

PROVINCIA DI FERRARA
COMUNE DI OSTELLATO

OGGETTO E ZONA DELL'INTERVENTO

**PROGETTO PER LA COLTIVAZIONE DI CAVA DI SABBIA – IV STRALCIO
IN LOCALITA' "CAVALLARA" – SAN GIOVANNI DI OSTELLATO**



COMMITTENTE

CANTONIERA CAVALLARA s.r.l. - via per Ostellato n.9/a MIGLIARINO
44027 FISCAGLIA (FE)

IL GEOLOGO

ZANNA Dr. ALESSANDRO
Via della Tecnica n.57/A4
40068 SAN LAZZARO DI SAVENA (BO)
cel 348 7607421

IL PROGETTISTA GENERALE

RUTTILIO Ing. ANTONELLO
Via Manzolli n.19
44020 ROVERETO (FE)
cel 339-2856619

TAV.N°

13

ELABORATO

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

DATA Marzo 2025

REGIONE EMILIA ROMAGNA
Provincia di Ferrara
Comune di Ostellato

**PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E
CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA**
**Ampliamento con aumento delle profondità di coltivazione della cava di
sabbia Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE)
frazione San Giovanni**

Relazione geologica e sismica

Aggiornamenti	4				
	3				
	2				
	1				
	0	Novembre 2024	Alessandro Zanna	Claudio Cinti	Emissione
	N	Data	Redatto	Approvazione	Descrizione

Committente:

**CANTONIERA CAVALLARA
S.R.L.**

Redatto da:



GEOTE s.r.l.
Geologia Territorio Ambiente

Fornitori:



Codice Cliente:

Codice interno: 24.1731

Geotea s.r.l. - via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO) Tel 051 6255377- Fax 051 4998378
e-mail: info@geoteasrl.it

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	
--	---	--

SOMMARIO

1.	IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3.	PREMESSE	5
3.1.	Riferimenti cartografici	6
4.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE E GEOLOGICO	8
4.1.	Inquadramento territoriale paesaggistico	8
4.2.	Caratteri Geologici generali	9
4.3.	Inquadramento morfologico	14
4.4.	Inquadramento idrogeologico	18
5.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO	20
5.1.	Quadro macrosismico	20
5.2.	Pericolosità sismica di base	21
5.3.	Risposta sismica locale (effetti di sito)	22
6.	INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE	27
7.	INDAGINI GEOGNOSTICHE DIRETTE	29
7.1.	Prove penetrometriche con piezocono (CPTU)	29
7.2.	Prove geotecniche di laboratorio	33
8.	VERIFICHE DI STABILITÀ	34
8.1.	Cenni teorici e scelta metodologica	34
9.	CONCLUSIONI	39

ALLEGATI

- Allegato 1 – Certificati prove penetrometriche con piezocono (CPTU)
- Allegato 2– Report prove di laboratorio geotecnico
- Allegato 3 - Report Indagini geofisiche

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	
---	--	--

1. IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

Note identificative.

Il presente lavoro viene identificato per mezzo del codice numero di commessa interno 24.1731 rev. n° 00, del nostro archivio interno.

Direzione indagini e coordinamento lavoro.

Dott. Geol. Alessandro Zanna

Redazione del documento.

Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. Alessandro Zanna

Collaboratori.

Dott. Emanuele Brancaleoni.

Composizione del documento.

Il presente documento è formato da n° 42 pagine di relazione e n°3 allegati.

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	 GEOTEA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente
--------------------------------	--	---

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della seguente relazione è stata eseguita in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento elencate di seguito:

Circolare Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 21.01.2019 Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M.17 gennaio 2018.

Decreto Ministeriale 17.02.2018

Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"

Circolare Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 02.02.2009

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M.14 gennaio 2008.

Decreto Ministeriale 14.01.2008

Testo Unitario -Norme Tecniche per le Costruzioni

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

Allegato al voto n.36 del 27.07.2007

Eurocodice 7.2 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II :Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002).UNI

Eurocodice 7.3 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II :Progettazione assistita con prove in sito(2002).UNI

Eurocodice 8 (1998)

Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture

Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

Eurocodice 7.1 (1997)

Progettazione geotecnica – Parte I :Regole Generali .-UNI

Circ. Min. LL.PP. n° 30483 24 Settembre 1988

Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";

Decreto Ministeriale 11 Marzo 1988

"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazioni".

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	 GEOTEA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente
--------------------------------	--	---

3. PREMESSE

Su incarico della ditta Cantoniera Cavallara s.r.l., con sede in via Ostellato 9/A a Migliarino (FE), si redige la presente relazione geologica inerente gli aspetti giacimentologici e mineralogici, idrogeologici e geotecnica per la verifica della stabilità delle scarpate di coltivazione di progetto.

Questa relazione è parte integrante del progetto di procedimento di V.I.A. volontaria, con variante al P.A.E. del comune di Ostellato unicamente per gli aspetti di profondità massima da raggiungere con gli scavi, mentre rimangono invariate le disponibilità dei volumi già pianificati.

La figura seguente illustra l'ubicazione dell'area nel contesto della zona geografica in cui si inserisce.



Immagine aerea tratta da Google Earth.

Questo lavoro è un seguito di tutti gli studi già presentati per i vari progetti di coltivazione e sistemazione che si sono succeduti nel tempo. Essi ne fanno parte integrante e propedeutica.

Il sito d'intervento è ubicato presso la cava denominata Cava Cavallara in località Cavallara, San Giovanni, comune di Ostellato (FE). L'area individuata all'interno del polo per l'attività estrattiva è situata in località "Cavallara" nel Comune di Ostellato. Si tratta di un fondo agricolo censito dal C.T. foglio n° 72 mappali 84, 134, 135, 229, 13, 133, 77, 76, 252, 215, 228 al Fg. 87 mappali 11 parte, 12 parte, per una superficie di Ha 18.21.45

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	
--	---	--

oltre ad una fascia demaniale identificata come Canaletto Cavallara per una superficie di circa mq 1.250.

I terreni rientrano nelle proprietà della Ditta Cantoniera Cavallara mentre l'asportazione di materiale dall'area del demanio idrico sopra richiamata è stata autorizzata a seguito del pagamento dei diritti estrattivi al competente Servizio Regionale S.T.B. Po di Volano e della Costa, con provvedimento PG 2011.0014717 del 20.01.2011.

L'accessibilità alla zona di cava dalla pubblica via è garantita dalla viabilità appositamente realizzata; la viabilità interna resta invariata rispetto alle precedenti progettazioni.

Il progetto è stato sviluppato in conformità ai disposti della specifica pianificazione di settore, che nella sua redazione ha recepito gli indirizzi dei Piani Territoriali sovraordinati, sia Regionali che Provinciali.

In particolare il progetto riguarda l'approfondimento di un bacino esistente, già autorizzato e precedentemente conforme alla pianificazione territoriale, che negli anni non è stata modificata.

La presente relazione geologica, in ottemperanza alla legislazione tecnica vigente, definisce il modello geologico del sottosuolo dell'area in cui si inserisce l'intervento all'interno del progetto complessivo, con riferimento ai caratteri geomorfologici, litostratigrafici, idrogeologici, sismici e strutturali che caratterizzano il sito.

Quanto si riporta è stato definito sulla base di conoscenze dirette degli scriventi, di informazioni reperibili dalla letteratura specializzata e dalla consultazione degli strumenti di pianificazione territoriale.

A supporto di tali informazioni, per la definizione di un modello geologico dettagliato e per la determinazione dell'azione sismica con approccio sito-dipendente, a integrazione delle campagne geotecniche eseguite a più riprese nel passato, è stata programmata una campagna d'indagine consistente nell'esecuzione di:

- n. 3 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU);
- indagine geofisica con esecuzione di n. 1 misura a stazione singola con tecnica HVSR per la determinazione del parametro Vs30.

I risultati ottenuti mediante l'elaborazione dei dati acquisiti sono stati utilizzati per la costruzione del modello geologico e geotecnico del sito in oggetto.

3.1. Riferimenti cartografici

Da un punto di vista cartografico l'area in oggetto è compresa nei seguenti elaborati tecnici:

- C.T.R. della R.E.R Elemento n. 205063 - nome elemento "Corte Campania".

La figura seguente illustra le geometrie della cava nello stato attuale, secondo il rilievo del 2023.

CANTONIERA CAVALLARA
S.R.L.

PROCEDIMENTO DI V.I.A.
VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E
CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE
PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA
cava Cavallara sita in località
Cavallara del Comune di Ostellato
(FE) frazione San Giovanni



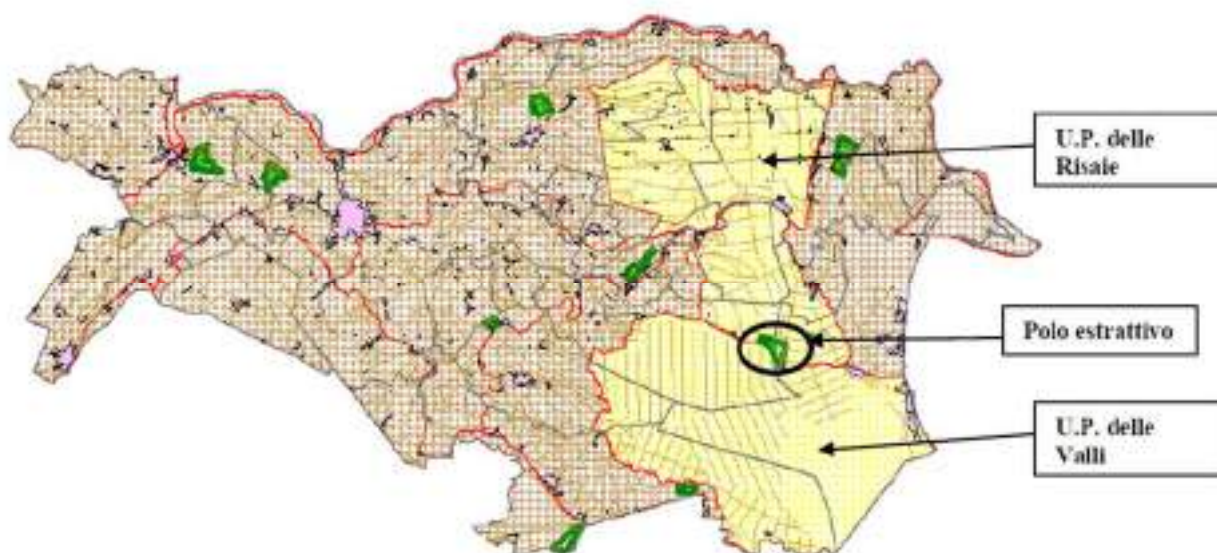
Rilievo dello stato di fatto.

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	 GEOTEA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente
--------------------------------	--	---

4. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E GEOLOGICO

4.1. Inquadramento territoriale paesaggistico

L'area del polo estrattivo di Ostellato è a confine tra due Unità di Paesaggio (U.P.): U.P. Delle Valli e l'U.P. delle Risaie.



Unità di Paesaggio provincia di Ferrara (da PTCP)

L'unità di Paesaggio delle Valli è l'ambito del territorio Provinciale che più a lungo è rimasto invaso dalle acque. I comuni interessati da questa U.P. sono Argenta, Ostellato, Comacchio e Portomaggiore. "Il paesaggio delle aree bonificate varia a seconda che la bonifica sia più o meno recente e che il suo sviluppo sia stato più o meno rapido; pur tuttavia sono riconoscibili alcuni tratti comuni, come la monotona uniformità di grandi spazi, veri e propri mari di terra, scompartiti in forme non costanti, ma comunque sempre più ampie di quelle delle terre vecchie, dalla pressoché totale mancanza delle alberature, dalla assenza di centri abitati, posti invece sui dossi fluviali, da un orizzonte piatto sul quale spiccano le arginature dei fiumi e dei canali e gli impianti delle idrovore. Caratteristica è la geometria dei canali di scolo e della viabilità rurale, in singolare contrasto con l'andamento sinuoso dei fiumi e delle più vecchie strade principali". (C.A. Campi: La bonifica dal primo dopoguerra ad oggi in "Terre ed acqua"). La valle del Mezzano in particolare, che costituisce l'area più prossima alla Cava, rappresenta l'area bonificata in tempi più recenti, è caratterizzata dalla presenza di rarissimi insediamenti umani e offre ancora differenti ipotesi di trasformazione, dalla più estrema, vale a dire il riallagamento, fino a quella di accogliere attività altrove indesiderate.

L'unità di Paesaggio delle Risaie corrisponde alla parte più depressa della provincia unitamente alla zona delle valli, di bonifica recente. Coincide in parte col comune di Codigoro, unico insediamento di antico impianto situato sul dosso del Volano; interessa il comune di Iolanda di Savoia e la parte più orientale del Comune di Ostellato, e interessa anche marginalmente i comuni di Copparo, Mesola, Migliarino, Massafiscaglia, Migliaro, Lagosanto e Comacchio.

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	
--------------------------------	--	--

Nella Carta del 1814 della Provincia di Ferrara, questa zona si presenta ancora completamente sommersa.

Le travagliate vicende storiche di bonifica e insediamento di questa porzione di territorio hanno determinato un ambiente agricolo non consolidato, in cui non compaiono percorsi e canali alberati, fiumi, né zone boscate. Il territorio agricolo al contrario, è praticamente appiattito e ormai trasformato in un vero strumento di produzione. Il confine tra le due U.P. è segnato dalla presenza del Canale Circondariale, a ridosso del quale si sviluppa il polo estrattivo del comune di Ostellato e la cava Cavallara.

L'area preposta all'ampliamento della cava di questo polo estrattivo si inserisce quindi in un sistema paesaggistico caratterizzato da ampie zone depresse oggetto di bonifiche più o meno recenti, con scarsa presenza di insediamenti, grandi spazi agricoli uniformi quasi totalmente privi di alberature, pochi dossi di cui uno lungo il canale Circondariale.

4.2. Caratteri Geologici generali

La formazione dell'ambiente, nella sua configurazione attuale, è relativamente recente e consegue a ripetute variazioni dei rapporti di equilibrio tra livello del mare, apporti solidi dei corsi d'acqua, entità di subsidenza e, non ultimo, l'intervento umano.

Nell'attuale configurazione fisica del territorio sono riconoscibili le tracce sia della sua evoluzione naturale che quella operata dall'uomo. Tra le più evidenti e più importanti nel disegnare l'assetto morfologico si possono elencare i paleoalvei, i con di esondazione, i cordoni dunari testimoni della veloce progradazione verso est della linea di costa, ed infine si individuano quelle aree particolarmente depresse che erano sede di bacini palustri. Anche le scarpate morfologiche sono segni che disegnano il paesaggio, e contraddistinguono aree di transizione netta tra ambienti deposizionali diversi.

Ogni struttura geomorfologica che riconosciamo sulla superficie del suolo è conseguenza della facies deposizionale in cui i sedimenti si accumulavano e quindi è funzione dell'entità dell'energia idrodinamica che ne ha depositato i litotipi, per i cordoni dunari anche l'energia eolica ha favorito l'accumulo.

Nei bacini depressi chiusi o semichiusi, dove l'ambiente idrodinamico era di bassa energia prevalgono sedimenti fini, limoso-argillosi e spesso torbosi (le maggiori torbiere sono tipiche della fascia immediatamente a ovest dei cordoni litoranei più interni, che in condizioni naturali, ostacolavano il deflusso a mare delle acque rendendole stagne).

I fiumi che percorrono questo settore di pianura hanno generalmente bassa velocità di deflusso e quindi una scarsa capacità di trasporto; innescandosi un processo di progressivo deposito in alveo di sedimenti in carico, il corso d'acqua tende a sopraelevarsi rispetto alla pianura circostante, e durante le tracimazioni tende a depositare la maggior parte dei sedimenti a ridosso del punto di rotta poiché è lì che vi è la più brusca diminuzione di energia idrodinamica.

Così facendo si venivano a creare degli argini naturali; ecco perché sui paleoalvei ci sono condizioni di alto topografico (condizione importante in una terra soggetta ad inondazioni), con terreni generalmente sabbiosi, ben drenanti, con buone capacità portanti, che hanno favorito da sempre l'insediamento di centri abitati e lo sviluppo delle vie di comunicazione.

Nello specifico, l'area coinvolta dal progetto sorge su quella fascia di transizione tra paleoalveo del Padoa-

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	
--	---	--

Eridano e apparati di dune paleocostiere che hanno segnato insieme la progradazione della linea di costa verso est nella fase regressiva post-flandriana. Il fiume portava le sabbie limose al mare che le distribuiva a costruire le nuove fasce costiere.

Nei periodi climatici favorevoli ai grandi apporti solidi del fiume, si aveva un veloce avanzamento della linea di costa verso est; quando questa stazionava per più tempo in una data posizione, l'azione del vento era capace di accumulare più sabbie eoliche a costruire le dune costiere.

Il Padoa-Eridano aveva grandi capacità di trasporto solido, poi per autosedimentazione progressiva ha perso sempre più di efficienza idraulica, andando verso un naturale declino.

Contestualmente la subsidenza contribuiva a ribassare i piani campagna consentendo alle alluvioni di accumulare nuovi sedimenti. La subsidenza era differenziata: lungo i paleovalvei, dove prevalevano sedimenti di alta energia idrodinamica, si avevano abbassamenti minori, mentre negli ambienti di catino interfluviale (bacini distali), dove prevalevano i sedimenti di bassa energia idrodinamica, si avevano le maggiori velocità di abbassamento.

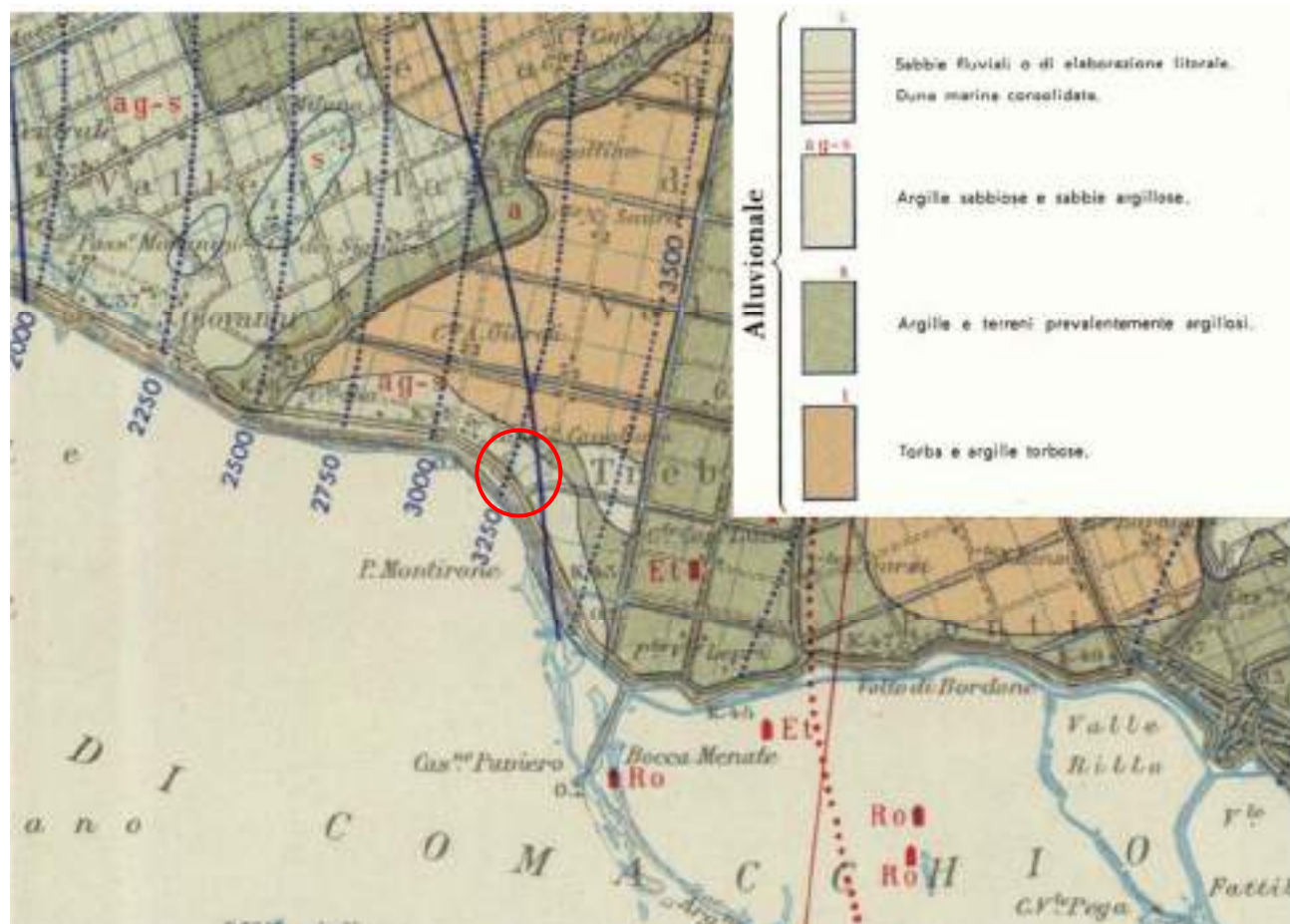
Questo ha favorito la formazione di lagune e poi specchi vallivi, in cui si sono depositati sedimenti fini costituiti da argille e limi. Laddove l'impaludamento era costituito da acque dolci, si formavano anche spessori importanti di materiale organico, ovvero le torbe.

Tutti questi sedimenti, depositati nel quaternario più recente caratterizzano l'area in cui si inserisce la cava Cavallara per gli spessori di coltivazione da essa interessati.

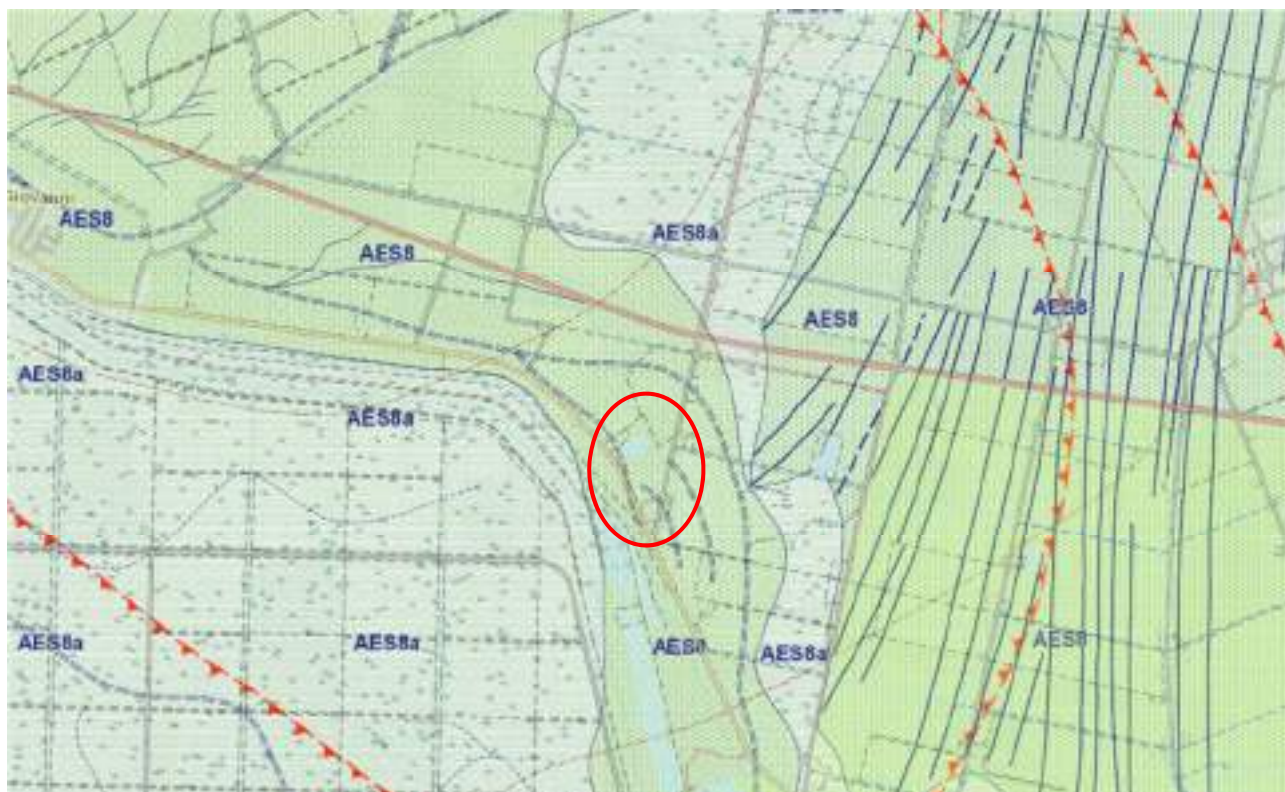
Secondo le classificazioni più recenti i terreni olocenici che sono interessati dall'attività estrattiva appartengono al Sintema Emiliano Romagnolo Superiore, in particolare al Subsintema di Ravenna. Tale subsintema comprende le sabbie, le argille e i limi di ambiente alluvionale, deltizio e litorale organizzati in corpi sedimentari a geometria tabulare, cuneiformi, lenticolari nastriformi di spessore plurimetrico (gli spessori medi sono compresi tra 12 e 30m).

CANTONIERA CAVALLARA
S.R.L.

PROCEDIMENTO DI V.I.A.
VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E
CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE
PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA
cava Cavallara sita in località
Cavallara del Comune di Ostellato
(FE) frazione San Giovanni



Tratta da: http://www.apat.gov.it/Media/carta_geologica_italia/tavoletta.asp?foglio=77



Carta geologica di superficie tratta da Regione Emilia Romagna.

AES8 - SUBSISTEMA DI RAVENNA

Nei settori intravallivi ghiaie passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale ghiaie, sabbie, limi ed argille. Limite superiore dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. Limite inferiore erosivo sui depositi marini e alluvionali sottostanti. Subsystema contenente una unità a limiti inconformi di rango gerarchico inferiore (AES8a) che, dove presente, ne costituisce il tetto stratigrafico. Spessore massimo in pianura di 25 metri circa.

Pleistocene sup. - Olocene (14 ka - attuale; datazione 14C).

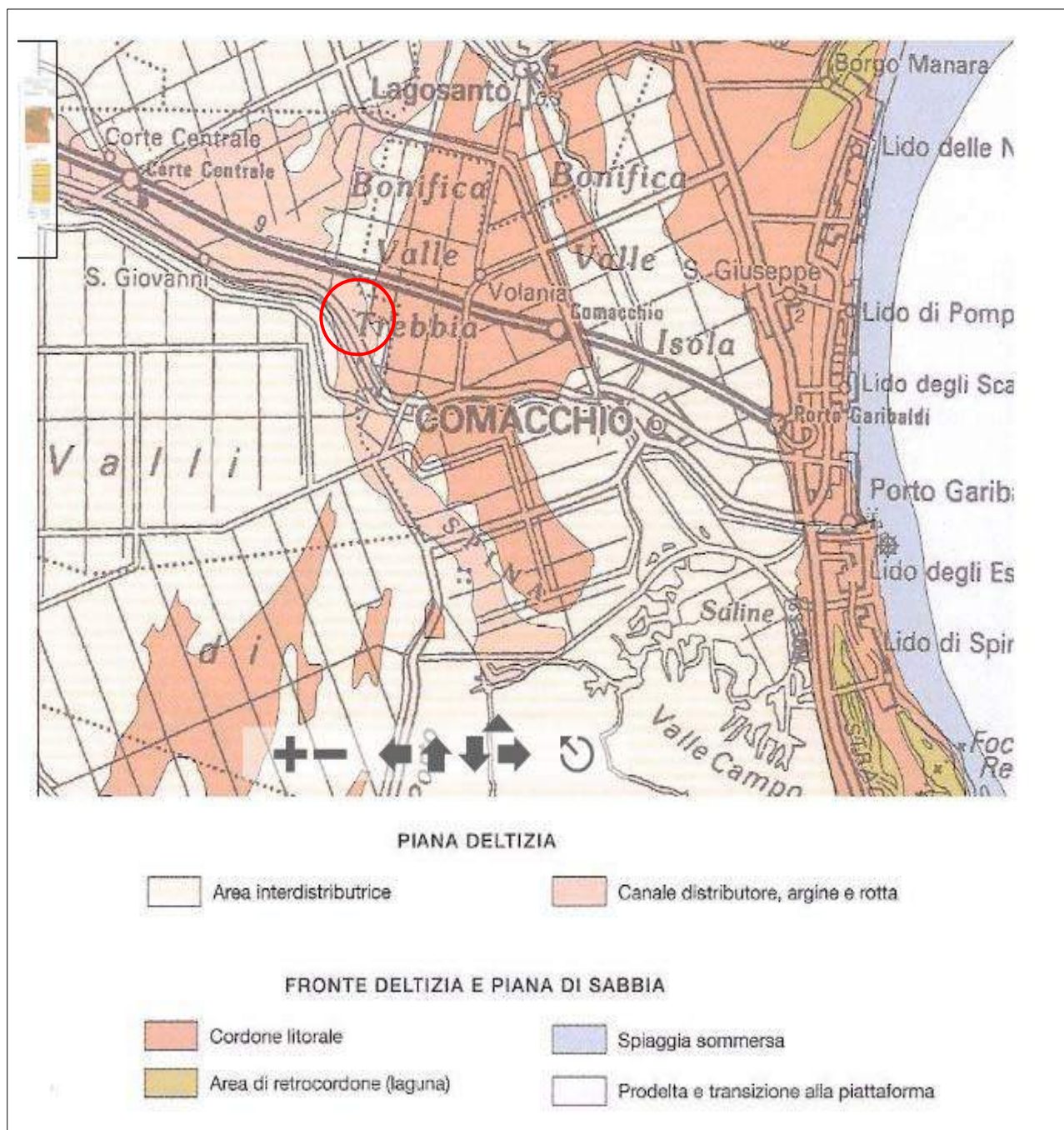
AES8a – Unità di Modena

Nei settori intravallivi sono presenti ghiaie prevalenti organizzate in 2 ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale ghiaie, sabbie, limi ed argille.

