



Comune di Ferrara

PUA area ex Alc.Este

Piano Urbanistico Attuativo per la rigenerazione del comparto urbanistico dell'area ex distilleria via L. Turchi

Committente: Real Estate Ferrara srl

Data: luglio 2018

U-32

Relazione geologica-geotecnica

progettazione urbanistica

WNA architects

arch. Walter Nicolino

LBLA + partners

arch. Gabriele Lelli

arch. Roberta Bandini

progettazione infrastrutturale

ArchLiving srl

ing. Gianluca Loffredo

ing. Cristiano Bignozzi

studio acustico

dott. Marco Pavan

geologia-geotecnica

dott. geol. Linda Collina

INDICE

1	PREMESSA	2
1.1	INCARICO RICEVUTO	2
1.2	DOCUMENTAZIONE RACCOLTA	2
2	INQUADRAMENTO DELL'AREA IN ESAME	3
2.1	UBICAZIONE DELL'AREA	3
2.2	INQUADRAMENTO CATASTALE	5
2.3	DESTINAZIONE D'USO	5
3	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	9
3.1	GEOLOGIA STRUTTURALE	9
3.2	CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E GEOLOGICHE	11
3.3	CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE SITO SPECIFICHE	15
4	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	19
4.1	PREMESSA	19
4.2	CARATTERIZZAZIONE GEOGNOSTICA 2012	21
4.2.1	PREMESSA	21
4.2.2	RISULTATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE CPT	21
4.2.3	RISULTATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE SCPTU	24
4.3	CARATTERIZZAZIONE GEOGNOSTICA 2018	25
4.3.1	PREMESSA	25
4.3.2	PROVE PENETROMETRICHE CPTU	25
4.3.3	RISULTATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE CPTU	27
4.3.4	RISULTATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE SCPTU	32
5	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	34
5.1	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE SITO SPECIFICHE	35
5.1.1	RILIEVO FREATIMETRICO	37
5.1.2	RILIEVO DELLA TAVOLA D'ACQUA LUGLIO 2018	38
6	SUBSIDENZA	39
7	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	40
7.1	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO	40
7.2	MAGNITUDO DI RIFERIMENTO	43
7.3	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO SECONDO IL DM 17/01/2018	45
7.4	STIMA DELLA VS30 E CATEGORIE DI SOTTOSUOLO	46
8	VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE	48
8.1	GENERALITÀ SUL FENOMENO	48
8.2	SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE: CARATTERI GENERALI	49
8.3	VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEL SITO	51
9	CEDIMENTI POST-SISMICI	55
9.1	STIMA DEI CEDIMENTI POST-SISMICI NEI TERRENI GRANULARI INSATURI	55
9.2	STIMA DEI CEDIMENTI INDOTTI DALL'AZIONE SISMICA NEI TERRENI GRANULARI SATURI	56
9.3	STIMA DEI CEDIMENTI POST-SISMICI NEI TERRENI COESIVI SOFFICI	56

1 PREMESSA

1.1 Incarico ricevuto

Su incarico della Committenza nel mese di luglio 2018 sono state effettuate nell'area denominata Ex Alc.Este indagini geologiche volte a caratterizzare il sottosuolo dal punto di vista geognostico e sismico, mediante prove penetrometriche CPTU e SCPTU.

Le indagini si sono svolte con n.9 CPTU, con lo scopo di investigare le caratteristiche geotecniche e litologiche dell'area in esame, e n.3 prove SCPTU per la determinazione del profilo verticale delle onde di taglio e del valore Vs30, necessario per la classificazione dei terreni di fondazione degli interventi in progetto nelle categorie di suolo.

1.2 Documentazione raccolta

Nelle tabelle di seguito riportate viene elencata la documentazione elaborata e allegata ai fini dell'indagine in oggetto.

Tab. 1.1 - Documentazione consultata		
N.	Estremi documenti	Origine
Doc. 1	Relazione Geologico tecnica e sismica Ex Distilleria	Elaborata nell'Ottobre 2012
Doc. 2	Piano di Caratterizzazione	Elaborata nell'Dicembre 2012
Doc. 3	Relazione Tecnica Descrittiva Piano di Caratterizzazione Ex Distilleria	Elaborata nel Settembre 2013
Doc. 4	Progetto di rimozione hot spot Relazione tecnico descrittiva risultati approfondimento indagine per la perimetrazione di dettaglio	Elaborata nel Luglio 2016
Doc. 5	Relazione Geologica per il Quadro Conoscitivo di Ferrara	Comune di Ferrara 2003
Doc. 6	Relazione Geologica per il Quadro Conoscitivo di Ferrara	Comune di Ferrara 2017
Doc. 7	Applicazione del Piano di Classifica	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara 2016

Tab. 1.2 - Documentazione cartografica elaborata		
N.	Estremi documenti	Origine
Tav. 1	Carta ubicazione area di indagine	Elaborato
Tav. 2	Carta ubicazione indagini eseguite	

Tab. 1.3 - Documentazione allegata		
N.	Estremi documenti	Oggetto/osservazioni
All. 1	Tabulati prove penetrometriche CPTu e SCPTu	Elaborazioni delle prove svolte in sito
All. 2	Elaborazioni Vs30 da prova SCPTu	
All. 3	Calcolo Indice del potenziale di liquefazione	

2 INQUADRAMENTO DELL'AREA IN ESAME

2.1 Ubicazione dell'area

L'area dell'ex Distilleria è situata nel Comune di Ferrara in via Luigi Turchi n.18 e ricade nel Foglio 185 "Ferrara" dell'Istituto Geografico Militare in scala 1:50.000 (v. Fig. 2.1).

L'area è ubicata ad ovest rispetto al centro urbano, a circa 2,3 Km dallo stesso, e confina ad est con il canale Boicelli, a sud con il canale Burana, ad ovest con un'area agricola, a nord con nuclei abitativi (v. Fig. 2.2) e presenta una superficie pari a circa 19,65 ettari.

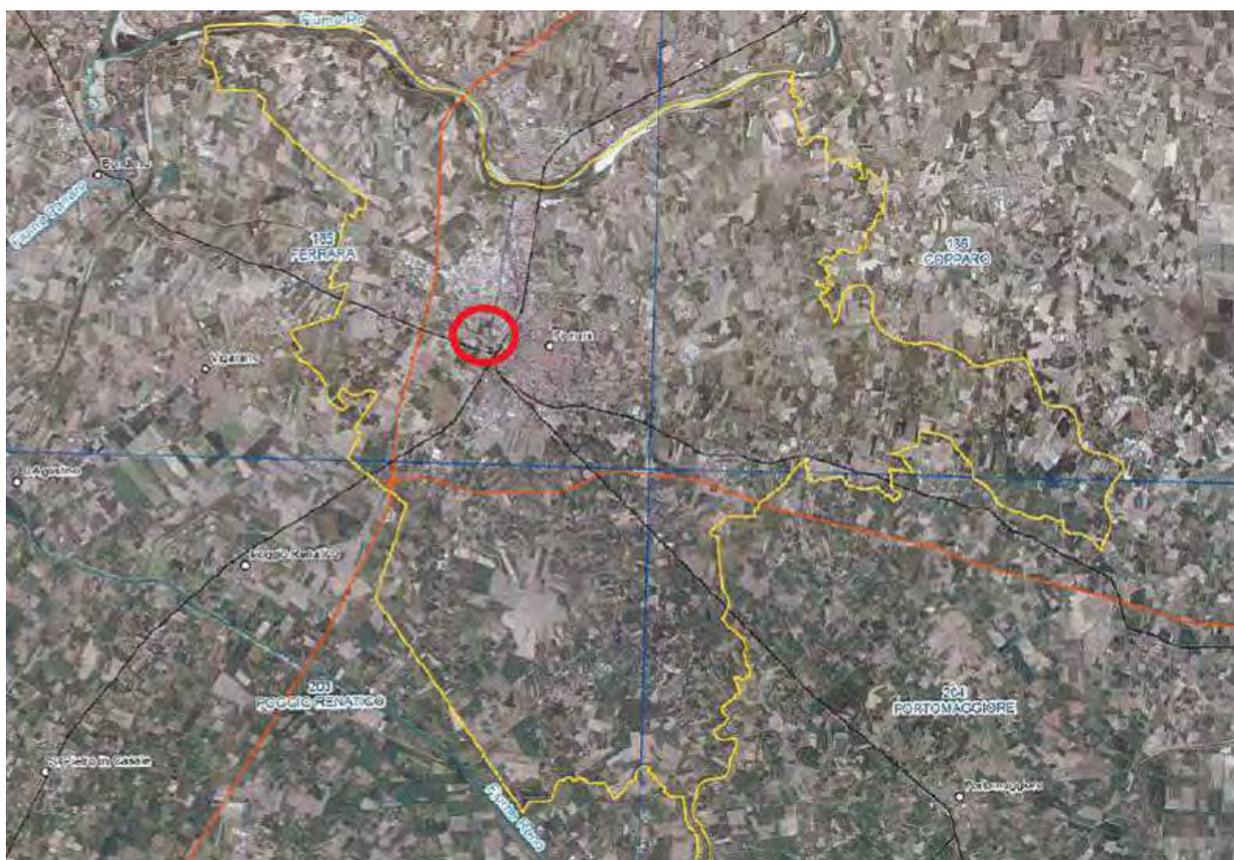


Fig. 2.1 – Inquadramento geografico dell'area su ortofoto AGEA 2011. In giallo il confine comunale di Ferrara, in arancione le principali arterie stradali, in nero le linee ferroviarie e cerchiata in rosso l'area d'intervento. Sono riportati anche i quadranti topografici al 50.000 con i rispettivi codici.

2.2 Inquadramento catastale

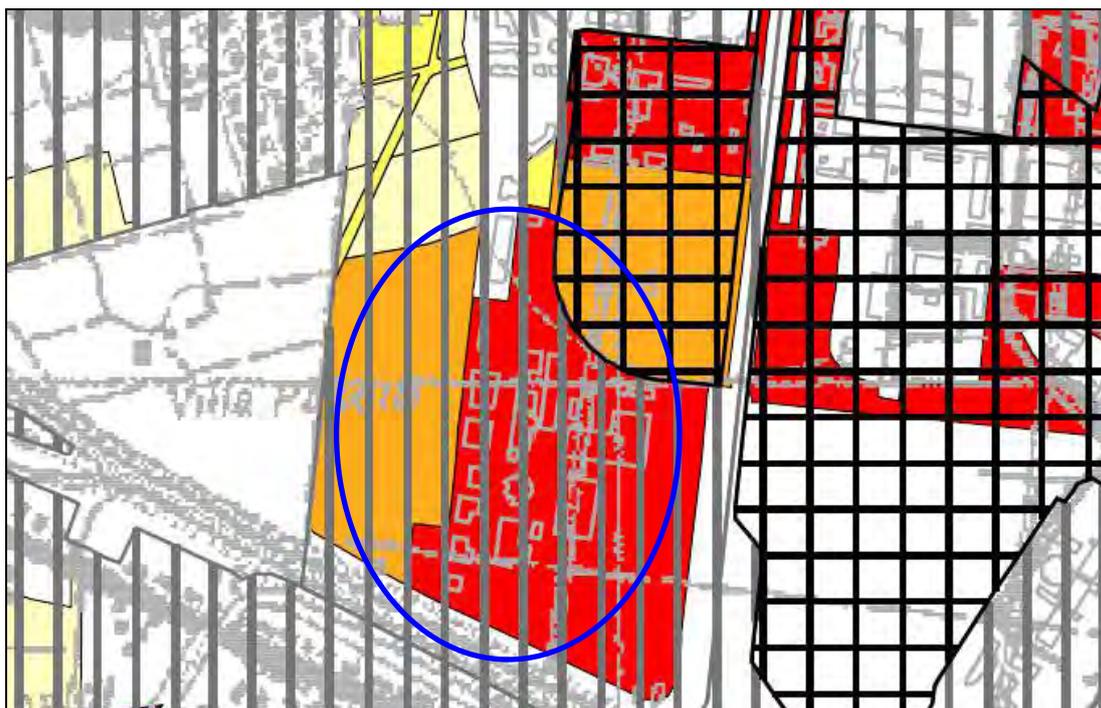
L'area di intervento è rappresentata al catasto terreni di Ferrara al Foglio 134 Mappale 278.



Fig. 2.3 – Inquadramento catastale dell'area.

2.3 Destinazione d'uso

L'area dello stabilimento è inserita dal PSC del Comune di Ferrara nella Zona 1.A e 2.A ovvero "Aree di riqualificazione o nuova urbanizzazione residenziale o terziaria e per realizzazione servizi". Nelle immagini seguenti sono riportati stralci del PSC (in vigore dal 03/06/2009), in particolare delle tavole 6.2.a "Carta della Classe dei Suoli" e 4.2.a "Gli Ambiti".



Classificazione PSC/IB	area di riqualificazione o nuove urbanizzazioni intermedie o terziarie per realizzazione servizi	area di riqualificazione di nuove urbanizzazioni produttiva e per realizzazione servizi	area per pianificazione di riqualificazione ambientale
area edificata	1	2	3C
area ed edificabile	2A	2B	2C
area ex istantanea	3A	3B	3C
area ex agricola	4A	4B	4C

RIBIBAZIONE	
[Pattern]	servizi
[Pattern]	carico urbano
[Pattern]	Spina dorsale
[Pattern]	torre

Fig. 2.4 – Particolare con legenda della tavola 6.2.a “Carta della Classe dei Suoli” del PSC del Comune di Ferrara. In blu è evidenziata l’area in esame

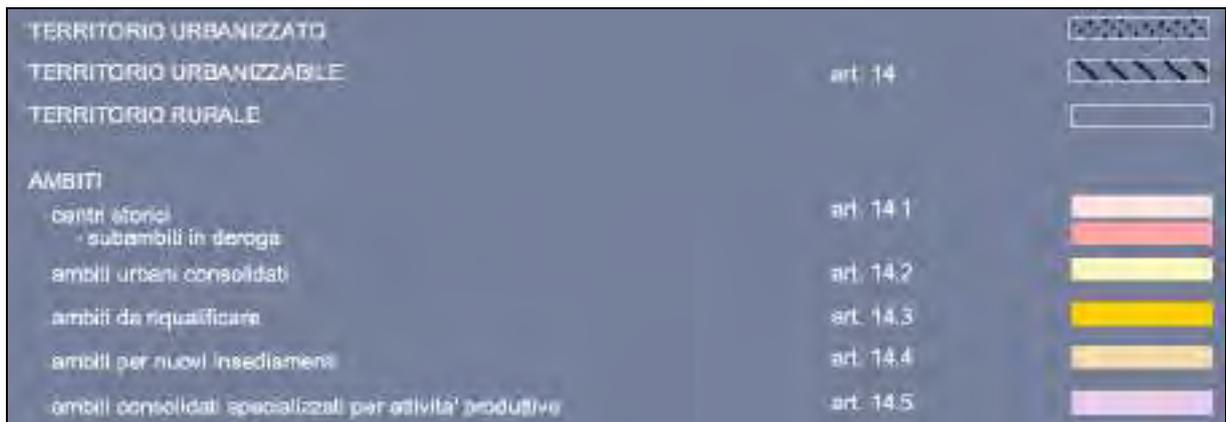


Fig. 2.5 – Particolare con legenda della tavola 4.2.a “Gli Ambiti” del PSC del Comune di Ferrara.
In blu è evidenziata l’area in esame

Nel Piano Strutturale Comunale (P.S.C.) del Comune di Ferrara del 03/12/2008 - Schede degli ambiti Tav. 4.3.12, l’area ricade nella struttura insediativa 12 (Mizzana) nell’ambito urbano (12 AR) da riqualificare “costituito da aree urbane che necessitano interventi di miglioramento ambientale e architettonico, poste fra il Canale Boicelli e il canale Burana, prevalentemente composte dal comparto produttivo della distilleria e dallo stabilimento dismesso ex Cerestar” (v. Fig. 2.4).



Fig. 2.6 – Stralcio estratto Piano Strutturale Comunale del Comune di Ferrara - Schede degli ambiti Tav. 4.3.12 (tratteggiata in viola l'area di indagine)

L'area di proprietà Real Estate Ferrara S.r.l. ricade all'interno della scheda di comparto 12 AR 01 del Piano Operativo Comunale (P.O.C.) di Ferrara approvato definitivamente il 07/04/2014 con Delibera Consiliare P.G. 20451/2014.

3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

3.1 Geologia strutturale

La formazione della Pianura Padana è strettamente legata all'innalzamento delle Alpi e degli Appennini ed alla loro erosione, con conseguente produzione ed accumulo di grandi quantità di sedimenti sciolti.

L'evoluzione strutturale dell'ampio bacino subsidente padano è connessa con la dinamica degli eventi che, in sequenze spazio-temporali diverse, hanno interessato sia il Sudalpino che l'Appennino, ed hanno prodotto una tettonica compressiva con accorciamento crostale per convergenza e collisione.

In particolare, il progressivo sprofondamento dell'area padana dovuto all'orogenesi appenninica, che spinge le grandi falde appenniniche verso nord-est e crea un'avanfossa sul fronte di avanzamento, ha consentito la deposizione di spessori di sedimenti per diverse migliaia di metri. Il fronte della catena appenninica, infatti, non coincide con il limite morfologico catena-pianura (margine appenninico-padano), ma è individuabile negli archi esterni delle Pieghe Emiliane e Ferraresi (Pieri & Groppi, 1981, vedi Fig. 3.1) sepolte dai sedimenti quaternari padani.

Il vero fronte appenninico, circa all'altezza del Po, sovrascorre quindi verso nord sulla piattaforma padano-veneta.

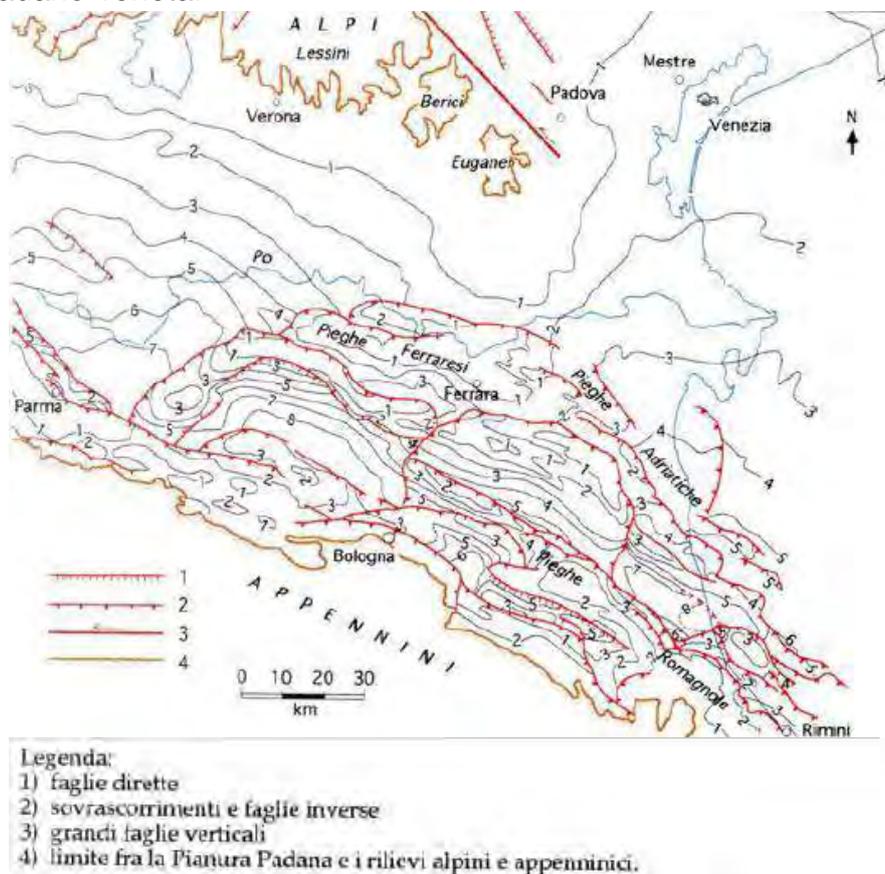


Fig. 3.1 – Carta strutturale della Pianura Padana orientale, con le Pieghe Ferraresi dell'Appennino sepolto (Pieri & Groppi, 1981; CNR, 1992).

Si è avuta così la formazione di gruppi di pieghe e di un fitto sistema di faglie con direzione NNW-SSE; WNW-ESE e N-S, e la suddivisione dell'area padana in settori dislocati da paleofaglie che hanno determinato situazioni di bacino e di alto locale, caratterizzati da una diversa evoluzione.

L'area padana orientale ad est di Modena-Nogara è caratterizzata dalle seguenti zone geologicamente distinte, in successione da nord a sud:

- il fronte delle pieghe sudalpine;
- la isoclinale padano-veneta, a stile rigido;
- la dorsale Cavone-Ferrara, che rappresenta il margine esterno della Padana meridionale, ripiegato e sovrascorso su sé stesso;
- il fronte delle pieghe appenniniche, dove i termini mesozoici non paiono coinvolti nel nucleo delle pieghe prospicienti la Padana.

All'arco ferrarese si affianca, nella parte a mare, l'arco delle pieghe adriatiche che si accavallano invece sulla monoclinale adriatica. Nella parte interna, e cioè meridionale, delle pieghe ferraresi e adriatiche si addossa a sua volta l'arco delle pieghe romagnole.

Tutte le strutture sopraindicate sono delimitate esternamente da fasci di faglie inverse, testimoni di diversi fronti compressivi in avanzamento; internamente, cioè nelle fasce retrostanti ai fronti compressivi, si rilevano sistemi di faglie dirette ad indicare un carattere distensivo.

Le fasi tettoniche si sono succedute dal Burdigaliano al Pleistocene ed hanno portato a successive riprese dei piegamenti ed alla formazione di lineamenti paleogeografici variabili in successione spazio-temporale e quindi all'instaurarsi in sequenza alterna di ambienti deposizionali marini, costieri, deltizi e lagunari in relazione a locali processi di sollevamento e di subsidenza.

Durante il Pliocene medio inizia un periodo di forte subsidenza che continua sino a tutto il Quaternario basale. Nel Quaternario recente la sedimentazione prevale sulla subsidenza, ed in connessione con le regressioni marine provocate dalle glaciazioni, depositi continentali si sovrappongono ai sedimenti marini. Segue poi una nuova fase trasgressiva con arretramento della linea di costa di oltre venti chilometri rispetto alla posizione attuale. Infine durante l'ultima regressione marina postflandriana, sviluppatasi in più fasi, si ebbe un progressivo spostamento verso oriente della linea di costa sino a raggiungere l'odierno assetto geomorfologico.

Da diversi anni si calcola che il valore di subsidenza naturale attribuibile a cause geologiche (compattazione dei sedimenti quaternari, eustatismo ed il basculamento della parte nord-orientale della pianura Padana) raggiunge gli 0,2-0,3 cm/anno. Il movimento di basculamento della Pianura Padana vede la parte occidentale alzarsi lentamente, mentre quella orientale si sta abbassando; questo movimento avviene secondo l'asse Brescia-Genova, orientato NE-SW.

3.2 Caratteristiche geomorfologiche e geologiche

Nella pianura del comune di Ferrara, in superficie affiorano in modo uniforme sedimenti olocenici di piana alluvionale che si spingono in profondità per diversi metri. Seguono, all'aumentare della profondità, depositi più antichi di piana deltizia o alluvionale, depositi fluvio-deltizi e litorali, depositi marini e infine la roccia vera e propria, variamente deformata e fratturata; gli ultimi depositi marini sono di tipo sabbioso, di spiaggia, a testimonianza del graduale colmamento del bacino. Le rocce più recenti sono rappresentate da accumuli detritici disordinati e caotici, in quello che era un golfo marino in subsidenza. Le rocce più antiche costituiscono una parte sepolta dell'Appennino; in particolare, l'area oggetto di studio insiste su una serie di pieghe anticlinali associate a faglie, la cosiddetta Dorsale ferrarese, il cui movimento è la causa dei terremoti che si sono registrati nella zona.

I sedimenti olocenici superficiali (mediamente primi 20 metri di profondità), di interesse applicativo per la pianificazione territoriale, sono la conseguenza della fase di accumulo detritico di tipo prevalentemente fluviale, successiva alla completa emersione della pianura ferrarese. La deposizione di tipo fluviale, avvenuta in modo non uniforme, ha avuto come conseguenza diretta una estrema eterogeneità granulometrica dei sedimenti, sia in senso verticale che areale, per cui l'assetto stratigrafico della zona risulta abbastanza complesso.

In epoca olocenica e storica l'area oggetto di studio era interessata da una fitta rete idrografica, i cui corsi d'acqua erano liberi di espandere le proprie acque di piena nelle zone circostanti: nelle sponde naturali dell'alveo e nelle aree immediatamente circostanti (aree di più alta energia idrodinamica) erano depositati i materiali più grossolani trasportati in sospensione, mentre i sedimenti più fini si distribuivano lontano, nelle aree situate tra un alveo e l'altro (acque di esondazione caratterizzate da bassa energia di trasporto). Questo comportamento è confermato anche dall'assetto altimetrico della zona: il territorio del comune di Ferrara è caratterizzato da fasce di terreno più elevate, in corrispondenza dei corsi fluviali esistenti ed estinti (sedimenti grossolani meno compressibili) e da varie zone depresse (sedimenti fini maggiormente compressibili).

Nel territorio del comune si possono quindi distinguere entro i primi 20 m di profondità tre ambienti morfologici - deposizionali principali:

1. Ambiente dei paleoalvei, caratterizzato dalla presenza di corpi sabbiosi inclusi in macrostrati di terreni fini. Tali corpi sabbiosi, talvolta affioranti, spesso sepolti, si sviluppano linearmente seguendo i corsi degli alvei fluviali attivi o estinti; generalmente sono sormontati da decimetri di fanghi di chiusura dei canali.
2. Ambiente dei bacini interfluviali, costituito dalle aree di sedimentazione delle frazioni più fini. Tale ambiente è caratterizzato dalla prevalenza di argille inorganiche, argille limose, limi argillosi laminati, argille organiche, con frequenti intercalazioni torbose.

3. Ambiente di transizione dalle zone di paleoalveo a quelle dei bacini interfluviali, caratterizzato da alternanze di materiali fini e lenti sabbiose.

I depositi di epoca olocenica superficiali insistono su depositi sabbiosi di età fine-Pleistocene/primo-Olocene (ambienti di steppa-taiga glaciale di media pianura) diffusi con continuità in tutto il territorio comunale, più superficiali a nord, dove il tetto delle sabbie glaciali si trova tra i 18 m e i 25 m di profondità, più approfonditi a sud, dove il tetto si spinge fino ad oltre 30 m. Gli ambienti morfologici - deposizionali descritti sono ben evidenziati nella Carta Geologica Provinciale di Pianura rappresentata, limitatamente al territorio comunale, in figura seguente. Le informazioni contenute nella carta sono sostanzialmente riferibili alla superficie; oltre alla caratterizzazione litologica dei depositi superficiali essa riporta la suddivisione in ambienti deposizionali.

Nel territorio del Comune di Ferrara la carta evidenzia la presenza di:

- aree interfluviali e depositi di palude, caratterizzati da argille limose, argille e limi argillosi laminati;
- depositi di palude, caratterizzati da limi e limi argillosi;
- depositi di argine distale, caratterizzati da limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose;
- depositi di canale distributore e di argine, caratterizzati da sabbie da medie a fini;
- depositi di canale e argine prossimale, caratterizzati da sabbie medie e fini;
- depositi di piana a meandri, caratterizzati da sabbie medie e grossolane.

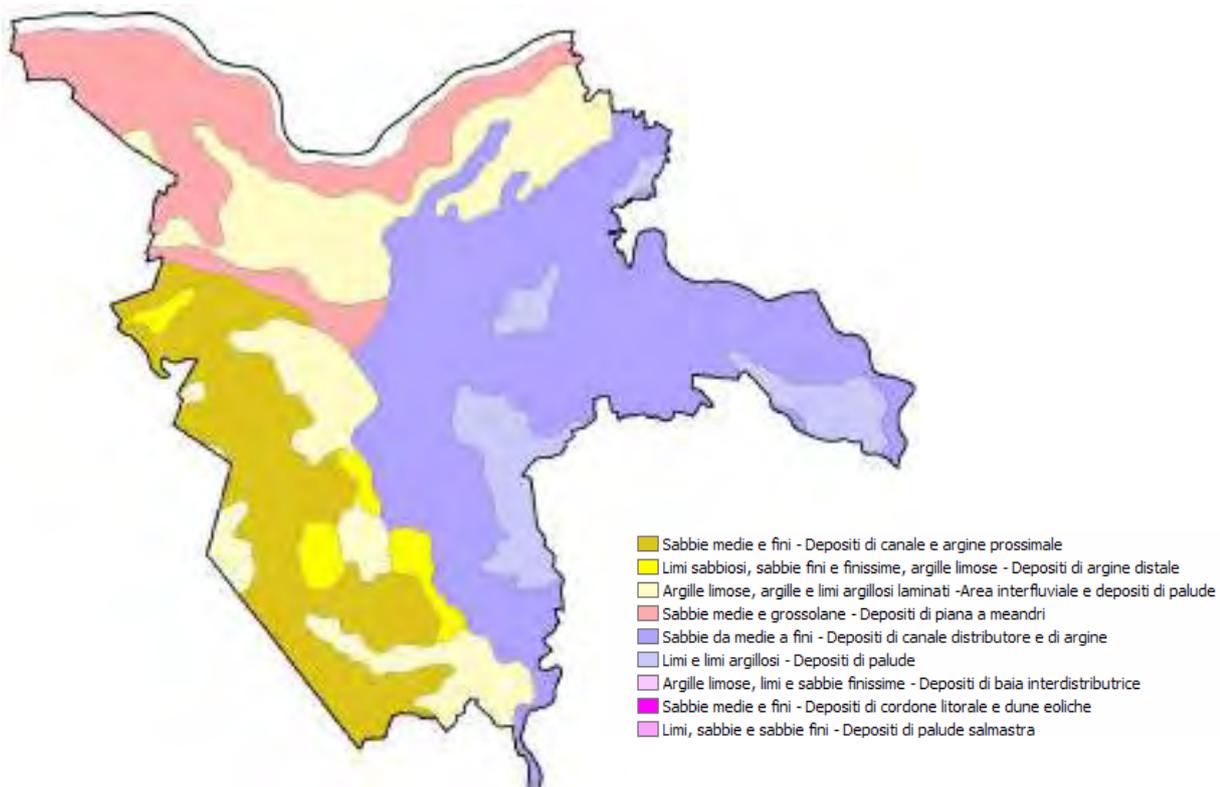


Fig. 3.2 - Stralcio della carta geologica di pianura

Sovrapponendo alla Carta Geologica la Carta Geomorfologia Comunale, come riportato in figura seguente, si ha conferma del fatto che la distribuzione degli ambienti deposizionali descritti è funzione della storia morfologica del territorio ferrarese. I materiali più grossolani (sabbie) si sono concentrati nelle aree di paleoalveo e nelle loro immediate vicinanze, mentre i terreni a grana fine si sono depositati nelle zone più distanti.

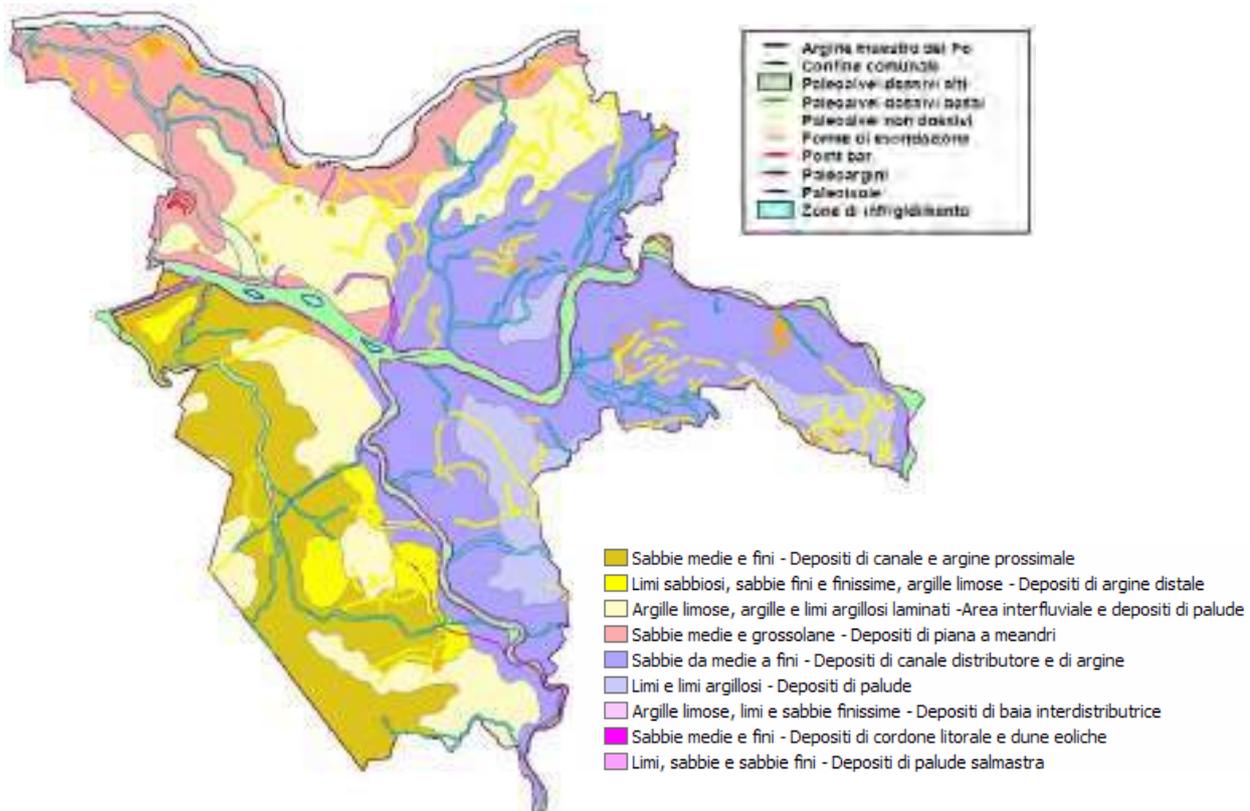


Fig. 3.3 - Sovrapposizione della carta geologica di pianura e della carta geomorfologica comunale.

L'assetto geomorfologico del territorio ferrarese è infatti il risultato delle vicissitudini del Fiume Po.

In particolare, dalla rotta di Ficarolo del 1150 circa il fiume ha abbandonato l'antico corso per spostarsi più a nord, dove, in linea generale, è posizionato il tracciato attuale. Questa situazione morfologica complessa ha condizionato e regolato la deposizione dei sedimenti trasportati dal fiume con il risultato di ottenere aree di alto strutturale definite dossi, costituiti da terreni sabbiosi indicanti paleoalvei, barre e sponde naturali relitti o sepolte, e zone depresse formate da argille e limi, denominate catini.

L'intervento dell'uomo nel controllare il regime naturale del fiume, per difendersi dalle esondazioni, ha provocato il crescente aumento del livello del fiume accentuando le differenze altimetriche con le circostanti campagne per marcato apporto di nuovi sedimenti e provocando modificazioni nel deflusso naturale delle acque superficiali a causa anche di fenomeni di subsidenza naturali tipici di quest'area geografica.

L'area in questione cade all'interno del **paleoalveo dossivo alto** rappresentante il vecchio corso del fiume Po, ed in parte è compresa in una paleoisola, come si può vedere in Figura 3.4.

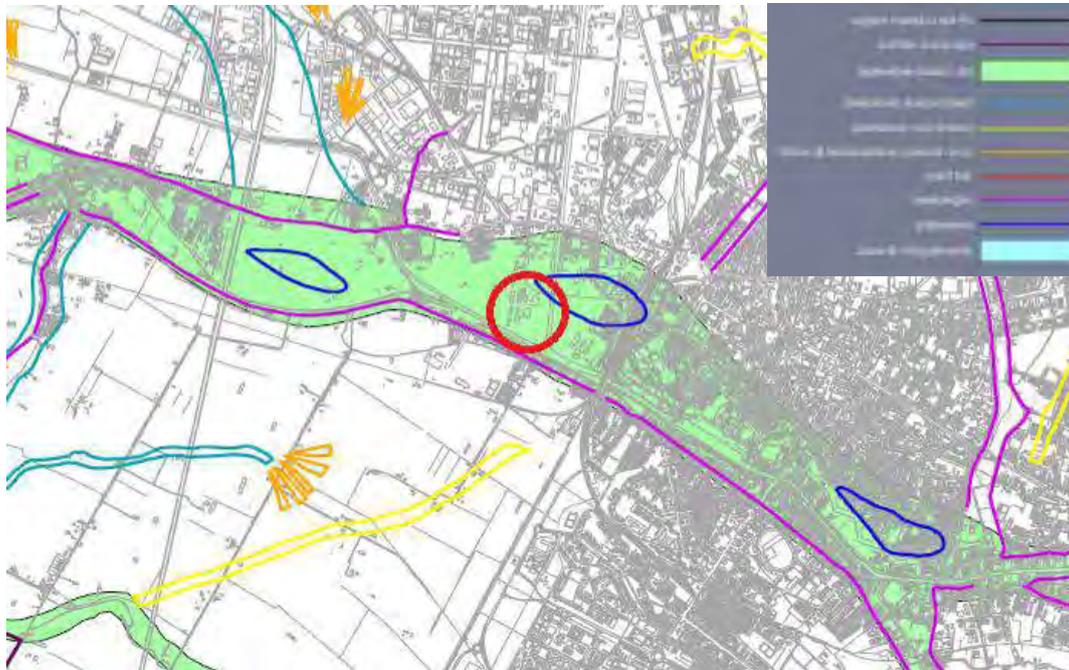


Fig. 3.4 – Stralcio della Carta Geomorfologica Comunale, area d'indagine in rosso.

La distribuzione litologica dei sedimenti più superficiali (primi 80 cm dal piano campagna locale) è anch'essa legata alla dinamica delle divagazioni fluviali del reticolo idrografico che caratterizzava la zona. La Carta della Litologia di Superficie Comunale, rappresentata in figura seguente, evidenzia un'estrema variabilità dei litotipi affioranti e in generale una prevalenza di miscele ternarie di argilla, sabbia, limo in corrispondenza dei paleoalvei, e di argille e argille limose lontano da essi.



Fig. 3.5 – Carta della litologia di superficie comunale.

3.3 Caratteristiche litostratigrafiche sito specifiche

Le caratteristiche litostratigrafiche riportate nel seguente paragrafo, sono state estrapolate dalle prove pregresse eseguite nel sito interessato (v. Fig. 3.6) a seguito delle procedure di bonifica svoltesi dal 2012 al 2016 (v. Doc. 1,2,3,4 alla Tab. 1.1).

Nel sito in esame, come richiesto dal Comune di Ferrara, sono stati eseguiti numerosi sondaggi spinti a varie profondità, fino a raggiungere la massima di -46 m da p.c.

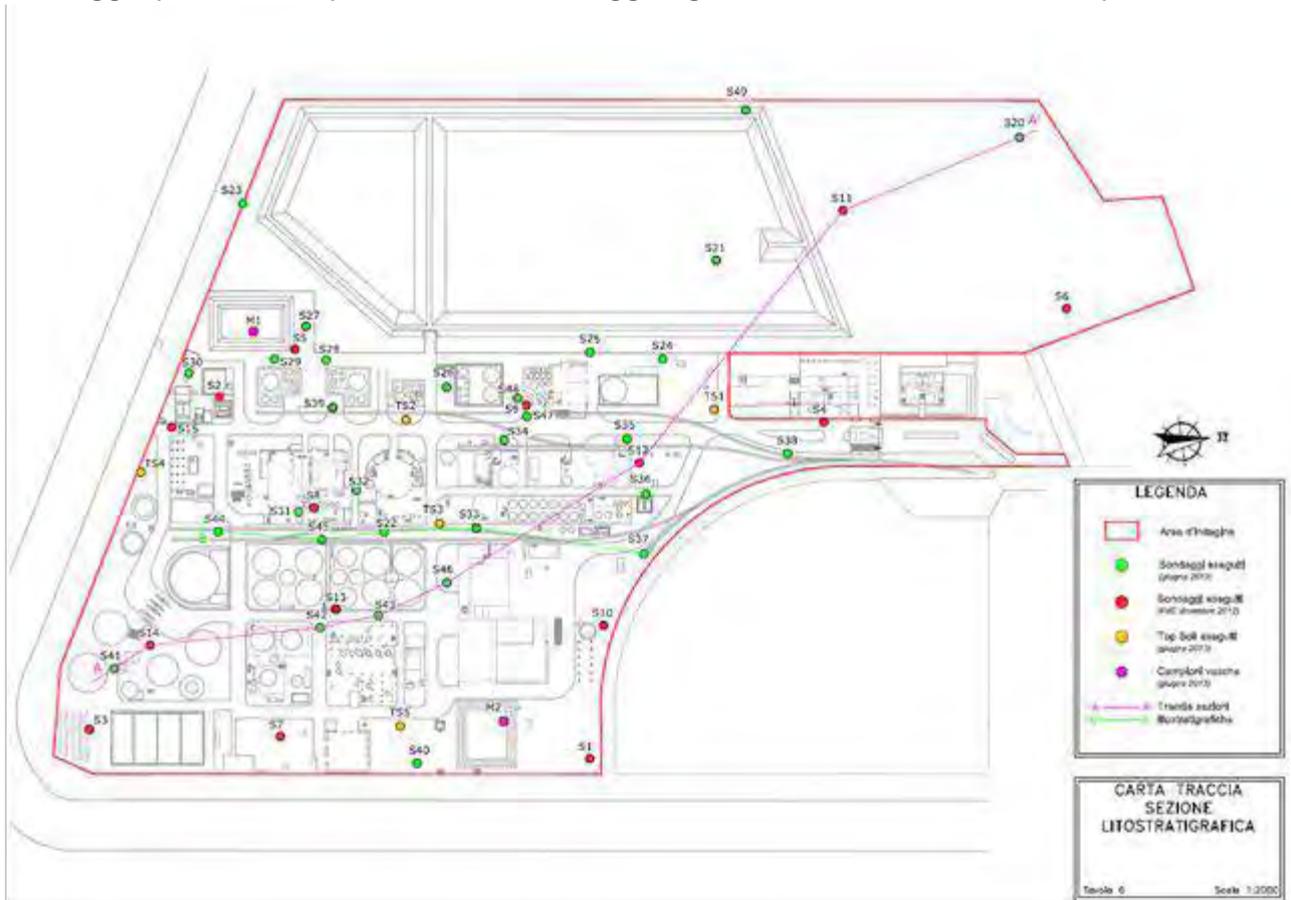


Fig. 3.6 – Carta delle prove geonostiche eseguite in ambito della bonifica del sito.

