

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 e centrale
di produzione elettrica**

Committente

STEAM s.r.l

Località

Casa del Corto

Comune

PIANCASTAGNAIO (SI)

Incarico n.

33/15

Data

NOVEMBRE 2015



Figura 1
**LOCALIZZAZIONE DELLE AREE
OGGETTO DELLO STUDIO**
Scala 1:25.000



1. PREMESSA

Nel presente lavoro si riferisce sulle risultanze di un'indagine geologica, geotecnica e sismica condotta attraverso **osservazioni di superficie e prove di caratterizzazione in situ** su due aree situate in agro del comune di **PIANCASTAGNAIO**, in località **Casa del Corto**, dove è prevista la **realizzazione di una prima postazione di perforazione di pozzi profondi aventi lo scopo di reperire fluidi geotermici adiacente all'area di centrale, e di una seconda postazione di perforazione finalizzata alla reiniezione dei fluidi**. Per maggiori dettagli sulle opere si rimanda, comunque, alla prassi progettuale.

Le indagini sui terreni e le relative elaborazioni di carattere geologico e geotecnico sono state condotte sulla base della normativa vigente in materia, facendo riferimento alle norme e prescrizioni di cui **D.M. 14/01/2008** (Norme Tecniche per le Costruzioni) e **Circolare Ministeriale 617/2009**, tenuto conto delle istruzioni tecniche per le indagini geologiche e geotecniche nelle zone soggette a rischio sismico, definite con **D.G.R.T. 431/2006 e succ. mod., di cui al D.P.G.R. 36/R/2009**, del "Programma Valutazione Effetti Locali" della Regione Toscana in applicazione della L.R. 56/1997, e delle condizioni di pericolosità e fattibilità definite dal **D.P.G.R. 26/R/2007**, di cui allo Strumento Urbanistico in vigore, in ottemperanza alle norme del P.T.C. della Provincia, e della L.R. 1/2005.

L'indagine si avvale anche dell'esame di prove geognostiche realizzate nel passato, e seguite personalmente dallo scrivente, in prossimità delle aree destinate ad ospitare le postazioni in oggetto; il quadro delle conoscenze deriva pertanto dal compendio delle informazioni provenienti dalle indagini svolte nel passato con quelle realizzate oggi per il presente lavoro.

Il Comune di Piancastagnaio è dotato di **uno S.U. generale redatto secondo le norme della L.R. n. 65 del 10/11/2014**; ne consegue che la Pericolosità geologica, la Pericolosità idraulica e la Sensibilità degli acquiferi (in accordo con il **P.T.C.P. 2010 della Provincia di Siena**) dell'area indagata sono già state classificate nelle indagini geologiche di supporto al vigente Piano

Strutturale; in particolare l'area destinata ad ospitare la postazione dei pozzi di produzione e dell'impianto è stata classificata:

- in **Classe G.2 (Pericolosità MEDIA)** di **Pericolosità geologica**
- in **Classe I.2 (Pericolosità MEDIA)** di **Pericolosità idraulica**;
- in **Classe di Sensibilità 2 (VINCOLO MEDIO)** per la **Tutela degli acquiferi**.

L'area destinata ad ospitare la postazione di **reiniezione** dei fluidi è stata classificata:

- in **Classe G.2 (Pericolosità MEDIA)** di **Pericolosità geologica**
- in **Classe I.1 (Pericolosità BASSA)** di **Pericolosità idraulica**;
- in **Classe di Sensibilità 3 (NESSUN VINCOLO)** per la **Tutela degli acquiferi**.

I terreni esaminati si trovano nei pressi della località Casa del Corto, e rientrano nel **Foglio N° 321 Sez. III – ABBADIA SAN SALVATORE** - della nuova serie della Carta d'Italia in scala 1:25.000 dell'I.G.M.

I sopralluoghi e le prove di caratterizzazione per l'accertamento delle condizioni locali a base della presente relazione sono stati compiuti nel **novembre 2015**. Lo studio, onde consentire la definizione di un quadro geologico e geomorfologico attendibile, è stato esteso alle zone limitrofe.

Si riportano all'interno della presente relazione:

1. **Figura 1: Localizzazione dell'area oggetto dello studio (scala 1:25.000);**
2. **Figura 2: Carta geologica e geomorfologica (da Carta Geologica Regionale) in scala 1:10.000;**
3. **Figura 3: Carta della Pericolosità geologica (stralcio da P.S. comunale) in scala 1:10.000;**
4. **Figura 4: Carta della Pericolosità idraulica (stralcio da P.S. comunale) in scala 1:10.000;**
5. **Figura 5: Carta idrogeologica e della sensibilità degli acquiferi (stralcio da P.S. comunale) in scala 1:10.000;**

- 6. Figura 6: Planimetria in scala 1:10.000 con ubicazione delle indagini per la postazione di sondaggio per la ricerca;**
- 7. Figura 7: Planimetria in scala 1:10.000 con ubicazione delle indagini per la postazione di sondaggio per la reiniezione.**

Si riportano in appendice:

- 1) Stratigrafia del sondaggio S1;**
- 2) Stratigrafia del sondaggio S4;**
- 3) Grafici e documentazione fotografica della prova penetrometrica realizzata nell'area destinata alla postazione di sondaggio per la ricerca;**
- 4) Indagini geofisiche;**
- 5) Parametri sismici;**
- 6) Sezioni e tabulati per la verifica di stabilità del versante nelle condizioni attuali ed in quelle di progetto.**

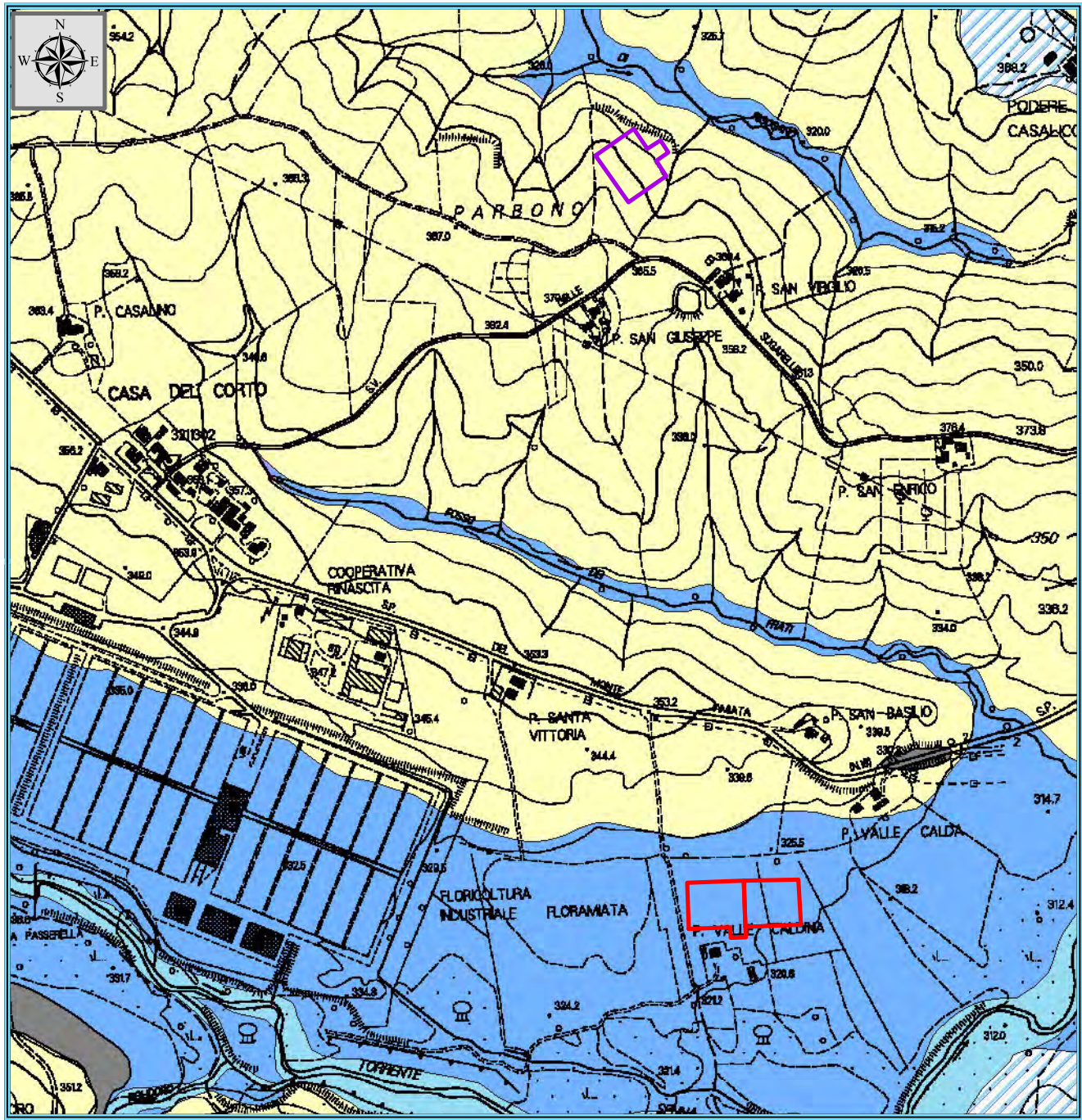


Figura 2
CARTA GEOLOGICA E
GEOMORFOLOGICA
 Scala 1:10.000

Legenda

- Depositi eluvio-colluviali
- Depositi alluvionali attuali
- Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati
- Depositi alluvionali terrazzati

UNITA' NEOGENICA

- Argille azzurre
- Sito di Produzione
- Sito di Reiniezione

2. MODELLAZIONE GEOLOGICA

2.1. QUADRO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO

I terreni affioranti nella zona in esame sono rappresentati da depositi marini essenzialmente argillosi di età pliocenica ai quali si sovrappongono quelli di origine alluvionale che costituiscono il risultato dell'azione di sedimentazione esercitata nella zona dal Torrente Senna e dal Fosso di Rigosano.

Il substrato dell'area è formato dai terreni della **serie trasgressiva neogenica** (limi, argille e argille sabbiose, con rari livelli di sabbie e conglomerati poligenici) che si sovrappongono in discordanza a terreni in facies di flysch appartenenti al *Dominio ligure* anch'essi rappresentati da litotipi essenzialmente argillosi (questi ultimi non affiorano mai nell'area in esame). L'area interessata dalle opere in oggetto si trova, infatti, all'interno della parte più meridionale del **grande bacino marino** che, durante il **Pliocene**, occupava gran parte della Toscana meridionale. L'inizio della trasgressione marina nella depressione venutasi a creare ad oriente della dorsale Seggiano-Montalcino, allungata prevalentemente nella direzione NO-SE, ebbe luogo all'inizio del **Pliocene Inferiore**, allorché una fase tettonica distensiva provocò un abbassamento della depressione, che si veniva individualizzando come una vera fossa tettonica in rapida subsidenza (Val di Chiana, Siena, Radicofani, F. Tevere). Successivamente, nel **Pliocene medio**, si verificò un **generale sollevamento** della regione con definitiva emersione della regione posta a Sud dell'allineamento **Montalcino-Pienza-Montepulciano** che si può considerare come spartiacque tra il bacino senese settentrionale ed il bacino senese meridionale (**GELMINI** - *Studio fotogeologico del bacino neogenico senese*. Boll. Soc. Geol. It. n° XCIII - 1974). Tale sollevamento decretò la chiusura della sedimentazione nel bacino meridionale, mentre nella parte settentrionale seguì una nuova ingressione marina testimoniata dai depositi del Pliocene superiore.

Nell'area di studio i depositi pliocenici sono rappresentati in affioramento da **sedimenti essenzialmente siltosi e argilloso-siltosi di colore da grigio ad avana chiaro**. Nella parte

meridionale del grande bacino marino del Pliocene si ha, infatti, il passaggio dalla facies sabbiosa a quella argillosa. La componente argillosa diviene predominante e i ciottoli e le sabbie risultano confinati in sporadici livelli e lenti inglobati in grossi banchi di argilla. Lo spessore della facies argillosa non è mai direttamente misurabile, ma senz'altro dell'ordine delle **centinaia di metri**; una determinazione precisa non è stata fatta poiché ciò avrebbe palesemente esulato dalle finalità del lavoro.

Al di sopra dei depositi marini pliocenici si rinvengono, lungo l'asta fluviale del Torrente Senna e quella del Fosso di Rigosano, **depositi alluvionali** di granulometria eterogenea, con banchi grossolani (ciottoli e ghiaie) immersi in una matrice più fine, sabbioso-argillosa, alternati a strati di materiale fine. Gli spessori dei depositi alluvionali sono estremamente variabili, ma **localmente rimangono sempre inferiori agli 8 metri**.

2.2. ASPETTI GEOMORFOLOGICI ED IDROGEOLOGICI

2.2.1. Sito di Produzione

La zona studiata si localizza completamente all'interno della pianura alluvionale del Torrente Senna, più precisamente sulla sua sinistra idrografica; la larghezza media della pianura in quest'area è di 700 metri, con una **pendenza longitudinale del 3,5 %**. I fianchi della valle sono impostati su terreni pliocenici limo-argillosi, teneri e facilmente modellabili, che danno vita ad una **morfologia collinare** con rilievi poco elevati e dalla forma tondeggiante, divisi da **impluvi poco incisi**, solcati da corsi d'acqua solo nelle stagioni piovose.

Brusche variazioni di pendenza si hanno solamente in alcuni tratti del margine destro (rispetto al Senna) della pianura alluvionale, allorché il corso d'acqua arriva a lambire i depositi pliocenici, determinando dei fenomeni di erosione accelerata che creano pareti ripide alte anche diversi metri.

Il margine sinistro della pianura alluvionale è occupato da una serie di **terrazzi fluviali**, alcuni dei quali sono stati smembrati da interventi antropici. Tali terrazzi sono verosimilmente legati ad un ringiovanimento del Torrente Senna che è tornato ad incidere i suoi stessi depositi, fino a raggiungere, in alcuni tratti, il substrato rappresentato dai depositi pliocenici; tale caratteristica, comune a molti corsi d'acqua della Toscana meridionale (Orcia, Paglia), è molto probabilmente causata da un progressivo, seppur lentissimo, innalzamento di tutta la fascia appenninica e pre-appenninica. Ciò causa, nei corsi d'acqua, la ricerca di un profilo di equilibrio che è in lento e costante divenire e quindi il progressivo abbassamento dell'alveo.

Durante i sopralluoghi effettuati **non sono emerse osservazioni di ordine geomorfologico che possano costituire ostacolo al rilascio del nulla-osta del vincolo idrogeologico:**

- non sono stati riscontrati elementi che possano far pensare a movimenti di tipo gravitativo od a fenomeni di erosione accelerata a carico dei versanti interessati dall'intervento;
- l'area non è interessata da faglie o altre dislocazioni tettoniche che possano rappresentare linee di debolezza.

In definitiva l'assetto morfologico della zona nel suo complesso è stabile.

La realizzazione nel passato di sondaggi a carotaggio continuo in sponda sinistra del T. Senna (cfr. **Stratigrafia SONDAGGIO N. 4** riportata in appendice), la cui realizzazione fu seguita personalmente dallo scrivente, permise la ricostruzione dettagliata della successione stratigrafica dei depositi che formano la pianura alluvionale; fu riconosciuta la presenza di **un livello potenzialmente acquifero** al di sopra dei depositi pliocenici che costituiscono, senza ombra di dubbio, una base praticamente impermeabile (coefficiente di permeabilità $k = 2,12 \times 10^{-8}$ cm/sec). Tale livello è costituito dai **depositi ciottolosi e ghiaiosi** che appoggiano, con una potenza variabile da 0,90 a 1,40 metri, direttamente al di sopra delle argille plioceniche.

Al di sopra dello strato grossolano permeabile i sondaggi effettuati misero in evidenza la presenza continua di uno **strato limoso-argilloso con sabbia** la cui permeabilità fu accertata

attraverso l'esecuzione di **prove in pozzetto superficiale**; dalle prove emersero valori di permeabilità variabili tra i $4,5 \times 10^{-6}$ cm/sec e $2,6 \times 10^{-7}$ cm/sec.

Nei fori di sondaggio furono installati piezometri per il controllo delle oscillazioni del livello della falda freatica presente nel materasso alluvionale; il monitoraggio dei livelli portò a configurare una situazione idrogeologica in cui lo strato acquifero risultava legato ad **apporti di sub-alveo** provenienti dal Senna; tali apporti, **nei periodi particolarmente piovosi, potevano portare il pelo libero della falda a coincidere con il piano di campagna.**

Si ritiene che tali condizioni possano essere ancora ritenute valide per l'area in esame.

2.2.2. Sito di Reiniezione

La zona studiata si localizza sul fianco settentrionale di un piccolo rilievo collinare che fa da spartiacque tra il bacino del Fosso di Rigosano, a Nord, e quello del Fosso dei Prati, a Sud; i fianchi della dorsale risultano tondeggianti e blandamente incisi da piccoli impluvi che si dirigono verso i due corsi d'acqua sopra citati: l'area di intervento mostra **pendenze contenute**, inferiori al 20%, e nessun indizio di instabilità. Le valli sono impostate su terreni pliocenici limo-argillosi, teneri e facilmente modellabili, solcate da corsi d'acqua solo nelle stagioni piovose.

Durante i sopralluoghi effettuati **non sono emerse osservazioni di ordine geomorfologico che possano costituire ostacolo al rilascio del nulla-osta del vincolo idrogeologico:**

- non sono stati riscontrati elementi che possano far pensare a movimenti di tipo gravitativo od a fenomeni di erosione accelerata a carico dei versanti interessati dall'intervento;
- l'area non è interessata da faglie o altre dislocazioni tettoniche che possano rappresentare linee di debolezza.

