

00	01/2023	Emissione	ETC	Sigla	Sigla
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLL.	APPROVATO

COMUNE DI
REGGIO EMILIA

PROVINCIA DI
REGGIO EMILIA



Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE)

LIVELLO DI PROGETTAZIONE

PROGETTO DEFINITIVO

SCALA

TITOLO DEL DOCUMENTO

RELAZIONE GEOLOGICA

ID PROGETTO

CODICE DOCUMENTO

TITOLO SINTETICO DEL DOCUMENTO

MTE11C_00000913

D-I2-GEN-RT-014-00

Relazione

COORDINAMENTO DELLA PROGETTAZIONE



IRETI S.p.A. - Ingegneria e Realizzazioni

Funzione Reflue Gestione Impianti di Depurazione
IRETI S.p.A - Società con socio unico IREN S.p.A
Sottoposta a direzione e coordinamento di IREN S.p.A
Sede legale : via Piacenza, 54 - 16138 Genova
cod.fisc e P.IVA n° 01791490343 pec:ireti@pec.ireti.it

R.T.P. ESTERNO DI PROGETTAZIONE



HMR S.r.l.
HMR Ambiente S.r.l.
Piazzale Stazione, 7 - Padova



Ingegneria 2P & associati S.r.l.
Via dall'Armi, 27/3 - San Donà di Piave (VE)



E.T.C. Engineering S.r.l.
Via dei Palustei, 16 - Trento



GE Ground Engineering S.r.l.
Via Villa, 5/c - Campolongo Maggiore (VE)

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE


Ing. FABRIZIO PARBONI ARQUATI

Iscritto Ordine degli Ingegneri di Vicenza n° 2398

PROGETTISTA GENERALE


Ing. ANGELO CANTATORE

Iscritto Ordine degli Ingegneri di Trento n° 2532

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023


INDICE

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. DEFINIZIONE TERRITORIALE	5
3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	5
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO LOCALE	7
3.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	10
4. RISCHIO SISMICO	12
5. INDAGINI IN SITO	16
5.1 UBICAZIONE DELLE INDAGINI	16
5.2 PROVA PENETROMETRICA STATICA ELETTRICA CON PIEZOCONO (CPTU).....	18
5.2.1 Interpretazione dei dati.....	19
5.3 INDAGINE SISMICA ATTIVA CON TECNICA MASW.....	22
5.3.1 Interpretazione Masw.....	23
5.3.2 Operazioni di acquisizione dati	24
6. RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA E GEOTECNICA	25
6.1 MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO	25
7. ANALISI SISMICA	27
7.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	27
7.2 AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	31
7.2.1 Effetti stratigrafici	31
7.2.2 Effetti topografici	34
7.3 COEFFICIENTI SISMICI DI PROGETTO.....	34
7.4 VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE.....	35
8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	37

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	<i>Rev.</i>	<i>data</i>
		00	01/2023

In allegato alla presente relazione si riportano i seguenti elaborati:


- Allegato 1: Grafici ed elaborazioni delle prove penetrometriche CPTU;
- Allegato 2: Report dell'indagine MASW;
- Allegato 3: Analisi statistica dei parametri geotecnici;
- Allegato 4: Documentazione fotografica.

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa di interesse specifico per la presente relazione è la seguente:

- D.M. 17/01/2018 “Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC 2018);
- Circ. Min. 21/01/2019 “Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”;
- D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC 2008);
- Circ. Min. 02/02/2009 “Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche”;
- O.P.C.M. 3274/2003 e succ. modd.;
- O.P.C.M. 3519/2006;
- "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" – D.M. 11/03/1988;
- Istruzioni applicative al D.M. 11.03.88 – Circ. Min. LL.PP. 24.09.88 n° 30483;
- "Raccomandazioni A.G.I. riguardanti l'esecuzione e programmazione delle indagini geotecniche" – A.G.I. 1977.

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

3. DEFINIZIONE TERRITORIALE

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Il territorio comunale di Reggio Emilia ricade nella parte centro-meridionale della Pianura Padana, in quella fascia posta ai piedi dell'Appennino che viene indicata come Alta e Media Pianura.


La pianura emiliano-romagnola è il risultato del riempimento del Bacino Perisuturale Padano, legato all'orogenesi dell'Appennino settentrionale. Dal Cretaceo la regione padana è stata soggetta a fasi alterne di compressione e stasi tettoniche, instaurate dalle interazioni tra la microplacca dell'Arco Appenninico Settentrionale e la microplacca Adriatica. Solamente durante il Miocene si venne a delineare, a nord e ad est degli accavallamenti e duplicazioni crostali in corso di strutturazione relativi alla formazione della neo catena Appenninica, il bacino perisuturale padano – adriatico. All'inizio del Pliocene la parte di bacino, oggi nota come pianura padana, costituiva un grande golfo invaso dalle acque marine, limitato a nord dalle Alpi, a sud-ovest dagli Appennini e a nord-est dalle Dinaridi. Tale bacino, sotto l'azione delle spinte orogenetiche, venne gradualmente ridotto dalla traslazione verso nord/nord-est dalle falde di ricoprimento tettonico dell'Appennino settentrionale. Nell'epoca quaternaria, successivamente al Pleistocene medio, la crescente estensione di terre emerse e soggette ad erosione consentì ai corsi d'acqua alpini ed appenninici di colmare di sedimenti il bacino padano conferendone l'attuale assetto e morfologia. Il riempimento del bacino è costituito da una successione di depositi a carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali.

Nell'ambito dei depositi quaternari del margine appenninico padano e dell'antistante pianura, sono state riconosciute due sequenze principali (Supersintemi) denominate come segue:

- Supersintema del Quaternario Marino;
- Supersintema Emiliano-Romagnolo.

Il Supersintema Quaternario Marino, sedimentato tra il Pliocene superiore e il Pleistocene inferiore, risulta costituito da terreni paralici e marini.

Il Supersintema Emiliano – Romagnolo, depostosi a partire da circa 650.000 anni b.p. sino all'Olocene, giace in discordanza sul Supersintema Quaternario Marino. Esso è costituito da terreni continentali e può essere suddiviso in due unità principali: una unità inferiore, detta "Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore" ed un'unità superiore detta "Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore".

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

Dal punto di vista geodinamico, la fascia di Alta e Media Pianura, entro cui ricade il territorio di Reggio Emilia, si inserisce in un contesto caratterizzato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell'edificio padano. Tale raccorciamento si è prodotto attraverso due importanti fasci paralleli di strutture di embricazione sepolte aventi direzione NW-SE e vergenza verso NE, le cui superfici di distacco interessano la copertura mesozoica e terziaria. Si tratta di gruppi di anticlinali, associate a piani di scollamento ed accavallamento (thrust) immergenti generalmente verso SO con inclinazioni comprese tra 20° e 30°, separati da ampie zone sinclinali fortemente subsidenti.

Il fascio più settentrionale, denominato Fronte di accavallamento esterno (External Thrust Front= ETF), appartiene all'arco delle "Pieghe Emiliane e Ferraresi", che costituiscono il fronte della catena appenninica, sepolto dai sedimenti quaternari padani. Esso risulta costituito da un sistema di thrust ciechi ed arcuati in pianta, interessati da discontinuità trasversali con probabile componente di movimento trascorrente.

Il fascio meridionale, coincidente con il margine morfologico appenninico, si sviluppa nel sottosuolo in corrispondenza dei terrazzi pre-wurmiani ed è denominato Fronte di accavallamento pedeappenninico (Pedeappenninic Thrust Front =PTF). Anche questo fronte risulta coinvolto da discontinuità trasversali coincidenti con alcuni corsi d'acqua appenninici (Stirone, Taro, Baganza ed Enza), che delimitano settori a diverso comportamento tettonico-sedimentario.

In Figura 2 sono evidenziati gli elementi strutturali attivi del territorio. In particolare, con riferimento all'area di Reggio Emilia, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi dell'ETF.

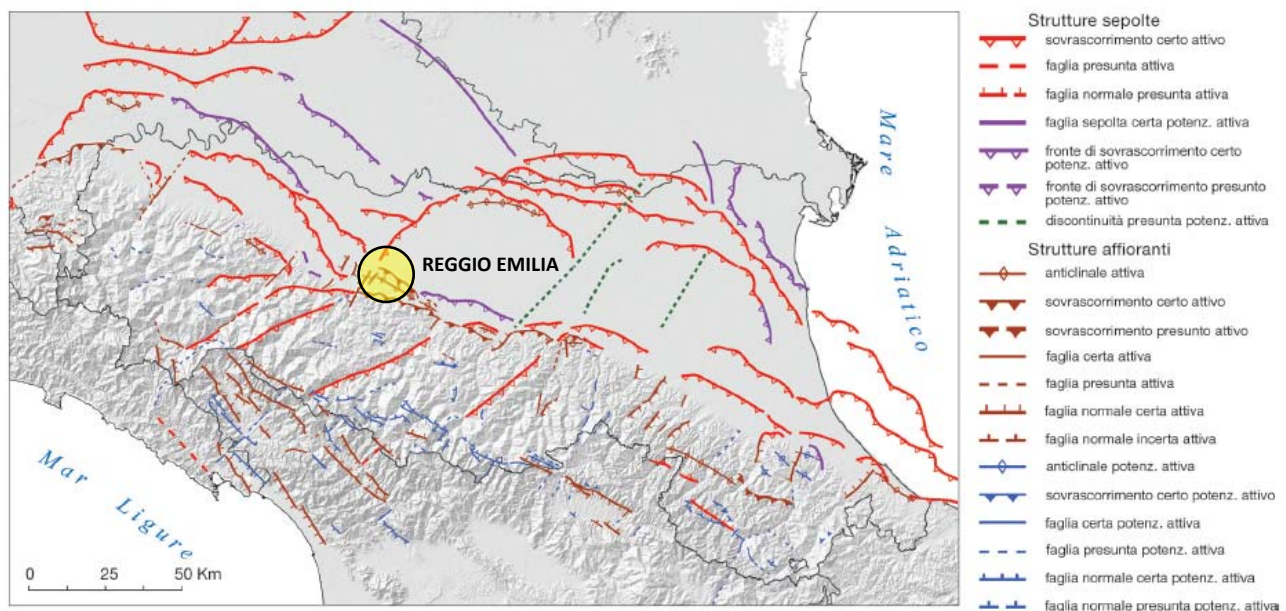



Figura 2 – Mappa delle strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riconosciute in Emilia Romagna (da: “Note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe” – Servizio Geologico Sismico e dei Suoli – Regione Emilia-Romagna – 2017)

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

I depositi appartenenti al Subsistema di Ravenna risultano ricoperti da sedimenti alluvionali riferibili alla deposizione operata nel tempo dai corsi d'acqua di provenienza appenninica, nello specifico il T. Enza, il T. Modolena, il T. Crostolo, il T. Rodano e il T. Tresinaro, che hanno dato origine a conoidi coalescenti, con ghiaie prevalenti in corrispondenza degli apparati fluviali principali e limi prevalenti o comunque abbondanti nelle aree di interconoide. I depositi affioranti risultano costituiti da alternanze di litofacies argillose, limose e ghiaiose a stratificazione lenticolare e cuneiforme, la cui granulometria è in stretto rapporto con l'energia delle correnti fluviali che le hanno originate: i sedimenti grossolani sono il risultato di una deposizione avvenuta in ambiente di canale fluviale, mentre quelli fini di una sedimentazione per tracimazione avvenuta in zone distali dall'alveo attivo (piana alluvionale).

Dalla Carta Litologica del Piano Urbanistico Generale (PUG) di Reggio Emilia (Figura 4), il sito risulta caratterizzato da *depositi di argille e limi*.



Figura 4 – Estratto della Carta Litologica del Piano Urbanistico Generale (PUG) di Reggio Emilia

Sotto il profilo geomorfologico, il territorio comunale si colloca tra l'Alta e la Media Pianura, con quote altimetriche comprese tra i 140 e i 30 m s.l.m. Presenta una modesta pendenza verso il quadrante nord-orientale, con valori variabili dal 7% nel settore meridionale allo 0,2% nel settore settentrionale.

Nel territorio si possono distinguere tre principali unità fisiografiche:

- unità dei conoidi prossimali;
- unità dell'Alta Pianura;
- unità dei dossi fluviali.

Dalla Carta Geomorfologica del Piano Strutturale Comunale (PSC) di Reggio Emilia (Figura 5), il sito in esame appartiene all'Unità dell'Alta Pianura e si colloca in un'area caratterizzata dalla presenza di tracce di paleoalvei.

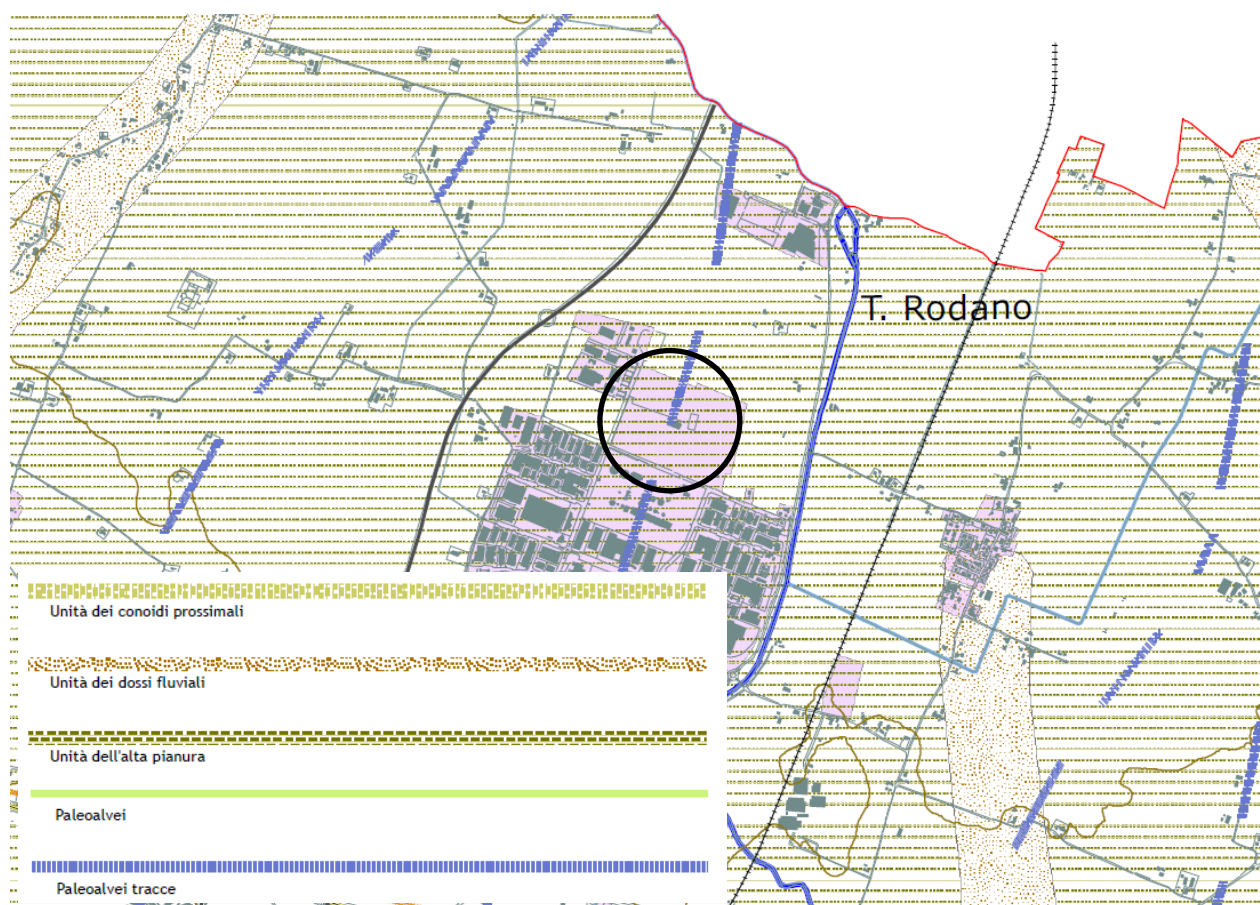



Figura 5 – Estratto della Carta Geomorfologica del Piano Strutturale Comunale (PSC) di Reggio Emilia

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

3.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il sistema acquifero della pianura emiliano-romagnola, che appartiene al sistema padano, si è costituito per progressivo riempimento di un bacino ad opera di sedimenti alluvionali di apporto padano e appenninico. Durante la costruzione dell'edificio sedimentario della pianura, i corsi d'acqua ivi presenti non essendo arginati avevano la possibilità di divagare; spostando il tracciato del loro alveo andavano a colmare le aree altimetriche più depresse. Con il progressivo abbandono dei materiali trasportati l'alveo si innalzava diventando pensile, e in occasione di una piena si verificava lo spostamento dello stesso in una zona più depressa; da qui il fenomeno, quindi ricominciava. Il risultato è oggi una struttura complessa del materasso alluvionale che costituisce il sistema acquifero della pianura emiliano-romagnola. Acquiferi monostrato si sviluppano a ridosso dell'Appennino, dove è presente un unico acquifero costituito da ghiaie che si estendono nel sottosuolo per decine di metri senza soluzione di continuità e dove in genere la falda può oscillare liberamente (acquifero freatico). Gli acquiferi multistrato si sviluppano più a nord dei precedenti, laddove i corpi ghiaiosi e sabbiosi si separano gli uni dagli altri per la presenza di intercalazioni di sedimenti più fini (limi e argille), dando vita a diversi acquiferi verticalmente sovrapposti, in cui l'acqua è confinata a causa della presenza di depositi impermeabili o poco permeabili; l'acquifero è sempre in pressione o confinato. Il sottosuolo della pianura e del margine appenninico viene suddiviso in tre Unità Idrostratigrafiche Sequenziali principali (Gruppi Acquiferi), denominate "A, B e C", corrispondenti dal punto di vista stratigrafico rispettivamente al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, al Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore e al Supersintema Quaternario Marino. Il Gruppo Acquifero A ed il Gruppo Acquifero B sono costituiti principalmente da depositi alluvionali ed in particolare dalle ghiaie delle conoidi alluvionali, dai depositi fini di piana alluvionale e dalle sabbie della piana del Fiume Po. Il Gruppo Acquifero C è formato principalmente da depositi costieri e marino marginali ed è costituito da pacchi di sabbie alternati a sedimenti più fini.

Il territorio di Reggio Emilia ricade su depositi appartenenti al Gruppo Acquifero A, corrispondente al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, il cui livello basale si colloca a profondità variabili da circa -40 m nella zona meridionale, sino a -200 m nel settore settentrionale.

All'interno del territorio comunale sono stati inoltre identificati tre serbatoi principali, geneticamente legati ai torrenti, che determinano le seguenti unità idrogeologiche:

- Unità Idrogeologica del Torrente Enza;
- Unità Idrogeologica dei corsi d'acqua minori (T. Crostolo, T. Modolena, T. Tresinaro);
- Unità Idrogeologica della pianura alluvionale appenninica.

Dalla Carta Idrogeologica del Piano Urbanistico Generale (PUG) di Reggio Emilia (Figura 6), il sito in esame ricade nell'Unità Idrogeologica della pianura alluvionale appenninica. Tale unità è caratterizzata dall'assenza di ghiaia e da dominanza di depositi fini. La profondità della falda freatica è qui compresa fra il piano campagna e 6 m, si tratta di acquiferi di modesta entità sospesi entro orizzonti di depositi fini.

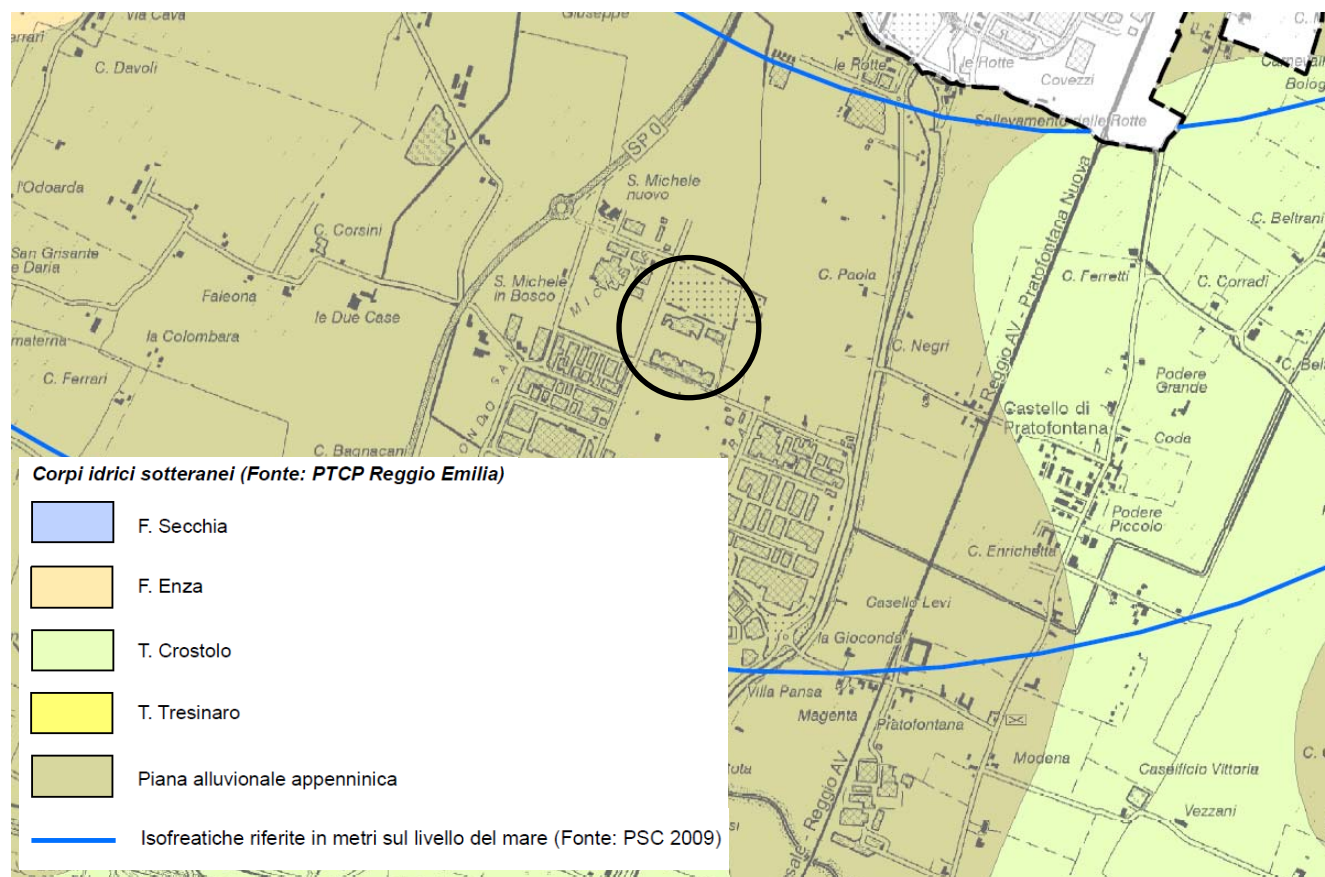


Figura 6 – Estratto della Carta Idrogeologica del Piano Urbanistico Generale (PUG) di Reggio Emilia

4. RISCHIO SISMICO

L'Emilia Romagna è interessata da una sismicità rilevante con terremoti di magnitudo massima di poco superiore a 6 e che hanno causato effetti fino al IX÷X grado di intensità della scala Mercalli-Cancagni-Sieberg. In Figura 7 sono rappresentati gli epicentri dei principali terremoti ($M_w \geq 4$) che hanno interessato il territorio regionale negli ultimi 1000 anni. Come si nota dalla Figura 7, i terremoti, soprattutto quelli più forti (indicativamente magnitudo maggiore di 5,5), si concentrano lungo il crinale appenninico, lungo il margine appenninico-padano e in alcuni settori della pianura, in corrispondenza del settore orientale delle Pieghe Emiliane e lungo tutta la dorsale ferrarese.