In linea generale l'area può essere suddivisa in:

- una **porzione centro-meridionale** caratterizzata **dall'alternanza di orizzonti coesivi a bassa permeabilità ed orizzonti prevalentemente sabbiosi dotati di maggiore permeabilità** (acquifero); nel particolare sono stati identificati sei livelli di terreno omogenei (successione litostratigrafica di seguito riportata);
- una **porzione settentrionale** caratterizzata dall'assenza di livelli coesivi e dalla predominanza di terreni granulari (sondaggi S1, S4, S6, S11, S20). In corrispondenza di tali punti vengono infatti identificati esclusivamente due livelli: un **primo livello** costituito da materiale di riporto, di spessore massimo pari a 2,00 – 3,00 metri, ed un **secondo livello** di natura granulare costituito da sabbia/limo sabbioso presente fino alla massima profondità indagata (-20 metri da p.c.). **Come già accennato risultano completamente assenti i livelli di**

natura coesiva; tale situazione evidenzia la presenza di un paleoalveo (v. figura seguente).

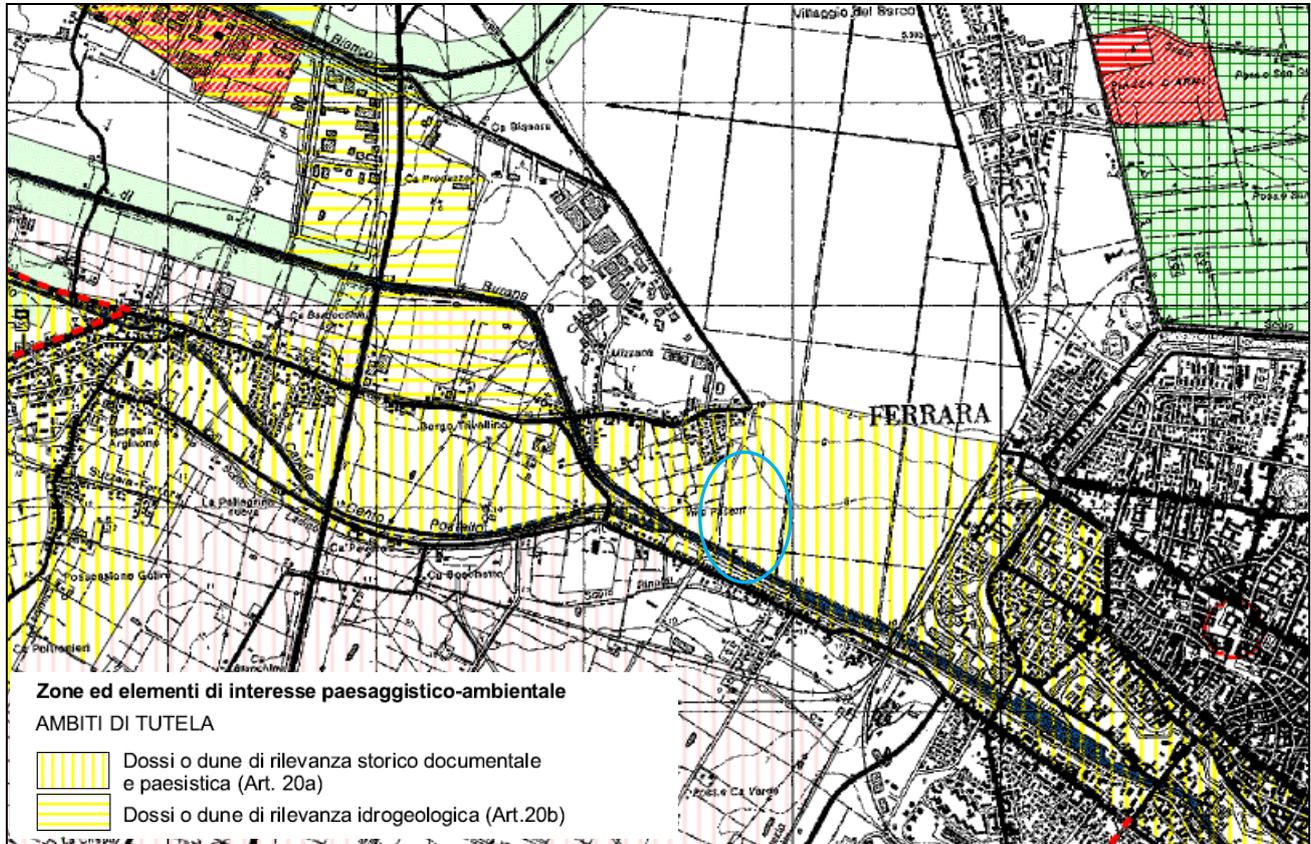


Fig. 3.7 – Stralcio Tavola 5.2 “Il sistema ambientale” del Piano Territoriale di coordinamento provinciale della Provincia di Ferrara (in azzurro l’area di indagine)

In Fig. 3.6 è riportata la traccia delle sezioni stratigrafiche elaborate, mentre in Fig. 3.8 – 3.9 vengono riportate le sezioni A-A’ e B-B’. Di seguito i principali livelli di terreno omogenei, determinati dall’interpretazione dei sondaggi eseguiti fino alla profondità di circa 9 metri dal piano campagna:

- **Primo livello:** materiale di riporto, costituito da litologie variabili (limo/argilloso e limo/sabbioso) con frammenti di laterizi e ghiaia/sabbia nocciola. In corrispondenza dei sondaggi S42 e S43 è presente una pavimentazione in conglomerato bituminoso di spessore massimo 0,20 metri. *Presenta spessori variabili tra 0,80 m. e 1,30 m. da p.c. nella parte sud del profilo A-A’ e da circa 1,00 m. a 3,40 m. da p.c. nel profilo B-B’;*
- **Secondo livello:** costituito da limo argilloso/argilla limosa, a tratti debolmente sabbiosa, marrone-nocciola. Nella porzione a nord, come emerge dal profilo A-A’ (Tav. 7), l’unità arriva al p.c. (primo livello assente) in quanto area verde non antropizzata mentre nel profilo B-B’ (tav. 7) in alcuni tratti risulta mancante per opere antropiche (S22 e S33). *Presenta spessori variabili sino a 3 metri (S20), il letto di tale livello è posto alla profondità variabile tra -2 (S44) e -3 (S2) da p.c.;*

- **Terzo livello:** costituito da sabbia limosa a limo sabbioso color grigio-scuro/grigio-marrone.
Presenta spessori variabili tra 3,70 metri (S37) e 5,80 metri (S46), il letto di tale livello spesso non è stato raggiunto. Nel sondaggio S12 lo spessore di questo livello arriva fino alla profondità di 8,50 m. da p.c..

Analizzando la stratigrafia del sondaggio S12 (vedi Piano di Caratterizzazione) spinto sino alla profondità di -46 m. da p.c., emerge la seguente successione stratigrafica profonda:

- **Quarto livello:** costituito da alternanze di livelli coesivi (argille limose/argille debolmente limose/limi argillosi) e livelli di natura granulare (sabbie fini/sabbie limose/limi sabbiosi).
Presenta uno spessore di 9,60 metri, il letto di tale livello è posto alla profondità di -18,10 metri da p.c.,
- **Quinto livello:** costituito da sabbia medio/fine grigia a tratti limosa; la percentuale di frazione limosa all'interno del livello aumenta verso la base del livello dove compaiono anche noduli carbonatici
Presenta spessore pari a 27,40 metri, il letto di tale livello è posto alla profondità di -45,50 metri da p.c.;
- **Sesto livello:** costituito da argilla debolmente limosa grigia, rappresentante il tetto delle "argille di base". Dall'indagine eseguita non è possibile determinare lo spessore di tale livello in quanto ha raggiunto la profondità massima di -46,00 metri da p.c..

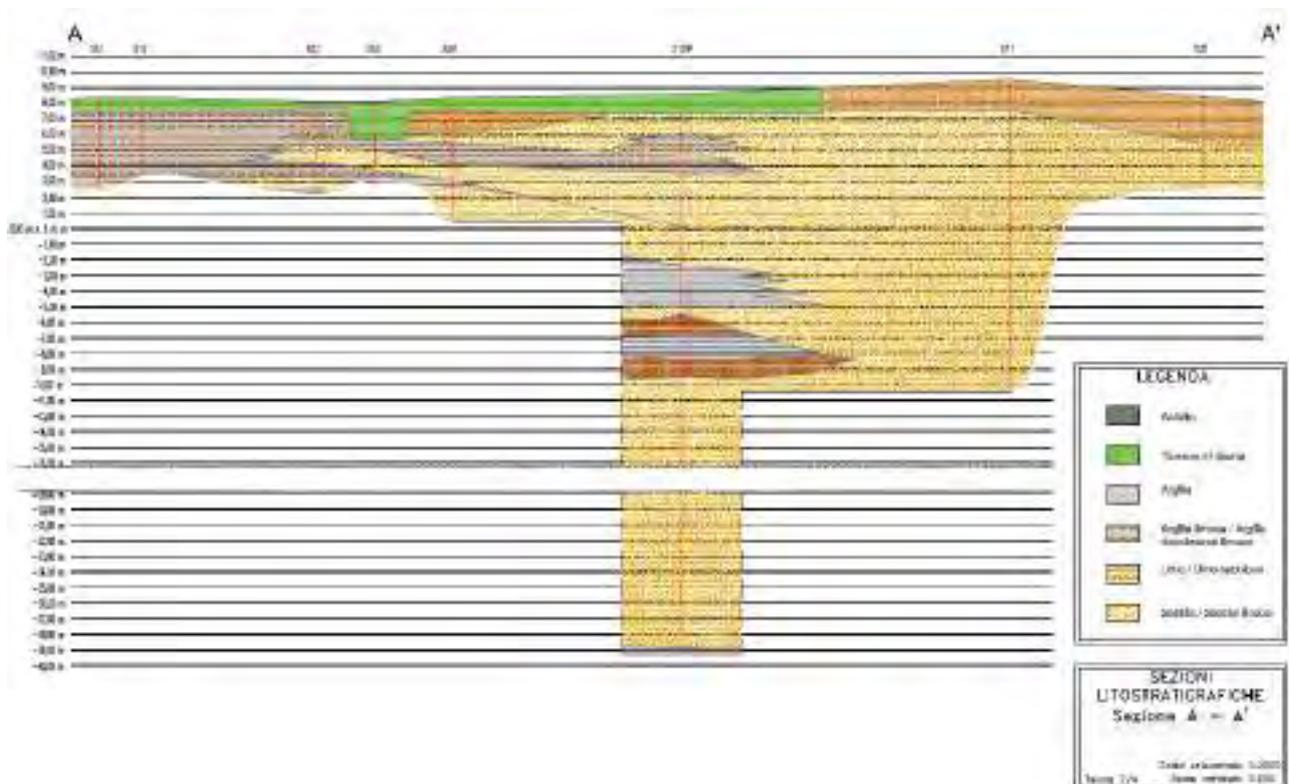


Fig. 3.8 – Sezione stratigrafica A-A'.

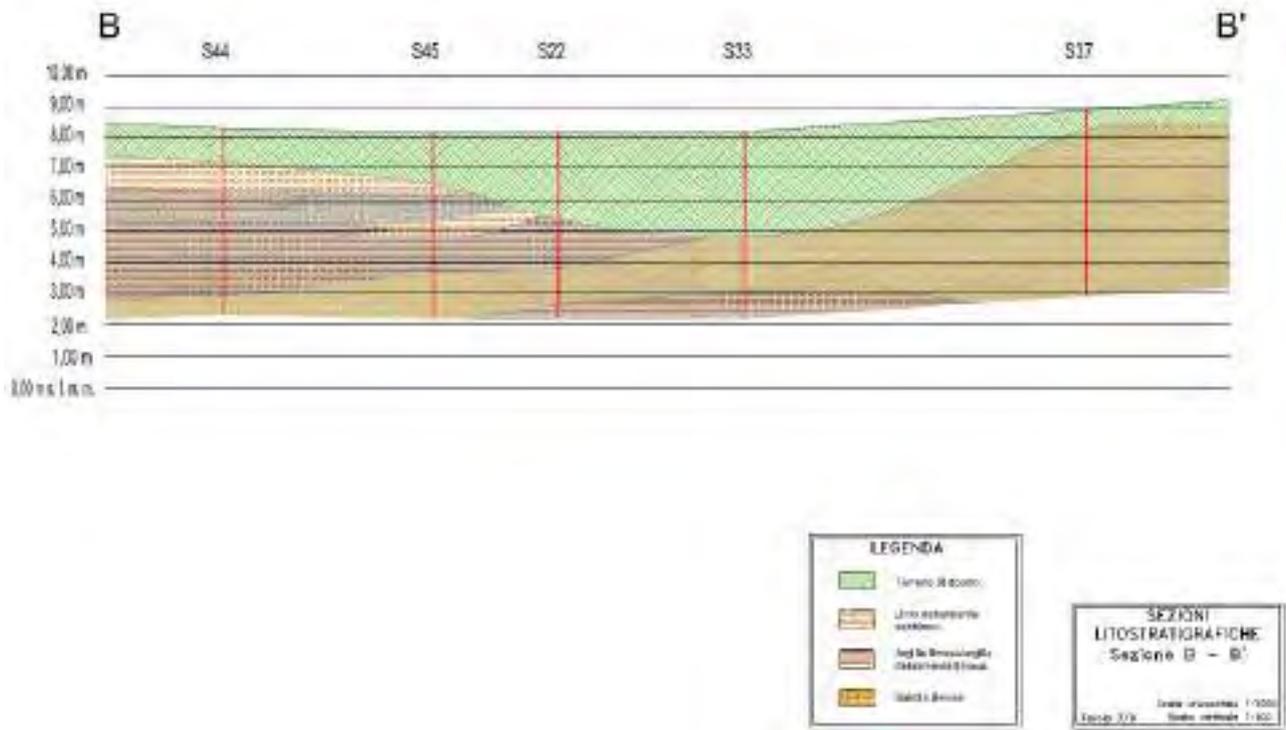


Fig. 3.9 – Sezione stratigrafica B-B'.

4 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

4.1 Premessa

Dalla carta geotecnica del Comune di Ferrara (v. Fig. 4.1) si denota che l'area interessata si trova a cavallo tra due terreni a caratteristiche geotecniche differenti: la zona più a sud presenta una compressibilità media e consistenza molle, mentre la parte a nord ha compressibilità medio-bassa e consistenza media.



Fig. 4.1 – Carta geotecnica schematica.

Le informazioni sui dati geotecnici espone nei paragrafi successivi, si riferiscono alle indagini CPT e SCPTU eseguite nel 2012 e CPTU e SCPTU eseguite nel 2018 in merito al procedimento di bonifica del sito.

In particolare, nei due periodi di indagine, sono state eseguite:

- **Indagini Svolte nel 2012 (v. Doc. 1):**

- n. 5 prove penetrometriche statiche (C.P.T.) mediante *Geoprobe 7730DT* spinte fino ad una profondità variabile tra -24,2 e -25,2 metri da p.c.;

- n. 2 prove penetrometriche statiche con piezocono sismico spinte fino alla profondità massima di – 30 metri dal piano campagna (denominate SCPTU1 e SCPTU2).

• **Indagini Svolte nel 2018:**

- n. 4 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) spinte fino ad una profondità di -20 m. da p.c.
- n. 3 prove penetrometriche statiche con piezocono sismico (SCPTU) spinte fino alla profondità di -30 m dal piano campagna.



Fig. 4.2 – Carta di ubicazione delle prove CPT e SCPTU eseguite in sito (v. Tav. 2)

4.2 Caratterizzazione geognostica 2012

4.2.1 Premessa

Di seguito, ai fini del documento in oggetto, si riporta la sintesi dei risultati ottenuti dalle prove geologico tecniche eseguite per la Relazione Geologico Tecnica e Sismica redatta nel Ottobre 2012 (v. Doc.1).

Nelle tabelle seguenti si riporta una sintesi delle indagini eseguite, l'ubicazione delle stesse è riassunta alla tavola 2 allegata al presente documento.

N.	Nome punto	Data esecuzione	Profondità (m da p.c.)
1	CPT 1	11/09/2012	24,80
2	CPT 2	11/09/2012	24,20
3	CPT 3	10/09/2012	24,60
4	CPT 4	11/09/2012	24,80
5	CPT 5	10/09/2012	25,20

N.	Nome punto	Data esecuzione	Profondità (m da p.c.)
1	SCPTU 1	20/09/2012	30,00
2	SCPTU 2	20/09/2012	30,00

4.2.2 Risultati delle prove penetrometriche CPT

Come detto, nell'area d'indagine sono state eseguite n. 5 prove penetrometriche statiche (C.P.T.) mediante *Geoprobe 7730DT* spinte fino ad una profondità variabile tra -24,2 e -25,2 metri da p.c.

Dall'interpretazione dei dati relativi alle prove effettuate, risulta che la successione litostratigrafica dell'area in esame è caratterizzata da:

- un'**alternanza di sabbia da argilloso limosa a limosa ed argilla limosa e/o limo argilloso** fino ad una profondità variabile tra -18,00 e -19,60 m da p.c.;
- **sabbia** fino alla massima profondità indagata.

In particolare, nelle tabelle seguenti vengono riportate, per le indagini effettuate, la descrizione delle caratteristiche litologiche ed il **valore medio di alcuni parametri geotecnici**, di validità orientativa, individuati attraverso correlazioni e bibliografia.

In particolare i parametri geotecnici riportati sono:

- **Rp**: resistenza alla punta (kg/cm^2);
- **Rp/RI**: rapporto fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale del penetrometro,
- **Y'**: Peso di Volume (t/m^3);
- **Dr**: Densità relativa (%);
- ϕ : Angolo d'attrito interno ($^\circ$);
- **Cu**: Coesione non drenata (kg/cm^2);
- **Mo**: Modulo di deformazione edometrico (kg/cm^2).

Tab. 4.3 - Prova penetrometrica CPT1 – 24,8 m								
N. banco	Litologia	Rp (kg/cm ²)	Rp/RI	Y' (t/m ³)	Dr (%)	φ (°)	Cu (Kg/cm ²)	Mo (Kg/cm ²)
1	Da -0,80 a -2,20 metri dal p.c.							
	Sabbia argilloso limosa	91	34	2,00	89	42	/	/
2	Da -2,20 a -18,60 metri dal p.c.84							
	Argilla limosa	14	15	1,01	/	/	0,59	46
3	Da -18,60 a -24,80 metri dal p.c.							
	Sabbia	267	86	1,13	82	41	/	/

Tab. 4.4 - Prova penetrometrica CPT2 – 24,2 m								
N. banco	Litologia	Rp (kg/cm ²)	Rp/RI	Y' (t/m ³)	Dr (%)	φ (°)	Cu (Kg/cm ²)	Mo (Kg/cm ²)
1	Da -0,20 a -2,80 metri dal p.c.							
	Limo argilloso sabbioso	50	28	1,98	/	/	1,33	119
2	Da -2,80 a -11,20 metri dal p.c.84							
	Limo argilloso	14	21	0,98	/	/	0,58	45
3	Da -11,20 a -12,00 metri dal p.c.							
	Sabbia limosa	74	45	0,98	50	37	/	/
4	Da -12,00 a -14,80 metri dal p.c.							
	Argilla limosa	14	17	0,93	/	/	0,64	49
5	Da -14,80 a -18,00 metri dal p.c.							
	Limo argilloso sabbioso	49	32	0,95	/	/	1,18	104
6	Da -18,00 a -24,20 metri dal p.c.							
	Sabbia	251	81	1,14	81	41	/	/

Tab. 4.5 - Prova penetrometrica CPT3 – 24,6 m								
N. banco	Litologia	Rp (kg/cm ²)	Rp/RI	Y' (t/m ³)	Dr (%)	φ (°)	Cu (Kg/cm ²)	Mo (Kg/cm ²)
1	Da -0,80 a -15,80 metri dal p.c.							
	Limo argilloso	16	18	1,20	/	/	0,67	52
2	Da -15,80 a -19,60 metri dal p.c.84							
	Limo argilloso sabbioso	45	24	0,97	/	/	1,22	108
3	Da -19,60 a -24,60 metri dal p.c.							

	Sabbia	302	71	1,15	86	42	/	/
--	--------	-----	----	------	----	----	---	---

Tab. 4.6 - Prova penetrometrica CPT4 – 24,8 m								
N. banco	Litologia	Rp (kg/cm²)	Rp/RI	Y' (t/m³)	Dr (%)	φ (°)	Cu (Kg/cm²)	Mo (Kg/cm²)
Da –1,00 a –11,80 metri dal p.c.								
1	Limo argilloso sabbioso	14	27	1,03	/	/	0,60	46
Da –11,80 a –13,00 metri dal p.c.84								
2	Sabbia limosa	46	45	0,94	32	35	/	/
Da –13,00 a –15,20 metri dal p.c.								
3	Limo argilloso	16	21	0,91	/	/	0,60	46
Da –15,20 a –19,00 metri dal p.c.								
4	Argilla limosa	37	18	0,98	/	/	1,27	112
Da –19,00 a –24,80 metri dal p.c.								
5	Sabbia	259	69	1,14	83	41	/	/

Tab. 4.7 - Prova penetrometrica CPT5 – 25,2 m								
N. banco	Litologia	Rp (kg/cm²)	Rp/RI	Y' (t/m³)	Dr (%)	φ (°)	Cu (Kg/cm²)	Mo (Kg/cm²)
Da –0,80 a –12,60 metri dal p.c.84								
1	Limo argilloso	16	20	1,22	/	/	0,67	51
Da –12,60 a –19,40 metri dal p.c.84								
2	Limo argilloso sabbioso	33	24	0,96	/	/	1,15	100
Da –19,40 a –25,20 metri dal p.c.								
3	Sabbia limosa	286	79	1,13	83	41	/	/

4.2.3 Risultati delle prove penetrometriche SCPTU

In data 20 Settembre 2012 nell'area d'indagine sono state eseguite n. 2 prove penetrometriche statiche con piezocono sismico spinte fino alla profondità massima di – 30 metri di profondità dal piano campagna (denominate SCPTU1 e SCPTU2). I risultati sono esposti nelle figure 4.3 – 4.4 (v. Doc. 1).

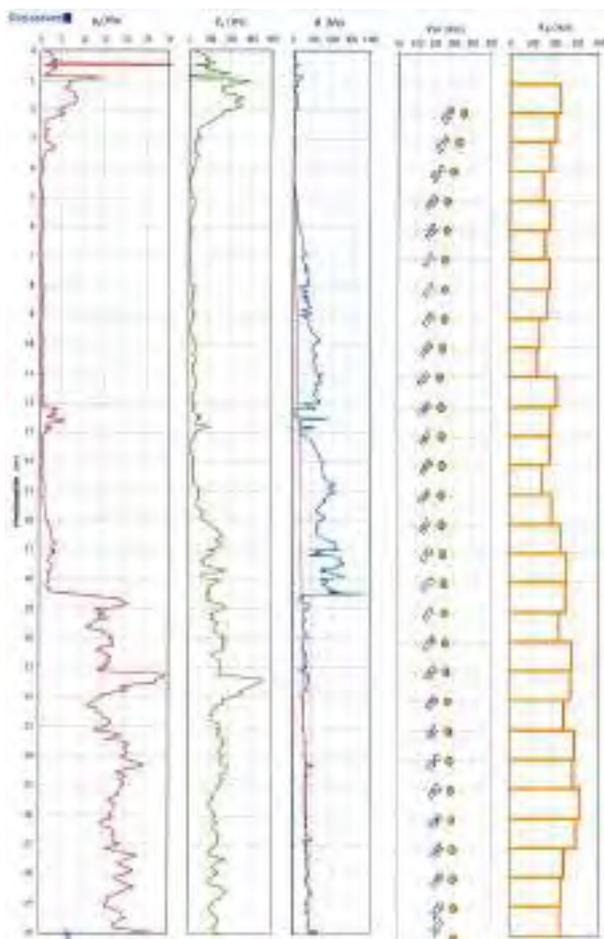


Fig. 4.3 – Risultati prova SCPTU 1

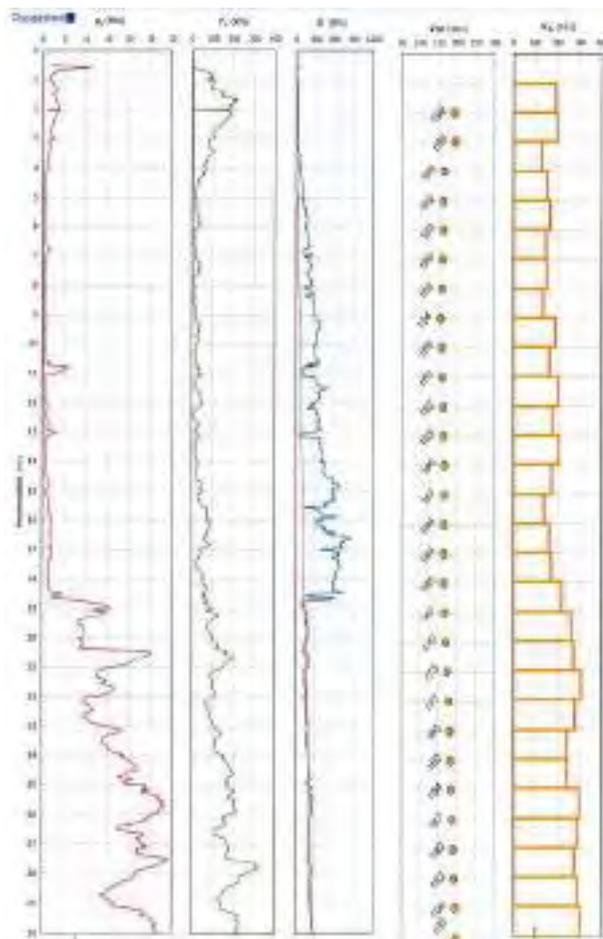


Fig. 4.4 – Risultati prova SCPTU2

Le prove eseguite con Piezocono Sismico hanno permesso l'individuazione delle velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) lungo la verticale di indagine. Tali informazioni, come descritto al successivo capitolo, permettono di individuare classificare da un punto di vista sismico il terreno indagato.

4.3 Caratterizzazione geognostica 2018

4.3.1 Premessa

Di seguito ai fini del documento in oggetto, si riporta la sintesi dei risultati ottenuti dalle prove geologico tecniche eseguite nel luglio 2018.

Nelle tabelle seguenti si riporta una sintesi delle indagini eseguite, l'ubicazione delle stesse è riassunta alla tavola 2 allegata al presente documento.

Tab. 4.8 – Prove penetrometriche statiche: CPTU			
N.	Nome punto	Data esecuzione	Profondità (m da p.c.)
1	CPTU 1	19/07/2018	20,00
2	CPTU 2	19/07/2018	20,00
3	CPTU 3	19/07/2018	20,00
4	CPTU 4	19/07/2018	20,00
5	CPTU 5	23/07/2018	20,00
6	CPTU 6	23/07/2018	20,00
7	CPTU 7	23/07/2018	20,00
8	CPTU 8	23/07/2018	20,00
9	CPTU 9	23/07/2018	20,00

Tab. 4.9 – Prove penetrometriche statiche con piezocono sismico: SCPTU			
N.	Nome punto	Data esecuzione	Profondità (m da p.c.)
1	SCPTU A	18/07/2018	30,00
2	SCPTU B	20/07/2018	30,00
3	SCPTU C	20/07/2018	30,00

4.3.2 Prove penetrometriche CPTU

Le prove penetrometriche con piezocono permettono di acquisire, grazie ad una spinta continua come per le prove CPT, la q_c (resistenza alla punta) e la f_s (resistenza laterale), il sistema acquisisce inoltre le pressioni neutre, l'angolo di inclinazione della batteria di aste ed il tempo di dissipazione (tempo intercorrente tra la misura della sovrappressione ottenuta in fase di spinta e la pressione misurata in fase di alleggerimento di spinta) tramite l'utilizzo di un piezocono. Quest'ultimo è costituito da un penetrometro a punta munita di sensori con una parte in materiale poroso per la misura della pressione dei pori. La pressione indotta dalla punta produce un incremento della pressione interstiziale u , che viene dissipata più o meno rapidamente secondo la permeabilità degli strati. Il grafico relativo permette di riconoscere la diversa natura degli strati, più permeabili con basso incremento della u , meno permeabili con forte incremento della u .



Fig. 4.5 – Strumentazione prove penetrometriche

Le prove penetrometriche eseguite nel mese di Luglio 2018 sono state eseguite, su incarico della committenza dalla Ditta Silge S.a.s, con penetrometro Deep Drill SP200 munito di Piezocono Tecnopenta modello G1-CPLS.



Fig. 4.6 – Penetrometro Deep Drill SP200

Tab. 4.10– Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata
Penetrometro Deep Drill SP 200
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Gruppo motore:</i> Centralina oleodinamica dotata di motore a scoppio, 4 tempi, 22Hp di potenza, marca Koeler ad avviamento elettrico. Il gruppo permette sia il movimento della strumentazione che il funzionamento della stessa. • <i>Chiave idraulica:</i> Potenziate, scorrenti su guide in acciaio, permettono l'infissione delle coclee senza nessuno sforzo da parte dell'operatore. • <i>Sistema d'infissione:</i> In acciaio, è costituito da due cilindri oleodinamici a doppio effetto e da una trave in acciaio di collegamento e contrasto. • <i>Sistema di misura:</i> Idraulico, con lettura diretta dei valori di Rp – RI – Rt su due manometri ad alta precisione ed a scala differenziata o su display elettronico mediante cella di carico elettrica. • <i>Centralina oleodinamica:</i> Kg 065 • <i>Apparato d'infissione:</i> Kg 190 • <i>Sistema di misura:</i> Kg 005 • <i>Peso complessivo SP200 SM:</i> Kg 1010
Penetrometro Deep Drill SP 200
<p>I sensori e le celle di carico sono in grado di rilevare:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Qc (resistenza alla punta) • Fs (attrito laterale) • U (pressione neutra)

Tab. 4.10– Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata
Penetrometro Deep Drill SP 200
<ul style="list-style-type: none">• Inclinazione (2 assi)• Velocità di avanzamento Temperatura Monta un accelerometro 3D adatto a percepire le onde sismiche che unito alla centralina D1-CPL Blue, permette di eseguire prove sismiche per il calcolo del Vs30.

4.3.3 Risultati delle prove penetrometriche CPTU

Nel mese di luglio 2018 sono state eseguite n. 9 prove penetrometriche statiche con piezocono spinte alla profondità massimo di -20 m dal piano campagna.

I dati acquisiti con le prove penetrometriche CPTU sono stati elaborati con il programma CPeT-IT v.2 della Geologismiki Geotechnical Software. Tale programma permette una facile interpretazione dei dati acquisiti con le prove ed esegue interpretazioni sulla base delle condizioni di comportamento del suolo (SBT: Soil Behaviour Type) e vari altri parametri geotecnici basati sulle correlazioni pubblicate da Lunne, Robertson and Powell (1997) e i più recenti aggiornamenti del professor Robertson.

In particolare, nelle tabelle seguenti vengono riportate per le indagini effettuate la descrizione delle caratteristiche litologiche ed il valore di alcuni parametri geotecnici, di validità orientativa, individuati attraverso correlazioni e bibliografia.

In particolare i parametri geotecnici riportati sono:

- **M**: modulo edometrico (kg/cm^2)
- **Es**: Modulo di elasticità longitudinale o modulo di Young (kg/cm^2);
- **Go**: Modulo di taglio massimo (kg/cm^2);
- **Su**: Coesione non drenata (kg/cm^2);
- **Dr**: Densità relativa (%);
- ϕ : Angolo d'attrito interno ($^\circ$);
- **Y'**: Peso di Volume (t/m^3).

Tutti i risultati e le elaborazioni delle prove penetrometriche con piezocono sono riepilogati all'Allegato 1 del presente documento. Ogni prova penetrometrica eseguita ha necessitato di un prescavo variabile da 1.50 m da p.c. a 2.00 m da p.c. al fine di oltrepassare eventuali solette in calcestruzzo e/o asfalto.

Tab. 4.11 - Prova penetrometrica CPTU 1 – 20,0 m								
N.	Litologia	M (kg/cm ²)	E_s (kg/cm ²)	G₀ (kg/cm ²)	Su (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m ³)
Da -2 a -3.70 metri dal p.c.								
1	Argilla e limo argilloso	130,4	326,1	362,8	0,65	-	-	1,75
Da -3.70 a -4.50 metri dal p.c.								
2	Suoli organici	5,1	-	143,6	0,08	-	-	1,57
Da -4.50 a -8.90 metri dal p.c.								
3	Argilla con livelli limosi e organici	18,3	237,4	218,1	0,23	-	-	1,55
Da -8.90 a -9.25 metri dal p.c.								
4	Limo sabbioso e sabbia limosa	244,5	455,5	495,2	-	40,5	36,9	1,70
Da -9.25 a - 18.50 metri dal p.c.								
5	Argilla con livelli limosi	104,9	587,9	511,5	0,82	-	-	1,72
Da -18.50 a - 20.00 metri dal p.c.								
6	Sabbia e sabbia limosa	1192,2	950,7	1192,2	-	52,3	39,4	1,90

Tab. 4.12 - Prova penetrometrica CPTU 2 – 20,0 m								
N.	Litologia	M (kg/cm ²)	E_s (kg/cm ²)	G₀ (kg/cm ²)	Su (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m ³)
Da -2 a -2.75 metri dal p.c.								
1	Argilla e argilla limosa	163,0	301,6	329,1	0,83	-	-	1,73
Da -2.75 a -3.70 metri dal p.c.								
2	Argilla	76,4	-	294,5	0,48	-	-	1,69
Da -3.70 a -5.90 metri dal p.c.								
3	Suoli organici	4,1	-	124,3	0,08	-	-	1,49
Da -5.90 a -12.50 metri dal p.c.								
4	Argilla con presenza di strati composti da suoli organici	10,2	233,3	184,4	0,17	-	-	1,52
Da -12.50 a - 13.50 metri dal p.c.								
5	Argilla e argilla limosa Coesivo	72,3	394,3	350,5	0,56	-	-	1,62
Da -13.50 a - 18.90 metri dal p.c.								
6	Argilla	78,5	559,4	473,8	0,69	-	-	1,71
Da -18.90 a - 20.00 metri dal p.c.								
7	Sabbia e sabbia limosa	1020,0	834,5	1038,3	-	52,1	39,3	1,87

Tab. 4.14 - Prova penetrometrica CPTU 4 – 20,0 m								
N.	Litologia	M (kg/cm ²)	E_s (kg/cm ²)	G₀ (kg/cm ²)	Su (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m ³)
	Sabbia limosa e limo sabbioso	452,4	481,9	577,7	-	35,4	35,6	1,74
	Da -12.90 a – 18.25 metri dal p.c.							
8	Argilla con uno strato di argilla limosa e limo sabbioso	112,1	642,9	520,7	0,85	-	-	1,73
	Da -18.25 a – 20.00 metri dal p.c.							
9	Sabbia e sabbia limosa	1123,9	922,2	1146,3	-	57,3	40,2	1,89

Tab. 4.15 - Prova penetrometrica CPTU 5 – 20,0 m								
N.	Litologia	M (kg/cm ²)	E_s (kg/cm ²)	G₀ (kg/cm ²)	Su (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m ³)
	Da -1.50 a –3.25 metri dal p.c.							
1	Sabbia limosa e limo sabbioso	253,7	303,6	381,1	-	37,0	36,0	1,75
	Da -3.25 a –12.10 metri dal p.c.							
2	Argilla con strati di argilla limosa e suolo organico	27,5	244,5	220,1	0,30	-	-	1,55
	Da -12.10 a –13.00 metri dal p.c.							
3	Argilla limosa con presenza di sabbia limosa	218,1	395,3	445,3	-	31,1	34,4	1,67
	Da -13.00 a –18.00 metri dal p.c.							
4	Argilla con presenza di uno strato sottile di argilla limosa	104,9	-	548,2	0,87	-	-	1,75
	Da -18.00 a – 20.00 metri dal p.c.							
5	Sabbia e sabbia limosa	1051,6	886,5	1096,4	-	51,5	39,2	1,89

Tab. 4.16- Prova penetrometrica CPTU 6 – 20,0 m								
N.	Litologia	M (kg/cm ²)	E_s (kg/cm ²)	G₀ (kg/cm ²)	Su (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m ³)
	Da -1.50 a –3.70 metri dal p.c.							
1	Sabbia limosa e limo sabbioso	151,8	186,5	224,2	-	27,2	33,1	1,58
	Da -3.70 a –7.00 metri dal p.c.							
2	Argilla e argilla limosa con intercalazioni di argilla sensitiva	52,9	146,7	175,2	0,34	-	-	1,47
	Da -7.00 a –11.10 metri dal p.c.							
3	Argilla	35,6	-	267,9	0,38	-	-	1,61

Tab. 4.16- Prova penetrometrica CPTU 6 – 20,0 m								
N.	Litologia	M (kg/cm ²)	E_s (kg/cm ²)	G₀ (kg/cm ²)	Su (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m ³)
Da -11.10 a – 18.50 metri dal p.c.								
4	Argilla e argilla limosa	111,0	535,9	436,1	0,81	-	-	1,68
Da -18.50 a – 20.00 metri dal p.c.								
5	Sabbia e sabbia limosa	1181,0	941,5	1181,0	-	58,9	40,5	1,91

Tab. 4.17 - Prova penetrometrica CPTU 7 – 20,0 m								
N.	Litologia	M (kg/cm ²)	E_s (kg/cm ²)	G₀ (kg/cm ²)	Su (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m ³)
Da -1.50 a –2,95 metri dal p.c.								
1	Sabbia limosa e limo sabbioso con intercalazioni di argilla e argilla limosa	259,8	281,2	356,6	-	36,0	35,8	1,74
Da -2,95 a –5.00 metri dal p.c.								
2	Sabbia e sabbia limosa	498,2	430,0	537,0	-	42,9	37,4	1,76
Da -5.00 a –8.50 metri dal p.c.								
3	Argilla e argilla limosa con intervalli di sabbia limosa	243,5	373,9	446,3	0,72	-	-	1,68
Da -8.50 a –12.40 metri dal p.c.								
4	Sabbia e sabbia limosa con brevi intervalli di argilla	533,9	556,3	664,3	-	40,7	37,0	1,76
Da -12.40 a – 19.10 metri dal p.c.								
5	Argilla e argilla limosa	114,1	532,9	537,0	0,93	-	-	1,70
Da -19.10 a – 20.00 metri dal p.c.								
6	Sabbia e sabbia limosa	1290,0	1029,2	1290,0	-	59,3	40,6	1,92

Tab. 4.18 - Prova penetrometrica CPTU 8 – 20,0 m								
N.	Litologia	M (kg/cm ²)	E_s (kg/cm ²)	G₀ (kg/cm ²)	Su (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m ³)
Da -1.50 a -4.80 metri dal p.c.								
1	Sabbia e sabbia limosa	590,0	485,0	611,4	-	49,9	38,9	1,82
Da -4.80 a -10.10 metri dal p.c.								
2	Argilla e argilla limosa	225,2	353,6	402,5	0,83	-	-	1,68
Da -10.10 a -11.50 metri dal p.c.								
3	Sabbia limosa e limo sabbioso	852,9	774,4	945,6	-	45,6	37,9	1,8
Da -11.50 a -19.00 metri dal p.c.								
4	Argilla con livelli di argilla limosa	85,6	531,9	544,1	0,76	-	-	1,73
Da -19.00 a - 20.00 metri dal p.c.								
5	Sabbia e sabbia limosa	1204,4	960,9	1204,4	-	50,7	39,1	19,0

Tab. 4.19 - Prova penetrometrica CPTU 9 – 20,0 m								
N.	Litologia	M (kg/cm ²)	E_s (kg/cm ²)	G₀ (kg/cm ²)	Su (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m ³)
Da -1.50 a -3.50 metri dal p.c.								
1	Sabbia limosa e limo sabbioso	486,0	397,4	497,3	-	45,8	38,1	1,79
Da -3.50 a -12.00 metri dal p.c.								
2	Sabbia e sabbia limosa	669,5	534,9	670,5	-	46,5	38,3	1,76
Da -12.00 a -19.00 metri dal p.c.								
3	Sabbia limosa e limo sabbioso	870,2	694,9	870,2	-	37,5	36,2	1,80
Da -19.00 a - 20.00 metri dal p.c.								
4	Sabbia	1351,2	1078,1	1351,2	-	61,1	40,9	1,92

4.3.4 Risultati delle prove penetrometriche SCPTU

In data 18 e 20 Luglio 2018 nell'area d'indagine sono state eseguite n. 3 prove penetrometriche statiche con piezocono sismico spinte fino alla profondità massima di - 30 metri di profondità dal piano campagna (denominate SCPTU A, SCPTU B e SCPTU C).

