



COMMITTENTE: **Globalambiente**



OGGETTO: verifica di assoggettabilità a VIA per la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti liquidi non pericolosi con potenzialità di 50 ton/giorno e svolgimento operazioni D8 e D9 - Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

SITO: Via Lacobella - Villanova di Denore (FE)

Data emissione documento:
Dicembre 2023

N° Archivio:
36-2023/--



Coordinatore di progetto:



Dott. Giovanni Rossi

Gruppo di progettazione:



Dott.ssa. Geol. Linda Collina

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE	2
1.1	PREMESSA	2
1.2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
1.3	DOCUMENTAZIONE CONSULTATA, RACCOLTA E/O ELABORATA	3
2	INQUADRAMENTO AREA D'INDAGINE	4
2.1	LOCALIZZAZIONE DELL'AREA	4
2.2	INQUADRAMENTO CATASTALE	5
2.3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE.....	6
2.4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE.....	8
2.5	SISMICITÀ	11
3	INDAGINI ESEGUITE	15
3.1	PREMESSA	15
3.2	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO (CPTU E SCPTU)	15
3.2.1	Strumentazione utilizzata	16
3.2.2	Risultati delle prove.....	17
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE	19
4.1	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO.....	19
4.2	MAGNITUDO DI RIFERIMENTO	22
4.3	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO SECONDO IL DM 17/01/2018	24
5	VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE	26
5.1	GENERALITÀ SUL FENOMENO.....	26
5.2	VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEL SITO	27
5.2.1	Valutazione del rischio di liquefazione del sito	29
6	STIMA DELLA RESISTENZA DEL SISTEMA GEOTECNICO	32
6.1	PREMESSA	32
6.2	PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI DETERMINATI IN BASE AL D.M. 17/01/18	32

1 INTRODUZIONE

1.1 Premessa

Su incarico della Società Globalambiente, con sede legale in via Massafiscaglia, 557 Ferrara, è stata eseguita un'indagine geologica, geotecnica e sismica finalizzata ad indagare le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni ricadenti nell'area di futura realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti liquidi non pericolosi con potenzialità di 50 ton/gg e svolgimento operazioni D8/D9 ubicata in località Villanova di Denore (FE).

A tal fine sono state eseguite:

- **n°2 prova penetrometrica (CPTU)** approfondita sino a -20 metri dall'attuale piano campagna.
- **n°1 prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU)** approfondita sino a -30 metri dall'attuale piano campagna.

1.2 Normativa di riferimento

Il presente studio è stato svolto in riferimento alle indicazioni fornite dal quadro normativo nazionale e regionale di seguito descritto.

- **D.M. LL. PP. 11/3/88** “*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce*”
- **OPCM n. 3274 del 20/3/03** “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*”;
- **DGR Emilia Romagna del 21 luglio 2003** con oggetto: Prime disposizioni di attuazione dell'OPCM n. 3274/2003 recante “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*”, con particolare riferimento all'allegato A, “*Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia Romagna*”;
- **OPCM n. 3316 del 20/10/2003** “*Modifiche ed integrazioni all'ordinanza n. 3274 del 20/3/03*”;
- Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Servizio Sismico Nazionale. Nota esplicativa dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/3/03. Data: 4 giugno 2003;
- Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 3/5/05;
- **Delibera di Giunta Regionale n. 1302 del 10 settembre 2012** “*Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 4007/2012 a favore degli Enti locali*”;
- **Delibera di Giunta Regionale n. 2193 del 21 dicembre 2015** “*Aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-*

	<p>VERIFICA DI ASSOGETTABILITÀ A VIA PER REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI TRATTAMENTO RIFIUTI LIQUIDI NON PERICOLOSI CON POTENZIALITÀ DI 50 TON/GIORNO E SVOLGIMENTO OPERAZIONI D8 E D9 Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica <i>Committente: Globalambiente</i> <i>Sito: via Lacobella – Villanova di Denore (FE)</i> <i>Dicembre 2023</i></p>
---	--

Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica” di cui alla Deliberazione dell’Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n. 112;

- **D.M. 17 gennaio 2018** – Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- **Delibera della Giunta Regionale n. 1164 del 23 Luglio 2018** “Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell’Emilia Romagna” BURERT n. 263 del 08/08/2018 periodico (parte seconda);
- **Delibera della Giunta Regionale n. 630 del 29/04/2019.** “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica”.