La zona del territorio regionale più frequentemente colpita da forti terremoti (magnitudo maggiore di 5,5) è la Romagna, in particolare la pianura meridionale, il settore appenninico e la costa. Altri settore della regione interessati da forti terremoti (magnitudo almeno uguale a 5,5) sono il margine appenninico-padano tra Bologna e Modena, la pianura tra Reggio Emilia e Parma e la zona di pianura in corrispondenza della dorsale sepolta delle Pieghe Ferraresi.

Le zone caratterizzate da minore sismicità, in termini di frequenza e magnitudo dei terremoti, sono il settore ad ovest della Valle del Taro, la pianura emiliana occidentale e il delta del Po. Da notare comunque che anche nel settore occidentale della catena i terremoti più forti sono localizzati nella zona del margine e del basso Appennino.

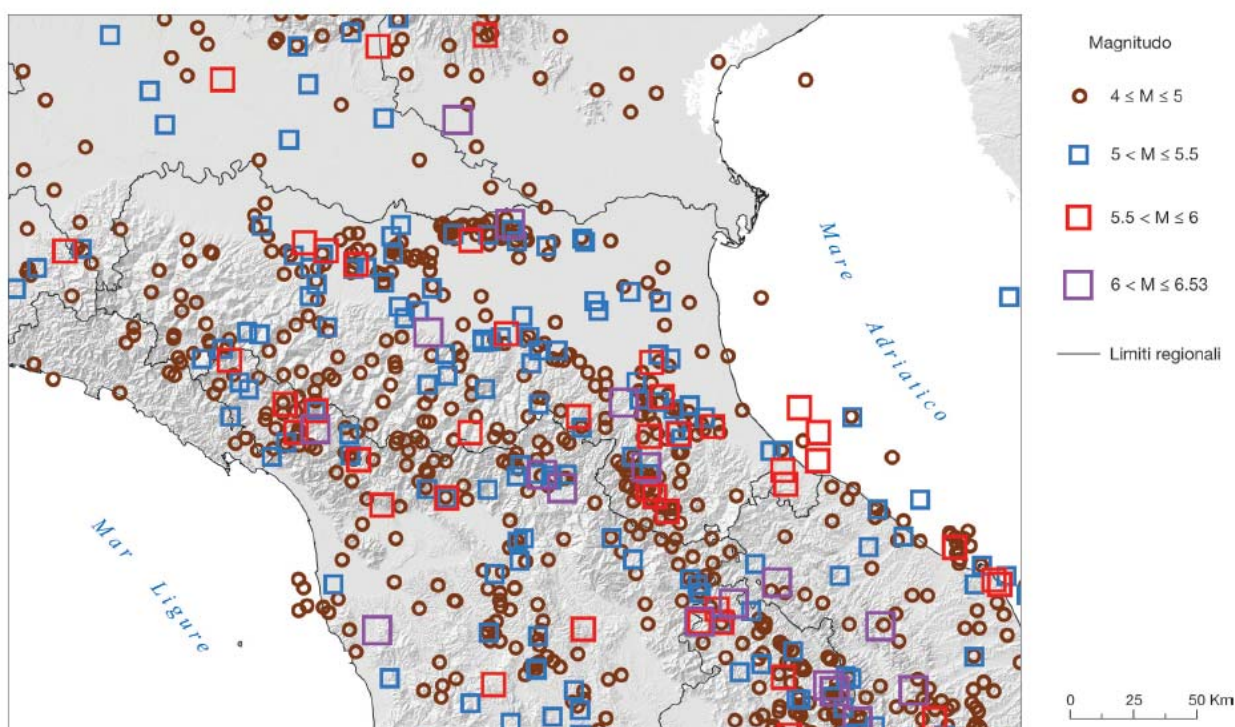



Figura 7 – Epicentri dei principali terremoti ($M_w \geq 4$) che hanno interessato l'Emilia Romagna dall'anno 1000 al 2014 (da: "Note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe" – Servizio Geologico Sismico e dei Suoli – Regione Emilia-Romagna – 2017)

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

Per valutare la sismicità storica dell'area è stato consultato il Database Macrosismico Italia-no 2015 (DBMI15), il quale viene utilizzato per compilare il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). Il DNMI15 fornisce un set omogeneo d'intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014.

Per l'area di Reggio Emilia vengono riportati 128 eventi di riferimento in un periodo compreso tra il 1222 e il 2016. L'evento sismico di maggiore intensità è relativo all'evento del 1980 stimato in $M_w=6,81$. I dati sono disponibili al link https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/place/IT_37794

Secondo la zonazione sismogenetica del territorio italiano (ZS9), utilizzata per compilare la mappa della pericolosità sismica in riferimento all'OPCM 3519/2006, il territorio nazionale è suddiviso in 36 zone-sorgente individuate mediante l'osservazione delle caratteristiche della sismicità storica/attuale (massima magnitudo, frequenza degli eventi in catalogo, distribuzione nelle classi di magnitudo) e dallo studio delle geometrie delle sorgenti sismotettoniche. Le aree sorgenti sono separate da limiti di colore diverso: limiti di colore nero separano aree con differenti caratteristiche tettoniche o geologico strutturali, mentre i limiti di colore blu dividono zone con uno stesso stile deformativo, ma con differenti caratteristiche di sismicità (quali: distribuzione spaziale, frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, etc.).

L'area di Mancasale ricade all'interno della zona sismogenetica 912 "Dorsale Ferrarese", (Figura 8).

Per la zona sismogenetica 912 è stata indicata una profondità efficace ("intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti, ovvero l'intervallo nel quale si colloca presumibilmente lo strato sismogenetico che rilascerà i prossimi eventi") compresa tra 5 e 8 km, e un meccanismo di fagliazione prevalente (ovvero "quello che ha la massima probabilità di caratterizzare i futuri terremoti significativi) inverso. La M_w massima stimata per la ZS 912 è 6,14.

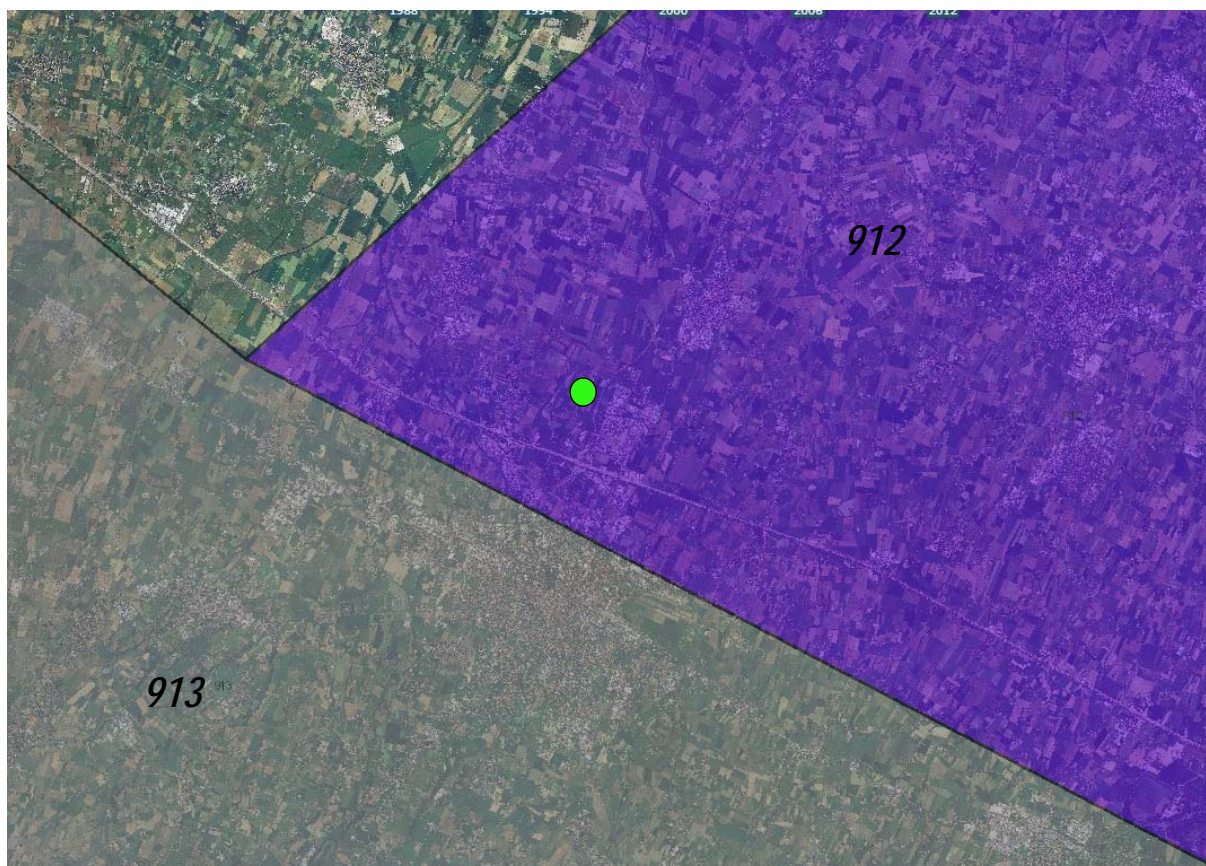


Figura 8 - Zonazione sismogenetica ZS9. In verde l'area in esame. Tratto da Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma. Aprile 2004

Per quanto concerne l'individuazione delle sorgenti sismogeniche, dalla consultazione del DISS (Database of Individual Seismogenic Sources - <http://diss.rm.ingv.it/dissGM/>) il territorio in esame risulta interessato dalle seguenti sorgenti sismogenetiche composite:

- **ITCS049 – Campegine-Cavriago**, sistema di faglie NW-N vergenti considerato capace di generare terremoti di magnitudo massima pari a 6,6;
- **ITCS009 – Busseto-Cavriago**, sistema di faglie NE vergenti considerato capace di generare terremoti di magnitudo massima pari a 6,8.
- **ITCS046 – Langhirano-Sassuolo**, sistema di faglie NE vergenti considerato capace di generare terremoti di magnitudo massima pari a 6,8.
- **ITCS051 – Carpi-Poggio Renatico**, sistema di faglie NE vergenti considerato capace di generare terremoti di magnitudo massima pari a 6,9.

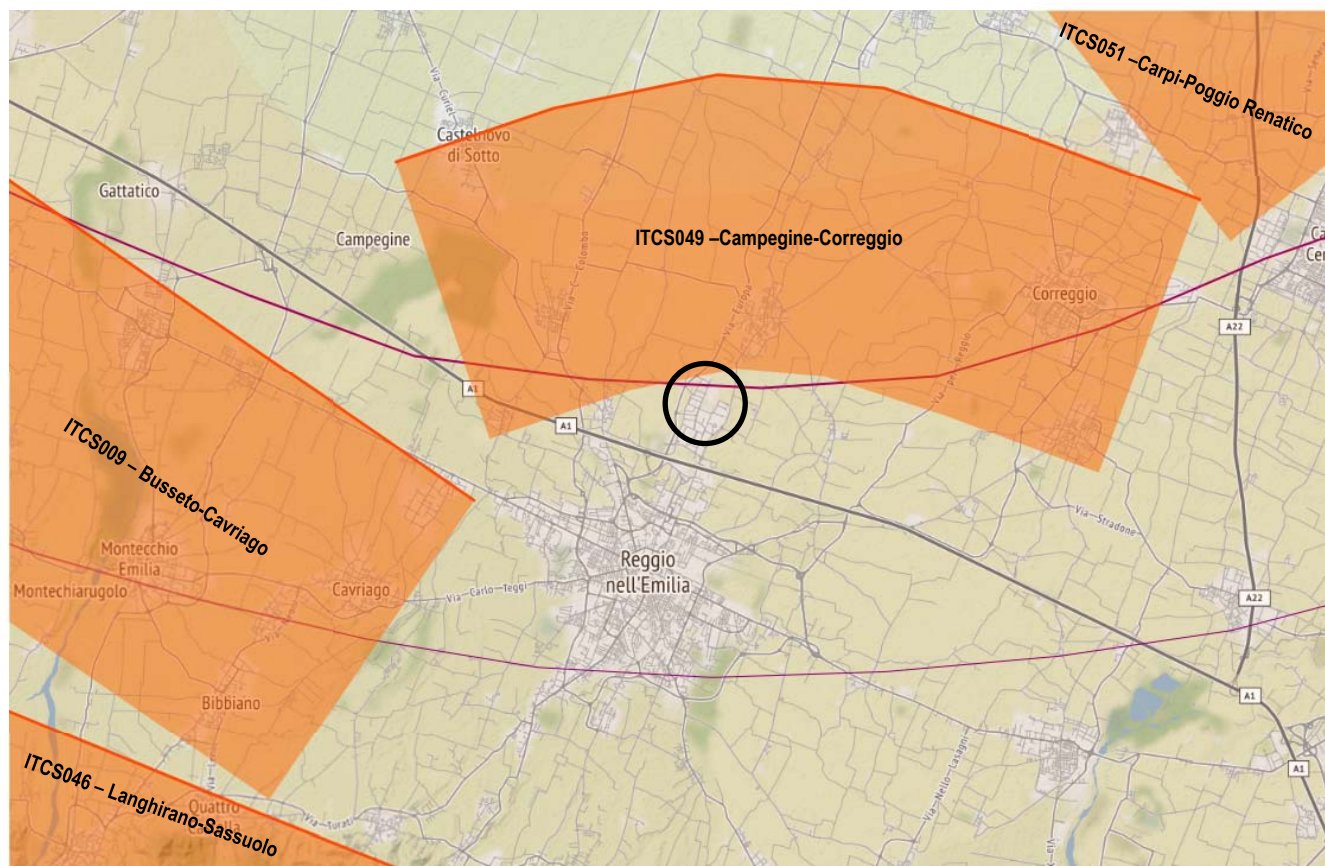



Figura 9 - Sorgenti sismogenetiche composite per l'area in esame (da DISS Working Group, 2010 - <http://diss.rm.ingv.it/dissmap>).

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

5. INDAGINI IN SITO

5.1 UBICAZIONE DELLE INDAGINI

Si riporta l'ubicazione delle indagini eseguite su base satellitare (Figura 10) e su planimetria di progetto (Figura 11).



Figura 10 – Estratto foto con ubicazione delle indagini eseguite (Google Earth)

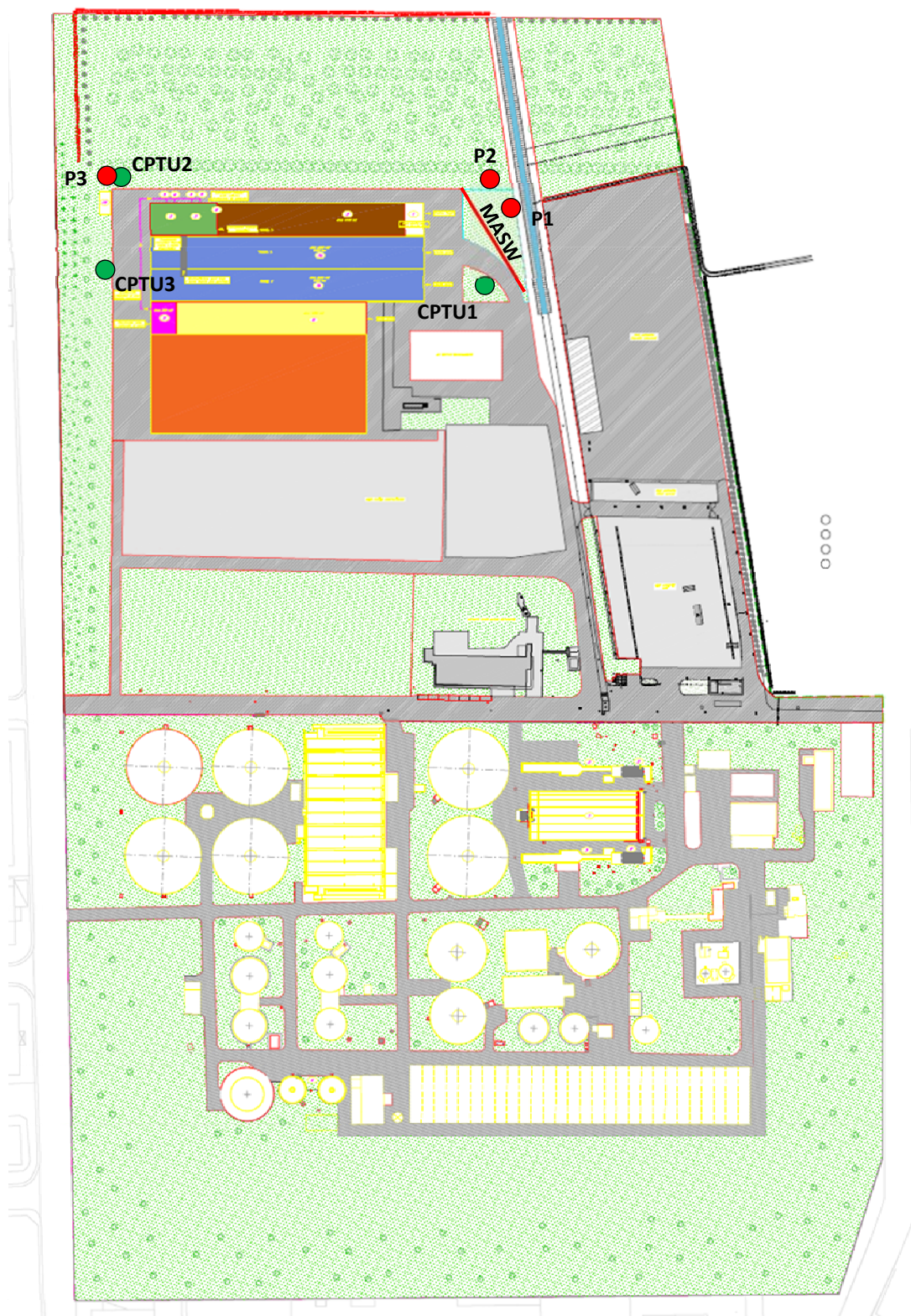



Figura 11 – Ubicazione delle indagini su planimetria di progetto dell'opera

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

5.2 PROVA PENETROMETRICA STATICA ELETTRICA CON PIEZOCONO (CPTU)

La prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTU) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica standard, connessa all'estremità inferiore di una batteria di aste cave, che viene infissa a pressione e velocità costante nel terreno tramite un dispositivo di spinta idraulico che agisce alla sommità delle aste.

La punta elettrica è strumentata con sensori elettrici e un sistema di trasmissione dei dati in superficie via cavo, che permette l'acquisizione e la registrazione dei dati quasi in continuo, ogni centimetro. I dati misurati durante la prova sono la resistenza alla penetrazione della punta q_c e la resistenza laterale del manicotto F_s ; è possibile inoltre monitorare, durante l'esecuzione della prova, alcuni parametri di controllo, quali l'inclinazione rispetto alla verticalità e la velocità di penetrazione del cono.

La punta detta "piezocono", è dotata anche di un dispositivo di misura della pressione, attraverso il quale viene misurata la pressione dell'acqua nei pori del terreno u (CPTU).


La pressione che viene misurata è la pressione $u = u_0 + \Delta u$, dove u_0 è la pressione dovuta al livello idrostatico e Δu quella generata dallo sforzo alla penetrazione nel terreno. Inoltre con il piezocono si possono ottenere informazioni circa il livello idrostatico della falda nel terreno a varie quote e valutazioni sulle caratteristiche di consolidazione dei materiali coesivi teneri.

