

REGIONE:

REGIONE  
PIEMONTE

COMUNE:

COMUNE DI  
ROCCHETTA LIGURE

PROVINCIA:

PROVINCIA  
DI ALESSANDRIA

PROGETTO:

# CONSOLIDAMENTO ABITATO ROCCHETTA LIGURE

€ 700.000,00

CUP: F44H20000400001

**PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO**  
*ai sensi del D.Lgs 50/2016 e s.m.i.*

ALLEGATO N°

**2****RELAZIONE GEOLOGICA E  
INDAGINI GEOGNOSTICHE**

DATA:

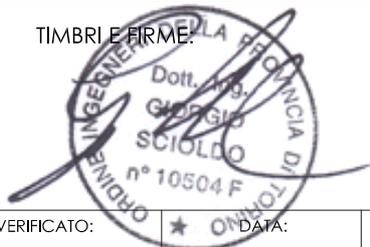
**Luglio 2021**

PROTOCOLLO:

PER PRESA VISIONE IL PROGETTISTA:

Ing. Giorgio Scioldo

TIMBRI E FIRME:



REV.:

REDATTO:

VALIDATO:

VERIFICATO:

DATA:

RESPONSABILE PROCEDIMENTO:

**0****Luglio 2021**studio associato  
**INGEOPROJECT**

SEDE LEGALE E OPERATIVA:

TORINO  
Corso Matteotti, 12 - 10121 Torino  
Tel +39 0115 113490  
pec: ingeoproject@pec.it

UFFICIO OPERATIVO:

CUNEO  
Corso Dante, 64 - 12100 Cuneo  
tel +39 0171 681817  
e-mail: ingrobertosperandio@gmail.com

INGEOPROJECT Studio Associato - Ing. Giorgio Scioldo - Ing. Roberto Sperandio - Partita IVA: 09542980017

# COMUNE DI ROCCHETTA LIGURE

REGIONE PIEMONTE  
PROVINCIA DI ALESSANDRIA

INDAGINI GEOLOGICHE E RELAZIONE INERENTI I LAVORI DI  
CONSOLIDAMENTO ABITATO DI ROCCHETTA LIGURE

COMMITTENTE: UNIONE MONTANA TERRE ALTE  
PIAZZA UMBERTO I, N.35  
15060 CANTALUPO LIGURE (AL)

RELAZIONE GEOLOGICA

**Dr Andrea Angeleri – geologo**

Via Gerolamo Airenta, 77 - 16010 Rossiglione (GE)

cell. 346.0149769

e-mail [andrea.angeleri@libero.it](mailto:andrea.angeleri@libero.it)

## SOMMARIO

1.) PREMESSA .....	3
2.) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	4
3.) VINCOLI E QUADRO NORMATIVO .....	5
4.) INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	6
5.) INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	7
6.) CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE .....	9
7.) PROVE IN SITO.....	10
7.1.) INDAGINE SISMICA MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES) ..	10
7.2.) TOMOGRAFIA ELETTRICA .....	11
7.3.) SONDAGGI GEOGNOSTICI A CAROTAGGIO CONTINUO.....	12
7.3.1.) RILIEVO LIVELLO DI FALDA.....	13
7.3.2.) PROVE PENETROMETRICHE SPT.....	13
7.3.3.) PROVE DI PERMEABILITÀ IN FORO (PROVA LEFRANC) .....	13
7.4.) PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH .....	14
7.5.) TOMOGRAFIE SISMICHE .....	16
8.) CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	22
8.1.) ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE.....	22
8.2.) PARAMETRI GEOTECNICI.....	23
9.) CLASSIFICAZIONE E VALUTAZIONE DELL’AZIONE SISMICA .....	24
9.1.) STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE .....	25
9.1.1.) ESCLUSIONE DELLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE.....	26
10.) VERIFICHE DI STABILITÀ’ .....	27
10.1.) CRITERI DI VERIFICA .....	27
10.2.) METODI ALL’EQUILIBRIO LIMITE .....	27
10.2.1.) METODOLOGIA DI VERIFICA ADOTTATA .....	28
10.3.) BACK ANALYSIS.....	29
10.4.) SINTESI DEI RISULTATI VERIFICHE STABILITÀ .....	30
11.) CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	31

**ALLEGATI:**

**COROGRAFIA (SCALA 1:10.000)**

**PLANIMETRIA\_UBICAZIONE INDAGINI (SCALA 1:500)**

**SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA (SCALA 1:200)**

**ELABORATI SONDAGGI GEOGNOSTICI A CAROTAGGIO CONTINUO**

**ELABORATO PROVE PENETROMETRICHE DPSH**

**ELABORATO PROVA SISMICA MASW**

**RAPPORTO TOMOGRAFIA ELETTRICA**

**RAPPORTO VERIFICA DI STABILITÀ**

**PARAMETRI SISMICI DI SITO**

## **1.) PREMESSA**

Il presente elaborato è stato redatto a seguito dell'incarico conferito al Dott. Geol. Andrea Angeleri con studio in Rossiglione (GE), Via Gerolamo Airenta n. 77 – regolarmente iscritto con il n. 671/AP all'Ordine Regionale dei Geologi della Liguria – dall'Unione Montana Terre Alte.

### *SCOPO DELL'INDAGINE*

La seguente relazione contiene i risultati delle indagini geologiche preliminari eseguite nei terreni interessati dalla realizzazione delle opere di cui ad oggetto.

Scopo del lavoro è indicare, sulla base dei risultati ottenuti ed in via preliminare, le principali caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo dell'area oggetto dell'intervento, in particolare in merito alle caratteristiche geotecniche dei terreni.

### *INDAGINE ESEGUITE*

- Acquisizione del materiale tecnico professionale e bibliografico relativo all'area oggetto di studio.
- Rilievo geologico e geomorfologico dell'area
- Esecuzione di n. 5 prove penetrometriche dinamiche DPSH
- Esecuzione di n. 4 tomografie sismiche a rifrazione
- Esecuzione di n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo attrezzati a piezometro;
- Esecuzione di n. 6 prove penetrometriche SPT (nei fori di sondaggio);
- Esecuzione di n. 1 prova sismica di tipo MASW;
- Esecuzione di n. 1 tomografia elettrica;
- Esecuzione di n. 1 prova di permeabilità in foro (Prova Lefranc);
- Digitalizzazione dei dati acquisiti e loro elaborazione, mediante appositi programmi, per la realizzazione di tavole illustrative, per l'interpretazione delle prove geofisiche e per il calcolo delle caratteristiche meccaniche del terreno.

### *INTERVENTI IN PROGETTO*

Gli interventi consistono nel consolidamento di una porzione di versante e della strada, interessati da evidenti indizi di movimento a seguito dei quali si sono verificate delle lesioni nel muro di sottoscarpa della strada.

## **2.) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

L'area di indagine è situata sul territorio comunale di Rocchetta Ligure, al limite sud del concentrico, alla quota di circa 405 metri s.l.m., tale area risulta cartografata sul Foglio 71 "VOGHERA" della Carta Geologica d'Italia (scala 1:100.000), e sulla sezione 196050 della Carta Tecnica Regionale.



*Foto aerea del versante oggetto di indagine*

### **3.) VINCOLI E QUADRO NORMATIVO**

Il presente studio è stato redatto in conformità a quanto previsto dalla normativa vigente di seguito elencata

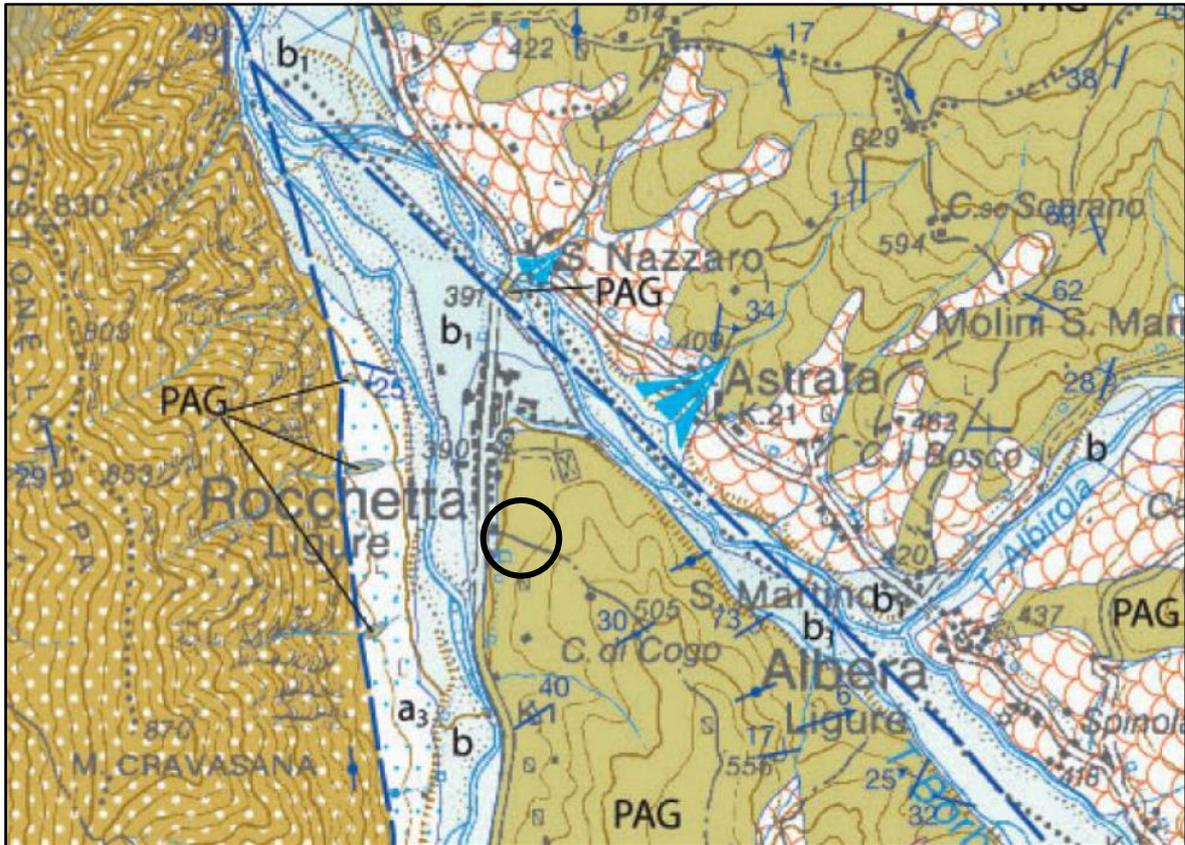
- D. M. 14 gennaio 2008  
"Norme Tecniche per le Costruzioni"
- Decreto 17 gennaio 2018  
Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, del C.S.LL.PP.  
Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008
- D.G.R. 30 dicembre 2019, n. 6-887  
Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)

Per quanto riguarda i vincoli, si fa presente che l'area oggetto di relazione non ricade in zona a tutela idrogeologica ai sensi del R.D. 3267/23, L.R. n. 45/89.

#### 4.) INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Nell'area è presente una sequenza sedimentaria facente parte dell'unità dell'Antola e denominata "Argilliti di Pagliaro" dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (F°196 CABELLA).

Di seguito si riporta uno stralcio della suddetta carta e la descrizione della formazione.



	<b>ARGILLITI DI PAGLIARO</b> Torbiditi silicoclastiche e subordinate torbiditi calcareo-marnose, talvolta di colore rosa, in strati piano paralleli medi e sottili alternate a strati sottili di argilliti emipelagiche. <b>MASTRICHTIANO SUPERIORE-SELANDIANO (CC25 p.p.-NP5)</b>
PAG	

Come si può vedere dalla carta geologica l'area oggetto di intervento si colloca nella zona di passaggio tra l'ultimo lembo di affioramento delle *Argilliti di Pagliaro* e i *Conglomerati di Savignone*, formazione che costituisce la base della sequenza deposizionale del Bacino Terziario Piemontese (BTP), sul fondovalle è presente inoltre la copertura alluvionale del Torrente Sisola.

In base ai dati bibliografici e ai rilievi eseguiti, le *Argilliti di Pagliaro* risultano localmente costituite da alternanze tra livelli marnosi (talora calcareo-marnosi) e livelli argillitici, in strati pianoparalleli con direzione di immersione prevalentemente verso ovest-nordovest e inclinazioni medio-alte.

Ammantati sul substrato è presente una coltre superficiale limoso-argillosa con clasti d'origine detritica ed eluvio-colluviale, che presenta spessori variabili da pochi metri nelle zone altimetricamente più elevate ad alcuni metri nelle zone più depresse.

## **5.) INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO**

Le caratteristiche morfologiche generali della zona sono determinate sia dalla natura litologica e strutturale del substrato geologico e sia da fattori morfogenetici legati a processi di degradazione e/o alterazione dei versanti.

In particolare, l'assetto monoclinale delle successioni sedimentarie caratterizzanti il substrato, con immersione degli strati generalmente verso O-NO, impone acclività moderate nei versanti settentrionali e occidentali (assetto "a franapoggio") ed acclività più elevate nei versanti meridionali e orientali (assetto "a reggipoggio").

Tale diversificazione è inoltre influenzata dalla natura del substrato roccioso e quindi dalla presenza di contrasti litologici aventi differenti caratteristiche meccaniche (per esempio il contatto tra formazioni marnose o argillitiche e di formazioni arenaceo-conglomeratiche).

Come precedentemente riportato il substrato è coperto da una coltre detritica argillosa che localmente presenta spessori variabili da 1,5 a 7 metri circa, come confermato dai rilievi eseguiti in sito.

In questo contesto, l'area d'intervento si posiziona nella parte bassa di un versante rivolto a ovest, i cui crinali presentano quote massime intorno ai 700 m slm. Il versante è caratterizzato da pendenze elevate nella porzione altimetricamente più elevata (500-700 m slm) e da pendenze medio-basse nella parte inferiore (400-500 m slm). Questa morfologia è probabilmente da ricondurre alla presenza di litotipi più competenti nella parte alta.

Per quanto riguarda l'evoluzione dei versanti, l'analisi fotogrammetrica, il rilievo dell'area e la cartografia tematica disponibile hanno consentito di evidenziare la presenza di un dissesto gravitativo che occupa un ampio settore del versante oggetto di indagine (vedi cartografia a pagina seguente) e lambisce l'area delle scuole.

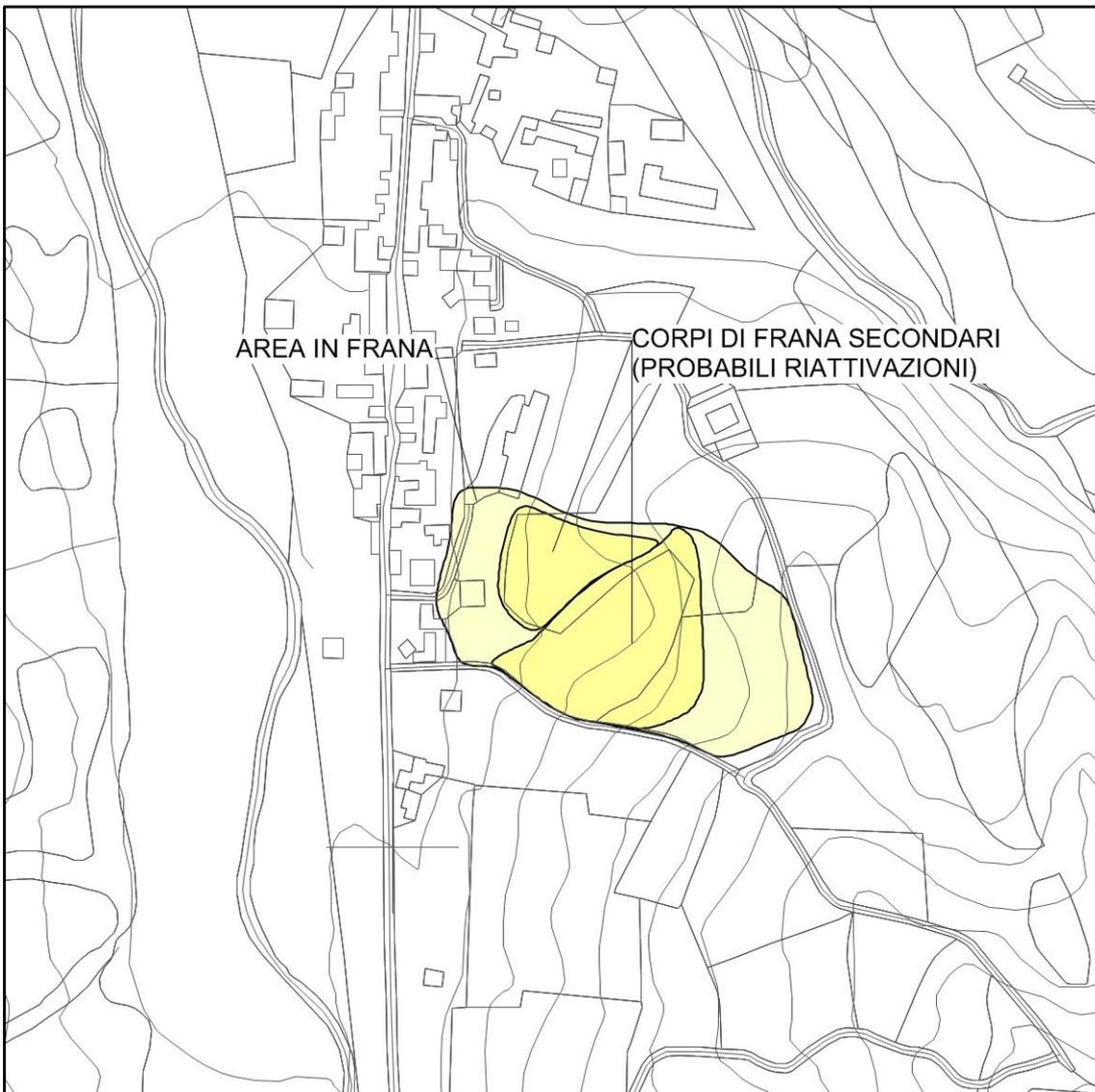
### *CARATTERISTICHE DISSESTO*

Si tratta di un movimento complesso con una fase iniziale probabilmente di scivolamento e una evoluzione in colamento lento che ha interessato la coltre detritica argillosa e, in parte, la porzione alterata del substrato, probabilmente in fasi differenti. Ciò ha comportato la formazione di due accumuli (ben individuabili attraverso la fotointerpretazione) nella parte bassa del pendio, proprio a ridosso della strada oggetto di intervento.

Allo stato attuale sembrano ancora presenti dei movimenti, infatti il muro di sostegno a valle della strada risulta lesionato è probabile che si verifichino riattivazioni parziali del dissesto che interessano l'accumulo detritico alla base del versante.

Dal punto di vista geometrico le caratteristiche dell'area in frana sono approssimativamente le seguenti:

- lunghezza massima: 270 m;
- larghezza massima: 140 metri;
- Quota coronamento: 450 m sm;
- Quota base: 400 m slm;
- Dislivello tra coronamento e base: 50 m;
- Pendenza media versante: 10-12°
- Superficie area in frana: 30.000 m<sup>2</sup>;
- Volume stimato complessivo: 80.000-120.000 m<sup>3</sup>.



## **6.) CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE**

Dal punto di vista idrogeologico, all'interno dell'area di interesse è possibile distinguere due differenti complessi:

- a. *COPERTURE DETRITICHE ED ELUVIO-COLLUVIALI*: prevalentemente costituite da limi argilloso-sabbiosi di colore nocciola e da interclusi corpi litoidi di natura argillitica e marnosa, presentano conducibilità idraulica per porosità da bassa a molto bassa;
- b. *SUBSTRATO MARNOSO-ARGILLITICO*: localmente costituito da marne e marne calcaree a cui si intercalano in subordine livelli argillitici; risulta caratterizzato da conducibilità idraulica per porosità estremamente bassa ad eccezione di locali livelli alterati, con possibile permeabilità per fessurazione lungo discontinuità strutturali secondarie.

In tale contesto idrogeologico, considerando anche l'orografia dell'area di intervento si instaura una circolazione subcorticale nelle coperture superficiali, che risulta strettamente connessa al regime meteorico, la quale porta a fenomeni di completa saturazione della coltre nelle stagioni umide.

All'interno del substrato la presenza di livelli maggiormente alterati e/o sabbiosi, interclusi tra strati con minore permeabilità sono sede di una circolazione acquifera così come lungo eventuali discontinuità strutturali secondarie.

## **7.) PROVE IN SITO**

Al fine di fornire un'adeguata conoscenza del sito in oggetto in fase preliminare, è stata condotta una campagna di indagini geognostiche (geotecniche e geofisiche), mirata in particolare alla valutazione dell'assetto stratigrafico e delle caratteristiche geotecniche dei terreni caratterizzanti l'area. Le indagini, la cui ubicazione è stata riportata nell'apposita planimetria allegata, sono state eseguite nel periodo di maggio 2021.

Le indagini geognostiche eseguite sono le seguenti:

- 1.) n° 1 prova sismica di tipo MASW;
- 2.) n° 1 tomografia elettrica;
- 3.) n° 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo attrezzati a piezometro;
- 4.) n° 6 prove SPT nei fori di sondaggio;
- 5.) n° 1 prova di permeabilità in foro (Prova Lefranc);
- 6.) n° 5 prove penetrometriche dinamiche DPSH;
- 7.) N° 4 tomografie sismiche a rifrazione.

### **7.1.) INDAGINE SISMICA MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)**

La metodologia geofisica indiretta può essere un importante approccio al fine di correlare le informazioni puntuali ricavate da prove dirette con i valori di velocità delle onde sismiche consentendo una buona caratterizzazione stratigrafica dei terreni presenti nell'area di intervento. È stato pertanto eseguito un profilo sismico con metodologia MASW per la determinazione della velocità  $V_{s_{eq}}$  necessaria alla classificazione sismica del sito.

Nello specifico è stato utilizzato uno stendimento a 24 canali, con interdistanza geofonica pari a 2 m; l'ubicazione della prova e la descrizione di dettaglio della metodologia e dei risultati sono riportate in allegato.

Le misure sperimentali sono state elaborate per mezzo dello specifico programma di interpretazione che elabora un modello monodimensionale di velocità nel sottosuolo che soddisfa i valori misurati; di seguito viene sintetizzata la stratigrafia sismica ottenuta:

- Fino a 2 metri circa sono presenti materiali caratterizzati da velocità  $V_s$  di 200 m/s;
- Tra 2 metri e 7 metri circa sono presenti materiali caratterizzati da velocità  $V_s$  di 230-270 m/s;
- Tra 7 metri e 10 metri circa sono presenti materiali caratterizzati da velocità  $V_s$  di 350 m/s;
- Tra 10 metri e 17 metri circa sono presenti materiali caratterizzati da velocità  $V_s$  di 500 m/s;
- Oltre 17 metri circa sono presenti materiali caratterizzati da velocità  $V_s$  superiori a 1000 m/s.