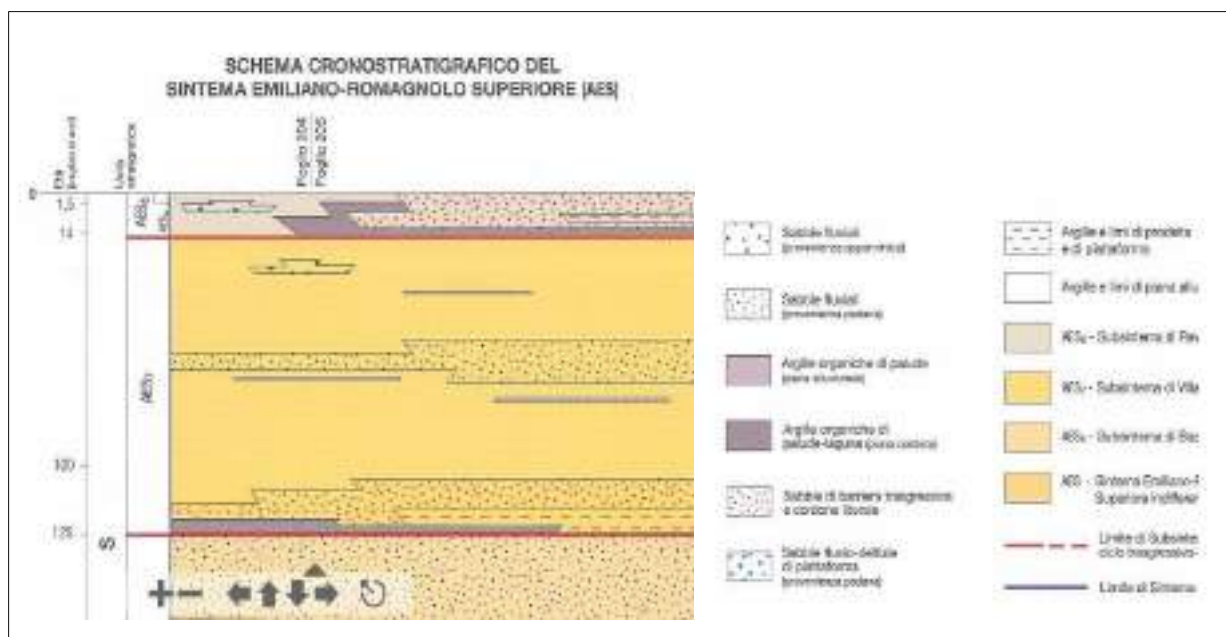
Limite superiore sempre affiorante dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro privo di reperti archeologici romani, o più antichi, non rimaneggiati. Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive e dal contatto netto sul suolo non calcareo (o scarsamente calcareo) di epoca romana (o più antica) nelle aree di pianura.

Spessore massimo in pianura 7 metri, nel sottosuolo circa 10m.

Età post-romana (IV-VI sec. d.C. - Attuale; datazione archeologica).



Schema degli ambienti deposizionali.



Tratta da: http://www.apat.gov.it/MEDIA/carg/205_COMACCHIO/Foglio.html

4.3. Inquadramento morfologico

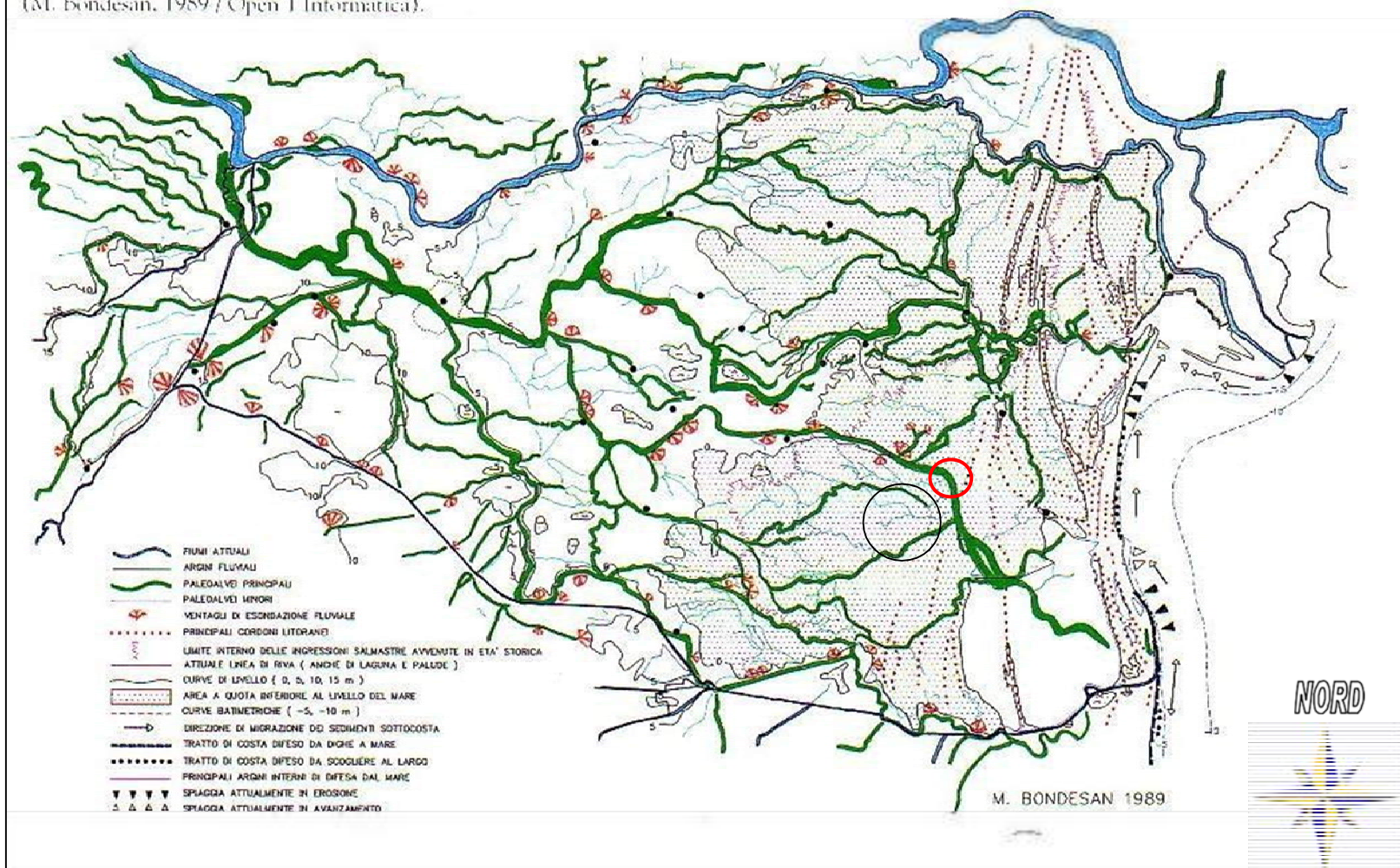
La geomorfologia dell'area interessata dalla cava è già stata ampiamente studiata nelle relazioni che hanno proceduto questa, redatte dal collega Dott. Geol. Vincenzo Bucci, Dott. Geol. Thomas Veronese..

La cava coinvolge i terreni più distanti dal tracciato del paleoalveo principale del Padoa-Eridano.

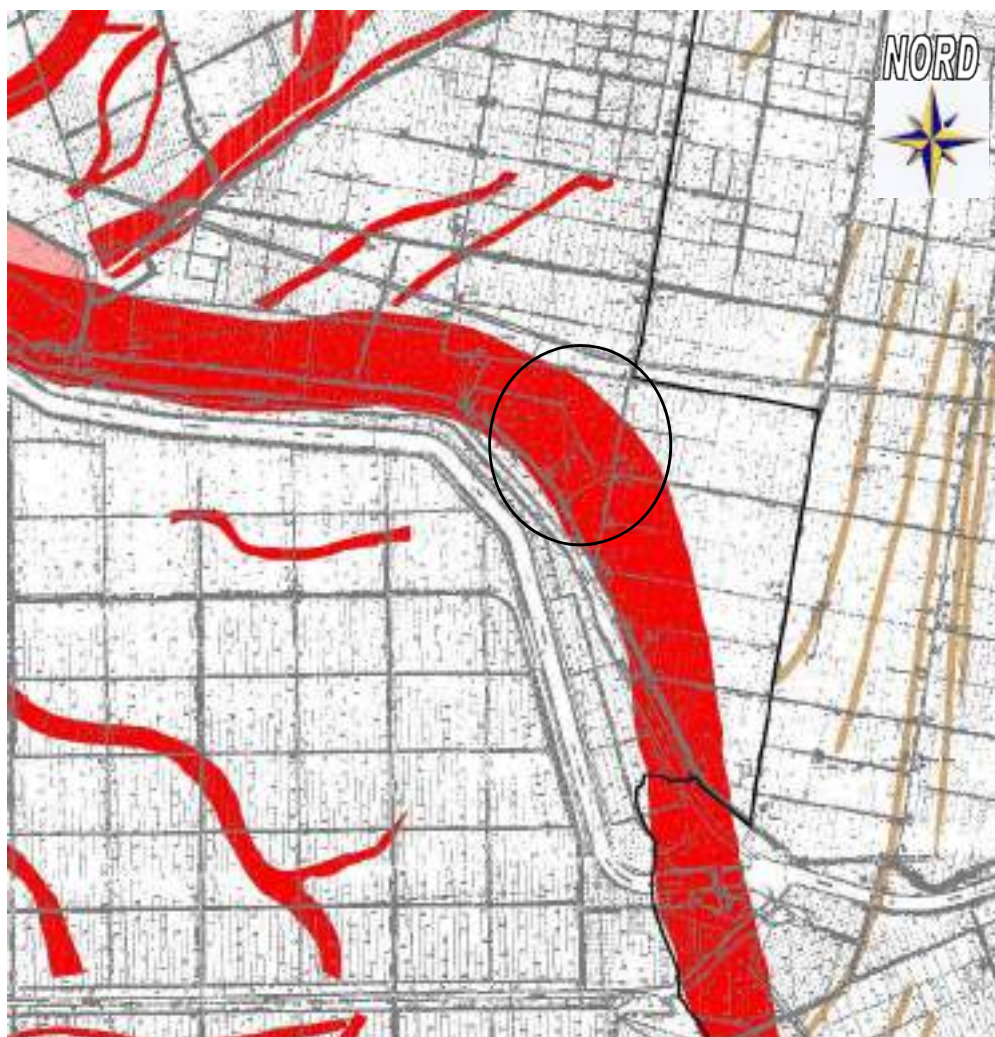
Per quanto affermato sopra, questo si traduce in due effetti:

- spostandosi a nord aumenta lo spessore della copertura di sedimenti fini di origine alluvionale-distale, di origine lagunare ed infine di origine valliva.
- Spostandosi verso nord ci si allontana dal tracciato principale del fiume Padoa-Eridano, in questo modo i sedimenti di origine prettamente fluviale depositatisi in ambiente di acqua dolce vengono sostituiti da sedimenti marino costieri sedimentatisi in ambiente di acque salmastre.

(M. Bondesan, 1989 / Open I Informatica).



Carta geomorfologica della provincia di Ferrara

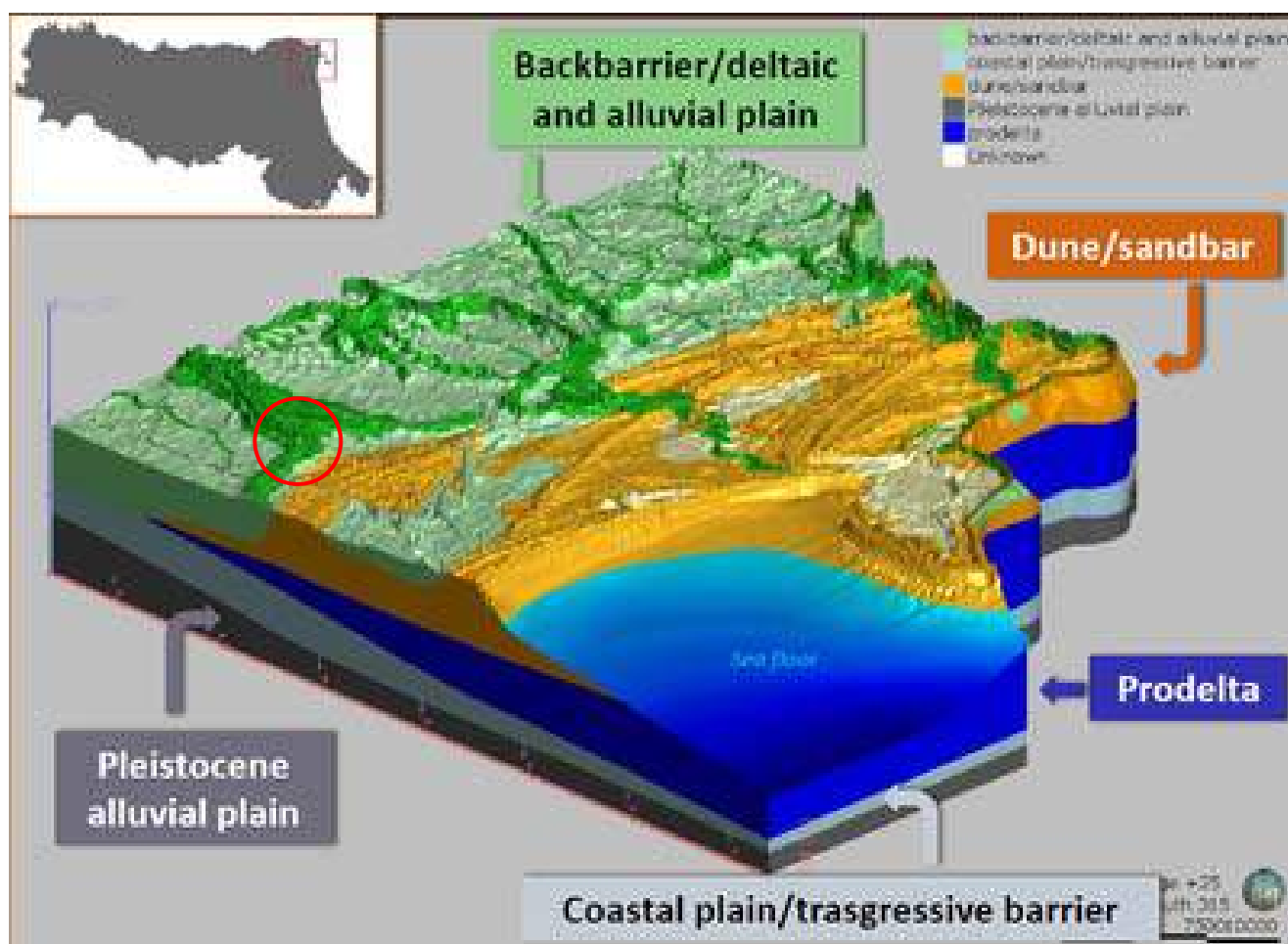
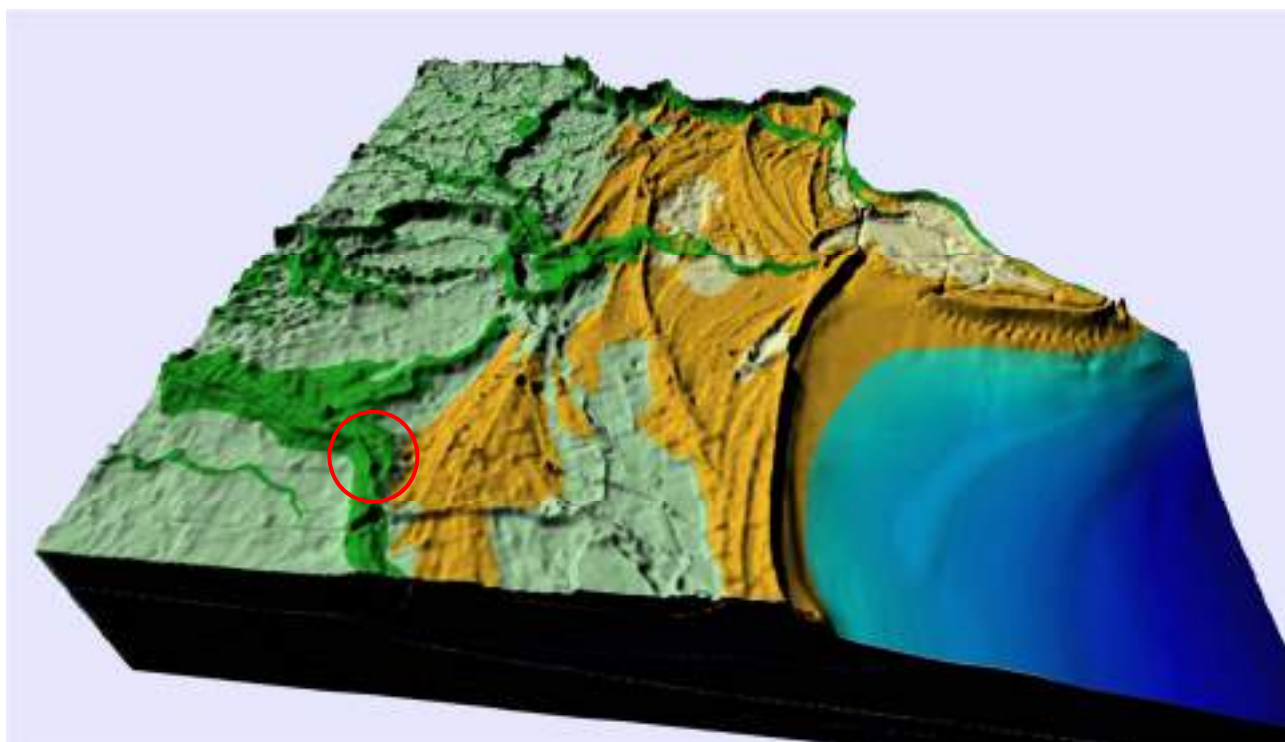


Legenda

-  Confini comunali
-  Tracce di migrazione di meandri e di anse fluviali
-  Cordon litoranei affioranti
-  Cordon litoranei sepolti
-  Paleoalveo di ubicazione sicura
-  Paleoalveo di ubicazione incerta
-  Depositi di rotta e tracimazione

Carta geomorfologica di dettaglio attorno all'area allo studio

Le figure seguenti illustrano in assonometria la geomorfologia della zona nel contesto della pianura ferrarese orientale.



CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	 GEOTEA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente
--------------------------------	--	--

4.4. Inquadramento idrogeologico

L'idrogeologia dell'area e dei corpi acquiferi interessati dall'attività estrattiva è stata ampiamente descritta negli studi antecedenti a questo.

Il modello idrogeologico vede un asse alimentante costituito dal Canale Navigabile Migliarino-Portogaribaldi, che nel tratto a monte del sostegno di Valle Lepri, è riempito esclusivamente da acque dolci provenienti dal fiume Po di Volano. La bonifica di Valle Trebba presenta poi una serie di canali di scolo, in cui, mediante pompe idrovore, vengono imposti dei livelli che creano dei gradienti idraulici finalizzati ad abbattere le quote della falda freatica e consentire così l'emersione dei terreni agricoli, che altrimenti verrebbero sommersi.

I flussi di falda sono dunque imposti, per cui nell'area allo studio sono diretti obbligatoriamente da sud-ovest verso nord-est, ovvero dal canale Navigabile verso i canali della bonifica.

Come si può notare il Canale Collettore principale Trebba è l'asse drenante principale, ed i canali secondari Cavallari, San Giovanni, ecc. sono gli altri strumenti idraulici per imporre l'assetto artificiale delle quote e dei flussi di falda.

Prima dell'inizio dell'attività estrattiva sono state fatte delle prospezioni geofisiche e numerose esperienze sulla rete piezometrica nel frattempo attrezzata.

Il modello idrogeologico è stato allestito e sono state fatte le simulazioni sull'impatto della cava, nei confronti degli equilibri tra acque dolci, acque salmastre e acque salate stratificate nel primo acquifero freatico che ha uno spessore di circa 16/18 m.

Questa relazione è un proseguo di quelle presentate in precedenza per le varie fasi autorizzative, per cui esse fanno parte integrante di questo studio.

Le oscillazioni delle falde freatiche in questi anni di attività della cava sono state molto modeste, e tali da non poter dare effetti negativi sugli incrementi di tensioni efficaci nei terreni. I livelli possono considerarsi stabili, anzi apparentemente in innalzamento.

Si consideri che ci si trova in un'area soggetta a bonifica, per cui la regimazione delle acque e la loro quota è imposta antropicamente.



Legenda

-  Confine di Provincia
-  Confine di Comune
-  Corsi d'acqua principali
-  Canali di scolo
-  Canali di colmata
-  Impianti Idrovori di scolo
-  Centri urbani
-  Zone Umide
-  Aree allagate in seguito a piogge intense negli anni 1995-1996
-  Aree a difficile drenaggio per condizioni altimetriche
-  Aree a difficile drenaggio per scarsa permeabilità del suolo
-  Aree a difficile drenaggio per altezza particolare della falda freatica

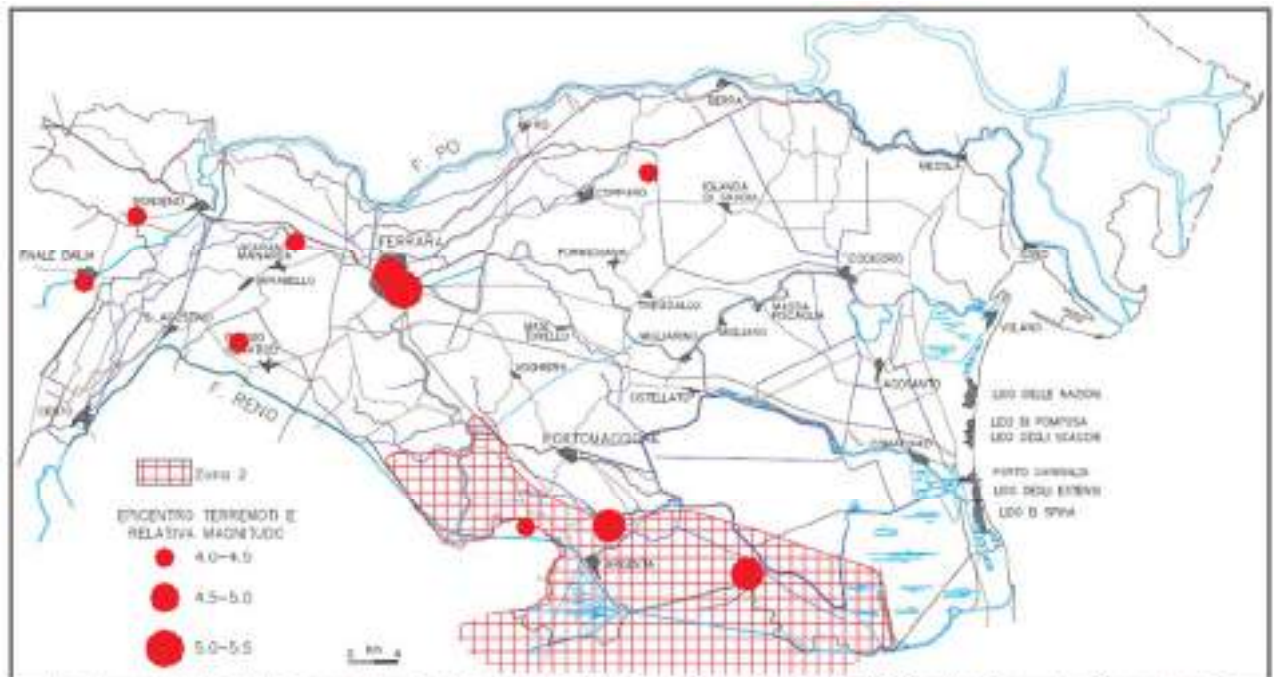
Schema di deflusso delle acque superficiali della zona.

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	 GEOTEA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente
--------------------------------	--	--

5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO

5.1. Quadro macrosismico

La nuova classificazione sismica del territorio dei comuni della provincia di Ferrara evidenzia la coesistenza di zone di media sismicità, Argenta in zona 2, e bassa sismicità, Migliarino, Ostellato, Portomaggiore e Voghiera in zona 3.



L'andamento del limite della zona 2 per il territorio provinciale (Servizio Geologico d'Italia & RER, 2002 ridisegnato). Sono riportati gli epicentri dei terremoti verificatisi nel territorio provinciale e l'intervallo di magnitudo degli eventi.

Quadro Conoscitivo – PSC Argenta, Migliarino, Ostellato, Portomaggiore, Voghiera.

L'area in esame è caratterizzata da bassi valori di intensità macrosismica nella parte settentrionale, mentre i settori più meridionali sono contraddistinti da valori più elevati.

In basso è riportata la zona sismica per il territorio di Ostellato, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale n.1435 del 21 luglio 2003 e successivamente con la n.1164 del 23 luglio 2018.

Zona sismica: 3 - Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti.

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima (ag) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	
--	---	---

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ag]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ag]	numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$0,25 < a_g \leq 0,35 \text{ g}$	0,35 g	739
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25 \text{ g}$	0,25 g	2.374
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g	3.003
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05 \text{ g}$	0,05 g	1.785

5.2. Pericolosità sismica di base

Con l'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008 e del successivo D.M. 17/01/2018, la stima della pericolosità sismica è definita mediante un approccio sito dipendente.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite previsti nelle NTC, si definiscono infatti a partire dalla "pericolosità sismica di base". Essa viene espressa in termini di accelerazione orizzontale massima a_g su suolo rigido orizzontale di riferimento e costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica di base per un qualsiasi sito considerato è la probabilità che in un certo intervallo di tempo chiamato periodo di riferimento V_R (espresso in anni) in detto sito si verifichi un evento sismico di intensità almeno pari ad una prefissata. La probabilità in questione è chiamata P_{VR} , probabilità di superamento o di eccedenza nel periodo di riferimento V_R .

La pericolosità sismica del sito in esame viene definita a partire dalle sue coordinate geografiche e da quelle relative ai 4 nodi del reticolo (reticolo di riferimento) all'interno del quale ricade l'area in studio.

Di seguito si riportano le coordinate geografiche del sito in esame (Coord.WGS84) e quelle relative ai 4 nodi del reticolo all'interno dei quali ricade l'area in studio.

Ostellato – Cava Cavallara	ID	LAT (°)	LON(°)	Distanza (m)
	-	44.71808	12.09011	-
NODO 1	15853	44.7266	12.0834	1082
NODO 2	15854	44.7274	12.1538	5133
NODO 3	16076	44.6774	12.1549	6833
NODO 4	16075	44.6766	12.0846	4634

Tabella 2 – Coordinate geografiche del sito in esame e dei nodi di riferimento espresse in ED50.

Nella sottostante tabella si riportano i dati relativi alla vita nominale (V_N), alla classe d'uso e relativo coefficiente (C_U), ed al periodo di riferimento per l'azione sismica ($V_R = V_N \times C_U$) considerati per l'opera di progetto. Lo

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	
--------------------------------	--	---

scrivente ha preliminarmente ipotizzato la classe d'uso: II, la scelta finale della classe d'uso dell'opera oggetto di indagine spetterà al tecnico progettista.

Tipologia opera	Fronti di scavo e rilevati	-
V_N	50	anni
Classe uso	II	-
C_U	1.0	-
V_R	50	anni

Tabella 3 – Vita nominale e carattere strategico dell'opera di progetto.

Di seguito vengono riportati i valori medi dei parametri sismici relativi al sito in esame (in riferimento ai 4 nodi di tabella 2), ottenuti mediante l'utilizzo del software GeoStru PS, con riferimento al carattere strategico dell'opera. L'azione sismica per il sito in esame è definita sulla base della pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione orizzontale massima a_g per ciascun stato limite ultimo e di esercizio.

Stati limite		P_{VR} (%)	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (adm)	T_{c^*} (s)
SLE	SLO	81	30	0.035	2.535	0.252
	SLD	63	50	0.043	2.529	0.280
SLU	SLV	10	475	0.115	2.582	0.284
	SLC	5	975	0.151	2.586	0.285

Tabella 4 – Parametri sismici ottenuti considerando $V_R = 50$ anni ($C_U = 1.0$; Classe d'uso II)

P_{VR} = probabilità di superamento nel periodo di riferimento;

T_R = periodo di ritorno dell'azione sismica;

a_g = accelerazione orizzontale massima su suolo di riferimento rigido orizzontale;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_{c^*} = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

5.3. Risposta sismica locale (effetti di sito)

Per determinare gli effetti di sito e la risposta sismica locale mediante il parametro $V_{s,eq}$ come da vigente normativa NTC 2018, è stato realizzato:

N° 2 misure a stazione singola mediante tromografo digitale modello Tromino Engy con tecnica HVSR;

N°1 stendimento sismico MASW.