Così come per le prove penetrometriche descritte al paragrafo precedente, tutti i dati di campo sono stati elaborati mediante il software CPeT-IT v.2 della Geologismiki Geotechnical Software. I risultati in forma grafica e tabellare delle elaborazioni sono riportati all'allegato 2 del presente documento, mentre nelle tabelle di seguito elencate sono riportati i principali parametri geotecnici e la descrizione delle caratteristiche litologiche.

Tab. 4.20 - Prova penetrometrica SCPTU A – 30,0 m								
N.	Litologia	M (kg/cm ²)	E _s (kg/cm ²)	G ₀ (kg/cm ²)	Su (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m ³)
Da –2.00 a –6.10 metri dal p.c.								
1	Sabbia limosa e limo sabbioso	452,4	380,1	476,9	-	36,4	35,9	1,73
Da –6.10 a –30.00 metri dal p.c.								
2	Sabbia intervallata da livelli di sabbia limosa e limo sabbioso	1026,1	824,3	1030,2	-	49,1	38,7	1,83

Tab. 4.21 - Prova penetrometrica SCPTU B – 30,0 m								
N.	Litologia	M (kg/cm ²)	E _s (kg/cm ²)	G ₀ (kg/cm ²)	Su (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m ³)
Da –2.00 a –3.70 metri dal p.c.								
1	Argilla e argilla limosa	144,7	226,2	312,8	0,73	-	-	1,70
Da –3.70 a –5.10 metri dal p.c.								
2	Argilla	50,9	-	274,1	0,41	-	-	1,65
Da –5.10 a –6.60 metri dal p.c.								
3	Argilla limosa con un intervallo composto da sabbia e sabbia limosa	199,7	316,9	346,5	-	29,9	34,0	1,65
Da –6.60 a –10.80 metri dal p.c.								
4	Argilla	61,1	-	326,1	0,53	-	-	1,64
Da –10.80 a – 18.40 metri dal p.c.								
5	Argilla limosa	141,6	568,6	514,6	0,95	-	-	1,72
Da –18.40 a – 30.00 metri dal p.c.								
6	Sabbia e sabbia limosa	1388,8	1112,7	1391,9	-	60,5	40,8	1,93

Tab. 4.22 - Prova penetrometrica SCPTU C – 30,0 m								
N.	Litologia	M (kg/cm ²)	E _s (kg/cm ²)	G ₀ (kg/cm ²)	Su (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m ³)
Da –1.50 a –18.10 metri dal p.c.								
1	Argilla e argilla limosa con sottili strati di argilla sensitiva	78,4	191,5	301,6	0,59	-	-	1,60
Da –18.10 a –19.00 metri dal p.c.								
2	Sabbia limosa e limo sabbioso	820,3	796,8	958,8	-	38,3	36,4	1,85
Da –19.00 a –30.00 metri dal p.c.								
3	Sabbia e sabbia limosa	1502,0	1199,3	1504,0	-	67,3	41,8	1,95

5 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

L'intera Provincia di Ferrara presenta condizioni di drenaggio fortemente connesse con l'assetto altimetrico; il territorio possiede una generale pendenza da Ovest verso Est, condizionando la situazione della rete scolante.

A livello macroscopico il modello idrogeologico risulta complesso, costituito da diverse unità idrogeologiche separate da materiale impermeabile.

Gli acquiferi più profondi, sono ospitati nelle formazioni consolidate pre-Plioceniche che, unitamente a quelli rinvenibili nei depositi sabbiosi Pliocenici e Pleistocenici sovrastanti, sono di ambiente lagunare e marino, con acque salmastre o salate, di scarso interesse pratico.

Nelle successioni Oloceniche, l'ambiente deposizionale è di tipo continentale e si osserva una successione di livelli a sabbia fine e grossolana, intercalati a livelli argillosi con frequenti tracce di torba.

La falda freatica, considerata per convenzione come un unico elemento, in realtà risulta costituita da un complesso sistema multifalda, a livelli anche non interconnessi.

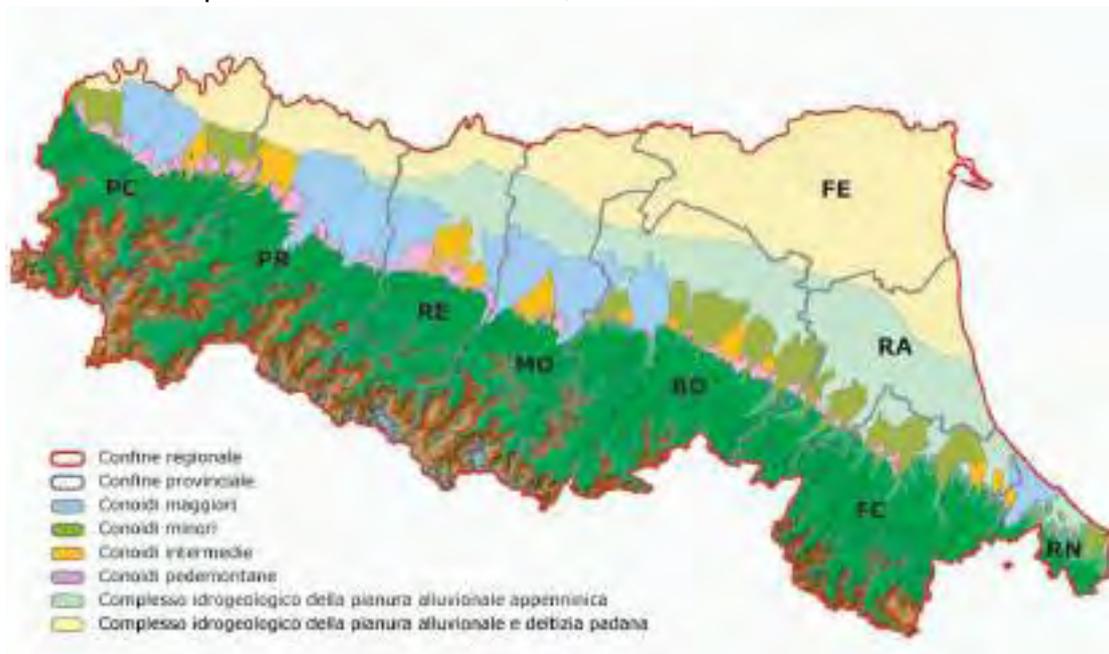


Fig. 5.1 - Distribuzione dei complessi idrogeologici (corpi idrici) riconosciuti nella pianura emiliano - romagnola.

A livello Comunale come evidenziato dalla "Carta della Profondità della Superficie Freatica Comunale" riportata in figura seguente, la falda freatica ha superficie libera sempre molto prossima al piano campagna. Generalmente presenta degli "alti" in corrispondenza dei paleoalvei, e dei "bassi" relativi in corrispondenza dai catini interfluviali.

La falda freatica, escludendo le aree limitrofe alle arginature del fiume Po, viene alimentata principalmente da apporto meteorico e quindi fortemente influenzata da condizioni climatiche che ne favoriscono forti escursioni: prossima al piano campagna in periodi molto piovosi e forte riduzione in periodi siccitosi (la profondità della falda freatica normalmente può oscillare fra profondità comprese da 1.0 a 4.0 m dal p.c.). Le escursioni della superficie libera tra periodo invernale e periodo estivo sono mediamente inferiori a 1 m.

In prossimità dei canali principali, la falda può essere influenzata dagli stessi alimentando o drenando la falda superficiale.

La falda freatica non è interpretabile come un corpo d'acqua continuo ma piuttosto come un insieme di corpi idrici, separati e fluenti negli strati sabbiosi e sabbio-limosi, separati da lenti argillose o limoso-argillose ove è più corretto parlare di zona di saturazione e non di falda vera e propria.

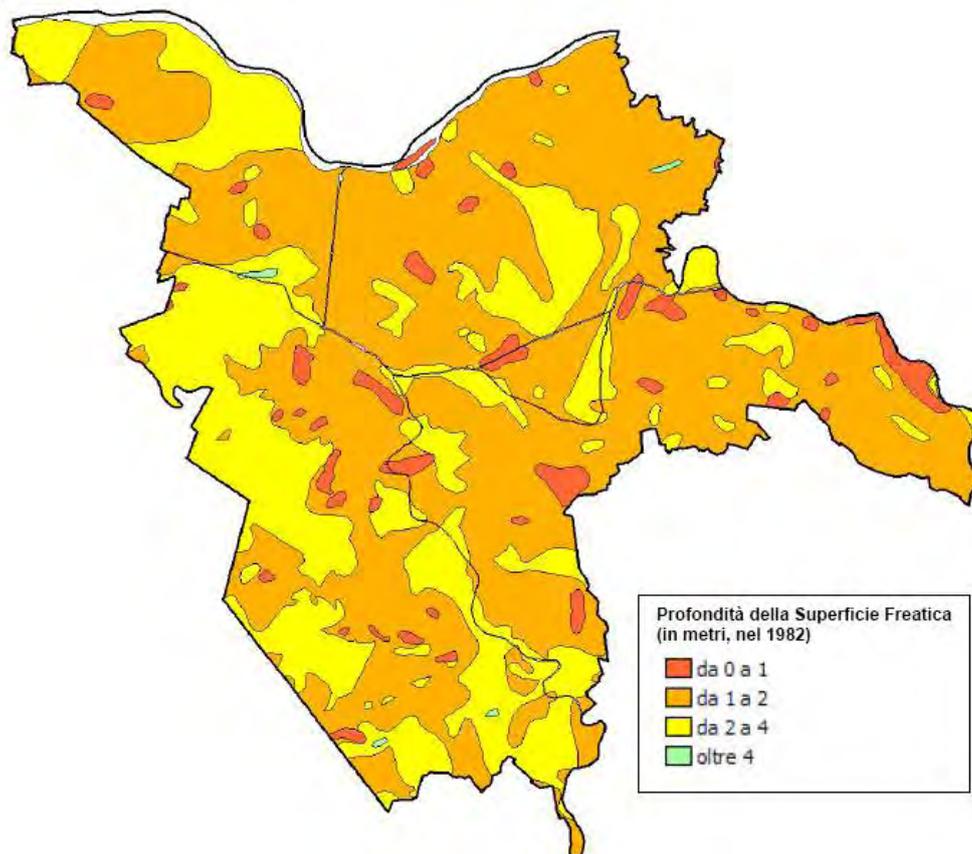


Fig. 5.2 - Carta di Profondità della Superficie Freatica Comunale

5.1 Caratteristiche idrogeologiche sito specifiche

Le informazioni di seguito sintetizzate sono state tratte dalla Relazione Tecnica Descrittiva delle indagini previste dal Piano della Caratterizzazione Ambientale del sito oggetto di studio (v. Doc. 2 e 3 Tab. 1.1).

Dall'analisi delle stratigrafie dei sondaggi eseguiti nonché dai rilievi piezometrici effettuati (v. Doc. 3), la successione litostratigrafica mette in evidenza la presenza di un unico acquifero indistinto nella porzione settentrionale (paleoalveo), mentre nella porzione centro-meridionale si evidenzia la presenza di due/tre possibili livelli acquiferi distinti:

- un *primo acquifero*, sede della prima falda, presente nell'intervallo di profondità compreso tra di -4,30/-11,10 metri da p.c. (in corrispondenza del terzo livello descritto al paragrafo 3.3 del presente documento);
- un *secondo acquifero*, nell'intervallo di profondità compreso tra -6,60/-19,00 metri da p.c. (in corrispondenza del quarto livello descritto al paragrafo 3.3 del presente documento), costituito da orizzonti sabbiosi saturi di spessore metrico alternati a livelli più coesivi; tale livello potrebbe essere connesso al precedente;
- un *acquifero profondo*, sede della seconda falda, presente nell'intervallo di profondità compreso tra -18,00/-45,50 metri da p.c. (in corrispondenza del quinto livello descritto al paragrafo 3.3 del presente documento).

Sulla base delle informazioni in possesso non è possibile determinare la continuità laterale di tali acquiferi ed eventuali interconnessioni soprattutto tra il primo e il secondo acquifero, in quanto le indagini sono state concentrate tutte nel primo acquifero.

Nella seguente figura viene rappresentata la zona in cui è stato identificato il paleoalveo.

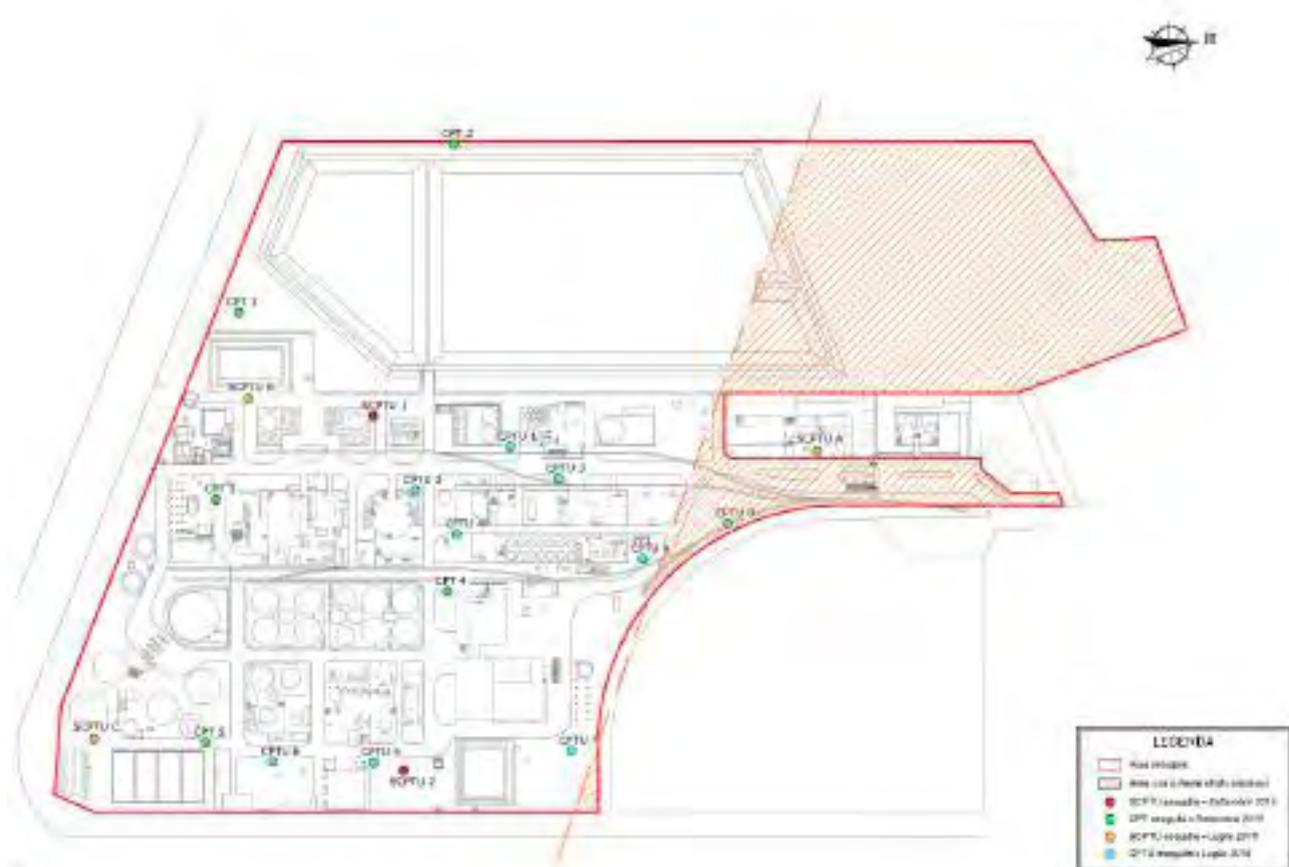


Fig. 5.3 – Stralcio area in oggetto con divisione in base alle caratteristiche litologiche del sottosuolo (v. Doc. 3)

Come si evince dalla figura in alto, le prove CPTU9 e SCPTU A ricadono nell'area con un potente strato sabbioso. Grazie alla elaborazione di queste prove si conferma la presenza del paleoalveo nell'area indicata nella carta, in quanto sono risultate litologie sabbiose e sabbioso limose lungo tutta la verticale di indagine.

5.1.1 Rilievo freaticometrico

Nel presente paragrafo viene riportata la ricostruzione della piezometria del sito oggetto di studio; tali valutazioni sono state elaborate attraverso i dati ottenuti dalla campagna piezometrica effettuata in data 18/06/2013 (v. Doc. 3).

Tab. 5.1 – Campagna piezometrica 18/06/2013						
N.	Piezometro	Quota b.p. (m. s.l.m.)	Livello falda freatica da b.p. (m)	Quota superficie falda freatica (m. s.l.m.)	Quota p.c. (m. s.l.m.)	Soggiacenza (m)
1	S2/P	8,318	-2,70	5,618	8,461	2,843
2	S3/P	8,379	-2,35	6,029	8,480	2,451
3	S7/P	8,121	-3,62	4,501	8,278	3,777
4	S13/P	8,063	-2,28	5,783	8,236	2,453
5	S23/P	8,867	-4,37	4,497	8,588	4,091
6	S26/P	8,528	-3,06	5,468	8,595	3,127
7	S35/P	8,408	-3,32	5,088	8,413	3,325
8	S40/P	8,467	-3,42	5,047	8,206	3,159
9	S46/P	8,535	-2,81	5,725	8,377	2,652
10	S49/P	10,061	-5,38	4,681	9,437	4,756

L'interpolazione dei valori piezometrici rilevati è stata eseguita escludendo il piezometro P13 nel quale si è rilevato un anomalo alto topografico.

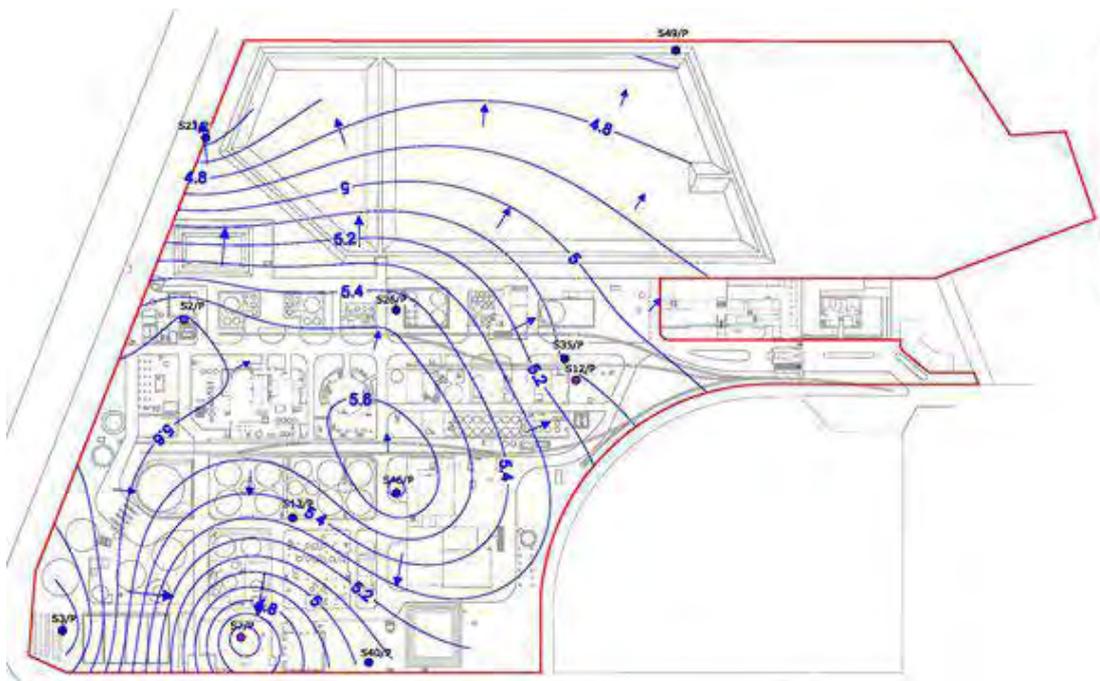


Fig. 5.4 – Piezometria del 18/06/2013 (v. Doc.3)

Dall'interpolazione dei dati riportati nella tabella precedente si osserva che:

- il livello statico misurato dal piano campagna (soggiacenza) risulta compreso tra -2,45 metri (S13/P) e -4,75 metri (S49/P);
- dalle misure effettuate all'interno dei piezometri la superficie freatica risulta compresa fra -4,49 metri (S23/P) e -6,03 metri (S3/P) rispetto al livello medio mare;
- non è ben definibile la direzione di deflusso della falda, anche se la tendenza generale sembra essere SE-NW, anche se sono presenti diverse anomalie (alti e bassi piezometrici).

Si sottolinea che tali anomalie sono probabilmente legate alla tipologia di terreni presenti, con alternanze di livelli coesivi e granulari ed alla presenza del paleoalveo nella zona nord. Inoltre la falda risente sicuramente degli apporti meteorici, della vicinanza con i canali Boicelli ad est e Burana a sud (sono confinanti con il sito stesso) e della presenza di fondazioni e strutture interrato che limitano la circolazione della falda superficiale in alcune zone.

5.1.2 Rilievo della Tavola d'acqua Luglio 2018

Nel corso dell'esecuzione delle indagini geognostiche (CPTU e SCPTU) sono stati rilevati ed annotati i livelli statici della tavola d'acqua locale, espressi in m da piano campagna.

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva dei suddetti valori rilevati.

Come si evince dalla tabella, per tre di queste prove non è stato possibile misurare il livello della tavola d'acqua.

Tab. 5.2 – Piezometria rilevata dalle prove geotecniche		
N.	Nome prova	GWT (m da p.c.)
1	CPTU1	-3.80
2	CPTU2	-3.20
3	CPTU3	Foro chiuso
4	CPTU4	-3.80
5	CPTU5	-3.00
6	CPTU6	-3.00
7	CPTU7	-5.20
8	CPTU8	Foro chiuso
9	CPTU9	-5.50
10	SCPTU_A	-6.10
11	SCPTU_B	Foro chiuso
12	SCPTU_C	-3.60

In generale si osservano quote della tavola d'acqua maggiori in corrispondenza della porzione settentrionale del sito (SCPTU A, CPTU 7 e 9), mentre nella porzione meridionale risulta essere più superficiale, compresa tra -3,0 e -3,80 m da p.c.

Inoltre si osserva un generale accordo tra le quote rilevate nel corso delle prove penetrometriche e la ricostruzione della piezometria locale riportata in Fig. 5.4.

6 SUBSIDENZA

L'area in esame, come in generale tutto il territorio della Provincia di Ferrara, è soggetta a subsidenza. La componente naturale del fenomeno è prevalentemente ascrivibile al costipamento dei sedimenti più recenti non ancora litificati. Il condizionamento del substrato è rappresentato dal suo stesso carattere di orogene recente, capace di dar luogo a movimenti verticali residui, nonché alla sua forma corrugata che determina variazioni locali dei tassi di costipamento dei terreni sovrapposti, producendo una loro attenuazione nelle zone corrispondenti agli alti strutturali sepolti. I fenomeni di subsidenza registrati con metodi strumentali sono però principalmente di carattere artificiale, denotano variabilità sia nello spazio che nel tempo e sono attribuibili alla sottrazione di acqua dagli acquiferi (superficiali e profondi). Sono causa di subsidenza anche forti escursioni del livello di falda freatica dovuto a variazioni climatiche (periodi siccitosi prolungati) e a sistemazioni idrauliche del territorio. Anche variazioni del chimismo delle acque sono considerate capaci di determinare abbassamenti del suolo, sia pur limitati, quando sono in grado di indurre per fenomeni elettrochimici riduzione di volume dei minerali argillosi.

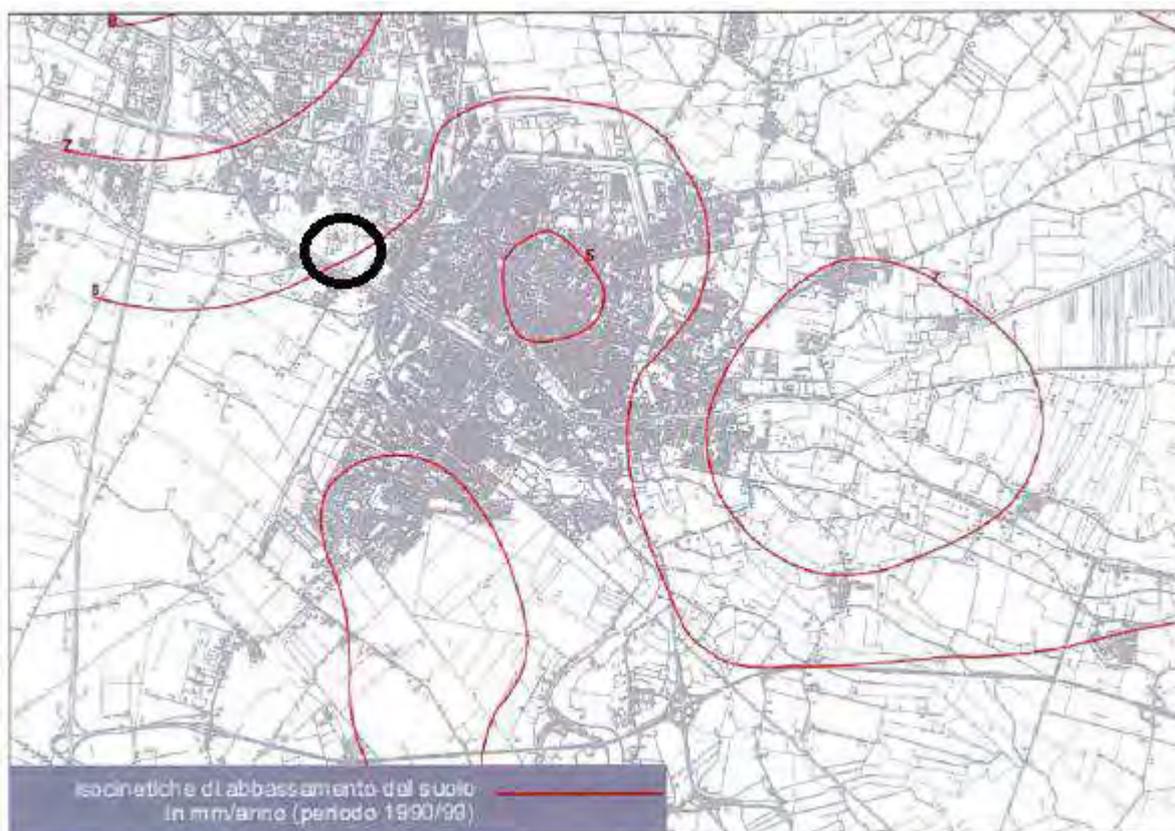


Fig. 6.1 – Carta delle isocinetiche di abbassamento del suolo nel Comune di Ferrara.

7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Nella logica prestazionale adottata dalle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC18 – D.M. 17/01/2018) si impone al progettista di affrontare e risolvere problematiche specialistiche, tra cui assume una particolare rilevanza la valutazione della stabilità geotecnico-sismica del sito di costruzione e del suolo di fondazione, con l'obiettivo ultimo di definire il rischio geotecnico nell'eventualità di un terremoto.

Un ruolo chiave nella caratterizzazione geotecnico-sismica dei suoli di fondazione occupa la stima della velocità di propagazione delle onde di taglio e conseguentemente del parametro $V_{S,eq}$, normativamente idoneo all'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento, necessarie alla definizione dell'azione sismica di progetto mediante l'approccio richiesto dalle NTC18.

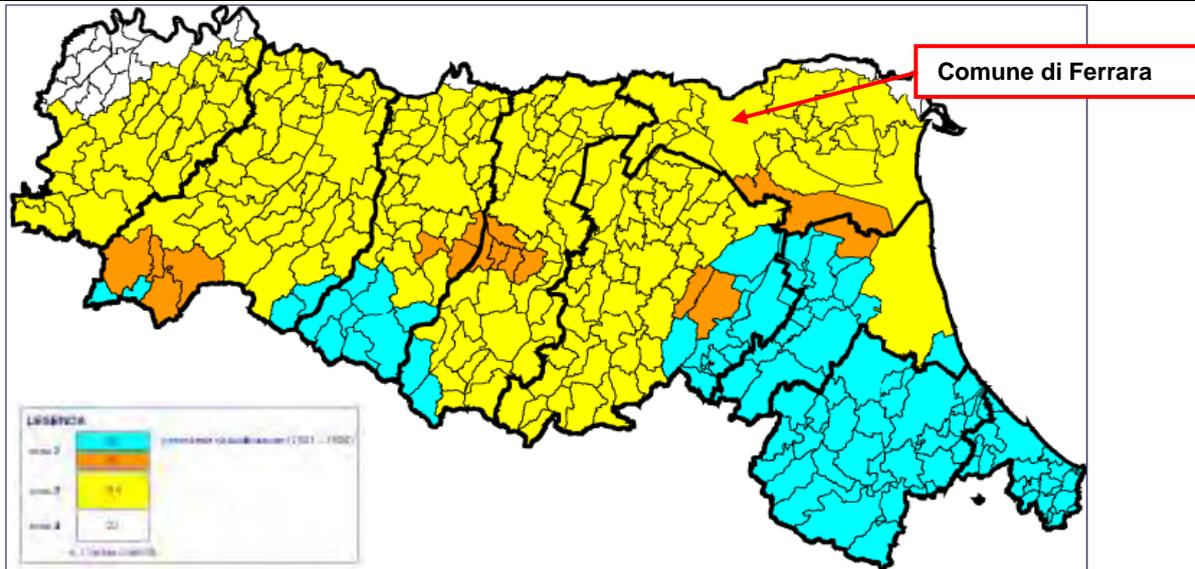
Nel presente capitolo è riportata la classificazione sismica del sito, la stima della velocità media di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$, l'individuazione della categoria del sottosuolo secondo la classificazione delle normative vigenti.

7.1 Classificazione sismica del sito

La classificazione sismica del territorio nazionale è stata rivista e aggiornata dall'O.P.C.M. 3274/03 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" che suddivide il territorio nazionale in 4 Zone Sismiche, distinte in base ai valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni. Ad ogni comune è stata quindi attribuita una specifica Zona, intendendo il carattere sismico decrescente andando da Zona 1 a Zona 4.

Il Comune di Ferrara risulta classificato con codice ISTAT 038008 e come zona a rischio sismico di terza categoria (Zona 3).

Tab. 7.1 – Riclassificazione sismica dell'Emilia-Romagna, Ordinanza del P.C.M. n. 3274 / 2003 (Allegato 1, punto 3 “prima applicazione”)



In base a tale classificazione il **Comune di Ferrara** rientra tra i territori classificati in **Zona 3**, zona attribuita a Comuni nei quali il pericolo sismico è relativamente basso

In base alle norme tecniche per le costruzioni, contenute nel D.M. 17/01/18, si devono definire i parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito e del tempo di ritorno.

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Lo “stato limite” è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

La stima viene condotta con il foglio di calcolo **Spettri-NTC ver. 1.0.3** rilasciato dal **Consiglio dei Lavori Pubblici**. Per l'uso del suddetto foglio di calcolo occorrono le coordinate espresse in gradi sessagesimali e nel sistema di riferimento ED50.

Individuate le coordinate ED50: *Long. 11,592454 - Lat. 44,841818* e in base ai parametri indicati nella precedente tabella si determinano i parametri:

- **a_g**: accelerazione orizzontale massima al sito;
- **F_o**: 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;

in funzione del periodo di ritorno come disposto dalle NTC08.

Di seguito sono riportate le elaborazioni del foglio di calcolo ***Spettri-NTC ver. 1.0.3***.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO			
<input checked="" type="checkbox"/> Ricerca per coordinate	LONGITUDINE 11,59245	LATITUDINE 44,84182	
<input type="checkbox"/> Ricerca per comune	REGIONE Emilia-Romagna	PROVINCIA Ferrara	COMUNE Ferrara

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,037	2,549	0,252
50	0,046	2,506	0,274
72	0,056	2,485	0,281
101	0,066	2,516	0,281
140	0,077	2,576	0,273
201	0,092	2,589	0,272
475	0,135	2,595	0,273
975	0,181	2,548	0,279
2475	0,260	2,466	0,290

Fig. 7.1 – Parametri a_g , F_o , T_C^* di cui al D.M. 17/01/2018 elaborati con *Spettri-NTC ver. 1.0.3*

Nelle elaborazioni del presente studio viene fatto riferimento allo stato limite SLV con un periodo di ritorno di 475 anni assumendo il valore:

- $a_g = 0,135 \text{ g}$

7.2 Magnitudo di riferimento

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha mappato il territorio nazionale in zone sismogenetiche, tale mappatura, elaborata nel 2004, viene chiamata ufficialmente **ZS9** (v. Fig. seguente). La realizzazione della zonazione è basata su un modello cinematico di riferimento per il Mediterraneo centrale, sulle evidenze che emergono dai più recenti studi di tettonica attiva e sulla individuazione delle sorgenti sismogenetiche (tra i quali il Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M5.5 in Italy, DISS 2.0, Valensise e Pantosti, 2001) e sul catalogo dei terremoti CPTI04 (Gruppo di Lavoro CPTI, 2004).

ZS9 è composta di 36 aree poligonali, caratterizzate da comportamento tettonico e cinematico omogeneo e definite principalmente per l'utilizzo con metodi convenzionali di valutazione in termini probabilistici della pericolosità sismica.



Fig. 7.2 – Zonizzazione sismogenetica ZS9 - Gruppo di lavoro per la redazione di pericolosità sismica (OPCM n. 3274) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Come si evince dalla figura, la Provincia di Ferrara e quella di Bologna rientrano parzialmente nella **zona sismogenetica 912** che coincide con l'area geologica

denominata “**Dorsale Ferrarese**”. I caratteri che contraddistinguono la zona 912 sono riportati nella seguente figura.

nome ZS	N ZS	MwMax1	Tassi AR	MwMax2	b	Tassi da CO-04.2	Tassi da GR	Azione	Tassi GR adottati
Savoia	901	5.91	0.21	6.14	-1.18	0.14	0.11	A	0.11
Vallese	902	6.14	0.14	6.14	-1.26	0.14	0.19	A	0.14
Grigioni-Valtellina	903	5.91	0.21	6.14	-1.26	0.14	0.23	A	0.14
Trieste -Monte Nevoso	904	5.68	0.42	6.14	-1.12	0.14	0.14	A	0.14
Friuli -Veneto Orientale	905	6.60	0.33	6.60	-1.05	0.11	0.37	B	0.37
Garda-Veronese	906	6.60	0.11	6.60	-1.14	0.11	0.11	A	0.11
Bergamasco	907	5.91	0.14	6.14	-1.71	0.14	0.03	C	0.04
Piemonte	908	5.68	0.21	6.14	-1.91	0.14	0.03	C	0.04
Alpi Occidentali	909	5.68	0.21	6.14	-1.27	0.14	0.10	A	0.10
Nizza-Sanremo	910	6.37	0.14	6.37	-1.12	0.14	0.14	A	0.14
Tortona-Bobbio	911	5.68	0.21	6.14	-1.47	0.14	0.05	A	0.05
Dorsale Ferrarese	912	6.14	0.12	6.14	-1.35	0.12	0.13	A	0.12
Appennino Emiliano-Romagn.	913	5.91	0.14	6.14	-1.80	0.14	0.07	A	0.07
Forlivese	914	5.91	0.57	6.14	-1.33	0.14	0.26	A	0.14
Garfagnana-Mugello	915	6.60	0.14	6.60	-1.34	0.14	0.11	A	0.11
Versilia-Chianti	916	5.68	0.21	6.14	-1.96	0.14	0.02	C	0.04
Rimini-Ancona	917	6.14	0.12	6.14	-1.04	0.12	0.43	A	0.12
Medio-Marchigiana/Abruzz.	918	6.37	0.14	6.37	-1.10	0.14	0.37	A	0.14
Appennino Umbro	919	6.37	0.25	6.37	-1.22	0.12	0.26	B	0.26
Val di Chiana-Ciociaria	920	5.68	0.28	6.14	-1.96	0.14	0.06	A	0.06
Etruria	921	5.91	0.14	6.14	-2.00	0.14	0.05	A	0.05
Colli Albani	922	5.45	0.42	5.45	-2.00	0.21	0.37	B	0.37
Appennino Abruzzese	923	7.06	0.14	7.06	-1.05	0.14	0.25	A	0.14
Molise-Gargano	924	6.83	0.17	6.83	-1.04	0.17	0.13	A	0.13
Ofanto	925	6.83	0.17	6.83	-0.67	0.17	0.28	A	0.17
Basento	926	5.91	0.21	6.14	-1.28	0.21	0.10	A	0.10
Sannio-Irpinia -Basilicata	927	7.06	0.33	7.06	-0.74	0.17	0.43	B	0.43
Ischia-Vesuvio	928	5.91	0.21	5.91	-1.04	0.21	0.35	A	0.21
Calabria Tirrenica	929	7.29	0.17	7.29	-0.82	0.17	0.33	A	0.17
Calabria Ionica	930	6.60	0.17	6.60	-0.98	0.17	0.23	A	0.17
Canale d'Otranto	931	6.83	0.21	6.83	-0.63	0.21	0.22	A	0.21
Eolie-Patti	932	6.14	0.21	6.14	-1.21	0.21	0.25	A	0.21
Sicilia settentrionale	933	6.14	0.21	6.14	-1.39	0.21	0.20	A	0.20
Belice	934	6.14	0.21	6.14	-0.96	0.21	0.20	A	0.20
Iblei	935	7.29	0.12	7.29	-0.72	0.12	0.13	A	0.12
Etna	936	5.45	0.33	5.45	-1.63	0.33	0.57	A	0.33

Fig. 7.3 – Caratteristiche principali delle zone sismogenetiche ZS9

Si deduce dalla tabella che per la zona 912 (Dorsale Ferrarese) i valori di magnitudo massima previsti, sulla base dei meccanismi focali, sono pari a **Mwmax = 6,14**.

7.3 Classificazione sismica del sottosuolo secondo il DM 17/01/2018

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.11 (v. Tab. seguente), 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 dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo. 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 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:

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

Dove:

- h_i = spessore in metri 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 quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 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.

Per il lavoro in oggetto si è quindi fatto riferimento a tale valore di velocità equivalente riferito al parametro V_{s30} , potendo classificare il sottosuolo con riferimento alla Tabella 3.2.11 delle NTC18.

7.4 Stima della VS30 e categorie di sottosuolo

Dall'elaborazione dei dati raccolti mediante le prove penetrometriche SCPTU effettuate nel corso della prima caratterizzazione geotecnica del Settembre 2012 (v. Doc. 2) e nel corso delle indagini di campo condotte nel mese di Luglio 2018 è stato possibile stimare la velocità delle onde di taglio V_s ed in particolare calcolare, mediante le formule analitiche espresse al precedente paragrafo, la $V_{s,eq}$ definita dal parametro $V_{s,30}$.

Nella tabella seguente si riportano i risultati delle $V_{s,30}$ ottenuti.

Tab. 7.1 – Valori di V_{s30} desunti dalle prove sismiche eseguite in sito				
Nome punto	Data di esecuzione	Profondità raggiunta (m da p.c.)	Profondità falda (m da p.c.)	V_{s30} (m/s)
Caratterizzazione geotecnica del Settembre 2012				
SCPTU 1	20/09/2012	30,00	3,50	201
SCPTU 2	20/09/2012	30,00	4,40	196
Caratterizzazione geotecnica del Luglio 2018				
SCPTU A	18/07/2018	30,00	6,10	204
SCPTU B	20/07/2018	30,00	2,20	179
SCPTU C	20/07/2018	30,00	3,60	202

Come detto, 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 questo caso definita dal parametro $V_{s,30}$.