Dall'interpretazione dell'indagine sismica di tipo MASW è stato possibile calcolare il  $V_{s_{eq}}$  necessario per la classificazione sismica ai sensi della normativa NTC2018 (tabella 3.2.II), ricadente in **Categoria di suolo E** in quanto  $V_{s_{eq}} = 321$  m/s.

## **7.2.) TOMOGRAFIA ELETTRICA**

In data 26 maggio 2021 è stata condotta un'indagine geofisica per mezzo di una strumentazione elettrica ARS-200E (*Automatic Resistivity System*) di fabbricazione GEOPHIZYKA (Gf Instruments Brno) le cui specifiche tecniche sono riportate nel rapporto allegato.

Il metodo di indagine è del tutto analogo a quello su cui si basa il tradizionale sondaggio elettrico verticale (SEV): immettendo nel terreno corrente continua (o corrente alternata a bassa frequenza) si genera un campo elettrico le cui linee di corrente all'interno del sottosuolo indagato sono deformate dalla presenza di disomogeneità, come a titolo di esempio stratificazioni o corpi sepolti aventi differenti comportamenti elettrici.

Il metodo della resistività utilizza, come parametro geofisico per indagare il sottosuolo, la resistività elettrica del terreno.



I risultati sono riportati nel rapporto in allegato insieme alla planimetria riportante l'ubicazione dello stendimento eseguito con disposizione appropriata in modo da indagare maggiormente l'area di studio: la sezione tomografica ERT1 ha direzione circa E-O con una lunghezza di 188 metri ed ha permesso di indagare i primi 10-15 metri circa di profondità.

Nella sezione tomografica ERT1 i risultati indicano la presenza di materiali con valori di resistività di circa 5-40  $\text{ohm} \cdot \text{m}$  fino alla profondità di circa 3-3,5 metri ad eccezione dell'estremità inferiore della stesa dove si raggiungono i 6-7 m (e in cui è anche evidente una circolazione idrica libera alla profondità di circa 2 m), interpretati come materiali di copertura limoso-argillosi. Al di sotto di queste coperture superficiali, sono stati rivenuti materiali con valori di resistività inferiori a 20  $\text{ohm} \cdot \text{m}$  con valori minimi pari a circa 5-6  $\text{ohm} \cdot \text{m}$  associabili al substrato marnoso-argillitico con componenti maggiormente calcarei, variamente fratturati e sede di probabile circolazione idrica.

### **7.3.) SONDAGGI GEOGNOSTICI A CAROTAGGIO CONTINUO**

Sono stati eseguiti n. 2 sondaggi a carotaggio continuo spinti alla profondità di 20.00 m rispetto al piano campagna, attrezzati con piezometro per la misura della falda.

Ubicazione e profondità sono state scelte al fine di ricostruire l'assetto stratigrafico dell'area per un congruo spessore di terreno.

Per l'esecuzione dei carotaggi è stata utilizzata una perforatrice idraulica cingolata che ha consentito la realizzazione di una perforazione a carotaggio continuo del diametro  $\phi = 101$  mm con rivestimento di diametro  $\phi = 127$  mm.

I sondaggi eseguiti hanno interessato, oltre ad un primo orizzonte superficiale di terreno rimaneggiato e di riporto limoso-argilloso con ciottoli di dimensione centimetrica, un orizzonte composto da limo argilloso-sabbioso con frammenti litoidi fino a una profondità di 5-5,5 metri circa, e un'alternanza di marne argillose e argilliti marnose fino a fondo foro.



*Sondaggio S1PZ*

I materiali estratti durante la perforazione sono stati opportunamente riposti in apposite cassette catalogatrici in PVC sulle quali sono riportate le profondità e la sigla del sondaggio.

In allegato si riporta la stratigrafia di ogni sondaggio eseguito con le informazioni relative a campioni prelevati e indagini in foro.

### 7.3.1.) RILIEVO LIVELLO DI FALDA

In data 26 maggio 2021 è stata eseguita una rilevazione del livello di falda nei piezometri installati; verranno eseguite ulteriori misure a distanza di alcune settimane per misurare l'andamento del livello statico nel tempo.

	SOGGIACENZA DA PIANO CAMPAGNA (m)
S1PZ	1,30 (IN DATA 26/05)
S2PZ	1,10 (IN DATA 26/05)

### 7.3.2.) PROVE PENETROMETRICHE SPT

Nel foro dei sondaggi geotecnici eseguiti sono state effettuate n. 6 prove SPT.

Queste prove consistono nell'infissione a percussione di uno speciale campionatore che, penetrando nel terreno, consente di valutare la resistenza meccanica alla penetrazione (N colpi) e subordinatamente di prelevare piccoli campioni del terreno stesso.

La tabella esposta di seguito riassume i risultati delle prove SPT associate ai relativi sondaggi.

SONDAGGIO 1		
PROVA	Q <sub>SPT</sub> [m]	N <sub>SPT</sub> [colpi/piede]
1	-3.00	4-7-8 (15)
2	-6.00	R- - (R)
3	-9.00	R- - (R)
SONDAGGIO 2		
Prova	Q <sub>SPT</sub> [m]	N <sub>SPT</sub> [colpi/piede]
1	-3.00	8-10-14 (24)
2	-6.00	25-50-R(12) (R)
3	-9.00	R- - (R)

### 7.3.3.) PROVE DI PERMEABILITÀ IN FORO (PROVA LEFRANC)

La prova di permeabilità in foro (prova Lefranc) permette di determinare la permeabilità di terreni nei fori di sondaggio al di sopra o al di sotto del livello di falda eventualmente presente.

La prova è destinata a misurare la conducibilità idrica del terreno e viene eseguita in fase di avanzamento della perforazione nei terreni non rocciosi sotto falda o fuori falda, in questo caso dopo aver saturato con acqua il terreno. Nel caso di terreni a conducibilità non elevata si esegue a carico variabile, mentre nel caso di una elevata conducibilità a carico idraulico costante. Per l'esecuzione della prova è necessario che le pareti del foro siano rivestite con tubo di rivestimento per tutto il tratto non interessato dalla prova.

Nell'area oggetto di studio è stata effettuata n. 1 prova a carico variabile (in corrispondenza del sondaggio S1PZ) eseguendo, dopo aver saturato con acqua il terreno, alcune letture del livello dell'acqua in foro a frequenti intervalli di tempo annotando sia il livello dell'acqua sia il tempo di ciascuna lettura.

Le letture eseguite hanno evidenziato la sostanziale stabilità nel tempo del livello dell'acqua durante la prova, difatti tale livello è rimasto stabile per tutta la durata della prova (30 minuti).

Il risultato sopra riportato indica valori di conducibilità idraulica sostanzialmente nulli, il terreno alle profondità indagate (2,5-3,0 metri) risulta pertanto sostanzialmente impermeabile, in accordo con le litologie riscontrate e con i dati di permeabilità bibliografici.

#### **7.4.) PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH**

Le prove penetrometriche dinamiche sono state condotte mediante una strumentazione superpesante (DPSH) di produzione Pagani, di seguito si sintetizzano le caratteristiche principali delle strumentazioni utilizzate:

<i>Peso maglio:</i>	<i>63,5 kg</i>
<i>Altezza di caduta maglio:</i>	<i>75 cm</i>
<i>Lunghezza aste:</i>	<i>1,0 m</i>
<i>Peso aste:</i>	<i>6,4 kg</i>
<i>Area punta:</i>	<i>20 cmq</i>
<i>Angolo apertura punta:</i>	<i>90°</i>

Le prove consistono nell'introdurre nel terreno una punta a cono posta all'estremità di una batteria di aste mediante battitura alla testa dell'ultima asta da parte di un maglio di peso noto che cade da un'altezza costante. L'infissione avviene per tratti consecutivi di 20 cm misurando il numero di colpi ( $N_{20}$ ) necessari. La resistenza opposta dai terreni sciolti alla penetrazione della punta conica è funzione delle caratteristiche fisico - meccaniche dei terreni attraversati. Pertanto, l'interpretazione dell'istogramma (numero di colpi/profondità) permette di ottenere oltre che la stratigrafia di massima anche informazioni puntuali sulle caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati.

#### *DESCRIZIONE DELLE PROVE DINAMICHE (DPSH 1-2-3-4-5)*

Le prove sono state posizionate in modo tale da indagare nel miglior modo possibile l'area oggetto di intervento e ottenere una corretta ricostruzione stratigrafica e una adeguata comprensione delle caratteristiche dei materiali. La profondità raggiunta varia da 2,00 metri (DPSH1) a 7,60 metri (DPSH3-DPSH5).

Le prove hanno interessato la coltre superficiale eluvio-colluviale, la coltre d'alterazione del substrato e la porzione superiore alterata del substrato e il substrato argillitico.

La tabella esposta a pagina seguente sintetizza le risultanze ottenute durante le prove.

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA <b>DPSH1</b>		
PROFONDITA' (m p.c.)	ORIZZONTE	LITOLOGIA
0,00 m - 0,60 m	<b>A<sub>0</sub></b>	Limi argillosi moderatamente consistenti (coltre superficiale)
0,60 m - 1,40 m	<b>A<sub>1</sub></b>	Limi argilloso-sabbiosi molto consistenti (coltre d'alterazione)
1,10 m - 1,30 m (fine prova)	<b>B<sub>A</sub></b>	Substrato alterato e fratturato
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA <b>DPSH2</b>		
PROFONDITA' (m p.c.)	ORIZZONTE	LITOLOGIA
0,00 m - 4,80 m	<b>A<sub>0</sub></b>	Limi argillosi moderatamente consistenti (coltre superficiale)
4,80 m - 6,20 m	<b>A<sub>1</sub></b>	Limi argilloso-sabbiosi molto consistenti (coltre d'alterazione)
6,20 m - 7,00 m (fine prova)	<b>B<sub>A</sub></b>	Substrato alterato e fratturato
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA <b>DPSH3</b>		
PROFONDITA' (m p.c.)	ORIZZONTE	LITOLOGIA
0,00 m - 6,00 m	<b>A<sub>0</sub></b>	Limi argillosi moderatamente consistenti (coltre superficiale)
6,00 m - 7,00 m	<b>A<sub>1</sub></b>	Limi argilloso-sabbiosi molto consistenti (coltre d'alterazione)
7,00 m - 7,60 m (fine prova)	<b>B<sub>A</sub></b>	Substrato alterato e fratturato
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA <b>DPSH4</b>		
PROFONDITA' (m p.c.)	ORIZZONTE	LITOLOGIA
0,00 m - 5,20 m	<b>A<sub>0</sub></b>	Limi argillosi moderatamente consistenti (coltre superficiale)
5,20 m - 6,40 m	<b>A<sub>1</sub></b>	Limi argilloso-sabbiosi molto consistenti (coltre d'alterazione)
6,40 m - 7,00 m (fine prova)	<b>B<sub>A</sub></b>	Substrato alterato e fratturato
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA <b>DPSH5</b>		
PROFONDITA' (m p.c.)	ORIZZONTE	LITOLOGIA
0,00 m - 5,00 m	<b>A<sub>0</sub></b>	Limi argillosi moderatamente consistenti (coltre superficiale)
5,00 m - 7,00 m	<b>A<sub>1</sub></b>	Limi argilloso-sabbiosi molto consistenti (coltre d'alterazione)
7,00 m - 7,60 m (fine prova)	<b>B<sub>A</sub></b>	Substrato alterato e fratturato

#### CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

I valori di resistenza dinamica  $R_{PD}$  sono ricavati in funzione delle masse mobili e fisse del penetrometro e del numero medio di colpi  $N_{SPT}$  mediante la "formula degli Olandesi":

$$R_{PD} = M^2 \cdot H / [A \cdot e \cdot (M+P)] = M^2 \cdot H \cdot N_{SPT} / [A \cdot \delta \cdot (M+P)]$$

Poiché le correlazioni empiriche esistenti in letteratura tra i risultati di una prova penetrometrica dinamica ed i principali parametri geotecnici del terreno fanno riferimento essenzialmente alle prove SPT (Standard Penetration Test), occorre applicare una correzione ai risultati delle prove DP, per tenere conto delle diverse modalità esecutive.

$$N_{SPT} = C_f N_{20}$$

dove è un parametro correttivo sulla base delle differenti modalità esecutive (peso del maglio, volata, area della punta, ecc.) indispensabile per rapportare il numero di colpi dell'SPT con quelli del dinamico continuo effettivamente utilizzato:

$$C_f = \frac{M_1 \cdot H_1 \cdot P_{l1} \cdot A_{p1}}{M_2 \cdot H_2 \cdot P_{l2} \cdot A_{p2}}$$

Il coefficiente di correlazione del penetrometro utilizzato è il seguente:

$$N_{SPT} = 1,47 N_{20}$$

I parametri geotecnici calcolabili per i terreni attraverso correlazioni dirette con il valore di  $N_{SPT}$  sono i seguenti:

- *angolo di resistenza al taglio*  $\varphi$
- *densità relativa*  $Dr(\%)$

Il valore dell'angolo di resistenza al taglio è stato ricavato con la relazione Shioi-Fukuni (1982):

$$\varphi = \sqrt{15 N_{SPT}} + 15$$

La *densità relativa* può essere determinata in via qualitativa con Terzaghi & Peck (1948) ed in via quantitativa dalla correlazione di Gibbs & Holtz (1957):

$$Dr\% = 21 \sqrt{\frac{N_{SPT}}{\sigma + 0,7}}$$

dove  $\sigma$  è la pressione litostatica a metà strato.

Inoltre, per i terreni coesivi, i valori di  $N_{SPT}$  consentono una stima della coesione non drenata  $C_u$ . Per argille mediamente plastiche o argille sabbiose è possibile utilizzare la correlazione di Terzaghi & Peck:

$$C_u \text{ (kg/cmq)} = 0,067 * N_{SPT}$$

Nella tabella seguente vengono riassunti i valori medi di  $N_{SPT}$  riscontrati dalle prove penetrometriche dinamiche.

ORIZZONTE	VALORI MEDI $N_{SPT}$
<b>A<sub>0</sub></b>	5,6
<b>A<sub>1</sub></b>	20,8
<b>B<sub>A</sub></b>	>70

### 7.5.) TOMOGRAFIE SISMICHE

L'indagine sismica a rifrazione è un'indagine indiretta che utilizza le variazioni di velocità delle onde sismiche, le quali dipendono dalla densità e dalla rigidità del materiale attraversato ovvero da proprietà riconducibili alle caratteristiche litologiche dei materiali indagati. Il comportamento della propagazione delle onde in profondità rispetta la legge di Snell dando origine a fenomeni di rifrazione e riflessione.

Lo svolgimento della prova consiste nel generare un'onda sismica di compressione (energizzazione) e registrarne l'arrivo a dei geofoni disposti in linea ad intervalli noti.

L'interpretazione delle misure registrate si basa sull'analisi del tempo impiegato dall'onda generata a raggiungere ciascun geofono. Per poter ricostruire le variazioni della geometria di ciascun orizzonte rifrattore è necessario eseguire più energizzazioni mantenendo invariata la geometria dei geofoni. Generalmente si usa una disposizione regolare e simmetrica dei geofoni e delle energizzazioni. Le misure sismiche sono state eseguite per mezzo di un sismografo digitale Do.Re.MI di fabbricazione SARA Electronics.

Sono stati eseguiti quattro profili tomografici (denominati RIFR1, RIFR2, RIFR3 e RIFR4), finalizzati alla determinazione dello spessore e delle caratteristiche delle coperture e del substrato; gli stendimenti RIFR1, RIFR3 e RIFR 4 sono stati realizzati trasversalmente al pendio, mentre lo stendimento RIFR2 è stato realizzato perpendicolarmente a essi (vedi planimetrie allegate).

La correlazione con le informazioni puntuali ricavate dalle prove dirette consente una buona caratterizzazione stratigrafica dei terreni presenti nell'area di intervento.

La tabella successiva dettaglia le caratteristiche degli stendimenti eseguiti:

<b>PROSPEZIONI TOMOGRAFICHE SISMICHE</b>					
<i>STESA</i>	<i>LUNGHEZZA MAX</i> <i>m</i>	<i>INTERDISTANZA</i> <i>GEOFONI</i> <i>m</i>	<i>GEOFONI</i> <i>N.</i>	<i>ENERGIZZAZIONI</i> <i>N.</i>	<i>PROFONDITA'</i> <i>INDAGATA</i> <i>m</i>
<b>RIFR1</b>	44,0	4,0	12	5	≈ 7/8
<b>RIFR2</b>	44,0	4,0	12	5	≈ 6/7
<b>RIFR3</b>	44,0	4,0	12	5	≈ 5/6
<b>RIFR4</b>	44,0	4,0	12	5	≈ 8/10

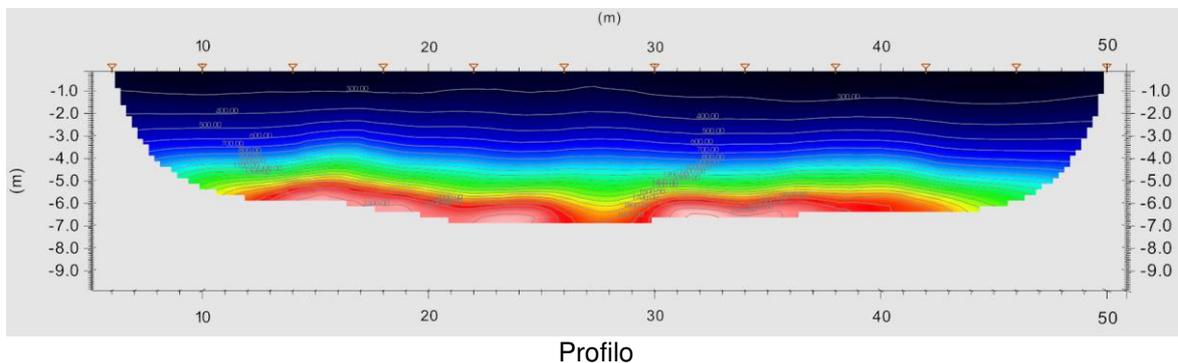
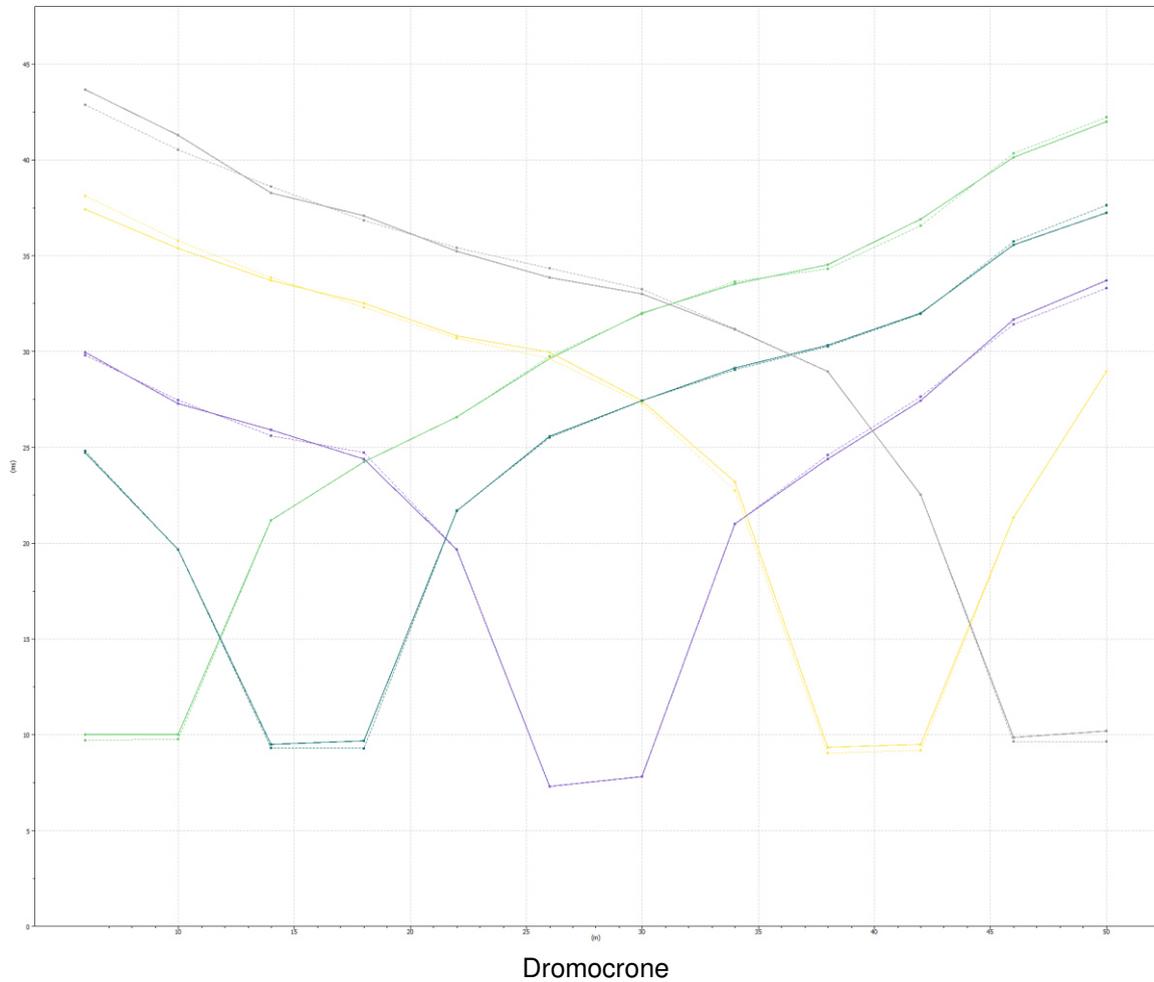
L'interdistanza geofonica ravvicinata pari a 4 metri con 12 canali, garantisce unitamente al raggiungimento di una adeguata profondità d'indagine anche un buon dettaglio risolutivo.

L'interpretazione dei dati è stata effettuata con il software smartTomo che consente di elaborare le registrazioni effettuate con la tecnica tomografica; il programma elabora un modello bidimensionale di velocità del sottosuolo che soddisfa i valori sperimentali acquisiti con le varie energizzazioni lungo lo stendimento, permettendo una ricostruzione graduale delle variazioni.

### RIFR1

Il contatto coltre superficiale-substrato alterato è localizzabile tra le isotache 500 e 700 m/s, il passaggio substrato alterato-substrato integro tra le isotache 900 e 1100 m/s. Il gradiente di velocità è, infatti, molto elevato tra le isotache 500 e 1100 m/s, tali variazioni di velocità evidenziano un rapido passaggio dai depositi disarticolati superficiali al substrato integro.