Come riportato nel capitolo 3.2.2 delle NTC, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel paragrafo 7.11.3 delle NTC. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	
--------------------------------	--	---

altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come formazione rocciosa o terreno molto rigido, caratterizzata da $V_S \geq 800$ m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Misura a stazione singola HVSR (H/V): procedura e strumentazione utilizzata

Il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei $\mu\text{m/s}$). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 15-20 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale, "TROMINO ENGY" (Micromed S.p.A.) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ~ 1.5 mm/s); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz. È stata acquisita una misura di rumore sismico per un tempo di registrazione pari a 20 minuti. L'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software *Grilla*. In allegato il Report dell'elaborazione.

Modello di sottosuolo proposto per il sito

Sulla base dei risultati ottenuti e dell'interpretazione dei dati acquisiti il modello di sottosuolo proposto per il sito in studio, in termini di profilo verticale di VS, è il seguente:

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR1

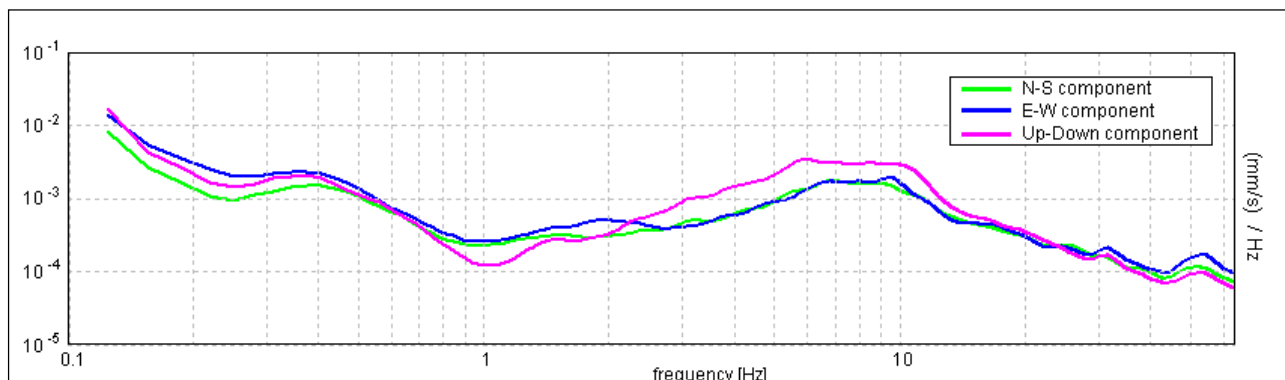
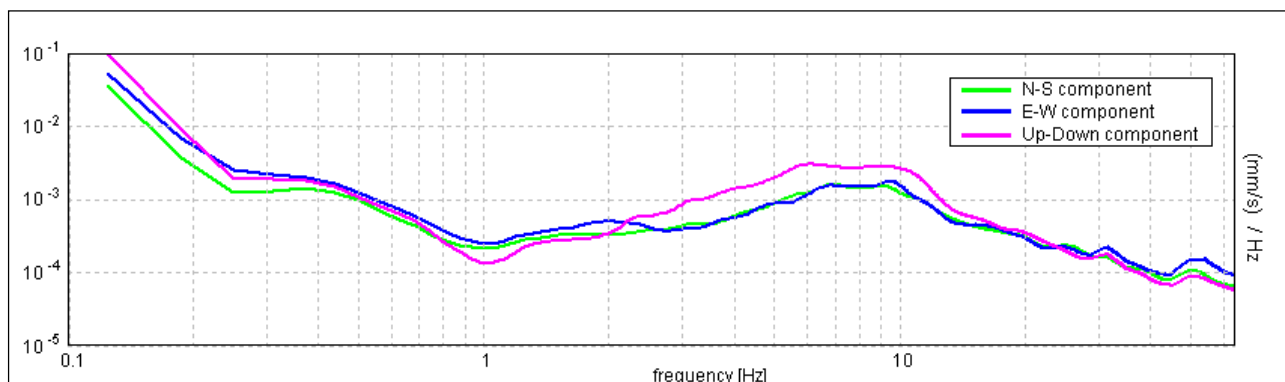


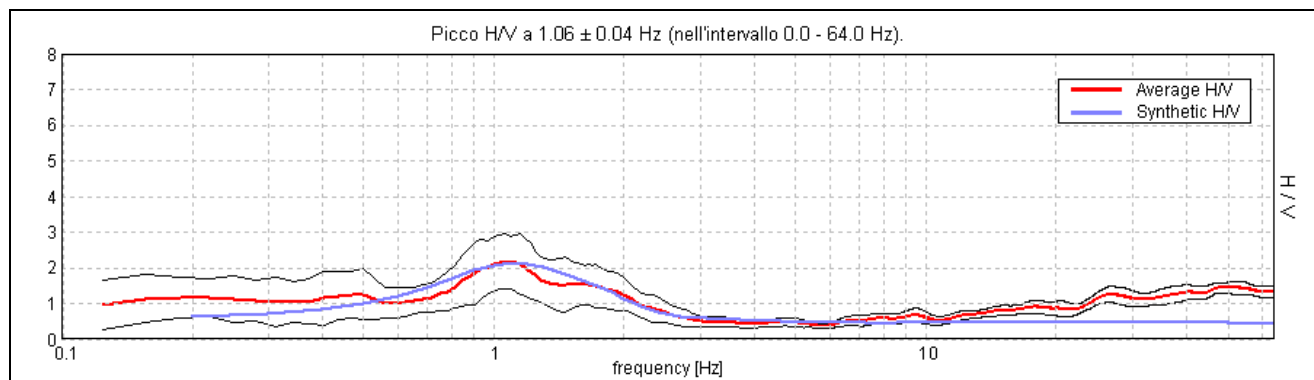
Figura 1 - spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR2



Spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Confronto tra curva HVSR1 sperimentale registrata nel sito (scelta per il fit congiunto con prova MASW-Re.Mi.) e curva teorica (blu) relativa al modello di sottosuolo proposto per il sito.

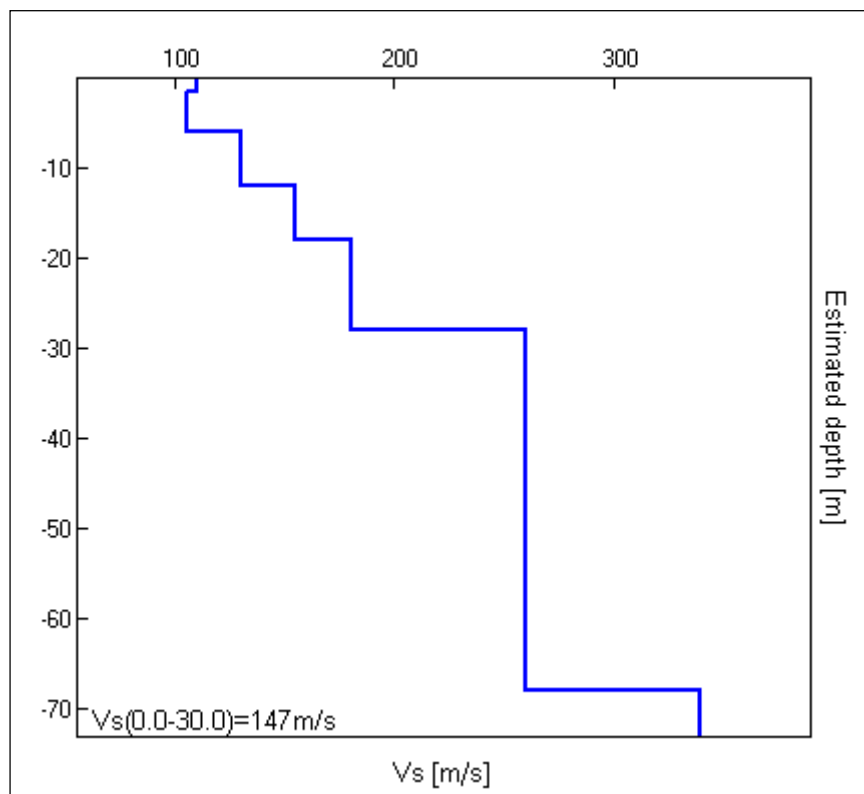
Sulla base dei risultati ottenuti e dell'interpretazione dei dati acquisiti il modello di sottosuolo proposto per il sito in studio, in termini di profilo verticale di Vs, è il seguente (il modello è stato ottenuto mediante fit congiunto

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	 GEOTEA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente
--------------------------------	--	--

tra prova **MASW-Re.Mi.** e misura **HVSR1**):

Profondità base strato (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1.50	1.50	110
6.00	4.50	105
12.00	6.00	130
18.00	6.00	155
28.00	10.00	180
68.00	40.00	260
inf.	inf.	340

Modello di sottosuolo proposto per il sito



Modello di velocità delle onde di taglio S (modello medio sotto il profilo effettuato) derivato da fit congiunto tecnica MASW-Re.Mi. e tecnica HVSR

Vs30 [m/s] da quota piano campagna su cui è stato eseguito il profilo: 187.

Nei primi 30 m da p.c., i terreni presenti in sito sono caratterizzati da valori di velocità delle onde S (Vs) caratteristici di terreni a consistenza da molto soffice a soffice.

Le curve HVSR ottenute sperimentalmente sono del tutto confrontabili tra loro. Esse sono caratterizzate alle basse frequenze, tra circa 1-2 Hz, da una modesta amplificazione locale del moto del suolo per risonanza stratigrafica con picco H/V a circa 1 Hz (contrasto di impedenza basso).

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	 GEOTEA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente
--------------------------------	--	--

A questo punto, sulla base dei dati riportati nelle precedenti pagine è possibile definire l'azione sismica per il sito in esame con riferimento alla tipologia di opera che si intende realizzare (carattere strategico dell'opera), sulla base della pericolosità sismica di base (espressa in termini di accelerazione orizzontale massima a_g per ciascun stato limite ultimo e di esercizio) e delle amplificazioni stratigrafiche e topografiche dipendenti rispettivamente dalla categoria di suolo ottenuta e dalle caratteristiche della superficie topografica sulla quale si colloca l'area di studio.

Fronti di scavo.

Stati limite		Ss (-)	Cc (-)	S _T (-)	Kh (-)	Kv (-)	Amax (m/s ²)	Beta (-)
SLE	SLO	1.500	1.650	1.000			0.521	
	SLD	1.500	1.600	1.000	0.030	0.015	0.633	0.470
SLU	SLV	1.500	1.590	1.000	0.065	0.033	1.688	0.380
	SLC	1.470	1.590	1.000			2.182	

Tabella 5 – Coefficienti sismici considerando $V_R = 50$ anni ($C_U = 1.0$; Classe d'uso II) – in evidenza i coefficienti relativi allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita.

Dove:

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica.
 C_c = coefficiente funzione della categoria di suolo
 S_T = coefficiente di amplificazione topografico
 A_{max} = accelerazione massima attesa nel sito
 $Beta$ = coefficiente di riduzione
 K_h = coefficiente sismico orizzontale
 K_v = coefficiente sismico verticale

I coefficienti K_h e K_v sono riportati già ridotti del coefficiente $Beta$.

Per la consultazione dei dati completi si rimanda alla relazione in allegato.

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	
---	--	---

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE

La zona di interesse è già stata ampiamente indagata da un punto di vista geologico e geotecnico negli anni passati, in occasione dei vari progetti di coltivazione e sistemazione che si sono succeduti e che hanno portato alla configurazione attuale della cava.

Per lo sviluppo della variante attuale, la cui parte sostanziale è data dall'approfondimento delle quote di massimo scavo, sono stati consultati tutti i dati disponibili ed integrati con l'esecuzione di 3 prove penetrometriche con piezocono spinte fino alla profondità di 20 m dal piano di campagna.

Tra le indagini pregresse risultano di specifico interesse i sondaggi a carotaggio continuo e/o a distruzione di nucleo (alcuni poi attrezzati con piezometri a tubo aperto) eseguiti negli anni 2003 e 2005.

Da queste prove si identifica chiaramente un deposito sabbioso ben distribuito su tutta la zona di interesse commerciale, con alcune intercalazioni di limi sabbiosi e limi argillosi che interrompono localmente la continuità dello spessore delle sabbie.

In particolare si rileva la presenza di un livello di materiali fini (argille limose) rilevabile da piano di campagna fino a profondità variabili tra 1.0 e 4.0 m.

Si tratta del terreno di copertura non commercializzabile (cappellaccio), ora completamente rimosso su tutto l'area autorizzata allo scavo.

Al di sotto di questo livello vi sono le sabbie oggetto del piano di coltivazione, pressochè continue fino alla profondità di 16 – 19 m. A queste quote si incontra infatti uno strato di sabbia con lenti di limo e argilla in proporzioni variabili, il cui spessore varia a seconda della zona e che sembra immergere verso nord con leggera pendenza.

Al di sotto di tale livello fine si rinviene un secondo strato francamente sabbioso che, con alcune intercalazioni di limi e argille limose si segue fino a circa 25 – 26 m di profondità.

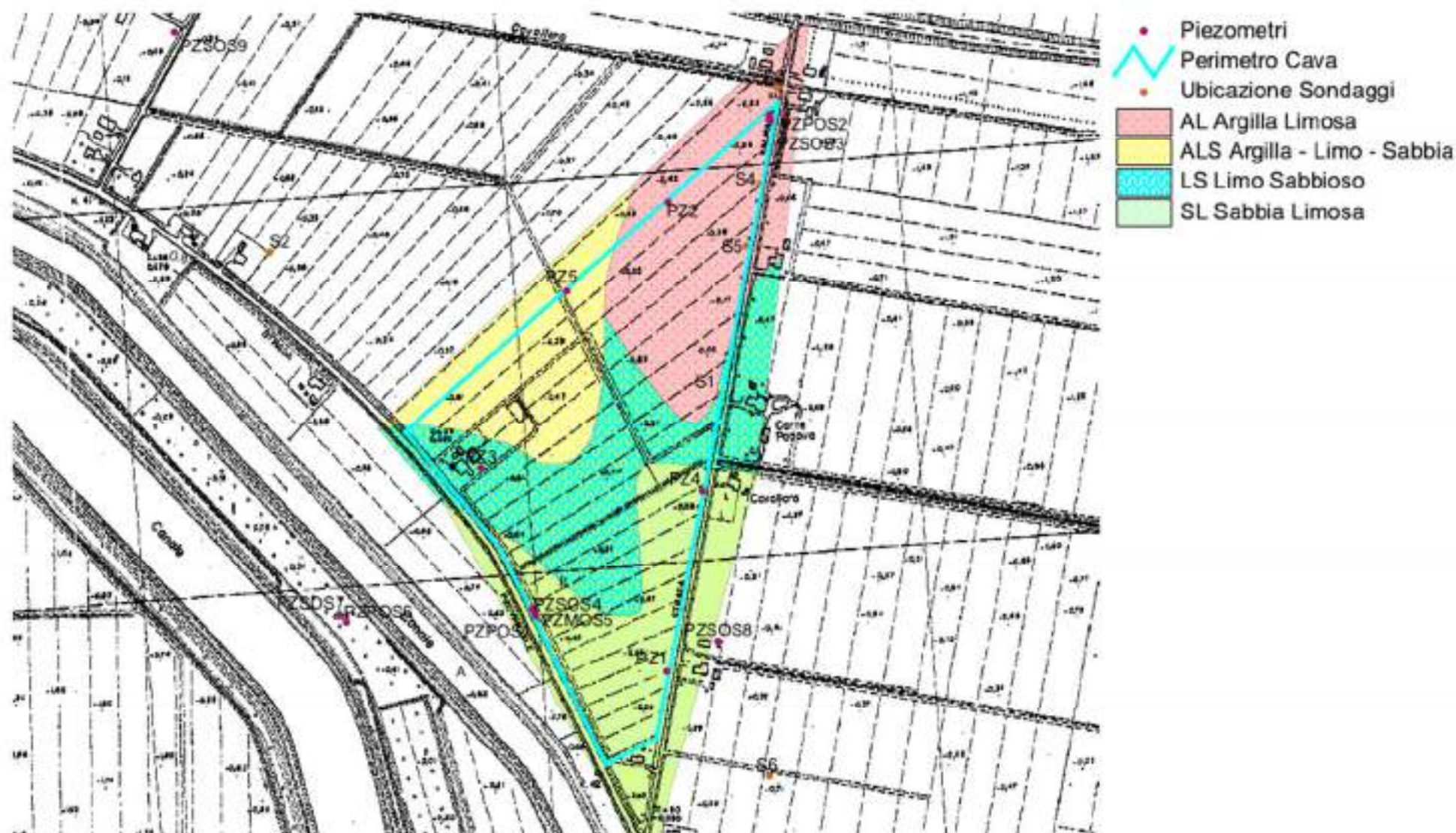
Al di sotto di quest'ultimo seguono dei materiali fini e finissimi fino alle massime profondità indagate (30 m da p.c.).

La figura seguente indica i punti di sondaggio e illustra la distribuzione delle litologie di superficie sull'area indagata, mentre in allegato è possibile consultare tutti i log stratigrafici dei sondaggi eseguiti nelle varie fasi di indagine.

Tutti i dati tecnici sono stati messi a disposizione dal committente e sono depositati presso gli enti preposti come allegati alle varie fasi autorizzative.

CANTONIERA CAVALLARA
S.R.L.

PROCEDIMENTO DI V.I.A.
VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E
CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE
PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA
cava Cavallara sita in località
Cavallara del Comune di Ostellato
(FE) frazione San Giovanni



CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	
--------------------------------	--	---

7. INDAGINI GEOGNOSTICHE DIRETTE

7.1. Prove penetrometriche con piezocono (CPTU)

A completamento dello studio litostratigrafico e geotecnico acquisito mediante le prove pregresse, si è reso necessario eseguire una campagna di prove integrative al fine di caratterizzare con maggiore dettaglio alcuni dati meccanici dei terreni che saranno coinvolti nel progetto di approfondimento delle quote di scavo.

Le prove eseguite sono delle prove penetrometriche con piezocono e sono state spinte fino alla profondità di -20 m dal piano di calpestio attuale.

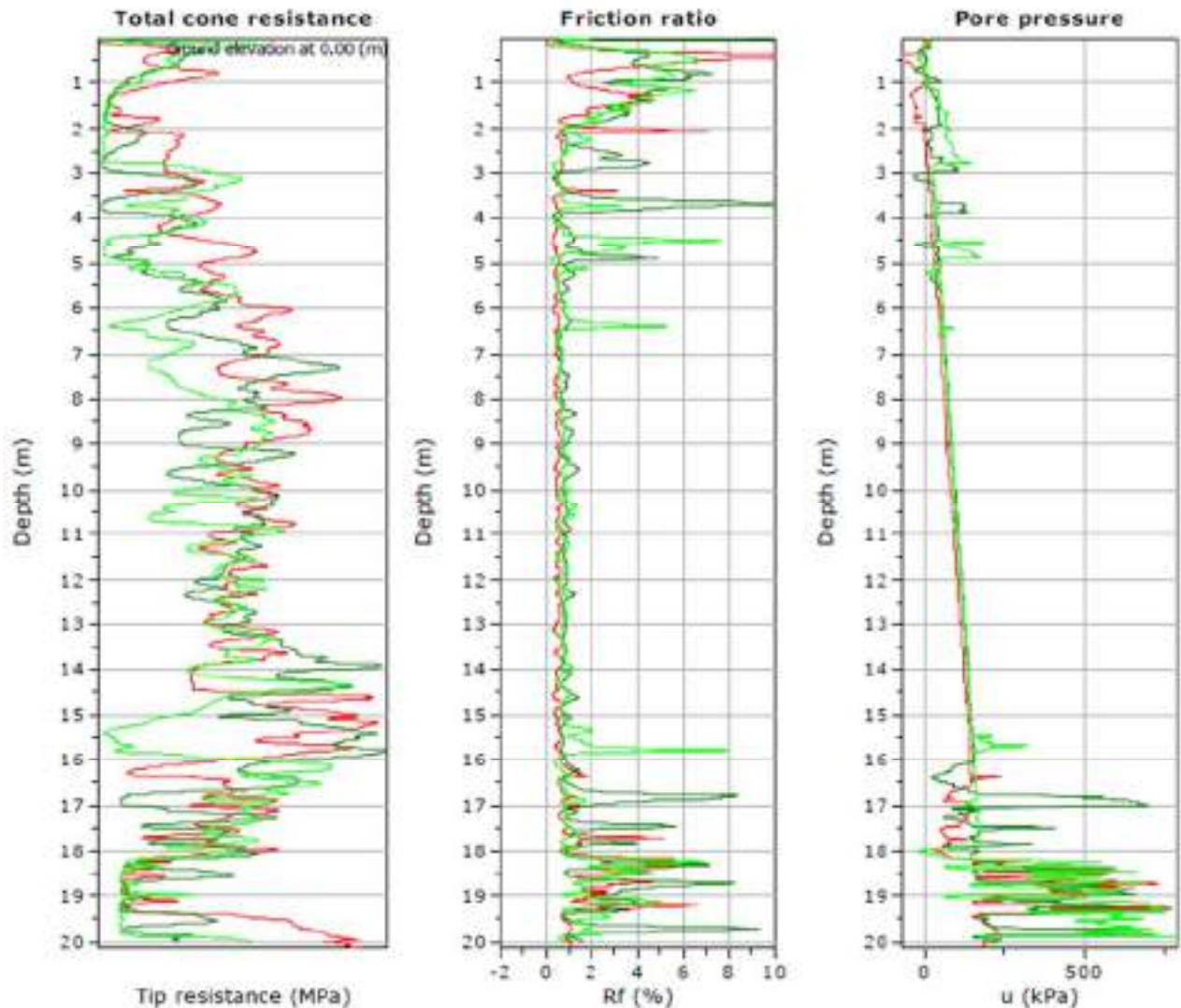
Esse sono state posizionate lungo i bordi della cava esistente, come riportato nella figura seguente.



La CPTU1 è stata eseguita nel 2023, mentre la CPTU2 e la CPTU3 nel 2024.

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	GEO TEA GEOTEA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente
---	--	---

Di seguito riportiamo una sovrapposizione dei vari dati di campagna registrati durante l'esecuzione delle prove.



Nella pagina successiva viene schematizzata la stratigrafia ricostruita con l'elaborazione delle CPTU.

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	 GEOTEA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente
--------------------------------	--	--

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT ₆₀ (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r (%)	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G _s (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.16	0.98	4.12E-06	10.6	36.8	72.9	41.0	29.6	46.5	0.0	0.0	0.8	19.0
1.14		(+3.57E-05)	(+3.0)	(+8.9)	(+12.3)	(+2.4)	(+12.0)	(+12.8)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)
1.14		1.97E-07	4.7	9.0	0.0	0.0	9.5	26.4	55.7	1.7	7.9	19.0
2.10	0.96	(+3.72E-06)	(+2.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+7.3)	(+6.5)	(+20.2)	(+0.6)	(+2.0)	(+0.0)
2.10		0.00E+00	18.6	55.4	50.4	36.0	58.7	70.5	0.0	0.0	0.8	19.0
13.95		(+4.79E-05)	(+5.5)	(+14.0)	(+4.8)	(+1.3)	(+19.5)	(+17.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)
15.95	2.17	1.17E-06	19.4	75.0	44.9	34.4	45.5	91.5	0.0	0.0	0.8	19.0
18.12		(+3.41E-06)	(+4.7)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+17.9)	(+16.3)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)
18.12		5.46E-09	11.2	9.0	0.0	0.0	12.2	75.6	119.2	0.6	2.9	19.0
19.39	1.27	(+1.41E-07)	(+2.7)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+6.0)	(+13.7)	(+58.2)	(+0.3)	(+1.5)	(+0.0)
19.39		5.34E-06	31.5	105.1	50.6	36.0	87.6	134.0	0.0	0.0	0.8	19.0
20.66		(+2.38E-06)	(+4.7)	(+16.1)	(+4.8)	(+1.1)	(+16.8)	(+17.8)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

CPTU1

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT ₆₀ (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r (%)	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G _s (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.11	0.59	5.05E-06	12.4	41.8	93.4	44.9	35.7	54.0	0.0	0.0	0.8	19.0
0.70		(+2.48E-05)	(+2.7)	(+12.2)	(+8.0)	(+1.8)	(+7.2)	(+14.8)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)
0.70		7.35E-08	3.7	0.0	0.0	0.0	6.5	22.4	44.2	1.5	6.7	19.0
3.03	2.33	(+1.88E-06)	(+2.5)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+7.3)	(+11.8)	(+55.0)	(+2.6)	(+12.1)	(+0.0)
3.03		8.31E-07	7.8	34.2	47.7	35.2	16.3	38.2	0.0	0.0	0.8	19.0
5.32		(+1.29E-05)	(+3.5)	(+4.9)	(+3.7)	(+1.1)	(+14.7)	(+10.7)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)
5.32	11.36	0.00E+00	21.8	69.9	52.8	36.6	64.4	89.1	0.0	0.0	0.8	19.0
16.68		(+2.17E-05)	(+6.0)	(+16.0)	(+4.6)	(+1.2)	(+21.4)	(+20.4)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)
16.68		4.12E-08	15.2	0.0	0.0	0.0	22.0	89.8	121.9	0.7	3.1	19.0
20.60	3.32	(+1.48E-06)	(+8.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+21.4)	(+18.5)	(+03.0)	(+0.5)	(+2.3)	(+0.0)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

CPTU2

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT ₆₀ (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r (%)	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G _s (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.08	1.01	2.52E-06	11.7	37.4	88.8	44.4	29.4	54.8	0.0	0.0	0.8	19.0
1.09		(+4.17E-04)	(+3.4)	(+13.8)	(+12.1)	(+1.7)	(+17.6)	(+14.3)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)
1.09		2.05E-08	2.0	9.0	0.0	0.0	3.1	14.5	29.5	0.9	2.9	19.0
2.01	1.72	(+2.01E-06)	(+1.5)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+2.7)	(+7.1)	(+21.7)	(+0.9)	(+4.1)	(+0.0)
2.01		0.00E+00	14.9	53.4	48.1	33.3	40.0	63.9	0.0	0.0	0.8	19.0
15.03		(+1.99E-05)	(+6.0)	(+14.9)	(+3.2)	(+1.5)	(+21.7)	(+21.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)
15.03	0.92	1.14E-08	7.8	0.0	0.0	0.0	5.9	44.2	44.4	0.3	1.3	19.0
15.95		(+0.42E-07)	(+3.9)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+14.2)	(+19.4)	(+49.1)	(+0.3)	(+1.4)	(+0.0)
15.95		3.94E-08	24.0	81.9	48.0	33.3	64.2	103.7	0.0	0.0	0.8	19.0
18.14	2.19	(+1.39E-05)	(+3.8)	(+6.9)	(+3.3)	(+0.9)	(+10.6)	(+9.2)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)
18.14		2.67E-09	9.1	9.0	0.0	0.0	7.1	60.5	83.0	0.4	2.8	19.0
19.30		(+1.94E-07)	(+2.4)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+6.1)	(+13.1)	(+40.2)	(+0.2)	(+1.0)	(+0.0)
19.30	0.10	2.77E-06	21.7	73.6	41.8	33.4	57.6	93.7	0.0	0.0	0.8	19.0
20.90		(+1.18E-06)	(+2.3)	(+7.1)	(+2.4)	(+0.7)	(+7.0)	(+9.8)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)	(+0.0)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

CPTU3

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	 GEOTEA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente
--------------------------------	--	--

7.2. Prove geotecniche di laboratorio

Sul punto di esecuzione della prova penetrometrica CPTU 1 è stato prelevato un campione indisturbato di terreno, che è poi stato sottoposto a prove geotecniche di laboratorio.

Sono state eseguite le seguenti prove:

- analisi granulometrica mediante vagliatura meccanica;
- prova di taglio diretto consolidato e drenato in scatola di Casagrande.

Di seguito i risultati ottenuti.

Id campione	Profondità (m)	% sabbia	Coesione efficace (kPa)	Angolo di resistenza al taglio (°)
CPTU1/C1	4.00-5.00	>80	8.65	34.7

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	
--------------------------------	--	---

8. VERIFICHE DI STABILITÀ

8.1. Cenni teorici e scelta metodologica

Condizioni statiche e pseudostatiche

In conformità alle NTC2018, nelle verifiche a lungo termine viene considerata l'azione del sisma assumendo che:

- il terreno sia assimilabile ad un mezzo rigido perfettamente plastico;
- la rottura sia raggiunta contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento (effettiva o potenziale);
- la resistenza sulla superficie di scorrimento sia espressa in termini di tensioni efficaci, mediante il criterio di Mohr-Coulomb ($\tau_f = c' + \sigma'_n \tan \phi'$, dove σ'_n è la tensione normale efficace sulla superficie di scorrimento), o in termini di tensioni totali, mediante il criterio di Tresca ($\tau_f = c_u$);
- che l'azione dinamica del terremoto sia rappresentata da una forza di inerzia statica equivalente, proporzionale al peso W della massa potenzialmente instabile. Le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = K_h W$ e $F_v = K_v W$, con K_h e K_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale.

Nelle analisi condotte con i metodi pseudostatici, il campo di accelerazione all'interno del pendio è assunto uniforme e le componenti orizzontale e verticale delle forze di inerzia sono applicate nel baricentro della massa potenzialmente in frana, nei metodi globali, o nei baricentri delle singole strisce, nei metodi delle strisce.

Condizioni idrauliche

Vengono considerate due situazioni limite: la prima con la falda al livello massimo (-0.70 m dal piano di campagna) e la seconda con un livello di falda minimo, per valutare la differenza di stabilità della scarpata in condizioni di immersione e parziale emersione. Non viene considerata l'ipotesi rapido svasso in quanto fisicamente non possibile in questo contesto. Le due figure seguenti illustrano le geometrie utilizzate nel calcolo.