A causa della geometria del cono, l'acqua esercita una pressione sul bordo dietro il cono e agli estremi del manicotto. Questo effetto viene generalmente correlato alla presenza di differenze in termini di superfici (u_1 e u_2). Quando sono presenti argille poco consistenti e limi sopra falda, è necessario eseguire una correzione sul parametro q_c per la pressione dei pori agente sulla superficie del cono, in modo da ottenere la resistenza corretta del cono q_t ,

$$q_t = q_c + u_2(1 - a)$$

Dove "a" è il rapporto della superficie netta, determinata dalla calibrazione in laboratorio con un valore compreso tra 0,70 e 0,85. In suoli sabbiosi $q_c = q_t$.



	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

Una correzione simile va applicata all'attrito del manicotto

$$f_t = f_s - (u_2 A_{sb} - u_3 A_{st}) / A_s$$

Dove

f_s = attrito del manicotto misurato

u_2 = pressione dell'acqua alla base del manicotto

u_3 = pressione dell'acqua all'apice del manicotto

A_s = area laterale del manicotto

A_{sb} = sezione della base del manicotto

A_{st} = sezione dell'apice del manicotto

5.2.1 Interpretazione dei dati

I dati acquisiti sono stati elaborati con il software *CPeT – IT v.2.0.1.74* prodotto da *GeoLogisMiki – Geotechnical Software* e con il software *Static Probing 2020* di *Geostru*.

I report, in cui sono plottati in grafico i valori di resistenza e pressione interstiziale misurati e l'interpretazione litostratigrafica e geotecnica delle prove, sono riportati in allegato.

L'identificazione dei tipi di suoli è stata effettuata in funzione delle carte proposte da Robertson (Figura 12), in cui il tipo di comportamento del terreno (Soil Behavior Type) è definito da tre parametri: q_t , resistenza alla punta corretta, R_f , B_q , nella prima carta (1986), e con i parametri normalizzati nella seconda (1990).

Le carte proposte da Robertson si basano sul fatto che la resistenza offerta dal terreno alla penetrazione della punta conica dipende dalle proprietà meccaniche del materiale, quindi tali diagrammi permettono una caratterizzazione dei terreni sulla base del loro comportamento meccanico (SBT), la quale non coincide necessariamente con una classificazione basata sulla distribuzione granulometrica o sulla plasticità. Tuttavia, spesso il comportamento meccanico dipende dalla distribuzione granulometrica del materiale, quindi la classificazione sviluppata secondo il SBT è approssimabile ad una caratterizzazione del terreno effettuata su base granulometrica.

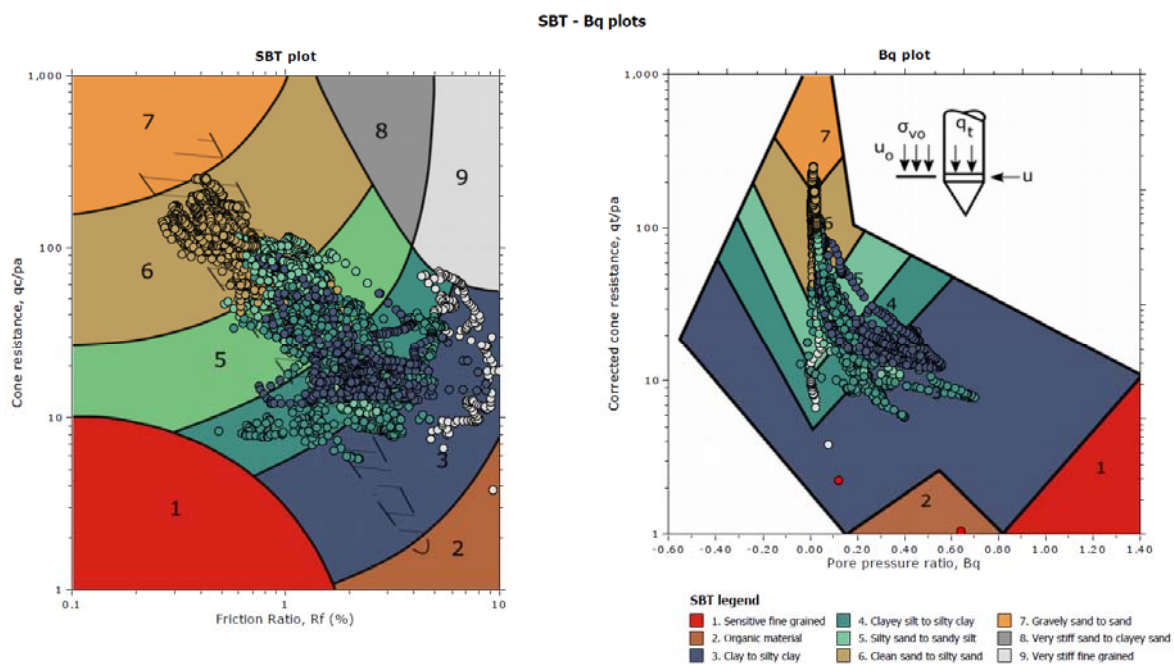


Figura 12 – Diagrammi per la determinazione del SBT

La ricerca e la disponibilità di numerosi dati ottenuti in camera di calibrazione e in campagna hanno prodotto numerose correlazioni tra i dati misurati in sito ed il valore dei parametri geotecnici caratteristici dei terreni. Il software *CPeT – IT* utilizza le correlazioni riportate nello schema di Figura 13.

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

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

where g_w = water unit weight

:: 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_{SPR} (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 (°) ::

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

(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, $S_u(rem)$ (kPa) ::

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

:: 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'_{sun} ::

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

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

Figura 13 – Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici

5.3 INDAGINE SISMICA ATTIVA CON TECNICA MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica geofisica di indagine non invasiva del sottosuolo basata sulla dispersione geometrica delle onde superficiali, in particolare delle onde Rayleigh. La dispersione delle onde di Rayleigh è un fenomeno nel quale differenti lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase, campionando diversi strati di profondità. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza e piccola lunghezza d'onda si propagano negli strati più superficiali (e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo), invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi. Questo permette di acquisire informazioni relative alle proprietà meccaniche delle zone di interesse.

Il metodo di indagine MASW è di tipo attivo e, dal punto di vista sperimentale, l'acquisizione Masw viene eseguita con una metodologia simile alla tecnica sismica a rifrazione. La differenza sostanziale viene dalla configurazione geometrica dei ricevitori, in genere i geofoni (dai 12 ai 24) vengono spaziatati di 1, 2 o 3 metri, con una frequenza di campionamento pari a 4.5 Hz. Essendo una tecnica attiva, l'acquisizione Masw risulta comunque possibile in presenza di una sorgente polarizzata, essendo un metodo che utilizza una generazione energetica attiva per creare le onde sismiche, applicando le migliori metodologie di acquisizione sismica (filtri ecc.) che i moderni sismografi consentono (Figura 14).

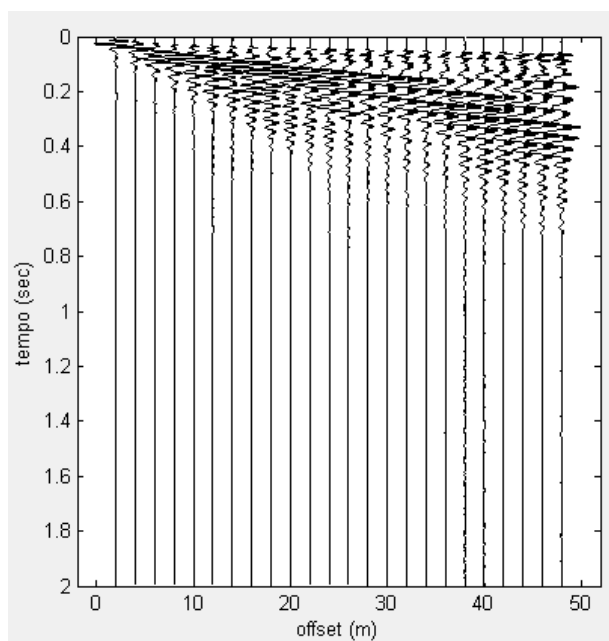



Figura 14 – Esempio di acquisizione MASW

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

5.3.1 Interpretazione Masw

Per il processing delle indagini MASW è stato utilizzato il software GEOPSY (GEOPhysical Signal Processing). Il primo passo dell'elaborazione prevede la definizione della curva di dispersione, la quale gode di una certa "variabilità" giustificata dall'influenza sulle misure della distanza dei ricevitori, posizione della sorgente e il volume di terreno campionato. Il secondo passo consiste nell'inversione della curva di dispersione, utilizzando l'applicativo Dinver, al fine di individuare quale sia il profilo di rigidezza che riproduce al meglio la curva sperimentale. Questo software utilizza il metodo del Neighbourhood Algorithm, che minimizza la funzione di errore tra la curva calcolata e quella misurata, attraverso una ricerca diretta nello spazio dei modelli. L'individuazione del modello sismostratigrafico migliore avviene modificando opportunamente lo spessore h , la velocità delle onde V_s e V_p , e la densità degli strati che costituiscono il modello di suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale (fitting) tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di sottosuolo assegnato.

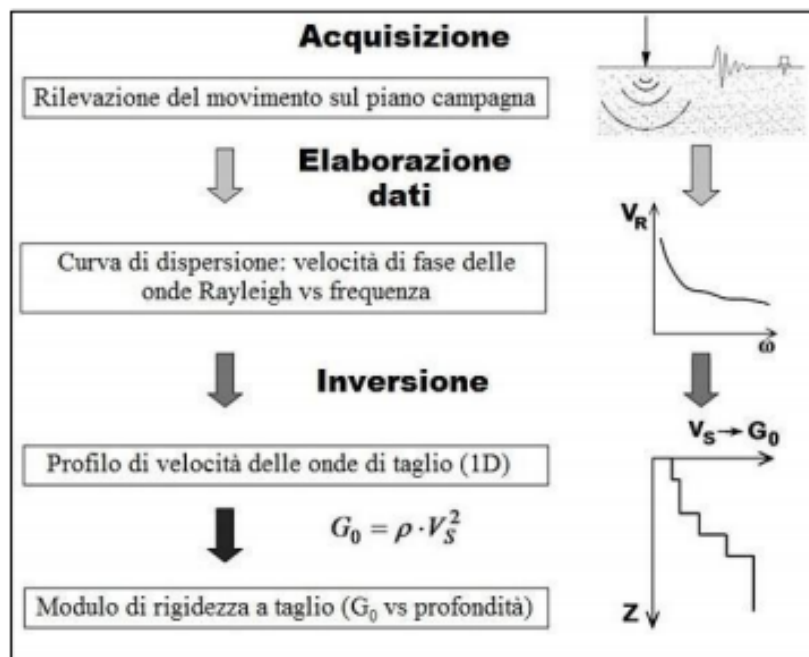




Figura 15 – Schema riassuntivo delle diverse fasi di un'indagine MASW

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

5.3.2 Operazioni di acquisizione dati

I profili sismici vengono eseguiti disponendo sul terreno una serie di sensori (*geofoni*), posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione, si provvede a generare artificialmente (sismica attiva) vibrazioni impulsive in corrispondenza di punti prestabiliti lungo i profili: nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (*trigger*). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con campionamento ad intervallo costante e predeterminato, dei segnali ricevuti dai sensori.

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

6. RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA E GEOTECNICA

6.1 MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

Dai dati delle prove penetrometriche è stato ricostruito il modello geologico e geotecnico del sito (Tabella 1 – Tabella 2). La litostratigrafia del sito risulta omogenea in tutta l'area investigata, ed è costituita da uno strato continuo argilloso esteso fino alla massima profondità indagata (16 m dal p.c.).

In considerazione dell'omogeneità litostratigrafica del sottosuolo è stato adottato un approccio statistico per la definizione dei parametri geotecnici caratteristici propri dello strato argilloso. Come riportato nelle NTC2018, se nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno o la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti, il valore del parametro caratteristico da considerare è prossimo al valore medio; al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, o nel caso di strutture con poca rigidità. In Tabella 2 si riportano i valori caratteristici dei parametri geotecnici ricavati con il software CV Soil per entrambi i casi elencati in precedenza; in Allegato 3 si riporta il report dell'analisi statistica dei dati.

Si rimanda al progettista la scelta dei parametri geotecnici caratteristici da adottare nelle verifiche.

Strato n°	Profondità (m)	Stratigrafia
1	0,0 – 15,0	Argilla e argilla limosa

Tabella 1 – Modello geologico del sito


Verifiche che tengano in considerazione modesti volumi di terreno (fondazioni superficiali, pali per portata laterale, pendii e fronti di scavo)

Strato n°	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione non drenata [kN/m²]	Modulo di Young [kN/m²]	Modulo di compressibilità Edometrica [kN/m²]	Peso di volume naturale [kN/m³]	Peso di volume saturo [kN/m³]
1	–	54	–	3647	18,2	18,9

Verifiche che tengano in considerazione il coinvolgimento di un ampio volume di terreno (pali per portata di punta, verifiche a scorrimento, plinti e travi non collegati)

Strato n°	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione non drenata [kN/m²]	Modulo di Young [kN/m²]	Modulo di compressibilità Edometrica [kN/m²]	Peso di volume naturale [kN/m³]	Peso di volume saturo [kN/m³]
1	–	79	–	4607	18,8	19,6

Tabella 2 – Parametri geotecnici caratteristici

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

L'esecuzione di n°3 sondaggi con trivella manuale, spinti fino alla profondità di 2 m dal locale piano campagna, ha permesso di verificare la stratigrafia del sottosuolo. Tali sondaggi hanno confermato la presenza di terreni argillosi fino alla quota di fine indagine, in accordo con quanto ricavato dai dati delle prove penetrometriche CPTU.

Al termine dell'esecuzione delle prove penetrometriche si è misurato, per mezzo di una sonda freaticometrica, il livello dell'acqua nel foro di indagine, indicato nella Tabella 3.

Prova penetrometrica	Profondità acqua in foro [m dal p.c.]
CPTU 1	-2,50
CPTU 2	-2,25
CPTU 3	-2,90

Tabella 3 – Rilievo del livello di acqua in foro

7. ANALISI SISMICA

7.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Sulla base dell'O.P.C.M. del 28 aprile 2006 n. 3519 (*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*) e del DGR n. 1164 del 23/07/2018, il comune di Reggio Emilia ricade in zona sismica 3 (Figura 16).

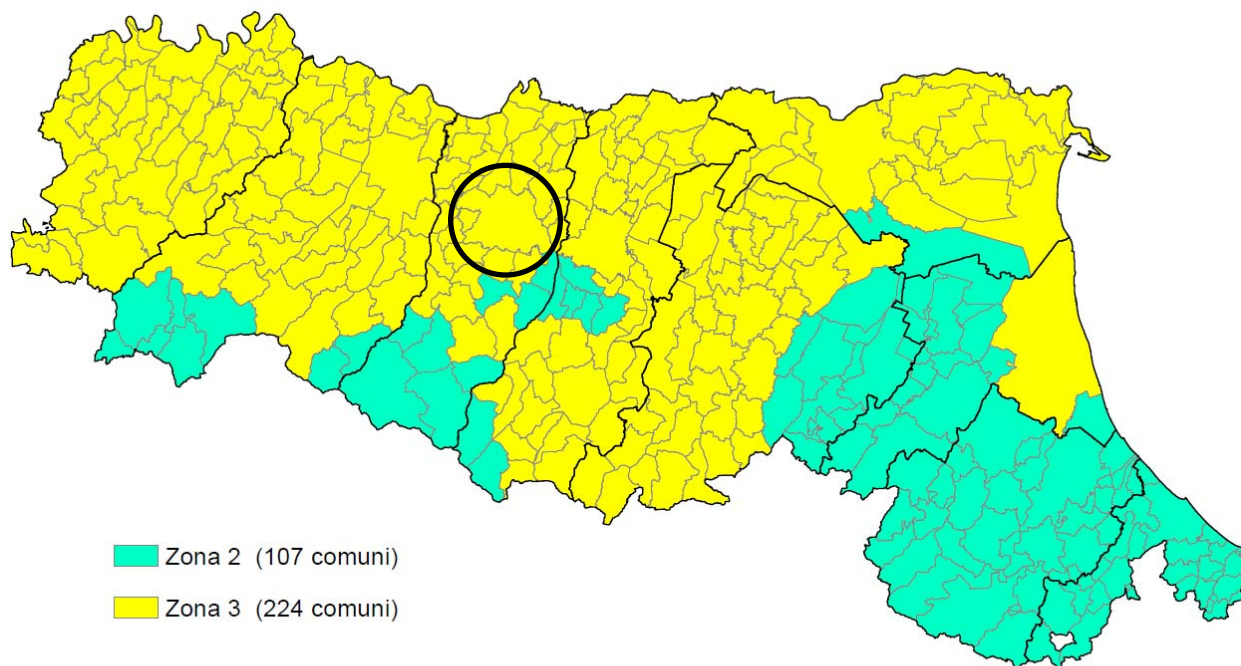


Figura 16 – Estratto della Classificazione sismica del territorio dell'Emilia Romagna (D.G.R. n. 1164 del 23/07/2018)

L'azione sismica viene valutata a partire dalla cosiddetta "pericolosità sismica di base" riferita a un sito con suolo rigido (categoria A) e superficie topografica orizzontale. Allo stato attuale la pericolosità sismica di base sul territorio Italiano è fornita dai dati pubblicati sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica; in particolare, per il sito in oggetto, la mappa Interattiva di Pericolosità Sismica dell'INGV indica un'accelerazione di picco al suolo di tipo A con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni pari a $PGA=0.150-0.175$ g (Figura 17). Il grafico di disaggregazione mostra come la pericolosità di base sia imputabile soprattutto a terremoti con magnitudo comprese tra 4.0 e 6.0 con distanze epicentrali tra 0 e 20 km (Figura 18): il contributo percentuale maggiore è dato dalla coppia M-D 4,5-5,0/0-10 km.

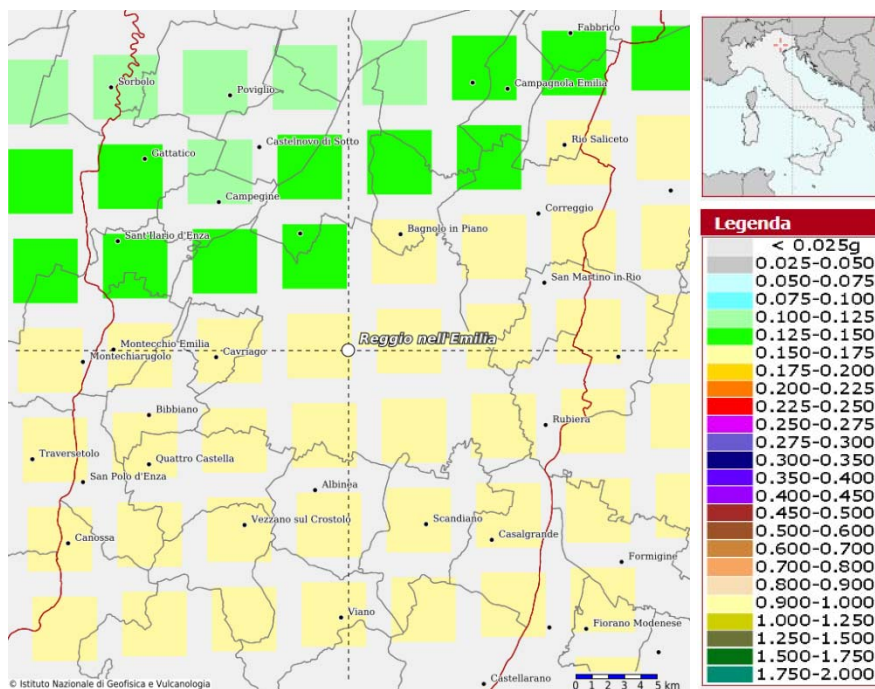


Figura 17 – Mappa di pericolosità sismica per l'area in esame (da mappe interattive di pericolosità sismica: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>).

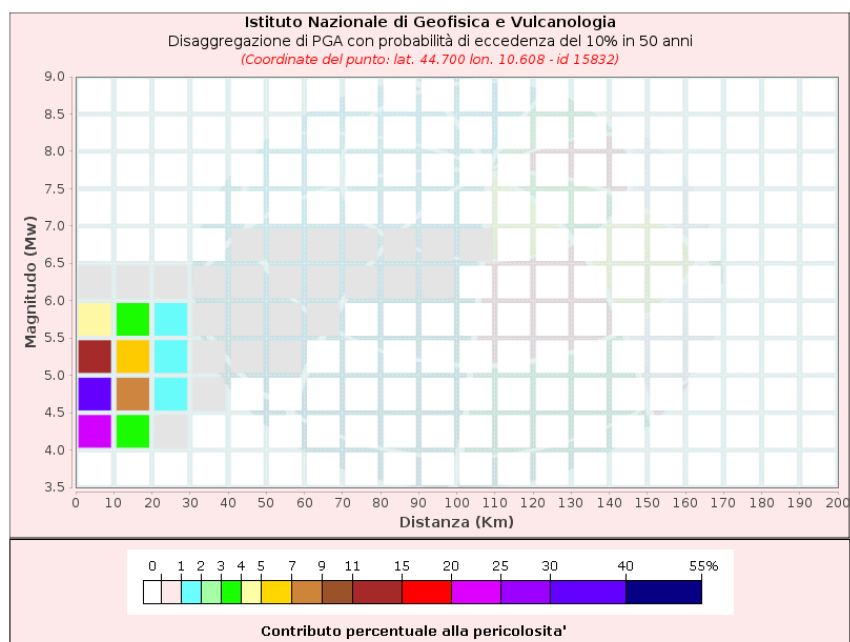



Figura 18 – Grafico di disaggregazione

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

Come riportato nelle NTC2018, la pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R ; si ritiene pertanto necessario determinare il periodo di riferimento della struttura così come segue:

$$V_R = V_N \cdot C_u$$

Con V_N , vita nominale di un'opera, intesa come numero di anni nel quale deve poter essere utilizzata per lo scopo al quale è destinata, definita secondo la seguente tabella:

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

E C_u , coefficiente d'uso, che dipende dalla classe d'uso:


Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

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

Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

A seconda della classe d'uso vengono definiti i seguenti valori di coefficiente d'uso:

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Per l'intervento in oggetto è stato assunto $V_N=50$ anni e **Classe d'uso III**, da cui deriva una vita di riferimento pari a 75 anni:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \text{ anni} \cdot 1,5 = 75 \text{ anni}$$

L'azione sismica va valutata con riferimento alle seguenti probabilità di eccedenza P_{VR}

nel periodo di riferimento V_R :

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R si ricava il periodo di ritorno T_R del sisma utilizzando la relazione:


$$T_R = - V_R / \ln (1 - P_{VR}) = - C_U V_N / \ln (1 - P_{VR})$$

In seguito si riportano i valori di a_g (accelerazione massima al sito), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_c^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale), per i periodi di ritorno T_R di riferimento sul sito in oggetto in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A:

STATO LIMITE	T_r (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
SLO	45	0,054	2,504	0,261
SLD	75	0,067	2,494	0,272
SLV	712	0,177	2,401	0,293
SLC	1462	0,230	2,410	0,300

Tabella 4 – Valori di a_g , F_0 e T_c associati agli stati limite da verificare

L'accelerazione orizzontale massima a_g attesa su sito di riferimento rigido risulta, con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) è pari a $a_g = 0,177$ g.

