



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



COMUNE di LUGO



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Presidenza
del Consiglio dei Ministri

Convenzione Quadro tra il Commissario Straordinario alla Ricostruzione nel territorio delle Regioni Emilia-Romagna, Toscana e Marche e SOGESID S.p.A.

Affidamento delle funzioni di Committenza Ausiliaria e attività tecnico-specialistiche di supporto, per l'esecuzione e la gestione degli interventi di messa in sicurezza di cui al Decreto-Legge 1° giugno 2023, n. 61, recante "Interventi urgenti per fronteggiare l'emergenza provocata dagli eventi alluvionali verificatisi a partire dal 1° maggio 2023", convertito, con modificazioni, in Legge 31 luglio 2023, n. 100.

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) MISSIONE 2: RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA

Componente 4 - Tutela del territorio e della risorsa idrica
Investimento 2.1 A - Misure per la gestione del rischio di alluvione e per la riduzione del rischio Idrogeologico
Interventi nelle Regioni Emilia-Romagna, Toscana e Marche

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

"Lavori di messa in sicurezza idraulica del bacino scolante del canale di bonifica - Brignani - Area
Lugo Ovest: ampliamento di vasca di laminazione"

CUP: B42B23000260001

ID: ER-URVI-001198

Titolo elaborato
**RELAZIONE GEOLOGICA e MICROZONIZZAZIONE
SISMICA**

Elaborato

ED004

Redatto da:

SOGESID SPA
INGEGNERIA TERRITORIO AMBIENTE

Project Manager:

Ing. Giovanni BORZI

Gruppo Progettazione:

Ing. Pasqualino Simonetti

Ing. Vittoria Bagnato

Ing. Rosa Livia Pergola

Direttore Tecnico:

Ing. Aldo Sibilia

Progettista e Coordinatore
della progettazione:

Ing. Pasqualino Simonetti

RUP:

Ing. Rosalino Intrieri

Relazione Geologica:

Geol. Gianluca Sabatini

Supporto specialistico alla Progettazione:

Ing. Marcello Casadio

Progettazione Idraulica:

Ing. Marcello Casadio

C.S.P.:

Arch. Luca Servodio

Relazione Paesaggistica:

ing. Marcello Casadio

Rilievo:

Geom. Giancarlo Tassinari

Codice Commessa	ID	Cod. Elaborato	Nome file	Data : 06 2025
PR430	ER-URVI-001198	PFTE ED 0 0 4	PR430_ER-URVI-001198_PFTE_ED004	Scala:
Rev.	Data	Descrizione	Verificato	Approvato
0	06/25	1°Emissione		
1	01/26	2°Emissione		

RELAZIONE GEOLOGICA

Comune di Lugo di Romagna (RA)
ID: ER-URVI-000198

**Lavori di messa in sicurezza idraulica del Bacino scolante del Canale di Bonifica
“Brignani” Area Lugo Sud/Ovest: realizzazione di vasche di laminazione completamento
vasca di laminazione Parco Golferia**

INDICE

1. PREMESSA	1
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	2
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	3
4. INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO GENERALE	5
5. INQUADRAMENTO SISMICO GENERALE	6
6. CONSIDERAZIONI SUL PAI E IN GENERALE SULLA VINCOLISTICA	8
7. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEL SITO....	11
8. CONSIDERAZIONI DI CARATTERE CONCLUSIVO	20

1. PREMESSA

Lo scrivente redige la relazione geologica riferita al progetto di SOGESID S.p.A. per l'ampliamento del bacino di laminazione denominato "Lugo Ovest" in adiacenza al canale di bonifica Brignani, in località "Parco Golfera", rappresentando che il piano di indagini è stato computato dal gruppo di lavoro Sogesid e le indagini geologiche sono state affidate con incarico al Dott. Geol. Rocco Carbonella.



Figura 1: immagine Google Earth dell'area di intervento

L'opera in progetto si propone l'ampliamento del bacino di laminazione esistente nel parco Golfera situato nella zona sud ovest del centro abitato di Lugo, con un incremento del volume invasabile di circa 60.000 mc. Il bacino esistente è già dotato di uno scaricatore laterale e di un impianto di pompaggio per lo svuotamento del bacino attuale e dell'ampliamento. È presente anche un impianto di pompaggio a servizio delle trincee drenanti esistenti, idoneo anche per l'ampliamento in progetto.

L'ampliamento del bacino mira ad aumentare la sicurezza idraulica in caso di piogge intense nell'area del bacino scolante dello scolo Consorziale Brignani che è intubato con una tubazione circolare di diametro 1600 mm nel tratto del centro abitato di Lugo e nel quali si immettono anche alcuni scarichi fognari. Nell'area di Via Paurosa periodicamente si verificano allagamenti a seguito di piogge intense. Il progetto mira, inoltre, a migliorare alcuni aspetti funzionali del sistema esistente.

La presente relazione geologica fa riferimento alla Cartografia Geologica, agli strumenti di pianificazione degli Enti Territoriali Competenti ed alle banche dati geognostiche della Regione Emilia-Romagna, oltre alle indagini geognostiche appositamente redatte e descritte al paragrafo 7.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area oggetto di intervento si trova in via Paurosa a Lugo di Romagna (RA), immediatamente a Sud dell'abitato urbano, in un'area compresa tra il Canale dei Molini di Lugo, la Strada Provinciale n. 21 e le reti ferroviarie "Lugo-Sant'Agata" e "Barbiano-Lugo".

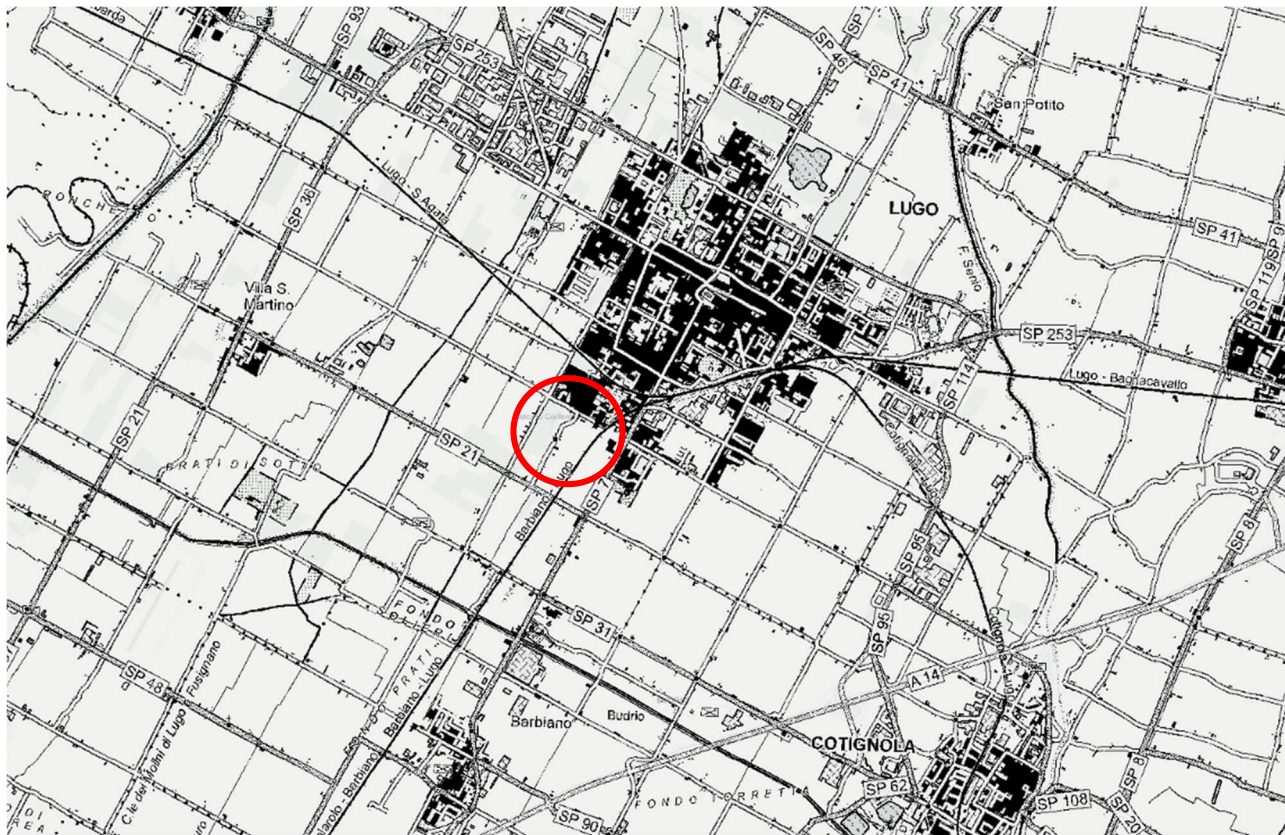


Figura 2 – Ubicazione dell'area in esame su Carta Tecnica Regionale (da Geoportale 3D Emilia-Romagna)

Di seguito si riportano le coordinate di riferimento del punto centrale dell'area in esame:

- Latitudine - 44°24'34.30" N
- Longitudine - 11°53'36.92" E

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Dal punto di vista geologico il territorio del Comune di Lugo è caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali di pianura, di origine esclusivamente continentale, che presentano una granulometria decrescente allontanandosi dalle colline preappenniniche (e dai depositi della conoide che si ritrovano immediatamente a ridosso di esse), fino ad arrivare a termini quasi esclusivamente pelitici in corrispondenza dello sbocco dei corsi d'acqua principali (torrente Senio) nel fiume Reno.

La carta geologica indica la presenza di terreni di copertura quaternaria appartenenti al Sintema Emiliano Romagnolo Superiore, costituito da depositi alluvionali intravallivi o terrazzati. In particolare, la principale unità cartografata è rappresentata da:

- AES8 (Subsistema di Modena) costituita da prevalenti depositi grossolani (sabbie e ghiaie) alla base, sovrastati da limi e argille più in superficie.

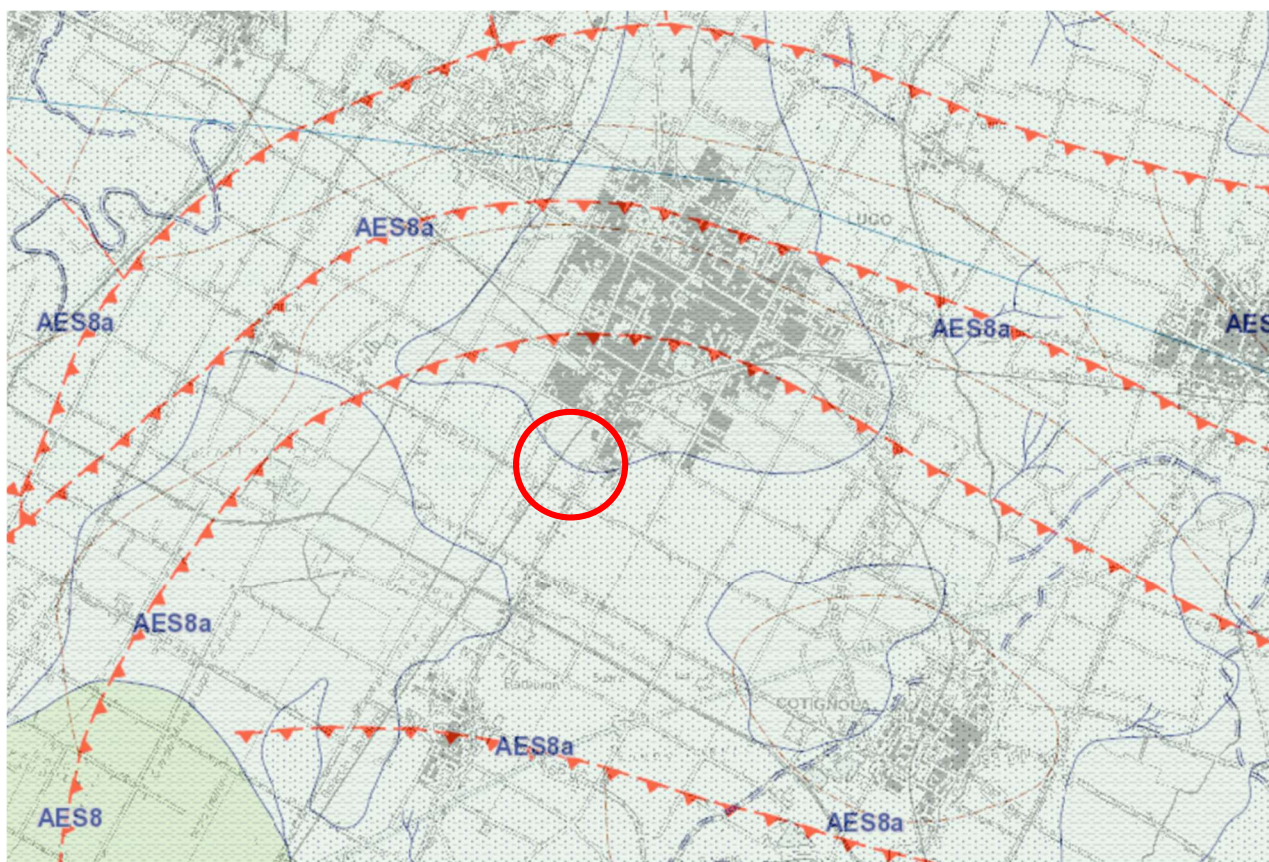


Figura 3 – Estratto Carta Geologica Regionale (da Geoportale 3D Regione Emilia-Romagna)

La litologia della pianura alluvionale è condizionata fortemente anche dalla disposizione dei principali canali fluviali che, nel periodo precedente agli interventi antropici di regimazione idraulica, hanno portato alla costruzione degli argini artificiali e che erano soggetti a frequenti e ripetute tracimazioni delle correnti alluvionali, non essendo in grado di contenere la maggior parte delle piene stagionali. Le acque fuoriuscite dagli argini inondavano i territori adiacenti e depositavano i materiali in carico con una gradazione dei sedimenti decrescente via via che la capacità di trasporto del flusso diminuiva. In questo modo il fiume costruiva i propri argini naturali all'interno dei quali scorreva pensile sulla piana inondabile; a seguito di eventi eccezionali (deterioramenti climatici) il fiume rompeva gli argini naturali e la corrente alluvionale defluiva verso le aree più depresse dando origine ad una nuova fase di deposizione e a nuovi argini naturali.

Da un punto di vista morfologico i depositi di tali argini naturali costituiscono, pertanto, le aree più elevate della piana alluvionale e presentano forma allungata secondo l'asse del canale fluviale (con profilo trasversale al canale convesso e pendenza media dell'ordine dello 0,2 %). Da un punto di vista granulometrico i depositi di argine naturale sono caratterizzati, nelle facies più prossimali, da intercalazioni di strati decimetrici di sabbie e sabbie limose con strati limoso-argillosi che passano più distalmente ad alternanze di strati limoso-argillosi e argilloso-limosi.

Nel dettaglio il sito oggetto di studio è ubicato in zona di pianura, e si trova ad una quota topografica di circa m. 13 s.l.m., ad una distanza di circa 2000 m. dal torrente Senio e risulta caratterizzata dalla prevalenza dei termini a granulometria più fine (argille e limi argillosi).

5. INQUADRAMENTO SISMICO GENERALE

Per quanto riguarda la sismicità dell'area, l'attività sismica risulta connessa all'attività orogenetica appenninica e definita nell'ambito di specifiche zone sismogenetiche, nelle quali gli eventi possono ritenersi circoscritti o definiti in relazione all'assetto tettonico del territorio. Recenti studi hanno messo in luce il legame sismogenetico tra la Pianura Padana e il fronte della catena appenninica. In base alla zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata ZS9 e redatta a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), l'area in esame ricade all'interno della zona-sorgente 912, che rappresenta la porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale: la sismicità di tale zona sembra evidenziare l'andamento del fronte compressivo sepolto più avanzato (a ridosso del Po e si è manifestata in occasione dei recenti terremoti del maggio 2012 nel modenese e ferrarese).

In base al database delle sorgenti sismogenetiche italiane DISS 3.2.1, il sito in oggetto risulta collocato all'interno della Sorgente Sismogenetica Composita ITCS011 "Ascensione Armaia": le magnitudo massime attese dei sismi riconducibili a questa sorgente, come desumibile dal database, sono stimate pari a $M_w = 6.0$.



Figura 5 -Distribuzione "zone" sismogenetiche, riportata dal DISS 3.2.1 (Il punto rosso evidenzia l'area in esame)

Per quanto riguarda la storia sismica del territorio in esame si fa riferimento ai dati contenuti nel database macrosismico italiano versione CPTI15 – DBMI 15, disponibile on-line all'indirizzo <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>

Il diagramma riportato di seguito riporta la collocazione temporale (in ascissa) e l'intensità al sito in corrispondenza dell'area oggetto del presente studio (in ordinata) degli eventi sismici, limitatamente a quelli con intensità epicentrale uguale o superiore a 3.

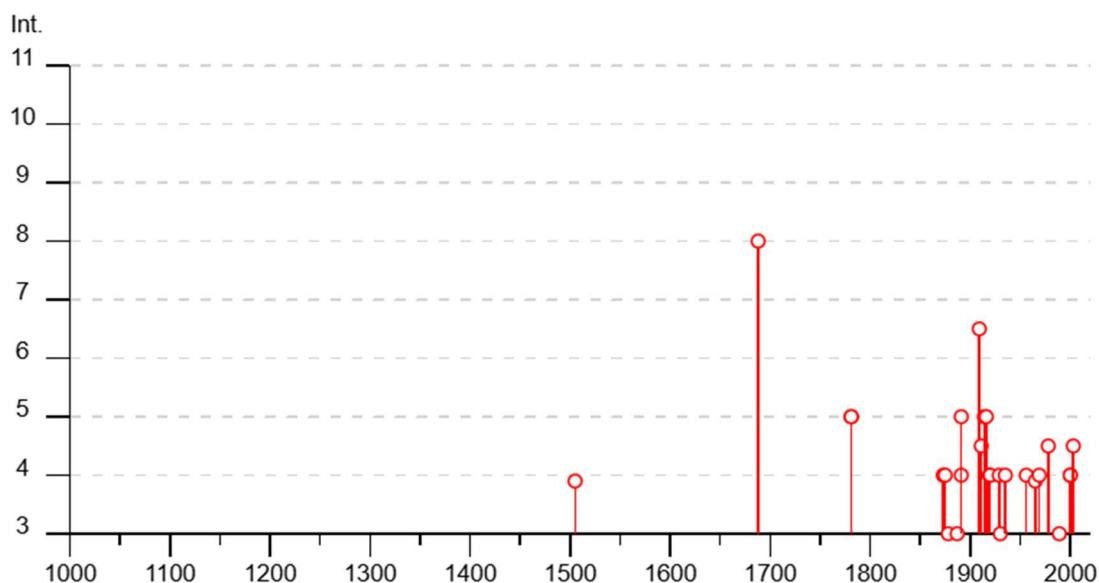


Figura 6 - Intensità al sito (Is) in occasione degli eventi sismici con intensità epicentrale uguale o superiore a 3

Gli studi di microzonazione sismica condotti conformemente alle Direttive Nazionali di Protezione Civile, a supporto della pianificazione del territorio comunale, non evidenziano particolari criticità relativamente all'area in esame.

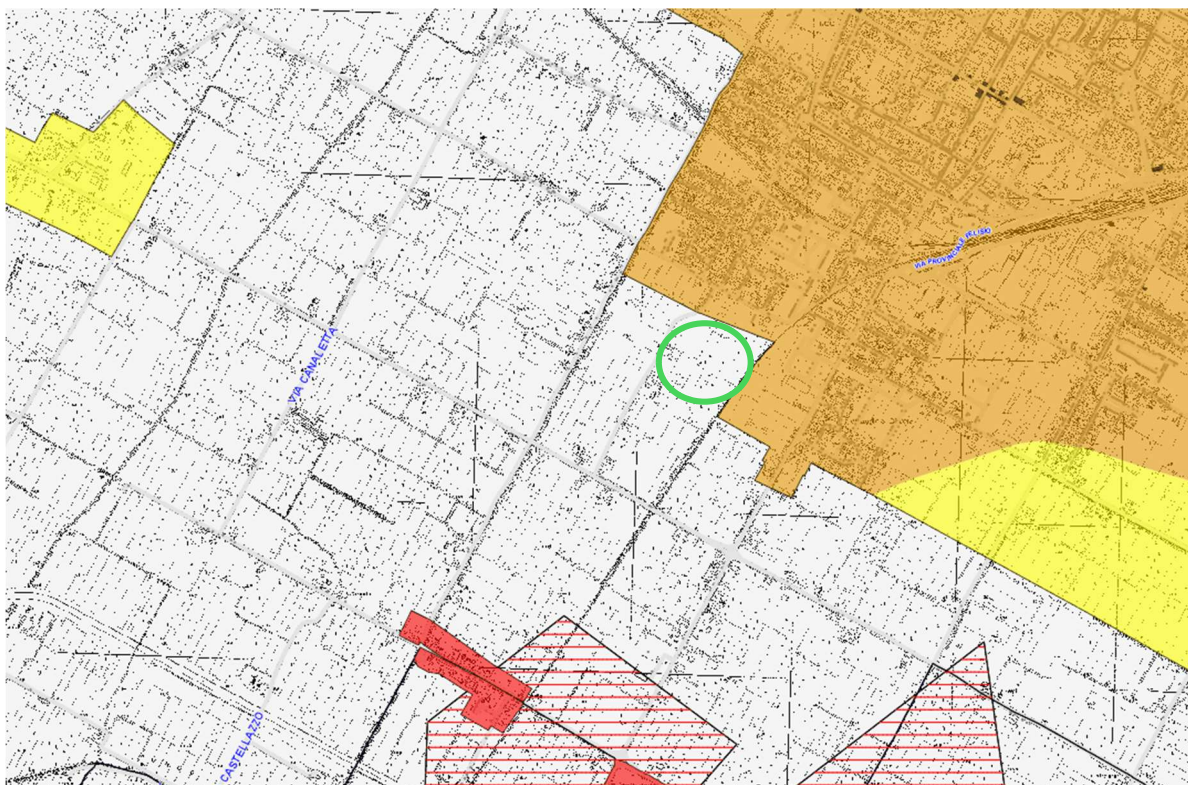


Figura 7 - Cartografia di Microzonazione Sismica (da WebSit Unione Comuni Bassa Romagna)

6. CONSIDERAZIONI SUL PAI E IN GENERALE SULLA VINCOLISTICA

La valutazione del rischio geologico ed idrogeologico dell'area è contenuta nei principali strumenti di pianificazione vigenti a livello comunale che è riassunta nel Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale Comunale dell'Unione dei Comuni Bassa Romagna. In relazione al rischio idraulico l'area risulta inserita all'interno delle aree di potenziale allagamento con riferimento al Piano Stralcio per il Bacino del Torrente Senio (Art. 16).

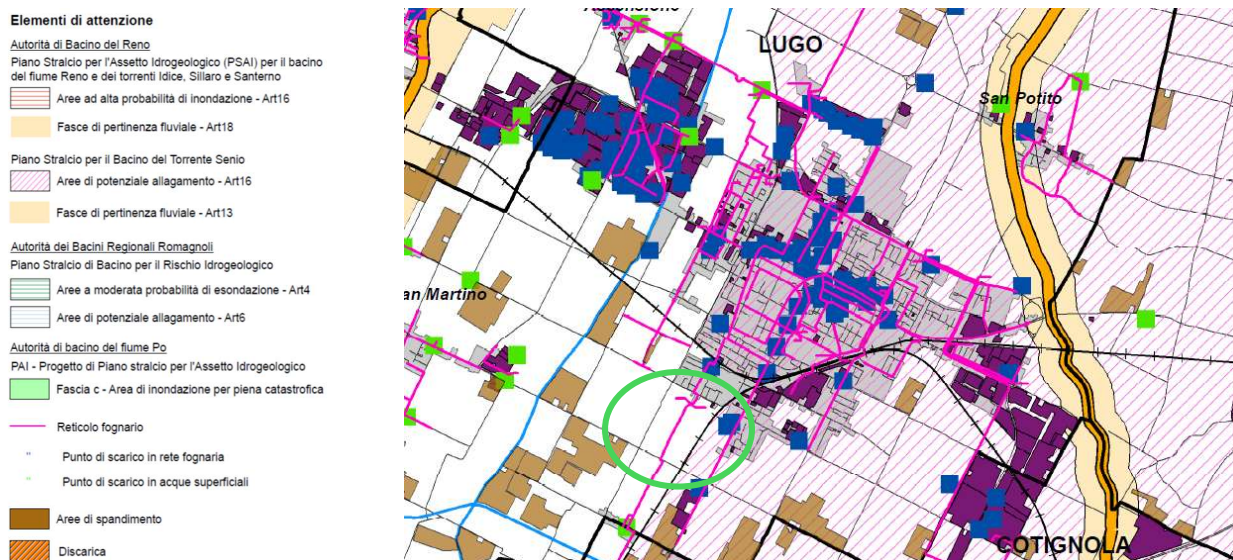


Figura 8 - Estratto Tav.46 (Criticità del sistema idrico) del Piano Strutturale Comunale, Comuni Bassa Romagna

La tavola LU10 – Tavola dei vincoli in scala 1:5.000 aggiornata al 28/09/2023 allegata al PSC dell'Unione dei Comuni Bassa Romagna, suddivide le aree secondo i seguenti aspetti:

- Ambiente e paesaggio (AP)
- Storico culturale e testimoniale (SCT)
- Vulnerabilità e sicurezza (VS)
- Impianti e infrastrutture (II)

Nell'ambito "Ambiente e Paesaggio", il sito, oggetto di studio, è classificato come:

- Area soggetta a vincolo paesaggistico (Scheda dei vincoli AP01);
- Area di riequilibrio ecologico (scheda dei vincoli AP009);
- Zona di particolare interesse paesaggistico-ambientale (Scheda dei vincoli AP06).

Nell'ambito "Vulnerabilità e Sicurezza", il sito, oggetto di studio, è classificato come:

- Area soggetta ad alluvioni poco frequenti (P2).

Di seguito, si riporta un estratto della tavola con evidenziata l'area in esame.

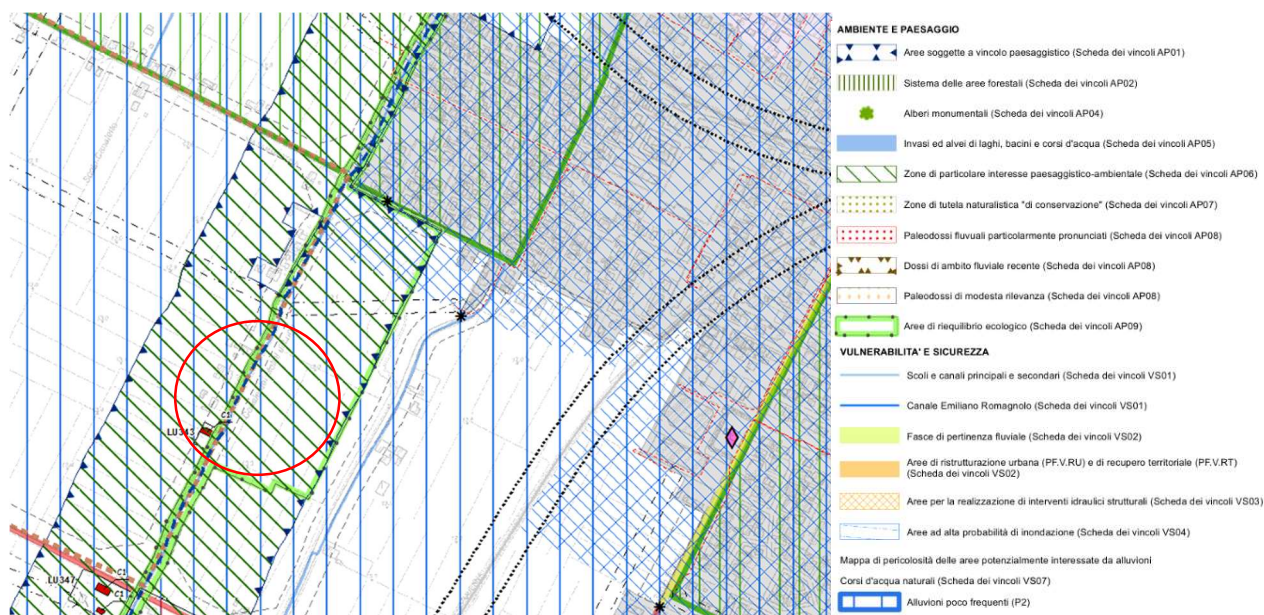


Figura 9 - Estratto Tav.LU10 (Tavola dei vincoli) del Piano Strutturale Comunale, Comuni Bassa Romagna

Per quanto riguarda il “Piano di Stralcio per il Rischio Idrogeologico”, la tavola B quadro 1 – Bacino imbrifero di pianura e pedecollinare del torrente Senio e bacini dei sistemi idrografici di bonifica dei comparti canal vela e fosso vecchio” in scala 1: 25.000, nell’ambito “Rischio idraulico e assetto rete idrografica” evidenzia le aree che ricadono all’interno del bacino imbrifero di pianura e pedecollinare (art. 20 delle norme del piano). L’area in esame, come tutto il territorio di Lugo, rientra all’interno di questa classificazione. Si riporta di seguito un estratto dell’elaborato con evidenza dell’area in esame.

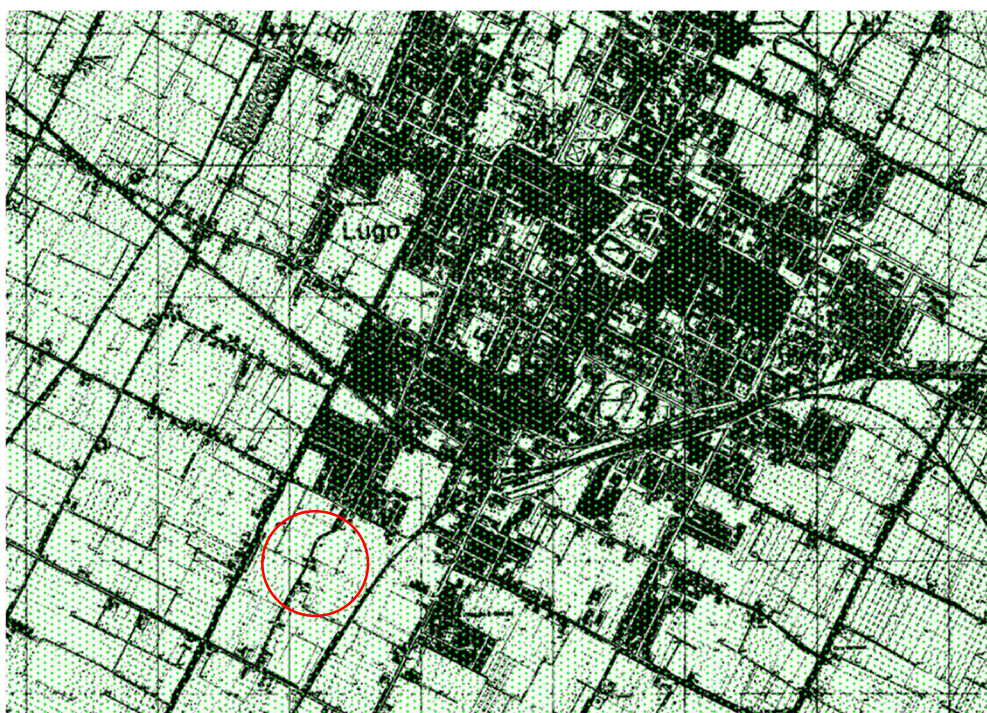


Figura 10 - Estratto Tav. B quadro 1 - (Rischio idraulico e assetto rete idrografica) del PAI, Comune di Lugo

Relativamente alla tavola C – Localizzazione delle situazioni a rischio elevato o molto elevato in scala 1: 65.000 del PAI, nell’ambito “Rischio idraulico e assetto rete idrografica” evidenzia che l’area non è soggetta a rischio

elevato o molto elevato identificate da un cerchio giallo. Di seguito, un estratto della tavola C con evidenziato con un cerchio rosso l'area di studio.

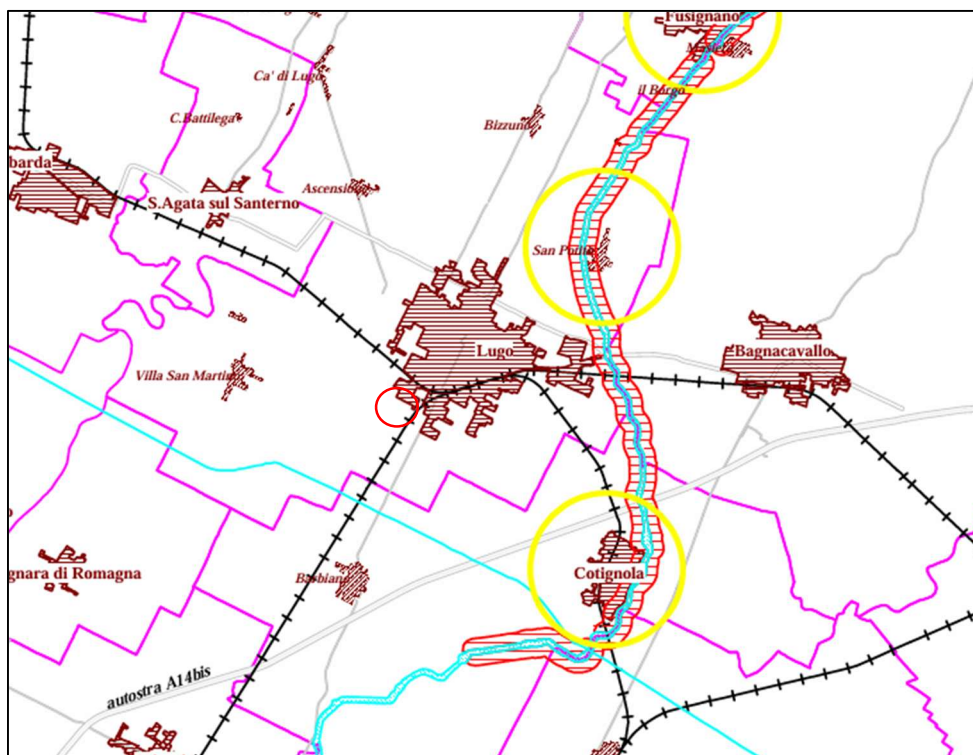


Figura 11 - Estratto Tav C - (Rischio idraulico e assetto rete idrografica) del PAI, Comune di Lugo

Relativamente alle tavole RI – Reticolo idrografico, aree ad alta probabilità di inondazione, aree per la realizzazione di interventi strutturali e fasce di pertinenza fluviale, allegate al PAI sempre nell'ambito "Rischio idraulico e assetto rete idrografica", non è stato prodotto alcun elaborato relativo all'area in esame. Si ritiene, pertanto, esclusa da questa classificazione.

7. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEL SITO

Il modello geologico preliminare è stato desunto sulla base dei sopralluoghi eseguiti e della documentazione bibliografica consultata. In particolare, si fa riferimento alle indagini geognostiche eseguite nel 2009 dal dott. Geol. Angelo Angeli nell'ambito della progettazione della prima vasca di laminazione, che hanno compreso la realizzazione di n° 2 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT).

Sulla base delle conoscenze pregresse e del modello geologico preliminare è stato proposto e concordato con i progettisti dell'intervento un piano di indagini geognostiche che ha previsto la realizzazione di:

- n° 3 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono (CPTU)
- n° 1 profilo sismico (MASW/REMI)
- n° 1 lettura a stazione singola (HVSr)
- prelievo campioni e n° 2 prove di taglio diretto in scatola di Casagrande

In Figura 12 viene riportata l'ubicazione schematica delle indagini eseguite.



Figura 12 - Ubicazione indagini (base foto aerea Google Earth).

Prove penetrometriche statiche punta elettrica CPTU

Le prove penetrometriche CPTU1, CPTU2 e CPTU3 sono state eseguite utilizzando un penetrometro statico da 20 t munito di punta elettrica e piezocono. I risultati sono presentati nei diagrammi riportati in allegato in cui in funzione della profondità vengono illustrati i valori della resistenza alla punta q_c , la resistenza laterale f_s e la pressione interstiziale U . L'interpretazione della prova è stata eseguita utilizzando il software "Geoutilities" sviluppato dal Dott. Geol. Umberto Grechi.

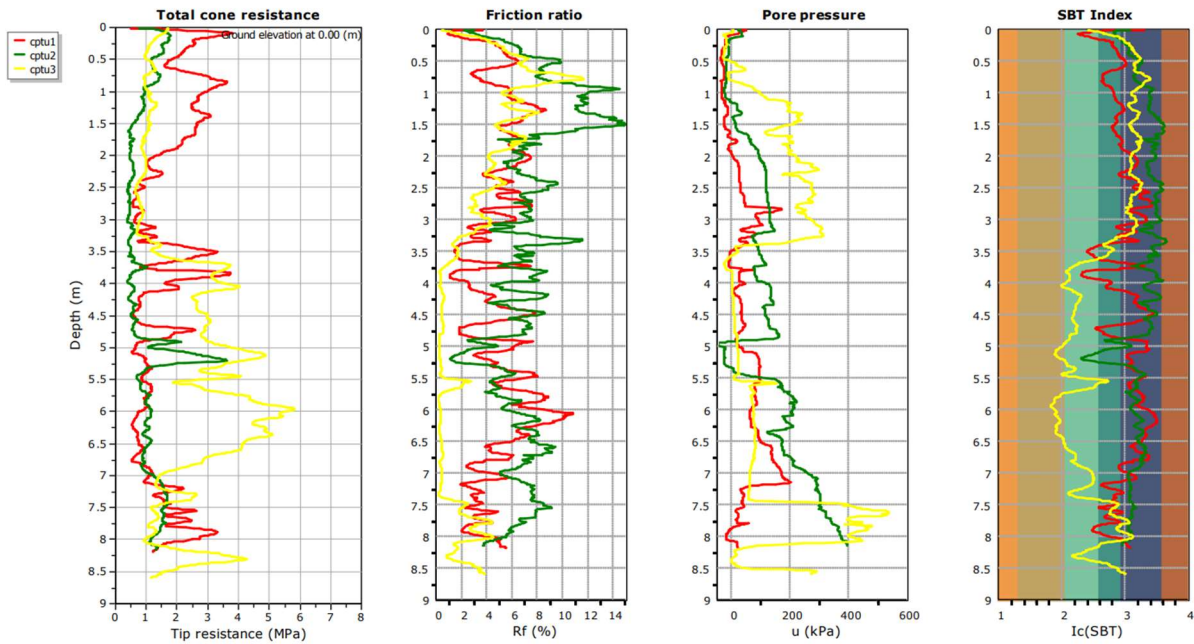


Figura 13 - Comparazione sintetica dei risultati delle prove penetrometriche statiche punta elettrica CPTU 1-2-3

I risultati delle indagini hanno permesso di ricostruire un modello geologico “allo scopo di costituire un elemento di riferimento per il progettista al fine di inquadrare i problemi geologici e per definire, eventualmente, il programma delle indagini geotecniche integrative” (§ 6.2.1, D.M. 17/01/2018).

Le prove penetrometriche sono state spinte fino alla profondità dal piano campagna di circa 8,5 m. L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di depositi di piana alluvionale prevalentemente costituiti da litotipi argilloso limosi in alternanza a livelli di limi sabbiosi. In tutte le prove realizzate, dopo 1,0 m circa di terreno vegetale/agrario alterato, si individuano materiali prevalentemente coesivi (argille limose), secondariamente alternate a presenza di livelli limoso sabbiosi e sabbie a diverse profondità. Nel corso delle prove è stata riscontrata la presenza di acqua di falda alla profondità di circa 2,00 m. dal piano di campagna.

Si riporta di seguito la documentazione fotografica delle indagini penetrometriche eseguite.



