



**Finanziato
dall'Unione europea**
NextGenerationEU



Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA



Mims
Ministero delle infrastrutture
e della mobilità sostenibili

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA M2C4 - I4.1

"INVESTIMENTI IN INFRASTRUTTURE IDRICHE PRIMARIE PER LA SICUREZZA DELL'APPROVVIGIONAMENTO IDRICO"



CONSORZIO DI BONIFICA
della romagna occidentale

PROGETTO DI MESSA IN SICUREZZA E INCREMENTO DELLA RESILIENZA IDRICO-IDRAULICA DEI TERRITORI SOTTESI DAL CANALE "FOSSO VECCHIO" MEDIANTE COSTRUZIONE DI UNA CASSA DI ESPANSIONE CON FUNZIONE DI LAMINAZIONE DELLE PIENE E DI INVASO PER L'EFFICIENTAMENTO DELLA PRATICA IRRIGUA DA CANALI A RETE TUBATA IN PRESSIONE, NEI COMUNI DI BAGNACAVALLO, COTIGNOLA E FAENZA IN PROVINCIA DI RAVENNA.

CUP I41B21003430008

CODICE INTERVENTO PNRR-M2C4-I4.1-A2-2

ATTRAVERSAMENTO FERROVIA CASTEL BOLOGNESE– RAVENNA Km 22 + 174

ALL. 6

RELAZIONE GEOLOGICA—GEOTECNICA



IL PROGETTISTA
Dott. Ing. Elvio Cangini
Firmato digitalmente

Dott. Geol. Marco Roncuzzi

Via Zagarelli alle Mura, 22

48121 Ravenna

Cell. 348 2210867

e-mail: mroncuzzi@gmail.com

C.F. RNCMRC65H18H199M

P.I. 01326610399

PROVINCIA DI RAVENNA

COMUNE DI COTIGNOLA

REALIZZAZIONE DI NUOVA CENTRALE DI POMPAGGIO "BONCELLINO" E CASSA DI ESPANSIONE

RELAZIONE GEOLOGICA

CON PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO ED ANALISI DEL RISCHIO LIQUEFAZIONE

Località: Via Ponte Nuovo, Cotignola (RA)

Committente:

CONSORZIO DI BONIFICA DELLA ROMAGNA OCCIDENTALE

Piazza Savonarola, 5 - 48022 Lugo (RA)



Ravenna , 14 marzo 2022

INDICE

1. PREMESSA	pag. 1
2. MODELLO GEOLOGICO REGIONALE E LOCALE	pag. 2
3. MODELLO IDROGEOLOGICO	pag. 11
4. INDAGINE GEOGNOSTICA	pag. 12
5. DESCRIZIONE LITOLOGICO – STRATIGRAFICA	pag. 13
6. PARAMETRI FISICO-MECCANICI DEL TERRENO	pag. 15
6.1 PARAMETRI GEOTECNICI RICAVATI DALLA CPTU	pag. 15
6.2 PARAMETRI GEOTECNICI RICAVATI DALLE ANALISI DI LABORATORIO	pag. 17
7. VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO	pag. 19
8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	pag. 24

ALLEGATI :

- **FOTO CON UBICAZIONE INDAGINI**
- **PROVA PENETROMETRICA CPTU**
- **SONDAGGIO GEOGNOSTICO**
- **INDAGINE GEOFISICA E REPORT ANALISI RISCHIO LIQUEFAZIONE**
- **ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO**

1. PREMESSA

Nella presente relazione state analizzate le caratteristiche geologiche, geotecniche e di risposta sismica di un'area sita in prossimità della località Boncellino, in Via Ponte Nuovo, nel territorio comunale di Cotignola (RA).

In tale area è in progetto la realizzazione, da parte del consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale, di una nuova centrale di pompaggio e di una cassa di espansione con funzione di laminazione delle piene e di invaso per l'efficientamento della pratica irrigua.

Lo scopo di tale analisi è quello di fornire elementi di valutazione geologici, geotecnici e di rischio sismico al fine di elaborare le più opportune linee progettuali.

Nei paragrafi seguenti sono quindi descritti i risultati delle indagini svolte, che hanno permesso di definire:

- Le caratteristiche litologico - stratigrafiche del terreno di fondazione dei nuovi vani tecnici;
- la profondità della falda freatica;
- i principali parametri fisico-meccanici (geotecnici) del terreno;
- I parametri sismici e la pericolosità nei confronti della potenziale liquefazione del terreno.

2. MODELLO GEOLOGICO REGIONALE E LOCALE

Viene qui descritta in breve la geologia del territorio ravennate, al fine di meglio comprendere la formazione della sequenza litologico-stratigrafica descritta nei risultati dell'indagine geognostica di campagna.

In termini di geologia strutturale il Comune di Cotignola appartiene al settore romagnolo dell'ampio "bacino sedimentario padano". Nel sottosuolo è presente una successione di depositi alluvionali, marini, deltizi, lagunari, palustri e nuovamente alluvionali, di età pliocenico-quadernaria, che poggiano, trasgressivi, sul substrato miocenico (evaporiti messiniane). Quest'ultimo è caratterizzato da una complessa configurazione a pieghe e pieghe-faglie, con gli assi tettonici paralleli ai principali allineamenti strutturali appenninici (NW-SE).

Tali strutture sono state rilevate nel corso delle prospezioni geofisiche dell'AGIP effettuate per la ricerca di idrocarburi ; quelle presenti al di sotto della porzione centro occidentale del territorio romagnolo si possono così elencare (procedendo da nord verso sud):

- anticlinale di Argenta, Alfonsine;
- sinclinale di Miravalle, Conselice;
- anticlinale di Minerbio, Villa Serraglio;
- sinclinale di Budrio, Bubano.

Questa geometria a pieghe condiziona la successiva sedimentazione quadernaria di copertura, caratterizzata da spessori variabili con massimi in corrispondenza delle depressioni (sino a 3000 m) e minimi sulle strutture positive (circa 1500 m), con un assetto strutturale che ricalca tendenzialmente l'andamento del substrato.

La potenza dei sedimenti pliocenico-quadernari raggiunge i valori più elevati, nell'ambito del bacino padano, proprio in corrispondenza del comprensorio di Ravenna, a dimostrazione che questa area fu soggetta a fenomeni naturali di subsidenza, in gran parte tettonica, fin da tempi geologici remoti. Tale successione è il risultato di alterne vicende legate soprattutto ad avanzamenti ed arretramenti della linea di riva determinati da diversi fattori: la subsidenza e l'innalzamento tettonici, l'eustatismo, la mutevolezza dell'andamento del corso dei fiumi e la variabilità del loro carico sedimentario, deposto in fasi climatiche diverse, glaciali ed interglaciali.

A causa della pluralità degli ambienti deposizionali, sia in senso spaziale che temporale, il complesso sedimentario è caratterizzato da un'elevata variabilità litologica degli strati, costituiti da sabbie, limi e argille e da miscele di tali litotipi.

La frequenza delle variazioni litologiche si è accentuata nella parte finale del Quadernario, caratterizzata dai movimenti eustatici del livello marino, in particolare durante l'ultima glaciazione, denominata Wurm, quando il livello del mare si è abbassato di un centinaio di metri rispetto a quello attuale (regressione Wurmiana, 60000-70000 anni fa). Nell'Adriatico la linea di costa si era di conseguenza spostata fino a Sud di Ancona, lasciando emersa la parte settentrionale della

piattaforma continentale adriatica, con la formazione di un'ampia pianura, drenata dal prolungamento dei fiumi che attualmente sfociano sulla costa adriatica.

Circa 17000 anni fa, con l'innalzamento della temperatura media di alcuni gradi centigradi, ebbe inizio una trasgressione eustatica su scala mondiale, denominata trasgressione Flandriana.

Tale trasgressione, terminata nell'Olocene, ha causato l'arretramento della linea di costa dalla posizione di massima regressione Wurmiana sino a circa 15÷18 Km ad Ovest della posizione attuale, alla latitudine di Ravenna, ed a 12÷13 Km (sempre ad Ovest) a quella di Cotignola (Carta Geologica d'Italia, foglio allegato al n° 223 "Ravenna": *"Tetto delle sabbie litorali del subsistema di Ravenna"*, ente realizzatore: Regione Emilia Romagna - Ufficio Geologico). La linea di massima ingressione marina olocenica, secondo una linea che corre, dal comune di Cervia verso Nord, parallela alla SS 16 "Adriatica" immediatamente a ponente di questa sino a Ravenna, per poi spostarsi più ad Ovest secondo la direzione Piangipane – Santerno - Alfonsine (tra quest'ultima e Fusignano). La trasgressione della linea di costa attraverso la porzione Nord della pianura romagnola ha determinato la deposizione di sabbie fini di ambiente litorale, con frequenti intercalazioni limoso-argillose, di spessore relativamente modesto e sedimenti fini di bassa consistenza, con lenti di sabbia fine tipici di un ambiente marino poco profondo in cui sfociavano i fiumi Lamone, Senio e Santerno. Essa ha inoltre provocato, nella fascia a ponente del suo limite Ovest (per alcuni chilometri), la formazione di depositi di palude salmastra e laguna (depositi deltizi e litorali "di area interdistributrice e retrobarriera"). Come indicato nella Carta geologica d'Italia, allegato ai Fogli 240-241 "Forlì - Cervia" (sottosuolo), tali depositi si riscontrano sino a soli 3,5 km ad Est dell'area di progetto, tra Russi e Traversara di Bagnacavallo.

Infine, circa 6000 anni b.p., si è verificata nella costa occidentale dell'alto Adriatico una nuova regressione, non più indotta da variazioni eustatiche, come quella precedente, ma di tipo deposizionale (regressione olocenica). Tale regressione ha riportato la linea di costa verso Est, fino alla posizione attuale, dando luogo alla formazione dei depositi granulari olocenici costituiti da un corpo sabbioso complesso, talora con presenza di ghiaie, formato dall'accostamento di cordoni litorali via via successivi fino a quello attuale affiorante.

L'area di progetto, come la totalità del territorio comunale di Cotignola, non è stata raggiunta dalla suddetta trasgressione (il cui limite è posizionato all'incirca 8 km ad Est ÷ Nord-Est, presso Piangipane di Ravenna) ne è stata interessata dai depositi di palude salmastra / laguna..

Quest'area si colloca quindi nella pianura alluvionale a crescita verticale. In questo ambiente la messa in posto dei sedimenti recenti olocenici (così come quelli formati sin dalla regressione Wurmiana) è avvenuta secondo il modello di accrescimento tipico di tutta la fascia di media e bassa pianura; Questo modello, ancor prima dell'intervento antropico, era caratterizzato da torrenti che, fuoriusciti dalla pianura pedemontana, in occasione delle piene stagionali rompevano o tracimavano gli argini, spandendo le loro acque nei territori circostanti.

I materiali trasportati dalle correnti di piena, a loro volta, erano distribuiti nelle aree adiacenti a

seconda della capacità di trasporto della corrente alluvionale. L'energia delle acque allontanandosi dagli argini calava e diminuivano con essa la velocità di sedimentazione e la granulometria dei depositi. I sedimenti più grossolani, sabbie e limi sabbiosi, venivano depositi quindi in prossimità del canale fluviale, mentre, aumentando la distanza da esso, si depositavano nell'ordine limi argillosi ed argille, tipici sedimenti delle depressioni interfluviali. In prossimità del corso d'acqua, dove la velocità della corrente alluvionale subiva una brusca diminuzione, la sedimentazione era molto superiore a quella delle depressioni interfluviali, perciò la diminuzione della capacità di trasporto delle acque regolava la velocità di crescita nei diversi ambienti sedimentari. Il risultato di ciò era il determinarsi di dislivelli anche molto accentuati tra le aree sulle quali scorreva il fiume e quelle ad esso adiacenti. Quando poi si verificavano forti aumenti di piovosità, il fiume poteva fuoriuscire dagli argini naturali e attraverso un canale di rotta, defluire nelle zone più depresse creando un nuovo percorso.

In occasione delle crisi climatiche i canali fluviali, che hanno origine nell'alta pianura, hanno infatti ripetutamente modificato il loro corso deviando verso le aree più depresse della piana alluvionale, come nella crisi climatica avvenuta nel Medioevo tra il 1150 ed il 1350, durante la quale si verificarono le deviazioni di fiumi: Lamone (1052-1277), Senio (1202-1210) e Santerno (1228-1264). Attualmente questo processo di sedimentazione ha subito un notevole rallentamento ad opera dell'uomo che, al fine di salvaguardare questi territori, ha costretto i corsi d'acqua entro argini artificiali rendendo i fiumi ancora più pensili sulla pianura alluvionale.

L'area di indagine, sita in prossimità della località Boncellino, in Via Ponte Nuovo (comune di Cotignola - RA) si colloca 2 km ad Est del torrente Senio e 1,5 km Nord-Ovest del fiume Lamone. Osservando gli stralci della Carta Geologica della Regione Emilia Romagna (*pagg. 9,10*) si nota che il canale "Fosso Vecchio" nel tratto compreso tra le Vie "Cabina" (SP 75) e "confini di Bagnacavallo", e quindi sua porzione adiacente all'area di progetto, costituisce un "segmento" di paleoalveo del Fiume Lamone, qui posizionato in epoca medioevale. Il substrato di fondazione dell'area indagata risulta quindi costituito da sedimenti di origine continentale attribuibili totalmente alle alluvioni del suddetto fiume..

La successione sedimentaria dell'intera area di pianura romagnola, fa parte della successione post-evaporitica del margine padano adriatico ed è quindi costituita, in affioramento, unicamente dai depositi olocenici appartenenti al Supersintema Emiliano Romagnolo.

SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti in corrispondenza del margine appenninico padano (ciclo Qc di RICCI LUCCHI et alii, 1982) ed i sedimenti continentali e marini ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Questi ultimi, nell'area in esame, includono depositi alluvionali che passano verso Est a depositi deltizi e marini, organizzati in cicli deposizionali di vario ordine gerarchico. Il limite inferiore del Supersintema Emiliano-Romagnolo non affiora nell'area, ma affiora solamente a ridosso del margine appenninico e nei settori intravallivi a sud, dove è fortemente discordante sui depositi marini del Pleistocene medio (sabbie di Imola - IMO) e mio-pliocenici. Il limite superiore coincide col piano topografico.

L'età dell'unità è Pleistocene medio – attuale (REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENIAGIP, 1998). Il Supersintema Emiliano-Romagnolo comprende due sistemi distinti (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore, AEI, e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES), correlati con i depositi coevi di sottosuolo. Nell'area in esame affiorano solo i depositi di AES.

Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES *in precedenza denominato "Alloformazione Emiliana Romagnola Superiore"*) costituisce la porzione superiore del Supersintema Emiliano-Romagnolo; nell'area comprende depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini organizzati in successioni cicliche di alcune decine di metri di spessore. Il limite inferiore del sintema non affiora nel foglio 223 (Ravenna), mentre nei fogli immediatamente a Sud (240 "Forlì" e 239 "Faenza") entro il quale risulta compresa l'area di progetto (estrità Nord-Est) è dato da un contatto erosivo e fortemente discordante delle ghiaie di conoide alluvionale (AES) su depositi limosi, sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi fluviali e fluvio-deltizi (AEI). Il limite superiore corrisponde all'attuale superficie topografica (vedi: *schema cronostratigrafico a pag.8*).

Subsintema di Ravenna (AES8)

Tutti i depositi quaternari affioranti nell'area sono stati attribuiti dalla R. Emilia Romagna a questo subsintema. Esso rappresenta l'elemento sommatiale del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore e presenta uno spessore massimo di poco inferiore ad una trentina di metri (max = 28,5m). Nei settori intravallivi ed allo sbocco delle valli AES8 è dato da depositi fluviali organizzati in vari ordini di terrazzo, costituiti da ghiaie di canale fluviale ricoperte da tracimazioni fluviali argillose, limose e sabbiose, variamente pedogenizzate. Questi depositi passano, nel settore di pianura alluvionale, ad argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di tracimazione fluviale (piana inondabile, argine, rotta, ecc.) ed infine, nel settore costiero di bassa pianura (ad Est della trasgressione Flandriana) il Subsintema di Ravenna risulta

costituito da sabbie, argille e limi di ambiente alluvionale (porzione più superficiale) e quindi deltizio e litorale, organizzati in corpi sedimentari lenticolari, nastriformi, tubolari e cuneiformi di spessore plurimetrico. Il limite inferiore è inconforme, non affiorante, marcato da una superficie di discontinuità che localmente materializza una lacuna stratigrafica di circa 1,5 ka anni definita su base radiometrica (14C); nell'area di bassa pianura costiera si identifica con l'ultimo episodio trasgressivo quaternario. Il limite superiore coincide col piano topografico e la parte sommatiale è costituita dall'Unità di Modena (AES8a).

Nell'area di indagine, di media pianura, è costituito interamente depositi alluvionali; esso presenta una geometria complessiva relativamente tabulare con spessori che si aggirano intorno ai 22÷23 m (base del subsistema \cong - 10÷11 m s.l.m.) e l'Unità di Modena (AES8a), che contiene i depositi alluvionali più superficiali e più recenti, compresi quelli attualmente in evoluzione, ha qui una potenza stimata non superiore ai 2 metri di prof. dal piano campagna.

L'Unità di Modena (AES8a) è quindi un'unità pellicolare, di pochi metri di spessore, che talora raggiunge gli 8÷9 m solo in corrispondenza dei riempimenti dei principali canali fluviali (più a monte) o lungo le fronti deltizie.

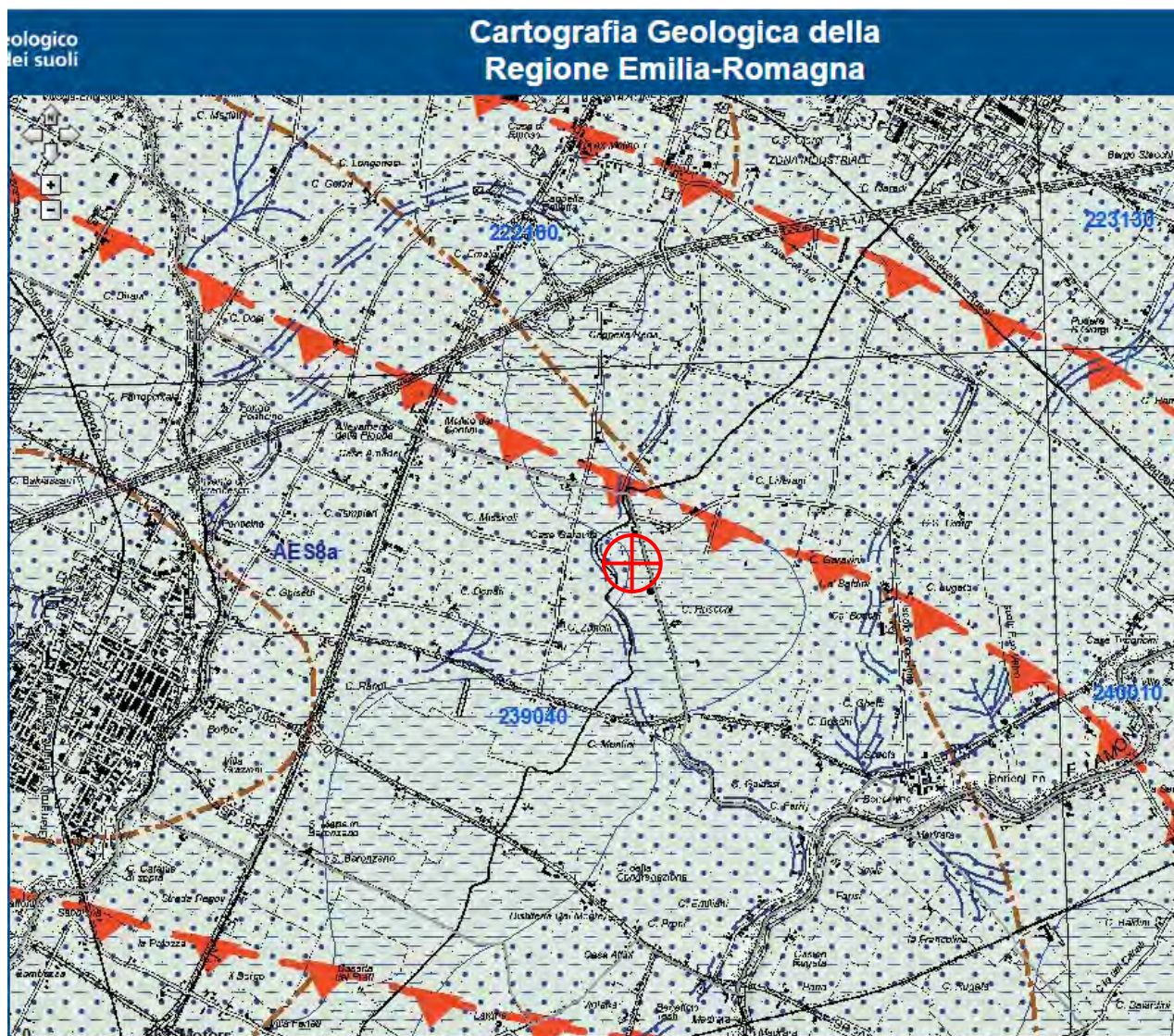
Nell'area tipo l'Unità di Modena presenta un limite inferiore inconforme, marcato da superfici di erosione fluviale che si correlano lateralmente a depositi con fronte di alterazione superiori al metro di spessore, caratterizzato dallo sviluppo di un suolo o di più suoli sovrapposti, con orizzonte superficiale da decarbonato a parzialmente decarbonato e orizzonte profondo ad accumulo di carbonato di calcio (colore degli orizzonti da bruno giallastro a giallo olivastro). Il limite inferiore è datato al periodo post romano e segna l'instaurarsi di una importante fase di deterioramento climatico che, tra il IV ed il VI sec d.C, determinò un importante incremento della piovosità, con conseguente modifica della rete idrografica e alluvionamento (Veggiani, 1994)

L'età di AES8a è riferita all'epoca post-romana, sulla base dei seguenti caratteri: 1) la presenza di abbondanti e frequenti reperti romani (e più antichi) al tetto dei depositi sottostanti, fra i quali si segnalano numerosi elementi infrastrutturali (edifici, strade, ecc., Fig. 18); 2) l'assenza di questi reperti all'interno dei depositi di AES8a o la loro presenza esclusivamente come elementi rimaneggiati; 3) l'alterazione pedogenetica modesta o del tutto assente della superficie affiorante di AES8a. Più in dettaglio i dati storici ed archeologici indicano che l'unità si è deposta a partire dal IV-VI secolo d.C. (BONDESAN, 1986, CIABATTI & VEGGIANI, 1990, MONTEVECCHI & NOVARA, 2000, VEGGIANI, 1982, 1987).

Estratto dalla Cartografia Geologica online della Regione Emilia Romagna 1:25000
(Ingrandito alle dimensioni del foglio)

UBICAZIONE AREA DI PROGETTO: Via Ponte Nuovo

Comune di Cotignola (RA) sez. CTR: 239040



In rosso (tratteggiato con triangolini): Sovrascorrimento post.Tortoniano dedotto;

In marrone (punto e linea): Isobata della base del Pliocene (-1000 m ad Ovest e -1500 ad Est dell'area di progetto; - 2000 m, immediatamente a Nord, oltre il sovrascorrimento).

In blu (a tratteggio doppio, con ventagli di esondazione): traccia di alveo fluviale abbandonato
- fiume Lamone, sul fianco Ovest dell'area, lungo la quale è impostato un tratto del Fosso Vecchio;
- torrente Senio, a Nord-Ovest, tra Cotignola e Bagnacavallo.

Estratto dalla Cartografia Geologica online della Regione Emilia Romagna 1:10000

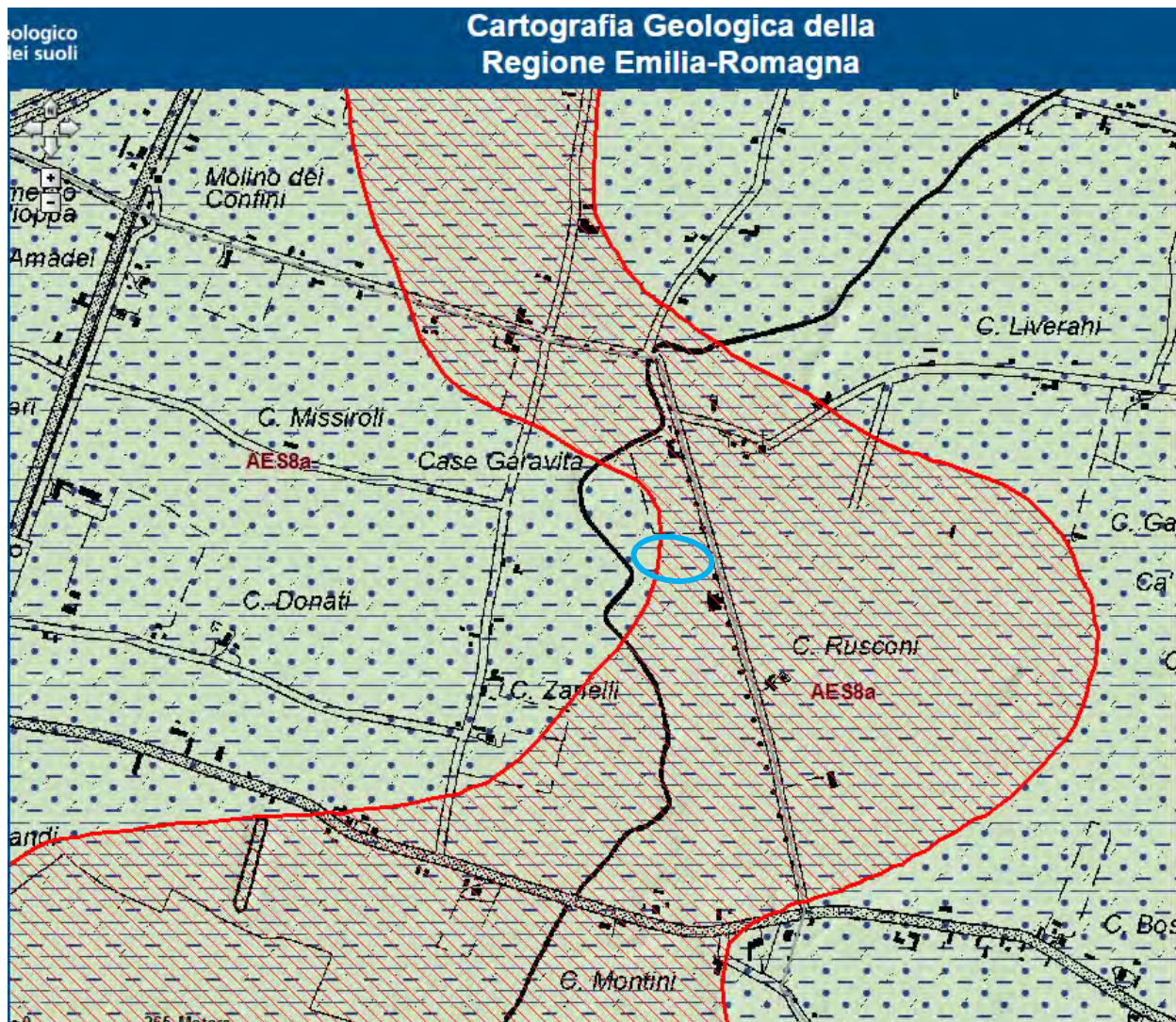
(Ingrandito alle dimensioni del foglio)

UBICAZIONE AREA DI PROGETTO: Via Ponte Nuovo - Cotignola (RA)



Unità geologiche (10K) : Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsistema di Ravenna - Unità di Modena (AES8a)

N.B. Le litologie di seguito indicate sono riferite ai primi 2 m di profondità.