In definitiva l'assetto morfologico della zona nel suo complesso è stabile.



Figura 3

CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA
Stralcio da P.S.
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, giaciture 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

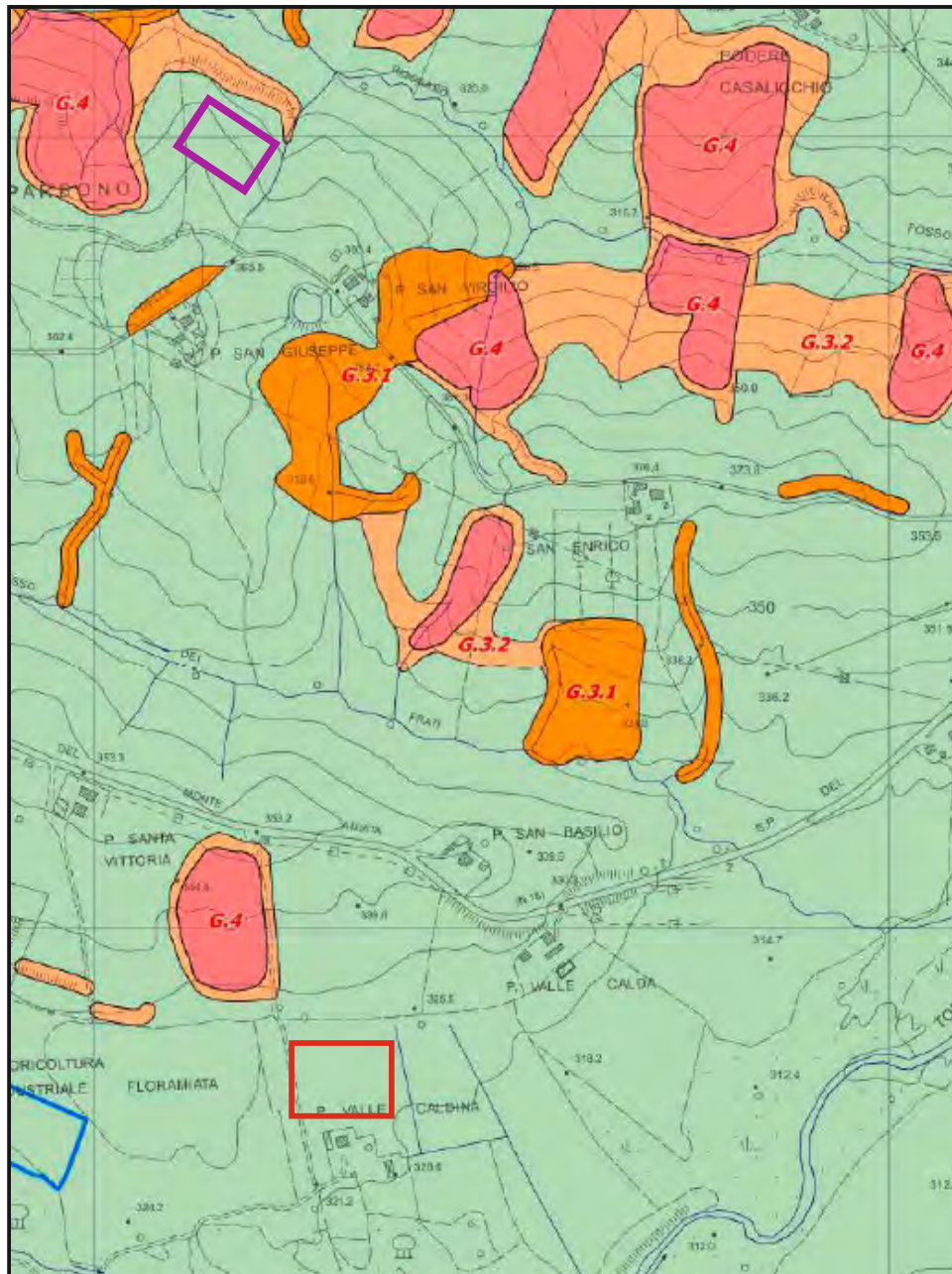


Figura 4


CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

Stralcio da P.S.




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

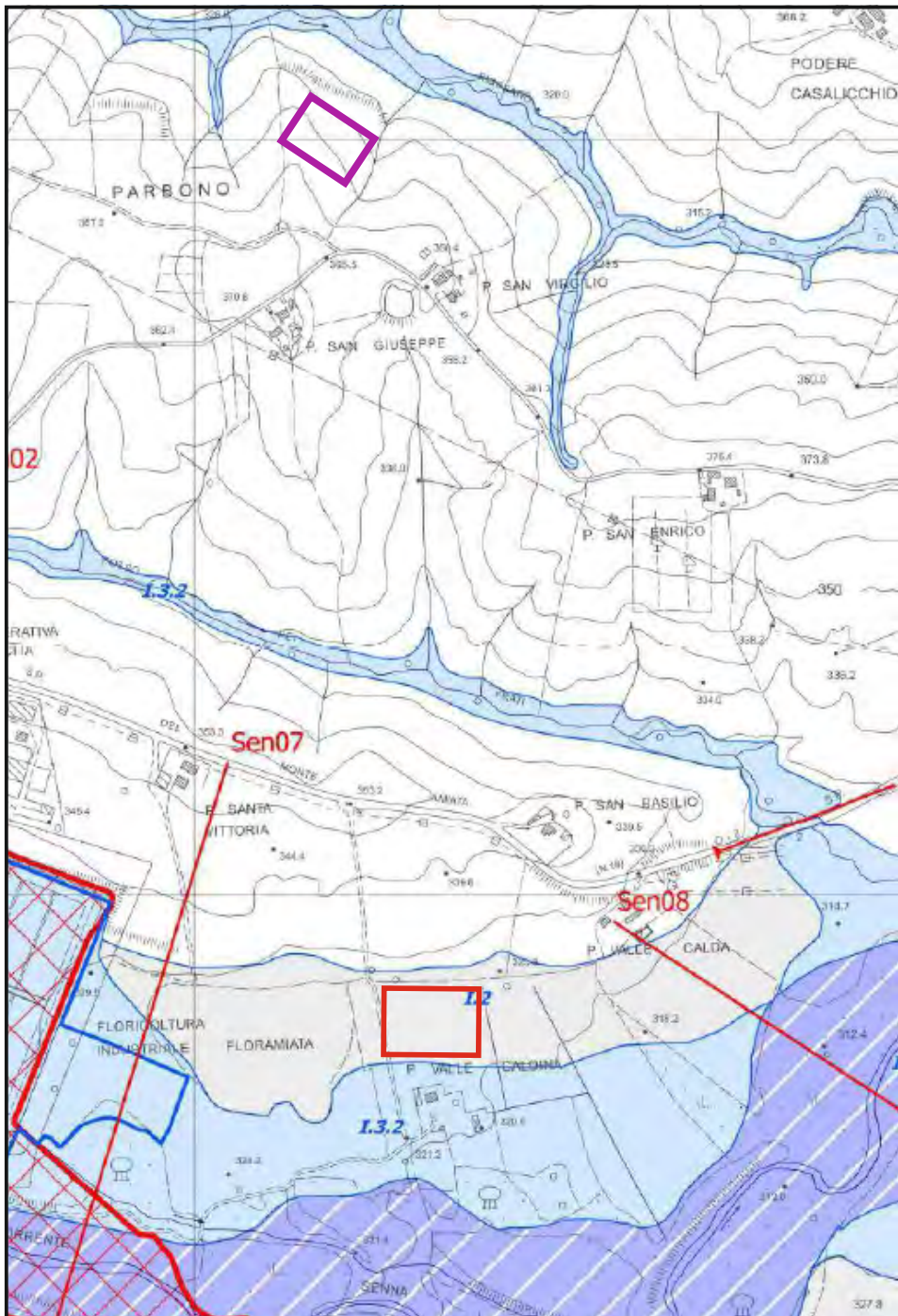


Figura 5

CARTA IDROGEOLOGICA E DELLA SENSIBILITA' DEGLI ACQUIFERI


Stralcio da P.S.

Scala 1:10.000


LEGENDA


TUTELA DEGLI ACQUIFERI

Captazioni di acque per consumo umano


 Zone di rispetto di captazioni a scopo idropotabile (200 m. di raggio dalla captazione)


Sensibilità degli acquiferi (PTCP2010)


 Classe di sensibilità 1 - Vincolo elevato

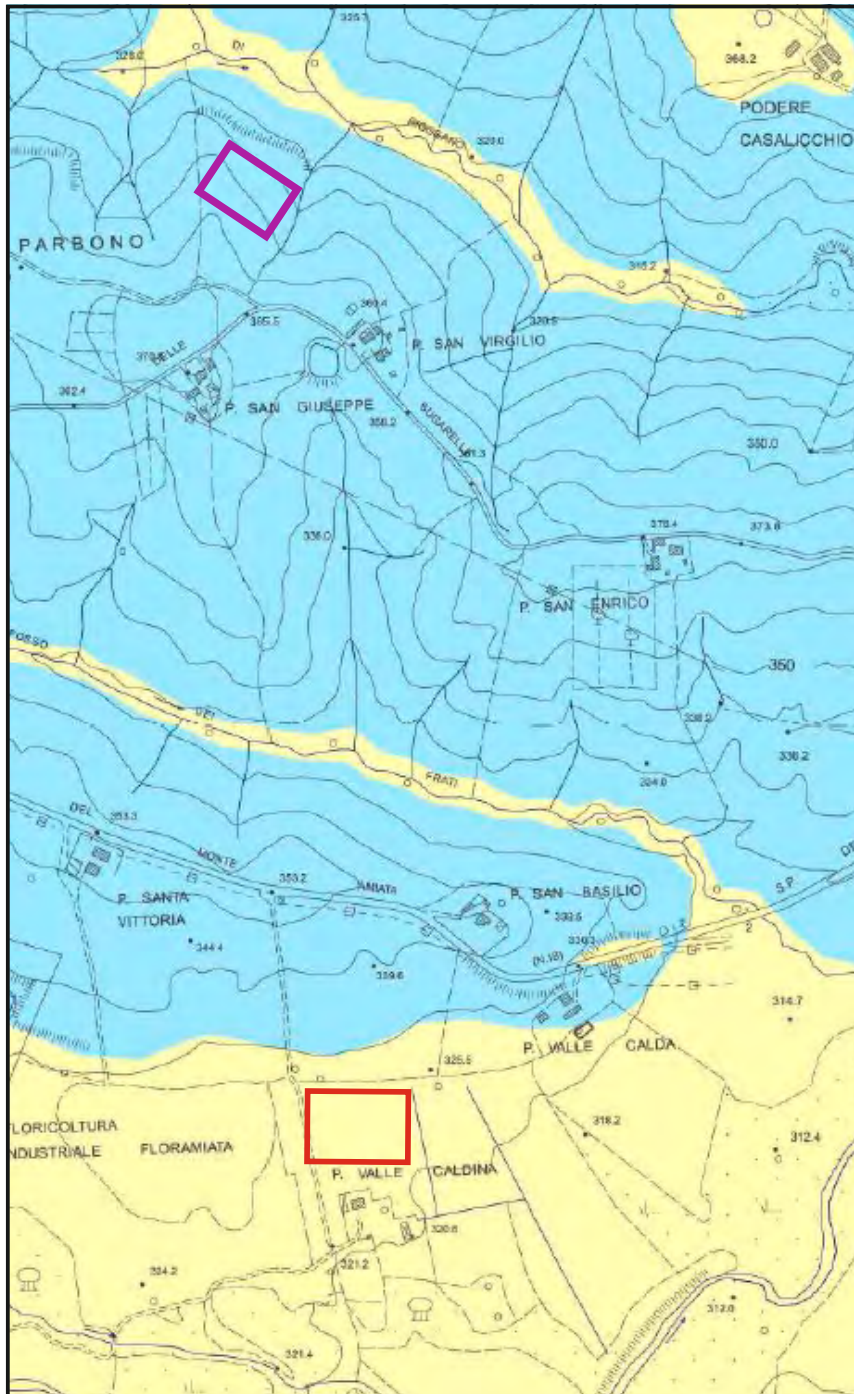
 Classe di sensibilità 2 - Vincolo medio

 Classe di sensibilità 3 - Nessun Vincolo

 N.C. - Non classificato

 Sito di Produzione

 Sito di Reiniezione



Per quanto riguarda gli **aspetti idrogeologici**, i terreni pliocenici mostrano una permeabilità molto bassa, per cui non possono essere sede di falde acquifere.

2.3. Verifica P.A.I.

E' stato verificato, inoltre, che le aree in esame non ricadano all'interno di quelle ad elevato rischio idraulico e idrogeologico così come indicato dalla **Legge 267/98** (meglio conosciuto come "**Decreto Sarno**" poichè emanato a seguito delle calamità naturali che colpiscono la Campania) che prevede misure per la prevenzione del rischio. A tale scopo è stato esaminato il **Piano per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Tevere**; le aree in oggetto non ricadono all'interno delle aree a rischio elevato e molto elevato, **per cui non sono soggette a misure di salvaguardia come indicato nelle Norme del Piano suddetto.**

2.4. ASPETTI SISMICI

Con l'entrata in vigore della nuova normativa sismica (**D.M. 14/01/2008**), le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire da una "**pericolosità sismica di base**" del sito di costruzione che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. Una volta definita la pericolosità sismica di base, ai fini della vigente normativa devono essere definiti i seguenti parametri:

- **a_g** accelerazione orizzontale massima del sito
- **F_0** valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accel. orizz.
- **T_c** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accel. orizz.

Tali valori devono essere espressi in funzione del **periodo di riferimento V_R** per l'azione sismica della costruzione in oggetto; nel caso specifico, avendo gli impianti in progetto una **funzione strategica e pubblica importante**, la **classe degli interventi è la IV**, con **$V_R \geq 100$ anni**.

Inoltre deve essere individuata la **categoria di sottosuolo** di riferimento tra quelle descritte nelle tabelle 3.2.II e 3.2.III della normativa citata. La definizione del tipo di sottosuolo può avvenire

per correlazione con le caratteristiche geomeccaniche dei terreni (Resistenza dinamica con misure di N_{spt} nei terreni incoerenti, Coesione non drenata C_u nei terreni coesivi), acquisite nel corso di sondaggi meccanici profondi almeno 30 metri e/o prove di laboratorio, ma viene realizzata prevalentemente con **tecniche geofisiche**, più affidabili e rapide.

2.4.1. Sito di Produzione

Per la definizione del tipo di suolo è stata realizzata **in situ** una **prospezione sismica** con acquisizione dei segnali per la definizione della V_{s30} con metodologia **MASW**. I metodi di esecuzione dell'analisi e la sua ubicazione sono riportati in allegato alla presente relazione. Il valore del parametro V_{s30} , calcolato secondo la formula prevista dalla normativa vigente riguardo al rischio sismico, lungo la zona investigata dal profilo MASW è risultato **compreso tra 270 e 279 m/s** (valore stimato con tecnica MASW). Sulla base di tali valori il terreno di fondazione investigato rientra nella **classe C** della OPCM n.3274 del 20/03/2003 relativa al rischio sismico e successive modifiche ed integrazioni.

Categoria	Descrizione sottosuolo
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m
B	Rocce tenere e depositi di terreno a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)

Indagine geologica, geotecnica e sismica per la realizzazione di due postazioni di perforazione e centrale di produzione elettrica in località Casa del Corto (Comune di PIANCASTAGNAIO)

Categoria	Descrizione sottosuolo
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Infine deve essere presa in considerazione la **situazione topografica locale**; per condizioni superficiali semplici può essere adottata la tabella 3.2.IV che di seguito viene riportata.

Catego- ria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Nel nostro caso, come messo in evidenza (campitura verde), nelle tabelle soprastanti, si ha:

- **Categoria sottosuolo: C**
- **Categoria topografica: T1**

In appendice si riportano i **parametri sismici** relativi al sito in esame.

2.4.2. Sito di Reiniezione

Per la definizione del tipo di suolo è stata realizzata **in situ** una **prospezione sismica** con acquisizione dei segnali per la definizione della V_{s30} con metodologia **MASW**. I metodi di esecuzione dell'analisi e la sua ubicazione sono riportati in allegato alla presente relazione. Il valore del parametro V_{s30} , calcolato secondo la formula prevista dalla normativa vigente riguardo al rischio sismico, lungo la zona investigata dal profilo MASW è risultato **compreso tra**

252 e 257 m/s (valore stimato con tecnica MASW). Sulla base di tali valori il terreno di fondazione investigato rientra nella **classe C** della OPCM n.3274 del 20/03/2003 relativa al rischio sismico e successive modifiche ed integrazioni.

Categoria	Descrizione sottosuolo
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m
B	Rocce tenere e depositi di terreno a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Infine deve essere presa in considerazione la **situazione topografica locale**; per condizioni superficiali semplici può essere adottata la tabella 3.2.IV che di seguito viene riportata.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$

Indagine geologica, geotecnica e sismica per la realizzazione di due postazioni di perforazione e centrale di produzione elettrica in località Casa del Corto (Comune di PIANCASTAGNAIO)

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Nel nostro caso, come messo in evidenza (campitura verde), nelle tabelle soprastanti, si ha:

- **Categoria sottosuolo: C**
- **Categoria topografica: T1**

In appendice si riportano i **parametri sismici** relativi al sito in esame.

3. MODELLAZIONE GEOTECNICA

3.1. CARATTERIZZAZIONE DEL TERRENO

La caratterizzazione geotecnica del terreno è stata realizzata in maniera distinta per le due aree di intervento.