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

7.2 AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Per la definizione dell'azione sismica di progetto è necessario valutare l'amplificazione dell'azione sismica indotta dalle condizioni stratigrafiche e topografiche del sito. Entrambi questi fattori infatti, concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su suolo rigido con superficie orizzontale, sia dal punto di vista dell'ampiezza del segnale, sia nel contenuto in frequenza.

7.2.1 Effetti stratigrafici

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel par. 7.11.3 delle NTC18. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento. Secondo il punto 3.2.2 delle NTC 2018, l'identificazione della categoria di sottosuolo si effettua calcolando il valore della velocità equivalente $V_{s,eq}$ di propagazione delle onde di taglio a partire dal piano di imposta delle fondazioni superficiali o della testa dei pali nel caso di fondazioni profonde fino alla profondità del substrato sismico (H = substrato caratterizzato da velocità V_s maggiori di 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 $H=30$.

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


con:

h_i → spessore dell' i -esimo strato;

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

N → numero di strati;

H → profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite dalla seguente tabella:

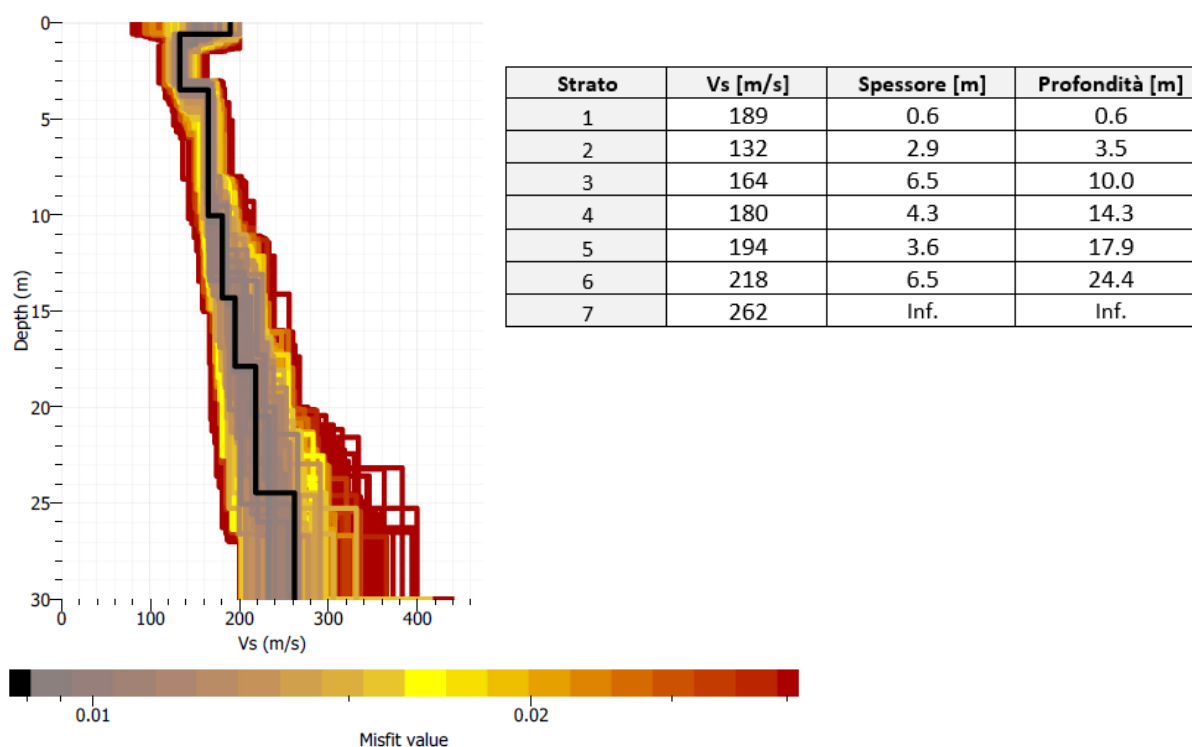
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Tabella 5 – Categorie di sottosuolo Categorie di sottosuolo. Tratta da Tab 3.2.II delle NTC 2018

Il modello sismo-stratigrafico del sito è stato ricostruito analizzando la dispersione della componente verticale delle onde di Rayleigh acquisita tramite l'indagine MASW (metodo MASW in configurazione ZVF), tarando il modello sulla base delle prove CPTU.

La MASW è stata eseguita con uno stendimento da 12 geofoni con spaziatura pari a 4 m, per un profilo lungo in totale 44 m. Per la registrazione dei sismogrammi in campagna è stato utilizzato un sismografo Pasi GEA 24 canali e geofoni verticali a frequenza naturale di 4.5 Hz. Per l'energizzazione del terreno è stata impiegata una mazza da 8 Kg. In questo modo è stata acquisita la componente verticale delle onde di Rayleigh. I sismogrammi acquisiti sono stati elaborati con il software Geopsy.


In allegato è riportato il report della MASW, mentre di seguito si riporta il profilo di V_s ottenuto con la tabella riassuntiva dei sismostrati individuati.



$V_{seq} = 189 \text{ m/s}$

Figura 19 – Profilo di velocità delle onde S per l'indagine MASW1

Dall'elaborazione delle indagini MASW risulta che il substrato sismico è situato a profondità superiore a 30 m e il valore di $V_{seq}=189 \text{ m/s}$; si assume perciò la **CATEGORIA C** secondo la Tabella 5, che comprende “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di 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*”.

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

7.2.2 Effetti topografici

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Per il sito in esame è possibile assumere una categoria topografica T1: *“Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$ ”*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 6 – Tabella 3.2.III delle NTC 2018 – Categorie topografiche

7.3 COEFFICIENTI SISMICI DI PROGETTO

In seguito si riportano i coefficienti sismici di progetto ottenuti attribuendo i seguenti parametri:

Vita nominale $V_N = 50$


Coefficiente d'uso $C_U = 1,5$

Categoria topografica T1

Categoria stratigrafica C

STATO LIMITE	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1,500	1,500	1,440	1,370
Cc	1,640	1,610	1,570	1,560
St	1,000	1,000	1,000	1,000
Kh	0,016	0,020	0,061	0,088
Kv	0,008	0,010	0,031	0,044
A max [m/s ²]	0,797	0,992	2,501	3,092
β	0,200	0,200	0,240	0,280

Tabella 7 – Valori $S_s, C_c, S_t, K_h, K_v, A_{max}, \beta$, per i diversi stati limite

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

7.4 VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE

L'analisi della suscettibilità a liquefazione dei sedimenti, se sottoposti a sollecitazioni cicliche indotte da terremoti, è di fondamentale importanza per gli aspetti di progettazione geotecnica antisismica. In particolare occorre valutare, nel modo più adeguato possibile, le effettive condizioni di suscettibilità, le condizioni di innesco e il rischio sito specifico di tale fenomeno.

Con il termine “liquefazione” si indicano vari fenomeni fisici (mobilità ciclica, liquefazione ciclica, fluidificazione) osservati durante terremoti significativi (generalmente, $M > 5,5$) nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi; in questi sedimenti, le condizioni “non drenate” durante il sisma possono indurre un incremento e un accumulo delle pressioni interstiziali, che a loro volta possono provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno. Il meccanismo di liquefazione dei sedimenti è governato da molti fattori che si possono ricondurre principalmente:

- alle caratteristiche dell'impulso sismico (forma; durata dello scuotimento; ecc.) e la sua energia (magnitudo; accelerazioni; ecc.);
- alle caratteristiche tessiturali e meccaniche dei sedimenti (fuso granulometrico; densità relativa; coesione; limiti di Atterberg; ecc.);
- alla presenza di falda superficiale e alle condizioni di confinamento dello strato liquefacibile (non sono riportati casi in letteratura di liquefazione in strati granulari profondi oltre 15-20 metri).

La differenza fra i diversi fenomeni dipende dalle tensioni di taglio mobilitate per l'equilibrio in condizioni statiche e dalla resistenza al taglio residua dopo il terremoto. In condizioni di sisma, vi possono anche essere effetti di “riordino” dei sedimenti, con possibilità di cedimenti significativi che possono coinvolgere sia i depositi granulari, sia i sedimenti fini poco coesivi.

Nell'ultimo decennio, sono state elaborate procedure di stima delle potenziali deformazioni post-sisma, provocate da perdite di resistenza, anche nei sedimenti fini di bassa coesione (limi e argille a comportamento “non drenato”). Quest'ultimo fenomeno è noto con il termine “cyclic softening” (Idriss & Boulanger, 2004 e 2008).

Al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC18 sono riportate le situazioni nelle quali può essere omessa la verifica a liquefazione dei terreni, ovvero:

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 $qc1N > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetro-metriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ 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 14 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Figura 14 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

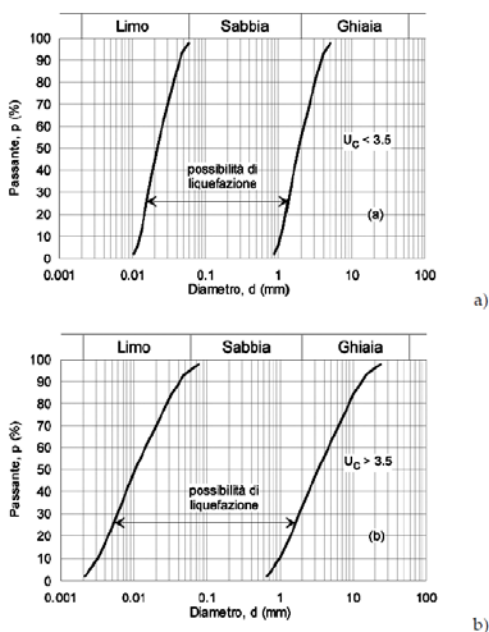



Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Di seguito si riporta un estratto del paragrafo **7.11.3.4.3 Metodi di analisi** delle NTC18:

” Quando nessuna delle condizioni del § 7.11.3.4.2 risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili. Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse. L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista.”

Per il sito in esame si ritiene che la verifica a liquefazione non sia necessaria in riferimento alle NTC 2018 cap. 7.11.3.4.2 dal momento che il range granulometrico dei terreni sotto falda non rientra tra quelli suscettibili di liquefazione.

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica		Rev.	data
			00	01/2023

8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dalle indagini eseguite risulta che:

- Le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza di argille e argille limose fino alla massima profondità indagata, pari a 16 m dal p.c., in tutte le verticali di indagine.
- La categoria di sottosuolo, secondo la normativa vigente, risulta essere C ovvero *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”*.
- Il livello dell'acqua nel terreno misurato nei fori di indagine è stato riscontrato a una profondità compresa tra 2,25 e 2,90 m dal p.c.. Nel caso di scavi spinti oltre queste profondità potrebbe rendersi necessario adottare dei sistemi per abbassare localmente il livello dell'acqua nel terreno.


Si ritiene che gli interventi previsti siano compatibili dal punto di vista geologico, geomorfologico e idrogeologico, considerando gli aspetti precedentemente esposti.

DOTT. GEOL. MATTEO VIAN



DOTT. GEOL. BASILIO ZANNINELLO



	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

ALLEGATO 1

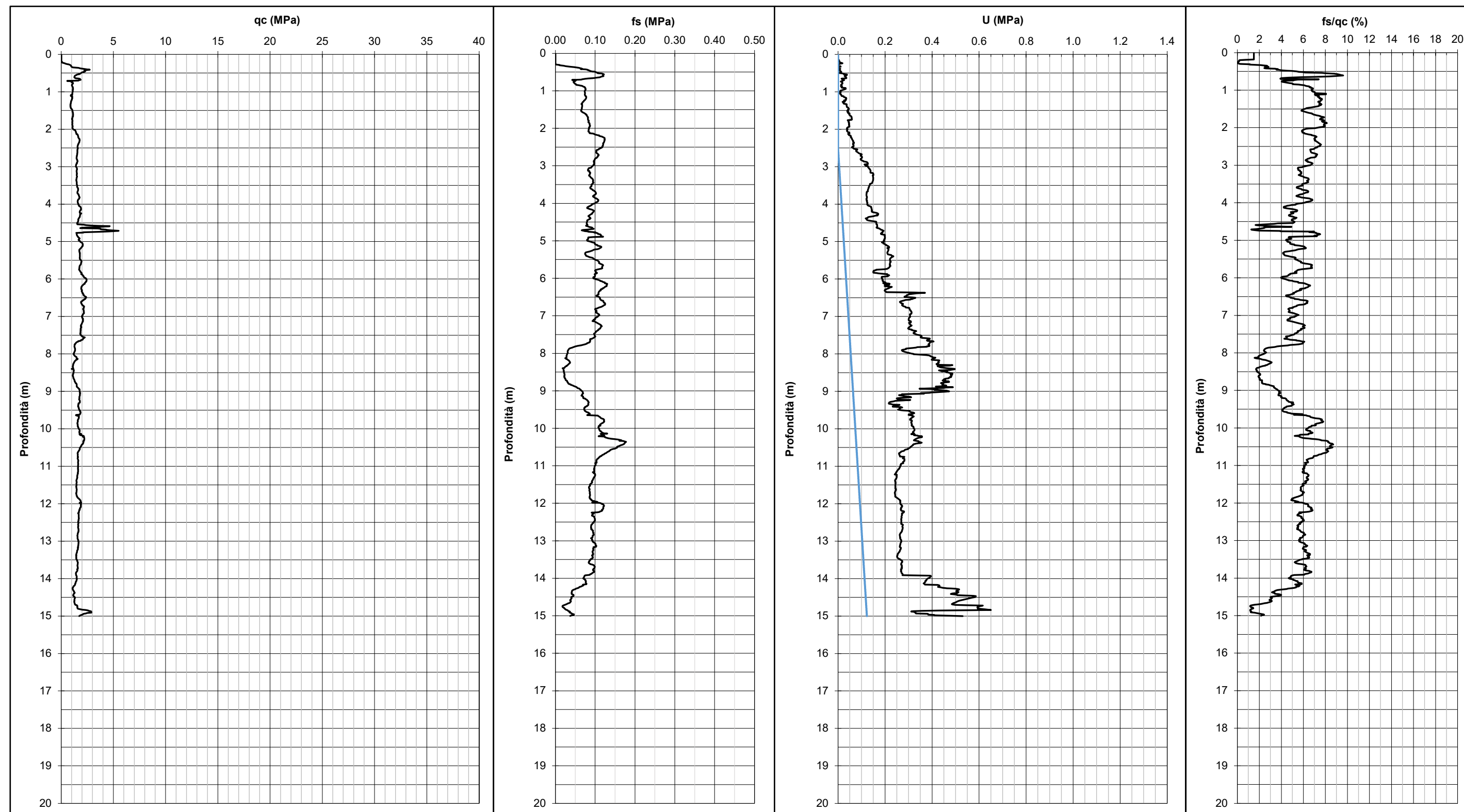
GRAFICI ED ELABORAZIONI DELLE PROVE PENETROMETRICHE CPTU



PROVA PENETROMETRICA STATICA CPTU

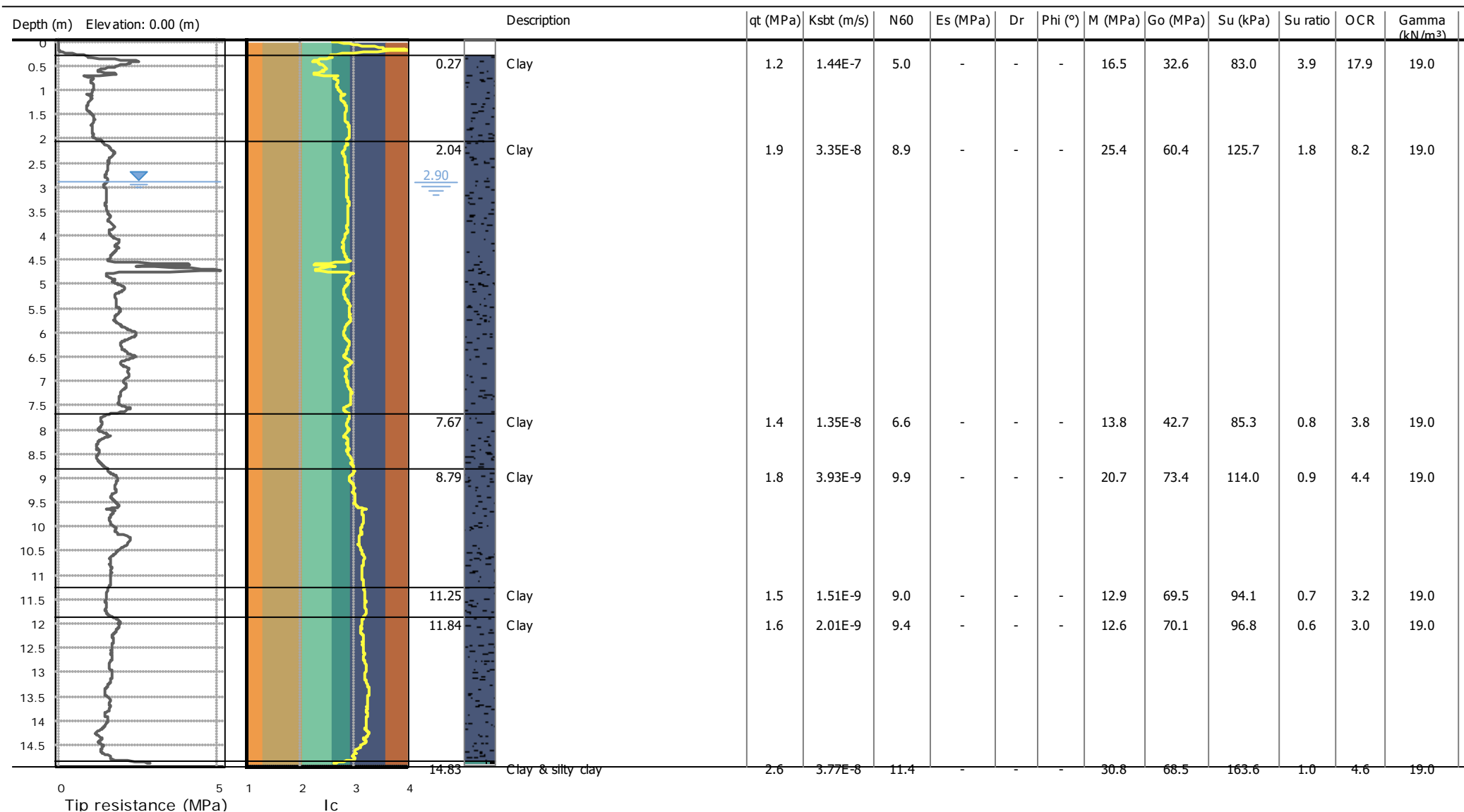
COMMITTENTE	Iren S.p.A.
CANTIERE	Mancasale (RE)
PROVA	CPTU1
DATA	28/11/2022
OPERATORE	Dott. Geol. Luca Gasperi

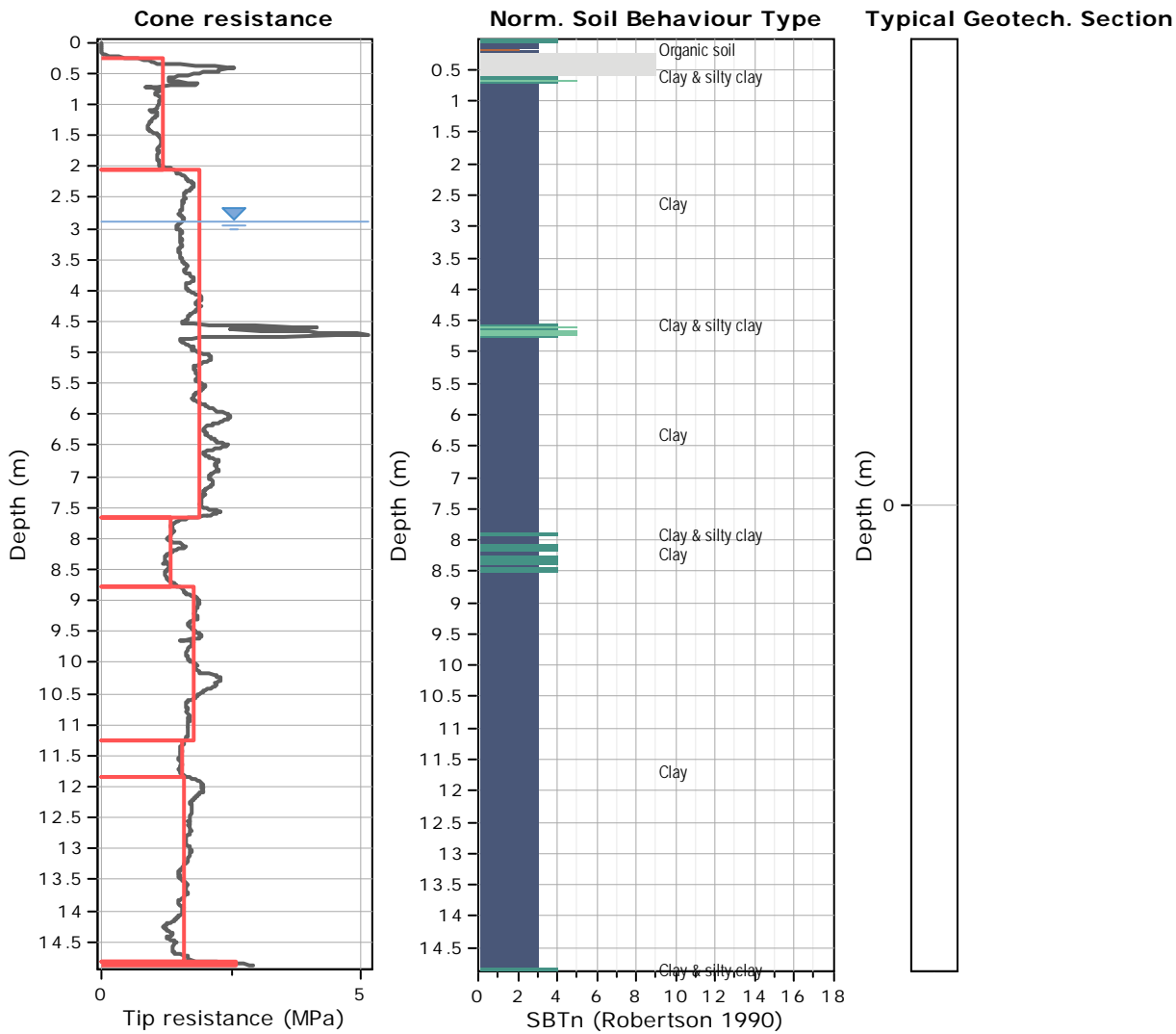
Punta	Mks880	Quota inizio indagine	p.c. m s.l.m.	Prescavo	0.00 m da p.c.
Profondità prova	15.00 m da p.c.	Livello acqua	2.50 m da p.c.		
Coordinate WGS84	Y 10.655678 E	X	44.744628 N		



Project: Iren S.p.A.

