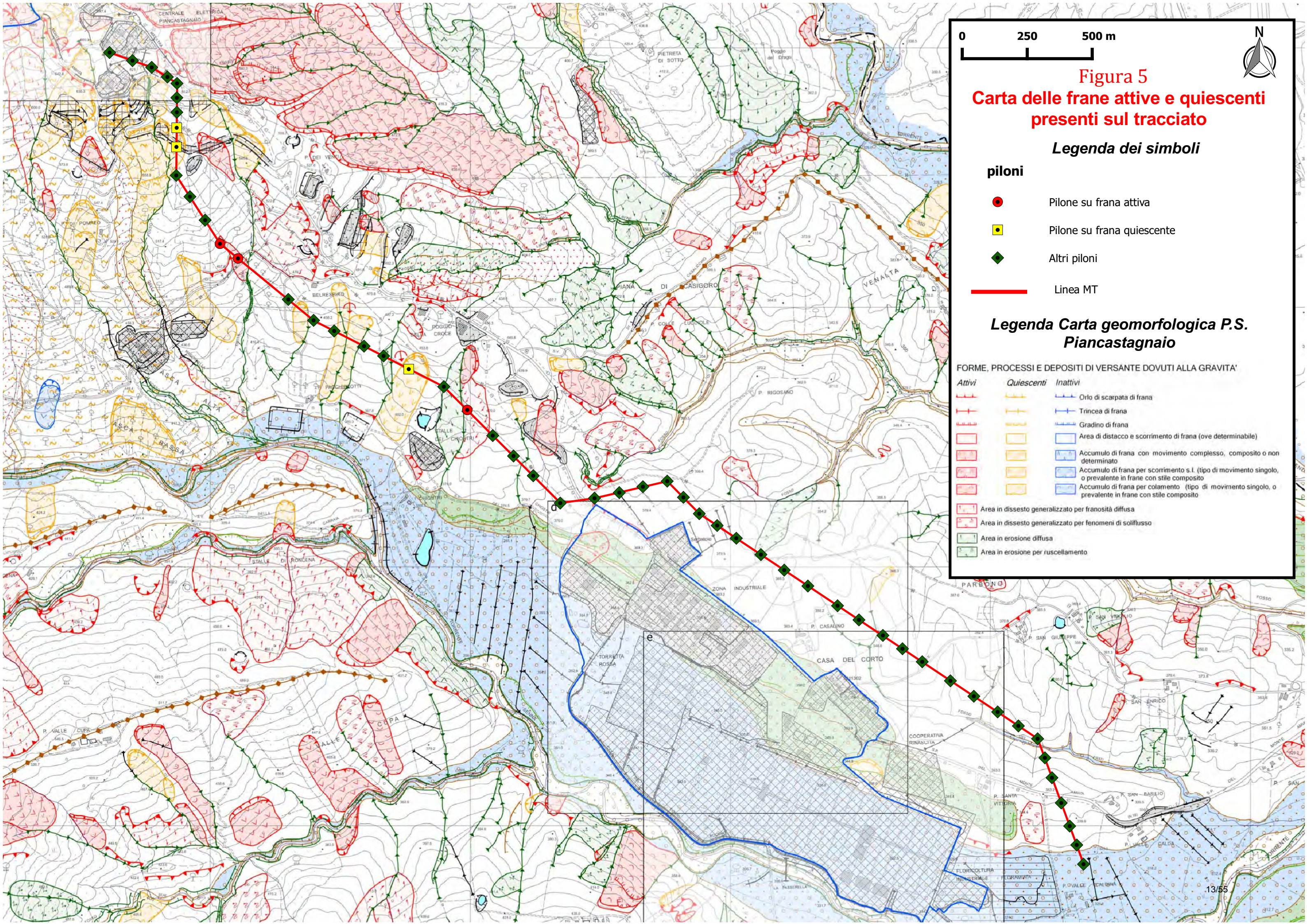
Nel tratto interessato dal percorso dell'elettrodotto la Carta della Pericolosità geologica integrata a seguito delle osservazioni del Genio Civile di Siena non differisce sostanzialmente da quella precedentemente adottata dal Comune; permangono sul versante diverse zone classificate in **Pericolosità geologica 3 (Pericolosità elevata)** e due zone classificate in **Pericolosità geologica 4 (Pericolosità molto elevata)** per la presenza di frane attive.

La classificazione in **Pericolosità geologica elevata** deriva sia dalla presenza di **frane quiescenti** (scorrimenti, scivolamenti, frane complesse), sia dalla presenza di aree sottoposte a **erosione diffusa per dilavamento o ruscellamento delle acque superficiali**: in questi casi la carta della Pericolosità geologica classifica questo tipo di rischio con la sigla 3.1. Stessa classificazione di Pericolosità elevata è riservata alle **aree con potenziale instabilità** connessa alla giacitura, alla acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee ed ai corpi detritici su versanti con pendenza superiore al 25%: tali aree vengono distinte delimitate e contrassegnate dalla sigla 3.2.

Considerate le dinamiche evolutive dei dissesti in atto o potenziali, si è ritenuto non necessario un approfondimento per le aree sottoposte ad erosione e per le aree con instabilità potenziale, concentrandoci solo sulle aree su cui insistono frane quiescenti e frane attive.

Nella allegata **Carta delle frane attive e quiescenti presenti sul tracciato** sono evidenziati i piloni di sostegno dell'elettrodotto che ricadranno in aree che presentano frane quiescenti (tre piloni) e quelli che ricadranno in area di frana attiva (altri tre piloni).





Queste aree sono state oggetto di nuovi e più attenti sopralluoghi e rilievi geomorfologici che hanno confermato nella sostanza le indicazioni precedentemente fornite; in particolare le aree considerate in **frana quiescente** ad oggi non mostrano segnali di evoluzione in atto, per cui si ribadisce la



**Figura 5**  
**Carta delle frane attive e quiescenti presenti sul tracciato**



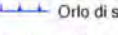


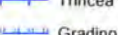













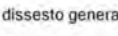
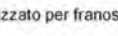

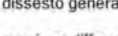
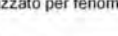
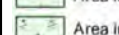
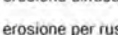

***Legenda dei simboli***

**piloni**

-  Piloni su frana attiva
-  Piloni su frana quiescente
-  Altri piloni
-  Linea MT

***Legenda Carta geomorfologica P.S. Piancastagnaio***

**FORME, PROCESSI E DEPOSITI DI VERSANTE DOVUTI ALLA GRAVITA'**

Attivi	Quiescenti	Inattivi
		
		
		
		
		
		
		
		
		

-  Area in dissesto generalizzato per franosità diffusa
-  Area in dissesto generalizzato per fenomeni di soliflusso
-  Area in erosione diffusa
-  Area in erosione per ruscellamento

possibilità di affidare i carichi fondali dei piloni ricadenti all'interno di queste zone a profondità di circa 1 metro dal piano di campagna, in modo da superare la porzione più degradata della coltre di alterazione.

Per quanto riguarda i tre piloni ricadenti nelle due aree in **frana attiva** (ubicata in località Belrespiro e Stalle dei Chiostri), si ribadisce la necessità, discendente dall'indagine effettuata nel novembre 2015, di appoggiare i pali di sostegno dell'elettrodotto su **plinti in cemento armato fondati ad una profondità di circa 4 metri dal piano di campagna**.

### **3. ASPETTI DI PERICOLOSITA' IDRAULICA**

Gli approfondimenti di indagine riguardano l'area a valle del impianto di Produzione, in località Valle Caldina, lungo l'asta fluviale del Torrente Senna. Gli Uffici del Genio Civile chiedevano di riesaminare le delimitazioni della Pericolosità Idraulica con criteri geomorfologici e storico-inventariali, considerando gli allagamenti degli ultimi eventi alluvionali: la Carta della Pericolosità Idraulica del Piano Strutturale redatta a seguito delle osservazioni del Genio Civile ha tenuto conto proprio dei criteri richiesti e sopra elencati, compresi i limiti delle inondazioni storiche (1966 e 2013).

Dalla comparazione della Carta della Pericolosità Idraulica pre e post-osservazioni del Genio Civile, si nota una **ridefinizione** della linea di separazione tra le aree in Classe I.3.2 (poste in condizioni morfologicamente sfavorevoli, ma senza notizie storiche di esondazioni) e le aree in Classe I.2 (poste in condizioni di alto morfologico e senza notizie storiche di esondazioni) in un zona immediatamente ad Ovest dell'area destinata all'impianto: tale ridefinizione **non cambia comunque la pericolosità del sito di produzione che rimane in Classe I.2 (Pericolosità Idraulica media)**.

## 4. CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono stati riesaminati **gli elementi riferiti alla pericolosità geologica e idraulica** relativi alla realizzazione dell'impianto di produzione geotermica del Progetto di Ricerca "CASA DEL CORTO".

Per quanto riguarda la **Pericolosità geologica** si è appurato che **nell'area destinata all'impianto di reiniezione è presente un terreno di scadenti caratteristiche geotecniche fino a una profondità di circa 5.50 m soggetto a movimenti lenti (Classe di Pericolosità geologica molto elevata)**; questa condizione impone l'adozione di strutture e accorgimenti adeguati alle mutate caratteristiche geotecniche evidenziate nella presente indagine, consistenti nella realizzazione di muri in cemento armato, fondazioni profonde e opere che possano impedire l'imbibizione del terreno.

Nel tratto interessato dal passaggio dell'**elettrodotto** l'integrazione di indagine **non ha messo in evidenza elementi nuovi rispetto a quanto già appurato nell'indagine precedente**; pertanto si ribadisce la possibilità di affidare i carichi fondali dei piloni ricadenti all'interno di zone in frana quiescente a profondità di circa 1 metro dal piano di campagna, e per quanto riguarda i tre piloni ricadenti nelle due aree in frana attiva, la necessità di appoggiare i pali di sostegno su plinti in cemento armato fondati ad una profondità di circa 4 metri dal piano di campagna.

Per quanto riguarda la **Pericolosità idraulica** è stata esaminata la nuova carta della Pericolosità del Piano Strutturale, redatta a seguito delle osservazioni del Genio Civile, che ha ridefinito i limiti delle diverse aree a rischio tenendo conto sia dei criteri geomorfologici, sia dei criteri storico-inventariali, compresi i limiti delle inondazioni storiche del 1966 e del 2013.

Dalla comparazione della Carta della Pericolosità Idraulica pre e post-osservazioni del Genio Civile, si nota una **ridefinizione** della linea di separazione tra le aree in Classe I.3.2 e le aree in Classe I.2 in un zona immediatamente ad Ovest dell'area destinata all'impianto di produzione: tale ridefinizione



**non cambia comunque la pericolosità del sito di produzione che rimane in Classe I.2 (Pericolosità Idraulica media).**

**Il Geologo**

ARCIDOSSO, 12 ottobre 2016



The image shows a handwritten signature in black ink, which appears to read "Daniele Ricci". The signature is written over a circular professional stamp. The stamp contains the text "ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA" around the perimeter and "ARCIDOSSO" in the center.

## **APPENDICE**

- 1. Indagine geofisica**
- 2. Grafici e documentazione fotografica delle prove penetrometriche**
- 3. Verifica di stabilità del versante**

# RELAZIONE GEOFISICA

## 1 PREMESSA

La presente indagine geofisica è stata eseguita circa 1.2 km a E del centro abitato di Casa del Corto nel comune di Piancastagnaio. La latitudine e longitudine del centro dell'area di indagine sono rispettivamente 42.8245 e 11.7422 (WGS84). In tale sito sono state effettuate due stendimenti sismici a rifrazione in onde P attraverso la quali si è cercato di definire le geometrie sepolte e la  $V_P$  e una indagine sismica in tecnica MASW al fine di verificare la bontà del parametro  $V_{S30}$  già definito in una precedente indagine del novembre 2015.

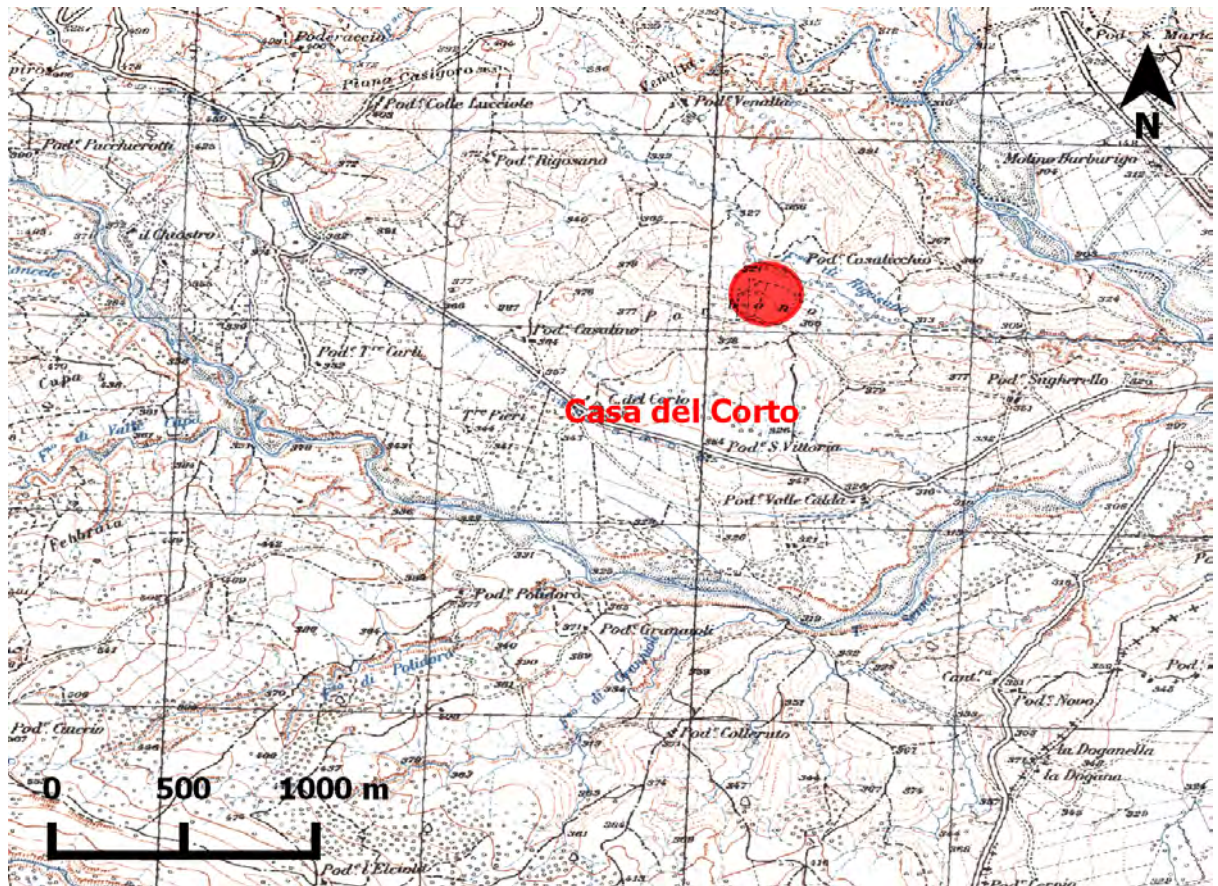
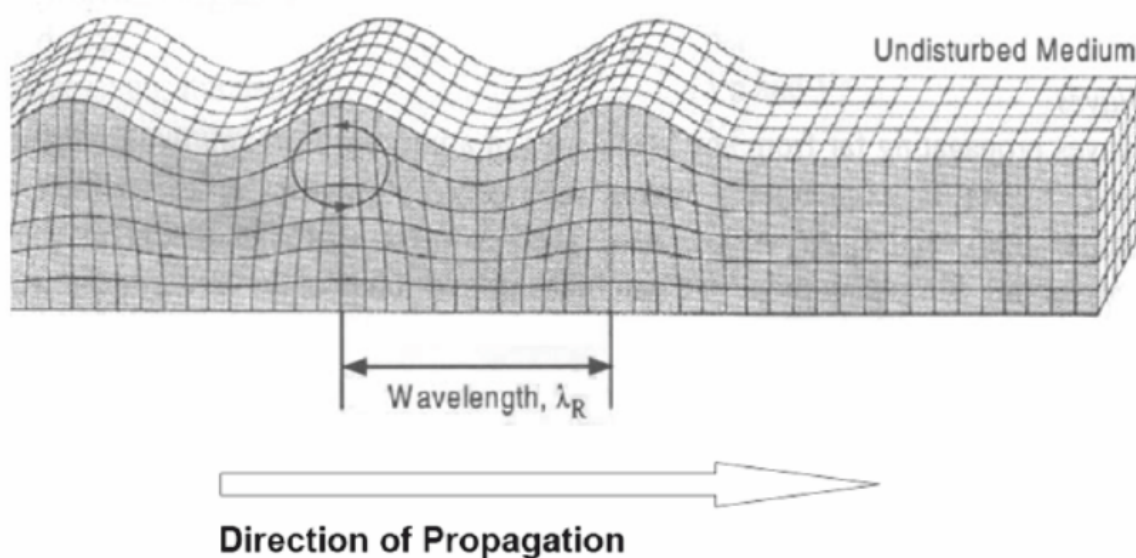