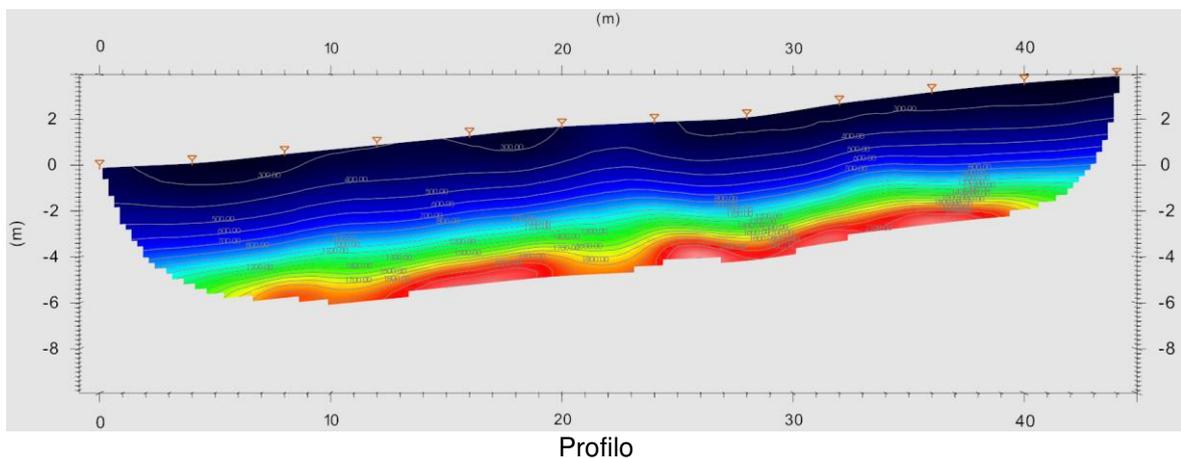
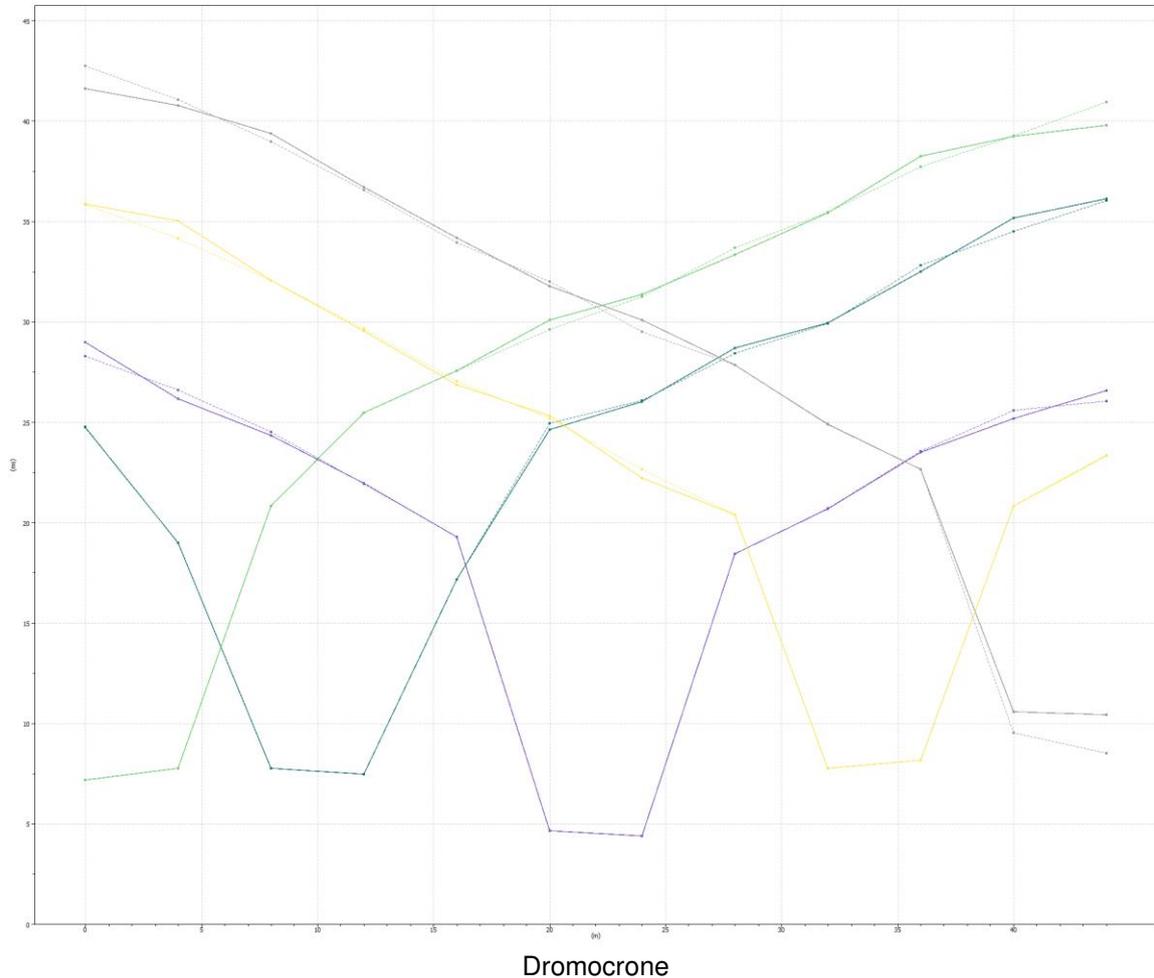
Si può pertanto stimare uno spessore della coltre di alterazione pressoché costante su tutta la sezione compreso tra i 3 e 4 metri circa, e uno spessore della porzione alterata del substrato di circa 1-2 metri.



## RIFR2

Il contatto coltre superficiale-substrato alterato è localizzabile tra le isotache 600 e 800 m/s, il passaggio substrato alterato-substrato integro tra le isotache 900 e 1100 m/s. Il gradiente di velocità è, infatti, molto elevato tra le isotache 600 e 1100 m/s, tali variazioni di velocità evidenziano un rapido passaggio dai depositi disarticolati superficiali al substrato integro.

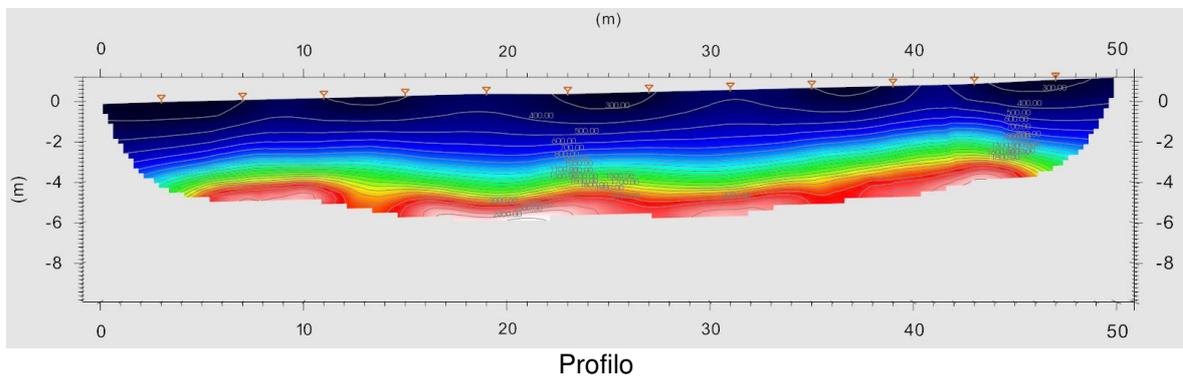
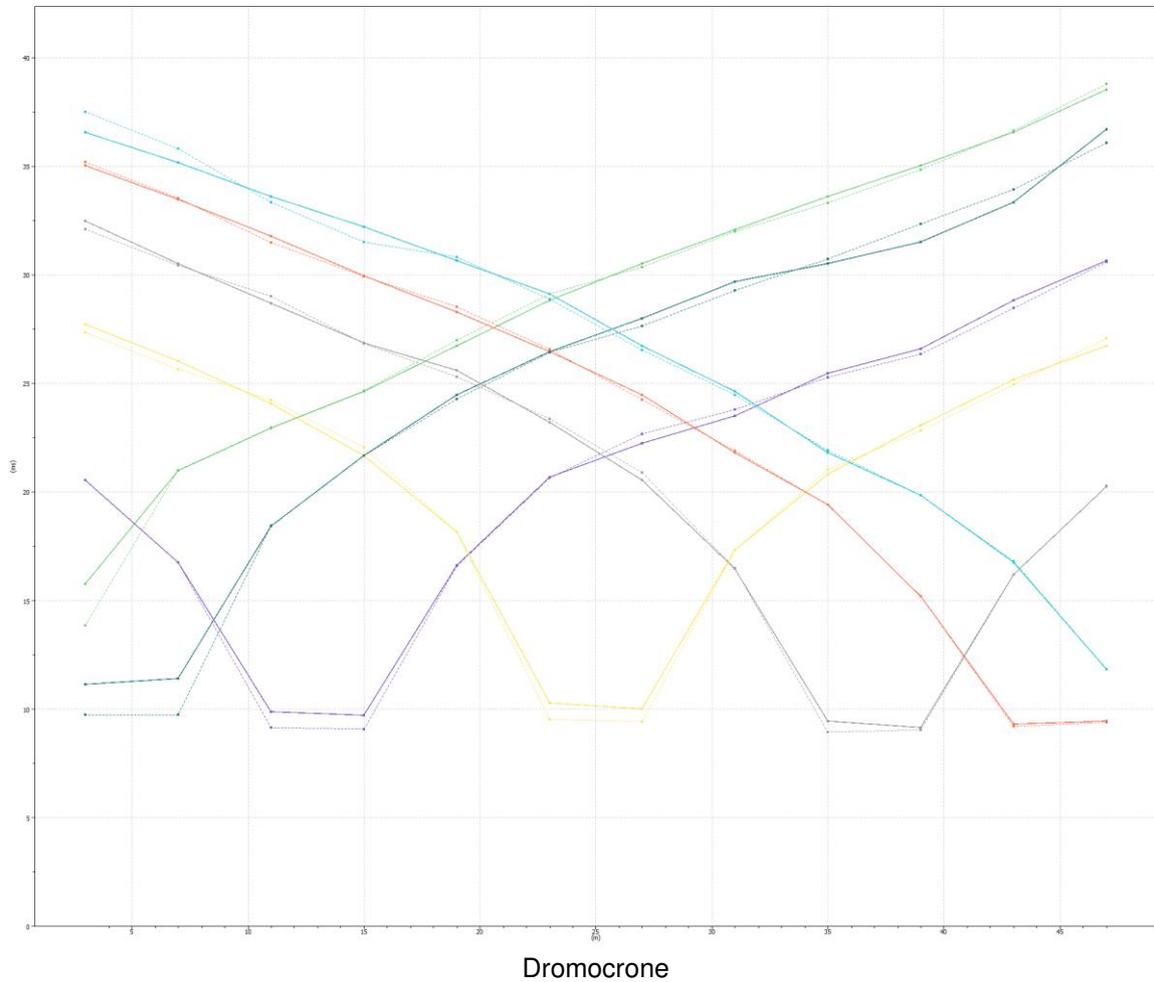
Si può pertanto stimare uno spessore della coltre di alterazione pressoché costante su tutta la sezione compreso tra i 2 e 4 metri circa, e uno spessore della porzione alterata del substrato di circa 1-2 metri.



### RIFR3

Il contatto coltre superficiale-substrato alterato è localizzabile tra le isotache 500 e 700 m/s, il passaggio substrato alterato-substrato integro tra le isotache 800 e 1000 m/s. Il gradiente di velocità è, infatti, molto elevato tra le isotache 500 e 1000 m/s, tali variazioni di velocità evidenziano un rapido passaggio dai depositi disarticolati superficiali al substrato integro.

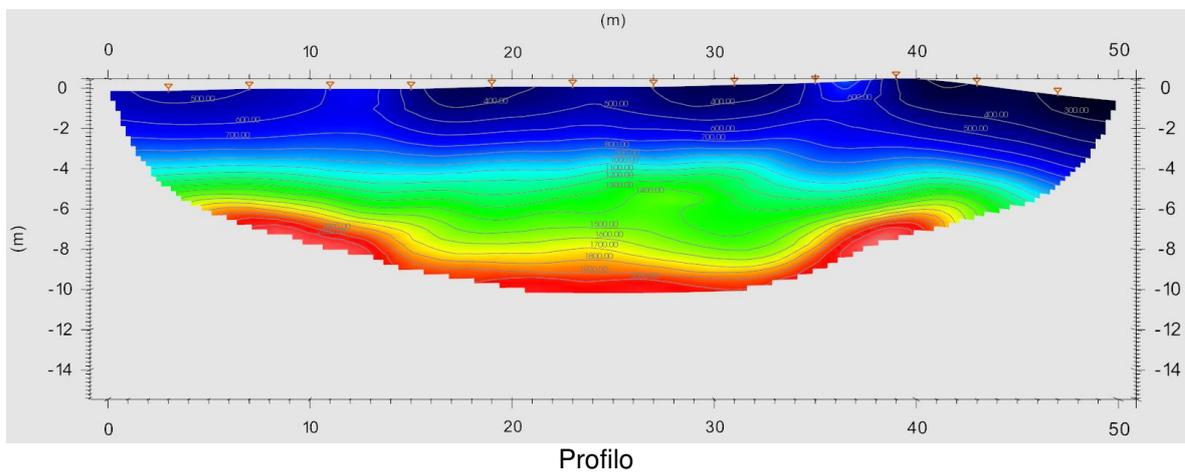
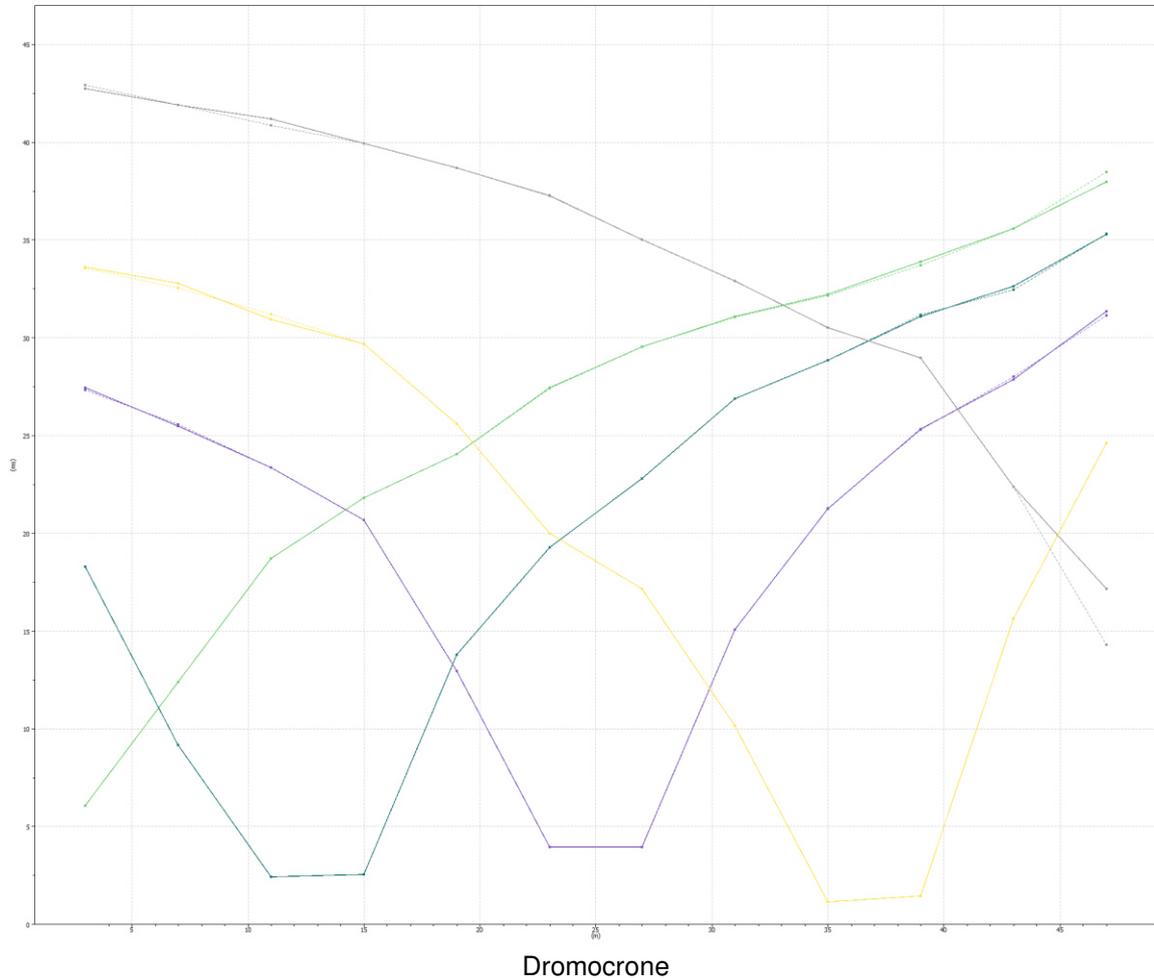
Si può pertanto stimare uno spessore della coltre di alterazione pressoché costante su tutta la sezione compreso tra i 2 e 3 metri circa, e uno spessore della porzione alterata del substrato di circa 1-1,5 metri.



#### RIFR4

Il contatto coltre superficiale-substrato alterato è localizzabile tra le isotache 600 e 800 m/s, il passaggio substrato alterato-substrato integro tra le isotache 900 e 1200 m/s. Il gradiente di velocità è, infatti, molto elevato tra le isotache 600 e 1200 m/s, tali variazioni di velocità evidenziano un rapido passaggio dai depositi disarticolati superficiali al substrato integro.

Si può pertanto stimare uno spessore della coltre di alterazione pressoché costante su tutta la sezione compreso tra i 3 e 4 metri circa, e uno spessore della porzione alterata del substrato di circa 2 metri.



## **8.) CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

La caratterizzazione geotecnica dei materiali deriva dai risultati delle indagini in sito e da dati bibliografici riferibili a prove in sito e di laboratorio su campioni ben assimilabili a quelli in oggetto. Di seguito si riportano i parametri geotecnici minimi e medi degli orizzonti litostratigrafici descritti in precedenza.

### **8.1.) ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE**

L'assetto litostratigrafico locale può essere sintetizzato come segue:

- a) Orizzonte A<sub>0</sub> (coltre superficiale detritica ed eluvio-colluviale): orizzonte costituito da materiali a granulometria fine prevalente (limi argillosi) moderatamente consistenti; lo spessore è risultato variare tra 0,5 e 6 metri circa.
- b) Orizzonte A<sub>1</sub> (coltre di alterazione del substrato): orizzonte costituito da materiali fini (limi argilloso-sabbiosi) molto consistenti con rari clasti litoidi; lo spessore è risultato variare tra 1-1,5 metri circa.
- c) Orizzonte B<sub>A</sub> (substrato alterato e fratturato): orizzonte costituito da alternanze tra siltiti marnose e argilliti alterate e fratturate.

## 8.2.) PARAMETRI GEOTECNICI

La presente caratterizzazione geotecnica preliminare dei materiali deriva dai risultati delle prove eseguite e da dati bibliografici riferibili a prove in sito e di laboratorio eseguite nell'area per precedente indagine, nonché da dati bibliografici su campioni ben assimilabili a quelli in oggetto. Di seguito si riportano i parametri geotecnici minimi e medi degli orizzonti litostratigrafici descritti in precedenza.

### ORIZZONTE GEOTECNICO A<sub>0</sub>

angolo di attrito efficace	$\varphi'$	=	23-25° *
coesione drenata	$c'$	=	2-4 kPa *
coesione non drenata	$C_u$	=	10-20 kPa
peso di volume naturale	$\gamma'$	=	17 kN/m <sup>3</sup>
densità relativa	$D_r$	=	10-20 %
* condizioni drenate			

### ORIZZONTE GEOTECNICO A<sub>1</sub>

angolo di attrito efficace	$\varphi'$	=	26-27° *
coesione drenata	$c'$	=	5-8 kPa *
coesione non drenata	$C_u$	=	20-30 kPa
peso di volume naturale	$\gamma'$	=	20 kN/m <sup>3</sup>
densità relativa	$D_r$	=	50-60 %
* condizioni drenate			

### ORIZZONTE GEOTECNICO B<sub>A</sub>

angolo di attrito dell'ammasso	$\varphi'$	=	30-32° *
coesione dell'ammasso	$c'$	=	15-20 kPa *
resistenza a compressione	$\sigma_c$	=	1,0-1,5 Mpa
peso di volume naturale	$\gamma'$	=	22 kN/m <sup>3</sup>
* condizioni drenate			

## 9.) CLASSIFICAZIONE E VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

L'area oggetto del presente studio, sita nel Comune di Rocchetta Ligure classificata come zona a grado 3 ai sensi dell'*Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003*, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", aggiornata con *Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519/2006*, è stata classificata in zona 3 anche ai sensi della Deliberazione della Giunta Regionale 30 dicembre 2019, n. 6-887 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)".

La normativa prevede una classificazione del sito in funzione sia della velocità delle onde S nella copertura che dello spessore della medesima. Sono quindi state identificate 5 classi, A, B, C, D ed E ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico.

### PARAMETRI PER LA DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Per il calcolo dell'azione sismica, gli elementi necessari sono i seguenti:

- categoria di suolo di fondazione
- condizioni topografiche
- Classe d'uso opera e Vita nominale opera
- Parametri sismici di sito ( $T_r$ ,  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$ )

### DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE

Per la caratterizzazione fisica e geotecnica, si considera la velocità media delle onde di taglio al di sopra del bedrock sismico ( $V_{s_{eq}}$ ); la parametrizzazione delle velocità caratteristiche di questi terreni è stata ottenuta dai risultati delle prove geofisiche eseguite in sito. I valori riscontrati ( $V_{s_{eq}}=321$  m/s) permettono di collocare il sito di interesse in **Categoria di suolo E**.

estratto da tabella 3.2.II - NTC 08

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>E</b>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

### DETERMINAZIONE DELLE CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

estratto da tabella 3.2.IV - NTC 08

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>T2</b>	Pendii e con inclinazione media $i > 15^\circ$

#### *DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DELL'OPERA*

Al fine di poter effettuare le verifiche di sicurezza è necessario definire anche la vita nominale dell'opera e, in presenza di azioni sismiche, la classe d'uso con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, di seguito si riportano i valori considerati.

estratto da tabella 2.4.I - NTC 08

<b>TIPI DI COSTRUZIONE</b>		<b>Vita Nominale <math>V_N</math> (in anni)</b>
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥50

*Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni d'emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

#### *DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI SISMICI DI SITO*

I parametri sismici di sito sono stati calcolati, inserendo le coordinate geografiche medie del sito, la classe d'uso della costruzione, la vita nominale della costruzione per mezzo di un apposito software che utilizza come base di dati il reticolo di riferimento nazionale.

Di seguito si riporta l'elenco dei parametri calcolati per i diversi stati limite.

- periodo di riferimento della costruzione
- $T_r$ : periodo di ritorno evento sismico
- $a_g$ : accelerazione di riferimento del terreno
- $F_o$ : fattore di amplificazione spettrale massima
- $T_c^*$ : periodo di inizio del tratto dello spettro a velocità costante

In allegato si riportano i dati completi riferiti al sito.