Fra le norme sopra elencate di particolare importanza per lo studio in oggetto sono:

- l’OPCM n. 3274 del 20/3/03: classifica il territorio nazionale in zone sismiche con 4 livelli di pericolosità;
- DGR n. 2193 del 21/12/2015 aggiornata dalla DGR 630 del 29/04/2019: rappresenta l’aggiornamento degli indirizzi regionali per gli studi di Microzonazione sismica (MS) per la pianificazione urbanistica.
- D.M. 17 gennaio 2018: noto come testo unico delle costruzioni, che disciplina la progettazione, esecuzione, collaudo e manutenzione delle costruzioni, sia in zona sismica che in zona non sismica; fornisce inoltre disposizioni riguardo all’azione sismica di progetto.

1.3 Documentazione consultata, raccolta e/o elaborata

Nelle seguenti tabelle è riportato l’elenco della documentazione elaborata ai fini della redazione della presente relazione; come precisato nelle stesse tabelle, alcuni documenti e/o estratti sono stati allegati.

Tab. 1.1 – Documentazione cartografica		
N.	Estremi documenti	Oggetto e/o osservazioni
Tav. 1	Carta ubicazione indagini eseguite	Elaborato

Tab. 1.2 – Documentazione allegata		
N.	Estremi documenti	Oggetto e/o osservazioni
All. 1	Tabulati prove penetrometriche CPTU-SCPTU	Elaborato
All. 2	Diagramma di Vs30	
All. 3	Valutazione del rischio di liquefazione	

2 INQUADRAMENTO AREA D'INDAGINE

2.1 Localizzazione dell'area

L'area in cui verrà realizzato l'impianto è compresa all'interno del Comune di Ferrara, a lato della SP15, come riportato nelle immagini che seguono.