Location: Via Raffaello - Mancasale (RE)





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: Layer_1 **Start depth:** 0.27 (m), **End depth:** 2.04 (m)

Description: Clay

Basic results

Total cone resistance: 1.20 ±0.35 MPa

Sleeve friction: 77.88 ±15.77 kPa

SBT_n: 3

SBT_n description: Clay

Estimation results

Permeability: 1.44E-07 ±2.64E-07 m/s

N_{₆₀}: 5.03 ±0.93 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 16.52 ±4.96 MPa

Go: 32.63 ±5.11 MPa

Su: 82.96 ±24.67 kPa

Su ratio: 3.87 ±2.38

O.C.R.: 17.87 ±11.01

::: Layer No: 2 :::**Code:** Layer_2 **Start depth:** 2.04 (m), **End depth:** 7.67 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.90 ±0.46 MPa

Sleeve friction: 100.48 ±13.48 kPa

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

Permeability: 3.35E-08 ±1.10E-07 m/s

N_{₆₀}: 8.88 ±1.55 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 25.37 ±6.29 MPa

Go: 60.36 ±8.13 MPa

Su: 125.68 ±19.01 kPa

Su ratio: 1.77 ±0.32

O.C.R.: 8.18 ±1.47

::: Layer No: 3 :::**Code:** Layer_3 **Start depth:** 7.67 (m), **End depth:** 8.79 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.35 ±0.11 MPa

Sleeve friction: 30.93 ±8.74 kPa

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

Permeability: 1.35E-08 ±3.61E-09 m/s

N_{₆₀}: 6.56 ±0.61 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 13.83 ±2.84 MPa

Go: 42.68 ±4.26 MPa

Su: 85.33 ±8.20 kPa

Su ratio: 0.82 ±0.09

O.C.R.: 3.80 ±0.43

::: Layer No: 4 :::**Code:** Layer_4 **Start depth:** 8.79 (m), **End depth:** 11.25 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.79 ±0.17 MPa

Sleeve friction: 105.62 ±28.36 kPa

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

Permeability: 3.93E-09 ±2.65E-09 m/s

N_{₆₀}: 9.91 ±1.03 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 20.71 ±3.80 MPa

Go: 73.40 ±9.07 MPa

Su: 114.04 ±12.54 kPa

Su ratio: 0.95 ±0.12

O.C.R.: 4.39 ±0.55

::: Layer No: 5 :::**Code:** Layer_5 **Start depth:** 11.25 (m), **End depth:** 11.84 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.54 ±0.03 MPa

Sleeve friction: 88.51 ±3.88 kPa

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

Permeability: 1.51E-09 ±1.13E-10 m/s

N_{₆₀}: 9.03 ±0.18 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 12.92 ±0.74 MPa

Go: 69.53 ±1.45 MPa

Su: 94.11 ±2.48 kPa

Su ratio: 0.70 ±0.02

O.C.R.: 3.23 ±0.10

::: Layer No: 6 :::**Code:** Layer_6 **Start depth:** 11.84 (m), **End depth:** 14.83 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.61 ±0.18 MPa

Sleeve friction: 80.32 ±26.92 kPa

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

Permeability: 2.01E-09 ±1.65E-09 m/s

N_{₆₀}: 9.43 ±1.00 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 12.57 ±3.93 MPa

Go: 70.05 ±9.67 MPa

Su: 96.80 ±13.47 kPa

Su ratio: 0.65 ±0.12

O.C.R.: 2.99 ±0.55

::: Layer No: 7 :::**Code:** Layer_7 **Start depth:** 14.83 (m), **End depth:** 14.88 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 2.57 ±0.25 MPa

Sleeve friction: 44.26 ±2.88 kPa

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

Permeability: 3.77E-08 ±1.87E-08 m/s

N_{₆₀}: 11.40 ±0.89 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 30.79 ±5.43 MPa

Go: 68.50 ±1.65 MPa

Su: 163.63 ±18.05 kPa

Su ratio: 1.00 ±0.12

O.C.R.: 4.63 ±0.55

Project: Iren S.p.A.

Location: Via Raffaello - Mancasale (RE)

Summary table of mean values

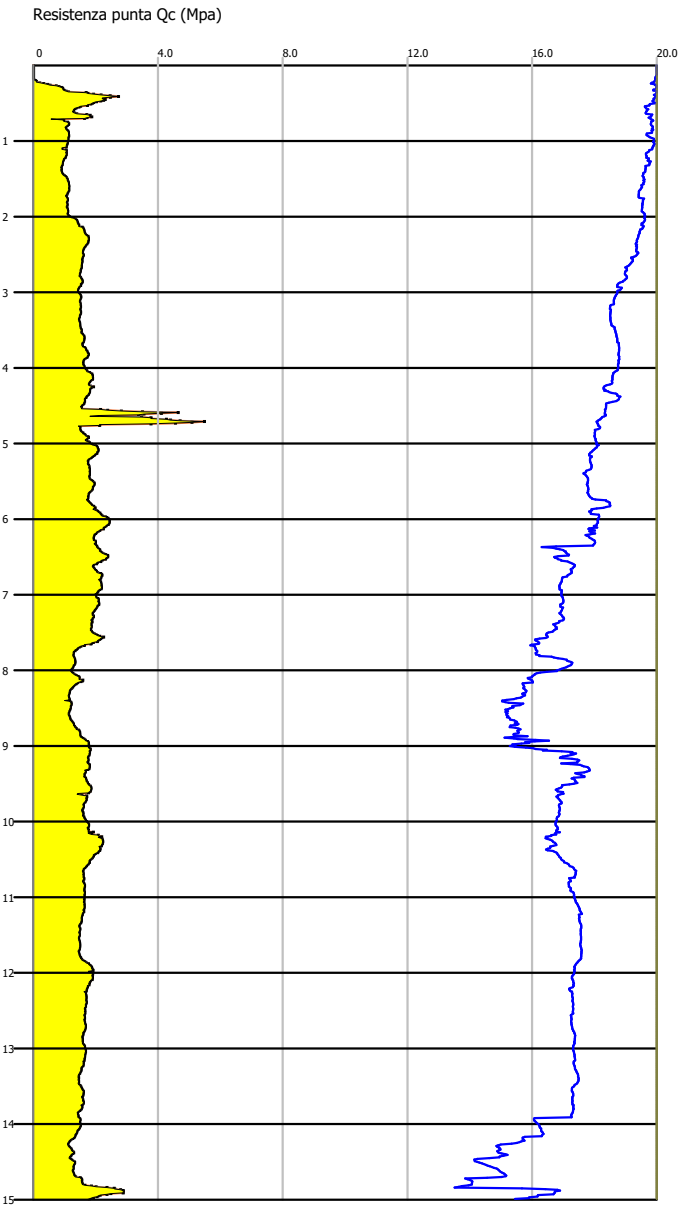
From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.27	1.77	1.44E-07	5.0	0.0	0.0	0.0	16.5	32.6	83.0	3.9	17.9	19.0
2.04		(±2.64E-07)	(±0.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.0)	(±5.1)	(±24.7)	(±2.4)	(±11.0)	(±0.0)
2.04	5.63	3.35E-08	8.9	0.0	0.0	0.0	25.4	60.4	125.7	1.8	8.2	19.0
7.67		(±1.10E-07)	(±1.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±6.3)	(±8.1)	(±19.0)	(±0.3)	(±1.5)	(±0.0)
7.67	1.12	1.35E-08	6.6	0.0	0.0	0.0	13.8	42.7	85.3	0.8	3.8	19.0
8.79		(±3.61E-09)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.8)	(±4.3)	(±8.2)	(±0.1)	(±0.4)	(±0.0)
8.79	2.46	3.93E-09	9.9	0.0	0.0	0.0	20.7	73.4	114.0	0.9	4.4	19.0
11.25		(±2.65E-09)	(±1.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.8)	(±9.1)	(±12.5)	(±0.1)	(±0.5)	(±0.0)
11.25	0.59	1.51E-09	9.0	0.0	0.0	0.0	12.9	69.5	94.1	0.7	3.2	19.0
11.84		(±1.13E-10)	(±0.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.7)	(±1.5)	(±2.5)	(±0.0)	(±0.1)	(±0.0)
11.84	2.99	2.01E-09	9.4	0.0	0.0	0.0	12.6	70.1	96.8	0.6	3.0	19.0
14.83		(±1.65E-09)	(±1.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.9)	(±9.7)	(±13.5)	(±0.1)	(±0.5)	(±0.0)
14.83	0.05	3.77E-08	11.4	0.0	0.0	0.0	30.8	68.5	163.6	1.0	4.6	19.0
14.88		(±1.87E-08)	(±0.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.4)	(±1.6)	(±18.1)	(±0.1)	(±0.5)	(±0.0)

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

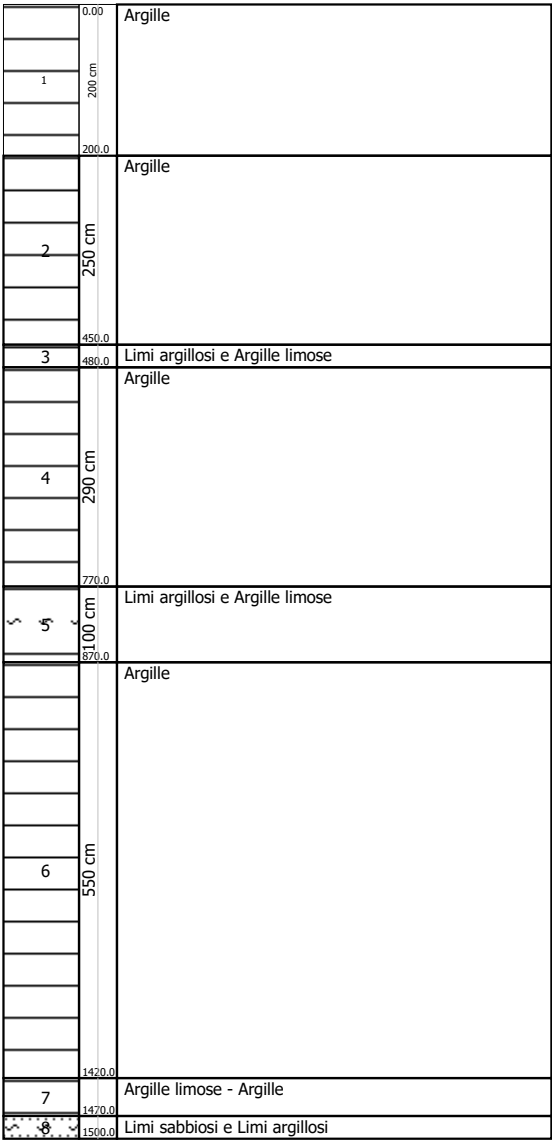
Probe CPTU - Piezocone CPTU1
Strumento utilizzato PAGANI 200 kN (CPTU)

Committente: Iren S.p.A.
Cantiere: Mancasale (RE)
Località: Via Raffaello

Data: 28/11/2022



Interpretazione Stratigrafica (Robertson 1986)



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (KPa)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Mpa)
Mo:	Modulo Edometrico (Mpa)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (KN/m³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Mpa)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

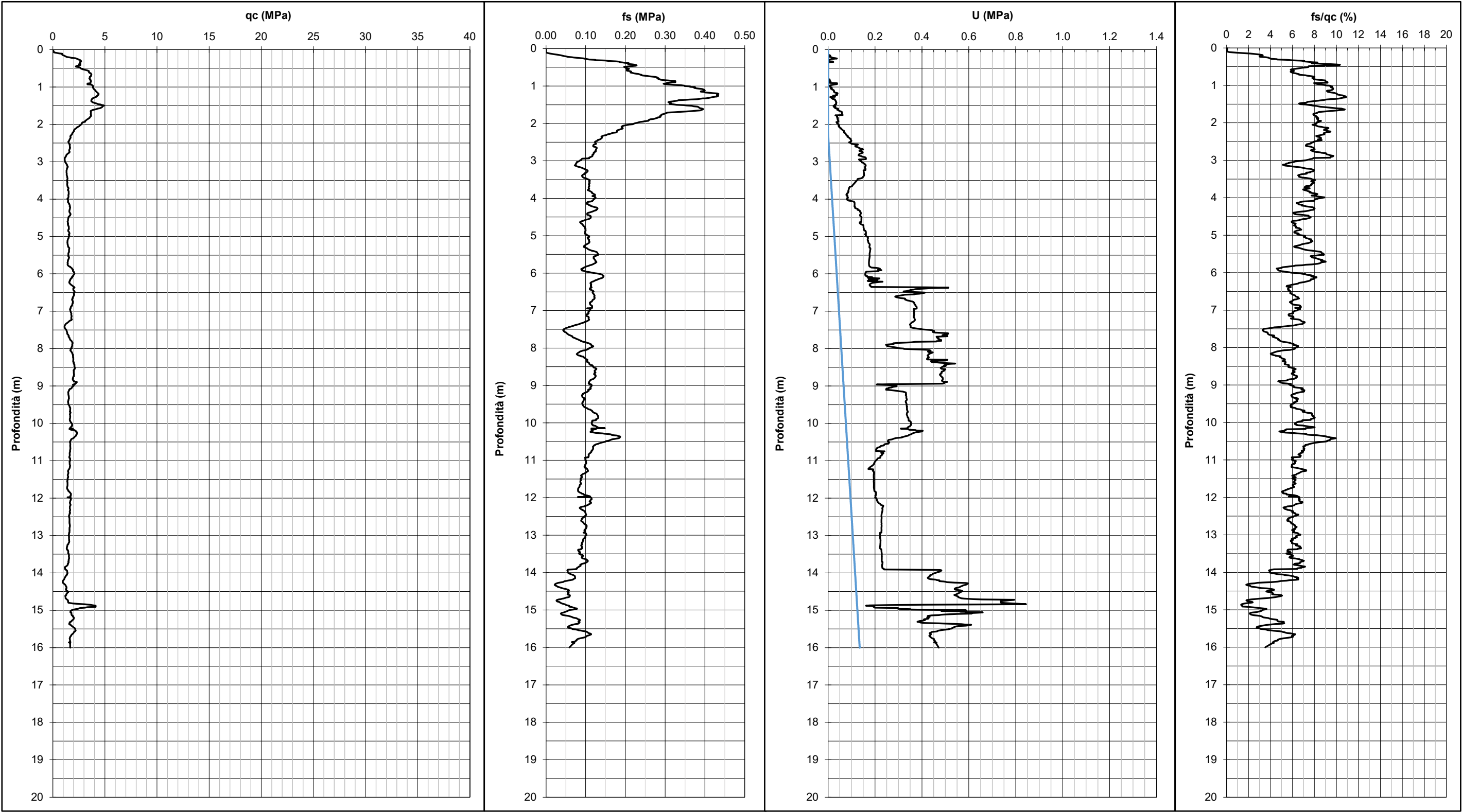
Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	2.00	C	52.0	38.6	4.4	11.7	>9	18.3	19.1	--	--	--	170.05
2	4.50	C	79.4	57.5	4.7	15.1	>9	18.9	19.7	--	--	--	221.61
3	4.80	C	150.0	109.5	6.0	22.2	6.6	20.0	20.8	--	--	--	263.25
4	7.70	C	98.1	69.3	4.1	17.2	6.0	19.3	20.0	--	--	--	255.64
5	8.70	C	62.8	41.0	4.7	13.0	1.4	18.4	19.2	--	--	--	245.85
6	14.20	C	82.4	53.3	4.7	15.4	3.0	18.8	19.6	--	--	--	272.36
7	14.70	C	61.8	35.6	4.7	12.9	1.0	18.2	18.9	--	--	--	268.22
8	15.00	C	103.0	66.0	4.1	17.6	0.7	19.2	20.0	--	--	--	295.45



PROVA PENETROMETRICA STATICA CPTU

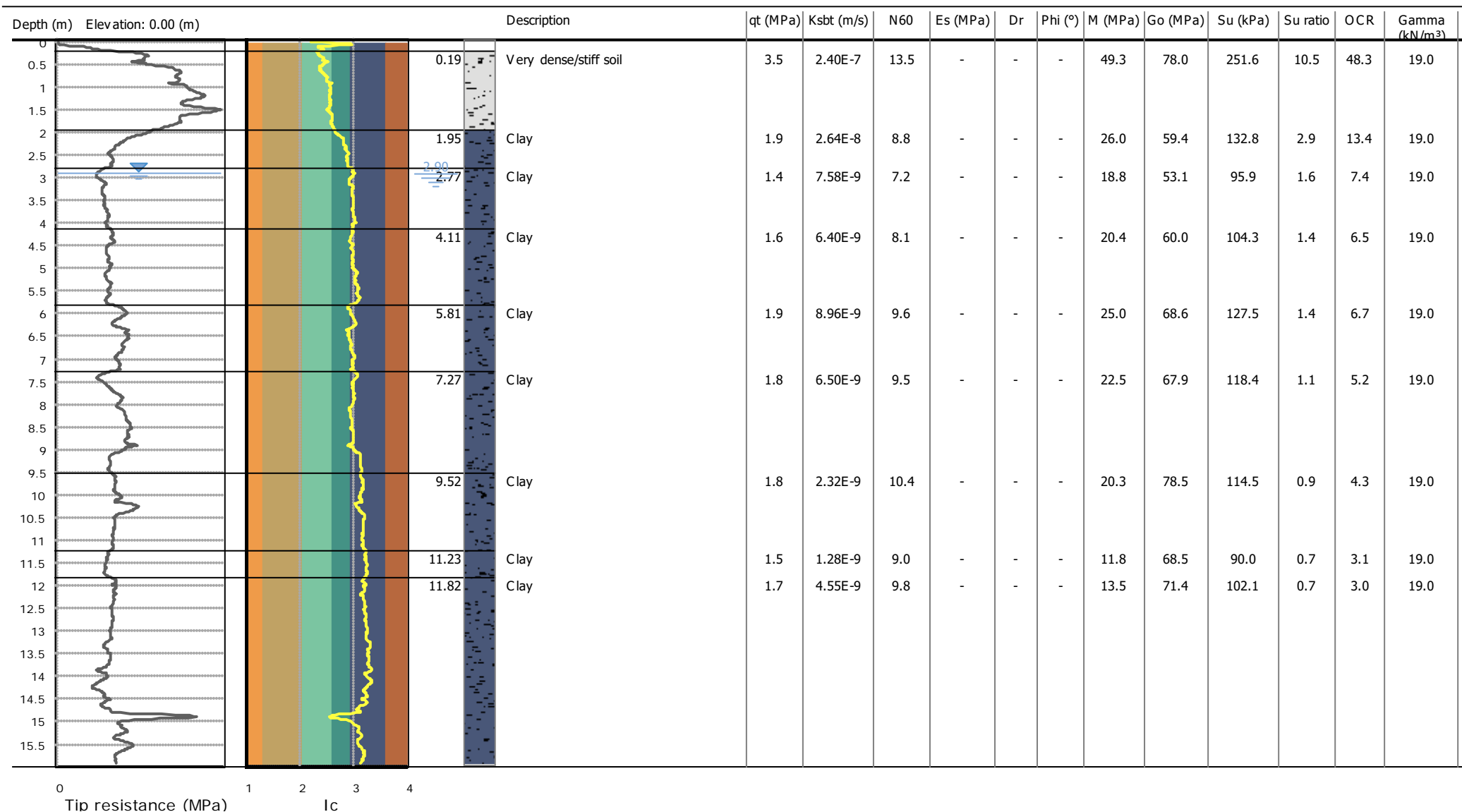
COMMITTENTE	Iren S.p.A.
CANTIERE	Mancasale (RE)
PROVA	CPTU2
DATA	28/11/2022
OPERATORE	Dott. Geol. Luca Gasperi