Fig. 1: Inquadramento generale dell'area

## 2 CENNI TEORICI SUI METODI UTILIZZATI

### 2.1 Multichannel Analysis of Surface Waves

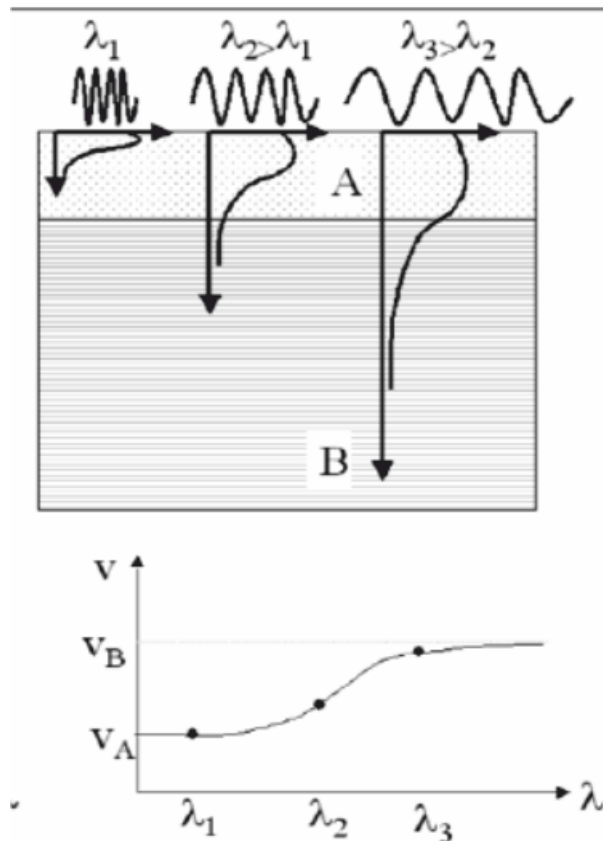


**Fig. 2:** Cinematica onda di Rayleigh

La tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è un metodo d'indagine geofisica, sviluppato e diffuso nella seconda metà degli anni '90 e prevede, come le più comuni tecniche sismiche di indagine del sottosuolo (rifrazione P e S), l'energizzazione del terreno e la successiva registrazione delle onde generate con un array lineare di geofoni. La particolarità di questa indagine è che utilizza le onde superficiali, in particolare quelle di Rayleigh, per definire il profilo della  $V_s$  nel sottosuolo. Le onde di Rayleigh sono generate dall'interazione tra le onde di compressione (P), le onde di taglio che si propagano in direzione verticale (SV) e la superficie libera. Le onde di Rayleigh hanno un moto ellittico retrogrado (Fig.2) ed hanno velocità di poco inferiore a quelle delle onde S infatti in mezzi omogenei ed elasticamente lineari:

$$V_R = 0.91 \cdot V_s$$

La caratteristica fondamentale delle onde di Rayleigh è che, in terreni disomogenei, sono soggette al fenomeno della dispersione ovvero la loro velocità di propagazione varia con la frequenza di oscillazione. Sapendo inoltre che le frequenze di oscillazione più basse

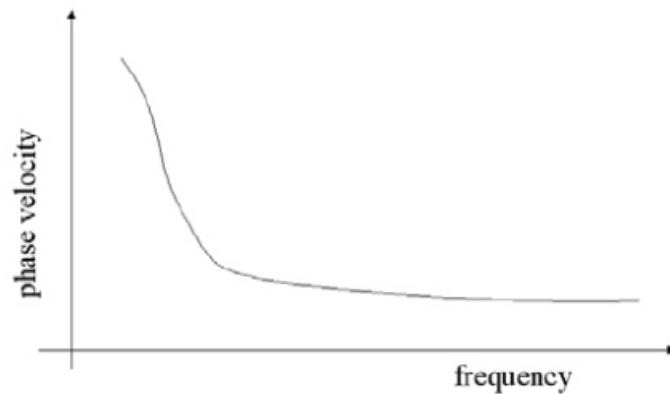


**Fig. 3:** Rapporto fra lunghezza d'onda e profondità investigata

esplorano porzioni più profonde di terreno (Fig 3) si può, tramite un opportuno formalismo matematico, “trasformare” la curva di dispersione estrapolata dai sismogrammi misurati, in un profilo di  $V_s$  attendibile. Questo rende la tecnica MASW uno strumento d'indagine molto potente per definire il profilo delle  $V_s$  e quindi la  $V_{s30}$ .

I vantaggi di questa tecnica sono la possibilità di individuare le inversioni di velocità, la maggiore sensibilità alle proprietà meccaniche dei terreni, il più alto rapporto tra profondità raggiunta e la lunghezza dello stendimento e l'applicabilità in contesti con alto rumore ambientale ed antropico. Gli svantaggi sono invece la mono-dimensionalità del risultato e la presenza di alcune assunzioni che ne restringono il campo di applicazione. Infatti la metodologia sarebbe applicabile solo in situazioni geologiche con geometrie piano-parallele; in realtà piccole inclinazioni sono tollerate, in quanto gli errori indotti ricadono all'interno dell'errore strumentale ed interpretativo. Un altro fenomeno a cui si deve prestare molta attenzione sono i modi di vibrazione superiore, ovvero la curva di dispersione può essere scomposta in un modo di vibrazione fondamentale e modi di

vibrazione superiori, i quali sono generati da onde back-scattered, onde riflesse e onde rifratte, molto influenzate dalla situazione geologica. Considerare oltre al modo di vibrazione fondamentale anche quelli superiori porta ad un forte miglioramento dei profili ottenuti, la difficoltà però spesso sta nell'individuare e distinguere i modi di vibrazione.



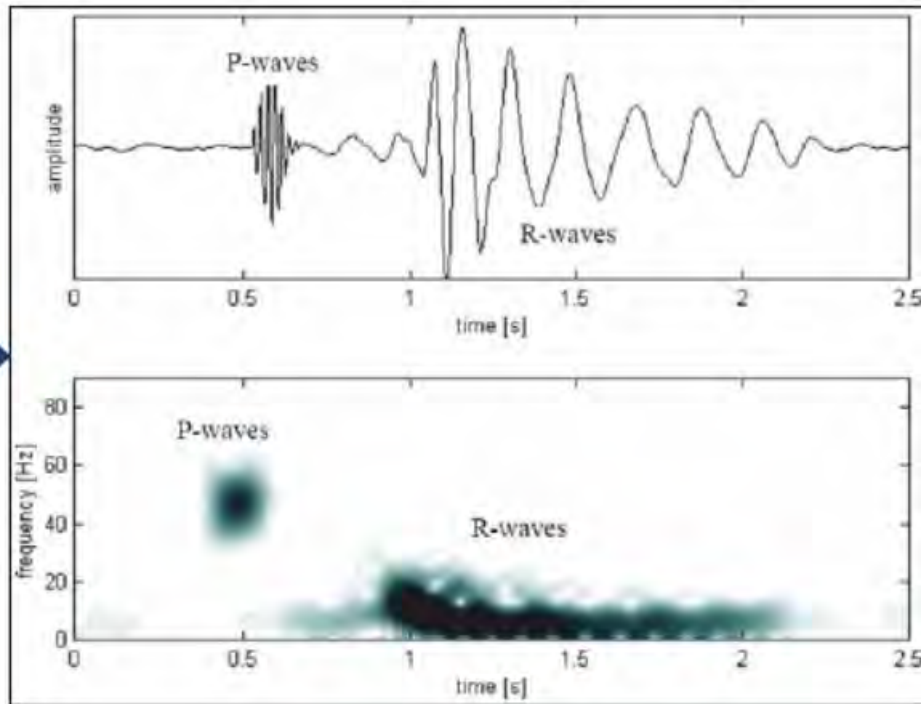
**Fig. 4:** esempio di curva di dispersione

L'obiettivo dell'elaborazione di un segnale acquisito con la tecnica MASW è essenzialmente quello di ricavare la curva di dispersione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh. Il grafico frequenza-velocità di fase si ottiene, partendo dal sismogramma di campagna, attraverso l'applicazione di una doppia trasformata di Fourier alle tracce acquisite, prima nel dominio del tempo (tempo di campionamento-frequenza( $f$ )) e quindi in quello dello spazio (spaziatura dei geofoni-numero d'onda( $k$ )). Si ottiene così un diagramma, detto spettro  $f$ - $k$ , nel quale è evidenziato il modo in cui si distribuisce la densità di energia associata al segnale. Poiché già a una piccola distanza dalla sorgente superficiale il contributo delle onde di volume all'energia totale diventa trascurabile, lo spettro  $f$ - $k$  consente di far emergere la curva di dispersione delle onde di superficie (fig.4). Essendo il numero d'onda  $k$  legato alla velocità di fase dalla relazione:

$$v_{\Phi} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{k}$$

si può facilmente passare dallo spettro  $f$ - $k$  al dominio  $f$ - $v$ .

Nel caso di un terreno stratificato ricavare il profilo  $V_s$  dalla curva di dispersione è un problema fortemente non lineare, che non permette l'uso dei metodi classici d'inversione e deve essere quindi affrontato con i così detti metodi Montecarlo. Quest'ultimi in linea



**Fig. 5:** schema di un sismogramma con relativo spettro f-k

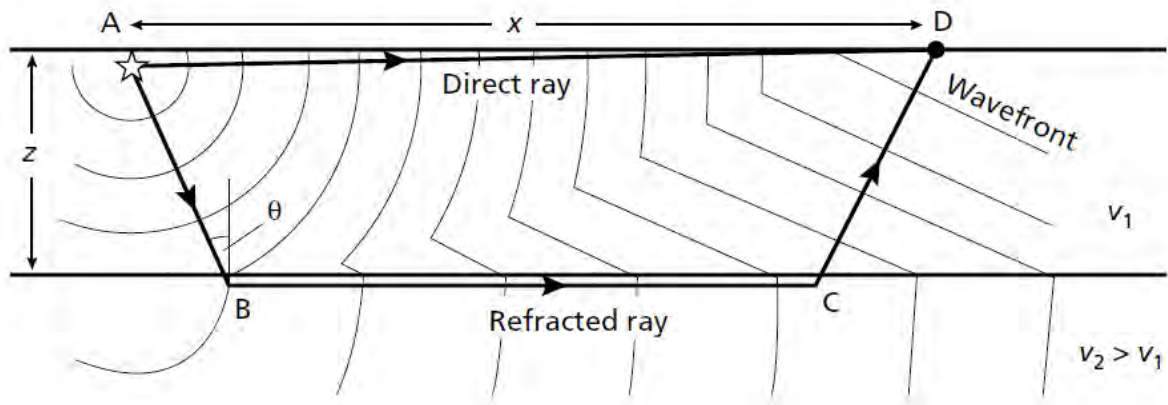
generale prevedono la selezione di un profilo  $V_s$  iniziale da cui, risolvendo il problema diretto, viene ricavata la curva di dispersione che viene poi confrontata con la curva misurata. A questo punto si modifica leggermente il modello iniziale e si prosegue con questo schema fino a trovare la curva di dispersione che meglio interpola la curva misurata.

## 2.2 Sismica a rifrazione in onde P

La prospezione sismica a rifrazione è un metodo geofisico che prevede la registrazione, lungo uno stendimento di geofoni, della forma d'onda generata da una sorgente impulsiva (maglio, fucile sismico ecc.). Dalla forma d'onda registrata si definisce i primi arrivi ai vari geofoni disposti con una geometria nota e utilizzando le leggi di Huygens e Snell, si ricava gli andamenti dei rifrattori e le velocità della porzione di terreno sottostante lo stendimento (fig.6). Il metodo della rifrazione è affidabile e collaudato essendo uno dei metodi più utilizzati nella geofisica applicata all'ingegneria.

I risultati di questo metodo vanno comunque analizzati ed utilizzati con molta attenzione in quanto presenta le seguenti limitazioni:

- è possibile individuare un orizzonte solo se esso ha una velocità delle onde P mag-



**Fig. 6:** schema della propagazione di un'onda diretta e di un'onda rifratta

giore di quello sovrastante ovvero non si possono individuare le cosiddette inversioni di velocità;

- come in molte altre metodologie geofisiche esiste un trade-off tra velocità e spessore dello strato, ovvero si può avere più modelli validi variando queste due incognite in maniera proporzionale;
- la profondità massima di investigazione è circa un quarto della lunghezza dello stendimento
- non è sempre possibile individuare spessori piccoli rispetto all'asse intergeofonico.

Si consiglia quindi di tener ben presente questi quattro punti durante l'interpretazione delle sezioni derivanti dalla sismica a rifrazione.

### 3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

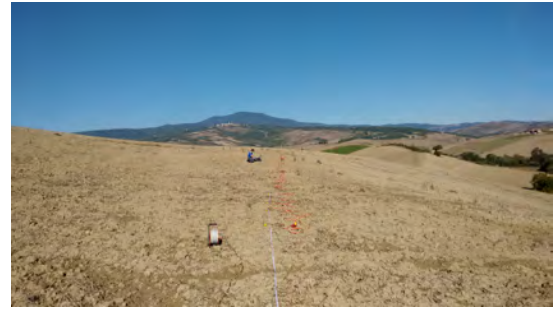
Il sistema usato per l'acquisizione è quello prodotto dalla SARA Electronic Instruments s.r.l ed è composto da:

- un sismografo a 12 canali
- 12 geofoni
- 1 geofono starter
- 1 unità di testa





(a) Stendimento 1



(b) stendimento 2

**Fig. 7:** Documentazione fotografica

I geofoni hanno la sola componente verticale con una frequenza naturale di 4.5 hz e una sensibilità di 28 V/m/s .Il sismografo è costituito da 12 unità poste lungo il cavo sismico a distanze regolare; questa unità sono essenzialmente dei convertitori analogico-digitali a 16 bit, con filtro passa basso con 200 hz di frequenza di taglio e un filtro passa alto con frequenza di taglio posta a 2 hz. Il trigger, ovvero lo start della registrazione, viene dato attraverso il geofono starter. L'unità di testa, infine, è un'interfaccia tra i vari digitalizzatori posti lungo il cavo e il computer. L'energizzazione del terreno è stata eseguita con un colpo di maglio da 6 kg su una piastra battente in PVC.

## 4 RISULTATI CONSEGUITI

In questa sezione verranno descritte esaustivamente le metodologie utilizzate per l'acquisizione, il processing e l'inversione dei sismogrammi.

### 4.1 Acquisizione MASW

Nell'area di indagine è stata eseguita una prova sismica in tecnica MASW il giorno 03/10/2016 disponendo 12 geofoni con un interasse di 2m. Per diminuire gli effetti dell'aliasing spaziale si è deciso di utilizzare la tecnica dell'interlacciamento, che prevede l'energizzazione del terreno attraverso due diversi shot, posti ad una distanza tra loro pari alla metà dell'interasse tra i geofoni. Tramite questa tecnica è possibile simulare uno stendimento di 24 geofoni con interasse di 1 m. Sempre in fase di acquisizione, per incrementare il rapporto segnale rumore, si è deciso di energizzare più volte nella stessa

posizione e sommare i sismogrammi registrati in modo tale da attenuare il rumore non coerente. Le energizzazioni sono state eseguite su entrambi i lati dello stendimento ad una distanza di 4 m dai geofoni esterni.