3.1.1. Sito di Produzione

Nel caso del sito di Produzione la caratterizzazione geognostica del terreno deriva dalla esecuzione di una **prova penetrometrica dinamica con penetrometro super-pesante DPSH TG 63-200 PAGANI** ubicata come da planimetria allegata. La prova è stata spinta sino alla profondità di 3,90 metri dal piano di campagna fino a rifiuto ed ha messo in evidenza, al di sotto dei primi 60 cm di terreno naturale, la presenza di un sedimento sciolto o scarsamente addensato fino alla profondità di 3,00 metri, verosimilmente rappresentato da **limi argillosi** ai quali abbiamo già accennato nel § 2.2.1. a proposito dei sondaggi realizzati nella pianura alluvionale del Senna. Al di sotto dei 3 m la prova ha incontrato terreni più addensati e/o grossolani rappresentati verosimilmente da ghiaie e ciottolami.

3.1.1.1. Stima dei parametri geotecnici

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti

riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} . Pertanto a partire dalla prova penetrometrica dinamica di cui si è detto, correlata in primis con N_{spt} , si è giunti alla definizione dei parametri geotecnici per ogni ministrato di 30 cm di spessore al di sotto della profondità di 0,60 m, individuata come quota minima del piano di fondazione delle strutture.

Quindi è stato calcolato il **valore caratteristico della resistenza R_k** pari al **frattile 5% della resistenza**, ovvero quel valore che ha il 5% di probabilità di essere minorato, per entrambi i terreni. Per il calcolo del **5° percentile** si è fatto ricorso alla seguente formula:

$$R_k = R_m - 1,645 s$$

dove R_m è il valore medio della resistenza considerata, -1,645 è un coefficiente valido per il 5° percentile di una distribuzione gaussiana, s è la deviazione standard del campione.

Di seguito si riporta la tabella rappresentativa dei valori geotecnici caratteristici attribuiti al terreno presente da -0,60 a -3,00 m dal piano di campagna.

PARAMETRI	Valori TERRENO (da 0,60 a 3,00 m da p.d.c.)
Peso per unità di volume γ (Meyerhof)	1,974 t/m ³
Peso per unità di volume saturo γ_{sat} (Meyerhof)	2,171 t/m ³
Coesione c' (Schmertmann, 1975)	0,57 kg/cm ²
Angolo di attrito interno ϕ	7°
Modulo di Young (Schultze-Menzenbach)	84,73 kg/cm ²
Modulo edometrico (Trofimenkov, 1974)	95,03 kg/cm ²

Per quanto riguarda il terreno sottostante a quello sopra descritto, si potrà fare riferimento ad una resistenza attritiva equivalente ad un angolo di attrito interno pari a 45°.

Per la realizzazione delle strutture fondali della postazione di sondaggio si suggerisce di utilizzare **fondazioni di tipo superficiale, su trave rovescia o platea, appoggiate al terreno ad una profondità minima di 0,60 m dal piano di campagna attuale.**

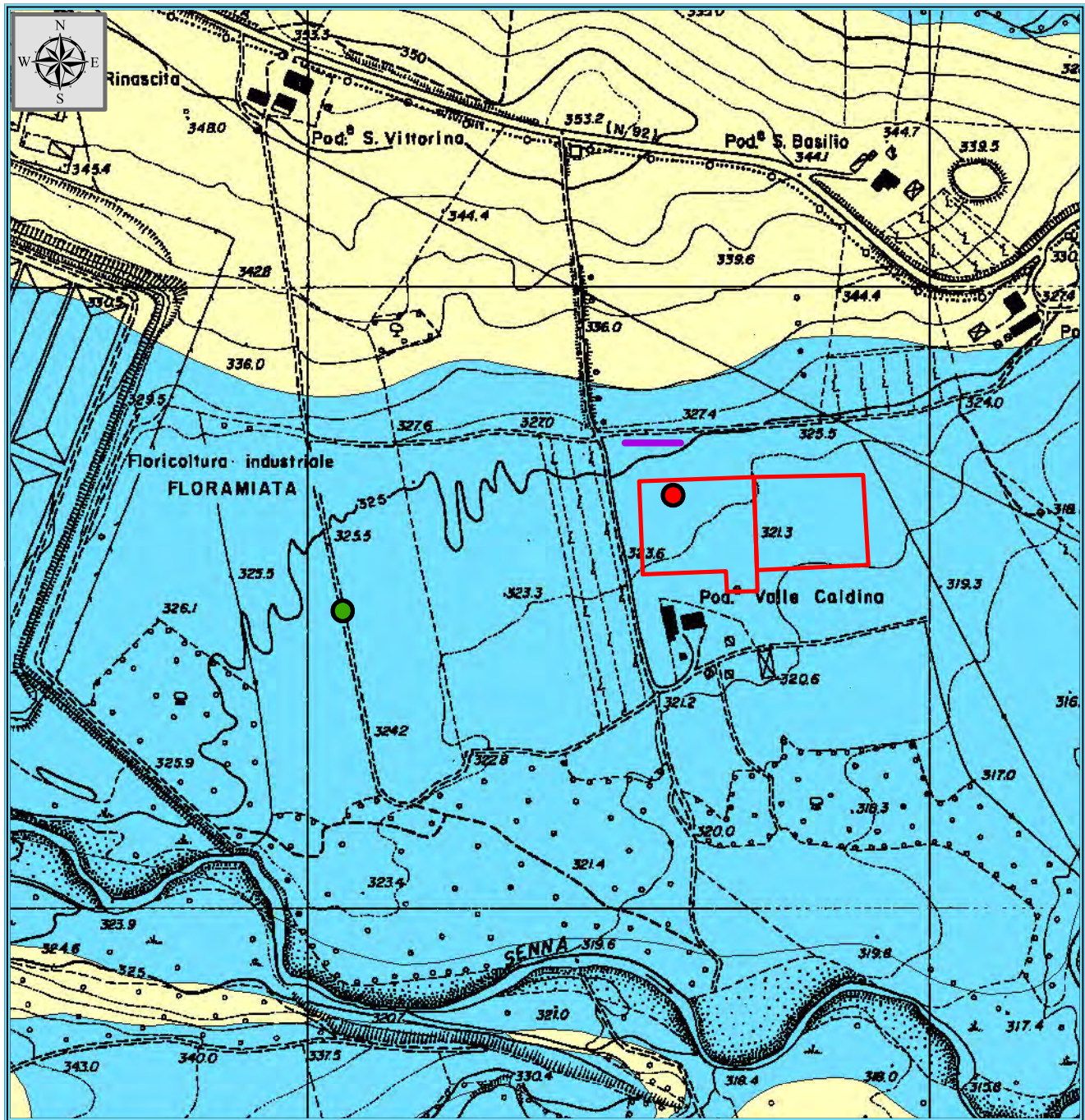








Figura 6
PLANIMETRIA CON UBICAZIONE
INDAGINI GEOGNOSTICHE

Scala 1:5.000

Legenda

-  Depositi alluvionali
-  Argille plioceniche
-  Sito di Produzione
-  Indagine geofisica
-  Sondaggio geognostico NUMERO 4
-  Prova penetrometrica DPSH

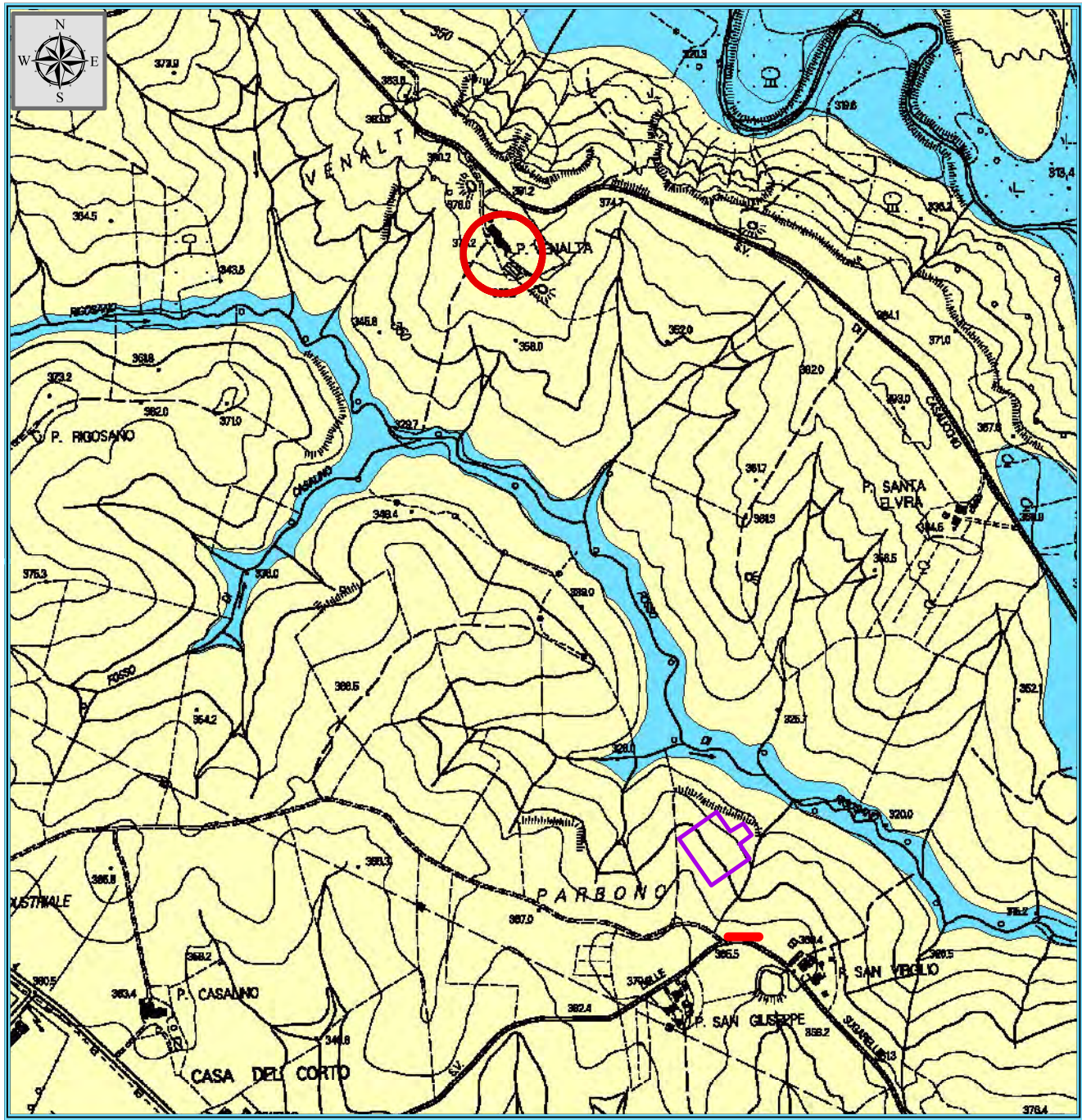


Figura 7
PLANIMETRIA CON UBICAZIONE
INDAGINI GEOGNOSTICHE

Scala 1:10.000

Legenda

- Depositi alluvionali
- Argille plioceniche
- Sito di Reiniezione
- Ubicazione SONDAGGIO NUMERO 1
- Indagine geofisica

3.1.2. Sito di Reiniezione

Nel caso del sito di reiniezione la caratterizzazione geognostica del terreno deriva dalla esecuzione di **indagini geognostiche in area limitrofa e su terreni di caratteristiche analoghe a quelli presenti nell'area di intervento (cfr. Planimetria)**, rappresentate da **un sondaggio a carotaggio continuo** (la cui stratigrafia, **SONDAGGIO N. 1**, è riportata in appendice) e da tre prove SPT in foro.

3.1.2.1. Sondaggio realizzato

La caratterizzazione stratigrafica dei terreni è stata resa possibile dall'esecuzione nel recente passato ed in un contesto litologico identico a quello dell'area in esame di **un sondaggio a carotaggio continuo** ubicato come da **planimetria allegata**; la profondità raggiunta è stata di 10 m. Nel corso del sondaggio sono state realizzate 3 prove S.P.T. a punta chiusa. In appendice si allega la **stratigrafia** del sondaggio.

Il sondaggio ha messo in evidenza la presenza di un terreno superficiale a forte componente organica sino alla profondità di 0,60 m dal piano di campagna, al di sotto del quale è presente un terreno argilloso-limoso di colore avana con tracce di ossidazione dei minerali argillosi; tale terreno mostra un passaggio progressivo verso il basso ad argille grigie molto consistenti che si presentano marcatamente tali a partire dalla profondità di 4,50 sino al fondo del sondaggio.

3.1.2.2. Prove S.P.T.

Durante l'esecuzione del sondaggio sono state realizzate tre prove S.P.T. a punta chiusa; in tali prove si misura il numero di colpi necessario per infiggere il campionatore standard per la profondità di 30 cm battendo con un maglio del peso di 63,5 Kg e con altezza di caduta di 76,2 cm. Le prove vengono eseguite sul fondo del foro di sondaggio infiggendo il campionatore per 45 cm e contando i colpi relativi agli ultimi 30 cm di infissione.

Le prove S.P.T. hanno dato risultati riportati nella tabella che segue:

SONDAGGIO	PROVA N.	PROFONDITÀ	LITOTIPO	N ₁	N ₂	N ₃
1	1	da 2,10 a 2,55 m	COLTRE DI ALTERAZIONE	5	6	7
1	2	da 5,00 a 5,45 m	ARGILLE DEL SUBSTRATO	10	24	34
1	3	da 8,00 a 8,45 m	ARGILLE DEL SUBSTRATO	20	31	49

3.1.2.3. Stima dei parametri geotecnici.

Con le prove S.P.T. sono stati caratterizzati dal punto di vista geotecnico i terreni presenti nell'area di indagine:

- 1) la porzione alterata del substrato argilloso-litoide (STRATO 1);
- 2) il substrato argilloso-litoide non alterato (STRATO 2).

Di seguito si riporta la tabella rappresentativa dei valori attribuiti al terreno.

PARAMETRI	Valori TERRENO 1 (da 0,60 a 4,50 m da p.d.c.)	Valori TERRENO 2 (da 4,50 fino a 10,00 m da p.d.c.)
Gamma (t/m ³)	2,04	2,14
c _v (Kg/cm ²)	0,58	2,00
Angolo di attrito interno ϕ	7°	12°
Modulo di Young (M. elastico) (Kg/cm ²)	130,00	580,00
Modulo edometrico (Kg/cm ²)	59,64	266,10

Per la realizzazione delle strutture fondali della postazione di reiniezione si suggerisce di utilizzare **fondazioni di tipo superficiale, su trave rovescia o platea, appoggiate ad una**

profondità minima di 0,80 m dal piano di campagna attuale. **Per i carichi che dovessero essere affidati al terreno di riporto, quest'ultimo dovrà essere adeguatamente sottoposto a compattazione e rullaggio con mezzi meccanici idonei al fine di conferire allo stesso caratteristiche geotecniche e di resistenza al taglio almeno pari a quelle indicate per il terreno 1 nella tabella del presente paragrafo.**

In considerazione dei fronti che si andranno a realizzare sia a monte che a valle del piazzale di perforazione, **sarà prevista la messa in opera di “terre rinforzate”** per assicurare il contenimento del versante, la stabilità delle scarpate e limitare la capacità erosiva delle acque di scorrimento superficiale sia nelle fasi di cantiere, sia nella configurazione definitiva dell'area.

3.2. VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE

Solamente per la postazione di reiniezione, a partire dai dati del terreno su indicati, lungo la linea di massima pendenza del versante, è stata verificata la stabilità del pendio anche in condizioni sismiche. La verifica è stata realizzata con il **metodo di Bishop sia nelle condizioni attuali che in quelle post-intervento. La verifica ha dato esito positivo: il coefficiente di sicurezza del cerchio critico ha valore pari a 2,16 nelle condizioni attuali e 1,37 nelle condizioni post-intervento.** Si allegano sezioni e tabulati analisi di stabilità (Appendice 6).

Tali indicazioni e quelle relative alla caratterizzazione geotecnica di cui al paragrafo precedente saranno riconfermate in sede di progettazione definitiva **attraverso la realizzazione di prove di caratterizzazione geotecnica in situ.**

4. CONCLUSIONI

Nel presente lavoro si è riferito sulle risultanze di un'indagine geologica, geomorfologica, sismica e geotecnica condotta all'interno di un'area localizzata in agro del Comune di **PIANCASTAGNAIO**, in località **Casa del Corto**, dove è prevista la realizzazione di due postazioni di perforazione e di una centrale geoelettrica.

Dalla **modellazione geologica** è emerso quanto segue:

- l'ossatura dei versanti presenti nell'area di studio è costituita da **depositi marini essenzialmente argillosi** di età pliocenica ai quali si sovrappongono quelli di modesto spessore di **origine alluvionale** che costituiscono il risultato dell'azione di sedimentazione esercitata nella zona dal Torrente Senna;
- durante i sopralluoghi effettuati non sono stati riscontrati elementi che possano far pensare a movimenti di tipo gravitativo attivo a carico delle porzioni di versante sulle quali sono previste le opere in oggetto;
- per quanto riguarda gli **aspetti idrogeologici**, il complesso argilloso che costituisce il substrato del versante destinato ad ospitare la postazione di sondaggio per la reiniezione è da considerare un complesso sostanzialmente **impermeabile**. Invece la pianura alluvionale del Torrente Senna, che ospiterà il sito di Produzione, presenta una modesta falda idrica alimentata da apporti di sub-alveo del fiume, contenuta all'interno dei **depositi ciottolosi e ghiaiosi** che appoggiano, con una potenza variabile da 0,90 a 1,40 metri, direttamente al di sopra delle argille plioceniche, ad una profondità attorno ai 3-4 metri dal piano di campagna;
- per quanto riguarda gli **aspetti sismici**, in ossequio al **D.M. 14.01.08**, sono state individuate la pericolosità sismica di base e le **categorie di sottosuolo (C)** e **topografiche (T1)** dei due siti, dalle quali sono stati determinati i relativi parametri e coefficienti sismici, riportati in appendice.