Si evidenzia che il valore di $V_{s,30}$ per la SCPTU B, risultato 179,5 m/s, può essere approssimato a 180 m/s, sia per il fatto che questo valore si trova a ridosso del limite di categoria C/D (vedi Tab. 7.2), ma soprattutto in quanto i risultati delle SCPTU eseguite sia nel 2012 che nel 2018 in media risultano essere >180 m/s. Per tale motivo, nella procedura di classificazione del sottosuolo, il valore di $V_{s,30}$ calcolato per la SCPTU B sarà considerato, approssimandolo per eccesso, pari a 180 m/s.

Quindi, per il lavoro in oggetto la classificazione del sottosuolo avviene in base alla velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna (parametro $V_{s,30}$ calcolato con la formula precedentemente riportata) con riferimento alla Tabella 3.2.II delle NTC18, di seguito riportata.

Tab. 7.2 – Categorie di sottosuolo secondo il D.M. 17/01/2018 (Tabella 3.2.II)		
Categoria	Descrizione	$V_{s,30}$ (m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.	> 800
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	360 ÷ 800
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s).	180 ÷ 360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.	100÷ 180
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m	---

In base alle indagini in sito (SCPTU) e alle relative elaborazioni, in riferimento a quanto espresso ai punti precedenti e secondo il D.M. 17/01/2018 i suoli di fondazione del sito in questione rientrano nella seguente categoria di sottosuolo: **CATEGORIA C:** *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s).*

8 VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

8.1 Generalità sul fenomeno

Secondo la definizione data nell'Eurocodice 8 e dall'OPCM 3274/2003:

“La liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.”

Nel contesto considerato, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa. In altre parole, è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove deve essere realizzata la costruzione.

Le ricerche che hanno portato all'evoluzione delle conoscenze dei parametri più significativi ed alla formulazione di metodi empirici e di analisi dinamica hanno preso avvio a partire dai terremoti di Nijgata dell'Alaska (1964).

Sono emersi così i primi criteri empirici di previsione, basati sulle caratteristiche granulometriche e sullo stato di addensamento; a tali criteri hanno fatto seguito metodi più raffinati e complessi capaci di tenere conto di un numero di parametri sempre più elevato.

Il quadro dei metodi oggi disponibili è quanto mai vario e va da criteri basati su soli dati geologici qualitativi (età del deposito, origine, stratigrafia, profondità della falda, ecc.) a metodi di analisi dinamica molto sofisticati, basati sulla valutazione della pressione effettiva della risposta sismica locale e su complesse prove di laboratorio.

Questi metodi si basano sul confronto fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto, ovvero fra gli stati tensionali che producono liquefazione o livelli di deformazione critici e gli stati tensionali indotti dalle onde sismiche nella loro propagazione. A tal fine richiedono la determinazione di parametri relativi sia all'evento sismico sia ai terreni di fondazione, valutati questi ultimi o con prove di laboratorio o con prove in situ; la loro applicazione richiede quindi:

- la valutazione della resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclici in condizioni non drenate, mediante correlazioni basate su prove in situ e/o di laboratorio;
- calcolo delle sollecitazioni di taglio indotte dall'evento sismico di riferimento.

La valutazione quantitativa del rischio liquefazione viene quindi fatta dal confronto fra le tensioni indotte nel terreno dall'evento sismico e la capacità di resistenza alle azioni dinamiche del terreno.

8.2 Suscettibilità alla liquefazione: caratteri generali

Il pericolo liquefazione deve essere accertato in base alla possibilità di **concomitanza di**:

- **fattori scatenanti** (caratteristiche dei terremoti attesi: sismicità della zona);
- **fattori predisponenti** (suscettibilità dei terreni: presenza di banchi di terreni incoerenti poco addensati e presenza di falda).

Le normative che regolano la materia sono:

- O.P.C.M. 3274/03;
- D.M. 17/01/2018 (NTC18);

inoltre ai fini della valutazione quantitativa del fenomeno i riferimenti sono:

- Linee Guida AGI (2005);
- Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Simica - Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile (2008);
- DGR Emilia Romagna 21/12/2015 n.2193.

In relazione al punto 7.11.3.4 del D.M. 17/01/2018 (NTC 2018), prima della vera e propria verifica della suscettibilità di liquefazione, la normativa propone una griglia di casi per i quali il sito d'indagine non presenta possibilità di liquefazione dei terreni. In particolare, le NTC recitano che: ***La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:***

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

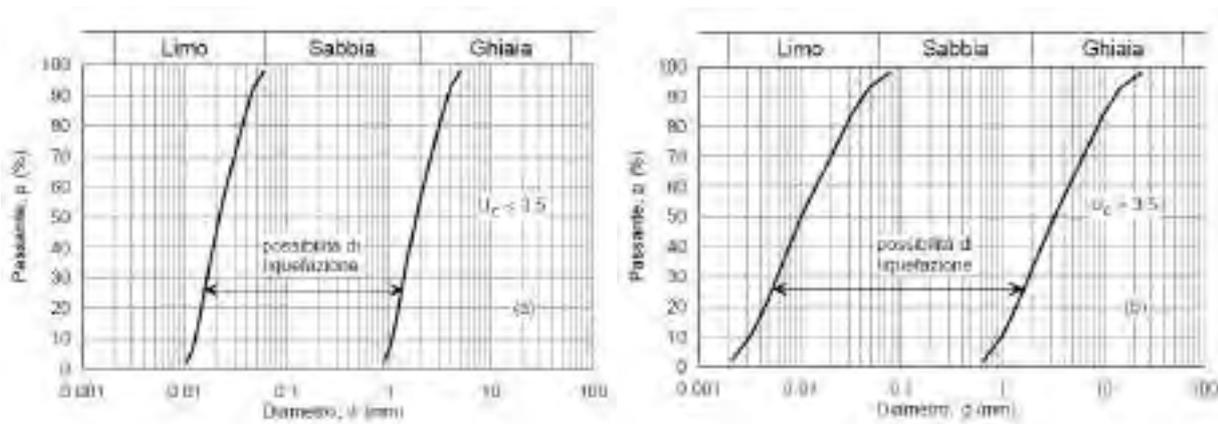


Fig. 8.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione
Figura 7.1.1(a) e Figura 7.1.1(b) D.M. 17/01/2018

Ai sensi dell'art. 2.3 dell'Allegato 4 dell'O.P.C.M. 3274/03 la verifica della suscettibilità a liquefazione può essere omessa quando:

1. il terreno sabbioso saturo si trova a profondità superiore a 15 m dal piano campagna;
2. $a_g < 0,15g$ e al contempo lo strato granulare da verificare soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:
 - contenuto di argilla superiore al 20% con indice di plasticità > 10 ;
 - contenuto di limo superiore al 35% e resistenza $N1(60) > 20$;
 - frazione fine trascurabile e resistenza $N1(60) > 25$

dove $N1(60)$ è il valore della resistenza penetrometrica N_{SPT} misurato in una prova Standard Penetration Test, normalizzato ad uno sforzo efficace di confinamento e ad un fattore di rendimento energetico 0,6 nell'esecuzione della prova.

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, la suscettibilità alla liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in sito e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.

La valutazione quantitativa della suscettibilità alla liquefazione può essere eseguita mediante "metodi semplificati" attraverso la stima di un coefficiente di sicurezza:

$$F_L(z) = \frac{CRR_{M=7,5; \sigma'_v=1 \text{ atm}}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad (\text{DGR Emilia Romagna 21/12/2015 n.2193})$$

Dove:

- **CRR** (Cyclic Resistange Ratio): **rappresenta la capacità di resistenza del terreno alla liquefazione**; è il rapporto di resistenza ciclica, ovvero la resistenza

normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale σ'_{v0} , per terremoto di magnitudo $M=7,5$ e pressione efficace di riferimento $\sigma_{v0} = 1atm$;

- K_σ è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata;
- **CSR (Cyclic Stress Ratio) rappresenta la domanda di resistenza ciclica del terreno alla liquefazione;** è la tensione indotta dal terremoto:

$$CSR = \frac{\tau_{medio}}{\sigma'_{v0}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max,s}}{g} \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

dove:

- $a_{max,s}$ è il picco di accelerazione al piano campagna del terremoto di riferimento;
- g è l'accelerazione di gravità;
- σ_{v0} e σ'_{v0} sono rispettivamente la tensione verticale totale e la tensione verticale efficace alla profondità considerata;
- r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo (in letteratura vari autori hanno proposto relazioni per la sua stima);
- **MSF** è un fattore di scala funzione della magnitudo dei terremoti attesi. In letteratura vari autori hanno proposto relazioni per la sua stima. Nel programma utilizzato descritto al paragrafo seguente le opzioni sono per gli autori Robertson, Idriss & Boulanger (2008-2014) e Moss (2006).

Alcuni metodi semplificati che possono essere utilizzati per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna si riferiscono direttamente ad alcune tipologie di prove in sito (SPT, CPTu, DMT) e al profilo della Vs.

8.3 Valutazione del rischio di liquefazione del sito

La valutazione del rischio di liquefazione del sito è stata eseguita con il programma *Cliq* sulla base dei dati desunti dalle prove penetrometriche eseguite. In relazione al cambio normativo è stato ricalcolato il Potenziale di liquefazione IPL relativamente alle prove SCPTU eseguite nel 2012, utilizzando i coefficienti ed i metodi descritti alla DGR Emilia Romagna 21/12/2015 n.2193.

Per poter eseguire la valutazione del rischio occorre definire:

- il sisma atteso per il sito ossia occorre individuare una magnitudo di riferimento – v. par. 7.2;
- l'accelerazione massima attesa sul sito in esame. Per calcolarla si è fatto riferimento alle indicazioni contenute nel paragrafo 7.11.3.2 delle NTC 2018.

In particolare la formula utilizzata è la seguente:

$$a_{\max} = S \cdot a_g$$

Il fattore di amplificazione (S) è stato calcolato sulla base delle indicazioni contenute nel DGR 2193/15 ed in particolare facendo riferimento ai valori contenuti nella seguente tabella dell'allegato 2:

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. (**tra 70 e 120 m di profondità**) e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	170	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

Fig. 8.2 – Tabella dei fattori di amplificazione Pianura 2

Nel caso in esame, essendo i valori di V_{s30} ricavati dalle prove SCPTU compresi tra 179,5 m/s e 204 m/s, il corrispondente valore del **F.A. (fattore di amplificazione)** sarà **pari a 1,7**.

Per quanto riguarda l'amplificazione topografica, sulla base delle indicazioni contenute nella DGR 2193 Allegato 2 punto A2.2 "Effetti della topografia", questa può essere trascurata per pendii con inclinazione media inferiore a 15°.

Quindi il valore di accelerazione massima sarà:

$$a_{\max} = 1,7 \cdot 0,135 = 0,2295g = 2,3 \text{ m/s}^2$$

➤ **Programma utilizzato**

I dati acquisiti con le prove CPTU e SCPTU sono stati elaborati con il programma Cliq della Geologismiki Geotechnical Software. Tale programma utilizza correlazioni empiriche per valutare i parametri geotecnici alla base dei fenomeni di liquefazione e restituisce il calcolo dell'indice di potenziale liquefazione e dei cedimenti post terremoto.

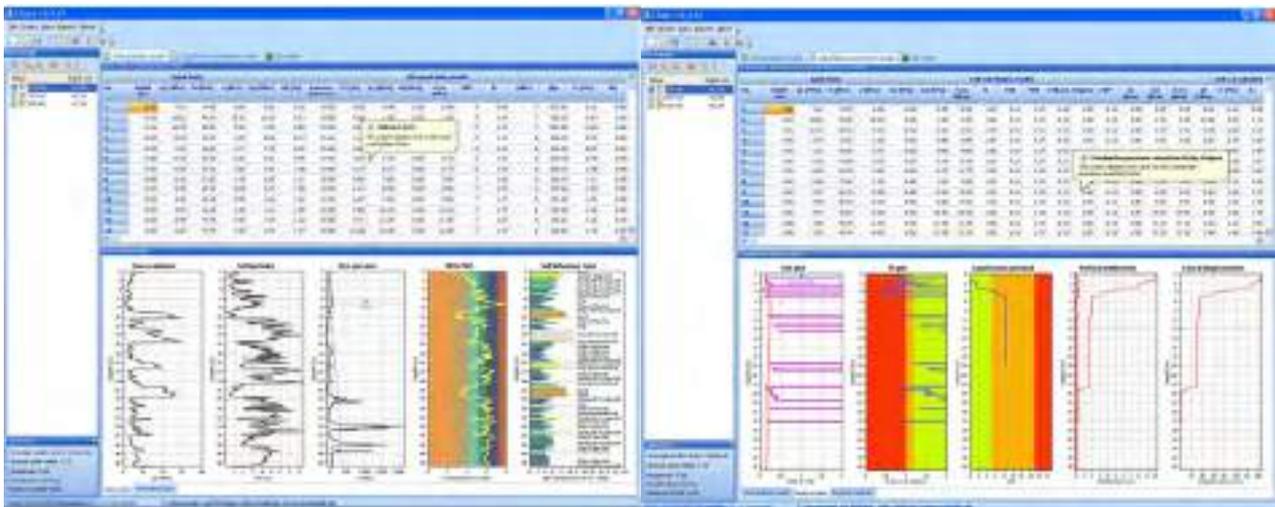


Fig. 8.3 – Esempi di schermate tratta dal software Cliq

➤ **Valutazione degli effetti della liquefazione**

Come indicato nelle Linee Guida AGI “Aspetti geotecnici della progettazione in zone sismiche” (2005) alcune metodologie semplificate consentono, seppure con sensibili approssimazioni, di stimare gli effetti della liquefazione. Allo stesso modo anche la DGR 2193 Allegato 3 punto A.2 permette l’utilizzo di metodi semplificati

L’indice del potenziale di liquefazione, I_L , è definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad \text{in cui} \quad w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

z_{crit} è la profondità critica, ovvero la profondità massima entro la quale può verificarsi la liquefazione, che di norma si assume pari a 20 m.

La variabile $F(z)$ vale (Sonmez, 2003):

$$\begin{aligned} F(z) &= 0 && \text{per } F_L \geq 1.2 \\ F(z) &= 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L) && \text{per } 1.2 \geq F_L \geq 0.95 \\ F(z) &= 1 - F_L && \text{per } F_L \leq 0.95 \end{aligned}$$

Per poter valutare la potenza degli effetti, la DGR 2193 propone la scala riportata nella figura seguente (Sonmez, 2003):

$I_L = 0$	Non liquefacibile ($F_L \geq 1.2$)
$0 < I_L \leq 2$	Potenziale basso
$2 < I_L \leq 5$	Potenziale moderato
$5 < I_L \leq 15$	Potenziale alto
$15 < I_L$	Potenziale molto alto

Fig. 8.4 – Scala del Potenziale di Liquefazione (Sonmez, 2003)

Nell'immagine seguente si riportano i risultati ottenuti dalle elaborazioni eseguite mediante il software C-Liq.

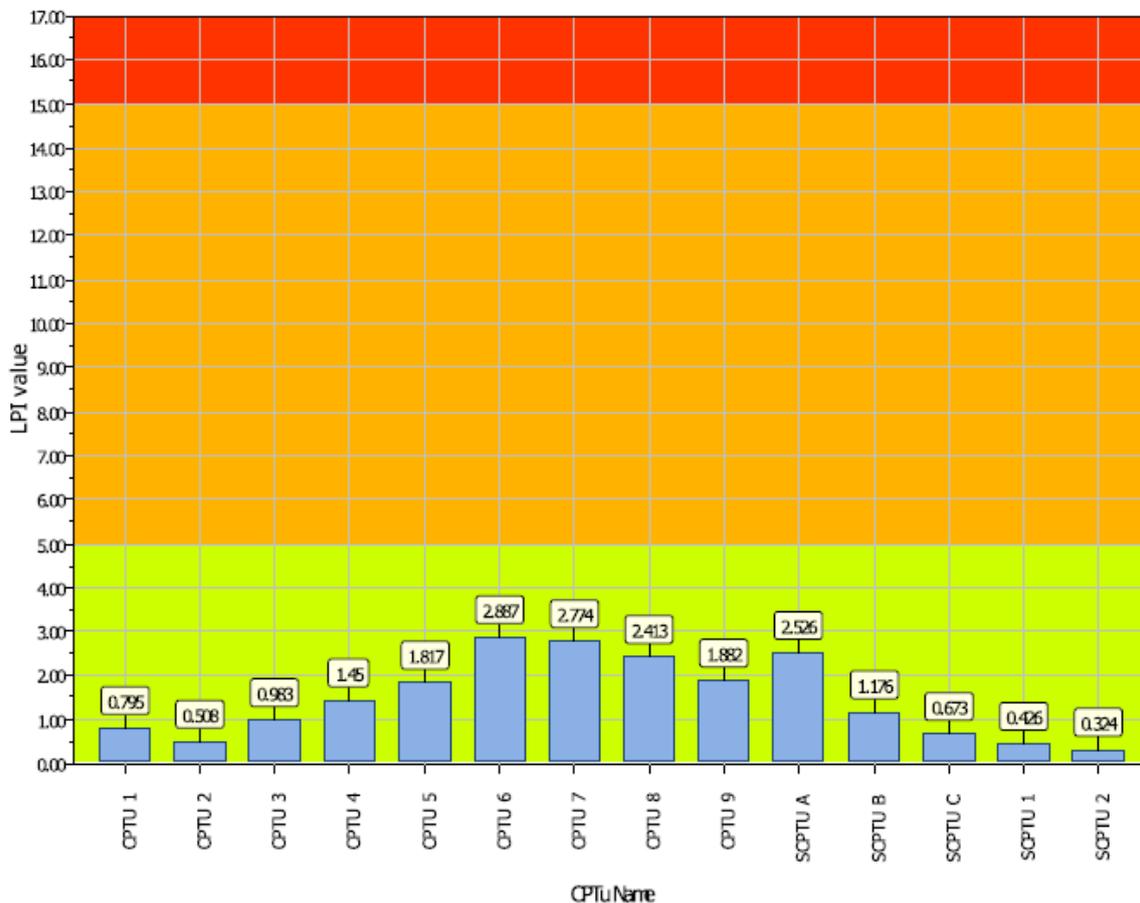


Fig. 8.4 – Indice del potenziale di Liquefazione calcolato

Dall'elaborazione dei risultati delle prove penetrometriche eseguite nell'area in esame, utilizzando il valore di accelerazione massima calcolato in precedenza, il sito risulta caratterizzato da un rischio di liquefazione *basso/moderato*, in quanto i valori ottenuti dall'elaborazione, mostrati nella figura soprastante, risultano in media compresi negli intervalli tra 0 e 2, e tra 2 e 5, in relazione ai limiti proposti dalla DGR 2193.

9 CEDIMENTI POST-SISMICI

Secondo le indicazioni contenute nella DGR 2193/15 i cedimenti permanenti indotti dall'azione sismica possono essere dovuti alle deformazioni volumetriche (e quindi verticali) di:

- terreni granulari saturi;
- terreni granulari insaturi;
- terreni coesivi soffici.

Nel caso in esame, viste le caratteristiche geologiche espresse ai precedenti paragrafi, si riportano i calcoli effettuati per gli intervalli granulari insaturi, saturi e per quelli coesivi soffici. Questi ultimi sono stati considerati in modo cautelativo poiché, come indicato nella DGR 2193/15, presentano un valore di C_u (in media) inferiore a 70 kPa nonostante il valore di V_s risulti superiore al valore limite di 180 m/s indicato dalla normativa suddetta.

9.1 Stima dei cedimenti post-sismici nei terreni granulari insaturi

Come indicato nella DGR 2193/15 il cedimento indotto dall'azione sismica nei terreni granulari insaturi può essere stimato con la relazione:

$$\Delta s = 2\Delta z * \varepsilon_{N_c}$$

in cui Δs è il cedimento dello strato di spessore Δz ,

$\varepsilon_{N_c} = \varepsilon_{15} \cdot \left(\frac{N_c}{15}\right)^{0,45}$ è la deformazione volumetrica per un numero di cicli equivalente N_c , il cui valore è funzione della magnitudo del terremoto secondo l'equazione: $N_c = (M-4)^{2,17} = 5,212$

$\varepsilon_{15} = \gamma \cdot \left(\frac{(N_1)_{60}}{20}\right)^{-1,2}$ è la deformazione volumetrica dopo 15 cicli di ampiezza \square

dove:

$(N_1)_{60}$ è stato determinato dal codice di calcolo CPET (Geologismiki Software), non essendo disponibili dati da prove SPT e γ è la deformazione di taglio media indotta dall'azione sismica

Quest'ultima è stata determinata con la relazione empirica:

$$\gamma = 0,65 \cdot \frac{a_{\max,s}}{g} \cdot \sigma_v \cdot r_d \cdot \frac{1}{G} = 6,89 * 10^{-5}$$

Nel caso in esame avremo:

$$\varepsilon_{15} = \gamma \cdot \left(\frac{(N_1)_{60}}{20}\right)^{-1,2} = 0,0002$$

da cui

$$\varepsilon_{Nc} = \varepsilon_{15} \cdot \left(\frac{Nc}{15}\right)^{0,45} = 0,00014$$

Il cedimento atteso sarà quindi:

$$\Delta s = 2\Delta z * \varepsilon_{Nc} = 0,048 \text{ cm}$$

dove Δz rappresenta la media dello spessore dello strato sabbioso superficiale rilevato dalle prove eseguite in sito, pari a circa 1,75 m.

Come appare evidente dal calcolo sopra riportato, il cedimento atteso nei sedimenti granulari insaturi superficiali è trascurabile.

9.2 Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni granulari saturi

La deformazione volumetrica (e verticale) ε_v (espressa in decimali) nei terreni granulari saturi può essere stimata mediante le seguenti espressioni (Idriss e Boulanger, 2008):

$$\varepsilon_v = 1,5 \cdot \exp\left[2,551 - 1,147 \cdot (q_{(100k)})^{0,204}\right] \cdot \min(0,08, \gamma_{max}) \quad \text{con } q_{(100k)} \geq 21$$

$$\varepsilon_v = 1,5 \cdot \exp\left[-0,369 \cdot \sqrt{(N_v)_{max}}\right] \cdot \min(0,08, \gamma_{max})$$

in cui γ_{max} (decimale) è la massima deformazione di taglio indotta dall'azione sismica, determinabile, in prima approssimazione, con la relazione empirica:

$$\gamma_{max} = \frac{a_{max}}{g} \cdot \sigma_{v0} \cdot I_d \cdot \frac{1}{G}$$

Per il lavoro in oggetto, considerando i materiali granulari individuati in particolare nella porzione settentrionale dell'area di indagine, sono stati calcolate delle deformazioni volumetriche ε_v pari:

$$\varepsilon_v = 0,0004 \text{ (decimali);}$$

$$\varepsilon_v = 0,0002 \text{ (decimali)}$$

In entrambi i casi si ritiene il cedimento atteso per i terreni granulari saturi trascurabile.

9.3 Stima dei cedimenti post-sismici nei terreni coesivi soffici

Come indicato nella DGR 2193/15 nei depositi coesivi soffici ($C_u \leq 70$ kPa; $V_s < 180$ m/s)

in cui si prevede un incremento delle pressioni interstiziali $\frac{\Delta u}{\sigma'_0} \geq 3$ durante l'azione sismica

di riferimento, la deformazione volumetrica (e verticale) e quindi l'entità del cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto può essere stimata con l'equazione

$$\varepsilon_{vr} = \frac{\alpha \cdot Cr}{1 + e_0} \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma_0}} \right)$$

in cui:

C_r è l'indice di ricomprensione che si assume pari all'indice di rigonfiamento C_s , determinabile con prova edometrica e/o con relazioni empiriche in funzione dell'indice di plasticità;

$\alpha = 1,5$ è un coefficiente empirico che tiene conto della particolare storia di carico ciclico;
 e_0 è l'indice dei vuoti naturale in sito dell'argilla;

$\frac{\Delta u}{p_0} = r_u$ è il rapporto tra l'incremento di pressione interstiziale indotta dallo scuotimento sismico e la tensione media efficace iniziale

Per la stima del rapporto di sovrapprensione interstiziale può essere utilizzata la seguente relazione empirica (Matsui et al., 1980):

$$r_u = \frac{\Delta u}{p_0} = \beta \cdot \log \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_v}$$

in cui:

$\beta = 0,45$ è un coefficiente sperimentale;

γ_{\max} è la deformazione di taglio massima in semplice ampiezza indotta dal terremoto, determinabile, in prima approssimazione, con la relazione empirica:

$$\gamma_{\max} = \frac{a_{\max, s}}{g} \cdot \sigma_v \cdot r_d \cdot \frac{1}{G}$$

G è il modulo di taglio corrispondente al livello deformativo γ_{\max} , che può essere determinato per via iterativa, noto il valore della rigidezza iniziale $G_0 (= \rho \cdot V_s^2)$, utilizzando la legge di variazione $G(\gamma)/G_0$ ottenuta con prove dinamiche di laboratorio o, in modo approssimato, desunta da curve di letteratura per terreni con proprietà simili (AGI, 2005).

γ_v è la deformazione di soglia volumetrica, determinabile con prove dinamiche di laboratorio, o in prima approssimazione con la relazione empirica (Matsui et al., 1980): $\gamma_v = A^*(OCR-1)+B$ in cui OCR è il rapporto di

sovracconsolidazione e A e B sono coefficienti sperimentali che, in assenza di determinazione diretta, possono essere stimati in funzione dell'indice di plasticità, I_P (v. tab. seguente).

I_P (%)	A	B
20	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$
40	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
55	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$

Nel caso in esame, non disponendo di una determinazione diretta dell'indice di plasticità I_P , per il calcolo sono stati considerati entrambi i valori, minimo e massimo, dei parametri A e B.

La deformazione di taglio massima è stata stimata con la relazione di seguito riportata ed è risultata:

$$\gamma_{\max} = \frac{a_{\max, s}}{g} \cdot \sigma_v \cdot r_d \cdot \frac{1}{G} = 1,69 \cdot 10^{-3}$$

Non avendo a disposizione risultati di prove SPT, il valore del coefficiente riduttivo dell'azione sismica (r_d), come da indicazioni contenute nella DGR 2193/15, è stato stimato con una delle relazioni empiriche disponibili, in particolare:

$$r_d = 1 - 0,015z$$

Ipotesi 1 – I_P 20%

Considerando un valore dell'indice di plasticità pari al 20%, il valore di r_u diventa:

$$r_u = \frac{\Delta u}{p_0} = -\beta \cdot \log \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_v} = 0,10$$

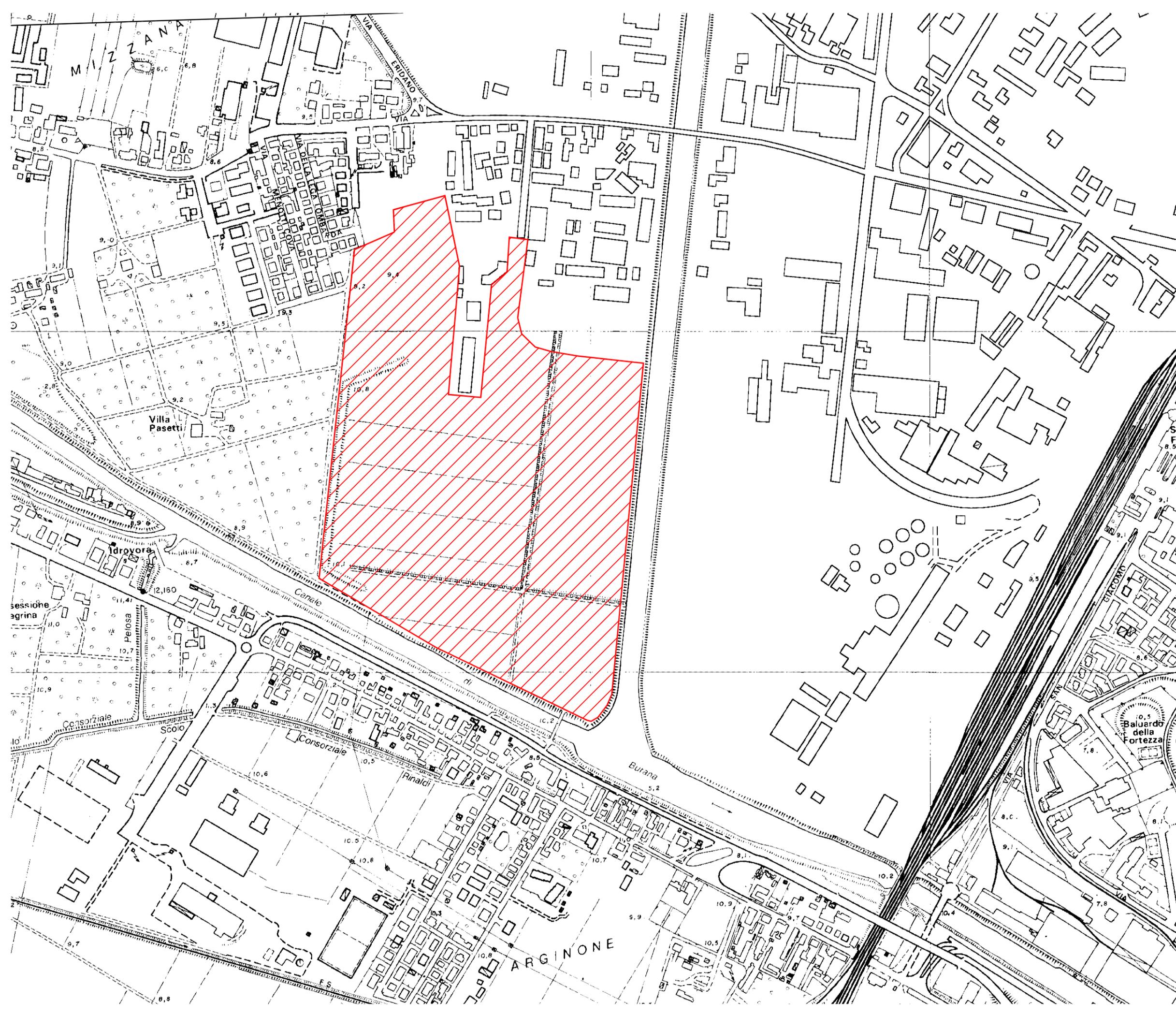
Ipotesi 2 - I_P 55%

Considerando un valore dell'indice di plasticità pari al 55%, il valore di r_u diventa:

$$r_u = \frac{\Delta u}{p_0} = -\beta \cdot \log \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_v} = -0,69$$

Poiché sia nell'ipotesi 1 che nell'ipotesi 2 il valore di r_u risulta inferiore al valore di 0,3, come indicato dalla DGR 2193/15 non risulta necessario procedere al calcolo dei cedimenti post-sismici nei terreni coesivi in esame poiché questi risultano trascurabili.

TAVOLE

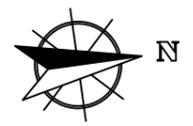
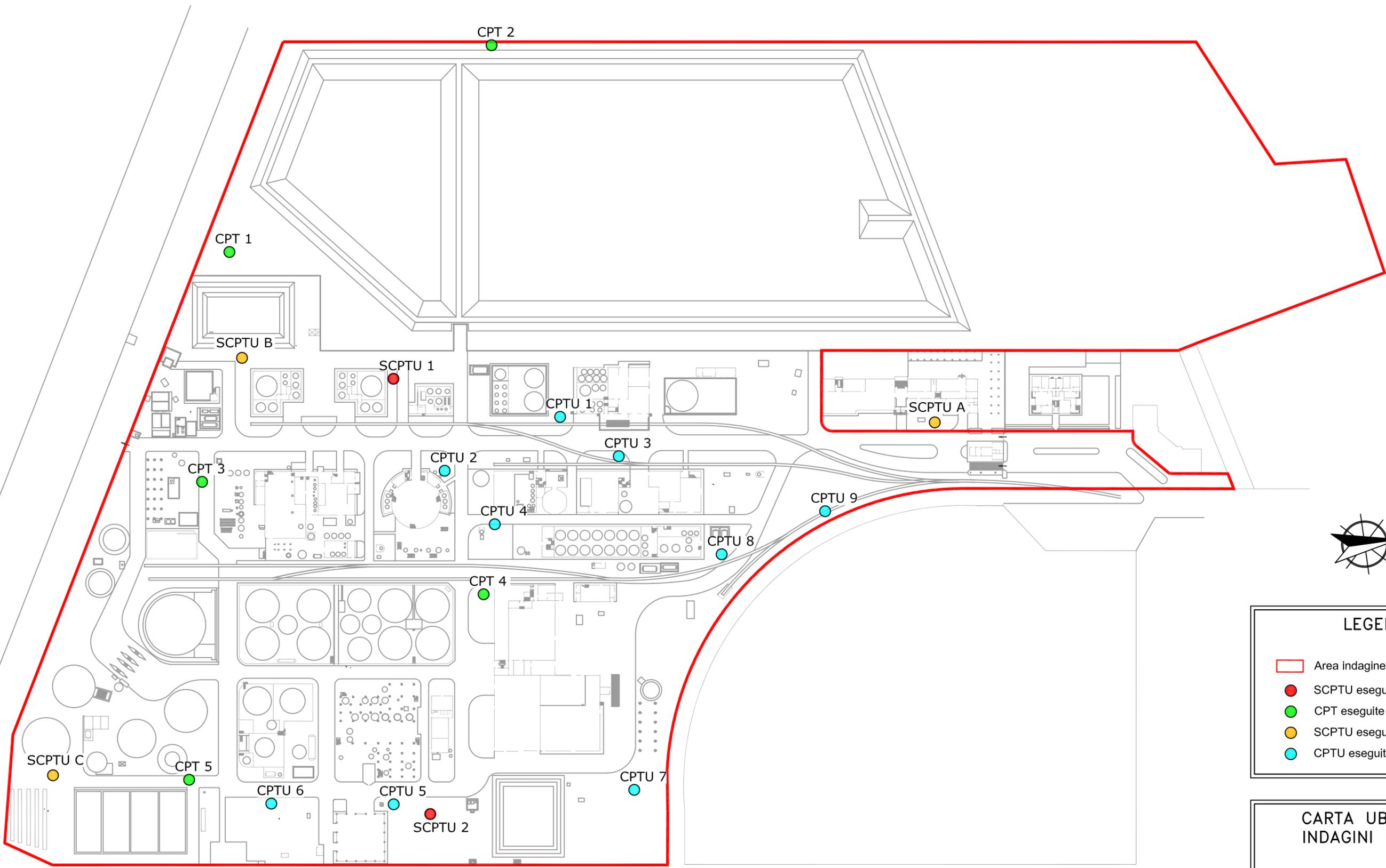


LEGENDA

 Area indagine

CARTA UBICAZIONE
AREA D'INDAGINE

Tavola 1 Scala 1:5000



LEGENDA	
	Area indagine
●	SCPTU eseguite - <i>Settembre 2012</i>
●	CPT eseguite - <i>Settembre 2012</i>
●	SCPTU eseguite - <i>Luglio 2018</i>
●	CPTU eseguite - <i>Luglio 2018</i>

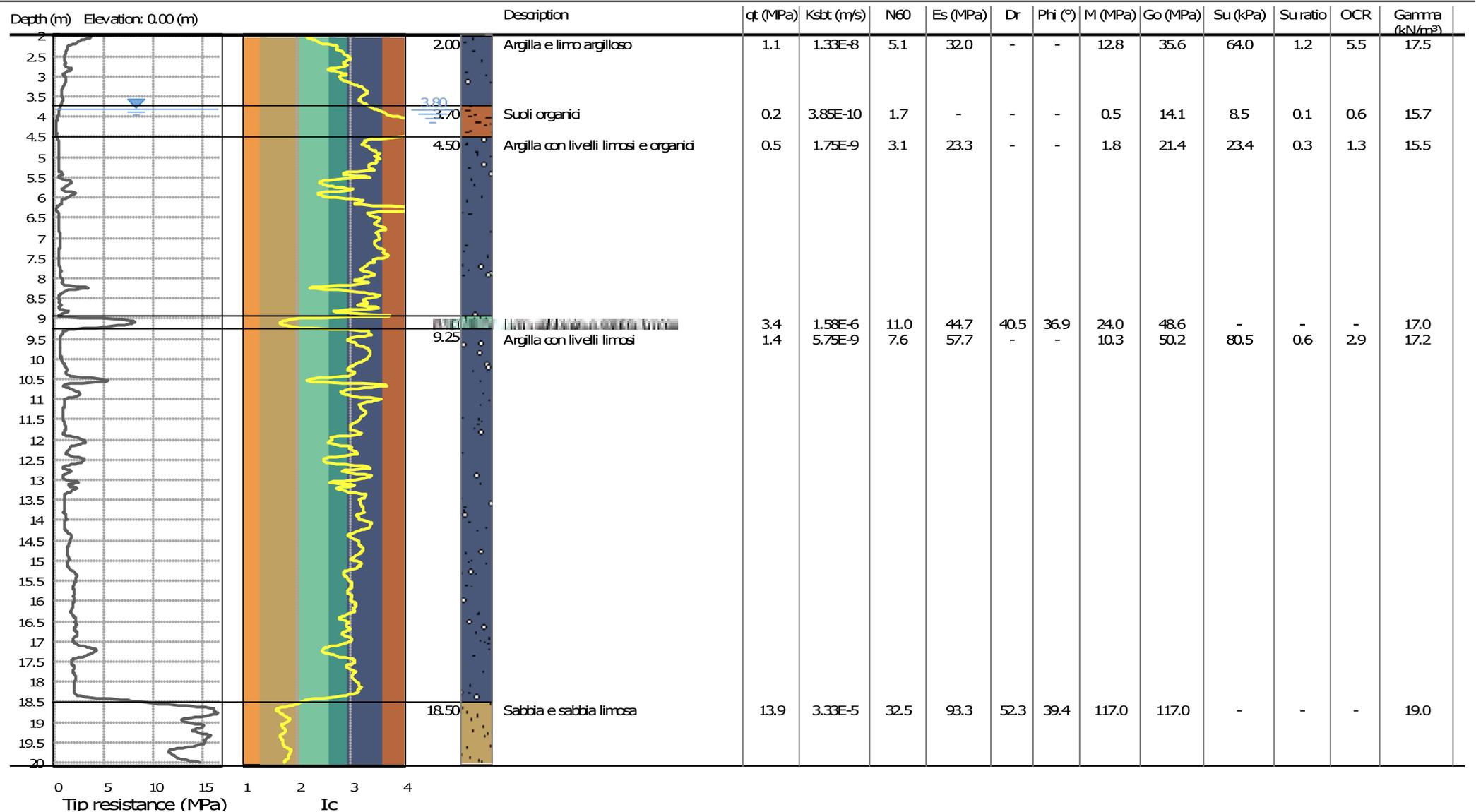
**CARTA UBICAZIONE
INDAGINI ESEGUITE**

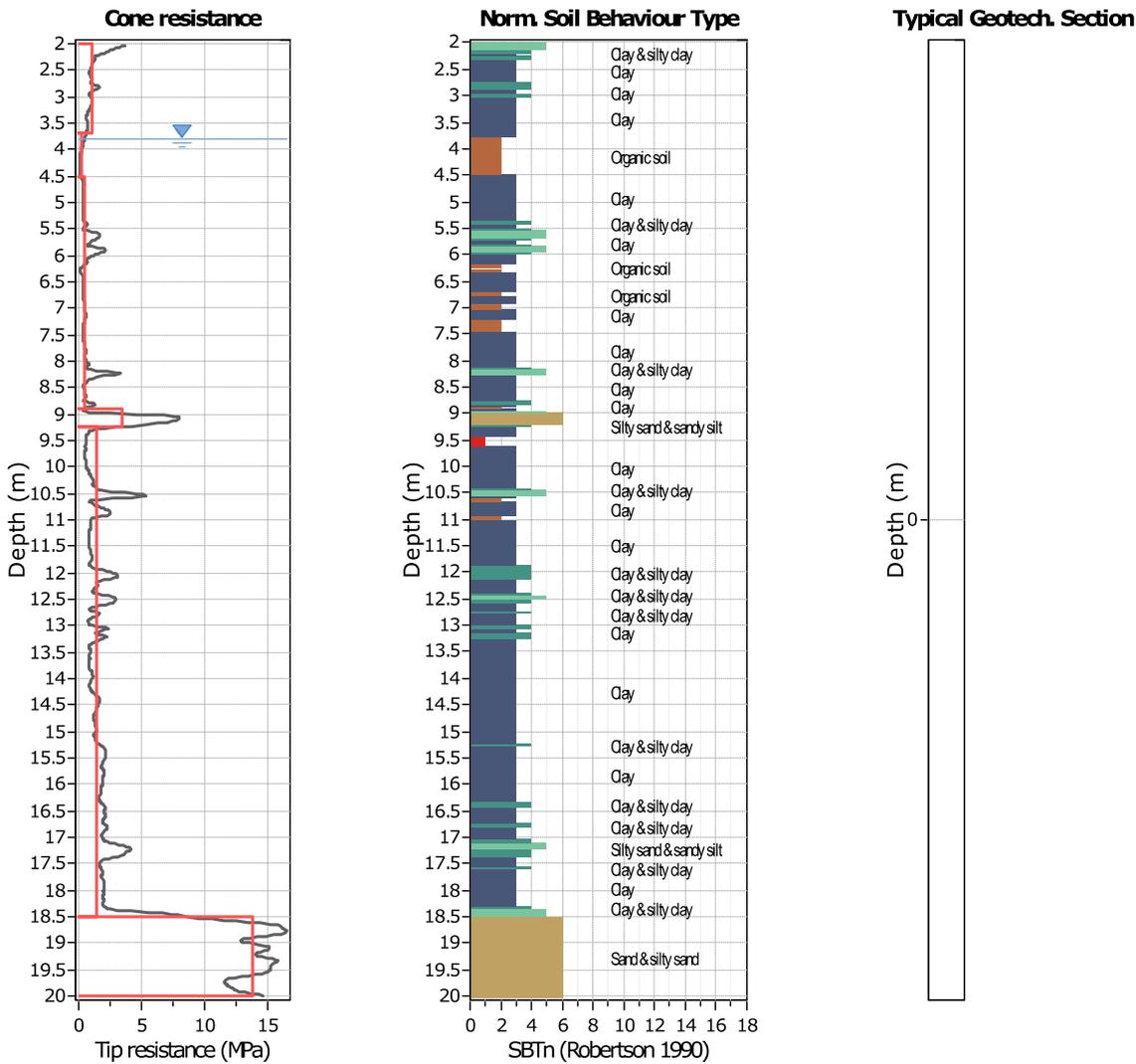
Tavola 1 Scala 1:2000

ALLEGATO 1

Project: PUA area ex-Alc.Este

Location: Ferrara





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 2.00 (m), End depth: 3.70 (m)	
Description: Argilla e limo argilloso		
Basic results		
Total cone resistance:	1.06 ±0.66 MPa	
Sleeve friction:	47.54 ±10.15 kPa	
SBT _n :	3	
SBTn description:	Clay	
Estimation results		
Permeability:	1.33E-08 ±3.58E-07 m/s	Constrained Mod.: 12.75 ±10.04 MPa
N60:	5.11 ±1.62 blows	Go: 35.60 ±4.77 MPa
Es:	31.96 ±0.70 MPa	Su: 63.97 ±21.82 kPa
Dr (%):	0.00 ±0.00	Su ratio: 1.19 ±0.52
φ (degrees):	0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 5.49 ±2.40
Unit weight:	17.45 ±0.35 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 3.70 (m), **End depth:** 4.50 (m)**Description:** Suoli organici**Basic results**