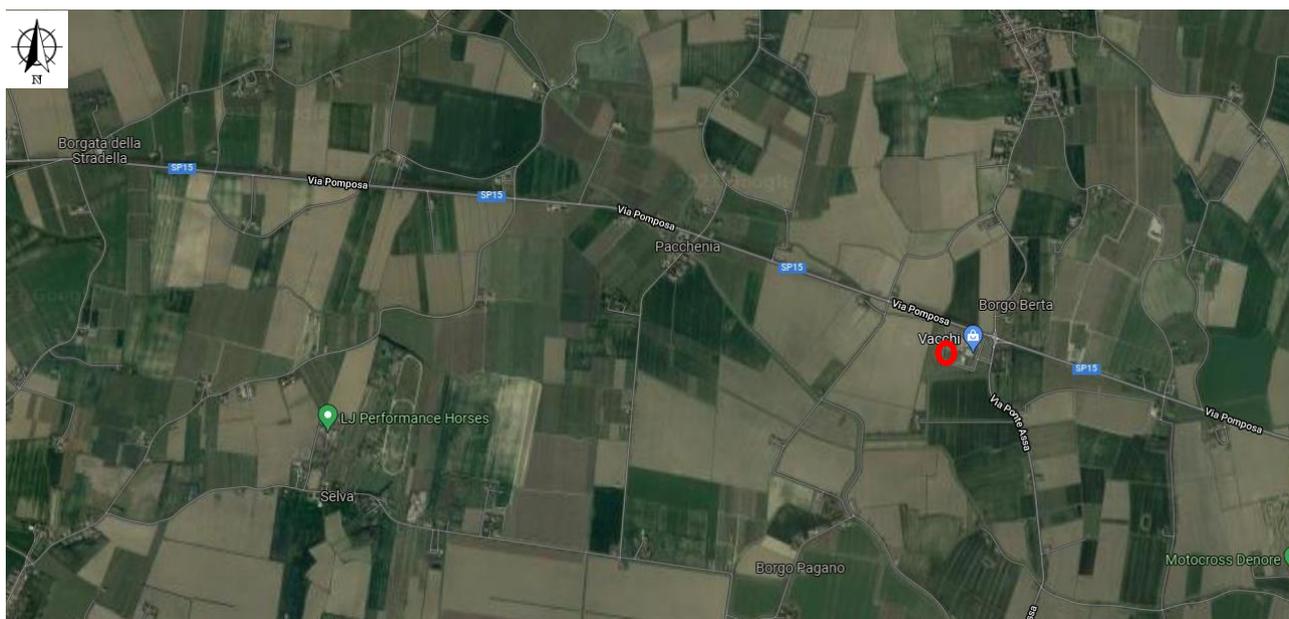


Fig. 2.1 - Inquadramento dell'area di intervento in rosso (fonte Google Maps)



Fig. 2.2 - Inquadramento dell'area di intervento in rosso (fonte Google Maps)

2.2 Inquadramento Catastale

Da un punto di vista catastale, l'area di progetto dell'impianto ricade all'interno del foglio 215, mappale 122, con superficie complessiva pari a circa 1.960 mq.



Fig. 2.3 - Stralcio planimetria catastale

2.3 Inquadramento geologico generale

L'area oggetto di studio rientra nel settore meridionale del grande bacino subsidente padano. Esso è costituito principalmente da sedimenti Olocenici di piana alluvionale, a cui segue in profondità una coltre di sedimenti incoerenti di età Pliocenica e Quaternaria con depositi riferibili a vari ambienti deposizionali, in particolare: marini, deltizi, lagunari, fluviali e palustri. La parte superiore di tali sedimenti è rappresentata da depositi Quaternari continentali in continuità con i sedimenti superficiali, con spessori variabili che raggiungono i valori massimi a SE di Ferrara (circa 200 m.). In particolare, il territorio in esame è caratterizzato da n. 2 unità geologiche fondamentali:

- a) Unità più profonda costituita da sedimenti depositatisi nei periodi del Miocene superiore e del Pliocene inferiore. I termini più alti sono rappresentati da sabbie ed arenarie con limitate intercalazioni argillose. Alla base vi sono argille e marne con banchi arenacei-marnosi. Questi sedimenti sono deformati da pieghe, faglie inverse e ricoprenti, con assi allungati ad andamento NO-SE;
- b) Unità superiore costituita da sedimenti del Pliocene medio-superiore caratteristici di un ambiente deposizionale marino poco profondo, in progressiva colmazione. La base di questo complesso è situata a profondità variabile. Solo la base del Quaternario presenta generalmente profondità tra 2000 e 2800 m.

L'assetto attuale del territorio ferrarese è conseguenza dell'evoluzione della rete idrografica superficiale, dei fenomeni di subsidenza naturale ed antropica e dell'evoluzione tettonica della Pianura Padana. Le sequenze Quaternarie, relazionate ai depositi costieri, marini e fluvio-deltizi, sono coinvolte in una serie di strutture tettoniche sepolte che costituiscono l'Arco Emiliano e Ferrarese (Pieghe Ferraresi) determinando degli alti e dei bassi strutturali all'interno dei quali sono state depositate le successioni sedimentarie che costituiscono la pianura ferrarese.

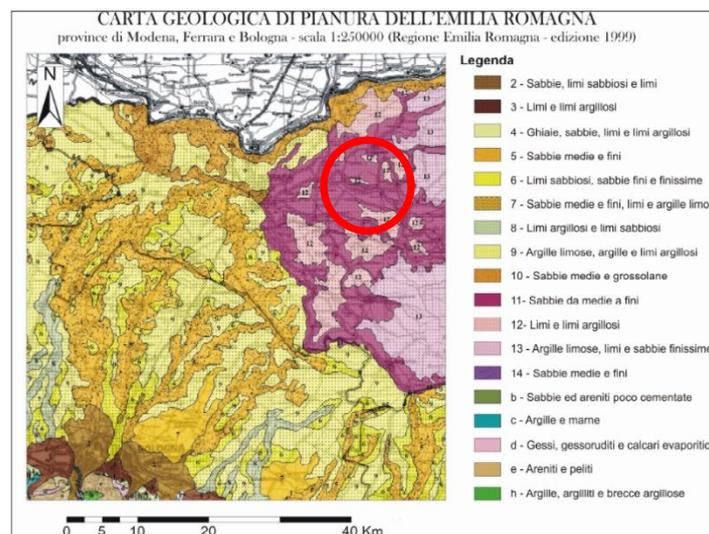


Fig. 2.4 - Estratto della carta geologica di pianura dell'Emilia Romagna (1999)