Tessitura:

- punto e linea, SLA Sabbia Limoso Argillosa
- tratteggiata in rosso, AL Argilla Limosa

Ambiente / Deposito: Piana alluvionale

3. MODELLO IDROGEOLOGICO

In tutta l'area comunale è possibile riconoscere una struttura idrogeologica, relativa all'acquifero superficiale, che interessa i primi 10÷15 metri di profondità ed un sistema di acquiferi profondi costituiti da falde acquifere in pressione il cui limite inferiore è rappresentato dall'interfaccia acqua dolce acqua salata (Idroser 1978). E' possibile ipotizzare la suddivisione del sistema nelle seguenti unità idrogeologiche, dall'alto verso il basso:

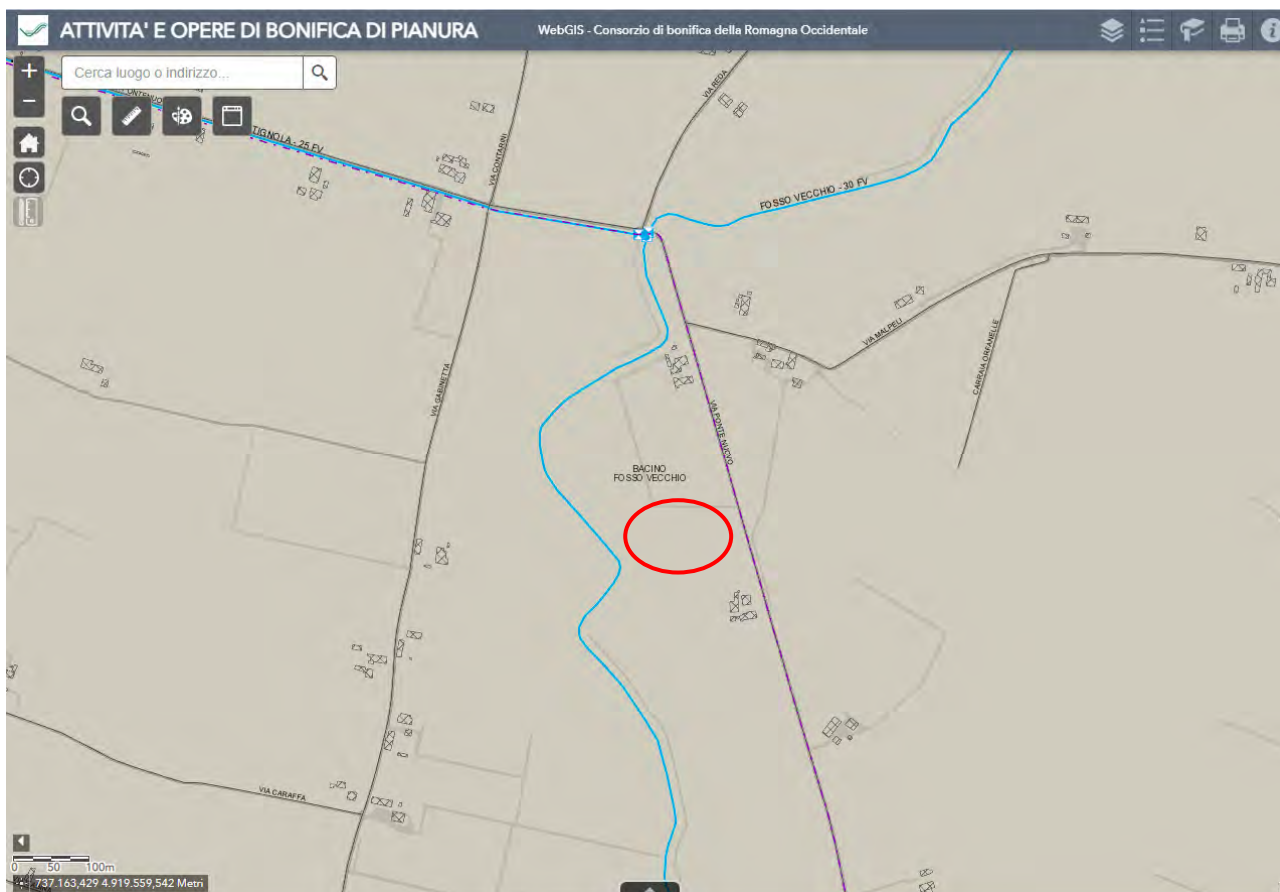
- **acquifero freatico** (superficiale): dai dati bibliografici e dalla profondità dei pozzi presenti nell'area e nel suo intorno, si evidenzia che l'acquifero superficiale presenta mediamente una potenza variabile tra i 10m ed i 15m. Nell'area in esame è contenuto in terreni principalmente coesivi argilloso-limosi, con livelli sabbiosi superficiali (presenti nei primi 4÷5 m di prof. e legati ad esondazioni del fiume Lamone o di suoi paeoalvei) e decimetriche intercalazioni di limi sabbiosi o sabbie limoso-sabbiose, specialmente oltre i 10 m di profondità. L'intera colonna stratigrafica è costituita da depositi alluvionali. Risulta comunque difficile identificare una struttura ben definita poiché i terreni alluvionali o misti prevalgono decisamente su quelli ben classati (sabbie); questi ultimi, quando presenti, sono costituiti da livelli lentiformi e con una limitata estensione laterale. L'acquifero superficiale è perciò legato ad una circolazione in terreni a tessitura principalmente coesiva di bassa permeabilità, passanti localmente a lenti sabbiose alternate comunque a terreni impermeabili o semipermeabili. E' quindi ipotizzabile una natura semiconfinata degli acquiferi con scarsa circolazione idrica e di conseguenza scarsa potenzialità idrica dei pozzi superficiali. L'alimentazione avviene sia lateralmente in connessione con i canali e le aste fluviali sia verticalmente grazie alle precipitazioni.

- **livello impermeabile argilloso di separazione**

(comunque caratterizzato da sottili intercalazioni sabbiose alluvionali);

- **sistema di acquiferi con falde in pressione**: formato da una serie di orizzonti permeabili sabbiosi riconducibili ad un unico acquifero multistrato a scala regionale, soggetto ad emungimento intensivo per l'approvvigionamento idrico ed alimentato per flusso sotterraneo dalla retrostante pianura, con alimentazione nella fascia pedecollinare (conoidi). L'assetto strutturale del letto dell'acquifero multistrato ricalca l'andamento delle strutture prequaternarie. I singoli acquiferi mostrano un andamento analogo e risultano articolati da blande pieghe anticlinaliche e sinclinaliche che si smorzano progressivamente dal basso verso l'alto, sino a raggiungere uno stato di quasi orizzontalità negli acquiferi superiori.

In data 15/02/2021 la profondità della falda freatica è risultata di 4,4 m dal piano campagna; essa può subire variazioni stagionali anche di un metro, ma risulta comunque regimata dagli scoli del Consorzio di bonifica della Romagna Occidentale (Bacino Fosso Vecchio).



L'area di indagine, di quota $\cong + 12,5$ m s.l.m., risulta drenata dallo scolo "Fosso Vecchio - 30 FV" (posto sul lato sinistro dell'area di progetto) che, circa 20 km più a Valle, si immette per gravità (paratie) nel "Canale Destra Reno", il quale giunge a mare presso Casalborsetti.

4. INDAGINE GEOGNOSTICA

Al fine di conoscere le caratteristiche litologico-stratigrafiche, fisico-meccaniche e sismiche (categoria sismica del suolo) dell'area di progetto, sono state eseguite:

- una prova penetrometrica statica con piezocono "CPTU" (15/02/2022);
 - un sondaggio a carotaggio continuo (24/02/2021);
 - un' indagine geofisica (prospezione sismica) MASW + "Tromino" (HWSR) - 16/02/2022;;
- (vedi allegati: *Prova CPTU, sondaggio e prospezione sismica*).

- La prova penetrometrica statica con piezocono "CPTU" - ASTM (D3441) é stata eseguita con un penetrometro statico-dinamico da 20 tonnellate in spinta ed estrazione (modello Pagani TG 63/200 montato su autocarro Unimog-Mercedes) ed é stata spinta sino a 20 metri di profondità dal piano campagna.

La punta piezocono utilizzata (Pagani) produce dei segnali continui con rilievo delle grandezze

ogni centimetro; tali segnali vengono trasmessi tramite un cavo passante all'interno delle aste di spinta. I segnali sono ricevuti in superficie da una centralina di condizionamento la quale riceve anche gli impulsi trasmessi da un generatore (encoder) collegato meccanicamente al dispositivo di spinta e che fornisce il parametro profondità. I segnali digitali trasmessi dalla punta alla centralina vengono, nel corso della prova, direttamente elaborati e visualizzati sul visore della centralina stessa. La prova CPTU ha consentito di determinare in continuo i valori della resistenza di punta (q_c), dell'attrito laterale specifico (f_s) e della pressione dinamica dell'acqua nei pori (u_2). Dal rapporto R_f (f_s/q_c %) è possibile valutare la stratigrafia del terreno (Vedi § 6, pag.17 ed allegati).

- Per l'esecuzione del sondaggio a carotaggio continuo è stata impiegata una perforatrice cingolata marca "ELLETTARI" mod. "EK20 STR" montata su trattore Landini 10000 DT, con motore diesel Deutz 100 Hp, coppia max 650 kgm. Le operazioni di carotaggio sono state tramite carotiere semplice con diametro esterno = 101 mm.

Nel corso del sondaggio è stato prelevato un campione indisturbato di terreno tramite campionatore Osterberg ed un campione "disturbato" (spezzone di carota).

Sui campioni prelevati sono state effettuate analisi di laboratorio geotecnico, i risultati delle quali sono riassunti nel paragrafo 6. e riportati per esteso in allegato.

Gli spezzoni di carota di terreno prelevati in continuo nel corso dei sondaggi, sono stati conservati in apposite cassette catalogatrici, ricoverate a cura della Committenza.

La stratigrafia del carotaggio, con foto delle cassette catalogatrici, sono riportati in allegato.

- L'indagine geofisica: prospezione sismica "MASW + HVSR" (*Multichannel Analysis of Surface Waves*, Park et al., 1999 + *analisi dei microtremori tramite tromografo digitale portatile*) ha invece permesso di classificare, ai sensi delle NTC 2018, il terreno di fondazione dal punto di vista sismico in base alla determinazione della V_s Eq (V_{s30}): velocità di trasmissione delle onde "S" da 0 a 30m di profondità).

5. DESCRIZIONE LITOLOGICO - STRATIGRAFICA

La stratigrafia ricavata dalla prova penetrometrica statica ha reso possibile il riconoscimento della seguente sequenza sedimentaria (vedi allegati: *Prova CPTU*):

- Dal p.c. a 1,5 m: argilla e/o argilla limosa consistente, sovraconsolidata per essiccamento.
- Da 1,5 a 3,2 m: sabbia debolmente limosa o limosa, mediamente addensata o addensata.
- Da 3,2 a 4,6 m: argilla limosa e/o limo argilloso, sovraconsolidata..
- Da 4,6 a 9,9 m: argilla limosa e limi argillosi, talora debolmente sabbiosi tra 6,1 e 9,1 m di

profondità; nel complesso di media consistenza.

- Da 9,9 a 11,5 m: limo e limo argilloso-sabbioso, di media consistenza, con intercalazione sabbioso-limosa tra 10,6 e 10,9 m di profondità.
- Da 11,5 a 14,0 m: limo argilloso e argilla limosa, di media consistenza, con intercalazione sabbioso-limosa tra 12,9 e 13,1 m di profondità.
- Da 14,0 a 20,0 m: limo argilloso-sabbioso di medio bassa consistenza, con livelli maggiormente limoso-argillosi negli intervalli: 17÷18 m e 19÷20 m di prof..

Stratigrafia del sondaggio (limitata ai primi 10 m di profondità; *vedi allegati*).

Il carotaggio ha evidenziato una discreta omogeneità litologico stratigrafica con quanto interpretato dai risultati della prova penetrometrica CPTU:

Anche in corrispondenza del punto in cui è stato eseguito il carotaggio, al di sotto del primo strato coesivo superficiale, qui presente sino a 1,3 m di prof. e meno argilloso (limo argilloso debolmente sabbioso) si riscontra un livello con presenza di sabbia, ma qui appare maggiormente limoso (limo e sabbia passante a limo con sabbia) rispetto a quanto rilevato e interpretato in corrispondenza del punto di indagine della CPTU (circa 60 m più ad Est) dove appare prettamente sabbioso (sino a 3,2 m di prof.). Al di sotto di tale strato, qui misto coesivo-granulare, sono presenti terreni fondamentalmente coesivi (limoso-argillosi) ma con una componente sabbiosa non rilevata nella prova penetrometrica statica: sono inoltre presenti un paio di intercalazioni sabbioso-limose negli intervalli 5,70÷6,0 m e 9,80÷10,0 m di profondità.

L'ambiente deposizionale dei terreni riscontrati può essere così interpretato:

l'area di indagine si colloca nella piana interfluviale tra il torrente Senio ed il fiume Lamone, maggiormente prossima al secondo e adiacente al tratto di un suo paleoalveo. Come detto in precedenza (§ 2.) il canale consorziale "Fosso Vecchio" nel tratto compreso tra le Vie "Cabina" (SP 75) e "Confini di Bagnacavallo", e quindi sul lato Ovest all'area di progetto, costituisce un "segmento" di paleoalveo del Fiume Lamone, qui posizionato in epoca medioevale. L'intera colonna stratigrafica rilevata è costituita da alluvioni attribuibili al fiume Lamone.

- Il sottile strato coesivo superficiale costituisce un deposito di argine prossimale, mentre lo strato granulare o misto granulare-coesivo sottostante, sino a 3,2÷4,0 m (CPTU ÷ sondaggio) rappresenta un deposito di canale-argine.

I terreni coesivi, talora debolmente sabbiosi, sottostanti costituiscono una successione di depositi formati in ambiente di argine distale o di piana interfluviale (porzioni più coesive) e depositi di argine prossimale (porzioni maggiormente limoso-sabbiose).

6. PARAMETRI FISICO - MECCANICI DEL TERRENO

6.1 PARAMETRI GEOTECNICI RICAVALI DALLA CPTU:

Dai valori della resistenza alla punta "qc" (Rp), dell'attrito laterale specifico "fs" (Rl) e della pressione dinamica dell'acqua nei pori (u₂) riscontrati nel corso della prova CPTU, è stata determinata la stratigrafia geotecnica del terreno con i principali parametri fisico - meccanici (geotecnici) e quindi da questi sono stati calcolati i valori caratteristici dell'angolo di attrito (ϕ') e della coesione non drenata (cu, per i soli strati coesivi) e del modulo edometrico.

Cu (su) = Coesione non drenata (terr. coesivi) [Cestari e Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977] correlazioni **cu** - qc, σ'_{vo} ; *formula empirica: qc-pessione geostatica) / fattore di cono.*

ϕ' = angolo di attrito interno efficace (di picco) [Durgunoglu & Mitchell, per sabbie n.c.- 1975, e Shmertmann] correlazioni: ϕ' - qc - σ'_{vo} , con σ'_{vo} e σ'_{vo} rispettivamente tensione verticale geostatica totale ed efficace, valutata in base ai valori medi di γ (Relativamente ai terreni coesivi sono stati valutati in base alle esperienze geotecniche locali, basate sui dati di analisi di laboratorio effettuate su terreni appartenenti alla medesime unità lito-stratigrafiche).

Ed = modulo Edometrico = $\alpha \cdot qc$, in cui: qc = resistenza alla punta

α = coefficiente adimensionale tabulato in funzione della litologia e della resistenza alla punta dei terreni attraversati [Mitchell e Gardner, 1975 et Al.]

Ni = coefficiente di Poisson, valutato a seconda della litologia.

γ = peso di volume del terreno (naturale o saturo) [Meyerhof]

I valori di γ sono stati valutati anche sulla base delle conoscenze acquisite sui caratteri geomeccanici delle sequenze litostratigrafiche locali, in base allo stato di addensamento e/o compattazione: limi ed argille $\gamma = 1,70 \div 2,00 \text{ t/m}^3$; sabbie $\gamma = 1,75 \div 1,90 \text{ t/m}^3$.

RELATIVAMENTE AI PARAMETRI CARATTERISTICI:

esistono indicazioni in letteratura sul fatto che l'angolo di resistenza al taglio ϕ' non segua una distribuzione normale, ma la sua tangente sì, quindi la variabile da inserire nelle formule non è ϕ ma $\tan(\phi)$. Inoltre, la coesione non drenata cu sembra che segua una distribuzione lognormale, perciò la variabile da utilizzare per le stime non dovrà essere direttamente la cu, ma il suo

logaritmo naturale $\ln(cu)$. Il ϕ e il c_u caratteristici si otterranno calcolando rispettivamente l'arcotangente e l'esponenziale della variabile x_k ottenuta come risultato. I criteri in base ai quali scegliere la procedura di calcolo dei parametri caratteristici all'interno di uno strato omogeneo di terreno sono due:

1) In base al numero di misure effettuate. Con l'aumentare delle dimensioni del campione migliora la stima della media e della deviazione standard della popolazione che servono per costruire la curva della densità di probabilità e quindi stimare il valore corrispondente alla probabilità di non superamento del 5%. I parametri ricavati rappresentano valori al di sotto del quale ci si può attendere che si collochi non più del 5% dei risultati ottenibili da una serie illimitata di prove, ossia al di sopra del quale troviamo il 95% dei valori della distribuzione media della serie di dati.

2) In base alla presenza o meno di compensazione delle resistenze del terreno (Circolare del 02.02.2009).

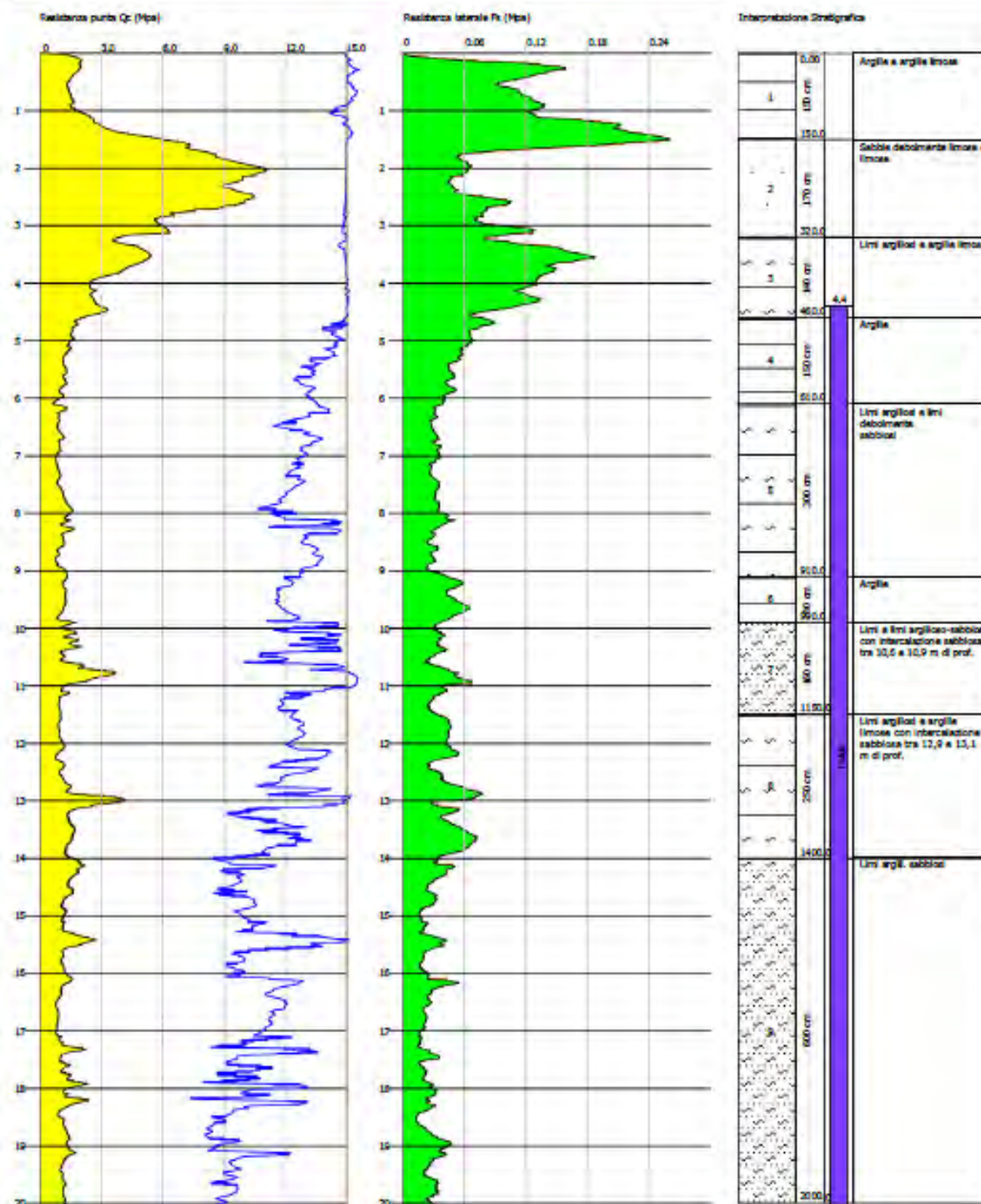
Nel caso di notevoli volumi di terreno interessati (pali, o platee) si devono considerare valori compensati)

Nella pagina seguente è riportata la stratigrafia del terreno ed i principali parametri fisico-meccanici (geotecnici) ricavati dall'interpretazione della prova penetrometrica statica CPTU .

Probe CPTU - Piezocone CPTU Via Ponte Nuovo
Strumento utilizzato PAGANI 200 kN (CPTU)

Committente: Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale
Cantiere: Progetto Fosso Vecchio
Località: Boncellino (Bagnacavallo - RA) Via Ponte Nuovo

Data: 15/02/2022



CPTU Via Ponte Nuovo

Stratigrafia geotecnica (prof. falda freatica = - 4,4 m 15/02/2021)

N° Strato	DH [m]	Profondità (m)	γ (Kg/m ³)	γ_s (Kg/m ³)	ϕ' (°) (range)	$\phi'k$ (°)	Cu medio (Kg/cm ²)	Cuk (Kg/cm²)	M (Ed) (Kg/cm²)	Ni
1	1,5	Da p.c. a 1,5	1900	1980	23÷26	24,4	0,80	0,62	75	0,35
2	1,7	Da 1,5 a 3,2	1850	1970	32÷36	33,2	0,00	0,00	23	0,30
3	1,4	Da 3,2 a 4,6	1950	2030	24÷27	25,4	1,25	1,05	95	0,35
4	1,5	Da 4,6 a 6,1	1840	1920	20÷24	22,5	0,62	0,54	54	0,4
5	3,0	Da 6,1 a 9,1	--	1900	21÷25	22,0	0,48	0,40	45	0,4
6	0,8	Da 9,1 a 9,9	--	1910	22÷35	22,4	0,56	0,49	50	0,4
7	1,6	Da 9,9 a 11,5	--	1900	23÷29	24,9	0,38	0,30	59	0,38
8	2,5	Da 11,5 a 14,0	--	1930	22÷30	23,4	0,54	0,48	58	0,40
9	6,0	Da 14,0 a 20,0	--	1900	22÷27	23,9	0,40	0,32	52	0,38

DH: spessore dello strato; γ : Peso unità di volume; γ_s : peso unità di volume saturo; ϕ' : angolo di attrito; $\phi'k$: **angolo di attrito caratteristico**; cu: coesione non drenata (valore medio) **Cuk: coesione non drenata caratteristica**; **M (Ed): modulo edometrico** (può essere considerato come valore caratteristico); Ni: coefficiente di Poisson.