#### **9.1.) STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE**

Le NTC richiedono di verificare che il sito sul quale è ubicato il nuovo manufatto risulti stabile nei confronti della liquefazione. Si definisce liquefazione, la riduzione di resistenza e/o rigidezza causata durante il sisma, dall'aumento delle pressioni interstiziali in terreni saturi non coesivi, tale da provocare deformazioni permanenti significative o persino da indurre nel terreno una condizione di sforzi efficaci quasi nulli. Ciò può avvenire e nei depositi di sabbie fini sciolte quando, sotto l'azione dei carichi applicati o di forze idrodinamiche, la pressione dell'acqua dei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento, cioè fino a quando gli sforzi efficaci si riducono a zero.

Di seguito si riportano le condizioni di esclusione dalla verifica di liquefazione così come indicate sulle NTC18.

9.1.1.) *ESCLUSIONE DELLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE*

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

Nel caso in oggetto le accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero (SLV) sono pari  $a_g = 0,096$  g quindi minori di 0,1 g, pertanto si esclude la condizione di liquefazione.

## **10.) VERIFICHE DI STABILITA'**

### **10.1.) CRITERI DI VERIFICA**

Con riferimento ai dati della presente indagine, viene condotta un'analisi relativa alle condizioni di stabilità del settore di versante oggetto di studio.

La valutazione delle condizioni di stabilità del tratto di versante in esame è finalizzata a valutare:

- grado di stabilità dell'area.
- eventuale presenza di porzioni potenzialmente instabili.
- validità dei parametri geotecnici definiti tramite le prove in sito.

Le verifiche sono state condotte facendo riferimento al metodo dell'equilibrio limite globale. Una volta individuati, dalle indagini eseguite, i parametri che caratterizzano il settore di versante oggetto di indagine, è stata eseguita una verifica di stabilità per valutarne il grado di sicurezza e una backanalysis per valutare l'effettiva corrispondenza con il caso reale dei parametri geotecnici del terreno definiti tramite le prove in sito.

### **10.2.) METODI ALL'EQUILIBRIO LIMITE**

I metodi basati sul concetto dell'equilibrio limite hanno in comune le assunzioni evidenziate nel seguito (Lancellotta, 1987):

- Le superfici di scivolamento sono definite e l'analisi di stabilità è effettuata considerando l'equilibrio della massa di terreno individuata da tali superfici, sottoposte alle forze al contorno.
- La resistenza al taglio necessaria all'equilibrio e agente lungo la superficie di scivolamento (ipotizzata o reale) è calcolata attraverso equazioni della statica.
- L'analisi è effettuata in condizioni di deformazione piane.
- La massa del pendio è suddivisa in un conveniente numero di conci.
- Il grado di stabilità delle scarpate e dei pendii viene espresso numericamente dal fattore di sicurezza, che si ottiene come rapporto tra le forze resistenti e le forze instabilizzanti, esso è inteso come il fattore per il quale possono essere divisi i parametri di resistenza per portare il pendio alle condizioni di equilibrio limite (rottura), ed è implicitamente assunto costante lungo tutta la superficie di scivolamento. Valori inferiori all'unità indicano condizioni di instabilità, valori superiori a indicano condizioni di stabilità.

Il metodo adottato per le verifiche è quello proposto da Bishop, fondato sulla teoria dell'equilibrio limite e sul criterio di resistenza di Coulomb; si è ipotizzato un modello comportamentale per il terreno rigido-perfettamente plastico e caratterizzato a rottura dal criterio di Mohr-Coulomb. Nel caso specifico tali metodi verranno applicati mediante l'impiego del programma di calcolo SLOPE proposto dalla GEOSTRU Software.

In particolare si fa riferimento a una superficie di scorrimento circolare, identificata sulla base delle evidenze di terreno identificate tramite i sopralluoghi e le prove effettuati in sito e tramite analisi fotogrammetrica. L'impiego di una superficie di scorrimento circolare discende sia dall'assetto

morfologico che litostratigrafici rilevati; allo stato attuale delle conoscenze tale assunzione consente di riprodurre le osservazioni desunte dalle risultanze morfologiche superficiali relativamente alla potenziale superficie preferenziale di distacco.

#### *10.2.1.) METODOLOGIA DI VERIFICA ADOTTATA*

Al fine di valutare le condizioni di stabilità dell'area è stata eseguita un'analisi di stabilità sul profilo A-A' allo stato attuale, tracciata approssimativamente lungo la linea di massima pendenza. Come esposto in precedenza, si è proceduto all'esecuzione di un'analisi di stabilità, finalizzata a verificare la stabilità del settore di versante in esame allo stato attuale, e una backanalysis per valutare l'effettiva corrispondenza con il caso reale dei parametri geotecnici definiti tramite le prove in sito. Al fine di poter testare il maggior numero di combinazioni di valori, si è ricorso al metodo dell'equilibrio limite.

Sono state prese in considerazione le seguenti differenti condizioni al contorno:

⇒ *Assetto stratigrafico:*

le verifiche sono state condotte con riferimento all'assetto litostratigrafico rilevato in corrispondenza della sezione indicata con la sigla A-A'; le ipotesi stratigrafiche derivano dalle risultanze delle indagini e dall'analisi morfologica dei luoghi.

⇒ *Falda freatica:*

per simulare le condizioni più sfavorevoli, è stata ipotizzata la completa saturazione della coltre superficiale.

⇒ *Parametri geotecnici:*

con riferimento alle prove eseguite e a dati di bibliografia, il modello è stato schematicamente suddiviso in tre unità litologiche principali, costituite rispettivamente dalla coltre detritica ed eluvio-colluviale limoso-argillosa, dalla coltre di alterazione del substrato e dal sottostante substrato marnoso-argillitico; per quanto riguarda i parametri geotecnici sono stati scelti i valori riportati in precedenza.

⇒ *Geometria della superficie di scorrimento:*

le verifiche condotte ipotizza una superficie circolare, identificata sulla base delle evidenze di terreno identificate tramite i sopralluoghi effettuati in sito e tramite analisi fotogrammetrica.

Per valutare la stabilità dell'area in modo rispondente alla situazione locale sono state pertanto eseguite delle verifiche alla traslazione e/o alla rotazione riferendosi alla valutazione dell'equilibrio limite, e cioè nella stima del coefficiente di sicurezza del volume compreso tra la superficie del versante e superfici di taglio potenziali imposte. La procedura di calcolo prende in considerazione tutte le forze e/o i momenti agenti lungo il piano di taglio, fornendo una valutazione della stabilità globale attraverso le equazioni di equilibrio fornite dalla statica.

Il coefficiente di sicurezza globale del pendio viene calcolato attraverso il rapporto fra la resistenza di taglio massima disponibile lungo la superficie di rottura e gli sforzi tangenziali mobilitati lungo

tale piano:

$$F_{sic} = T_{max} / T_{mob};$$

con  $F_{sic}$  = coefficiente di sicurezza;

$T_{max}$  = resistenza di taglio massima;

$T_{mob}$  = sforzo tangenziale mobilitato.

All'equilibrio ( $T_{max} = T_{mob}$ )  $F_{sic}$  deve essere ovviamente uguale a 1.

Nelle verifiche agli Stati Limite la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

$F_H$  e  $F_V$ : componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

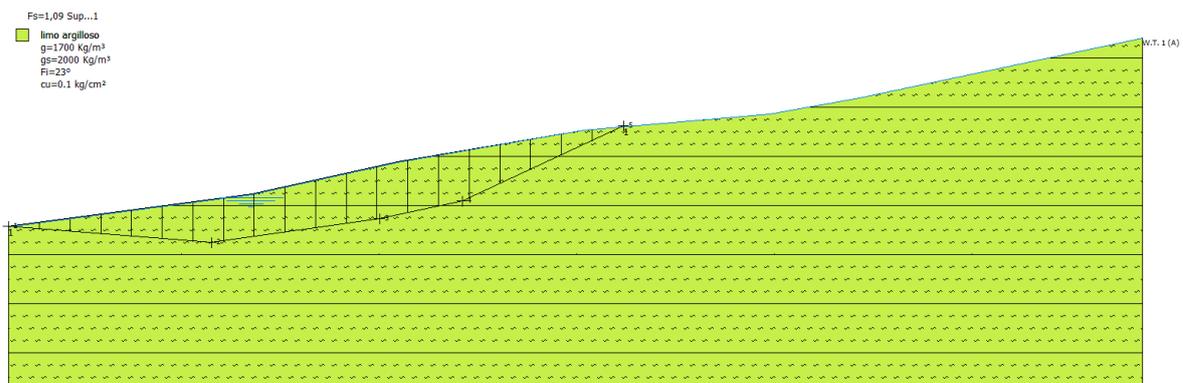
W: peso concio

$K_o$ : Coefficiente sismico orizzontale

$K_v$ : Coefficiente sismico verticale.

### 10.3.) BACK ANALYSIS

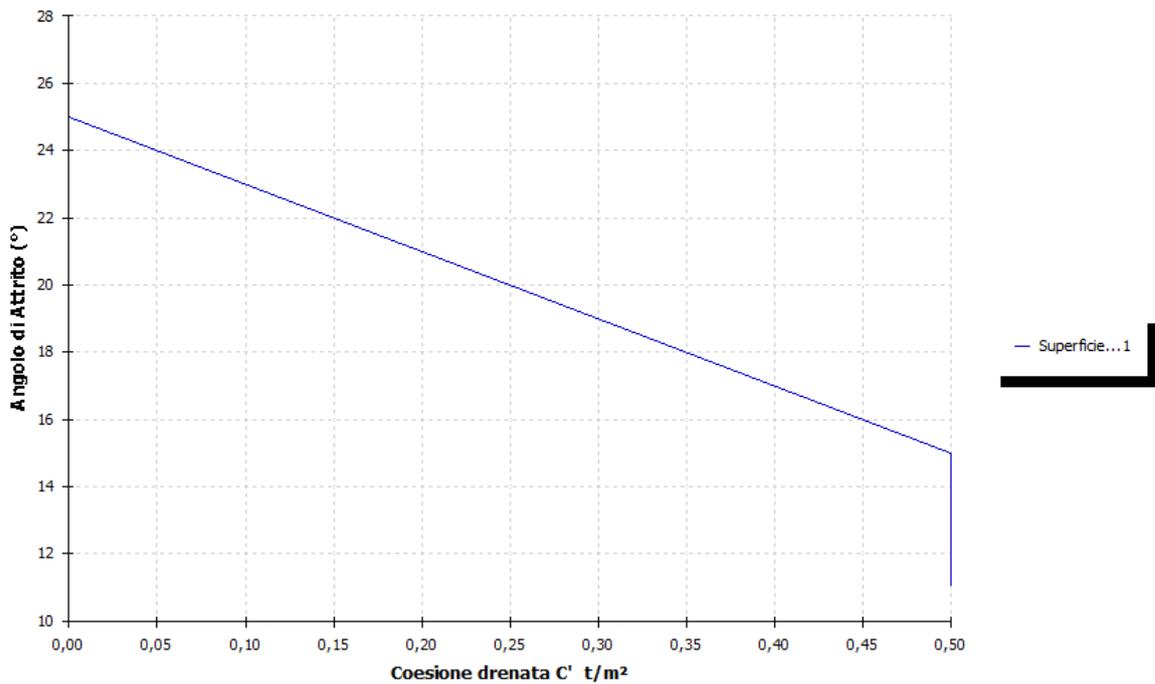
Al fine di verificare la bontà dei parametri geotecnici definiti sulla base delle prove in sito per la coltre superficiale sono state effettuate le analisi a ritroso (back analysis) sulla superficie del pendio allo stato attuale lungo la sezione precedentemente indicata, definendo lungo la stessa un'ipotetica superficie di scivolamento sulla base delle evidenze di terreno; ciò ha consentito di risalire ai parametri geotecnici locali che hanno determinato i fenomeni di instabilità avvenuti in sito.



In questo tipo di analisi si impone per le superfici di scivolamento definite un fattore di sicurezza pari a 1; come risultato si ottiene una funzione di regressione che correla le coppie di  $\phi$  (angolo di attrito) e  $c'$  (coesione drenata) per cui risulta verificata l'equazione di stabilità.

Le back analysis sono state eseguite sullo strato superficiale di coltre utilizzando il metodo di calcolo di Janbu. I risultati, di cui di seguito si riportano le espressioni grafiche, indicano condizioni di instabilità per valori di resistenza al taglio compresi tra  $\phi'=20-25^\circ$  con  $c'=0-2,5$  kPa.

### Back Analysis



Le coppie di valori comprese nell'intervallo  $\phi' = 21-24^\circ$  caratterizzate da  $c' = 0,5-2$  kPa ben si accordano ai risultati delle prove eseguite in sito e ai dati bibliografici disponibili.

Da quanto sopra si ottiene pertanto una conferma delle caratteristiche geotecniche della coltre superficiale ottenute attraverso le indagini in sito.

#### 10.4.) SINTESI DEI RISULTATI VERIFICHE STABILITÀ

Le verifiche di stabilità sono state eseguite con il metodo di *Jambu*; ipotizzando una superficie di scivolamento (vedi allegati) lungo la sezione precedentemente indicata. La tabella seguente riporta il valore del fattore di sicurezza ricavato attraverso la verifica di stabilità eseguita per la sezione considerata.

SEZIONE	Fs MIN
A-A'	1,09

I risultati ottenuti evidenziano l'effettiva possibile instabilità del settore indagato, come peraltro sottolineato anche dalle evidenze geomorfologiche presenti in sito e rilevate durante i sopralluoghi effettuati.

Le risultanze complete della verifica e dei parametri adottati sono riportate nella relazione di calcolo allegata.

## **11.) CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

A seguito di quanto esposto si può affermare che l'area interessata dagli interventi in progetto, sita a Rocchetta Ligure fa parte di un settore di versante interessato da un ampio fenomeno di dissesto che ha determinato la formazione di accumuli detritici alla base del pendio e che lambisce il sedime di terreno dove sono situate le scuole. Dal punto di vista stratigrafico il settore interessato dal progetto è caratterizzato dalla presenza di una coltre superficiale di natura argilloso-limosa dalle non elevate caratteristiche meccaniche di spessore variabile da circa un metro a 5-6 metri, al di sotto della quale è presente il substrato marnoso-argillitico.

Pur non essendo presente una falda vera e propria, in seguito ad intensi afflussi meteorici si instaura una circolazione idrica subcorticale al contatto coltre-substrato con conseguente completa saturazione della coltre superficiale. Inoltre all'interno del substrato la presenza di livelli maggiormente alterati e/o sabbiosi, interclusi tra strati con minore permeabilità sono sede di una circolazione acquifera. L'aumento della pressione interstiziale all'interno di questi livelli maggiormente permeabili è una delle cause principali che innescano i fenomeni di instabilità gravitativa che interessano il versante oggetto di studio.

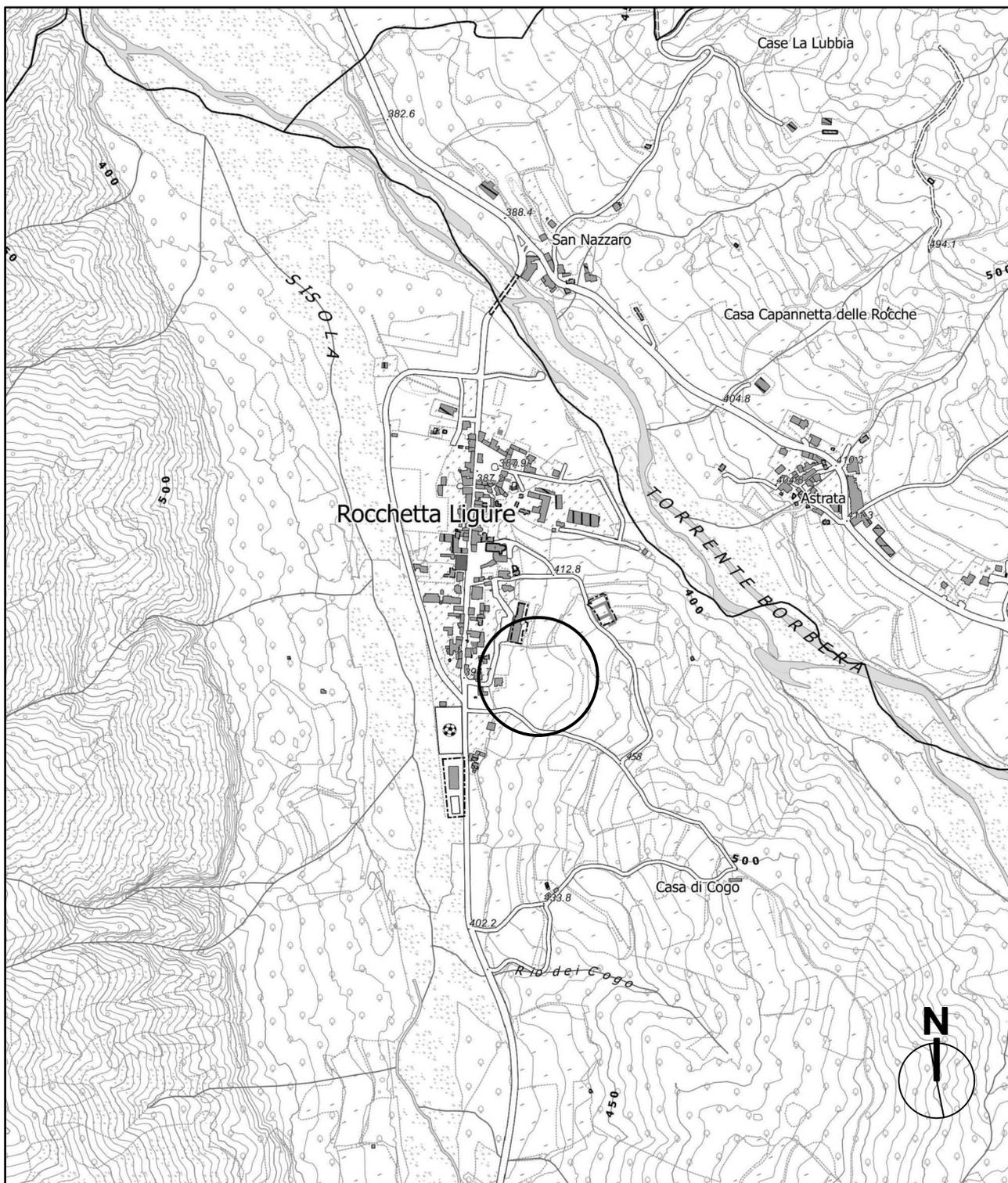
L'intervento dovrà prevedere un consolidamento al piede del pendio, le opere di sostegno dovranno essere adeguatamente immorsate nel substrato, eventualmente prevedendo l'utilizzo di ancoraggi, in quanto gli orizzonti superficiali presentano caratteristiche meccaniche non adeguate; in ogni caso, durante le operazioni di scavo per la realizzazione delle opere, in considerazione del fatto che gli sbancamenti previsti verranno realizzati in area interessate da frana e in prossimità della strada e di edifici, si dovrà porre particolare attenzione durante le fasi di scavo al fine di evitare rischi di smottamento delle superfici di neoformazione con conseguenti possibili effetti sulle strutture adiacenti, dovranno essere eseguiti interventi finalizzati alla regimazione di eventuali acque superficiali al fine di evitare la loro azione erosiva.

Andranno inoltre realizzati drenaggi sul versante a monte dell'intervento al fine di abbassare le pressioni interstiziali lungo il versante stesso, verificando la compatibilità degli stessi con le strutture esistenti al fine di evitare fenomeni di assestamento del terreno che possano interferire con le strutture esistenti.

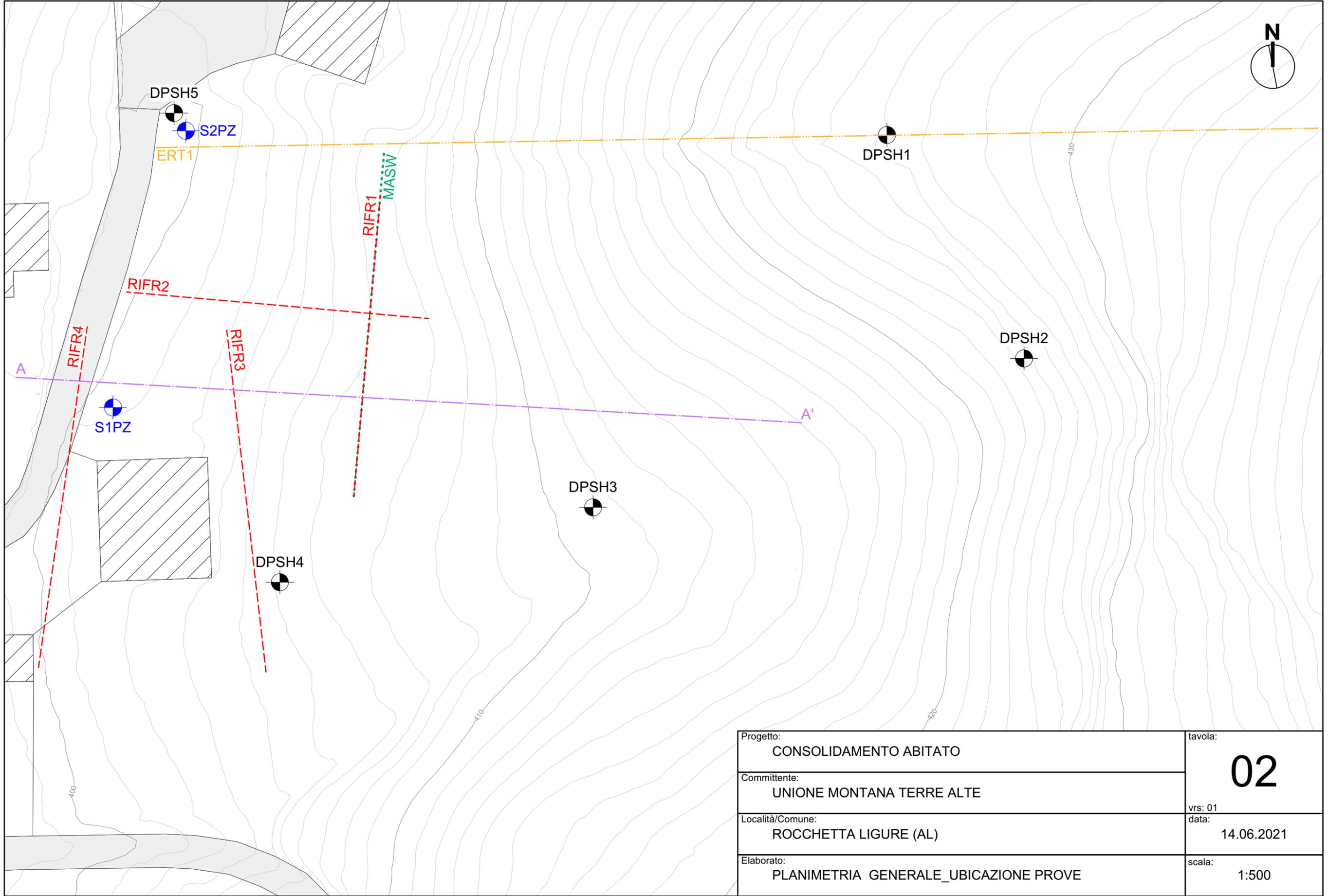
Con le suddette indicazioni e a condizione che le opere vengano realizzate seguendo le buone regole dell'arte si ritiene il sito idoneo a recepire quanto previsto dal progetto.