## 4.2 Acquisizione Rifrazione

L'acquisizione è stata eseguita il giorno 03/10/2016 su uno stendimento di 44 m con interasse geofonico pari a 2 m e con 9 punti sorgente. In fase di pianificazione si è deciso di utilizzare la tecnica della traslazione dello stendimento la quale prevede di:

1. Disporre tutti i geofoni sulla prima metà dello stendimento ;
2. Energizzare in tutti i punti sorgente previsti in fase di pianificazione della misura;
3. Traslare la catena geofonica in maniera tale che il canale 1 coincida con il canale 12;
4. Energizzare nuovamente in tutti i punti sorgente.

Con questo metodo è possibile eseguire stendimenti lunghi, con interasse breve nonostante il numero limitato di canali. La durata della singola registrazione è stata di 0.25 s e la frequenza di campionamento di 5000 hz; al fine di definire in maniera precisa il primo arrivo su ogni traccia si è eseguito lo stacking (somma) di più energizzazioni su ogni punto sorgente. Le molteplici tracce registrate sono state poi arrangiate in maniera tale da ottenere 9 sismogrammi, corrispondenti ai 9 punti sorgente, ognuno di 23 canali. Nell'allegato 1 e 2 è possibile trovare l'ubicazione e la geometria dettagliata degli stendimenti utilizzati.

## 4.3 Processing MASW

In questa sezione verrà brevemente descritta la sequenza di processing applicata al sismogramma registrato per la MASW; il software usato per il processing è GEOPSY (GEO-Physical Signal processing). Per questo sismogramma la sequenza utilizzata è composta da due passi:

- Normalizzazione dell'energia delle tracce secondo l'inverso del quadrato della distanza

- Normalizzazione dell'energia dell'onda

il primo step serve per dare più valore alle tracce registrate ad una distanza maggiore rispetto al punto di energizzazione, affinché esse non vengano coperte del tutto dal segnale relativo alle tracce prossime al punto di battuta. Inoltre le tracce più lontane sono quelle che, in linea di massima, ci restituiscono i segnali più affidabili, in quanto quasi sicuramente soddisfano l'assunzione di fronte d'onda piano necessaria per la definizione di una curva di dispersione corretta. Il secondo passaggio normalizza lo spettro frequenza/velocità con il massimo dell'energia dello stesso, questo serve ad avere una visualizzazione nitida della curva di dispersione. Il passo finale del processing è quello di fare il picking della curva di dispersione che poi sarà esportata nel programma Dinver per poter essere invertita.

#### 4.4 Processing ed inversione della sismica a rifrazione

L'elaborazione della sismica a rifrazione prevede il primo fondamentale passaggio del picking dei primi arrivi, in cui si cerca di definire i tempi di primo arrivo dell'onda rifratta per ogni traccia misurata. Si costruisce così una dromocrona (curva che mostra la variazione dei tempi di arrivo in base alla distanza dalla sorgente) per ogni energizzazione. I metodi utilizzati per ottenere la sezione di velocità delle onde P partendo dalle dromocrone e dalla geometria dello stendimento utilizzati in questo studio sono due:

- **GRM (Generalized Reciprocal Method):** teorizzato da Palmer nel 1980, permette di individuare in maniera precisa l'interfaccia tra una coltre superficiale più lenta e un substrato veloce. Il passaggio più delicato di questo metodo è la ricostruzione della dromocrona relativa ad ogni strato, seguendola, se possibile, da un estremo all'altro dello stendimento, assemblando quindi insieme tratti di dromocrone relative a sorgenti differenti ma i cui segnali provengono dallo stesso rifrattore. Ciò andrà fatto sia per il tiro diretto che per quello coniugato. Il processing e l'inversione dei dati è stata eseguita con il programma SismaCon prodotto da ProgramGeo.;
- **Tomografia sismica:** tale metodo è ottimale per ricostruire in maniera continua la velocità delle onde P nel sottosuolo; in questo caso si deve prima di tutto definire un modello iniziale rispetto al quale si calcola il percorso dei raggi sismici con un

algoritmo di ray-tracing; una volta trovato il percorso dei raggi si calcola i tempi di arrivo per quel particolare modello, i quali sono confrontati con i tempi di arrivo misurati sul terreno. A questo punto inizia una procedura iterativa che prevede di modificare leggermente il modello iniziale e sulla base di questo calcolare il percorso dei raggi sismici e le nuove dromocrone. Questo processo è ripetuto per un certo numero di volte fino a che l'errore tra le dromocrone calcolate e quelle misurate sia minimo e stabile.

## 4.5 Inversione MASW

L'inversione della MASW è stata effettuata attraverso il software Dinver presente nel pacchetto software Geopsy. Questo software utilizza il metodo del Neighbourhood Algorithm, che minimizza la funzione di errore tra la curva calcolata e quella misurata, attraverso una ricerca diretta nello spazio dei modelli. In pratica questo algoritmo genera un numero  $N_{s0}$  di modelli di Vs iniziali, risolvendo il problema diretto da questi modelli ricava una curva di dispersione che confronta con quella misurata e ne deduce un valore di misfit; di questi modelli seleziona quelli che hanno restituito il minor misfit e li varia minimamente generando nuovi  $N_s$  modelli di cui genera la curva di dispersione; calcola nuovamente i misfit rispetto alla curva misurata, seleziona quelli con il misfit minore e continua seguendo questo schema fino a trovare la curva di dispersione che più si avvicina a quella misurata. La peculiarità di questo algoritmo è che non cerca casualmente nello spazio dei modelli quello che meglio interpola i dati misurati, ma lo cerca seguendo uno schema, basato sulle celle di Voronoi, che velocizza molto la ricerca e diminuisce la possibilità di cadere in minimi locali.

## 5 DESCRIZIONE RISULTATI E CONCLUSIONI

I risultati dell'indagine MASW e della sismica a rifrazione in onde P sono riassunti negli allegati in calce alla presente relazione. Gli allegati sono organizzati così:

- **allegato 1:** ubicazione dettagliata su ortofotopiano;
- **allegato 2:** geometrie degli stendimenti;

- **allegati 3-4:** picking curva di dispersione, confronto tra curva invertita e misurata e profilo di Vs derivante dallo shot A e dallo shot B della MASW;
- **allegato 5:** tabella con tempi di primo arrivo e relative dromocrone derivanti dalla rifrazione-1;
- **allegato 6:** sezione risultante da elaborazione GRM relativa alla rifrazione-1;
- **allegato 7:** sezione risultante da elaborazione Tomografica relativa alla rifrazione-1;
- **allegato 8:** tabella con tempi di primo arrivo e relative dromocrone derivanti dalla rifrazione-2;
- **allegato 9:** sezione risultante da elaborazione GRM relativa alla rifrazione-2;
- **allegato 10:** sezione risultante da elaborazione Tomografica relativa alla rifrazione-2;

La MASW è stata effettuata lungo uno stendimento di 22 m con direzione N320, i geofoni sono stati infissi in un terreno limo argilloso sciolto attraverso l'apposita punto in acciaio. Gli shot A e B sono stati eseguiti ad un offset di 7 m e sono sintetizzati negli allegati 3 e 4 e nella tabella 1.

	MASW Shot A		MASW Shot B	
	Spessore (m)	Vs (m/s)	Spessore (m)	Vs (m/s)
Livello 1	2,19	85	3,03	98
Livello 2	3,07	149	3,62	144
Livello 3	8,16	262	13,03	254
Livello 4	>16,57	353	> 6,31	616
	<b>Vs30:</b>	<b>241</b>	<b>Vs30:</b>	<b>242</b>

**Tab. 1:** schema riassuntivo risultanze MASW

Le sismiche a rifrazione in onde P sono state eseguite entrambe con uno stendimento lungo 60 m la cui geometria è rappresentata nell'allegato 2. La massima profondità investigata è di circa 12 m. La sezione risultante dall'elaborazione GRM dello stendimento-1 ha evidenziato due sismostrati (allegato 6):

1. una coltre superficiale con **Vp di 332 m/s** e spessore variabile tra 4,5 e 5.0 m ;

2. un sismotrato profondo con **Vp 2005 m/s**.

anche l'elaborazione GRM relativa allo stendimento-2 ha evidenziato due sismostrati (allegato 9):

1. una coltre superficiale con **Vp di 332 m/s** e spessore variabile tra 4,5 e 5.5 m procedendo da SE verso NO ;
2. un sismotrato profondo con **Vp 2180 m/s**.

La velocità dell'ultimo strato ha una bassa affidabilità in entrambi i casi in quanto è definita con una dromocrona formata da pochi punti. Il modello iniziale utilizzato per l'inversione tomografica è la sezione risultante dal metodo GRM in entrambi gli stendimenti; entrambe le sezioni tomografiche (allegato 7 e 10) mostrano geometrie molto simili a quelle mostrate nell'elaborazione GRM e concordanti anche con le 4 prove DPSH eseguite nell'area di studio (cfr. relazione geologica); in tutte e quattro le DPSH è presente un livello superficiale con caratteristiche geotecniche molto scadenti; nelle sezioni tomografiche (allegato 7 e 10) si è cercato di ricostruire (vedi tratteggio rosso) la geometria e lo spessore di questo livello. Si è osservato che, nella sezione derivante dalla rifrazione-1 si hanno a partire da metà dello stendimento e procedendo verso NO spessori maggiori (circa 5 m) rispetto alla prima metà dello stendimento in cui gli spessori sono dell'ordine dei 3 m circa. Nella sezione derivante dalla rifrazione-2 gli spessori passano dai 4,5 m della parte SE dello stendimento ai circa 3.5 della parte NO.

Il D.M. 14.01.2008 propone come riferimento di calcolo dell'amplificazione sismica locale, in particolare della componente stratigrafica, il metodo di Borchardt (1994) basato sulla stima del parametro  $V_{s30}$ . Per  $V_{s30}$  s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione, calcolata secondo la relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \left( \frac{h(i)}{V_s(i)} \right)}$$

La  $V_{s30}$  dell'area di studio è di 341 m/s per lo shot A e di 242 m/s per lo shot B ; si conferma **la categoria di suolo C** assegnata anche nella relazione del novembre 2015.

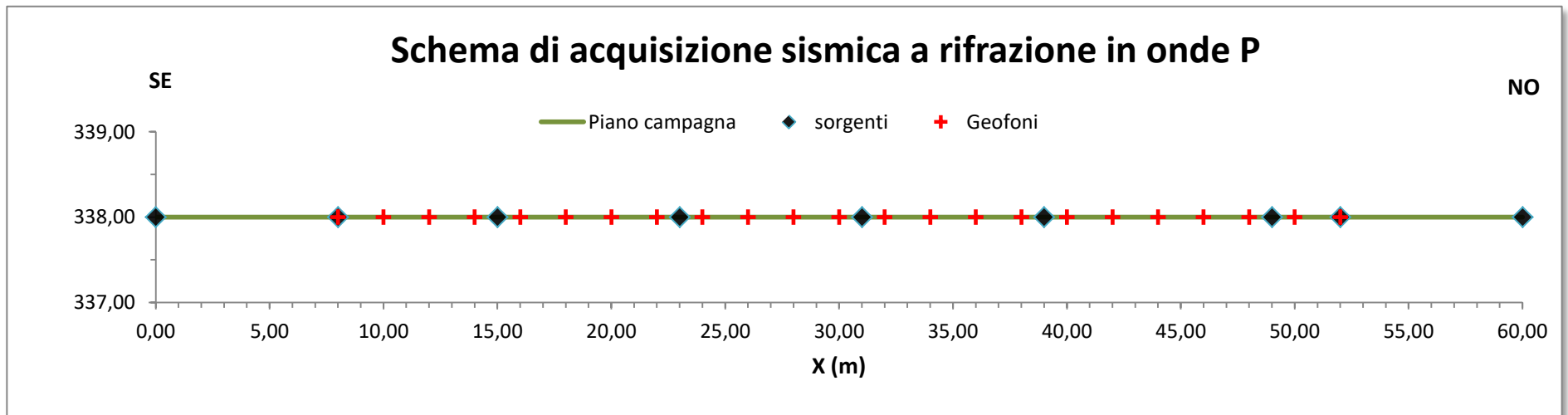
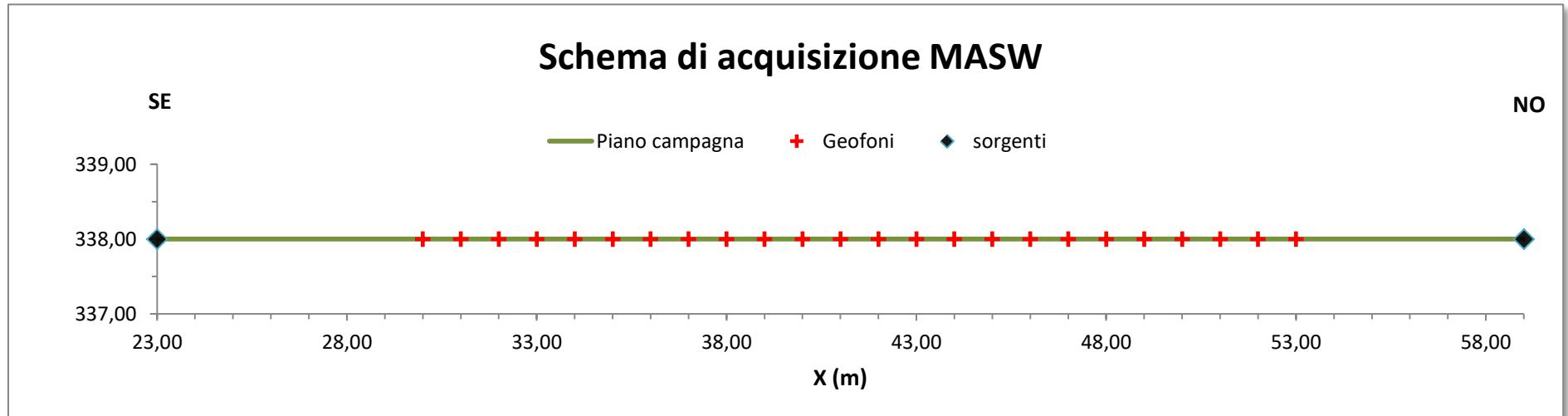
# Indagine geofisica : loc. Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