Il metodo di calcolo scelto è quello di Morgenstern Price. Il metodo, sviluppato da Morgenstern, Price ed altri autori inglesi dell'Imperial College nella seconda metà degli anni '60, assume la sola ipotesi che il rapporto T/E , tra le forze verticali ed orizzontali di interstriscia, sia esprimibile attraverso una funzione incognita i cui parametri sono ricavati dall'equilibrio globale del corpo in frana. Diviene così possibile definire una soluzione totalmente equilibrata, che rispetta cioè tutte le equazioni di equilibrio del problema.

Il metodo è caratterizzato da una elevata accuratezza ed affidabilità e viene assunto come riferimento in tutti i metodi di altri autori che propongono solo differenze di dettaglio, spesso originate da sole esigenze di semplificazioni di calcolo.

L'implementazione è caratterizzata da un calcolo molto accurato delle forze in gioco che garantisce l'affidabilità numerica e la velocità di esecuzione.

Tutte le verifiche sono state eseguite dapprima in condizioni statiche e successivamente considerando il contributo del sisma (condizioni pseudo statiche).

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	
--	---	---

Analisi di stabilità dei pendii con: MORGENSTERN-PRICE (1965)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	20.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	32.67 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	44.58 m
Ascissa vertice destro superiore xs	78.24 m
Ordinata vertice destro superiore ys	78.21 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	5.0
Numero di celle lungo y	5.0

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	40.55	0.0
3	86.92	18.96
4	148.07	18.96

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	17.5
2	148.0	17.5

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	0.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	0.0

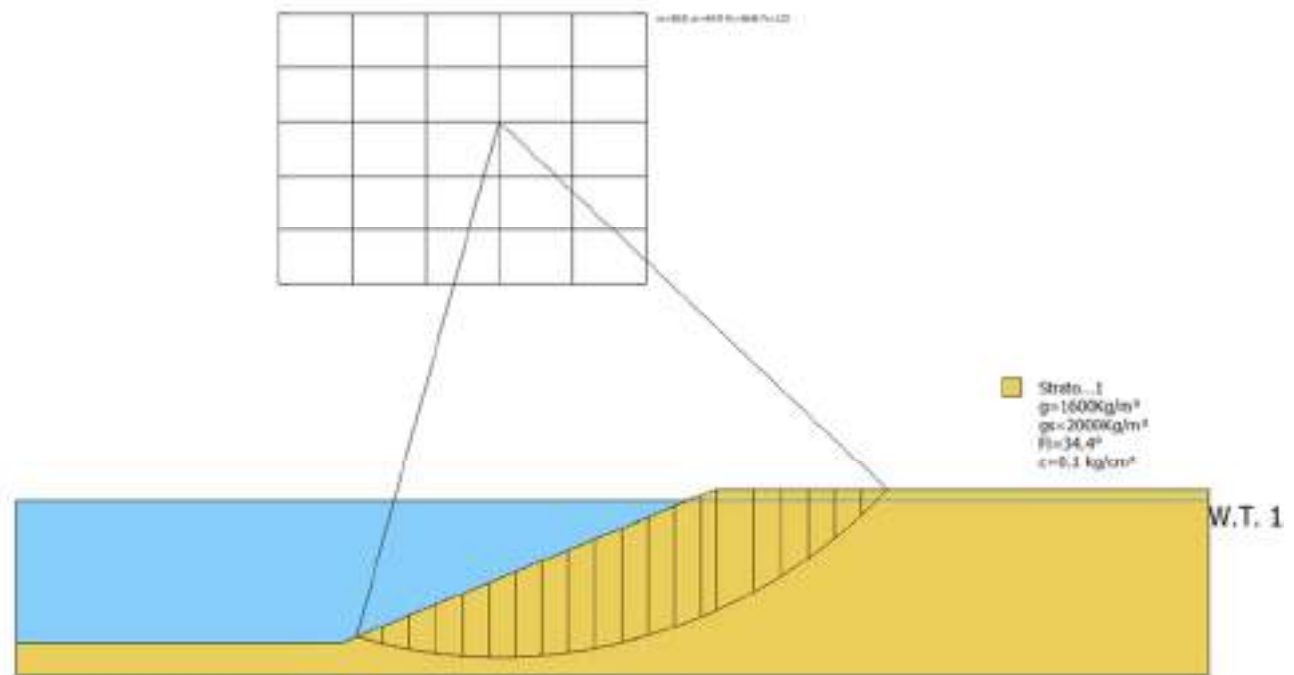
Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

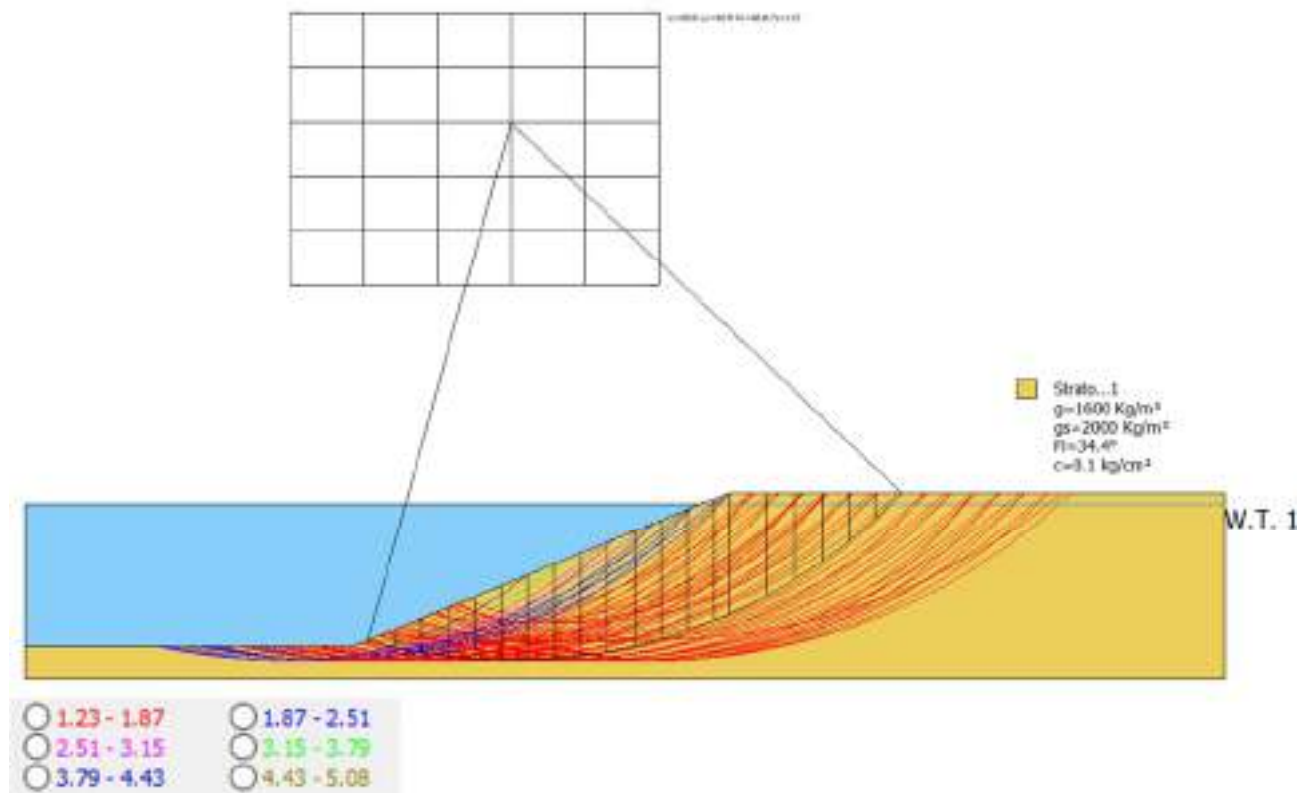
Caratteristiche geotecniche delle sabbie oggetto di coltivazione

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.1	-	34	1600	2000	sabbia	

Profondità massima di scavo 19 m; angolo della scarpata di progetto 22°.



Definizione della superficie critica di progetto (a minor coefficiente di sicurezza).



Superfici complessive calcolate raggruppate secondo intervalli di coefficiente di sicurezza.

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	 GEOTEA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente
--	---	--

Verifica progetto in condizioni statiche

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato

1.43

Ascissa centro superficie

60.01 m

Ordinata centro superficie

64.76 m

Raggio superficie

66.46 m

xc = 60.011 yc = 64.761 Rc = 66.465 **Fs=1.431**

Lambda = 0.263

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	3.3	-14.01	3.4	3647.93
2	3.3	-11.1	3.36	10504.34
3	3.3	-8.22	3.33	16790.75
4	3.3	-5.36	3.31	22521.57
5	3.3	-2.51	3.3	27706.66
6	3.3	0.33	3.3	32351.64
7	3.3	3.18	3.3	36457.96
8	3.3	6.03	3.31	40023.29
9	3.3	8.89	3.34	43040.94
10	3.3	11.78	3.37	45500.08
11	3.3	14.7	3.41	47384.94
12	3.3	17.66	3.46	48674.74
13	3.3	20.67	3.52	498623.98
14	1.81	23.03	1.97	53501.71
15	4.78	26.18	5.33	129674.6
16	3.3	30.12	3.81	75169.28
17	3.3	33.46	3.95	61719.45
18	3.3	36.94	4.12	46411.21
19	3.3	40.59	4.34	28988.41
20	3.3	44.45	4.62	9097.94

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	1519.42	5777.09	0.0	0.0	666.24	2153.93	0.0
2	4241.54	16127.02	1519.42	5777.09	5643.67	4038.14	0.0
3	7744.28	29444.99	4241.54	16127.02	11247.52	6167.54	0.0
4	11693.14	44459.2	7744.28	29444.99	17089.66	8393.14	0.0
5	15820.19	60150.89	11693.14	44459.2	22869.99	10599.8	0.0
6	19909.27	75698.25	15820.19	60150.89	28352.4	12696.98	0.0
7	23785.72	90437.14	19909.27	75698.25	33348.0	14612.32	0.0
8	27308.89	103832.8	23785.72	90437.14	37704.81	16287.71	0.0
9	30366.87	115459.7	27308.89	103832.8	41299.69	17676.18	0.0
10	32872.85	124987.9	30366.87	115459.7	44033.81	18740.15	0.0
11	34762.43	132172.4	32872.85	124987.9	45829.26	19450.23	0.0
12	35992.49	136849.3	34762.43	132172.4	46627.64	19784.66	0.0
13	31653.46	120351.6	35992.49	136849.3	37936.28	16492.83	49192.93
14	26992.56	102630.1	31653.46	120351.6	19235.96	8464.29	25174.04
15	20241.37	76960.95	26992.56	102630.1	45074.64	20234.62	59258.97
16	14124.94	53705.29	20241.37	76960.95	19638.8	9648.51	33739.12
17	8299.03	31554.26	14124.94	53705.29	11754.87	6708.69	27014.2
18	3390.08	12889.64	8299.03	31554.26	5577.15	4440.3	19360.07
19	201.12	764.68	3390.08	12889.64	2523.51	3392.22	10648.68
20	-202.95	-771.63	201.12	764.68	4721.87	4388.57	703.44

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	 GEOTEIA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente
--------------------------------	--	---

Verifica progetto in condizioni pseudo statiche

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato 1.23
 Ascissa centro superficie 60.01 m
 Ordinata centro superficie 64.76 m
 Raggio superficie 66.46 m
 xc = 60.011 yc = 64.761 Rc = 66.465 **Fs=1.232**
 Lambda = 0.337

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	3.3	-14.01	3.4	3647.93
2	3.3	-11.1	3.36	10504.34
3	3.3	-8.22	3.33	16790.75
4	3.3	-5.36	3.31	22521.57
5	3.3	-2.51	3.3	27706.66
6	3.3	0.33	3.3	32351.64
7	3.3	3.18	3.3	36457.96
8	3.3	6.03	3.31	40023.29
9	3.3	8.89	3.34	43040.94
10	3.3	11.78	3.37	45500.08
11	3.3	14.7	3.41	47384.94
12	3.3	17.66	3.46	48674.74
13	3.3	20.67	3.52	98623.98
14	1.81	23.03	1.97	53501.71
15	4.78	26.18	5.33	129674.6
16	3.3	30.12	3.81	75169.28
17	3.3	33.46	3.95	61719.45
18	3.3	36.94	4.12	46411.21
19	3.3	40.59	4.34	28988.41
20	3.3	44.45	4.62	9097.94

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	2514.82	7471.54	0.0	0.0	-500.79	2065.04	0.0
2	6805.91	20220.36	2514.82	7471.54	4207.66	4219.7	0.0
3	12185.05	36201.77	6805.91	20220.36	9853.54	6814.99	0.0
4	18131.12	53867.55	12185.05	36201.77	15902.77	9603.09	0.0
5	24243.66	72027.89	18131.12	53867.55	21964.5	12402.68	0.0
6	30211.93	89759.63	24243.66	72027.89	27745.76	15077.93	0.0
7	35794.25	106344.7	30211.93	89759.63	33022.11	17524.85	0.0
8	40803.5	121227.2	35794.25	106344.7	37620.12	19663.18	0.0
9	45097.16	133983.7	40803.5	121227.2	41404.6	21430.54	0.0
10	48570.52	144303.0	45097.16	133983.7	44271.25	22778.95	0.0
11	51151.55	151971.2	48570.52	144303.0	46141.5	23672.54	0.0
12	52798.55	156864.5	51151.55	151971.2	46959.82	24086.31	0.0
13	45805.68	136088.7	52798.55	156864.5	39801.94	20814.52	49192.93
14	38596.64	114670.6	45805.68	136088.7	20424.78	10789.37	25174.04
15	28501.56	84678.12	38596.64	114670.6	46245.21	25018.87	59258.97
16	19609.03	58258.4	28501.56	84678.12	20042.24	11858.13	33739.12
17	11317.18	33623.34	19609.03	58258.4	11789.48	8131.18	27014.2
18	4468.51	13275.95	11317.18	33623.34	5379.64	5279.73	19360.07
19	124.03	368.49	4468.51	13275.95	2272.97	3987.36	10648.68
20	-331.85	-985.93	124.03	368.49	4640.07	5270.75	703.44

Dove:

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Ei, Ei-1: Forze agenti normalmente alle facce del concio; Xi, Xi-1: Forze di tipo tagliante applicate sulle facce laterali.

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	 GEOTEA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente
--------------------------------	--	--

9. CONCLUSIONI

Lo studio geologico e geotecnico eseguito per determinare l'assetto litostratigrafico e geotecnico del sottosuolo che caratterizza l'area interessata dal progetto di coltivazione e sistemazione della cava Cavallara, ha permesso di verificare la stabilità dei fronti di scavo finali, con realizzazione di una unica scarpata con pendenza di 22° fino alla profondità massima di scavo fissata a 19 m.

Per la definizione del modello geologico di riferimento sono stati recepiti tutti i dati e gli studi eseguiti per il progetto originale, integrati con una campagna geognostica aggiuntiva.

Il lavoro è stato dunque organizzato come segue:

- Raccolta dati esistenti da studi precedenti, allegati alle varie fasi autorizzative della cava;
- Esecuzione di tre prove CPTU (prove penetrometriche con piezocono);
- Prove di laboratorio geotecnico;
- Esecuzione di prova sismica MASW- HVSR.

Tutte le cartografie di riferimento di cui sono stati riportati degli estratti sono contenuti in originale negli strumenti di pianificazione consultati (PSC Comune di Ostellato, PIAE Provincia di Ferrara, PAE Comune di Ostellato).

I risultati delle analisi di stabilità eseguite lungo la sezione tipo hanno dato coefficienti di sicurezza compatibili con le condizioni di stabilità attese dal progetto di coltivazione proposto.

Da un punto di vista geologico e geotecnico non vi sono pertanto elementi ostativi alla realizzazione della variante proposta.

San Lazzaro di Savena (BO), 08/11/2024.

Dott. Geol Alessandro Zanna



CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	
--	---	---

Uso e limitazioni della relazione

La prestazione è stata svolta con la professionalità e la cura di un geologo geotecnico; inoltre il lavoro è stato realizzato tenendo presente i limiti e lo scopo per i quali è stato richiesto dal cliente, nonché le dimensioni e l'importanza dell'opera in progetto e le risorse economiche e umane disponibili, concordate tra GEOTEA e il cliente.

Rimane inteso che questa relazione dovrà essere usata unicamente per lo scopo per cui è stata redatta.

Nel caso dovessero cambiare gli scopi per i quali la relazione verrà usata, o se saranno apportate sostanziali modifiche al sito di indagine, nonché variazioni alla tipologia di progetto o di uso del sito stesso, questa relazione non dovrà più essere considerata valida e ogni ulteriore suo uso da parte del cliente, senza revisioni e verifiche da parte di GEOTEA, sarà unicamente a rischio del Cliente.

I dati geologici e geotecnici messi a disposizione sono basati unicamente sulla valutazione delle prove in sito e di laboratorio eseguite sui campioni provenienti dai punti di indagine.

Queste informazioni non possono essere estrapolate a nessuna area al di fuori dei punti di indagine così come specificati in questa relazione. Alla luce delle informazioni in possesso di GEOTEA i dati geologici e geotecnici ottenuti sono sufficienti per l'uso di progetto delle strutture previste, ma possono non esserlo per altre strutture diverse da quelle per cui sono state studiate.

L'interpretazione delle condizioni geologiche e geotecniche del sottosuolo sono basate sulle osservazioni effettuate sul campo nei punti di indagine che sono stati scelti per ricostruire una rappresentazione significativa delle caratteristiche del sottosuolo. GEOTEA ha analizzato i dati di campagna e formulato un giudizio professionale per esprimere una opinione delle condizioni del sottosuolo nel sito al momento dell'indagine.

Le condizioni del sottosuolo possono tuttavia differire, tra i punti di indagine, da quelli indicati in questa relazione.

Questa relazione sulle indagini geologiche e geotecniche è basata sulle condizioni esistenti al momento dell'esecuzione delle indagini e dello studio basato su di esse e l'opinione sulle condizioni geologiche e geotecniche del sottosuolo è legata ai dati ricavati negli specifici punti di indagine.

I risultati e le conclusioni della nostra relazione possono essere influenzati da cambiamenti dovuti al passare del tempo, da azioni umane quali costruzioni sul luogo di indagine o nelle sue adiacenze, o da eventi naturali quali allagamenti, terremoti, instabilità del versante o fluttuazioni del livello di falda acquifera.

L'effettiva rispondenza di quanto riscontrato durante l'indagine dovrà essere verificato da un tecnico geotecnico durante la realizzazione dell'opera.

GEOTEA dovrà essere avvisata se verranno riscontrate differenze rispetto a quanto contenuto in questa relazione.

Durante la realizzazione dell'opera e/o attività di scavo dovranno essere messi in atto monitoraggi, prove e confronti in numero sufficiente per confermare che le condizioni del sottosuolo realmente incontrate siano coerenti con quanto descritto in questa relazione e per poter fornire raccomandazioni e cambiamenti al progetto nel caso di differenze sostanziali rispetto a quanto previsto.

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	
---	--	---

Use and constraints of the report

The Services were performed with the skill and care ordinarily exercised by a geological and geotechnical specialist. Further, and in particular, the Services were performed by taking into account the limits of the scope of works required by the Client and the resources, including financial and manpower resources, agreed between GEOTEA and the Client.

It is GEOTEA's understanding that this report is to be used for the purpose described.

Should the purpose for which the report is used, and/or should the Client's proposed development or use of the site change (including in particular any change in any design and/or specification relating to the proposed use or development of the site), this report may no longer be valid or appropriate and any further use of or reliance upon the report in those circumstances by the Client without GEOTEA's review and advice shall be at the Client's sole and own risk.

The geological and geotechnical information provided are based solely on evaluations of laboratory and in-situ tests at determined sample test locations. That information cannot be extrapolated to any area outside those locations unless specifically so stated in the report. In the light of the information available to GEOTEA, the geological and geotechnical information are considered appropriate for use in relation to the geotechnical design of the structures addressed in the report, but they may not be appropriate for the design of other structures.

This geological and geotechnical soil investigation report is based on the existing conditions when conducting the study and our opinion concerning the ground conditions is strictly based on geotechnical data collected at specific test locations. The actual geological and geotechnical subsurface conditions may differ, between sampling locations, from those indicated in this report.

The findings and conclusions of our reports may be affected by the passage of time, by manmade events such as construction on or adjacent to the site, or by natural events such as floods, earthquakes, and slope instability or groundwater fluctuations

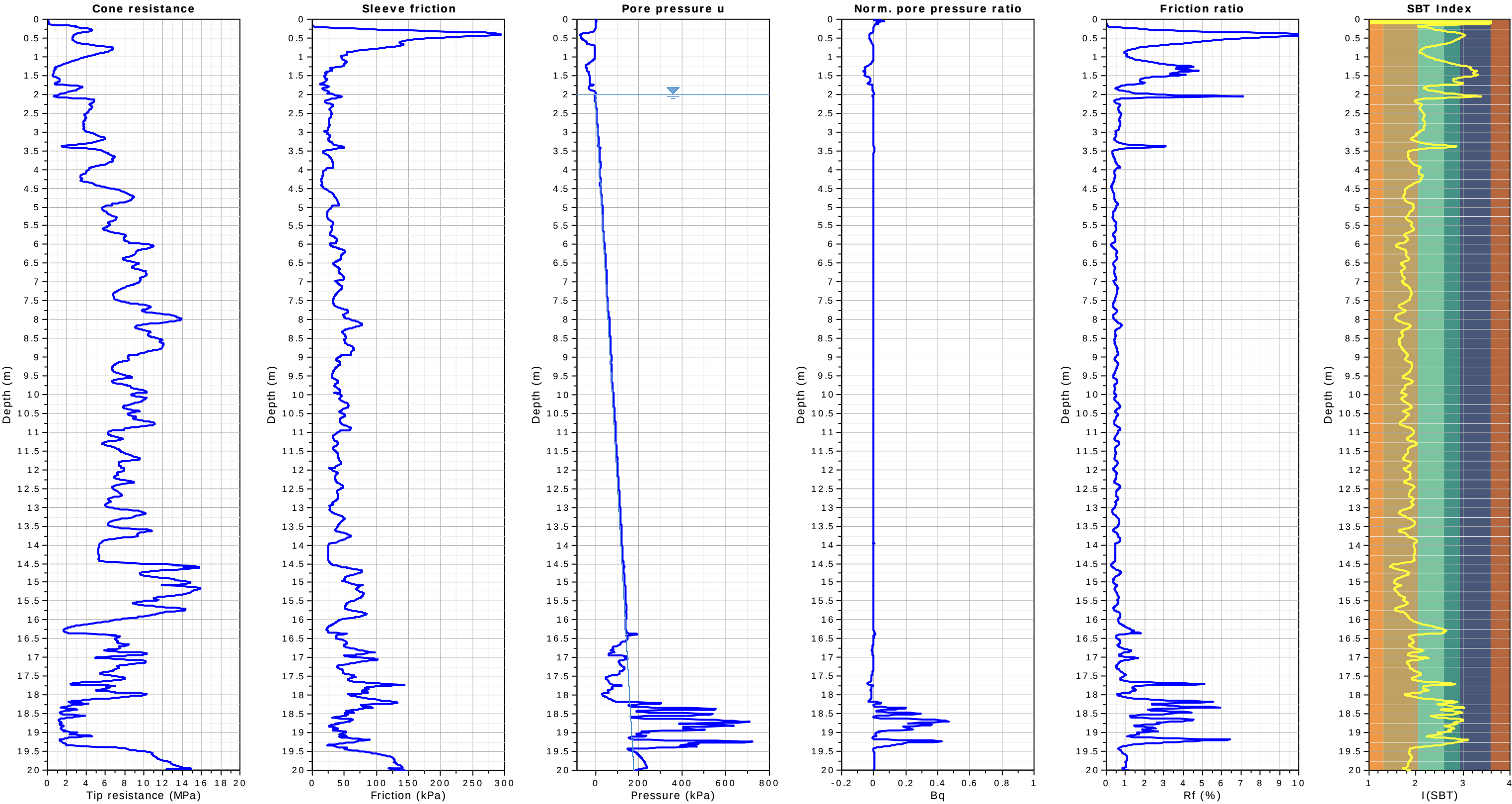
Interpretations of subsurface conditions are based on field observations at the test locations that were spaced to capture a 'representative' snap shot of subsurface conditions. The site exploration identifies subsurface conditions at the points of sampling only.

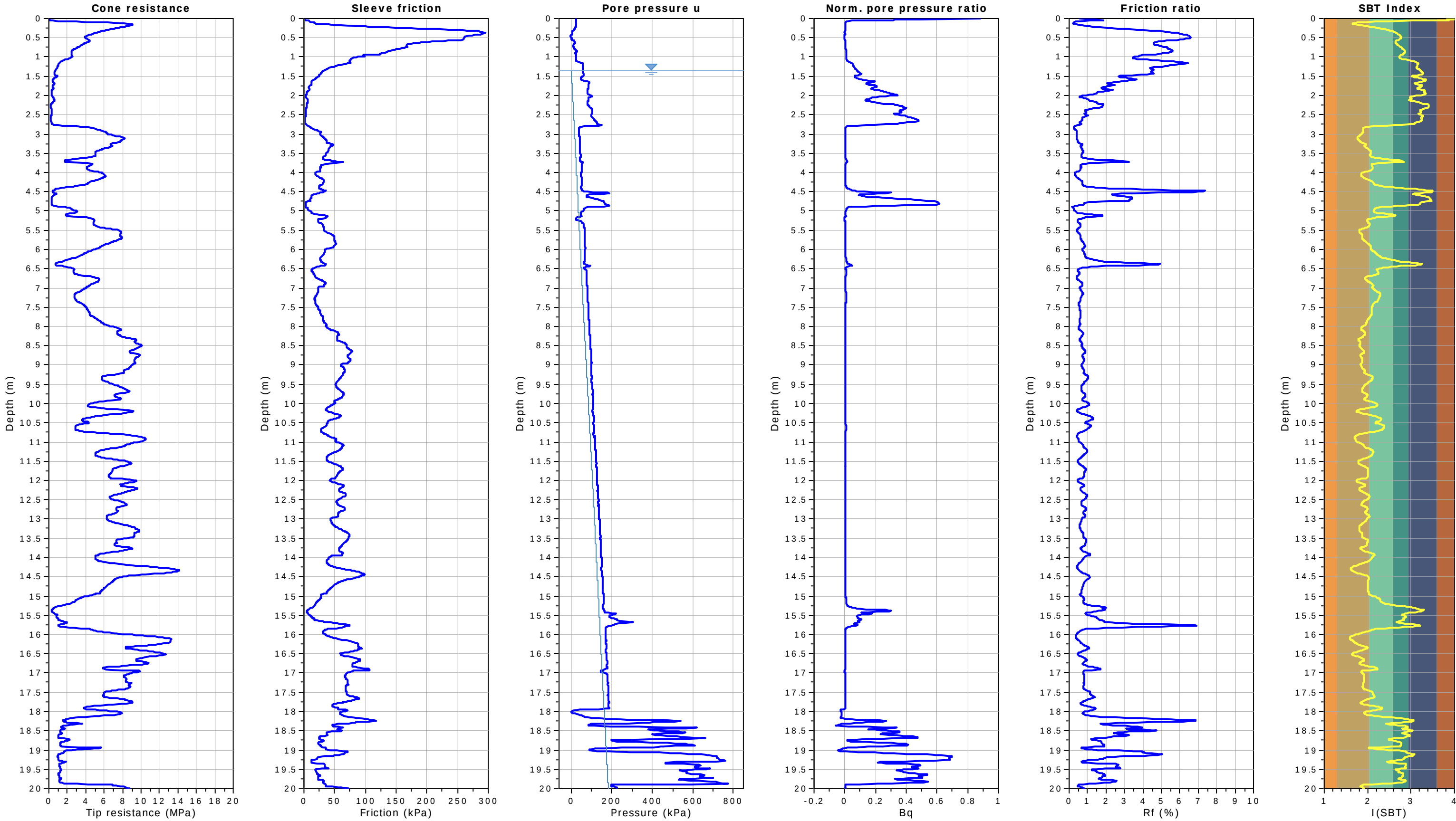
GEOTEA reviews the field data and then applies a professional judgment to formulate an opinion of subsurface conditions throughout the site.