Total cone resistance: 0.21 ±0.16 MPa

Sleeve friction: 17.68 ±10.04 kPa

SBT_n: 2SBT_n description: Organic soil**Estimation results**

Permeability: 3.85E-10 ±2.59E-10 m/s

N60: 1.74 ±1.04 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.69 ±0.80 kN/m³

Constrained Mod.: 0.55 ±1.19 MPa

Go: 14.08 ±9.07 MPa

Su: 8.46 ±11.82 kPa

Su ratio: 0.12 ±0.18

O.C.R.: 0.56 ±0.82

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 4.50 (m), **End depth:** 8.90 (m)**Description:** Argilla con livelli limosi e organici**Basic results**

Total cone resistance: 0.50 ±0.51 MPa

Sleeve friction: 10.82 ±7.52 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 1.75E-09 ±1.63E-07 m/s

N60: 3.10 ±1.50 blows

Es: 23.32 ±23.32 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.48 ±0.79 kN/m³

Constrained Mod.: 1.75 ±7.96 MPa

Go: 21.42 ±7.47 MPa

Su: 23.41 ±17.29 kPa

Su ratio: 0.28 ±0.20

O.C.R.: 1.29 ±0.91

::: Layer No: 4 :::**Code:** 4 **Start depth:** 8.90 (m), **End depth:** 9.25 (m)**Description:** Limo sabbioso e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 3.42 ±3.34 MPa

Sleeve friction: 21.83 ±5.52 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 1.58E-06 ±3.63E-05 m/s

N60: 11.00 ±5.68 blows

Es: 44.70 ±4.63 MPa

Dr (%): 40.49 ±7.36

φ (degrees): 36.90 ±1.90 °

Unit weight: 17.02 ±0.41 kN/m³

Constrained Mod.: 24.00 ±30.91 MPa

Go: 48.60 ±12.69 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 5 :::**Code:** 5 **Start depth:** 9.25 (m), **End depth:** 18.50 (m)**Description:** Argilla con livelli limosi**Basic results**

Total cone resistance: 1.45 ±1.00 MPa

Sleeve friction: 35.40 ±27.69 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 5.75E-09 ±3.05E-07 m/s

N60: 7.60 ±3.20 blows

Es: 57.73 ±7.73 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.25 ±0.95 kN/m³

Constrained Mod.: 10.32 ±15.71 MPa

Go: 50.16 ±17.34 MPa

Su: 80.53 ±44.96 kPa

Su ratio: 0.62 ±0.32

O.C.R.: 2.85 ±1.50

:: Layer No: 6 ::**Code:** 6 **Start depth:** 18.50 (m), **End depth:** 20.00 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 13.87 ±1.72 MPa

Sleeve friction: 78.81 ±11.65 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 3.33E-05 ±2.44E-05 m/s

N60: 32.53 ±2.38 blows

Es: 93.34 ±4.22 MPa

Dr (%): 52.31 ±3.98

φ (degrees): 39.39 ±0.75 °

Unit weight: 19.02 ±0.16 kN/m³

Constrained Mod.: 116.98 ±5.29 MPa

Go: 116.98 ±5.29 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

Project: PUA area ex-Alc.Este
Location: Ferrara

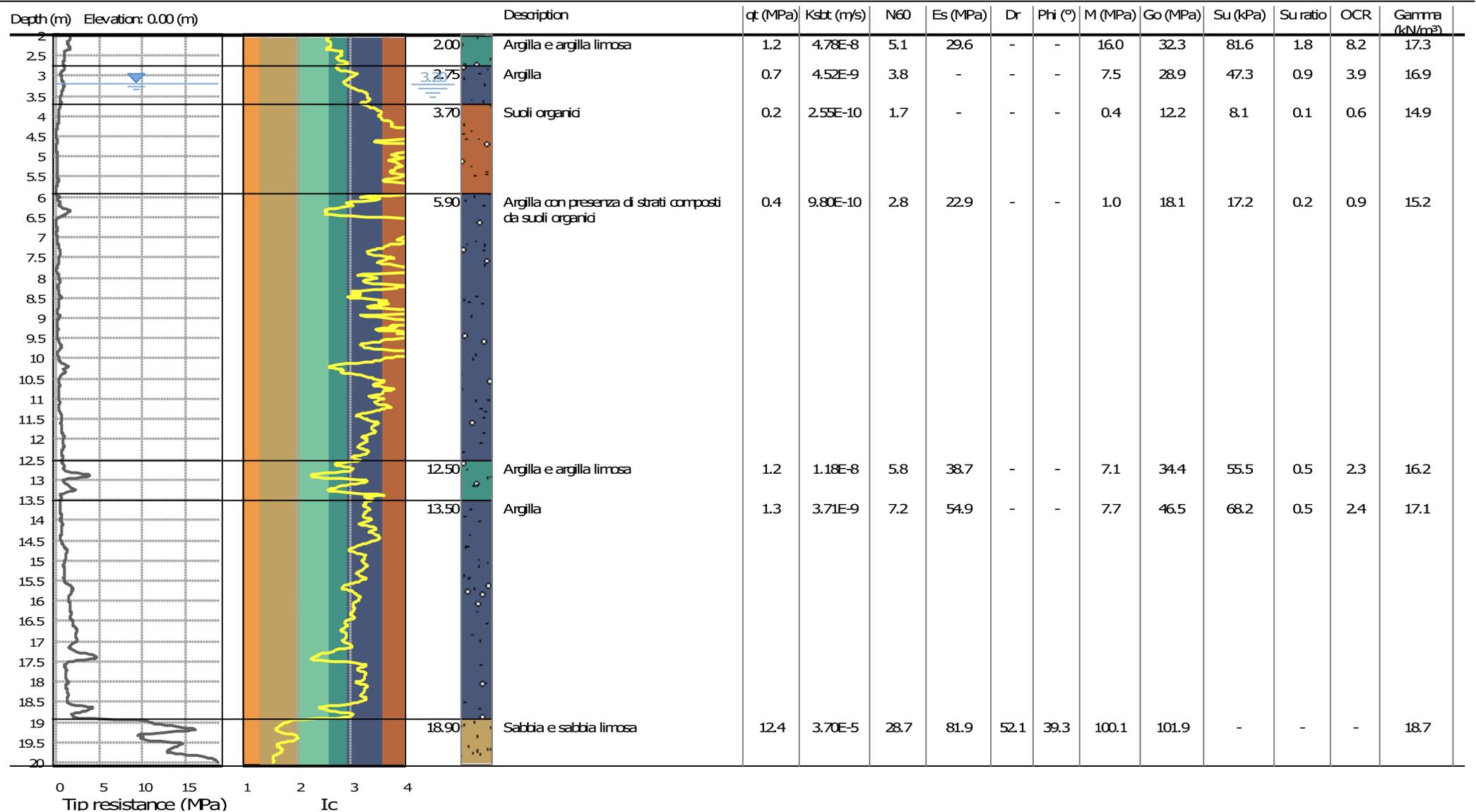
Summary table of mean values

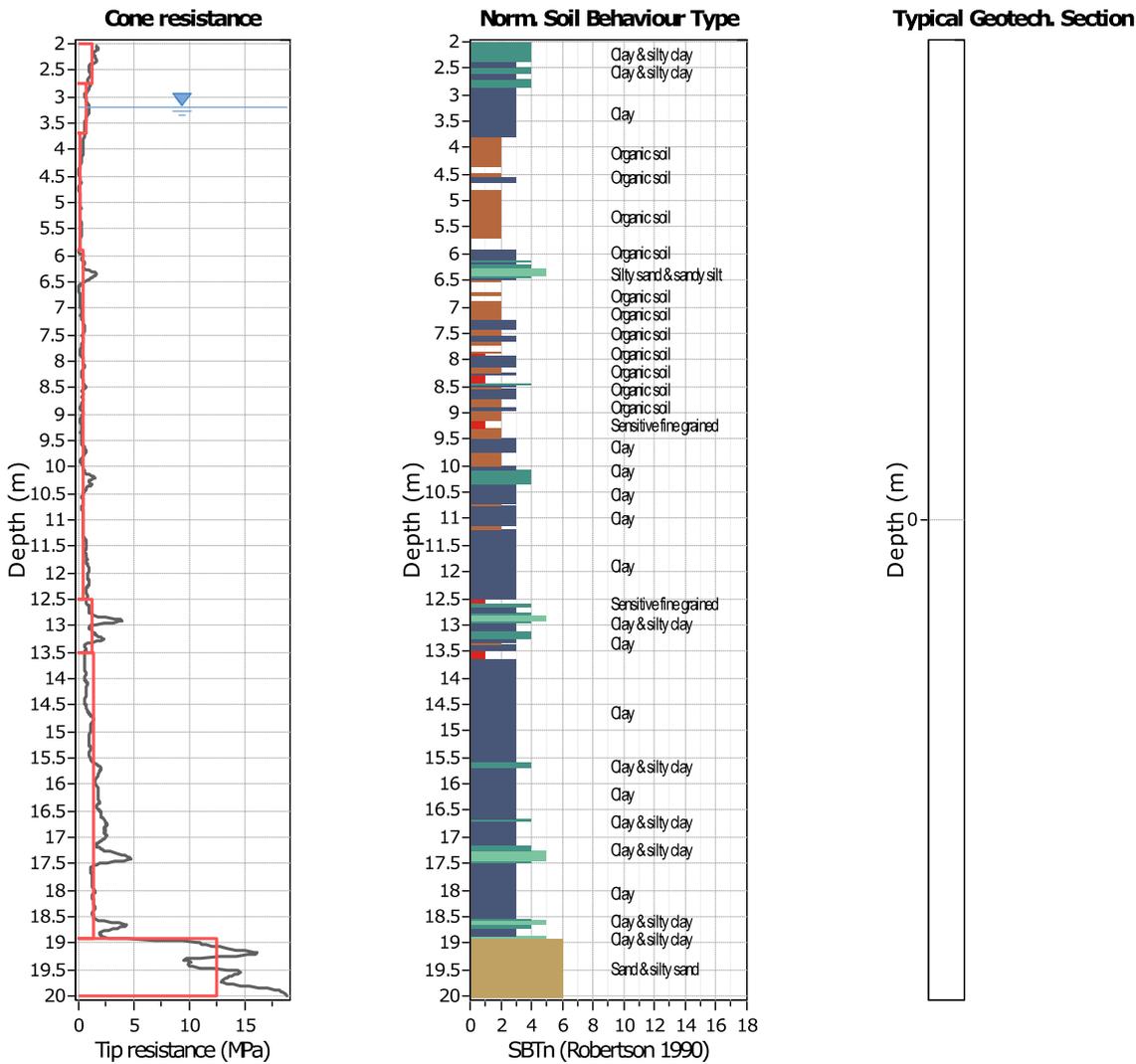
From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
2.00	1.70	1.33E-08	5.1	32.0	0.0	0.0	12.8	35.6	64.0	1.2	5.5	17.5
3.70		(±3.58E-07)	(±1.6)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±10.0)	(±4.8)	(±21.8)	(±0.5)	(±2.4)	(±0.3)
3.70	0.80	3.85E-10	1.7	0.0	0.0	0.0	0.5	14.1	8.5	0.1	0.6	15.7
4.50		(±2.59E-10)	(±1.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.2)	(±9.1)	(±11.8)	(±0.2)	(±0.8)	(±0.8)
4.50	4.40	1.75E-09	3.1	23.3	0.0	0.0	1.8	21.4	23.4	0.3	1.3	15.5
8.90		(±1.63E-07)	(±1.5)	(±23.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±8.0)	(±7.5)	(±17.3)	(±0.2)	(±0.9)	(±0.8)
8.90	0.35	1.58E-06	11.0	44.7	40.5	36.9	24.0	48.6	0.0	0.0	0.0	17.0
9.25		(±3.63E-05)	(±5.7)	(±4.6)	(±7.4)	(±1.9)	(±30.9)	(±12.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)
9.25	9.25	5.75E-09	7.6	57.7	0.0	0.0	10.3	50.2	80.5	0.6	2.9	17.2
18.50		(±3.05E-07)	(±3.2)	(±7.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±15.7)	(±17.3)	(±45.0)	(±0.3)	(±1.5)	(±1.0)
18.50	1.50	3.33E-05	32.5	93.3	52.3	39.4	117.0	117.0	0.0	0.0	0.0	19.0
20.00		(±2.44E-05)	(±2.4)	(±4.2)	(±4.0)	(±0.7)	(±5.3)	(±5.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.2)

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

Project: PUA area ex-Alc.Este

Location: Ferrara





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 2.00 (m), End depth: 2.75 (m)	
Description: Argilla e argilla limosa		
Basic results		
Total cone resistance: 1.19 ±0.31 MPa	Estimation results	
Sleeve friction: 39.60 ±8.27 kPa	Permeability: 4.78E-08 ±5.50E-08 m/s	Constrained Mod.: 15.99 ±4.46 MPa
SBT _n : 4	N60: 5.13 ±0.96 blows	Go: 32.25 ±3.72 MPa
SBT _n description: Clay & silty clay	Es: 29.61 ±1.06 MPa	Su: 81.58 ±22.73 kPa
	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 1.78 ±0.55
	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 8.20 ±2.56
	Unit weight: 17.29 ±0.32 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 2.75 (m), **End depth:** 3.70 (m)**Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 0.72 ±0.17 MPa

Sleeve friction: 32.35 ±12.50 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 4.52E-09 ±1.35E-08 m/s

N60: 3.82 ±0.70 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.86 ±0.41 kN/m³

Constrained Mod.: 7.48 ±3.59 MPa

Go: 28.88 ±4.07 MPa

Su: 47.30 ±12.27 kPa

Su ratio: 0.85 ±0.25

O.C.R.: 3.93 ±1.13

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 3.70 (m), **End depth:** 5.90 (m)**Description:** Suoli organici**Basic results**

Total cone resistance: 0.17 ±0.13 MPa

Sleeve friction: 6.73 ±12.46 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 2.55E-10 ±2.58E-10 m/s

N60: 1.73 ±0.75 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 14.87 ±1.12 kN/m³

Constrained Mod.: 0.43 ±0.85 MPa

Go: 12.24 ±8.13 MPa

Su: 8.14 ±9.39 kPa

Su ratio: 0.12 ±0.16

O.C.R.: 0.58 ±0.73

::: Layer No: 4 :::**Code:** 4 **Start depth:** 5.90 (m), **End depth:** 12.50 (m)**Description:** Argilla con presenza di strati composti da suoli organici**Basic results**

Total cone resistance: 0.38 ±0.31 MPa

Sleeve friction: 7.97 ±10.65 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 9.80E-10 ±3.07E-08 m/s

N60: 2.82 ±1.24 blows

Es: 22.92 ±2.21 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.20 ±0.99 kN/m³

Constrained Mod.: 0.98 ±3.54 MPa

Go: 18.10 ±9.24 MPa

Su: 17.21 ±18.33 kPa

Su ratio: 0.19 ±0.20

O.C.R.: 0.90 ±0.90

::: Layer No: 5 :::**Code:** 5 **Start depth:** 12.50 (m), **End depth:** 13.50 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.17 ±0.91 MPa

Sleeve friction: 15.01 ±12.70 kPa

SBT_n: 4SBT_n description: Clay & silty clay**Estimation results**

Permeability: 1.18E-08 ±2.77E-07 m/s

N60: 5.76 ±2.57 blows

Es: 38.70 ±38.70 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.23 ±1.10 kN/m³

Constrained Mod.: 7.12 ±15.45 MPa

Go: 34.40 ±11.69 MPa

Su: 55.47 ±35.10 kPa

Su ratio: 0.51 ±0.32

O.C.R.: 2.34 ±1.47

::: Layer No: 6 :::**Code:** 6 **Start depth:** 13.50 (m), **End depth:** 18.90 (m)**Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.32 ±0.88 MPa

Sleeve friction: 31.19 ±24.42 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 3.71E-09 ±1.49E-07 m/s

N60: 7.23 ±2.96 blows

Es: 54.88 ±11.66 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.06 ±1.12 kN/m³

Constrained Mod.: 7.66 ±14.62 MPa

Go: 46.51 ±17.40 MPa

Su: 68.22 ±44.99 kPa

Su ratio: 0.53 ±0.31

O.C.R.: 2.43 ±1.44

::: Layer No: 7 :::**Code:** 7 **Start depth:** 18.90 (m), **End depth:** 20.00 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 12.36 ±3.28 MPa

Sleeve friction: 61.09 ±13.11 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 3.70E-05 ±5.70E-05 m/s

N60: 28.73 ±4.81 blows

Es: 81.95 ±6.47 MPa

Dr (%): 52.06 ±6.90

φ (degrees): 39.32 ±1.38 °

Unit weight: 18.69 ±0.27 kN/m³

Constrained Mod.: 100.06 ±13.48 MPa

Go: 101.93 ±9.34 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

Project: PUA area ex-Alc.Este

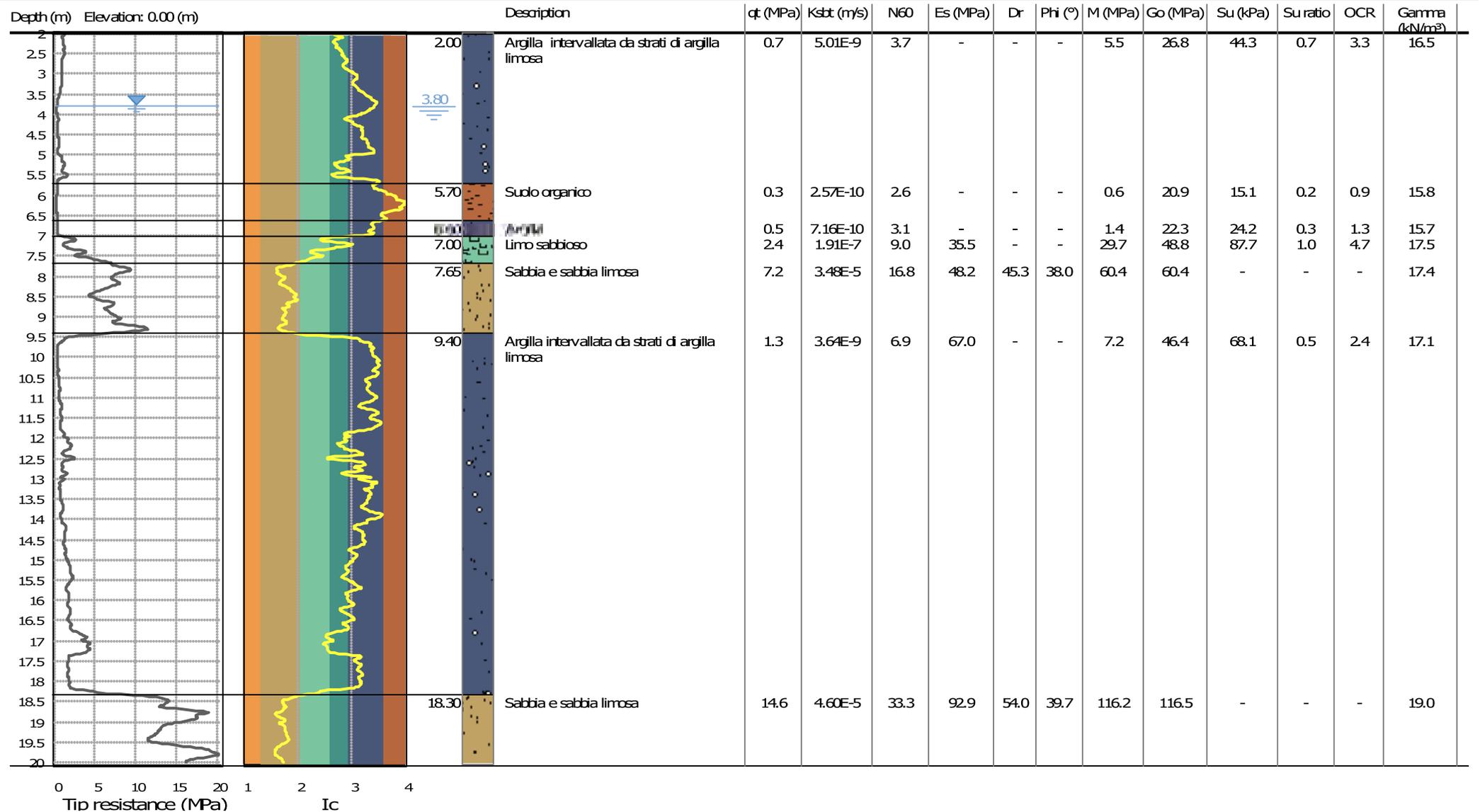
Location: Ferrara

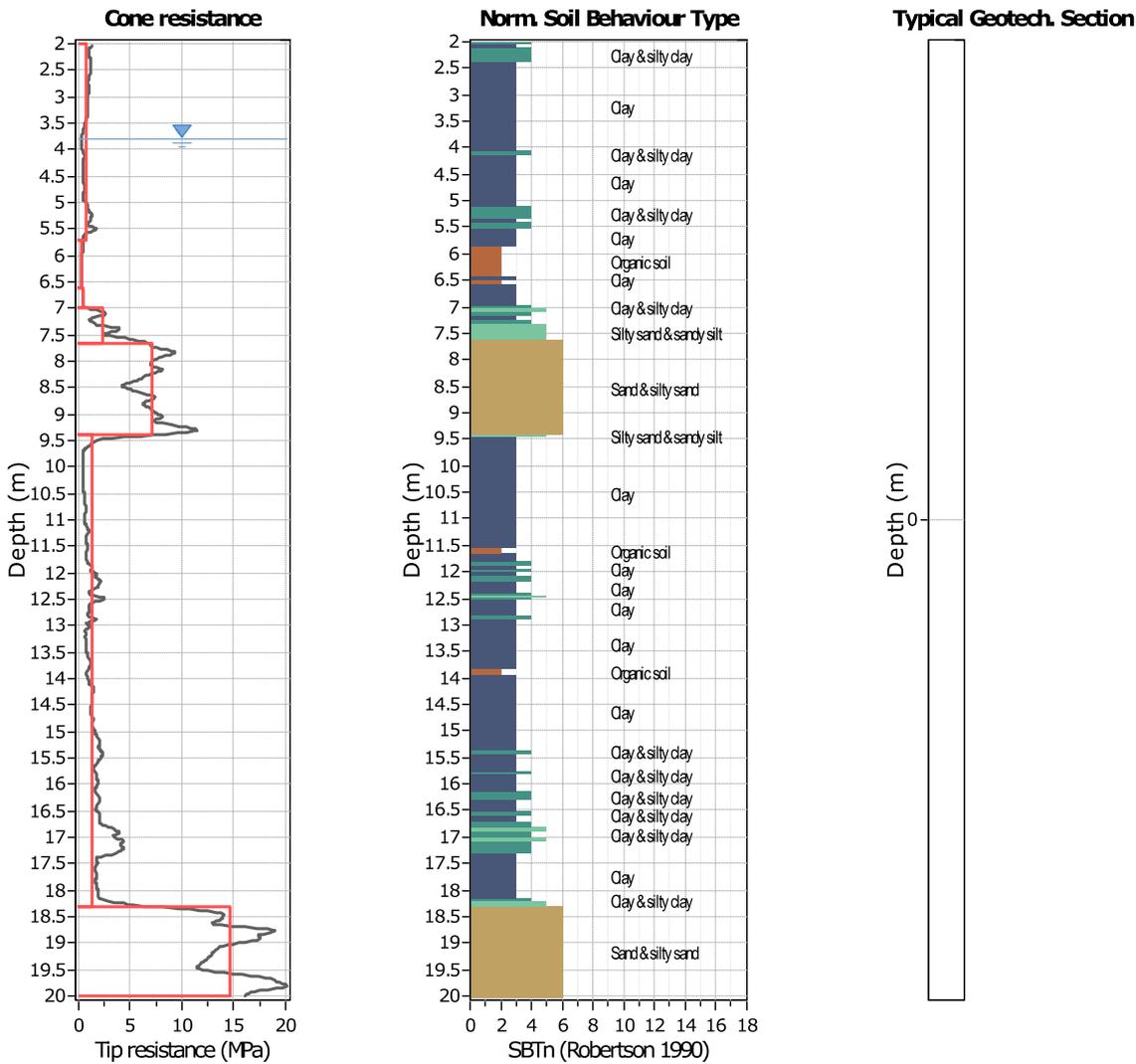
Summary table of mean values

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/m ³)
2.00	0.75	4.78E-08	5.1	29.6	0.0	0.0	16.0	32.3	81.6	1.8	8.2	17.3
2.75		(±5.50E-08)	(±1.0)	(±1.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.5)	(±3.7)	(±22.7)	(±0.6)	(±2.6)	(±0.3)
2.75	0.95	4.52E-09	3.8	0.0	0.0	0.0	7.5	28.9	47.3	0.9	3.9	16.9
3.70		(±1.35E-08)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.6)	(±4.1)	(±12.3)	(±0.2)	(±1.1)	(±0.4)
3.70	2.20	2.55E-10	1.7	0.0	0.0	0.0	0.4	12.2	8.1	0.1	0.6	14.9
5.90		(±2.58E-10)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.9)	(±8.1)	(±9.4)	(±0.2)	(±0.7)	(±1.1)
5.90	6.60	9.80E-10	2.8	22.9	0.0	0.0	1.0	18.1	17.2	0.2	0.9	15.2
12.50		(±3.07E-08)	(±1.2)	(±2.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.5)	(±9.2)	(±18.3)	(±0.2)	(±0.9)	(±1.0)
12.50	1.00	1.18E-08	5.8	38.7	0.0	0.0	7.1	34.4	55.5	0.5	2.3	16.2
13.50		(±2.77E-07)	(±2.6)	(±38.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±15.5)	(±11.7)	(±35.1)	(±0.3)	(±1.5)	(±1.1)
13.50	5.40	3.71E-09	7.2	54.9	0.0	0.0	7.7	46.5	68.2	0.5	2.4	17.1
18.90		(±1.49E-07)	(±3.0)	(±11.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±14.6)	(±17.4)	(±45.0)	(±0.3)	(±1.4)	(±1.1)
18.90	1.10	3.70E-05	28.7	81.9	52.1	39.3	100.1	101.9	0.0	0.0	0.0	18.7
20.00		(±5.70E-05)	(±4.8)	(±6.5)	(±6.9)	(±1.4)	(±13.5)	(±9.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.3)

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

Project: PUA area ex-Alc.Este
Location: Ferrara





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 2.00 (m), End depth: 5.70 (m)	
Description: Argilla intervallata da strati di argilla limosa		
Basic results	Estimation results	
Total cone resistance: 0.70 ±0.33 MPa	Permeability: 5.01E-09 ±2.04E-08 m/s	Constrained Mod.: 5.50 ±6.54 MPa
Sleeve friction: 22.98 ±18.77 kPa	N60: 3.74 ±1.26 blows	Go: 26.84 ±7.43 MPa
SBT _n : 3	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 44.35 ±24.20 kPa
SBT _n description: Clay	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 0.72 ±0.55
	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 3.35 ±2.54
	Unit weight: 16.46 ±1.04 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 5.70 (m), **End depth:** 6.60 (m)**Description:** Suolo organico**Basic results**

Total cone resistance: 0.32 ±0.07 MPa

Sleeve friction: 16.37 ±3.80 kPa

SBT_n: 2

SBTn description: Organic soil

Estimation results

Permeability: 2.57E-10 ±1.88E-10 m/s

N60: 2.63 ±0.48 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.77 ±0.26 kN/m³

Constrained Mod.: 0.61 ±0.39 MPa

Go: 20.86 ±1.97 MPa

Su: 15.13 ±4.87 kPa

Su ratio: 0.19 ±0.06

O.C.R.: 0.87 ±0.30

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 6.60 (m), **End depth:** 7.00 (m)**Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 0.45 ±0.10 MPa

Sleeve friction: 13.20 ±2.28 kPa

SBT_n: 3

SBTn description: Clay

Estimation results

Permeability: 7.16E-10 ±8.29E-10 m/s

N60: 3.08 ±0.30 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.66 ±0.23 kN/m³

Constrained Mod.: 1.36 ±1.06 MPa

Go: 22.32 ±2.27 MPa

Su: 24.16 ±6.82 kPa

Su ratio: 0.29 ±0.08

O.C.R.: 1.33 ±0.36

::: Layer No: 4 :::**Code:** 4 **Start depth:** 7.00 (m), **End depth:** 7.65 (m)**Description:** Limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 2.36 ±1.49 MPa

Sleeve friction: 36.19 ±14.66 kPa

SBT_n: 4

SBTn description: Clay & silty clay

Estimation results

Permeability: 1.91E-07 ±1.07E-06 m/s

N60: 8.97 ±3.62 blows

Es: 35.54 ±35.54 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.45 ±0.54 kN/m³

Constrained Mod.: 29.66 ±20.93 MPa

Go: 48.77 ±12.20 MPa

Su: 87.68 ±24.64 kPa

Su ratio: 1.01 ±0.27

O.C.R.: 4.65 ±1.27

::: Layer No: 5 :::**Code:** 5 **Start depth:** 7.65 (m), **End depth:** 9.40 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 7.20 ±1.57 MPa

Sleeve friction: 22.99 ±12.69 kPa

SBT_n: 6

SBTn description: Sand & silty sand

Estimation results

Permeability: 3.48E-05 ±3.15E-05 m/s

N60: 16.76 ±2.84 blows

Es: 48.22 ±7.08 MPa

Dr (%): 45.34 ±4.82

φ (degrees): 38.01 ±1.03 °

Unit weight: 17.36 ±0.54 kN/m³

Constrained Mod.: 60.43 ±8.87 MPa

Go: 60.43 ±8.87 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 6 :::**Code:** 6 **Start depth:** 9.40 (m), **End depth:** 18.30 (m)**Description:** Argilla intervallata da strati di argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.26 ±1.01 MPa

Sleeve friction: 31.54 ±20.66 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 3.64E-09 ±7.80E-07 m/s

N60: 6.94 ±3.36 blows

Es: 67.00 ±5.22 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.05 ±0.93 kN/m³

Constrained Mod.: 7.23 ±15.40 MPa

Go: 46.44 ±17.95 MPa

Su: 68.12 ±55.42 kPa

Su ratio: 0.52 ±0.35

O.C.R.: 2.39 ±1.62

::: Layer No: 7 :::**Code:** 7 **Start depth:** 18.30 (m), **End depth:** 20.00 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 14.63 ±2.98 MPa

Sleeve friction: 75.03 ±20.10 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 4.60E-05 ±4.04E-05 m/s

N60: 33.35 ±4.78 blows

Es: 92.93 ±9.41 MPa

Dr (%): 53.99 ±6.06

φ (degrees): 39.68 ±1.11 °

Unit weight: 18.99 ±0.31 kN/m³

Constrained Mod.: 116.22 ±12.17 MPa

Go: 116.47 ±11.79 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

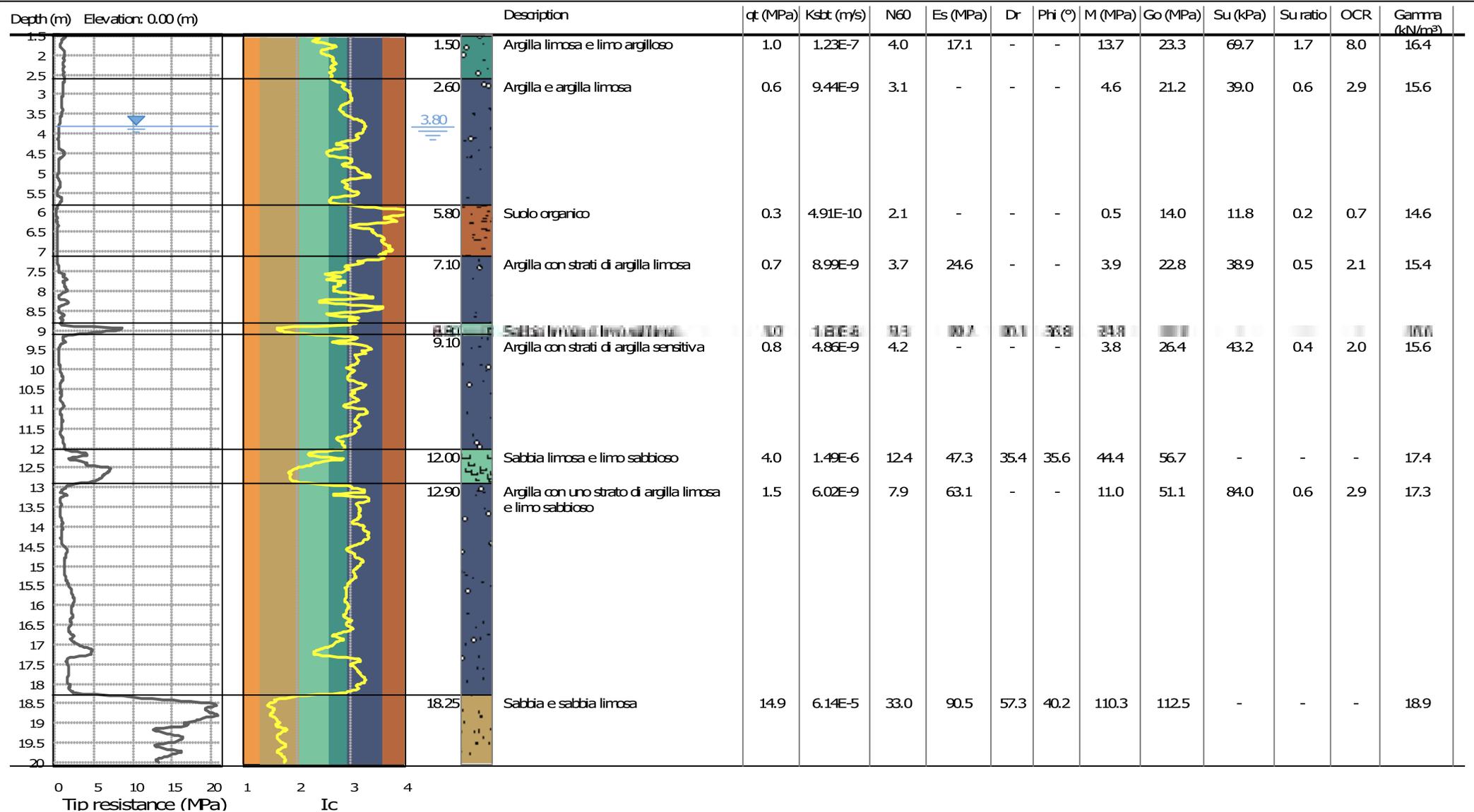
Summary table of mean values

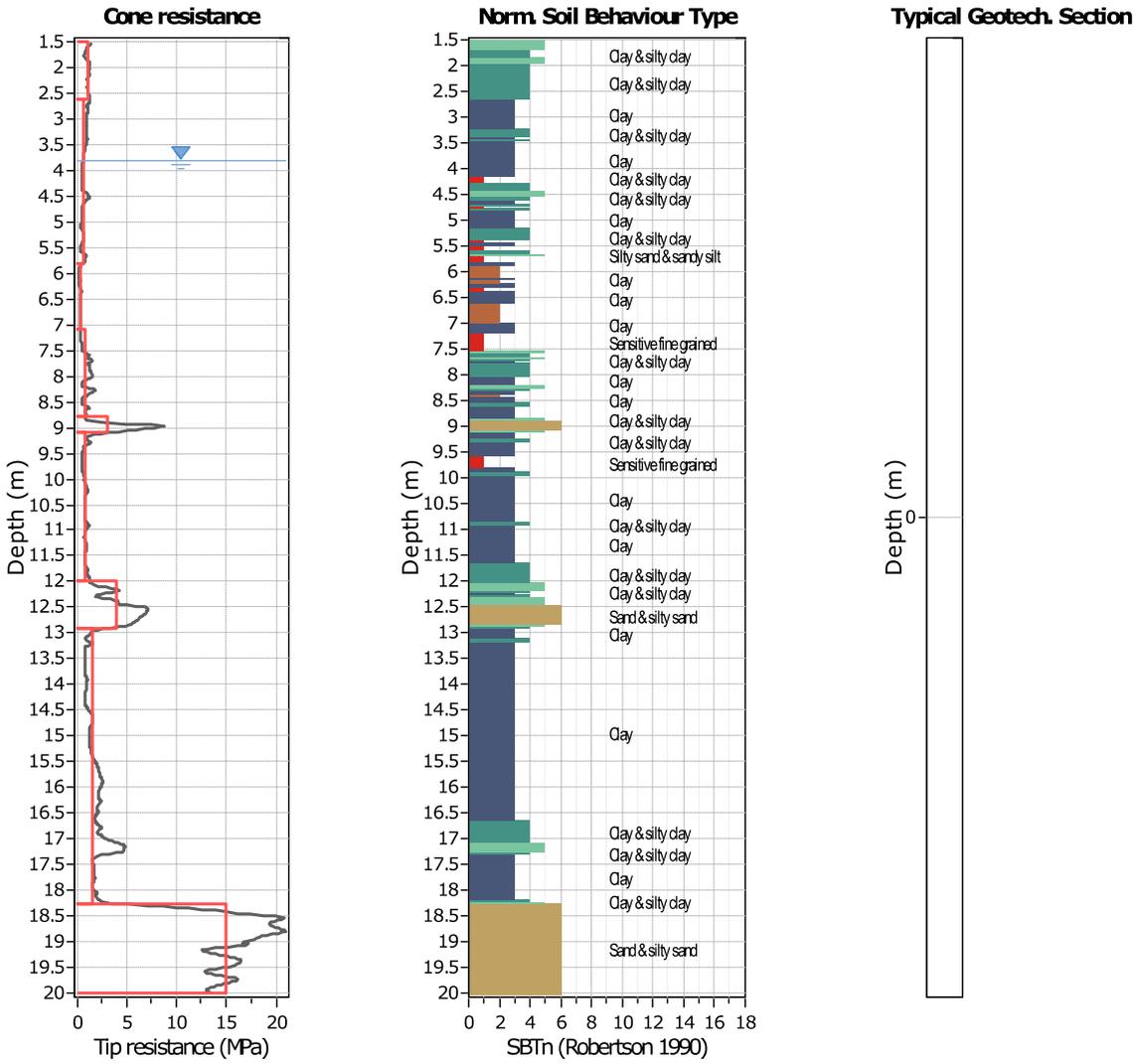
From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
2.00	3.70	5.01E-09	3.7	0.0	0.0	0.0	5.5	26.8	44.3	0.7	3.3	16.5
5.70		(±2.04E-08)	(±1.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±6.5)	(±7.4)	(±24.2)	(±0.5)	(±2.5)	(±1.0)
5.70	0.90	2.57E-10	2.6	0.0	0.0	0.0	0.6	20.9	15.1	0.2	0.9	15.8
6.60		(±1.88E-10)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)	(±2.0)	(±4.9)	(±0.1)	(±0.3)	(±0.3)
6.60	0.40	7.16E-10	3.1	0.0	0.0	0.0	1.4	22.3	24.2	0.3	1.3	15.7
7.00		(±8.29E-10)	(±0.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.1)	(±2.3)	(±6.8)	(±0.1)	(±0.4)	(±0.2)
7.00	0.65	1.91E-07	9.0	35.5	0.0	0.0	29.7	48.8	87.7	1.0	4.7	17.5
7.65		(±1.07E-06)	(±3.6)	(±35.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±20.9)	(±12.2)	(±24.6)	(±0.3)	(±1.3)	(±0.5)
7.65	1.75	3.48E-05	16.8	48.2	45.3	38.0	60.4	60.4	0.0	0.0	0.0	17.4
9.40		(±3.15E-05)	(±2.8)	(±7.1)	(±4.8)	(±1.0)	(±8.9)	(±8.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
9.40	8.90	3.64E-09	6.9	67.0	0.0	0.0	7.2	46.4	68.1	0.5	2.4	17.1
18.30		(±7.80E-07)	(±3.4)	(±5.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±15.4)	(±17.9)	(±55.4)	(±0.3)	(±1.6)	(±0.9)
18.30	1.70	4.60E-05	33.3	92.9	54.0	39.7	116.2	116.5	0.0	0.0	0.0	19.0
20.00		(±4.04E-05)	(±4.8)	(±9.4)	(±6.1)	(±1.1)	(±12.2)	(±11.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.3)