Dalla **modellazione geotecnica** è emerso quanto segue:

- la caratterizzazione geotecnica del terreno destinato ad ospitare il **sito di Produzione** è derivata dalla esecuzione di una **prova penetrometrica dinamica in situ con penetrometro super-pesante DPSH TG 63-200 PAGANI**;
- a partire dalla prova di cui sopra, correlata con N_{spt} , si è giunti alla definizione dei **parametri geotecnici caratteristici** del terreno, come indicato nel § 3.1.1.1, con buoni risultati nei riguardi della resistenza al taglio;
- la caratterizzazione geotecnica del terreno destinato ad ospitare il **sito di reiniezione** è derivata dalla esecuzione di indagini geognostiche in area limitrofa e su terreni di caratteristiche analoghe a quelli presenti nell'area di intervento;
- a partire dalle prove di cui si è detto, correlate con N_{spt} , si è giunti alla definizione dei **parametri geotecnici caratteristici** del terreno, come indicato nel § 3.1.2.3, che possono essere considerati soddisfacenti;
- per la postazione di sondaggio della reiniezione è stata verificata la stabilità del pendio in condizioni sismiche **sia nello stato attuale che in quello post-intervento con esito positivo**: il coefficiente di sicurezza del cerchio critico ha valore pari a 2,16 nelle condizioni attuali e 1,37 nelle condizioni post-intervento;
- la realizzazione della postazione di reiniezione richiederà la creazione di "terre rinforzate" per assicurare la stabilità delle scarpate e limitare la capacità erosiva delle acque di scorrimento superficiale sia nelle fasi di cantiere, sia nella configurazione definitiva dell'area;
- in entrambe le aree **il terreno derivante dagli sbancamenti** necessari per individuare i piani fondali delle postazioni di sondaggio verrà risistemato sul posto.

Indagine geologica, geotecnica e sismica per la realizzazione di due postazioni di perforazione e centrale di produzione elettrica in località Casa del Corto (Comune di PIANCASTAGNAIO)

Alle condizioni sopra specificate le opere in progetto vengono dichiarate fattibili da un punto di vista geologico, geomorfologico e geotecnico.

Provvedimenti più circostanziati saranno concordati con la Direzione dei Lavori con il procedere dell'intervento.

Il Geologo

ARCIDOSSO, novembre 2015



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

APPENDICE 1

Stratigrafia del sondaggio S1

Quota		Sez. Strat.	Descrizione terreni	Prove SPT			Falda	INCLINOMETRO	
								Quota	Sezione
Coord.: X = Y =				Committente: MADURAI s.a.			SONDAGGIO		
Quota: 341 m s.l.m.				Cantiere: PIANCASTAGNAIO - Località Venalta			NUMERO		
				Data: 20 marzo 2014			1		
0.00			Terreno naturale a forte componente organica						
0.60									
1.50		→	Campione 1						
2.10			Argilla limosa di colore avana con tracce di ossidazione dei minerali argillosi; verso il basso passaggio progressivo verso argille più marcatamente grige, consistenti e molto consistenti	5					
					6				
					7				
4.50			Argilla limosa e limo argilloso grigio molto consistente						
5.00					10				
					24				
					34				
8.00				20					
					31				
					49				
10.00									

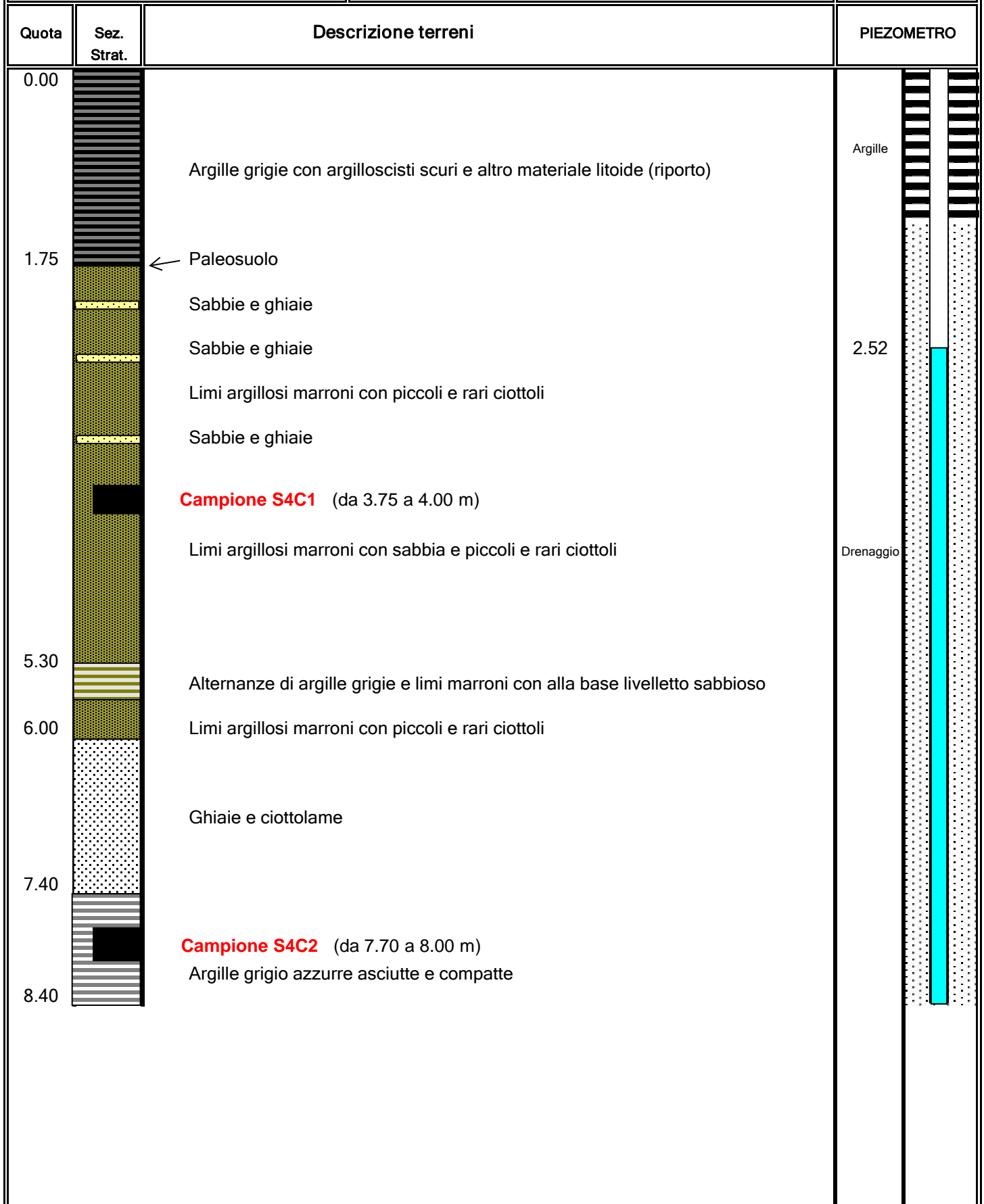
APPENDICE 2

Stratigrafia del sondaggio S4

Tavola 6
Colonna stratigrafica

Committente: FLORAMIATA SPA
Cantiere: Casa del Corto
Data: 2 Febbraio 1998

SONDAGGIO
NUMERO
4



APPENDICE 3

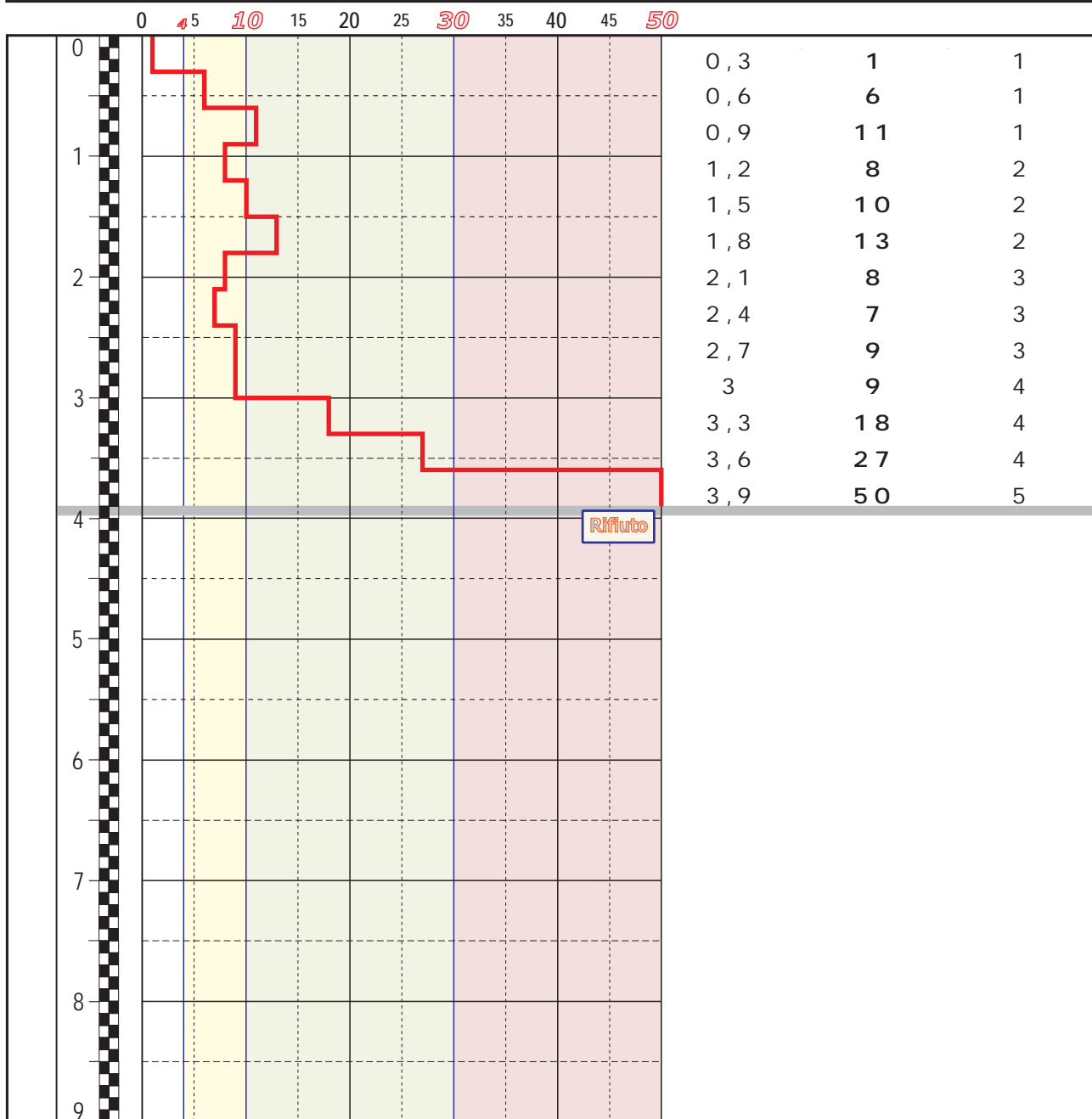
Grafici e documentazione fotografica della prova penetrometrica realizzata nell'area destinata alla postazione di sondaggio per la ricerca



Via Davide Lazerretti, 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°17620/17/00 rilasciata il 13.05.2014
 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

Committente: Dott. Geol. Daniele Nenci		Ubicazione indagine: Località Casa del Corto, Comune di Piancastagnaio (SI)		Data esecuzione: 18.11.2015	
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.			PROVA DPSH 1		
Valutazione addensamento (secondo norme A.G.I.): <input type="checkbox"/> molto sciolto <input type="checkbox"/> sciolto <input type="checkbox"/> medio <input type="checkbox"/> denso			Falda: _____ Soggiacenza dal p.c.: _____ Note sperimentatore: _____ <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> si		
Schema costruttivo piezometro	Profondità dal piano campagna	RESTITUZIONE GRAFICA	VALORI DI RESISTENZA		
		Numero dei colpi (N ₃₀)	Prof. (m)	N ₃₀ (n)	Asta (n)



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

Operatore
Maurizio Serrini

Direttore
[Signature]



■ Via Davide Lazerretti, 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°17620/17/00 rilasciata il 13.05.2014
 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

Committente: <i>Dott. Geol. Daniele Nenci</i>	Ubicazione indagine: <i>Località Casa del Corto, Comune di Piancastagnaio (SI)</i>	Data esecuzione: <i>18.11.2015</i>
<h3><i>PROVA DPSH 1</i></h3>		

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Operatore
Maurizio Serrini

Direttore
[Signature]

APPENDICE 4

Indagini geofisiche

RELAZIONE GEOFISICA

1 PREMESSA

La presente indagine geofisica è stata eseguita nei pressi della frazione Casa del Corto nel comune di Piancastagnaio. Le aree studiate durante quest'indagine sono due:

- La prima localizzata a SE dell'abitato di casa del corto il cui centro ha coordinate 42,844434 e 11,743161 (WGS84);
- La seconda localizzata a NE dell'abitato di Casa del Corto il cui centro ha coordinate 42,824038 e 11,741886 (WGS84)

In entrambe le aree è stata effettuata un indagine sismica in tecnica MASW al fine di dedurre il parametro Vs30 utile nella definizione delle azioni sismiche attese in quest'area.

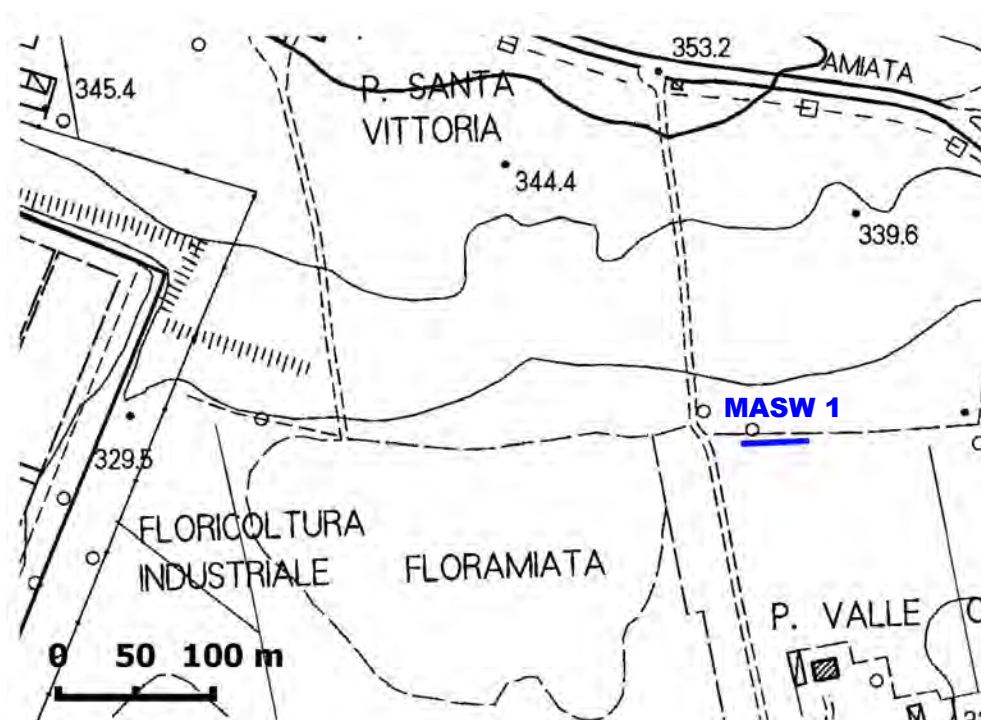


Fig.1: ubicazione stendimento utilizzato per l'esecuzione della MASW. 1

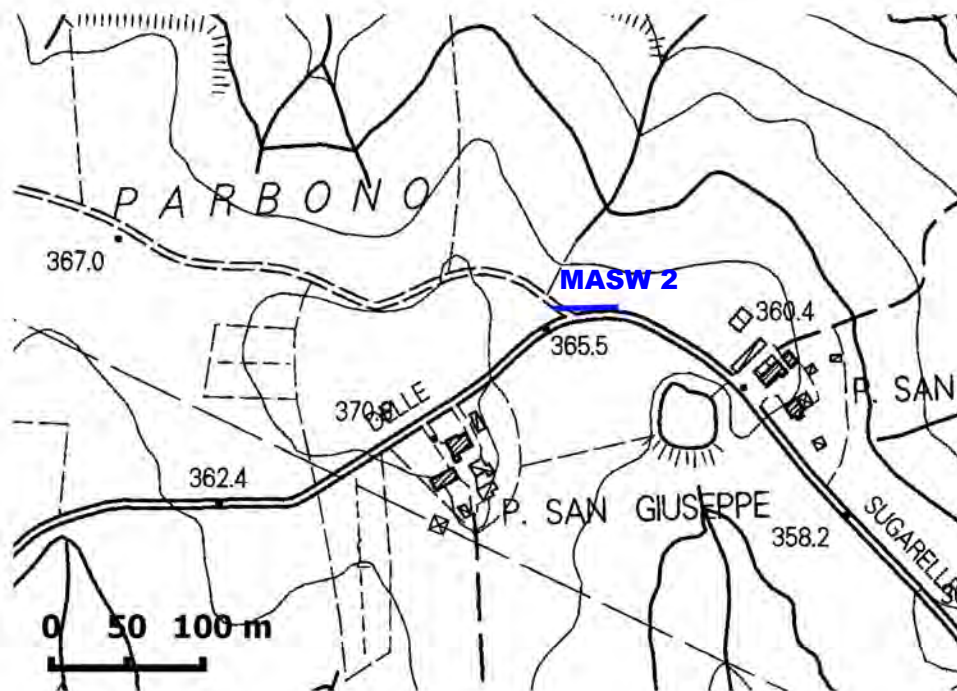


Fig.1: ubicazione stendimento utilizzato per l'esecuzione della MASW. 2

2 CENNI TEORICI SUL METODO MASW

2.1 Introduzione generale

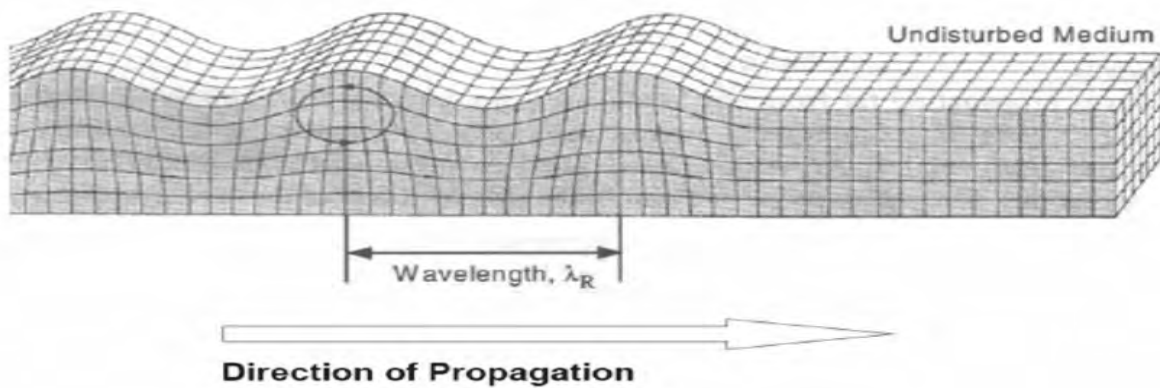


Fig.2: Schema onda superficiale di Rayleigh

La tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è un metodo d'indagine

geofisica, sviluppato e diffusosi 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 Vs 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 e 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