## Allegato 1: Ubicazione stendimento



# Indagine geofisica: loc. Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

## Allegato 2: geometria stendimenti

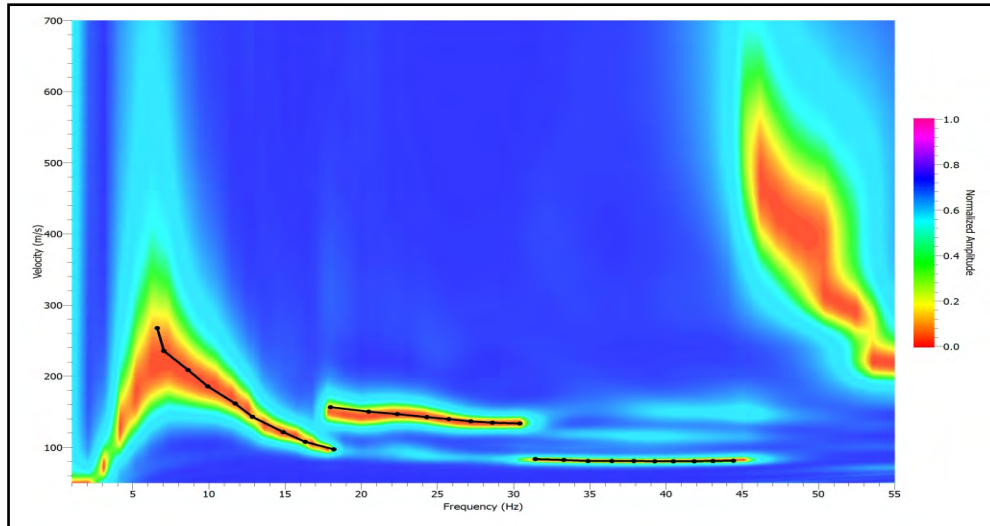




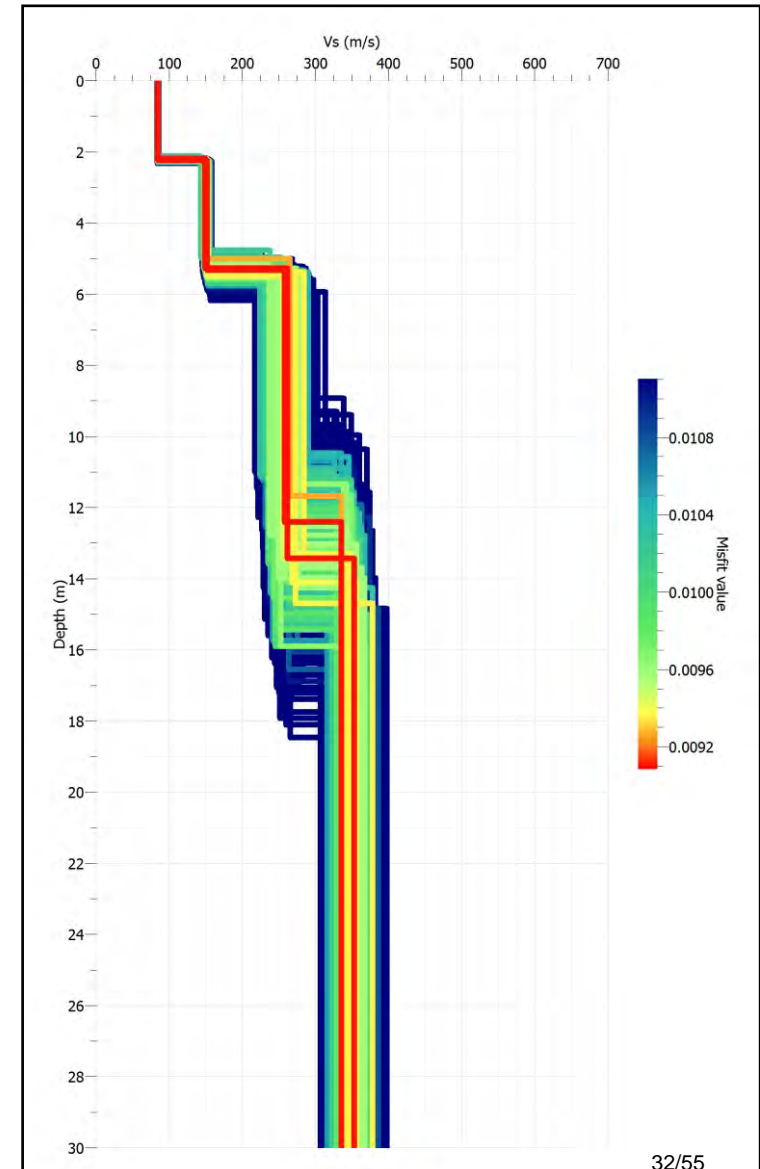
# Indagine geofisica : loc. Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

## Allegato 3: MASW Shot A

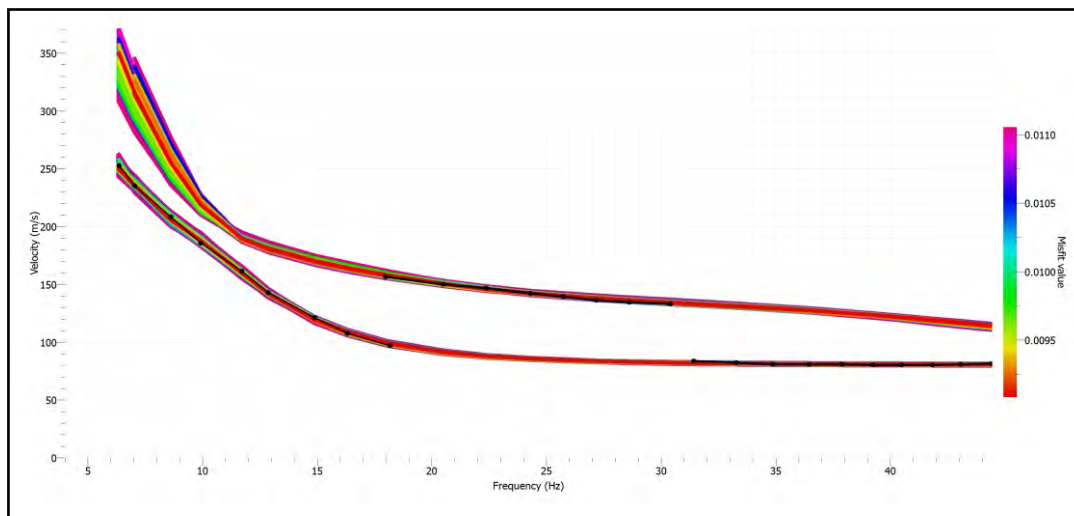
### CURVA DI DISPERSIONE MISURATA E RELATIVO PICKING



### PROFILO Vs



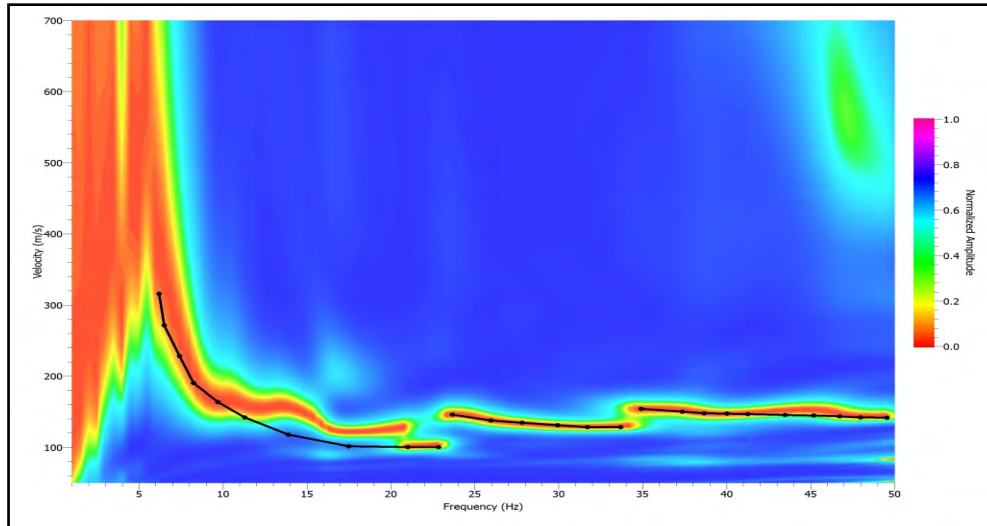
### PICKING CURVA MISURATA (NERA) E CURVE DI DISPERSIONE INVERTITE



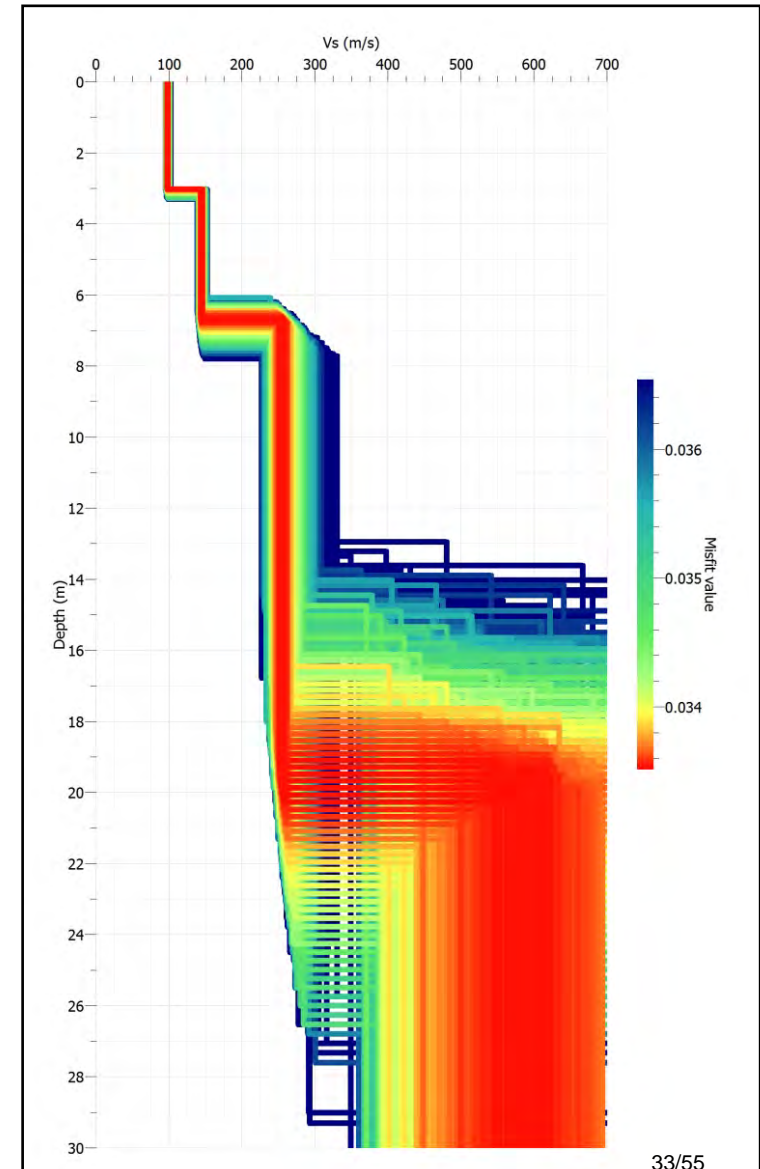
# Indagine geofisica : loc. Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