Figura 14 - Prova penetrometrica CPTU1



Figura 15 – Prova penetrometrica CPTU2



Figura 16 – Prova penetrometrica CPTU3

Sulla base dei risultati delle prove penetrometriche svolte si riporta di seguito il modello geologico di riferimento per il sito in esame:

Unità Litotecnica 1 – Argilla e limo argilloso.

Il terreno superficiale presenta uno spessore di circa 3,0/4,0 m. ed è composto da terreno prevalentemente argilloso-limoso, interessato da fenomeni di ritiro e rigonfiamento per la variazione stagionale di umidità, con conseguente sovraconsolidamento per essiccamento.

Unità Litotecnica 2 – Sabbia e limo prevalente con intercalazioni argilloso-limose.

A partire dalla base dell'Unità Litotecnica 1 e fino alla profondità di circa 5,0/7,0 metri si rinvenivano terreni prevalentemente sabbiosi e limo-sabbiosi con intercalazioni di livelli sottili di argilla limosa e limo. Lo spessore di questa unità litotecnica è molto inferiore nel punto di esecuzione della prova CPTU-2;

Unità Litotecnica 3 – Argilla limosa

A partire dalla base dell'Unità Litotecnica 2 e fino alle profondità indagata dalle prove penetrometriche (max 10 m.) si riscontrano terreni argillosi di media consistenza, che rappresentano la base sostanzialmente impermeabile per le acque di infiltrazione che attraversano i terreni superficiali e si raccolgono in una debole falda idrica freatica.

Nella seguente figura si riportano le sezioni stratigrafiche prodotte dal Dott. Angelo Angeli nel 2009 che rappresentano in modo sintetico il modello geologico preliminare di riferimento del sito.

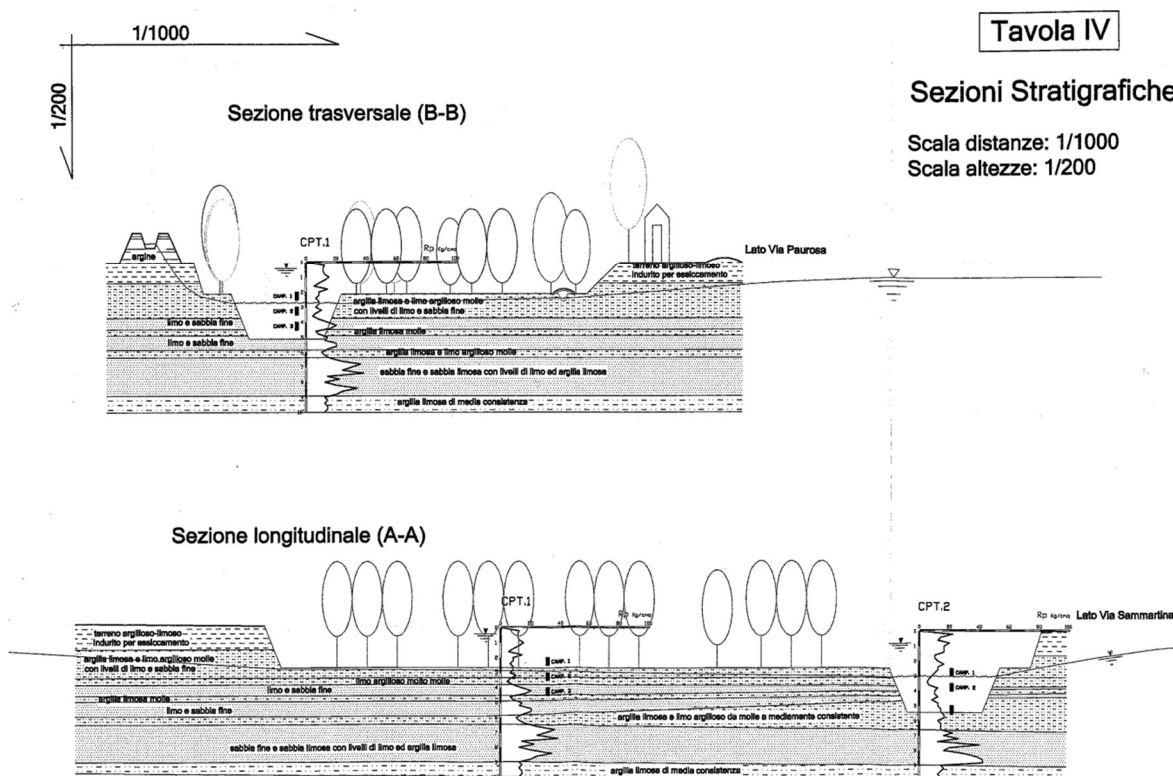


Figura 17 - Correlazione delle stratigrafie e costruzione di una sezione geologica (dott. Angelo Angeli, 2009)

Il modello preliminare è sostanzialmente confermato dai risultati desunti dalle prove penetrometriche realizzate nel mese di Aprile 2025.

Al termine della realizzazione delle prove penetrometriche è stato misurato in modo speditivo (all'interno del foro di prova) il livello di soggiacenza della falda idrica superficiale che è risultato indicativamente pari a 2,00 m. dal piano di campagna. A tale riguardo si deve rilevare che le indagini del 2009, realizzate a seguito di un periodo di pioggia intenso, hanno fatto registrare una soggiacenza molto inferiore, pari a circa 0,50 m. Sulla base delle conoscenze del sito si può ipotizzare che tali valori corrispondano indicativamente al minimo e massimo di soggiacenza, effetto delle oscillazioni stagionali prevedibili.

E' anche possibile ipotizzare la presenza di deboli infiltrazioni dal Canale dei Molini che comporterebbero una alimentazione del livello di falda, con conseguente lieve innalzamento della soggiacenza nella porzione Ovest-Nord/Ovest dell'area in esame.

I risultati delle prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTU) svolte sono riportati nell'allegato 4.

Indagini geofisiche

Per quanto riguarda le caratteristiche sismiche dei terreni del sito in esame, si è provveduto ad eseguire le seguenti indagini geofisiche:

- n° 1 profilo sismico MASW/REMI
- n° 1 lettura a stazione singola HVSR

Le analisi dei segnali hanno permesso la ricostruzione del profilo delle onde di taglio relative al sito in esame.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti.

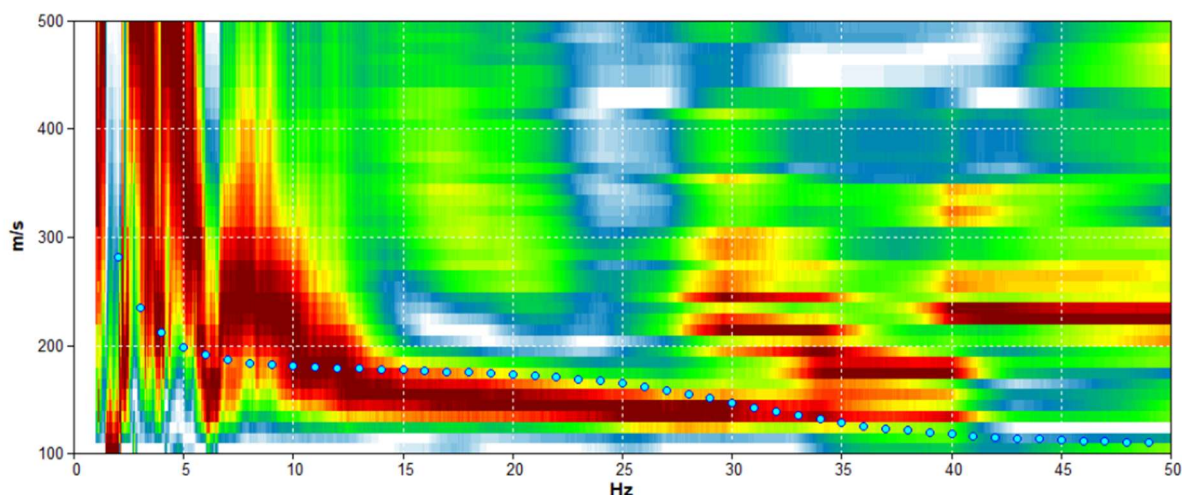


Figura 18 - Spettro dell'indagine MASW/REMI

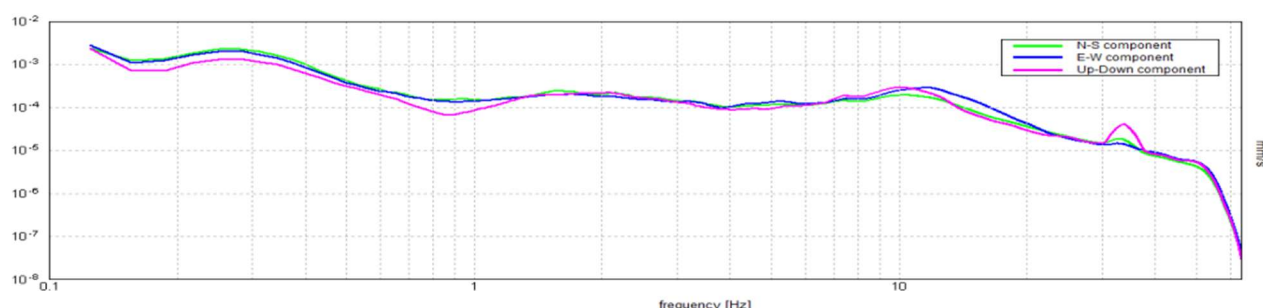


Figura 19 – Spettri in frequenza delle singole componenti (HVSR)

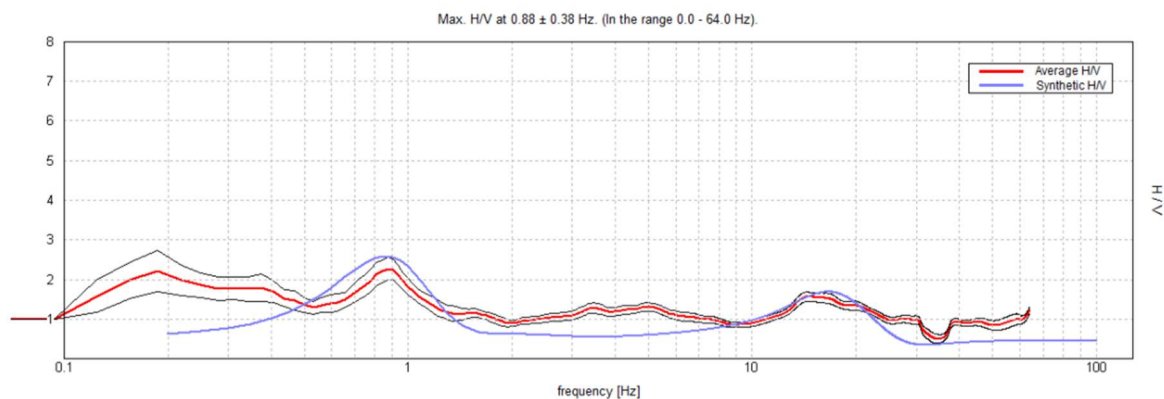


Figura 20 – Modello sperimentale e modello sintetico dei rapporti spettrali

L'elaborazione delle prove con metodo MASW/REMI e HVSR hanno permesso di ricostruire il profilo sismico del sito in esame, sintetizzato in Tabella 1.

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.50	1.50	110
7.50	6.00	200
15.50	8.00	190
30.50	15.00	225
60.50	30.00	280
90.50	30.00	330
inf.	inf.	430

Tabella 1 - Modello del profilo verticale di velocità delle onde di taglio S

$$V_{s_eq}(0.0-30.0) = 200 \text{ m/s}$$

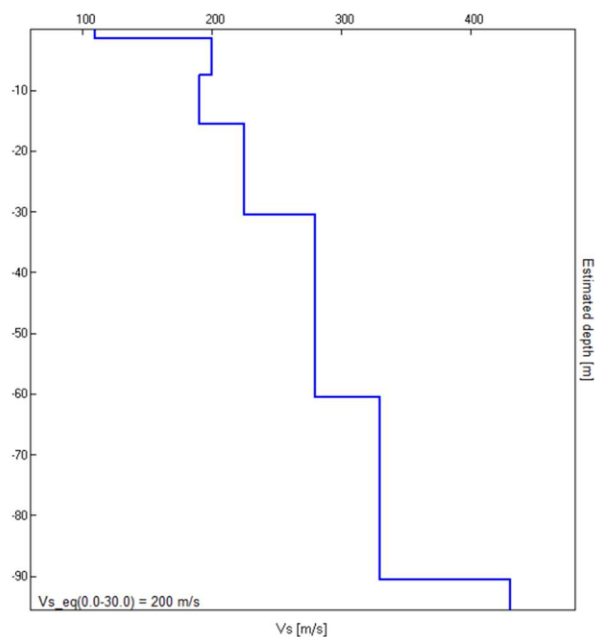


Figura 21 – Profilo verticale delle velocità delle onde di taglio con la profondità (MASW/REMI e HVSR)

Le prove eseguite evidenziano un generale aumento delle velocità V_s con la profondità, fino al raggiungimento di un contrasto di impedenza rilevato ad una frequenza di circa $0.7 \div 0.8$ Hz. Si riporta di seguito la documentazione fotografica delle indagini sismiche eseguite.



Figura 22 – Indagine sismica attiva con metodologia MASW/REMI



Figura 23 – Indagine sismica passiva con metodologia HVSR

Per un maggiore approfondimento dei risultati delle indagini sismiche e delle metodologie impiegate si rimanda all'Allegato 5.

Indagini geotecniche di laboratorio

Il piano di indagine ha previsto il prelievo di campioni indisturbati di terreno da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio.

I campioni di terreno indisturbati (S1C1 e S1C2) sono stati prelevati rispettivamente in prossimità delle prove penetrometriche CPTU2 e CPTU3 (cfr. Figura 5), alla profondità compresa tra m. 1.20÷1.60 dal piano campagna. Su ciascun campione sono state eseguite prove per la determinazione del peso di volume umido e secco ed il grado di umidità (rif. Norma UNI CEN ISO/TS 17892-2), prove per la determinazione dei limiti liquido e plastico (rif. Norma CNR-UNI 10014 – BS 1377), analisi granulometrica per setacciatura e sedimentazione (rif. Norma UNI CEN ISO/TS 17892-4 CNR A. V n. 23), di taglio diretto in scatola di Casagrande (rif. Norma UNI CEN ISO/TS 17892-10).

La Tabella 2 riporta la sintesi dei risultati ottenuti con le prove di laboratorio geotecnico:

id _{campione}	Prof. Campione (m da p.c.)	Limite liquido (%)	Limite plasti co (%)	C' (kPa)	Phi (°)	Umid. (%)	Massa vol. umida (kg/m ³)	Massa vol. secca (kg/m ³)
Camp. 1 - S1C1	1,20/1,60	53	28	19,99	24,55	25,35	1796,40	1433,08
Camp. 2 - S1C2	1,20/1,60	51	28	8,61	24,64	26,35	1774,18	1404,12

Tabella 2 – Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio geotecnico

Per un maggiore approfondimento delle prove geotecniche di laboratorio si rimanda all'Allegato 6.

8. CONSIDERAZIONI DI CARATTERE CONCLUSIVO

Nel territorio del comune di Lugo (RA), nell'area di Parco Golferia (in adiacenza alla Via Sanmartina, via Paurosa e Via Canale Superiore Sinistra), è stata effettuata una campagna di indagini geologiche, geotecniche e geofisiche al fine di caratterizzare i terreni ivi presenti, interessati dal progetto di ampliamento e completamento di una vasca esistente per la laminazione del Canale Brignani.

In via preliminare sono state verificate le caratteristiche geologiche del sottosuolo mediante conoscenze dirette sui materiali che costituiscono l'area e informazioni reperite dalla letteratura specializzata. Quindi si è proceduto ad eseguire una campagna geognostica caratterizzata dall'esecuzione di:

- n° 3 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono (CPTUn)
- n° 1 profilo sismico (MASW/REMI)
- n° 1 lettura a stazione singola (HVSr)
- n° 2 analisi di laboratorio su n. 2 campioni di terreno prelevati nel corso delle CPTu

Dal punto di vista stratigrafico il sito in esame è caratterizzato dalla presenza di depositi di piana alluvionale costituiti prevalentemente da argille limose e sabbie appartenenti al Subsistema di Ravenna. In particolare, sono stati individuati 4 litotipi principali caratterizzanti l'area in esame come riportato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** che sintetizza il modello geologico e geotecnico del sito ed i parametri geotecnici ricavati dalle indagini geognostiche e di laboratorio svolte.

UNITA' LITOLOGICA	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	cu (kPa)	C' (kPa)	Modulo edometrico (MPa)	Permeab. K _{sbt} (m/s)	Limite liquido %	Limite plastico %
A Terreno veget./agr.	18	-	-	-	-			
B Argille limose	17	24	60	15	10/15	10 ⁻⁷ /10 ⁻⁸	52	28
C Limi sabbiosi	18	28	-	-	30/40	10 ⁻⁵ /	n.d.	n.d.
D Argille limose	18	24	80	n.d.	25/30	10 ⁻⁷ /	n.d.	n.d.

I dati geotecnici devono essere intesi come valori medi di riferimento relativi a ciascun litotipo.

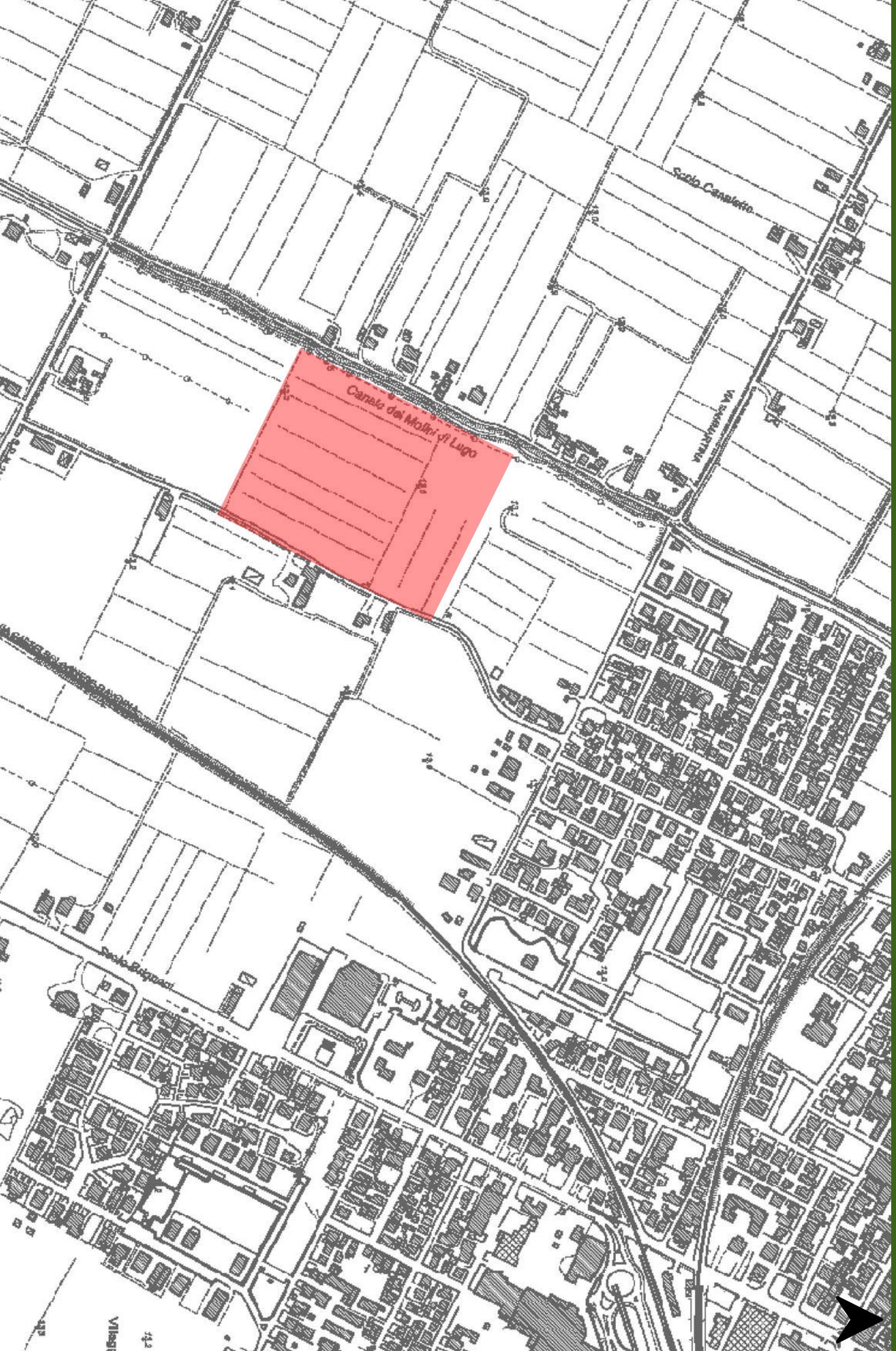
Dal punto di vista sismico le indagini svolte evidenziano un generale aumento delle velocità Vs con la profondità, fino al raggiungimento di un contrasto di impedenza rilevato ad una frequenza di circa 0.7÷0.8 Hz. La VS media per i primi 30 metri è pari a 200 m/sec

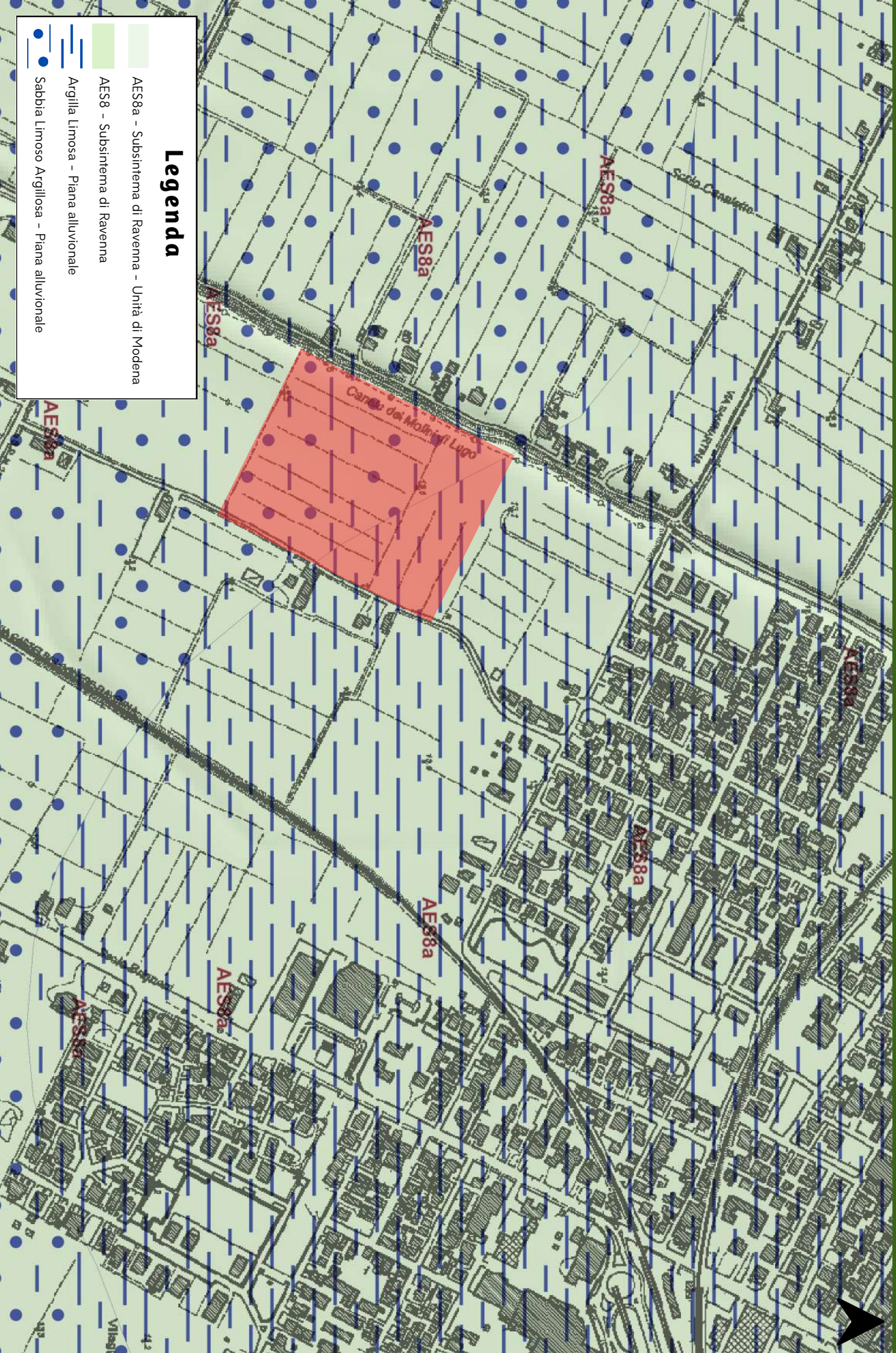
In base ai risultati delle indagini, si ritiene che non esistano vincoli per la realizzazione delle opere in progetto, ritenendo questi interventi compatibili con le condizioni di stabilità dell'area.

Allegati:

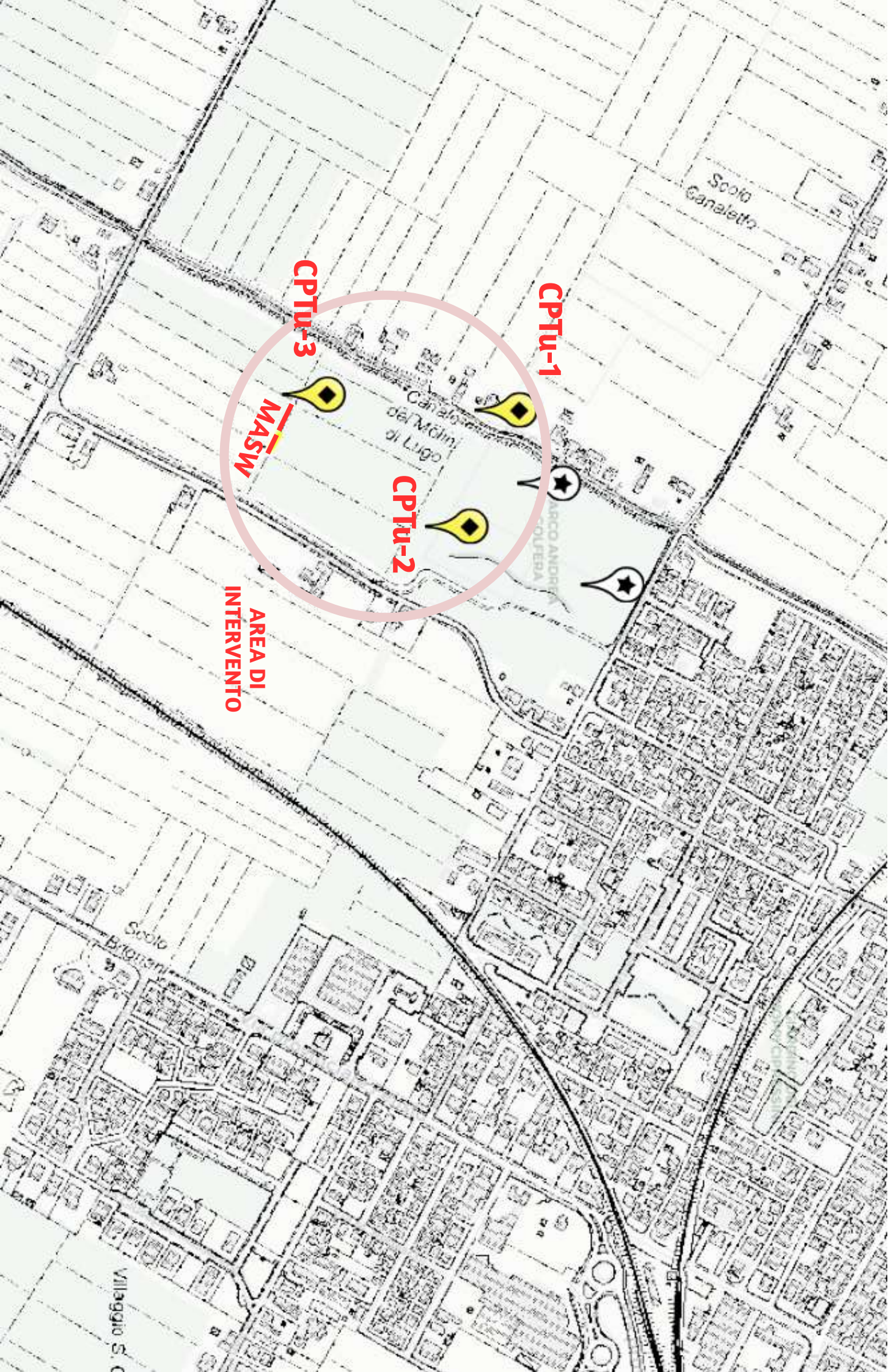
- 1) Inquadramento geografico (CTR scala 1:5.000);
- 2) Carta Geologica (scala 1:5.000);
- 3) Ubicazione indagini (CTR scala 1:5.000);
- 4) Risultati delle prove penetrometriche statiche punta elettrica CPTU;
- 5) Risultati delle prove geofisiche (H/V e MASW);
- 6) Risultati delle indagini di laboratorio.

ALLEGATI





ALL. 3 UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE (SCALA 1:5.000)



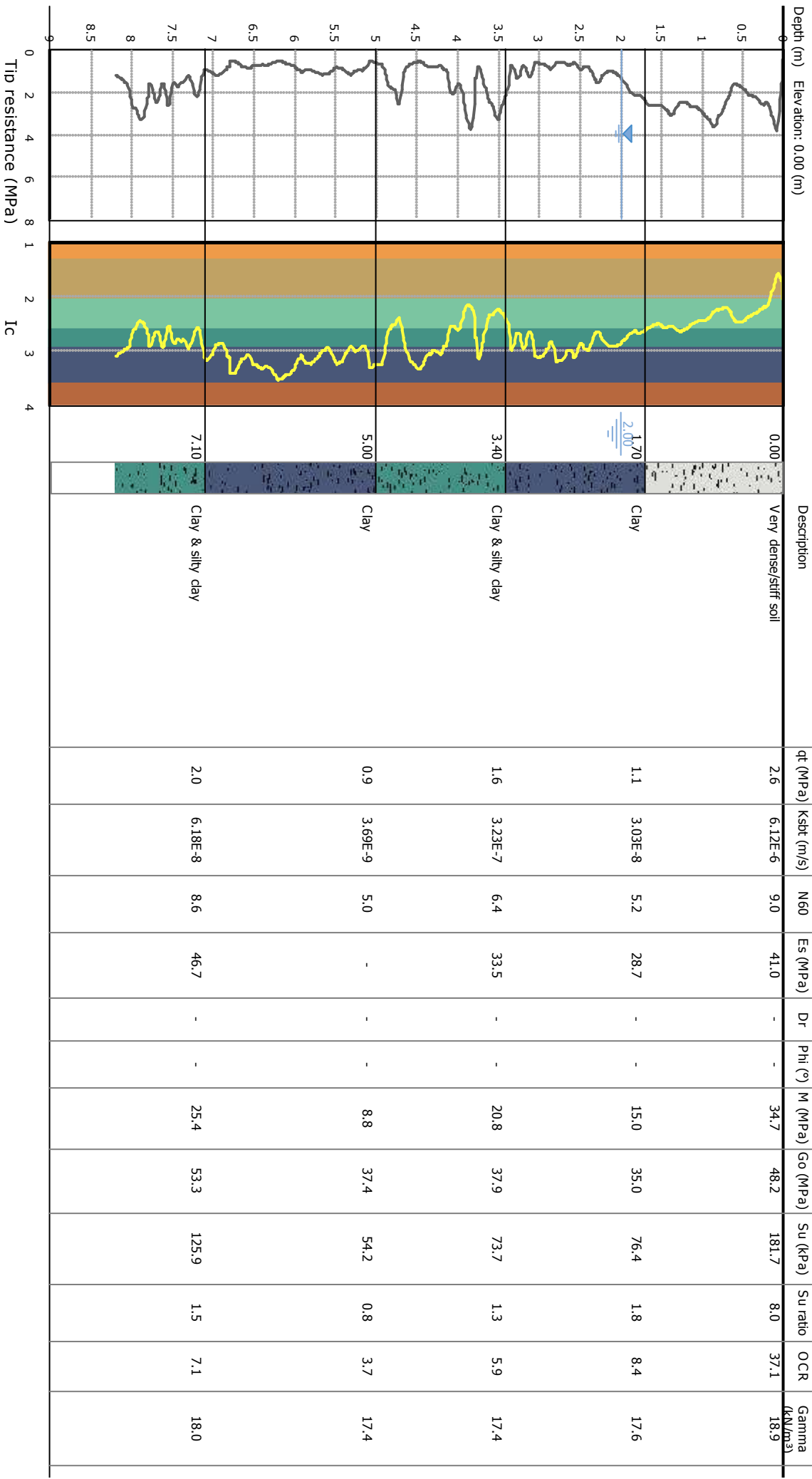


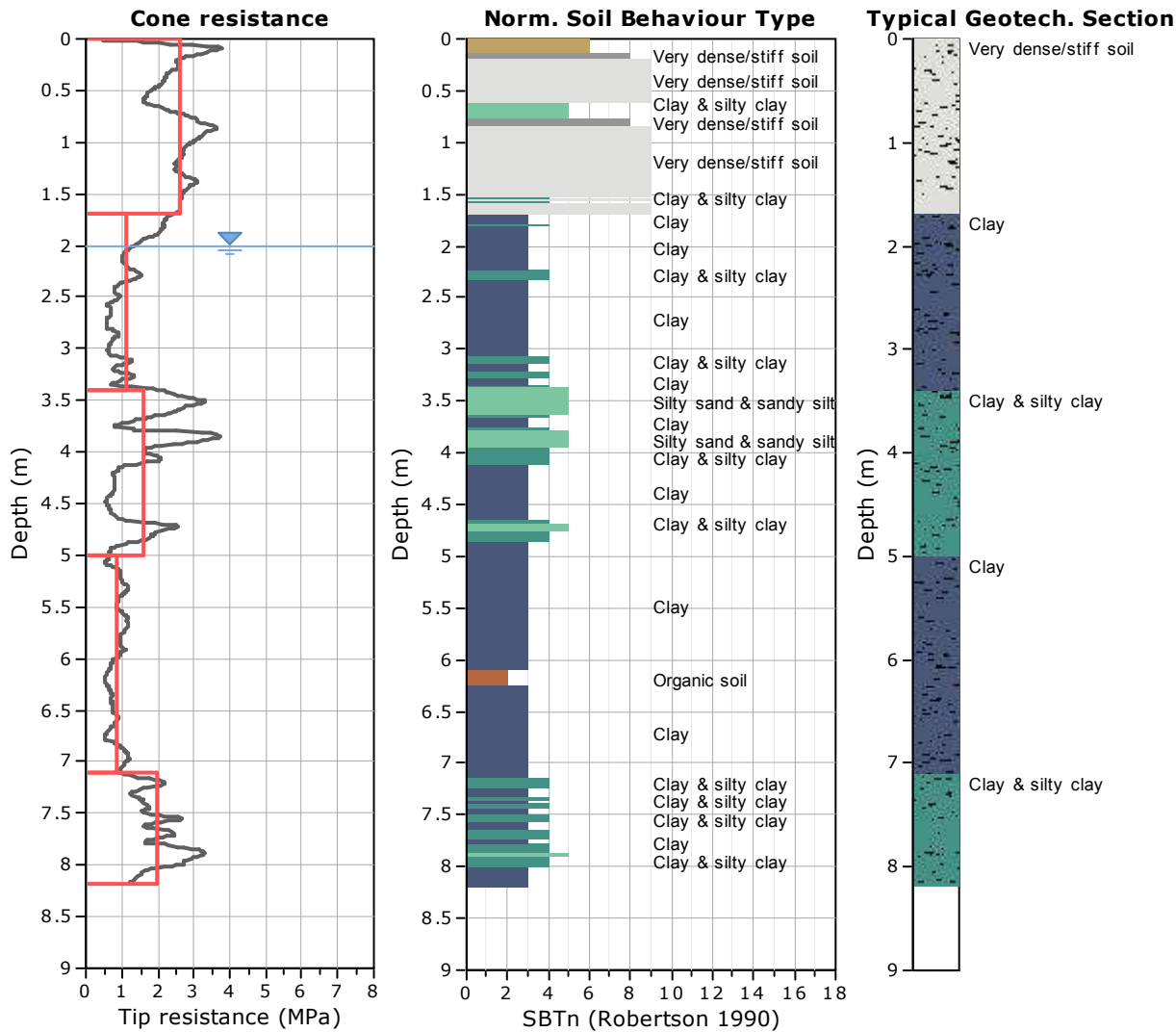
RDR s.r.l
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

CPT: cptu1

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

Total depth: 8.19 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: Layer_1 **Start depth:** 0.00 (m), **End depth:** 1.70 (m)

Description: Very dense/stiff soil

Basic results

Total cone resistance: 2.61 ±0.53 MPa

Sleeve friction: 135.50 ±50.84 kPa

SBT_n: 9

SBT_n description: Very dense/stiff soil

Estimation results

Permeability: 6.12E-06 ±2.12E-05 m/s

N₆₀: 8.97 ±2.05 blows

Es: 40.98 ±9.68 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.88 ±0.63 kN/m³

Constrained Mod.: 34.71 ±7.60 MPa

Go: 48.21 ±14.41 MPa

Su: 181.71 ±32.51 kPa

Su ratio: 8.04 ±2.99

O.C.R.: 37.12 ±13.79

::: Layer No: 2 :::**Code:** Layer_2 **Start depth:** 1.70 (m), **End depth:** 3.40 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.13 ±0.49 MPa

Sleeve friction: 60.14 ±35.05 kPa

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

Permeability: 3.03E-08 ±4.00E-08 m/s

N60: 5.16 ±1.79 blows

Es: 28.67 ±28.67 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.56 ±0.69 kN/m³

Constrained Mod.: 15.00 ±7.10 MPa

Go: 35.02 ±9.61 MPa

Su: 76.43 ±35.30 kPa

Su ratio: 1.81 ±0.96

O.C.R.: 8.38 ±4.42

::: Layer No: 3 :::**Code:** Layer_3 **Start depth:** 3.40 (m), **End depth:** 5.00 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.60 ±0.91 MPa

Sleeve friction: 43.18 ±8.44 kPa

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

Permeability: 3.23E-07 ±5.55E-07 m/s

N60: 6.35 ±2.21 blows

Es: 33.48 ±2.25 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.42 ±0.34 kN/m³

Constrained Mod.: 20.81 ±13.39 MPa

Go: 37.92 ±6.72 MPa

Su: 73.66 ±35.23 kPa

Su ratio: 1.28 ±0.58

O.C.R.: 5.91 ±2.68

::: Layer No: 4 :::**Code:** Layer_4 **Start depth:** 5.00 (m), **End depth:** 7.10 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.87 ±0.20 MPa

Sleeve friction: 50.81 ±15.97 kPa

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

Permeability: 3.69E-09 ±3.96E-09 m/s

N60: 5.03 ±0.77 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.38 ±0.40 kN/m³

Constrained Mod.: 8.77 ±4.09 MPa

Go: 37.37 ±5.06 MPa

Su: 54.21 ±14.19 kPa

Su ratio: 0.80 ±0.23

O.C.R.: 3.69 ±1.04

::: Layer No: 5 :::**Code:** Layer_5 **Start depth:** 7.10 (m), **End depth:** 8.19 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.96 ±0.59 MPa

Sleeve friction: 63.35 ±14.44 kPa

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

Permeability: 6.18E-08 ±7.39E-08 m/s

N60: 8.56 ±1.74 blows

Es: 46.71 ±5.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.97 ±0.33 kN/m³