La topografia di questa parte della pianura degrada lievemente da ovest verso est, fino alla linea di costa, alternando alti topografici con sedimenti sabbiosi depositati lungo le aste fluviali a depressioni con sedimenti più fini, limoso-argillosi, formati da acque stagnanti, quali quelle delle paludi e dei meandri abbandonati. I dislivelli topografici tra questi due famiglie di depositi sono limitati a pochi metri, e anche se ancora percepibili, modificati dall'attività dell'uomo.

In pianura le caratteristiche morfologiche principali sono senza dubbio legate all'evoluzione del sistema idrografico, che a sua volta viene condizionato dai caratteri climatici e dalle strutture geologiche del sottosuolo.

In particolare, per quanto riguarda la Pianura Padana si può dire che la sua genesi non è stata un fenomeno regolare in quanto si sono alternati nel tempo numerosi episodi di sommersione ed emersione provocati dalle fluttuazioni eustatiche del livello del mare, connesse alle variazioni climatiche.

Ad ogni glaciazione, infatti, il livello del mare si abbassava (regressione) ed emergevano vaste pianure costiere destinate a venire nuovamente sommerse durante le fasi interglaciali, quando il livello del mare tornava ad alzarsi (trasgressione) e le grandi quantità di sedimenti trasportati dai fiumi colmavano le fasce marine litoranee, determinando un progressivo avanzamento della linea di costa.

L'evoluzione della rete idrografica padana è ovviamente collegata alle suddette variazioni climatiche in quanto dal clima dipendono i processi geomorfologici di erosione, trasporto e sedimentazione dei fiumi. L'ultima glaciazione wurmiana ha praticamente cancellato tutte le tracce morfologiche o idrografiche preesistenti, rimodellando completamente la superficie della pianura. Possiamo dunque porre come data di nascita della configurazione attuale della Pianura Padana l'ultimo periodo postglaciale, durante il quale i corsi d'acqua, originati dallo scioglimento dei ghiacciai, scendevano verso valle con forte capacità erosiva e sedimentavano imponenti quantità di materiali.

E' pertanto corretto affermare che, l'attuale morfologia superficiale della pianura rivela con estrema chiarezza la storia idraulica più recente mentre, solo scendendo in profondità, si possono riconoscere le strutture geomorfologiche di età diverse dalla nostre, che un tempo affioravano, e che poi sono state ribassate dalla subsidenza e ricoperte da spesse coltri di sedimenti legati alle mutate caratteristiche degli ambienti deposizionali (funzione di dinamiche tettoniche intense, di mutamenti dinamici e di spostamento dei corsi dei fiumi). Va qui sottolineato che un grande aiuto alla lettura dell'evoluzione geomorfologica più recente del territorio di pianura deriva infine dalla datazione dei reperti archeologici rinvenibili nei corpi sedimentari più recenti.

2.4 Inquadramento idrogeologico generale

L'acquifero Regionale risulta suddiviso in tre grandi gruppi acquiferi (chiamati, dall'alto, A, B e C) separati dall'interposizione di importanti aquitardi. Ogni gruppo acquifero consiste di molti piccoli complessi acquiferi in accordo con il modello di suddivisione gerarchico basato sulla dimensione dei corpi acquiferi e della loro estensione.

Le sequenze sedimentarie della Provincia di Ferrara sono incluse nel Gruppo acquifero A. All'interno di questo Gruppo possono essere identificate cinque Unità Idrostratigrafiche Sequenziali. Queste unità, dalla base al tetto della sequenza, sono chiamate rispettivamente: A4, A3, A2, A1 e A0.