## Allegato 4: MASW Shot B

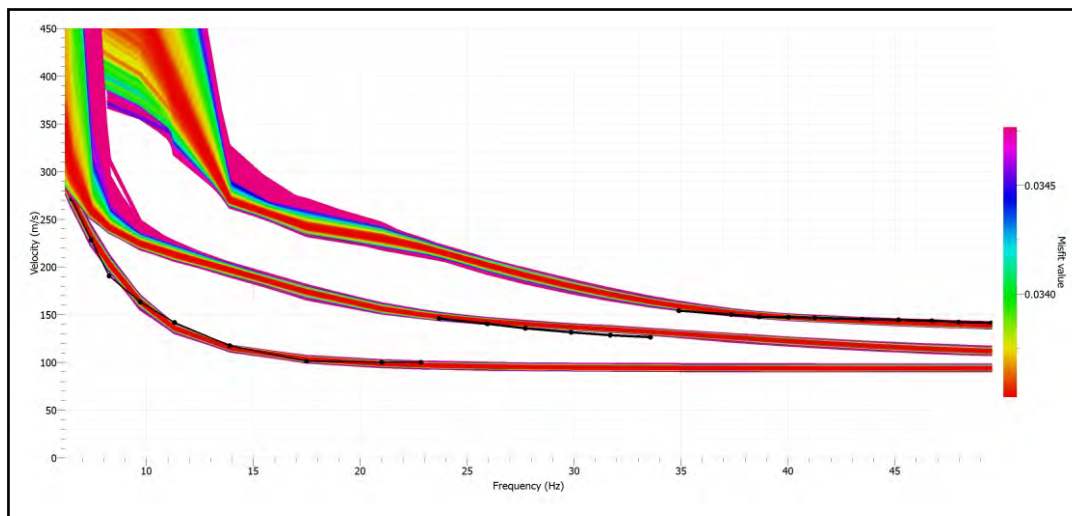
### CURVA DI DISPERSIONE MISURATA E RELATIVO PICKING



### PROFILO Vs

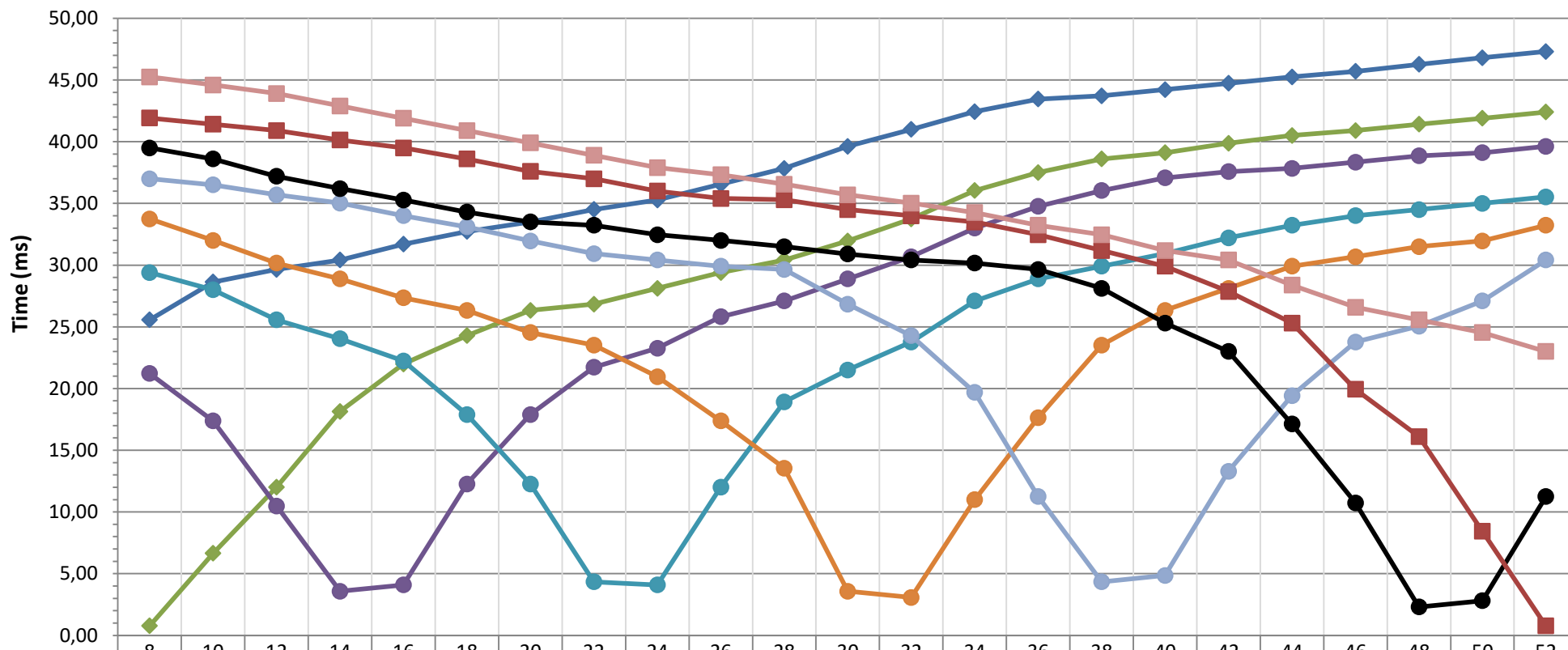


### PICKING CURVA MISURATA (NERA) E CURVE DI DISPERSIONE INVERTITE



# Indagine geofisica: loc. Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

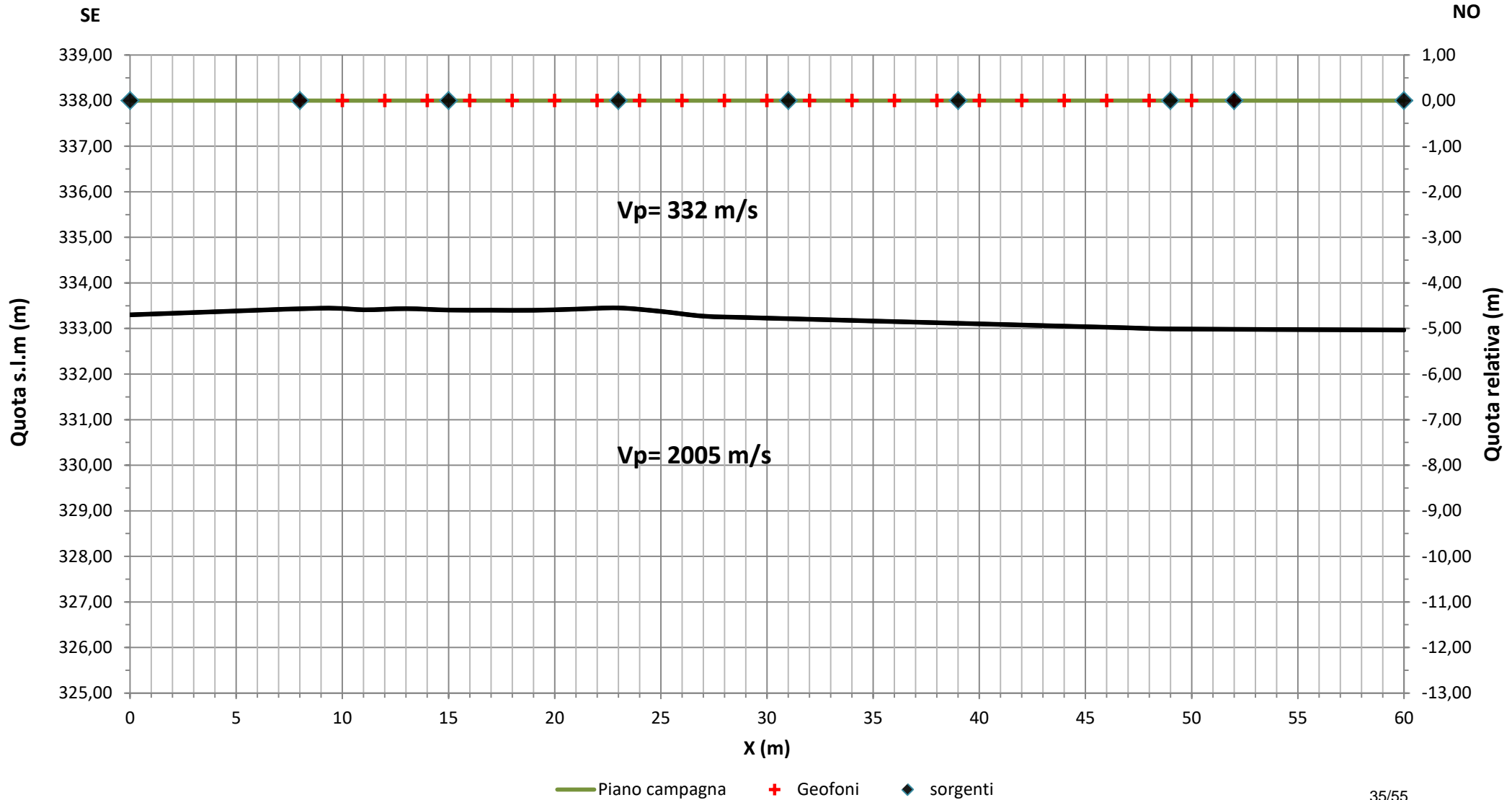
## Allegato 5: Dromocrone e tempi di arrivo rifrazione stendimento (1)



◆ 0 m	25,56	28,63	29,65	30,42	31,70	32,72	33,49	34,51	35,28	36,55	37,83	39,62	41,00	42,43	43,46	43,71	44,22	44,73	45,25	45,70	46,27	46,80	47,30
◆ 8 m	0,77	6,65	12,01	18,15	21,98	24,28	26,33	26,84	28,12	29,40	30,42	31,95	33,74	36,04	37,50	38,60	39,11	39,88	40,50	40,90	41,41	41,90	42,40
◆ 15 m	21,22	17,38	10,48	3,58	4,09	12,27	17,89	21,73	23,26	25,82	27,10	28,89	30,67	33,00	34,76	36,04	37,07	37,58	37,83	38,34	38,85	39,11	39,62
◆ 23 m	29,40	28,00	25,56	24,03	22,24	17,89	12,27	4,35	4,09	12,01	18,92	21,50	23,77	27,10	28,89	29,91	30,93	32,21	33,23	34,00	34,50	35,00	35,53
◆ 31 m	33,74	32,00	30,16	28,89	27,35	26,33	24,54	23,52	20,96	17,38	13,55	3,58	3,07	10,99	17,64	23,52	26,33	28,12	29,91	30,67	31,50	31,95	33,23
◆ 39 m	37,00	36,50	35,70	35,02	34,00	33,10	31,95	30,93	30,42	29,91	29,65	26,84	24,28	19,68	11,25	4,35	4,86	13,29	19,43	23,77	25,05	27,10	30,42
◆ 49 m	39,50	38,60	37,20	36,20	35,28	34,30	33,50	33,23	32,46	32,00	31,50	30,90	30,42	30,16	29,65	28,12	25,31	23,01	17,13	10,74	2,30	2,81	11,25
◆ 52 m	41,92	41,41	40,90	40,13	39,50	38,60	37,60	37,00	36,00	35,40	35,30	34,50	34,00	33,49	32,46	31,19	29,91	27,86	25,31	19,94	16,10	8,44	0,77
◆ 60 m	45,25	44,60	43,90	42,90	41,90	40,90	39,90	38,90	37,90	37,32	36,55	35,70	35,02	34,25	33,23	32,46	31,19	30,42	28,37	26,58	25,56	24,54	23,01

# Indagine geofisica: loc. Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

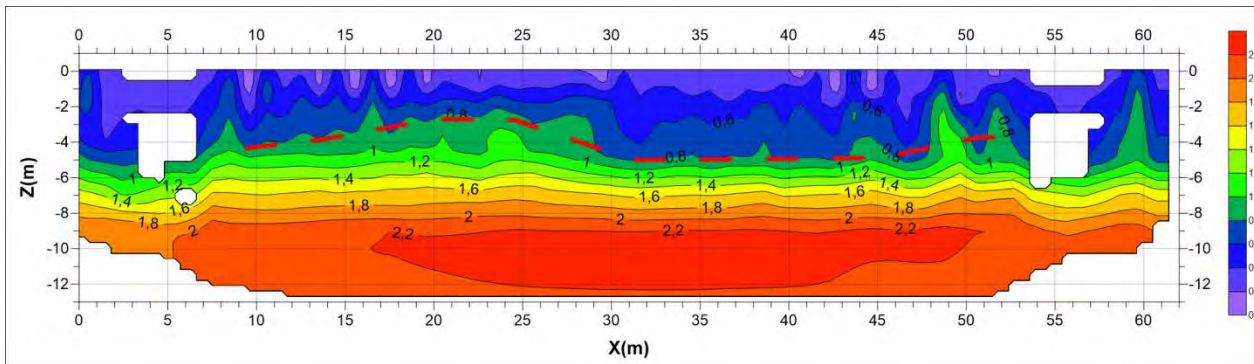
## Allegato 6: Sezione sismica a rifrazione in onde P stendimento (1) (GRM)



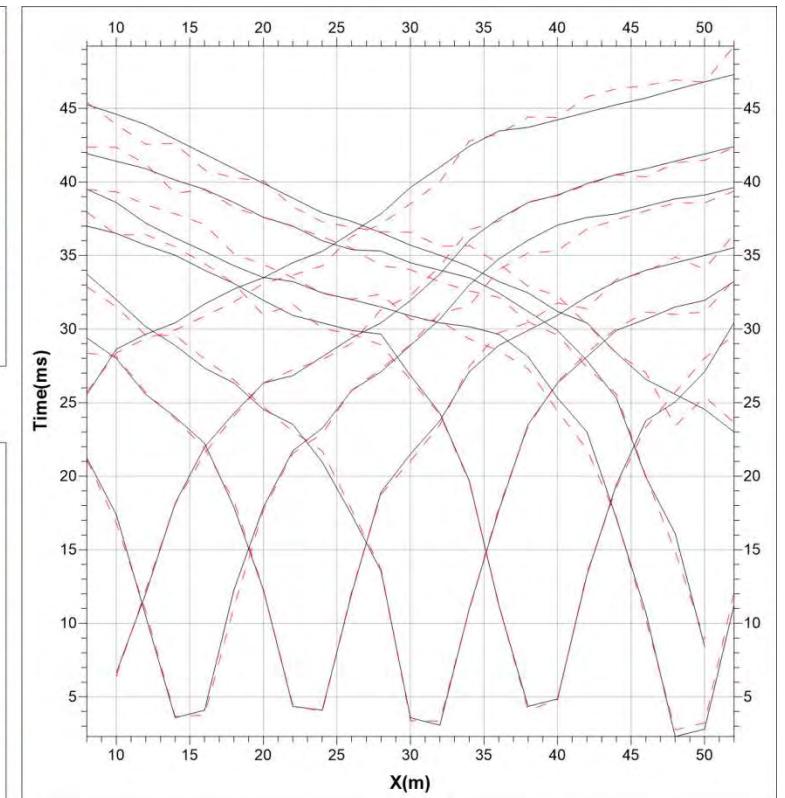
# Indagine geofisica: loc. Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

## Allegato 7: Sezione sismica a rifrazione in onde P stendimento (1) (Tomografia)

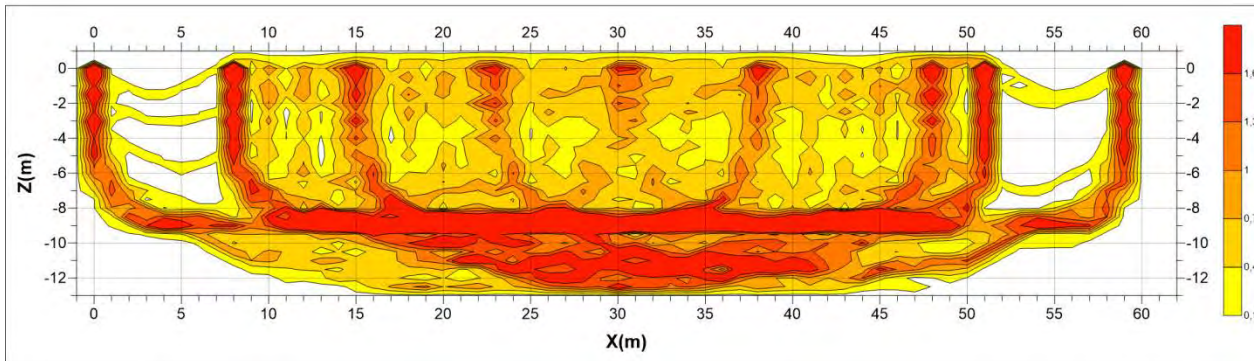
Sezione tomografica in onde P (km/s)



Tempi Misurati (nero) Vs Tempi calcolati (rosso)

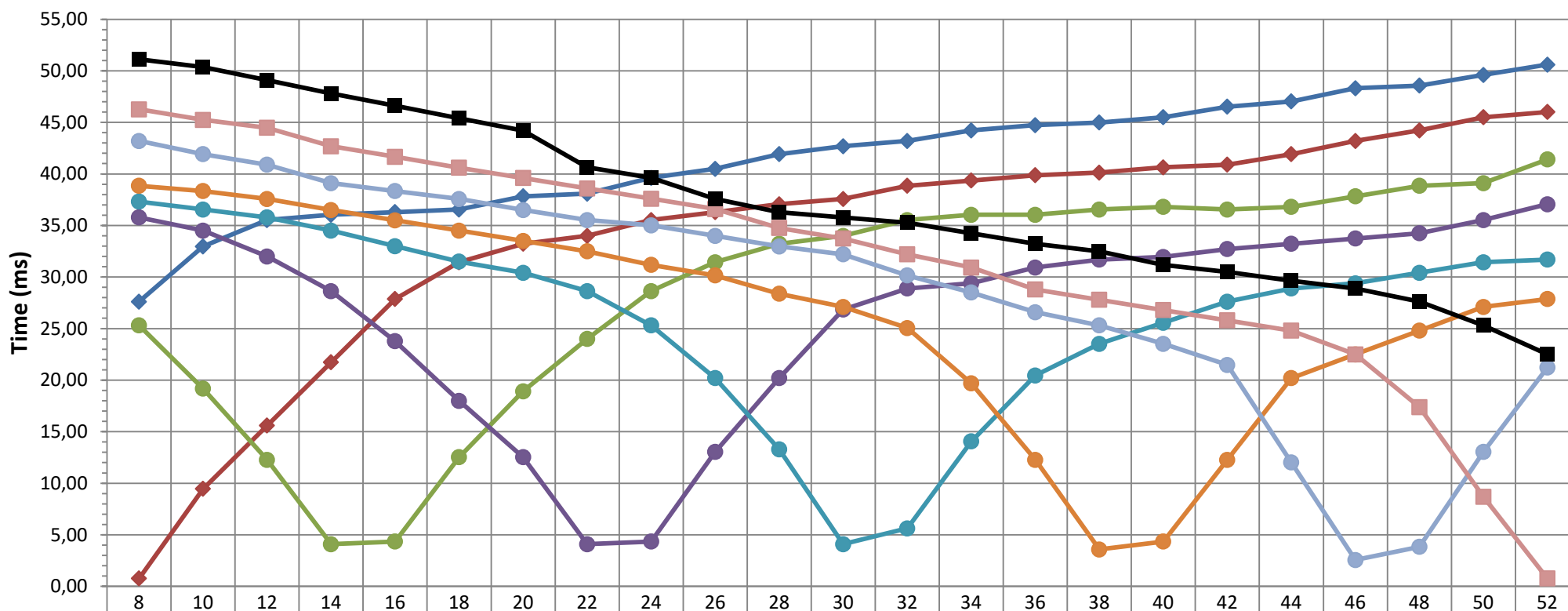


Densità dei raggi generati nel processo di inversione



# Indagine geofisica: loc. Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

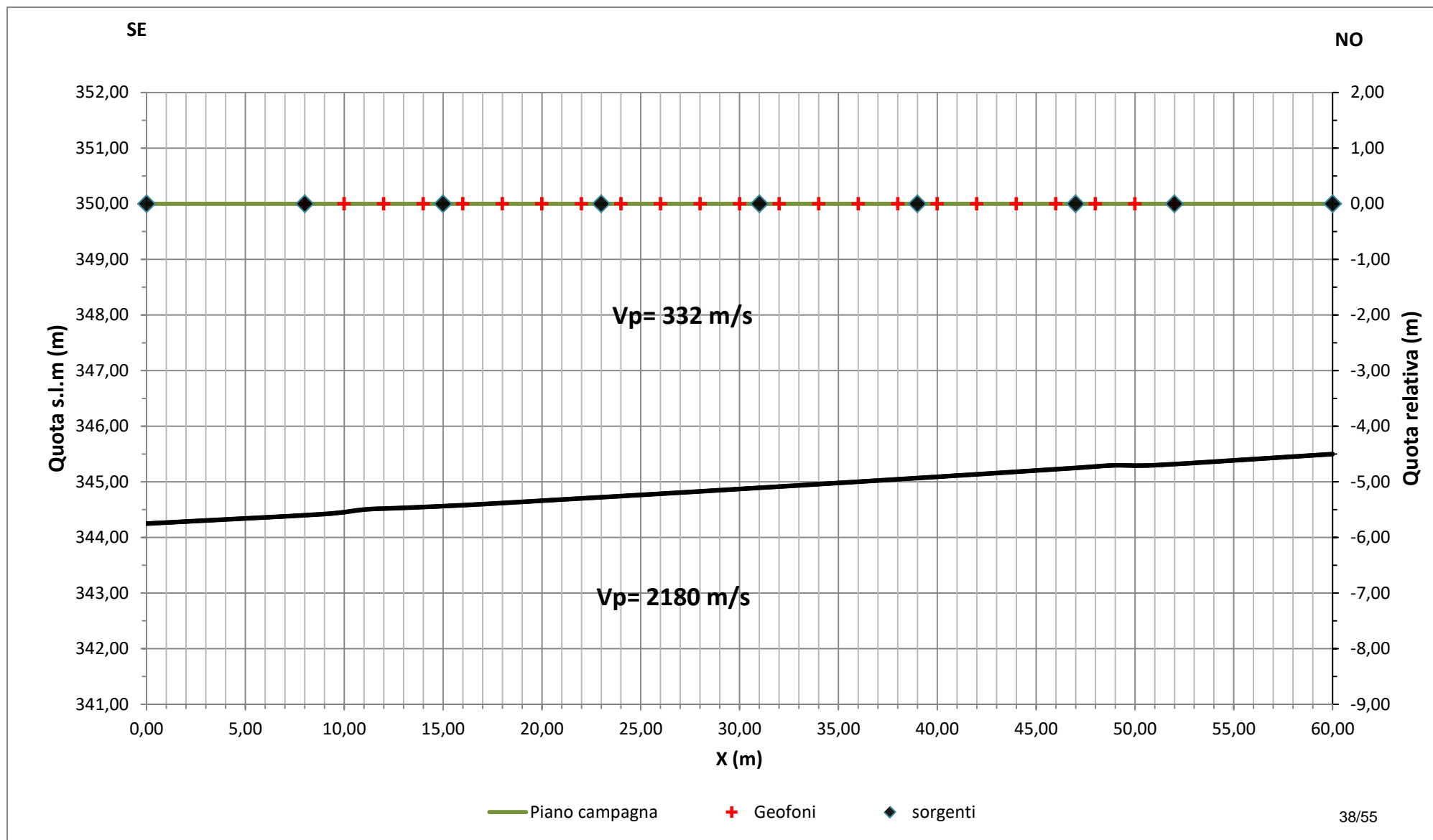
## Allegato 8: Dromocrone e tempi di arrivo rifrazione (2)