Rossiglione, giugno 2021

  
geologo Andrea Angeleri



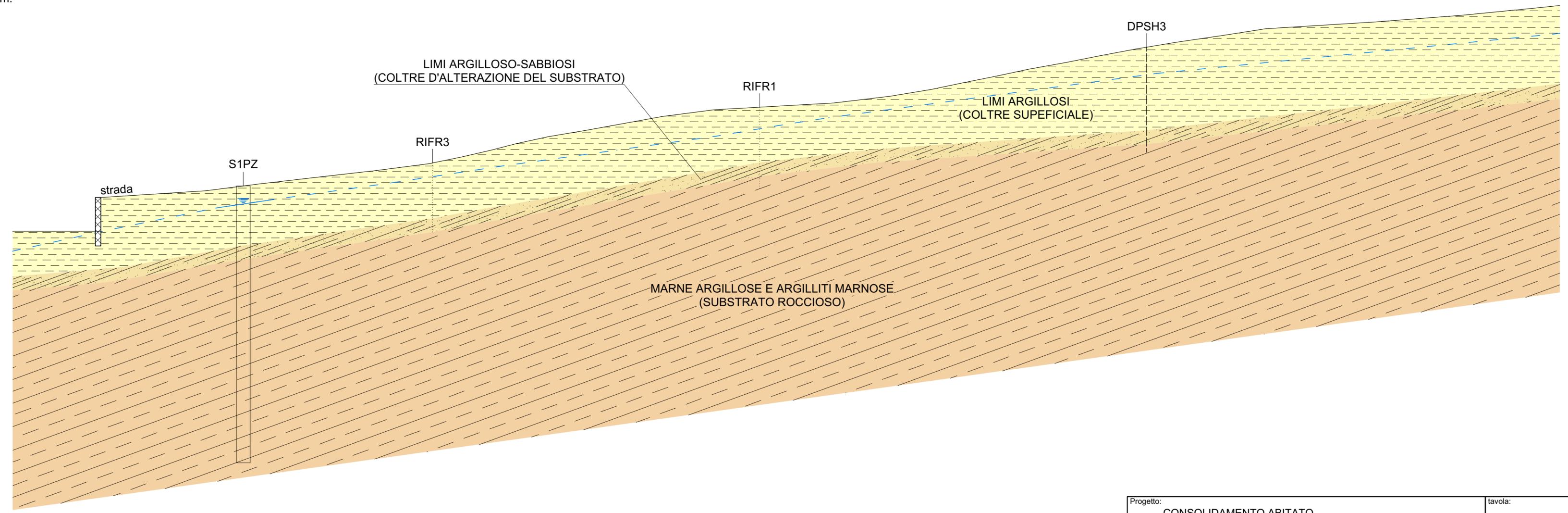
Progetto: <b>CONSOLIDAMENTO ABITATO</b>	tavola: <b>01</b>
Committente: <b>UNIONE MONTANA TERRE ALTE</b>	vrs: 01
Località/Comune: <b>ROCCHETTA LIGURE (AL)</b>	data: <b>14.06.2021</b>
Elaborato: <b>COROGRAFIA_STRALCIO BDTRE 196050</b>	scala: <b>1:10.000</b>



Progetto: <b>CONSOLIDAMENTO ABITATO</b>	tavola: <b>02</b>
Committente: <b>UNIONE MONTANA TERRE ALTE</b>	vrs: 01
Località/Comune: <b>ROCCHETTA LIGURE (AL)</b>	data: <b>14.06.2021</b>
Elaborato: <b>PLANIMETRIA GENERALE_UBICAZIONE PROVE</b>	scala: <b>1:500</b>

QUOTE  
m s.l.m.

412  
410  
408  
406  
404  
402  
400  
398  
396  
394  
392  
390  
388  
386  
384  
382  
380  
378  
376



Progetto: CONSOLIDAMENTO ABITATO	tavola: <b>03</b>
Committente: UNIONE MONTANA TERRE ALTE	vrs: 01
Località/Comune: ROCCHETTA LIGURE (AL)	data: 24.06.2021
Elaborato: SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA	scala: 1:200

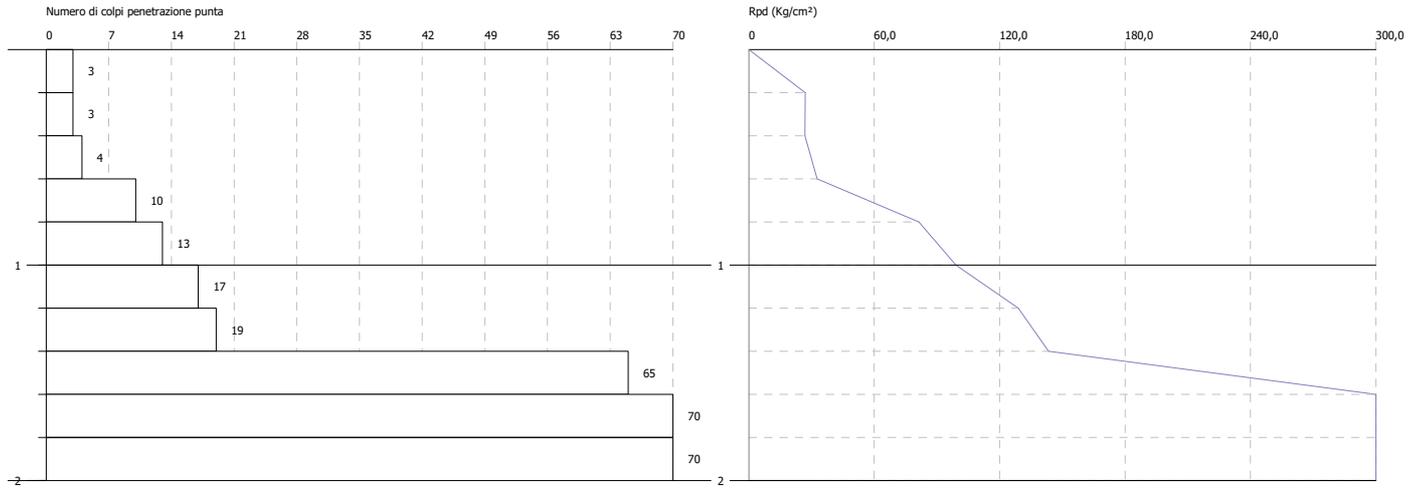
Andrea Angeleri geologo - Rossiglione

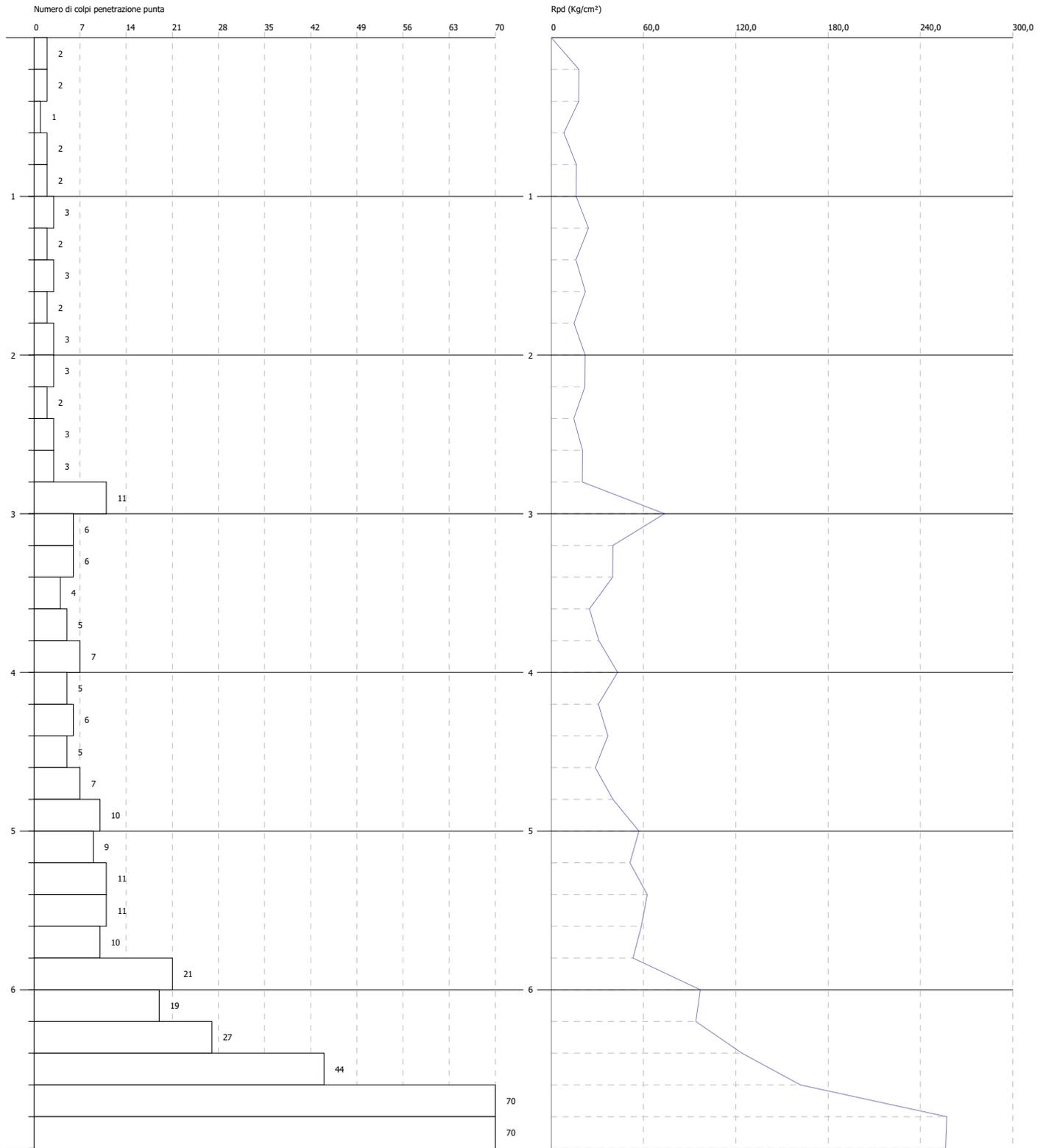
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

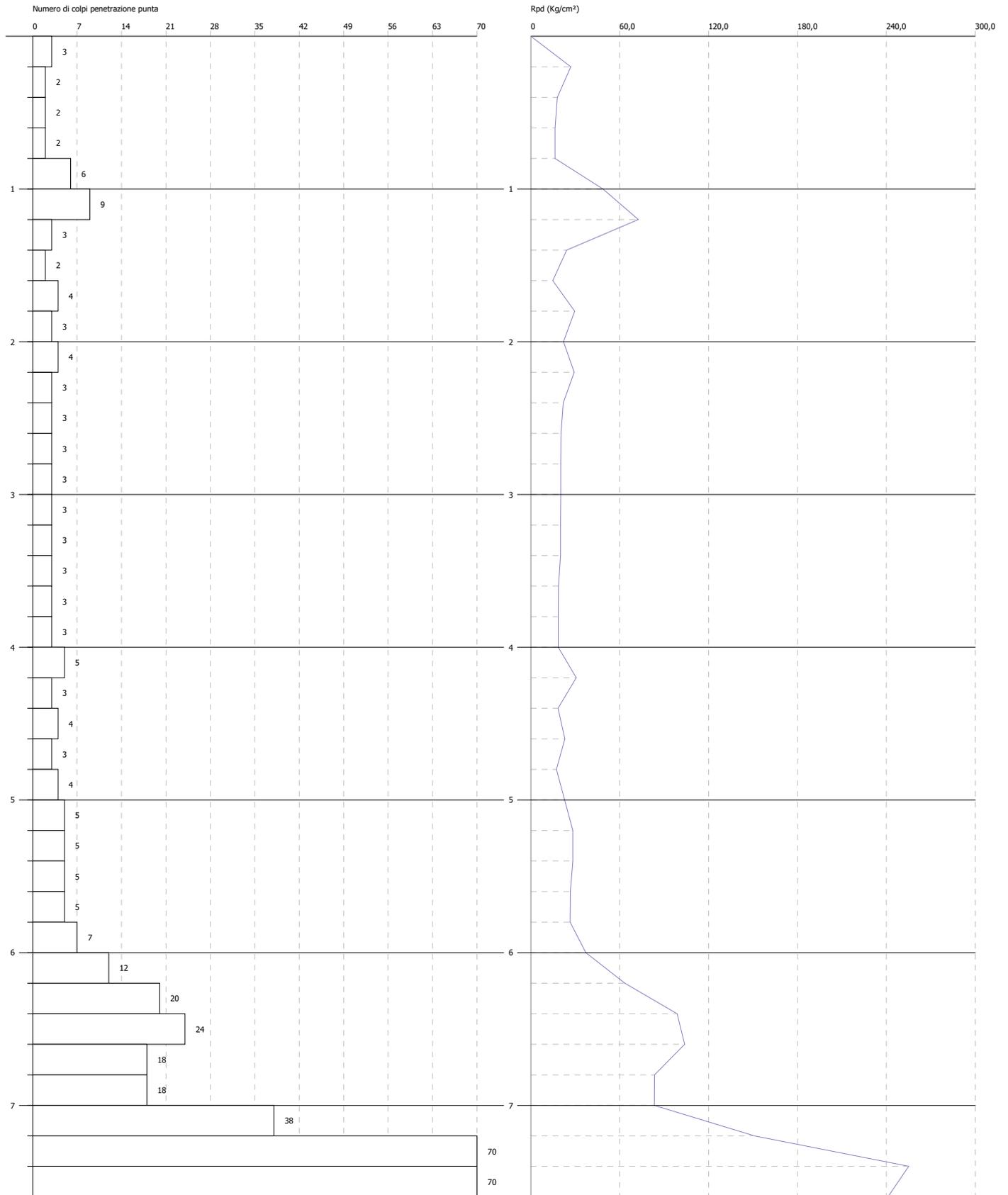
Committente: Comune di Rocchetta Ligure  
Descrizione: Consolidamento Abitato  
Località: Rocchetta Ligure (AL)

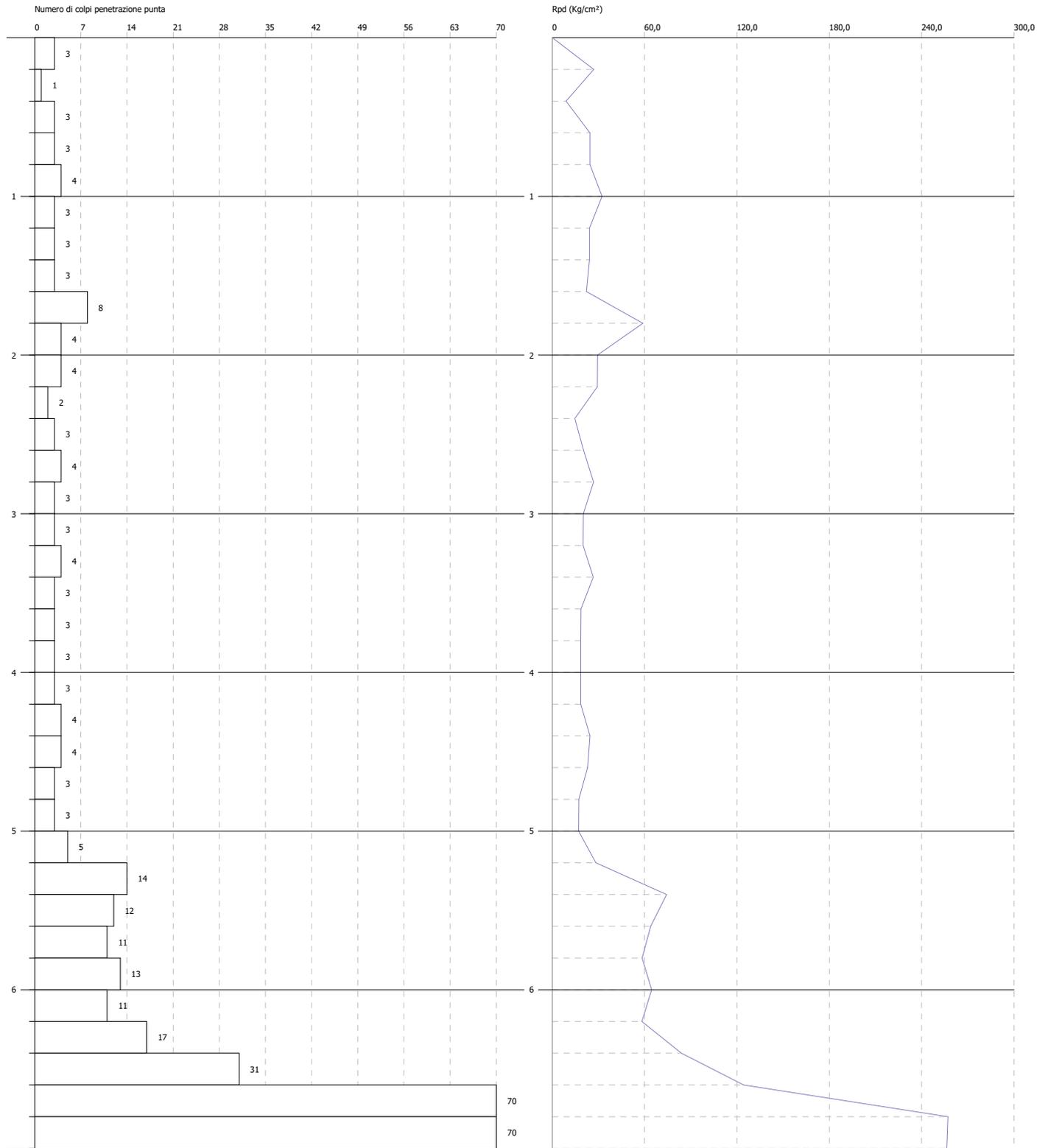
Data: 06/05/2021

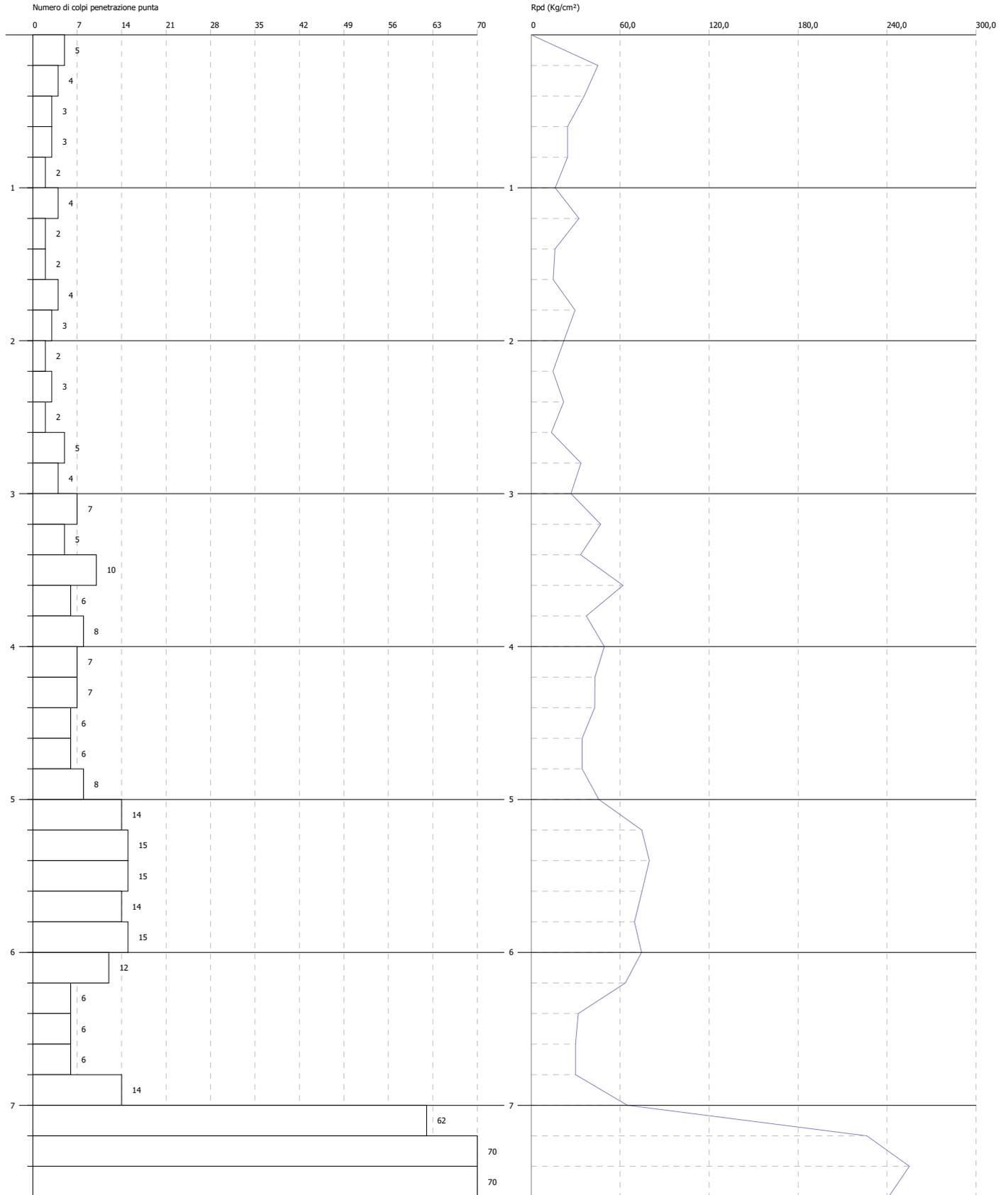
Scala 1:35











COMUNE DI ROCCHETTA LIGURE

**CONSOLIDAMENTO ABITATO**

RAPPORTO INDAGINI TOMOGRAFIA ELETTRICA  
ROCCHETTA LIGURE (AL)


## **INDICE**

- 1.) PREMESSA E DESCRIZIONE TECNICA TOMOGRAFICA ELETTRICA
- 2.) MODALITA' DI ESECUZIONE
- 3.) ELABORAZIONE E RICOSTRUZIONE BIDIMENSIONALE DEL SOTTOSUOLO
- 4.) RISULTANZE DELLE INDAGINI
- 5.) CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

## 1.) PREMESSA E DESCRIZIONE TECNICA TOMOGRAFICA ELETTRICA

In data 26/05/2021 è stata condotta una campagna di indagini geofisiche in corrispondenza di un settore di versante ubicato al limite sud del concentrico abitato di Rocchetta Ligure (AL), in prossimità delle scuole. Le indagini sono state eseguite con la principale finalità di ricavare informazioni sull'assetto stratigrafico dei primi 10-15 m di profondità.

La strumentazione utilizzata per l'indagine geoelettrica è rappresentata dall' ARS-200E (*Automatic Resistivity System*) di fabbricazione GEOPHIZYKA (Gf Instruments Brno) le cui specifiche tecniche sono riportate nella pagina successiva.