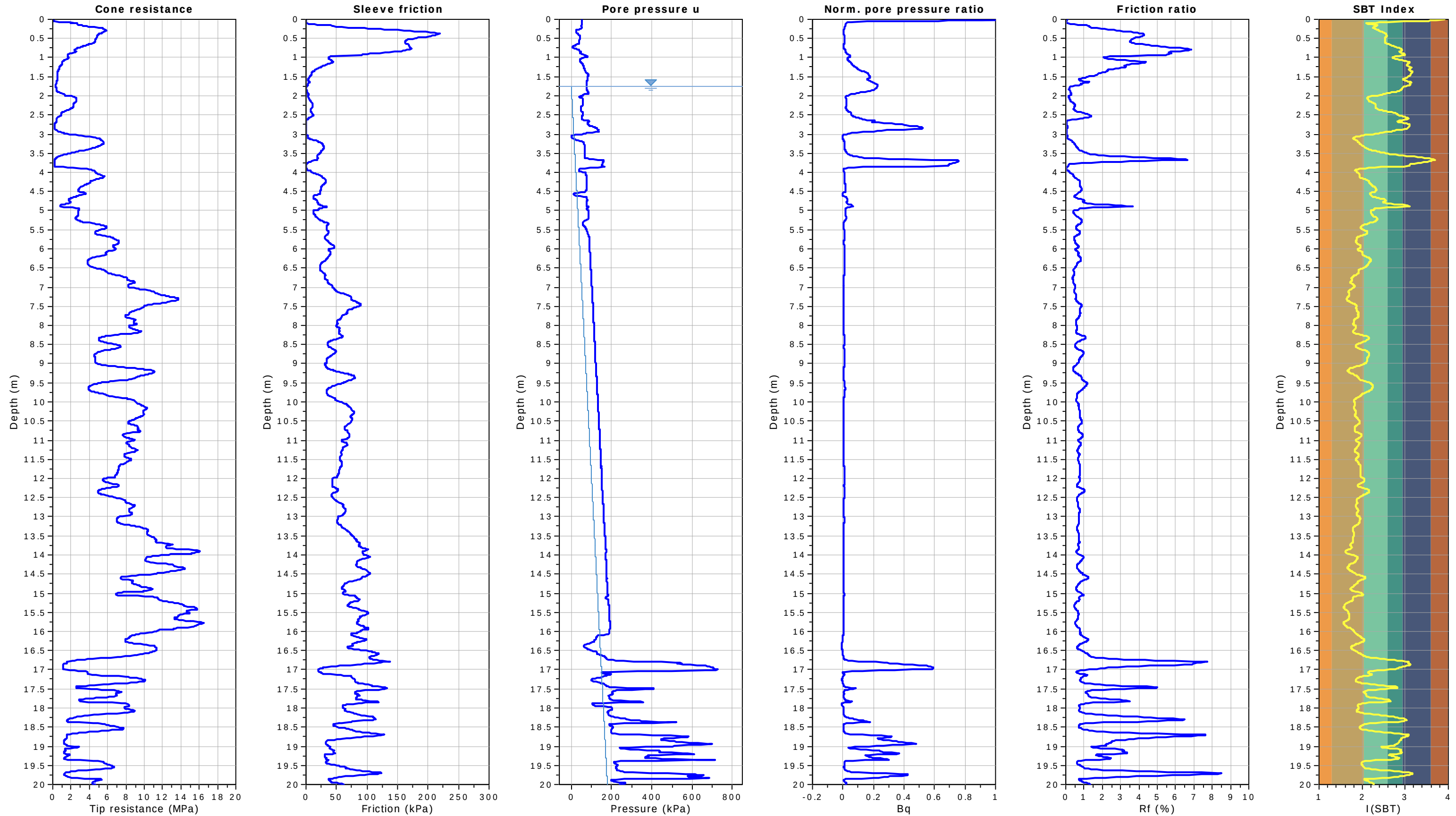
The subsurface ground conditions should be verified by a qualified geotechnical technician during construction. GEOTEA should be notified if any discrepancies to this report or unusual conditions are found during construction. Sufficient monitoring, testing and consultation should be provided during construction and/or excavation activities, to confirm that the conditions encountered are consistent with those indicated by the investigation results in this report and to provide recommendations for design changes in case the conditions revealed during the actual work differ from those anticipated. In addition, monitoring, testing and consultation should be completed by GEOTEA to evaluate whether or not earthwork activities are completed in accordance with our recommendations.

CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.	PROCEDIMENTO DI V.I.A. VOLONTARIA, VARIANTE P.A.E. E CONTESTUALE AUTORIZZAZIONE PER ATTIVITÀ ESTRATTIVA cava Cavallara sita in località Cavallara del Comune di Ostellato (FE) frazione San Giovanni	
---	--	---

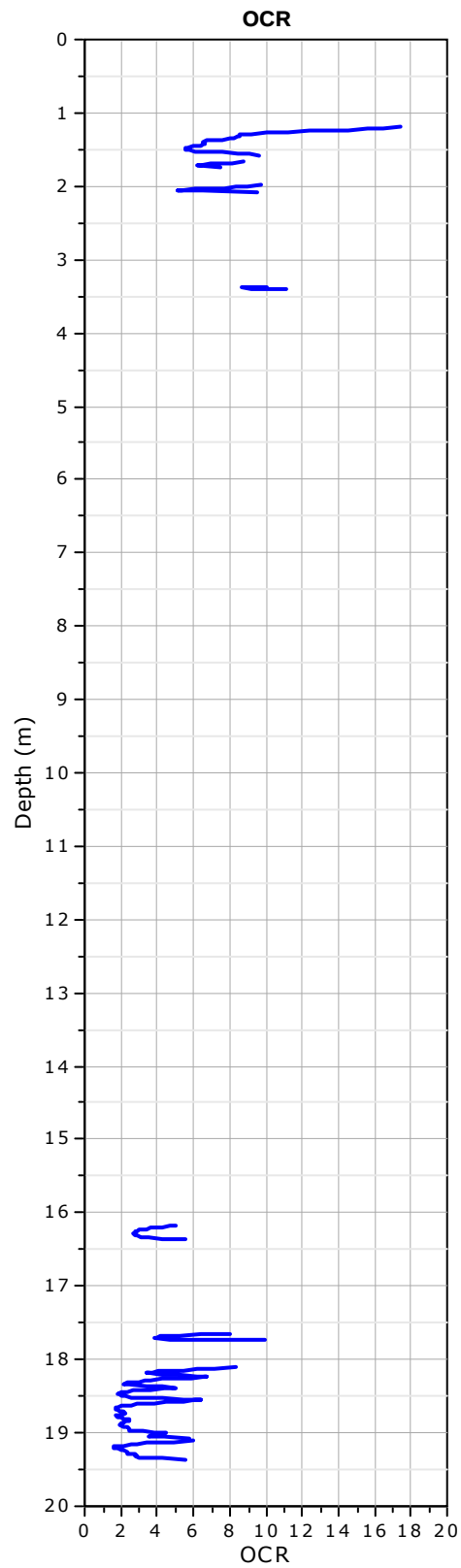
ALLEGATI





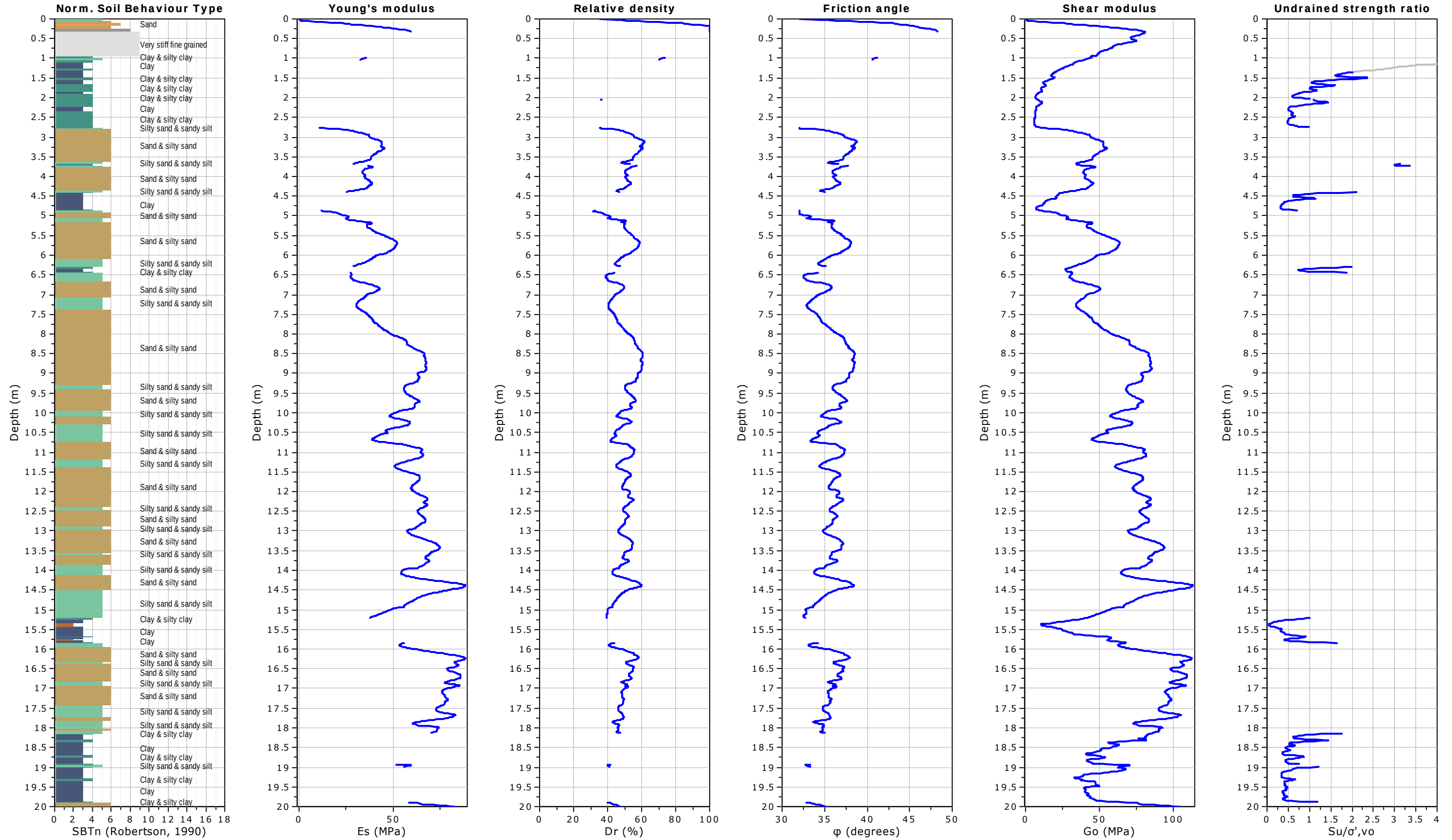


Location: OSTELLATA (FE) - CAVA CAVALLARA



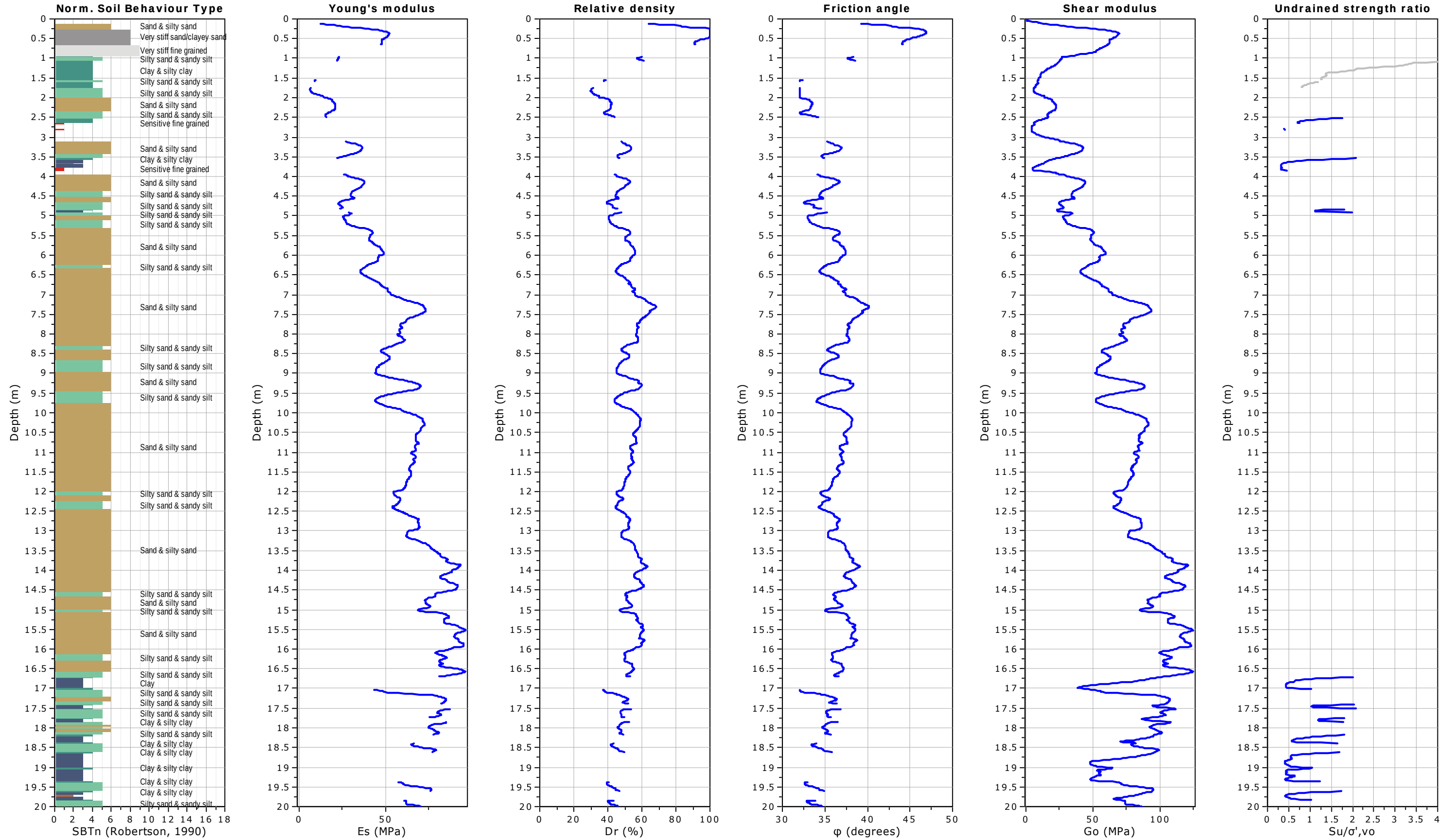
Project: CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.

Location: CANTONIERA CAVALLARA - OSTELLATO (FE)



Project: CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.

Location: CANTONIERA CAVALLARA - OSTELLATO (FE)



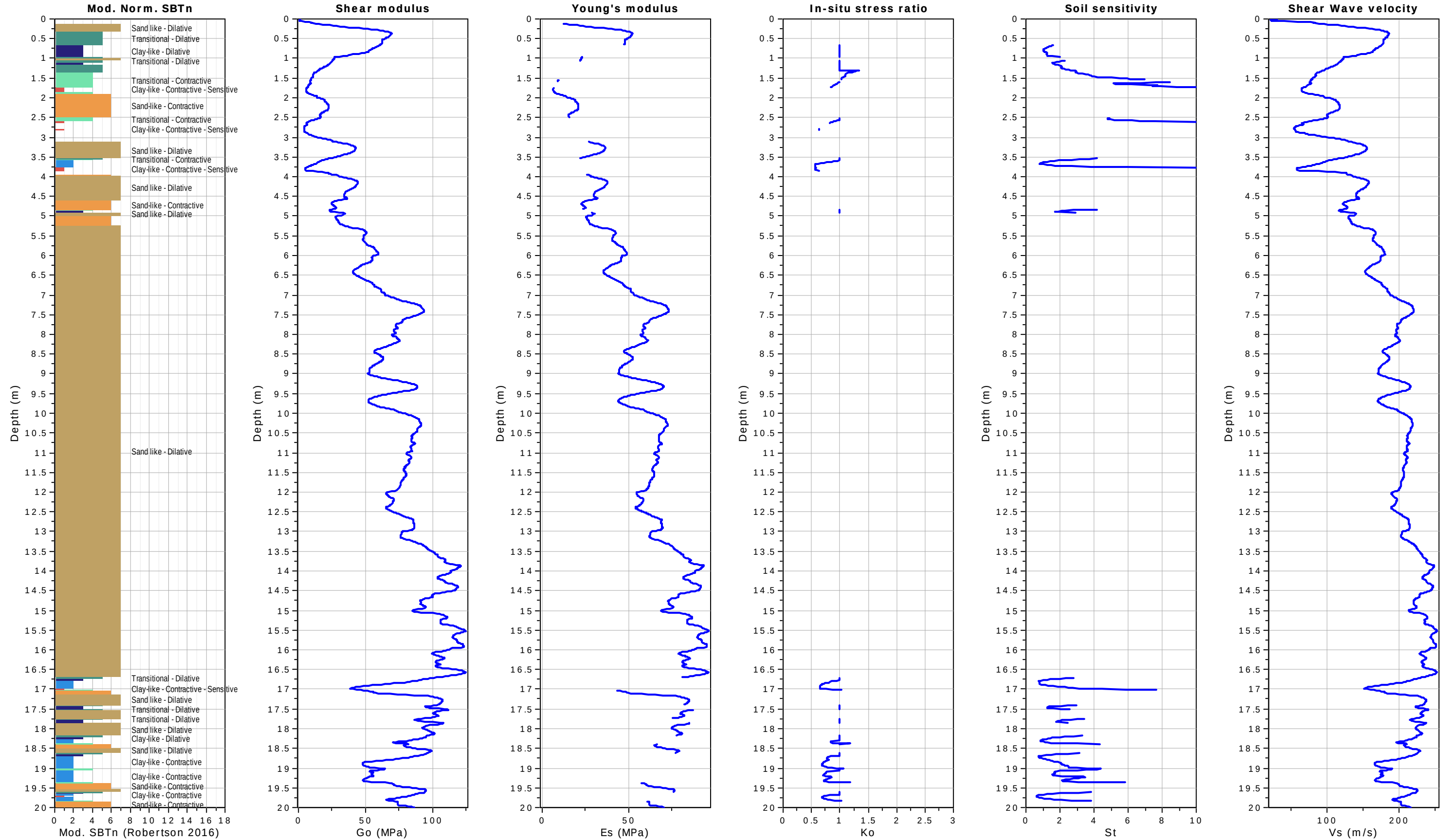
Project: CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.

Location: CANTONIERA CAVALLARA - OSTELLATO (FE)



Project: CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.

Location: CANTONIERA CAVALLARA - OSTELLATO (FE)



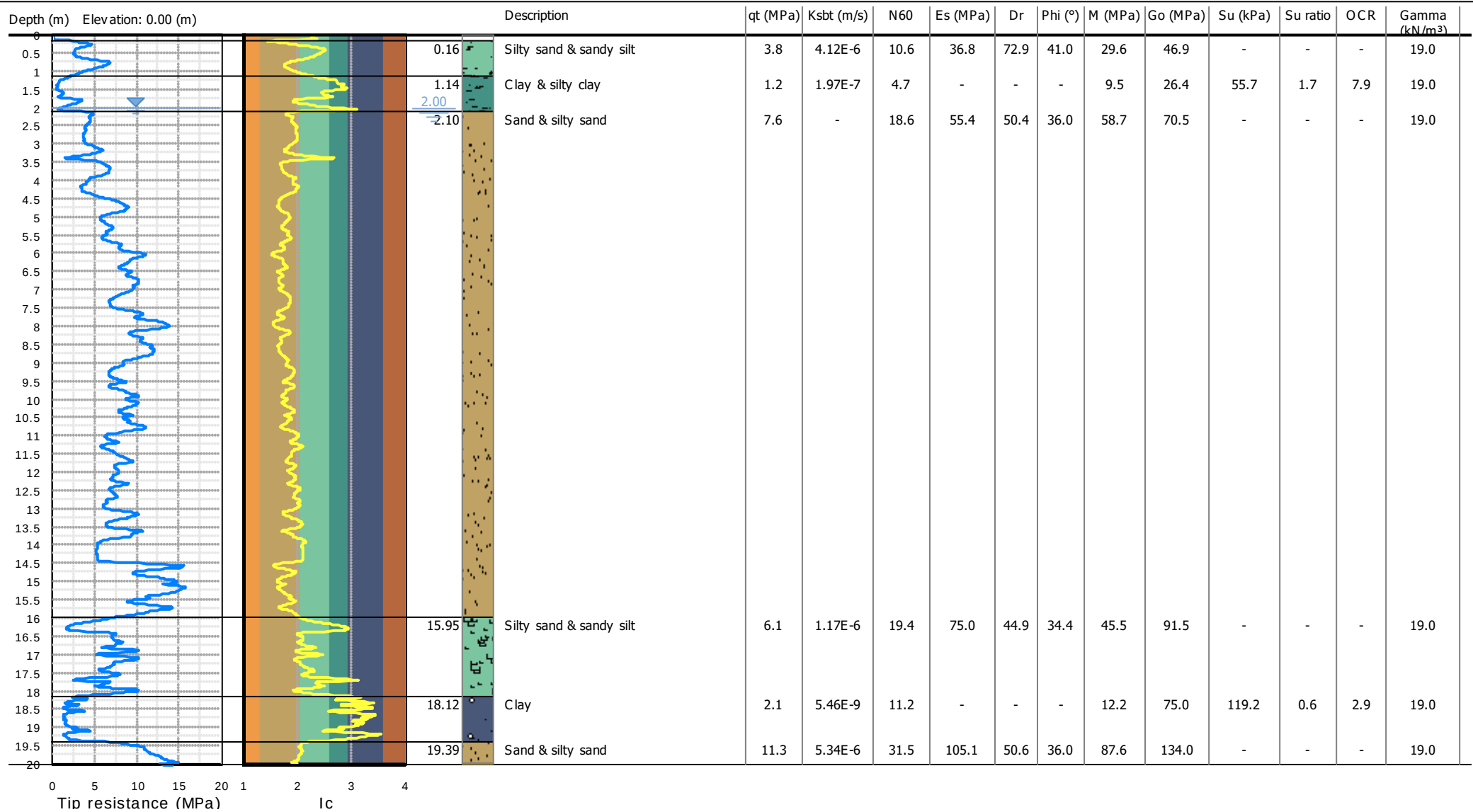
GEOTEA S.R.L.

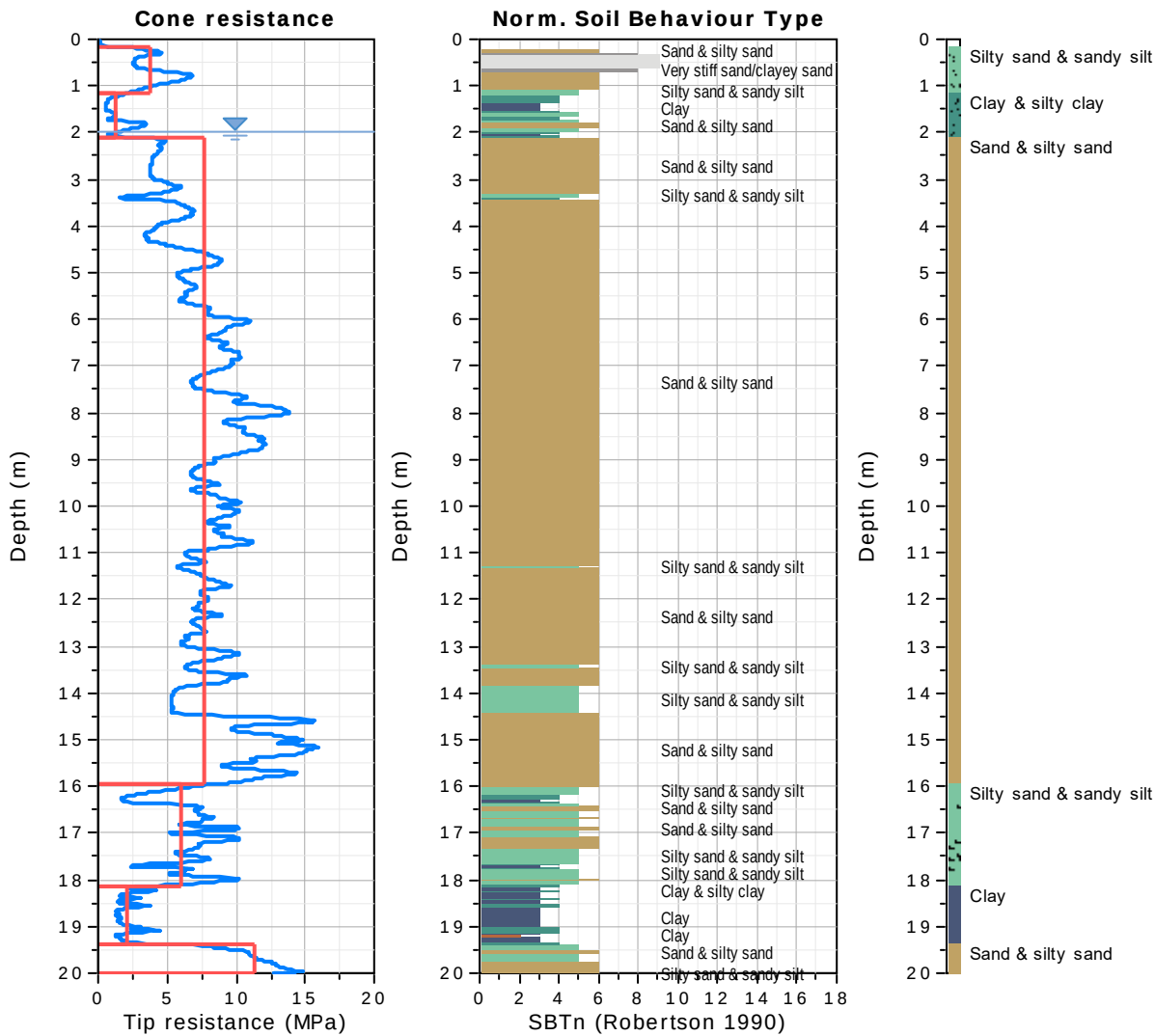
VIA DELLA TECNICA 57/A4
40068 SAN LAZZARO DI SAVENA - BO
+39 051 6255377

Project: 24.1731_CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.
Location: OSTELLATO (FE) - CAVA CAVALLARA

CPT: cptu1

Total depth: 20.13 m, Date: 29/08/2024
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type:
Cone Operator:





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: Layer_1 **Start depth:** 0.16 (m), **End depth:** 1.14 (m)

Description: Silty sand & sandy silt

Basic results

Total cone resistance: 3.77 ± 1.46 MPa

Sleeve friction: 77.36 ± 90.71 kPa

Ic: 2.04 ± 0.28

σ_v' : 0.00 ± 0.00 kPa

SBT_n: 5

SBT_n description: Silty sand & sandy silt

Schneider zone: Zone 1a

Schneider desc.: Silts and low Ir clays

Estimation results

Permeability: $4.12\text{E-}06 \pm 3.57\text{E-}05$ m/s

N₆₀: 10.58 ± 3.01 blows

Es: 36.82 ± 8.94 MPa

Dr (%): 72.90 ± 12.47

ϕ (degrees): 41.04 ± 2.35 °

Unit weight: 19.00 ± 0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 29.64 ± 11.97 MPa

Go: 46.90 ± 12.57 MPa

Su: 0.00 ± 0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ± 0.00

O.C.R.: 0.00 ± 0.00

GEOTEA S.R.L.

VIA DELLA TECNICA 57/A4
40068 SAN LAZZARO DI SAVENA - BO
+39 051 6255377

Project: 24.1731_CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.
Location: OSTELLATO (FE) - CAVA CAVALLARA

CPT: cptu1

Total depth: 20.13 m, Date: 29/08/2024
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type:
Cone Operator:

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r (%)	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G _o (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m³)
0.16 1.14	0.98	4.12E-06 (±3.57E-05)	10.6 (±3.0)	36.8 (±8.9)	72.9 (±12.5)	41.0 (±2.4)	29.6 (±12.0)	46.9 (±12.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.0)
1.14 2.10		1.97E-07 (±3.72E-06)	4.7 (±2.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	9.5 (±7.3)	26.4 (±6.5)	55.7 (±20.2)	1.7 (±0.6)	7.9 (±2.8)	19.0 (±0.0)
2.10 15.95	13.85	0.00E+00 (±4.76E-05)	18.6 (±5.5)	55.4 (±14.0)	50.4 (±4.8)	36.0 (±1.3)	58.7 (±19.5)	70.5 (±17.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.0)
15.95 18.12		1.17E-06 (±3.42E-06)	19.4 (±4.7)	75.0 (±9.4)	44.9 (±2.8)	34.4 (±0.8)	45.5 (±17.9)	91.5 (±16.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.0)
18.12 19.39	1.27	5.46E-09 (±1.42E-07)	11.2 (±2.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	12.2 (±8.8)	75.0 (±13.7)	119.2 (±58.2)	0.6 (±0.3)	2.9 (±1.5)	19.0 (±0.0)
19.39 20.00		5.34E-06 (±2.35E-06)	31.5 (±4.7)	105.1 (±14.1)	50.6 (±4.0)	36.0 (±1.1)	87.6 (±16.0)	134.0 (±17.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.0)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

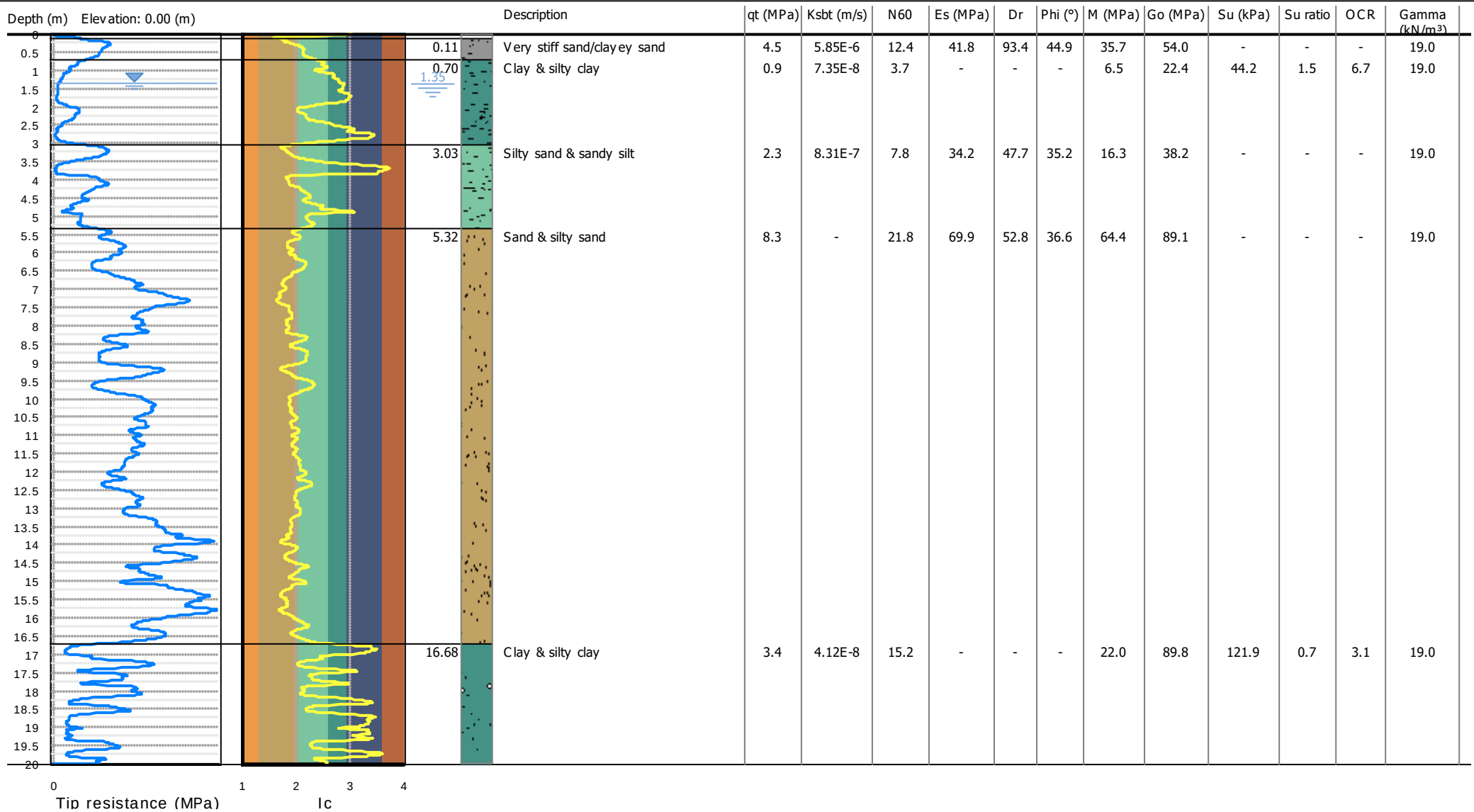
GEOTEA S.R.L.