Permeabilità (Piacentini e Righi 1988)
(terreni sopra falda)

1	1,5	Da p.c. a 1,5	1.00E-09 cm/sec
2	1,7	Da 1,5 a 3,2	1.00E-04 cm/sec
3	1,4	Da 3,2 a 4,6	9.67E-08 cm/sec

6.3 PARAMETRI GEOTECNICI RICAVATI DALLE ANALISI DI LABORATORIO

(Vedi: *allegati*)

Campione C1 (5,2 ÷ 5,7 m): limo argilloso, di colore marrone chiaro, a tratti verdastro

- Umidità naturale W (%) = 35,05; γ_{umido} = 1815 kg/m³; γ_d = 1344 kg/m³.
- Granulometria: ghiaia 0,01 % sabbia 1,16 % Limo 64,11 % Argilla 34,72 %.
- Coesione non drenata (dalla prova ELL): cu = 0,32 kg/cm².
- Permeabilità (da cella edometrica): K = 5.2 E-09 cm/sec.

Campione C2 (7,1 ÷ 7,5 m): limo -argilloso con qualche livello debolmente sabbioso, di colore grigio scuro

- Umidità naturale W (%) = 27,26; $\gamma_{umido} = 1925,6 \text{ kg/m}^3$; $\gamma_d = 1513 \text{ kg/m}^3$.
- Granulometria: ghiaia 0,69 % sabbia 16,37 % Limo 57,45 % Argilla 25,49 %.
- Coesione non drenata (dalla prova ELL): $c_u = 0,425 \text{ kg/cm}^2$.
- Permeabilità (da cella edometrica): $K = 1.68 \text{ E-09 cm/sec}$.

Campione CD (3,1 ÷ 3,3m): limo sabbioso debolmente argilloso, di colore marrone chiaro

- Granulometria: ghiaia 0,20 % sabbia 11,17 % Limo 71,29 % Argilla 17,34 %.
- Permeabilità (da cella edometrica): $K = 2.38 \text{ E-09 cm/sec}$.

I risultati forniti dalle analisi di laboratorio evidenziano una discreta coerenza con quanto ricavato dalle CPTU. Per quel che riguarda i coefficienti di permeabilità, si può notare che relativamente al campione disturbato (CD), prelevato dalla carota del sondaggio più di un metro sopra falda, la permeabilità ricavata in cella edometrica risulta dello stesso ordine di grandezza di quella ottenuta nei campioni di terreno coesivi limoso-argillosi. Tale anomalia dipende dal fatto che, per effettuare l'analisi, il provino ricavato dallo spezzone di carota è stato precedentemente saturato (in quanto praticamente asciutto); tale procedura ha probabilmente provocato la migrazione della porzione "fine" nei pori, portando ad una permeabilità misurata in laboratorio certamente inferiore a quella in sito.

Per tale livello, considerando il valore ricavato nella CPTU tra 1,5 e 3,2m (Piacentini e Righi), si può stimare un coeff. di permeabilità K dell'ordine di $10 \text{ E-05} \div \text{-07 cm/sec}$.

6. VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO

Secondo l'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 recante i "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative per le costruzioni in zona sismica", pubblicata sul supplemento ordinario 72 della Gazzetta Ufficiale n. 105 dell' 8/05/2003, il territorio comunale di Cotignola risulta classificata all'interno della zona 2. Secondo la precedente classificazione il comune di Cotignola risultava zona sismica di II^a categoria. Con Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 14 gennaio 2008 sono state approvate le Norme Tecniche per le Costruzioni che, dopo un periodo di regime transitorio, sono entrate definitivamente in vigore il 01/07/2009. Successivamente, il 17 gennaio del 2018, con Decreto del Ministero delle Infrastrutture, sono state approvate le "N.T.C. 2018" (entrate in vigore il 22/03/2018) che, relativamente alla classificazione sismica, non hanno modificato quanto indicato dalle precedenti.

Essendo gli strati sabbiosi saturi presenti nei primi 15÷20 metri di profondità quelli potenzialmente liquefacibili, é stata valutata tale potenzialità per gli strati granulari o limosi riscontrati nel corso della prova penetrometrica CPTU descritta nel paragrafo precedente (secondo il metodo proposto dal C.N.R. e consigliato dal Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti). Nella seguente analisi si fa quindi riferimento alle "NTC 2018", che adottano i valori di accelerazione al bedrock dell'INGV (Istituto nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

Per l'area di progetto, di coordinate WGS 84: LAT 44°38983 N, LONG. 11°97304 E, il valore massimo di accelerazione al bedrock sismico previsto, considerando un fabbricato di progetto appartenente alla classe II (vita nominale = 50 anni □ vita di riferimento = 50 anni) risulta, per un tempo di ritorno $T_r = 475$ anni (S.L.V.) pari a 0,182 g (1,785 m/sec²).

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, sulla base dei risultati forniti dall'indagine geofisica integrata "MASW + Tromino" (Multichannel Analysis of Surface Waves, Park et al., 1999

+ *metodo HVSR, analisi dei microtrempi, Nakamura 1989*) il valore della V_s eq. (V_s 30) risulta = 201÷206 m/sec e di conseguenza il profilo stratigrafico di fondazione appartenere alla "categoria disottosuolo" di tipo "C" (tabella 3.2 II: D.M. 14/01/2018): *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”.*

Il valore di accelerazione al suolo (a_{max} – SLV) risulta = 0,261g (2,563 m/sec²). Tale valore è stato ottenuto considerando il coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_s = 1,44$ per un suolo di tipo "C" in categoria topografica T1.

SISMA

```
=====
Accelerazione massima (ag/g)  0,261
Effetto sismico secondo        NTC 2018
Coefficiente intensità sismico terreno [Khk]
0,0627
=====
```

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:

C

Categoria topografica:

T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.549	2.449	0.261
S.L.D.	50.0	0.696	2.438	0.274
S.L.V.	475.0	1.785	2.418	0.305
S.L.C.	975.0	2.324	2.42	0.31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:

Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.8235	0.2	0.0168	0.0084
S.L.D.	1.044	0.2	0.0213	0.0106
S.L.V.	2.5631	0.24	0.0627	0.0314
S.L.C.	3.1511	0.28	0.09	0.045

VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Per la Valutazione del potenziale di liquefazione, come indicato nella DGR n. 2193 / 2015, tra i metodi semplificati sono raccomandati quelli basati su prove CPT / CPTU e tra questi in particolare il metodo di Robertson e Wride (1998). Per il presente studio sono state quindi realizzate le verifiche della propensione alla liquefazione e dei cedimenti potenziali indotti da sisma sulle verticali delle prove penetrometriche statiche eseguite. Per i calcoli è stato utilizzato il programma "Cliq 1.7" della Geologismiki Geotechnical Software, sviluppato in collaborazione con il Prof. Peter Robertson. L'algoritmo di calcolo utilizzato si basa sul metodo di Robertson e Wride (1998), recentemente aggiornato dallo stesso P.K. Robertson (2009-2010).

Le analisi eseguite seguono le procedure di riferimento dettate dall'NCEER. Lo stesso software esegue il calcolo dei cedimenti attesi secondo il metodo proposto da Zhang ed al. (2002), calcolando per tutti i livelli che hanno un fattore di sicurezza inferiore a 2. Il potenziale di liquefazione si ottiene eseguendo il calcolo del fattore di sicurezza FS_L , definito dal rapporto CRR su CSR. La metodologia utilizzata permette di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso il confronto tra le caratteristiche granulometriche e di addensamento del deposito, espresse dai valori della resistenza penetrometrica q_c normalizzati con lo sforzo tagliante indotto dal sisma (rispettivamente CRR e CSR), ottenuti mediante le seguenti relazioni:

$$CSR = 0,65 \cdot (a_{max}) / (g) \cdot (\sigma_{vo} / \sigma'_{vo}) \cdot r_d \cdot 1 / K\sigma$$

dove: a_{max} = accelerazione sismica di picco al piano campagna;

g = accelerazione di gravità;

σ_{vo} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;
 σ_{vo}' = pressione verticale efficace alla profondità z da p.c.;
 r_d = fattore di riduzione delle tensioni alla profondità interessata;
 $K\sigma$ = fattore di correzione per la pressione di confinamento.

$$CRR_{7.5} = 0,833 \cdot [(q_{c1N})_{cs} / 1000] + 0,05 \quad q_{c1N} \leq 50$$

$$CRR_{7.5} = 93 \cdot [(q_{c1N})_{cs} / 1000]^3 + 0,08 \quad 50 \leq q_{c1N} \leq 160$$

dove: $(q_{c1N})_{cs}$ = resistenza penetrometrica statica normalizzata e corretta per l'influenza del contenuto in fini.

Il fattore di sicurezza alla liquefazione FS_L è definito dal rapporto CRR su CSR:

$$FS_L = CRR_{7.5} \cdot MSF / CSR$$

MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma.

I parametri di input sono stati scelti in maniera ragionata sulla base delle conoscenze acquisite, in modo da risultare i più cautelativi possibili:

- **Mw = 6,14**: magnitudo massima prevista per la Zona sismogenetica 912 di ZS9, all'interno della quale si colloca l'area di progetto;
- **a_{max} = 0,26g**: accelerazione orizzontale massima SLV attesa nel sito, sulla base dell'accelerazione attesa al bedrock sismico incrementata dal fattore di amplificazione FA (Ss) = 1,44 (terreno "C").
- quota piezometrica misurata: posta a 4,40 m da p.c.;
- quota piezometrica da sisma: posta a 1,00 m da p.c.

L'analisi del rischio di liquefazione (*vedi allegati: grafici report liquefazione*) indica la presenza di soli tre sottili livelli sabbiosi decimetrici con fattore di sicurezza alla liquefazione inferiori all'unità alle profondità di: 10,8, 16,5 e 17,05 m di profondità. L'eventuale perdita di consistenza di tali livelli non può chiaramente provocare effetti in superficie.

Al fine di valutare la "pericolosità di liquefazione" è stato, inoltre, valutato l'**indice del potenziale di liquefazione** I_L (Iwasaki et al., 1982) che viene così definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

in cui z è la profondità dal piano campagna in metri e $w(z) = 10 - 0.5z$; ad una data quota z il fattore $F(z)$ ovvero la funzione F(z), che esprime il potenziale di liquefazione per ciascun strato (che

compare nell'espressione dell'indice del potenziale di liquefazione introdotta da Iwasaki), è stata così modificata, secondo la forma suggerita da Sonmez (2003) e vale:

$$F(z) = \begin{cases} 0 & \text{per } FSL > 1.4 \\ 2 \cdot 10^6 e^{-48.427 \cdot FSL} & \text{per } 0.95 < FSL \leq 1.4 \\ 1 - FSL & \text{per } FSL \leq 0.95 \end{cases}$$

L'Indice del potenziale di liquefazione IPL o LPI (Pericolosità di liquefazione) descrive il potenziale rischio di liquefazione per una verticale di indagine (dal piano sino a 20m di prof. o comunque sino alla massima prof. raggiunta).

Le classi di pericolosità sono le seguenti:

LPI = 0 Nulla; $0 < LPI \leq 2$ Bassa; $2 < LPI \leq 5$ Moderata; $5 < LPI \leq 15$ Alta; $LPI > 15$ Molto alta. Nella verticale esplorata e verificata il valore di **LPI** (pericolosità di liquefazione) è risultato pari a **0,07** → risulta quindi una "bassa pericolosità di liquefazione".

I Valori dei cedimenti verticali post sismici, calcolati sempre tramite l'ausilio il programma "Cliq 1.7" della Geologismiki Geotechnical Software risultano = 0,89 cm (in condizione di free field).

Per un maggiore approfondimento in considerazione del risultato sopra ottenuto, è stato inoltre calcolato il valore LSN (Liquefaction Severity Number - H. Cowan e Tonkin & Taylor Limited 2012/2013), che esprime il rischio che la liquefazione degli strati, con fattore di sicurezza < 1 , possa provocare effetti in superficie e quindi danni alle costruzioni.

In questo caso risulta $LSN = 0,61$: "piccole o nulle espressioni di liquefazione, effetti minori", senza rischi di danni strutturali, come evidenziato dalla tabella seguente (*vedi allegati: "Report analisi rischio liquefazione"*).

LSN Range	Predominant performance
0 – 10	Little to no expression of liquefaction, minor effects
10 – 20	Minor expression of liquefaction, some sand boils
20 – 30	Moderate expression of liquefaction, with sand boils and some structural damage
30 – 40	Moderate to severe expression of liquefaction, settlement can cause structural damage
40 – 50	Major expression of liquefaction, undulations and damage to ground surface, severe total and differential settlement of structures
>50	Severe damage, extensive evidence of liquefaction at surface, severe total and differential settlements affecting structures, damage to services.

8. CONCLUSIONI

Le caratteristiche litologico-stratigrafiche dell'area di progetto, sia dal punto di vista dei parametri geotecnici caratteristici sia per quel che riguarda il rischio sismico di liquefazione, non mostrano impedimenti di carattere geologico al progetto di una nuova centrale di pompaggio e di una cassa di espansione con funzione di laminazione delle piene e di invaso per l'efficientamento della pratica irrigua.

Occorrerà, nella necessaria analisi geotecnica (ai sensi delle N.C.T. 2018) effettuare:

- la "verifiche della sicurezza": $Ed \leq Rd$ (azioni trasmesse "Ed" nei confronti delle resistenze di progetto "Rd" delle fondazioni previste) agli Stati Limite in condizioni statiche "S.L.U.", ed in condizioni sismiche "S.L.V.";
- la "verifica delle prestazioni": $Ed \leq Cd$, ovvero: le azioni di progetto trasmesse (allo Stato Limite di Esercizio: "S.L.E." in combinazione quasi permanente") nei confronti di quelle responsabili del cedimento massimo compatibile.

Dal punto di vista sismico, con le accelerazioni previste per la classe d'uso del fabbricato (II^a), vi è una "Bassa" pericolosità di liquefazione ($IPL < 2$) con "piccoli o nulli effetti in superficie" ($LSN < 10$; senza danni strutturali prevedibili).

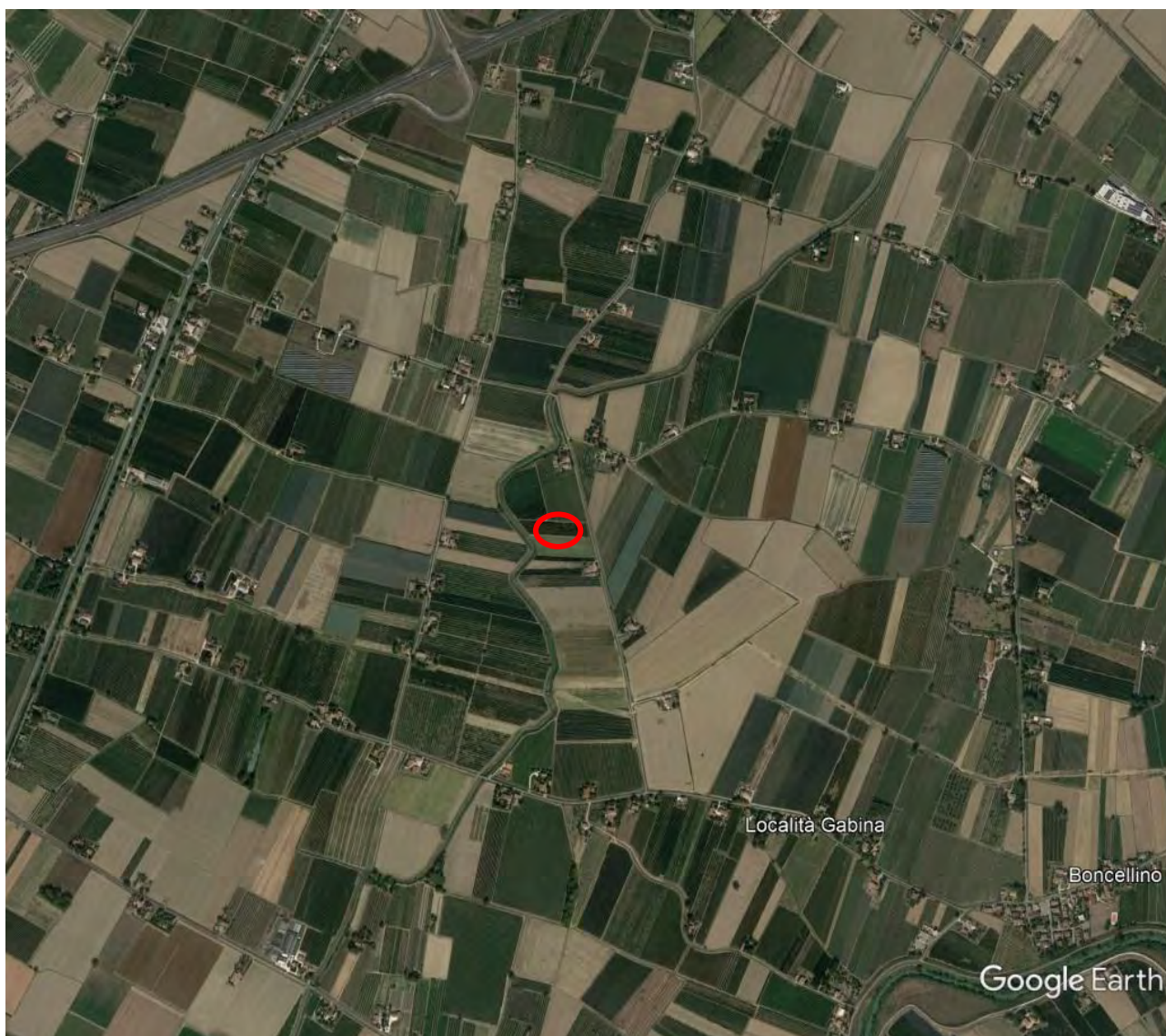
La profondità della falda freatica, in data 15/02/2021, risultava di - 4,4 m rispetto al piano campagna (di quota $\cong +12,5$ m s.l.m.).

Relativamente all'assetto geomorfologico, l'area di progetto risulta sul lato destro del canale consorziale "Fosso Vecchio", che incide la pianura per una profondità di circa sei metri; oltre a tale aspetto non vi sono particolari degni di nota.

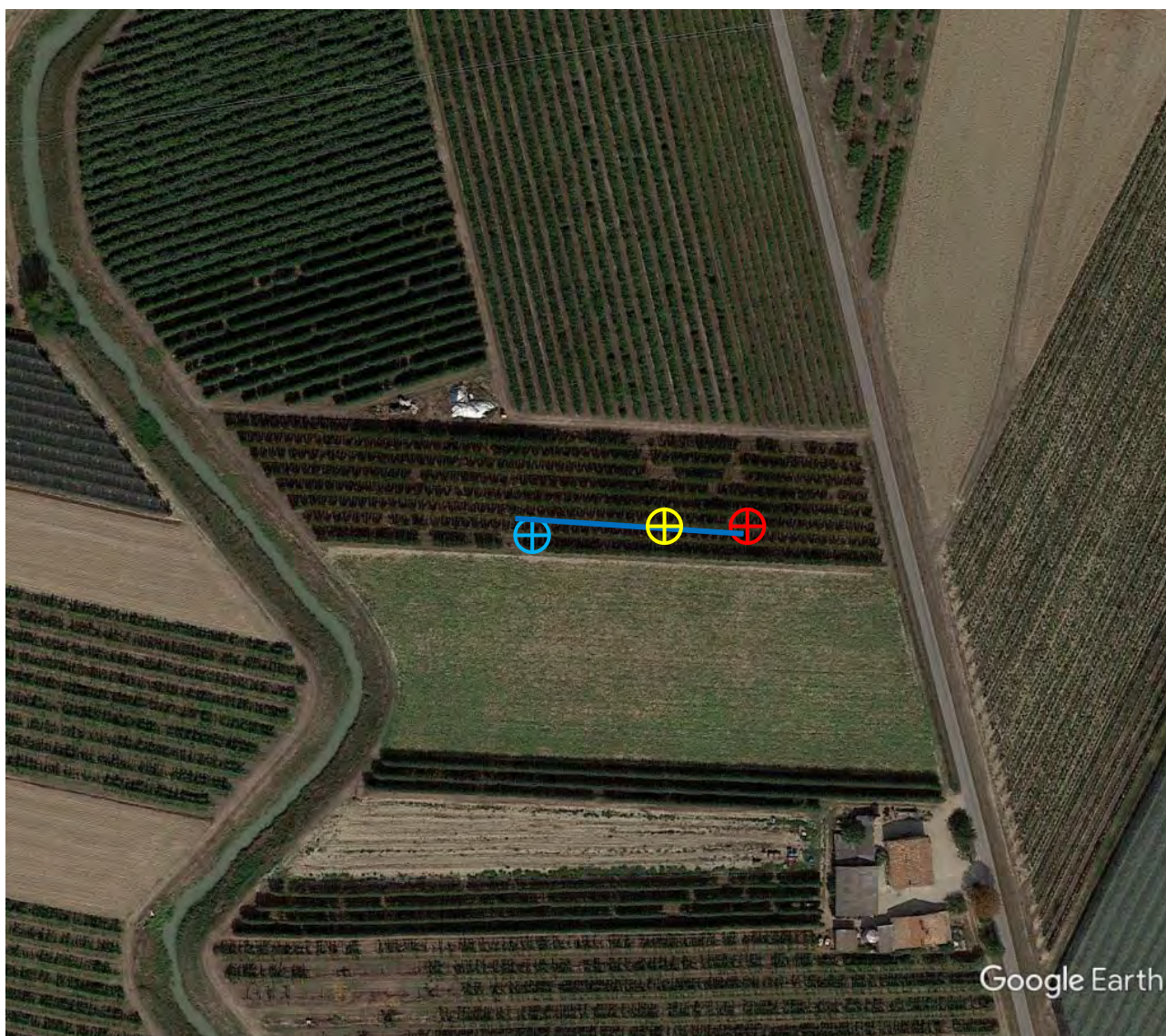
Ravenna 14/03/2022



Dr. Geologo Marco Roncuzzi




Via Ponte Nuovo, Cotignola (RA) ○



- PROVA PENETROMETRICA CPTU 

- INDAGINE GEOFISICA INTEGRATA

MASW 

HWSR (Tromino) 

- SONDAGGIO 

GEOLOG s.r.l.	
Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 15/02/2022 10:29:46	
Site: Progetto Fosso Vecchio. Nuova centrale di pompaggio Boncellino - Test: CPTU Via Ponte Nuovo	

Company information

Name: GEOLOG s.r.l.

Address: Via Cerchio, 57

Zip code: 48121

City: Ravenna

P.IVA: 02194680399

E-Mail: geologsrl@virgilio.it

Phone number: 0544202700

Fax number: 0544202700

Site information

Name: Progetto Fosso Vecchio. Nuova centrale di pompaggio Boncellino

Date: 15/02/2022

Commissioner: Consorzio di Bonifica della Romagna occidentale

Locality: Via Ponte Nuovo, Cotignola (RA)

Test information

Name: CPTU Via Ponte Nuovo

Location: BONCELLINO

Date: 15/02/2022 10:29:46

Prehole mode:

Prehole depth [cm]: 0

Hydrostatic line [cm]: 440

Ground level [m]: 0

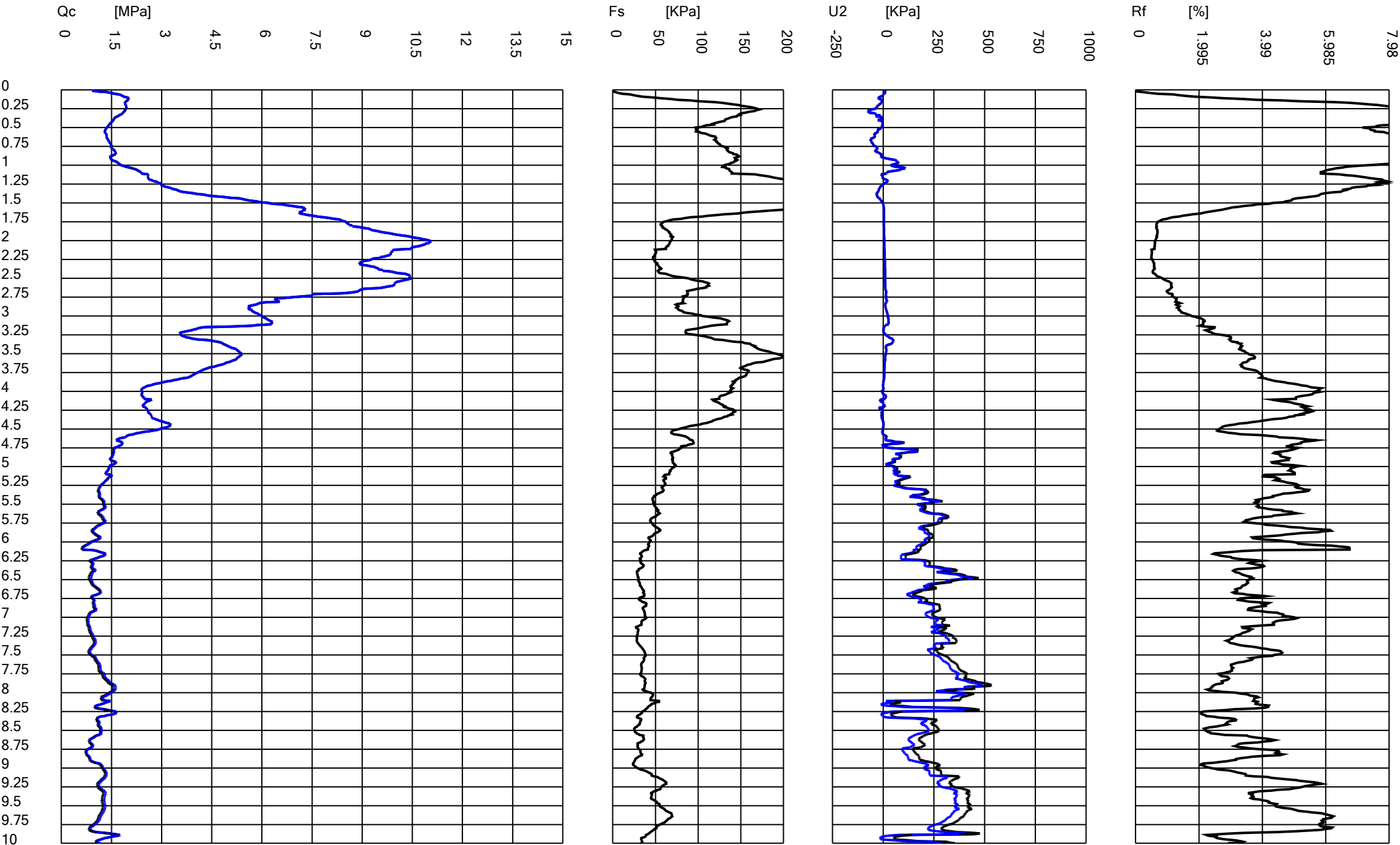
Latitude: 4423.3859N

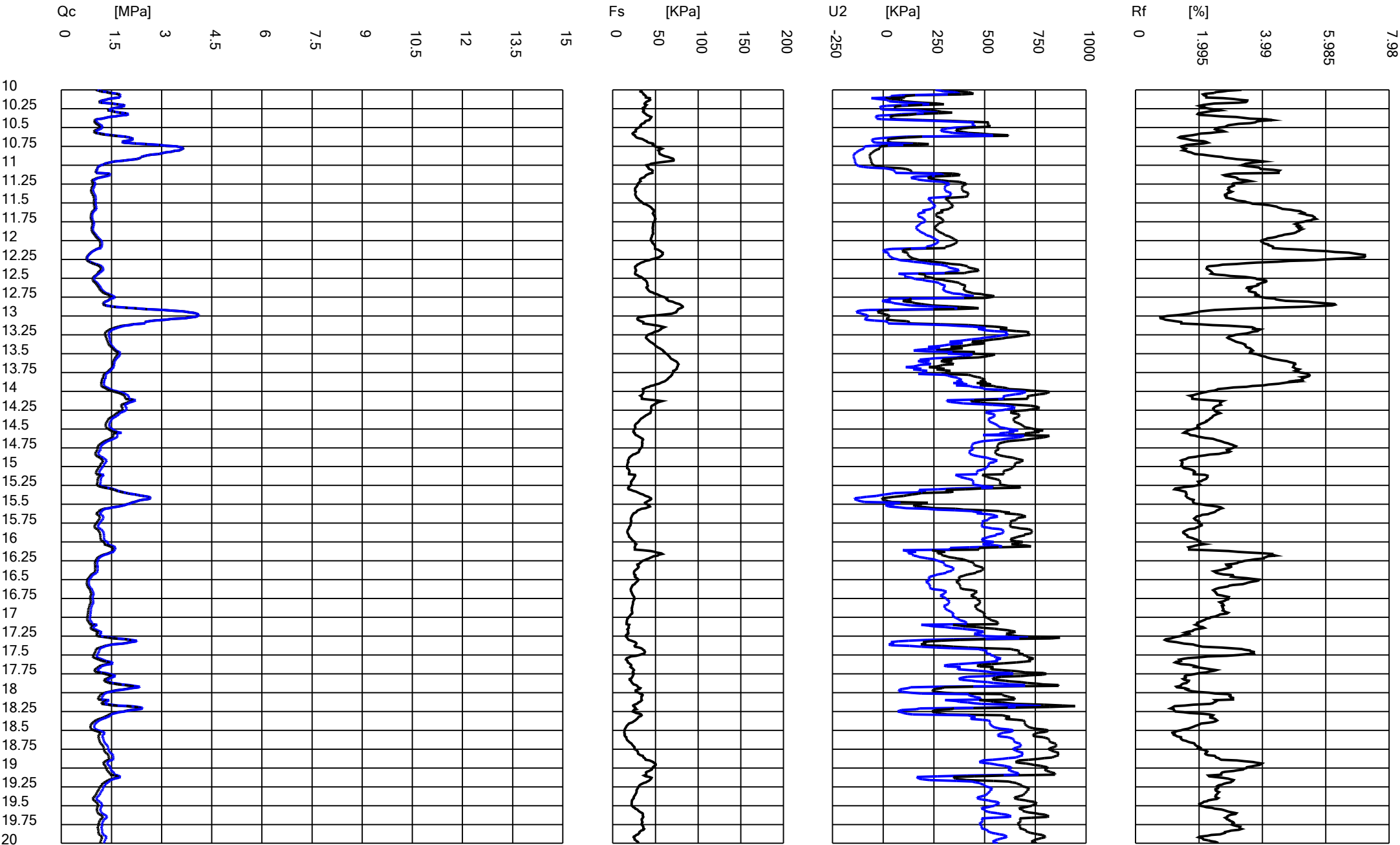
Longitude: 01158.3846E

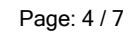
Operator:

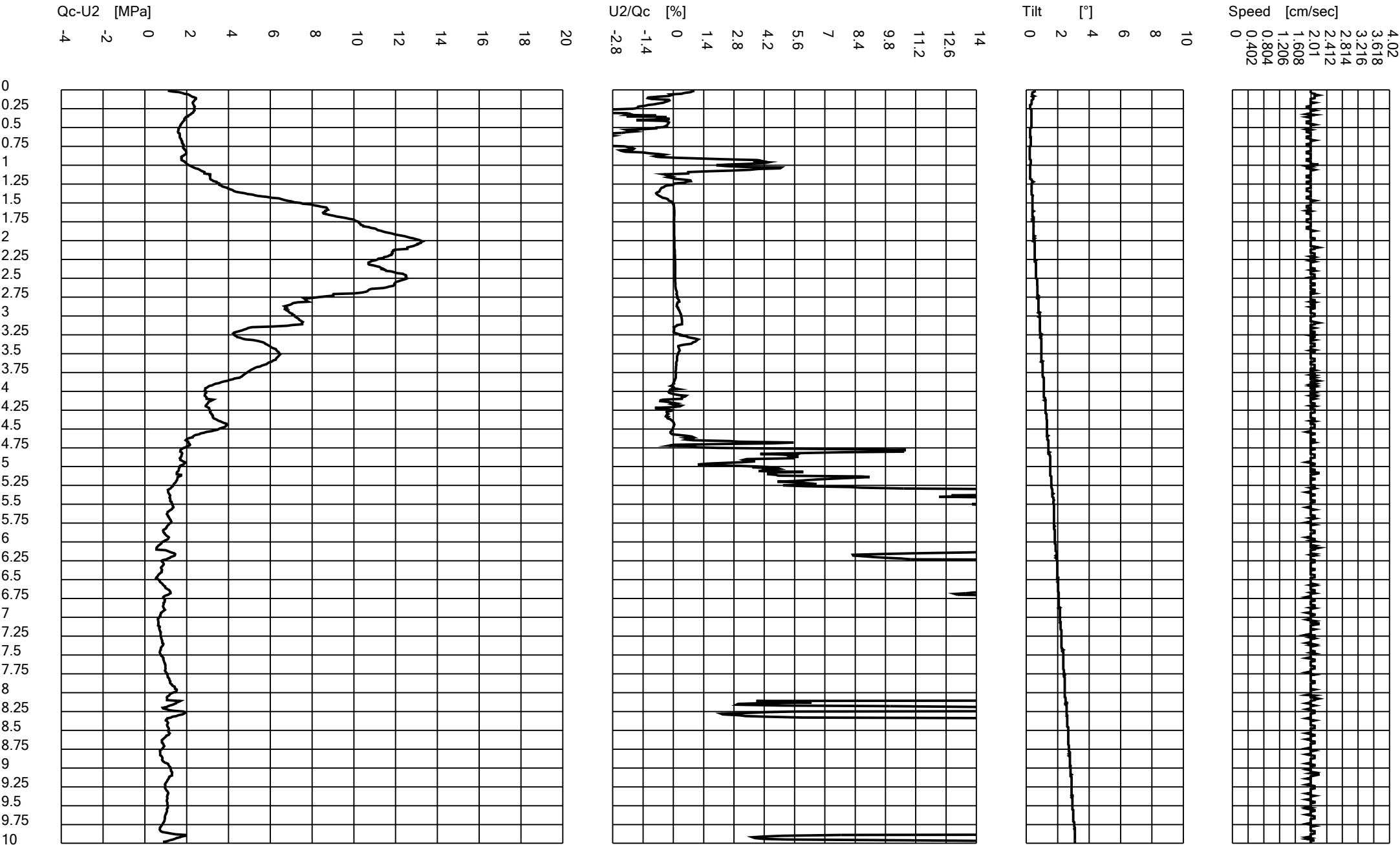
Comments:

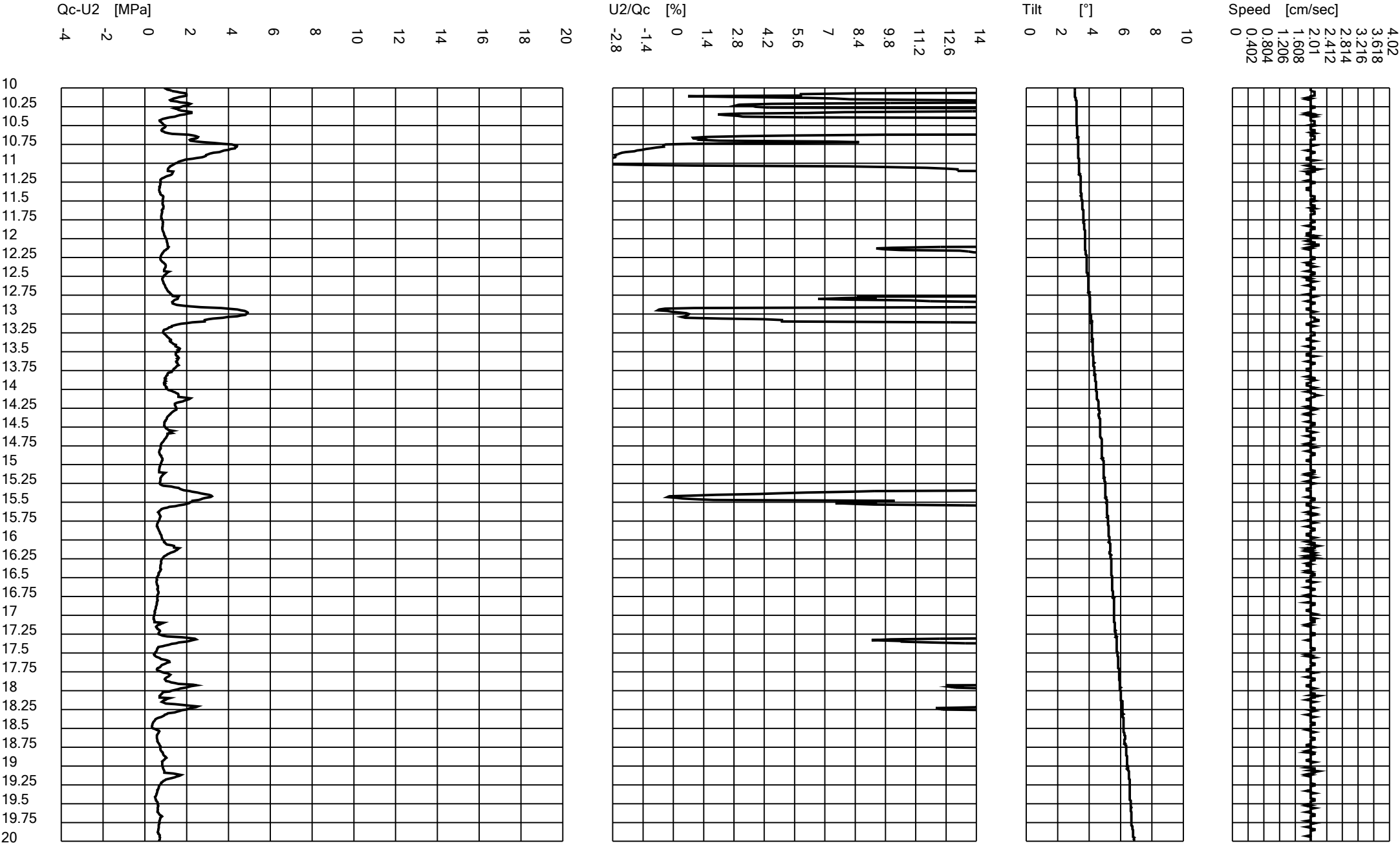
Probe code: Mks584

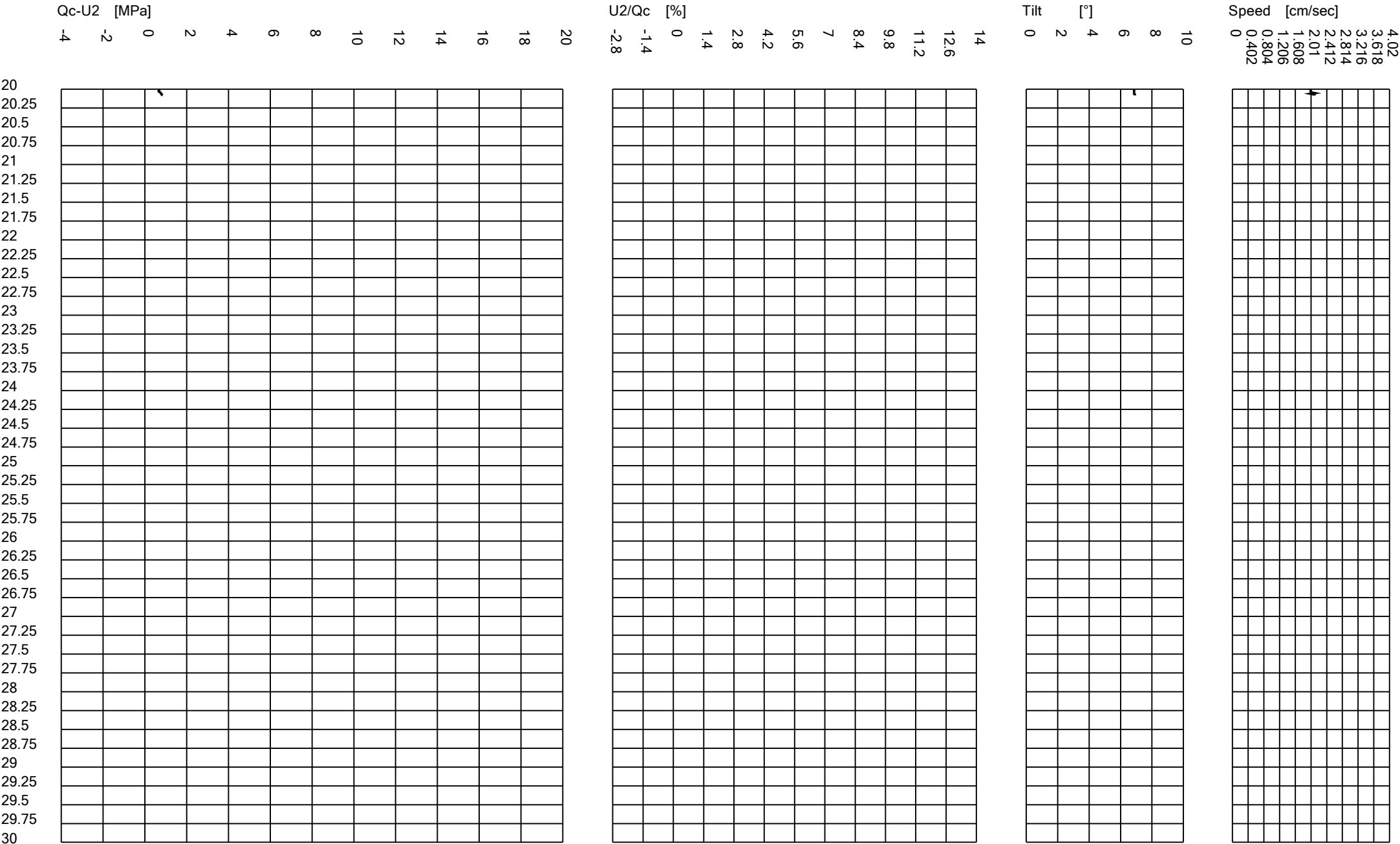





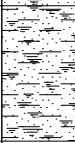
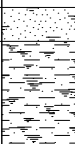









<div><div><div><div>SOGEO</div><div>S.R.L.</div><div>INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI</div><div>Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di LUGO (RA)</div><div>Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com</div><div>Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C</div><div>Decr. n. 005754 del 05/07/2010</div></div></div></div>		COMMITTENTE: Dott. Geol. Roncuzzi Marco	SOND.N°: S.1	PROF.(m): 10.00
		CANTIERE: Progetto Fosso Vecchio - Via Ponte Nuovo , Boncellino (RA)	QUOTA (m): p.d.c.	
		PERFORATRICE: Ellettari EK200/STR	LATITUDINE (°):	
		METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo	LONGITUDINE (°):	
RIVESTIMENTO: Ø 127 mm		ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice Ø 101 mm	DATA INIZ-FINE: 24/02/2022-24/02/2022	
PIEZOMETRO: -----			SCALA: 1:100	
RIF.PREV.N°: 029-22	CERTIFICATO N°: C22-015-2	RAPPORTO N°: -----	DATA DI EMISSIONE: 25/02/2022	PAGINA N°: 1 di 1

scala	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	S.P.T. [n. colpi] P.A.	Falda	Pz.Norton
1.00	3.5	1.00	0.20		Suolo limoso sabbioso di colore marrone, con frustoli vegetali					
	4.8	1.60			Limo argilloso, debolmente sabbioso, di colore marrone-grigio					
	> 6		1.30							
2.00										
3.00					Limo e sabbia passante a limo con sabbia. Colore marrone					
4.00	3.9		4.00							
5.00	3.4				Limo sabbioso argilloso di colore marrone-grigio					
6.00	2.5	0.70	5.20		Campione indisturbato					
7.00	1.0	0.20	6.00		Sabbia limosa passante a sabbia con limo, di colore grigio-marrone					
8.00	0.9	0.20			Limo e argilla passante a limo con argilla, di colore grigio-verde, con tracce di sostanza organica scura e con intercalati livelli centimetrici di sabbia limosa grigia					
			7.00		Campione indisturbato					
			7.50							
9.00	1.3	0.30								
	0.9	0.20			Limo e argilla passante a limo con argilla, di colore grigio-verde, con zonature marroni da -9.0 m, con tracce di sostanza organica scura e con intercalati livelli centimetrici di sabbia limosa grigia					
	0.7	0.20								
10.00	1.8	0.70								
	1.9	0.80	9.80		Sabbia debolmente limosa di colore grigio-marrone					
			10.00							

C.I. = campioni indisturbati
CD = campione rimaneggiato

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio



SOGEO s.r.l.
INGEGNERIA GEOLOGICA ED AMBIENTALE
Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di Lupo (RA)
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com

COMMITTENTE: Dott. Geol. Roncuzzi Marco
RIF. N° : 029-22

LOCALITA': Progetto Fosso Vecchio - Boncellino (RA) **SONDAGGIO N: S.1**
ALLEGATO A: C22-015-2 **DATA:** 24/02/2022



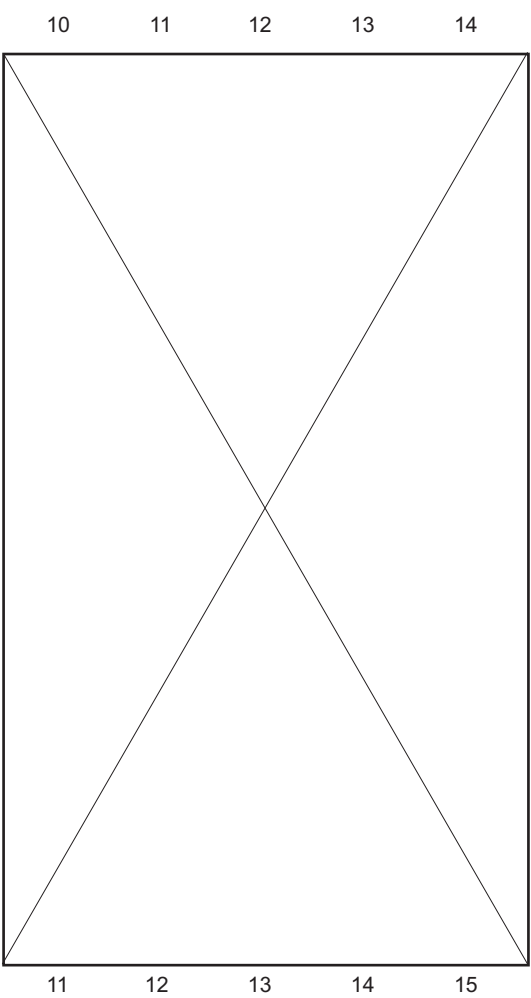
Cassa 2 da -5.0 a -10.0 m



Cassa 1 da 0.0 a -5.0 m



Posizionamento



Cassa 3 da -10.0 a -15.0 m

Dott. Geol. Marco Rolfini
Consulenze Geologico Tecniche ed Ambientali
Via Valle Sabbionchi 50, 44023 Lagosanto (FE)
e-mail: geologo.marcorolfini@gmail.com
Tel: 340 4708522
P.IVA: 01939920383; C.F. RLFMRC81H22C814Z

Committente: Dott. geol. Marco Roncuzzi, via
Zagarelli alle Mura 22, Ravenna
(RA).

Cantiere: Sito in via Ponte Nuovo nel
comune di Cotignola (RA) –
Progetto Fosso vecchio, Nuova
centrale di pompaggio
Boncellino.

Progetto: Prospezione sismica tipo MASW
mediante approccio HS®,
esecuzione di una misura di
rumore sismico HVSR.

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
1.1	Descrizione del sito in esame.....	5
2	RAPPORTI SPETTRALI H/V	5
3.	ANALISI CONGIUNTA HOLISURFACE®.....	9

1. INTRODUZIONE

Date le caratteristiche dell'area e in accordo con la committenza è stato sviluppato un programma di indagine finalizzato alla modellizzazione geologico-sismica sito specifica, articolato come di seguito indicato:

- ✓ Esecuzione di una prospezione sismica di superficie tipo M.A.S.W. mediante approccio HS[®], al fine di identificare il profilo della velocità delle onde di taglio (V_s) nel sito.
- ✓ Una misura di rumore sismico tipo HVSR a stazione singola della durata di 30 minuti, al fine di identificare la frequenza fondamentale del sito e fornire informazioni circa la sequenza sismostratigrafica locale.

Al fine di caratterizzare il sito oggetto di indagine dal punto di vista sismico, è stata eseguita una ricostruzione del profilo della velocità delle onde di taglio (V_s), attraverso un unico geofono a tre componenti di tipo attivo, mediante metodologia HoliSurface[®].

Gli spettri di *velocità di gruppo* dell'onda di Rayleigh sono stati definiti tramite l'approccio HoliSurface[®] (multicanale, multicomponente e singolo offset) un'evoluzione del metodo Multiple Filter Analysis (MFA, Dziewonsky et al., 1969) e Frequency – Time Analysis (FTAN, Natale et al., 2004), considerando un'acquisizione attiva con offset pari a 65 m. Tali metodi sono fondamentalmente molto simili e in sismologia sono da sempre il metodo più classico possibile per analizzare la dispersione delle onde di superficie. Considerando il lato pratico della trattazione matematica ("considerando la velocità di gruppo come la derivata prima della velocità di fase"), la velocità di gruppo viene determinata dal semplice rapporto tra spazio e tempo di arrivo dell'onda (frequenza per frequenza). Nel dettaglio si tratta di definire frequenza per frequenza il tempo impiegato dal segnale prodotto dalla sorgente (Martellata) per raggiungere il geofono posto ad una certa distanza, in modo tale da avere una misura assoluta (e non relativa) del tempo. Se per la velocità di fase non è strettamente rilevante conoscere il momento esatto dell'energizzazione (la velocità di fase è di fatto una pendenza, quindi non necessita della conoscenza del tempo zero), per la velocità di gruppo è fondamentale che il tempo zero (spesso definito dai sismologi *tempo di origine*) sia esattamente coincidente all'energizzazione, come nella sismica a rifrazione e/o riflessione.

Nella sua implementazione automatica, l'approccio HS è costituito dalle seguenti fasi:

- Calcolo delle tracce sintetiche delle componenti considerate, come le componenti verticale e radiale delle onde di Rayleigh (ZVF e RVF) e/o le onde di Love (THF).
- Determinazione degli spettri di velocità di gruppo delle tracce sintetiche calcolate.

I dati così ottenuti sono stati analizzati, modellati e invertiti in modo congiunto alla curva HVSR misurata in prossimità del profilo di acquisizione (Dal Moro, 2010; 2011; 2014; 2017; 2018).

Le acquisizioni sono state eseguite utilizzando un geofono triassiale modello “GS ONE LF” Geospace Technologies, cioè una terna *calibrata* con geofoni da 4,5Hz (frequenza propria), collegato ad un sismografo Pasi a 24 Bit e 24 canali modello” GEA 24”. Date le caratteristiche logistiche del sito l’offset impiegato nelle prospezioni è stato pari a 65 m, utilizzando come sorgente una mazza dal peso di 8 Kg impiegata per generare una forza verticale (VF) e implementando uno stack verticale pari a 50 (energizzazioni). Successivamente, i dati acquisiti sono stati analizzati attraverso il software *HoliSurface* (*Eliosoft*). Le procedure adottate risultano in accordo a quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17 gennaio 2018).



Figura 5.3: schema acquisizione dati.

Nell’ambito dell’indagine è stata eseguita una misura di rumore sismico, gli spettri di ciascuna delle 3 componenti spaziali ortogonali sono stati ricavati dall’analisi di Fourier del rumore sismico ambientale (microtremori), attraverso i quali è stato possibile calcolare il rapporto spettrale HVSR.