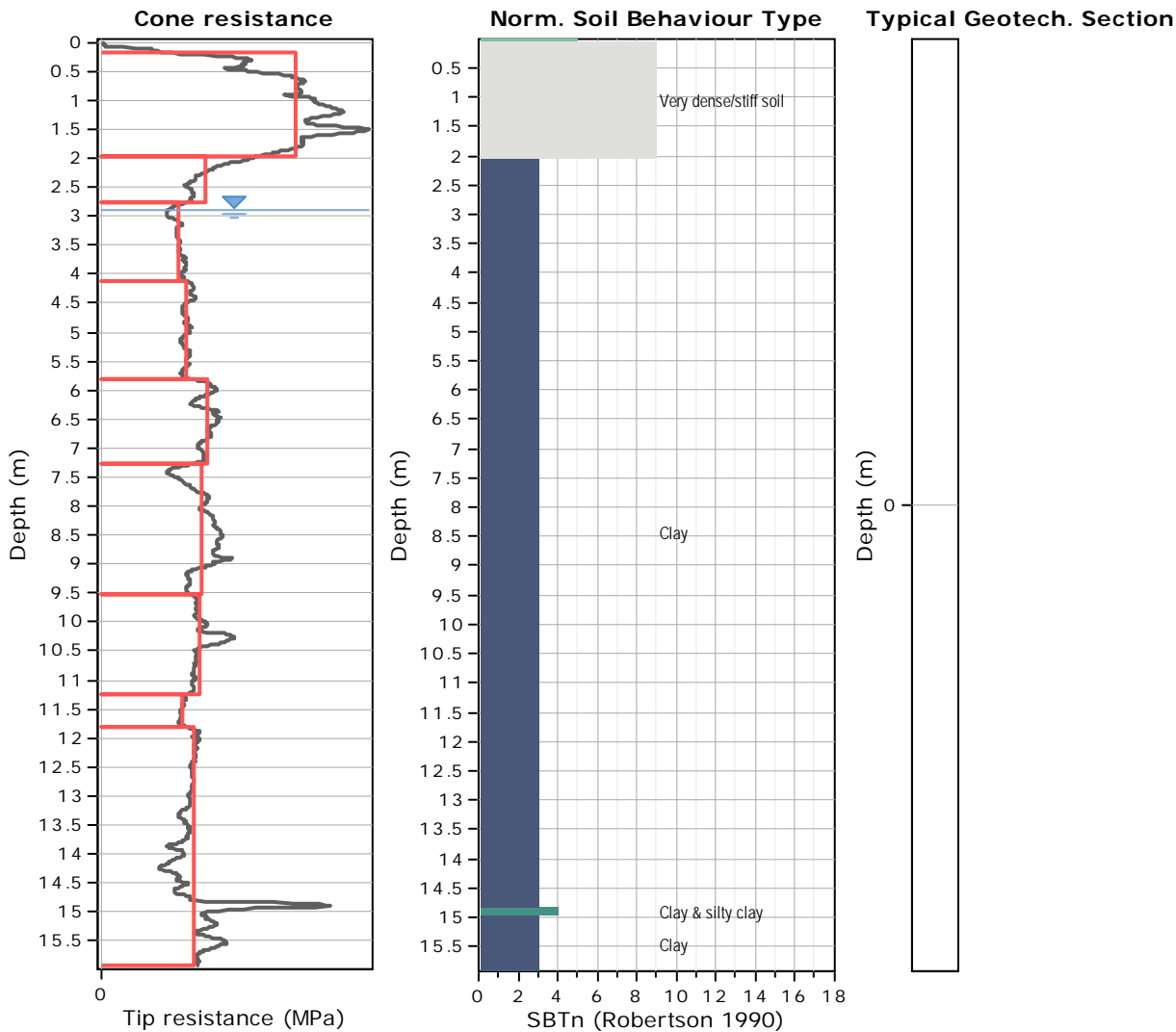
Punta	Mks880	Quota inizio indagine	p.c. m s.l.m.	Prescavo	0.00 m da p.c.
Profondità prova	16.00 m da p.c.	Livello acqua	2.25 m da p.c.		
Coordinate WGS84	Y 10.653822 E	X	44.745800 N		



Project: Iren S.p.A.

Location: Via Raffaello - Mancasale (RE)





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: Layer_1 **Start depth:** 0.19 (m), **End depth:** 1.95 (m)

Description: Very dense/stiff soil

Basic results

Total cone resistance: 3.54 ±0.68 MPa

Sleeve friction: 298.24 ±80.30 kPa

SBT_n: 9

SBT_n description: Very dense/stiff soil

Estimation results

Permeability: 2.40E-07 ±1.63E-07 m/s

N_{₆₀}: 13.50 ±2.95 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 49.32 ±9.46 MPa

Go: 77.99 ±19.00 MPa

Su: 251.62 ±48.26 kPa

Su ratio: 10.46 ±2.85

O.C.R.: 48.31 ±13.18

::: Layer No: 2 :::**Code:** Layer_2 **Start depth:** 1.95 (m), **End depth:** 2.77 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.90 ±0.39 MPa

Sleeve friction: 146.27 ±28.32 kPa

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

Permeability: 2.64E-08 ±1.83E-08 m/s

N<sub>60</sub>: 8.76 ±1.26 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 26.03 ±5.49 MPa

Go: 59.42 ±5.97 MPa

Su: 132.80 ±28.03 kPa

Su ratio: 2.89 ±0.81

O.C.R.: 13.37 ±3.74

::: Layer No: 3 :::**Code:** Layer_3 **Start depth:** 2.77 (m), **End depth:** 4.11 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.41 ±0.10 MPa

Sleeve friction: 103.35 ±13.62 kPa

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

Permeability: 7.58E-09 ±1.69E-09 m/s

N<sub>60</sub>: 7.19 ±0.66 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 18.79 ±1.32 MPa

Go: 53.14 ±4.38 MPa

Su: 95.87 ±6.75 kPa

Su ratio: 1.60 ±0.09

O.C.R.: 7.38 ±0.40

::: Layer No: 4 :::**Code:** Layer_4 **Start depth:** 4.11 (m), **End depth:** 5.81 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.55 ±0.07 MPa

Sleeve friction: 108.98 ±12.16 kPa

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

Permeability: 6.40E-09 ±2.12E-09 m/s

N<sub>60</sub>: 8.11 ±0.43 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 20.45 ±1.08 MPa

Go: 59.98 ±3.23 MPa

Su: 104.32 ±5.50 kPa

Su ratio: 1.42 ±0.14

O.C.R.: 6.55 ±0.67

::: Layer No: 5 :::**Code:** Layer_5 **Start depth:** 5.81 (m), **End depth:** 7.27 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.91 ±0.14 MPa

Sleeve friction: 114.49 ±12.30 kPa

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

Permeability: 8.96E-09 ±2.65E-09 m/s

N<sub>60</sub>: 9.59 ±0.53 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 24.99 ±1.99 MPa

Go: 68.63 ±3.21 MPa

Su: 127.50 ±10.14 kPa

Su ratio: 1.44 ±0.14

O.C.R.: 6.67 ±0.66

::: Layer No: 6 :::**Code:** Layer_6 **Start depth:** 7.27 (m), **End depth:** 9.52 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.82 ±0.29 MPa

Sleeve friction: 96.57 ±21.72 kPa

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

Permeability: 6.50E-09 ±2.58E-09 m/s

N_{₆₀}: 9.46 ±1.31 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 22.49 ±4.92 MPa

Go: 67.92 ±8.98 MPa

Su: 118.36 ±20.43 kPa

Su ratio: 1.12 ±0.19

O.C.R.: 5.18 ±0.87

::: Layer No: 7 :::**Code:** Layer_7 **Start depth:** 9.52 (m), **End depth:** 11.23 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.80 ±0.20 MPa

Sleeve friction: 122.05 ±21.95 kPa

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

Permeability: 2.32E-09 ±7.32E-10 m/s

N_{₆₀}: 10.37 ±0.91 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 20.33 ±4.07 MPa

Go: 78.50 ±6.62 MPa

Su: 114.46 ±14.33 kPa

Su ratio: 0.93 ±0.13

O.C.R.: 4.28 ±0.59

::: Layer No: 8 :::**Code:** Layer_8 **Start depth:** 11.23 (m), **End depth:** 11.82 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.48 ±0.04 MPa

Sleeve friction: 87.62 ±5.18 kPa

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

Permeability: 1.28E-09 ±1.26E-10 m/s

N_{₆₀}: 9.00 ±0.00 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 11.85 ±0.95 MPa

Go: 68.54 ±1.64 MPa

Su: 90.04 ±3.25 kPa

Su ratio: 0.67 ±0.03

O.C.R.: 3.10 ±0.14

::: Layer No: 9 :::**Code:** Layer_9 **Start depth:** 11.82 (m), **End depth:** 15.92 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.69 ±0.41 MPa

Sleeve friction: 78.80 ±23.09 kPa

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

Permeability: 4.55E-09 ±1.60E-08 m/s

N_{₆₀}: 9.78 ±1.38 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 13.49 ±7.07 MPa

Go: 71.44 ±9.13 MPa

Su: 102.12 ±29.22 kPa

Su ratio: 0.66 ±0.18

O.C.R.: 3.04 ±0.84

Project: Iren S.p.A.

Location: Via Raffaello - Mancasale (RE)

Summary table of mean values

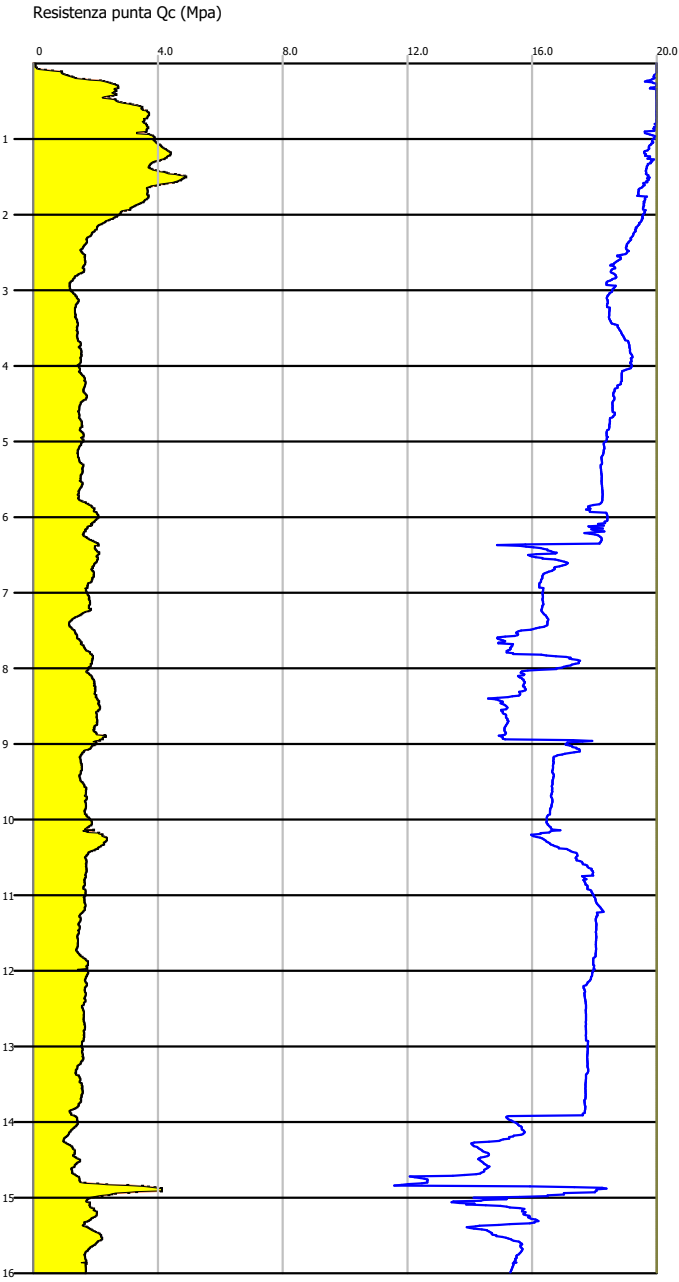
From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.19	1.76	2.40E-07	13.5	0.0	0.0	0.0	49.3	78.0	251.6	10.5	48.3	19.0
1.95		(±1.63E-07)	(±3.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±9.5)	(±19.0)	(±48.3)	(±2.9)	(±13.2)	(±0.0)
1.95	0.82	2.64E-08	8.8	0.0	0.0	0.0	26.0	59.4	132.8	2.9	13.4	19.0
2.77		(±1.83E-08)	(±1.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.5)	(±6.0)	(±28.0)	(±0.8)	(±3.7)	(±0.0)
2.77	1.34	7.58E-09	7.2	0.0	0.0	0.0	18.8	53.1	95.9	1.6	7.4	19.0
4.11		(±1.69E-09)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.3)	(±4.4)	(±6.7)	(±0.1)	(±0.4)	(±0.0)
4.11	1.70	6.40E-09	8.1	0.0	0.0	0.0	20.4	60.0	104.3	1.4	6.5	19.0
5.81		(±2.12E-09)	(±0.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.1)	(±3.2)	(±5.5)	(±0.1)	(±0.7)	(±0.0)
5.81	1.46	8.96E-09	9.6	0.0	0.0	0.0	25.0	68.6	127.5	1.4	6.7	19.0
7.27		(±2.65E-09)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.0)	(±3.2)	(±10.1)	(±0.1)	(±0.7)	(±0.0)
7.27	2.25	6.50E-09	9.5	0.0	0.0	0.0	22.5	67.9	118.4	1.1	5.2	19.0
9.52		(±2.58E-09)	(±1.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.9)	(±9.0)	(±20.4)	(±0.2)	(±0.9)	(±0.0)
9.52	1.71	2.32E-09	10.4	0.0	0.0	0.0	20.3	78.5	114.5	0.9	4.3	19.0
11.23		(±7.32E-10)	(±0.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.1)	(±6.6)	(±14.3)	(±0.1)	(±0.6)	(±0.0)
11.23	0.59	1.28E-09	9.0	0.0	0.0	0.0	11.8	68.5	90.0	0.7	3.1	19.0
11.82		(±1.26E-10)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.9)	(±1.6)	(±3.3)	(±0.0)	(±0.1)	(±0.0)
11.82	4.10	4.55E-09	9.8	0.0	0.0	0.0	13.5	71.4	102.1	0.7	3.0	19.0
15.92		(±1.60E-08)	(±1.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±7.1)	(±9.1)	(±29.2)	(±0.2)	(±0.8)	(±0.0)

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

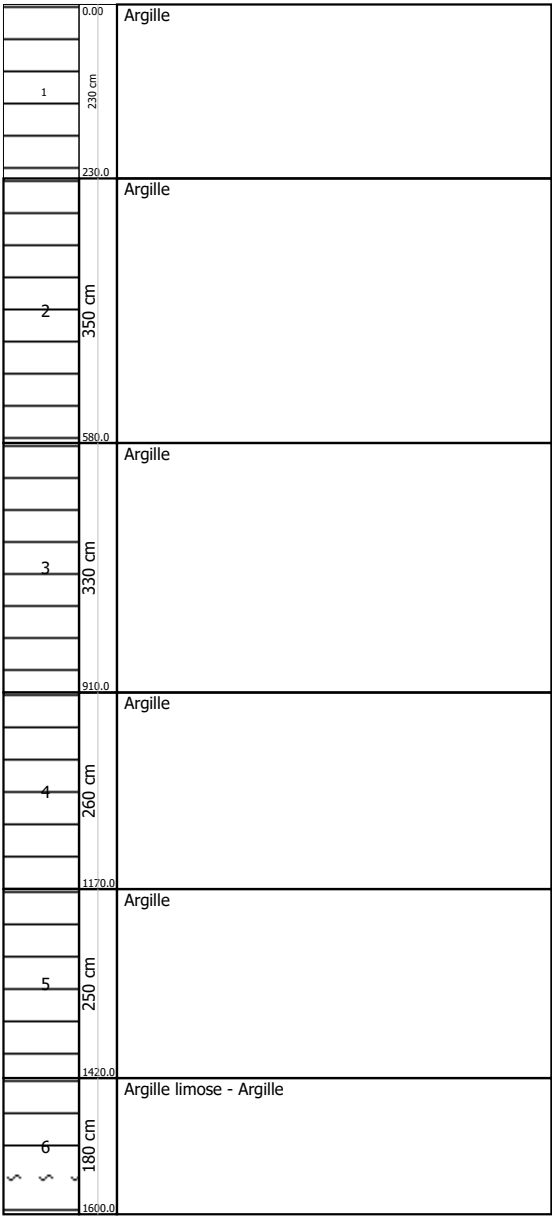
Probe CPTU - Piezocone CPTU2
Strumento utilizzato PAGANI 200 kN (CPTU)

Committente: Iren S.p.A.
Cantiere: Mancasale (RE)
Località: Via Raffaello

Data: 28/11/2022



Interpretazione Stratigrafica (Robertson 1986)



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (KPa)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Mpa)
Mo:	Modulo Edometrico (Mpa)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (KN/m³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Mpa)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

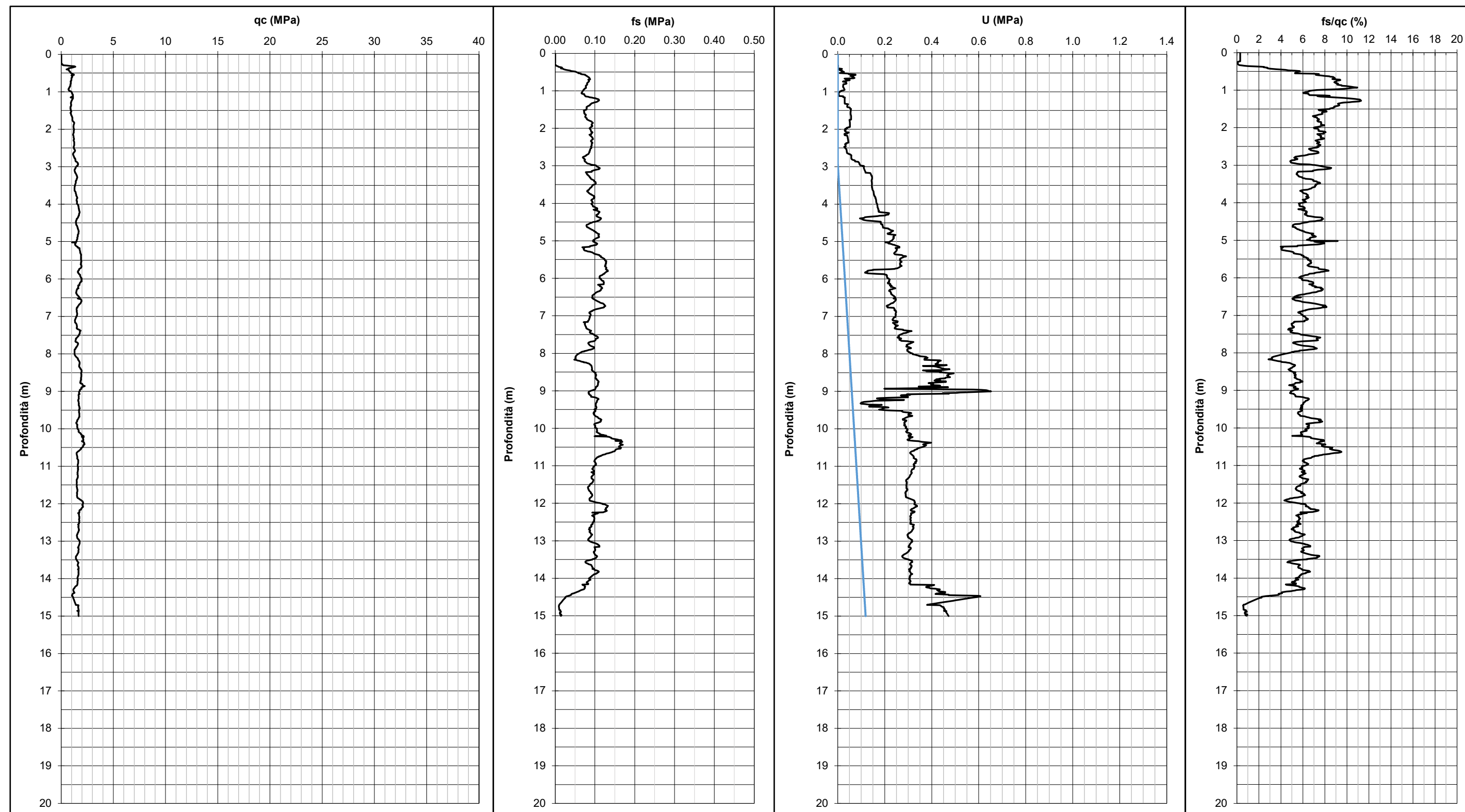
Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	2.30	C	154.9	115.6	6.2	22.7	>9	20.1	20.9	--	--	--	211.79
2	5.80	C	73.5	52.6	4.7	14.4	>9	18.8	19.6	--	--	--	226.51
3	9.10	C	91.2	62.6	4.4	16.3	5.0	19.1	19.9	--	--	--	259.09
4	11.70	C	82.4	54.3	4.6	15.4	3.8	18.8	19.6	--	--	--	268.60
5	14.20	C	75.5	47.4	4.7	14.6	2.5	18.6	19.4	--	--	--	273.97
6	16.00	C	88.3	54.8	4.5	16.0	1.4	18.9	19.6	--	--	--	288.22