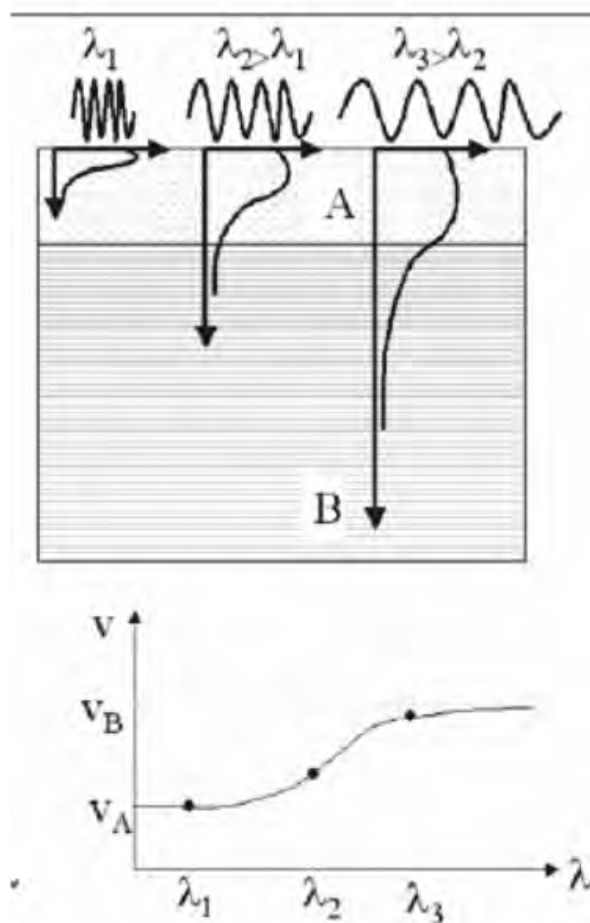


Fig.3: curva di dispersione della velocità delle onde superficiali

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.

2.2 Analisi dati

L’obiettivo dell’elaborazione di un segnale acquisito con la tecnica MASW è essenzialmente

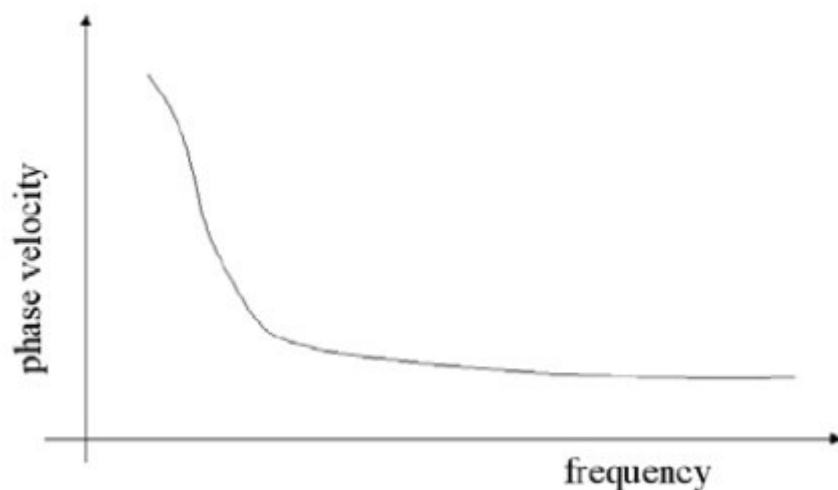


Fig.4: esempio di uno spettro di velocità

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.

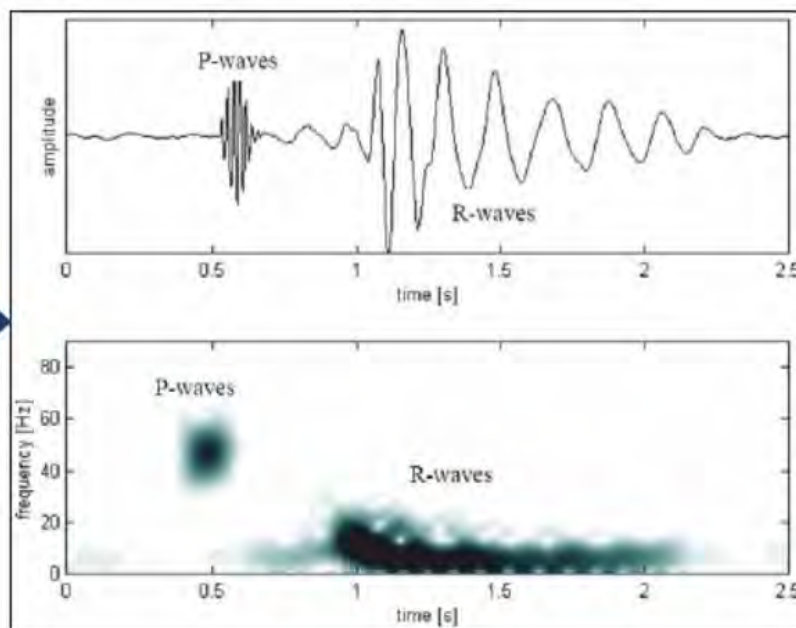


Fig.5: schema di un sismogramma con relativo spettro f-k

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 generale prevedono la selezione di un profilo V_s iniziale da cui, risolvendo il problema diretto, viene ricavata la curva di dispersione la quale 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.

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
- un'unità di testa

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.



Fig.6: documentazione fotografica MASW 1



Fig.7: documentazione fotografica MASW 2

4 Risultati conseguiti

In questa sezione verranno descritte esaurientemente le metodologie utilizzate per l'acquisizione, il processing e l'inversione dei sismogrammi; verrà inoltre fornita una descrizione dell'attendibilità del risultato unita ad una breve interpretazione.

4.1 Acquisizione

Il sismogramma è stato acquisito ponendo una distesa lunga 22 metri con 12 geofoni ad interasse di 2m. Per evitare o diminuire gli effetti dati dall'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. Quindi sono state effettuate una serie di energizzazioni da entrambi i lati dello stendimento da cui si è ricavato due sismogrammi con 24 canali. Si è energizzato da entrambi i lati per controllare se è verificata la condizione di strati piani e paralleli, infatti se i profili di velocità delle onde S, dedotti dalle curve di dispersione registrate ai due estremi dello stendimento, dovessero venire molto diversi avremmo la prova che siamo in una situazione dove la piano parallelità

non è verificata e quindi i nostri profili delle Vs avrebbero un significato qualitativo e darebbero poche informazioni sul reale spessore e velocità del sismostrato.

4.2 Processing e picking

In questa sezione verrà brevemente descritta la sequenza di processing applicata al sismogramma prima di effettuare l'inversione; il software usato per il processing è GEOPSY (GEOPhysical 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.

4.3 Inversione

L'inversione 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 parole semplici 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. La linea guida generale che si è seguito è quella di cercare sempre un buon compromesso tra capacità di ricerca del nostro algoritmo e tempi computazionali.

4.4 Descrizione risultati

In entrambe le indagini sismiche in tecnica MASW è stato utilizzato uno stendimento **lungo 22 m** i geofoni sono stati infissi sul terreno attraverso la punta di acciaio inox di cui sono dotati.

Per quanto riguarda la **MASW 1**, lo **shot A (allegato 2)** è stato eseguito ad una distanza di **7 m** dal primo geofono mentre lo **shot B (allegato 3)** è stato eseguito ad una distanza di **8 m** dall'ultimo. I due profili sono simili; il profilo derivante dallo shot A è caratterizzato da 4 livelli:

- il primo ha velocità di **245 m/s** e spessore di **2,5 m**;
- Il secondo ha velocità di **105 m/s** e spessore di **1,4 m**;
- Il terzo ha velocità di **215 m/s** spessore di **16,1 m**;
- Il quarto ha velocità di **410 m/s** e **spessore superiore ai 10 m**.

Anche Il profilo derivante dallo shot B è caratterizzato da 4 livelli:

- il primo ha velocità di **260 m/s** e spessore di **2,2 m**;
- Il secondo ha velocità di **105 m/s** e spessore di **1,5 m**;
- Il terzo ha velocità di **235 m/s** spessore di **11,1 m**;
- Il quarto ha velocità di **405 m/s** **spessore superiore ai 15 m**.

Nell'**allegato 4** sono stati inseriti due gruppi di grafici che mostrano come varia il misfit tra il modello calcolato e quello misurato rispetto alle interazioni. In questi grafici vengono

analizzati i parametri di inversione principali che sono la V_s e la profondità del tetto dei vari livelli individuati dall'inversione. In tali grafici si mostra come l'algoritmo ricerca il modello migliore all'interno dello spazio dei parametri. Tramite questo insieme di grafici si può capire quale dei parametri individuati durante l'inversione (V_s e profondità) è definito da una netta convergenza verso il valore ottenuto e quale invece risulta essere definito da un range di valori tutti ugualmente validi. Nel caso della MASW 1 si vede come in entrambi gli shot si ottiene un'ottima convergenza sia per quanto riguarda gli spessori che per quanto riguarda le velocità.

Nella **MASW 2**, sia lo **shot A** che lo **shot B**, riassunti negli **allegati 6 e 7**, sono stati eseguiti ad una distanza di **7 m** dal primo geofono. I due profili sono simili; il profilo derivante dallo shot A è caratterizzato da 3 livelli:

- il primo ha velocità di **180 m/s** e spessore di **2,5 m**;
- Il secondo ha velocità di **255 m/s** e spessore di **9,3 m**;
- Il terzo ha velocità di **290 m/s** e **spessore superiore ai 17,8 m**.

Anche il profilo derivante dallo shot B è caratterizzato da 3 livelli:

- il primo ha velocità di **180 m/s** e spessore di **2,2 m**;
- Il secondo ha velocità di **230 m/s** e spessore di **10,1 m**;
- Il terzo ha velocità di **270 m/s** **spessore superiore ai 17 m**.

In questo caso dall'analisi dell'andamento del misfit con le iterazioni (**allegato 8**) si vede come la convergenza non è così netta come nel caso precedente, soprattutto per quanto riguarda gli spessori. Questo deve portarci ad osservare il profilo di velocità in maniera critica cercando di vedere il range di variazione dei parametri che nel grafico dello spazio dei parametri convergono in maniera meno netta

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:

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

Sulla base del valore calcolato di V_{s30} vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E alle quali corrisponde un differente spettro di risposta elastico.

La V_{s30} dell'area in cui è stata eseguita la **MASW 1** è di **270 m/s** per il profilo derivante dallo **shot A** e di **279 m/s** per quello derivato dallo **shot B**; mentre la V_{s30} dell'area in cui è stata eseguita la **MASW 2** è di **257 m/s** per lo **shot A** e di **252 m/s** per lo **shot B**. il substrato è a profondità superiore ai 20 m in entrambi i casi, per questo si assegna ad entrambe le aree un suolo di **categoria C**.

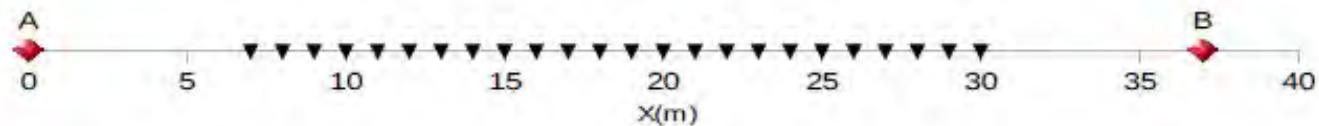
Multichannel Active Source Analysis: Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

Allegato 1: Ubicazione e geometria stendimento MASW 1



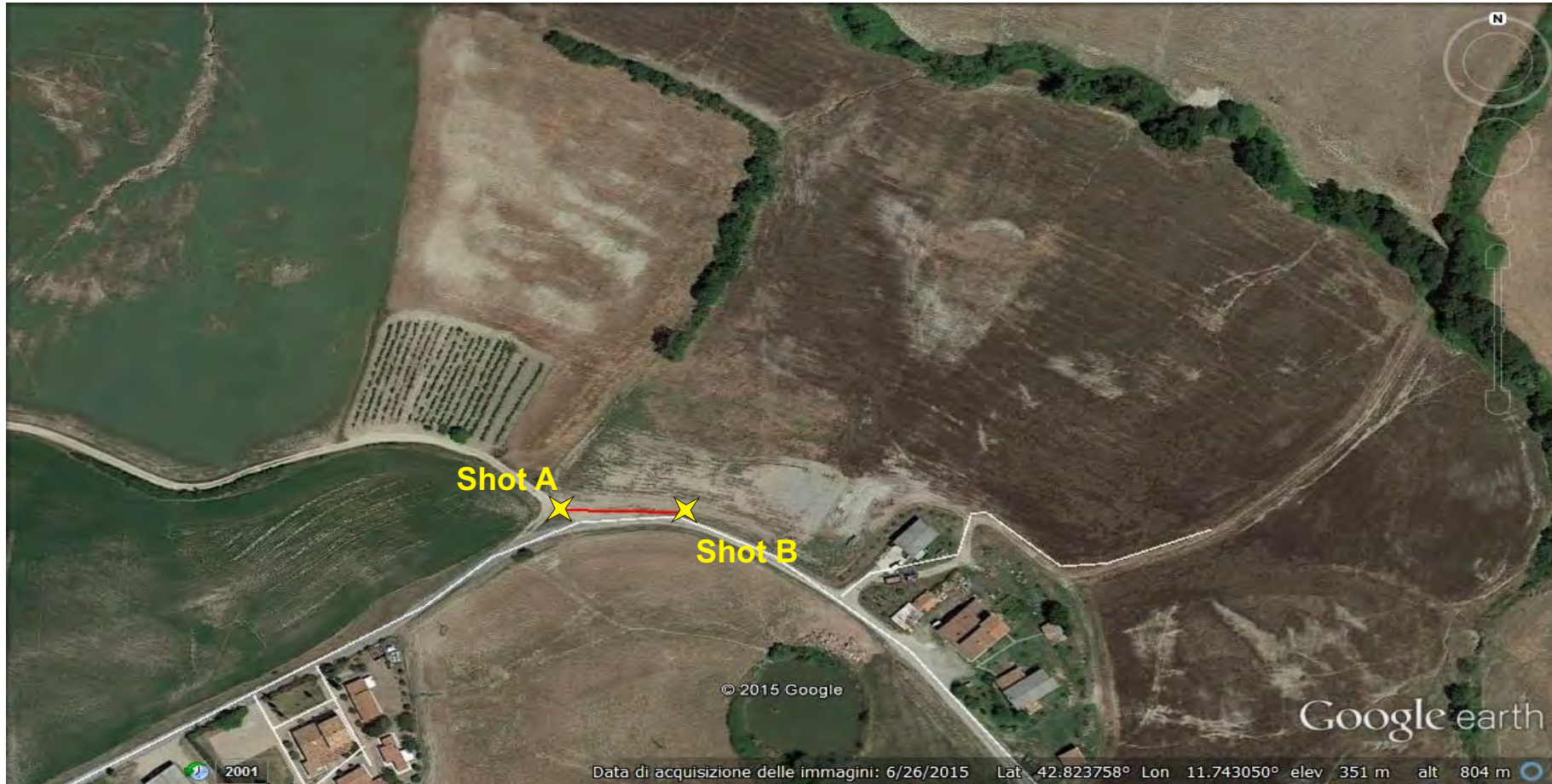
Schema di acquisizione

▼ Reicever ◆ Source



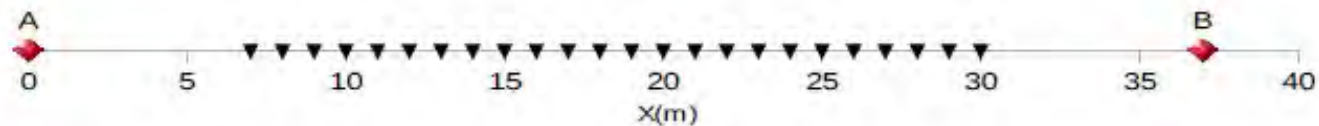
Multichannel Active Source Analysis: Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