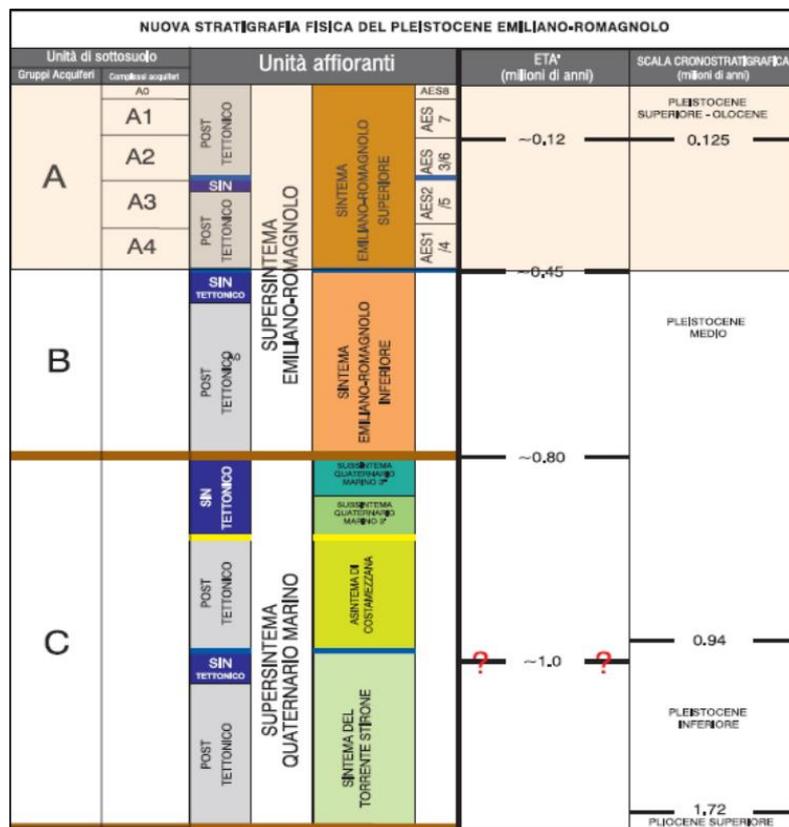


Fig. 2.5 – Relazione tra le principali unità idrostratigrafiche e stratigrafiche della Regione Emilia Romagna (Molinari et. Al., 2007)

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

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

Il Gruppo Acquifero A è attualmente sfruttato in modo intensivo; il Gruppo Acquifero B è sfruttato solo localmente; il Gruppo Acquifero C, isolato rispetto alla superficie per gran parte della sua estensione, è raramente sfruttato.

Il Gruppo Acquifero di maggiore importanza, ai fini di questo documento, risulta essere il Gruppo A in particolare le porzioni più superficiali dello stesso. Di seguito si riporta una breve descrizione delle cinque unità idrostatigrafiche nelle quali è suddiviso il gruppo acquifero:

- **Complesso acquifero A4 e A3:** questi sono i due acquiferi più profondi, rispettivamente -90 m s.l.m. (A3) e -100 m s.l.m. (A4) nelle aree di alto strutturale (zona Ovest della provincia di Ferrara), raggiungendo profondità del tetto di -230 m s.l.m. (A3) e -280 m s.l.m. (A4) nel settore Est della Provincia dove gli assi strutturali si approfondiscono in direzione E-NE. In entrambi i complessi, i depositi sabbiosi di delta risultano aggradanti indicando una stasi nell'evoluzione paleogeografica del bacino sedimentario. Questi acquiferi, data la loro profondità, non risultano affetti dal ciclo idrogeologico attuale ed ospitano acque fossili e connate di origine Appenninica ed Alpina.
- **Complesso acquifero A2:** questo complesso, alla scala locale, può essere suddiviso in due altre unità idrostratigrafiche. La prima chiamata A2-II che si sviluppa da Est verso Ovest ed è contenuta in sabbie marine con profondità massime di -110/-190 m s.l.m. Le geometrie morfo-deposizionali di questo complesso acquifero suggerisce una sostanziale stasi nel sistema fluviale-deltizio. La seconda unità è chiamata A2-I, risulta essere il complesso acquifero con la maggiore estensione della Provincia di Ferrara. Il tetto dell'acquifero, influenzato dagli assi strutturali sepolti, si trova approssimativamente tra -40 m s.l.m. nella porzione Ovest del territorio provinciale approfondendosi fino a -130 m s.l.m. nel settore Est. I depositi di questo complesso sono formati dall'unione di corpi fluviali e canali distributori mostrando una fase progradante del sistema ed una riorganizzazione paleogeografica del bacino sedimentario.
- **Complesso acquifero A1:** anche in questo caso il complesso acquifero può essere suddiviso in due parti. A1-I il quale consiste essenzialmente in corpi sabbiosi "Würmiani" con una profondità massima di -50/-60 m s.l.m. La parte inferiore, chiamata A1-II, è suddivisa in due porzioni: continentale ad Ovest e marina ad Est. Entrambe raggiungono spessori di 12-15 m. In generale il sistema è stato depositato durante una fase trasgressiva dove l'energia del Fiume Po era troppo bassa per consentire continuità ed amalgamazione tra le sabbie continentali e marine, infatti i sedimenti fini di origine palustre si trovano tra i due depositi sabbiosi.
- **Complesso acquifero A0:** corrisponde all'acquifero freatico contenuto in sedimenti fluviali di meandro e di canale distributore del Fiume Po nella porzione continentale dell'acquifero (W) ed in sabbie di cordone e duna. Questo acquifero si trova ad una profondità variabile

compresa tra i 2 ed i 20/30 m s.l.m., confinante con i depositi fini che suddividono l'acquifero freatico A0 dal primo acquifero confinato A1. Le caratteristiche principali idrodinamiche ed idrochimiche di questo acquifero sono:

- Le acque sotterranee, ovunque, sono connesse con i corpi d'acqua superficiali;
- La ricarica avviene attraverso le piogge, le acque dei canali e delle lagune, le acque marine ad Est e le acque ad uso irriguo;
- L'idrodinamica delle acque sotterranee è localmente influenzata dai sistemi di drenaggio e pompaggio.
- La falda freatica, considerata per convenzione come un unico elemento, in realtà risulta costituita da un complesso sistema multifalda, a livelli anche non interconnessi.

Nell'area oggetto di studio il livello della falda, misurato rispetto al piano campagna durante l'esecuzione delle indagini, risulta essere posto come riportato alla tabella seguente.

ID	Livello statico della falda da p.c. (m)
SCPTU 1	-2,00
CPTU 2	-2,10
CPTU 3	-2,10

2.5 Sismicità

I sovrascorrimenti delle falde profonde appenniniche sono ancora attivi, e sono la zona di origine dei terremoti, i cui ipocentri sono collocati tra i 5 e gli 8 km di profondità, e con meccanismo di fagliazione prevalentemente compressivo.

La sismicità dell'Emilia Romagna può essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IXX grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell'Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5) sono il margine appenninico-padano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico.

I maggiori terremoti occorsi in epoca storica nel ferrarese sono stati il terremoto di Ferrara del 1346 e con una intensità di 7.5 gradi della scala Mercalli, stimata di magnitudo 5.81 della scala Richter; ed il terremoto dei Ferrara del 1570 con una intensità di 7.5 gradi della scala Mercalli, stimata di magnitudo 5.48 della scala Richter. Tali eventi storici sono perfettamente congruenti con i recenti sismi del 20 e 29 maggio 2012, che confermano l'intensità sismica dell'areale emiliano romagnolo.

Di particolare rilievo sono i fenomeni osservati in seguito agli eventi sismici del maggio 2012, ovvero la Liquefazione. La liquefazione dei sedimenti è uno dei fenomeni idrogeologici più evidenti che possono essere causati da un terremoto in zone come pianure alluvionali e piane costiere, caratterizzate da importanti spessori di depositi prevalentemente costituiti da sedimenti fluviali (argille, limi e sabbia).