Il metodo di indagine è del tutto analogo a quello su cui si basa il tradizionale sondaggio elettrico verticale (SEV): immettendo nel terreno corrente continua (o corrente alternata a bassa frequenza) si genera un campo elettrico le cui linee di corrente all'interno del sottosuolo indagato sono deformate dalla presenza di disomogeneità, come a titolo di esempio stratificazioni o corpi sepolti aventi differenti comportamenti elettrici.

Le rocce (matrice rocciosa) in quanto aggregati di minerali, a loro volta sali inorganici a legame chimico etero valente molto forte, sono intrinsecamente isolanti, poiché non esistono al loro interno particelle cariche libere di muoversi e quindi atte a trasportare corrente ( $I$ ) se sottoposte ad una differenza di potenziale ( $\Delta V$ ).

Tuttavia gli "ammassi rocciosi" (coerenti) o gli "aggregati rocciosi" (incoerenti) sono generalmente fratturati o porosi e tale condizione favorisce la circolazione di acqua (elettrolita), la quale, essendo più o meno ricca di ioni, permette il passaggio della corrente elettrica, se esiste per qualche motivo un campo elettrico.

Nel caso di un materiale incoerente (per es. ghiaia, sabbia ecc) la *porosità efficace*, ovvero determinata alla porzione di pori interconnessi, è quella che da una parte risulta "utile" ai fini della circolazione acquifera in falda e dall'altra risulta altrettanto "utile" ai fini della condizione elettrica in quanto garantisce la continuità fisica della soluzione elettrolitica all'interno della matrice rocciosa. La correlazione tra circolazione idrica e circolazione di corrente nel dato mezzo è quantificata dalla *legge di Archie* che lega analiticamente la

resistività elettrica del mezzo ( $\rho$ ) con quella dell'acqua ( $\rho_w$ ) con il fattore di formazione (F) funzione quest'ultimo del fattore di cementazione (m) e della porosità ( $\phi$ ) oltre che da un coefficiente empirico (a):

$$\rho = \rho_w F \quad \text{dove} \quad F = a\phi^{-m}$$

Tale legge vale per rocce porose non argillose in quanto l'argilla inciderebbe in modo sostanziale alla conduttività elettrica a causa del fenomeno dell'adsorbimento cationico rendendo erronea la valutazione di ( $\rho_w$ ).

Il metodo geoelettrico utilizza quindi come parametro geofisico per indagare il sottosuolo, la resistività elettrica del terreno.

In valori di resistività registrati in campagna sono valori di "resistività apparente" ( $\rho_a$ ) funzione quest'ultima dell'intensità di corrente (**I**) immessa nel sottosuolo attraverso gli elettrodi di corrente A e B (anche nominati  $C_1$  e  $C_2$ ), ed alla differenza di potenziale ( $\Delta V$ ) misurata tra i due elettrodi M e N di potenziale (anche nominati  $P_1$  e  $P_2$ ) sulla scorta della nota legge di Ohm:

$$\rho_a = k(\Delta V/I)$$

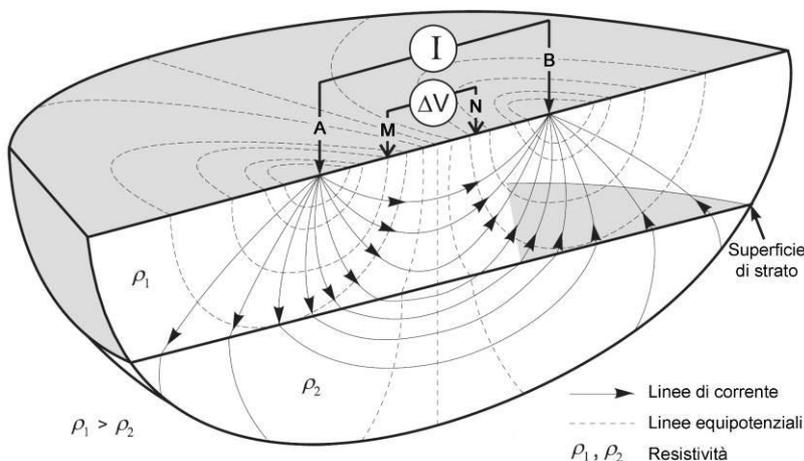
dove **k** è il "fattore geometrico" dipendente dal tipo di array utilizzato ovvero dalle posizioni reciproche di A,B,M,N.

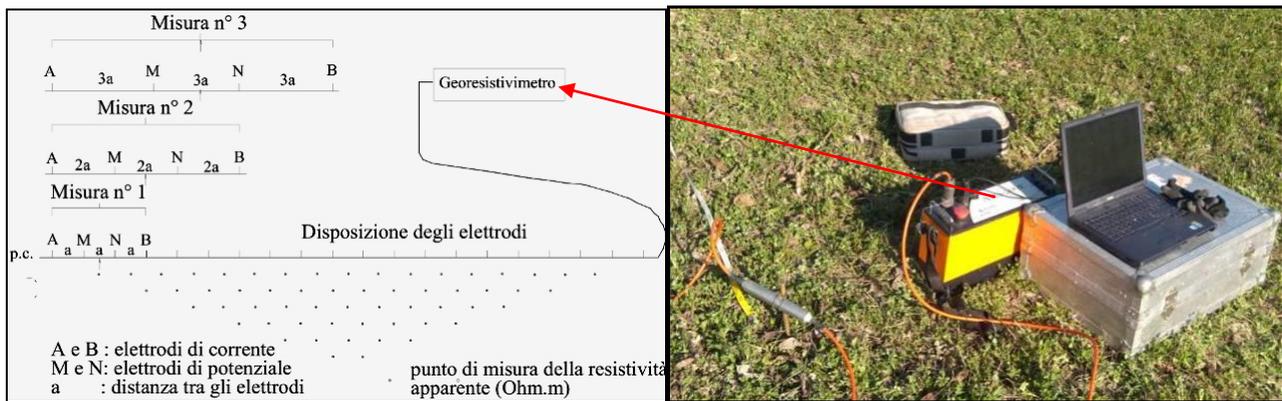
Ogni misura di resistività apparente è riferita orizzontalmente al centro del quadripolo utilizzato (A-M-N-B) ed a una profondità funzione della distanza A-B e del tipo di quadripolo utilizzato.

Si parla di "resistività apparente" perché le linee di corrente che consentono di valutare tale parametro, hanno attraversato più formazioni rocciose e quindi non corrisponde alla resistività reale di un dato strato a meno che il sottosuolo non sia omogeneo ed isotropo.

La tomografia elettrica (o multiSEV) è l'espressione più recente dell'evoluzione dei tradizionali metodi elettrici in corrente continua. L'energizzazione e determinazione della differenza di potenziale generata è consentita tramite un

sistema multielettrodo allineato comprendente n.32 elettrodi collegati con un georesistivimetro. Gli elettrodi sono alternativamente commutati in base a configurazioni specifiche in energizzanti (**A** e **B**) che di misura (**M** e **N**). Maggiore è la spaziatura tra gli elettrodi A e B (o  $C_1$  e  $C_2$ ) maggiore sarà la profondità investigata.





La lunghezza massima dello stendimento deve essere maggiore del tratto effettivo di investigazione in modo da ottenere la sua totale copertura. Naturalmente nel caso in questione ciò è stato limitato dagli effettivi spazi a disposizione.

## 2.) MODALITA' DI ESECUZIONE

L'indagine geoelettrica è stata effettuata per mezzo di georesistivometro di fabbricazione GF Intruments modello ARES-200E collegato a n.3 cavi ad 8 elettrodi intelligenti ottenendo acquisizioni a 24 canali totali. La misurazione della resistività è completamente automatizzata e può essere eseguita usando differenti configurazioni elettrodiche a seconda delle esigenze.



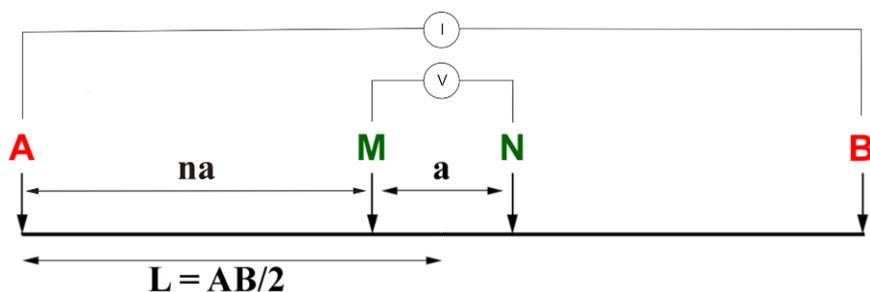
Georesistivometro ARES 200E

<b>TRANSMITTER:</b>	
POWER	Up to 300 W
CURRENT	1 A
VOLTAGE	600 V <sub>p.p</sub>
PROTECTION	ELECTR. OVERLOAD
PRECISION	0,10%
<b>RECEIVER:</b>	
INPUT IMPEDANCE	>22 M Ω
INPUT VOLTAGE RANGE	+/- 5 V DC
MAINS FREQUENCY FILTERING	50 or 60 Hz
MEASURING RESOLUTION	0,3 μV (24 bit)

Nello specifico è stata eseguita una stesa tomografica acquisita con configurazione elettrodica Schlumberger particolarmente adatta per la valutazione di variazioni orizzontali della resistività oltre che caratterizzato da un buon rapporto segnale/disturbo. Per la stesasi è utilizzata la procedura *roll-along* che consente l'acquisizione diretta in un'unica stesa di una lunghezza indagata senza dovere eseguire differenti stese successivamente elaborate congiuntamente. Ciò implica l'utilizzo dei 24 canali (elettrodi) che vengono progressivamente spostati da un'estremità all'altra dello stendimento iniziale mano a mano che le singole misure vengono acquisite la resistivometro. Ciò determina una mole di lavoro sul campo

decisamente superiore all'acquisizione su stese separate però allo stesso tempo garantisce una copertura del dato molto superiore che consentirà un'ottimizzazione dei risultati in fase di elaborazione da parte del software di inversione.

Al fine di evitare discrepanze tra la costante geometrica teorica dell'array e quella reale è stato importante garantire un ottimo allineamento delle stese (scostamento dalla traiettoria rettilinea inferiore al 5%).



*Configurazione Schlumberger*

	<b>ERT1</b>
<b>Lunghezza stendimento</b>	188,0 m
<b>Interdistanza elettroica</b>	4,0 m
<b>AB massimo</b>	84,0 m
<b>AB minimo</b>	12,0 m
<b>Numero elettrodi</b>	24
<b>Metodo utilizzato</b>	Schlumberger
<b>Numero data points</b>	333

*Tabella riassuntiva parametri di acquisizione*



*Stesa ERT1*

### 3.) ELABORAZIONE E RICOSTRUZIONE BIDIMENSIONALE DEL SOTTOSUOLO

Il valore numerico della resistività apparente misurata non è semplicemente il valore medio delle resistività degli elettrostrati incontrati dalle linee di corrente, ma è definito da una funzione più complessa in quanto dipende sia dalle resistività dei vari litotipi attraversati che dai loro spessori.

Ed è proprio grazie al fatto che la distribuzione della resistività apparente è legata allo spessore, alla localizzazione, alla forma e alla resistività dei litotipi che la corrente ha oltrepassato, che da questa misura si possono ottenere informazioni sulle discontinuità presenti nel sottosuolo.

La pseudosezione della resistività apparente (*Measured Apparent Resistivity Pseudosection*) ha quindi valore esclusivamente qualitativo in quanto ogni misura di resistività apparente raffigurata fa riferimento non al punto esatto in corrispondenza del quale essa viene attribuita convenzionalmente (centro del quadripolo a profondità funzione di A-B), bensì al considerevole volume di terreno interessato dalla circolazione di corrente introdotta da AB e misurata da MN. Per tale ragioni tale pseudosezione fornisce essenzialmente un disegno “sfocato” dell’andamento della resistività sia lateralmente che verticalmente ma non consente l’identificazione di contorni netti delimitanti bordi di strutture sepolte.

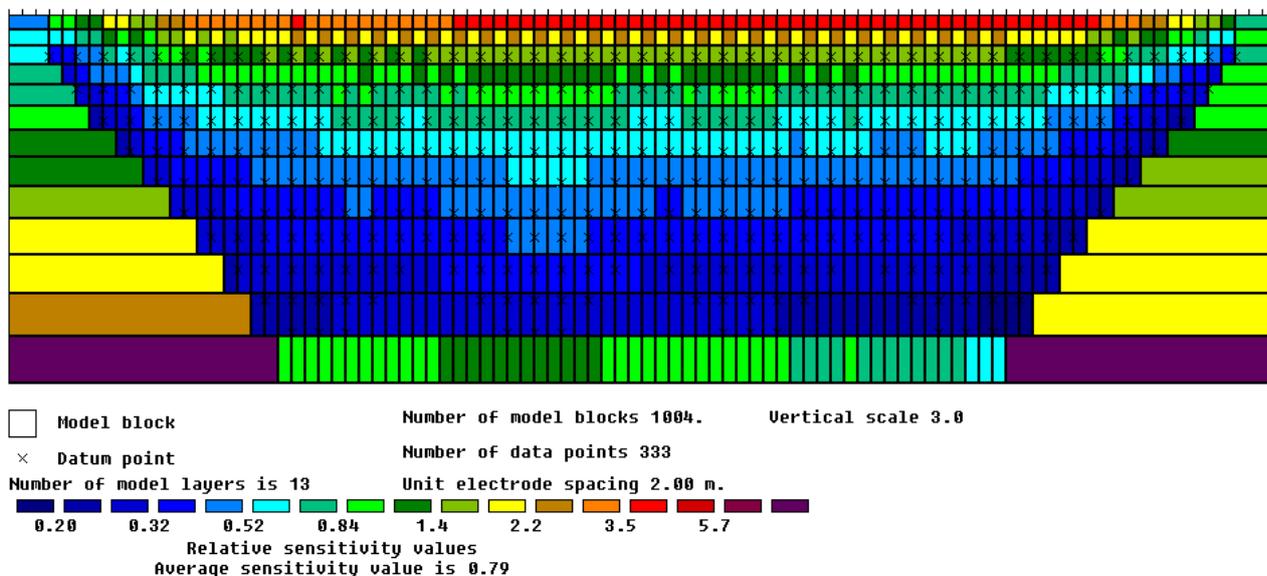
Le misure di resistività apparente ricavate sperimentalmente sono state quindi elaborate per mezzo dello specifico programma di interpretazione ed inversione tomografica bidimensionale RES2DINV ver. 3.59.

In generale il metodo inverso è un insieme organizzato di tecniche matematiche usate per analizzare i dati al fine di ottenere informazioni utili sulla realtà fisica che ha determinato l’andamento del dato misurato. Tale metodo può essere schematizzato come segue:

*dati misurati (input) → modello (filtro inverso) → stime dei parametri del modello (output)*

Nel caso della geoelettrica si deve risolvere un problema sovra-determinato (un sistema costituito da più dati che incognite), non lineare, che utilizza parametri realmente discreti o che possono essere considerati tali.

Se l’inversione è basata sulla suddivisione del sottosuolo in “voxel” omogenei, i parametri da determinare sono perciò i valori di resistività reale, i dati sono i valori di resistività apparente misurati in superficie e le risposte del modello sono le resistività apparenti calcolate tramite il modello.



*Sensitività relativa dei modello a blocchi utilizzato per ERT1*

Per fare ciò il programma RES2DINV discretizza il sottosuolo in un numero definito di blocchi rettangolari (non superiori ai dati acquisiti) elaborando un modello bidimensionale nel quale i valori di resistività dei singoli blocchi (*voxel*) soddisferanno i valori sperimentali acquisiti.

Uno dei parametri modificabili per la creazione di un buon modello teorico è la larghezza dei blocchi (*voxel*) con cui si discretizza il sottosuolo, la quale generalmente risulta essere pari all'interdistanza elettrodoica. Tuttavia è anche possibile dimezzare tale parametro ottenendo in molti casi un modello più dettagliato e raffinato ("*model refinement*"). Data la buona qualità dei dati si è fatto utilizzo di questa tecnica per tutte le sezioni in esame.

La pseudosezione così calcolata (*Calculated Apparent Resistivity Pseudosection*) viene quindi confrontata con quella misurata (*Measured Apparent Resistivity Pseudosection*) indicato l'errore quadratico medio (RMS error), che fornisce in percentuale lo scarto tra i valori misurati e quelli calcolati: più basso è il valore, maggiore è la corrispondenza matematica tra i dati di campagna e quelli del modello. Successive iterazioni consentono di minimizzare tale errore ottenendo in fine la sezione di *resistività reale* definitiva (*Inverse Model Resistivity Section*) dalla quale è possibile ricavare informazioni sulla natura del sottosuolo, su eventuali terreni saturi o presenza di corpi sepolti.

#### 4.) RISULTANZE DELLE INDAGINI

Durante la fase di acquisizione è apparso evidente l'ottima qualità del dato registrato. Ciò è stato garantito dall'assenza di sorgenti di disturbo elettro-magnetico e da un ottimo accoppiamento elettrodi-suolo.

L'ulteriore screening dei dati nella fase pre-inversione non ha determinato l'esigenza di rimuovere alcun valore anomale ("*spikes*" o "*bad data point*") nella stesa ERT1.

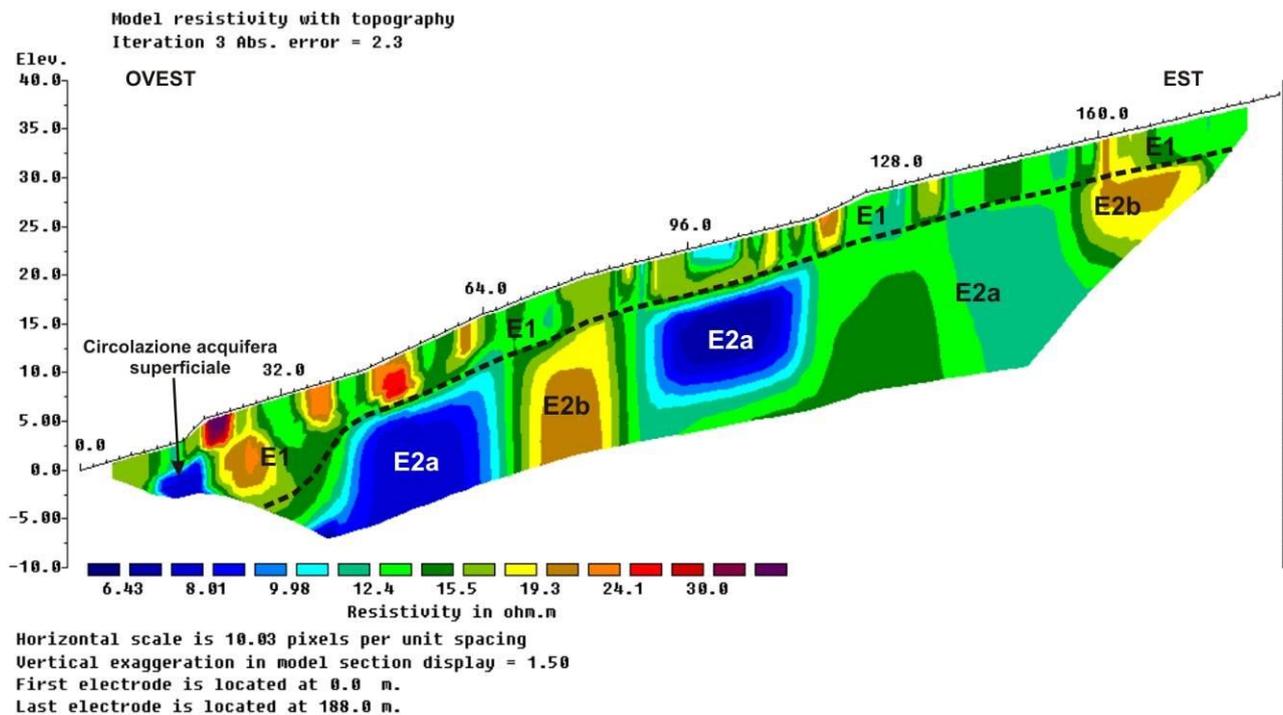
La stessa procedura di inversione non ha necessitato di un elevato numero di iterazioni, ovvero pari a 3, al fine di ottenere un modello di resistività reale più che accettabile sia dal punto di vista matematico (bassissimo valore di RMR) che dal successivo punto di vista interpretativo.

In generale i materiali presenti nell'area oggetto di studio sono connotati valori di resistività da bassi a bassissimi decrescenti con la profondità.

La stesa ERT1 è stata con direzione ovest-est lungo la massima pendenze del versante collinare connotato da pendenze medio-basse. La profondità massima indagata è risultata pari a circa 17 m a centro stesa.