0 m	27,61	32,98	35,53	36,04	36,30	36,55	37,83	38,09	39,62	40,50	41,92	42,69	43,20	44,22	44,73	44,99	45,50	46,52	47,03	48,31	48,57	49,60	50,60
8 m	0,77	9,46	15,59	21,73	27,86	31,44	33,23	34,00	35,53	36,30	37,07	37,58	38,85	39,37	39,88	40,13	40,64	40,90	41,92	43,20	44,22	45,50	46,01
15 m	25,31	19,17	12,27	4,09	4,35	12,53	18,92	24,00	28,63	31,44	33,23	34,00	35,53	36,04	36,04	36,55	36,81	36,55	36,81	37,83	38,85	39,11	41,41
23 m	35,79	34,51	32,00	28,63	23,77	18,00	12,53	4,09	4,35	13,04	20,19	26,84	28,89	29,40	30,93	31,70	31,95	32,72	33,23	33,74	34,25	35,53	37,07
31 m	37,32	36,55	35,79	34,50	33,00	31,50	30,42	28,63	25,31	20,19	13,29	4,09	5,62	14,06	20,45	23,52	25,56	27,61	28,89	29,40	30,42	31,44	31,70
39 m	38,85	38,34	37,58	36,50	35,50	34,50	33,50	32,50	31,19	30,16	28,37	27,10	25,05	19,68	12,27	3,58	4,35	12,27	20,19	22,49	24,80	27,10	27,86
49 m	43,20	41,92	40,90	39,11	38,34	37,58	36,50	35,53	35,02	34,00	32,98	32,21	30,16	28,50	26,58	25,31	23,52	21,47	12,01	2,56	3,83	13,04	21,22
52 m	46,27	45,25	44,48	42,69	41,67	40,60	39,60	38,60	37,60	36,60	34,76	33,74	32,21	30,93	28,80	27,80	26,80	25,80	24,80	22,49	17,38	8,69	0,77
60 m	51,12	50,36	49,10	47,80	46,60	45,40	44,20	40,64	39,62	37,58	36,30	35,79	35,28	34,25	33,23	32,50	31,19	30,50	29,65	28,89	27,61	25,31	22,49

# Indagine geofisica: loc. Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

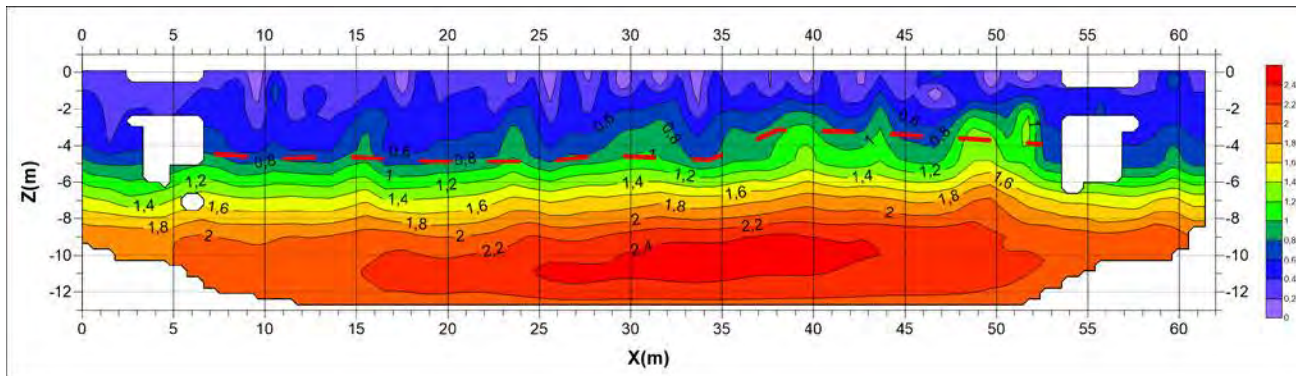
## Allegato 9: Sezione sismica a rifrazione in onde P stendimento (2) (GRM)



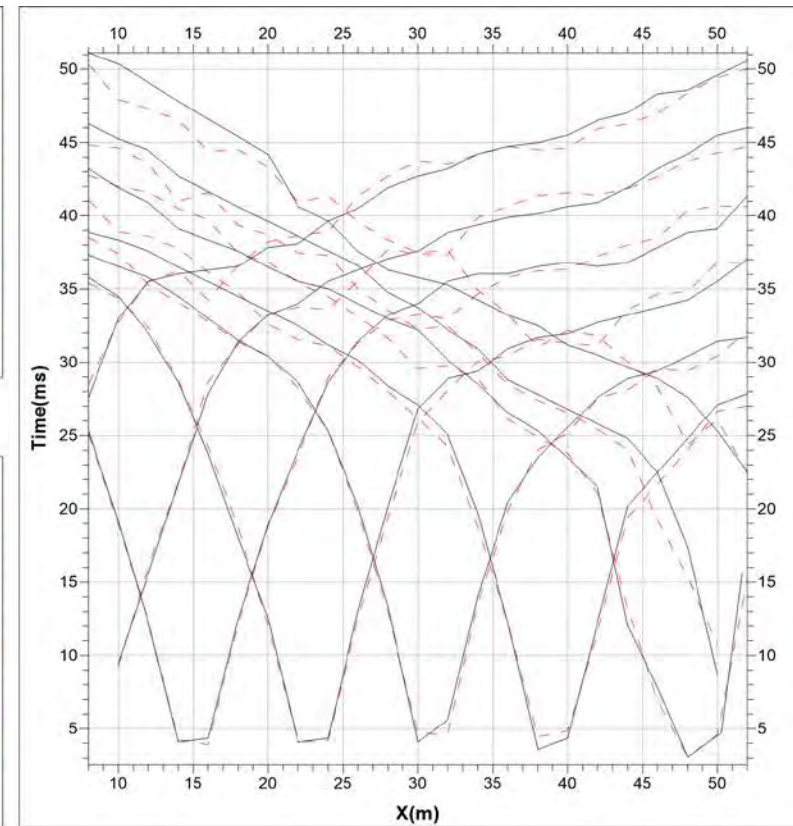
# Indagine geofisica: loc. Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

## Allegato 10: Sezione sismica a rifrazione in onde P stendimento (2) (Tomografia)

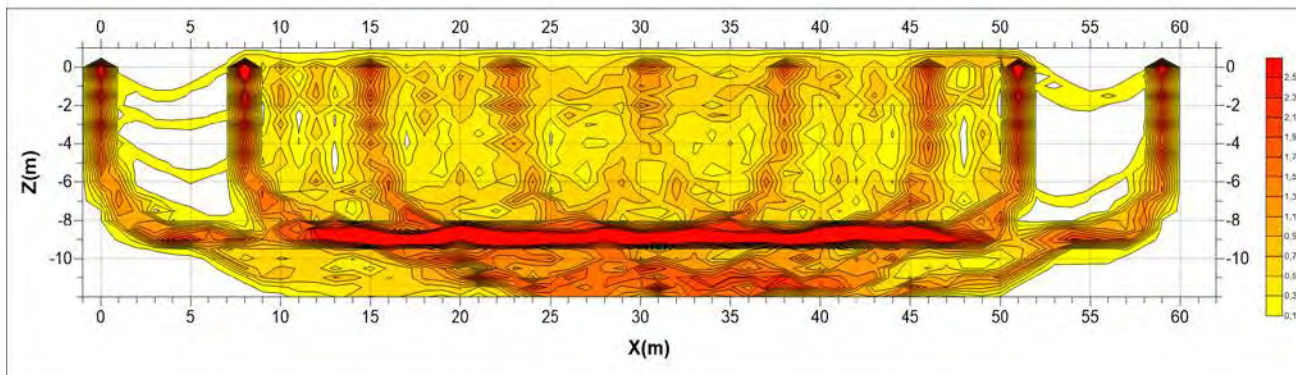
Sezione tomografica in onde P (km/s)



Tempi Misurati (nero) Vs Tempi calcolati (rosso)



Densità dei raggi generati nel processo di inversione





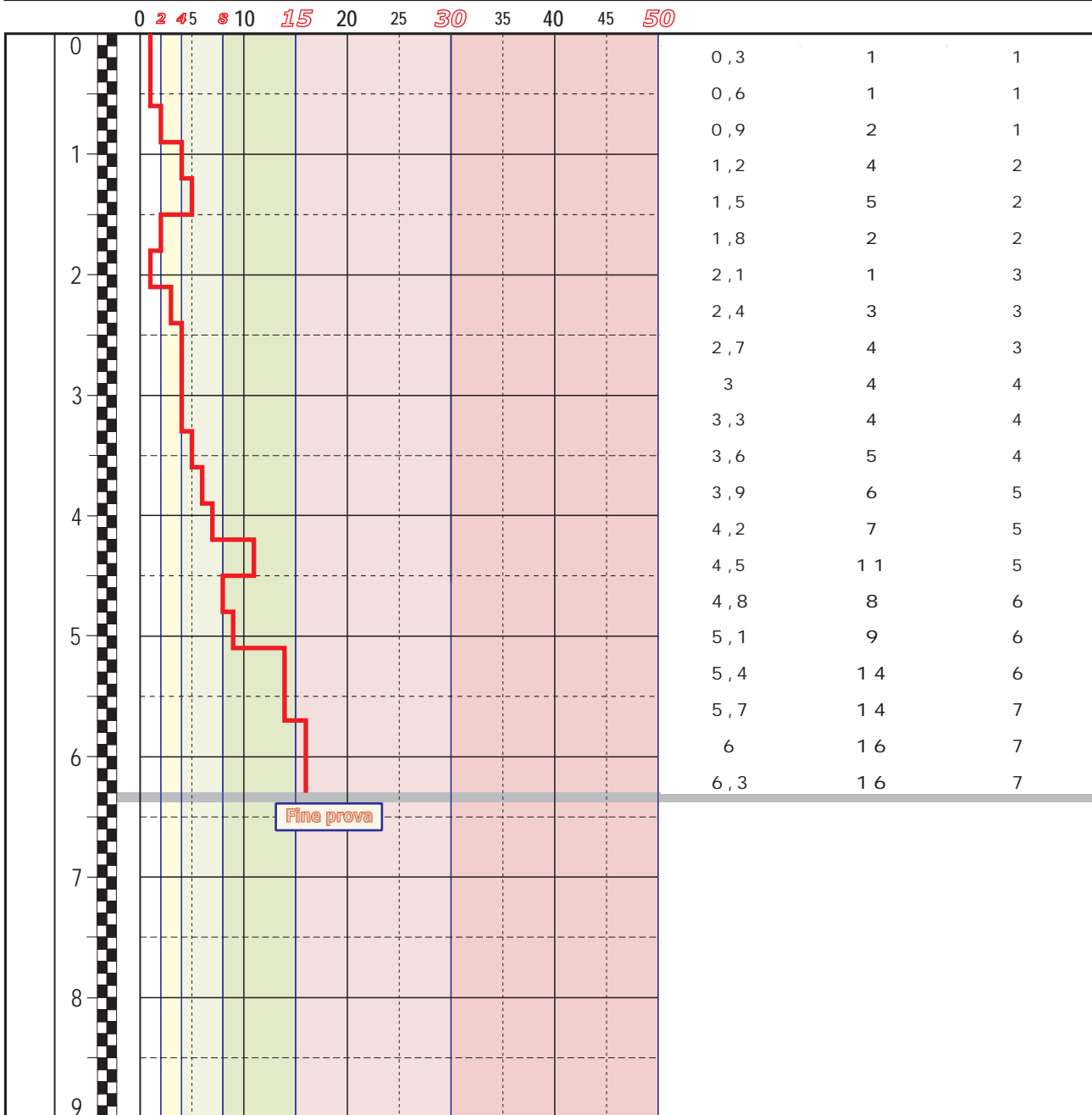


Via Davide Lazeretti, 2b 58100 Grosseto (GR)  
 Tel. +39.0564.413895 Fax +39.0564.543116  
 info@geo-ee.it www.geo-ee.it  
 P.I. 01158190536 - REA di Grosseto: 99763

Attestazione SOA Cat 0520B Class. 1 n°24669/2016-17/00 rilasciata il 26.07.2016  
 Prodotto realizzato secondo le regole e al sistema di gestione qualità conforme ai requisiti ISO 9001:2008  
 valutato da Bureau Veritas Italia S.p.A. e coperto da certificato n° IT241777

## Prova penetrometrica dinamica DPSH

Richiedente: <b>GEOAMIATA s.a.s.</b>		Ubicazione indagine: <b>Loc. Casa Del Corto - Comune di Piancastagnaio (SI)</b>		Data esecuzione: <b>30.09.2016</b>	
Penetrometro dinamico super pesante DPSH: maglio M=63,5 Kg, altezza di caduta maglio H=0,75 m, passo di infissione δ=0,3 m diametro base punta conica=50,1 mm - Rivestimento: no.			<b>PROVA DPSH I</b>		
Valutazione addensamento (secondo norme A.G.I.): <input type="checkbox"/> molto soffice <input type="checkbox"/> soffice <input type="checkbox"/> plastico <input type="checkbox"/> duro <input type="checkbox"/> molto duro <input type="checkbox"/> durissimo			Falda: <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> si   Soggiacenza dal p.c.: _____ Note sperimentatore: foro franato a -1.30 m da p.c.		
Schema costruttivo piezometro	Profondità dal piano campagna	<b>RESTITUZIONE GRAFICA</b>	<b>VALORI DI RESISTENZA</b>		
		Numero dei colpi (N <sub>30</sub> )	Prof. (m)	N <sub>30</sub> (n)	Asta (n)



<b>Caratteristiche piezometro installato</b>	
Diametro tubo: _____	Tratto finestrato: _____
Riempimento: _____	Cementazione: _____

Operatore  
*Maurizio Serrini*

Direttore  
*[Signature]*



Via Davide Lazeretti, 2b 58100 Grosseto (GR)  
 Tel. +39.0564.413895 Fax +39.0564.543116  
 info@geo-ee.it www.geo-ee.it  
 P.I. 01158190536 - REA di Grosseto: 99763

Attestazione SOA Cat 0520B Class. 1 n°24669/2016-17/00 rilasciata il 26.07.2016  
 Prodotto realizzato secondo le regole e al sistema di gestione qualità conforme ai requisiti ISO 9001:2008  
 valutato da Bureau Veritas Italia S.p.A. e coperto da certificato n° IT241777

## Prova penetrometrica dinamica DPSH

Richiedente: <i>GEOAMIATA s.a.s.</i>	Ubicazione indagine: <i>Loc. Casa Del Corto - Comune di Piancastagnaio (SI)</i>	Data esecuzione: <i>30.09.2016</i>
<b>PROVA DPSH 1</b>		

### UBICAZIONE DI DETTAGLIO



Estratto da Google Earth (26/06/2015).