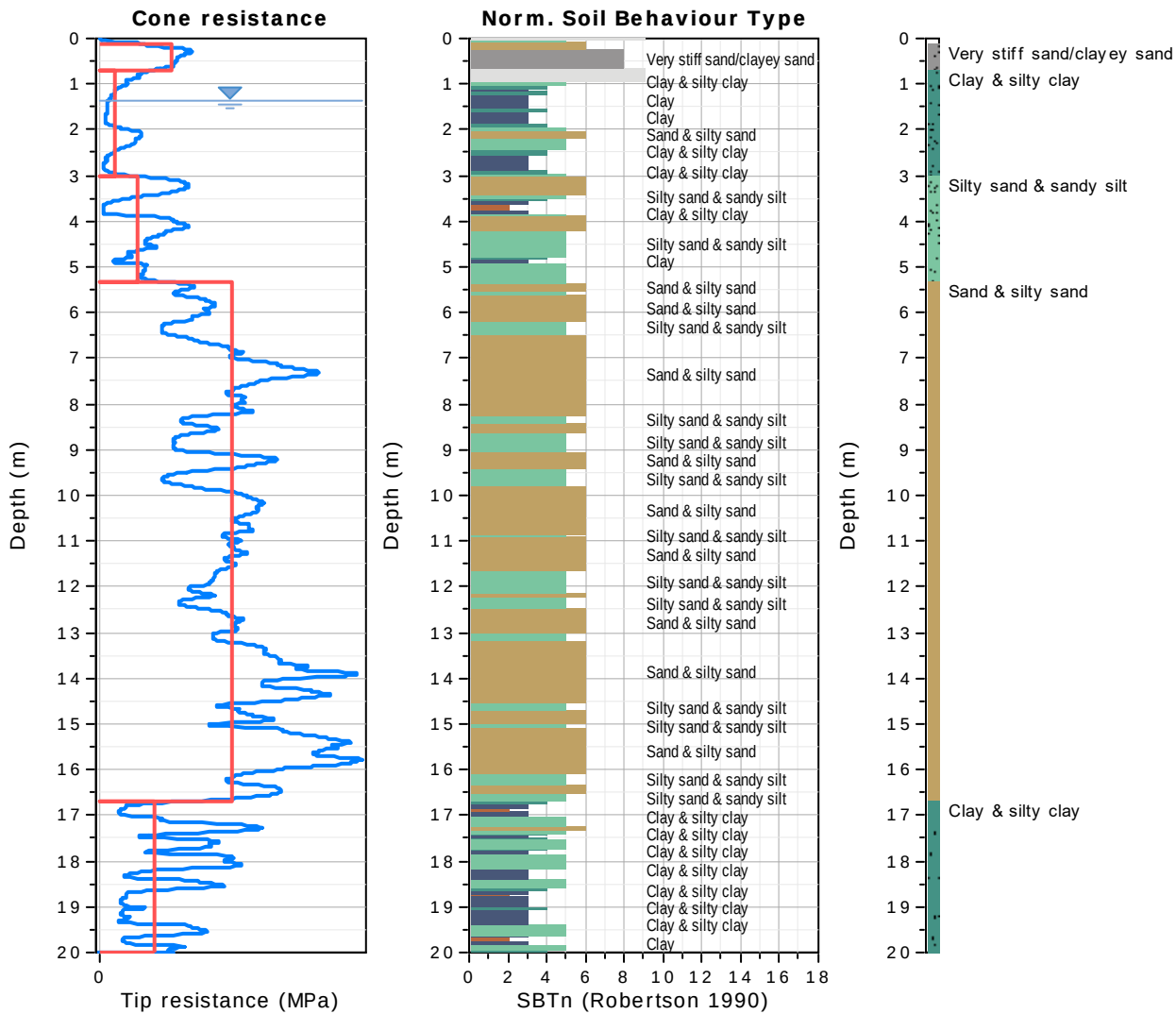
VIA DELLA TECNICA 57/A4
40068 SAN LAZZARO DI SAVENA - BO
+39 051 6255377

Project: 24.1731_CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.
Location: OSTELLATO (FE) - CAVA CAVALLARA

CPT: cptu3

Total depth: 20.01 m, Date: 28/08/2024
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type:
Cone Operator:





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: Layer_1 **Start depth:** 0.11 (m), **End depth:** 0.70 (m)

Description: Very stiff sand/clayey sand

Basic results

Total cone resistance: 4.49 ± 0.87 MPa

Sleeve friction: 135.09 ± 66.02 kPa

Ic: 2.03 ± 0.18

σ_v' : 0.00 ± 0.00 kPa

SBT_n: 8

SBT_n description: Very stiff sand/clayey sand

Schneider zone: Zone 1a

Schneider desc.: Silts and low Ir clays

Estimation results

Permeability: $5.85E-06 \pm 2.45E-05$ m/s

N₆₀: 12.39 ± 2.72 blows

Es: 41.82 ± 12.24 MPa

Dr (%): 93.43 ± 8.91

ϕ (degrees): 44.87 ± 1.79 °

Unit weight: 19.00 ± 0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 35.70 ± 7.22 MPa

Go: 53.98 ± 14.83 MPa

Su: 0.00 ± 0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ± 0.00

O.C.R.: 0.00 ± 0.00

GEOTEA S.R.L.

VIA DELLA TECNICA 57/A4
40068 SAN LAZZARO DI SAVENA - BO
+39 051 6255377

Project: 24.1731_CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.
Location: OSTELLATO (FE) - CAVA CAVALLARA

CPT: cptu3

Total depth: 20.01 m, Date: 28/08/2024
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type:
Cone Operator:

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r (%)	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G _o (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m³)
0.11	0.59	5.85E-06	12.4	41.8	93.4	44.9	35.7	54.0	0.0	0.0	0.0	19.0
0.70		(±2.45E-05)	(±2.7)	(±12.2)	(±8.9)	(±1.8)	(±7.2)	(±14.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
0.70	2.33	7.35E-08	3.7	0.0	0.0	0.0	6.5	22.4	44.2	1.5	6.7	19.0
3.03		(±1.80E-06)	(±2.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±7.3)	(±11.6)	(±55.0)	(±2.6)	(±12.1)	(±0.0)
3.03	2.29	8.31E-07	7.8	34.2	47.7	35.2	16.3	38.2	0.0	0.0	0.0	19.0
5.32		(±1.29E-05)	(±3.5)	(±4.9)	(±3.7)	(±1.1)	(±14.7)	(±10.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
5.32	11.36	0.00E+00	21.8	69.9	52.8	36.6	64.4	89.1	0.0	0.0	0.0	19.0
16.68		(±2.17E-05)	(±6.0)	(±16.0)	(±4.6)	(±1.2)	(±22.4)	(±20.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
16.68	3.32	4.12E-08	15.2	0.0	0.0	0.0	22.0	89.8	121.9	0.7	3.1	19.0
20.00		(±1.48E-06)	(±6.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±23.4)	(±18.5)	(±83.0)	(±0.5)	(±2.3)	(±0.0)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

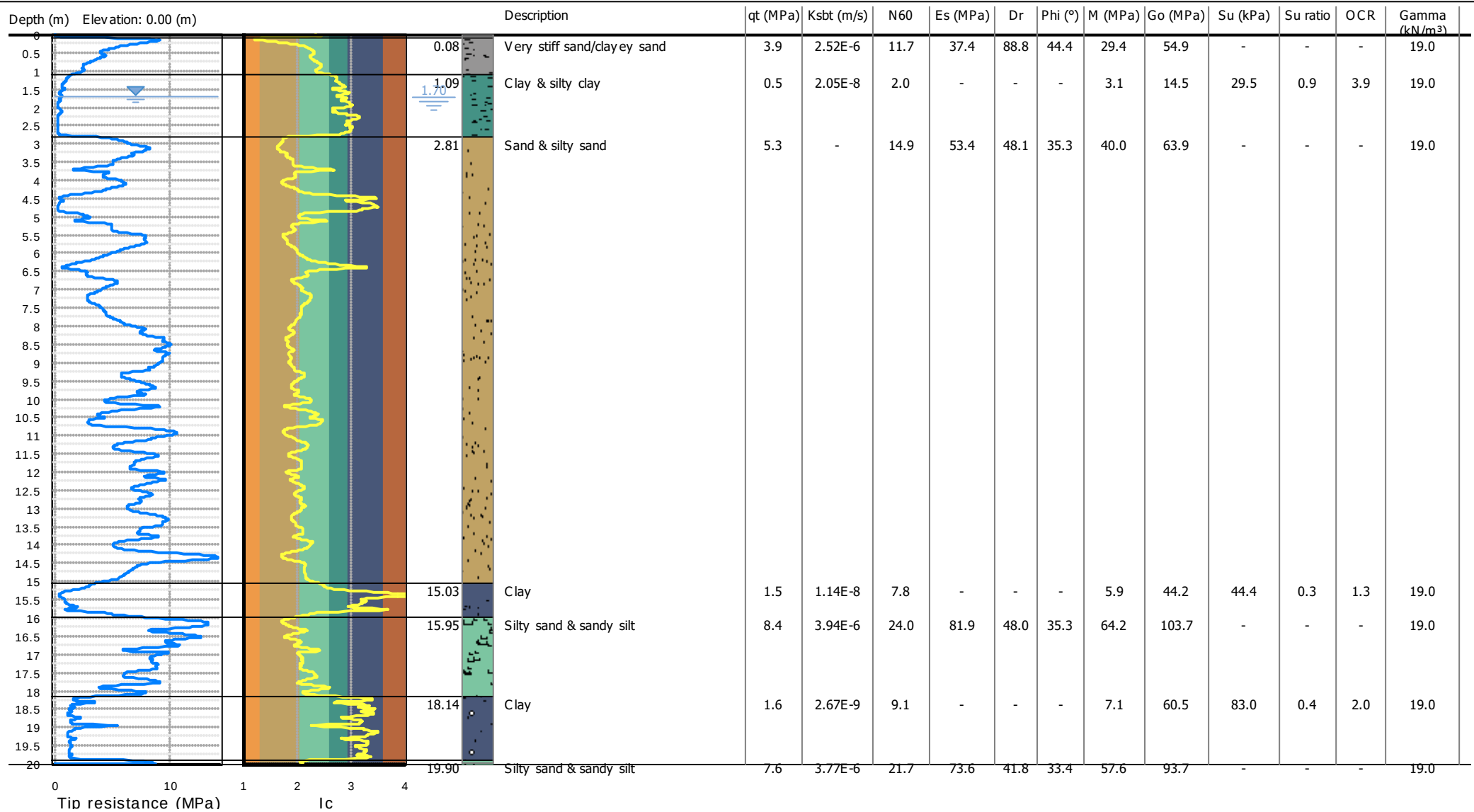
GEOTEA S.R.L.

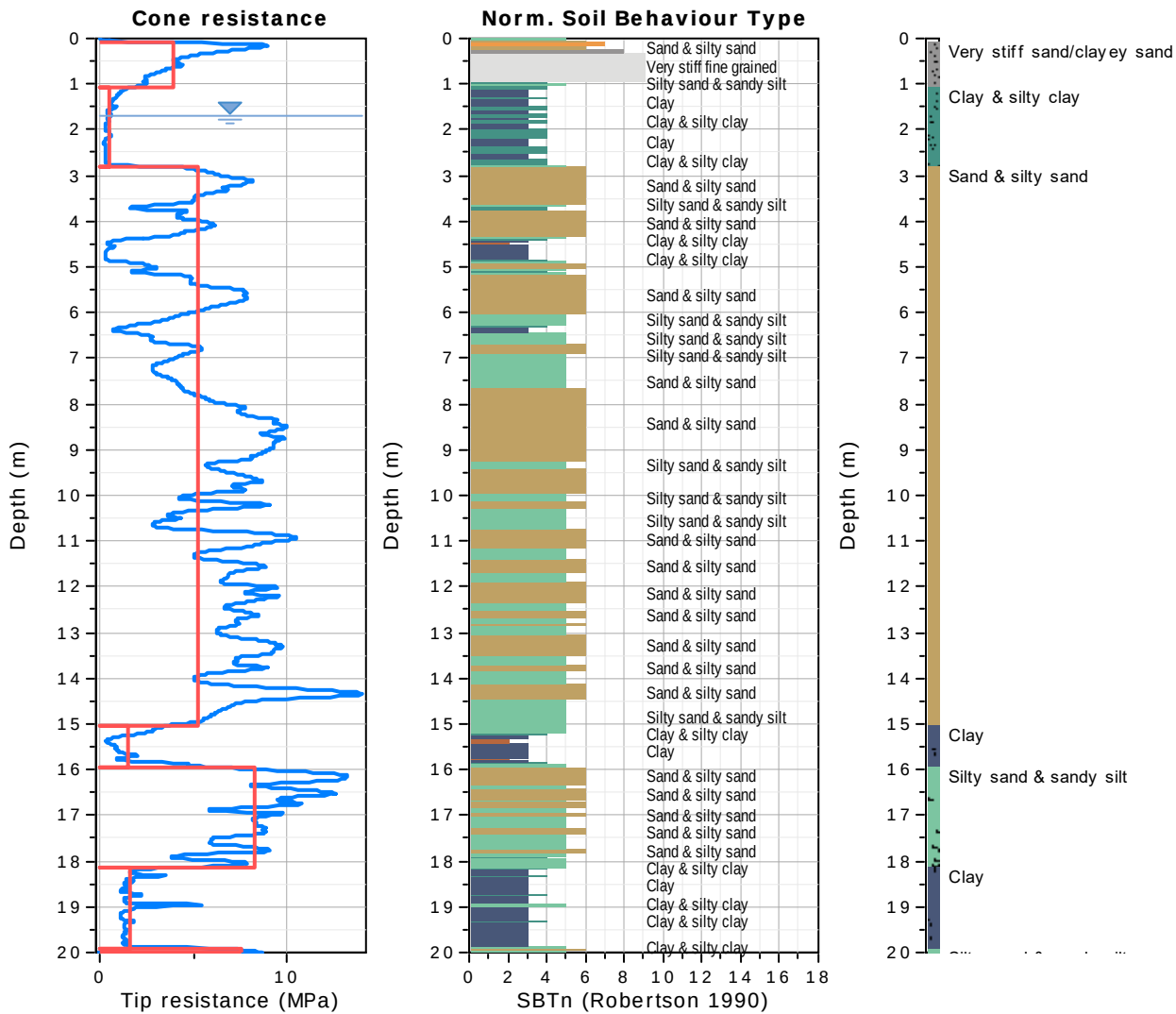
VIA DELLA TECNICA 57/A4
40068 SAN LAZZARO DI SAVENA - BO
+39 051 6255377

Project: 24.1731_CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.
Location: OSTELLATO (FE) - CAVA CAVALLARA

CPT: cptu2

Total depth: 20.00 m, Date: 28/08/2024
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type:
Cone Operator:





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: Layer_1 **Start depth:** 0.08 (m), **End depth:** 1.09 (m)

Description: Very stiff sand/clayey sand

Basic results

Total cone resistance: 3.93 ± 2.06 MPa

Sleeve friction: 133.54 ± 88.95 kPa

Ic: 2.12 ± 0.36

σ_v' : 0.00 ± 0.00 kPa

SBT_n: 8

SBT_n description: Very stiff sand/clayey sand

Schneider zone: Zone 1a

Schneider desc.: Silts and low Ir clays

Estimation results

Permeability: $2.52E-06 \pm 4.17E-04$ m/s

N₆₀: 11.70 ± 3.39 blows

Es: 37.37 ± 13.85 MPa

Dr (%): 88.84 ± 12.13

ϕ (degrees): 44.42 ± 2.69 °

Unit weight: 19.00 ± 0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 29.41 ± 12.57 MPa

Go: 54.91 ± 14.19 MPa

Su: 0.00 ± 0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ± 0.00

O.C.R.: 0.00 ± 0.00

GEOTEA S.R.L.

VIA DELLA TECNICA 57/A4
40068 SAN LAZZARO DI SAVENA - BO
+39 051 6255377

Project: 24.1731_CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.
Location: OSTELLATO (FE) - CAVA CAVALLARA

CPT: cptu2

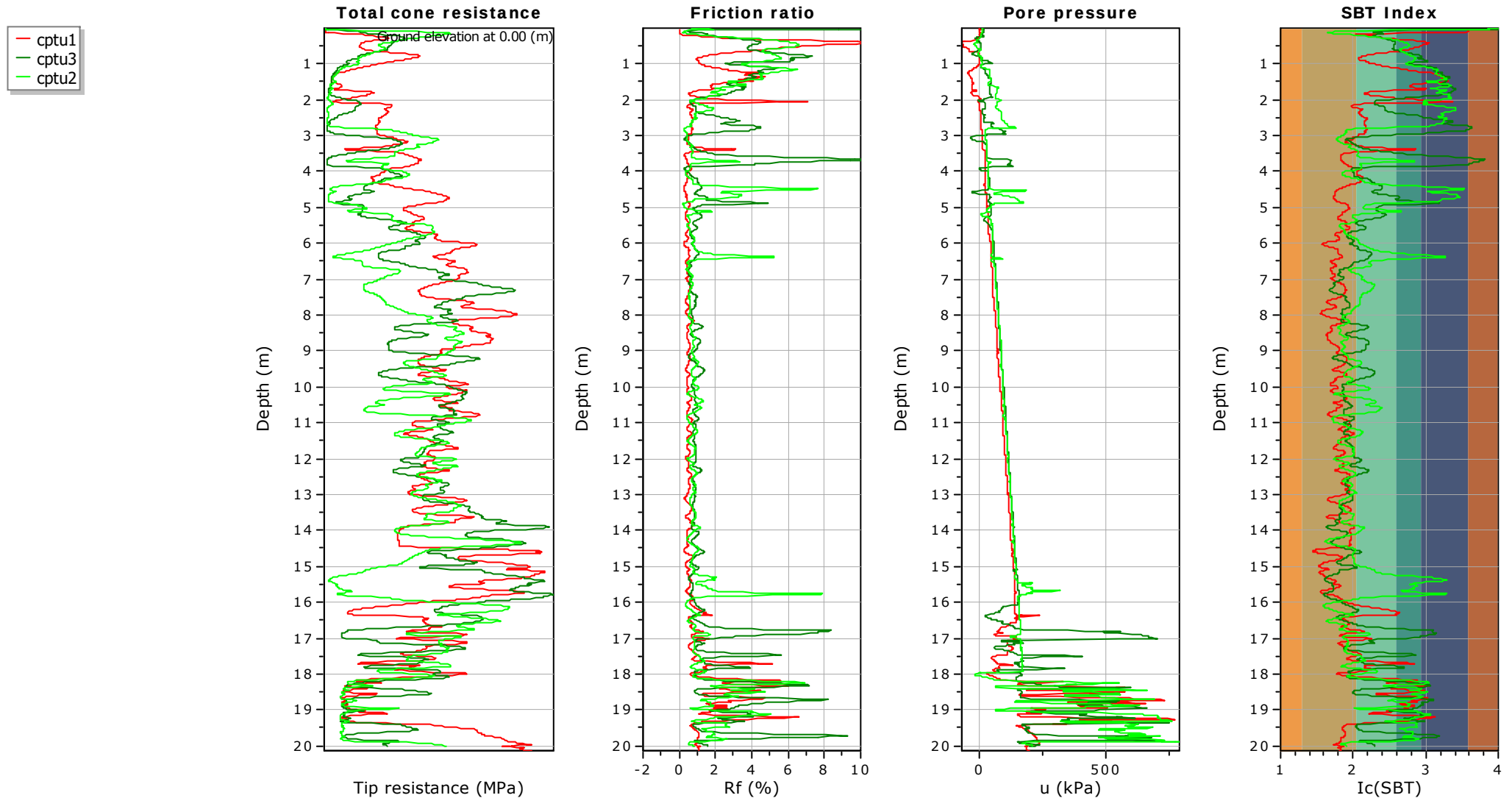
Total depth: 20.00 m, Date: 28/08/2024
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type:
Cone Operator:

Summary table of mean values

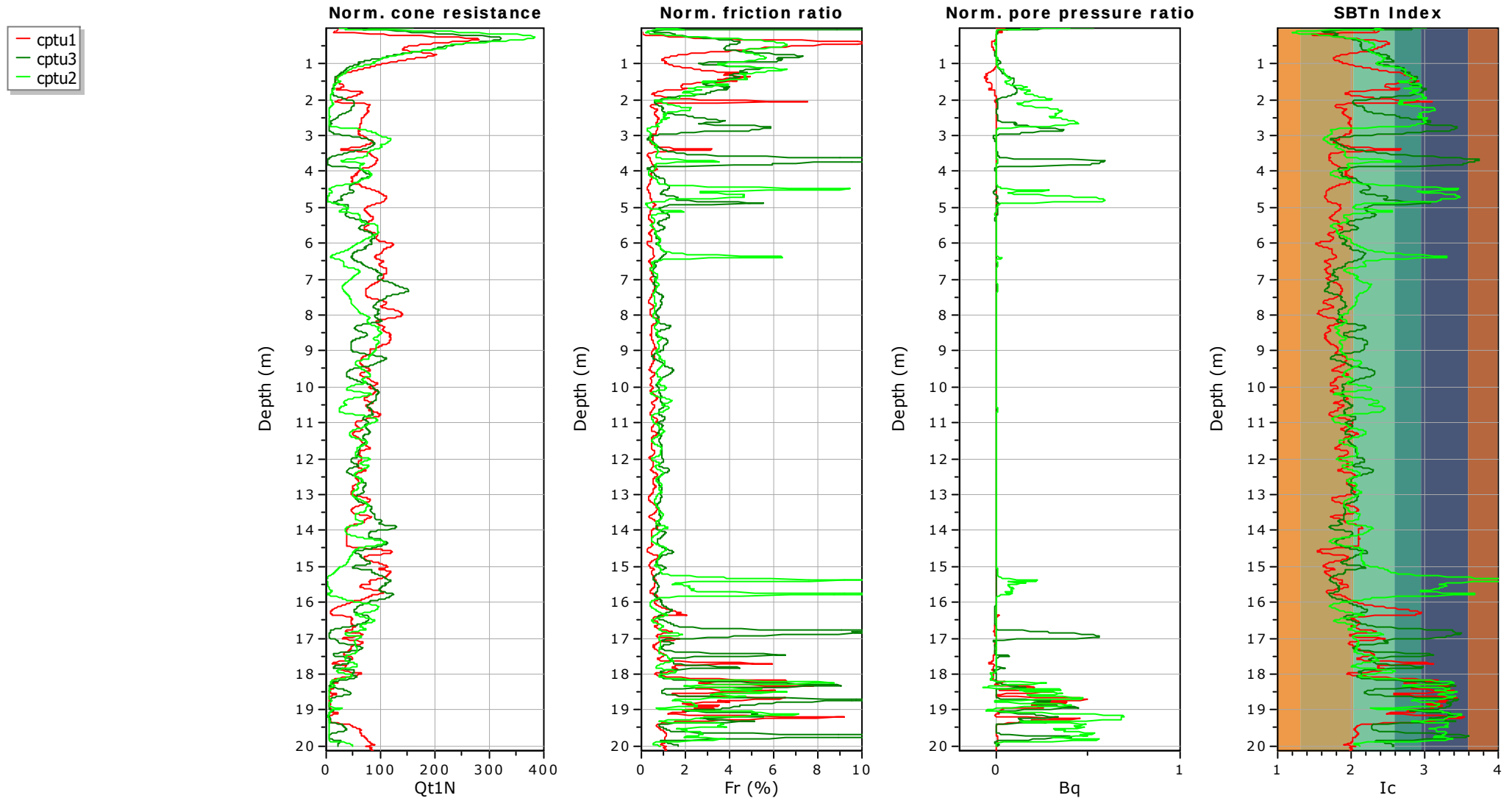
From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r (%)	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m³)
0.08	1.01	2.52E-06	11.7	37.4	88.8	44.4	29.4	54.9	0.0	0.0	0.0	19.0
1.09		(±4.17E-04)	(±3.4)	(±13.8)	(±12.1)	(±2.7)	(±12.6)	(±14.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
1.09	1.72	2.05E-08	2.0	0.0	0.0	0.0	3.1	14.5	29.5	0.9	3.9	19.0
2.81		(±2.01E-06)	(±1.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.7)	(±7.5)	(±21.7)	(±0.9)	(±4.1)	(±0.0)
2.81	12.22	0.00E+00	14.9	53.4	48.1	35.3	40.0	63.9	0.0	0.0	0.0	19.0
15.03		(±1.99E-05)	(±6.0)	(±14.9)	(±5.2)	(±1.5)	(±21.7)	(±21.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
15.03	0.92	1.14E-08	7.8	0.0	0.0	0.0	5.9	44.2	44.4	0.3	1.3	19.0
15.95		(±8.42E-07)	(±3.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±14.2)	(±19.4)	(±49.1)	(±0.3)	(±1.4)	(±0.0)
15.95	2.19	3.94E-06	24.0	81.9	48.0	35.3	64.2	103.7	0.0	0.0	0.0	19.0
18.14		(±1.39E-05)	(±3.8)	(±6.9)	(±3.3)	(±0.9)	(±18.6)	(±9.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
18.14	1.76	2.67E-09	9.1	0.0	0.0	0.0	7.1	60.5	83.0	0.4	2.0	19.0
19.90		(±1.94E-07)	(±2.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±8.1)	(±13.3)	(±40.2)	(±0.2)	(±1.0)	(±0.0)
19.90	0.10	3.77E-06	21.7	73.6	41.8	33.4	57.6	93.7	0.0	0.0	0.0	19.0
20.00		(±1.18E-06)	(±2.2)	(±7.1)	(±2.0)	(±0.7)	(±7.0)	(±9.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