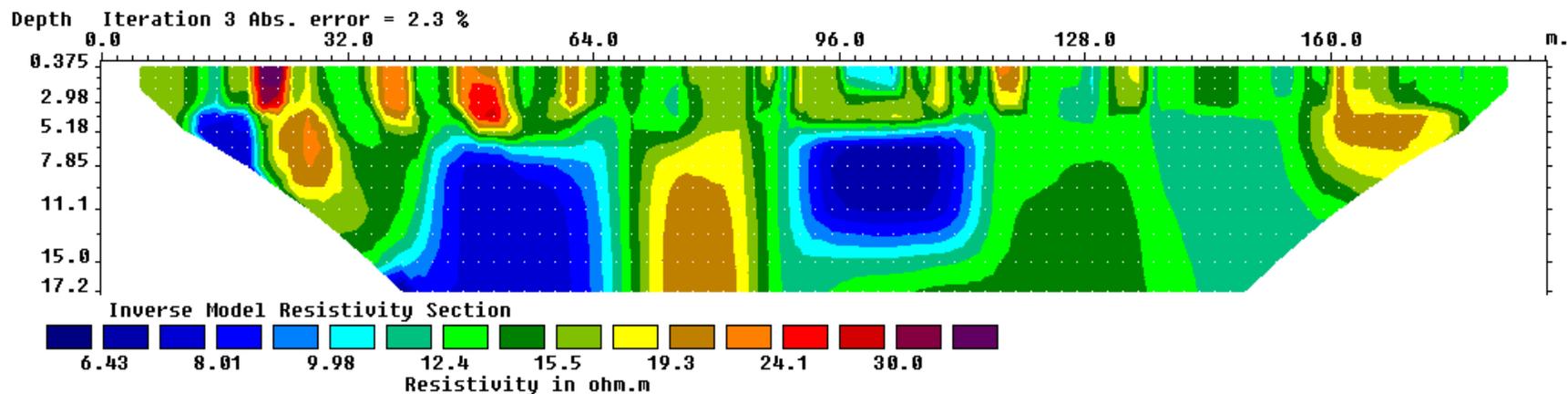
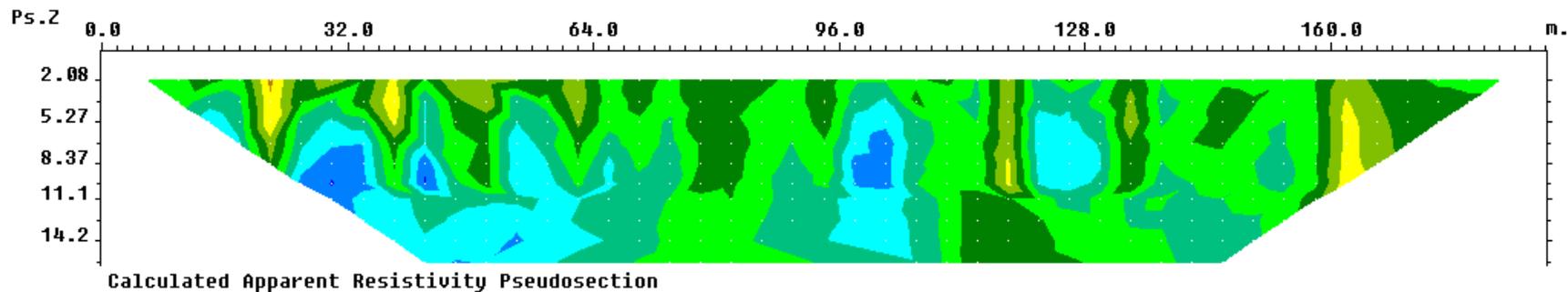
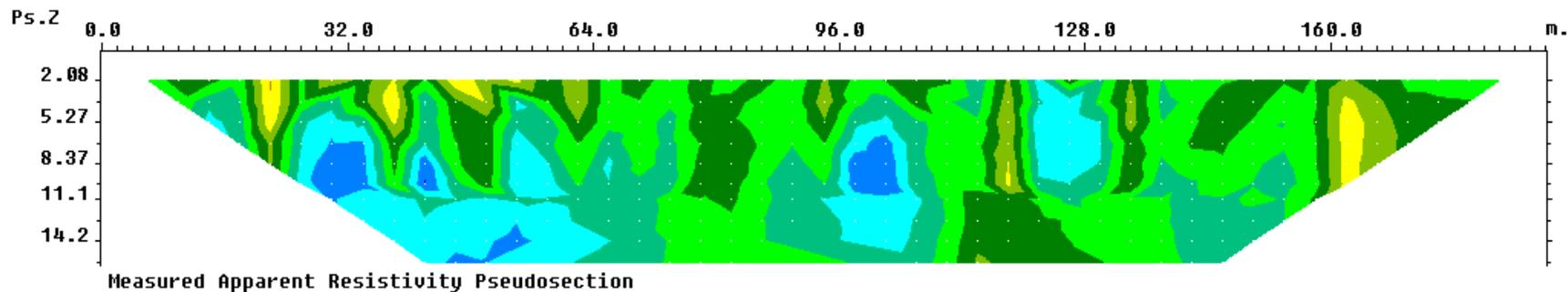
Dal punto di vista elettro-stratigrafico le sezioni mostrano, al netto dell'effetto della presenza delle strutture, la presenza di due orizzonti connotati da un comportamento elettrico differente:

- ORIZZONTE E1 : resistività comprese tra 5-40  $\Omega \cdot m$  associabili a **limoso-argillosi** con presenza di probabili trovanti calcarei nella porzione altimetricamente inferiore. Lo spessore risulta generalmente pari a 3-3,5 m ad eccezione dell'estremità inferiore della stesa dove si raggiungono i 6-7 m. In quest'ultimo settore è evidente una circolazione idrica libera alla profondità di 2 m come confermato anche dal piezometro presente;
- ORIZZONTE E2 : resistività inferiori a 20  $\Omega \cdot m$  (valori minimi di circa 5-6  $\Omega \cdot m$ ) è associabile **materiali marnosi o argillitici (E2a)** con subordinati orizzonti maggiormente calcarei (**E2b**) del substrato roccioso (Formazione delle Argilliti di Pagliaro). Le zone a minori valori di resistività sono verosimilmente connotate da elevatissima fratturazione e probabile circolazione idrica.



Modello di resistività reale per ERT1

# PSEUDOSEZIONI DI RESISTIVITÀ ERT1





# Risultati delle analisi MASW

Autore: Andrea Angeleri geologo  
Sito: Rocchetta Ligure (AL)  
Data: 14/06/2021

Redatto da MASW  
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

# 1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori.....24  
Distanza tra i sensori:.....2m  
Numero di campioni temporali .....2000  
Passo temporale di acquisizione ..... 1ms  
Numero di ricevitori usati per l'analisi .....24  
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms  
L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 1999ms  
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

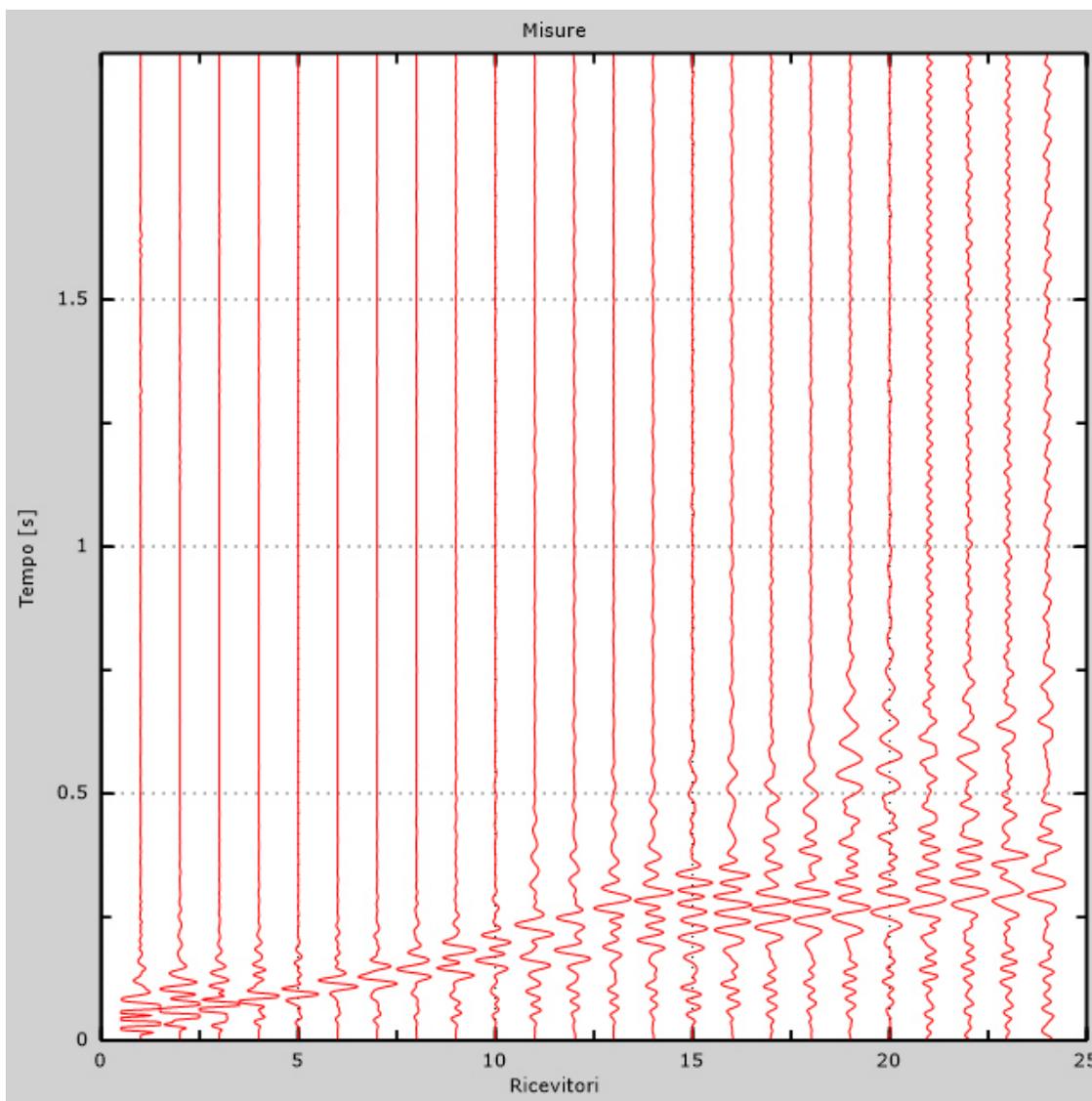


Figura 1: Tracce sperimentali

## 2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale.....70Hz

Frequenza iniziale.....2Hz

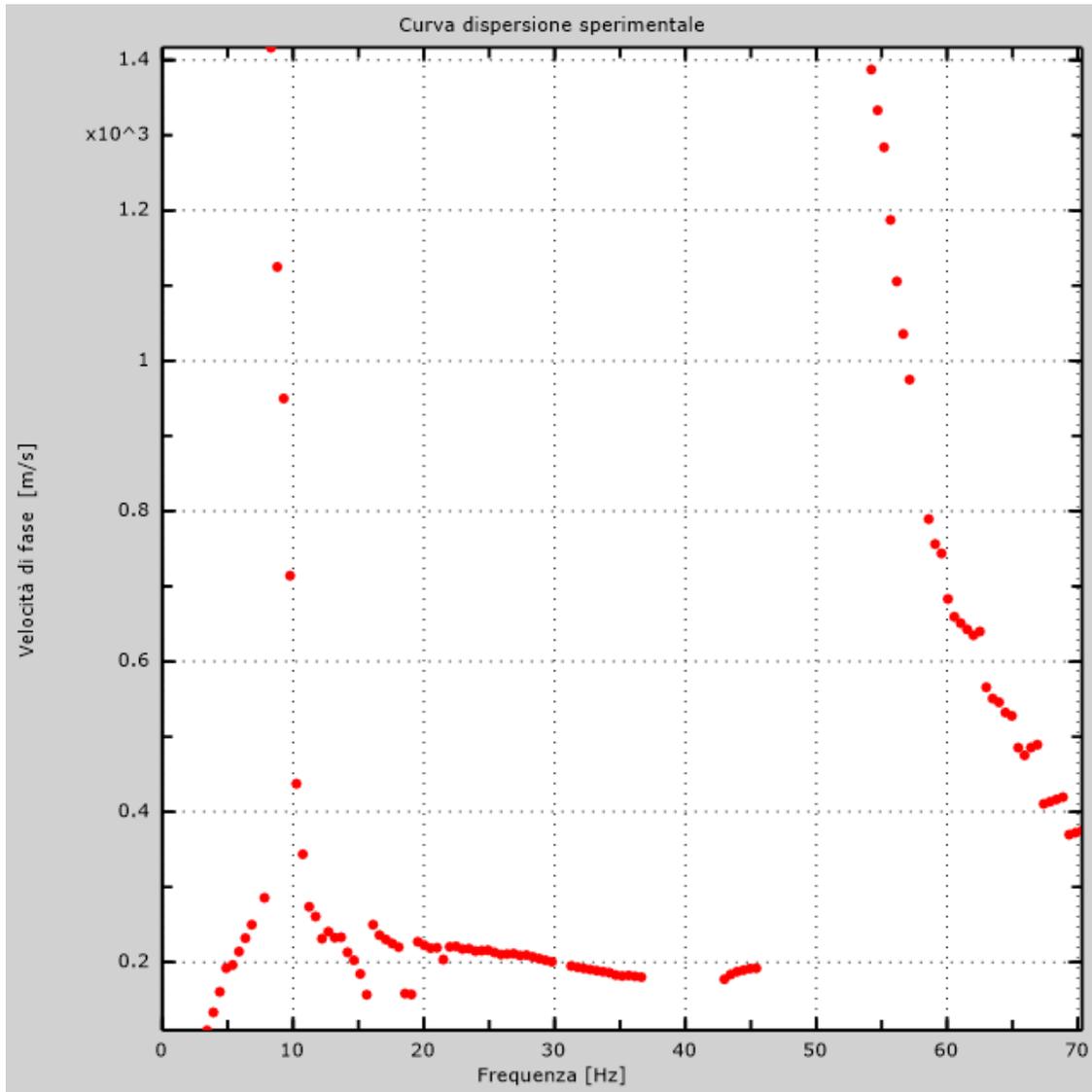


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

### 3 - Risultati delle analisi (tecnica passiva)

Numero di ricevitori..... 12  
Numero di campioni temporali .....3.26787e-312  
Passo temporale di acquisizione ..... 2ms  
Numero di ricevitori usati per l'analisi ..... 12  
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms  
L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 59998ms  
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

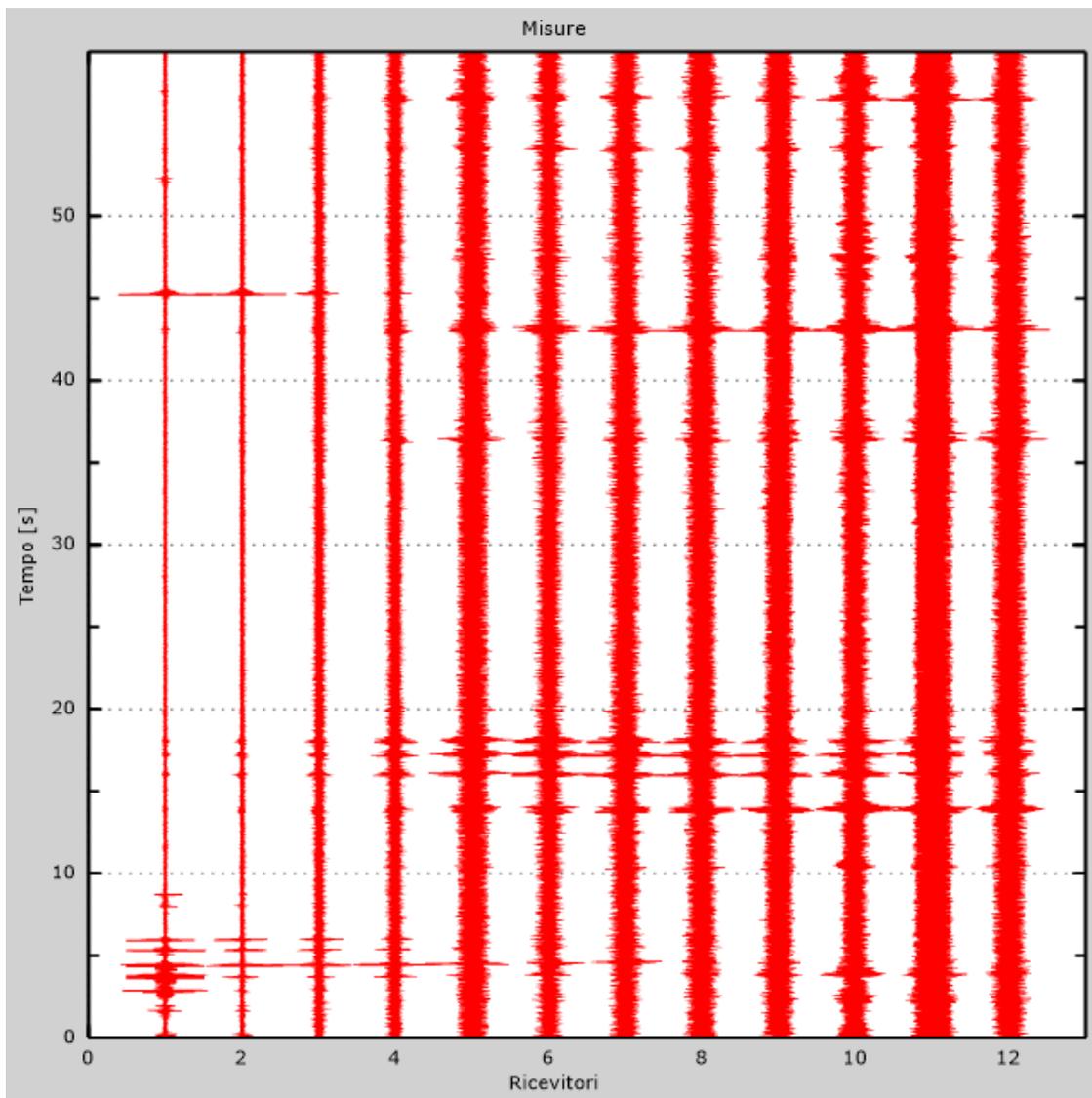


Figura 3: Tracce sperimentali

## 4 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
9.68671	715.719	599.237	832.201
10.2666	441.422	283.608	599.237
11.7427	261.063	185.913	336.212
14.1151	215.973	133.308	298.638
16.1183	253.548	200.943	306.153
19.4923	231.003	182.155	279.85
22.6074	220.085	198.077	242.094
25.8185	208.458	155.853	261.063
29.4922	201.885	181.696	222.073
32.9346	189.687	170.719	208.656
36.377	180.831	162.747	198.914
43.2617	181.298	163.168	199.428
45.4297	189.67	152.096	227.245

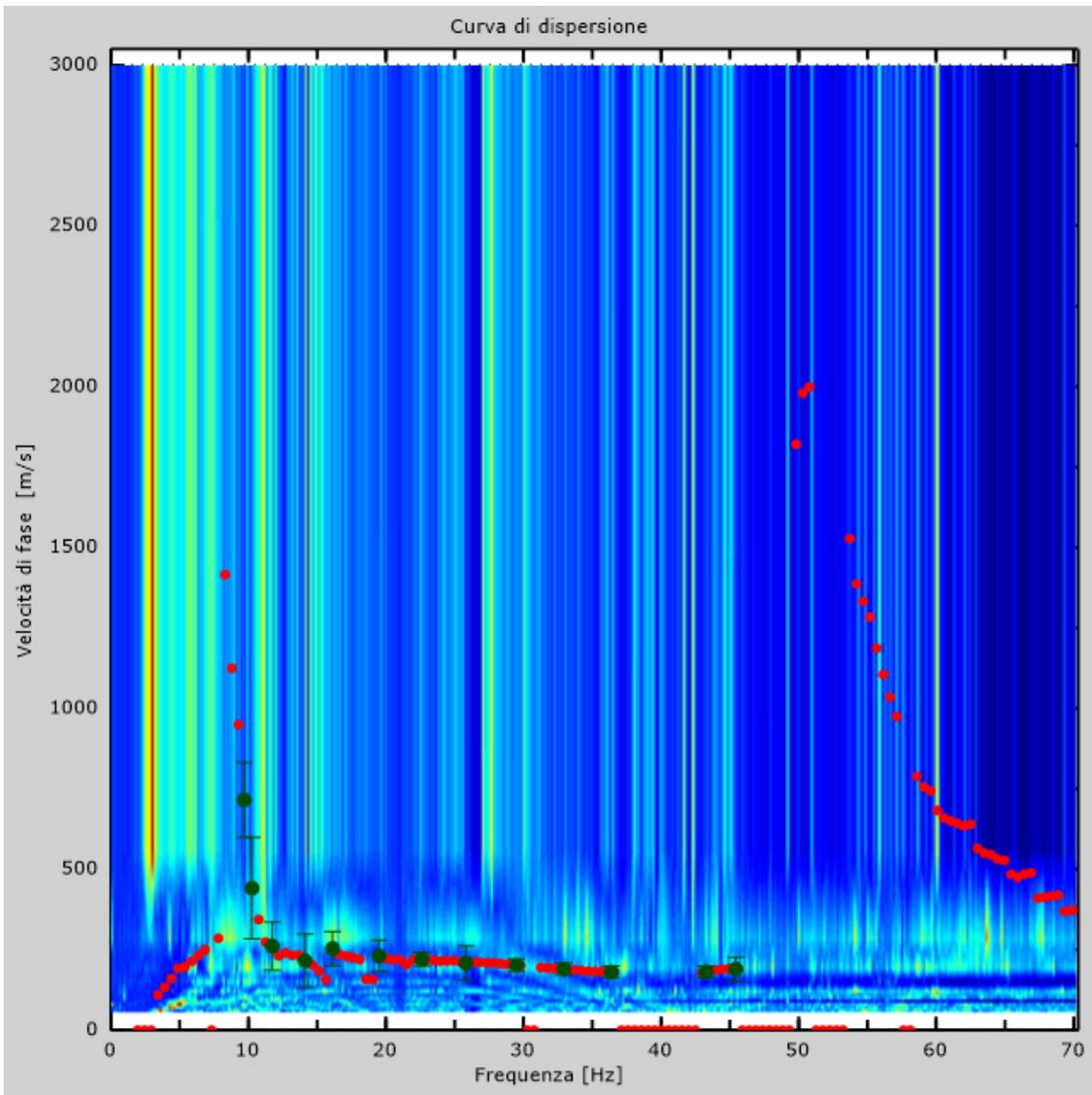


Figura 4: Curva di dispersione

## 5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio) .....	7
Spaziatura ricevitori [m] .....	2m
Numero ricevitori.....	24
Numero modi .....	2

### Strato 1

h [m].....	2
z [m].....	-2
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	1800
Poisson .....	0.35
Vs [m/s].....	200
Vp [m/s] .....	416

### Strato 2

h [m].....	2
z [m].....	-4
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	1900
Poisson .....	0.33
Vs [m/s].....	270
Vp [m/s] .....	536

### Strato 3

h [m].....	3
z [m].....	-7
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	1900
Poisson .....	0.33
Vs [m/s].....	230
Vp [m/s] .....	457

### Strato 4

h [m].....	3
z [m].....	-10
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	2000
Poisson .....	0.33
Vs [m/s].....	350
Vp [m/s] .....	695

### Strato 5

h [m].....	3
z [m].....	-13
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	2100
Poisson .....	0.33
Vs [m/s].....	500
Vp [m/s] .....	993

### Strato 6

h [m].....	4
z [m].....	-17
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	2100
Poisson .....	0.3
Vs [m/s].....	500
Vp [m/s] .....	935

### Strato 7

h [m].....	0
z [m].....	-∞
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	2100
Poisson .....	0.3
Vs [m/s].....	1000
Vp [m/s] .....	1871