Allegato 2: Ubicazione e geometria stendimento MASW 2



Schema di acquisizione

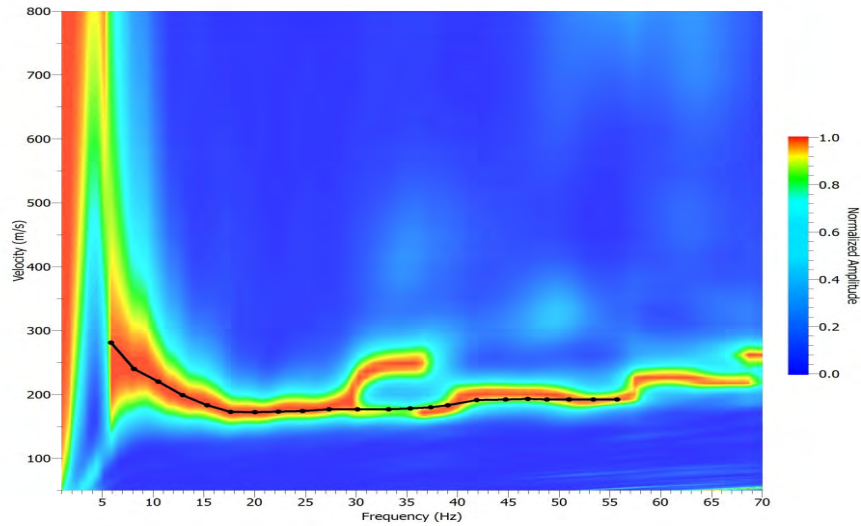
▼ Reicever ◆ Source



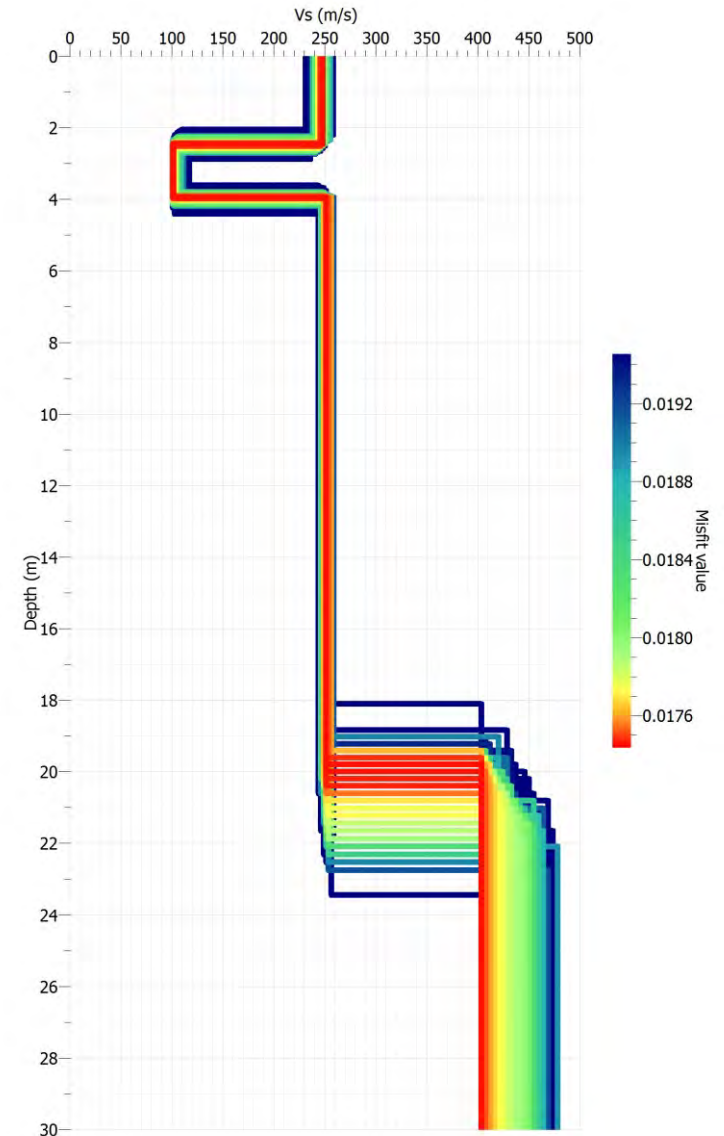
Multichannel Active Source Analysis: Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

Allegato 3: MASW 1 shot A

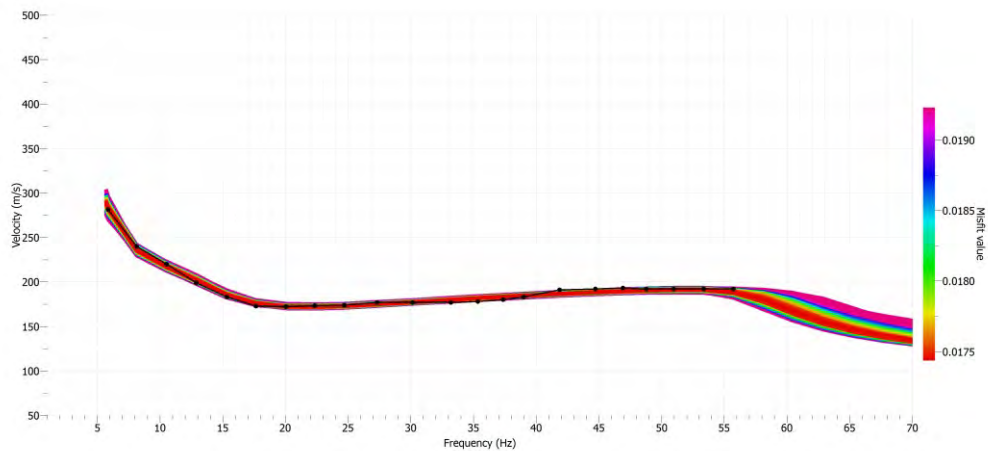
CURVA DI DISPERSIONE MISURATA E RELATIVO PICKING



PROFILO Vs



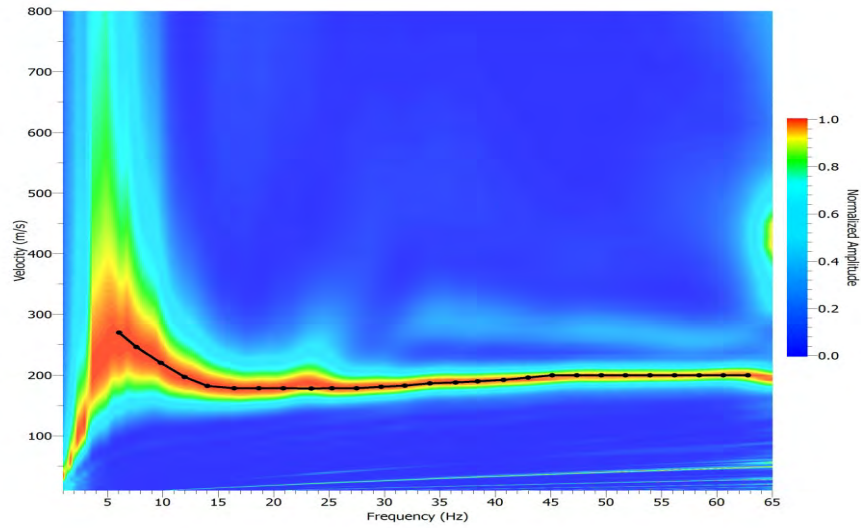
PICKING CURVA MISURATA (NERA) E CURVE DI DISPERSIONE INVERTITE



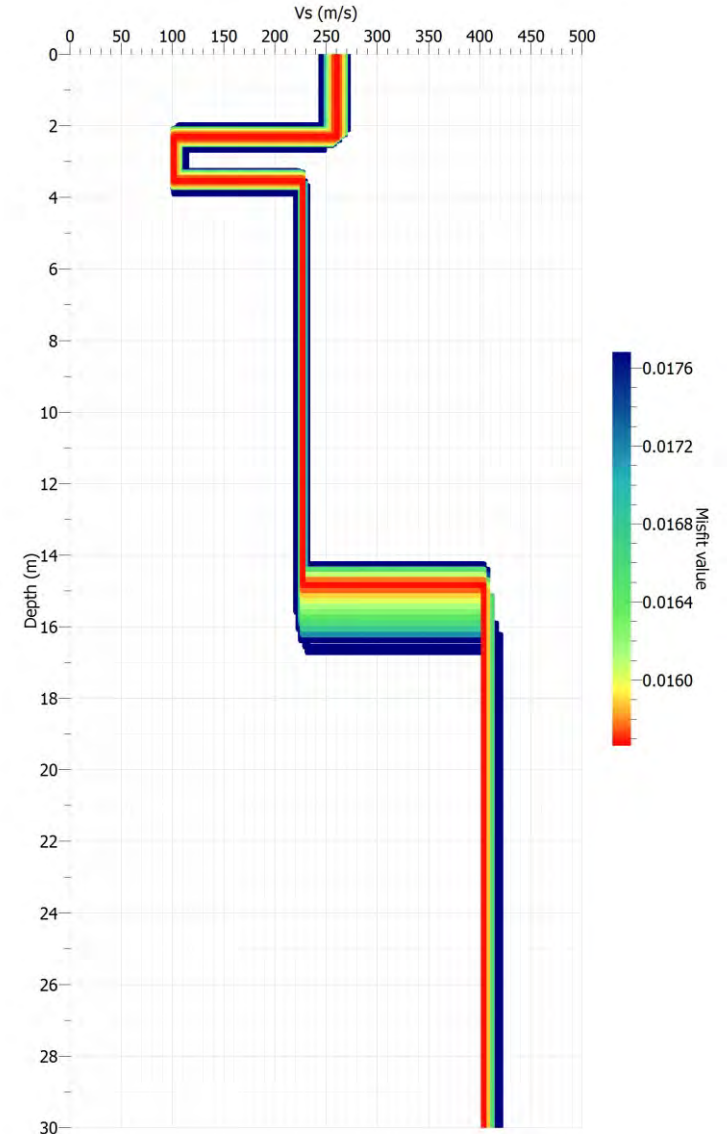
Multichannel Active Source Analysis: Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

Allegato 4: MASW 1 shot B

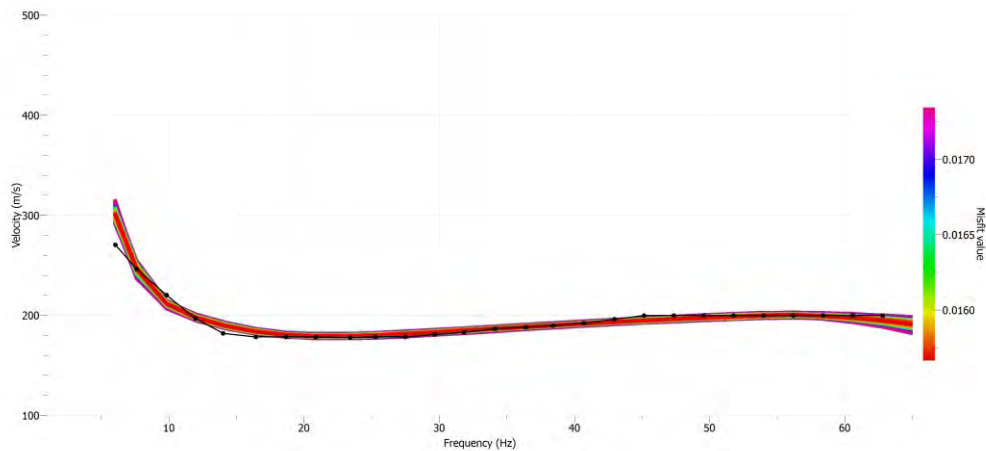
CURVA DI DISPERSIONE MISURATA E RELATIVO PICKING



PROFILO Vs



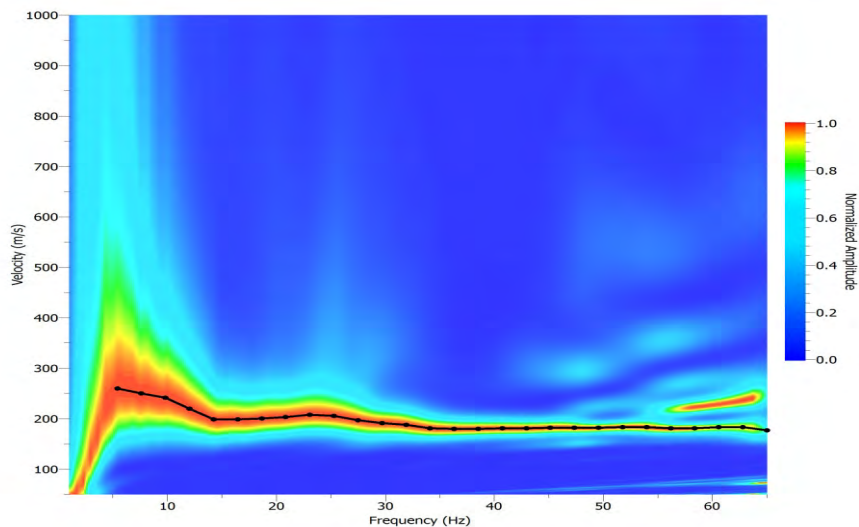
PICKING CURVA MISURATA (NERA) E CURVE DI DISPERSIONE INVERTITE



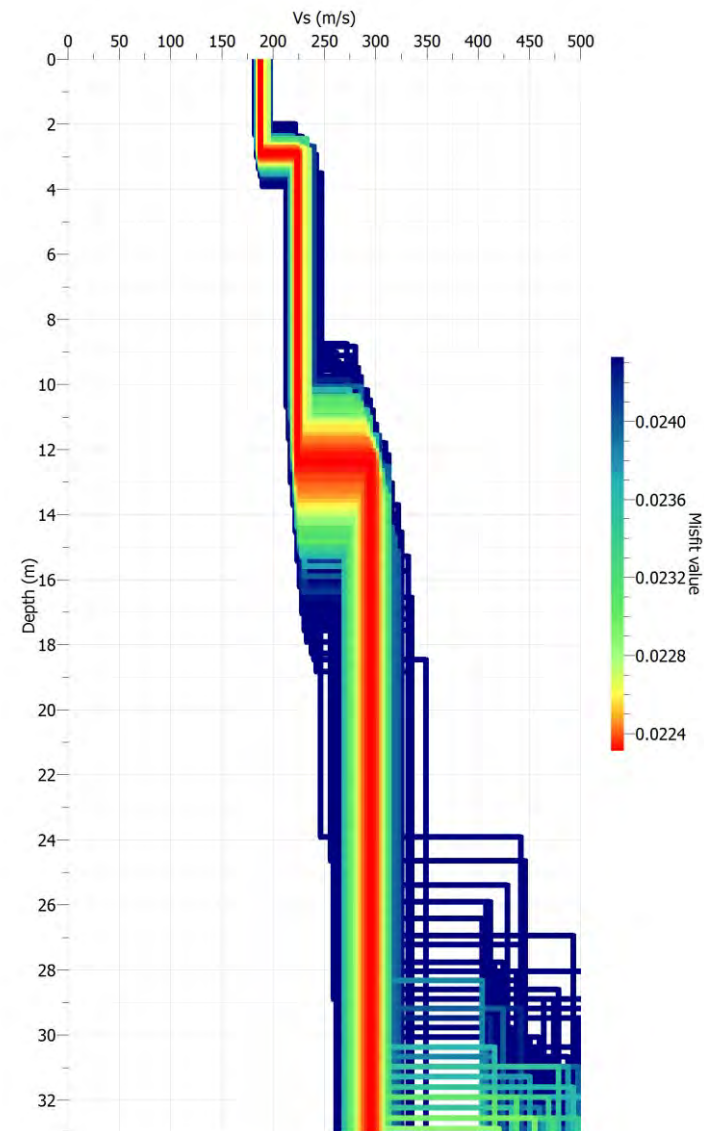
Multichannel Active Source Analysis: Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