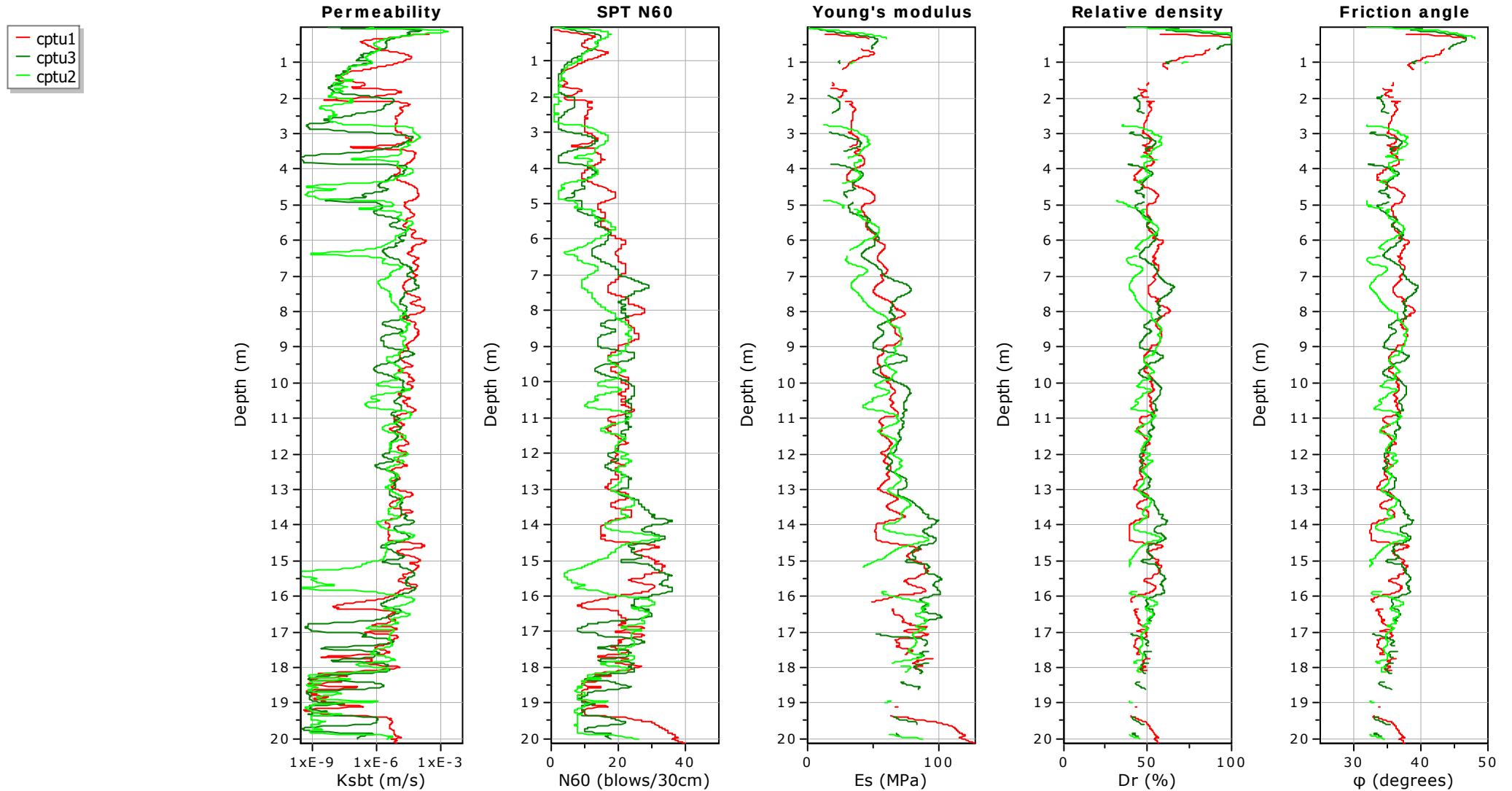
Overlay basic interpretation plots



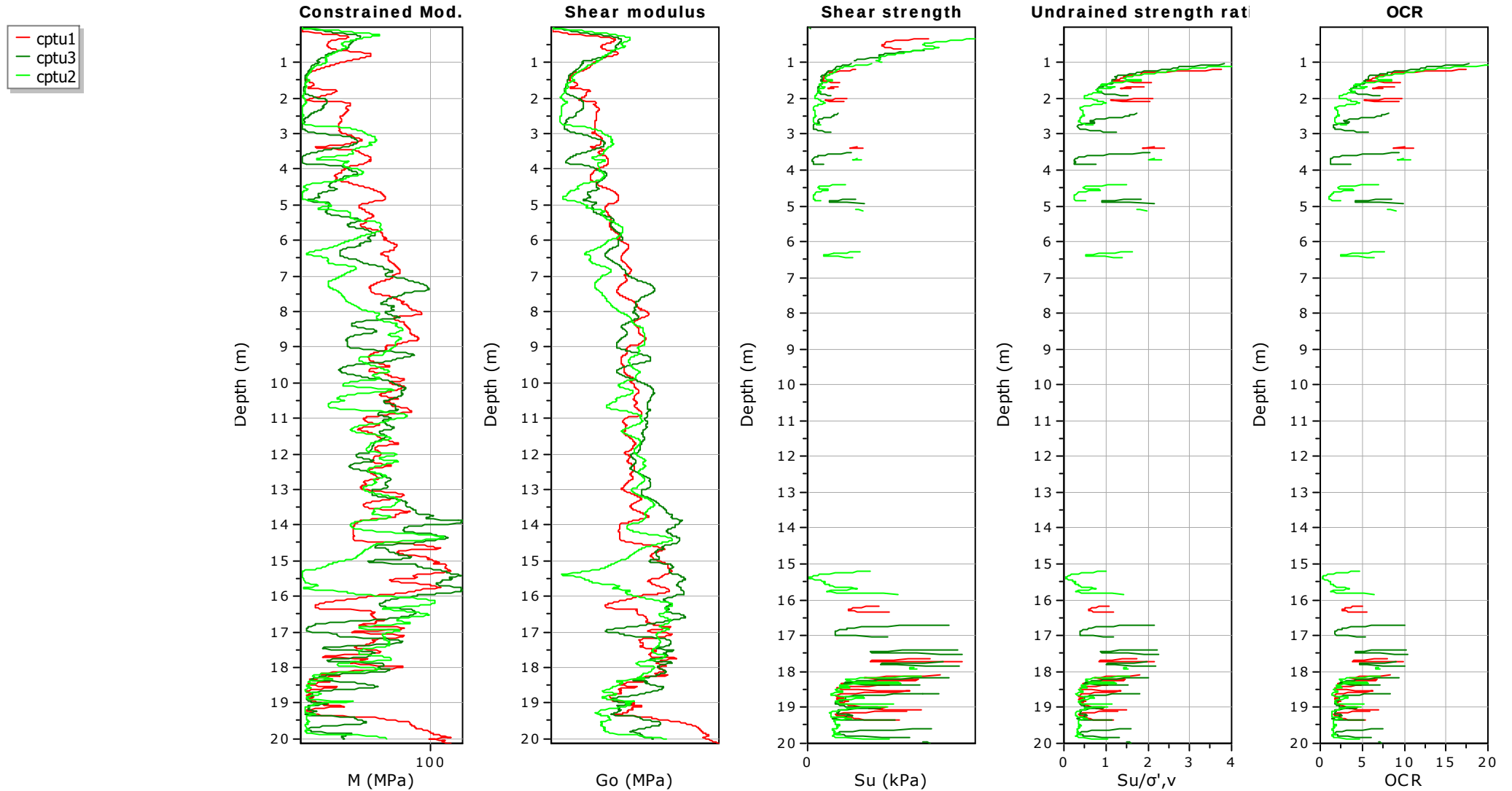
Normalized basic plots



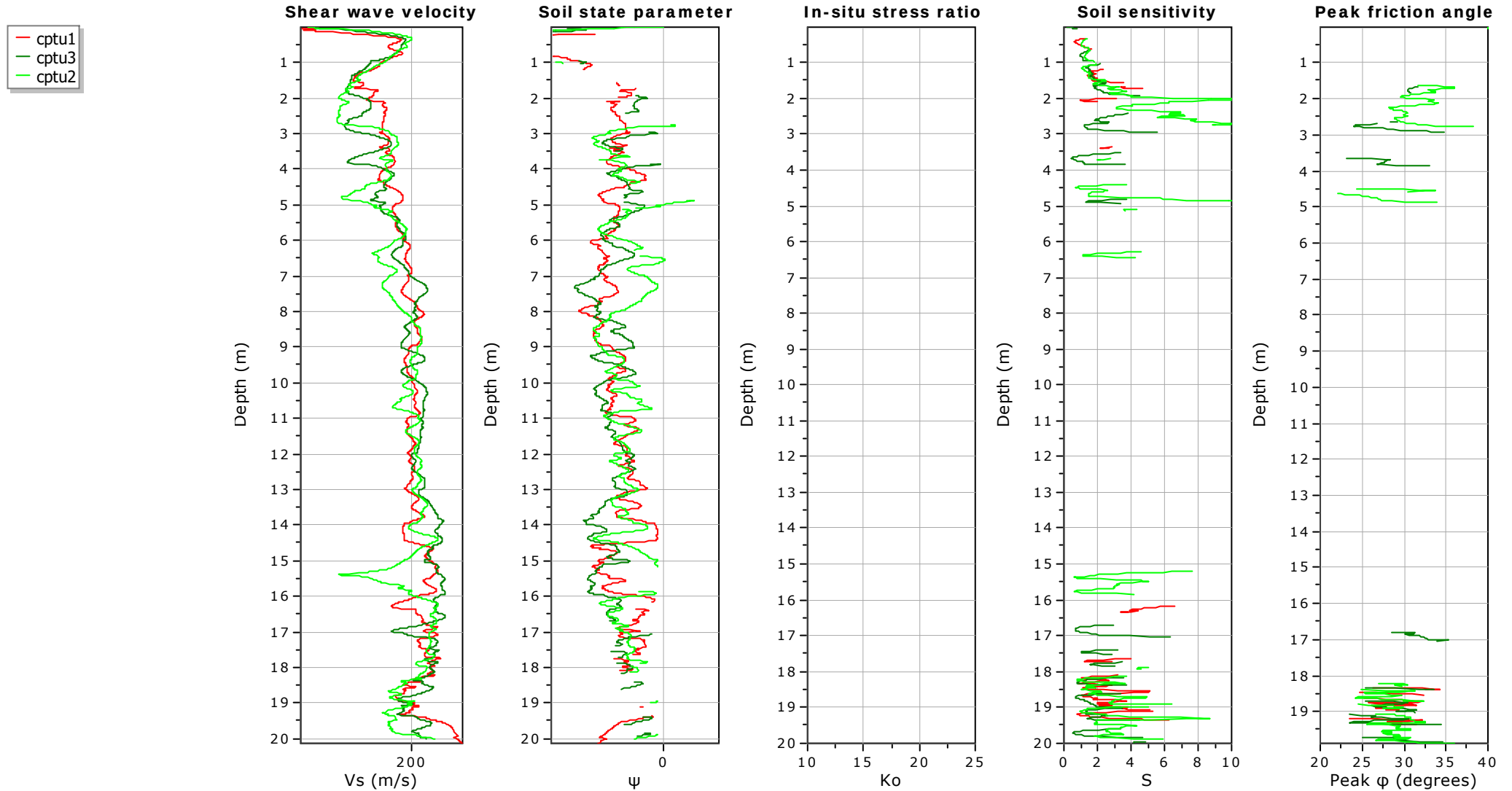
Overlay estimation plots (1)



Overlay estimation plots (2)



Overlay estimation plots (3)



Di seguito una lista delle formule usate per la stima delle varie proprietà geotecniche dei terreni. Le formule sono espresse nel Sistema Internazionale e si assume che tutti i componenti delle formule siano espressi nello stesso sistema di misura.

:: Peso di volume, g (kN/m³) ::

$$g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{p_a}\right) + 1.236 \right)$$

where g_w = water unit weight

:: Permeabilità, k (m/s) ::

$$I_c < 3.27 \text{ and } I_c > 1.00 \text{ then } k = 10^{0.952 - 3.04 \cdot I_c}$$

$$I_c \leq 4.00 \text{ and } I_c > 3.27 \text{ then } k = 10^{-4.52 - 1.37 \cdot I_c}$$

:: N_{SPT} (colpi per 30 cm) ::

$$N_{60} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$$

$$N_{1(60)} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$$

:: modulo di Young, E_s (MPa) ::

$$(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

(applicable only to $I_c < I_{c_cutoff}$)

:: Densità relativa, D_r (%) ::

$$100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}} \quad \text{(applicable only to SBT}_n: 5, 6, 7 \text{ and } 8 \text{ or } I_c < I_{c_cutoff})$$

:: Parametro di stato, ψ ::

$$\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,cs})$$

:: Angolo di resistenza al taglio di picco, ϕ (°) ::

$$\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$$

(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8)

:: 1-D Modulo edometrico, M (MPa) ::

If $I_c > 2.20$
 $\alpha = 14$ for $Q_{tn} > 14$
 $\alpha = Q_{tn}$ for $Q_{tn} \leq 14$
 $M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$

If $I_c \leq 2.20$
 $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$

:: Modulo di resistenza al taglio a piccole deformazioni, G_0 (MPa) ::

$$G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

:: velocità delle onde di taglio, V_s (m/s) ::

$$V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$$

:: resistenza a taglio non drenata, S_u (kPa) ::

$$N_{kt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$$

$$S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$) ::

resistenza al taglio non drenata rimaneggiata, $S_u(rem)$ (kPa)

$$S_{u(rem)} = f_s \quad \text{Applicable only SBT}_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9 \text{ or } I_c > I_{c_cutoff}$$

:: rapporto di sovraconsolidazione, OCR ::

$$k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25} \text{ or user defined}$$

$$OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: coefficiente di spinta a riposo, K_0 ::

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot OCR^{\sin \phi'}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: sensitività, S_t ::

$$S_t = \frac{N_s}{F_r}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: angolo di resistenza al taglio in condizioni efficaci, ϕ_{sun} (°)

$$\phi = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$$

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

Bibliografia

- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 5th Edition, November 2012
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)



GEOTEA s.r.l.

ANALISI GRANULOMETRICHE E SIEVING
Sedimentazione e Filtrazione

ANALISI GRANULOMETRICA

PARTICLES SIZE ANALYSIS

Normativa di rif. UNI CEN ISO/TS 17024-4 CNR UNI A. V n° 23

Technical specification

Report di prova - Test report

Verbale - Acceptance report

Committente - Commissioner

Località - Locality

Cantiera - Site

Sondaggio - Borehole

Campione - Sample

Profondità - Depth

Data ricevimento - Receiving date

Data inizio prova - Test starting date

Data fine prova - Test ending date

Data emissione rapporto - Report date

Data apertura campione - Sample opening date

0316I-24.1731-001

0316I

CANTONIERA CAVALLARA SRL

OSTELLATO (FE)

CAVA CAVALLARA

CPTU1

C1

4.00- 5.00m

11/01/2023

12/01/2023

01/02/2023

30/10/2024

12/01/2023

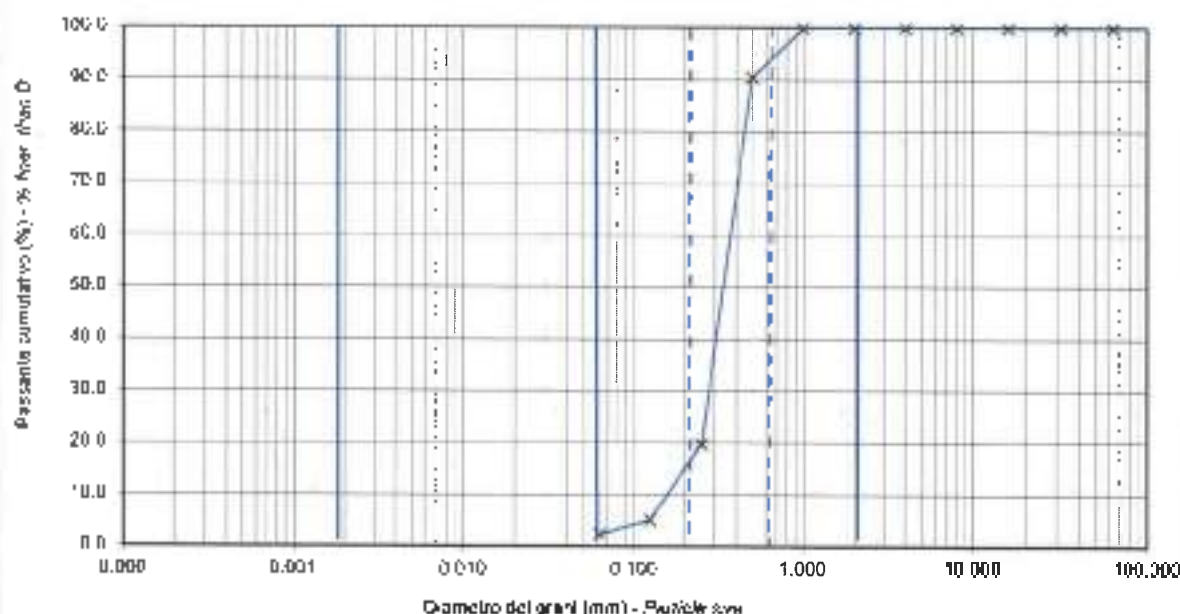
SIEVING TEST

Massa Campione (g) - Specimen weight

1021.20

Seraccio (mm)	Peso (g)	Passante (%)
Sieve diameter	Weight	% finer than D
125	0.00	100.00
63	0.00	100.00
31.5	0.00	100.00
16	0.00	100.00
8	0.00	100.00
4	0.00	100.00
2	0.00	100.00
1	0.91	98.91
0.5	86.45	90.47
0.25	721.89	19.78
0.125	149.38	5.15
0.063	27.39	2.47

Curva granulometrica - Particle size distribution (PSD)



Note - Remarca LA PROVA E' STATA ESEGUITA SOLO LA PARTE MECCANICA PERCHE' LA PERCENTUALE DEL PASSANTE ALLO 0.063 RISULTA INFERIORE AL 10%.

Direttore / Manager

Sperimentatore / Technician

Via della Tecnica, 11/13 - 40138 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 4252377 fax +39 051 4099016
e-mail: tecnica@geoteari.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Verbalizzato in data 11/11/2010



GEOTEA s.r.l.

via della Tecnica 67/A4 - 40095 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 266377, 051 392611 - 051 392613
e-mail: info@geotest.it, geotest@geotest.it

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Technical specification

Rapporto di prova - 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 emissione rapporto - Report date
Data apertura campione - Sample opening date
Classe del campione - Sample quality

0316I- 24.1731- D02
D316I
CANTONIERA CAVALLARA SRL
OSTELLATO (FE)
CAVA CAVALLARA
CPTU1
C1
4.00- 5.00m
11/01/2023
12/01/2023
01/02/2023
30/10/2024
12/01/2023
Q3

Umidità iniziale - Initial water content

% 20.66

Densità naturale iniziale - Initial wet density

kg/m³ -

Densità secca iniziale - Initial dry density

kg/m³ -

Prova - Specimen id

n° 1 2 3

Lato - Specimen side

mm 60.0 60.0 60.0

Altezza iniziale - Initial specimen height

mm 20.0 20.0 20.0

Velocità di taglio utilizzata - Shear rate

mm/mm 0.03 0.03 0.03

Press. di consolidazione

kPa 98.1 196.1 294.2

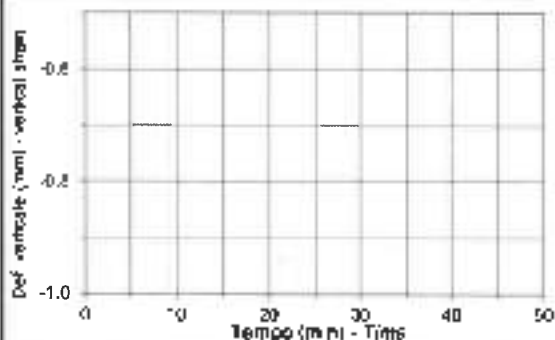
Consolidation pressure

Umidità finale - Final water content

% 20.33 20.00 20.04

Fase di consolidazione - Consolidation test

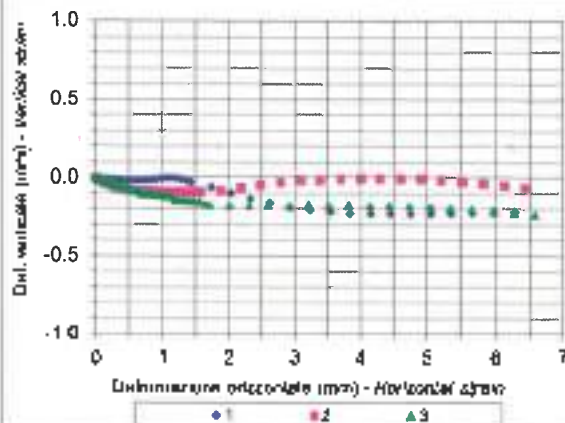
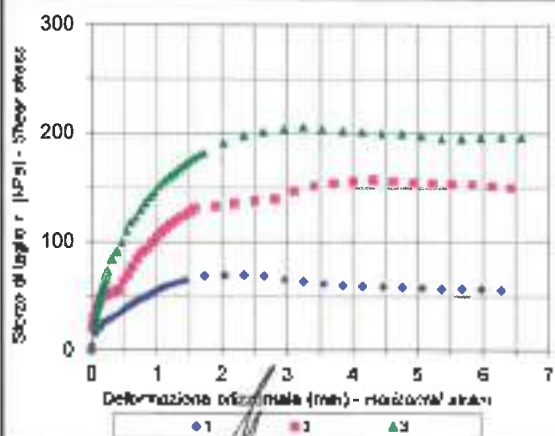
Note - Remarks



Sabbia media di colore grigio

Packal Penetrometer - kg/cm²

Tor Vane - kg/cm²



Direttore - Manager

Spettrometro - Technician

Grado di incertezza delle misure degli strumenti di forza: ± 3,14%

Via della Tecnica 67/A4 - 40095 San Lazzaro di Savena (BO)

Tel. +39 051 266377, 051 392611 - 051 392613

e-mail: info@geotest.it, geotest@geotest.it

Approvazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

IOP DE 3.5 - MOD PROD 11 B31 REV2



GEOTEA s.r.l.

AMBIENTE, UNIVERSITÀ E QUALITÀ
SOLUZIONI PER LA SICUREZZA E LA DURABILITÀ

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Technical specification

Rapporto di prova - Test report 0316I- 24.1731- D02

Verbale - Acceptance report 0316I

Calcolatore test: C-100 kPa		Prova 1 - Specimen 1			Prova 2 - Specimen 2			Prova 3 - Specimen 3		
test (kN)	test (kPa)	test (kPa)	test (kPa)	test (kPa)	test (kPa)	test (kPa)	test (kPa)	test (kPa)	test (kPa)	test (kPa)
1	0.00	3.00	2.79	0.00	0.00	20.99	0.00	0.00	12.50	0.00
5	0.00	3.00	4.63	0.00	0.01	23.99	0.00	0.00	26.96	0.00
12	0.00	3.00	10.57	0.00	0.01	27.29	0.00	0.00	30.75	0.00
24	0.13	3.01	26.88	0.00	0.01	29.96	0.00	0.02	26.50	0.00
30	0.00	3.01	22.32	0.00	0.01	32.91	0.00	0.02	30.25	0.00
54	0.21	3.01	28.11	0.00	0.02	34.54	0.11	0.02	27.02	0.00
90	0.34	3.01	21.12	0.00	0.02	37.19	0.13	0.02	25.05	0.00
120	0.41	3.05	33.58	0.00	0.02	39.59	0.14	0.02	28.51	0.00
180	0.49	3.05	27.17	0.00	0.02	41.84	0.15	0.03	31.92	0.00
240	0.56	3.05	40.15	0.00	0.03	43.44	0.16	0.03	34.98	0.00
300	0.63	3.05	43.98	0.00	0.03	45.10	0.16	0.03	37.14	0.00
360	0.70	3.05	41.77	0.00	0.04	46.15	0.19	0.03	39.21	0.00
420	0.78	3.05	48.05	0.00	0.05	49.01	0.20	0.04	42.91	0.00
480	0.85	3.05	45.92	0.00	0.05	51.81	0.22	0.04	44.91	0.00
540	0.92	3.01	52.27	0.00	0.07	53.67	0.23	0.04	47.51	0.00
600	0.99	3.01	54.56	0.00	0.08	55.42	0.24	0.04	49.74	0.00
660	1.01	3.00	56.88	0.00	0.08	57.17	0.25	0.04	52.34	0.00
720	1.14	3.00	58.72	0.00	0.08	59.41	0.32	0.05	55.17	0.00
780	1.28	3.01	60.87	0.00	0.09	61.11	0.40	0.05	58.53	0.00
840	1.21	3.01	62.28	0.00	0.09	64.35	0.47	0.07	60.88	0.00
900	1.30	3.02	63.85	0.00	0.09	66.33	0.54	0.08	63.92	0.00
960	1.44	3.01	64.82	0.00	0.09	68.65	0.61	0.09	66.82	0.00
1020	1.74	3.06	64.40	0.00	0.09	69.61	0.69	0.10	69.10	0.00
1080	2.04	0.10	64.41	0.00	0.09	70.42	0.76	0.10	72.86	0.00
1140	2.34	0.13	69.33	0.00	0.09	70.59	0.82	0.10	73.21	0.00
1200	2.69	0.17	68.53	0.00	0.10	71.21	0.90	0.10	76.50	0.00
1260	2.99	0.16	72.98	0.00	0.10	71.23	0.97	0.10	78.50	0.00
1320	3.25	0.21	73.25	0.00	0.10	71.38	1.06	0.10	81.41	0.00
1380	3.56	0.22	72.33	0.00	0.09	72.87	1.12	0.12	84.37	0.00
1440	3.86	0.22	80.43	0.00	0.09	75.23	1.21	0.14	86.37	0.00
1500	4.16	0.22	78.47	0.00	0.09	78.83	1.27	0.14	88.33	0.00
1560	4.46	0.21	88.73	0.00	0.09	80.34	1.34	0.15	91.23	0.00
1620	4.77	0.22	89.54	0.00	0.09	82.34	1.41	0.15	93.88	0.00
1680	5.06	0.23	97.14	0.00	0.07	82.49	1.49	0.15	97.28	0.00
1740	5.37	0.23	98.12	0.00	0.05	82.84	1.56	0.15	100.73	0.00
1800	5.68	0.23	97.15	0.00	0.05	83.41	1.67	0.17	103.73	0.00
1860	5.99	0.20	96.68	0.00	0.02	84.73	1.73	0.18	107.80	0.00
1920	6.29	0.22	98.22	0.00	0.02	85.16	1.80	0.18	111.89	0.00
1980				0.00	0.01	84.42	1.87	0.18	114.54	0.00
2040				0.00	0.01	86.81	1.92	0.18	117.42	0.00
2100				0.00	0.01	89.14	1.99	0.18	120.38	0.00
2160				0.00	0.01	90.09	2.05	0.18	123.58	0.00
2220				0.00	0.01	91.42	2.12	0.18	126.23	0.00
2280				0.00	0.01	93.42	2.18	0.18	129.42	0.00
2340				0.00	0.01	95.09	2.25	0.18	132.12	0.00
2400				0.00	0.01	95.16	2.32	0.18	135.59	0.00
2460				0.00	0.01	95.16	2.39	0.18	138.86	0.00
2520				0.00	0.01	96.74	2.46	0.19	142.74	0.00
2580				0.00	0.01	98.15	2.53	0.20	146.15	0.00
2640				0.00	0.01	98.85	2.60	0.21	149.85	0.00
2700				0.00	0.01	99.09	2.67	0.21	153.39	0.00
2760				0.00	0.01	99.10	2.75	0.23	157.09	0.00

Note - Remarks

Direttore / Manager

Sperimentatore / Technician

Via del Lavoro 57/A - 40060 San Lazzaro di Savena (BO)

Tel. +39 051 6263277, Fax. +39 051 4989378

o mail: laboratorio.geotest@geotest.it
Autorizzazione del Comparto 3, settore dei Lapi

MOD. 3.5 - MOD. PROD. 11 B31 REV2

TAGLIO DIRETTO

Committente: CANTONIERA CAVALLARA SRL
 Località: Ostellato (FE)
 Cantiere: CAVA CAVALLARA

Sondaggio: CPTU1
 Campione: C1
 Profondità: 4.00- 5.00m

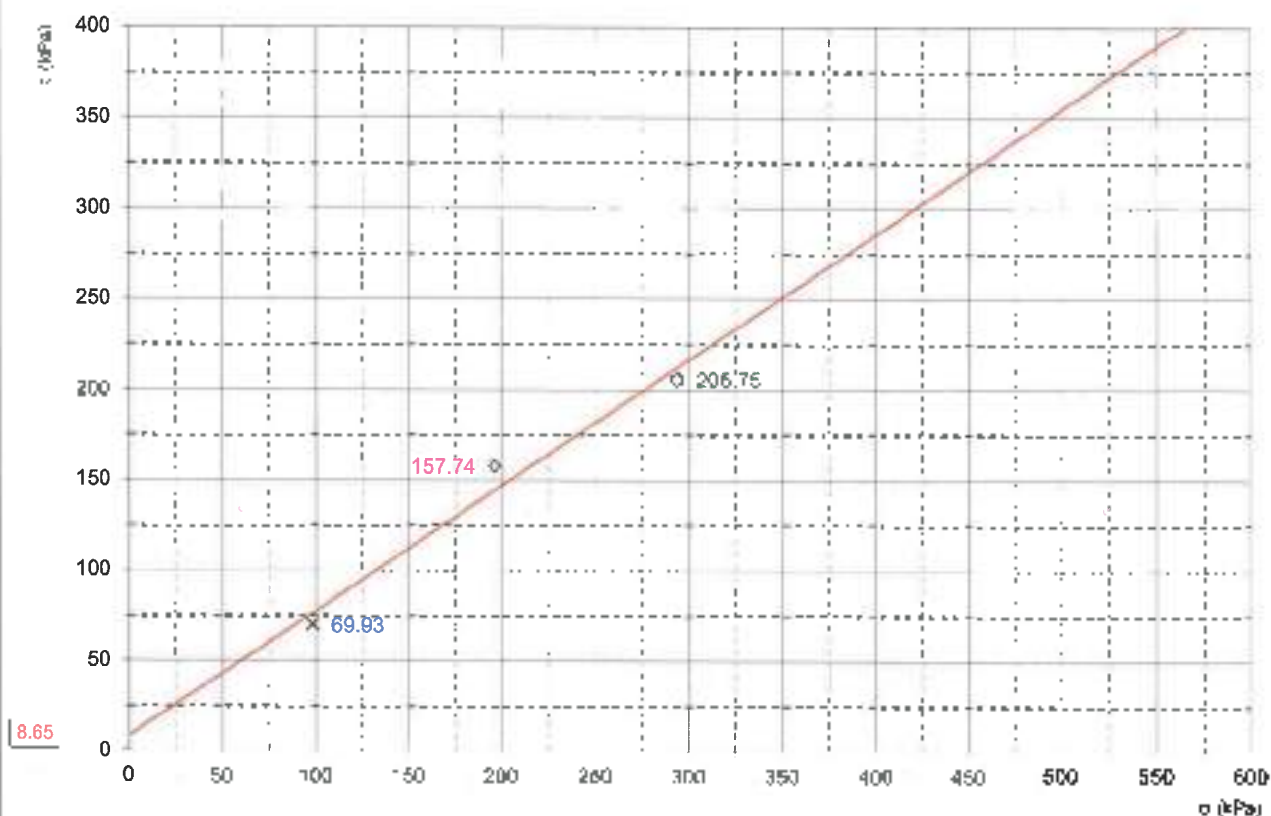
REGRESSIONE LINEARE DEI TRE VALORI DI SFORZO MASSIMO

Lato provino	60.00	mm
Altezza iniziale	20.00	mm

Valori dei provini a rottura				
Provino	n°	1	2	3
Sforzo a rottura	kPa	89.53	157.74	206.75
Intercetta C'	KPa	8,65		
ϕ'	° sess	34.70		

Velocità di prova
 0.03
 mm/min

Sabbia media di colore giallo



x1

o2

o3

La coesione efficace o l'angolo di resistenza al taglio si riferiscono alla elaborazione della prova di taglio diretta eseguita mediante una semplice regressione lineare sui tre punti di sforzo massimo e per il campione tensionale nel quale i altri provini sono stati sottoposti a taglio.