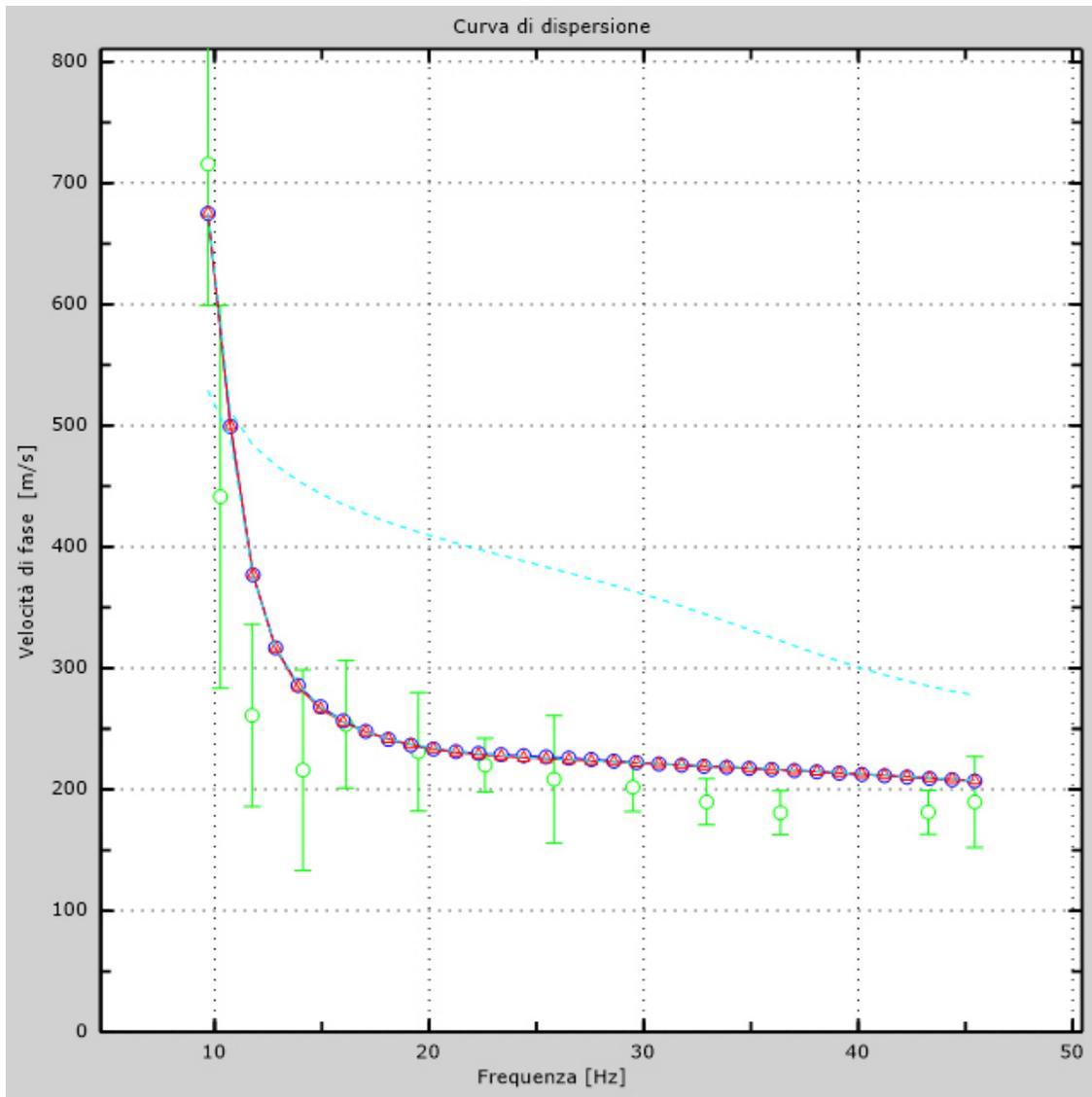


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

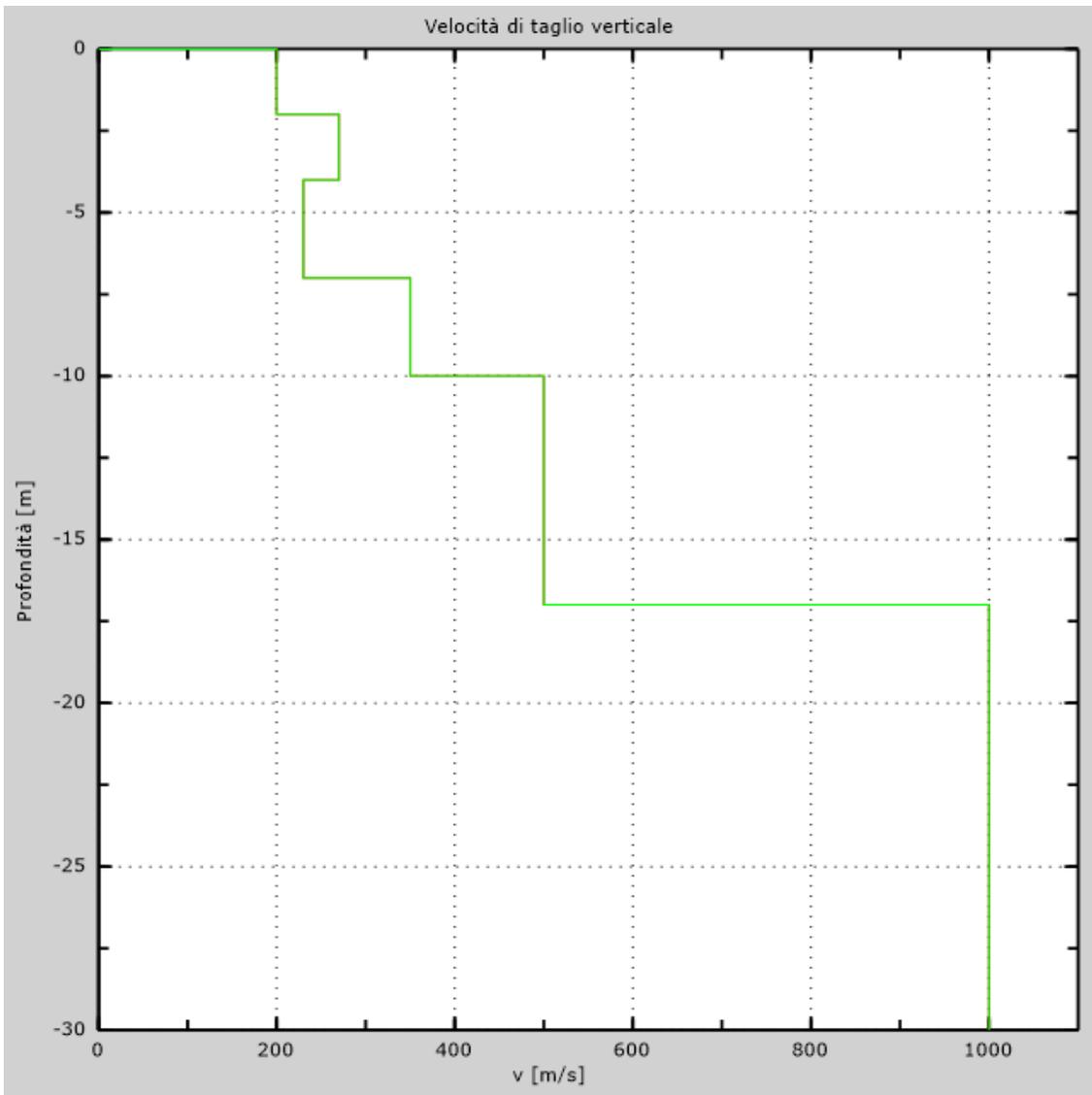


Figura 6: Velocità

## 6 - Risultati finali

Piano di riferimento $z=0$ [m].....	0
$V_{seq}$ [m/s].....	321
La normativa applicata è il DM 17 gennaio 2018	
<b>Tipo di suolo</b> .....	<b>E</b>

### Appendice Tipo di suolo

Tipo E: *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.*

---

# Relazione di calcolo

## Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

## Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

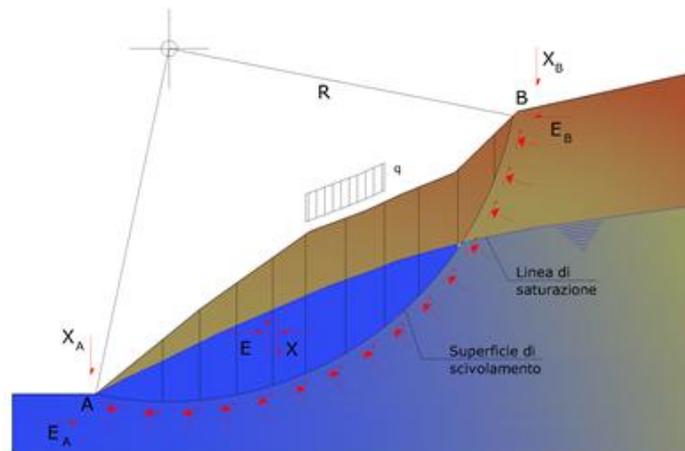
1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

## Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

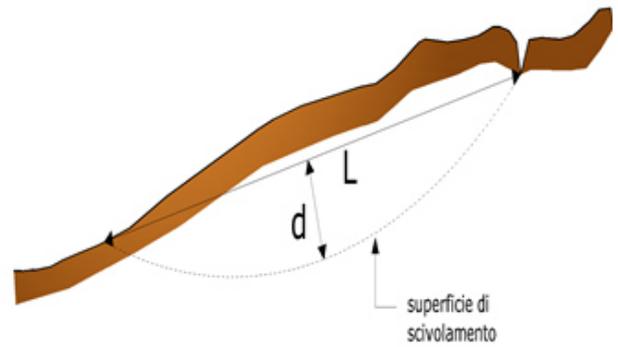
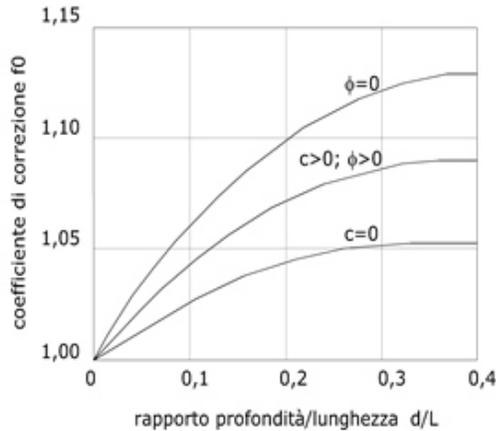
$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.). Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.









### Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da  $m$  righe e  $n$  colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

### Stabilizzazione di pendii con l'utilizzo di pali

La realizzazione di una cortina di pali, su pendio, serve a fare aumentare la resistenza al taglio su determinate superfici di scorrimento. L'intervento può essere conseguente ad una stabilità già accertata, per la quale si conosce la superficie di scorrimento oppure, agendo preventivamente, viene progettato in relazione alle ipotetiche superfici di rottura che responsabilmente possono essere assunte come quelle più probabili. In ogni caso si opera considerando una massa di terreno in movimento su un ammasso stabile sul quale attestare, per una certa lunghezza, l'allineamento di pali.

Il terreno, nelle due zone, ha una influenza diversa sull'elemento monoassiale (palo): di tipo sollecitativo nella parte superiore (palo passivo – terreno attivo) e di tipo resistivo nella zona sottostante (palo attivo – terreno passivo). Da questa interferenza, fra "sbarramento" e massa in movimento, scaturiscono le azioni stabilizzanti che devono perseguire le seguenti finalità:

1. conferire al pendio un coefficiente di sicurezza maggiore di quello posseduto;
2. essere assorbite dal manufatto garantendone l'integrità (le tensioni interne, derivanti dalle sollecitazioni massime trasmesse sulle varie sezioni del singolo palo, devono risultare inferiori a quelle ammissibili del materiale) e risultare inferiori al carico limite sopportabile dal terreno, calcolato, lateralmente considerando l'interazione (palo-terreno).

---

**Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)**

---

Lat./Long.	44,705056/9,05097
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma generica	

---

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

---

**Dati generali**

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

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,27	2,48	0,2
S.L.D.	50,0	0,35	2,51	0,22
S.L.V.	475,0	0,94	2,45	0,28
S.L.C.	975,0	1,25	2,46	0,28

**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.	0,5184	0,2	0,0106	0,0053
S.L.D.	0,672	0,2	0,0137	0,0069
S.L.V.	1,8048	0,2	0,0368	0,0184
S.L.C.	2,4	0,24	0,0587	0,0294

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,037
Coefficiente azione sismica verticale	0,018

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	22,0
2	15,0	24,0
3	24,0	26,0
4	35,5	28,0
5	47,0	29,0
6	52,5	30,0
7	70,0	33,7

---

**Falda**

Nr.	X (m)	y (m)
1	0,0	21,99
2	15,0	23,99
3	24,0	25,99
4	35,5	27,99
5	47,0	28,99
6	52,5	29,99
7	70,0	33,69

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	17,0
2	7,2	19,3
3	14,7	21,0
4	22,5	22,4
5	46,2	25,6
6	70,0	27,6

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	16,0
2	7,2	18,3
3	14,7	20,0
4	22,5	21,4
5	46,2	24,6
6	70,0	26,6

**Vertici superficie Nr...1**

N	X m	y m
1	0,0	22,0
2	12,5	21,0
3	22,9	22,5
4	28,0	23,6
5	38,01	28,25

**Coefficienti parziali azioni**

=====

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

=====

**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	No

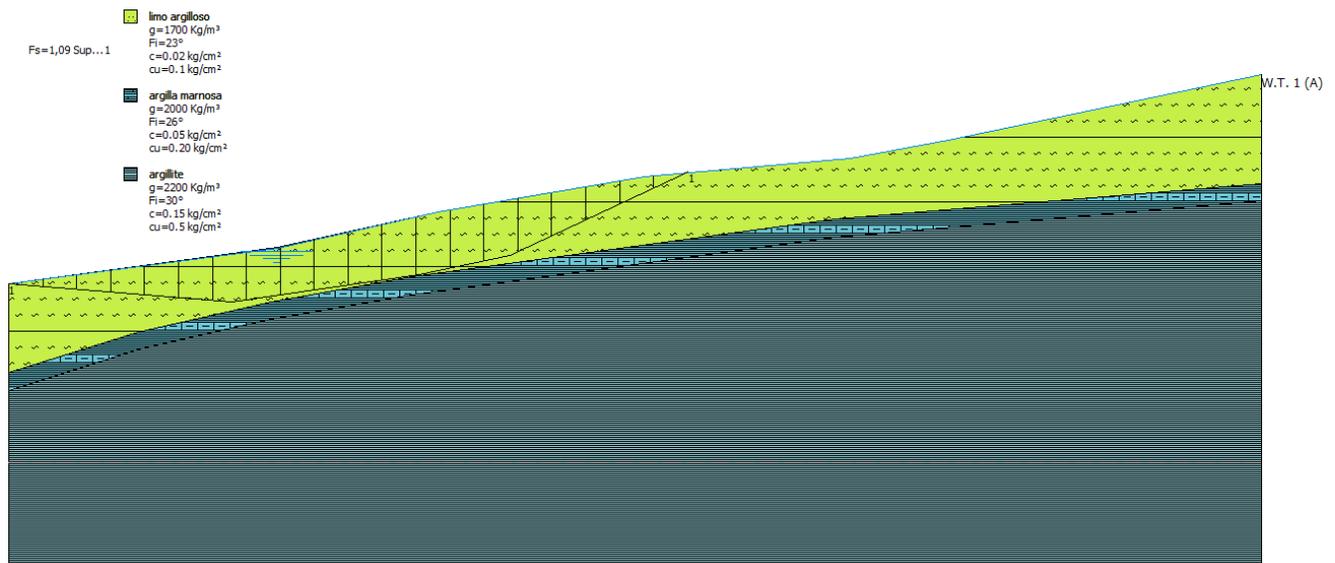
=====

### Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0.02	0.1	23	1700	2000	limo argilloso	
2	0.05	0.20	26	2000	2300	argilla marnosa	
3	0.15	0.5	30	2200	2500	argillite	

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=1,09

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	1,9	-4,5	1,9	753,33	27,87	13,56	0,02	23,0	352,5	439,1	472,8
2	1,9	-4,7	1,9	2293,74	84,87	41,29	0,02	23,0	1137,9	1220,8	749,8
3	1,9	-4,5	1,9	3827,37	141,61	68,89	0,02	23,0	1900,8	2013,3	1030,1
4	1,9	-4,7	1,9	5360,99	198,36	96,5	0,02	23,0	2663,6	2813,4	1313,8
5	1,9	-4,5	1,9	6894,61	255,1	124,1	0,02	23,0	3426,4	3603,7	1593,2
6	1,9	-4,7	1,9	8428,24	311,84	151,71	0,02	23,0	4189,3	4406,1	1877,9
7	1,9	0,6	1,9	9649,64	357,04	173,69	0,02	23,0	4815,2	4814,2	2014,8
8	1,9	8,2	1,9210050,55	371,87	180,91	0,02	0,02	23,0	5011,7	4800,2	2033,9
9	1,9	8,2	1,9210347,43	382,86	186,25	0,02	0,02	23,0	5164,8	4938,4	2083,2
10	1,9	8,2	1,9210903,15	403,42	196,26	0,02	0,02	23,0	5436,0	5211,9	2180,7
11	1,9	8,2	1,9211458,86	423,98	206,26	0,02	0,02	23,0	5707,2	5485,4	2278,3
12	1,9	8,2	1,9212021,35	444,79	216,38	0,02	0,02	23,0	6001,1	5743,7	2370,4
13	1,9	12,0	1,94 12332,3	456,3	221,98	0,02	0,02	23,0	6149,9	5815,5	2428,3
14	1,9	12,1	1,9412103,77	447,84	217,87	0,02	0,02	23,0	6033,7	5707,6	2389,9
15	1,9	15,3	1,9711606,93	429,46	208,92	0,02	0,02	23,0	5791,8	5416,8	2320,8
16	1,9	25,0	2,09 10199,2	377,37	183,59	0,02	0,02	23,0	5075,2	4715,3	2219,3
17	1,9	25,0	2,09 8106,74	299,95	145,92	0,02	0,02	23,0	4035,5	3717,9	1831,0
18	1,9	25,0	2,09 6014,27	222,53	108,26	0,02	0,02	23,0	2995,8	2720,6	1442,8
19	1,9	25,0	2,09 3915,04	144,86	70,47	0,02	0,02	23,0	1933,4	1738,3	1060,3
20	1,9	24,8	2,09 1348,84	49,91	24,28	0,02	0,02	23,0	666,8	507,8	580,4



---

## Indice

1.Dati generali	5
2.Vertici profilo	5
3.Falda	6
4.Vertici strato .....1	6
5.Vertici strato .....2	6
6.Vertici superficie Nr...1	6
7.Coefficienti parziali azioni	6
8.Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno	6
9.Stratigrafia	6
Indice	7

Committente Unione Montana Terre Alte

Località Rocchetta Ligure (AL) Metodo perf. carotaggio continuo

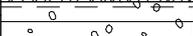
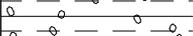
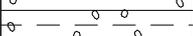
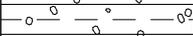
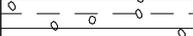
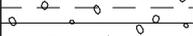
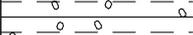
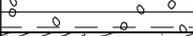
Ditta esecutrice EuroGeo srl Diametro perf. 101 mm

Profondità sondaggio 20,00 m Data inizio 06.05.2021 Data fine 12.05.2021

Sondaggio Foglio

**S1PZ** 1/1

Il geologo  
Andrea Angeleri

Scala grafica (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	Descrizione (indicazione delle profondità in metri)	Spessori (m)	Profondità SPT valori	Cassetta n°
	0,20		(0,00-0,20) Terreno vegetale limoso-argilloso con clasti.	0,20		
1,0			(0,20-4,30) Limi argillosi con clasti, colore nocciola, clasti di diametro medio di circa 2 cm. Colore passante da nocciola a marrone scuro a partire da 3,50 m concomitante a una diminuzione nella percentuale di clasti.	4,10	SPT1 3,00 m 4 17 8	1
2,0						
3,0						
4,0						
	4,30		(4,30-5,30) Limi argilloso-sabbiosi con rari clasti, colore marrone scuro, clasti di diametro max di circa 1 cm.	1,00		
5,0			(5,30-20,00) Alternanze di siltiti marnose e marne argillose, colore grigio-grigio scuro.	14,70	SPT2 R 6,00 m .	2
5,30						
6,0						
7,0						
8,0						
9,0						
10,0						
11,0						
12,0						
13,0						
14,0						
15,0						
16,0						
17,0						
18,0						
19,0						
20,0	20,00				SPT3 R 9,00 m .	3
						4

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA SONDAGGIO S1PZ



*Postazione sondaggio S1PZ*



*S1PZ  
Cassetta 1  
0,0 – 5,0 m*



S1PZ  
Cassetta 2  
5,0 – 10,0 m



S1PZ  
Cassetta 3  
10,0 – 15,0 m



S1PZ  
Cassetta 4  
15,0 – 20,0 m

Committente Unione Montana Terre Alte

Località Rocchetta Ligure (AL) Metodo perf. carotaggio continuo

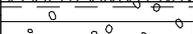
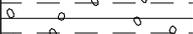
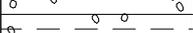
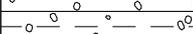
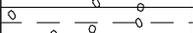
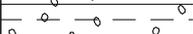
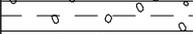
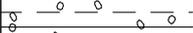
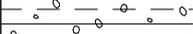
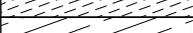
Ditta esecutrice EuroGeo srl Diametro perf. 101 mm

Profondità sondaggio 20,00 m Data inizio 13.05.2021 Data fine 17.05.2021

Sondaggio Foglio

**S2PZ** 1/1

Il geologo  
Andrea Angeleri

Scala grafica (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	Descrizione (indicazione delle profondità in metri)	Spessori (m)	Profondità SPT valori	Cassetta n°
	0,20		(0,00-0,20) Terreno vegetale limoso-argilloso con clasti.	0,20		
1,0			(0,20-4,70) Limi argillosi con clasti, colore nocciola, clasti di diametro medio di circa 2 cm. Colore passante da nocciola a marrone scuro a partire da 3,50 m concomitante a una diminuzione nella percentuale di clasti.	4,50	SPT1 3,00 m 8 10 14	1
2,0						
3,0						
4,0						
5,0	4,70		(4,70-5,60) Limi argilloso-sabbiosi con rari clasti, colore marrone scuro, clasti di diametro max di circa 1 cm.	0,90	SPT2 6,00 m 25 50 R	2
6,0	5,60		(5,60-6,30) Marna argillosa fortemente alterata, colore grigio.	0,70		
7,0	6,30		(6,30-20,00) Alternanze di siltiti marnose e marne argillose, colore grigio-grigio scuro.	13,70		
8,0						
9,0						
10,0						
11,0						
12,0						
13,0						
14,0			3			
15,0						
16,0						
17,0						
18,0			4			
19,0						
20,0	20,00					

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA SONDAGGIO S2PZ



*Postazione sondaggio S2PZ*



*S2PZ  
Cassetta 1  
0,0 – 5,0 m*



S2PZ  
Cassetta 2  
5,0 – 10,0 m



S2PZ  
Cassetta 3  
10,0 – 15,0 m



S2PZ  
Cassetta 4  
15,0 – 20,0 m

## Parametri sismici

determinati con **GeoStru PS**

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

### Sito in esame.

latitudine: 44,705942 [°]

longitudine: 9,051922 [°]

Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

### Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	15587	44,699980	8,989722	4960,4
Sito 2	15588	44,702610	9,059848	727,8
Sito 3	15366	44,752540	9,056159	5192,3
Sito 4	15365	44,749900	8,985940	7145,8

### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: E

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,028	2,477	0,196
Danno (SLD)	63	50	0,036	2,512	0,215
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,096	2,450	0,275
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,127	2,461	0,280

## Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,600	2,210	1,200	0,011	0,005	0,533	0,200
SLD	1,600	2,130	1,200	0,014	0,007	0,679	0,200
SLV	1,600	1,930	1,200	0,037	0,019	1,816	0,200
SLC	1,600	1,910	1,200	0,059	0,029	2,394	0,240

Geostru