A titolo di approfondimento si rammenta come la frequenza fondamentale di un sito rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovrà cercare di progettarli con una frequenza di vibrazione diversa da quella/e di sito per evitare effetti di doppia risonanza. Un metodo per stimare tale frequenza è quello di determinare l’HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) secondo la tecnica inizialmente sviluppata da Nakamura. Tale tecnica si basa sul calcolo dei rapporti spettrali tra la componente orizzontale e quella verticale del segnale registrato (rapporto H/V), consentendo di identificare gli spettri e le relative frequenze del terreno e fornire informazioni circa la sequenza sismostratigrafica locale, nell’ipotesi che lo spettro della componente verticale simuli quello di un rumore “bianco”. Utilizzando un sistema di acquisizione composto da un sensore a tre componenti (verticale, Est-Ovest e Nord-Sud) e da un convertitore analogico digitale (sismografo), si registrano finestre di rumore ambientale dalle quali è possibile elaborare i rapporti H/V. Tali rapporti presentano un comportamento differente a seconda del sito considerato, l’esatto valore della frequenza fondamentale (o di risonanza) dipende da alcune caratteristiche dei litotipi di indagine, tra le più importanti si ricordano lo spessore delle coltri di copertura, caratterizzate da differenti parametri meccanici e sismici che definiscono il contrasto

di impedenza tra litotipi. Infatti, ciascuna sorgente genera un treno d'onde che raggiunge il punto di misura con caratteristiche che dipendono dall'entità delle sollecitazioni nelle componenti orizzontali e verticali del moto e dalle modalità di propagazione fra la sorgente e il sito, in funzione dei fenomeni di riflessione, rifrazione e diffrazione che hanno luogo in corrispondenza delle variazioni stratigrafiche nel sottosuolo. In genere, nel campo di rumore ambientale, saranno presenti sia onde di volume (P e VSH in quantità variabili) che onde superficiali (Love e Rayleigh).

1.1 Descrizione del sito in esame

L'ambito di interesse è localizzato in un'area rurale ad uso agricolo nella porzione orientale del territorio comunale di Cotignola (RA) nelle adiacenze di via Ponte Nuovo e viene identificata geograficamente dalle seguenti coordinate, riferite ad un punto centrale (WGS 84):

Latitudine: 44°38993 N

Longitudine: 11.97281 E

Nell'immagine seguente si riporta identificazione del sito su immagine orto fotografica.



Figura 1.1: orto-foto satellitare con identificazione area di indagine e traccia dello stendimento sismico (Immagine da Google Earth).

2 RAPPORTI SPETTRALI H/V

Allo scopo di migliorare la definizione del profilo verticale Vs nelle porzioni più profonde, è stata eseguita una misura di microtremori, utile a definire il rapporto H/V. Il computo della direttività relativa alla misura è mostrato nella Figura 2.1, dove si può notare come nell'intervallo compreso tra 0,5 ÷ 0,9 Hz circa, siano presenti i valori massimi del rapporto HVSR con valori prossimi a 2,4. Si può notare inoltre come la misura sia caratterizzata da una direzionalità molto limitata nell'intervallo di frequenze considerato.

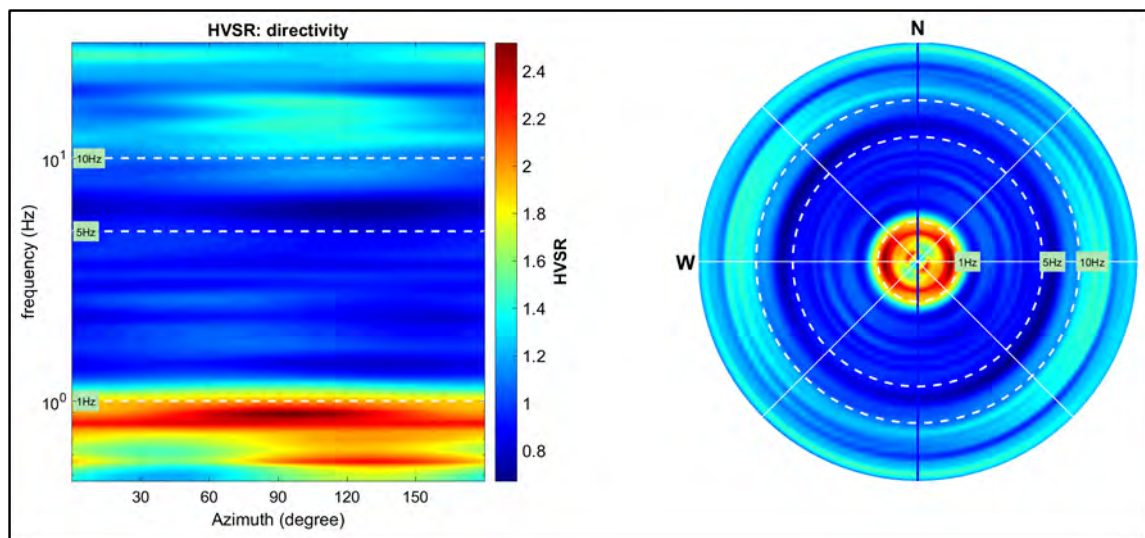


Figura 2.1: computo della direttività relativa alla HVSR.

La curva HVSR e gli spettri medi delle tre componenti (NS, EW e verticale) riportate in Figura 2.2, sono state ottenute attraverso l'analisi delle registrazioni acquisite ad una frequenza di 250 Hz e successivamente decimate a 64 Hz, considerando una finestra di larghezza pari a 20 secondi, lisciamento spettrale (smoothing) attraverso finestra triangolare avente ampiezza pari al 10 % della frequenza centrale e rimozione dei transienti sulla serie temporale H/V. L'analisi della curva HVSR mette in evidenza come non siano presenti significativi contrasti di impedenza sismica. Nel dettaglio la curva analizzata presenta un andamento lineare, il picco del rapporto H/V risulta identificato alla frequenza di 0,8 Hz circa con un valore pari a 2.4, con tutta probabilità tale fenomeno è legato alla potente coltre alluvionale che sovrasta i depositi contraddistinti da un maggiore contrasto di impedenza.

Il computo dei criteri SESAME (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR) relativi al valore massimo della curva HVSR identificato alla frequenza compresa tra di 0,8 ÷ 0.9 Hz circa e riferiti all'intervallo di frequenze comprese tra 0,5 ÷ 20 Hz sono riportati di seguito.

HVSR Criteri SESAME (Peak 0,8Hz)

In the following the results considering the data in the 0.5-20Hz frequency range.

Peak frequency (Hz): 0.8 (± 0.2)

Peak HVSR value: 2.4 (± 0.5)

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: $1.3 > 0.5$ (OK)

#2. [$nc > 200$]: $2026 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: (OK)

#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 3.0Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $2.5 > 2$ (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (NO)

#5. [$\sigma_A < \epsilon(f_0)$]: $0.502 > 0.125$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.323 < 1.78$ (OK)

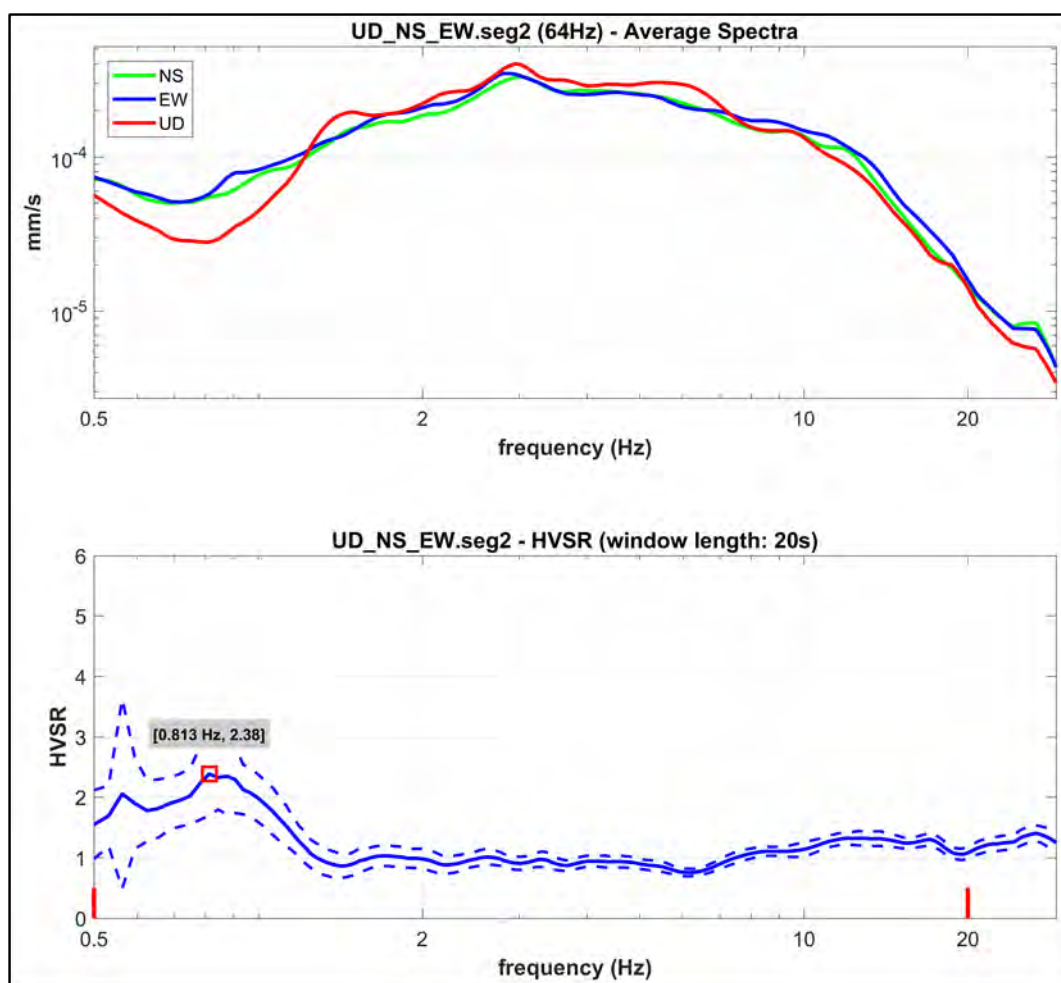


Figura 2.2: curva HVSR e spettri medi d'ampiezza delle singole componenti.

Sebbene dal punto di vista formale non siano soddisfatti i 5 criteri su 6 (suggeriti dai criteri SESAME), è comunque utile indicare come i valori massimi del rapporto HVSR risultino compresi tra $0,8 \div 0,9$ Hz circa. Occorre precisare come valori del rapporto H/V compresi tra $1 \div 3$ rappresentano contrasti significativi sul piano sismologico, ma meno importanti dal punto di vista degli effetti sito specifici attesi (contrasto basso). In conclusione, si rammenta come "l'ampiezza del massimo H/V non è correlabile all'amplificazione sismica in modo "semplice" (Mulargia, et al., 2007) e non costituisce, pertanto, una indicazione diretta della pericolosità connessa a ciascuna frequenza.

In relazione all'andamento della curva HVSR misurata, la figura 2.3 mostra in dettaglio il computo della funzione di coerenza sulle tre componenti acquisite, tale funzione è esprimibile ("semplificando") come indice della bontà dell'andamento della curva HVSR nell'intervallo di frequenze considerato, soprattutto in riferimento a possibili segnali (rumore) di origine antropica.

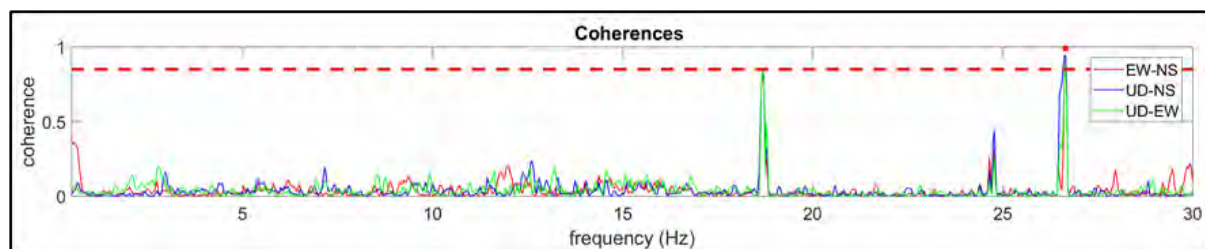


Figura 2.3: computo della coerenza dei segnali acquisiti.

3. ANALISI CONGIUNTA HOLISURFACE®

MASW

La Figura 3.1 riporta le tracce sismiche acquisite in modalità attiva e utilizzate per l'analisi della dispersione della componente verticale (ZVF) e Radiale (RVF) dell'onda di Rayleigh, in basso gli spettri di potenza delle rispettive velocità di gruppo, mentre in alto a destra è riportata la curva HVSR misurata.

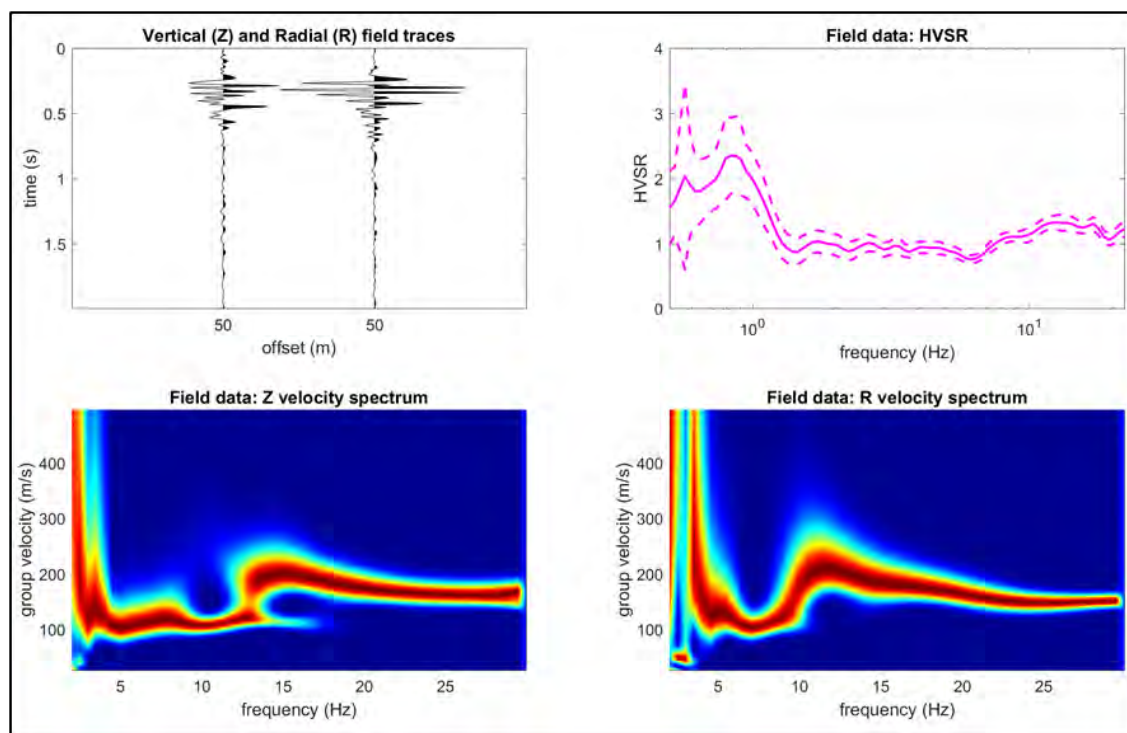


Figura 3.1: tracce sismiche componenti verticale e radiale onda di Rayleigh con relativi spettri di velocità di gruppo e curva HVSR osservata.

Di seguito si riporta il risultato dell'analisi e modellazione dei tre “oggetti” considerati: dispersione delle onde di Rayleigh – componenti verticale e radiale analizzate secondo la velocità di gruppo e curva HVSR.

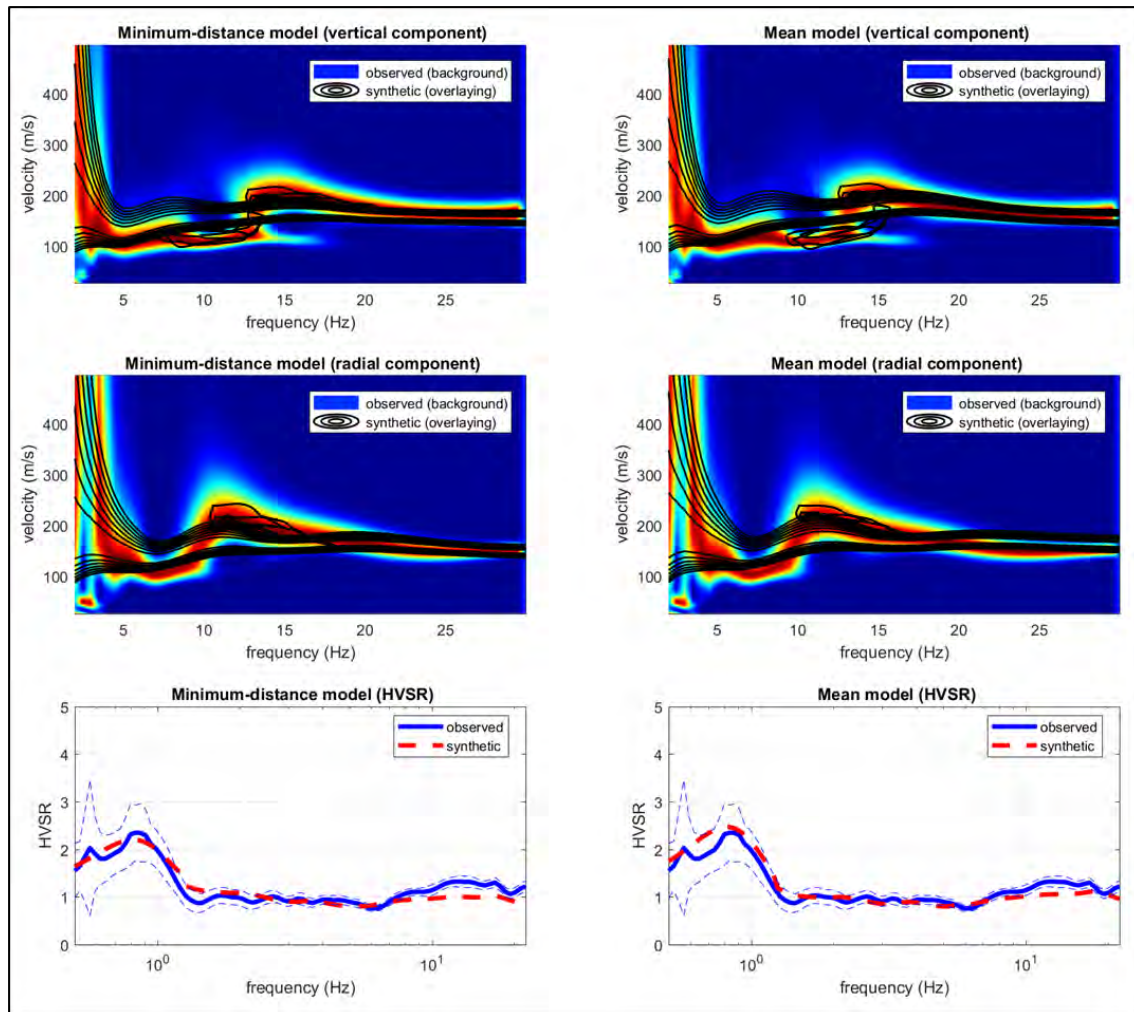


Figura 3.2: risultato analisi congiunta delle componenti ZVF, RVF e HVSF.

I colori in sottofondo rappresentano lo spettro di velocità di gruppo del dato di campagna (componenti ZVF e RVF), mentre le contour lines nere in sovrapposizione rappresentano lo spettro di velocità di gruppo del modello identificato (sintetico). La curva HVSF di colore blu rappresenta il dato osservato, mentre la curva con tratteggio rosso quella modellata.

Si è quindi proceduto all'inversione congiunta degli spettri di velocità e dell'HVSF attraverso due tipologie di modelli, quello a distanza minima dal punto utopico (minimum-distance model) e quello medio, determinato come media di tutti i modelli del fronte dell'algoritmo genetico Pareto (mean model). I risultati vengono riportati di seguito.

Minimum-distance (from the utopia point) model

Vs30 and VsE (m/s): 206.

Velocità onde s (m/s): 145, 141, 160, 211, 184, 178, 204, 249, 273, 303, 336, 580.

Spessori (m): 0.3, 0.4, 1.2, 1.8, 3.1, 2.8, 5.8, 5.0, 11.4, 13.5, 50.

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 37, 37, 46, 104, 63, 59, 74, 149, 180, 180, 222, 686.

Mean model

V_{s30} and V_{sE} (m/s): 201.

Velocità onde s (m/s): 145, 149, 160, 212, 186, 175, 200, 248, 271, 300, 344, 570.

Spessori (m): 0.3, 0.4, 1.2, 2.0, 3.1, 2.8, 5.4, 5.3, 11.5, 13.6, 52.6.

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 37, 41, 45, 103, 63, 56, 74, 140, 163, 175, 233, 663.

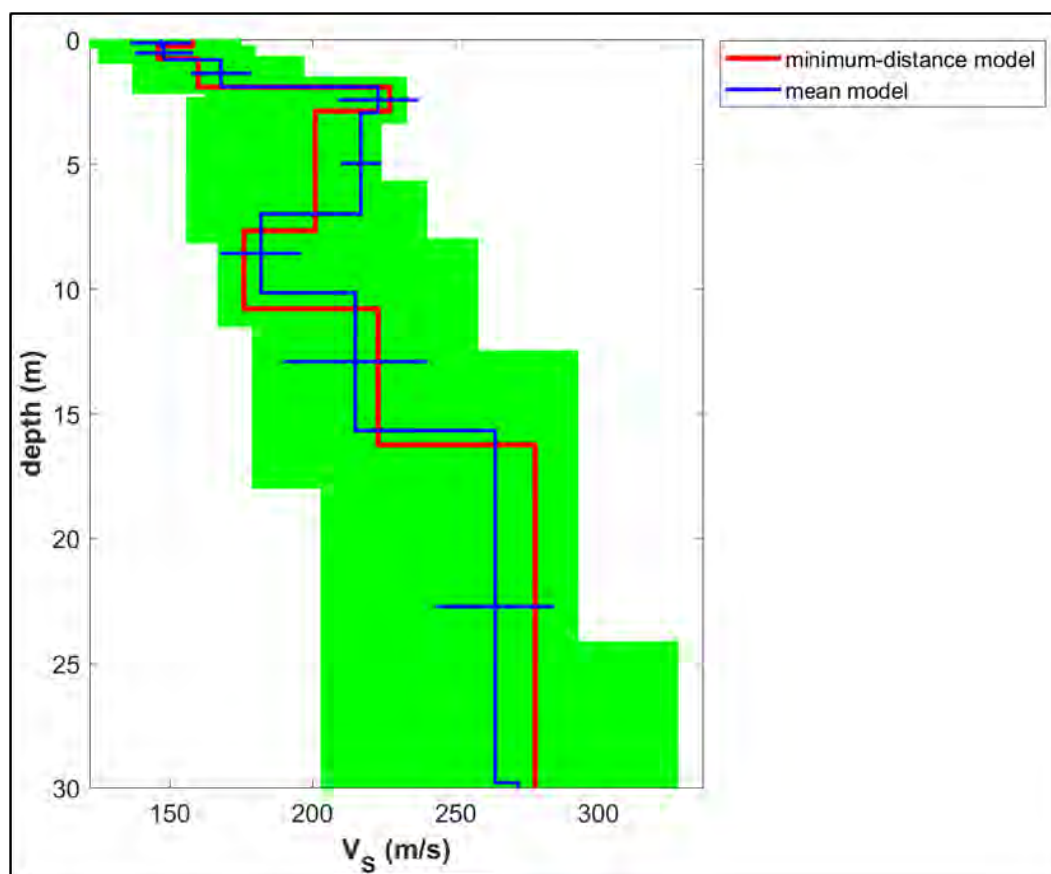


Figura 3.3: modellazione profilo Vs, ottenuto da analisi congiunta delle componenti ZVF, RVF e HVSR.

Dall'analisi del profilo di velocità, è stato possibile stimare il modello sismico del sito esaminato partendo dalla quota di piano campagna.

Il modello sismico del sottosuolo è stato definito sulla base della variazione con la profondità della velocità delle onde di taglio Vs ricavate, attraverso le quali è stata quindi determinata la velocità equivalente delle onde di taglio, definita dalla seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove:

h_i è lo spessore (in metri) dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità
 V_i è la velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato
 N è il numero di strati di terreni compresi nei primi 30 m di profondità.

Dai calcoli si ottiene una velocità equivalente $V_{s_{eq}} = V_{s_{30}}$: $201 \div 206$ m/s.

In riferimento alla tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato, il sito esaminato presenta un sottosuolo di **tipo C** ovvero: *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s”.*

Lagosanto, 18 febbraio 2022

dott. geol. Marco Rolfini



Riferimenti bibliografici relativi ai metodi di calcolo utilizzati.

Effective Active and Passive Seismics for the Characterization of Urban and Remote Areas: Four Channels for Seven Objective Functions (Dal Moro G., 2018). Pure and Applied Geophysics, in press

Improved Holistic Analysis of Rayleigh Waves for Single- and Multi-Offset Data: Joint Inversion of Rayleigh-wave Particle Motion and Vertical- and Radial-Component Velocity Spectra (Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2017), Pure and Applied Geophysics, on-line: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00024-017-1694-8.pdf>

Single- and multi-component inversion of surface waves acquired by a single 3-component geophone: an illustrative case study (Dal Moro G. and Puzzilli L.M.), Acta Geodyn. Geomater., 14, 4 (188), 431-444, online: https://www.irms.cas.cz/materialy/acta_content/2017_doi/DalMoro_AGG_2017_0024.pdf

Analysis of Rayleigh-Wave Particle Motion from Active Seismics (Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2017) Bulletin of the Seismological Society of America (BSSA), 107, 51-62

Shear-wave velocity profiling according to three alternative approaches: a comparative case study (Dal Moro G., Keller L., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2016), Journal of Applied Geophysics, 134, 112y124

Four Geophones for seven possible objective functions: active and passive seismics for tricky areas (Dal Moro G.) Invited presentation and Extended Abstract for the Urban Geophysics workshop of the 22nd EAGE Near Surface Geoscience conference (4-8 September 2016 - Barcelona, Spain)

Less is more: from van der Rohe to the 4-channel system for the efficient and holistic acquisition and analysis of surface waves. An urban case study. (Dal Moro G., Moustafa S.R., Al-Arifi N., 2015). Proceedings of the GNGTS (Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida - ogs.trieste.it) congress (17-19 November 2015 - Trieste, Italy)

Geophysikalische In-situ-Bestimmung der Eingangsparameter in die seismischen Standortanalysen am Beispiel des Ambassador House Opfikon (Keller L., Weber T., Dal Moro G., 2015). Proceedings of the 14th D-A-CH conference of the Swiss Society for Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Zurich, August 21-21, SIA D0255, ISBN 978-3-03732-060-0

A Comprehensive Seismic Characterization via Multi-Component Analysis of Active and Passive Data (Dal Moro G., Keller L., Poggi V., 2015), First Break, 33, 45-53

Efficient acquisition and holistic analysis of Rayleigh waves (Dal Moro G., Moustafa S.R., Al-Arifi N.), Proceedings of the Near-Surface EAGE 2015 congress (Turin - Italy) [having received a very high score from the reviewers, the work was invited to be published in Near Surface Geophysics]

Joint Inversion of Rayleigh-Wave Dispersion and HVSR of Lunar Seismic Data from the Apollo 14 and 16 sites (Dal Moro G., 2015), ICARUS, 254, 338-349.