Operatore  
*Manuel Serrin*

Direttore  
*[Signature]*



■ Via Davide Lazeretti, 2b 58100 Grosseto (GR)  
■ Tel. +39.0564.413895 Fax +39.0564.543116  
■ [info@geo-ee.it](mailto:info@geo-ee.it) [www.geo-ee.it](http://www.geo-ee.it)  
■ P.I. 01158190536 - REA di Grosseto: 99763

Attestazione SOA Cat 0520B Class. 1 n°24669/2016-17/00 rilasciata il 26.07.2016  
 Prodotto realizzato secondo le regole e al sistema di gestione qualità conforme ai requisiti ISO 9001:2008  
 valutato da Bureau Veritas Italia S.p.A. e coperto da certificato n° IT241777

## *Prova penetrometrica dinamica DPSH*

Richiedente: <b><i>GEOAMIATA s.a.s.</i></b>	Ubicazione indagine: <b><i>Loc. Casa Del Corto - Comune di Piancastagnaio (SI)</i></b>	Data esecuzione: <b><i>30.09.2016</i></b>
<h3 style="margin: 0;"><b><i>PROVA DPSH 1</i></b></h3>		

## ***DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA***



Operatore

Direttore

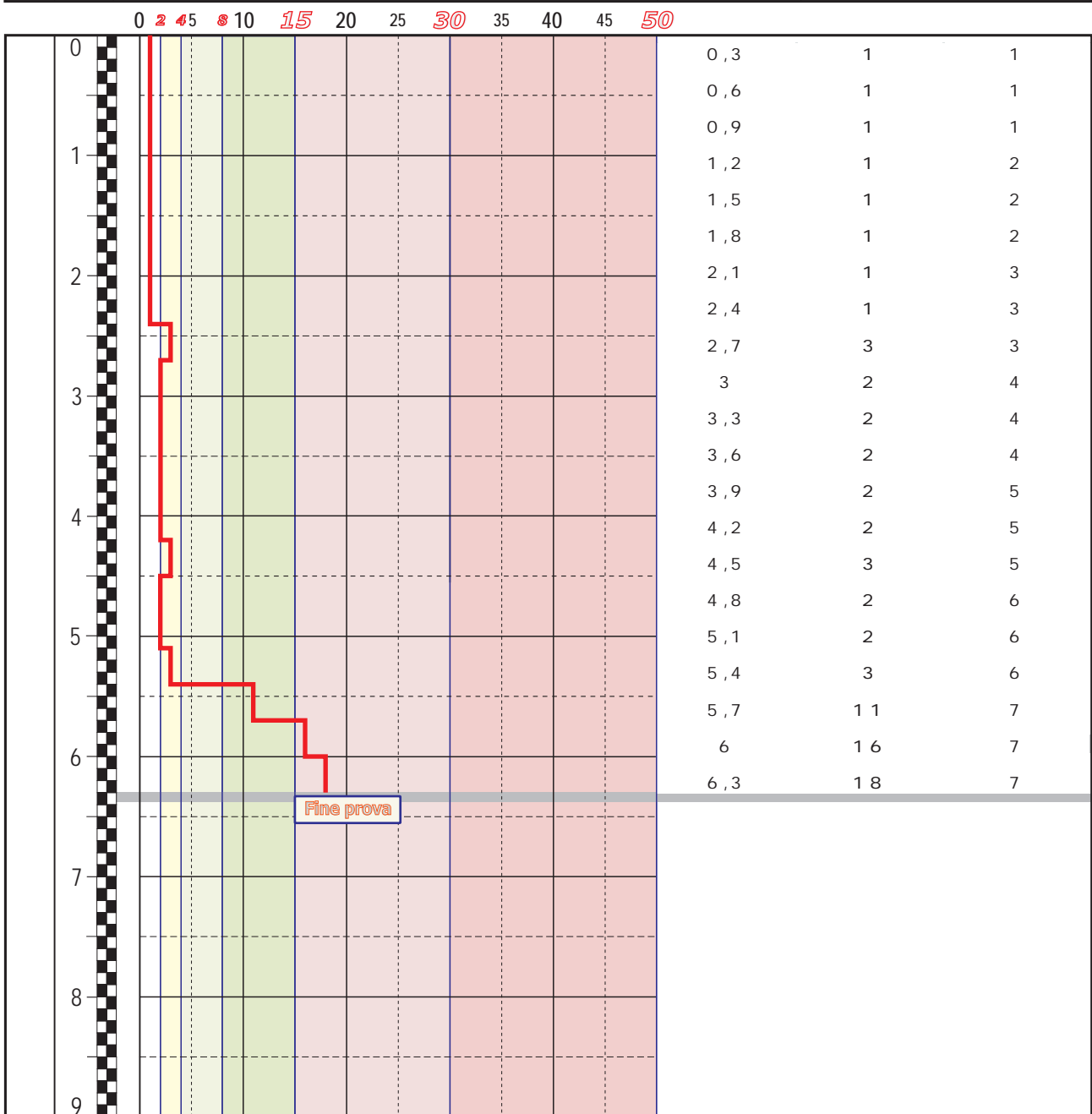


Via Davide Lazeretti, 2b 58100 Grosseto (GR)  
 Tel. +39.0564.413895 Fax +39.0564.543116  
 info@geo-ee.it www.geo-ee.it  
 P.I. 01158190536 - REA di Grosseto: 99763

Attestazione SOA Cat 0520B Class. 1 n°24669/2016-17/00 rilasciata il 26.07.2016  
 Prodotto realizzato secondo le regole e al sistema di gestione qualità conforme ai requisiti ISO 9001:2008  
 valutato da Bureau Veritas Italia S.p.A. e coperto da certificato n° IT241777

## Prova penetrometrica dinamica DPSH

Richiedente: <b>GEOAMIATA s.a.s.</b>		Ubicazione indagine: <b>Loc. Casa Del Corto - Comune di Piancastagnaio (SI)</b>		Data esecuzione: <b>30.09.2016</b>	
Penetrometro dinamico super pesante DPSH: maglio M=63,5 Kg, altezza di caduta maglio H=0,75 m, passo di infissione δ=0,3 m diametro base punta conica=50,1 mm - Rivestimento: no.			<b>PROVA DPSH 2</b>		
Valutazione addensamento (secondo norme A.G.I.): <input type="checkbox"/> molto soffice <input type="checkbox"/> soffice <input type="checkbox"/> plastico <input type="checkbox"/> duro <input type="checkbox"/> molto duro <input type="checkbox"/> durissimo			Falda: <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> si   Soggiacenza dal p.c.: _____ Note sperimentatore: foro franato a -0.30 m da p.c.		
Schema costruttivo piezometro	Profondità dal piano campagna	<b>RESTITUZIONE GRAFICA</b>	<b>VALORI DI RESISTENZA</b>		
		Numero dei colpi (N <sub>30</sub> )	Prof. (m)	N <sub>30</sub> (n)	Asta (n)



<b>Caratteristiche piezometro installato</b>	
Diametro tubo: _____	Tratto finestrato: _____
Riempimento: _____	Cementazione: _____

Operatore  
*Maurizio Serrini*

Direttore  
*[Signature]*



Via Davide Lazeretti, 2b 58100 Grosseto (GR)  
 Tel. +39.0564.413895 Fax +39.0564.543116  
 info@geo-ee.it www.geo-ee.it  
 P.I. 01158190536 - REA di Grosseto: 99763

Attestazione SOA Cat 0520B Class. 1 n°24669/2016-17/00 rilasciata il 26.07.2016  
 Prodotto realizzato secondo le regole e al sistema di gestione qualità conforme ai requisiti ISO 9001:2008  
 valutato da Bureau Veritas Italia S.p.A. e coperto da certificato n° IT241777

## Prova penetrometrica dinamica DPSH

Richiedente: <b>GEOAMIATA s.a.s.</b>	Ubicazione indagine: <b>Loc. Casa Del Corto - Comune di Piancastagnaio (SI)</b>	Data esecuzione: <b>30.09.2016</b>
<b>PROVA DPSH 2</b>		

### UBICAZIONE DI DETTAGLIO



Estratto da Google Earth (26/06/2015).

Operatore  
*Maurizio Serrini*

Direttore  
*[Signature]*



Via Davide Lazeretti, 2b 58100 Grosseto (GR)  
 Tel. +39.0564.413895 Fax +39.0564.543116  
 info@geo-ee.it www.geo-ee.it  
 P.I. 01158190536 - REA di Grosseto: 99763  
 Attestazione SOA Cat 0520B Class. 1 n°24669/2016-17/00 rilasciata il 26.07.2016  
 Prodotto realizzato secondo le regole e al sistema di gestione qualità conforme ai requisiti ISO 9001:2008  
 valutato da Bureau Veritas Italia S.p.A. e coperto da certificato n° IT241777

## *Prova penetrometrica dinamica DPSH*

Richiedente: <b>GEOAMIATA s.a.s.</b>	Ubicazione indagine: Loc. Casa Del Corto - Comune di Piancastagnaio (SI)	Data esecuzione: <b>30.09.2016</b>
<h3 style="margin: 0;"><b>PROVA DPSH 2</b></h3>		

## **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



Operatore

Direttore

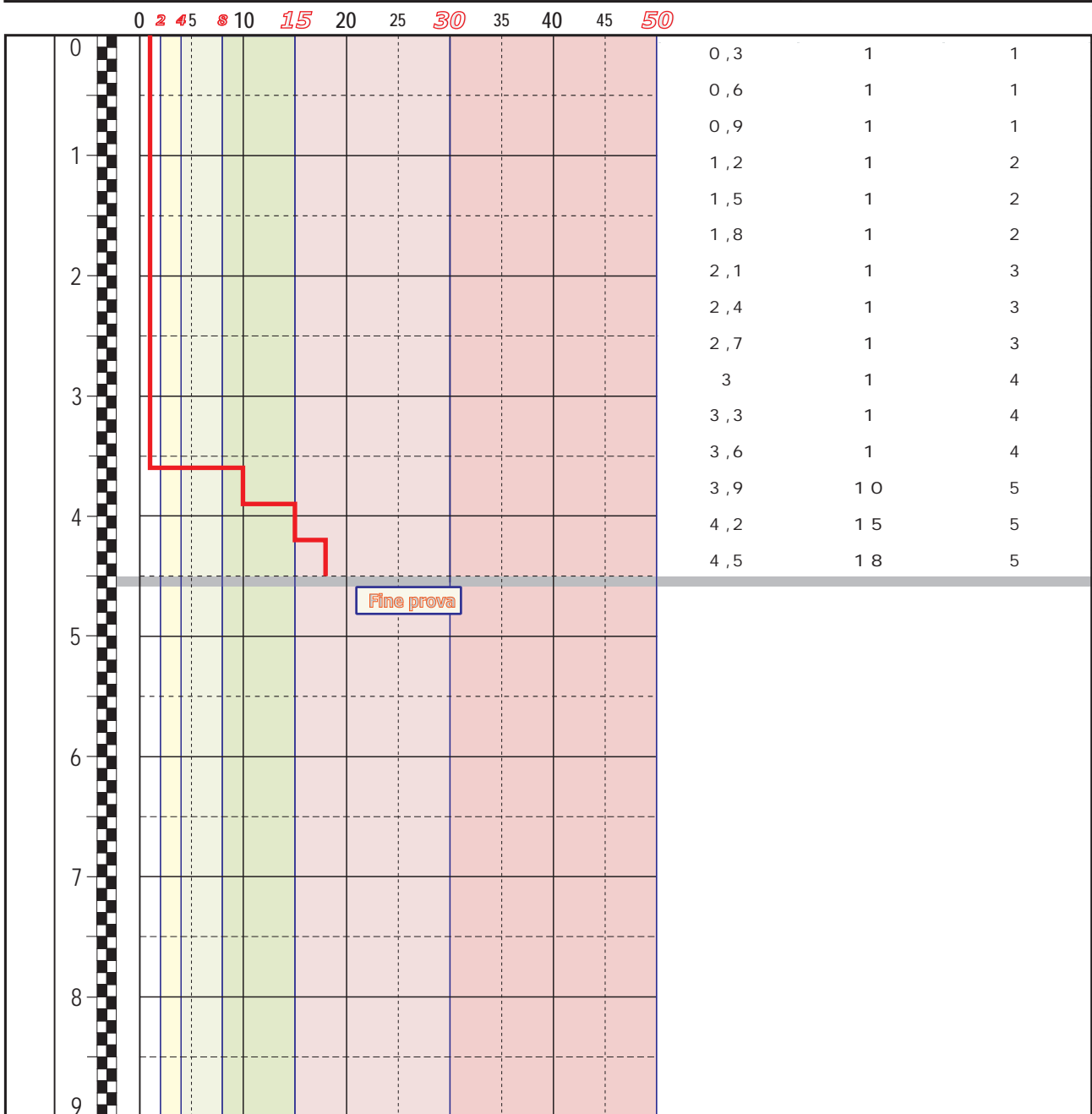


Via Davide Lazeretti, 2b 58100 Grosseto (GR)  
 Tel. +39.0564.413895 Fax +39.0564.543116  
 info@geo-ee.it www.geo-ee.it  
 P.I. 01158190536 - REA di Grosseto: 99763

Attestazione SOA Cat 0520B Class. 1 n°24669/2016-17/00 rilasciata il 26.07.2016  
 Prodotto realizzato secondo le regole e al sistema di gestione qualità conforme ai requisiti ISO 9001:2008  
 valutato da Bureau Veritas Italia S.p.A. e coperto da certificato n° IT241777

## Prova penetrometrica dinamica DPSH

Richiedente: <b>GEOAMIATA s.a.s.</b>		Ubicazione indagine: <b>Loc. Casa Del Corto - Comune di Piancastagnaio (SI)</b>		Data esecuzione: <b>30.09.2016</b>	
Penetrometro dinamico super pesante DPSH: maglio M=63,5 Kg, altezza di caduta maglio H=0,75 m, passo di infissione δ=0,3 m diametro base punta conica=50,1 mm - Rivestimento: no.			<b>PROVA DPSH 3</b>		
Valutazione addensamento (secondo norme A.G.I.): <input type="checkbox"/> molto soffice <input type="checkbox"/> soffice <input type="checkbox"/> plastico <input type="checkbox"/> duro <input type="checkbox"/> molto duro <input type="checkbox"/> durissimo			Falda: <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> si		
			Soggiacenza dal p.c.: _____ Note sperimentatore: _____ foro franato a -0.15 m da p.c.		
Schema costruttivo piezometro	Profondità dal piano campagna	<b>RESTITUZIONE GRAFICA</b>	<b>VALORI DI RESISTENZA</b>		
		Numero dei colpi (N <sub>30</sub> )	Prof. (m)	N <sub>30</sub> (n)	Asta (n)



<b>Caratteristiche piezometro installato</b>	
Diametro tubo: _____	Tratto finestrato: _____
Riempimento: _____	Cementazione: _____

Operatore  
*Maurizio Serrini*

Direttore  
*[Signature]*



Via Davide Lazeretti, 2b 58100 Grosseto (GR)  
 Tel. +39.0564.413895 Fax +39.0564.543116  
 info@geo-ee.it www.geo-ee.it  
 P.I. 01158190536 - REA di Grosseto: 99763

Attestazione SOA Cat 0520B Class. 1 n°24669/2016-17/00 rilasciata il 26.07.2016  
 Prodotto realizzato secondo le regole e al sistema di gestione qualità conforme ai requisiti ISO 9001:2008  
 valutato da Bureau Veritas Italia S.p.A. e coperto da certificato n° IT241777

## Prova penetrometrica dinamica DPSH

Richiedente: <b>GEOAMIATA s.a.s.</b>	Ubicazione indagine: Loc. Casa Del Corto - Comune di Piancastagnaio (SI)	Data esecuzione: 30.09.2016
PROVA DPSH 3		

### UBICAZIONE DI DETTAGLIO



Estratto da Google Earth (26/06/2015).