Allegato 5: MASW 2 shot A

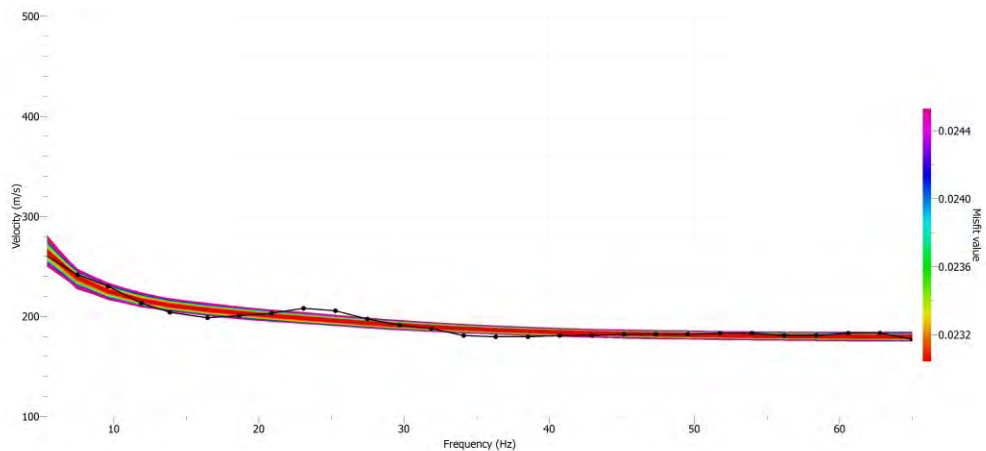
CURVA DI DISPERSIONE MISURATA E RELATIVO PICKING



PROFILO Vs



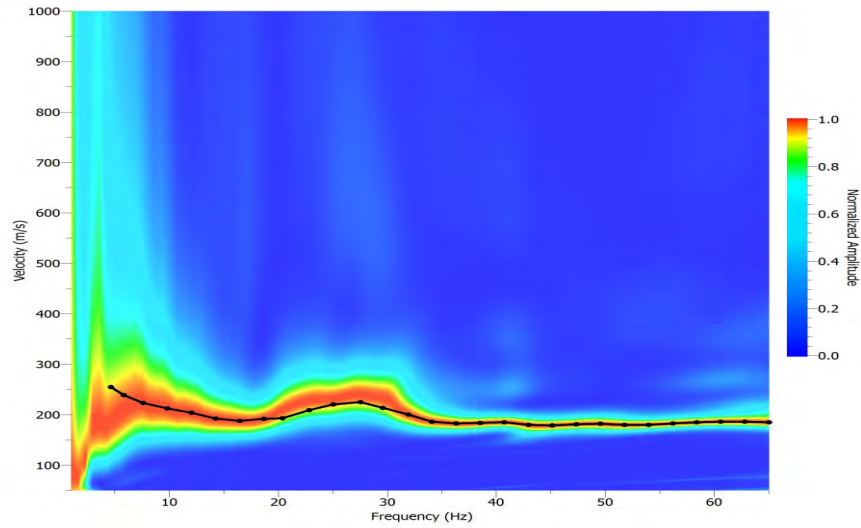
PICKING CURVA MISURATA (NERA) E CURVE DI DISPERSIONE INVERTITE



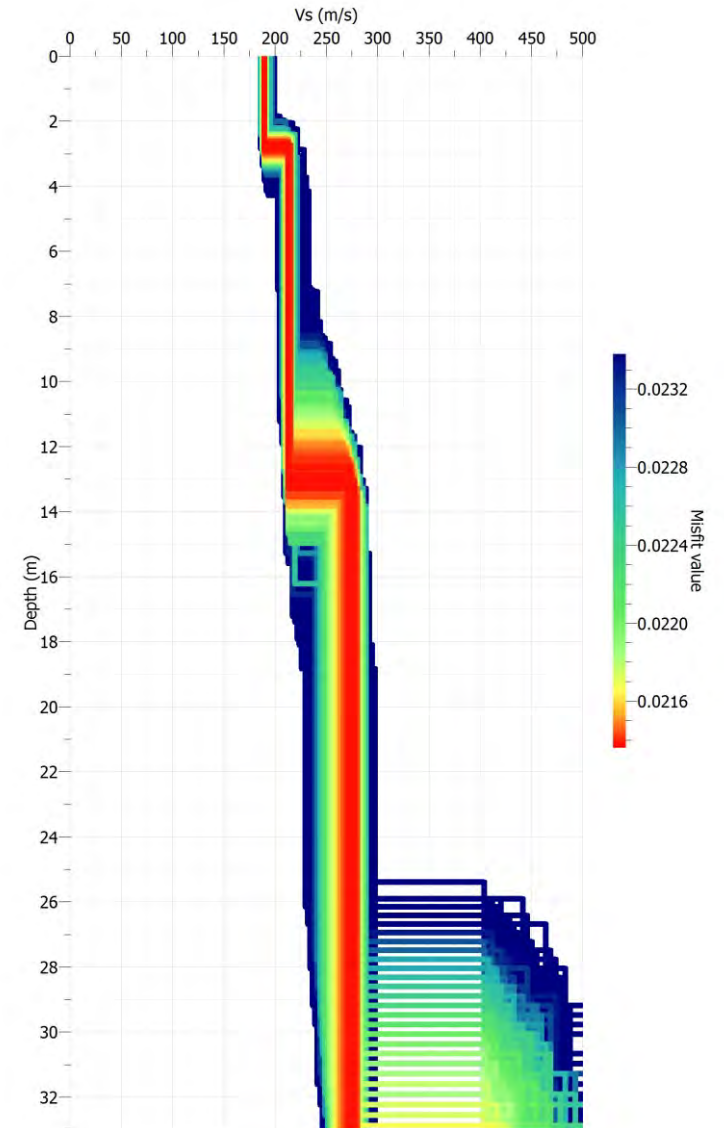
Multichannel Active Source Analysis: Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

Allegato 6: MASW 2 shot B

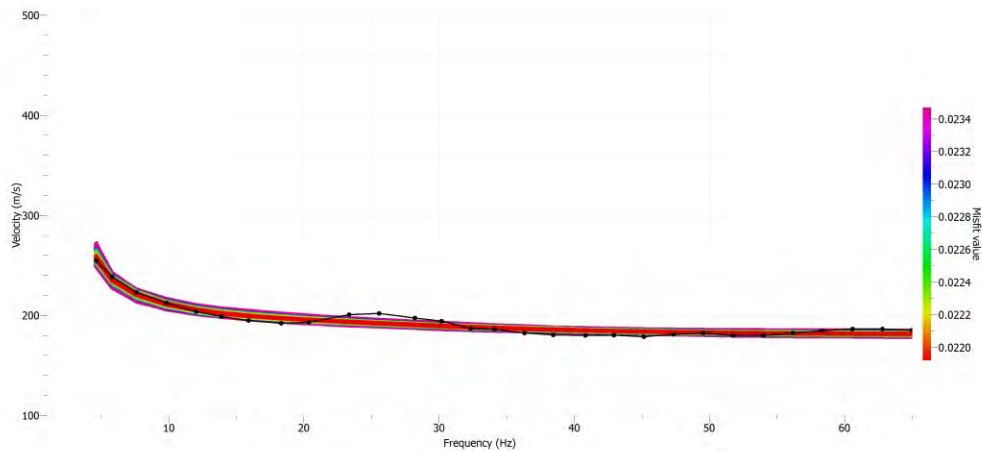
CURVA DI DISPERSIONE MISURATA E RELATIVO PICKING



PROFILO Vs



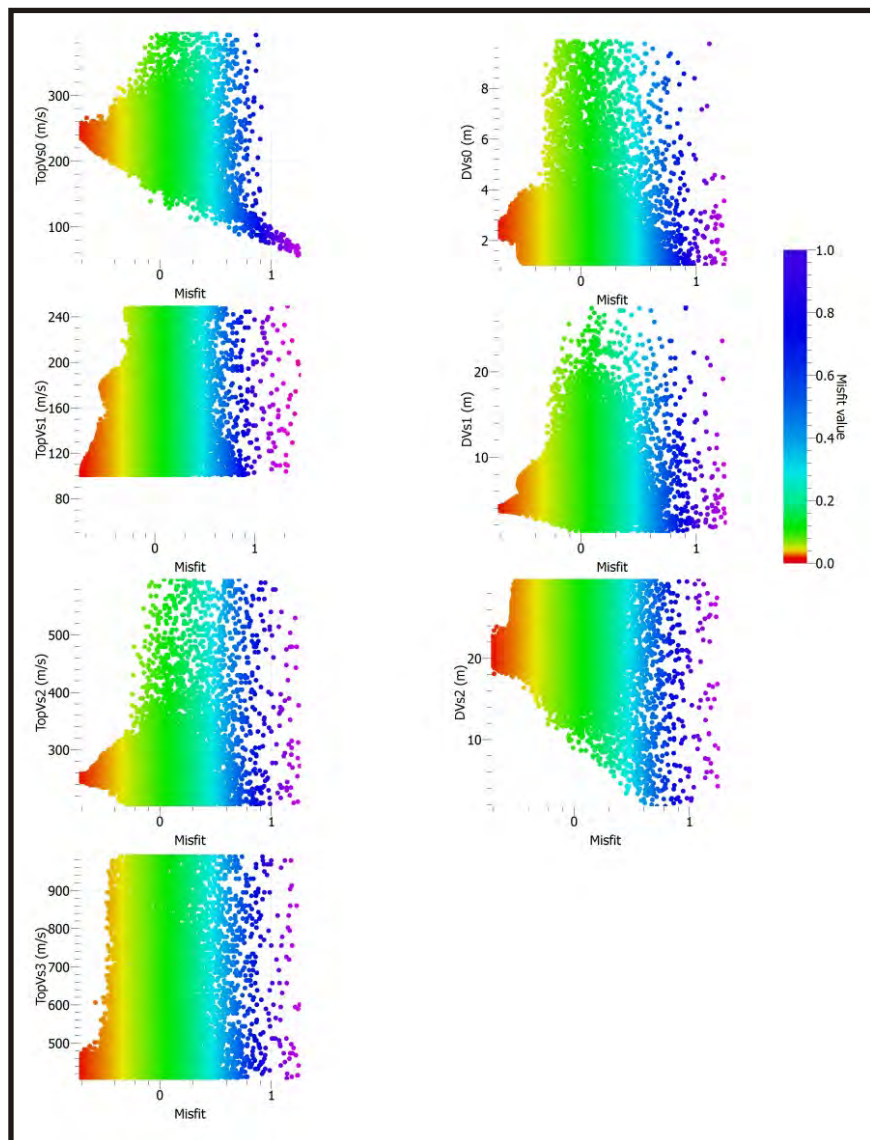
PICKING CURVA MISURATA (NERA) E CURVE DI DISPERSIONE INVERTITE



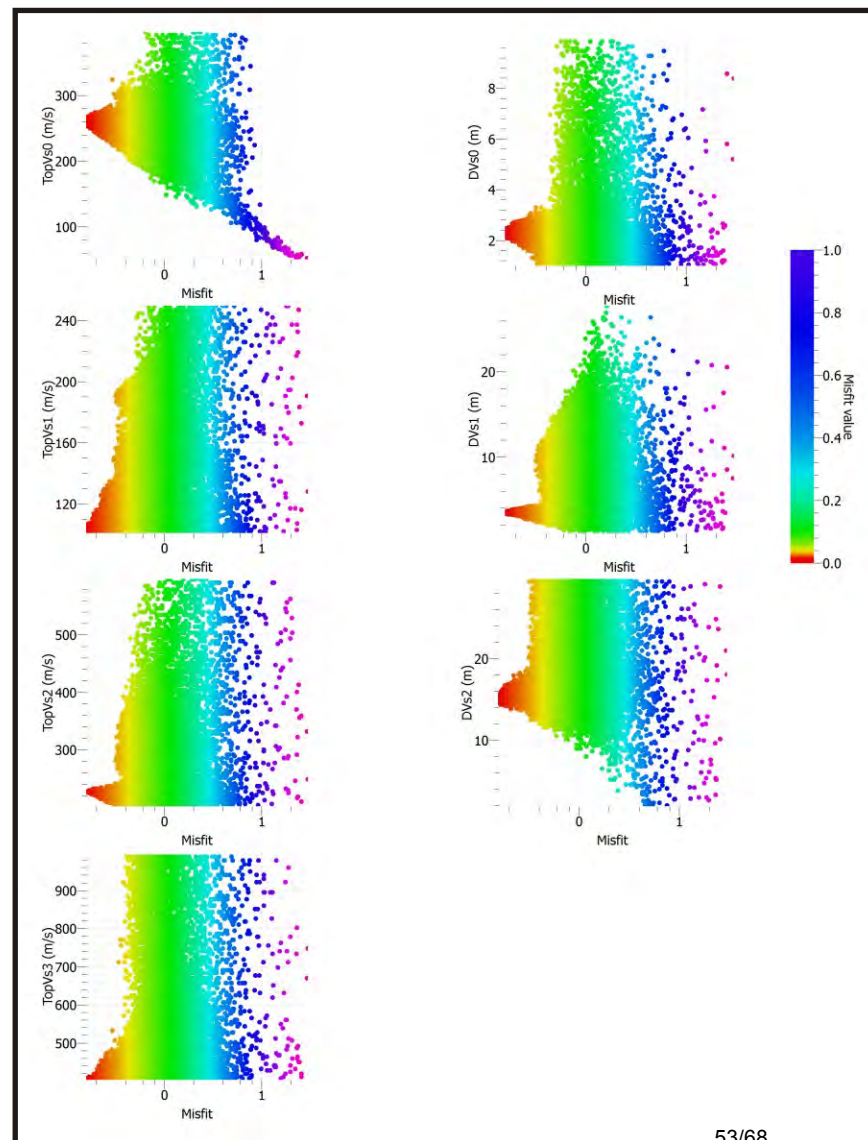
Multichannel Active Source Analysis: Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

Allegato 7: Spazio dei parametri MASW 1

SPAZIO DEI PARAMETRI DERIVANTE
DALL'INVERSIONE DELLO "SHOT A"



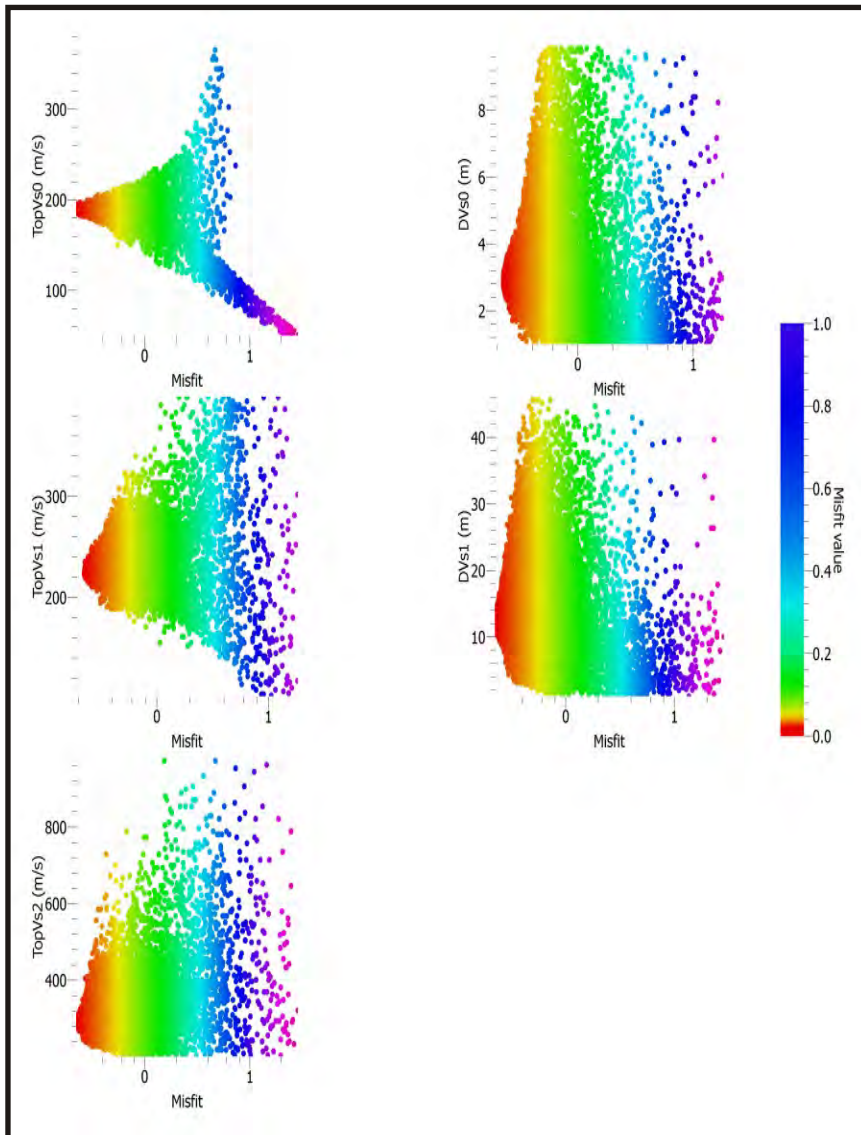
SPAZIO DEI PARAMETRI DERIVANTE
DALL'INVERSIONE DELLO "SHOT B"



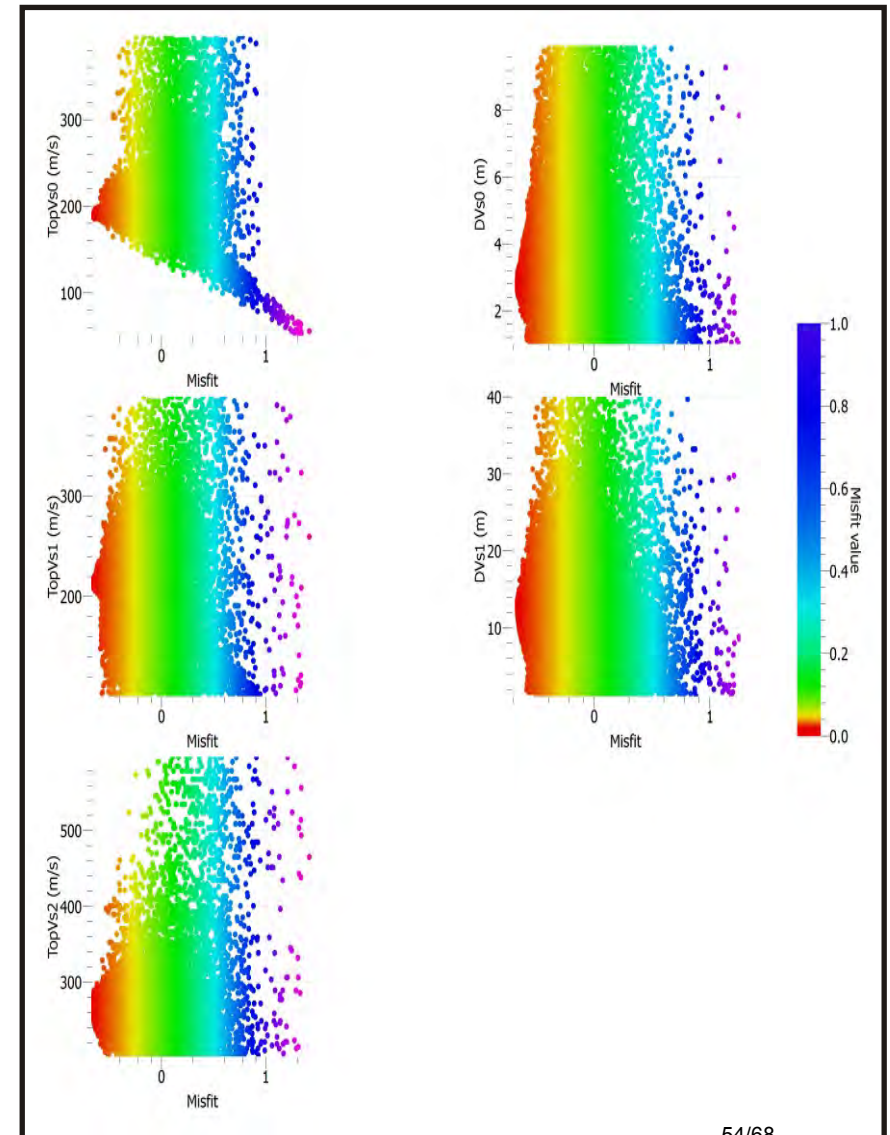
Multichannel Active Source Analysis: Casa del Corto Piancastagnaio (SI)