Unconventional Optimized Surface Wave Acquisition and Analysis: Comparative Tests in a Perilagoon Area (Dal Moro G., Ponta R., Mauro R., 2015), Appl. Geophysics, 114, 158-167.

Surface Wave Analysis for Near Surface Applications (Dal Moro G., 2014), Elsevier, ISBN 978-0-12-800770-9, 252pp (theory, field practice and advanced joint analysis) [see in particular paragraphs 2.2, 7.2 and case studies #2, 6, 8, 12 and 14]

GHM method [building vibration modes].

Gaussian-filtered Horizontal Motion (GHM) plots of non-synchronous ambient microtremors for the identification of flexural and torsional modes of a building (Dal Moro G., Weber T., Keller L., 2018). Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 112, 243y255

Influenza della modellazione degli edifici sulla determinazione della loro vulnerabilità sismica (Sancin L., Dal Moro G., Amadio C., Romanelli F., Vaccari F., 2018). Atti convegno GNGTS 2018 (gngts.ogs.trieste.it).

Surface Wave Analysis for Near Surface Applications (Dal Moro G., 2014), Elsevier, ISBN 978-0-12-800770-9, 252pp (theory, field practice and advanced joint analysis) [see in particular paragraphs 2.2, 7.2 and case studies #2, 6, 8, 12 and 14].

Unconventional Optimized Surface Wave Acquisition and Analysis: Comparative Tests in a Perilagoon Area (Dal Moro G., Ponta R., Mauro R., 2015), Appl. Geophysics, 114, 158-167.

Efficient acquisition and holistic analysis of Rayleigh waves (Dal Moro G., Moustafa S.R., Al-Arifi N.), Proceedings of the Near-Surface EAGE 2015 congress (Turin - Italy) [having received a very high score from the reviewers, the work was invited to be published in Near Surface Geophysics].

A Comprehensive Seismic Characterization via Multi-Component Analysis of Active and Passive Data (Dal Moro G., Keller L., Poggi V., 2015), First Break, 33, 45-53.

Four Geophones for seven possible objective functions: active and passive seismics for tricky areas (Dal Moro G.) Invited presentation and Extended Abstract for the Urban Geophysics workshop of the 22nd EAGE Near Surface Geoscience conference (4-8 September 2016 - Barcelona, Spain).

Analysis of Rayleigh-Wave Particle Motion from Active Seismics (Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2017) Bulletin of the Seismological Society of America (BSSA), 107, 51-62.

Single- and multi-component inversion of surface waves acquired by a single 3-component geophone: an illustrative case study (Dal Moro G. and Puzzilli L.M.), Acta Geodyn. Geomater., 14, 4 (188), 431-444, online: https://www.irms.cas.cz/materialy/acta_content/2017_doi/DalMoro_AGG_2017_0024.pdf.

Improved Holistic Analysis of Rayleigh Waves for Single- and Multi-Offset Data: Joint Inversion of Rayleigh-wave Particle Motion and Vertical- and Radial-Component Velocity Spectra (Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2017), Pure and Applied Geophysics, on-line: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00024-017-1694-8.pdf>.

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

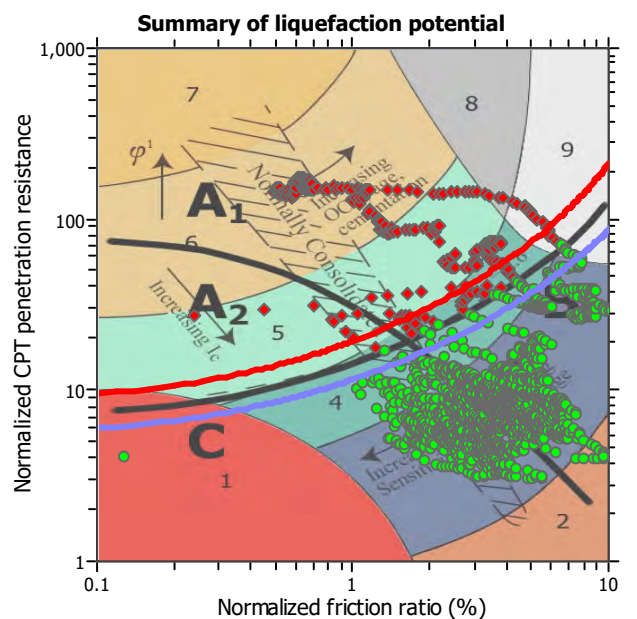
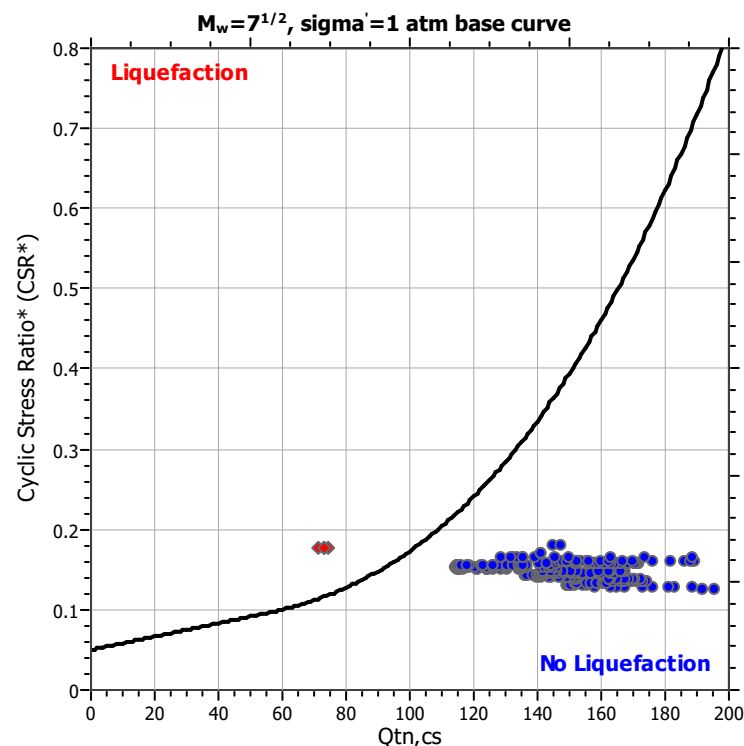
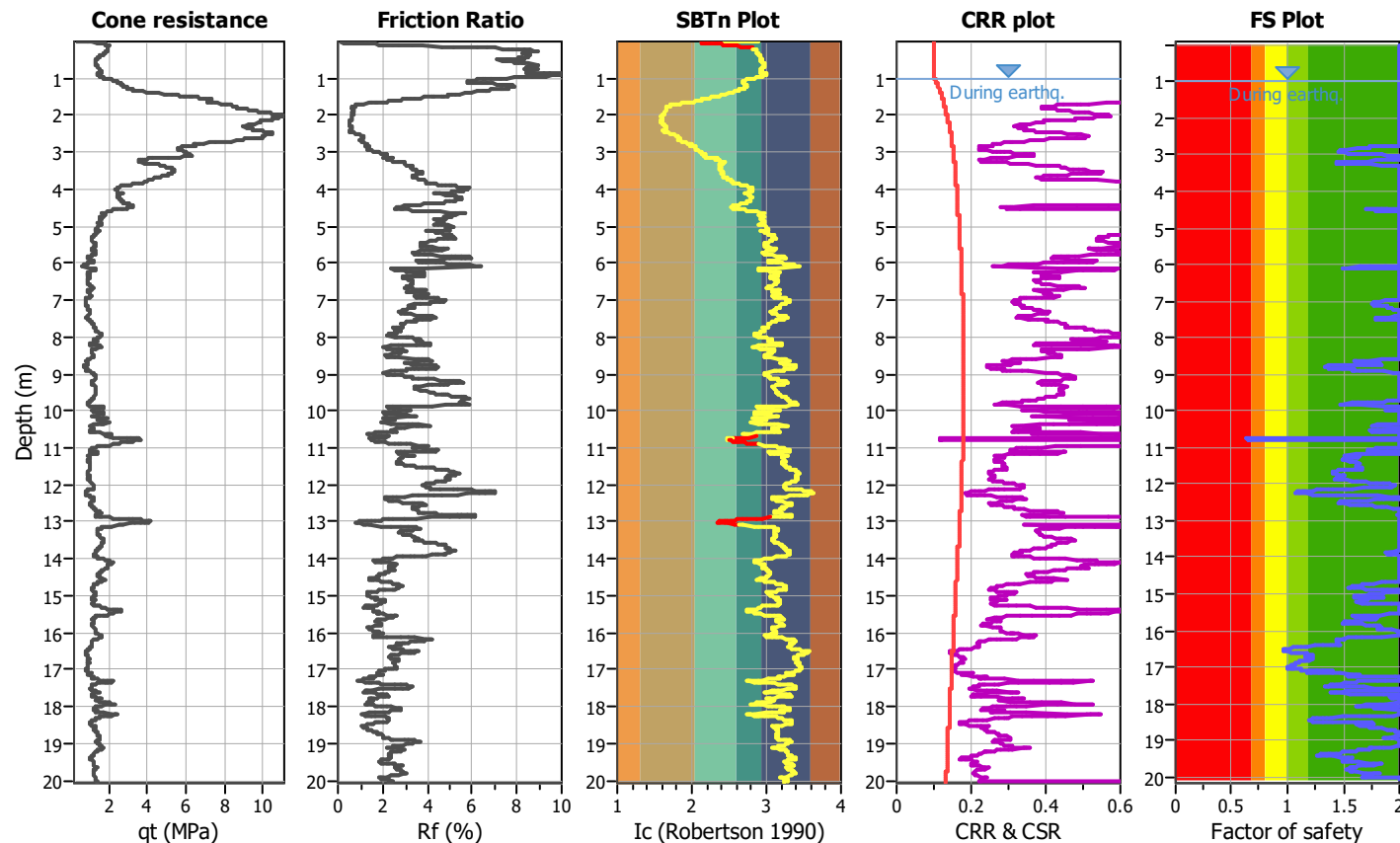
Project title : Progetto Fosso Vecchio

Location : Via Ponte Nuovo, Cotignola (RA)

CPT file : CPTU

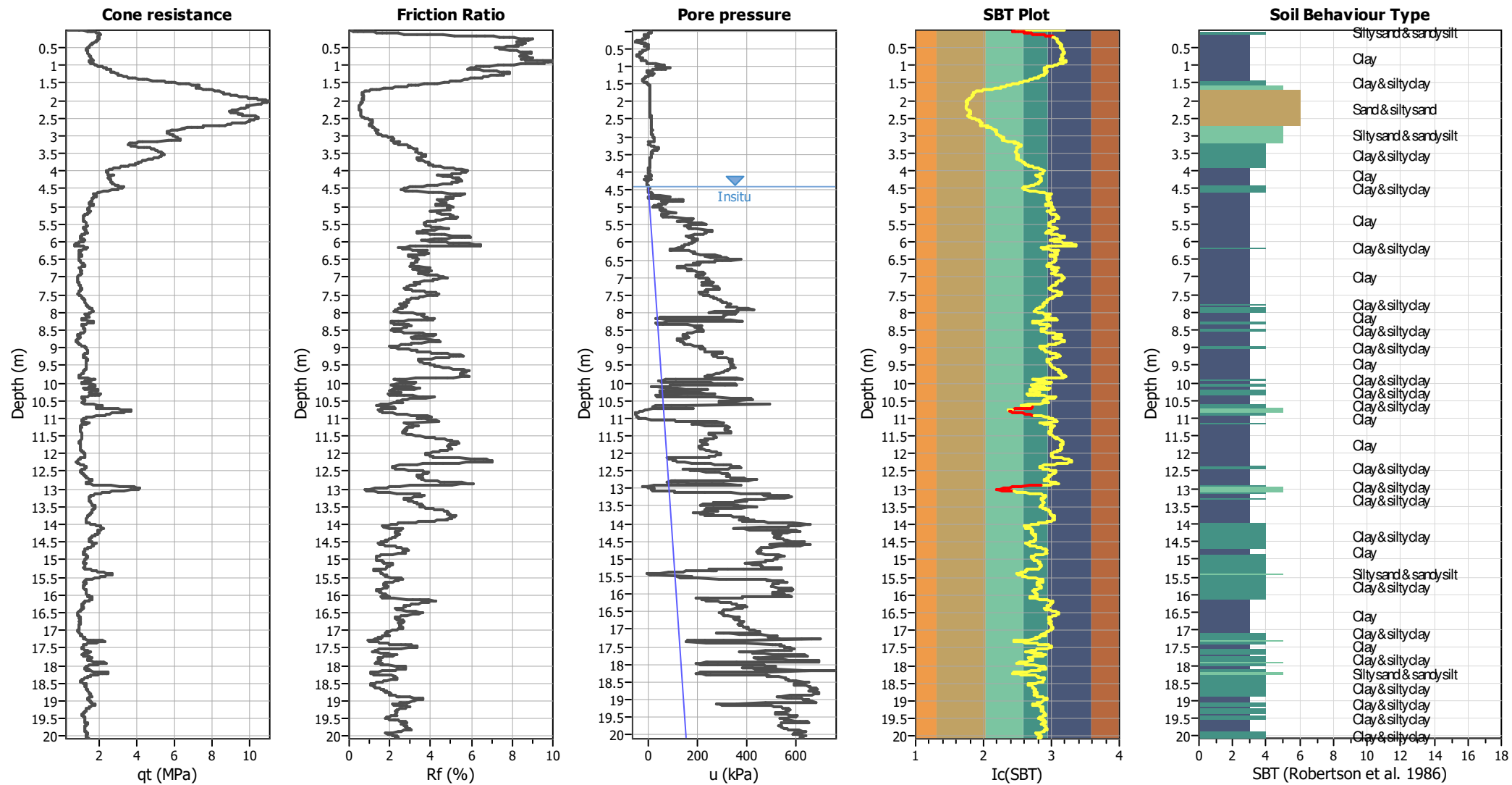
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	4.40 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.26	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	No	MSF method:	Method based



Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
 Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

CPT basic interpretation plots



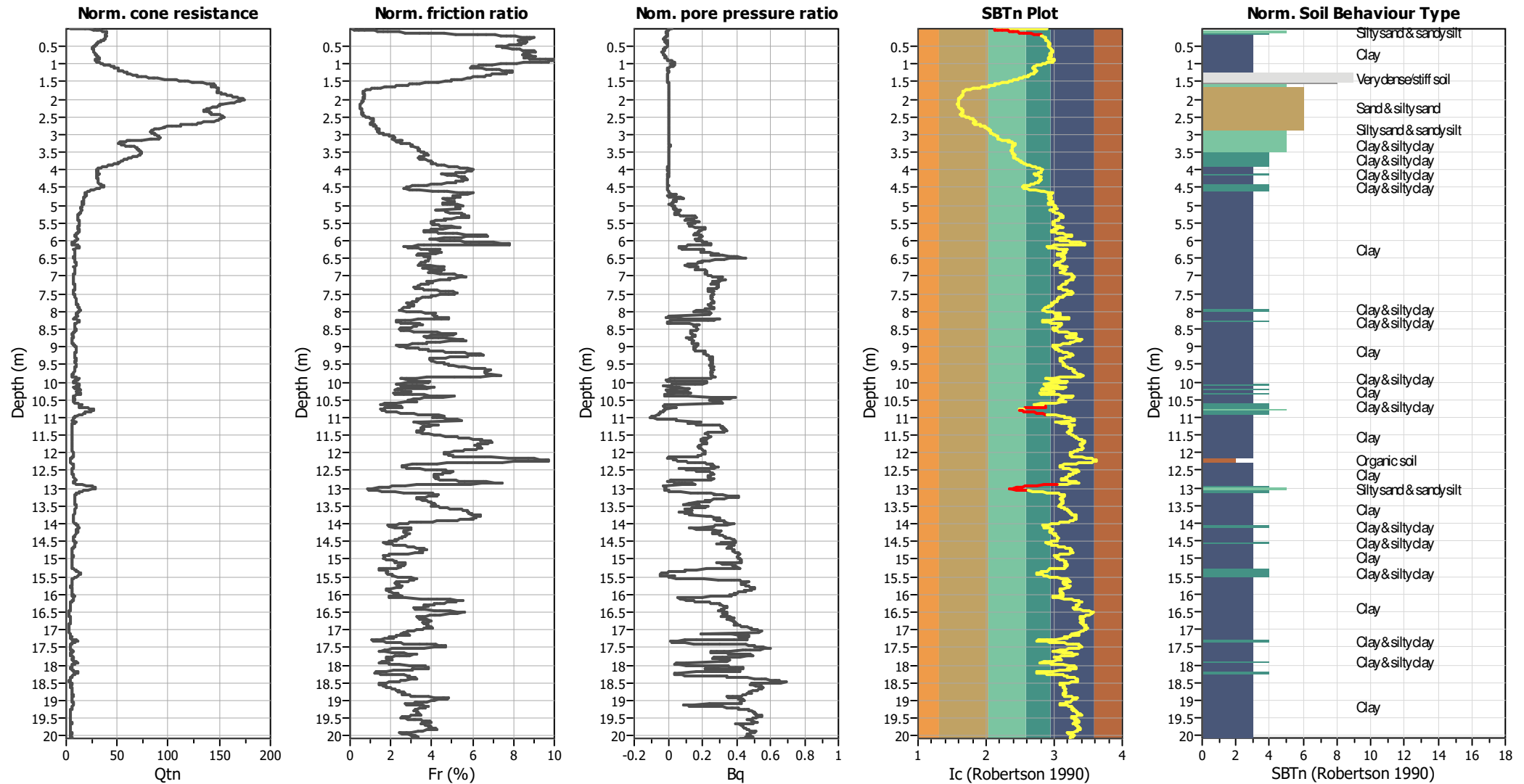
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _o applied:	No
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBT legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

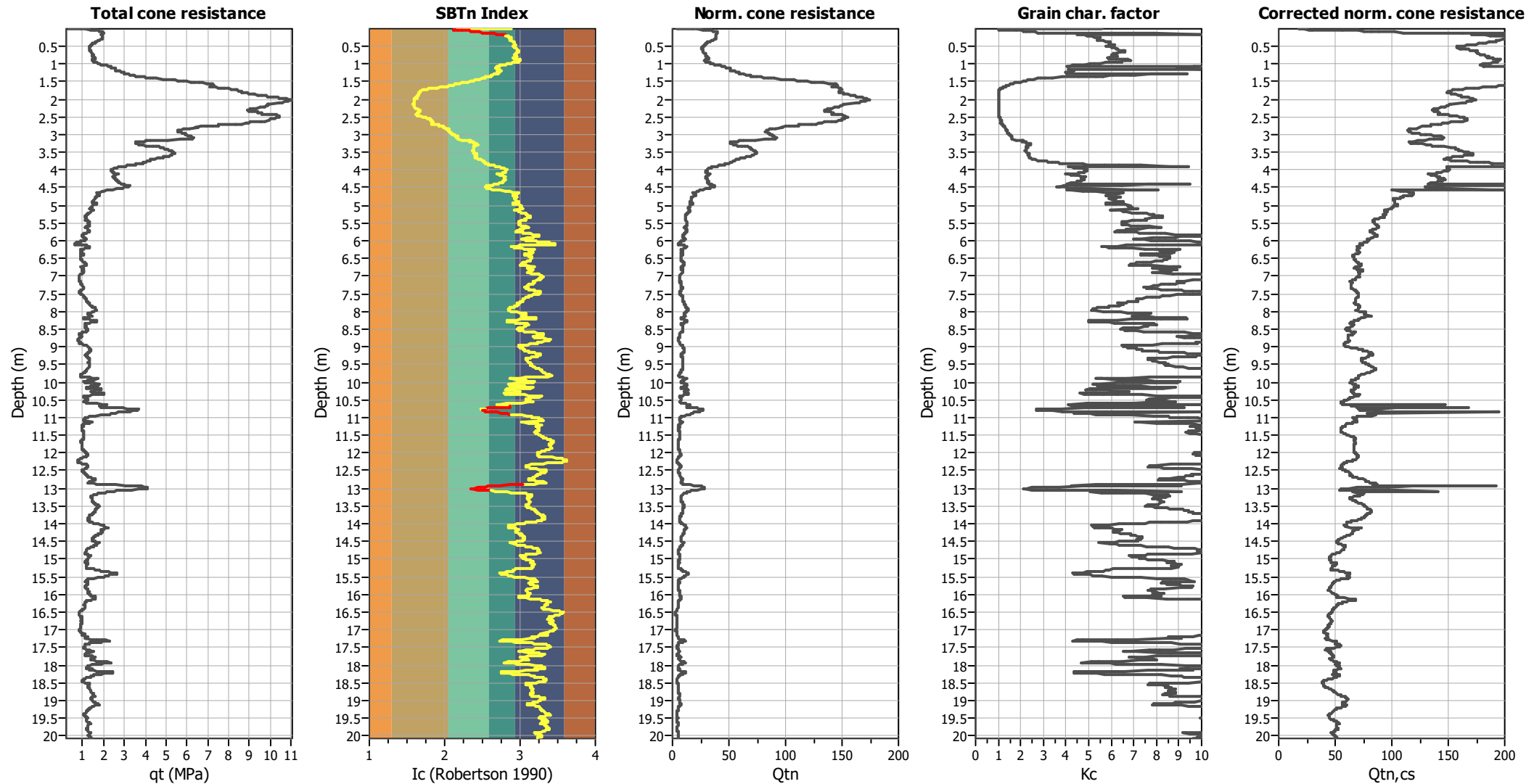
CPT basic interpretation plots (normalized)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	No
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

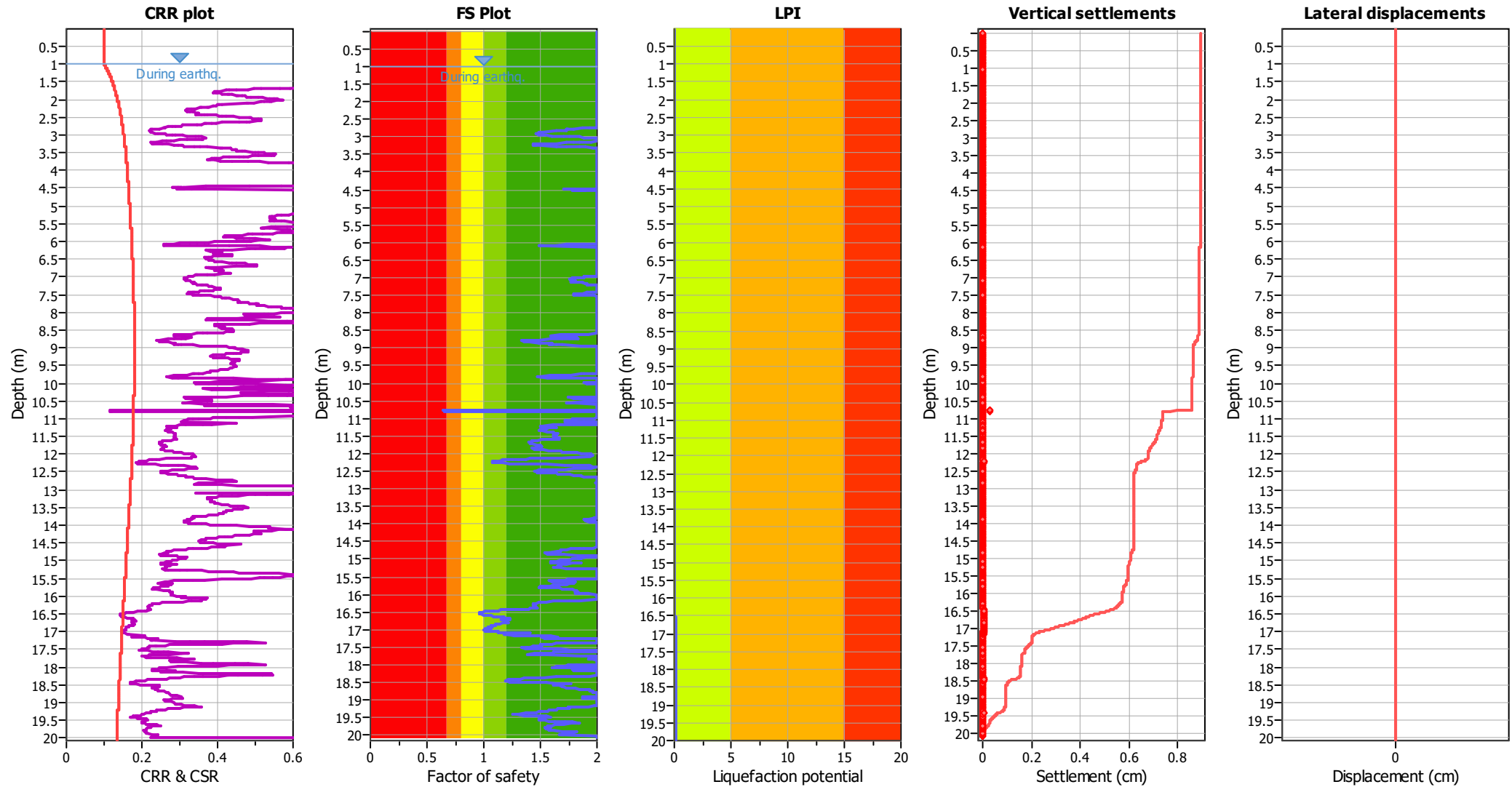
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_g applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	No
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