Nei depositi limosi e sabbiosi non consolidati e saturi di acqua (che è incomprimibile), lo scuotimento sismico può causare il trasferimento della pressione dai contatti fra i granuli del sedimento all'acqua interstiziale (presente fra un granulo e l'altro). Quando un simile deposito si trova confinato tra due strati impermeabili (limi e argille ad esempio), la pressione dell'acqua cresce sino a un punto critico sorpassato il quale annulla la pressione tra i granuli e tutto il deposito (sedimento più acqua) si comporta come un fluido ovvero si liquefa. Il fenomeno della liquefazione durante lo scuotimento sismico si origina preferibilmente in sedimenti posti tra 1 e circa 10-15 m di profondità. Per sfogare questa pressione in eccesso il deposito liquefatto cerca una via di fuga spingendo verso zone a minore pressione, ovvero verso l'alto, attraverso fratture o condotti, di neoformazione o preesistenti, sia naturali che artificiali (pozzi per l'acqua ad esempio). In superficie, la liquefazione si manifesta con vulcanetti di sabbia/limo, frequentemente allineati lungo le fratture di risalita. Gli edifici e tutte le opere antropiche (ponti, strade etc.) possono essere danneggiati da tale fenomeno. Infatti, se le fondamenta di un edificio poggiano su uno strato che si liquefa, il sostegno di quel livello viene a mancare (si comporta come un fluido e non più come un solido). Allo stesso tempo anche la sabbia

che risale verso la superficie può causare cedimenti e danni ad un edificio sovrastante a seguito della forte pressione esercitata.



Fig. 2.6 – Foto fenomeno di liquefazione nell'area dell'alto ferrarese a seguito dei terremoti del 20 e 29 Maggio 2012

A valle degli eventi sismici sono stati aggiornati gli studi di Microzonazione del Comune di Ferrara come da Delibera della Giunta Regionale dell'Emilia Romagna 1302-2012. Questi attraverso elaborati cartografici riassuntivi hanno permesso di definire alcune caratteristiche del territorio in esame, di particolare interesse risulta essere la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) attraverso la quale è possibile valutare gli effetti di sito indotti da un evento sismico nell'ambito del territorio comunale di Ferrara. Successivamente, alle aree stabili e instabili sono associati, nella Carta della Microzonazione Sismica di livello 2, i fattori di amplificazione, in ultimo sono state analizzate le aree stabili e instabili attraverso la definizione della Carta di Microzonazione Sismica di livello 3.

Di seguito si riportano gli stralci delle tre cartografie sopra citate ed un commento alle stesse.