Allegato 8: Spazio dei parametri MASW 2

SPAZIO DEI PARAMETRI DERIVANTE
DALL'INVERSIONE DELLO "SHOT A"



SPAZIO DEI PARAMETRI DERIVANTE
DALL'INVERSIONE DELLO "SHOT B"



APPENDICE 5

Parametri sismici

Parametri sismici Sito di Produzione

determinati con **GeoStru PS** <http://www.geostru.com/geoapp>

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 42,81483 [°]

longitudine: 11,744496 [°]

Classe d'uso: IV. Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	24283	42,821270	11,717640	2304,5
Sito 2	24284	42,822300	11,785770	3467,3
Sito 3	24506	42,772300	11,787200	5871,8
Sito 4	24505	42,771300	11,719100	5268,2

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente cu: 2

	Prob. superament o [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]

Operatività (SLO)	81	60	0,065	2,520	0,260
Danno (SLD)	63	101	0,081	2,517	0,267
Salvaguardia della vita (SLV)	10	949	0,174	2,531	0,287
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	1950	0,212	2,568	0,293

Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,500	1,640	1,000	0,018	0,009	0,963	0,180
SLD	1,500	1,620	1,000	0,022	0,011	1,187	0,180
SLV	1,440	1,590	1,000	0,060	0,030	2,461	0,240
SLC	1,370	1,570	1,000	0,090	0,045	2,848	0,310

Geostru software - www.geostru.com

Parametri sismici Sito di Reiniezione

determinati con **GeoStru PS** <http://www.geostru.com/geoapp>

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 42,825499 [°]

longitudine: 11,743036 [°]

Classe d'uso: IV. Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	24283	42,821270	11,717640	2123,9
Sito 2	24284	42,822300	11,785770	3503,3
Sito 3	24062	42,872290	11,784450	6202,3
Sito 4	24061	42,871250	11,716260	5535,8

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente cu: 2

	Prob. superament o [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]

Operatività (SLO)	81	60	0,066	2,524	0,261
Danno (SLD)	63	101	0,081	2,520	0,267
Salvaguardia della vita (SLV)	10	949	0,174	2,532	0,287
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	1950	0,212	2,568	0,293

Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,500	1,640	1,000	0,020	0,010	0,965	0,200
SLD	1,500	1,620	1,000	0,024	0,012	1,189	0,200
SLV	1,440	1,590	1,000	0,060	0,030	2,462	0,240
SLC	1,370	1,570	1,000	0,081	0,041	2,848	0,280

Geostru software - www.geostru.com

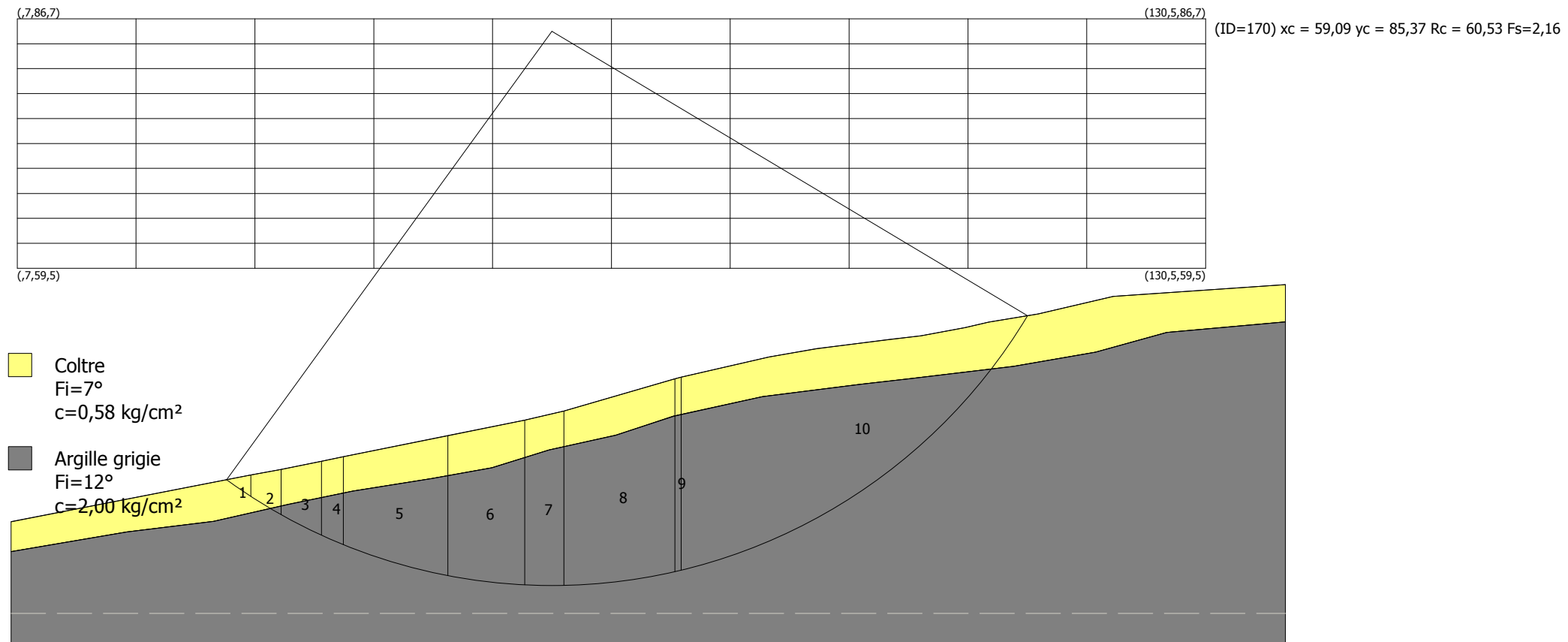
APPENDICE 6

Sezioni e tabulati per la verifica di stabilità del versante nelle condizioni attuali ed in quelle di progetto

VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE

Metodo di Bishop

Condizioni attuali



VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE

Condizioni attuali

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	0,68 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	59,48 m
Ascissa vertice destro superiore xs	130,49 m
Ordinata vertice destro superiore ys	86,73 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 ²]	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 ²]	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	y
---	---	---

	m	m
1	0,0	31,8
2	26,2	36,9
3	29,5	37,5
4	33,9	38,4
5	36,3	38,9
6	47,7	41,2
7	56,1	42,9
8	60,4	43,9
9	72,5	47,4
10	73,2	47,6
11	82,8	49,8
12	88,0	50,7
13	95,9	51,7
14	99,4	52,1
15	104,2	53,0
16	106,8	53,6
17	112,2	54,5
18	120,4	56,4
19	139,2	57,7

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	28,53
2	12,66	30,68
3	22,12	31,84
4	30,25	33,69
5	37,36	35,16
6	45,92	36,52
7	52,53	37,68
8	58,75	39,63
9	66,05	41,25
10	72,37	43,33
11	82,09	45,47
12	92,73	46,81
13	98,04	47,41
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 ²)	cu (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	K (Kg/cm ³)	Litologia
1	0,58		7	2040	2100	0,00	Coltre
2	2,00		12	2140	2150	0,00	Argille grigie

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

Fs minimo individuato	2,16
Ascissa centro superficie	59,09 m
Ordinata centro superficie	85,37 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.

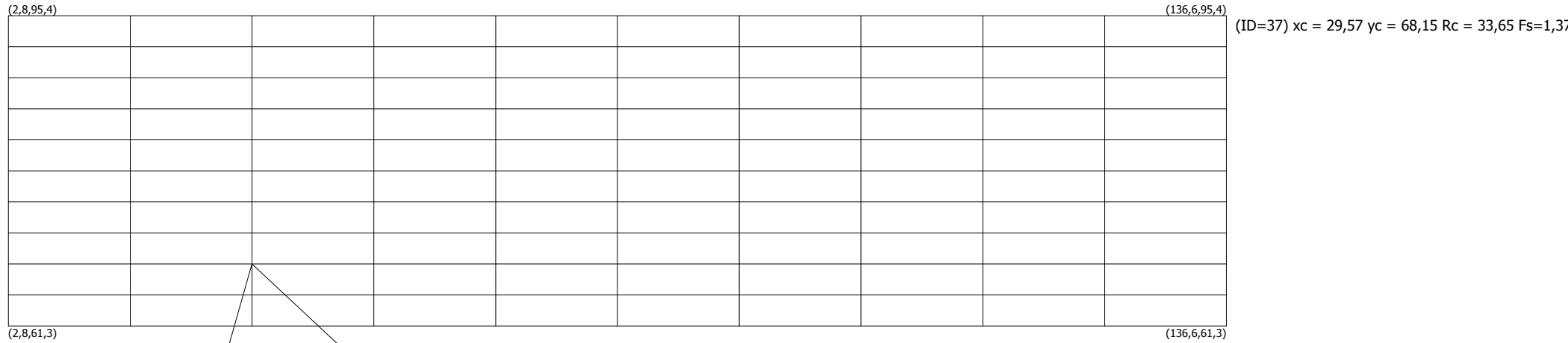
(ID=170) xc = 59,09 yc = 85,371 Rc = 60,527 Fs=2,163

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	2,66	-34,4	3,22	6483,35	389,0	194,5	0,46	5,6	0,0	12524,4	6799,7
2	3,3	-31,1	3,85	24710,41	1482,62	741,31	0,46	5,6	0,0	34238,7	8926,6
3	4,4	-26,9	4,94	59968,01	3598,08	1799,04	1,6	9,7	0,0	87286,1	39416,8
4	2,4	-23,4	2,61	44496,16	2669,77	1334,89	1,6	9,7	0,0	57842,6	21708,8
5	11,4	-16,5	11,89	306142,8	18368,57	9184,28	1,6	9,7	0,0	350320,5	104959,8
6	8,4	-6,8	8,46	297830,4	17869,83	8934,91	1,6	9,7	0,0	309439,3	78989,3
7	4,3	-0,8	4,3	169010,1	10140,61	5070,3	1,6	9,7	0,0	169596,6	41030,4
8	12,1	7,0	12,19	521956,7	31317,4	15658,7	1,6	9,7	0,0	511307,4	118498,5
9	0,7	13,1	0,72	31279,85	1876,79	938,4	1,6	9,7	0,0	30484,2	7010,9
10	37,84	36,3	46,95	1324867,0	79492,02	39746,01	1,6	9,7	0,0	1341624,0	411506,8

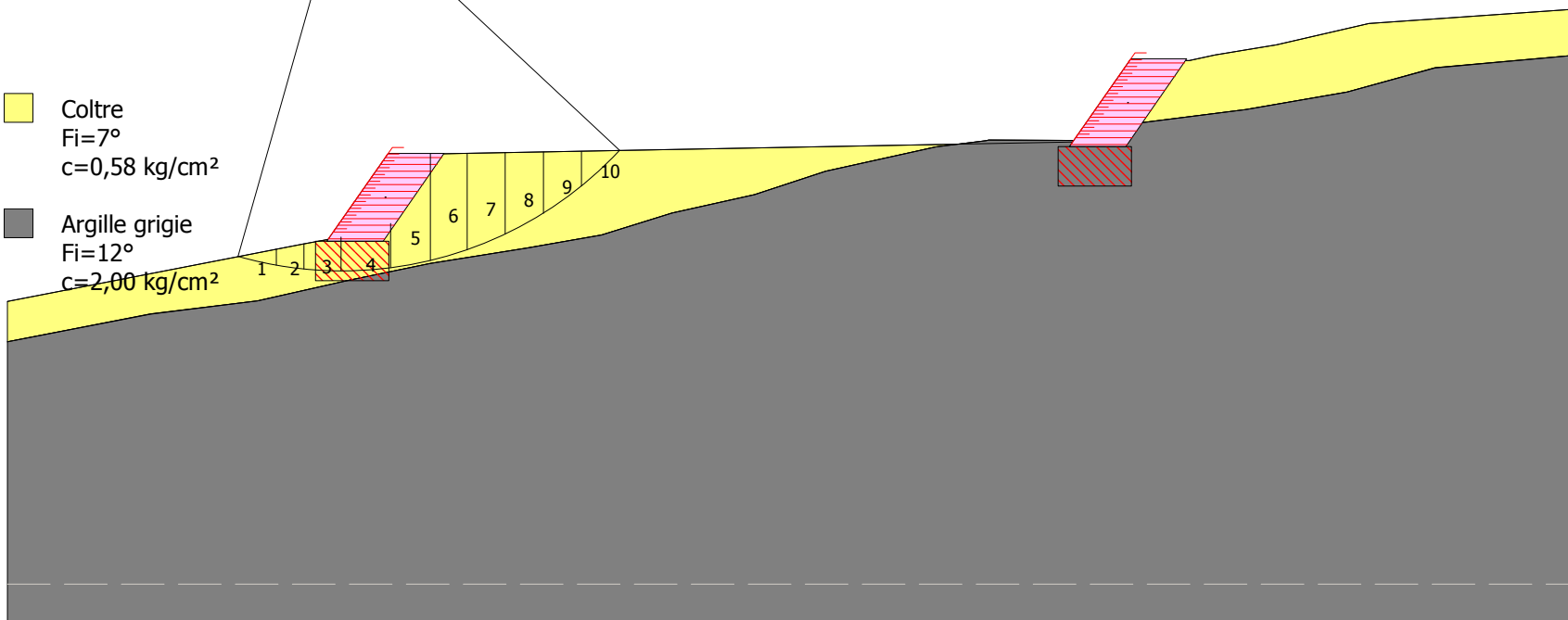
VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE

Metodo di Bishop

Condizioni di progetto



- Coltre
 $F_i = 7^\circ$
 $c = 0,58 \text{ kg/cm}^2$
- Argille grigie
 $F_i = 12^\circ$
 $c = 2,00 \text{ kg/cm}^2$



VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE

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 non drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	2,82 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	61,33 m
Ascissa vertice destro superiore xs	136,56 m
Ordinata vertice destro superiore ys	95,44 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 ²]	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 ²]	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	29,5	37,5
4	33,2	37,5
5	37,39	44,83
6	99,1	46,0
7	103,01	53,12
8	104,5	53,1
9	106,8	53,6
10	112,2	54,5
11	120,4	56,4
12	139,2	57,7

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	28,23
2	12,66	30,68
3	22,12	31,84
4	30,25	33,69
5	37,36	35,16
6	45,92	36,52
7	52,53	37,68
8	58,75	39,63
9	66,05	41,25
10	72,37	43,33
11	82,09	45,47
12	86,55	46,02
13	86,77	46,08
14	99,24	46,02
15	99,75	47,55
16	109,52	48,77
17	118,47	50,33
18	126,25	52,47
19	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 ²)	cu (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	K (Kg/cm ³)	Litologia
1	0,58		7	2040	2100	0,00	Coltre
2	2,00		12	2140	2150	0,00	Argille grigie

Terra rinforzata

No	X (m)	Y (m)	Stato	Tipologia
1	28,23096	37,12797	Attivato	Terra armata
2	93,89999	45,49547	Attivato	Terra armata

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

Fs minimo individuato	1,37
Ascissa centro superficie	29,57 m
Ordinata centro superficie	68,15 m
Raggio superficie	33,65 m

(ID=37) xc = 29,566 yc = 68,151 Rc = 33,653 Fs=1,367

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	3,37	-12,9	3,46	5375,75	322,55	161,27	0,46	0,0	0,0	7950,6	10673,5
2	2,43	-7,8	2,45	9443,03	566,58	283,29	0,46	0,0	0,0	10570,9	7559,9
3	3,3	-2,9	3,3	18418,56	1105,11	552,56	0,46	0,0	0,0	18963,6	10193,9
4	4,39	3,6	4,4	27057,4	1623,44	811,72	0,46	0,0	0,0	26249,2	13574,7
5	3,5	10,4	3,56	49373,73	2962,42	1481,21	0,46	0,0	0,0	48183,4	10975,8
6	3,25	16,3	3,38	61435,79	3686,15	1843,07	0,46	0,0	0,0	60959,9	10437,6
7	3,37	22,3	3,65	56059,43	3363,57	1681,78	0,46	0,0	0,0	55980,6	11248,1
8	3,37	28,7	3,85	45135,94	2708,16	1354,08	0,46	0,0	0,0	44961,8	11862,6
9	3,37	35,5	4,14	30640,48	1838,43	919,21	0,46	0,0	0,0	28519,4	12781,5
10	3,37	43,0	4,61	11659,18	699,55	349,78	0,46	0,0	0,0	2693,5	14217,4