Operatore  
*Maurizio Serrini*

Direttore  
*[Signature]*





■ Via Davide Lazeretti, 2b 58100 Grosseto (GR)  
■ Tel. +39.0564.413895 Fax +39.0564.543116  
■ info@geo-ee.it www.geo-ee.it  
■ P.I. 01158190536 - REA di Grosseto: 99763

Attestazione SOA Cat 0520B Class. 1 n°24669/2016-17/00 rilasciata il 26.07.2016  
 Prodotto realizzato secondo le regole e al sistema di gestione qualità conforme ai requisiti ISO 9001:2008  
 valutato da Bureau Veritas Italia S.p.A. e coperto da certificato n° IT241777

## *Prova penetrometrica dinamica DPSH*

Richiedente: <b>GEOAMIATA s.a.s.</b>	Ubicazione indagine: Loc. Casa Del Corto - Comune di Piancastagnaio (SI)	Data esecuzione: <b>30.09.2016</b>
<b>PROVA DPSH 3</b>		

## **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



Operatore  
*Maurizio Serrini*

Direttore  
*[Signature]*



Via Davide Lazeretti, 2b 58100 Grosseto (GR)  
 Tel. +39.0564.413895 Fax +39.0564.543116  
 info@geo-ee.it www.geo-ee.it  
 P.I. 01158190536 - REA di Grosseto: 99763

Attestazione SOA Cat 0520B Class. 1 n°24669/2016-17/00 rilasciata il 26.07.2016  
 Prodotto realizzato secondo le regole e al sistema di gestione qualità conforme ai requisiti ISO 9001:2008  
 valutato da Bureau Veritas Italia S.p.A. e coperto da certificato n° IT241777

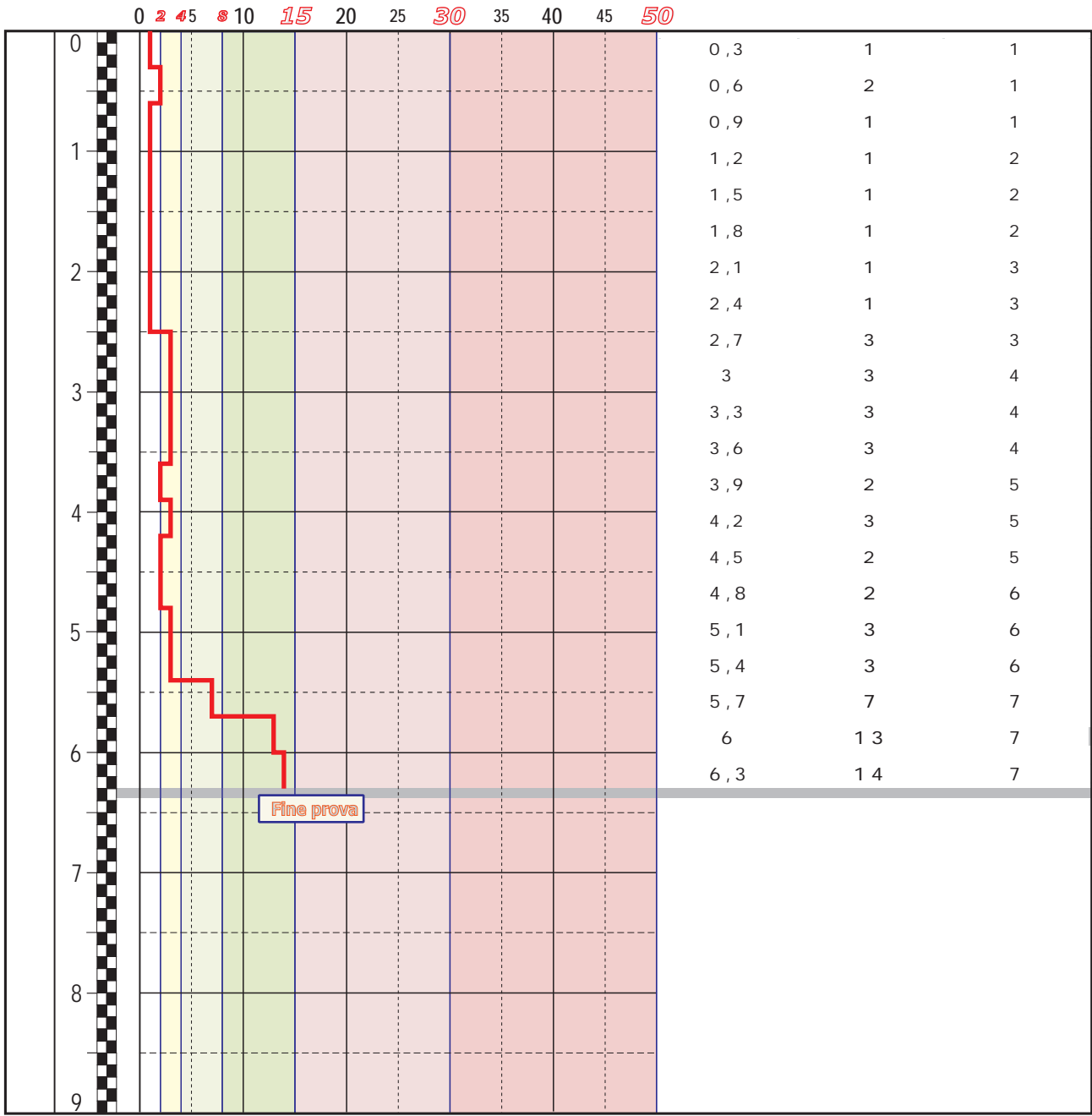
## Prova penetrometrica dinamica DPSH

Richiedente: <b>GEOAMIATA s.a.s.</b>	Ubicazione indagine: <b>Loc. Casa Del Corto - Comune di Piancastagnaio (SI)</b>	Data esecuzione: <b>30.09.2016</b>
---	--	---------------------------------------

Penetrometro dinamico super pesante DPSH: maglio M=63,5 Kg, altezza di caduta maglio H=0,75 m, passo di infissione δ=0,3 m diametro base punta conica=50,1 mm - Rivestimento: no.	<h3 style="color: blue;">PROVA DPSH 4</h3>
---	--

Valutazione addensamento (secondo norme A.G.I.): <input type="checkbox"/> molto soffice <input type="checkbox"/> soffice <input type="checkbox"/> plastico <input type="checkbox"/> duro <input type="checkbox"/> molto duro <input type="checkbox"/> durissimo	Falda: <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> si                   Soggiacenza dal p.c.: _____                   Note sperimentatore: foro franato a -0.15 m da p.c.
--	---

Schema costruttivo piezometro	Profondità dal piano campagna	RESTITUZIONE GRAFICA	VALORI DI RESISTENZA		
		Numero dei colpi (N <sub>30</sub> )	Prof. (m)	N <sub>30</sub> (n)	Asta (n)



Caratteristiche piezometro installato Diametro tubo: _____ Riempimento: _____	Tratto finestrato: _____ Cementazione: _____
---	---

Operatore  
*Maurizio Serrini*

Direttore  
*[Signature]*



Via Davide Lazeretti, 2b 58100 Grosseto (GR)  
 Tel. +39.0564.413895 Fax +39.0564.543116  
 info@geo-ee.it www.geo-ee.it  
 P.I. 01158190536 - REA di Grosseto: 99763

Attestazione SOA Cat 0520B Class. 1 n°24669/2016-17/00 rilasciata il 26.07.2016  
 Prodotto realizzato secondo le regole e al sistema di gestione qualità conforme ai requisiti ISO 9001:2008  
 valutato da Bureau Veritas Italia S.p.A. e coperto da certificato n° IT241777

## Prova penetrometrica dinamica DPSH

Richiedente: <i>GEOAMIATA s.a.s.</i>	Ubicazione indagine: <i>Loc. Casa Del Corto - Comune di Piancastagnaio (SI)</i>	Data esecuzione: <i>30.09.2016</i>
<b>PROVA DPSH 4</b>		

### UBICAZIONE DI DETTAGLIO



Estratto da Google Earth (26/06/2015).

Operatore  
*Maurizio Serrini*

Direttore  
*[Signature]*



■ Via Davide Lazeretti, 2b 58100 Grosseto (GR)  
■ Tel. +39.0564.413895 Fax +39.0564.543116  
■ [info@geo-ee.it](mailto:info@geo-ee.it) [www.geo-ee.it](http://www.geo-ee.it)  
■ P.I. 01158190536 - REA di Grosseto: 99763

Attestazione SOA Cat 0520B Class. 1 n°24669/2016-17/00 rilasciata il 26.07.2016  
 Prodotto realizzato secondo le regole e al sistema di gestione qualità conforme ai requisiti ISO 9001:2008  
 valutato da Bureau Veritas Italia S.p.A. e coperto da certificato n° IT241777

## *Prova penetrometrica dinamica DPSH*

Richiedente: <b>GEOAMIATA s.a.s.</b>	Ubicazione indagine: Loc. Casa Del Corto - Comune di Piancastagnaio (SI)	Data esecuzione: <b>30.09.2016</b>
<b>PROVA DPSH 4</b>		

## **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



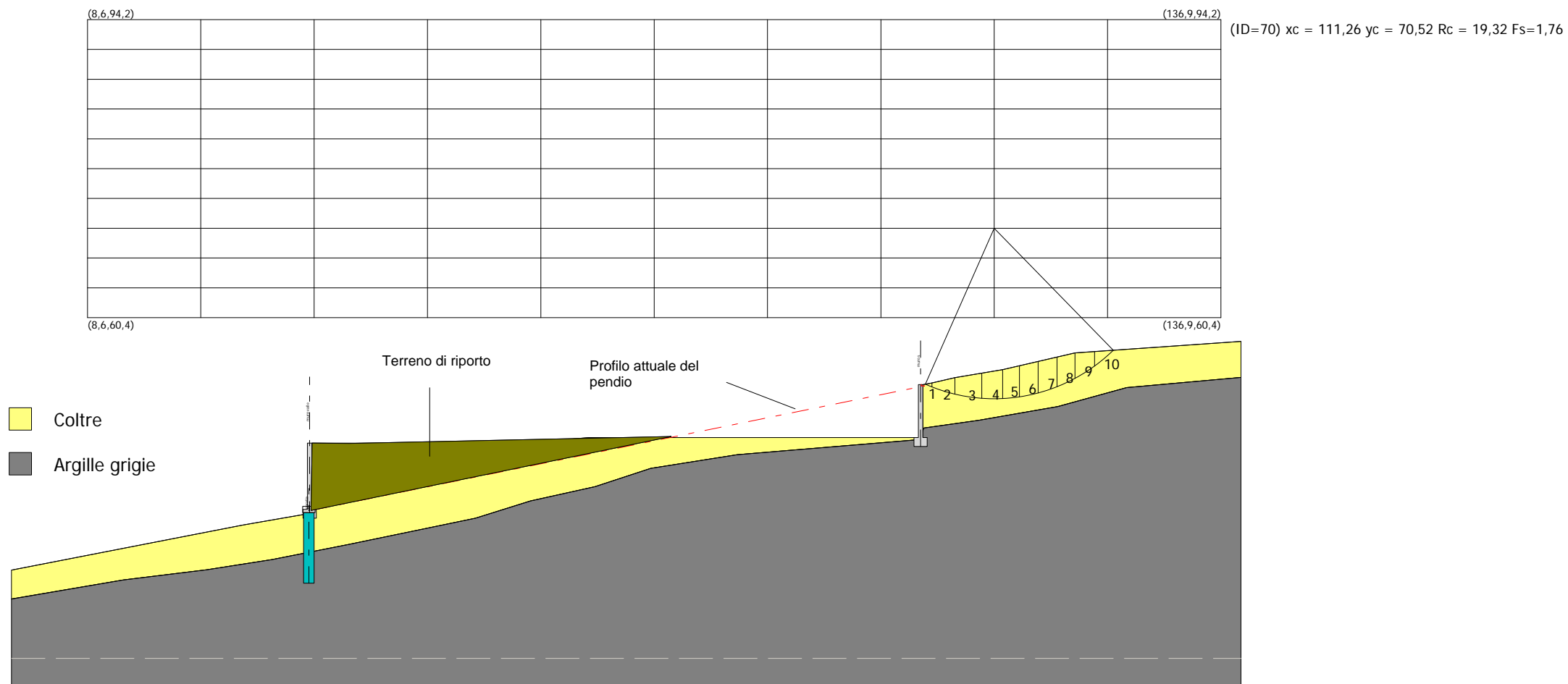
Operatore

Direttore

# VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE

## Metodo di Bishop

### Condizioni di progetto



## Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Zona	Casa del Corto
Lat./Long.	42,824524/11,742079
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

## Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	8,59 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	60,4 m
Ascissa vertice destro superiore xs	136,93 m
Ordinata vertice destro superiore ys	94,15 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

## Coefficienti sismici [N.T.C.]

### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	100,0 [anni]

### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	60,0	0,65	2,52	0,26
S.L.D.	101,0	0,79	2,52	0,27
S.L.V.	949,0	1,71	2,53	0,29
S.L.C.	1950,0	2,08	2,57	0,29

### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,975	0,2	0,0199	0,0099
S.L.D.	1,185	0,2	0,0242	0,0121
S.L.V.	2,4543	0,24	0,0601	0,03
S.L.C.	2,8557	0,28	0,0815	0,0408

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,06
Coefficiente azione sismica verticale	0,03

### Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	31,8
2	26,2	36,9

3	33,6	38,19
4	33,89	45,19
5	33,9	38,65
6	33,9	38,65
7	33,9	45,65
8	47,27	46,16
9	54,93	46,27
10	58,92	46,27
11	65,4	46,81
12	103,17	46,81
13	103,17	52,81
14	104,2	53,0
15	106,8	53,6
16	112,2	54,5
17	120,4	56,4
18	139,2	57,7

#### Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	28,53
2	12,66	30,68
3	22,12	31,84
4	29,51	33,0
5	38,28	34,73
6	45,95	36,31
7	52,53	37,68
8	58,75	39,63
9	66,05	41,25
10	72,37	43,33
11	82,16	44,88
12	102,85	46,59
13	103,28	47,89
14	109,52	48,77
15	118,47	50,33
16	126,25	52,47
17	139,2	53,63

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

#### Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0,1		19	2040	2100	0,00	Coltre
2	2,00		12	2140	2150	0,00	Argille grigie

#### Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m <sup>3</sup> )
1	103,17	46,81	0,5	0,5	6	0,5	0,5	2200
2	33,9	38,65	0,5	0,5	7	0,5	0,5	2200

#### Pali...

N°	x (m)	y (m)	Diametro (m)	Lunghezza (m)	Inclinazione (°)	Interasse (m)
1	33,06377	38,3161	1,2	8	90	1,35

---

**Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]**

---

Fs minimo individuato	1,76
Ascissa centro superficie	111,26 m
Ordinata centro superficie	70,52 m
Raggio superficie	19,32 m

---

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**(ID=70) xc = 111,259 yc = 70,524 Rc = 19,316 Fs=1,762**

---

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,74	-22,6	0,8	352,12	21,13	10,56	0,08	15,4	0,0	552,6	410,5
2	2,6	-17,4	2,72	6435,92	386,16	193,08	0,08	15,4	0,0	7427,0	2179,6
3	3,05	-8,8	3,08	15041,62	902,5	451,25	0,08	15,4	0,0	15761,4	3511,1
4	2,35	-0,7	2,35	14862,65	891,76	445,88	0,08	15,4	0,0	14901,6	3089,1
5	1,9	5,6	1,91	13281,68	796,9	398,45	0,08	15,4	0,0	13084,9	2648,8
6	2,13	11,7	2,17	15550,19	933,01	466,51	0,08	15,4	0,0	15245,7	3063,6
7	2,13	18,3	2,24	15223,97	913,44	456,72	0,08	15,4	0,0	15021,4	3059,6
8	2,04	24,9	2,25	13154,87	789,29	394,65	0,08	15,4	0,0	13202,5	2803,0
9	2,22	32,1	2,62	10529,14	631,75	315,87	0,08	15,4	0,0	10791,2	2615,8
10	2,13	40,2	2,79	3869,76	232,19	116,09	0,08	15,4	0,0	3655,1	1669,2

---