Constrained Mod.: 25.44 ±8.41 MPa

Go: 53.31 ±7.41 MPa

Su: 125.91 ±37.93 kPa

Su ratio: 1.54 ±0.43

O.C.R.: 7.11 ±2.01



RDR s.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

CPT: cptu1
Total depth: 8.19 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{ISO} (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)
0.00 1.70	1.70	6.12E-06 (±2.12E-05)	9.0 (±2.0)	41.0 (±9.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	34.7 (±7.6)	48.2 (±14.4)	181.7 (±32.5)	8.0 (±3.0)	37.1 (±13.8)	18.9 (±0.6)
1.70 3.40	1.70	3.03E-08 (±4.00E-08)	5.2 (±1.8)	28.7 (±28.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	15.0 (±7.1)	35.0 (±9.6)	76.4 (±35.3)	1.8 (±1.0)	8.4 (±4.4)	17.6 (±0.7)
3.40 5.00	1.60	3.23E-07 (±5.55E-07)	6.4 (±2.2)	33.5 (±2.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	20.8 (±13.4)	37.9 (±6.7)	73.7 (±35.2)	1.3 (±0.6)	5.9 (±2.7)	17.4 (±0.3)
5.00 7.10	2.10	3.69E-09 (±3.96E-09)	5.0 (±0.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	8.8 (±4.1)	37.4 (±5.1)	54.2 (±14.2)	0.8 (±0.2)	3.7 (±1.0)	17.4 (±0.4)
7.10 8.19	1.09	6.18E-08 (±7.39E-08)	8.6 (±1.7)	46.7 (±5.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	25.4 (±8.4)	53.3 (±7.4)	125.9 (±37.9)	1.5 (±0.4)	7.1 (±2.0)	18.0 (±0.3)

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



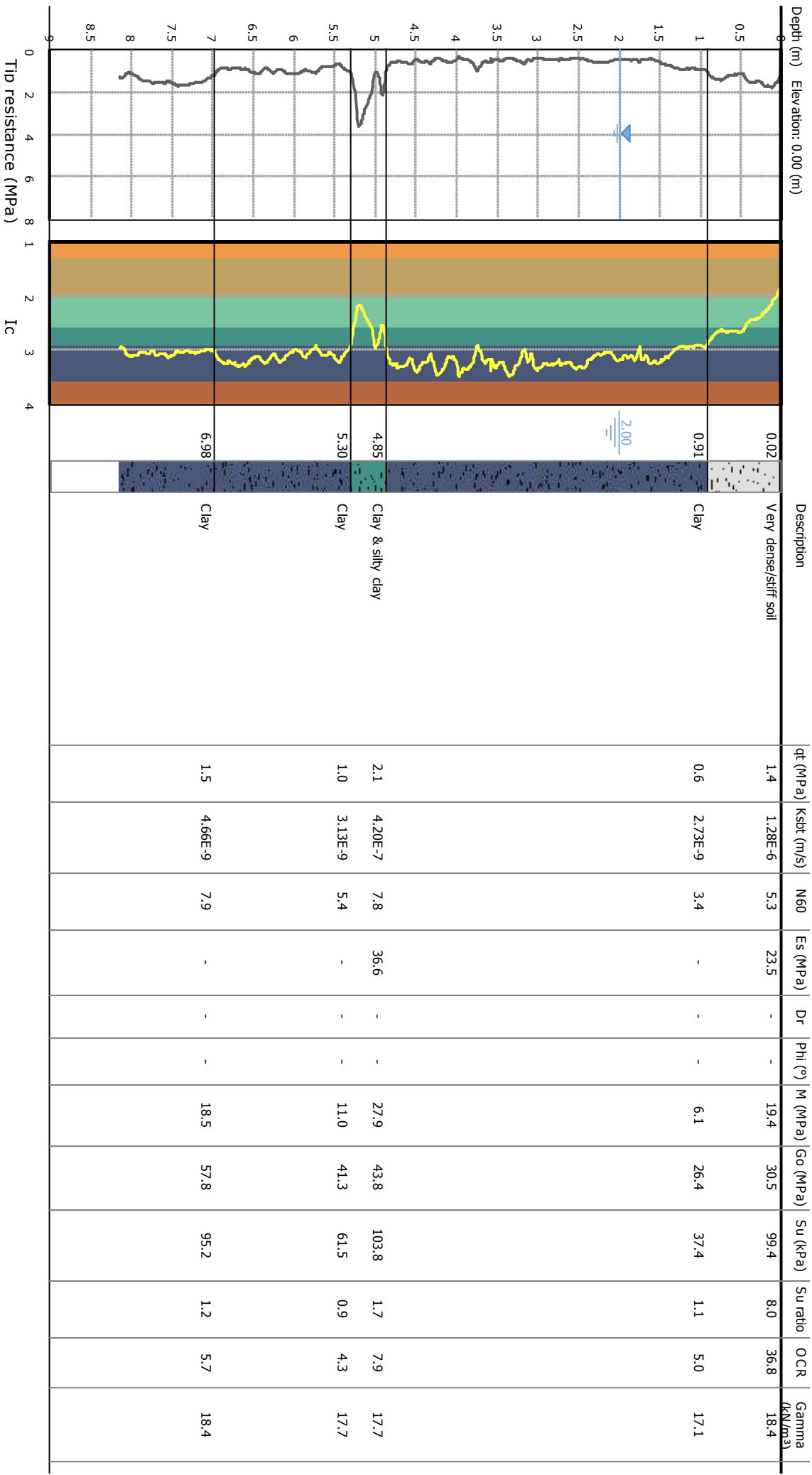
RDR s.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

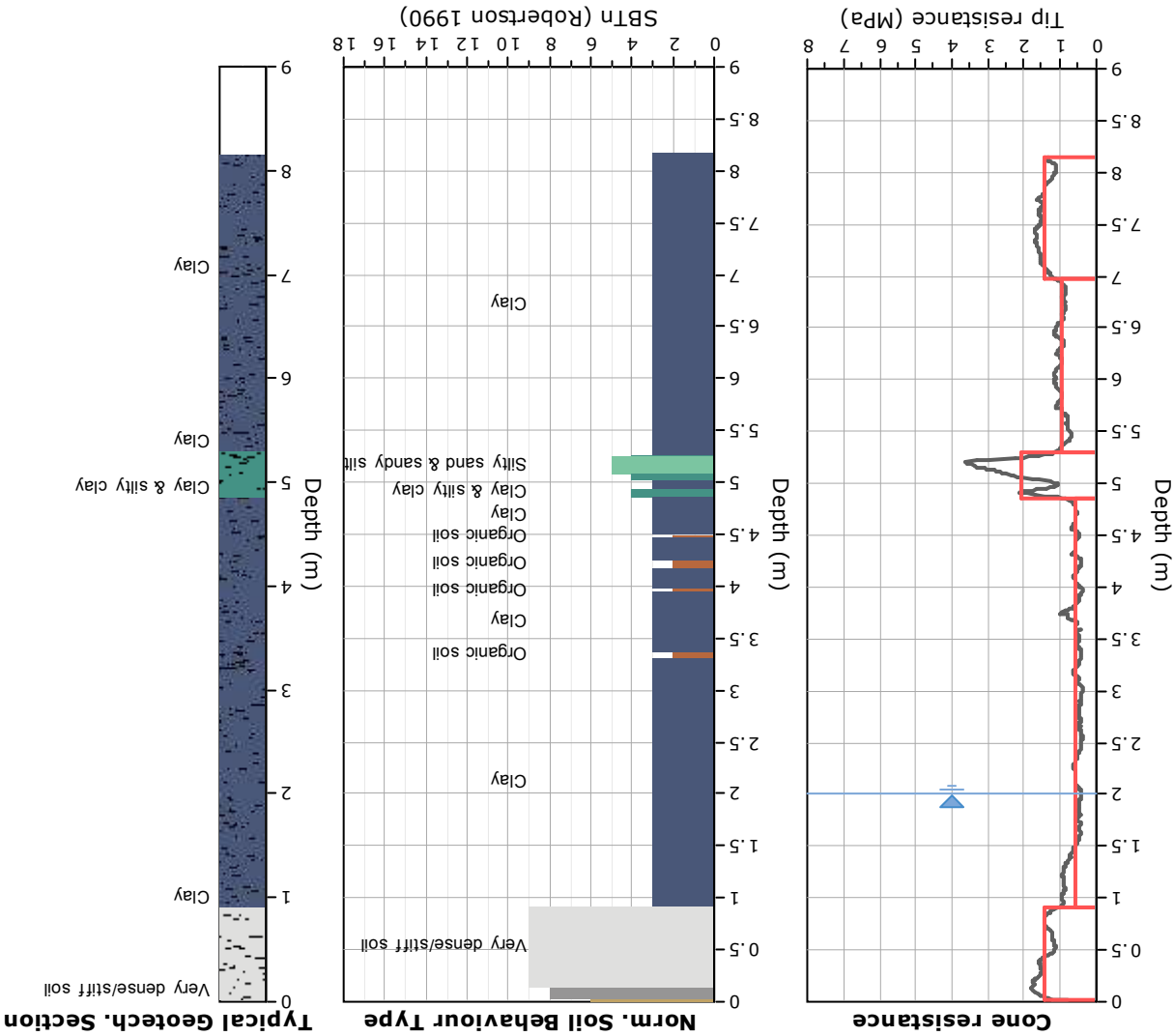
CPT: cptu2

Total depth: 8.15 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown





Tabular results

:: Layer No: 1 ::		
Code: Layer_1	Start depth: 0.02 (m), End depth: 0.91 (m)	Description: Very dense/stiff soil
Basic results		
Total cone resistance: 1.42 ±0.20 MPa	Sleeve friction: 101.50 ±24.30 kPa	SBTn: 9
SBTn description: Very dense/stiff soil		
Estimation results		
Permeability: 1.28E-06 ±3.14E-06 m/s	N60: 5.29 ±0.67 blows	ES: 23.49 ±1.44 MPa
Constrained Mod.: 19.36 ±2.92 MPa	Go: 30.46 ±5.98 MPa	Su: 99.36 ±13.67 kPa
Su ratio: 7.97 ±3.20		
O.C.R.: 36.83 ±14.80		
Unit weight: 18.39 ±0.35 kN/m³		

:: Layer No: 2 ::**Code:** Layer_2 **Start depth:** 0.91 (m), **End depth:** 4.85 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.57 ±0.16 MPa

Sleeve friction: 47.85 ±26.43 kPa

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

Permeability: 2.73E-09 ±2.91E-09 m/s

N60: 3.40 ±0.66 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.09 ±0.57 kN/m³

Constrained Mod.: 6.12 ±3.00 MPa

Go: 26.38 ±4.25 MPa

Su: 37.42 ±11.75 kPa

Su ratio: 1.08 ±0.77

O.C.R.: 4.99 ±3.57

:: Layer No: 3 ::**Code:** Layer_3 **Start depth:** 4.85 (m), **End depth:** 5.30 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 2.08 ±0.84 MPa

Sleeve friction: 48.12 ±6.97 kPa

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

Permeability: 4.20E-07 ±6.12E-07 m/s

N60: 7.78 ±2.00 blows

Es: 36.59 ±2.67 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.68 ±0.23 kN/m³

Constrained Mod.: 27.95 ±11.92 MPa

Go: 43.80 ±5.53 MPa

Su: 103.79 ±31.38 kPa

Su ratio: 1.72 ±0.46

O.C.R.: 7.93 ±2.15

:: Layer No: 4 ::**Code:** Layer_4 **Start depth:** 5.30 (m), **End depth:** 6.98 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.97 ±0.13 MPa

Sleeve friction: 62.95 ±15.51 kPa

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

Permeability: 3.13E-09 ±2.24E-09 m/s

N60: 5.41 ±0.72 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.70 ±0.34 kN/m³

Constrained Mod.: 10.99 ±2.66 MPa

Go: 41.34 ±5.22 MPa

Su: 61.46 ±8.88 kPa

Su ratio: 0.93 ±0.14

O.C.R.: 4.30 ±0.65

:: Layer No: 5 ::**Code:** Layer_5 **Start depth:** 6.98 (m), **End depth:** 8.15 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.47 ±0.17 MPa

Sleeve friction: 100.56 ±28.04 kPa

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

Permeability: 4.66E-09 ±1.38E-09 m/s

N60: 7.90 ±0.99 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.38 ±0.41 kN/m³

Constrained Mod.: 18.45 ±2.86 MPa

Go: 57.82 ±7.66 MPa

Su: 95.24 ±12.38 kPa

Su ratio: 1.23 ±0.18

O.C.R.: 5.67 ±0.84



RDR s.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

CPT: cptu2
Total depth: 8.15 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{ISO} (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)
0.02 0.91	0.89	1.28E-06 (±3.14E-06)	5.3 (±0.7)	23.5 (±1.4)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.4 (±2.9)	30.5 (±6.0)	99.4 (±13.7)	8.0 (±3.2)	36.8 (±14.8)	18.4 (±0.4)
0.91 4.85	3.94	2.73E-09 (±2.91E-09)	3.4 (±0.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	6.1 (±3.0)	26.4 (±4.2)	37.4 (±11.7)	1.1 (±0.8)	5.0 (±3.6)	17.1 (±0.6)
4.85 5.30	0.45	4.20E-07 (±6.12E-07)	7.8 (±2.0)	36.6 (±2.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	27.9 (±11.9)	43.8 (±5.5)	103.8 (±31.4)	1.7 (±0.5)	7.9 (±2.1)	17.7 (±0.2)
5.30 6.98	1.68	3.13E-09 (±2.24E-09)	5.4 (±0.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	11.0 (±2.7)	41.3 (±5.2)	61.5 (±8.9)	0.9 (±0.1)	4.3 (±0.7)	17.7 (±0.3)
6.98 8.15	1.17	4.66E-09 (±1.38E-09)	7.9 (±1.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.5 (±2.9)	57.8 (±7.7)	95.2 (±12.4)	1.2 (±0.2)	5.7 (±0.8)	18.4 (±0.4)

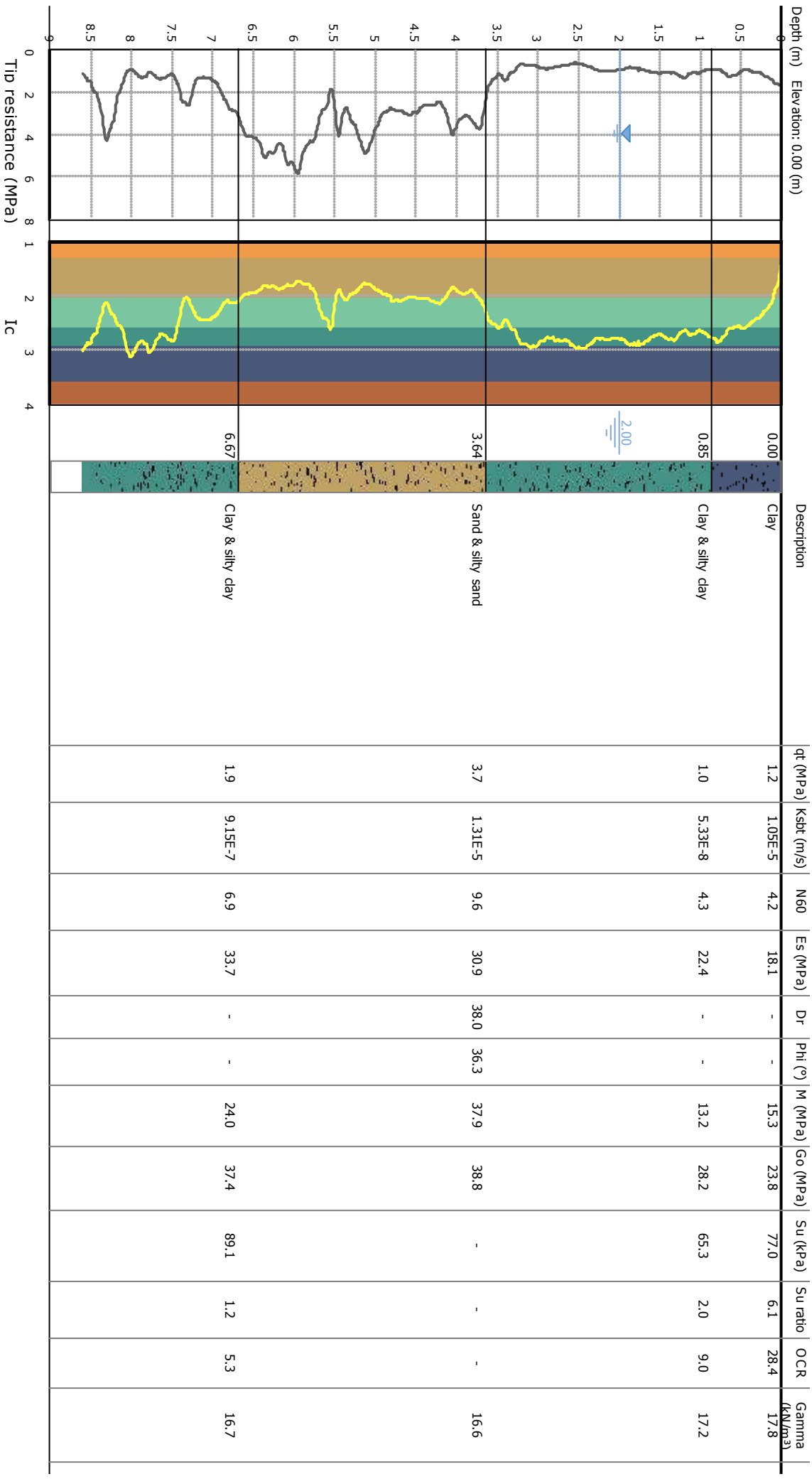
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

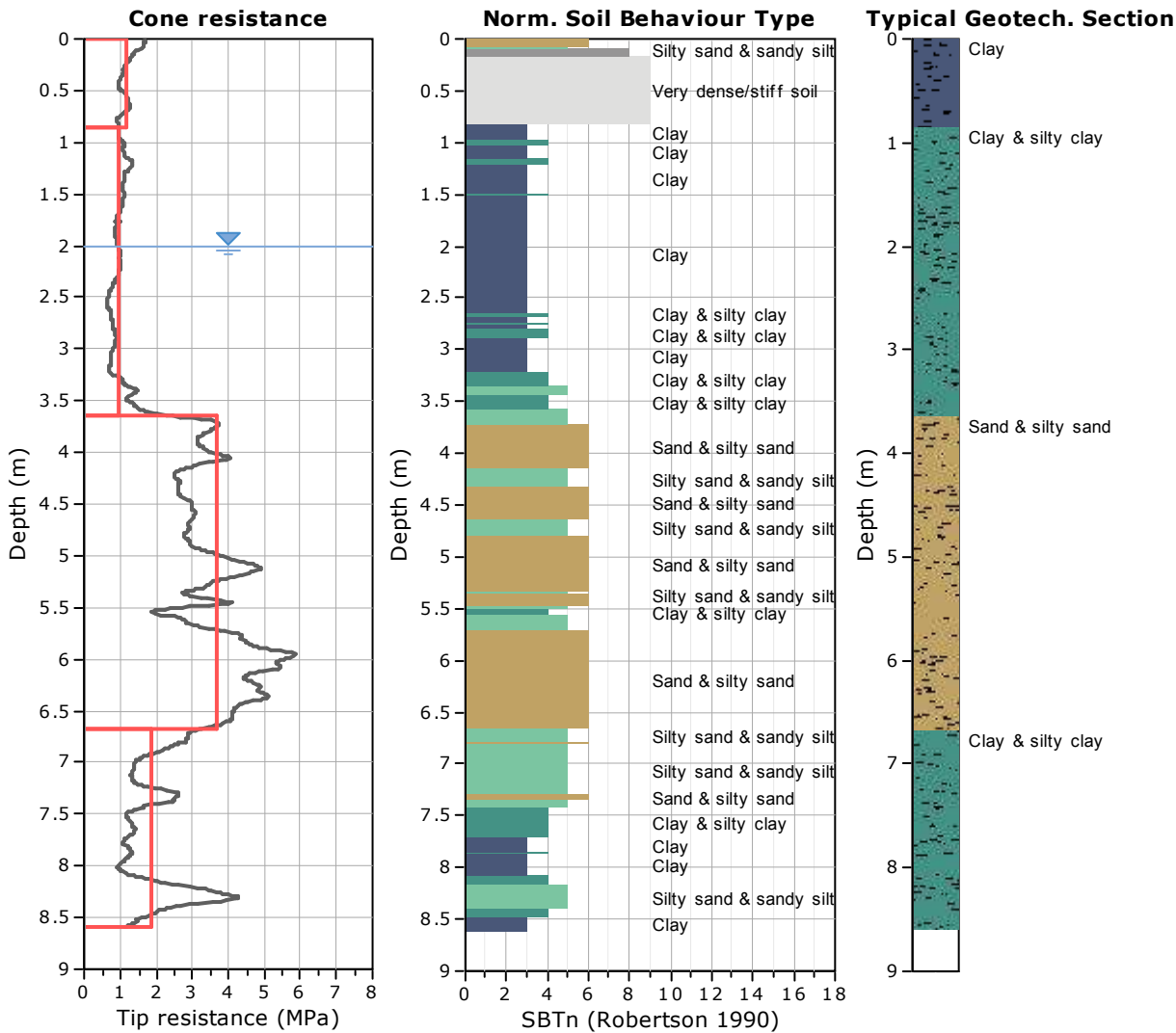


RDR s.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu3
Total depth: 8.60 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: Layer_1 **Start depth:** 0.00 (m), **End depth:** 0.85 (m)

Description: Clay

Basic results

Total cone resistance: 1.18 ± 0.22 MPa

Sleeve friction: 68.69 ± 25.77 kPa

SBT_n: 9

SBT_n description: Very dense/stiff soil

Estimation results

Permeability: $1.05E-05 \pm 4.68E-05$ m/s

N₆₀: 4.24 ± 0.48 blows

E_s: 18.07 ± 2.16 MPa

Dr (%): 0.00 ± 0.00

φ (degrees): 0.00 ± 0.00 °

Unit weight: 17.80 ± 0.54 kN/m³

Constrained Mod.: 15.29 ± 2.05 MPa

Go: 23.79 ± 5.74 MPa

Su: 76.97 ± 8.28 kPa

Su ratio: 6.15 ± 1.59

O.C.R.: 28.41 ± 7.33

:: Layer No: 2 ::**Code:** Layer_2 **Start depth:** 0.85 (m), **End depth:** 3.64 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.99 ±0.24 MPa

Sleeve friction: 43.61 ±19.65 kPa

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

Permeability: 5.33E-08 ±8.37E-08 m/s

N60: 4.35 ±0.77 blows

Es: 22.43 ±1.75 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.19 ±0.56 kN/m³

Constrained Mod.: 13.25 ±3.34 MPa

Go: 28.25 ±3.40 MPa

Su: 65.31 ±13.33 kPa

Su ratio: 1.95 ±0.81

O.C.R.: 9.01 ±3.73

:: Layer No: 3 ::**Code:** Layer_3 **Start depth:** 3.64 (m), **End depth:** 6.67 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 3.66 ±0.90 MPa

Sleeve friction: 17.14 ±9.86 kPa

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

Permeability: 1.31E-05 ±1.09E-05 m/s

N60: 9.60 ±1.67 blows

Es: 30.89 ±4.20 MPa

Dr (%): 37.98 ±3.45

φ (degrees): 36.30 ±0.86 °

Unit weight: 16.63 ±0.46 kN/m³

Constrained Mod.: 37.92 ±4.94 MPa

Go: 38.81 ±5.28 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

:: Layer No: 4 ::**Code:** Layer_4 **Start depth:** 6.67 (m), **End depth:** 8.60 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.89 ±0.81 MPa

Sleeve friction: 26.83 ±16.72 kPa

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

Permeability: 9.15E-07 ±1.39E-06 m/s

N60: 6.91 ±1.94 blows

Es: 33.69 ±4.57 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.66 ±0.95 kN/m³

Constrained Mod.: 23.97 ±11.15 MPa

Go: 37.42 ±9.22 MPa

Su: 89.11 ±23.94 kPa

Su ratio: 1.15 ±0.28

O.C.R.: 5.34 ±1.28



RDR s.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

CPT: cptu3

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

Total depth: 8.60 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

Summary table of mean values

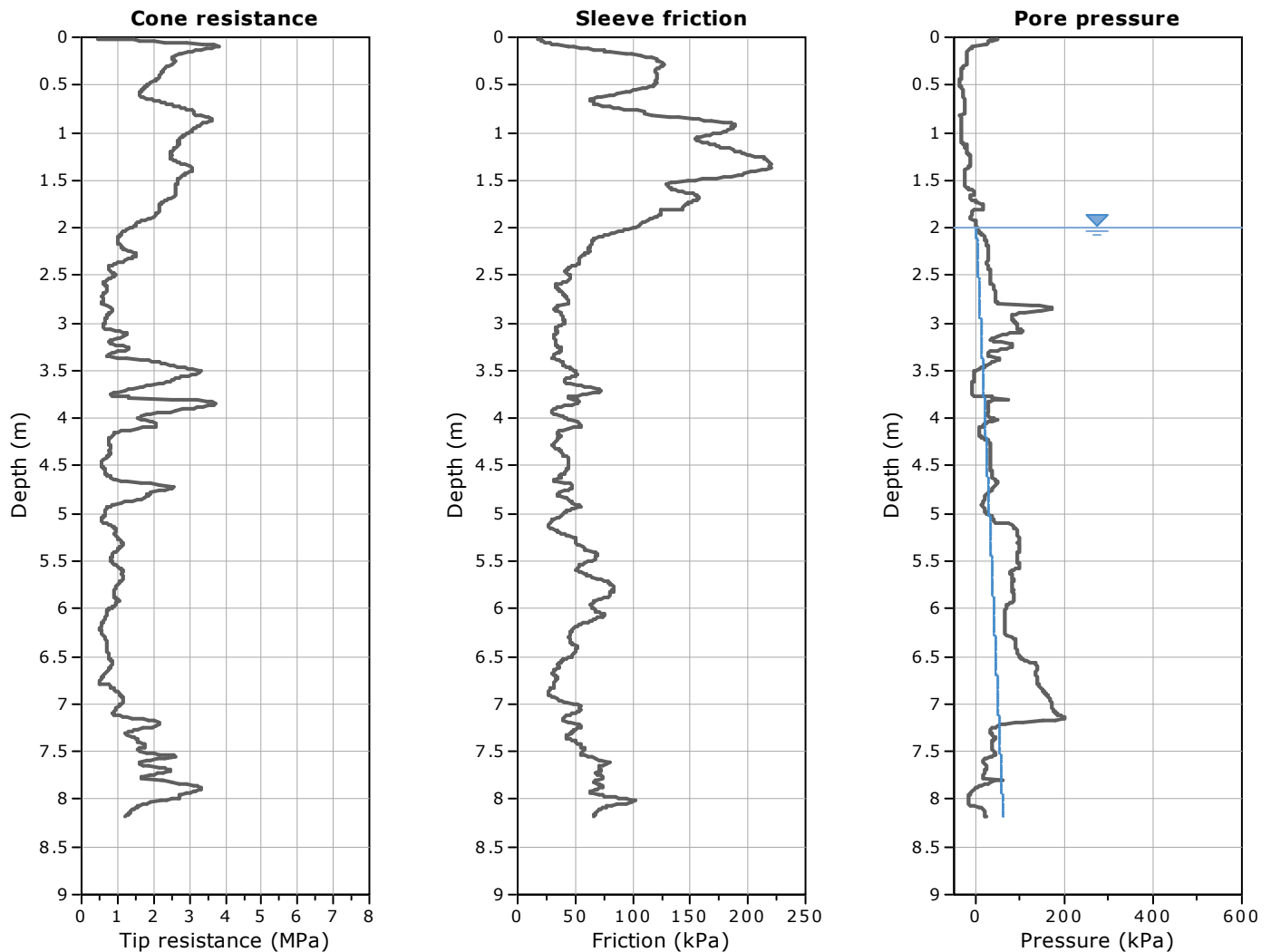
From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.00	0.85	1.05E-05	4.2	18.1	0.0	0.0	15.3	23.8	77.0	6.1	28.4	17.8
0.85		(±4.68E-05)	(±0.5)	(±2.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.1)	(±5.7)	(±8.3)	(±1.6)	(±7.3)	(±0.5)
0.85	2.79	5.33E-08	4.3	22.4	0.0	0.0	13.2	28.2	65.3	2.0	9.0	17.2
3.64		(±8.37E-08)	(±0.8)	(±1.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.3)	(±3.4)	(±13.3)	(±0.8)	(±3.7)	(±0.6)
3.64	3.03	1.31E-05	9.6	30.9	38.0	36.3	37.9	38.8	0.0	0.0	0.0	16.6
6.67		(±1.09E-05)	(±1.7)	(±4.2)	(±3.5)	(±0.9)	(±4.9)	(±5.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
6.67	1.93	9.15E-07	6.9	33.7	0.0	0.0	24.0	37.4	89.1	1.2	5.3	16.7
8.60		(±1.39E-06)	(±1.9)	(±4.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±11.1)	(±9.2)	(±23.9)	(±0.3)	(±1.3)	(±0.9)

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

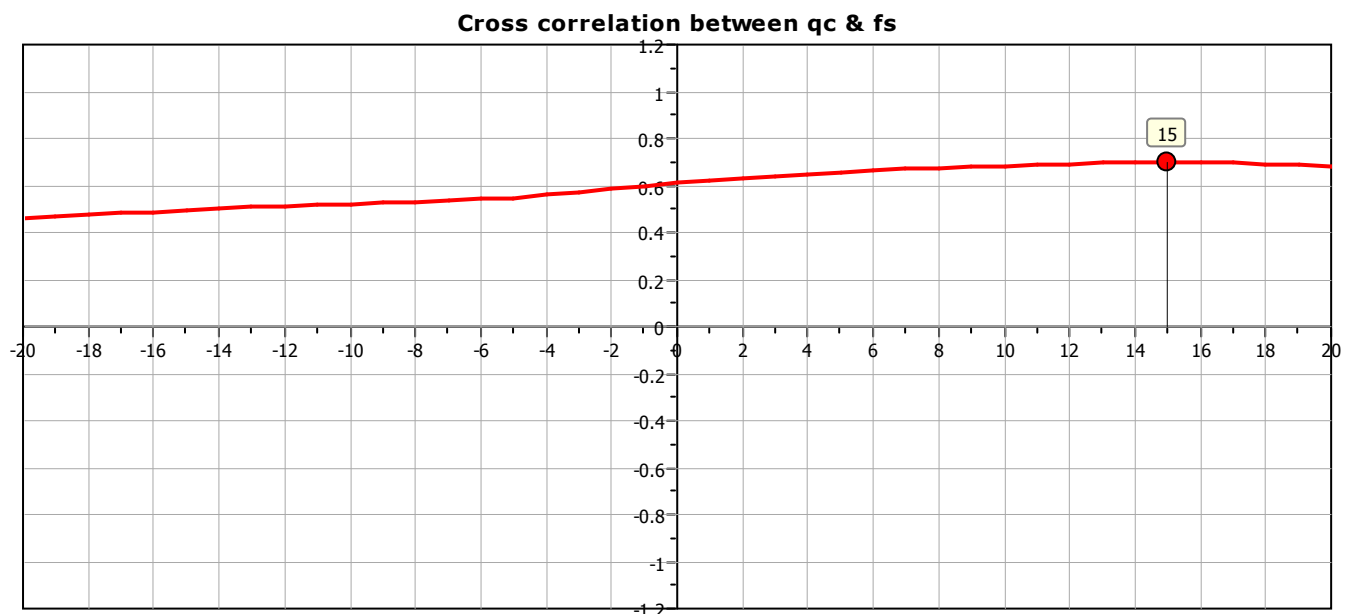


Project: Indagini geotecniche

Location: Lugo vasca laminazione 2



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



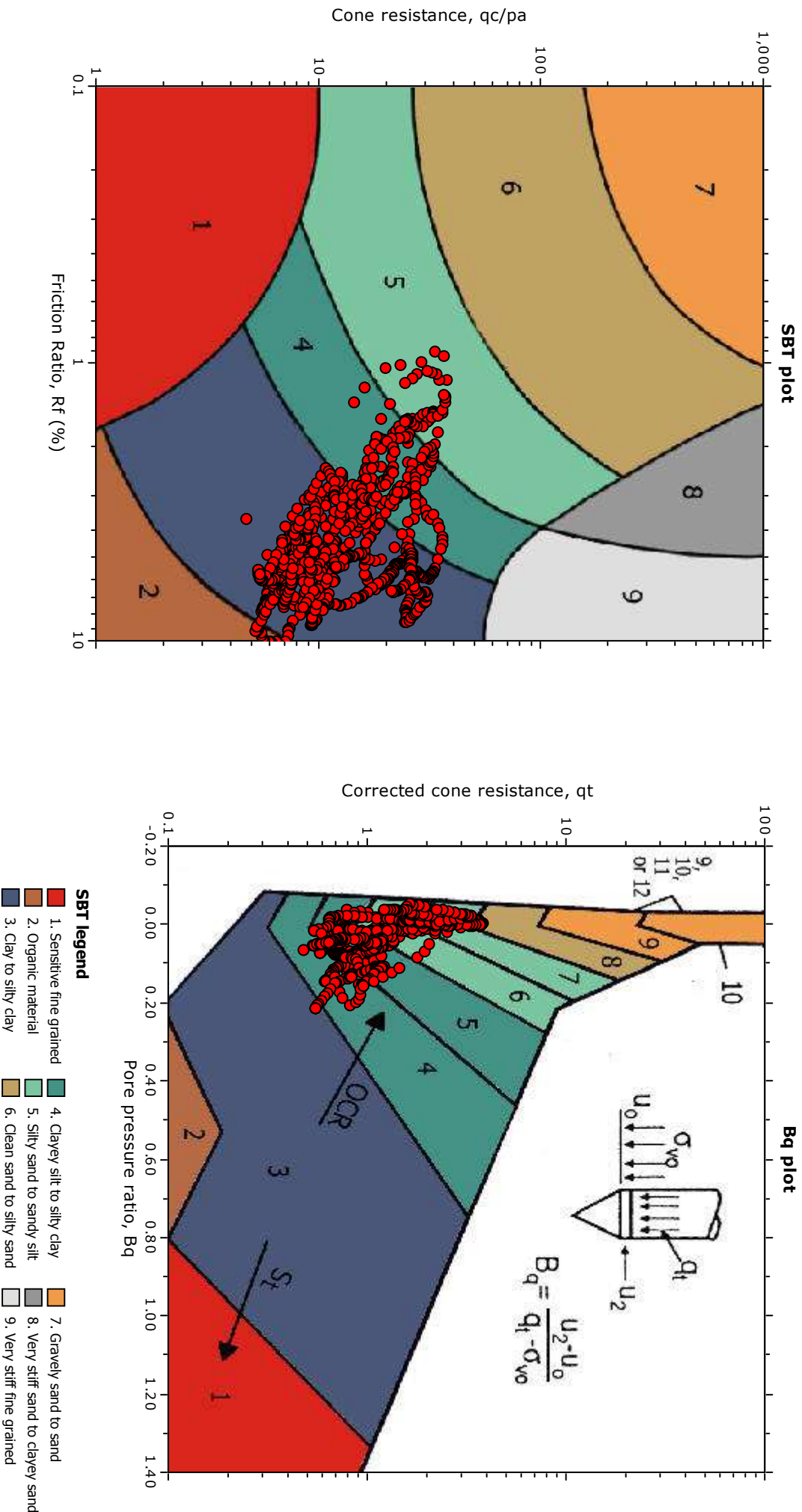


RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu1
Total depth: 8.19 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

SBT - Bq plots



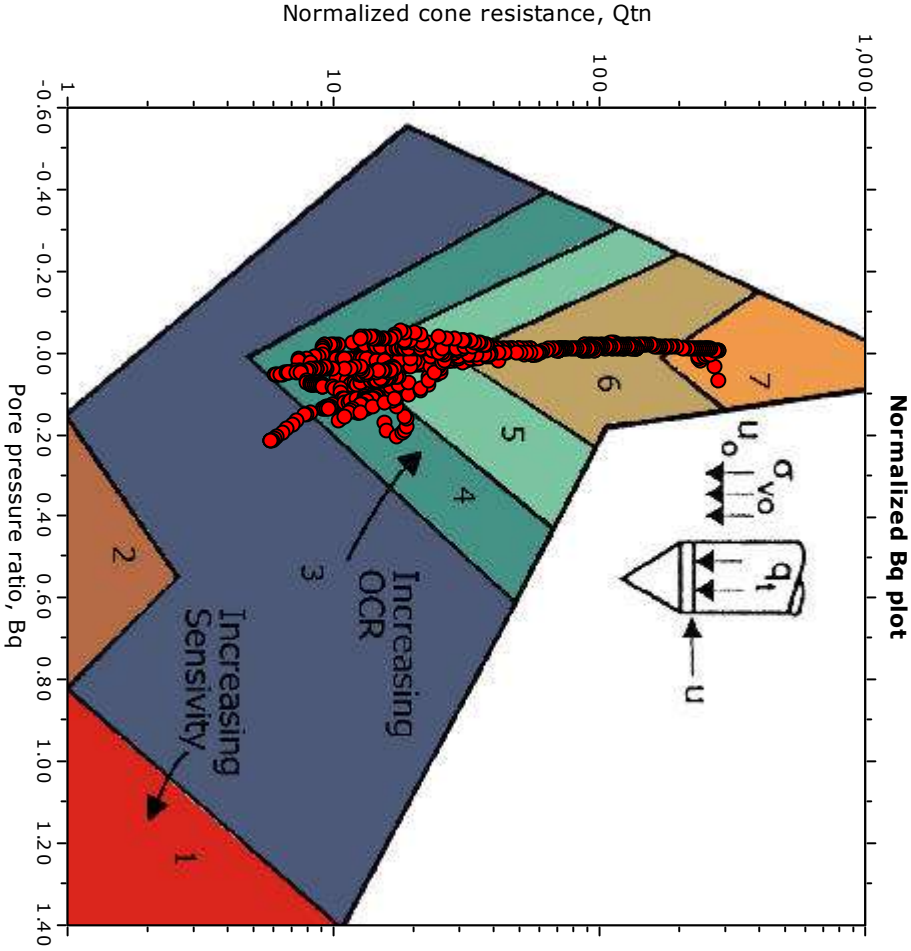
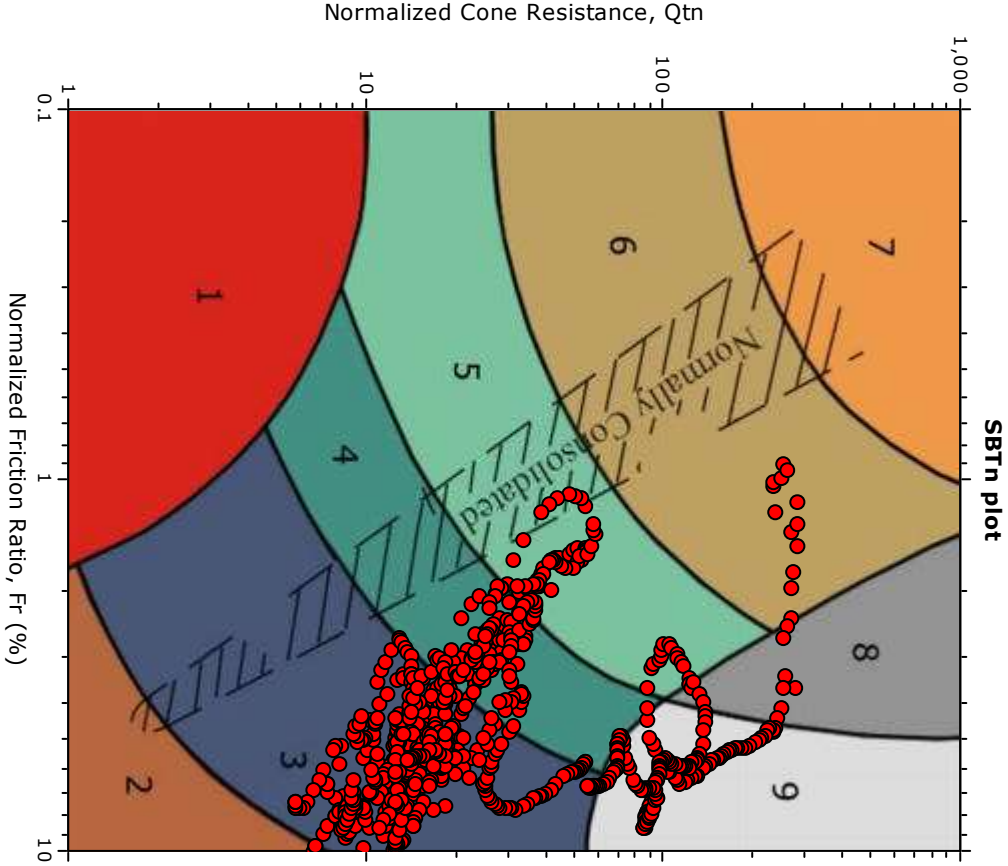


RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu1
Total depth: 8.19 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

SBT - Bq plots (normalized)



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

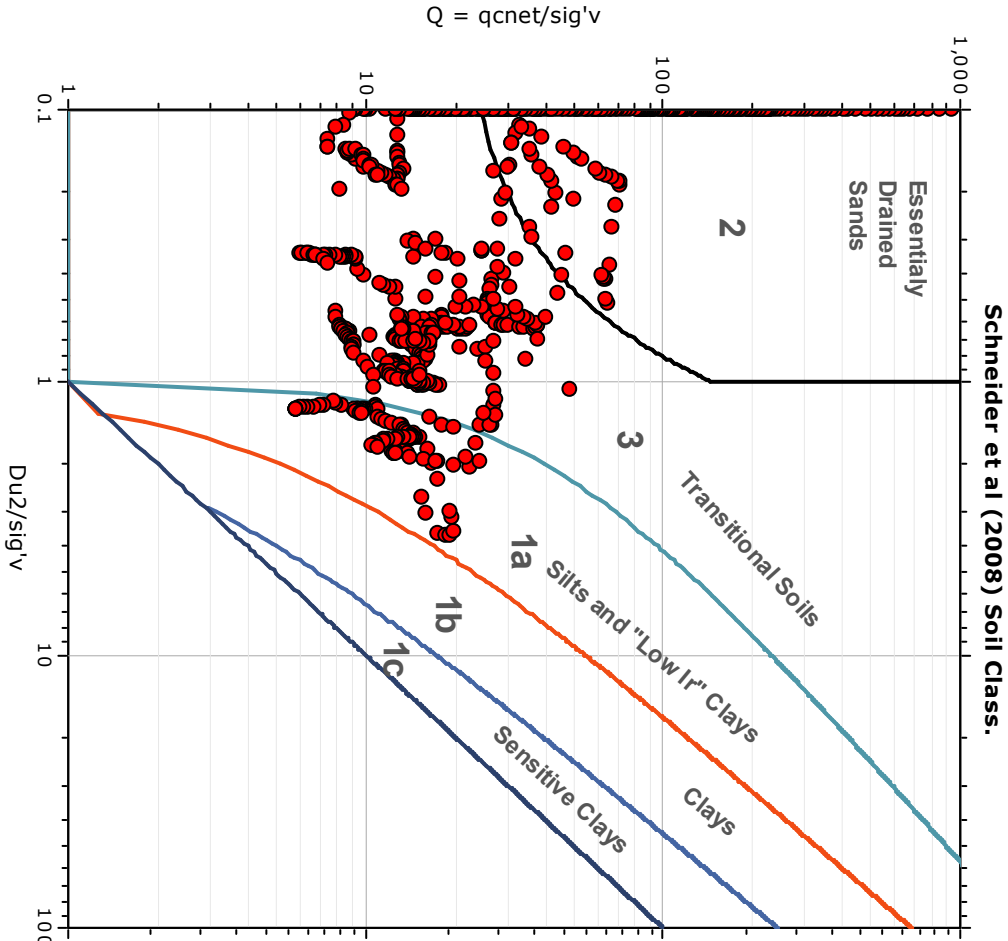
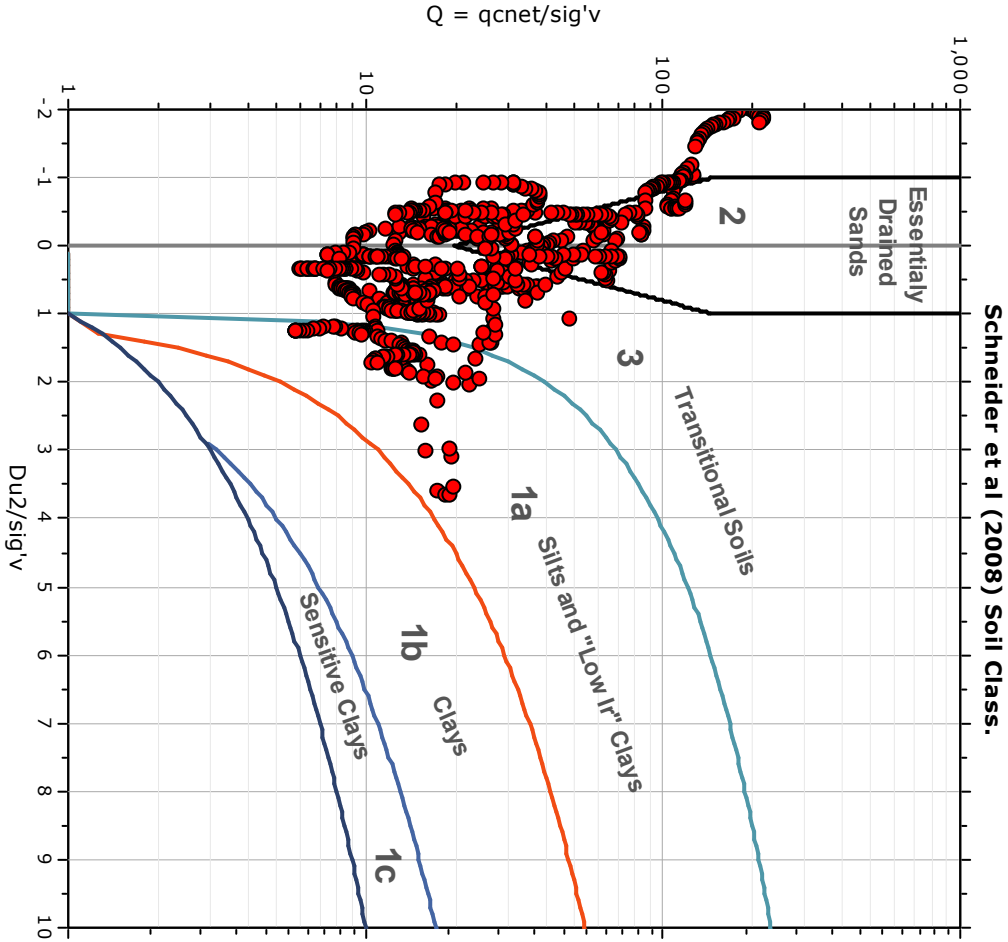


RDR SRL
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu1
Total depth: 8.19 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

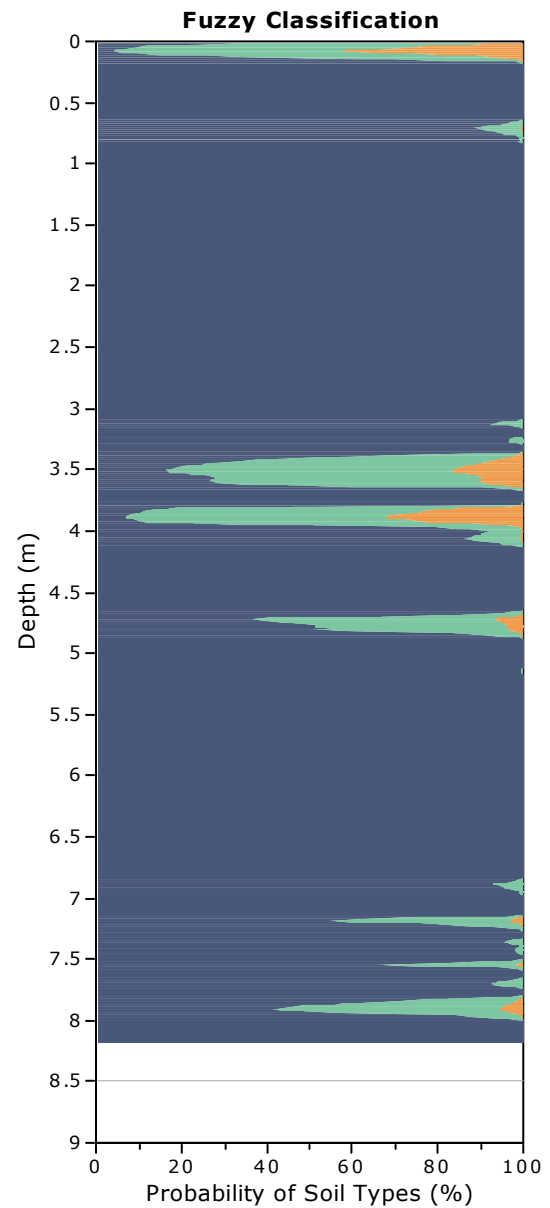
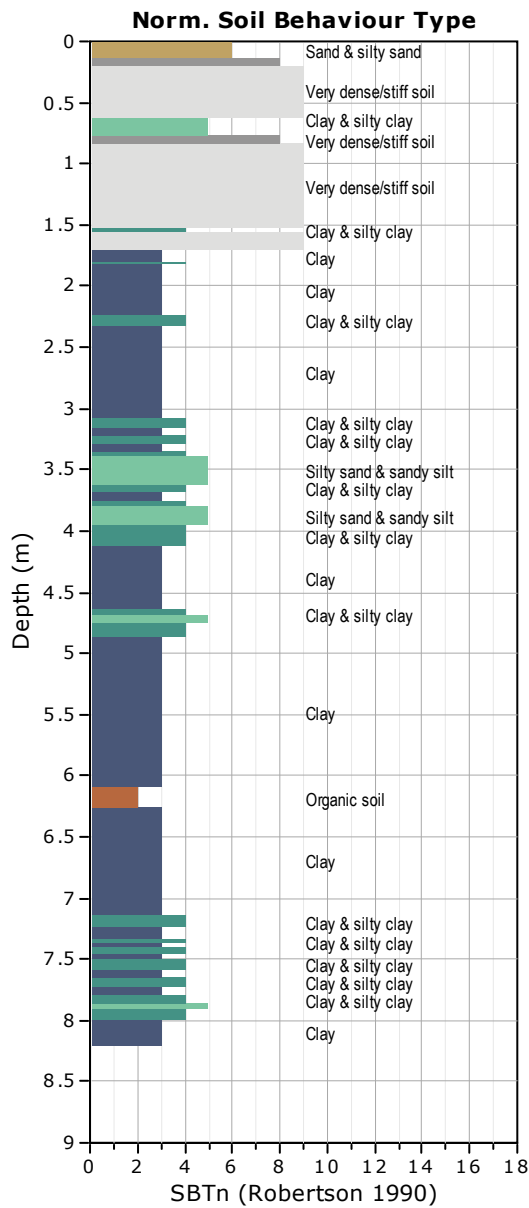
Bq plots (Schneider)





Project: Indagini geotecniche

Location: Lugo vasca laminazione 2

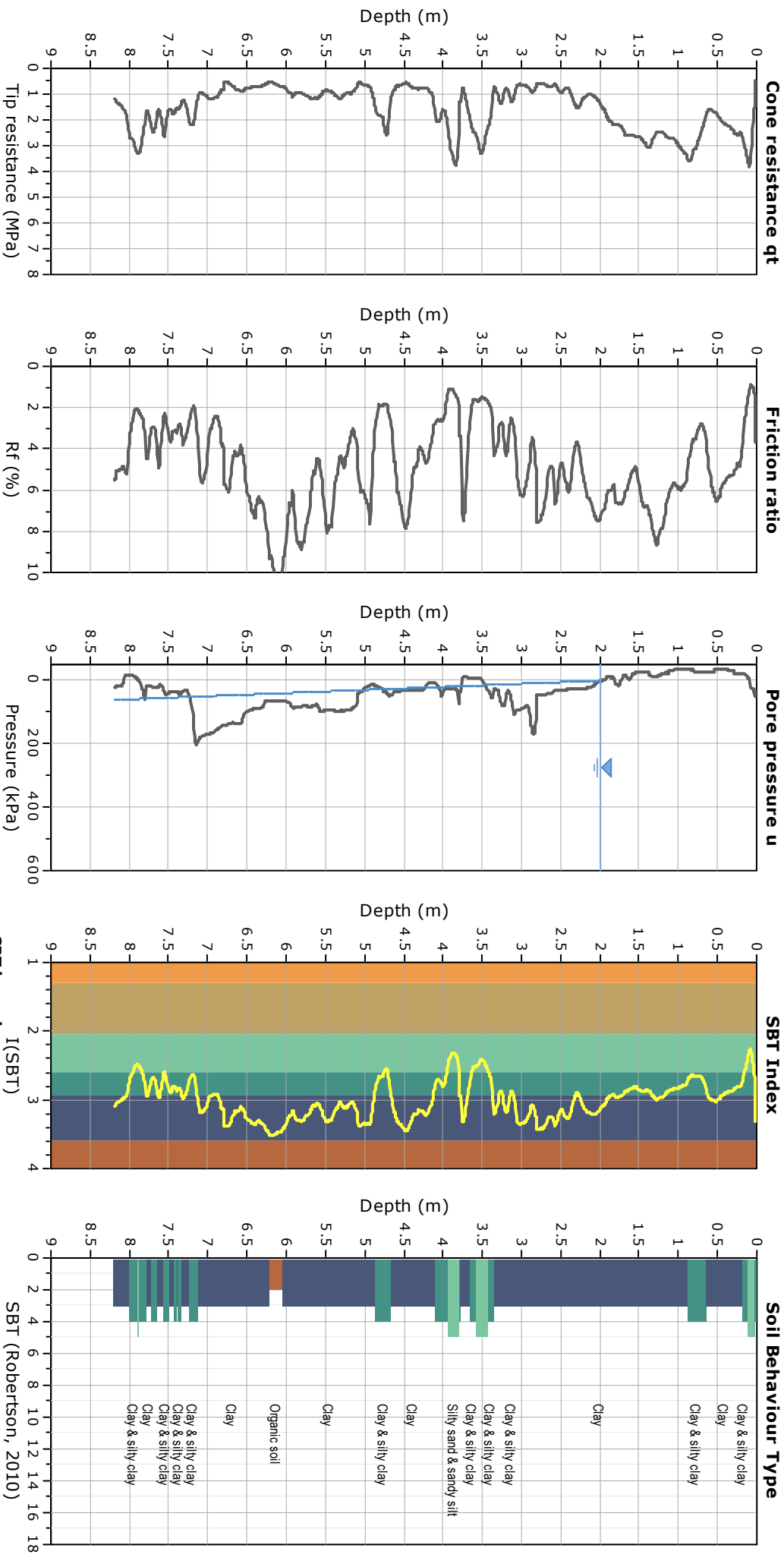




RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu1
Total depth: 8.19 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

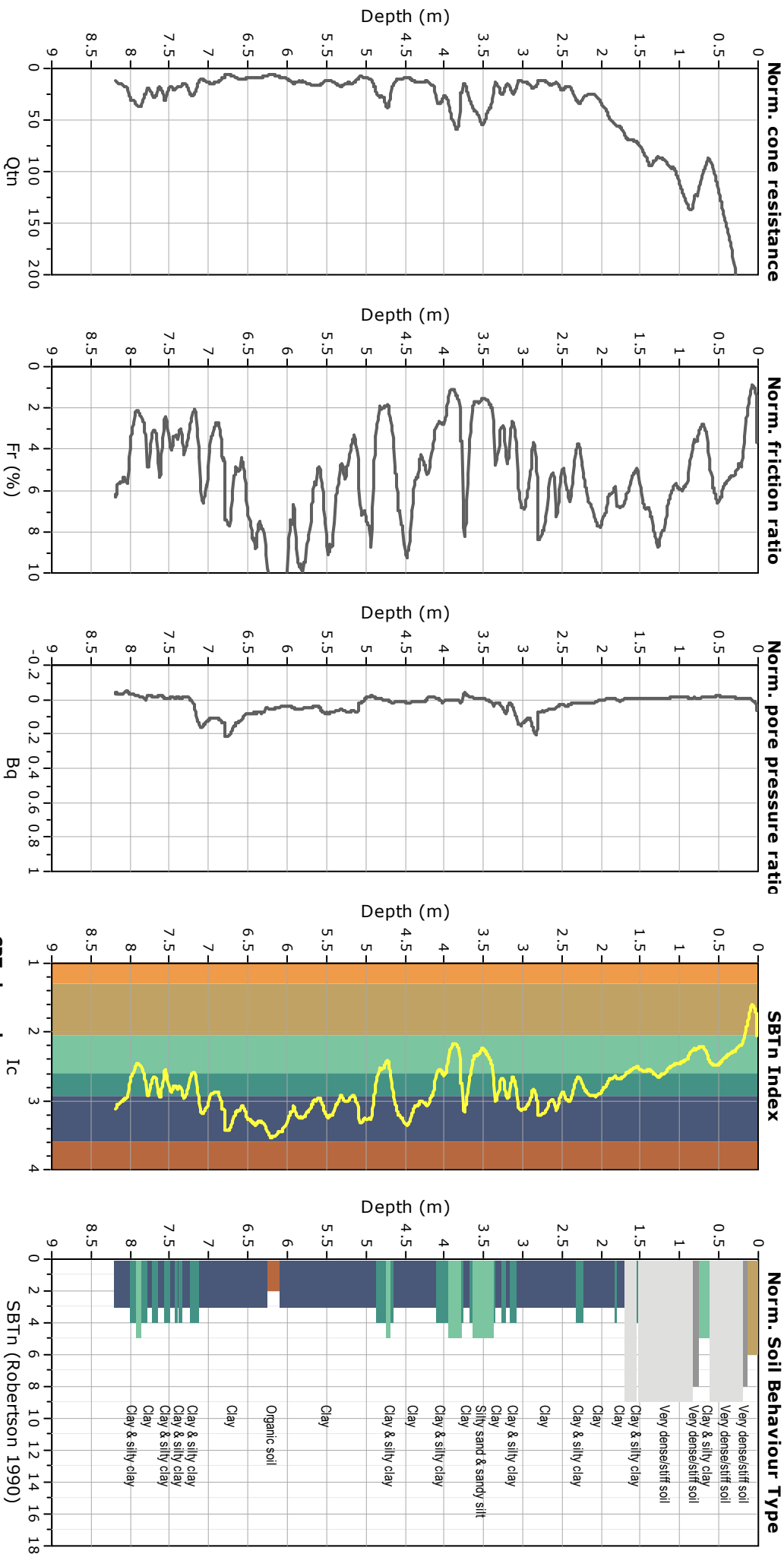




RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu1
Total depth: 8.19 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

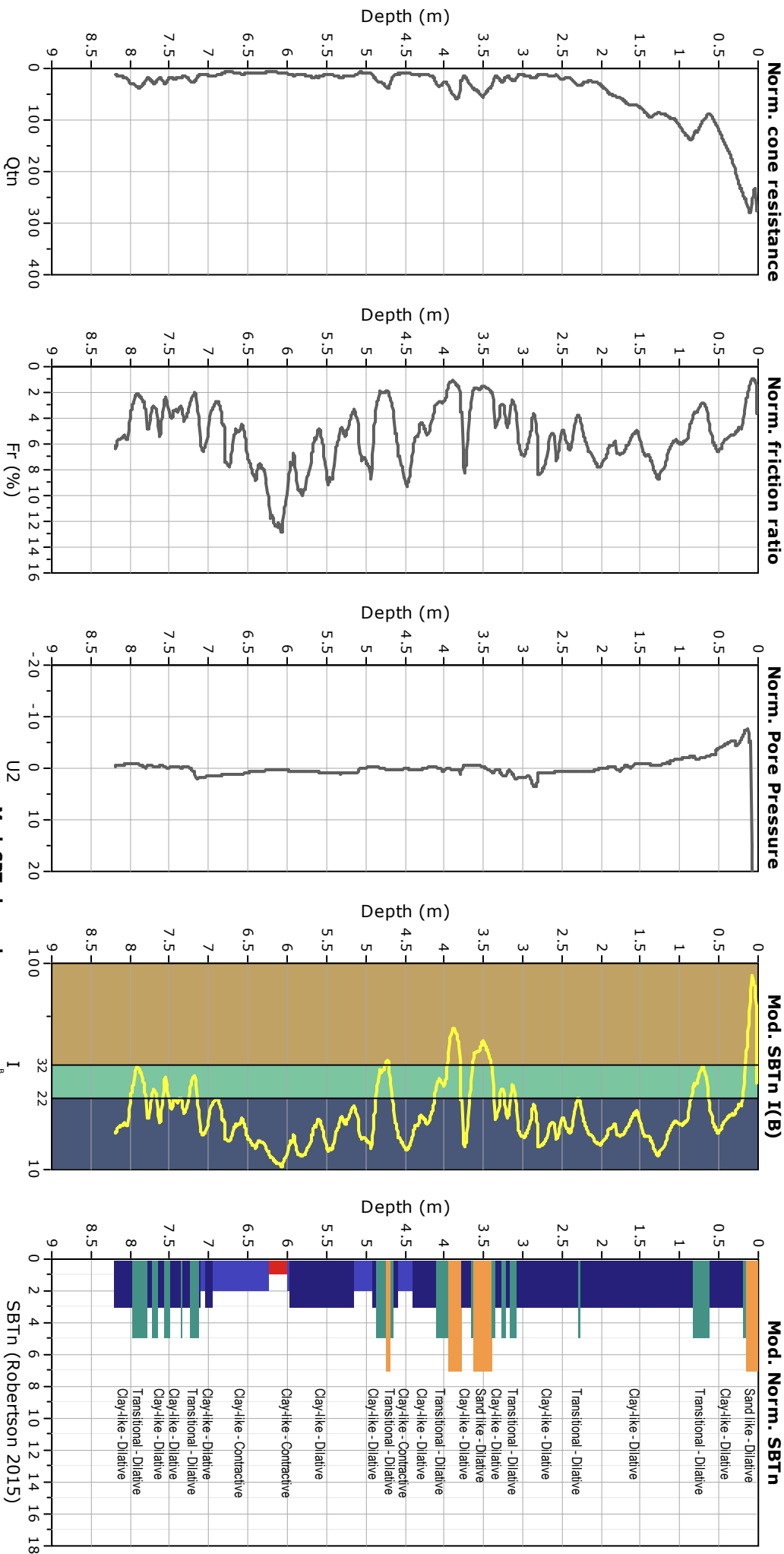




RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu1
Total depth: 8.19 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown



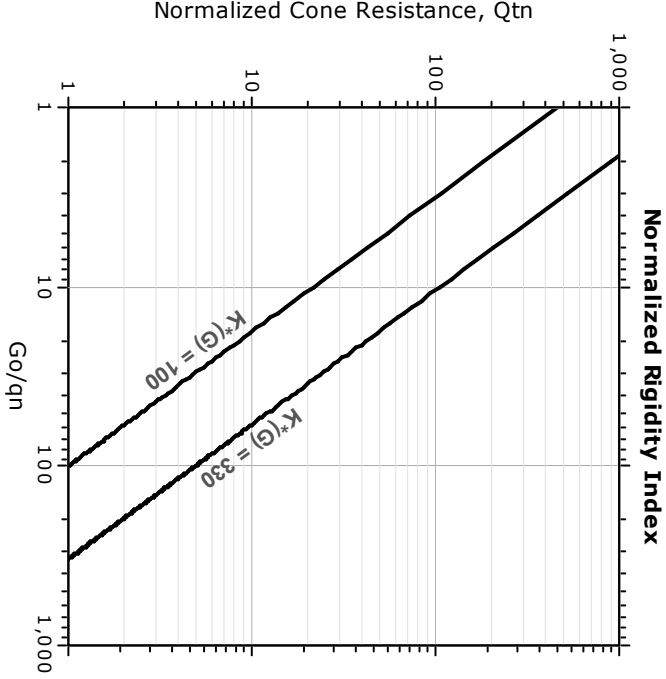
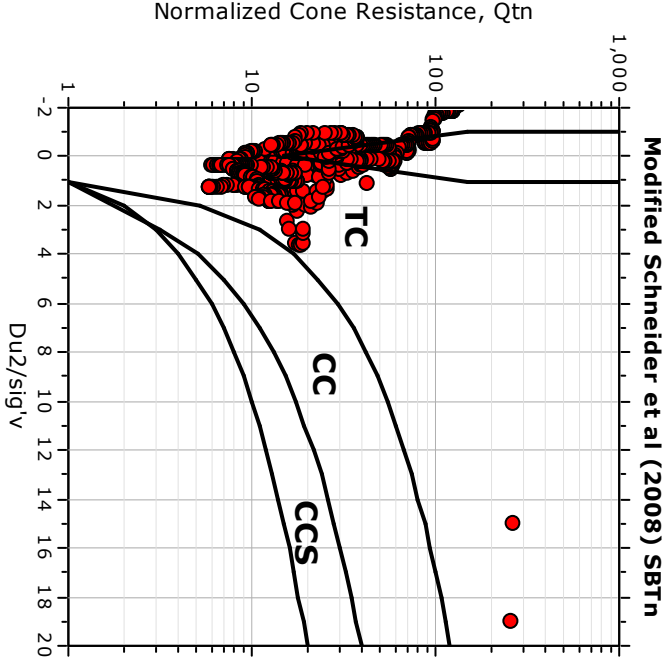
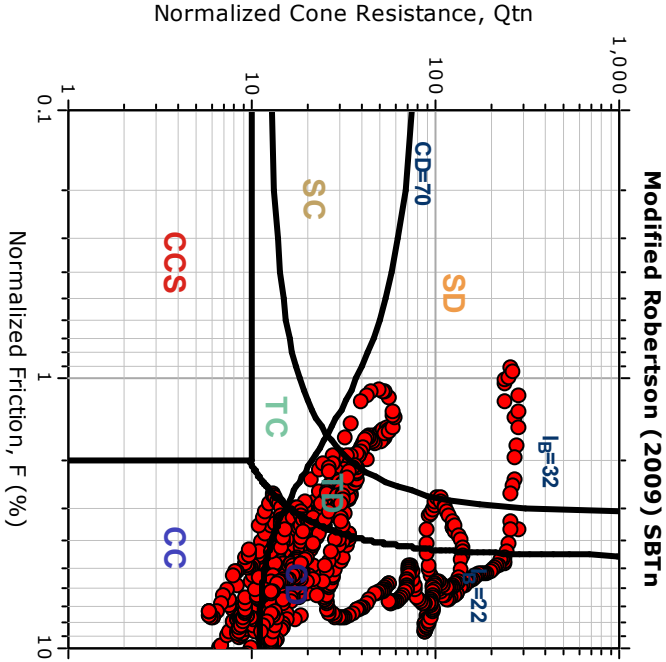


RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu1
Total depth: 8.19 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

Updated SBTn plots



$K(G) > 330$: Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)

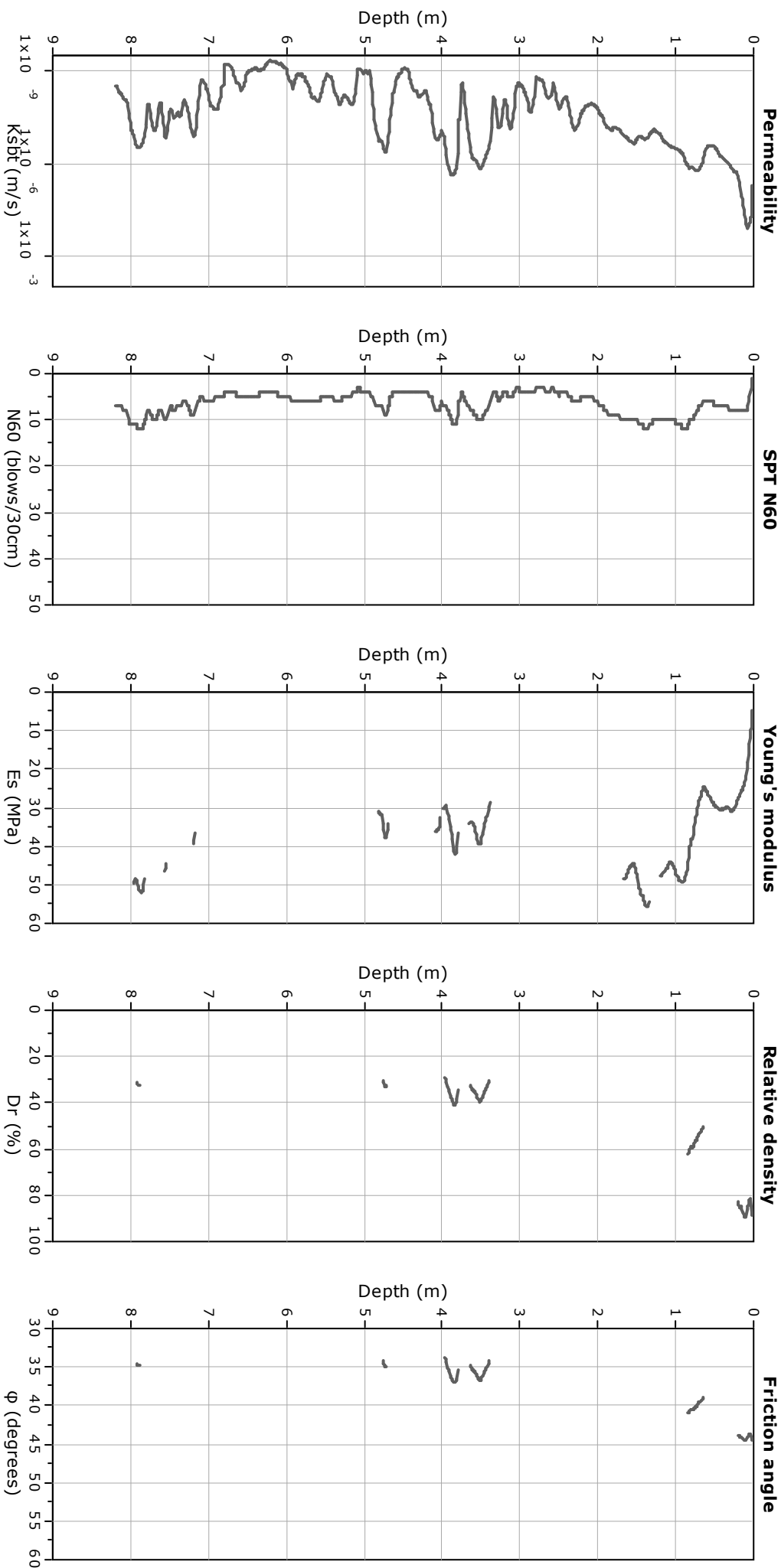
- CCS: Clay-like - Contractive - Sensitive
- CC: Clay-like - Contractive
- CD: Clay-like - Dilative
- TC: Transitional - Contractive
- TD: Transitional - Dilative
- SC: Sand-like - Contractive
- SD: Sand-like - Dilative



RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

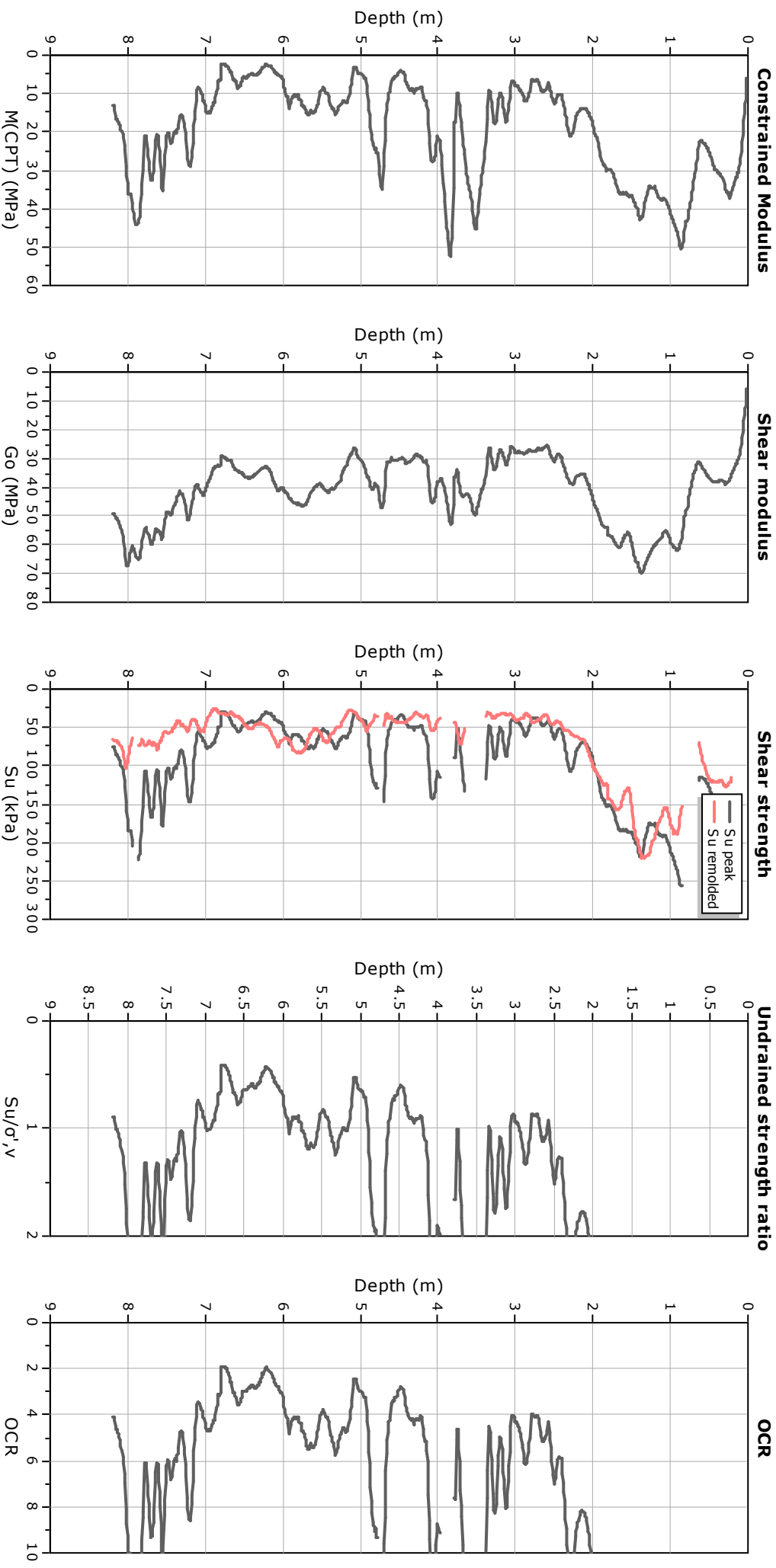
CPT: cptu1
Total depth: 8.19 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n
SPT N_{60} : Based on I_c and q_t
Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)
Relative desnisty constant, C_{Dr} : 350.0
 Φ : Based on Kulhawy & Mayne (1990)
—●— User defined estimation data

CPeT-IT v.2.0.1.26 - CPTU data presentation & interpretation software - Report created on: 16/04/2025, 10:33:07
Project file: E:\RdR\PROVE\cpu\2025\SOGESID_Lugo2\SOGESID_Lugo2.cpt



Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable α/ρ using I_c and Q_{ln} (Robertson, 2009)
Go: Based on variable α/ρ using I_c (Robertson, 2009)
Undrained shear strength cone factor for clays, N_{kt} : 14

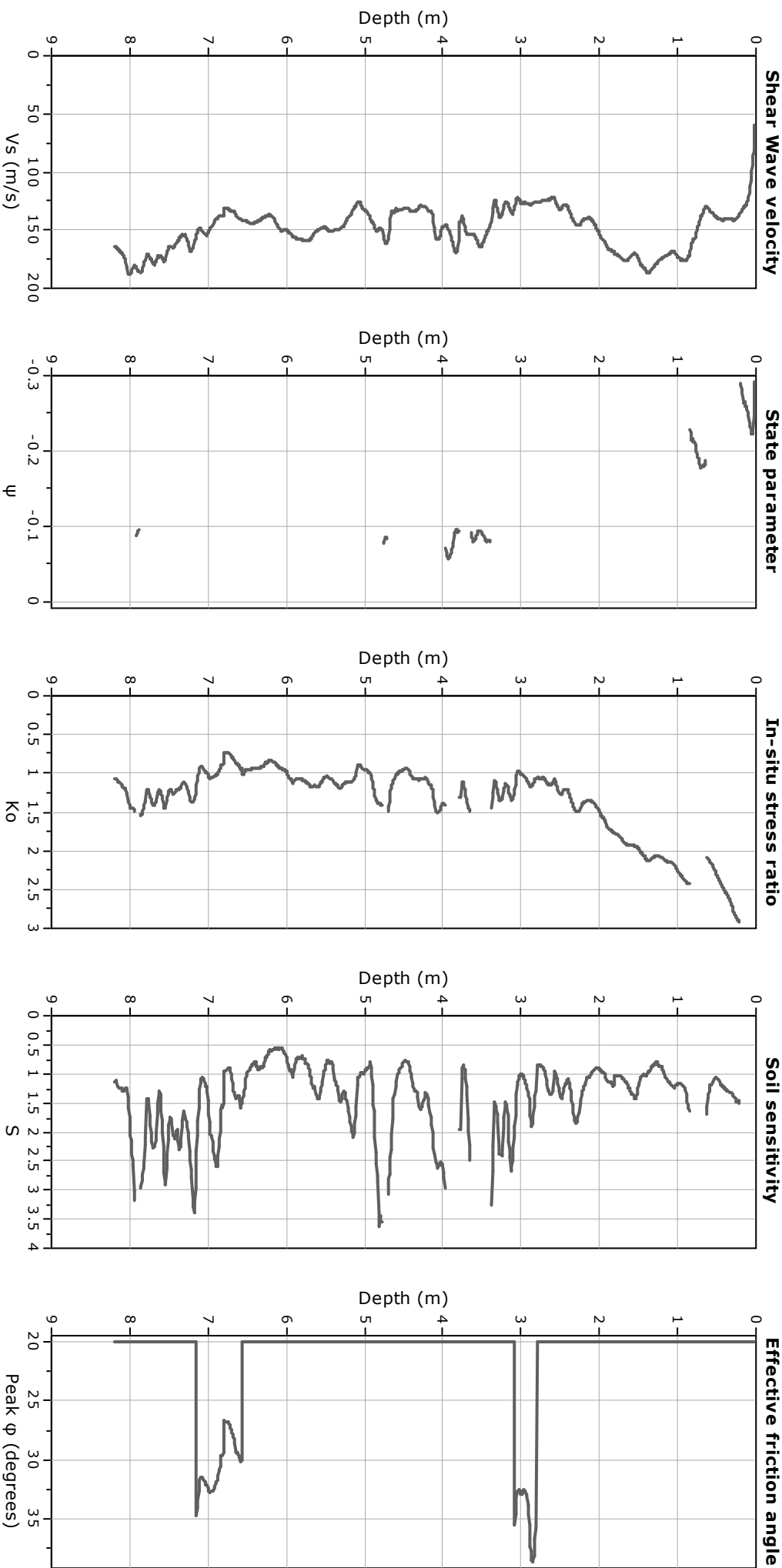
OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33
User defined estimation data
Flat Dilatometer Test data



Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

CPT: cptu1
Total depth: 8.19 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

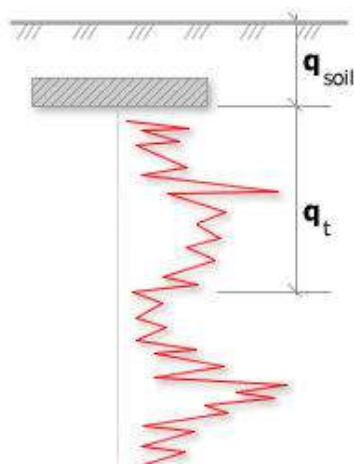


Calculation parameters
Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00
—●— User defined estimation data