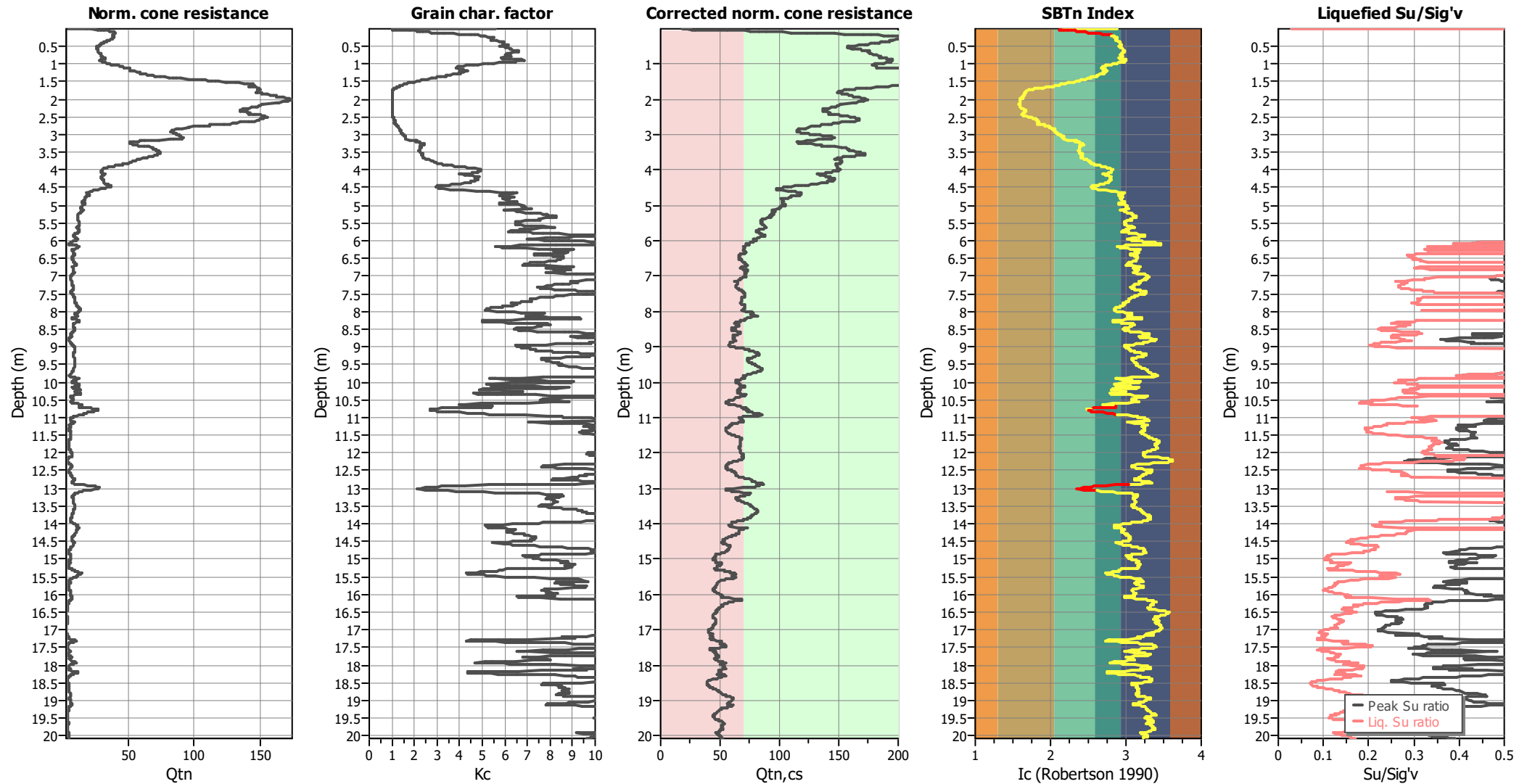
F.S. color scheme

Red	Almost certain it will liquefy
Orange	Very likely to liquefy
Yellow	Liquefaction and no liq. are equally likely
Green	Unlike to liquefy
Dark Green	Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

Red	Very high risk
Orange	High risk
Yellow	Low risk

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



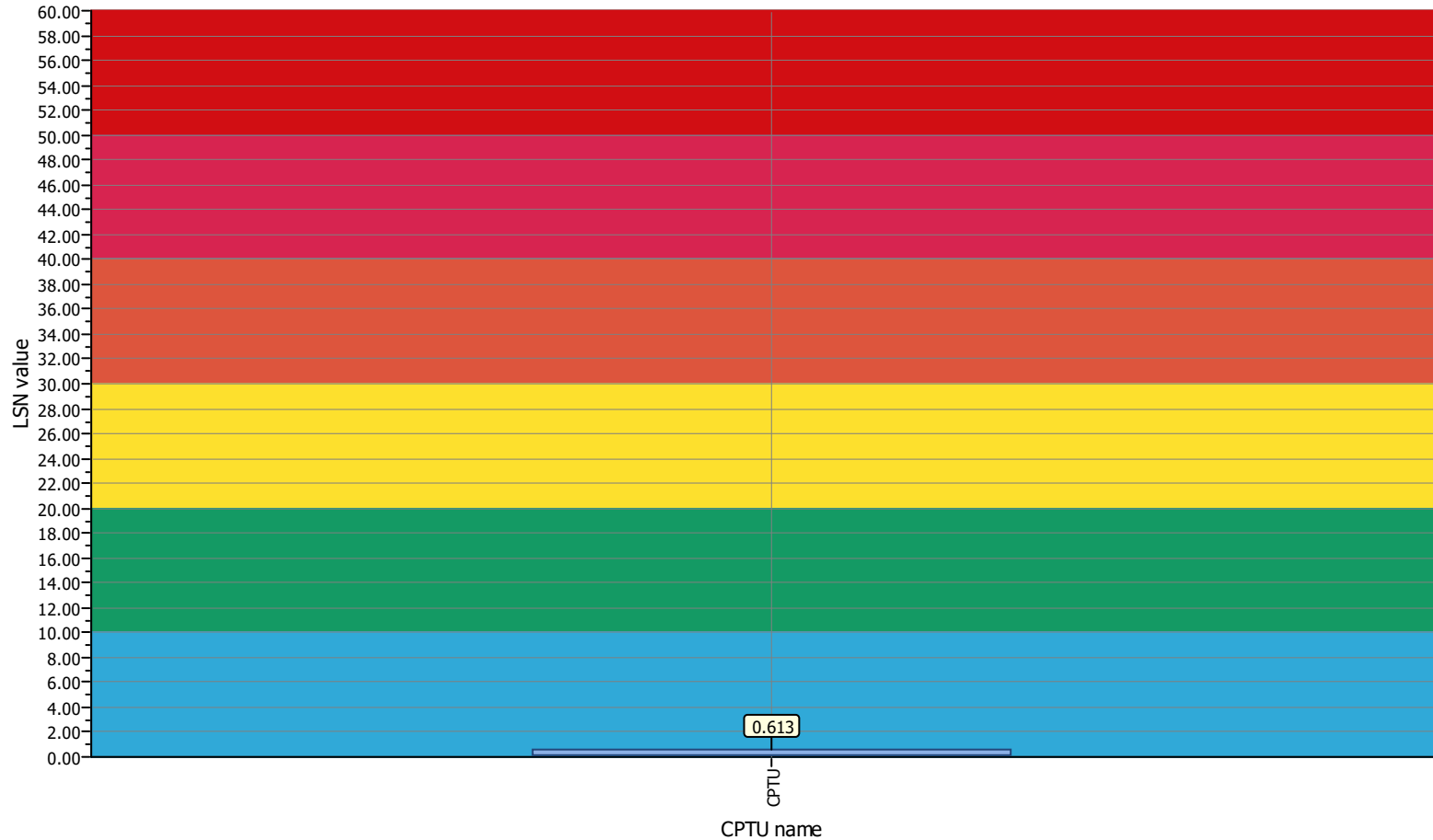
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_g applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Project title : Progetto Fosso Vecchio

Location : Via Ponte Nuovo - Cotignola (RA)

Overall Liquefaction Severity Number report



LSN color scheme

- Severe damage
- Major expression of liquefaction
- Moderate to severe exp. of liquefaction
- Moderate expression of liquefaction
- Minor expression of liquefaction
- Little to no expression of liquefaction

Basic statistics

Total CPT number: 1
 100.00% little liquefaction
 0.00% minnor liquefaction
 0.00% moderate liquefaction
 0.00% moderate to major liquefaction
 0.00% major liquefaction
 0.00% severe liquefaction



000

16

2182
RONCUZZI GEOL. MARCO
COTIGNOLA (RA) - BONCELLINO
PROGETTO FOSSO VECCHIO - VIA PONTE NUOVO

Samples identification and performed tests

Note - Remarks:

Il nostro laboratorio esegue le prove commissionate secondo le norme di riferimento riportate su ogni certificato; il laboratorio segue inoltre le raccomandazioni contenute nella norma UNI EN 17025 "Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura". Questi risultati sono per uso esclusivo del cliente per il quale sono stati ottenuti. Essi sono applicabili solamente ai campioni testati e non sono indicativi di campioni apparentemente simili.

These results are for the exclusive use of the client for whom they were obtained. They apply only to the tested samples and are not indicative of apparently identical samples.

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre





GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

SAMPLE DESCRIPTION

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 14688-1/2 - Racc. AGI

Technical specification

Certificato - Test report

Verbale - Acceptance report

Committente - Commissioner

Località - Locality

Cantiere - Site

Sondaggio - Borehole

Campione - Sample

Profondità - Depth

Data ricevimento - Receiving date

Data inizio prove - Test starting date

Data fine prove - Test ending date

Data certificazione - Report date

Data apertura campione - Sample opening date

Classe campione - Sample quality

2182 - 22.149 - 001

2182

RONCUZZI GEOL. MARCO

COTIGNOLA (RA) - BONCELLINO

PROGETTO FOSSE VECCHIO - VIA PONTE NUOVO

S1

C1

5.20 - 5.70 m

24/02/2022

26/02/2022

11/03/2022

11/03/2022

26/02/2022

Q4



Pocket Penetrometer Test (kg/cm²) 0.4-0.6-0.2

Vane Test (kg/cm²)

0.3-0.3-0.1

Limo argilloso di colore marrone chiaro ma a tratti verdastro. (Light Olive brown 5/4 tav.2.5Y)

Note - Remarks

Direttore Manager

Sperimentatore Technician

Via della Tecnica 57/A - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre





GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

PESO DI VOLUME CON FUSTELLA TARATA

Determination of bulk and dry density of fine-grained soil with sampling tube

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-2

Technical specification

Certificato - *Test report*

Verbale - *Acceptance report*

Committente - *Commissioner*

Località - *Locality*

Cantiere - *Site*

Sondaggio - *Borehole*

Campione - *Sample*

Profondità - *Depth*

Data ricevimento - *Receiving date*

Data inizio prove - *Test starting date*

Data fine prove - *Test ending date*

Data certificazione - *Report date*

Data apertura campione - *Sample opening date*

Classe campione - *Sample quality*

2182 - 22.149 - 002

2182

RONCUZZI GEOL. MARCO

COTIGNOLA (RA) - BONCELLINO

PROGETTO FOSSO VECCHIO - VIA PONTE NUOVO

S1

C1

5.20 - 5.70 m

24/02/2022

26/02/2022

11/03/2022

11/03/2022

26/02/2022

Q4

Massa tara (g) - *Tara weight* 71.96
Massa campione umido + tara (g)
Moist specimen + tara 98.97
Massa campione secco + tara (g)
Dried specimen + tara 91.96
Volume fustella tarata (cm³)
Sampling tube volume 14.88

Umidità naturale (%) - *Water content* 35.05

Massa volumica umida (kg/m³) - *Bulk density* 1814.70

Massa volumica secca (kg/m³) - *Dry density* 1343.72

Note - *Remarks*

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre





GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

COMPRESSIONE NON CONFINATA

UNCONFINED COMPRESSION TEST

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-7

Technical specification

Certificato - Test report

Verbale - Acceptance report

Committente - Commissioner

Località - Locality

Cantiere - Site

Sondaggio - Borehole

Campione - Sample

Profondità - Depth

Data ricevimento - Receiving date

Data inizio prove - Test starting date

Data fine prove - Test ending date

Data certificazione - Report date

Data apertura campione - Sample opening date

Classe del campione - Sample quality

2182 - 22.149 - 004

2182

RONCUZZI GEOL. MARCO

COTIGNOLA (RA) - BONCELLINO

PROGETTO FOSCO VECCHIO - VIA PONTE NUOVO

S1

C1

5.20 - 5.70 m

24/02/2022

26/02/2022

11/03/2022

11/03/2022

26/02/2022

Q4

Diametro (cm) - Specimen diameter

3.81

Altezza provino (cm) - Initial specimen height

7.62

Volume provino (cm³) - Specimen volume

86.87

Velocità di Prova (mm/min) - Shear rate

0.65

Pressione max (kPa) - Max. effective stress

62.33

Pocket penetrometer (kg/cm²)

0.4-0.6-0.2

Tor vane (kg/cm²)

0.3-0.3-0.1

Umidità naturale iniziale (%) - Initial water content

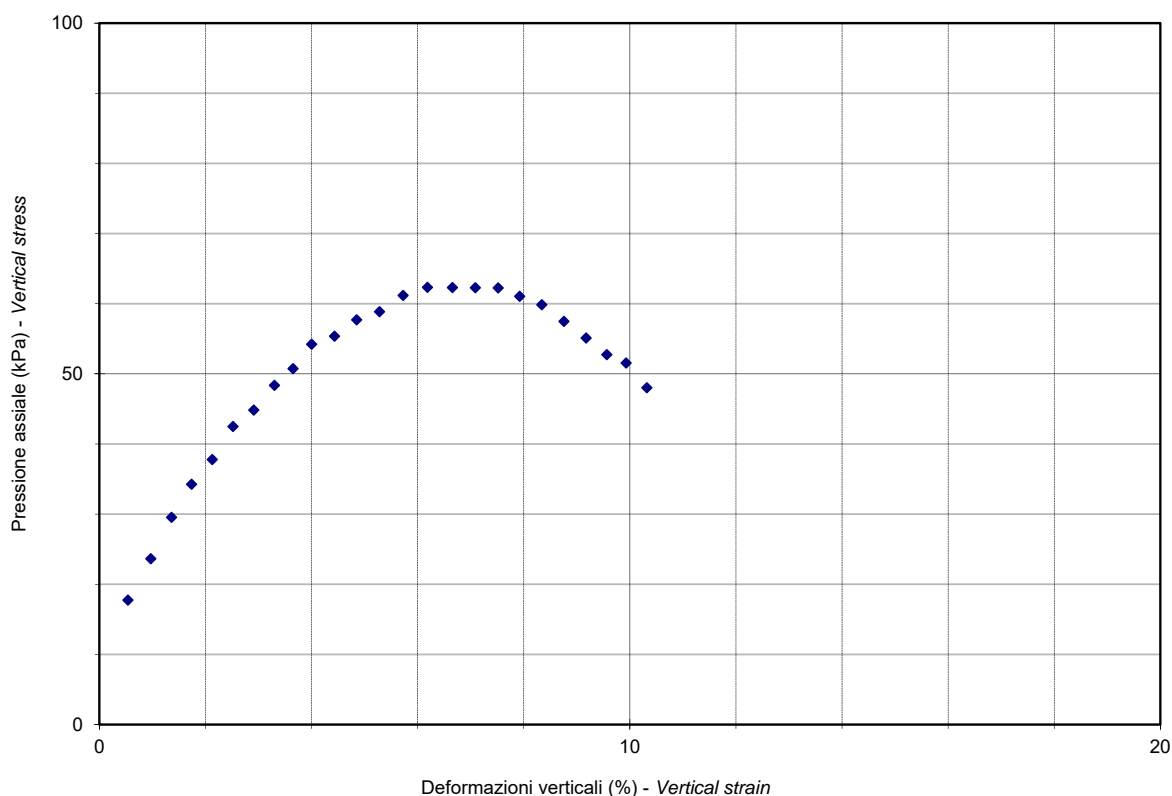
35.05

Densità naturale (kg/m³) - Bulk density

1814.70

Densità secca (kg/m³) - Dried density

1343.72



Note - Remarks: grado di incertezza delle misure: 0,25%.

Direttore

Manager

Sperimentatore

Technician

Via della Tecnica 57/A - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 498378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre





GEOTECA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

COMPRESSIONE NON CONFINATA

UNCONFINED COMPRESSION TEST

Normativa di riferimento: UNI EN ISO/TS 17892-7

Technical specification

Certificato - Test report

2182 - 22.149 - 004

Verbale - Acceptance report

2182

Deformazione verticale (%) Vertical strain	Pressione assiale (kPa) Shear stress	Deformazione verticale (%) Vertical strain	Pressione assiale (kPa) Shear stress
0.22	13.0		
0.54	17.7		
0.97	23.6		
1.36	29.5		
1.74	34.3		
2.13	37.8		
2.52	42.5		
2.91	44.8		
3.30	48.4		
3.65	50.7		
4.00	54.2		
4.43	55.4		
4.85	57.7		
5.28	58.9		
5.73	61.2		
6.18	62.3		
6.66	62.3		
7.09	62.3		
7.52	62.2		
7.92	61.0		
8.34	59.8		
8.76	57.5		
9.18	55.1		
9.57	52.7		
9.93	51.6		
10.32	48.0		

Direttore Manager

Sperimentatore Technician

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it



GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE

COEFFICIENT OF CONSOLIDATION

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892/5

Technical specification

Certificato - Test report

Verbale - Acceptance report

Committente - Commissioner

Località - Locality

Cantiere - Site

Sondaggio - Borehole

Campione - Sample

Profondità - Depth

Data ricevimento - Receiving date

Data inizio prove - Test starting date

Data fine prove - Test ending date

Data certificazione - Report date

Data apertura campione - Sample opening date

Classe campione - Sample quality

2182 - 22.149 - 005

2182

RONCUZZI GEOL. MARCO

COTIGNOLA (RA) - BONCELLINO

PROGETTO FOSCO VECCHIO - VIA PONTE NUOVO

S1

C1

5.20 - 5.70 m

24/02/2022

26/02/2022

11/03/2022

11/03/2022

26/02/2022

Q4

Area (cm²) - Cross-sectional area of specimen

20

Altezza provino (cm) - Specimen height

2

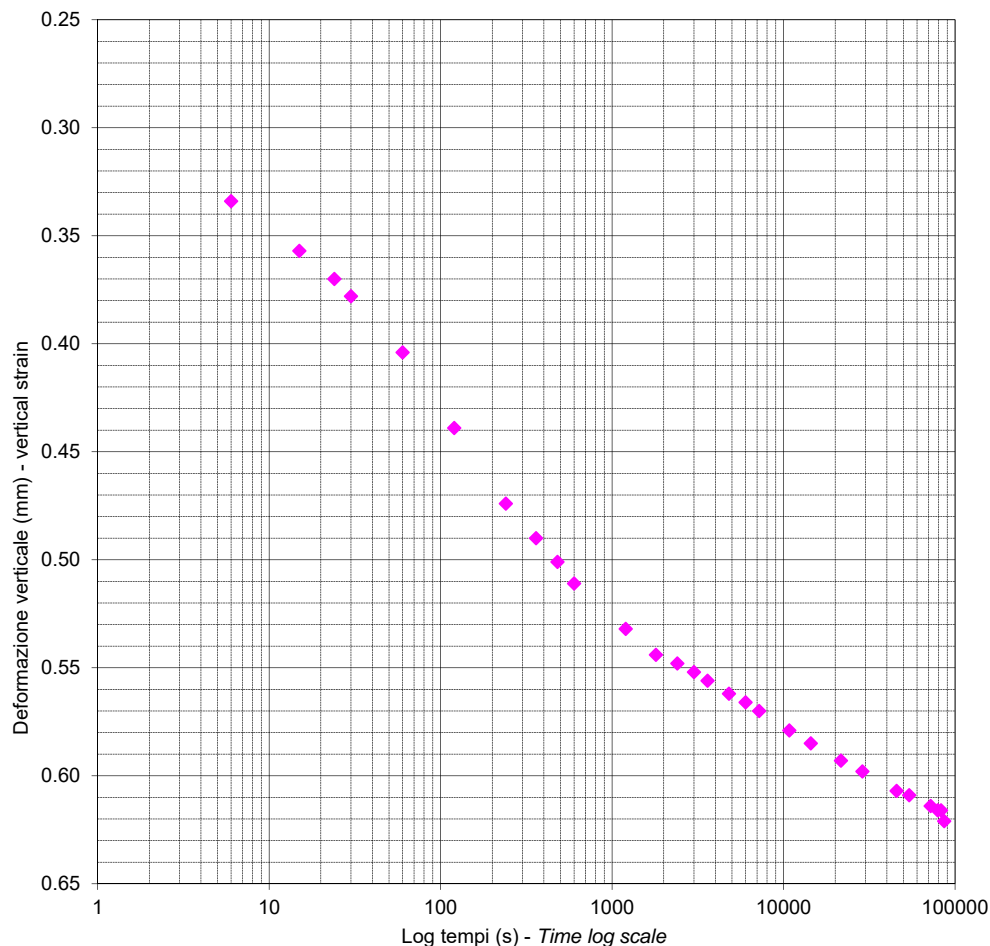
Intervallo di carico (kPa)

Load range

49.0

98.0

Tempi (s)	Def. (mm)
Time	Vertical strain
6	0.334
15	0.357
24	0.370
30	0.378
60	0.404
120	0.439
240	0.474
360	0.490
480	0.501
600	0.511
1200	0.532
1800	0.544
2400	0.548
3000	0.552
3600	0.556
4800	0.562
6000	0.566
7200	0.570
10800	0.579
14400	0.585
21600	0.593
28800	0.598
45600	0.607
54000	0.609
72000	0.614
79200	0.616
82800	0.616
86400	0.621



Note - Remarks

Direttore

Manager

Sperimentatore

Technician

Via della Tecnica 57044 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre



GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

SAMPLE DESCRIPTION

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 14688-1/2 - Racc. AGI

Technical specification

Certificato - *Test report*

Verbale - *Acceptance report*

Committente - *Commissioner*

Località - *Locality*

Cantiere - *Site*

Sondaggio - *Borehole*

Campione - *Sample*

Profondità - *Depth*

Data ricevimento - *Receiving date*

Data inizio prove - *Test starting date*

Data fine prove - *Test ending date*

Data certificazione - *Report date*

Data apertura campione - *Sample opening date*

Classe campione - *Sample quality*

2182 - 22.149 - 006

2182

RONCUZZI GEOL. MARCO

COTIGNOLA (RA) - BONCELLINO

PROGETTO FOSSE VECCHIO - VIA PONTE NUOVO

S1

C2

7.10 - 7.50 m

24/02/2022

26/02/2022

11/03/2022

11/03/2022

26/02/2022

Q4



Pocket Penetrometer Test (kg/cm²) 1.3-1.5-1.2

Vane Test (kg/cm²)

0.8-0.7-0.7

Limo argilloso con qualche livello debolmente sabbioso di colore grigio scuro (dark gray 4/1 tav 2.5y)

Note - *Remarks*

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre





GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

PESO DI VOLUME CON FUSTELLA TARATA

Determination of bulk and dry density of fine-grained soil with sampling tube

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-2

Technical specification

Certificato - *Test report*

Verbale - *Acceptance report*

Committente - *Commissioner*

Località - *Locality*

Cantiere - *Site*

Sondaggio - *Borehole*

Campione - *Sample*

Profondità - *Depth*

Data ricevimento - *Receiving date*

Data inizio prove - *Test starting date*

Data fine prove - *Test ending date*

Data certificazione - *Report date*

Data apertura campione - *Sample opening date*

Classe campione - *Sample quality*

2182 - 22.149 - 007

2182

RONCUZZI GEOL. MARCO

COTIGNOLA (RA) - BONCELLINO

PROGETTO FOSSO VECCHIO - VIA PONTE NUOVO

S1

C2

7.10 - 7.50 m

24/02/2022

26/02/2022

11/03/2022

11/03/2022

26/02/2022

Q4

Massa tara (g) - *Tara weight* 72.02
Massa campione umido + tara (g)
Moist specimen + tara 100.68
Massa campione secco + tara (g)
Dried specimen + tara 94.54
Volume fustella tarata (cm³)
Sampling tube volume 14.88

Umidità naturale (%) - *Water content* 27.26
Massa volumica umida (kg/m³) - *Bulk density* 1925.56
Massa volumica secca (kg/m³) - *Dry density* 1513.03

Note - *Remarks*

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre



PARTICLE SIZE ANALYSIS

Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-4 CNR UNI A. V n° 23

Technical specification

Data apertura campione - *Sample opening date*

26/02/2022

Massa campione (g) - *Specimen weight*

Massa campione (q) - *Specimen weight*

percentage passing

60 84

51.38

41.92

29.32

19.86

Clay	
------	--

IOP DE 3.5 - MOD PROD 11 B19b REV3



GEOTE s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

COMPRESSIONE NON CONFINATA

UNCONFINED COMPRESSION TEST

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-7

Technical specification

Certificato - Test report

Verbale - Acceptance report

Committente - Commissioner

Località - Locality

Cantiere - Site

Sondaggio - Borehole

Campione - Sample

Profondità - Depth

Data ricevimento - Receiving date

Data inizio prove - Test starting date

Data fine prove - Test ending date

Data certificazione - Report date

Data apertura campione - Sample opening date

Classe del campione - Sample quality

2182 - 22.149 - 009

2182

RONCUZZI GEOL. MARCO

COTIGNOLA (RA) - BONCELLINO

PROGETTO FOSCO VECCHIO - VIA PONTE NUOVO

S1

C2

7.10 - 7.50 m

24/02/2022

26/02/2022

11/03/2022

11/03/2022

26/02/2022

Q4

Diametro (cm) - Specimen diameter

3.81

Altezza provino (cm) - Initial specimen height

7.62

Volume provino (cm³) - Specimen volume

86.87

Velocità di Prova (mm/min) - Shear rate

0.65

Pressione max (kPa) - Max. effective stress

83.48

Pocket penetrometer (kg/cm²)