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

Project: PUA area ex-Alc.Este

Location: Ferrara





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 1.50 (m), End depth: 2.60 (m)	
Description: Argilla limosa e limo argilloso		
Basic results	Estimation results	
Total cone resistance: 1.01 ±0.16 MPa	Permeability: 1.23E-07 ±2.32E-07 m/s	Constrained Mod.: 13.73 ±2.24 MPa
Sleeve friction: 19.91 ±10.13 kPa	N60: 4.00 ±0.75 blows	Go: 23.35 ±4.91 MPa
SBT _n : 4	Es: 17.11 ±3.43 MPa	Su: 69.70 ±11.28 kPa
SBTn description: Clay & silty clay	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 1.73 ±0.20
	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 7.98 ±0.93
	Unit weight: 16.45 ±0.70 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 2.60 (m), **End depth:** 5.80 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 0.64 ±0.25 MPa

Sleeve friction: 9.76 ±19.38 kPa

SBT_n: 4

SBTn description: Clay & silty clay

Estimation results

Permeability: 9.44E-09 ±3.62E-08 m/s

N60: 3.11 ±1.12 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.56 ±1.34 kN/m³

Constrained Mod.: 4.65 ±5.29 MPa

Go: 21.18 ±7.71 MPa

Su: 38.99 ±18.33 kPa

Su ratio: 0.63 ±0.42

O.C.R.: 2.89 ±1.95

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 5.80 (m), **End depth:** 7.10 (m)**Description:** Suolo organico**Basic results**

Total cone resistance: 0.28 ±0.08 MPa

Sleeve friction: 5.92 ±5.91 kPa

SBT_n: 3

SBTn description: Clay

Estimation results

Permeability: 4.91E-10 ±3.85E-09 m/s

N60: 2.06 ±0.52 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 14.62 ±0.80 kN/m³

Constrained Mod.: 0.51 ±0.40 MPa

Go: 13.97 ±4.56 MPa

Su: 11.76 ±5.85 kPa

Su ratio: 0.16 ±0.08

O.C.R.: 0.72 ±0.36

::: Layer No: 4 :::**Code:** 4 **Start depth:** 7.10 (m), **End depth:** 8.80 (m)**Description:** Argilla con strati di argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 0.73 ±0.45 MPa

Sleeve friction: 7.53 ±11.87 kPa

SBT_n: 3

SBTn description: Clay

Estimation results

Permeability: 8.99E-09 ±7.61E-08 m/s

N60: 3.70 ±1.60 blows

Es: 24.57 ±4.26 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.42 ±1.20 kN/m³

Constrained Mod.: 3.90 ±8.01 MPa

Go: 22.75 ±9.53 MPa

Su: 38.85 ±30.90 kPa

Su ratio: 0.46 ±0.36

O.C.R.: 2.14 ±1.67

::: Layer No: 5 :::**Code:** 5 **Start depth:** 8.80 (m), **End depth:** 9.10 (m)**Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 3.04 ±3.22 MPa

Sleeve friction: 15.64 ±3.72 kPa

SBT_n: 5

SBTn description: Silty sand & sandy silt

Estimation results

Permeability: 1.60E-06 ±4.58E-05 m/s

N60: 9.26 ±5.59 blows

Es: 39.73 ±5.84 MPa

Dr (%): 40.13 ±8.06

φ (degrees): 36.81 ±2.01 °

Unit weight: 16.59 ±0.43 kN/m³

Constrained Mod.: 24.78 ±24.85 MPa

Go: 42.19 ±11.81 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 6 :::**Code:** 6 **Start depth:** 9.10 (m), **End depth:** 12.00 (m)**Description:** Argilla con strati di argilla sensitiva**Basic results**

Total cone resistance: 0.79 ±0.32 MPa

Sleeve friction: 10.29 ±7.41 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 4.86E-09 ±2.64E-07 m/s

N60: 4.21 ±0.99 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.60 ±0.86 kN/m³

Constrained Mod.: 3.80 ±4.86 MPa

Go: 26.39 ±6.18 MPa

Su: 43.16 ±15.49 kPa

Su ratio: 0.44 ±0.16

O.C.R.: 2.01 ±0.73

::: Layer No: 7 :::**Code:** 7 **Start depth:** 12.00 (m), **End depth:** 12.90 (m)**Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 3.97 ±1.93 MPa

Sleeve friction: 28.18 ±15.53 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 1.49E-06 ±9.58E-06 m/s

N60: 12.39 ±3.62 blows

Es: 47.30 ±6.89 MPa

Dr (%): 35.35 ±5.49

φ (degrees): 35.62 ±1.54 °

Unit weight: 17.36 ±0.58 kN/m³

Constrained Mod.: 44.41 ±18.29 MPa

Go: 56.74 ±10.23 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 8 :::**Code:** 8 **Start depth:** 12.90 (m), **End depth:** 18.25 (m)**Description:** Argilla con uno strato di argilla limosa e limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 1.51 ±0.86 MPa

Sleeve friction: 36.17 ±26.36 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 6.02E-09 ±1.70E-07 m/s

N60: 7.88 ±2.98 blows

Es: 63.11 ±5.89 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.28 ±0.96 kN/m³

Constrained Mod.: 11.04 ±14.49 MPa

Go: 51.13 ±17.42 MPa

Su: 83.99 ±44.34 kPa

Su ratio: 0.64 ±0.30

O.C.R.: 2.94 ±1.39

::: Layer No: 9 :::**Code:** 9 **Start depth:** 18.25 (m), **End depth:** 20.00 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 14.88 ±3.75 MPa

Sleeve friction: 72.31 ±11.80 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 6.14E-05 ±8.64E-05 m/s

N60: 32.98 ±5.56 blows

Es: 90.46 ±7.14 MPa

Dr (%): 57.25 ±7.11

φ (degrees): 40.24 ±1.28 °

Unit weight: 18.95 ±0.26 kN/m³

Constrained Mod.: 110.27 ±14.97 MPa

Go: 112.47 ±10.24 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

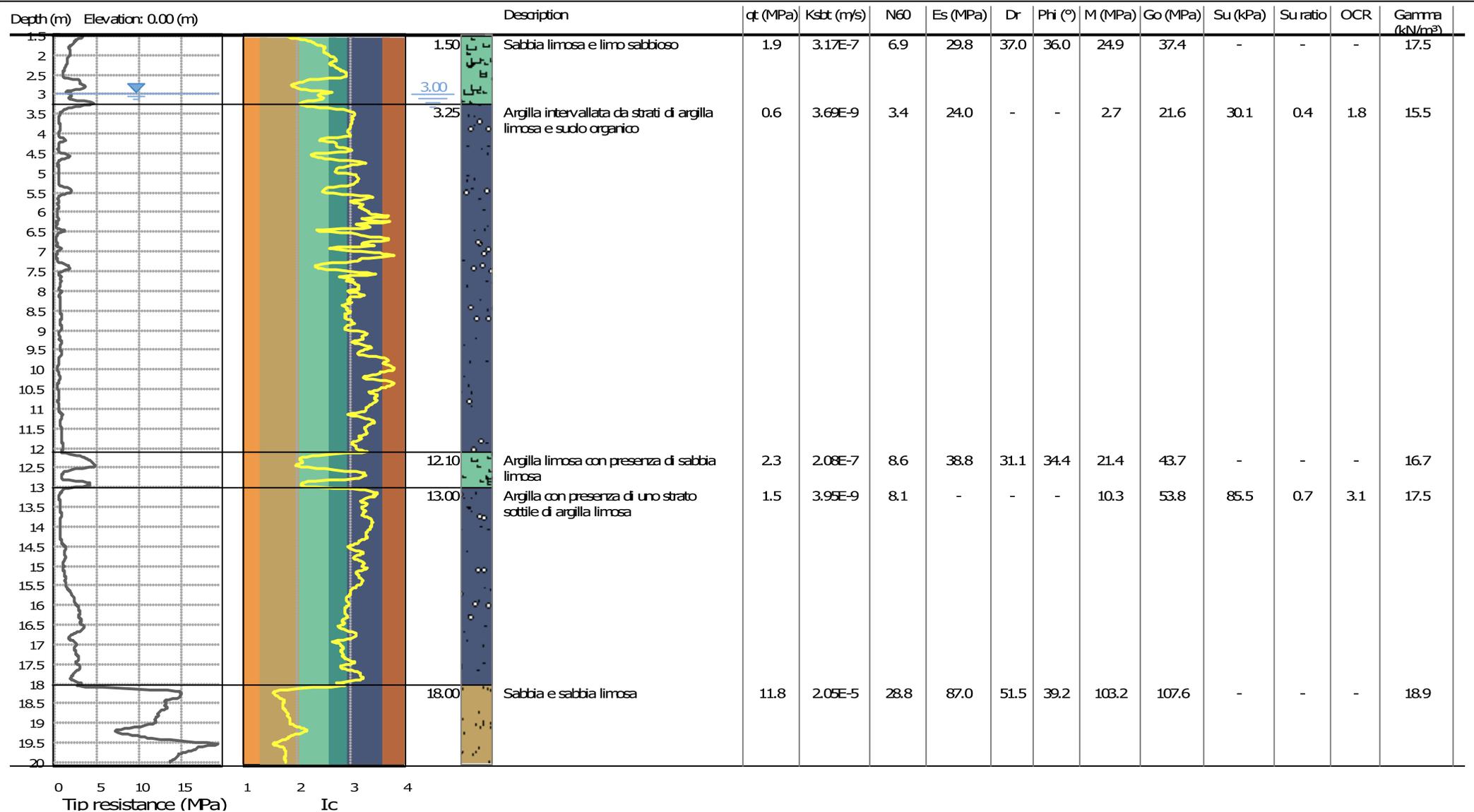
Project: PUA area ex-Alc.Este
Location: Ferrara

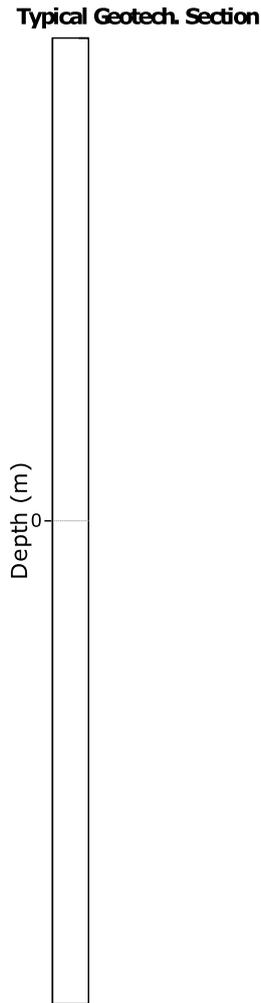
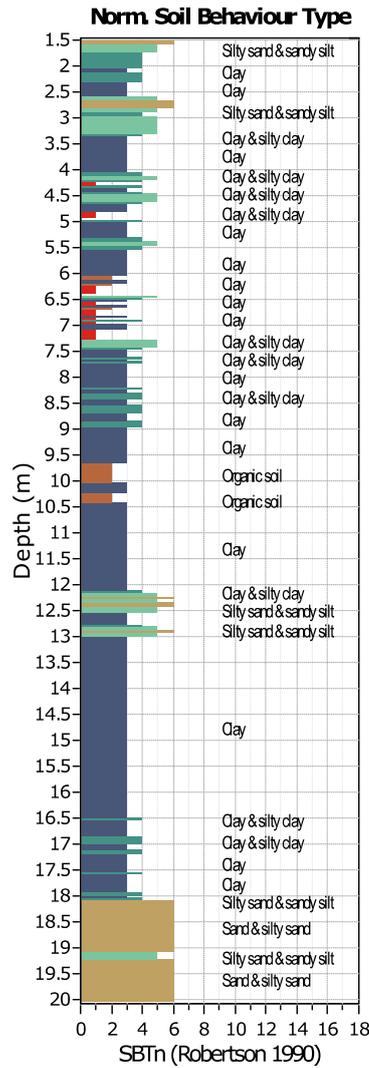
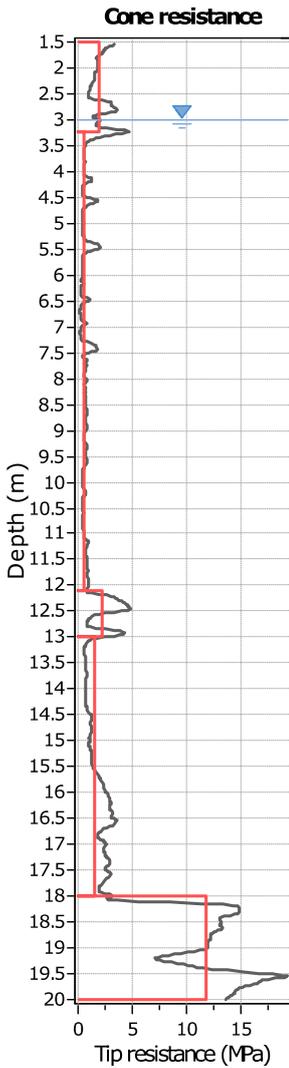
Summary table of mean values

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/m ³)
1.50	1.10	1.23E-07	4.0	17.1	0.0	0.0	13.7	23.3	69.7	1.7	8.0	16.4
2.60		(±2.32E-07)	(±0.8)	(±3.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.2)	(±4.9)	(±11.3)	(±0.2)	(±0.9)	(±0.7)
2.60	3.20	9.44E-09	3.1	0.0	0.0	0.0	4.6	21.2	39.0	0.6	2.9	15.6
5.80		(±3.62E-08)	(±1.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.3)	(±7.7)	(±18.3)	(±0.4)	(±2.0)	(±1.3)
5.80	1.30	4.91E-10	2.1	0.0	0.0	0.0	0.5	14.0	11.8	0.2	0.7	14.6
7.10		(±3.85E-09)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)	(±4.6)	(±5.9)	(±0.1)	(±0.4)	(±0.8)
7.10	1.70	8.99E-09	3.7	24.6	0.0	0.0	3.9	22.8	38.9	0.5	2.1	15.4
8.80		(±7.61E-08)	(±1.6)	(±4.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±8.0)	(±9.5)	(±30.9)	(±0.4)	(±1.7)	(±1.2)
8.80	0.30	1.60E-06	9.3	39.7	40.1	36.8	24.8	42.2	0.0	0.0	0.0	16.6
9.10		(±4.58E-05)	(±5.6)	(±5.8)	(±8.1)	(±2.0)	(±24.9)	(±11.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)
9.10	2.90	4.86E-09	4.2	0.0	0.0	0.0	3.8	26.4	43.2	0.4	2.0	15.6
12.00		(±2.64E-07)	(±1.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.9)	(±6.2)	(±15.5)	(±0.2)	(±0.7)	(±0.9)
12.00	0.90	1.49E-06	12.4	47.3	35.4	35.6	44.4	56.7	0.0	0.0	0.0	17.4
12.90		(±9.58E-06)	(±3.6)	(±6.9)	(±5.5)	(±1.5)	(±18.3)	(±10.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.6)
12.90	5.35	6.02E-09	7.9	63.1	0.0	0.0	11.0	51.1	84.0	0.6	2.9	17.3
18.25		(±1.70E-07)	(±3.0)	(±5.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±14.5)	(±17.4)	(±44.3)	(±0.3)	(±1.4)	(±1.0)
18.25	1.75	6.14E-05	33.0	90.5	57.3	40.2	110.3	112.5	0.0	0.0	0.0	18.9
20.00		(±8.64E-05)	(±5.6)	(±7.1)	(±7.1)	(±1.3)	(±15.0)	(±10.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.3)

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

Project: PUA area ex-Alc.Este
Location: Ferrara





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 1.50 (m), End depth: 3.25 (m)	
Description: Sabbia limosa e limo sabbioso		
Basic results		
Total cone resistance:	1.91 ±0.88 MPa	
Sleeve friction:	40.50 ±20.70 kPa	
SBT _n :	5	
SBTn description:	Silty sand & sandy silt	
Estimation results		
Permeability:	3.17E-07 ±4.83E-06 m/s	Constrained Mod.: 24.93 ±9.61 MPa
N60:	6.86 ±1.76 blows	Go: 37.35 ±4.99 MPa
Es:	29.78 ±5.13 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
Dr (%):	36.96 ±5.22	Su ratio: 0.00 ±0.00
φ (degrees):	36.05 ±1.39 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
Unit weight:	17.50 ±0.53 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 3.25 (m), **End depth:** 12.10 (m)**Description:** Argilla intervallata da strati di argilla limosa e suolo organico**Basic results**

Total cone resistance: 0.60 ±0.46 MPa

Sleeve friction: 9.15 ±12.11 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 3.69E-09 ±3.89E-07 m/s

N60: 3.36 ±1.40 blows

Es: 24.01 ±7.95 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.53 ±1.04 kN/m³

Constrained Mod.: 2.72 ±7.09 MPa

Go: 21.64 ±8.41 MPa

Su: 30.05 ±17.29 kPa

Su ratio: 0.39 ±0.26

O.C.R.: 1.79 ±1.19

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 12.10 (m), **End depth:** 13.00 (m)**Description:** Argilla limosa con presenza di sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 2.28 ±1.54 MPa

Sleeve friction: 19.57 ±9.94 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 2.08E-07 ±3.09E-06 m/s

N60: 8.65 ±3.05 blows

Es: 38.77 ±3.91 MPa

Dr (%): 31.05 ±3.35

φ (degrees): 34.39 ±1.07 °

Unit weight: 16.74 ±0.46 kN/m³

Constrained Mod.: 21.44 ±22.44 MPa

Go: 43.73 ±7.81 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 4 :::**Code:** 4 **Start depth:** 13.00 (m), **End depth:** 18.00 (m)**Description:** Argilla con presenza di uno strato sottile di argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.49 ±0.93 MPa

Sleeve friction: 45.23 ±55.20 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 3.95E-09 ±4.10E-08 m/s

N60: 8.11 ±4.06 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.53 ±1.30 kN/m³

Constrained Mod.: 10.34 ±16.37 MPa

Go: 53.76 ±27.49 MPa

Su: 85.53 ±65.86 kPa

Su ratio: 0.67 ±0.45

O.C.R.: 3.11 ±2.09

::: Layer No: 5 :::**Code:** 5 **Start depth:** 18.00 (m), **End depth:** 20.00 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 11.76 ±3.58 MPa

Sleeve friction: 74.57 ±18.33 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 2.05E-05 ±4.69E-05 m/s

N60: 28.83 ±5.80 blows

Es: 86.97 ±9.42 MPa

Dr (%): 51.52 ±6.53

φ (degrees): 39.23 ±1.28 °

Unit weight: 18.89 ±0.31 kN/m³

Constrained Mod.: 103.24 ±19.78 MPa

Go: 107.65 ±12.73 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

Project: PUA area ex-Alc.Este

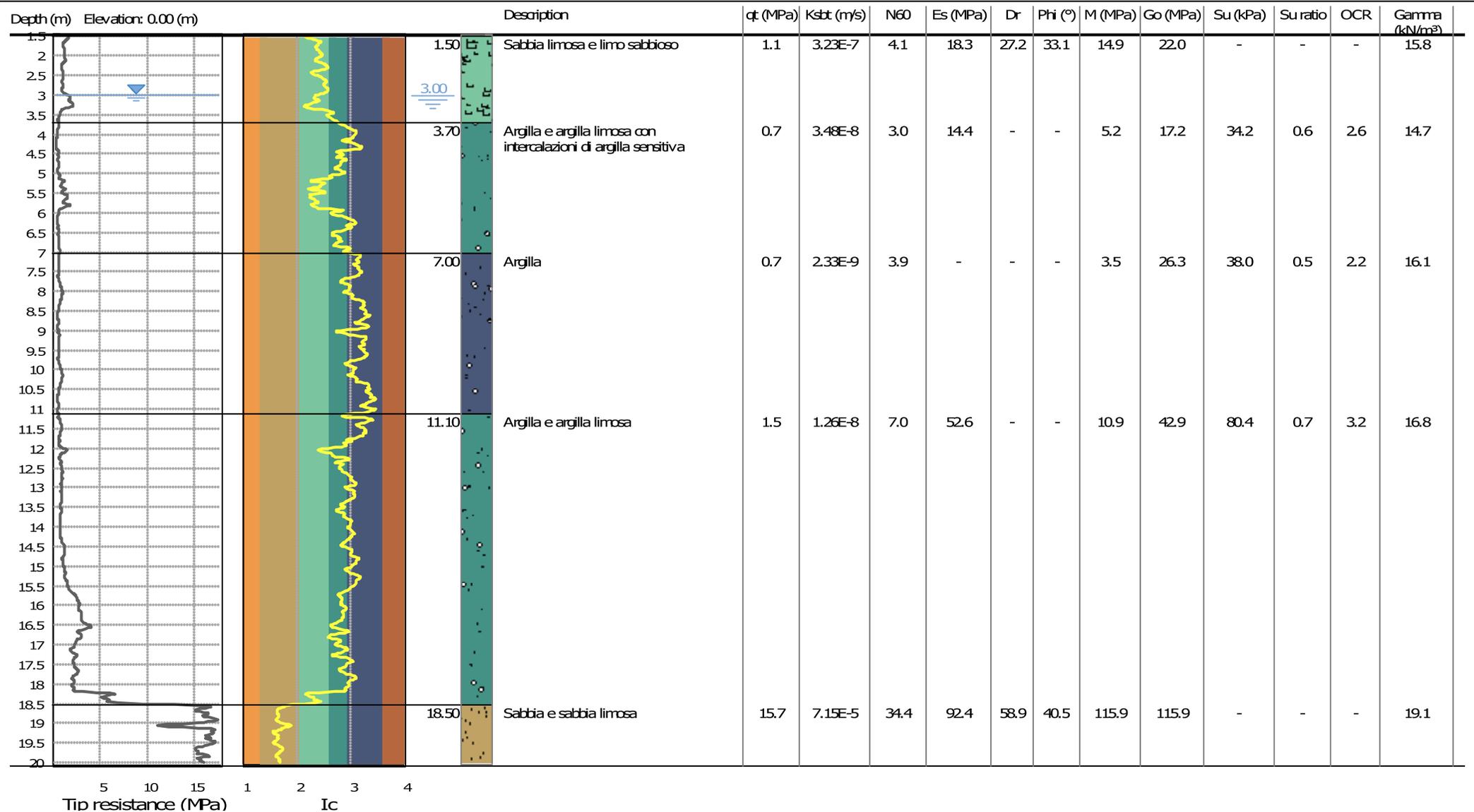
Location: Ferrara

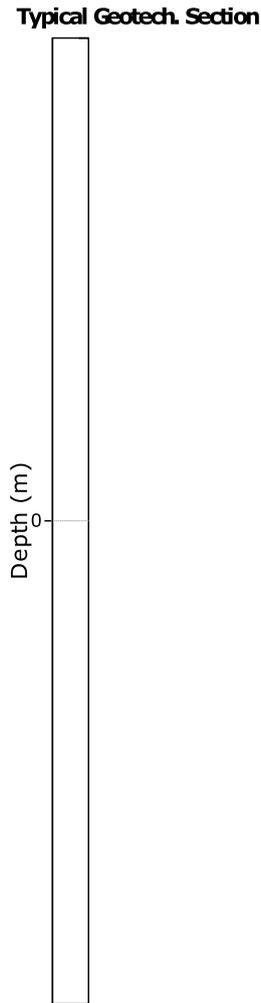
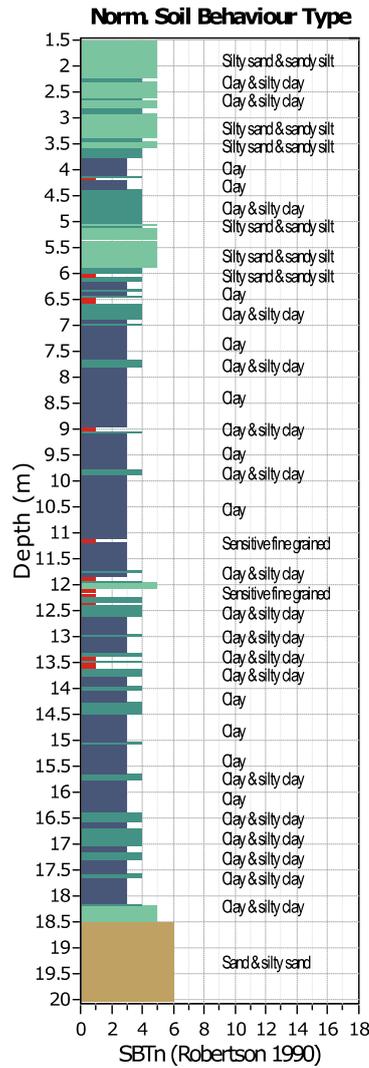
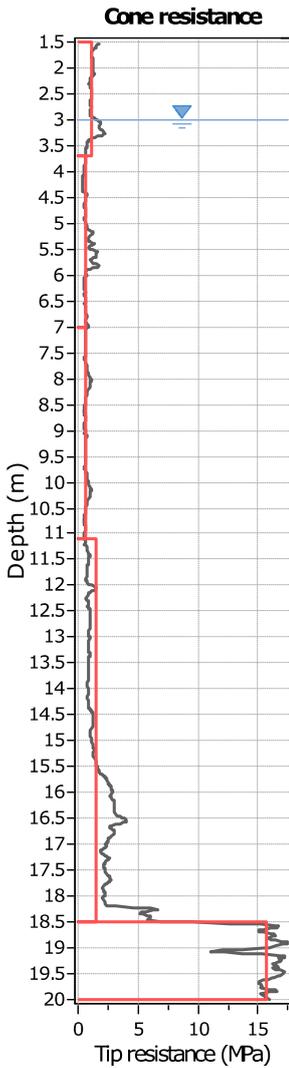
Summary table of mean values

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/m ³)
1.50	1.75	3.17E-07	6.9	29.8	37.0	36.0	24.9	37.4	0.0	0.0	0.0	17.5
3.25		(±4.83E-06)	(±1.8)	(±5.1)	(±5.2)	(±1.4)	(±9.6)	(±5.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
3.25	8.85	3.69E-09	3.4	24.0	0.0	0.0	2.7	21.6	30.1	0.4	1.8	15.5
12.10		(±3.89E-07)	(±1.4)	(±7.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±7.1)	(±8.4)	(±17.3)	(±0.3)	(±1.2)	(±1.0)
12.10	0.90	2.08E-07	8.6	38.8	31.1	34.4	21.4	43.7	0.0	0.0	0.0	16.7
13.00		(±3.09E-06)	(±3.1)	(±3.9)	(±3.4)	(±1.1)	(±22.4)	(±7.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
13.00	5.00	3.95E-09	8.1	0.0	0.0	0.0	10.3	53.8	85.5	0.7	3.1	17.5
18.00		(±4.10E-08)	(±4.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±16.4)	(±27.5)	(±65.9)	(±0.5)	(±2.1)	(±1.3)
18.00	2.00	2.05E-05	28.8	87.0	51.5	39.2	103.2	107.6	0.0	0.0	0.0	18.9
20.00		(±4.69E-05)	(±5.8)	(±9.4)	(±6.5)	(±1.3)	(±19.8)	(±12.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.3)

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

Project: PUA area ex-Alc.Este
Location: Ferrara





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 1.50 (m), End depth: 3.70 (m)	
Description: Sabbia limosa e limo sabbioso		
Basic results		
Total cone resistance: 1.15 ±0.37 MPa	Estimation results	
Sleeve friction: 10.85 ±6.31 kPa	Permeability: 3.23E-07 ±5.79E-07 m/s	Constrained Mod.: 14.91 ±5.64 MPa
SBT _n : 5	N60: 4.13 ±1.06 blows	Go: 22.01 ±4.52 MPa
SBTn description: Silty sand & sandy silt	Es: 18.29 ±3.54 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
	Dr (%): 27.17 ±3.71	Su ratio: 0.00 ±0.00
	φ (degrees): 33.11 ±1.35 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 15.80 ±0.76 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 3.70 (m), **End depth:** 7.00 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa con intercalazioni di argilla sensitiva**Basic results**

Total cone resistance: 0.67 ±0.32 MPa

Sleeve friction: 4.05 ±4.20 kPa

SBT_n: 4SBT_n description: Clay & silty clay**Estimation results**

Permeability: 3.48E-08 ±3.60E-07 m/s

N60: 2.97 ±0.82 blows

Es: 14.41 ±0.35 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 14.65 ±0.65 kN/m³

Constrained Mod.: 5.19 ±5.61 MPa

Go: 17.20 ±3.07 MPa

Su: 34.17 ±7.20 kPa

Su ratio: 0.56 ±0.11

O.C.R.: 2.59 ±0.50

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 7.00 (m), **End depth:** 11.10 (m)**Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 0.68 ±0.15 MPa

Sleeve friction: 16.29 ±9.41 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 2.33E-09 ±6.37E-09 m/s

N60: 3.92 ±0.73 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.07 ±0.69 kN/m³

Constrained Mod.: 3.51 ±2.53 MPa

Go: 26.28 ±5.39 MPa

Su: 38.02 ±10.95 kPa

Su ratio: 0.47 ±0.15

O.C.R.: 2.18 ±0.69

::: Layer No: 4 :::**Code:** 4 **Start depth:** 11.10 (m), **End depth:** 18.50 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.45 ±1.27 MPa

Sleeve friction: 22.55 ±46.89 kPa

SBT_n: 4SBT_n description: Clay & silty clay**Estimation results**

Permeability: 1.26E-08 ±2.97E-07 m/s

N60: 7.02 ±4.50 blows

Es: 52.63 ±52.63 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.78 ±1.66 kN/m³

Constrained Mod.: 10.93 ±19.95 MPa

Go: 42.89 ±26.81 MPa

Su: 80.38 ±61.01 kPa

Su ratio: 0.70 ±0.43

O.C.R.: 3.23 ±2.00

::: Layer No: 5 :::**Code:** 5 **Start depth:** 18.50 (m), **End depth:** 20.00 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 15.71 ±1.42 MPa

Sleeve friction: 80.52 ±19.29 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 7.15E-05 ±3.76E-05 m/s

N60: 34.36 ±1.92 blows

Es: 92.44 ±5.63 MPa

Dr (%): 58.89 ±3.15

φ (degrees): 40.52 ±0.55 °

Unit weight: 19.10 ±0.21 kN/m³

Constrained Mod.: 115.86 ±7.06 MPa

Go: 115.86 ±7.06 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

Project: PUA area ex-Alc.Este

Location: Ferrara

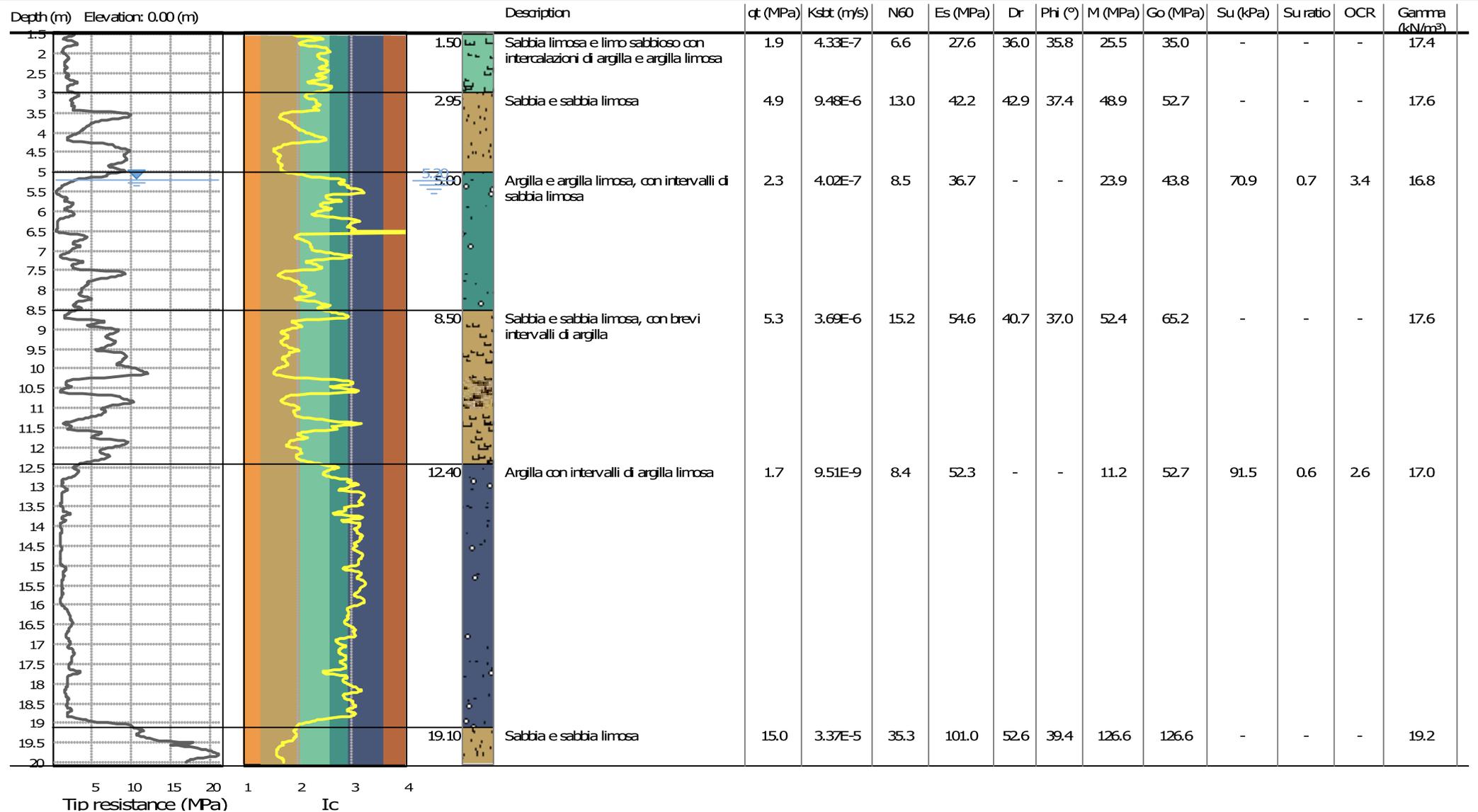
Summary table of mean values

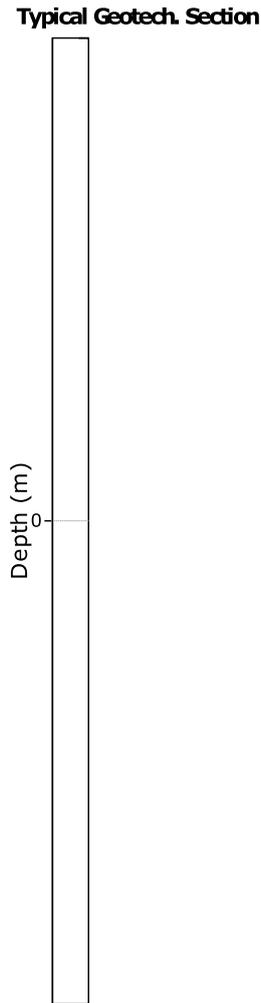
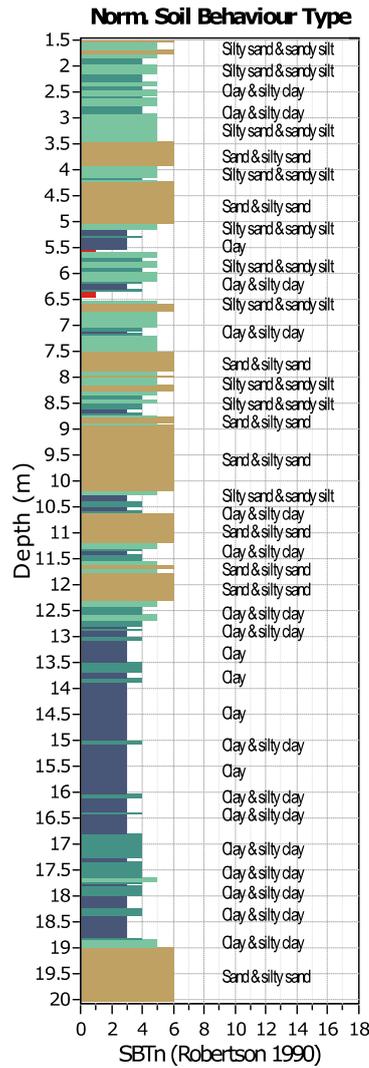
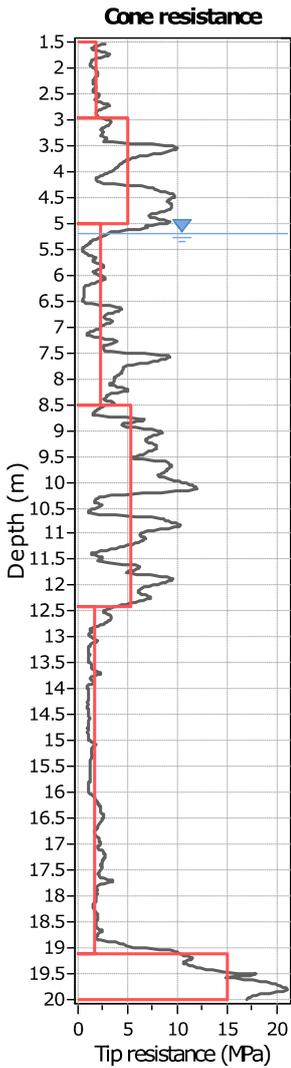
From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
1.50	2.20	3.23E-07	4.1	18.3	27.2	33.1	14.9	22.0	0.0	0.0	0.0	15.8
3.70		(±5.79E-07)	(±1.1)	(±3.5)	(±3.7)	(±1.4)	(±5.6)	(±4.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.8)
3.70	3.30	3.48E-08	3.0	14.4	0.0	0.0	5.2	17.2	34.2	0.6	2.6	14.7
7.00		(±3.60E-07)	(±0.8)	(±0.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.6)	(±3.1)	(±7.2)	(±0.1)	(±0.5)	(±0.6)
7.00	4.10	2.33E-09	3.9	0.0	0.0	0.0	3.5	26.3	38.0	0.5	2.2	16.1
11.10		(±6.37E-09)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.5)	(±5.4)	(±10.9)	(±0.1)	(±0.7)	(±0.7)
11.10	7.40	1.26E-08	7.0	52.6	0.0	0.0	10.9	42.9	80.4	0.7	3.2	16.8
18.50		(±2.97E-07)	(±4.5)	(±52.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±20.0)	(±26.8)	(±61.0)	(±0.4)	(±2.0)	(±1.7)
18.50	1.50	7.15E-05	34.4	92.4	58.9	40.5	115.9	115.9	0.0	0.0	0.0	19.1
20.00		(±3.76E-05)	(±1.9)	(±5.6)	(±3.2)	(±0.5)	(±7.1)	(±7.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.2)