Project: Indagini geotecniche

Location: Lugo vasca laminazione 2



Bearing Capacity calculation is performed based on the formula:

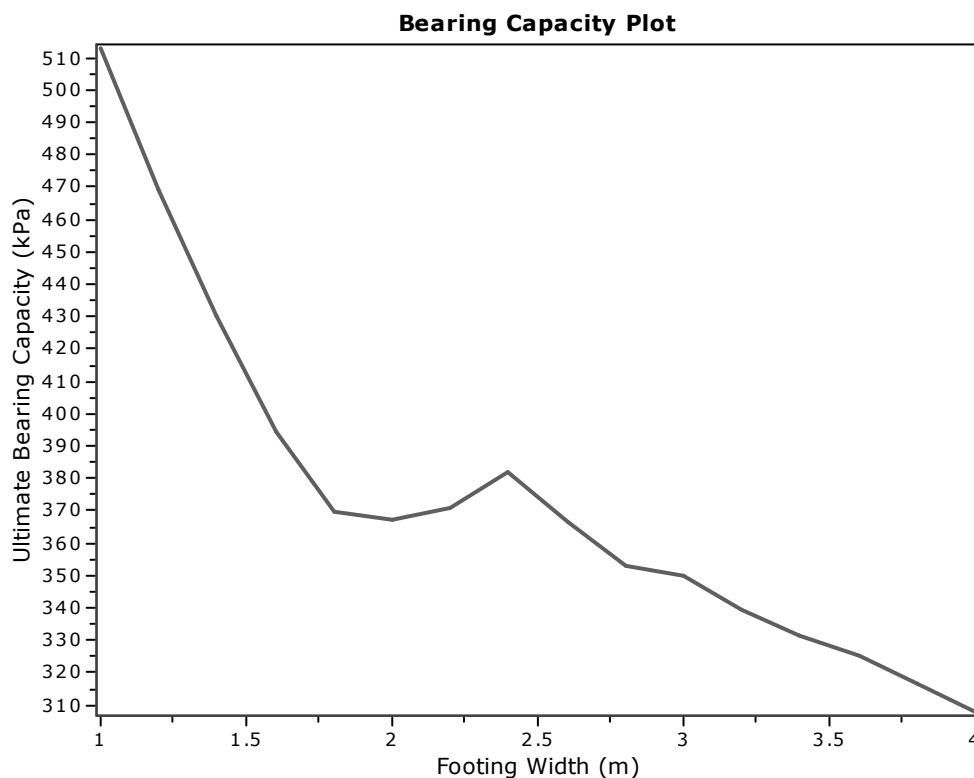
$$Q_{ult} = R_k \times q_t + q_{soil}$$

where:

R_k : Bearing capacity factor

q_t : Average corrected cone resistance over calculation depth

q_{soil} : Pressure applied by soil above footing



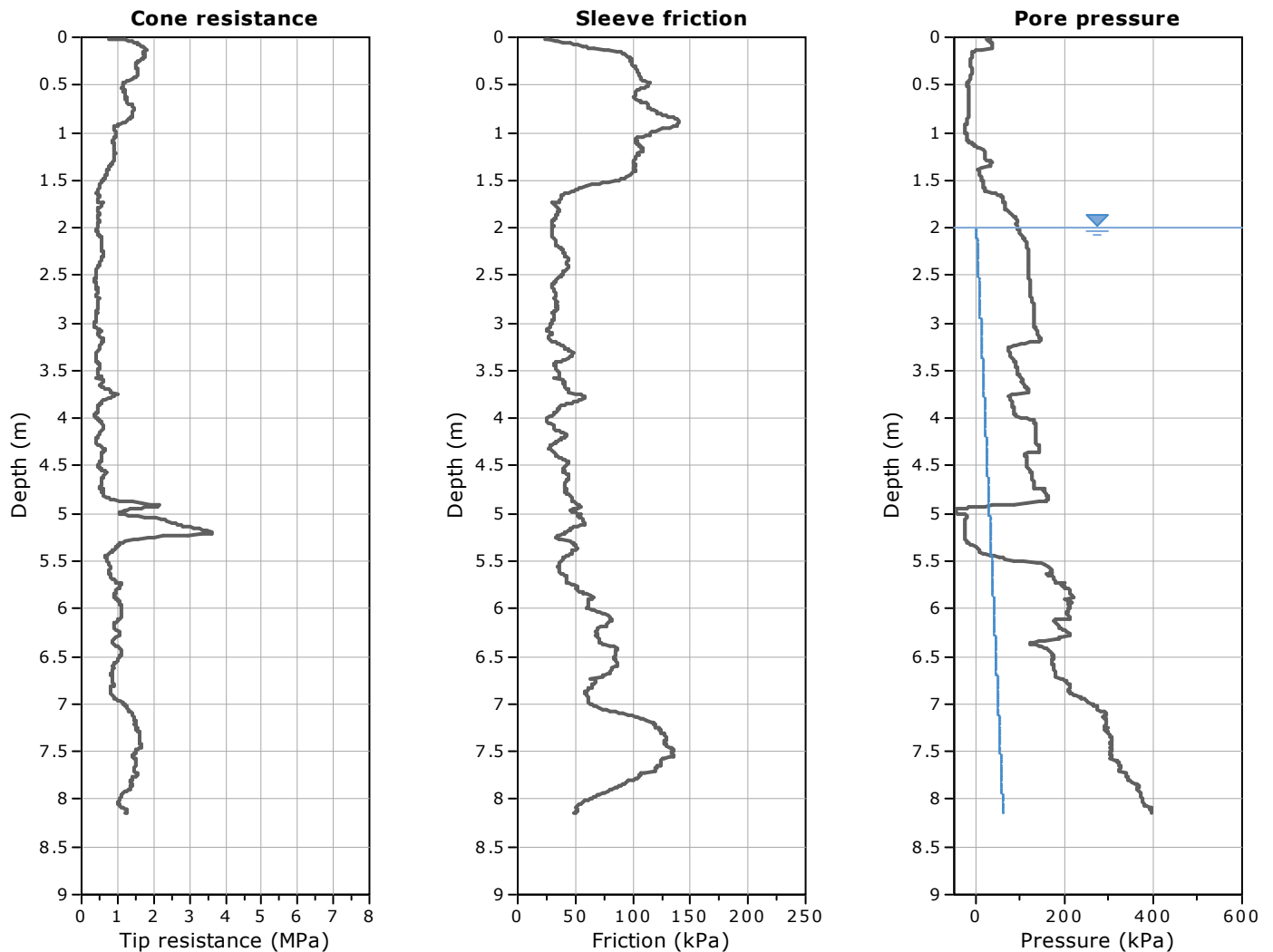
:: Tabular results ::

No	B (m)	Start Depth (m)	End Depth (m)	Ave. q_t (MPa)	R_k	Soil Press. (kPa)	Ult. bearing cap. (kPa)
1	1.00	0.50	2.00	2.52	0.20	9.50	512.87
2	1.20	0.50	2.30	2.30	0.20	9.50	468.96
3	1.40	0.50	2.60	2.10	0.20	9.50	430.27
4	1.60	0.50	2.90	1.92	0.20	9.50	394.14
5	1.80	0.50	3.20	1.80	0.20	9.50	369.95
6	2.00	0.50	3.50	1.79	0.20	9.50	367.18
7	2.20	0.50	3.80	1.81	0.20	9.50	371.04
8	2.40	0.50	4.10	1.86	0.20	9.50	382.23
9	2.60	0.50	4.40	1.79	0.20	9.50	366.81
10	2.80	0.50	4.70	1.72	0.20	9.50	353.24
11	3.00	0.50	5.00	1.70	0.20	9.50	349.90
12	3.20	0.50	5.30	1.65	0.20	9.50	339.20
13	3.40	0.50	5.60	1.61	0.20	9.50	331.50
14	3.60	0.50	5.90	1.58	0.20	9.50	325.24
15	3.80	0.50	6.20	1.53	0.20	9.50	316.47
16	4.00	0.50	6.50	1.49	0.20	9.50	307.94

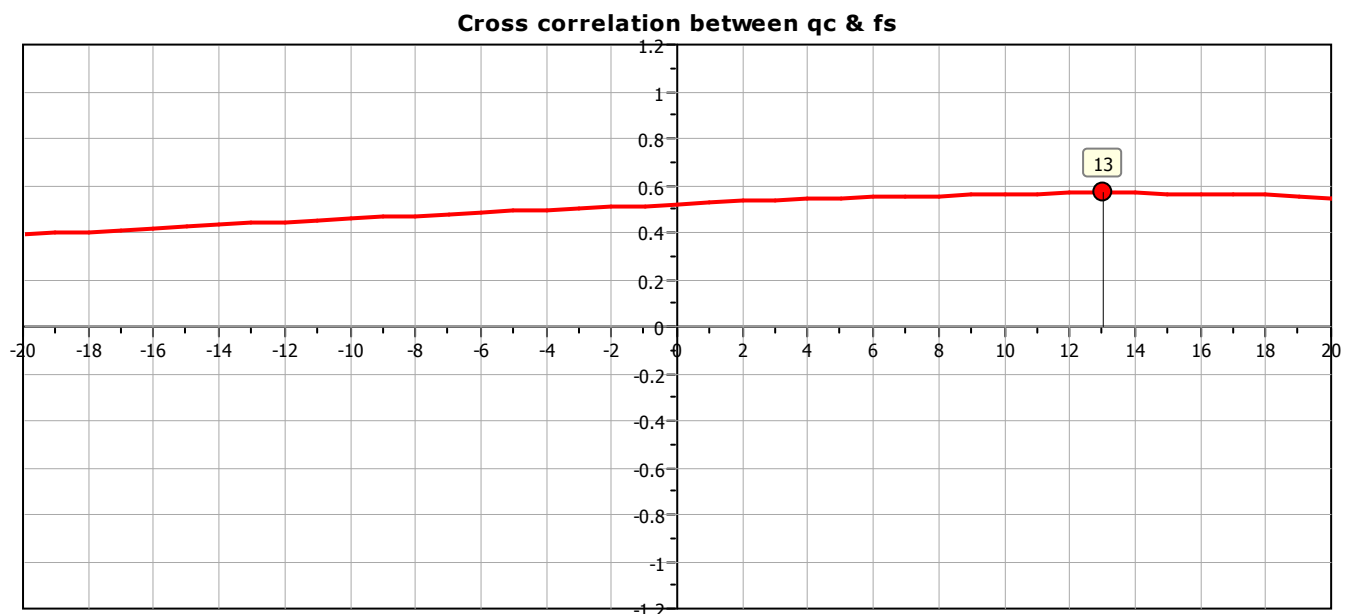


Project: Indagini geotecniche

Location: Lugo vasca laminazione 2



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



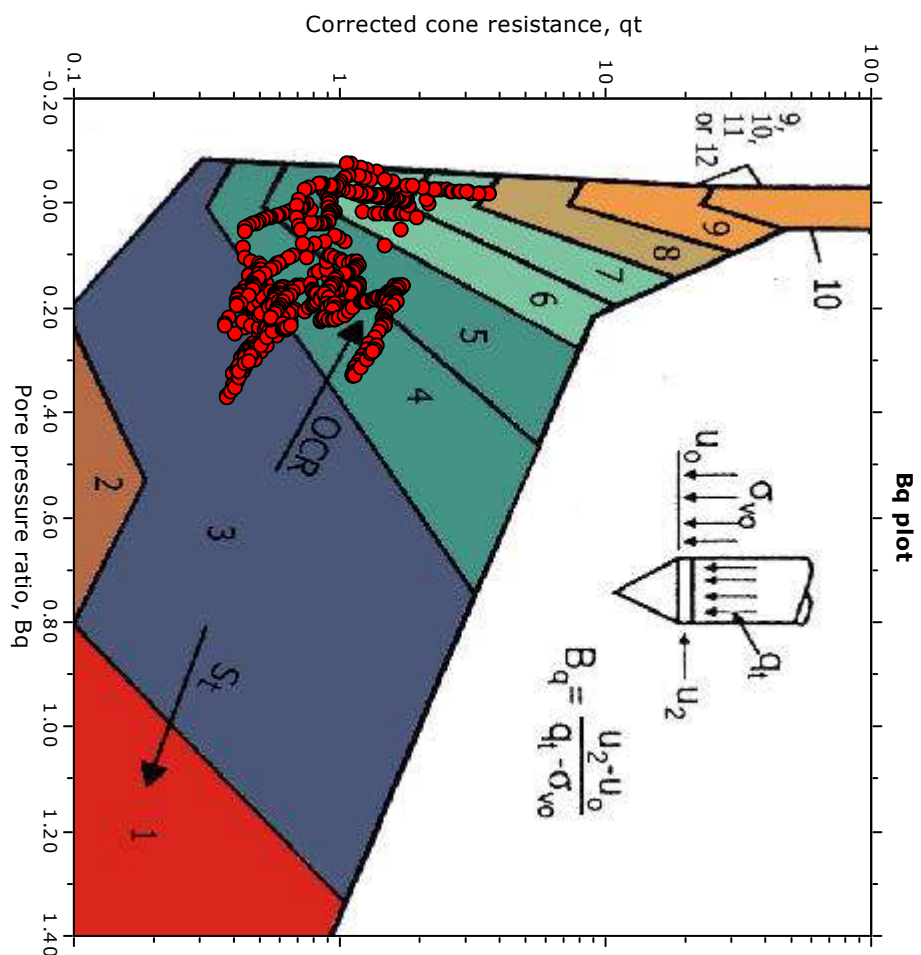
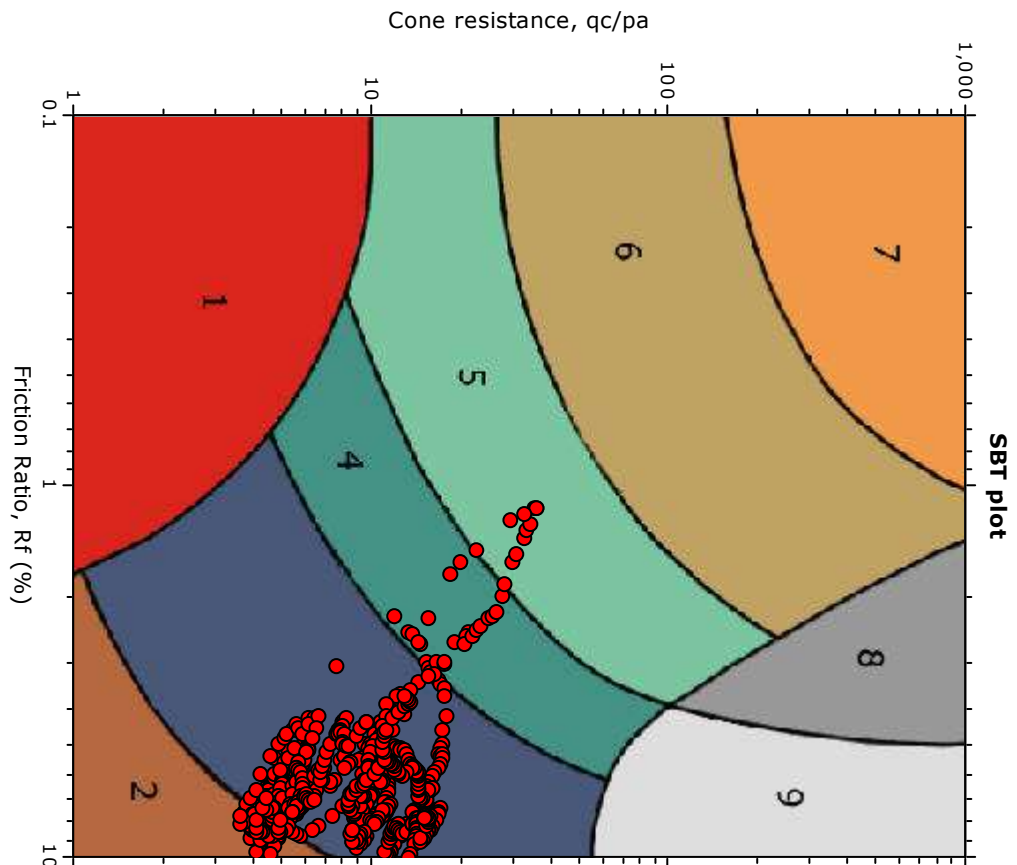


RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu2
Total depth: 8.15 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

SBT - Bq plots



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

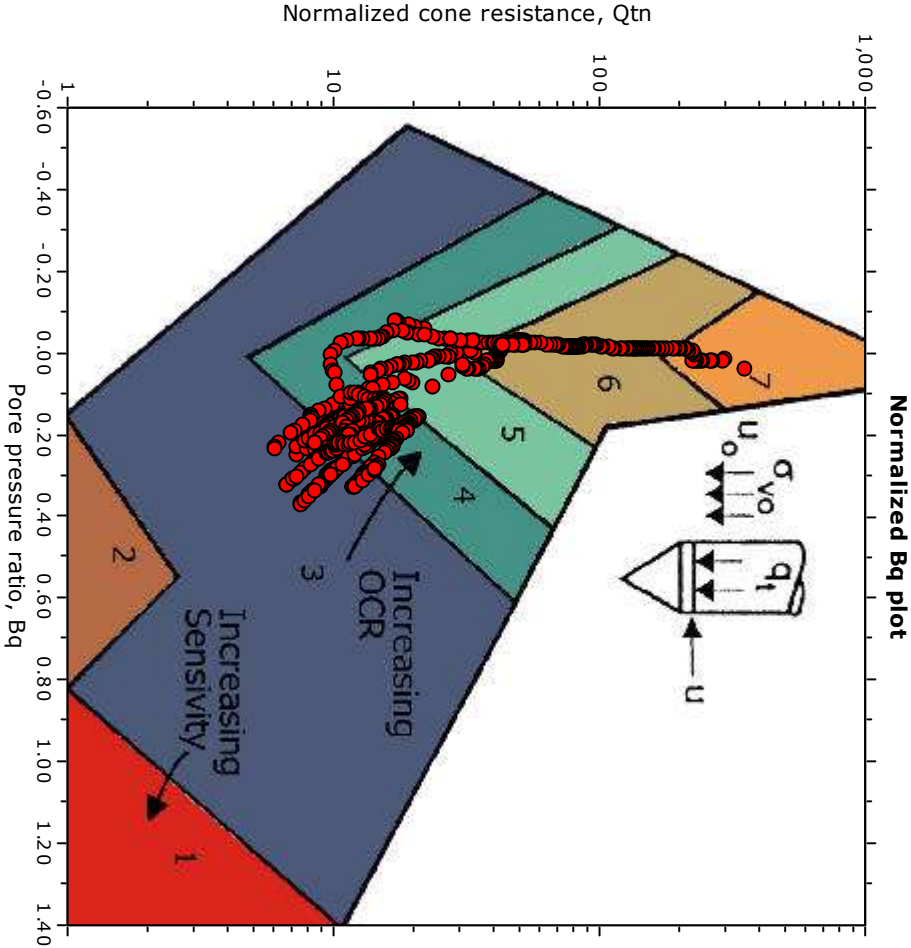
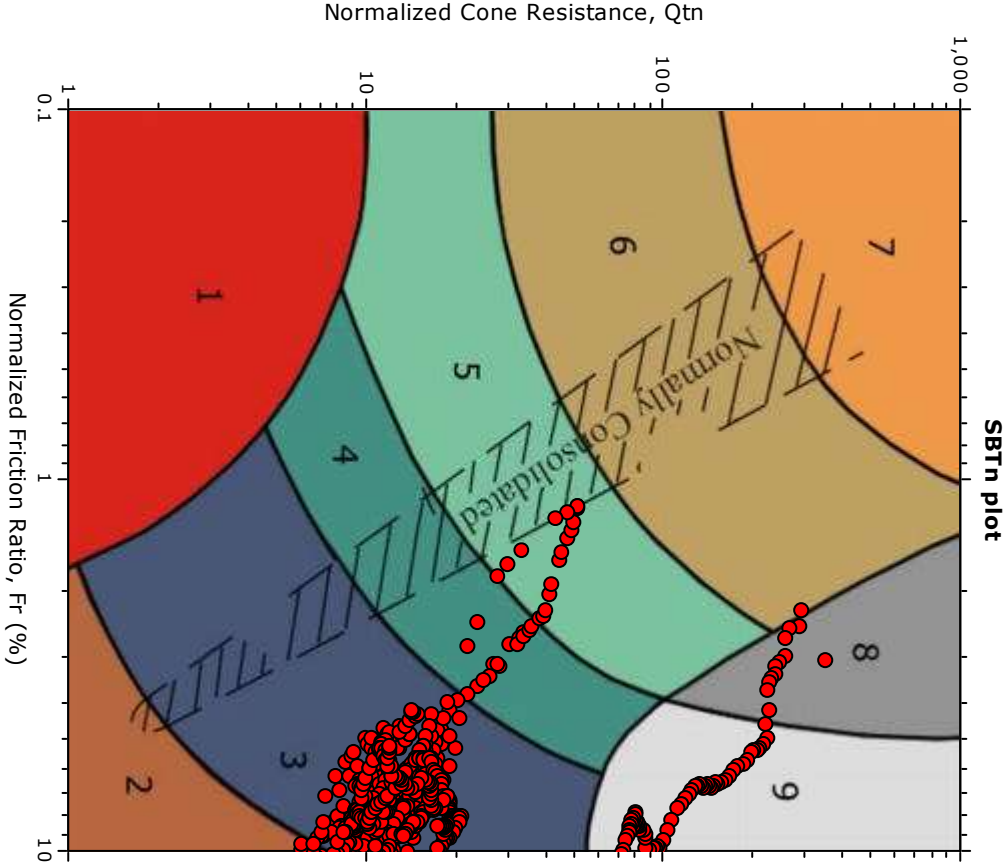


RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu2
Total depth: 8.15 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

SBT - Bq plots (normalized)



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

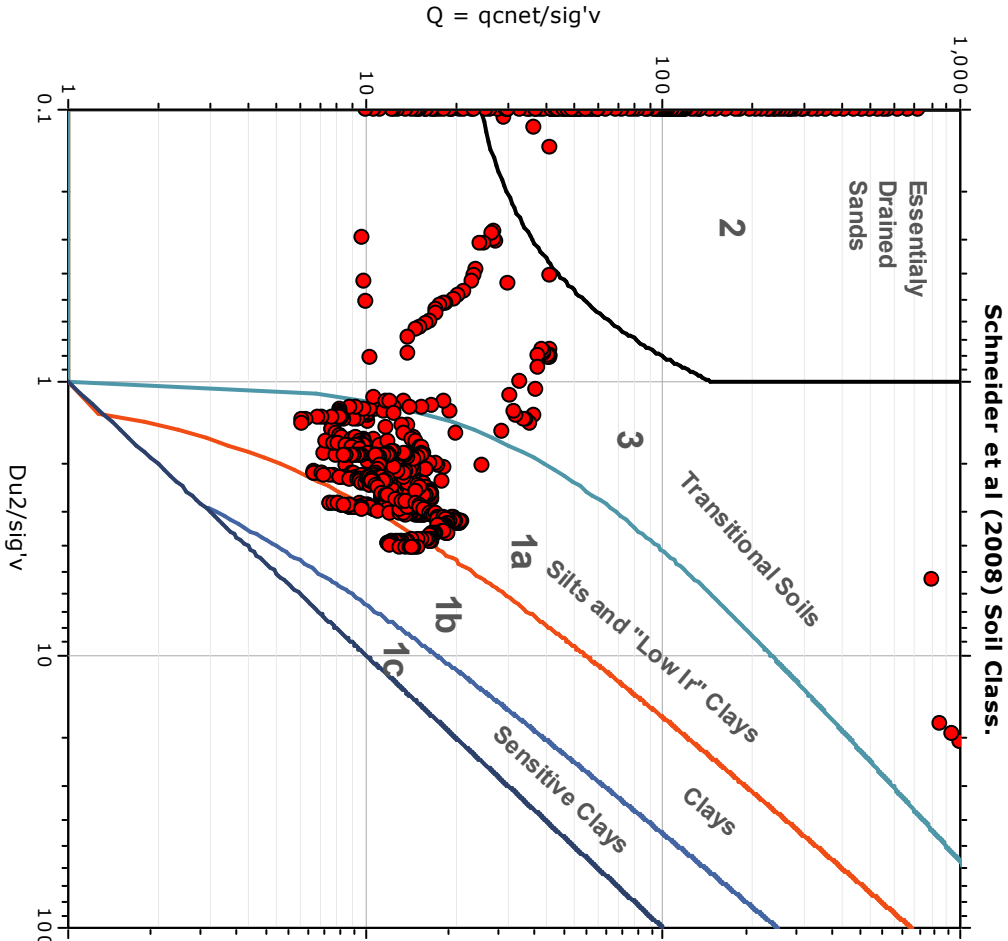
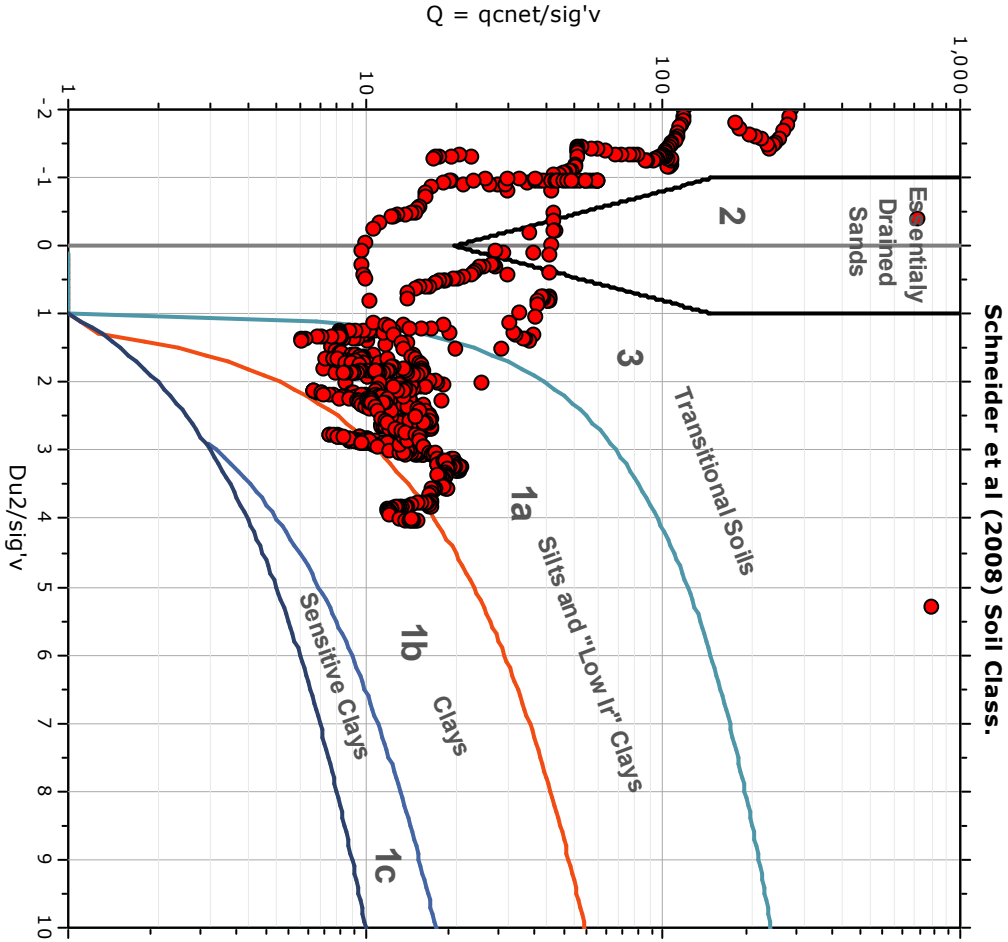


RDR SRL
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu2
Total depth: 8.15 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

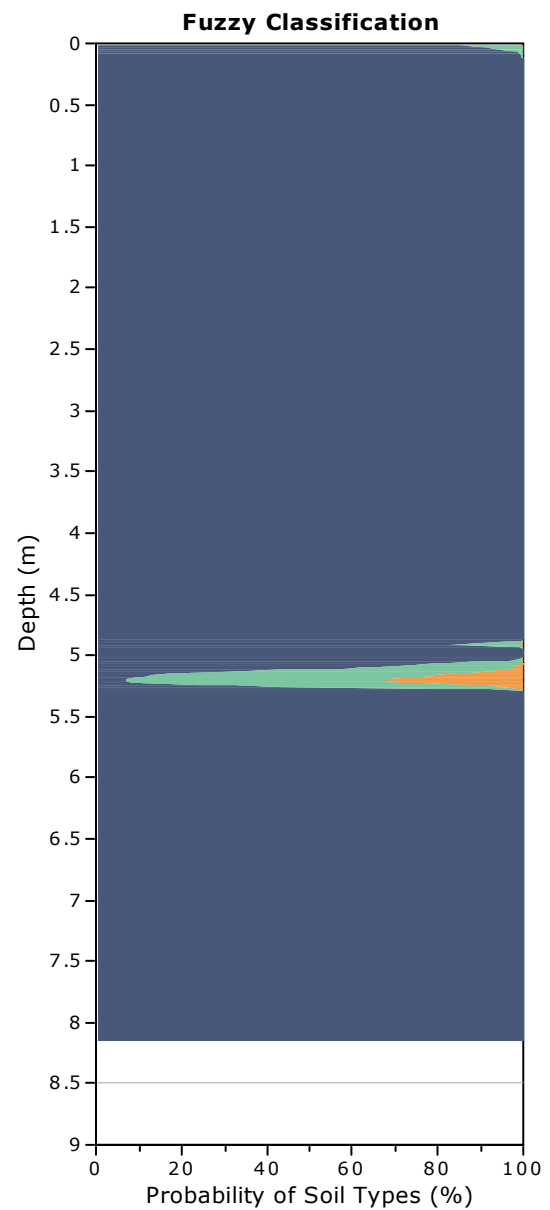
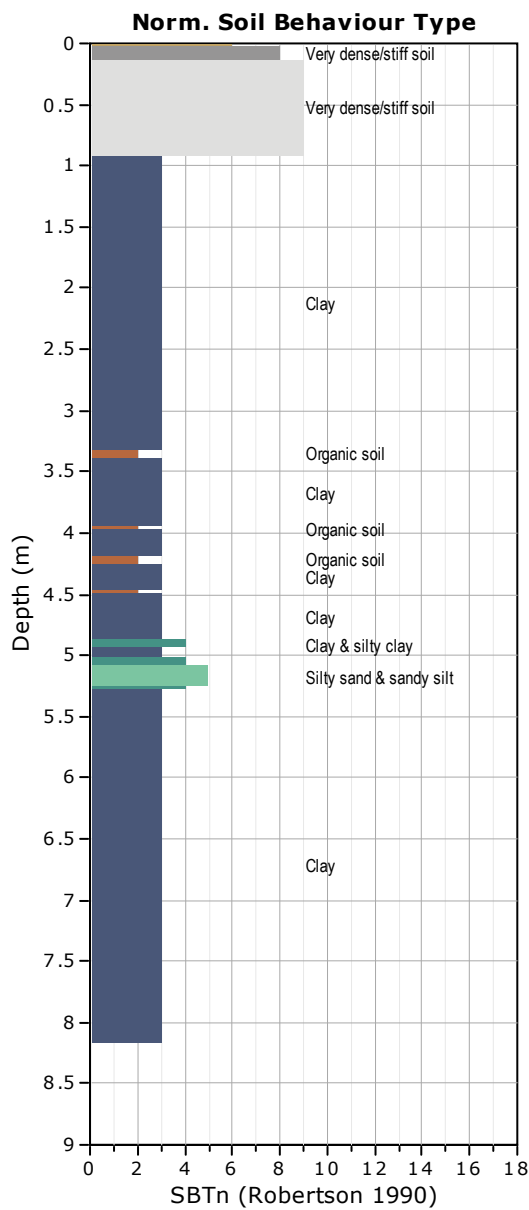
Bq plots (Schneider)





Project: Indagini geotecniche

Location: Lugo vasca laminazione 2

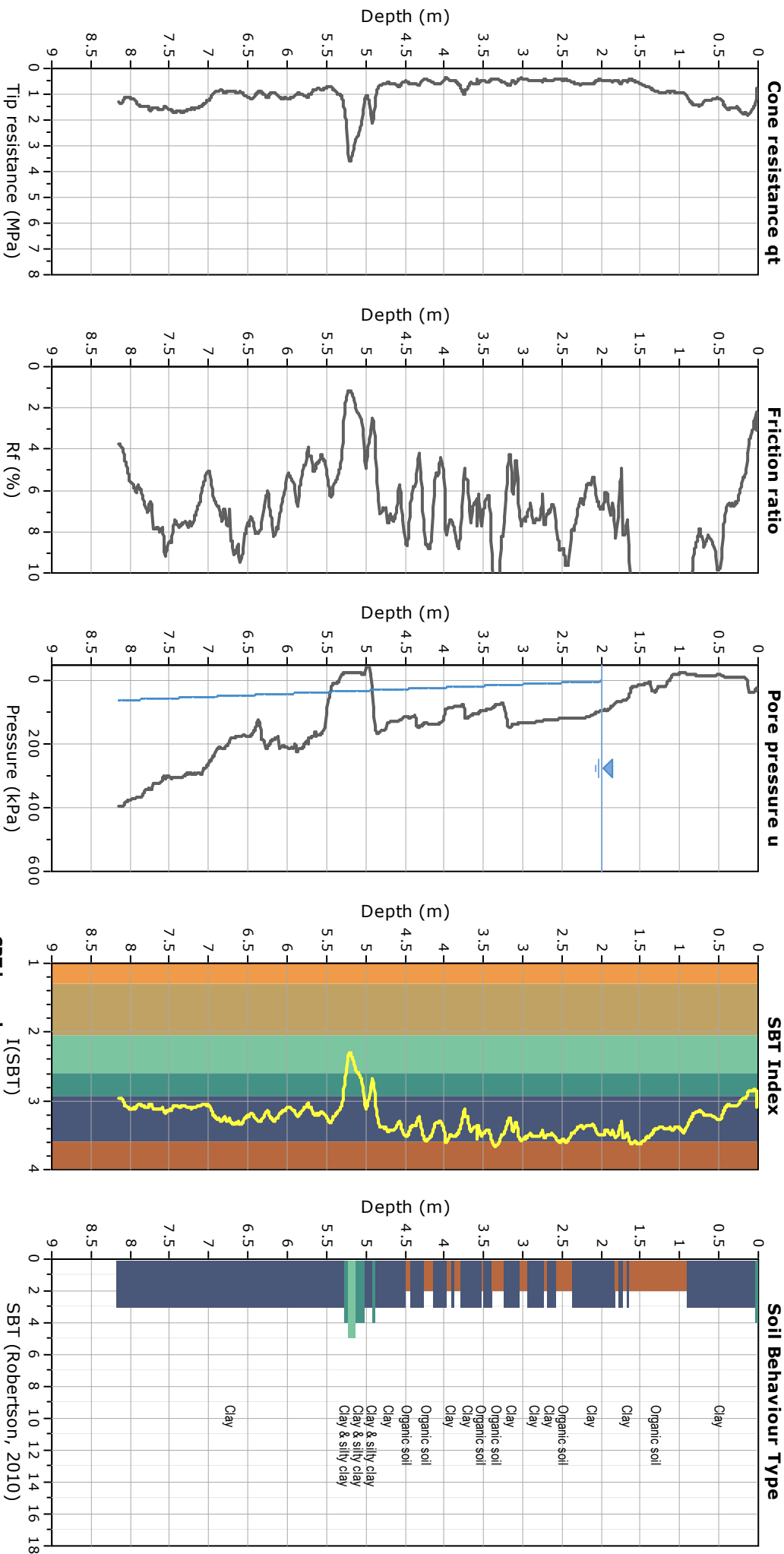




RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu2
Total depth: 8.15 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

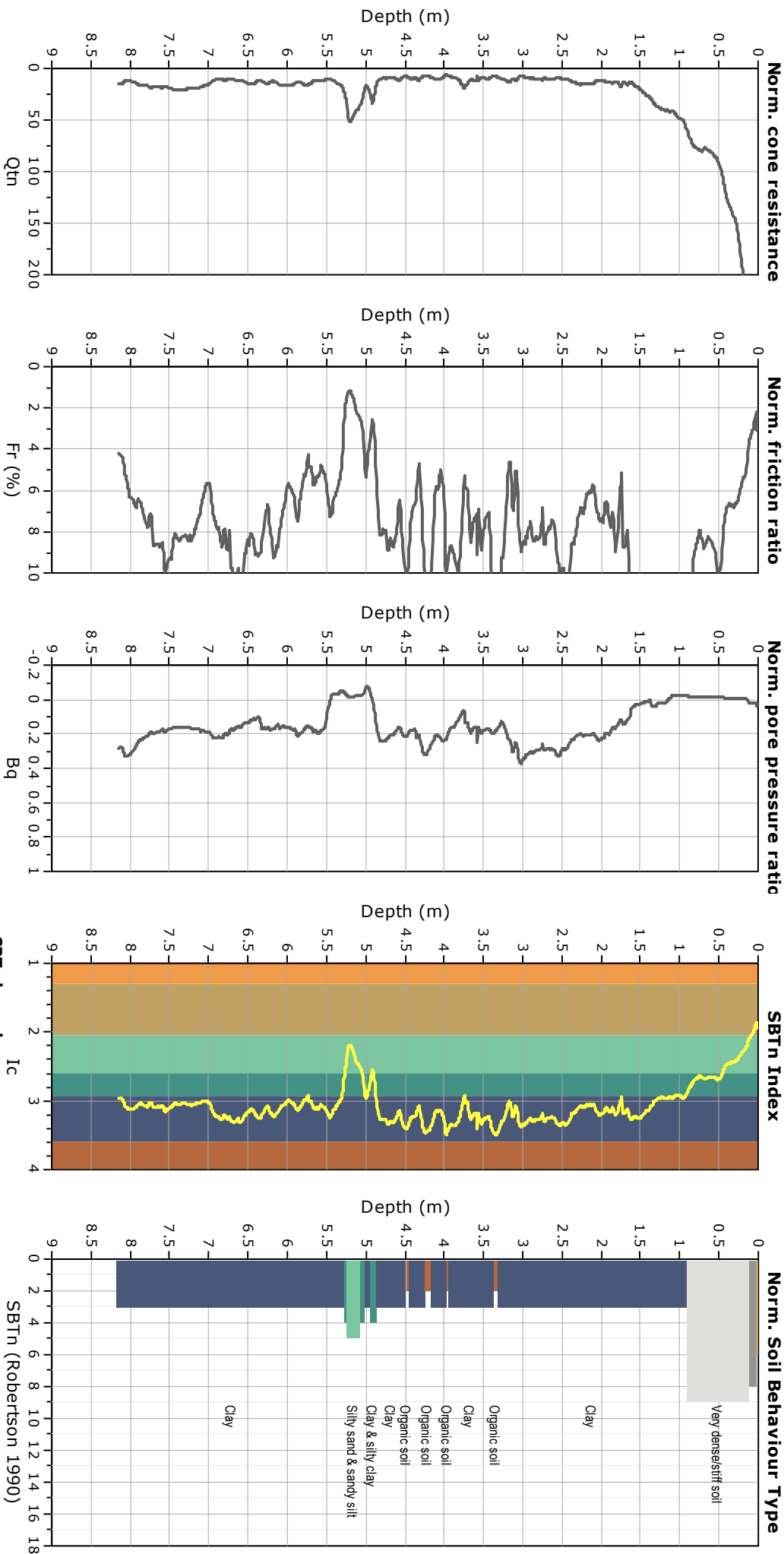




RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

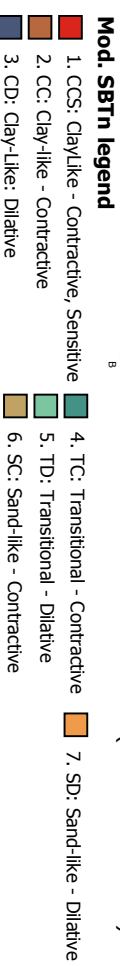
Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu2
Total depth: 8.15 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown





CPT: cptu2
Total depth: 8.15 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown



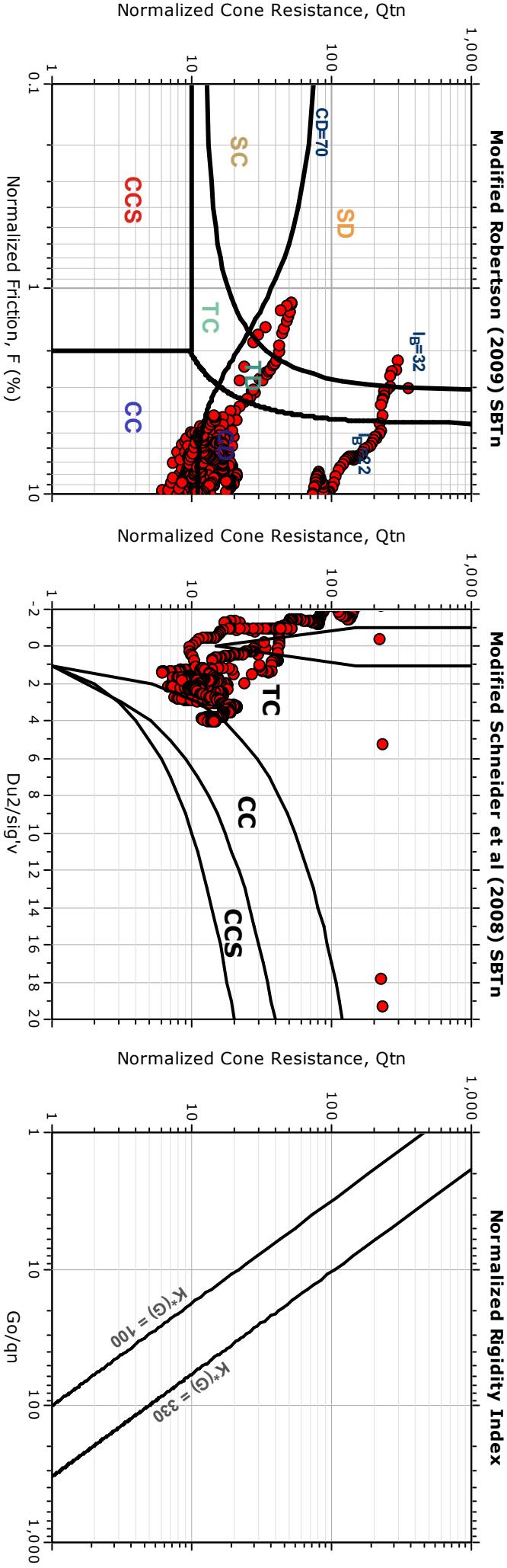


RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu2
Total depth: 8.15 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

Updated SBTn plots



$K(G) > 330$: Soils with significant microstructure
(e.g. age/cementation)

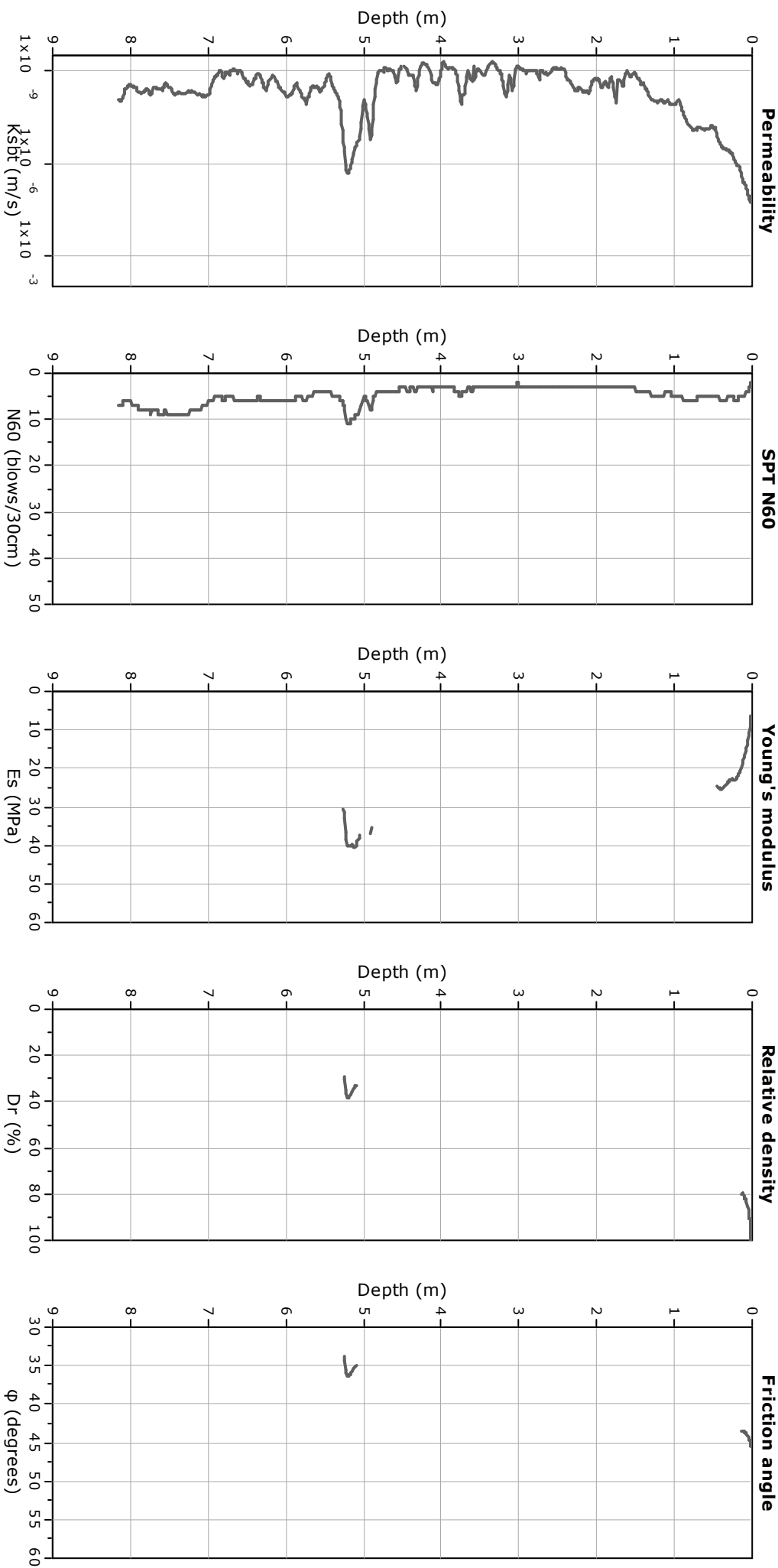
CCS: Clay-like - Contractive - Sensitive
CC: Clay-like - Contractive
CD: Clay-like - Dilative
TC: Transitional - Contractive
TD: Transitional - Dilative
SC: Sand-like - Contractive
SD: Sand-like - Dilative



RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu2
Total depth: 8.15 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n
SPT N_{60} : Based on I_c and q_t
Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)
Relative desnisty constant, C_{Dr} : 350.0
Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)
—●— User defined estimation data

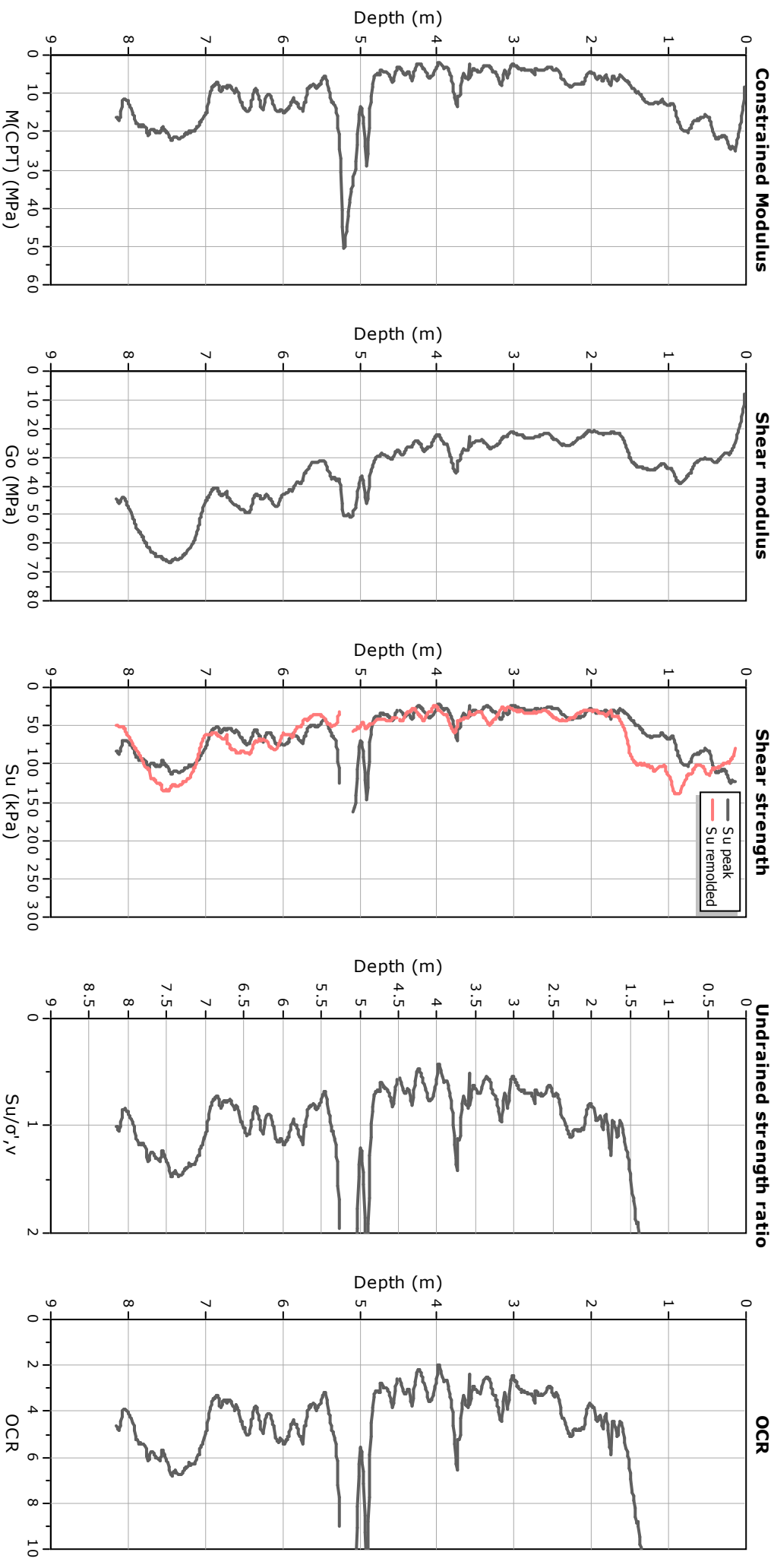
CPeT-IT v.2.0.1.26 - CPTU data presentation & interpretation software - Report created on: 16/04/2025, 10:33:09
Project file: E:\RdR\PROVE\cpu\2025\SOGESID_Lugo2\SOGESID_Lugo2.cpt



RDR Srl
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu2
Total depth: 8.15 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown



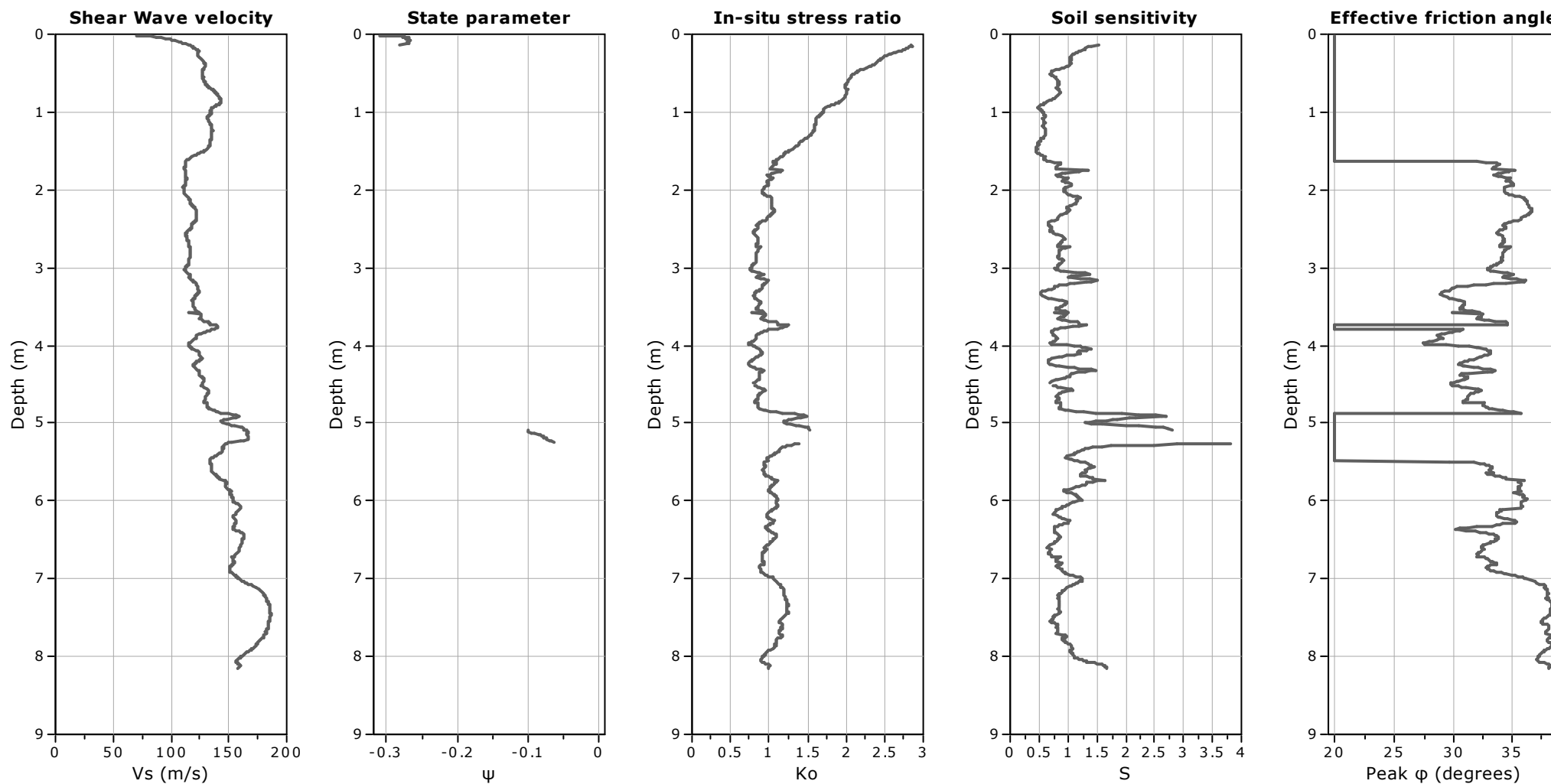
Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable $\alpha/\rho/\eta$ using I_c and Q_m (Robertson, 2009)
Go: Based on variable $\alpha/\rho/\eta$ using I_c (Robertson, 2009)
Undrained shear strength cone factor for clays, N_{kt} : 14

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33
—●— User defined estimation data
—●— Flat Dilatometer Test data



Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2



Calculation parameters

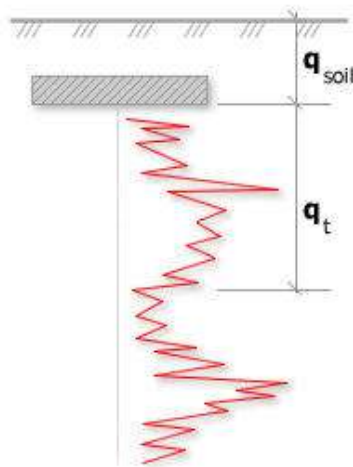
Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data



Project: Indagini geotecniche

Location: Lugo vasca laminazione 2



Bearing Capacity calculation is performed based on the formula:

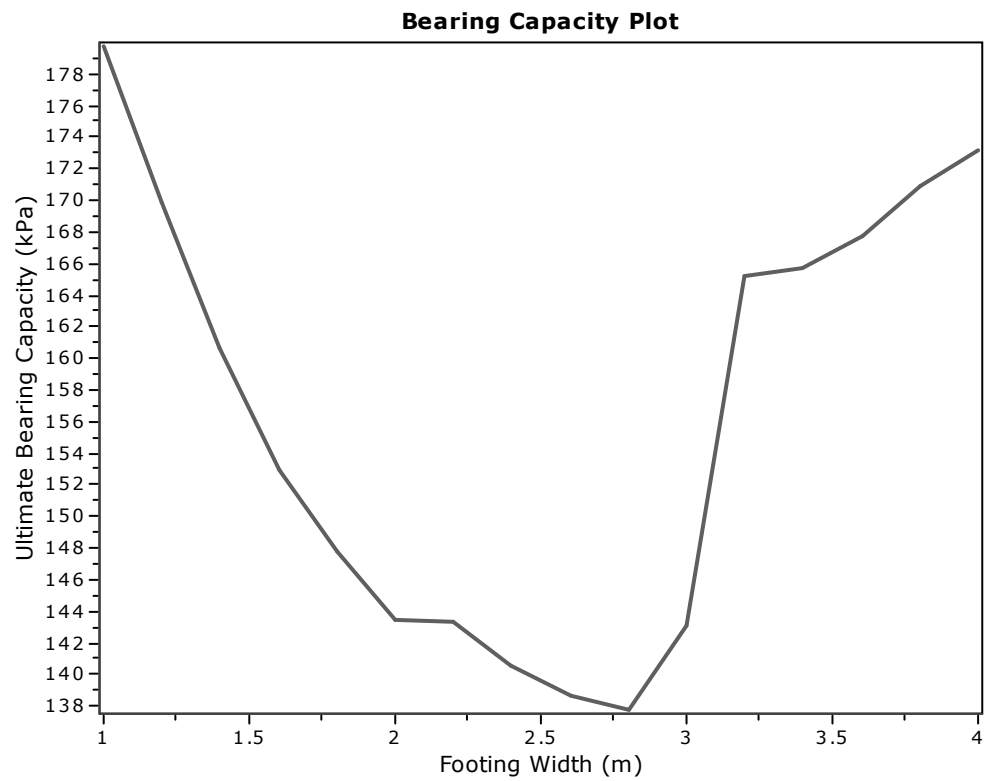
$$Q_{ult} = R_k \times q_t + q_{soil}$$

where:

R_k : Bearing capacity factor

q_t : Average corrected cone resistance over calculation depth

q_{soil} : Pressure applied by soil above footing



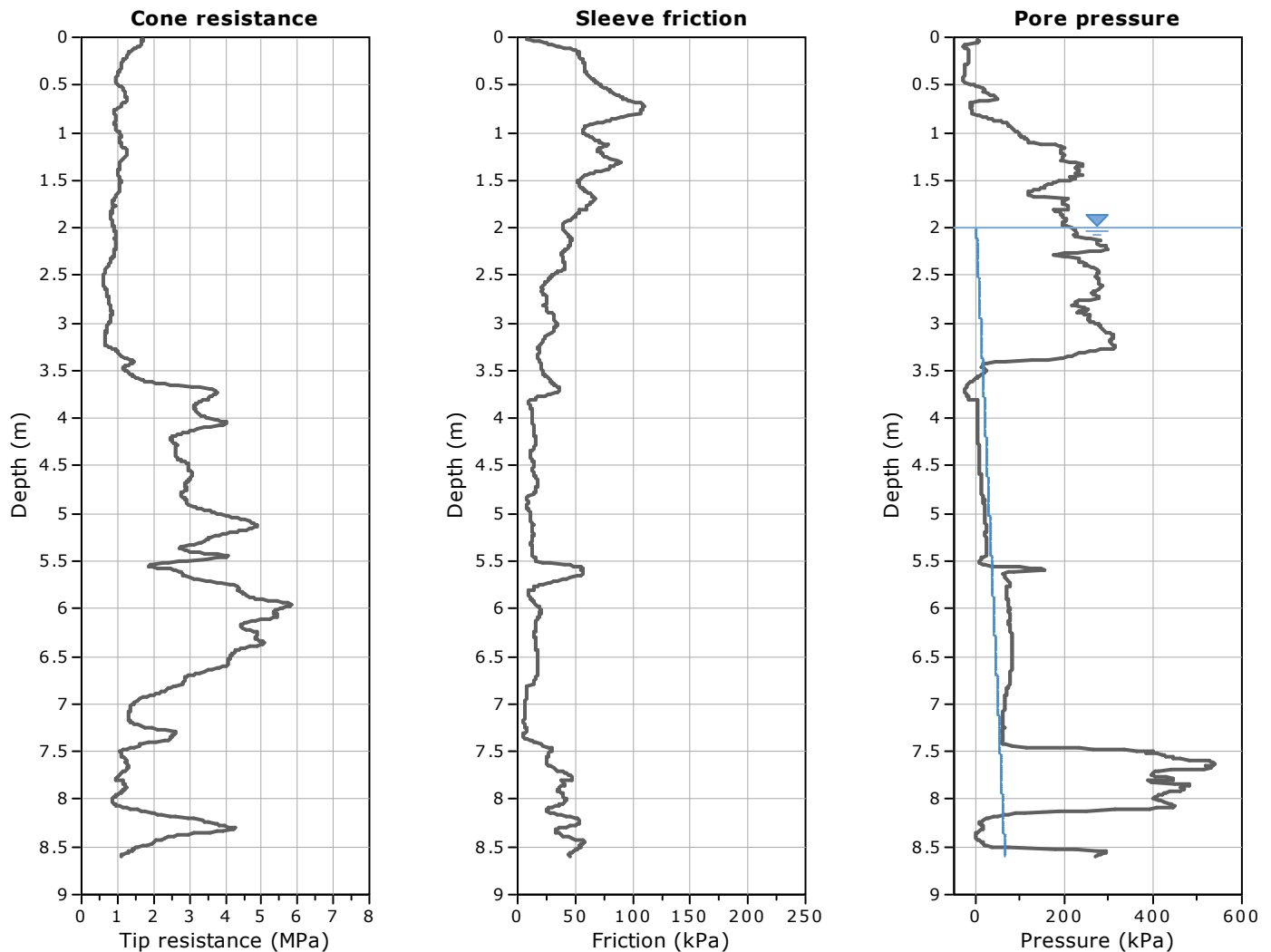
:: Tabular results ::

No	B (m)	Start Depth (m)	End Depth (m)	Ave. q_t (MPa)	R_k	Soil Press. (kPa)	Ult. bearing cap. (kPa)
1	1.00	0.50	2.00	0.85	0.20	9.50	179.74
2	1.20	0.50	2.30	0.80	0.20	9.50	169.87
3	1.40	0.50	2.60	0.76	0.20	9.50	160.65
4	1.60	0.50	2.90	0.72	0.20	9.50	152.89
5	1.80	0.50	3.20	0.69	0.20	9.50	147.71
6	2.00	0.50	3.50	0.67	0.20	9.50	143.43
7	2.20	0.50	3.80	0.67	0.20	9.50	143.28
8	2.40	0.50	4.10	0.66	0.20	9.50	140.55
9	2.60	0.50	4.40	0.65	0.20	9.50	138.64
10	2.80	0.50	4.70	0.64	0.20	9.50	137.77
11	3.00	0.50	5.00	0.67	0.20	9.50	143.12
12	3.20	0.50	5.30	0.78	0.20	9.50	165.15
13	3.40	0.50	5.60	0.78	0.20	9.50	165.75
14	3.60	0.50	5.90	0.79	0.20	9.50	167.79
15	3.80	0.50	6.20	0.81	0.20	9.50	170.86
16	4.00	0.50	6.50	0.82	0.20	9.50	173.15



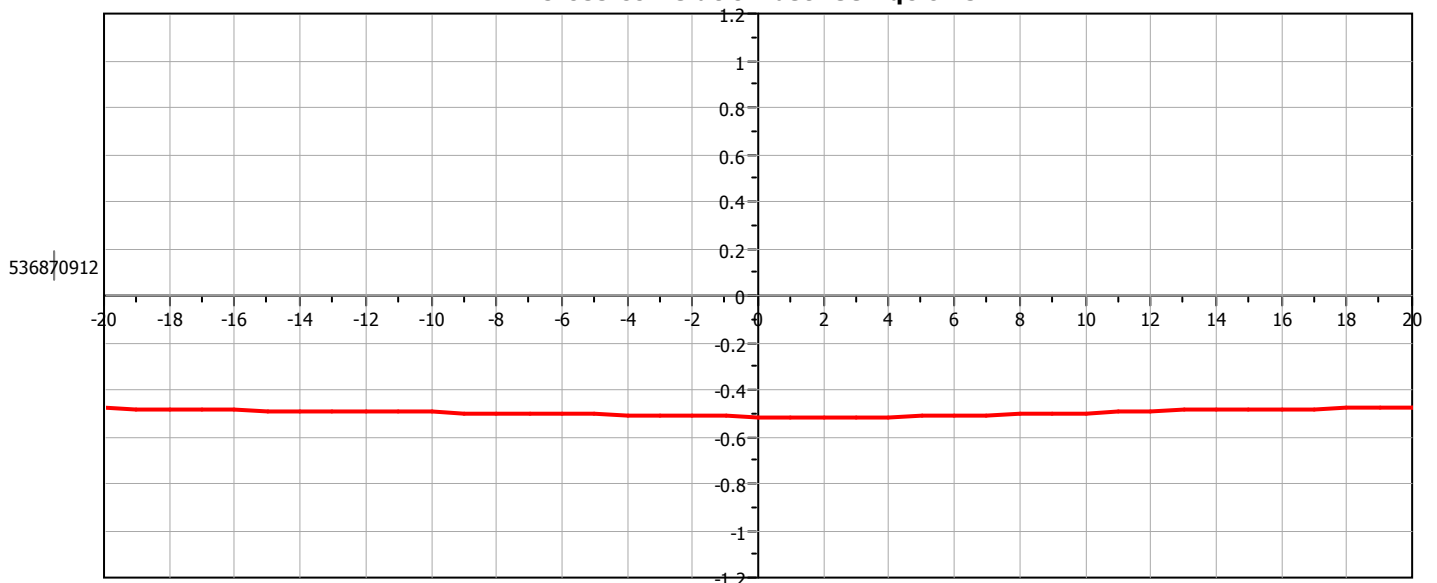
Project: Indagini geotecniche

Location: Lugo vasca laminazione 2



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

Cross correlation between q_c & f_s





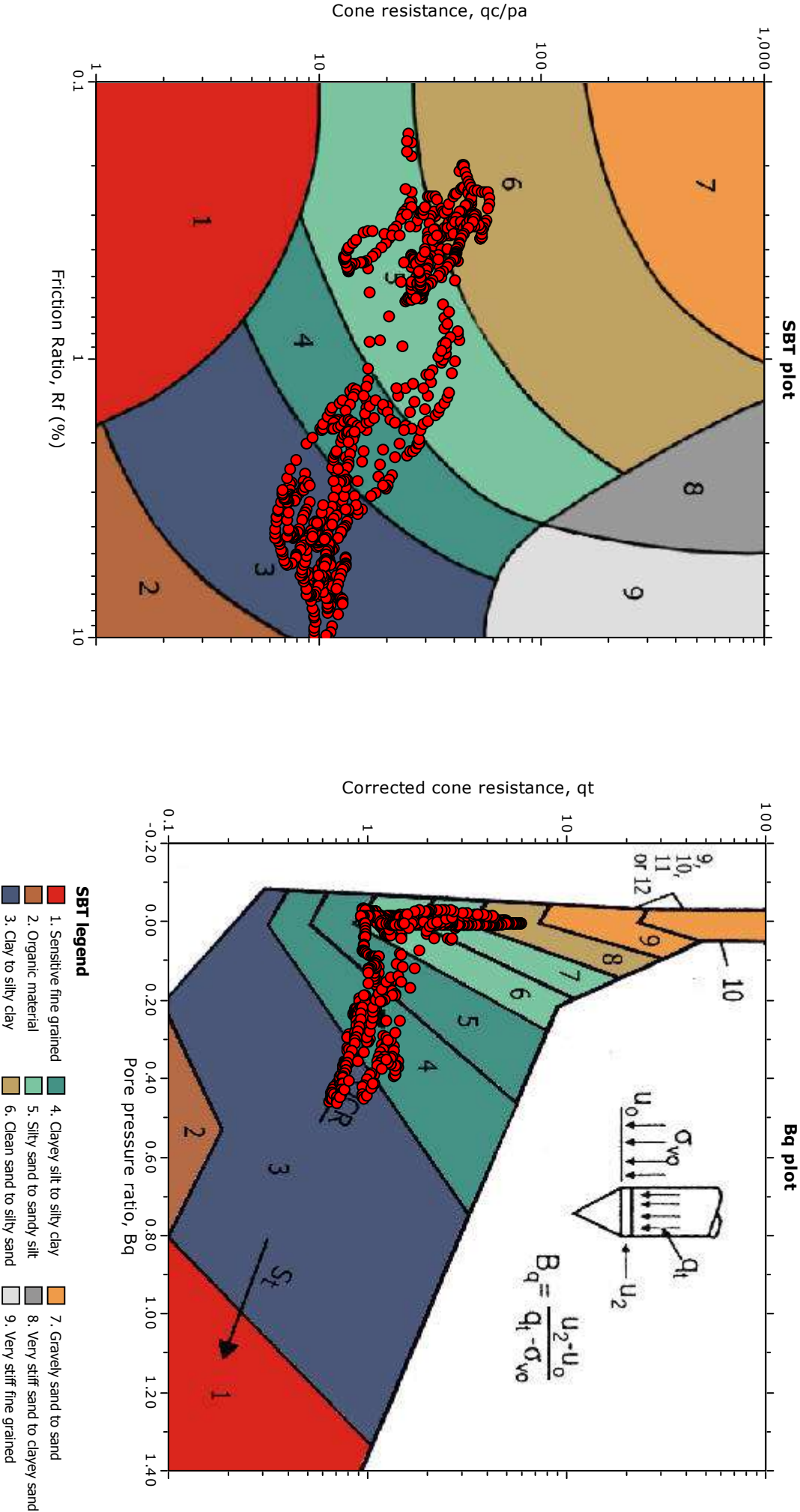
RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu3

Total depth: 8.60 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

SBT - Bq plots



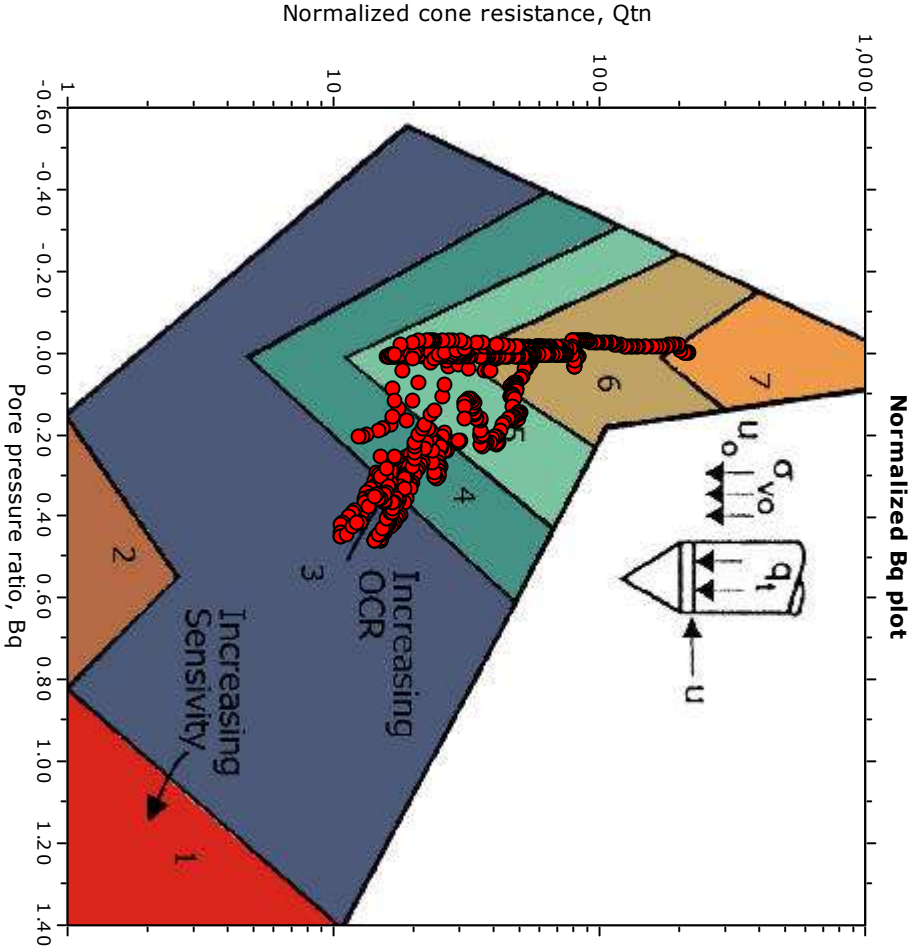
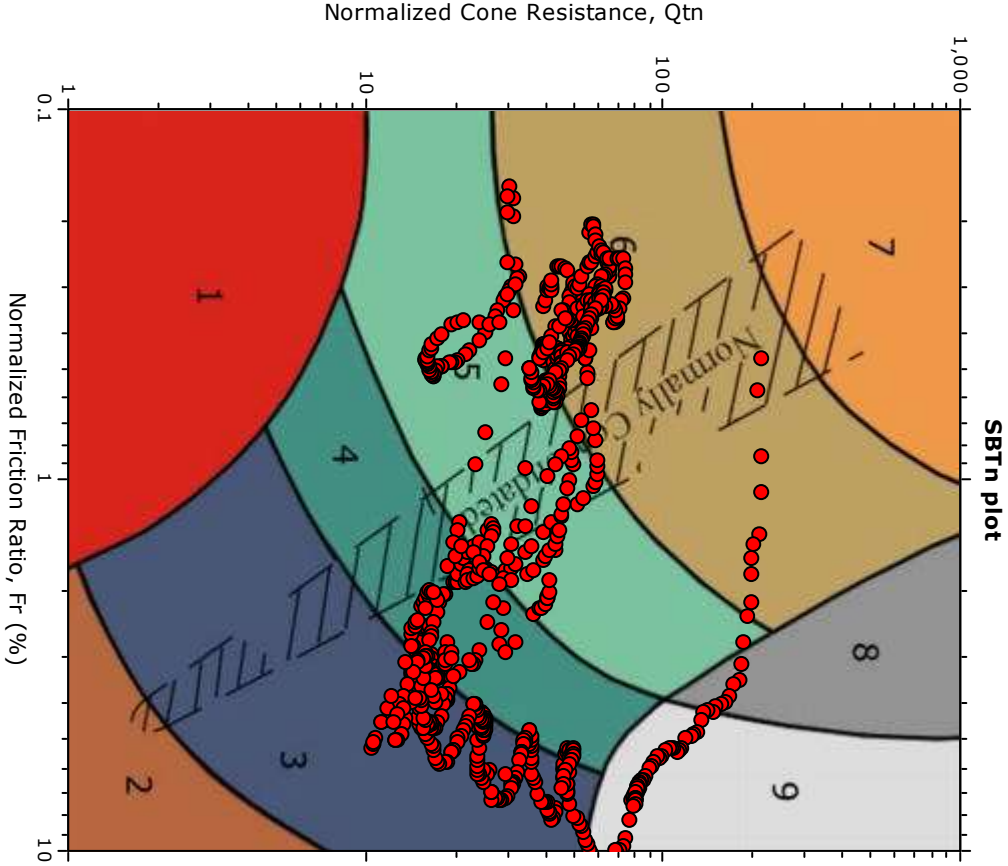


Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

CPT: cptu3
Total depth: 8.60 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

SBT - Bq plots (normalized)



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

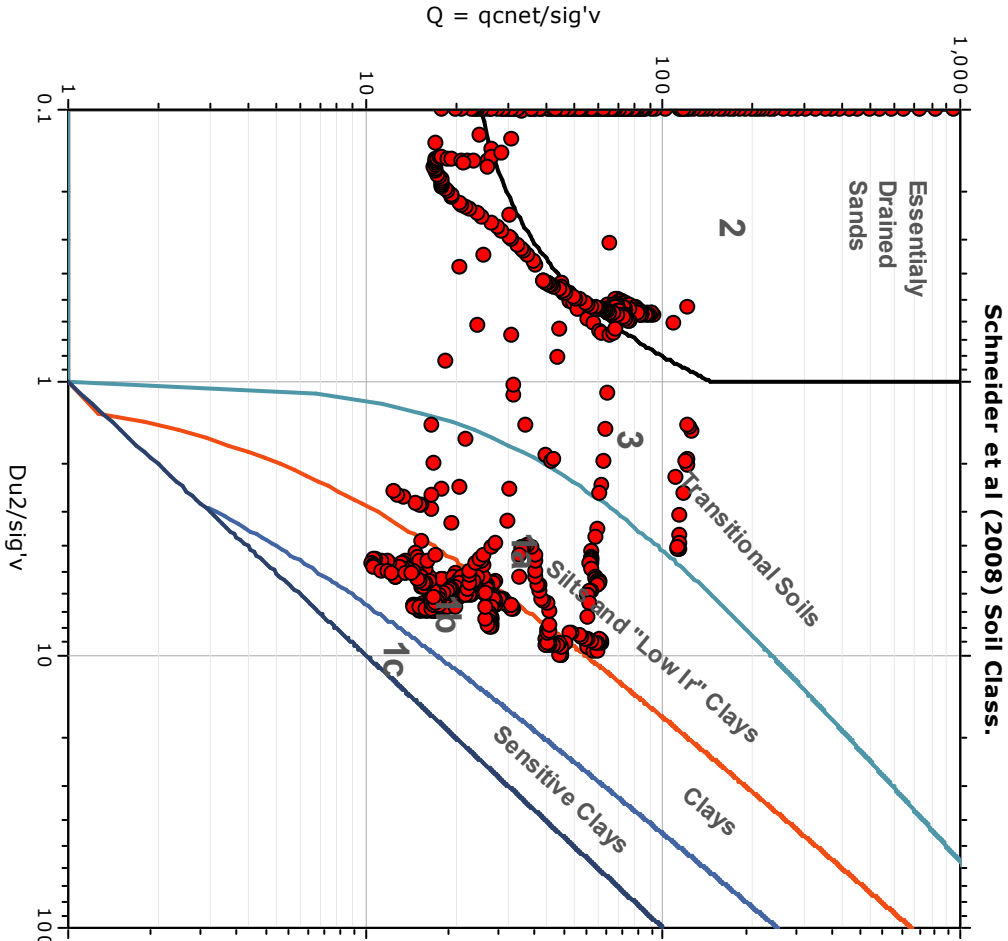
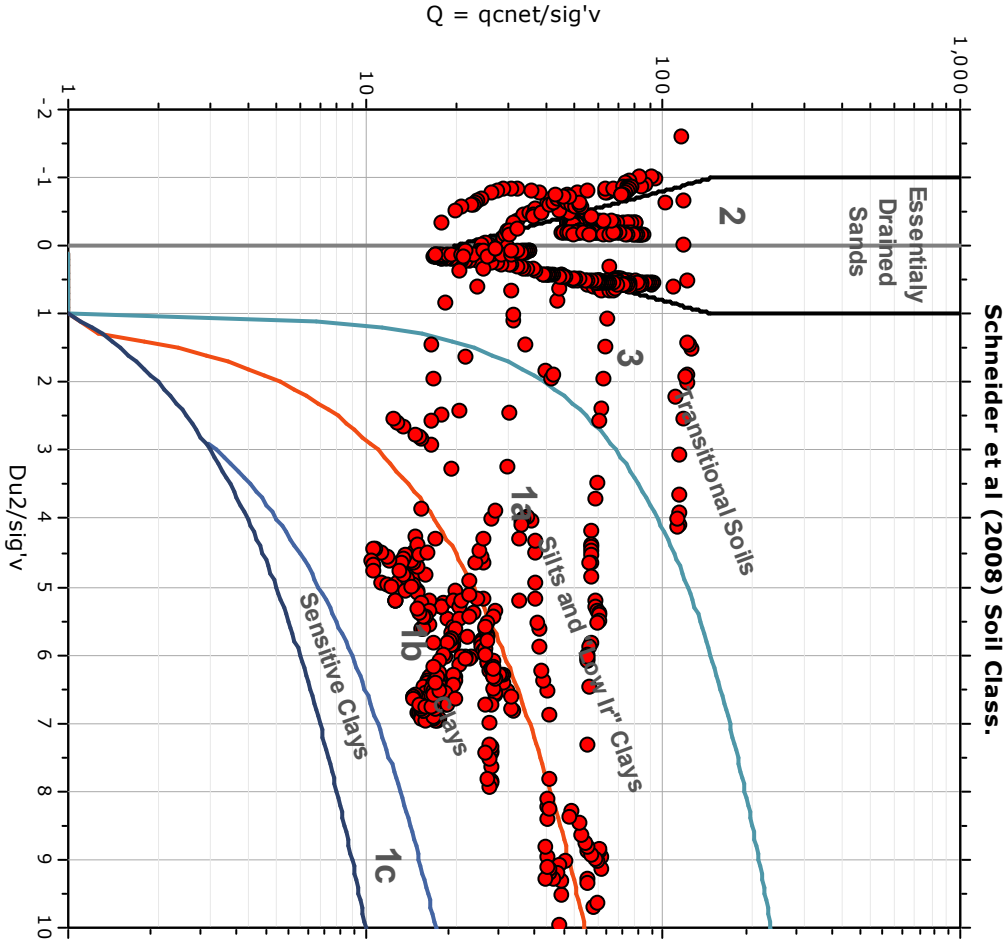


RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

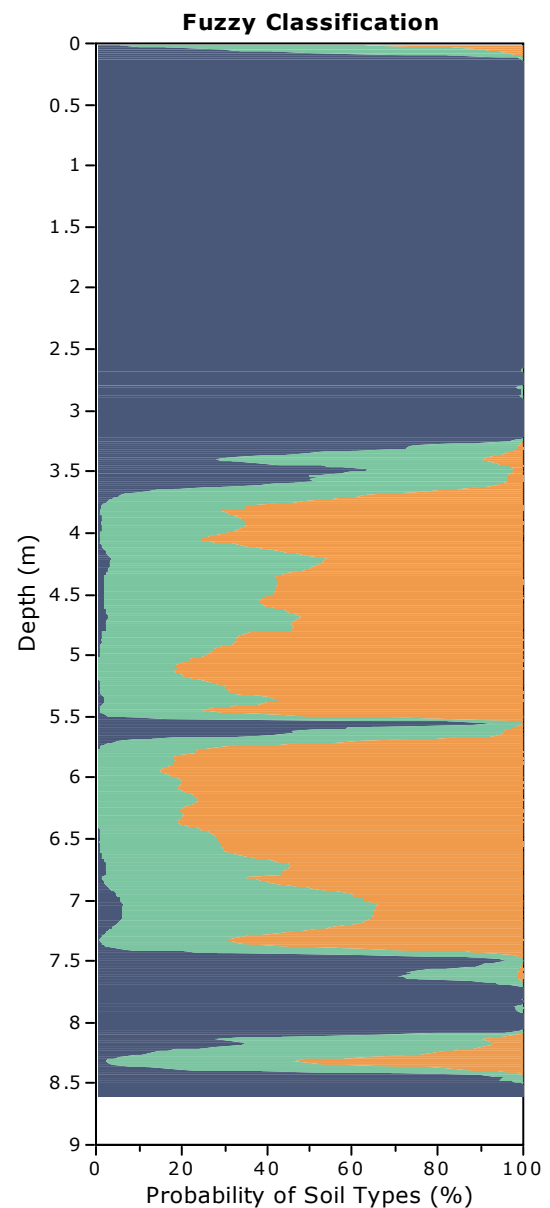
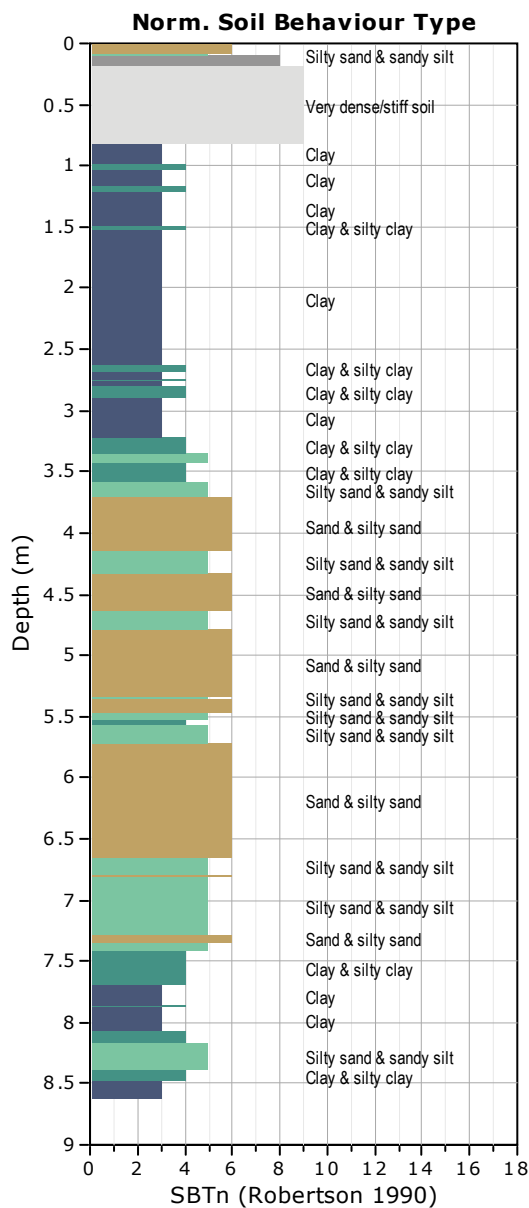
CPT: cptu3
Total depth: 8.60 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

Bq plots (Schneider)





Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

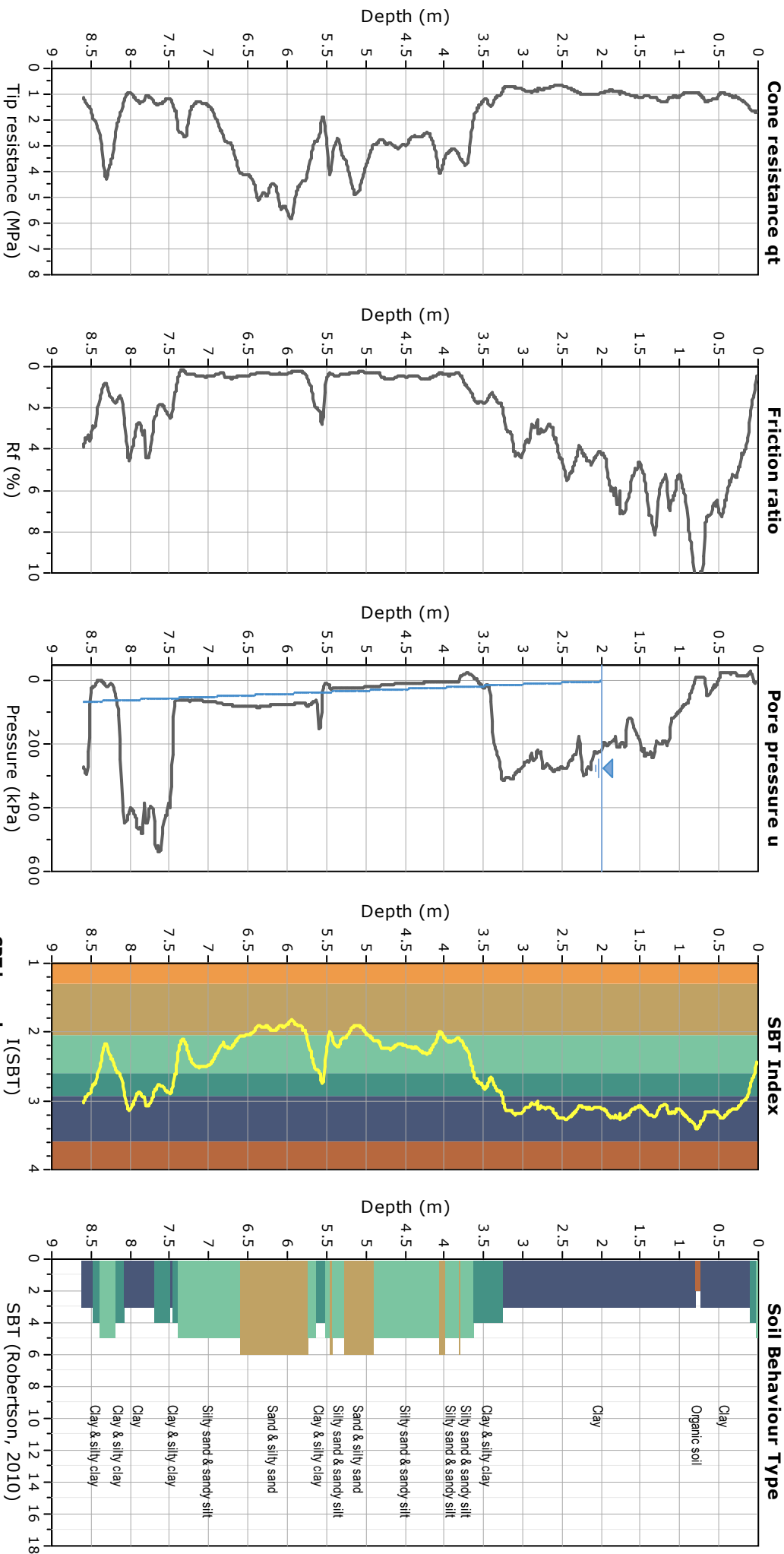




RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu3
Total depth: 8.60 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

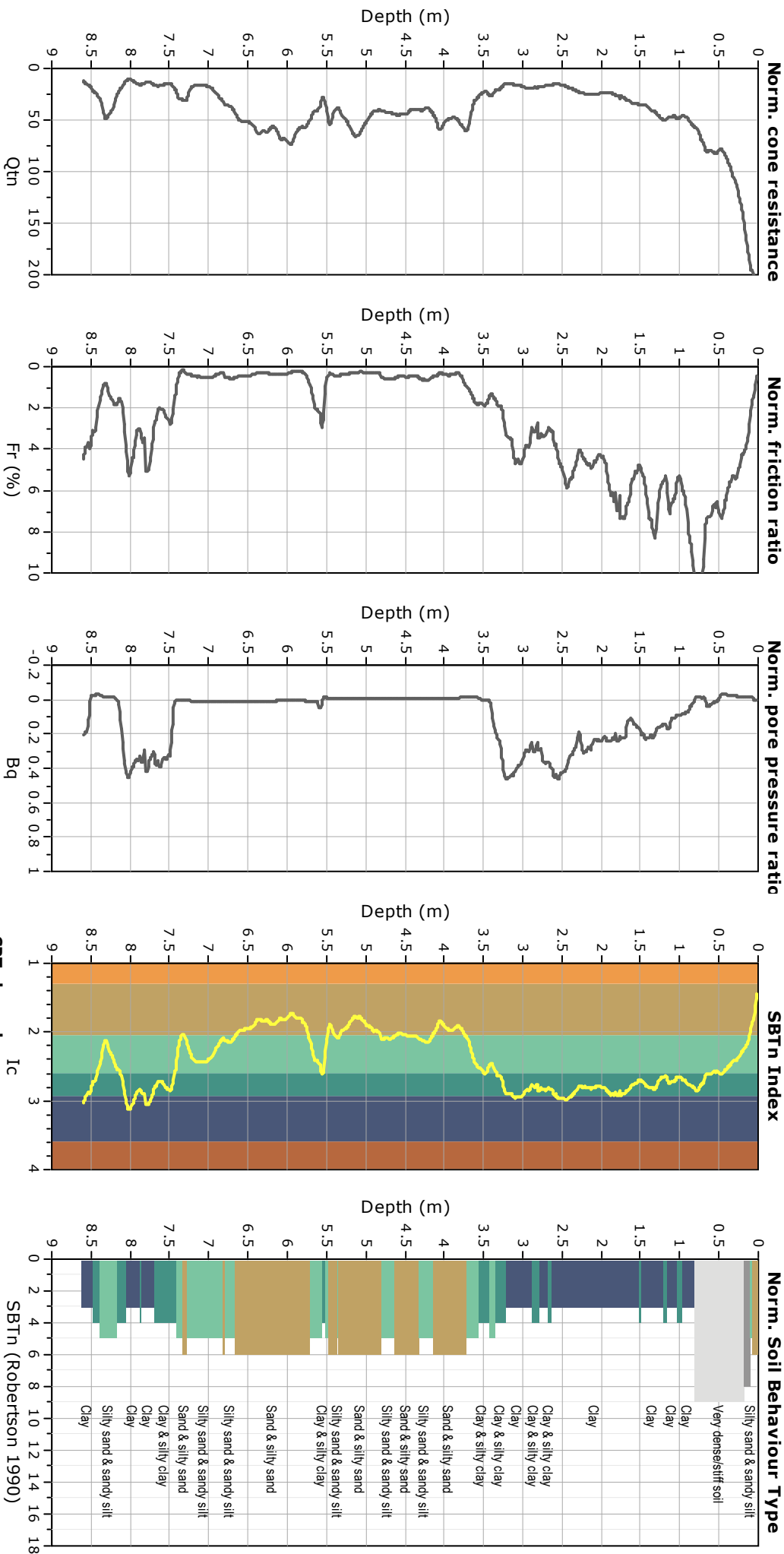




RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu3
Total depth: 8.60 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown





Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu3

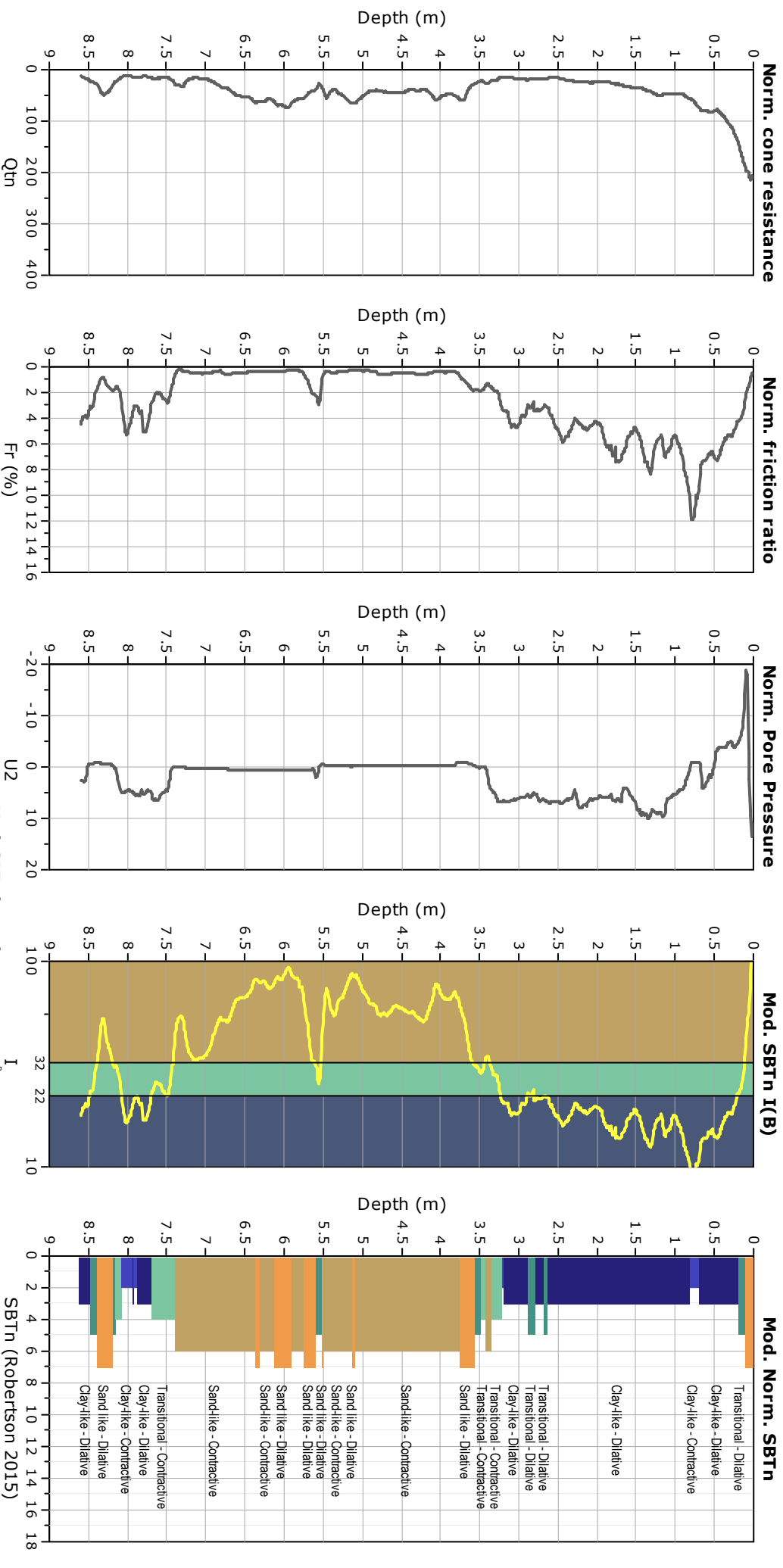
Total depth: 8.60 m, Date: 16/04/2025

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Unknown

Cone Operator: Unknown



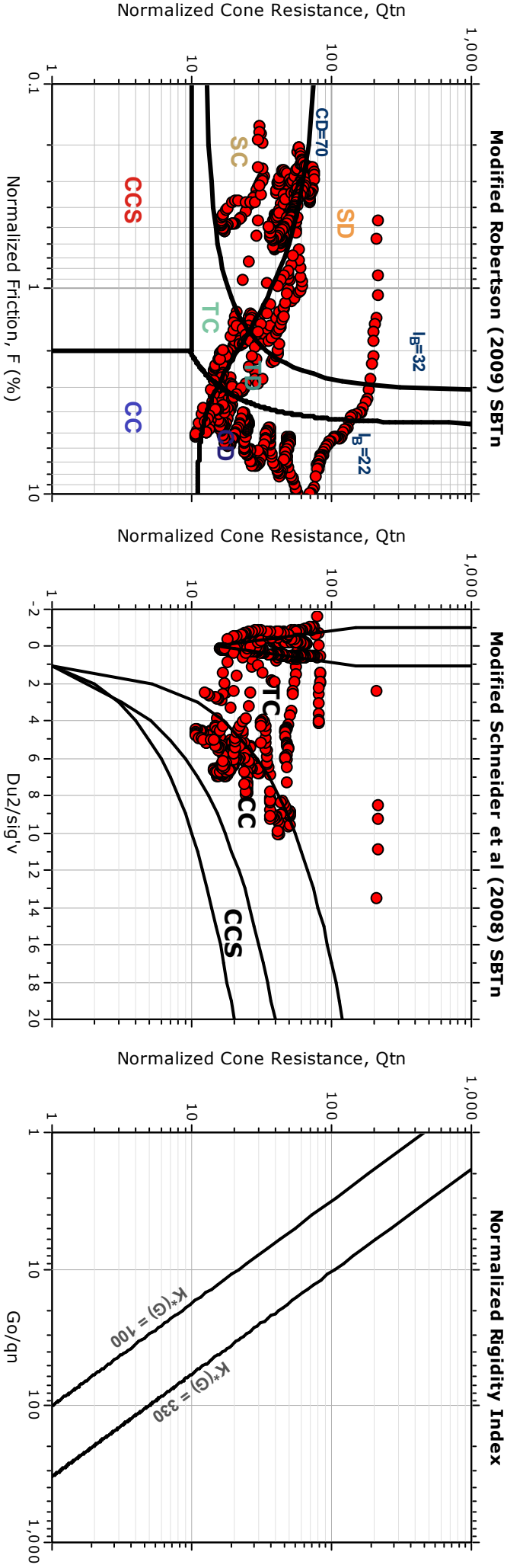


RDR SRL
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu3
Total depth: 8.60 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

Updated SBTn plots



$K(G) > 330$: Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)

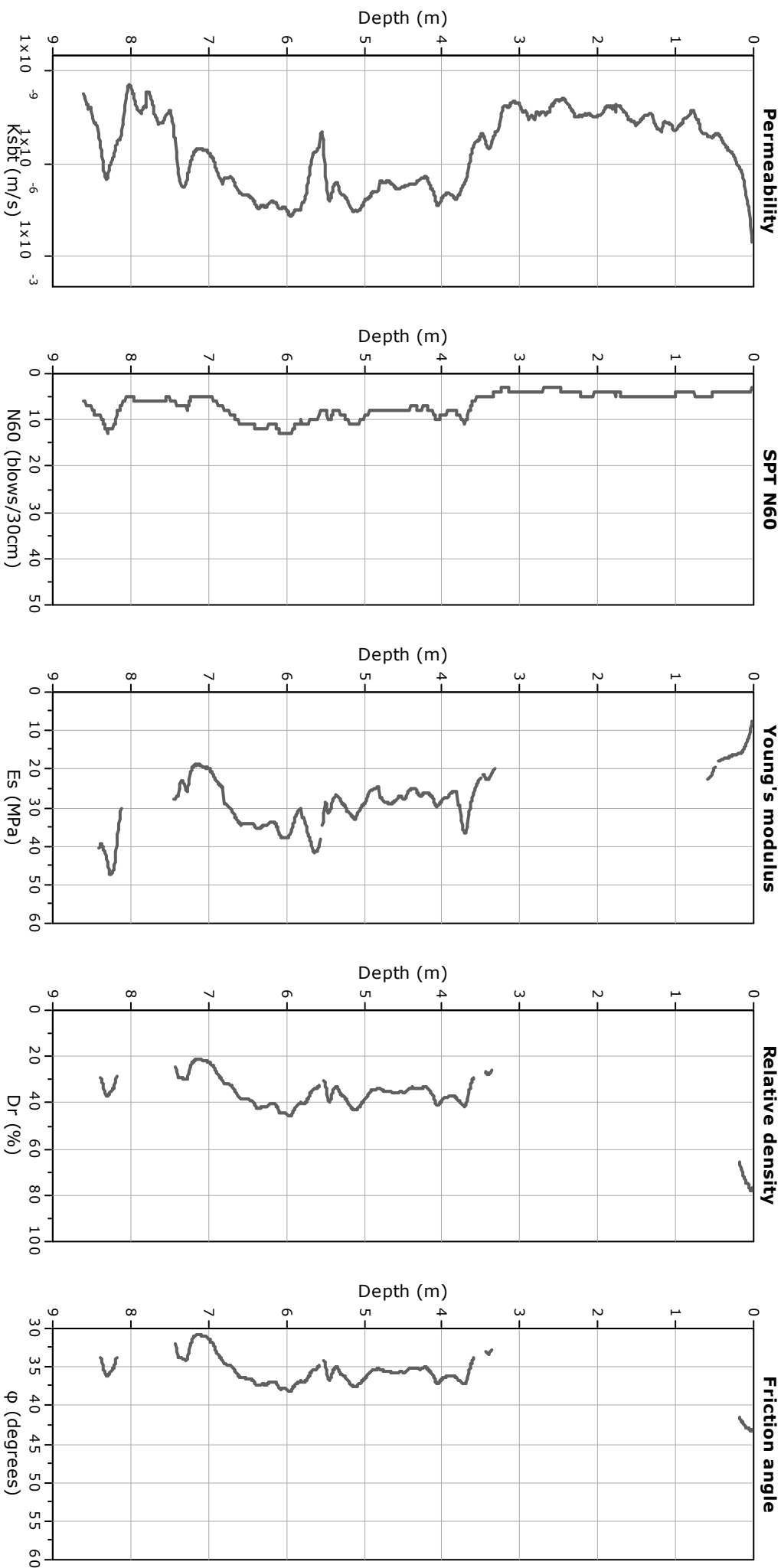
CCS: Clay-like - Contractive - Sensitive
CC: Clay-like - Contractive
CD: Clay-like - Dilative
TC: Transitional - Contractive
TD: Transitional - Dilative
SC: Sand-like - Contractive
SD: Sand-like - Dilative



RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu3
Total depth: 8.60 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)

Relative desnisty constant, C_{Dr} : 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

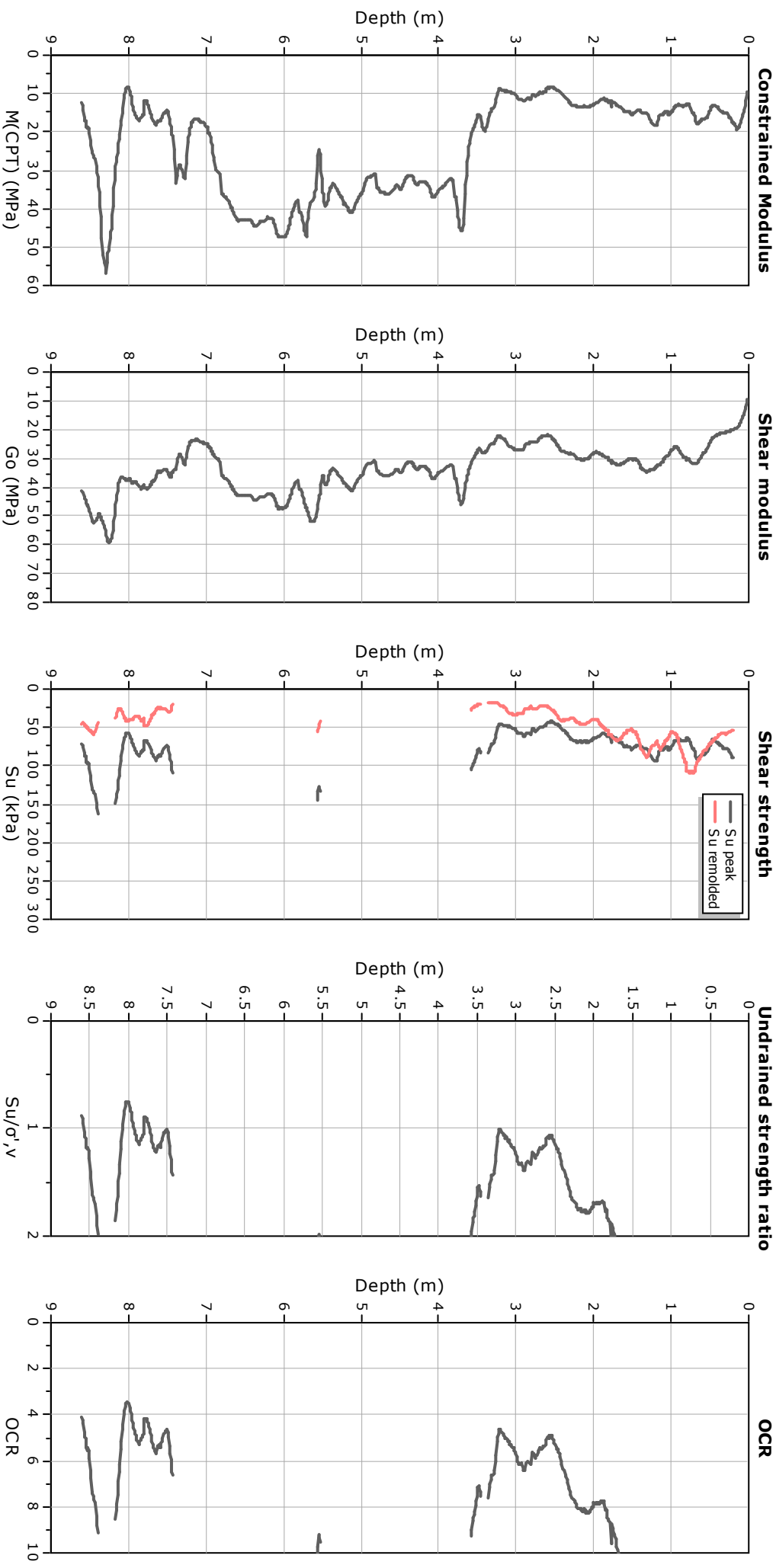
—●— User defined estimation data



RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu3
Total depth: 8.60 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown



Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable $\alpha/\rho/\eta$ using I_c and Q_{ln} (Robertson, 2009)

Go: Based on variable $\alpha/\rho/\eta$ using I_c (Robertson, 2009)

Undrained shear strength cone factor for clays, N_{kt} : 14

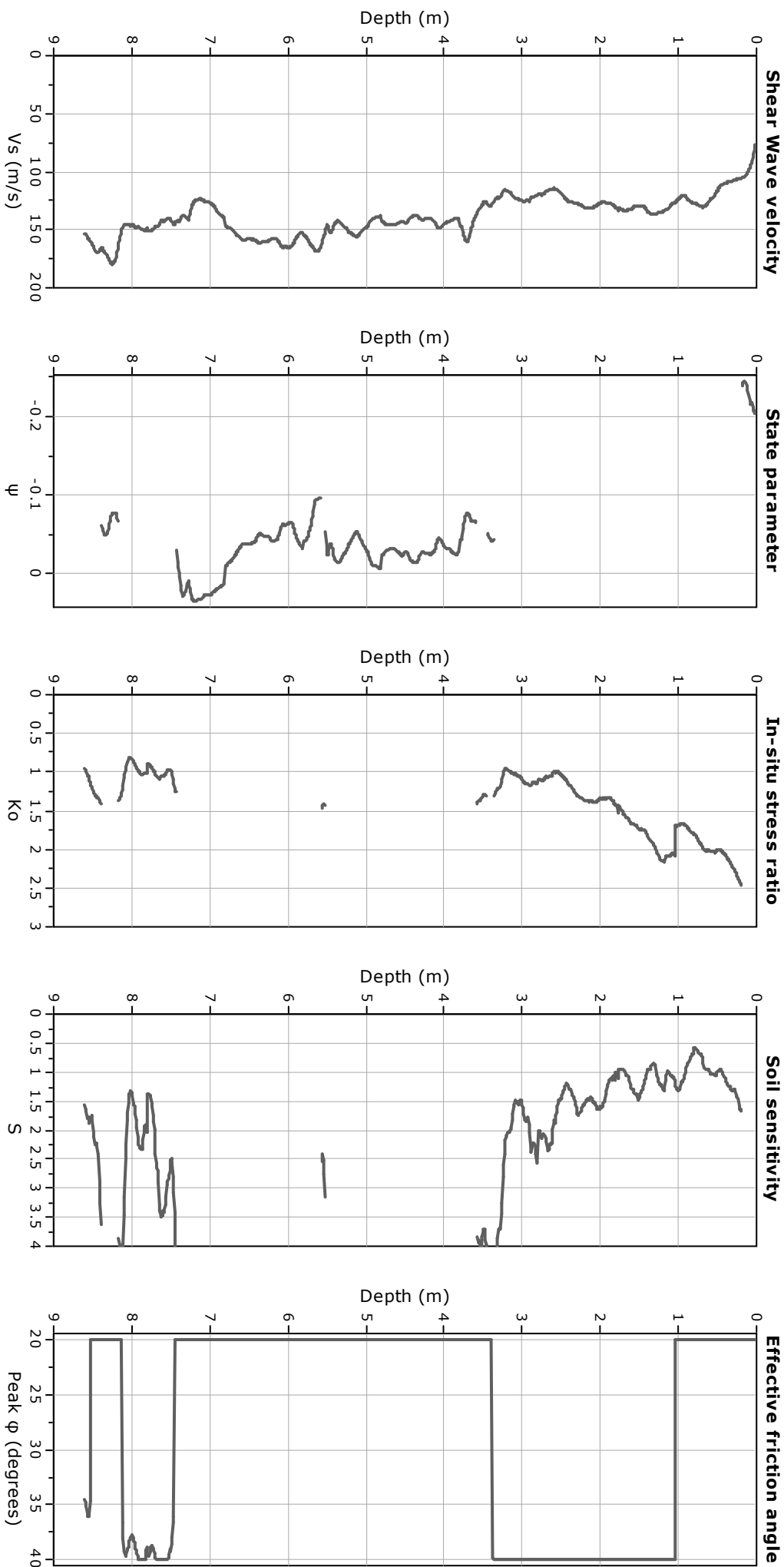
- OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33
- User defined estimation data
- Flat Dilatometer Test data



RDR S.r.l.
Bologna Via Toscana 119
rocco.carbonella@fastwebnet.it

Project: Indagini geotecniche
Location: Lugo vasca laminazione 2

CPT: cptu3
Total depth: 8.60 m, Date: 16/04/2025
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

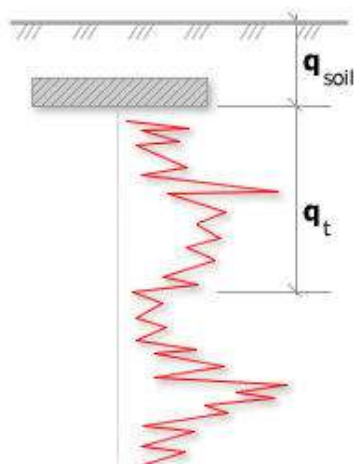


Calculation parameters
Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00
—●— User defined estimation data



Project: Indagini geotecniche

Location: Lugo vasca laminazione 2



Bearing Capacity calculation is performed based on the formula:

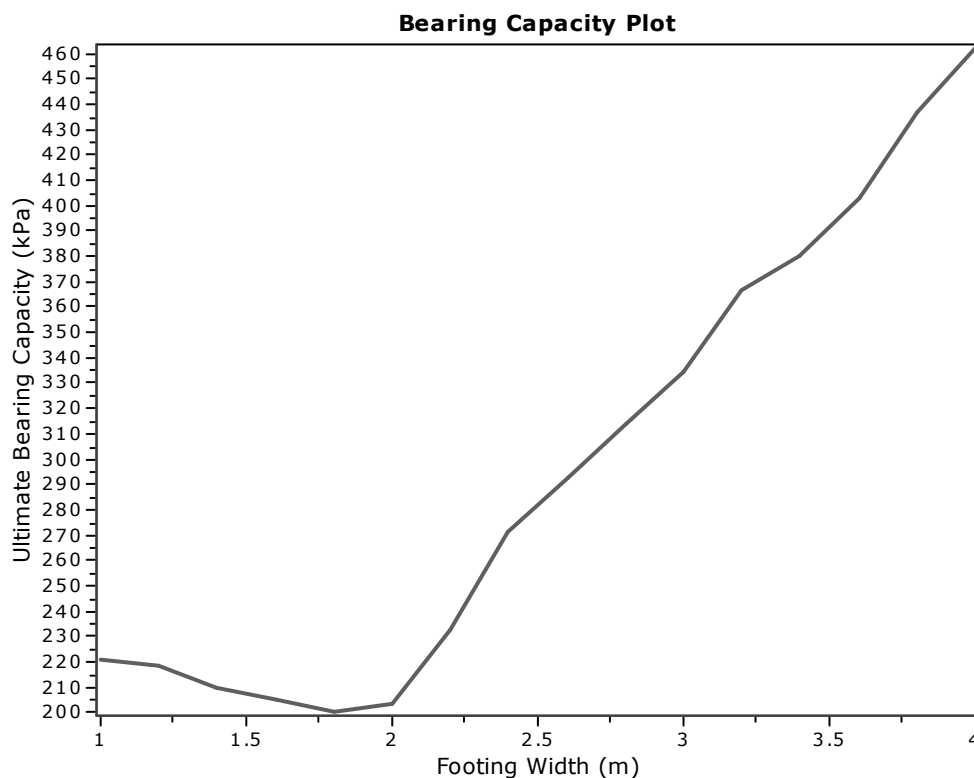
$$Q_{ult} = R_k \times q_t + q_{soil}$$

where:

R_k : Bearing capacity factor

q_t : Average corrected cone resistance over calculation depth

q_{soil} : Pressure applied by soil above footing



:: Tabular results ::

No	B (m)	Start Depth (m)	End Depth (m)	Ave. q_t (MPa)	R_k	Soil Press. (kPa)	Ult. bearing cap. (kPa)
1	1.00	0.50	2.00	1.06	0.20	9.50	220.88
2	1.20	0.50	2.30	1.05	0.20	9.50	218.58
3	1.40	0.50	2.60	1.00	0.20	9.50	210.01
4	1.60	0.50	2.90	0.98	0.20	9.50	204.66
5	1.80	0.50	3.20	0.95	0.20	9.50	200.25
6	2.00	0.50	3.50	0.97	0.20	9.50	203.62
7	2.20	0.50	3.80	1.12	0.20	9.50	232.92
8	2.40	0.50	4.10	1.31	0.20	9.50	271.57
9	2.60	0.50	4.40	1.41	0.20	9.50	292.45
10	2.80	0.50	4.70	1.52	0.20	9.50	314.20
11	3.00	0.50	5.00	1.62	0.20	9.50	334.44
12	3.20	0.50	5.30	1.79	0.20	9.50	366.72
13	3.40	0.50	5.60	1.85	0.20	9.50	379.78
14	3.60	0.50	5.90	1.97	0.20	9.50	402.71
15	3.80	0.50	6.20	2.14	0.20	9.50	436.74
16	4.00	0.50	6.50	2.26	0.20	9.50	462.09

Presented below is a list of formulas used for the estimation of various soil properties. The formulas are presented in SI unit system and assume that all components are expressed in the same units.