1.3-1.5-1.2

Tor vane (kg/cm²)

0.8-0.7-0.7

Umidità naturale iniziale (%) - Initial water content

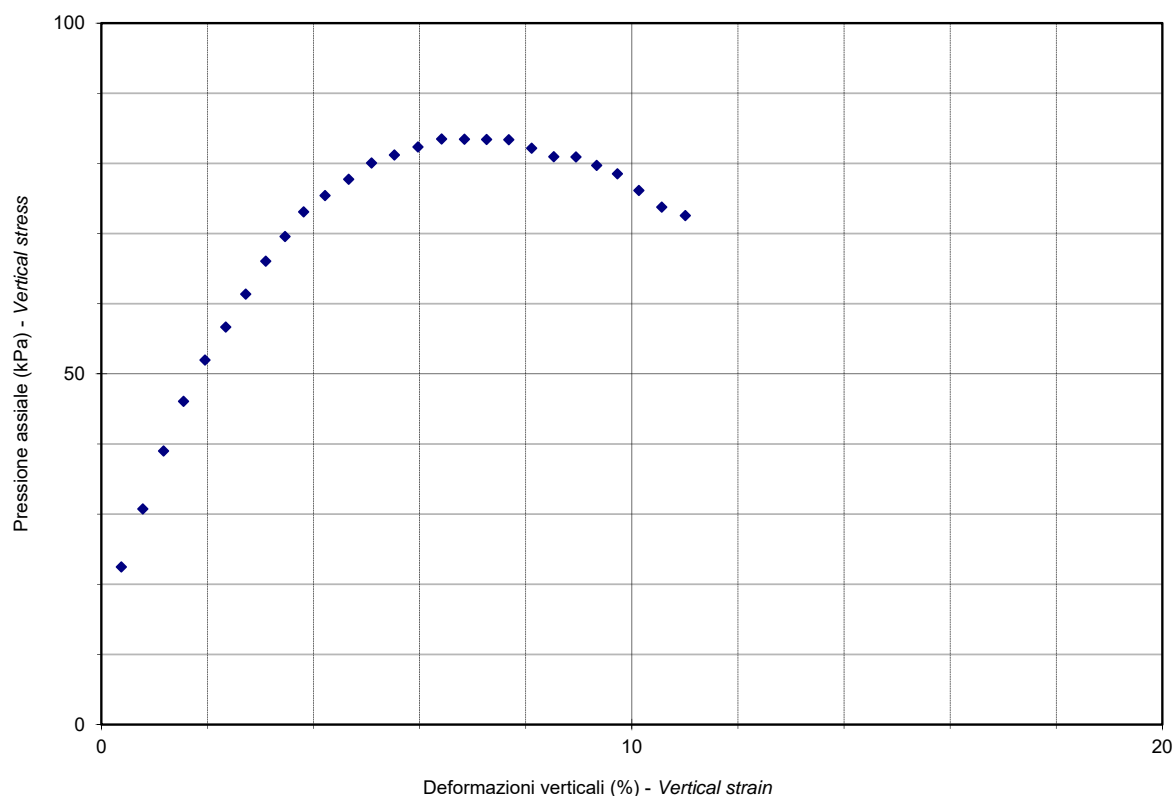
27.26

Densità naturale (kg/m³) - Bulk density

1925.56

Densità secca (kg/m³) - Dried density

1513.03



Note - Remarks: grado di incertezza delle misure: 0,25%.

Direttore

Manager

Sperimentatore

Technician

Via della Tecnica 57/A - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 498378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre



GEOTECA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

COMPRESSIONE NON CONFINATA

UNCONFINED COMPRESSION TEST

Normativa di riferimento: UNI EN ISO/TS 17892-7

Technical specification

Certificato - Test report

2182 - 22.149 - 009

Verbale - Acceptance report

2182

Deformazione verticale (%) Vertical strain	Pressione assiale (kPa) Shear stress	Deformazione verticale (%) Vertical strain	Pressione assiale (kPa) Shear stress
0.16	10.6		
0.38	22.5		
0.78	30.7		
1.17	39.0		
1.55	46.1		
1.95	52.0		
2.34	56.7		
2.72	61.4		
3.10	66.1		
3.46	69.6		
3.81	73.1		
4.22	75.4		
4.66	77.7		
5.09	80.1		
5.52	81.2		
5.97	82.3		
6.41	83.5		
6.84	83.4		
7.26	83.4		
7.68	83.4		
8.11	82.2		
8.53	81.0		
8.95	80.9		
9.34	79.7		
9.73	78.5		
10.13	76.1		
10.56	73.8		
11.01	72.6		
11.44	70.2		

Direttore Manager

Sperimentatore Technician

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it



GEOTECA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE

COEFFICIENT OF CONSOLIDATION

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892/5

Technical specification

Certificato - Test report

Verbale - Acceptance report

Committente - Commissioner

Località - Locality

Cantiere - Site

Sondaggio - Borehole

Campione - Sample

Profondità - Depth

Data ricevimento - Receiving date

Data inizio prove - Test starting date

Data fine prove - Test ending date

Data certificazione - Report date

Data apertura campione - Sample opening date

Classe campione - Sample quality

2182 - 22.149 - 010

2182

RONCUZZI GEOL. MARCO

COTIGNOLA (RA) - BONCELLINO

PROGETTO FOSCO VECCHIO - VIA PONTE NUOVO

S1

C2

7.10 - 7.50 m

24/02/2022

26/02/2022

11/03/2022

11/03/2022

26/02/2022

Q4

Area (cm²) - Cross-sectional area of specimen

20

Altezza provino (cm) - Specimen height

2

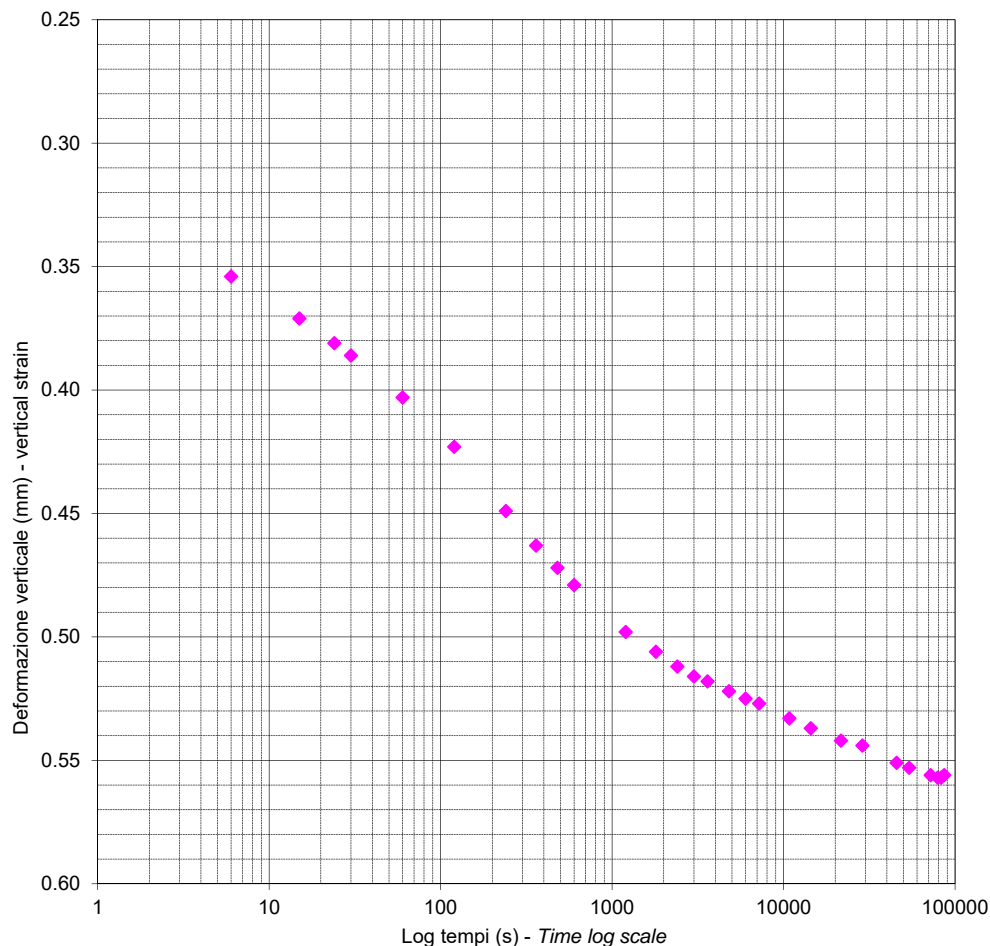
Intervallo di carico (kPa)

Load range

49.0

98.0

Tempi (s)	Def. (mm)
Time	Vertical strain
6	0.354
15	0.371
24	0.381
30	0.386
60	0.403
120	0.423
240	0.449
360	0.463
480	0.472
600	0.479
1200	0.498
1800	0.506
2400	0.512
3000	0.516
3600	0.518
4800	0.522
6000	0.525
7200	0.527
10800	0.533
14400	0.537
21600	0.542
28800	0.544
45600	0.551
54000	0.553
72000	0.556
79200	0.557
82800	0.557
86400	0.556



Note - Remarks

Direttore

Manager

Sperimentatore

Technician

Via della Tecnica 57/A - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre



GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

SAMPLE DESCRIPTION

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 14688-1/2 - Racc. AGI

Technical specification

Certificato - *Test report*

Verbale - *Acceptance report*

Committente - *Commissioner*

Località - *Locality*

Cantiere - *Site*

Sondaggio - *Borehole*

Campione - *Sample*

Profondità - *Depth*

Data ricevimento - *Receiving date*

Data inizio prove - *Test starting date*

Data fine prove - *Test ending date*

Data certificazione - *Report date*

Data apertura campione - *Sample opening date*

Classe campione - *Sample quality*

2182 - 22.149 - 011

2182

RONCUZZI GEOL. MARCO

COTIGNOLA (RA) - BONCELLINO

PROGETTO FOSSE VECCHIO - VIA PONTE NUOVO

S1

CD1

3.10 - 3.30 m

24/02/2022

26/02/2022

11/03/2022

11/03/2022

26/02/2022

Q1



Pocket Penetrometer Test (kg/cm^2)

-

Vane Test (kg/cm^2)

-

Limo sabbioso debolmente argilloso di colore marrone chiaro (light yellowish brown 6/4 tav 2.5Y)

Note - *Remarks*

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre





PARTICLE SIZE ANALYSIS

Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-4 CNR UNI A. V n° 23

Technical specification

Data apertura campione - *Sample opening date*

26/02/2022

Massa campione (g) - <i>Specimen weight</i>	42.59
---	-------



GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE

COEFFICIENT OF CONSOLIDATION

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892/5

Technical specification

Certificato - Test report

Verbale - Acceptance report

Committente - Commissioner

Località - Locality

Cantiere - Site

Sondaggio - Borehole

Campione - Sample

Profondità - Depth

Data ricevimento - Receiving date

Data inizio prove - Test starting date

Data fine prove - Test ending date

Data certificazione - Report date

Data apertura campione - Sample opening date

Classe campione - Sample quality

2182 - 22.149 - 013

2182

RONCUZZI GEOL. MARCO

COTIGNOLA (RA) - BONCELLINO

PROGETTO FOSCO VECCHIO - VIA PONTE NUOVO

S1

CD1

3.10 - 3.30 m

24/02/2022

26/02/2022

11/03/2022

11/03/2022

26/02/2022

Q1

Area (cm²) - Cross-sectional area of specimen

20

Altezza provino (cm) - Specimen height

2

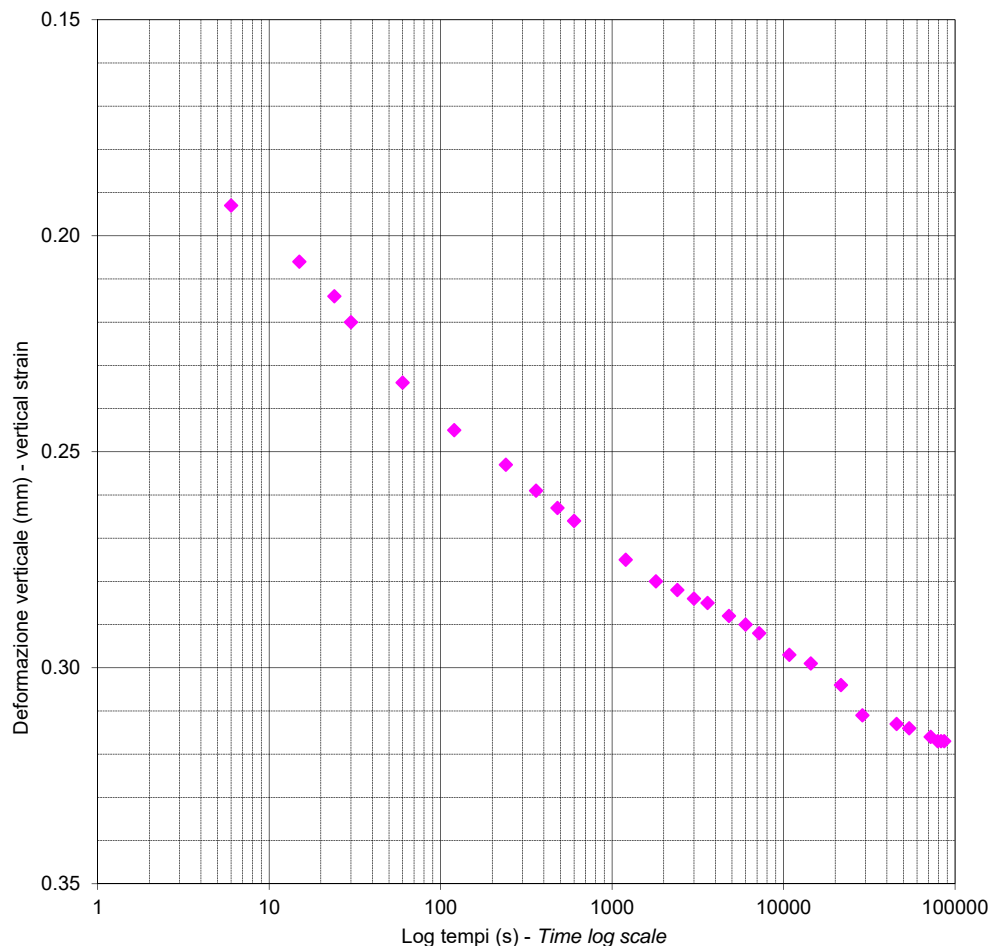
Intervallo di carico (kPa)

Load range

49.0

98.0

Tempi (s)	Def. (mm)
Time	Vertical strain
6	0.193
15	0.206
24	0.214
30	0.220
60	0.234
120	0.245
240	0.253
360	0.259
480	0.263
600	0.266
1200	0.275
1800	0.280
2400	0.282
3000	0.284
3600	0.285
4800	0.288
6000	0.290
7200	0.292
10800	0.297
14400	0.299
21600	0.304
28800	0.311
45600	0.313
54000	0.314
72000	0.316
79200	0.317
82800	0.317
86400	0.317



Note - Remarks

Direttore

Manager

Sperimentatore

Technician

Via della Tecnica 57/A - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre

Committente:

Località:

Cantiere:

RONCUZZI GEOL. MARCO

COTIGNOLA (RA) - BONCELLINO

PROGETTO FOSSO VECCHIO - VIA PONTE NUOVO

Sondaggio:

Campione:

Profondità:

S1

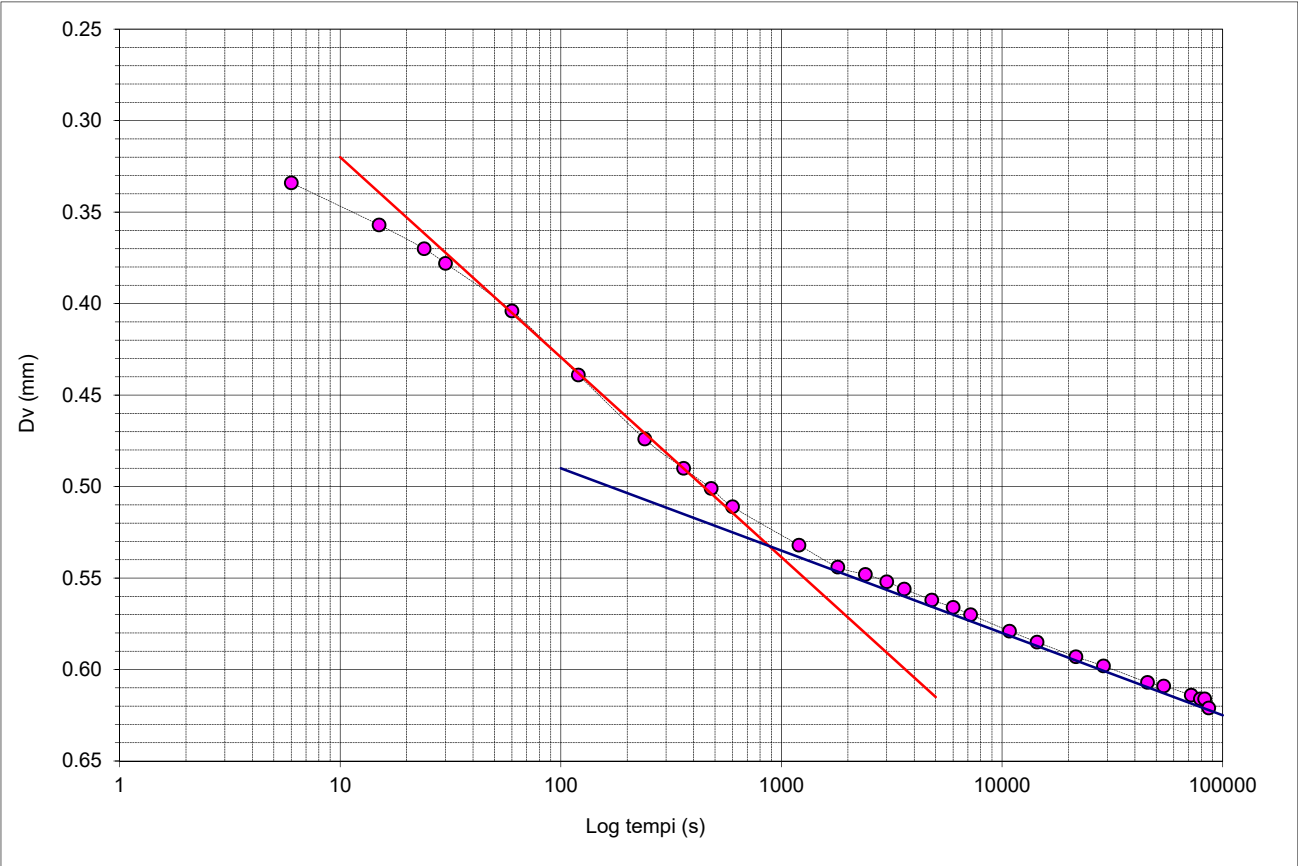
C1

5.20 - 5.70 m

COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE

Tempi	Dv	Tempi	Dv
s	mm	s	mm
6	0.334	4800	0.562
15	0.357	6000	0.566
24	0.370	7200	0.570
30	0.378	10800	0.579
60	0.404	14400	0.585
120	0.439	21600	0.593
240	0.474	28800	0.598
360	0.490	45600	0.607
480	0.501	54000	0.609
600	0.511	72000	0.614
1200	0.532	79200	0.616
1800	0.544	82800	0.616
2400	0.548	86400	0.621
3000	0.552		
3600	0.556		

Parametri calcolati		
D ₅₀	0.396	mm
T ₅₀	1294	s
CV	-	cm ² /s
E _{ed}	-	MPa
K	5.204E-09	cm/s
C _α	-	cm ² /s



Committente:

Località:

Cantiere:

RONCUZZI GEOL. MARCO

COTIGNOLA (RA) - BONCELLINO

PROGETTO FOSSO VECCHIO - VIA PONTE NUOVO

Sondaggio:

Campione:

Profondità:

S1

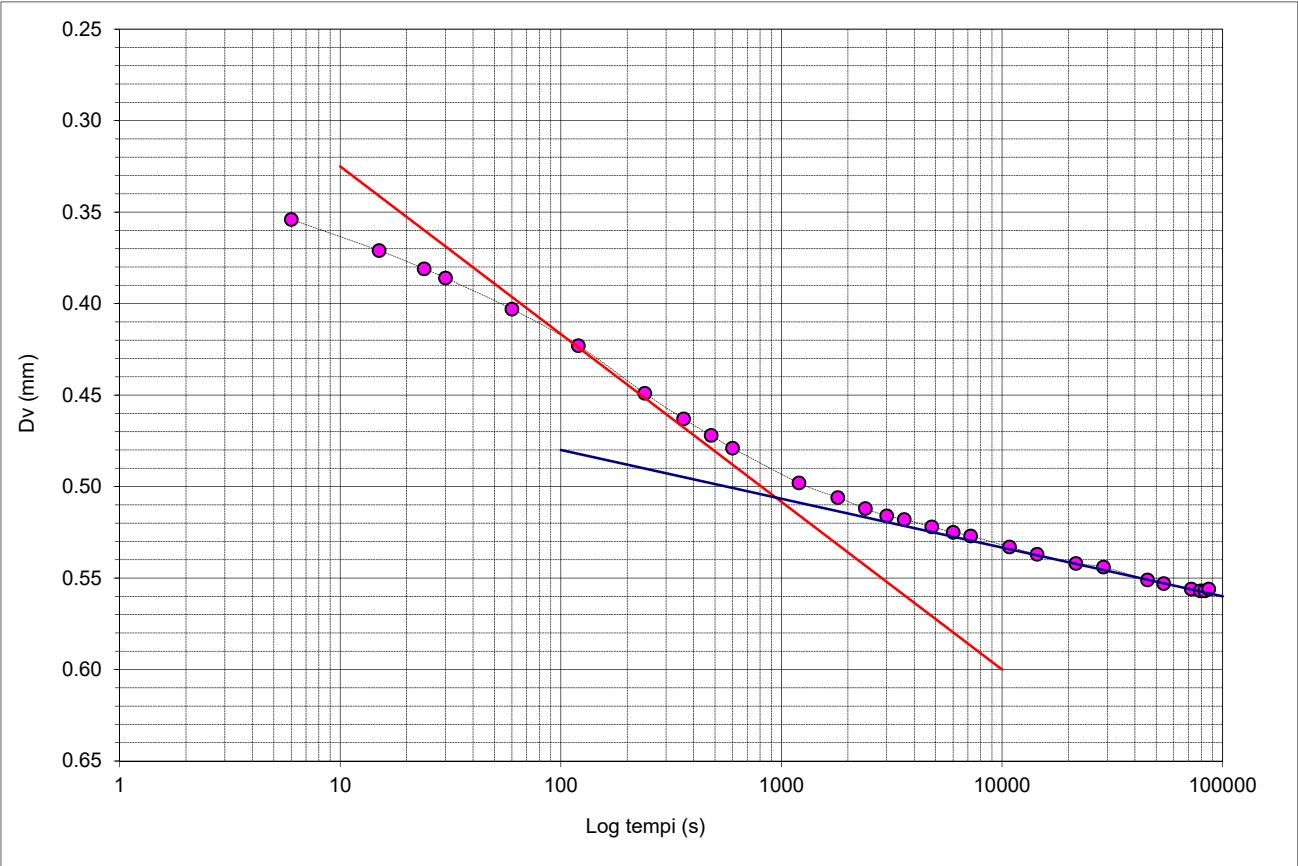
C2

7.10 - 7.50 m

COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE

Tempi	Dv	Tempi	Dv
s	mm	s	mm
6	0.354	4800	0.522
15	0.371	6000	0.525
24	0.381	7200	0.527
30	0.386	10800	0.533
60	0.403	14400	0.537
120	0.423	21600	0.542
240	0.449	28800	0.544
360	0.463	45600	0.551
480	0.472	54000	0.553
600	0.479	72000	0.556
1200	0.498	79200	0.557
1800	0.506	82800	0.557
2400	0.512	86400	0.556
3000	0.516		
3600	0.518		

Parametri calcolati		
D ₅₀	0.406	mm
T ₅₀	2945	s
CV	-	cm ² /s
E _{ed}	-	MPa
K	1.677E-09	cm/s
C α	-	cm ² /s



Committente:
Località:
Cantiere:

RONCUZZI GEOL. MARCO
COTIGNOLA (RA) - BONCELLINO
PROGETTO FOSSO VECCHIO - VIA PONTE NUOVO

Sondaggio:
Campione:
Profondità:

S1
CD1
3.10 - 3.30 m

COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE

Tempi	Dv	Tempi	Dv
s	mm	s	mm
6	0.193	4800	0.288
15	0.206	6000	0.290
24	0.214	7200	0.292
30	0.220	10800	0.297
60	0.234	14400	0.299
120	0.245	21600	0.304
240	0.253	28800	0.311
360	0.259	45600	0.313
480	0.263	54000	0.314
600	0.266	72000	0.316
1200	0.275	79200	0.317
1800	0.280	82800	0.317
2400	0.282	86400	0.317
3000	0.284		
3600	0.285		

Parametri calcolati		
D ₅₀	0.218	mm
T ₅₀	1471	s
CV	-	cm ² /s
E _{ed}	-	MPa
K	2.382E-09	cm/s
C _α	-	cm ² /s