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

Project: PUA area ex-Alc.Este

Location: Ferrara





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 1.50 (m), End depth: 2.95 (m)	
Description: Sabbia limosa e limo sabbioso con intercalazioni di argilla e argilla limosa		
Basic results	Estimation results	
Total cone resistance: 1.89 ±0.50 MPa	Permeability: 4.33E-07 ±2.20E-06 m/s	Constrained Mod.: 25.46 ±6.23 MPa
Sleeve friction: 36.93 ±11.09 kPa	N60: 6.61 ±1.21 blows	Go: 35.02 ±5.46 MPa
SBT _n : 5	Es: 27.63 ±4.19 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
SBTn description: Silty sand & sandy silt	Dr (%): 36.04 ±3.69	Su ratio: 0.00 ±0.00
	φ (degrees): 35.82 ±0.95 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 17.39 ±0.33 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 2.95 (m), **End depth:** 5.00 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 4.93 ±2.99 MPa

Sleeve friction: 30.97 ±11.95 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 9.48E-06 ±5.39E-05 m/s

N60: 12.98 ±5.10 blows

Es: 42.23 ±8.92 MPa

Dr (%): 42.89 ±9.89

φ (degrees): 37.43 ±2.22 °

Unit weight: 17.55 ±0.43 kN/m³

Constrained Mod.: 48.90 ±14.50 MPa

Go: 52.67 ±11.22 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 5.00 (m), **End depth:** 8.50 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa, con intervalli di sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 2.34 ±2.16 MPa

Sleeve friction: 16.72 ±35.73 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 4.02E-07 ±1.66E-05 m/s

N60: 8.48 ±4.55 blows

Es: 36.74 ±19.73 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.77 ±1.37 kN/m³

Constrained Mod.: 23.94 ±23.00 MPa

Go: 43.77 ±20.88 MPa

Su: 70.91 ±62.89 kPa

Su ratio: 0.74 ±0.68

O.C.R.: 3.43 ±3.12

::: Layer No: 4 :::**Code:** 4 **Start depth:** 8.50 (m), **End depth:** 12.40 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa, con brevi intervalli di argilla**Basic results**

Total cone resistance: 5.29 ±2.93 MPa

Sleeve friction: 30.24 ±11.91 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 3.69E-06 ±3.82E-05 m/s

N60: 15.21 ±4.77 blows

Es: 54.56 ±6.17 MPa

Dr (%): 40.69 ±6.53

φ (degrees): 36.96 ±1.58 °

Unit weight: 17.56 ±0.41 kN/m³

Constrained Mod.: 52.37 ±21.58 MPa

Go: 65.19 ±9.54 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 5 :::**Code:** 5 **Start depth:** 12.40 (m), **End depth:** 19.10 (m)**Description:** Argilla con intervalli di argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.68 ±1.23 MPa

Sleeve friction: 26.34 ±16.15 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 9.51E-09 ±9.00E-07 m/s

N60: 8.45 ±3.20 blows

Es: 52.26 ±5.19 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.96 ±0.70 kN/m³

Constrained Mod.: 11.22 ±17.39 MPa

Go: 52.74 ±14.40 MPa

Su: 91.51 ±38.56 kPa

Su ratio: 0.56 ±0.23

O.C.R.: 2.57 ±1.07

:: Layer No: 6 ::**Code:** 6 **Start depth:** 19.10 (m), **End depth:** 20.00 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 15.04 ±3.84 MPa

Sleeve friction: 86.64 ±12.56 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 3.37E-05 ±4.60E-05 m/s

N60: 35.26 ±5.70 blows

Es: 101.04 ±8.52 MPa

Dr (%): 52.64 ±7.59

φ (degrees): 39.43 ±1.39 °

Unit weight: 19.16 ±0.24 kN/m³

Constrained Mod.: 126.63 ±10.67 MPa

Go: 126.63 ±10.67 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

Project: PUA area ex-Alc.Este

Location: Ferrara

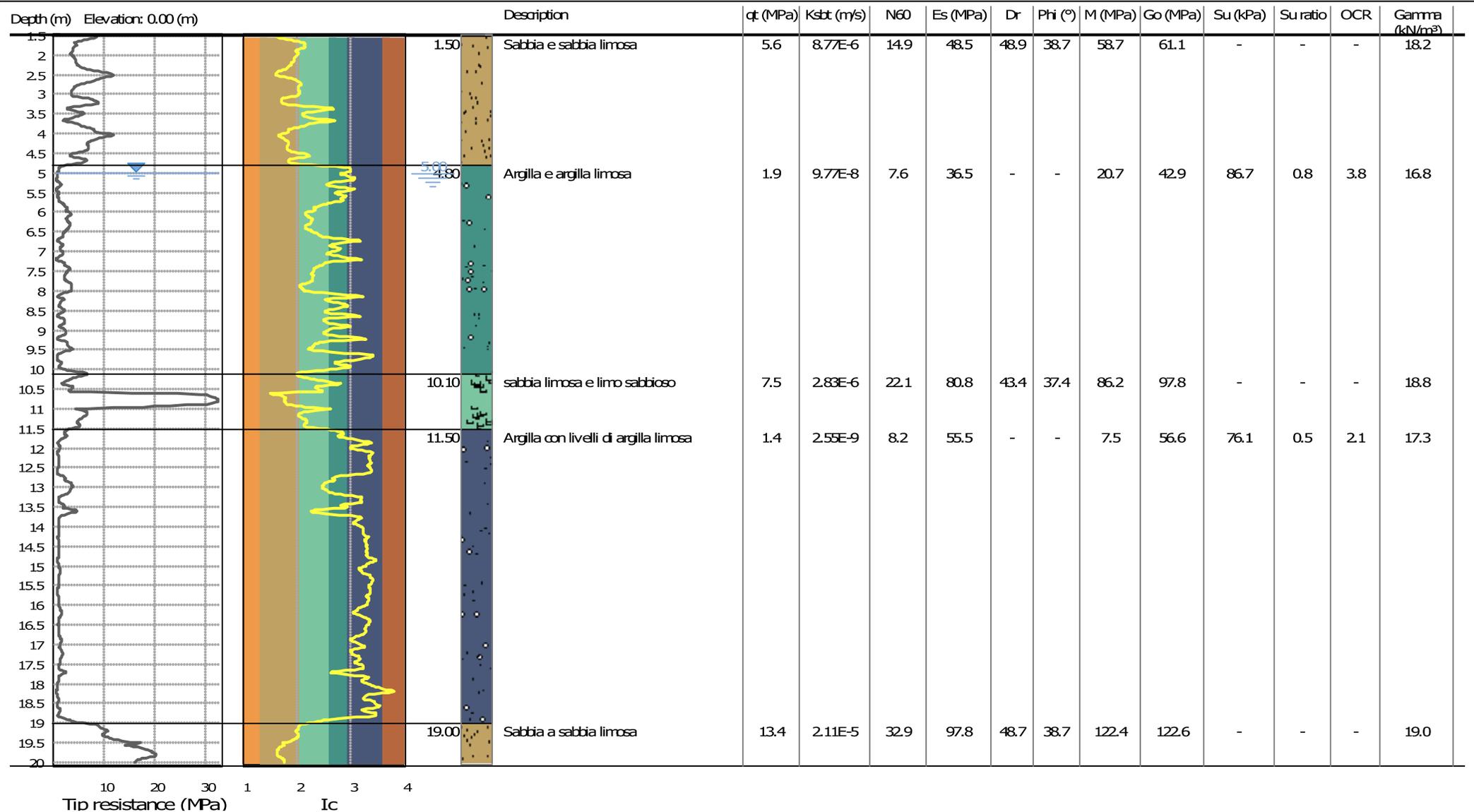
Summary table of mean values

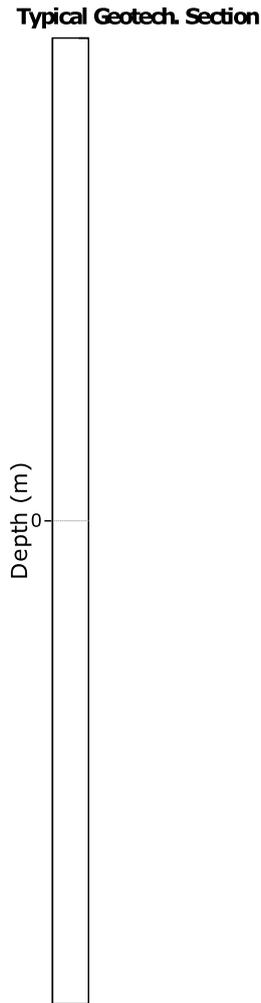
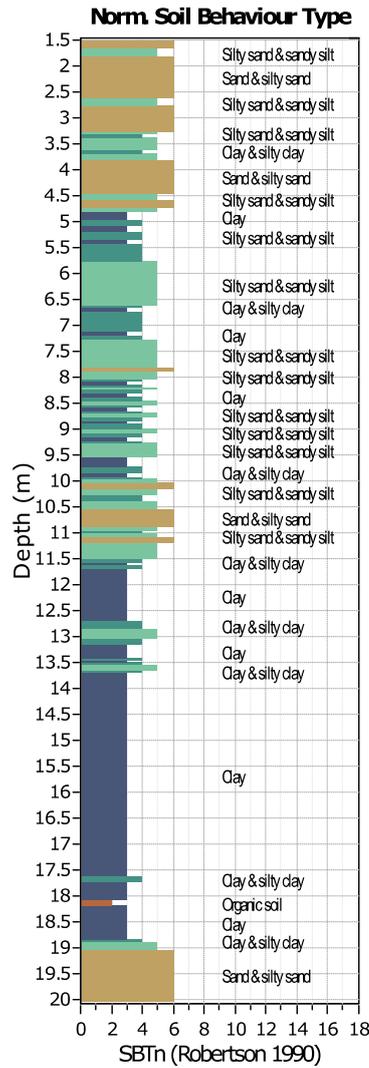
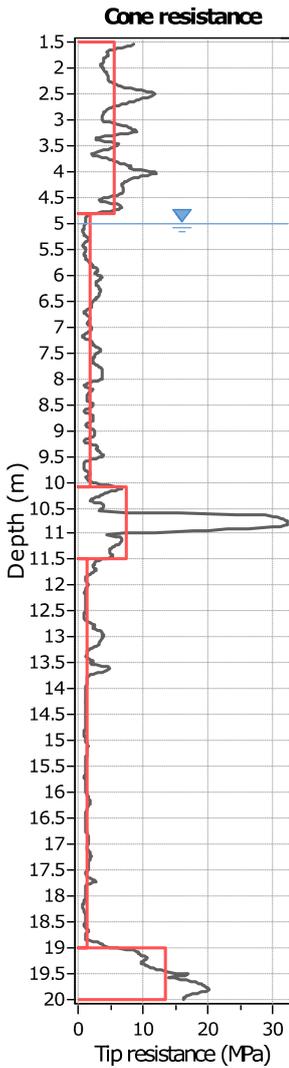
From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
1.50	1.45	4.33E-07	6.6	27.6	36.0	35.8	25.5	35.0	0.0	0.0	0.0	17.4
2.95		(±2.20E-06)	(±1.2)	(±4.2)	(±3.7)	(±0.9)	(±6.2)	(±5.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.3)
2.95	2.05	9.48E-06	13.0	42.2	42.9	37.4	48.9	52.7	0.0	0.0	0.0	17.6
5.00		(±5.39E-05)	(±5.1)	(±8.9)	(±9.9)	(±2.2)	(±14.5)	(±11.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)
5.00	3.50	4.02E-07	8.5	36.7	0.0	0.0	23.9	43.8	70.9	0.7	3.4	16.8
8.50		(±1.66E-05)	(±4.6)	(±19.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±23.0)	(±20.9)	(±62.9)	(±0.7)	(±3.1)	(±1.4)
8.50	3.90	3.69E-06	15.2	54.6	40.7	37.0	52.4	65.2	0.0	0.0	0.0	17.6
12.40		(±3.82E-05)	(±4.8)	(±6.2)	(±6.5)	(±1.6)	(±21.6)	(±9.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)
12.40	6.70	9.51E-09	8.4	52.3	0.0	0.0	11.2	52.7	91.5	0.6	2.6	17.0
19.10		(±9.00E-07)	(±3.2)	(±5.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±17.4)	(±14.4)	(±38.6)	(±0.2)	(±1.1)	(±0.7)
19.10	0.90	3.37E-05	35.3	101.0	52.6	39.4	126.6	126.6	0.0	0.0	0.0	19.2
20.00		(±4.60E-05)	(±5.7)	(±8.5)	(±7.6)	(±1.4)	(±10.7)	(±10.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.2)

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

Project: PUA area ex-Alc.Este

Location: Ferrara





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 1.50 (m), End depth: 4.80 (m)	
Description: Sabbia e sabbia limosa		
Basic results		
Total cone resistance:	5.62 ±2.35 MPa	
Sleeve friction:	51.93 ±33.99 kPa	
SBT _n :	6	
SBT _n description:	Sand & silty sand	
Estimation results		
Permeability:	8.77E-06 ±2.74E-05 m/s	Constrained Mod.: 58.71 ±14.72 MPa
N60:	14.93 ±4.35 blows	Go: 61.13 ±13.83 MPa
Es:	48.50 ±11.16 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
Dr (%):	48.88 ±8.53	Su ratio: 0.00 ±0.00
φ (degrees):	38.71 ±1.64 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
Unit weight:	18.20 ±0.64 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 4.80 (m), **End depth:** 10.10 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.87 ±0.98 MPa

Sleeve friction: 21.37 ±9.30 kPa

SBT_n: 4

SBTn description: Clay & silty clay

Estimation results

Permeability: 9.77E-08 ±1.12E-06 m/s

N60: 7.58 ±2.23 blows

Es: 36.55 ±4.73 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.76 ±0.46 kN/m³

Constrained Mod.: 20.74 ±15.17 MPa

Go: 42.95 ±7.30 MPa

Su: 86.75 ±32.35 kPa

Su ratio: 0.81 ±0.29

O.C.R.: 3.76 ±1.33

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 10.10 (m), **End depth:** 11.50 (m)**Description:** sabbia limosa e limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 7.50 ±11.42 MPa

Sleeve friction: 76.62 ±221.81 kPa

SBT_n: 5

SBTn description: Silty sand & sandy silt

Estimation results

Permeability: 2.83E-06 ±3.88E-05 m/s

N60: 22.14 ±24.70 blows

Es: 80.77 ±69.86 MPa

Dr (%): 43.42 ±23.50

φ (degrees): 37.40 ±4.15 °

Unit weight: 18.77 ±1.63 kN/m³

Constrained Mod.: 86.21 ±89.70 MPa

Go: 97.78 ±84.99 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 4 :::**Code:** 4 **Start depth:** 11.50 (m), **End depth:** 19.00 (m)**Description:** Argilla con livelli di argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.44 ±0.81 MPa

Sleeve friction: 38.71 ±13.38 kPa

SBT_n: 3

SBTn description: Clay

Estimation results

Permeability: 2.55E-09 ±1.49E-07 m/s

N60: 8.25 ±2.07 blows

Es: 55.54 ±3.66 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.34 ±0.44 kN/m³

Constrained Mod.: 7.51 ±14.31 MPa

Go: 56.56 ±8.45 MPa

Su: 76.11 ±37.25 kPa

Su ratio: 0.46 ±0.27

O.C.R.: 2.11 ±1.23

::: Layer No: 5 :::**Code:** 5 **Start depth:** 19.00 (m), **End depth:** 20.00 (m)**Description:** Sabbia a sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 13.43 ±4.21 MPa

Sleeve friction: 80.59 ±14.85 kPa

SBT_n: 6

SBTn description: Sand & silty sand

Estimation results

Permeability: 2.11E-05 ±3.95E-05 m/s

N60: 32.92 ±6.61 blows

Es: 97.82 ±10.62 MPa

Dr (%): 48.72 ±8.65

φ (degrees): 38.68 ±1.72 °

Unit weight: 19.03 ±0.32 kN/m³

Constrained Mod.: 122.43 ±13.69 MPa

Go: 122.61 ±13.31 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

Project: PUA area ex-Alc.Este

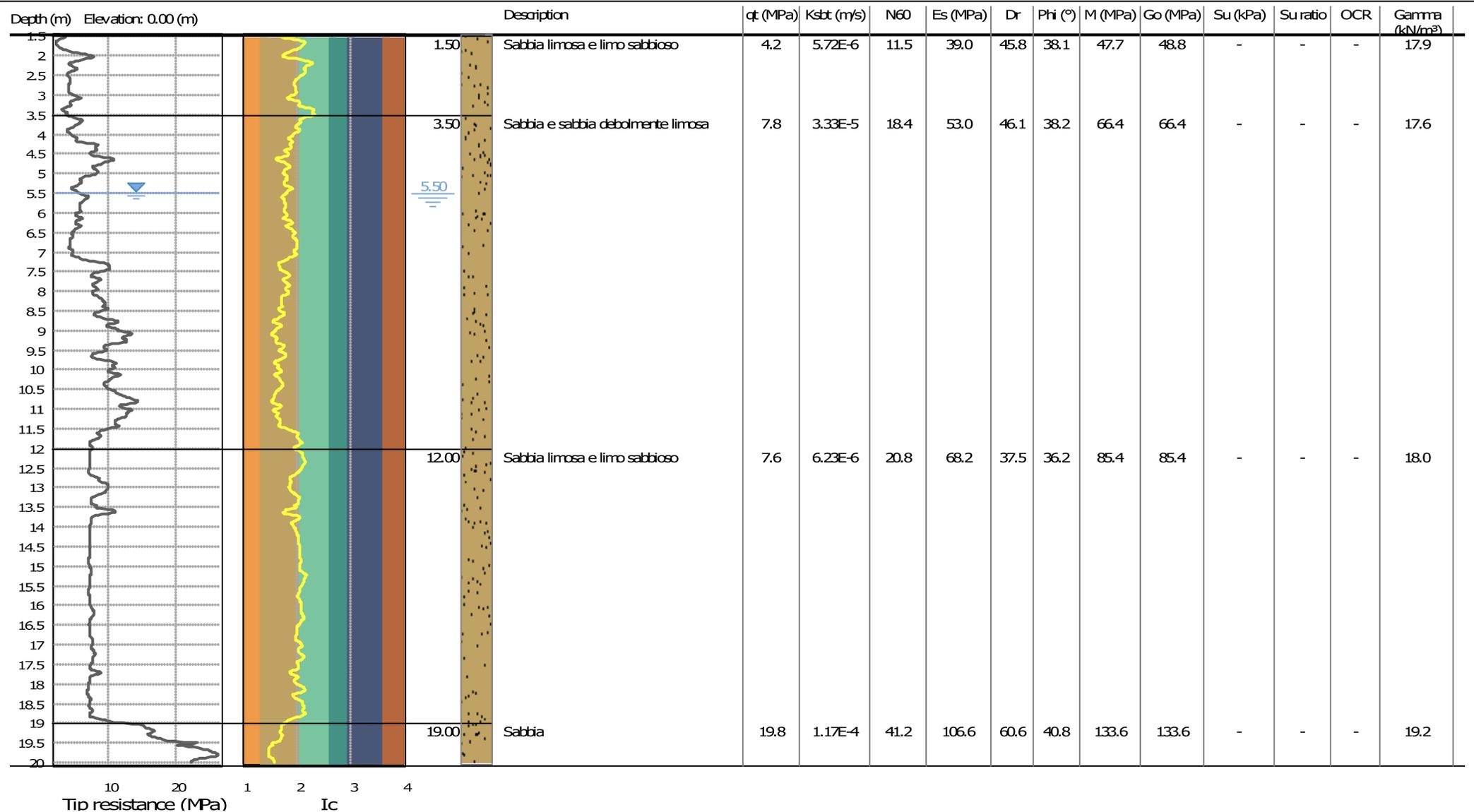
Location: Ferrara

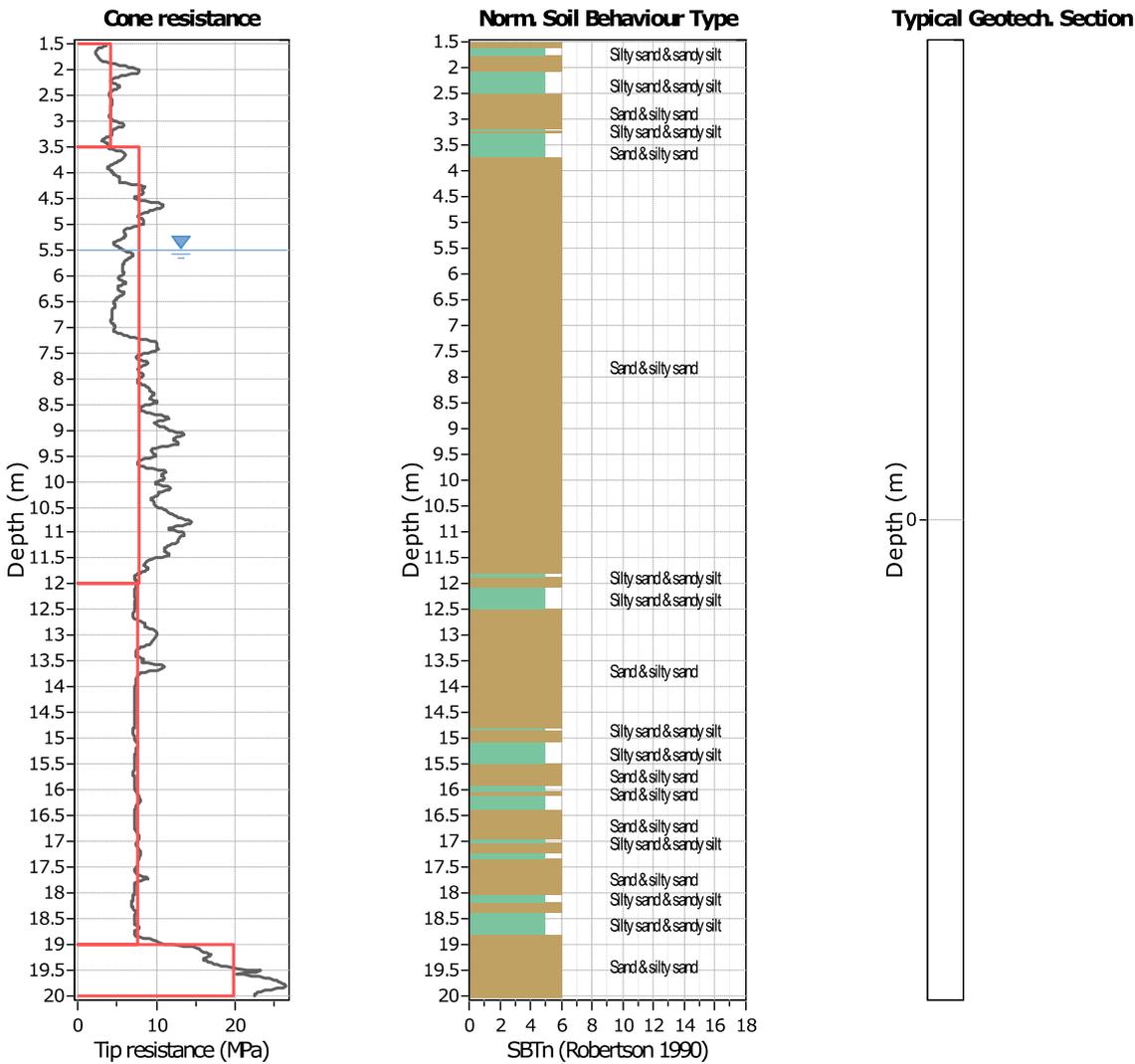
Summary table of mean values

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/m ³)
1.50 4.80	3.30	8.77E-06 (±2.74E-05)	14.9 (±4.3)	48.5 (±11.2)	48.9 (±8.5)	38.7 (±1.6)	58.7 (±14.7)	61.1 (±13.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.2 (±0.6)
4.80 10.10	5.30	9.77E-08 (±1.12E-06)	7.6 (±2.2)	36.5 (±4.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	20.7 (±15.2)	42.9 (±7.3)	86.7 (±32.3)	0.8 (±0.3)	3.8 (±1.3)	16.8 (±0.5)
10.10 11.50	1.40	2.83E-06 (±3.88E-05)	22.1 (±24.7)	80.8 (±69.9)	43.4 (±23.5)	37.4 (±4.2)	86.2 (±89.7)	97.8 (±85.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.8 (±1.6)
11.50 19.00	7.50	2.55E-09 (±1.49E-07)	8.2 (±2.1)	55.5 (±3.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	7.5 (±14.3)	56.6 (±8.5)	76.1 (±37.2)	0.5 (±0.3)	2.1 (±1.2)	17.3 (±0.4)
19.00 20.00	1.00	2.11E-05 (±3.95E-05)	32.9 (±6.6)	97.8 (±10.6)	48.7 (±8.6)	38.7 (±1.7)	122.4 (±13.7)	122.6 (±13.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.3)

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

Project: PUA area ex-Alc.Este
Location: Ferrara





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 1.50 (m), End depth: 3.50 (m)	
Description: Sabbia limosa e limo sabbioso		
Basic results		
Total cone resistance:	4.15 ±1.21 MPa	
Sleeve friction:	42.87 ±36.18 kPa	
SBT _n :	6	
SBTn description:	Sand & silty sand	
Estimation results		
Permeability:	5.72E-06 ±1.26E-05 m/s	Constrained Mod.: 47.73 ±11.98 MPa
N60:	11.53 ±2.82 blows	Go: 48.82 ±12.83 MPa
Es:	38.95 ±10.24 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
Dr (%):	45.79 ±6.39	Su ratio: 0.00 ±0.00
φ (degrees):	38.10 ±1.25 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
Unit weight:	17.86 ±0.76 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 3.50 (m), **End depth:** 12.00 (m)**Description:** Sabbia e sabbia debolmente limosa**Basic results**

Total cone resistance: 7.82 ±2.68 MPa

Sleeve friction: 27.46 ±17.10 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 3.33E-05 ±4.66E-05 m/s

N60: 18.36 ±4.88 blows

Es: 53.01 ±11.45 MPa

Dr (%): 46.07 ±6.41

φ (degrees): 38.16 ±1.35 °

Unit weight: 17.59 ±0.70 kN/m³

Constrained Mod.: 66.36 ±14.40 MPa

Go: 66.44 ±14.35 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 12.00 (m), **End depth:** 19.00 (m)**Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 7.58 ±0.82 MPa

Sleeve friction: 40.47 ±12.66 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 6.23E-06 ±6.38E-06 m/s

N60: 20.80 ±1.51 blows

Es: 68.17 ±5.37 MPa

Dr (%): 37.54 ±2.90

φ (degrees): 36.22 ±0.70 °

Unit weight: 18.02 ±0.36 kN/m³

Constrained Mod.: 85.44 ±6.73 MPa

Go: 85.44 ±6.73 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 4 :::**Code:** 4 **Start depth:** 19.00 (m), **End depth:** 20.00 (m)**Description:** Sabbia**Basic results**

Total cone resistance: 19.77 ±4.18 MPa

Sleeve friction: 83.24 ±14.85 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 1.17E-04 ±1.11E-04 m/s

N60: 41.24 ±5.89 blows

Es: 106.62 ±9.49 MPa

Dr (%): 60.61 ±7.15

φ (degrees): 40.79 ±1.13 °

Unit weight: 19.22 ±0.28 kN/m³

Constrained Mod.: 133.63 ±11.89 MPa

Go: 133.63 ±11.89 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

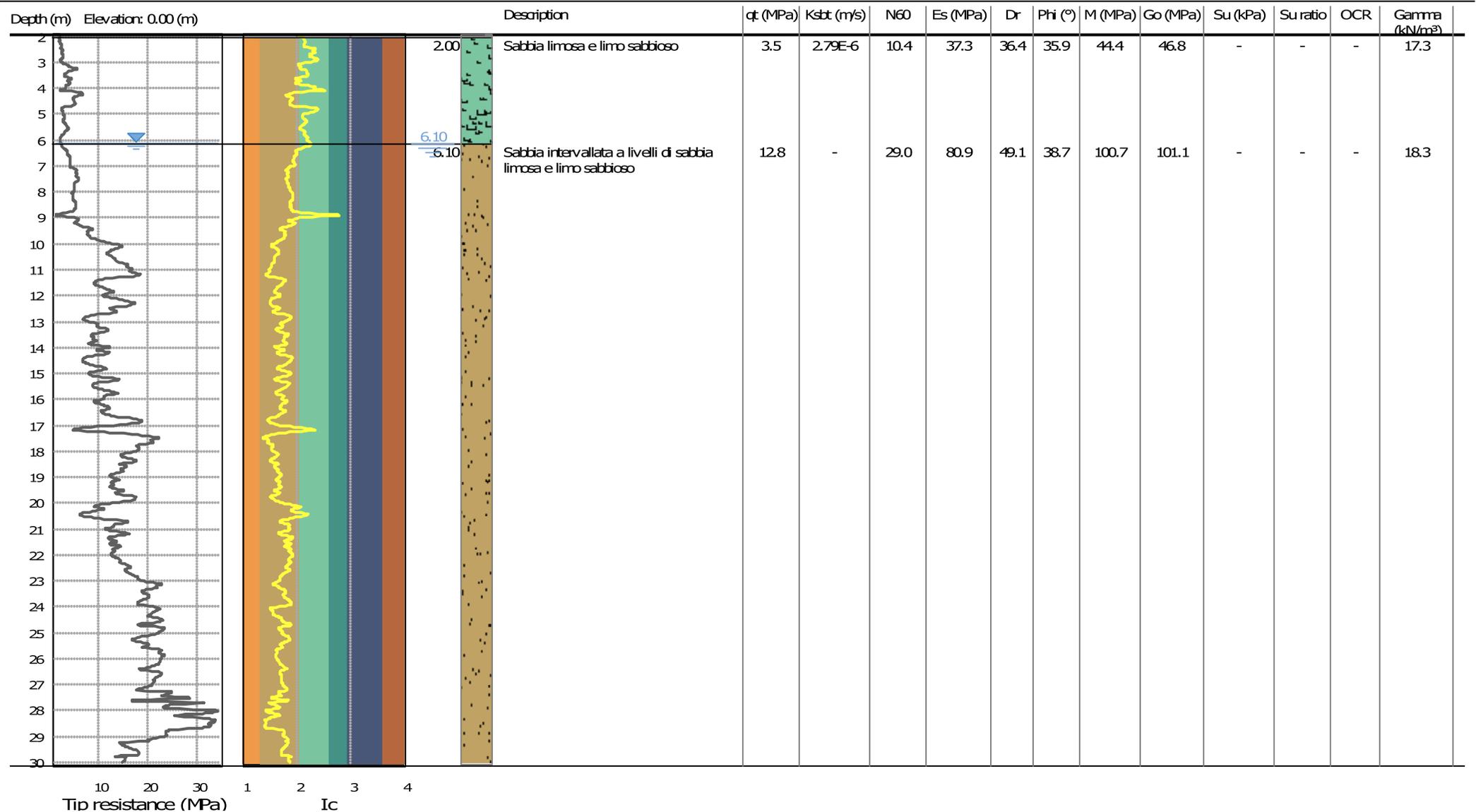
Project: PUA area ex-Alc.Este
Location: Ferrara

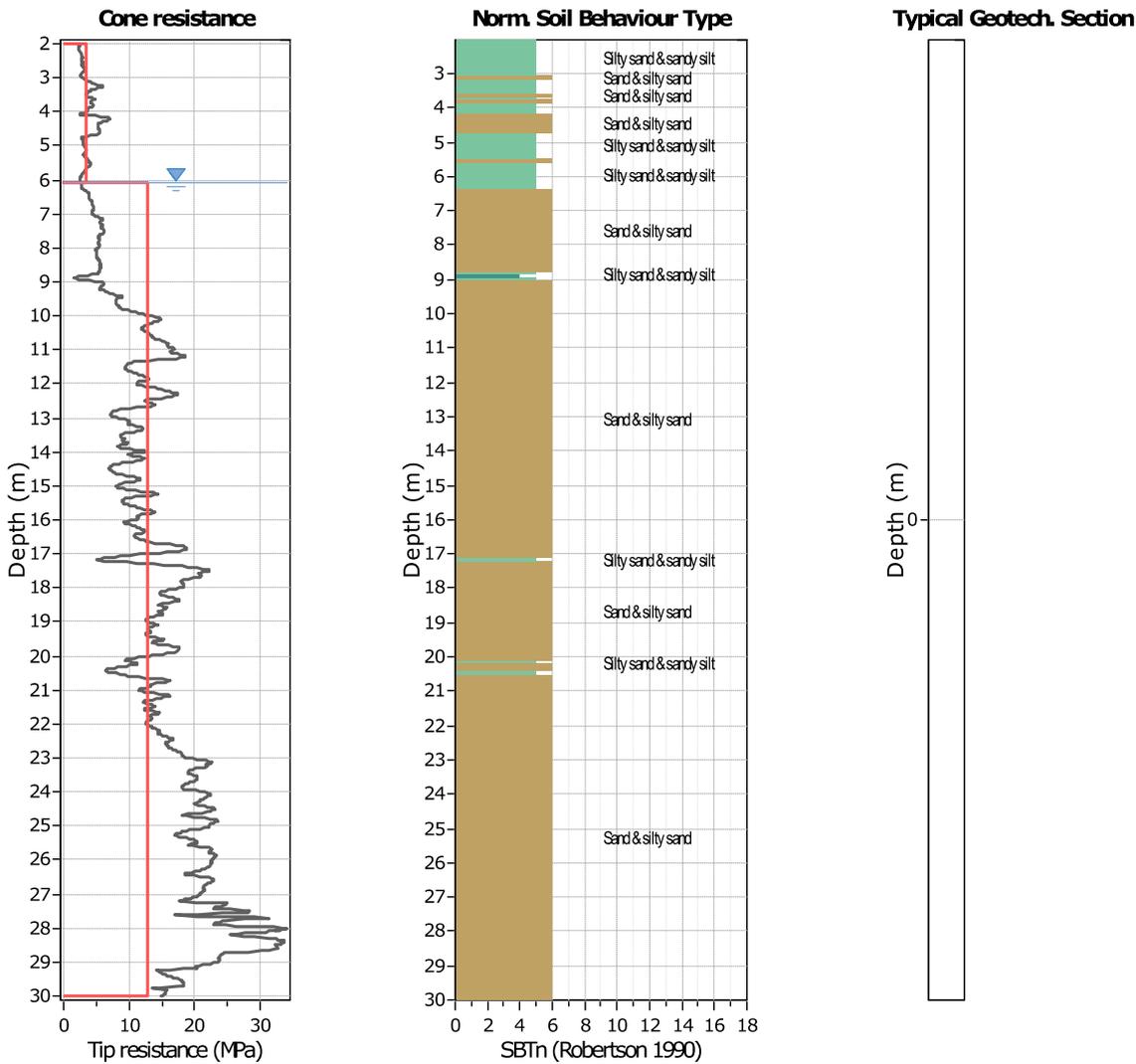
Summary table of mean values

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/m ³)
1.50	2.00	5.72E-06	11.5	39.0	45.8	38.1	47.7	48.8	0.0	0.0	0.0	17.9
3.50		(±1.26E-05)	(±2.8)	(±10.2)	(±6.4)	(±1.2)	(±12.0)	(±12.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.8)
3.50	8.50	3.33E-05	18.4	53.0	46.1	38.2	66.4	66.4	0.0	0.0	0.0	17.6
12.00		(±4.66E-05)	(±4.9)	(±11.5)	(±6.4)	(±1.3)	(±14.4)	(±14.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.7)
12.00	7.00	6.23E-06	20.8	68.2	37.5	36.2	85.4	85.4	0.0	0.0	0.0	18.0
19.00		(±6.38E-06)	(±1.5)	(±5.4)	(±2.9)	(±0.7)	(±6.7)	(±6.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)
19.00	1.00	1.17E-04	41.2	106.6	60.6	40.8	133.6	133.6	0.0	0.0	0.0	19.2
20.00		(±1.11E-04)	(±5.9)	(±9.5)	(±7.1)	(±1.1)	(±11.9)	(±11.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.3)

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

Project: PUA area ex-Alc.Este
Location: Ferrara





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 2.00 (m), End depth: 6.10 (m)	
Description: Sabbia limosa e limo sabbioso		
Basic results		
Total cone resistance: 3.53 ±1.11 MPa	Estimation results	
Sleeve friction: 27.52 ±20.45 kPa	Permeability: 2.79E-06 ±6.37E-06 m/s	Constrained Mod.: 44.42 ±9.27 MPa
SBT _n : 5	N60: 10.40 ±2.43 blows	Go: 46.76 ±9.06 MPa
SBT _n description: Silty sand & sandy silt	Es: 37.28 ±7.24 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
	Dr (%): 36.39 ±5.60	Su ratio: 0.00 ±0.00
	φ (degrees): 35.90 ±1.48 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 17.29 ±0.74 kN/m ³	

:: Layer No: 2 ::**Code:** 2 **Start depth:** 6.10 (m), **End depth:** 30.00 (m)**Description:** Sabbia intervallata a livelli di sabbia limosa e limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 12.77 ±6.69 MPa

Sleeve friction: 44.03 ±42.11 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 0.00E+00 ±1.25E-04 m/s