:: Unit Weight, g (kN/m^3) ::

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

where g_w = water unit weight

:: Permeability, k (m/s) ::

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

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

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

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

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

:: Young's Modulus, E_s (MPa) ::

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

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

:: Relative Density, Dr (%) ::

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

:: State Parameter, ψ ::

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

:: Peak drained friction angle, ϕ ($^\circ$) ::

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

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

:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::

If $I_c > 2.20$

$$\alpha = 14 \text{ for } Q_{tn} > 14$$

$$\alpha = Q_{tn} \text{ for } Q_{tn} \leq 14$$

$$M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$$

If $I_c \leq 2.20$

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

:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::

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

:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) ::

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

:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) ::

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

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

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

:: Remolded undrained shear strength, $S_u(\text{rem})$ (kPa) ::

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

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

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

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

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

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

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

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

:: Soil Sensitivity, S_t ::

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

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

:: Effective Stress Friction Angle, ϕ' ($^\circ$) ::

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

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

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

Terms & Conditions

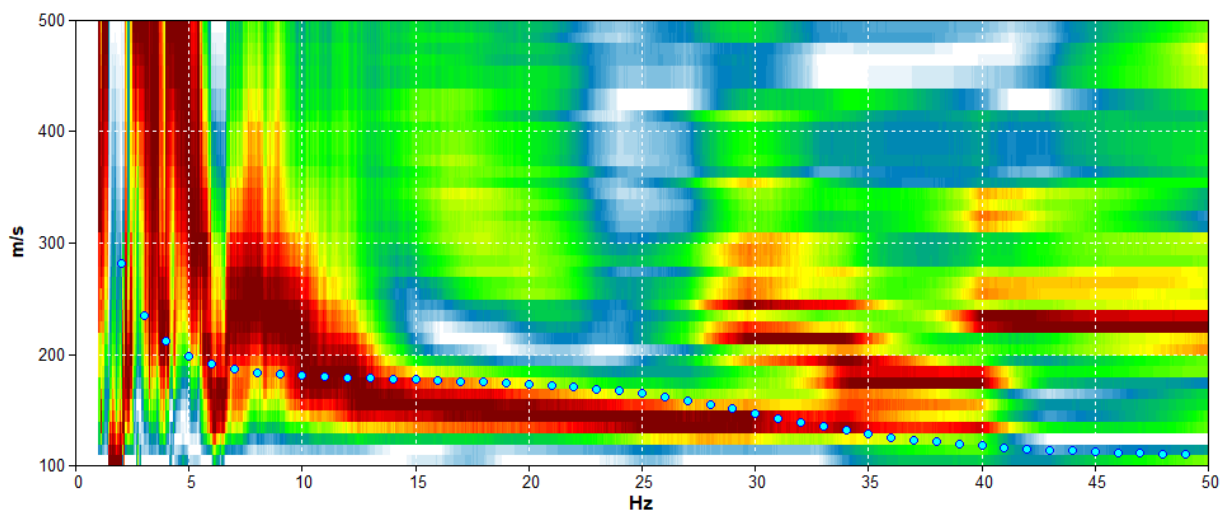
SOGESID_LUGO2_MASW,

Start recording: 13/03/2025 14:45:18 End recording: 13/03/2025 14:46:20
Trace length: 0h01'00". Analysis performed on the entire trace.
Sampling rate: 256 Hz

Channel labels: TR1+ TR1-; TR2+ TR2-; TR3+ TR3-; TR4+ TR4-; TR5+ TR5-; TR6+ TR6-;
TR7+ TR7-; TR8+ TR8-

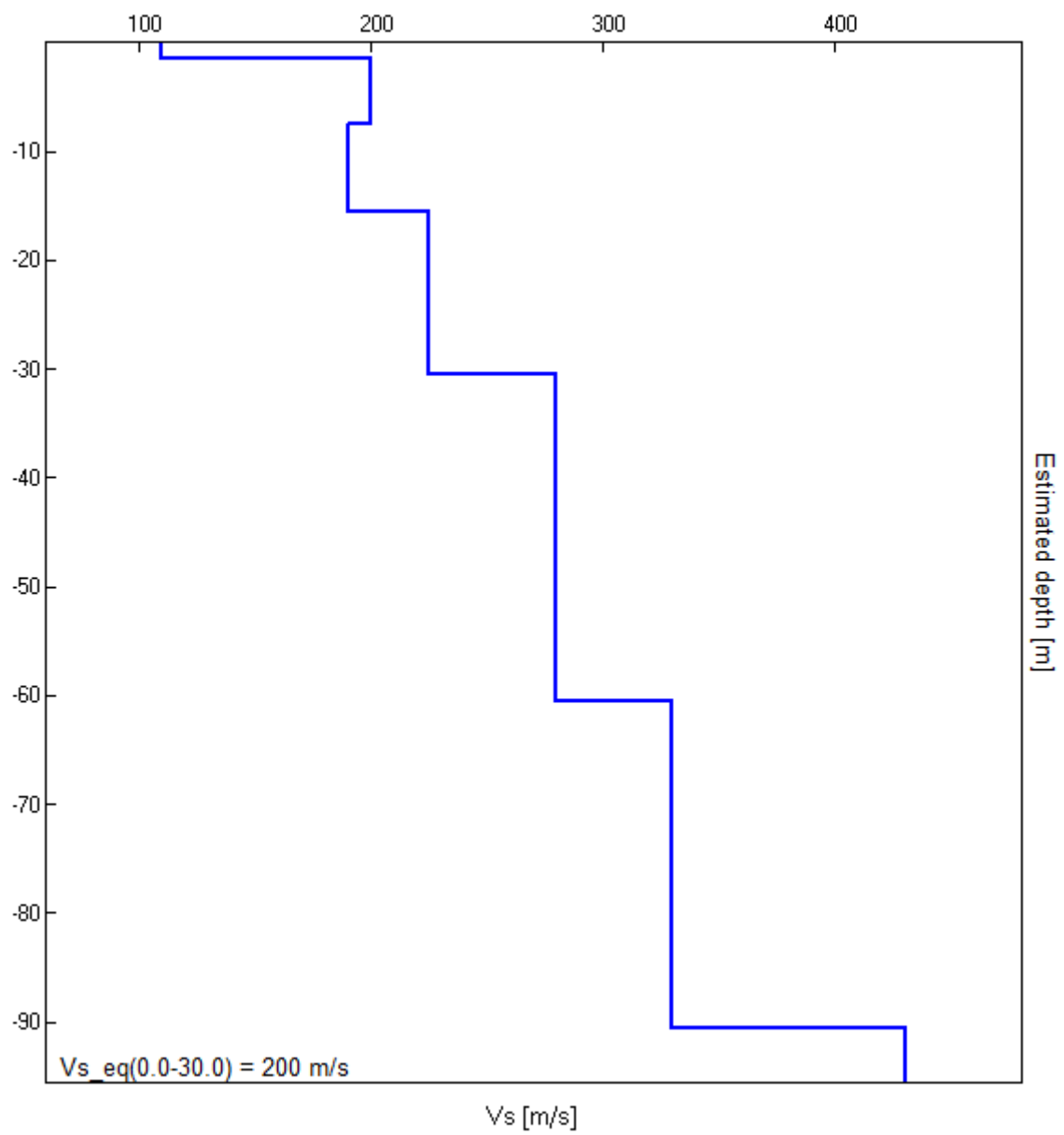
Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.50	1.50	110
7.50	6.00	200
15.50	8.00	190
30.50	15.00	225
60.50	30.00	280
90.50	30.00	330
inf.	inf.	430

$V_{s_eq}(0.0-30.0) = 200 \text{ m/s}$

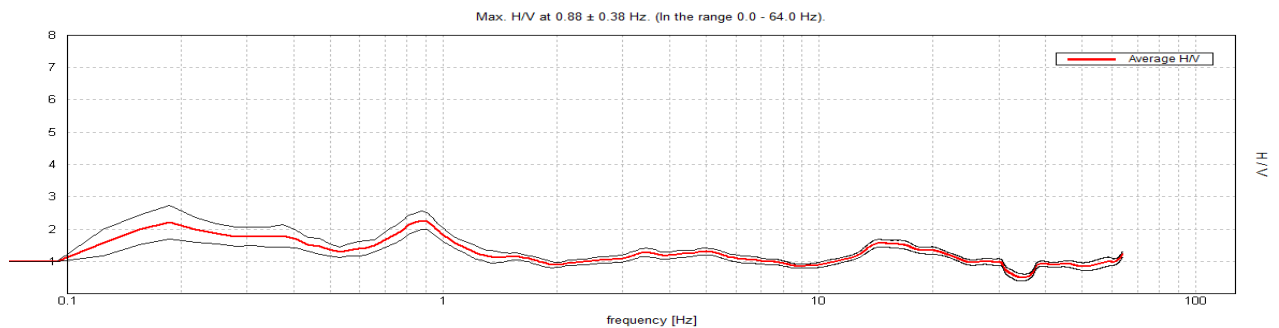


SOGESID_LUGO2_HV, LUGO2 HV1

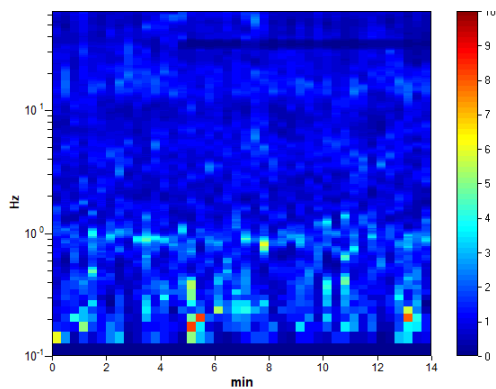
Instrument: TZ3-0008/01-13
Data format: 32 bit
Full scale [mV]: 51
Start recording: 13/03/2025 15:50:56 End recording: 13/03/2025 16:04:56
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analysis performed on the entire trace.
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

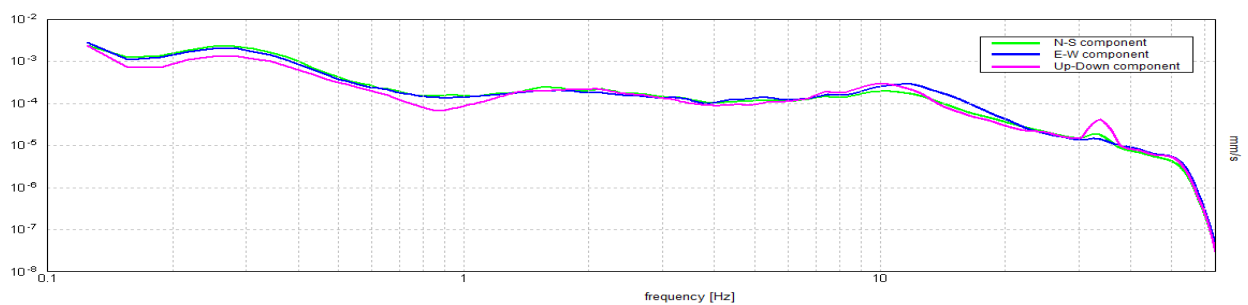
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



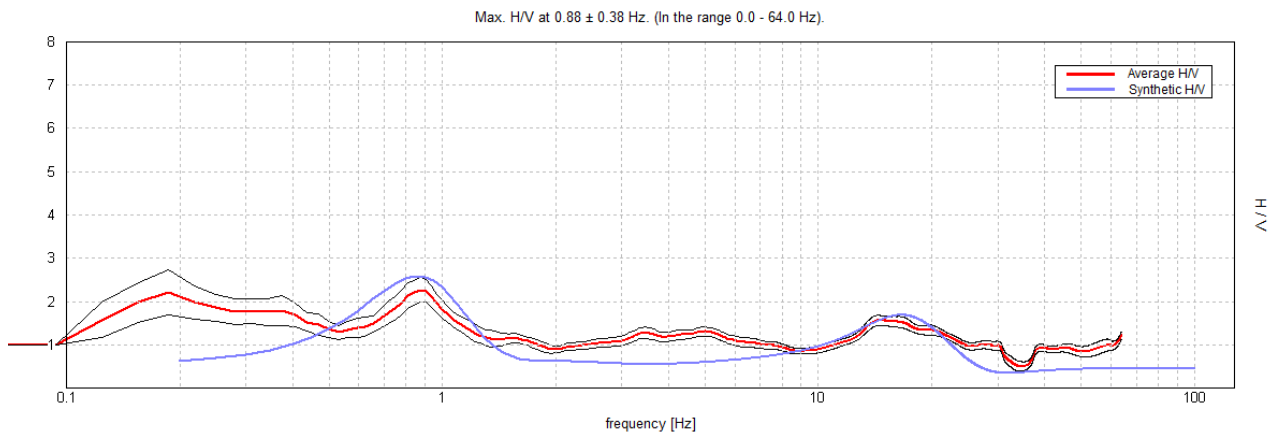
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

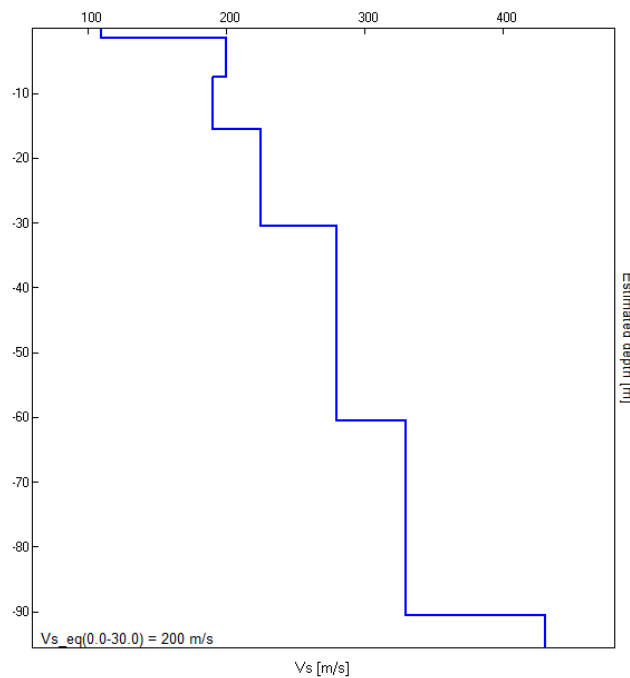


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.50	1.50	110
7.50	6.00	200
15.50	8.00	190
30.50	15.00	225
60.50	30.00	280
90.50	30.00	330
inf.	inf.	430

$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 200$ m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 0.88 ± 0.38 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$735.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 43 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.27 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.43997 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.38497 < 0.13125$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2874 < 2.0$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Determinazione del peso di volume

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

Committente: SOGESID
Località: LUGO
Cantiere: VASCHE LAMINAZIONE 2
Sondaggio: S1
Campione: C1
Profondità: 1.20 - 1.60m
Data: MAGGIO 2025

Massa tara (g):	70,66
Massa Campione umido + tara (g):	152,54
Massa Campione secco + tara (g):	135,98
Volume fustella tarata (cm ³):	45,58
Umidità naturale (%):	25,352
Massa Volumica umida (kg/m ³):	1796,40
Massa Volumica secca (kg/m ³):	1433,08

Sperimentatore



Dott. Rocco Carbonella
Via Toscana 119, 40141 Bologna
CLL 393 8376620
mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it

LIMITI

Normativa di rif: CNR-UNI 10014 - BS1377

Committente: SOGESID
Località: LUGO
Cantiere: VASCHE LAMINAZIONE 2
Sondaggio: S1
Campione: C1
Profondità: 1.20 - 1.60m
Data: MAGGIO 2025

Numero colpi: 19
Massa tara (g): 16,91
Massa Campione umido + tara (g): 59,76
Massa Campione secco + tara (g): 44,59
umidità campione(g): 54,80
Limite liquido (%): 53

Massa tara (g): 22,61
Massa Campione umido + tara (g): 33,14
Massa Campione secco + tara (g): 30,84
Limite Plastico (%): 28

Sperimentatore:



Dott. Rocco Carbonella
Via Toscana 119, 40141 Bologna
CLL 393 8376620
mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it

ANALISI GRANULOMERICA

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

Sperimentatore:

Committente: SOGESID
Località: LUGO
Cantiere: VASCHE LAMINAZIONE 2
Sondaggio: S1
Campione: C1
Profondità: 1.20 - 1.60m
Data: MAGGIO 2025



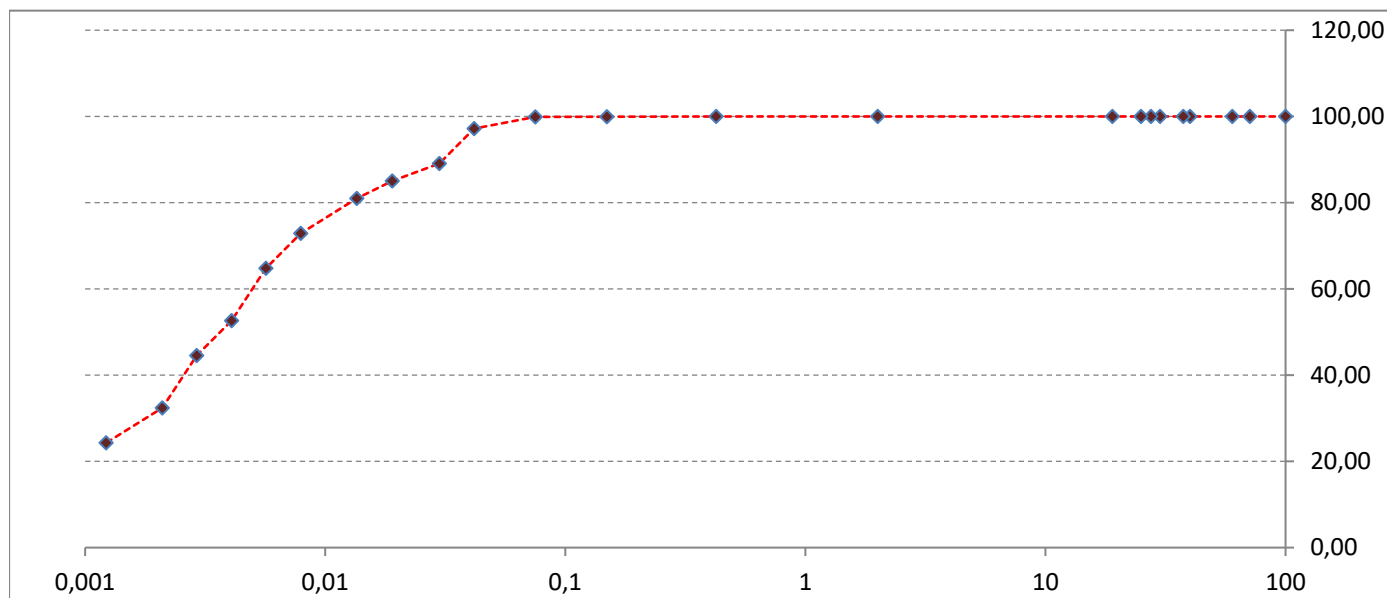
SETACCIATURA

Massa Campione (g)	168,01	
Crivelli/setacc (mm)	Peso (g)	Passante (%)
100	0	100,00
71	0	100,00
60	0	100,00
40	0	100,00
37,5	0	100,00
30	0	100,00
27,5	0	100,00
25	0	100,00
19	0	100,00
2	0	100,00
0,425	0	100,00
0,149	0,12	99,93
0,075	0,06	99,89

SEDIMENTAZIONE

Massa Campione (g)	40,12	
Diametri (mm)	Lecture	Passante (%)
0,042	24	97,18
0,030	22	89,08
0,019	21	85,03
0,014	20	80,98
0,008	18	72,88
0,006	16	64,78
0,004	13	52,64
0,003	11	44,54
0,002	8	32,39
0,001	6	24,29

Granulometria A.G.I. Ghiaia (%) 0,00 Sabbia (%) 1,33 Limo (%) 67,16 Argilla (%) 31,51



Dott. Rocco Carbonella
Via Toscana 119, 40141 Bologna
CLL 393 8376620
mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it



Dott. Rocco Carbonella
Via Toscana 119, 40141 Bologna
CLL 393 8376620
mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it

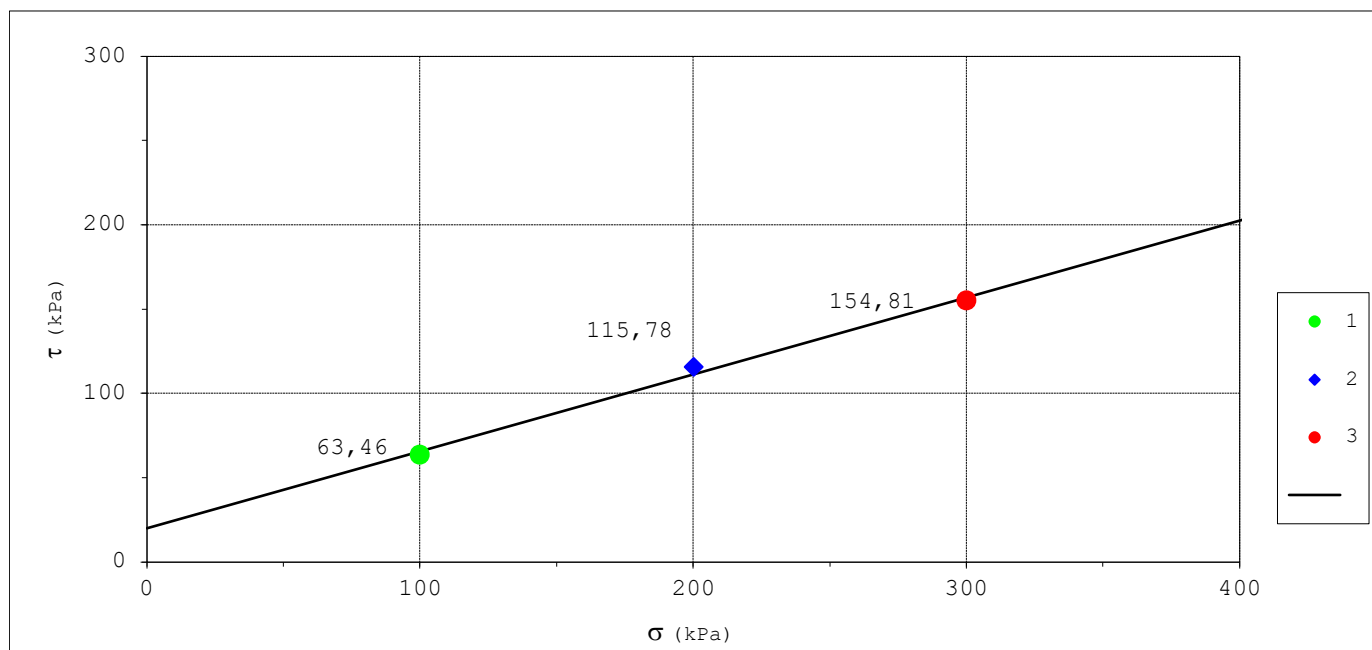
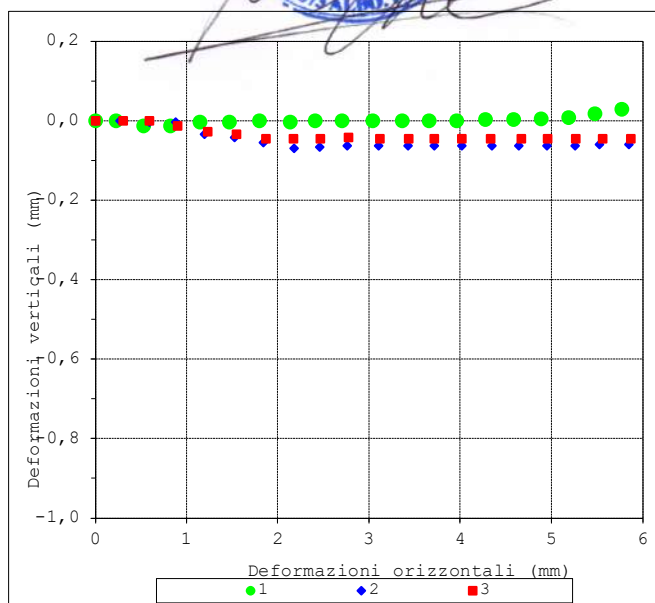
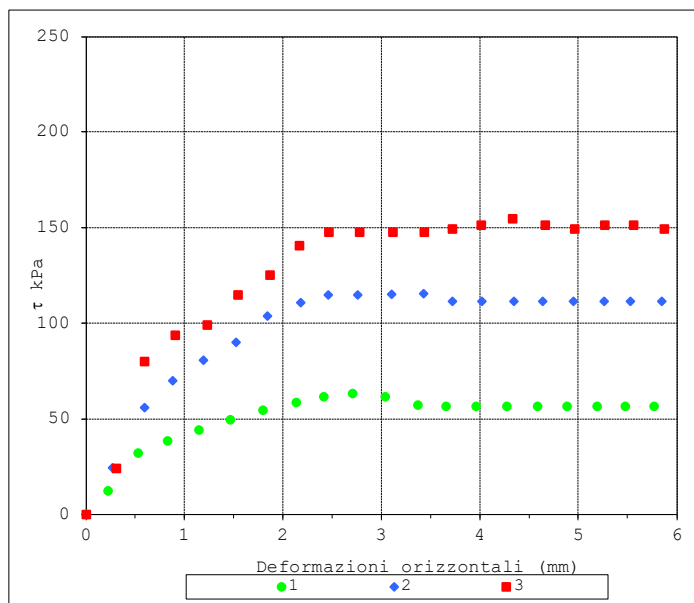
pag. 1

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

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

Committente: SOGESID
Località: LUGO
Cantiere: VASCHE LAMINAZIONE 2
Sondaggio: S1
Campione: C1
Profondità: 1.20 - 1.60m
Data: MAGGIO 2025

Sperimentatore:



Provino	n°	1	2	3	NOTE: Limo argilloso sovraconsolidato
Deformazione a rottura	mm	2,71	3,43	4,33	
Sforzo a rottura	kPa	63,46	115,78	154,81	
Velocità di taglio:	mm/min	0,0060	0,0060	0,0060	
c'	KPa	19,99			
φ'	° sess	24,55			



Dott. Rocco Carbonella
Via Toscana 119, 40141 Bologna
CLL 393 8376620
mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

def. Vert.	def. Oriz.	Sf.
mm	mm	Kpa
0,00	0,00	0,00
0,00	0,23	12,44
-0,01	0,53	32,35
-0,01	0,83	38,57
0,00	1,15	44,38
0,00	1,47	49,77
0,00	1,80	54,75
0,00	2,13	58,89
0,00	2,41	61,80
0,00	2,71	63,46
0,00	3,04	61,89
0,00	3,37	57,54
0,00	3,66	56,89
0,00	3,96	56,89
0,00	4,27	56,89
0,00	4,58	56,89
0,01	4,88	56,89
0,01	5,19	56,89
0,02	5,47	56,89
0,03	5,77	56,89
0,03	6,06	56,89

def. Vert.	def. Oriz.	Sf.
mm	mm	Kpa
0,00	0,00	0,00
0,00	0,27	24,66
0,00	0,59	55,98
0,00	0,88	70,23
-0,03	1,19	80,98
-0,04	1,52	90,11
-0,05	1,84	103,98
-0,07	2,18	110,98
-0,07	2,46	114,98
-0,06	2,76	114,99
-0,06	3,10	115,19
-0,06	3,43	115,78
-0,06	3,72	111,56
-0,06	4,02	111,56
-0,06	4,34	111,56
-0,06	4,64	111,56
-0,06	4,95	111,56
-0,06	5,26	111,56
-0,06	5,53	111,56
-0,06	5,84	111,56
-0,05	6,14	111,56

def. Vert.	def. Oriz.	Sf.
mm	mm	Kpa
0,00	0,00	0,00
0,00	0,31	24,35
0,00	0,59	80,01
-0,01	0,90	93,93
-0,03	1,23	99,15
-0,03	1,55	114,80
-0,04	1,87	125,24
-0,04	2,17	140,89
-0,04	2,47	147,85
-0,04	2,78	147,85
-0,04	3,12	147,85
-0,04	3,44	147,85
-0,04	3,72	149,59
-0,04	4,01	151,33
-0,04	4,33	154,81
-0,04	4,67	151,33
-0,04	4,96	149,59
-0,04	5,27	151,33
-0,04	5,56	151,33
-0,04	5,87	149,59
-0,04	6,15	146,11

Determinazione del peso di volume

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

Committente: SOGESID
Località: LUGO
Cantiere: VASCHE LAMINAZIONE 2
Sondaggio: S2
Campione: C1
Profondità: 1.20 - 1.60m
Data: MAGGIO 2025

Massa tara (g): 71,12
Massa Campione umido + tara (g): 151,987
Massa Campione secco + tara (g): 135,12
Volume fustella tarata (cm³): 45,58

Umidità naturale (%): 26,35
Massa Volumica umida (kg/m³): 1774,18
Massa Volumica secca (kg/m³): 1404,12

Sperimentatore



Dott. Rocco Carbonella
Via Toscana 119, 40141 Bologna
CLL 393 8376620
mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it

LIMITI

Normativa di rif: CNR-UNI 10014 - BS1377

Committente: SOGESID
Località: LUGO
Cantiere: VASCHE LAMINAZIONE 2
Sondaggio: S2
Campione: C1
Profondità: 1.20 - 1.60m
Data: MAGGIO 2025

Numero colpi: 24
Massa tara (g): 21,36
Massa Campione umido + tara (g): 66,88
Massa Campione secco + tara (g): 51,41
umidità campione(g): 51,48
Limite liquido (%): 51

Massa tara (g): 17,12
Massa Campione umido + tara (g): 23,35
Massa Campione secco + tara (g): 21,97
Limite Plastico (%): 28

Sperimentatore:



Dott. Rocco Carbonella
Via Toscana 119, 40141 Bologna
CLL 393 8376620
mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it

ANALISI GRANULOMERICA

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

Sperimentatore:

Committente: SOGESID
Località: LUGO
Cantiere: VASCHE LAMINAZIONE 2
Sondaggio: S2
Campione: C1
Profondità: 1.20 - 1.60m
Data: MAGGIO 2025



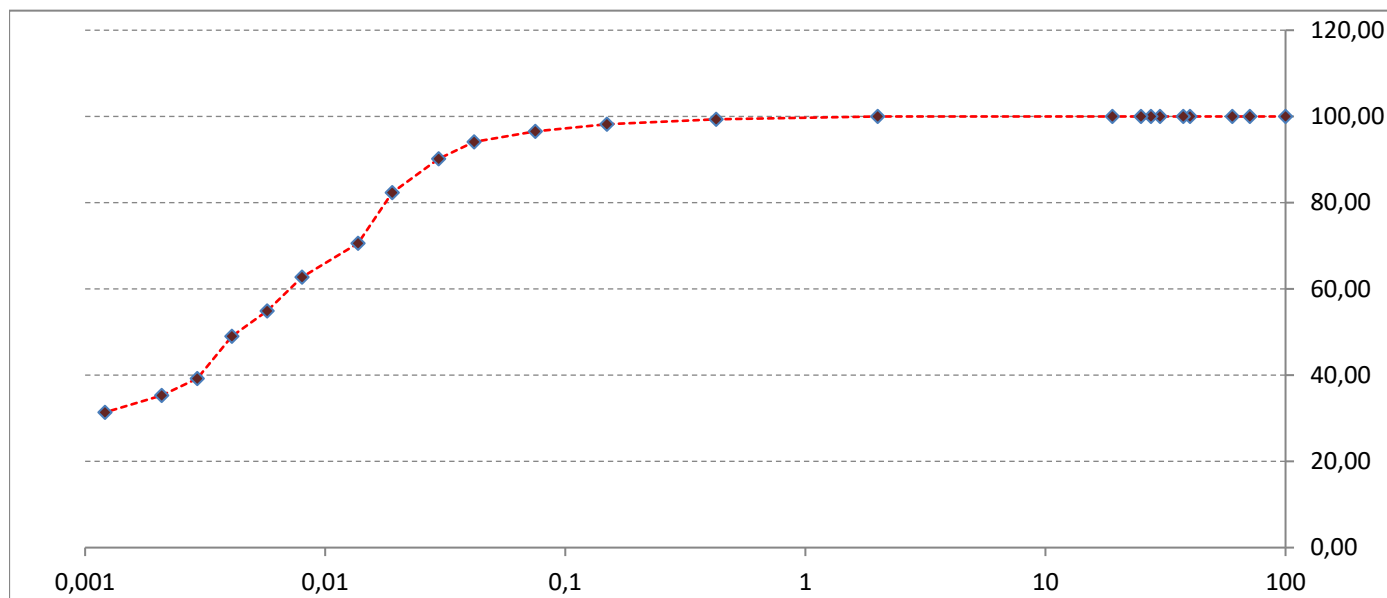
SETACCIATURA

Massa Campione (g)	187,12	
Crivelli/setacc (mm)	Peso (g)	Passante (%)
100	0	100,00
71	0	100,00
60	0	100,00
40	0	100,00
37,5	0	100,00
30	0	100,00
27,5	0	100,00
25	0	100,00
19	0	100,00
2	0	100,00
0,425	1,25	99,33
0,149	2,12	98,20
0,075	3,12	96,53

SEDIMENTAZIONE

Massa Campione (g)	40,04	
Diametri (mm)	Lecture	Passante (%)
0,042	24	94,09
0,030	23	90,17
0,019	21	82,33
0,014	18	70,57
0,008	16	62,73
0,006	14	54,89
0,004	12,5	49,01
0,003	10	39,21
0,002	9	35,29
0,001	8	31,36

Granulometria A.G.I.	Ghiaia (%)	0,00	Sabbia (%)	4,57	Limo (%)	60,52	Argilla (%)	34,91
-----------------------------	------------	------	------------	------	----------	-------	-------------	-------



Dott. Rocco Carbonella
Via Toscana 119, 40141 Bologna
CLL 393 8376620
mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it



Dott. Rocco Carbonella
Via Toscana 119, 40141 Bologna
CLL 393 8376620
mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it

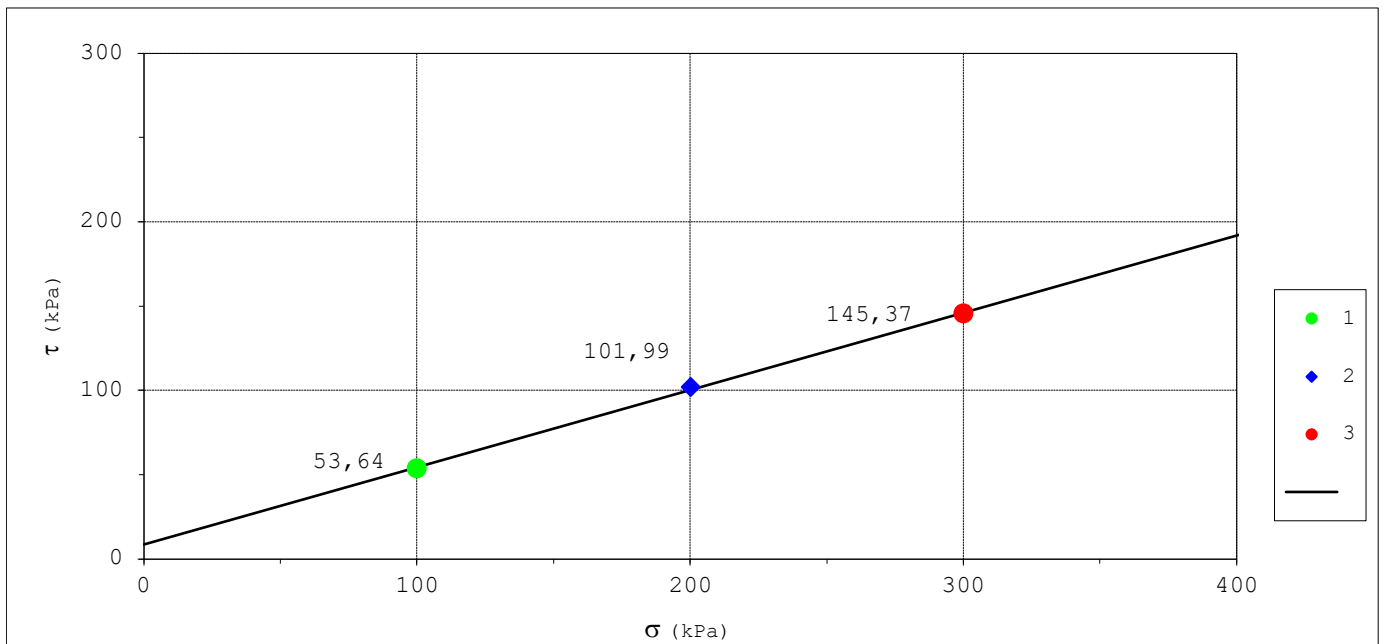
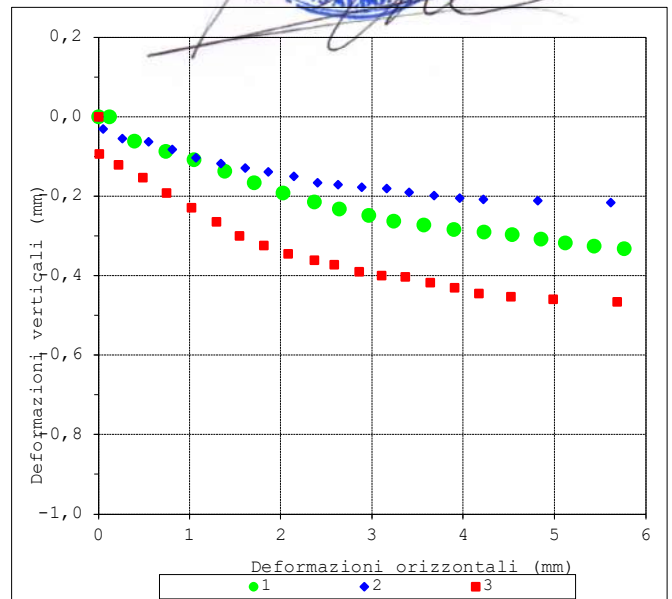
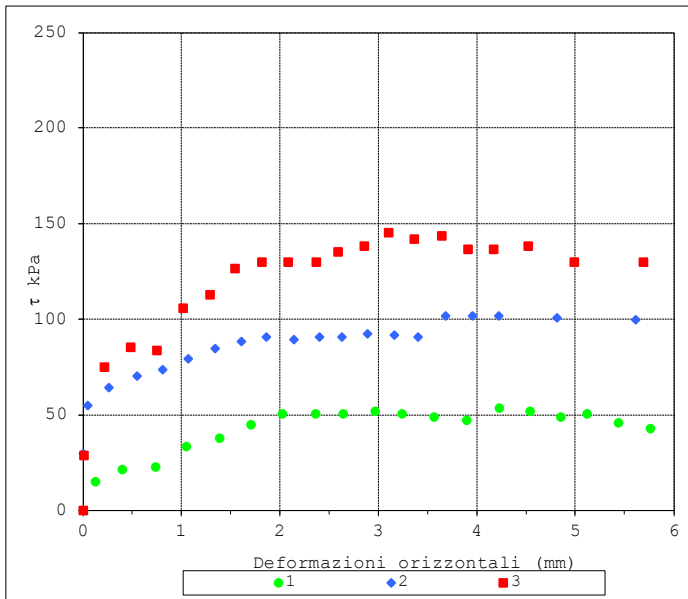
pag. 1

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

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

Committente: SOGESID
Località: LUGO
Cantiere: VASCHE LAMINAZIONE 2
Sondaggio: S2
Campione: C1
Profondità: 1.20 - 1.60m
Data: MAGGIO 2025

Sperimentatore:



Provino	n°	1	2	3	NOTE:
Deformazione a rottura	mm	4,22	4,22	3,11	
Sforzo a rottura	kPa	53,64	101,99	145,37	
Velocità di taglio:	mm/min	0,0100	0,0100	0,0100	
c'	KPa	8,61			
φ'	° sess	24,64			



Dott. Rocco Carbonella
Via Toscana 119, 40141 Bologna
CLL 393 8376620
mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

def. Vert.	def. Oriz.	Sf.
mm	mm	Kpa
0,00	0,00	0,00
0,00	0,12	15,33
-0,06	0,40	21,46
-0,09	0,74	22,99
-0,11	1,05	33,72
-0,14	1,38	37,95
-0,17	1,70	44,88
-0,19	2,02	50,58
-0,21	2,36	50,58
-0,23	2,64	50,58
-0,25	2,96	52,11
-0,26	3,24	50,58
-0,27	3,56	49,05
-0,28	3,89	47,51
-0,29	4,22	53,64
-0,30	4,54	52,11
-0,31	4,85	49,05
-0,32	5,12	50,58
-0,33	5,43	45,98
-0,33	5,76	42,92
-0,34	6,10	42,92

def. Vert.	def. Oriz.	Sf.
mm	mm	Kpa
0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	29,81
-0,03	0,05	54,92
-0,05	0,26	64,33
-0,06	0,55	70,61
-0,08	0,81	73,75
-0,10	1,07	79,51
-0,12	1,34	84,73
-0,13	1,61	88,66
-0,14	1,86	91,01
-0,15	2,14	89,44
-0,16	2,40	90,80
-0,17	2,63	91,01
-0,18	2,89	92,57
-0,18	3,16	91,70
-0,19	3,40	91,01
-0,20	3,68	101,99
-0,20	3,96	101,99
-0,21	4,22	101,99
-0,21	4,81	100,92
-0,22	5,61	99,90

def. Vert.	def. Oriz.	Sf.
mm	mm	Kpa
0,00	0,00	0,00
-0,09	0,01	29,07
-0,12	0,22	75,25
-0,15	0,48	85,51
-0,19	0,75	83,80
-0,23	1,02	106,03
-0,26	1,29	112,87
-0,30	1,55	126,55
-0,32	1,82	129,97
-0,35	2,08	129,97
-0,36	2,37	129,97
-0,37	2,59	135,50
-0,39	2,86	138,52
-0,40	3,11	145,37
-0,40	3,36	141,95
-0,42	3,64	143,66
-0,43	3,91	136,81
-0,44	4,17	136,81
-0,45	4,52	138,52
-0,46	4,99	129,97
-0,47	5,69	129,97