PROVA PENETROMETRICA STATICA CPTU

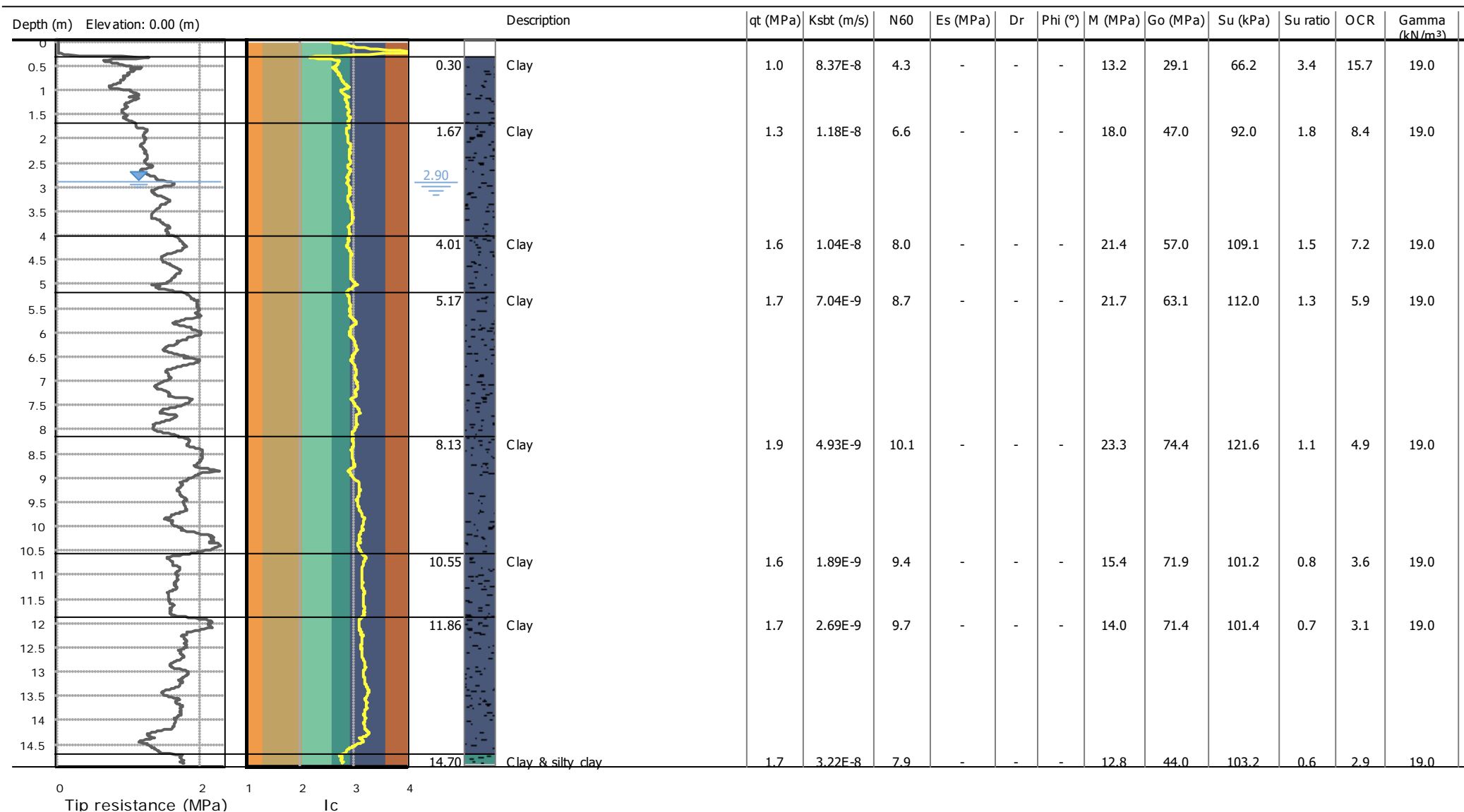
COMMITTENTE	Iren S.p.A.
CANTIERE	Mancasale (RE)
PROVA	CPTU3
DATA	28/11/2022
OPERATORE	Dott. Geol. Luca Gasperi

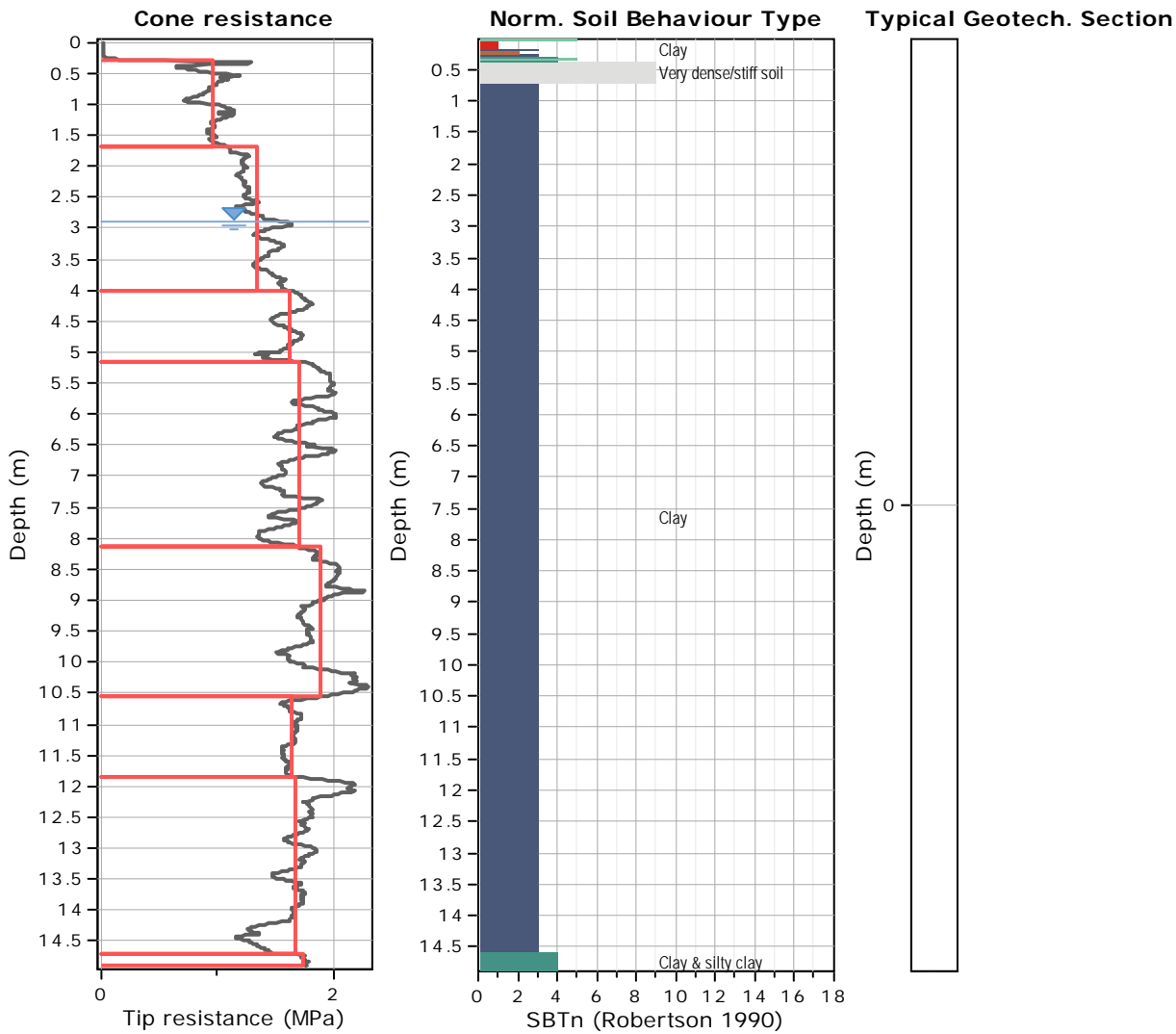
Punta	Mks880	Quota inizio indagine	p.c. m s.l.m.	Prescavo	0.00 m da p.c.
Profondità prova	15.00 m da p.c.	Livello acqua	2.90 m da p.c.		
Coordinate WGS84	Y 10.653333 E	X	44.745330 N		



Project: Iren S.p.A.

Location: Via Raffaello - Mancasale (RE)





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: Layer_1 **Start depth:** 0.30 (m), **End depth:** 1.67 (m)

Description: Clay

Basic results

Total cone resistance: 0.95 ± 0.13 MPa

Sleeve friction: 77.24 ± 16.12 kPa

SBT_n: 3

SBT_n description: Clay

Estimation results

Permeability: $8.37E-08 \pm 2.75E-07$ m/s

$N_{>60}$: 4.34 ± 0.68 blows

Es: 0.00 ± 0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ± 0.00

ϕ (degrees): 0.00 ± 0.00 °

Unit weight: 19.00 ± 0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 13.24 ± 2.46 MPa

Go: 29.14 ± 5.34 MPa

Su: 66.20 ± 8.45 kPa

Su ratio: 3.40 ± 1.06

O.C.R.: 15.70 ± 4.92

::: Layer No: 2 :::**Code:** Layer_2 **Start depth:** 1.67 (m), **End depth:** 4.01 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.34 ±0.14 MPa

Sleeve friction: 90.12 ±8.01 kPa

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

Permeability: 1.18E-08 ±2.37E-09 m/s

N_{₆₀}: 6.62 ±0.80 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 18.04 ±1.88 MPa

Go: 47.04 ±5.06 MPa

Su: 92.03 ±9.60 kPa

Su ratio: 1.82 ±0.25

O.C.R.: 8.39 ±1.15

::: Layer No: 3 :::**Code:** Layer_3 **Start depth:** 4.01 (m), **End depth:** 5.17 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.61 ±0.12 MPa

Sleeve friction: 97.68 ±12.47 kPa

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

Permeability: 1.04E-08 ±2.64E-09 m/s

N_{₆₀}: 8.01 ±0.68 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 21.38 ±1.73 MPa

Go: 57.04 ±3.24 MPa

Su: 109.08 ±8.84 kPa

Su ratio: 1.55 ±0.17

O.C.R.: 7.15 ±0.78

::: Layer No: 4 :::**Code:** Layer_4 **Start depth:** 5.17 (m), **End depth:** 8.13 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.69 ±0.20 MPa

Sleeve friction: 99.26 ±21.18 kPa

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

Permeability: 7.04E-09 ±2.92E-09 m/s

N_{₆₀}: 8.74 ±0.89 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 21.70 ±3.43 MPa

Go: 63.15 ±5.41 MPa

Su: 111.99 ±15.29 kPa

Su ratio: 1.27 ±0.27

O.C.R.: 5.87 ±1.24

::: Layer No: 5 :::**Code:** Layer_5 **Start depth:** 8.13 (m), **End depth:** 10.55 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.88 ±0.19 MPa

Sleeve friction: 111.03 ±22.92 kPa

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

Permeability: 4.93E-09 ±2.76E-09 m/s

N_{₆₀}: 10.10 ±0.93 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 23.28 ±3.46 MPa

Go: 74.37 ±7.83 MPa

Su: 121.61 ±13.58 kPa

Su ratio: 1.07 ±0.13

O.C.R.: 4.93 ±0.61

::: Layer No: 6 :::**Code:** Layer_6 **Start depth:** 10.55 (m), **End depth:** 11.86 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.63 ±0.07 MPa

Sleeve friction: 95.67 ±9.76 kPa

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

Permeability: 1.89E-09 ±2.70E-10 m/s

N_{₆₀}: 9.42 ±0.54 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 15.35 ±1.86 MPa

Go: 71.86 ±2.57 MPa

Su: 101.22 ±5.03 kPa

Su ratio: 0.77 ±0.05

O.C.R.: 3.56 ±0.24

::: Layer No: 7 :::**Code:** Layer_7 **Start depth:** 11.86 (m), **End depth:** 14.70 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.67 ±0.22 MPa

Sleeve friction: 83.90 ±30.20 kPa

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

Permeability: 2.69E-09 ±3.43E-09 m/s

N_{₆₀}: 9.68 ±1.26 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 13.95 ±4.99 MPa

Go: 71.41 ±12.42 MPa

Su: 101.37 ±16.46 kPa

Su ratio: 0.68 ±0.14

O.C.R.: 3.14 ±0.64

::: Layer No: 8 :::**Code:** Layer_8 **Start depth:** 14.70 (m), **End depth:** 14.89 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.73 ±0.05 MPa

Sleeve friction: 12.76 ±1.84 kPa

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

Permeability: 3.22E-08 ±5.63E-09 m/s

N_{₆₀}: 7.89 ±0.32 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 12.78 ±0.76 MPa

Go: 43.95 ±1.60 MPa

Su: 103.21 ±3.19 kPa

Su ratio: 0.63 ±0.02

O.C.R.: 2.92 ±0.09

Project: Iren S.p.A.

Location: Via Raffaello - Mancasale (RE)

Summary table of mean values

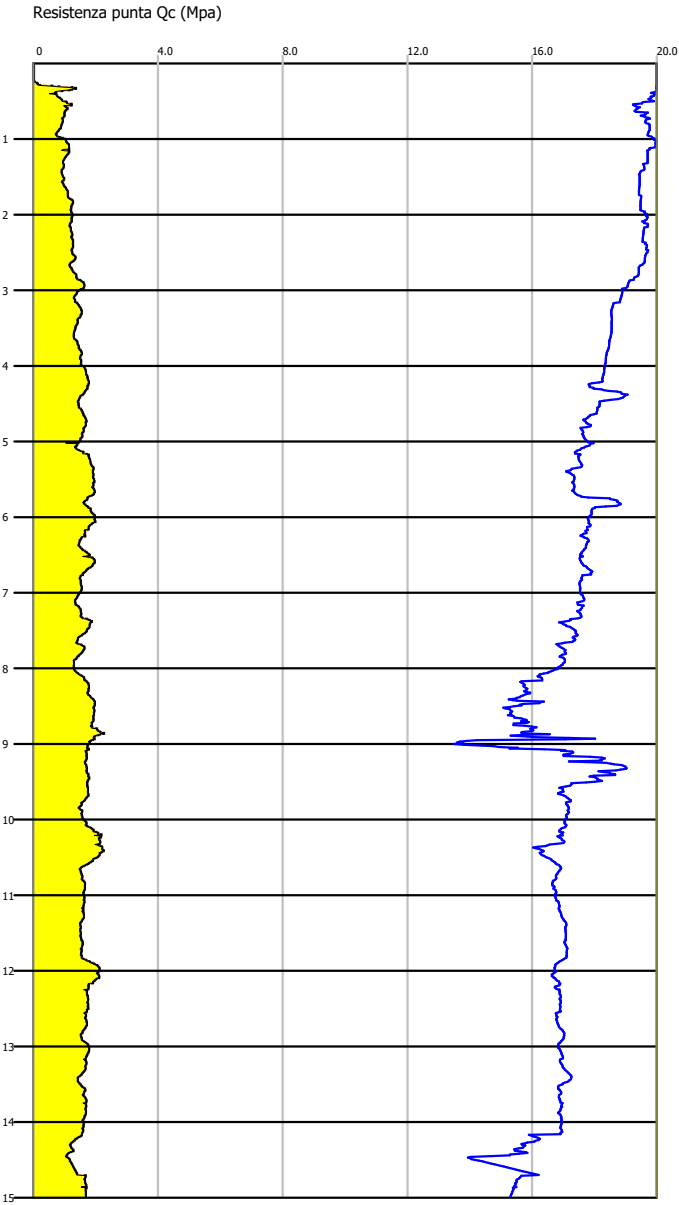
From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.30	1.37	8.37E-08	4.3	0.0	0.0	0.0	13.2	29.1	66.2	3.4	15.7	19.0
1.67		(±2.75E-07)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.5)	(±5.3)	(±8.5)	(±1.1)	(±4.9)	(±0.0)
1.67	2.34	1.18E-08	6.6	0.0	0.0	0.0	18.0	47.0	92.0	1.8	8.4	19.0
4.01		(±2.37E-09)	(±0.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.9)	(±5.1)	(±9.6)	(±0.2)	(±1.1)	(±0.0)
4.01	1.16	1.04E-08	8.0	0.0	0.0	0.0	21.4	57.0	109.1	1.5	7.2	19.0
5.17		(±2.64E-09)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.7)	(±3.2)	(±8.8)	(±0.2)	(±0.8)	(±0.0)
5.17	2.96	7.04E-09	8.7	0.0	0.0	0.0	21.7	63.1	112.0	1.3	5.9	19.0
8.13		(±2.92E-09)	(±0.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.4)	(±5.4)	(±15.3)	(±0.3)	(±1.2)	(±0.0)
8.13	2.42	4.93E-09	10.1	0.0	0.0	0.0	23.3	74.4	121.6	1.1	4.9	19.0
10.55		(±2.76E-09)	(±0.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.5)	(±7.8)	(±13.6)	(±0.1)	(±0.6)	(±0.0)
10.55	1.31	1.89E-09	9.4	0.0	0.0	0.0	15.4	71.9	101.2	0.8	3.6	19.0
11.86		(±2.70E-10)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.9)	(±2.6)	(±5.0)	(±0.1)	(±0.2)	(±0.0)
11.86	2.84	2.69E-09	9.7	0.0	0.0	0.0	14.0	71.4	101.4	0.7	3.1	19.0
14.70		(±3.43E-09)	(±1.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.0)	(±12.4)	(±16.5)	(±0.1)	(±0.6)	(±0.0)
14.70	0.19	3.22E-08	7.9	0.0	0.0	0.0	12.8	44.0	103.2	0.6	2.9	19.0
14.89		(±5.63E-09)	(±0.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.8)	(±1.6)	(±3.2)	(±0.0)	(±0.1)	(±0.0)

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

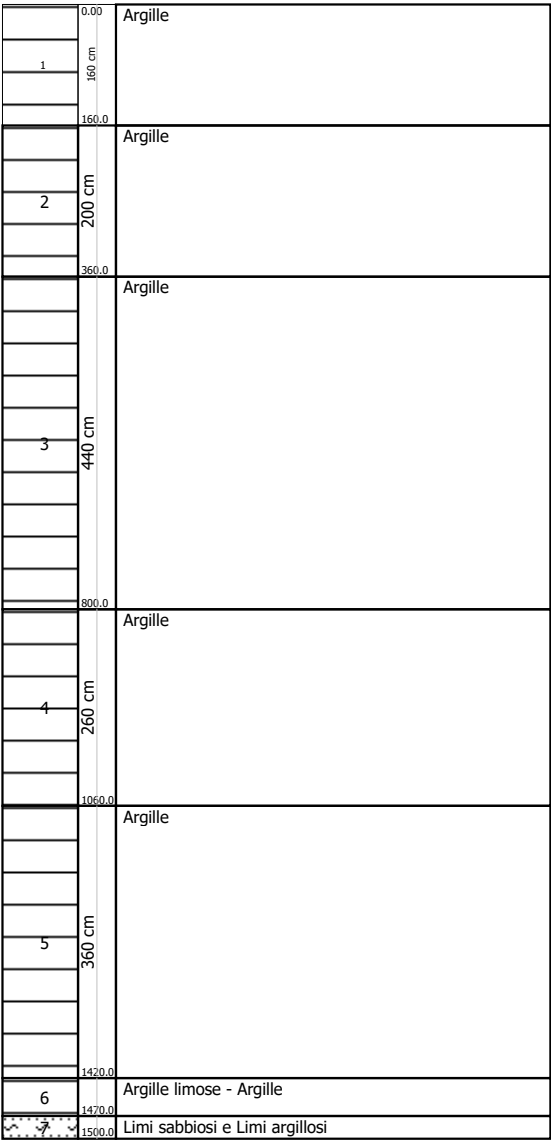
Probe CPTU - Piezocone CPTU3
Strumento utilizzato PAGANI 200 kN (CPTU)

Committente: Iren S.p.A.
Cantiere: Mancasale (RE)
Località: Via Raffaello

Data: 28/11/2022




Interpretazione Stratigrafica (Robertson 1986)



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI


Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (KPa)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Mpa)
Mo:	Modulo Edometrico (Mpa)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (KN/m³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Mpa)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	1.60	C	39.2	28.6	3.8	9.7	>9	17.8	18.6	--	--	--	155.35
2	3.60	C	64.7	46.4	4.7	13.2	>9	18.6	19.4	--	--	--	205.55
3	8.00	C	80.4	56.3	4.7	15.2	6.2	18.9	19.7	--	--	--	243.58
4	10.60	C	89.2	60.4	4.5	16.2	4.0	19.0	19.8	--	--	--	267.73
5	14.20	C	82.4	52.4	4.7	15.4	2.8	18.8	19.6	--	--	--	275.88
6	14.70	C	60.8	35.3	4.6	12.8	0.9	18.1	18.9	--	--	--	268.06
7	15.00	C	82.4	51.3	4.6	15.4	<0.5	18.8	19.5	--	--	--	284.40

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	<i>Rev.</i>	<i>data</i>
		00	01/2023

ALLEGATO 2

REPORT DELL'INDAGINE MASW

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

MASW1

Attività in sito:

- a) **Sismografo utilizzato:** sismografo Pasi GEA24;
- b) **Numero geofoni:** 12, con frequenza propria 4.5 Hz. distanza geofonica 4,0 m;
- c) **Acquisizione** a 1000 Hz per 2 secondi;
- d) **Numero profili:** 1;
- e) **Tiri:** n. 2
 - i. Tiro n. 1 eseguito +5 metri dal geofono n. 12 con finestra di acquisizione pari a 2000 millisecondi
- f) **Lunghezza singolo profilo:** 44 metri;
- g) **Sorgente utilizzata:** Mazza battente kg 8 con trigger (dispositivo per il comando di avvio della registrazione);
- h) **Energia utilizzata:** numero 5/10 colpi di mazza da 8 kg per tiro;
- i) **Tipologia di analisi:** analisi della dispersione della componente verticale delle onde di Rayleigh (MASW in configurazione ZVF);

	ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1	37	R001	Vertical	2022-11-28 11:42:19.000000	2022-11-28 11:42:21.000000	1000	0.001	2000	2.000000s	47	0
2	38	R002	Vertical	2022-11-28 11:42:19.000000	2022-11-28 11:42:21.000000	1000	0.001	2000	2.000000s	43	0
3	39	R003	Vertical	2022-11-28 11:42:19.000000	2022-11-28 11:42:21.000000	1000	0.001	2000	2.000000s	39	0
4	40	R004	Vertical	2022-11-28 11:42:19.000000	2022-11-28 11:42:21.000000	1000	0.001	2000	2.000000s	35	0
5	41	R005	Vertical	2022-11-28 11:42:19.000000	2022-11-28 11:42:21.000000	1000	0.001	2000	2.000000s	31	0
6	42	R006	Vertical	2022-11-28 11:42:19.000000	2022-11-28 11:42:21.000000	1000	0.001	2000	2.000000s	27	0
7	43	R007	Vertical	2022-11-28 11:42:19.000000	2022-11-28 11:42:21.000000	1000	0.001	2000	2.000000s	23	0
8	44	R008	Vertical	2022-11-28 11:42:19.000000	2022-11-28 11:42:21.000000	1000	0.001	2000	2.000000s	19	0
9	45	R009	Vertical	2022-11-28 11:42:19.000000	2022-11-28 11:42:21.000000	1000	0.001	2000	2.000000s	15	0
10	46	R010	Vertical	2022-11-28 11:42:19.000000	2022-11-28 11:42:21.000000	1000	0.001	2000	2.000000s	11	0
11	47	R011	Vertical	2022-11-28 11:42:19.000000	2022-11-28 11:42:21.000000	1000	0.001	2000	2.000000s	7	0
12	48	R012	Vertical	2022-11-28 11:42:19.000000	2022-11-28 11:42:21.000000	1000	0.001	2000	2.000000s	3	0

Figura 1 – Configurazione dell'acquisizione

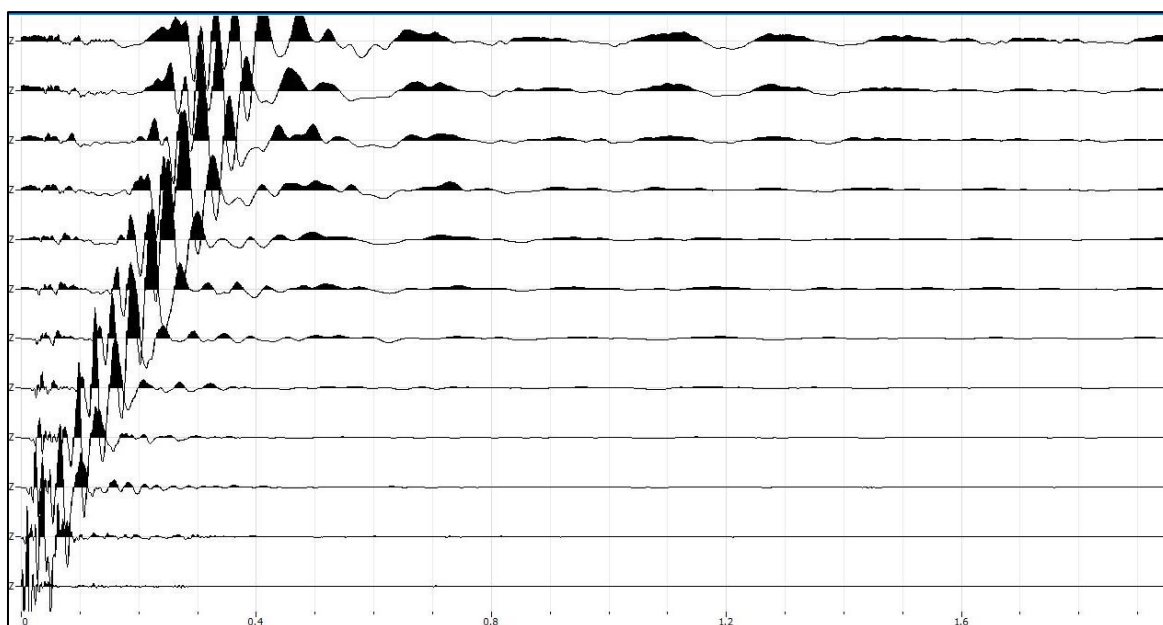


Figura 2 – sismogrammi acquisiti dai geofoni – Trigger +5 m

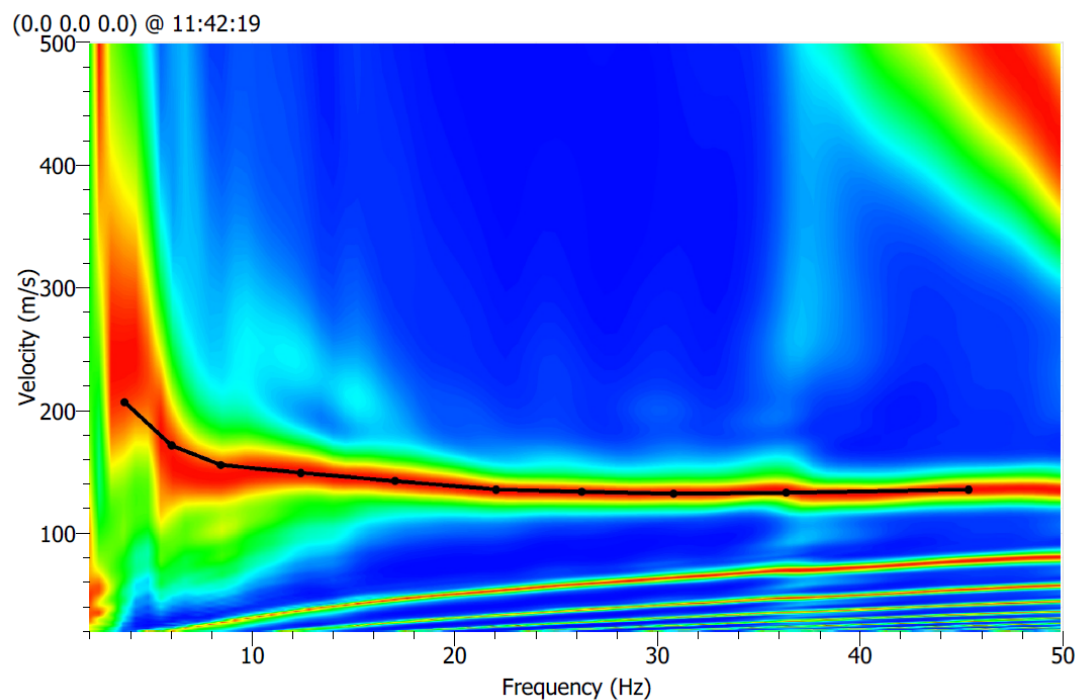


Figura 3 – Spettro di velocità di fase della componente verticale delle onde di Reyleigh (analisi ZVF) e picking della curva di dispersione del modo fondamentale

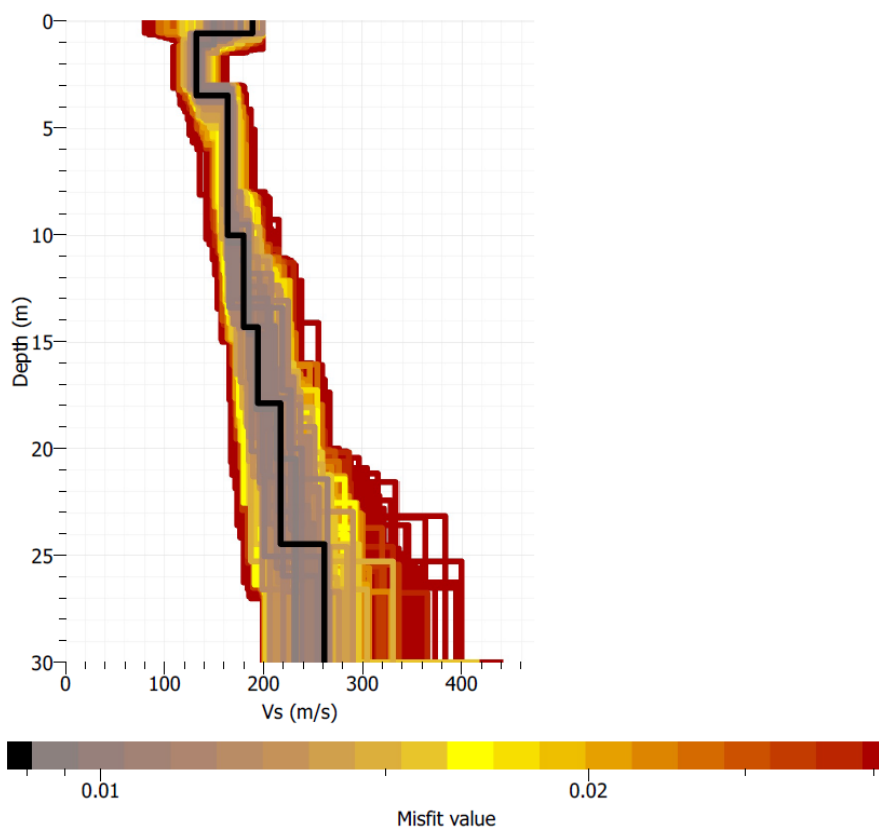


Figura 4 – Visualizzazione di tutti i profili elaborati. In nero il profilo di Vs che minimizza l'errore con le misure sperimentali.

Fundamental mode

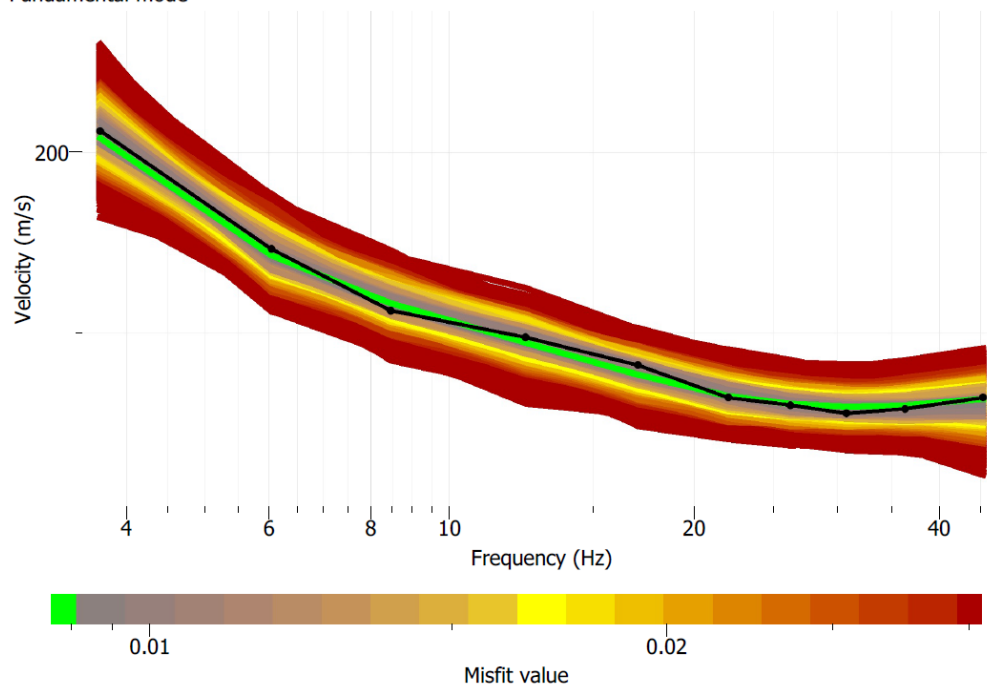


Figura 5 - Curva di dispersione sperimentale (in nero) e curve di dispersione numeriche del modello, entrambe riferite al modo fondamentale. In verde la curva di dispersione del modo fondamentale associata al profilo di colore nero in Figura 4

Strato	Vs [m/s]	Spessore [m]	Profondità [m]
1	189	0.6	0.6
2	132	2.9	3.5
3	164	6.5	10.0
4	180	4.3	14.3
5	194	3.6	17.9
6	218	6.5	24.4
7	262	Inf.	Inf.

V_{seq} = 189 m/s CATEGORIA DI SOTTOSUOLO: C

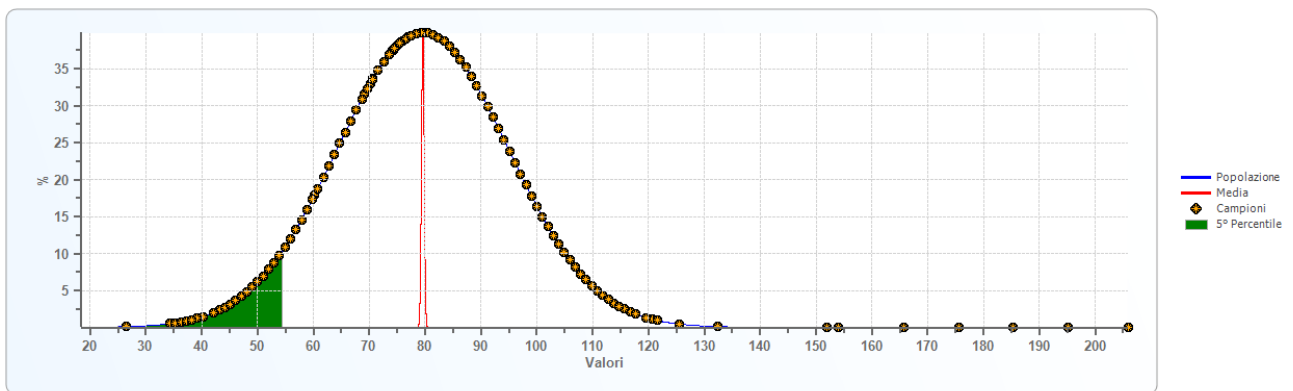
Tabella 1 – Modello di velocità delle onde S per il sito in esame.

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

ALLEGATO 3

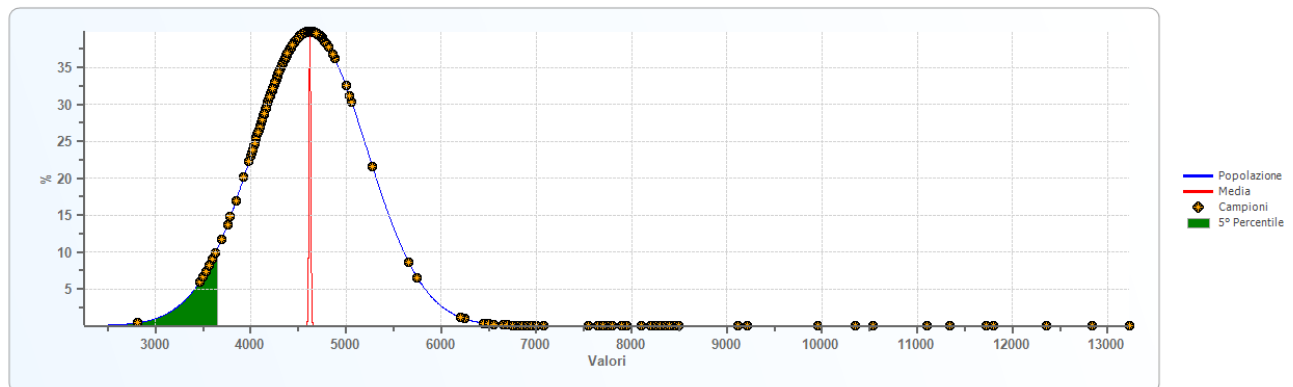
ANALISI STATISTICA DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Cu - Coesione non drenata



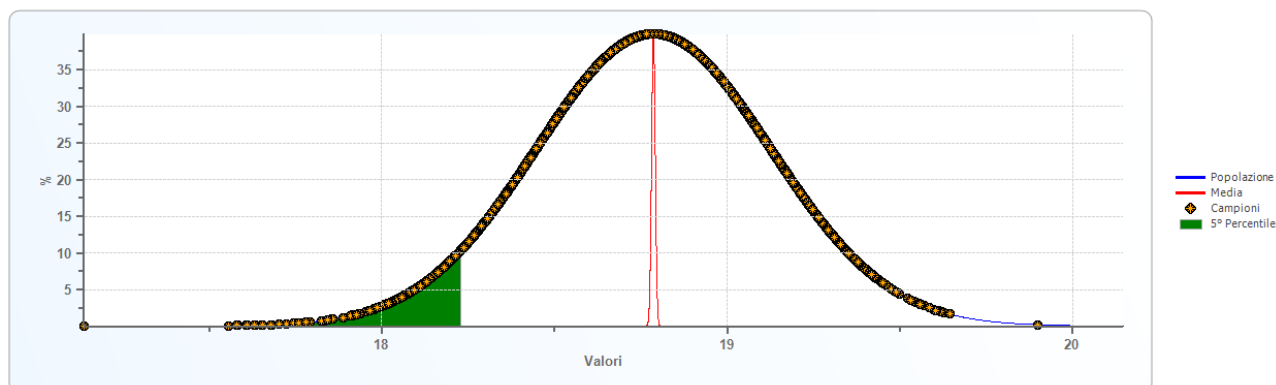
Massimo	205.94
Minimo	26.48
Valore medio	79.60
Dev. St.	15.31
Dev. St. Med.	0.24
Varianza	234.44
5° Percentile	54.41
5° Perc. Med.	79.21
C.O.V.	0.19

Eed - Modulo di compressibilità edometrica



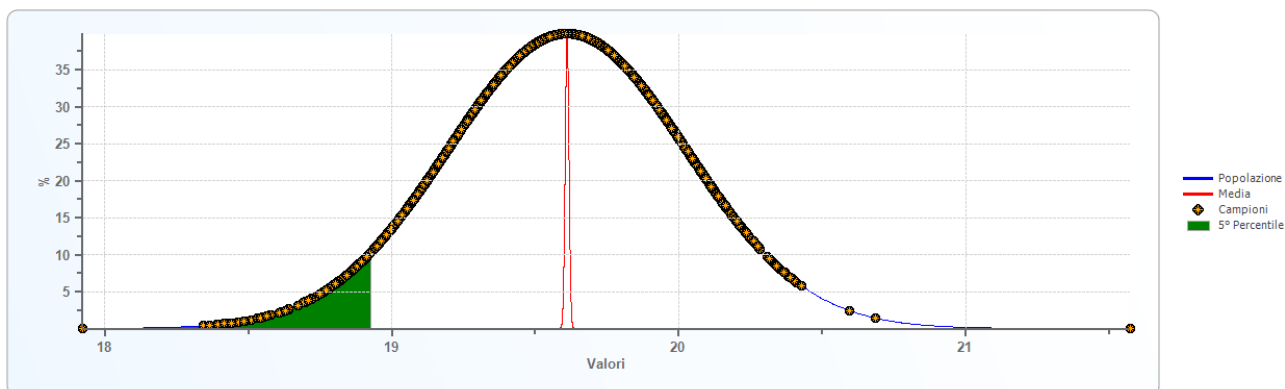
Massimo	13230.15
Minimo	2815.24
Valore medio	4622.23
Dev. St.	592.83
Dev. St. Med.	9.16
Varianza	351449.55
5° Percentile	3647.02
5° Perc. Med.	4607.16
C.O.V.	0.13

Dry unit weight - Peso di volume naturale



Massimo	19.90
Minimo	17.14
Valore medio	18.79
Dev. St.	0.34
Dev. St. Med.	0.01
Varianza	0.12
5° Percentile	18.23
5° Perc. Med.	18.78
C.O.V.	0.02


Saturated unit weight - Peso di volume saturo



Massimo	21.57
Minimo	17.92
Valore medio	19.61
Dev. St.	0.42
Dev. St. Med.	0.01
Varianza	0.17
5° Percentile	18.93
5° Perc. Med.	19.60
C.O.V.	0.02

sultati elaborazione

	Coesione non drenata [kN/mq]	Modulo di compressibilità edometrica [kN/mq]	Modulo di Young [kN/mq]	Peso di volume naturale [kN/mc]	Peso di volume saturato [kN/mc]
Tipo di elaborazione	Distribuzione standard	Distribuzione standard	--	Distribuzione standard	Distribuzione standard
Valore considerato	5° Percentile	5° Percentile	--	5° Percentile	5° Percentile
Valore caratteristico	51.70	3647.02	--	18.23	18.93
Minimo	26.48	2815.24	--	17.14	17.92
Massimo	274.59	13230.15	--	19.90	21.57
Valore medio	80.11	4622.23	--	18.79	19.61
Varianza	298.25	351449.55	--	0.12	0.17
Dev. St.	0.27	9.16	--	0.01	0.01
Dev. St. Med.	0.27	9.16	--	0.01	0.01
Percentile	(5°) 51.70	(5°) 3647.02	--	(5°) 18.23	(5°) 18.93
percentile media	(5°) 79.67	(5°) 4607.16	--	(5°) 18.78	(5°) 19.60
C.O.V.	0.22	0.13	--	0.02	0.02

	Realizzazione del nuovo impianto di inertizzazione fanghi con produzione di gessi di defecazione presso l'area impiantistica di Mancasale (RE) PROGETTO DEFINITIVO Relazione geologica	Rev.	data
		00	01/2023

ALLEGATO 4

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



FOTO 1: POSIZIONAMENTO CPTU1



FOTO 2: POSIZIONAMENTO CPTU2



FOTO 3: POSIZIONAMENTO CPTU3



FOTO 4: POSIZIONAMENTO MASW