N60: 29.02 ±13.18 blows

Es: 80.89 ±33.46 MPa

Dr (%): 49.10 ±9.36

φ (degrees): 38.74 ±1.88 °

Unit weight: 18.32 ±1.07 kN/m³

Constrained Mod.: 100.68 ±42.35 MPa

Go: 101.12 ±42.04 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00



Project: PUA area ex-Alc.Este

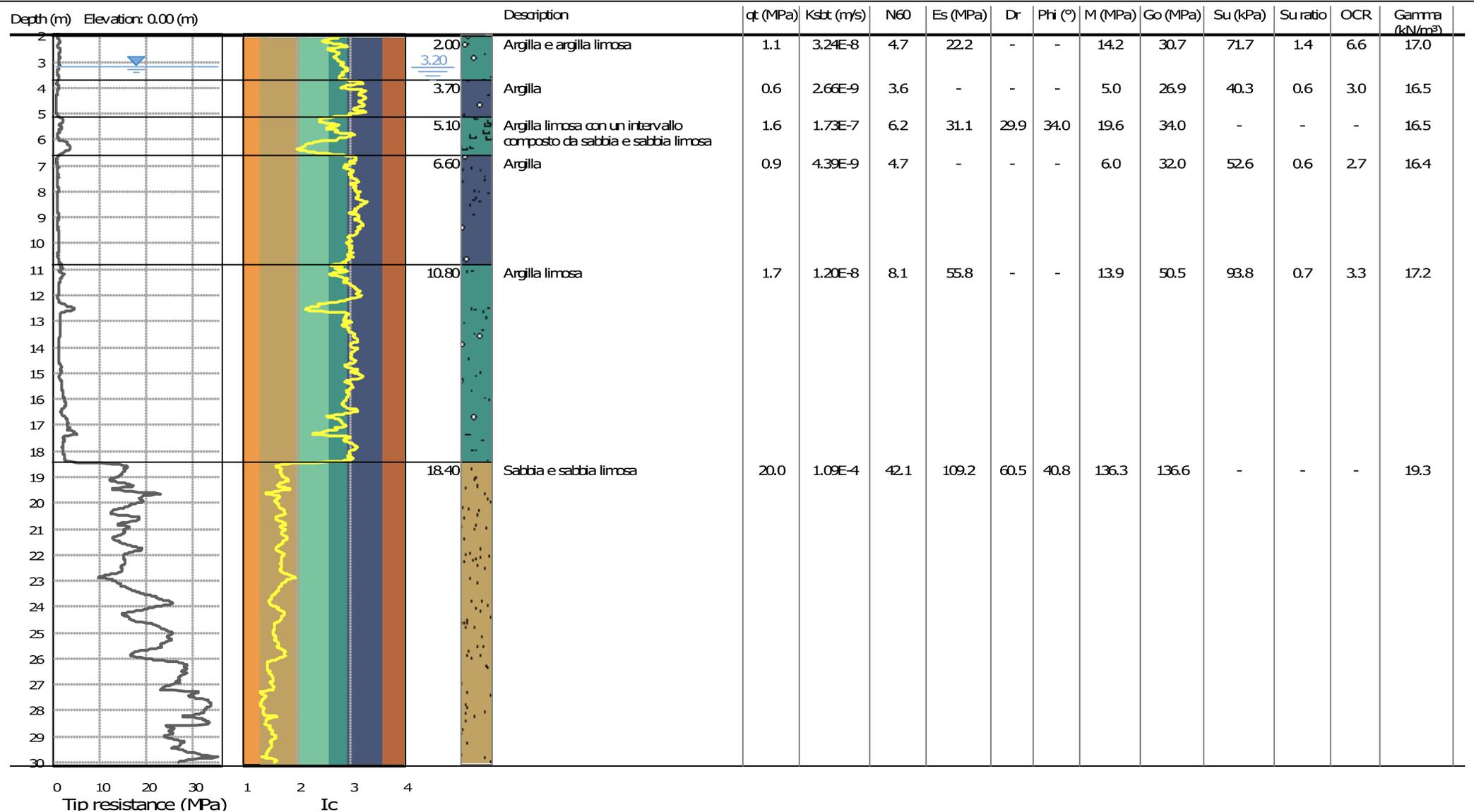
Location: Ferrara

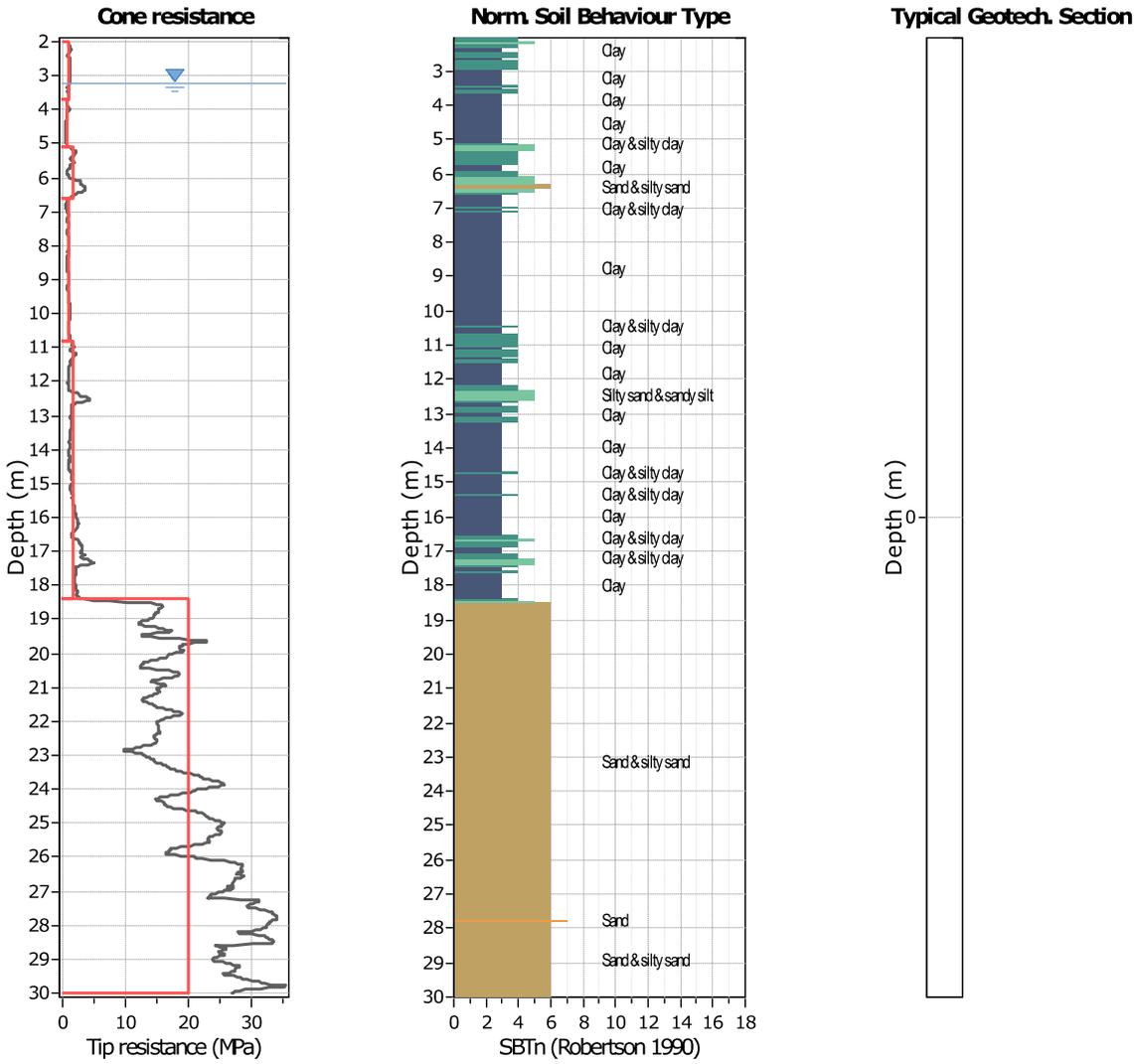
Summary table of mean values

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/m ³)
2.00	4.10	2.79E-06	10.4	37.3	36.4	35.9	44.4	46.8	0.0	0.0	0.0	17.3
6.10		(±6.37E-06)	(±2.4)	(±7.2)	(±5.6)	(±1.5)	(±9.3)	(±9.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.7)
6.10	23.90	0.00E+00	29.0	80.9	49.1	38.7	100.7	101.1	0.0	0.0	0.0	18.3
30.00		(±1.25E-04)	(±13.2)	(±33.5)	(±9.4)	(±1.9)	(±42.4)	(±42.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.1)

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

Project: PUA area ex-Alc.Este
Location: Ferrara





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 2.00 (m), End depth: 3.70 (m)	
Description: Argilla e argilla limosa		
Basic results	Estimation results	
Total cone resistance: 1.06 ±0.16 MPa	Permeability: 3.24E-08 ±5.28E-08 m/s	Constrained Mod.: 14.16 ±2.36 MPa
Sleeve friction: 33.20 ±9.93 kPa	N60: 4.66 ±0.54 blows	Go: 30.69 ±3.88 MPa
SBT _n : 4	Es: 22.15 ±1.42 MPa	Su: 71.74 ±11.63 kPa
SBT _n description: Clay & silty clay	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 1.42 ±0.30
	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 6.58 ±1.40
	Unit weight: 17.04 ±0.36 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 3.70 (m), **End depth:** 5.10 (m)**Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 0.64 ±0.16 MPa

Sleeve friction: 24.80 ±10.58 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 2.66E-09 ±5.61E-09 m/s

N60: 3.59 ±0.70 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.51 ±0.51 kN/m³

Constrained Mod.: 5.02 ±3.41 MPa

Go: 26.90 ±4.17 MPa

Su: 40.33 ±11.67 kPa

Su ratio: 0.64 ±0.21

O.C.R.: 2.96 ±0.95

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 5.10 (m), **End depth:** 6.60 (m)**Description:** Argilla limosa con un intervallo composto da sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.63 ±0.90 MPa

Sleeve friction: 18.66 ±5.69 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 1.73E-07 ±1.83E-06 m/s

N60: 6.21 ±1.96 blows

Es: 31.09 ±3.06 MPa

Dr (%): 29.85 ±3.24

φ (degrees): 34.02 ±1.04 °

Unit weight: 16.55 ±0.40 kN/m³

Constrained Mod.: 19.59 ±12.28 MPa

Go: 34.02 ±5.93 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 4 :::**Code:** 4 **Start depth:** 6.60 (m), **End depth:** 10.80 (m)**Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 0.88 ±0.15 MPa

Sleeve friction: 20.90 ±7.46 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 4.39E-09 ±3.94E-09 m/s

N60: 4.73 ±0.77 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.44 ±0.48 kN/m³

Constrained Mod.: 5.96 ±2.03 MPa

Go: 32.02 ±4.79 MPa

Su: 52.58 ±9.92 kPa

Su ratio: 0.58 ±0.09

O.C.R.: 2.67 ±0.42

::: Layer No: 5 :::**Code:** 5 **Start depth:** 10.80 (m), **End depth:** 18.40 (m)**Description:** Argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.65 ±0.81 MPa

Sleeve friction: 32.45 ±25.38 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 1.20E-08 ±2.76E-07 m/s

N60: 8.12 ±2.84 blows

Es: 55.83 ±13.57 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.19 ±0.85 kN/m³

Constrained Mod.: 13.88 ±13.58 MPa

Go: 50.52 ±17.10 MPa

Su: 93.84 ±42.90 kPa

Su ratio: 0.72 ±0.27

O.C.R.: 3.31 ±1.23

:: Layer No: 6 ::**Code:** 7 **Start depth:** 18.40 (m), **End depth:** 30.00 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 20.03 ±6.75 MPa

Sleeve friction: 86.36 ±24.81 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 1.09E-04 ±1.97E-04 m/s

N60: 42.15 ±10.32 blows

Es: 109.24 ±18.82 MPa

Dr (%): 60.54 ±8.72

φ (degrees): 40.77 ±1.38 °

Unit weight: 19.27 ±0.41 kN/m³

Constrained Mod.: 136.26 ±24.38 MPa

Go: 136.64 ±23.84 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

Project: PUA area ex-Alc.Este

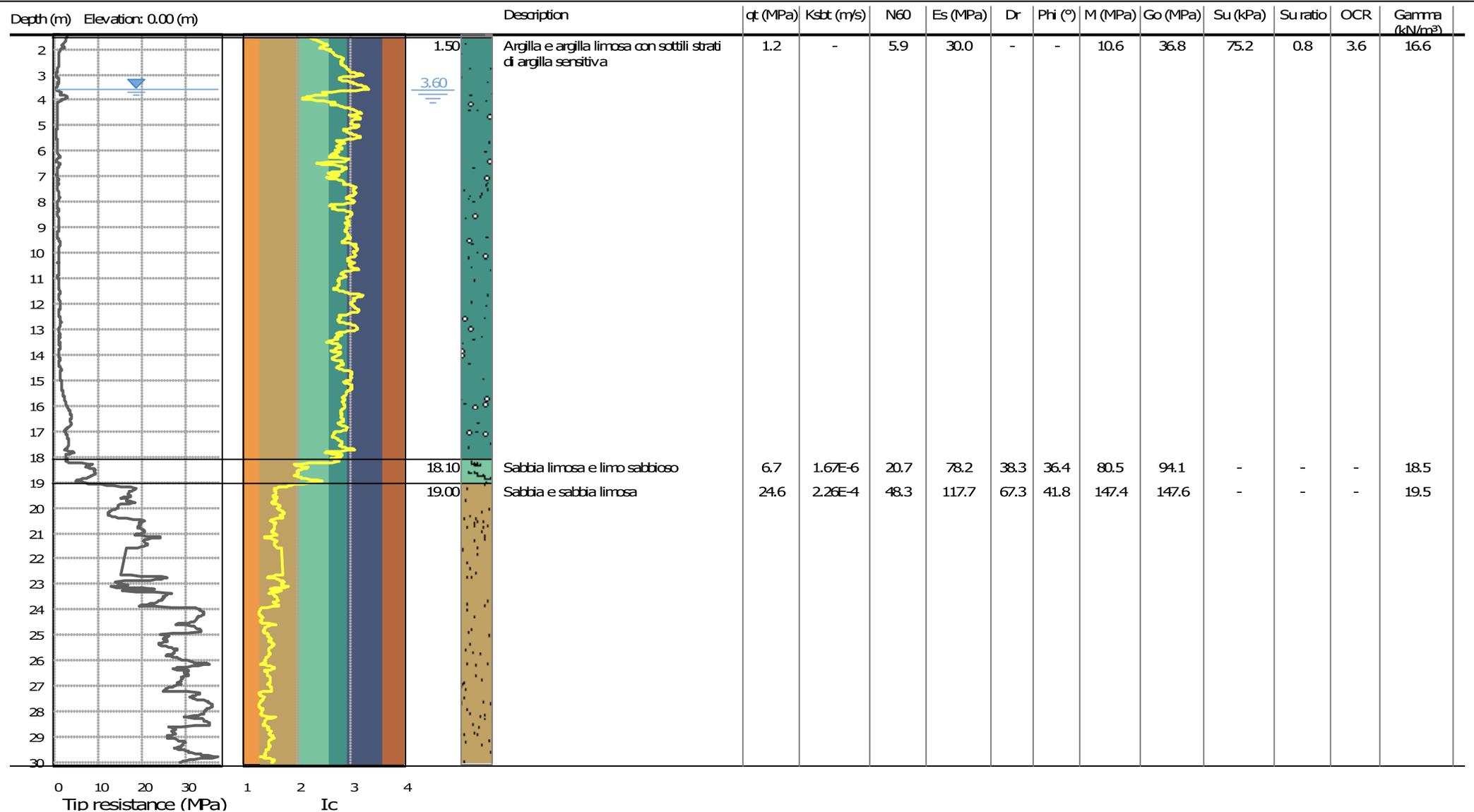
Location: Ferrara

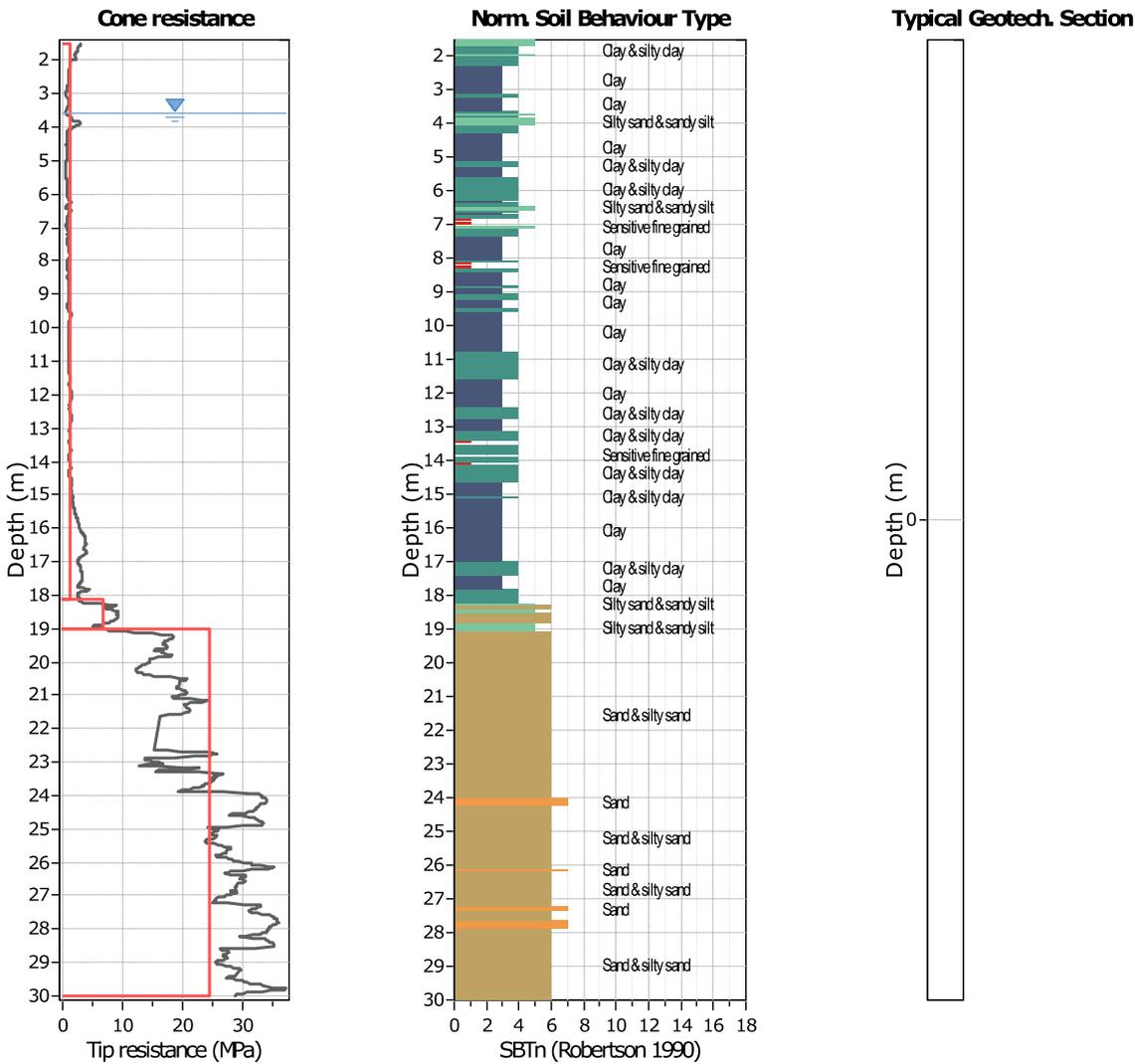
Summary table of mean values

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/m ³)
2.00	1.70	3.24E-08	4.7	22.2	0.0	0.0	14.2	30.7	71.7	1.4	6.6	17.0
3.70		(±5.28E-08)	(±0.5)	(±1.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.4)	(±3.9)	(±11.6)	(±0.3)	(±1.4)	(±0.4)
3.70	1.40	2.66E-09	3.6	0.0	0.0	0.0	5.0	26.9	40.3	0.6	3.0	16.5
5.10		(±5.61E-09)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.4)	(±4.2)	(±11.7)	(±0.2)	(±0.9)	(±0.5)
5.10	1.50	1.73E-07	6.2	31.1	29.9	34.0	19.6	34.0	0.0	0.0	0.0	16.5
6.60		(±1.83E-06)	(±2.0)	(±3.1)	(±3.2)	(±1.0)	(±12.3)	(±5.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)
6.60	4.20	4.39E-09	4.7	0.0	0.0	0.0	6.0	32.0	52.6	0.6	2.7	16.4
10.80		(±3.94E-09)	(±0.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.0)	(±4.8)	(±9.9)	(±0.1)	(±0.4)	(±0.5)
10.80	7.60	1.20E-08	8.1	55.8	0.0	0.0	13.9	50.5	93.8	0.7	3.3	17.2
18.40		(±2.76E-07)	(±2.8)	(±13.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±13.6)	(±17.1)	(±42.9)	(±0.3)	(±1.2)	(±0.9)
18.40	11.60	1.09E-04	42.1	109.2	60.5	40.8	136.3	136.6	0.0	0.0	0.0	19.3
30.00		(±1.97E-04)	(±10.3)	(±18.8)	(±8.7)	(±1.4)	(±24.4)	(±23.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)

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

Project: PUA area ex-Alc.Este
Location: Ferrara





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 1.50 (m), End depth: 18.10 (m)	
Description: Argilla e argilla limosa con sottili strati di argilla sensitiva		
Basic results		
Total cone resistance: 1.23 ±0.87 MPa	Estimation results	
Sleeve friction: 19.95 ±42.61 kPa	Permeability: 0.00E+00 ±2.82E-07 m/s	Constrained Mod.: 10.64 ±13.39 MPa
SBT _n : 4	N60: 5.87 ±3.80 blows	Go: 36.77 ±24.62 MPa
SBT _n description: Clay & silty clay	Es: 30.04 ±17.64 MPa	Su: 75.18 ±58.40 kPa
	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 0.77 ±0.55
	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 3.57 ±2.53
	Unit weight: 16.57 ±1.40 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 18.10 (m), **End depth:** 19.00 (m)**Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 6.67 ±2.27 MPa

Sleeve friction: 65.29 ±20.78 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 1.67E-06 ±3.96E-06 m/s

N60: 20.68 ±4.52 blows

Es: 78.24 ±7.79 MPa

Dr (%): 38.30 ±4.27

φ (degrees): 36.40 ±1.13 °

Unit weight: 18.53 ±0.38 kN/m³

Constrained Mod.: 80.45 ±24.69 MPa

Go: 94.06 ±12.58 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 19.00 (m), **End depth:** 30.00 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 24.59 ±6.93 MPa

Sleeve friction: 95.53 ±28.15 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 2.26E-04 ±2.88E-04 m/s

N60: 48.33 ±10.27 blows

Es: 117.73 ±19.06 MPa

Dr (%): 67.30 ±8.95

φ (degrees): 41.78 ±1.35 °

Unit weight: 19.46 ±0.42 kN/m³

Constrained Mod.: 147.42 ±24.08 MPa

Go: 147.56 ±23.89 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

Project: PUA area ex-Alc.Este
Location: Ferrara

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/m ³)
1.50	16.60	0.00E+00	5.9	30.0	0.0	0.0	10.6	36.8	75.2	0.8	3.6	16.6
18.10		(±2.82E-07)	(±3.8)	(±17.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±13.4)	(±24.6)	(±58.4)	(±0.5)	(±2.5)	(±1.4)
18.10	0.90	1.67E-06	20.7	78.2	38.3	36.4	80.5	94.1	0.0	0.0	0.0	18.5
19.00		(±3.96E-06)	(±4.5)	(±7.8)	(±4.3)	(±1.1)	(±24.7)	(±12.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)
19.00	11.00	2.26E-04	48.3	117.7	67.3	41.8	147.4	147.6	0.0	0.0	0.0	19.5
30.00		(±2.88E-04)	(±10.3)	(±19.1)	(±8.9)	(±1.4)	(±24.1)	(±23.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)

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

ALLEGATO 2

N° archivio:	2018	Data:	18/7/18	Tipo Punta:	50315
Committente:	Real estate Ferrara srl	Cantiere:	PUA alceste	Profondità (m):	30
Comune:	Ferrara	Località:	Ruina		
Q. inizio (m):	p.c.	Preforo (m):	2.00	Q. falda (m):	6.10

SCPTU-A

Grafico tempi di arrivo onde S

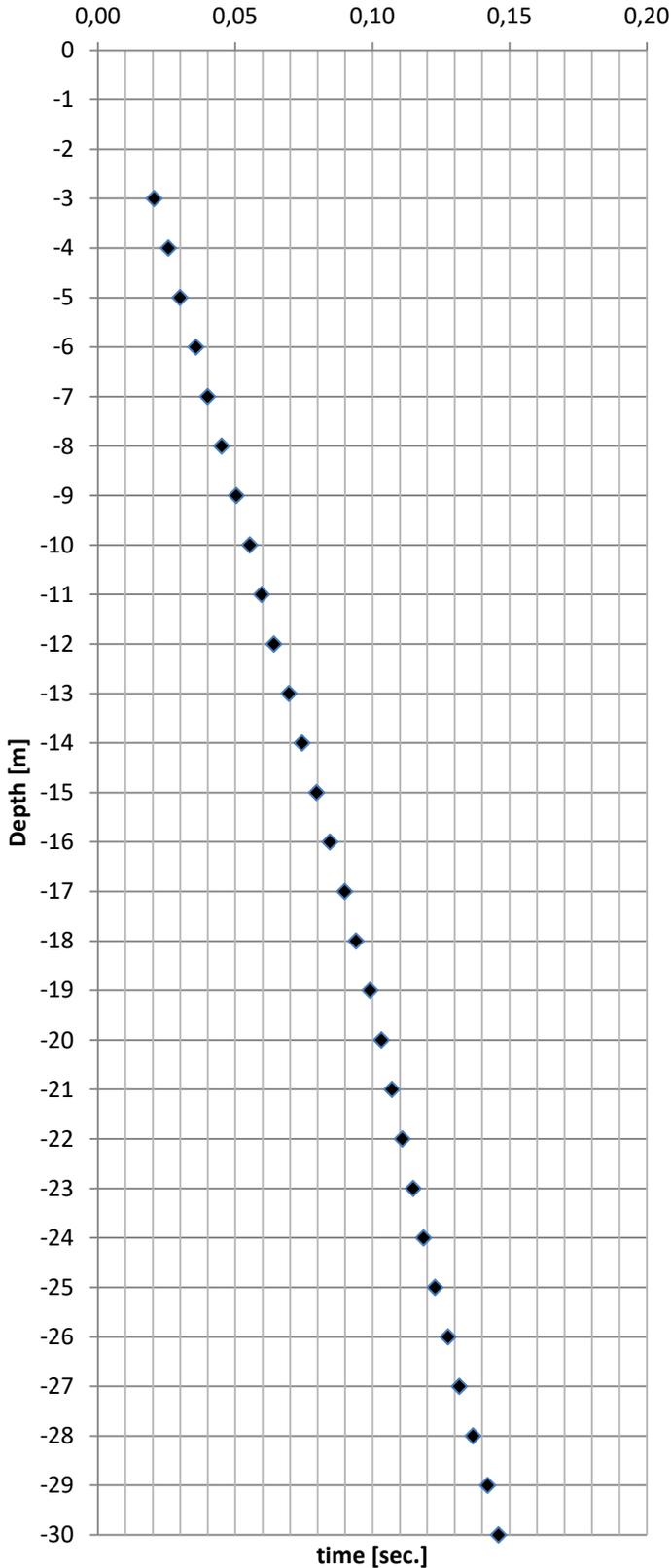
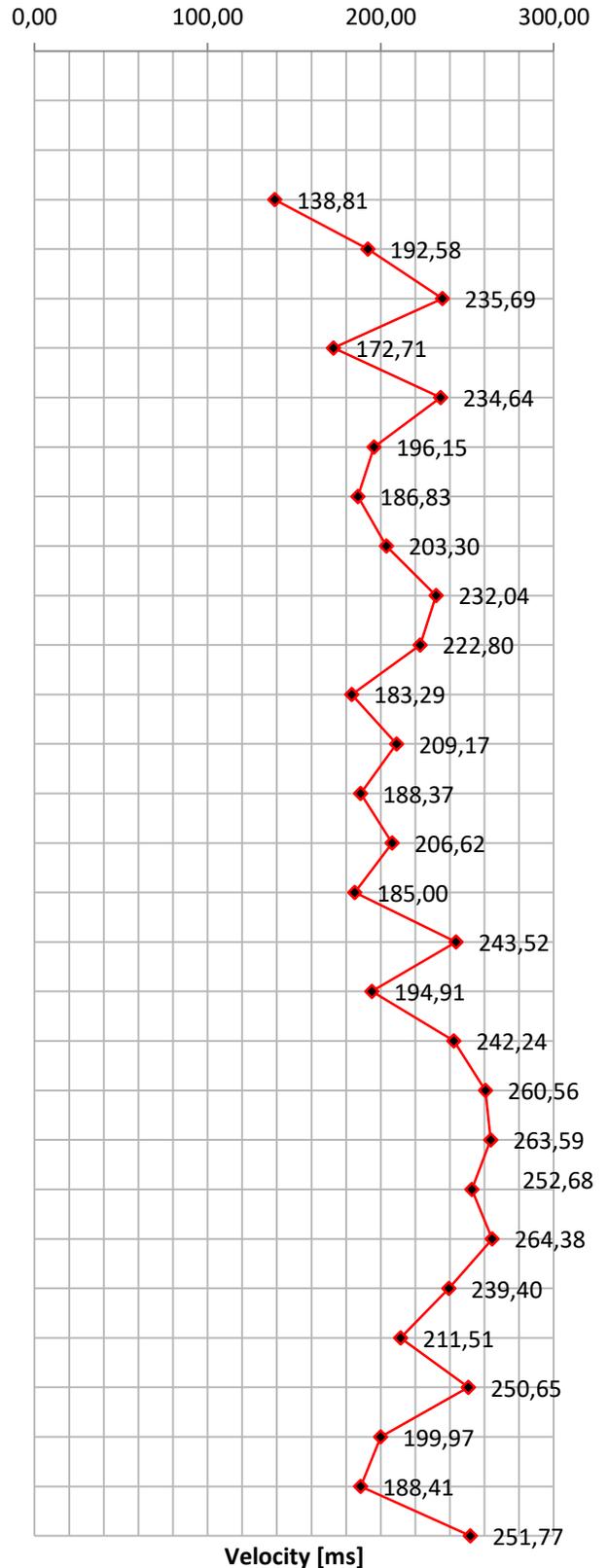


Grafico velocità onde S



N° archivio:	2018	Data:	20/7/18	Tipo Punta:	50315
Committente:	Real Estate Ferrara srl	Cantiere:	PUA Alceste	Profondità (m):	30
Comune:	Ferrara	Località:	Ruina		
Q. inizio (m):	p.c.	Preforo (m):	2.00	Q. falda (m):	n.r.

SCPTU-B

Grafico tempi di arrivo onde S

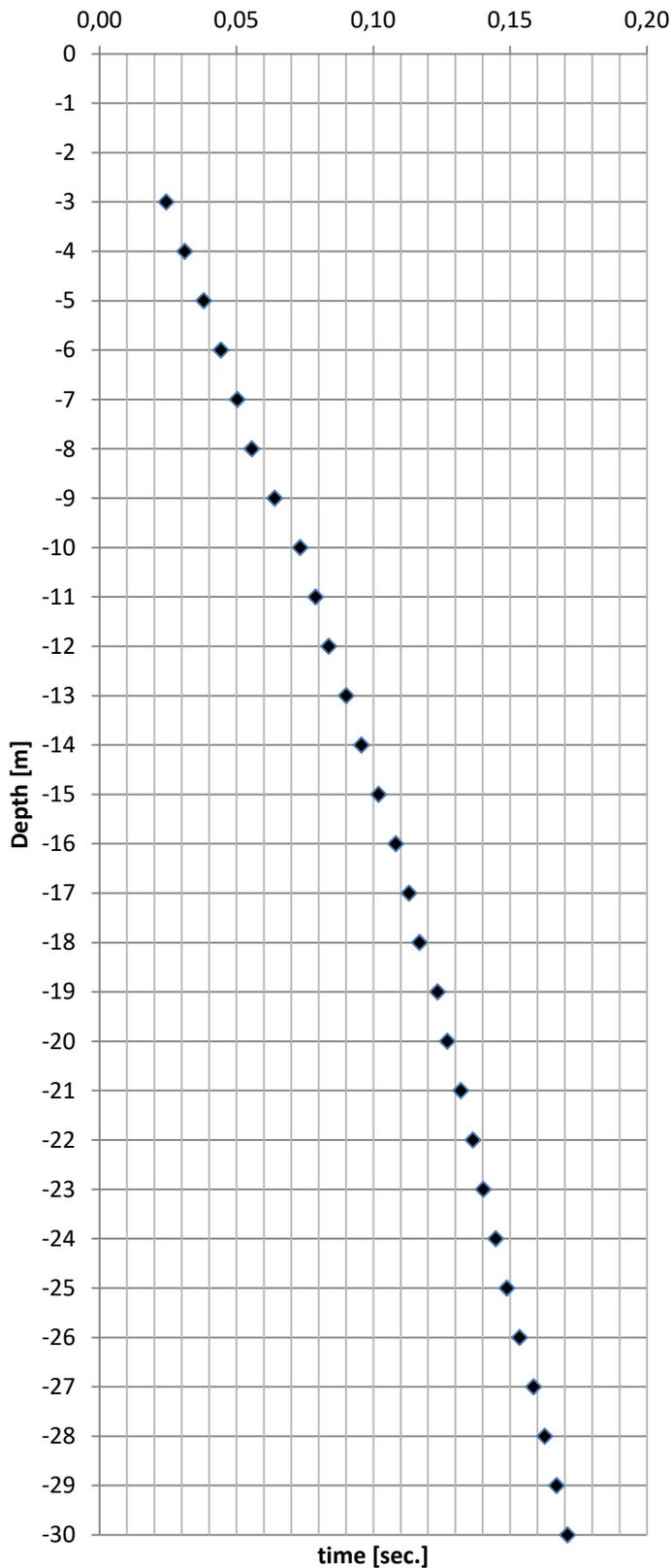
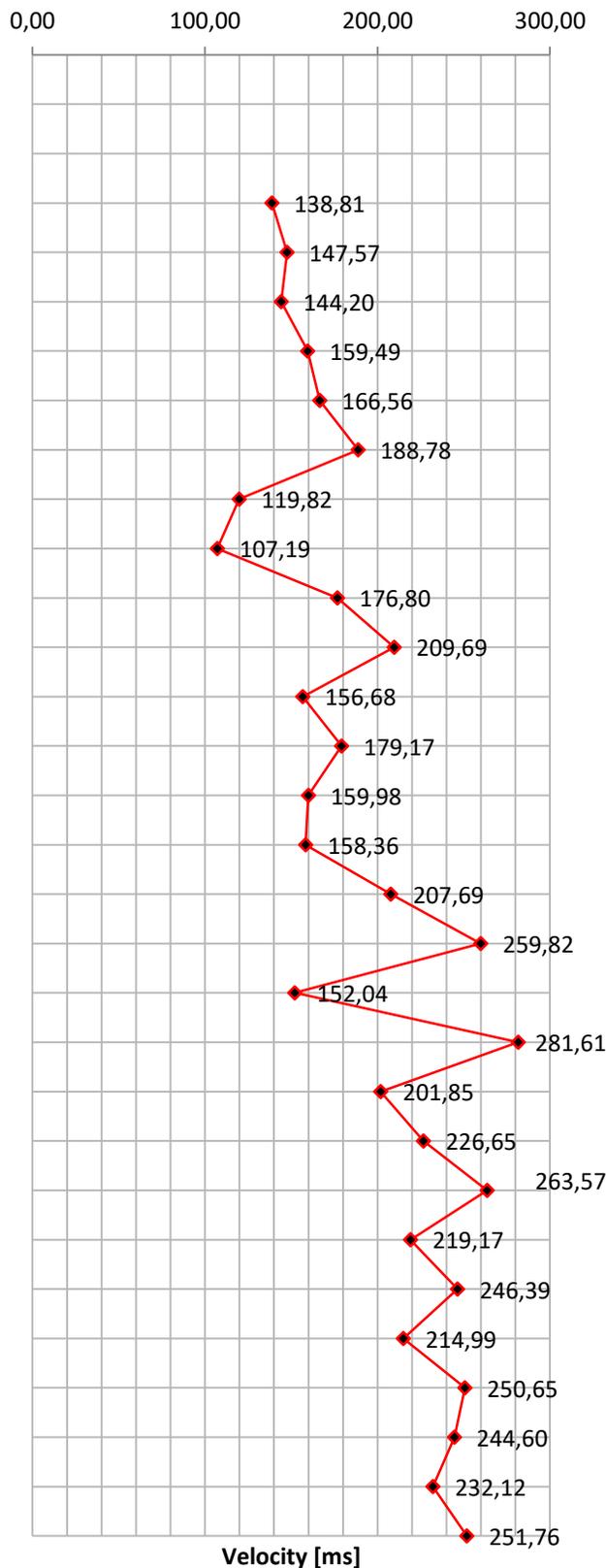


Grafico velocità onde S



N° archivio:	2018	Data:	20/7/18	Tipo Punta:	50315
Committente:	Real estate Ferrara srl	Cantiere:	PUA alceste	Profondità (m):	30
Comune:	Ferrara	Località:			
Q. inizio (m):	p.c.	Preforo (m):	1.50	Q. falda (m):	3.60

SCPTU-C

Grafico tempi di arrivo onde S

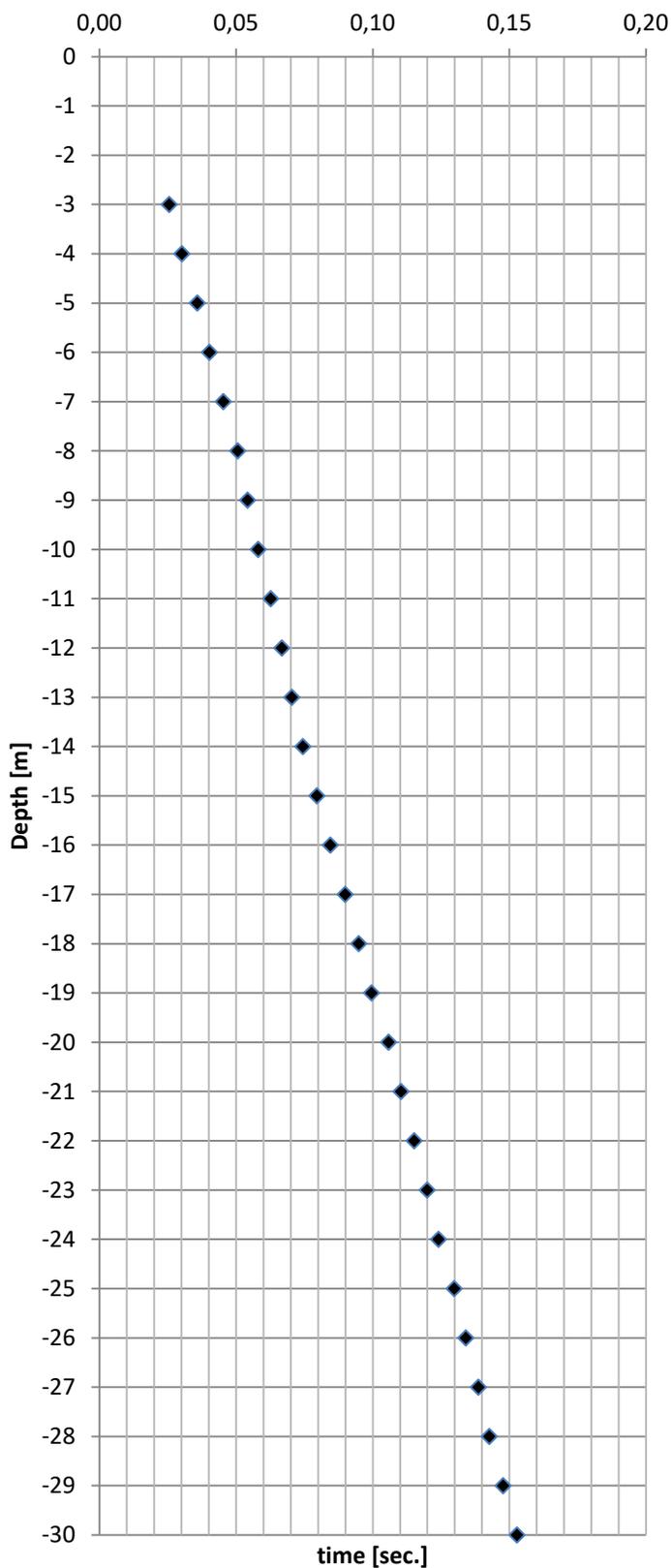
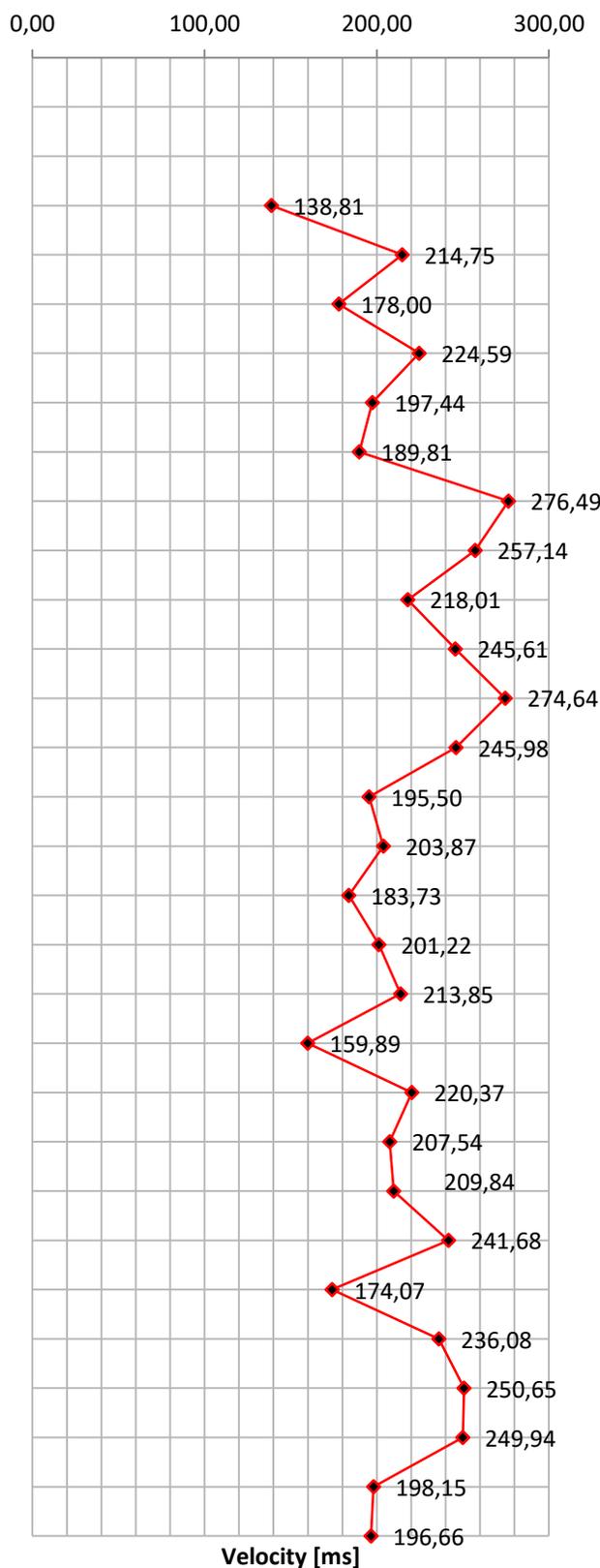


Grafico velocità onde S



ALLEGATO 3



Foto 1: SCPTU A ubicazione



Foto 2: SCPTU A altra angolazione



Foto 3: SCPTU B ubicazione



Foto 4: SCPTU B altra angolazione



Foto 5: SCPTU C ubicazione



Foto 6: SCPTU C - particolare



Foto 7: CPTU 1 ubicazione



Foto 8: CPTU 1 altra angolazione



Foto 9: CPTU 2 ubicazione



Foto 10: CPTU 2 altra angolazione



Foto 11: CPTU 3 ubicazione



Foto 12: CPTU 3 altra angolazione



Foto 13: CPTU 4 ubicazione



Foto 14: CPTU 4 altra angolazione



Foto 15: CPTU 5 ubicazione

Foto 16: CPTU 5 altra angolazione



Foto 17: CPTU 6 ubicazione



Foto 18: CPTU 6 altra angolazione



Foto 19: CPTU 7 Ubicazione



Foto 20: CPTU 7 altra angolazione



Foto 21: CPTU 8 ubicazione



Foto 22: CPTU 8 altra angolazione



Foto 23: CPTU 9 ubicazione



Foto 24: CPTU 9 altra angolazione