COMUNE DI OSTELLATO

REGIONE EMILIA-ROMAGNA

PROVINCIA DI FERRARA

Determinazione della categoria di suolo di fondazione eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{s30}) dei terreni costituenti l'area della cava Cavallara.



GEOTEA SRL

Via della Tecnica 57/A4

40068 San Lazzaro di Savena (BO)

Tel 0516255377 – Cell 349 7846581

Fax 0514998378

E-mail geotea.srl@database.it



Committente: CANTONIERA CAVALLARA S.R.L.

Dott. Geol. Alessandro Zanna

Data indagine settembre 2024

Commessa 24.1731



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area della cava Cavallara nel comune di Ostellato (FE).

SOMMARIO.....	
2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO	3
3 PREMESSE	4
4 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI	5
4.1 Introduzione generale	5
4.2 Tecnica MASW	6
4.3 Tecnica Re.Mi.	7
4.4 Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata	7
5 Risultati indagine	9
5.1 TECNICA IN ARRAY	9
5.2 TECNICA HVSR	10
6 MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO	12
7 CONCLUSIONI	13



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area della cava Cavallara nel comune di Ostellato (FE).

2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

- ☐ Il presente documento viene identificato con il numero 24.1731 rev. n° 0;
- ☐ Le indagini e il lavoro svolto sono stati coordinati dal Dott. Geol. Alessandro Zanna;
- ☐ Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. Alessandro Zanna in data 08/11/2024;
- ☐ Il documento si compone di n° 15 fogli



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area della cava Cavallara nel comune di Ostellato (FE).

3 PREMESSE

Presso lo cava Cavallara in località San Giovanni nel comune di Ostellato (FE), è stata effettuata un'indagine geofisica mediante prova in array con tecnica *MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)*, Re.Mi. (*Refraction Microtremor*) e misura a stazione singola con tecnica *HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)* al fine di ottenere la classificazione del tipo di suolo presente nel sito, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio verticali (V_s) entro i primi 30 m di profondità, in ottemperanza a quanto riportato nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" (pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento ordinario n. 30).

La presente indagine geofisica è consistita nell'esecuzione di:

- N. 1 profilo sismico in array con tecnica MASW-ReMi.
- N. 2 misure a stazione singola con tecnica HVSr (HVSr1 e HVSr2)

Per quanto riguarda la prova in array l'acquisizione è stata effettuata mediante sismografo digitale modello Dolang 24 canali 24 bit. Le misure a stazione singola sono state eseguite con tromografo digitale modello Tromino® Engy.

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è "GRILLA"© Release 2010 ver. 6.0 beta (All rights reserved).

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area della cava Cavallara nel comune di Ostellato (FE).

4 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

4.1 Introduzione generale

Le tecniche basate sullo studio della propagazione delle onde superficiali vengono introdotte per la prima volta nell'ambito della comunità geofisica e geotecnica negli anni novanta. Le tecniche MASW, Re.Mi., ESAC sono metodi di indagine mediante i quali è possibile costruire un profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) in relazione alla profondità (V_s versus *profondità*), attraverso l'analisi delle onde superficiali tipo Rayleigh (onde R). Tali tecniche permettono quindi di ottemperare a quanto previsto nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", secondo il quale i terreni, su cui devono essere eseguite opere edili di una certa rilevanza, devono essere classificati sulla base del parametro V_{s30} . La classificazione prevista per i terreni comprende cinque categorie definite da una simbologia alfanumerica da A ad E e successive integrazioni $S1$ e $S2$. A ciascuna di queste categorie corrisponde una valutazione quantitativa della risposta sismica dei terreni sottoposti ad una accelerazione sismica attesa, predefinita per ciascuna classe. Il parametro V_{s30} rappresenta la media ponderata dei valori di velocità delle onde di taglio S nei primi 30 metri di sottosuolo indagato e viene espressa matematicamente dalla seguente equazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}} \quad \text{dove} \quad \begin{array}{ll} V_{s30} & : \text{velocità media ponderata delle onde di taglio "S";} \\ h_i & : \text{spessore dello strato esimo;} \\ V_i & : \text{velocità delle onde di taglio "S" nello strato esimo.} \end{array}$$

Esistono diversi tipi di onde superficiali, oltre alle già citate onde di Rayleigh ($P+S_v$), si conoscono le onde di Love (Sh) e le onde di Lamb. Le onde di Rayleigh rappresentano la componente principale delle onde superficiali e sono generate dall'interazione tra onde di compressione (o di volume) P e onde di taglio verticali S_v ogniqualevolta si è in presenza di una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Le onde R si propagano alla superficie libera (vedi Fig. 1) con un moto ellittico retrogrado (moto antiorario) che si inverte alla profondità di $\lambda/2\pi$ (dove λ è la lunghezza d'onda). L'ampiezza di tale spostamento decresce secondo una legge esponenziale, pertanto diviene rapidamente trascurabile con la profondità.

L'utilizzo delle onde superficiali di tipo Rayleigh per la costruzione di un profilo di velocità delle onde di taglio V_s è giustificato da una serie di fattori:

- ❑ La percentuale di energia convertita in onde R è nettamente predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione di onde P (7%) e onde S (26%);
- ❑ il metodo d'analisi basato sulle onde R non è limitato, al contrario del metodo basato sulla rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità;
- ❑ buona risoluzione, a differenza della tecnica a riflessione;

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area della cava Cavallara nel comune di Ostellato (FE).

- ❑ la propagazione delle onde di *Rayleigh*, anche se influenzata dalla V_p (velocità delle onde di compressione P) e dalla densità del mezzo, è funzione innanzitutto della V_s che rappresenta appunto il parametro fondamentale per la caratterizzazione geotecnica di un sito;
- ❑ la tecnica in questione è inoltre particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi.

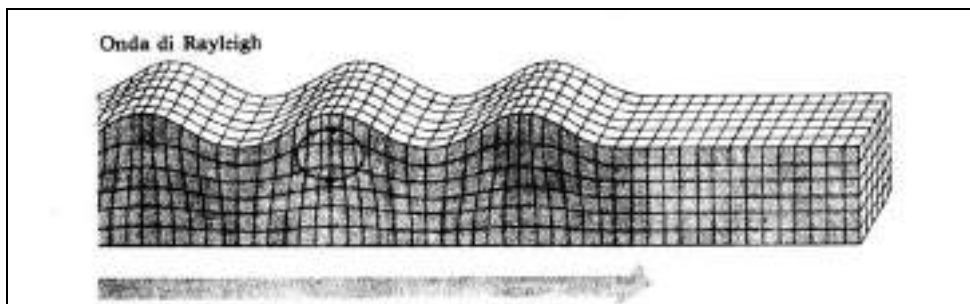


Figura 1 - Modalità di propagazione delle onde R

Tenuto conto dei fattori sopraelencati, l'elemento fondamentale che permette l'impiego di tecniche basate sulle onde superficiali e le onde *Rayleigh*, è una caratteristica chiamata *dispersione*. La dispersione è una proprietà delle onde superficiali che consiste nella deformazione di un treno d'onde dovuta alla variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per le onde R questa variazione si manifesta solo all'interno di un mezzo stratificato. In altre parole, ipotizzando una variazione di densità del terreno in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale si propaga con una differente velocità (velocità di fase), e quindi con una diversa lunghezza d'onda; questa proprietà si chiama appunto dispersione.

La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda λ (e quindi per una certa frequenza ν) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di $\lambda/2$ (anche se recenti studi hanno posto questo limite a $\lambda/2.5$). Inoltre, la velocità delle onde R (V_r) è pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio (V_s).

Secondo quanto detto appare chiaro come la costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio V_s , ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di *Rayleigh*, sia una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

4.2 Tecnica MASW

La procedura MASW si può sintetizzare in tre stadi successivi e distinti:

- ❑ acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);
- ❑ costruzione della curva di dispersione: grafico velocità di fase V_r – frequenza ν ;
- ❑ inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale della V_s .

La prima fase viene effettuata direttamente in campagna generando un treno di onde superficiali mediante l'utilizzo di una sorgente sismica attiva, quale generalmente una mazza battente, e uno stendimento lineare di geofoni ricevitori (vedi Fig. 2). L'indagine svolta nel presente lavoro è stata condotta utilizzando la

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area della cava Cavallara nel comune di Ostellato (FE).

strumentazione DOLANG JEA 24 descritta nelle premesse.

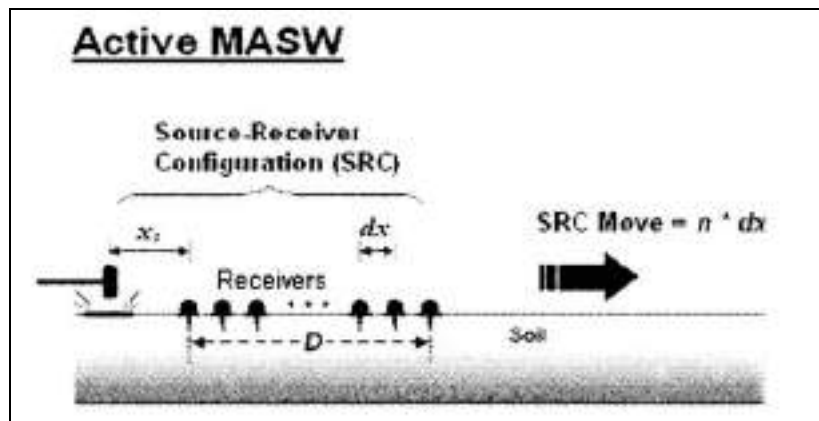


Figura 2 - MASW : stendimento lineare e sorgente attiva

Mediante il software si procede alla lettura dei dati acquisiti (*common-shot gather*) e al calcolo dello spettro di velocità di fase (trasformata di Fourier) dal quale è possibile estrarre la curva di dispersione sperimentale.

Si procede quindi alla definizione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio S.

L'elaborazione dei dati acquisiti, avvenuta mediante software Grilla, è riportata in dettaglio nel rapporto d'indagine allegato alla presente relazione.

4.3 Tecnica Re.Mi.

A differenza del convenzionale metodo MASW, il quale prevede l'utilizzo di una sorgente sismica attiva (es: mazza battente), la tecnica Re.Mi. utilizza onde di superficie generate passivamente dall'ambiente circostante. L'origine di questo cosiddetto "rumore di fondo" è sia di tipo naturale (onde oceaniche di marea, perturbazioni atmosferiche) sia di tipo antropico (traffico veicolare, industrie, ferrovie, etc...).

L'utilizzo di profili di geofoni a geometria lineare, genera il problema della sovrastima della velocità di fase (velocità apparente) nello spettro di velocità che si ottiene dall'elaborazione dei dati. La velocità apparente nello spettro deriva dal fatto che la direzione di propagazione delle onde (rumore di fondo) non necessariamente è parallela allo stendimento di geofoni. Per questo motivo la pratica comune prevede che il picking sulla curva di dispersione sperimentale venga eseguito non in corrispondenza del massimo di energia, ma in corrispondenza del bordo inferiore.

Il metodo Re.Mi. eseguito nel presente studio ha sfruttato la stessa geometria di profilo utilizzata per il metodo MASW. Solitamente il campionamento complessivo è della durata di qualche minuto.

4.4 Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata

Il metodo *HVSr* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area della cava Cavallara nel comune di Ostellato (FE).

molto deboli (dell'ordine dei $\mu\text{m/s}$). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 14-30 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale, "TROMINO ENGY" (Micromed S.p.A.) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a $\sim 1.5 \text{ mm/s}$); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz. L'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software *Grilla*.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area della cava Cavallara nel comune di Ostellato (FE).

5 RISULTATI INDAGINE

5.1 TECNICA IN ARRAY

Strumentazione utilizzata.....Sismografo digitale 24 canali – 24 bit modello Dolang
 Numero di geofoni verticali (frq. Propria 4.5 Hz).....12
 Spaziatura tra i geofoni.....3.00 m
 Frequenza di campionamento.....4.000 Hz (MASW) – 250 Hz (Re.Mi.)
 Lunghezza traccia acquisita.....1 sec (MASW) – 64 sec (Re.Mi.)
 Sorgente.....mazza (10 Kg) e rumore ambientale

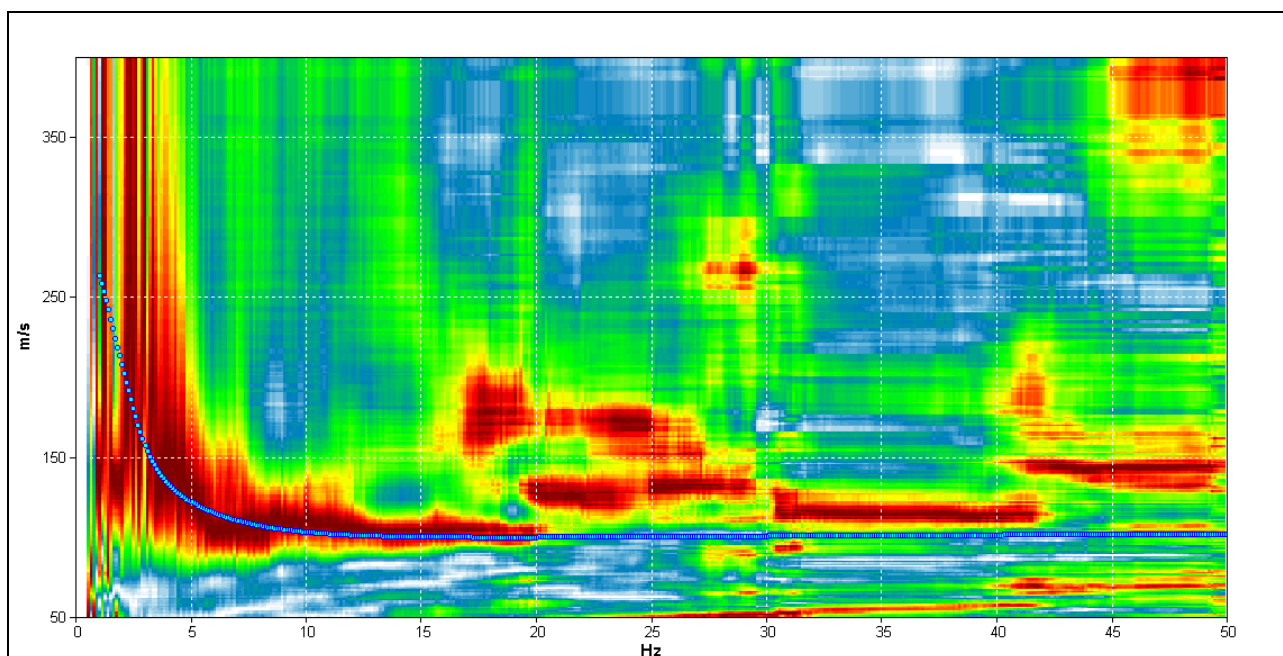


Figura 3 - Spettro di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per il profilo sismico eseguito in array con tecnica MASW-Re.Mi. mediante sismografo digitale Dolang. In blu il modo fondamentale della curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area della cava Cavallara nel comune di Ostellato (FE).

5.2 TECNICA HVSr

Strumento: TROMINO MODELLO ENG Y

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

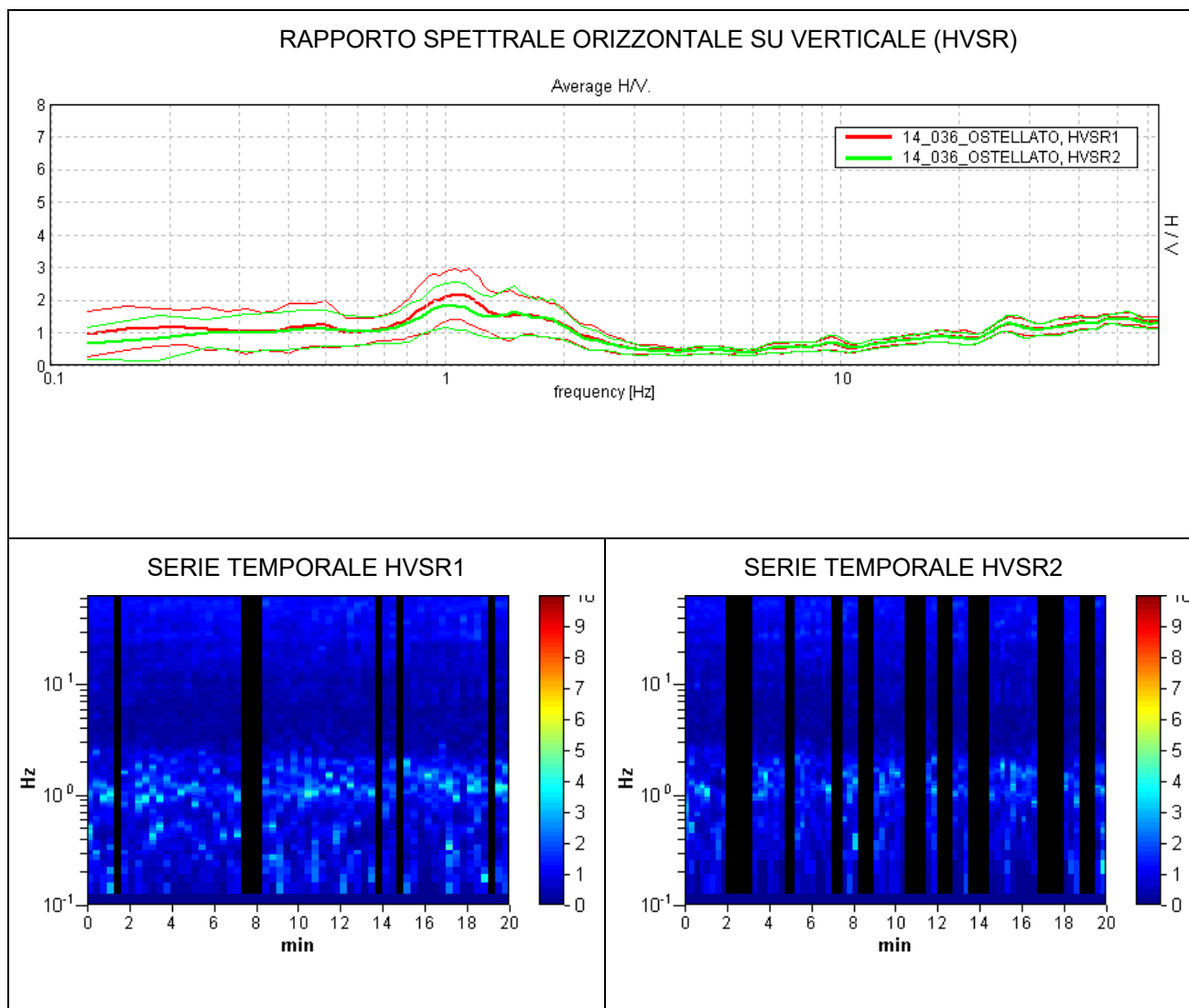


Figura 4 - Curva H/V (HVSr) registrata nel sito in esame e serie temporale considerata nell'analisi.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area della cava Cavallara nel comune di Ostellato (FE).

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR1

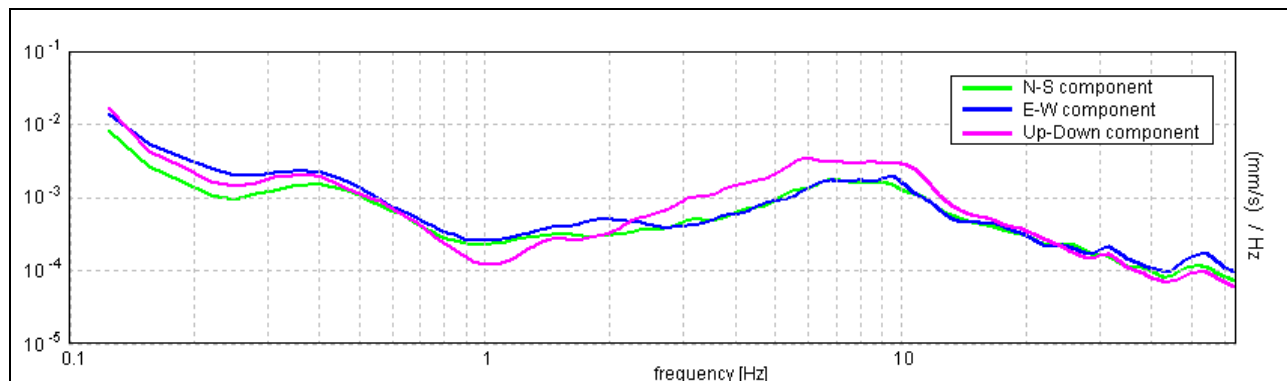


Figura 5 - spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR2

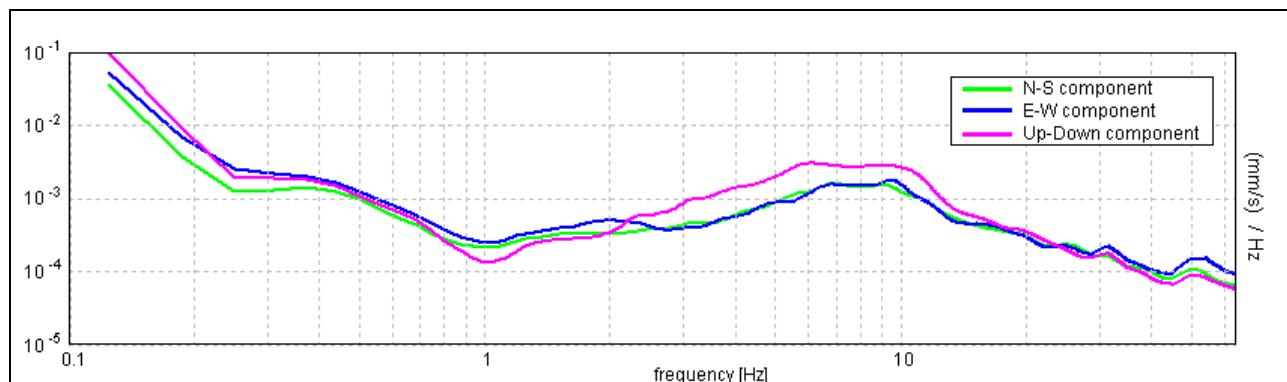


Figura 6 - spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

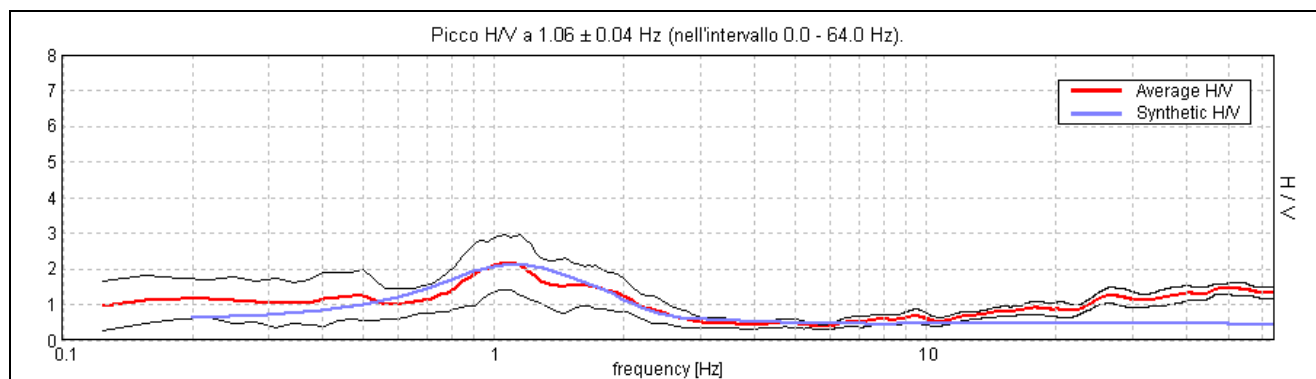


Figura 7 - confronto tra curva HVSR1 sperimentale registrata nel sito (scelta per il fit congiunto con prova MASW-Re.Mi.) e curva teorica (blu) relativa al modello di sottosuolo proposto per il sito.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area della cava Cavallara nel comune di Ostellato (FE).

6 MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO

Sulla base dei risultati ottenuti e dell'interpretazione dei dati acquisiti il modello di sottosuolo proposto per il sito in studio, in termini di profilo verticale di Vs, è il seguente (il modello è stato ottenuto mediante fit congiunto tra prova **MASW-Re.Mi.** e misura **HVSr1**):

Profondità base strato (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1.50	1.50	110
6.00	4.50	105
12.00	6.00	130
18.00	6.00	155
28.00	10.00	180
68.00	40.00	260
inf.	inf.	340

Tabella 1 – Modello di sottosuolo proposto per il sito

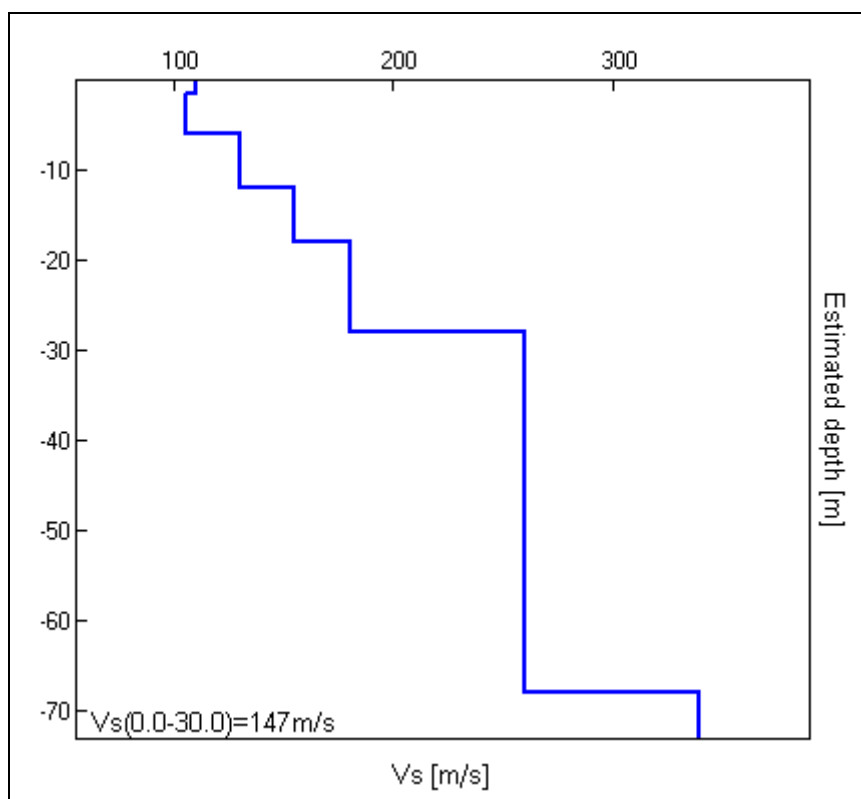


Figura 8 - Modello di velocità delle onde di taglio S (modello medio sotto il profilo effettuato) derivato da fit congiunto tecnica MASW-Re.Mi. e tecnica HVSr

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area della cava Cavallara nel comune di Ostellato (FE).

7 CONCLUSIONI

L'analisi congiunta MASW-Re.Mi.-HVSR ha permesso sia di ricostruire il profilo verticale di velocità delle onde S nel sito in esame, sia di individuare la presenza di contrasti di impedenza-rigidezza nel sottosuolo medesimo.

Vs30 [m/s] da quota piano campagna su cui è stato eseguito il profilo: 187.

Nei primi 30 m da p.c., i terreni presenti in sito sono caratterizzati da valori di velocità delle onde S (Vs) caratteristici di terreni a consistenza da molto soffice a soffice.

Le curve HVSR ottenute sperimentalmente sono del tutto confrontabili tra loro. Esse sono caratterizzate alle basse frequenze, tra circa 1-2 Hz, da una modesta amplificazione locale del moto del suolo per risonanza stratigrafica con picco H/V a circa 1 Hz (contrasto di impedenza basso).

San Lazzaro di Savena, 08/11/2024.



Professional stamp of Dott. Stefano Magagnoli, Geologo, with a signature over it.