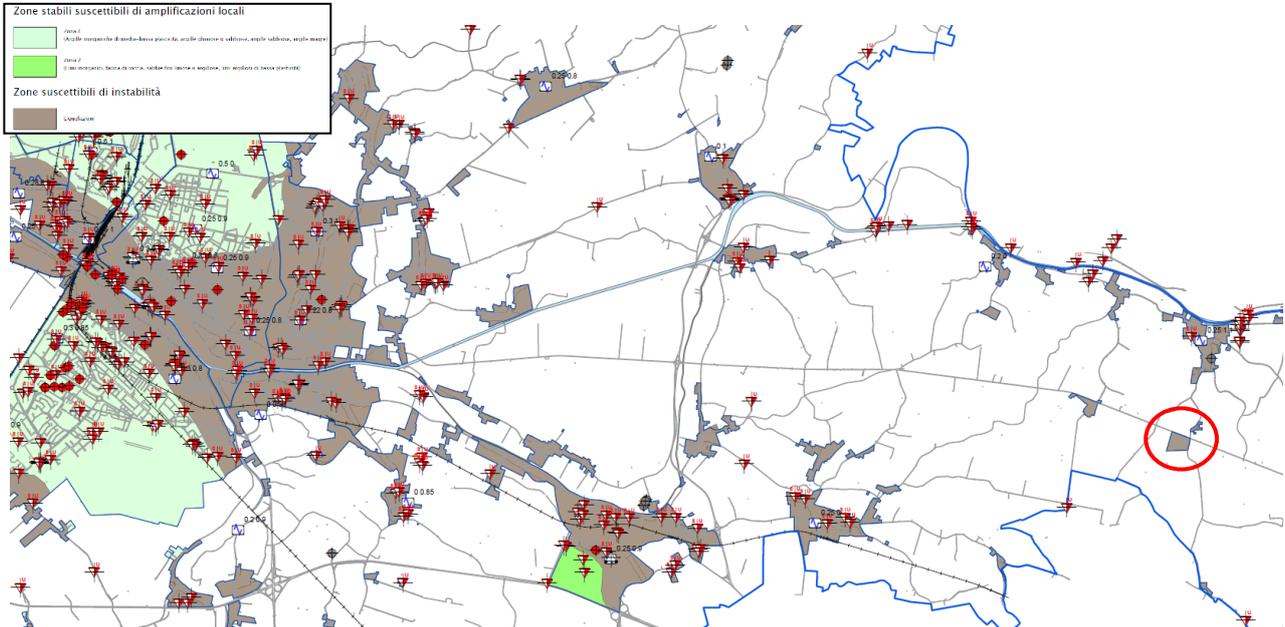


Fig. 2.7 – Stralcio della Carta delle MOPS (area di studio in rosso)

La carta delle MOPS, individua il settore in esame all'interno di zone suscettibili di instabilità per potenziale innesco di fenomeni di liquefazione. Pertanto è necessario analizzare le carte della Microzonazione di 2 e terzo livello.

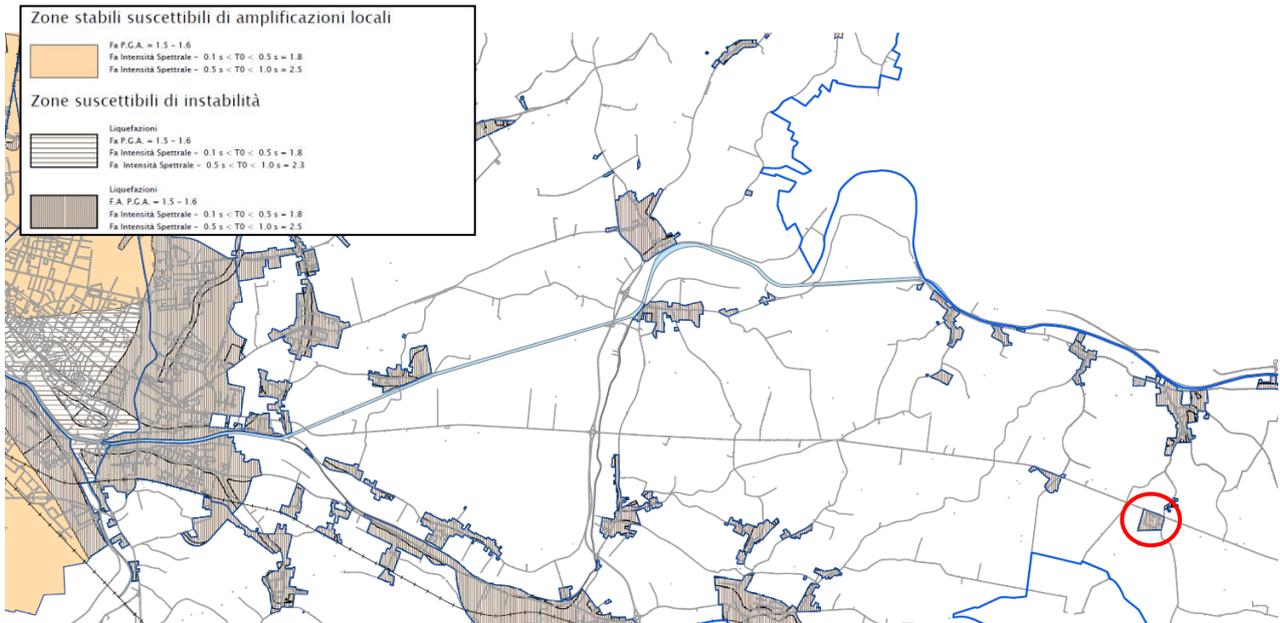


Fig. 2.8 – Stralcio della Carta di microzonazione sismica di livello 2 (area di studio in rosso)

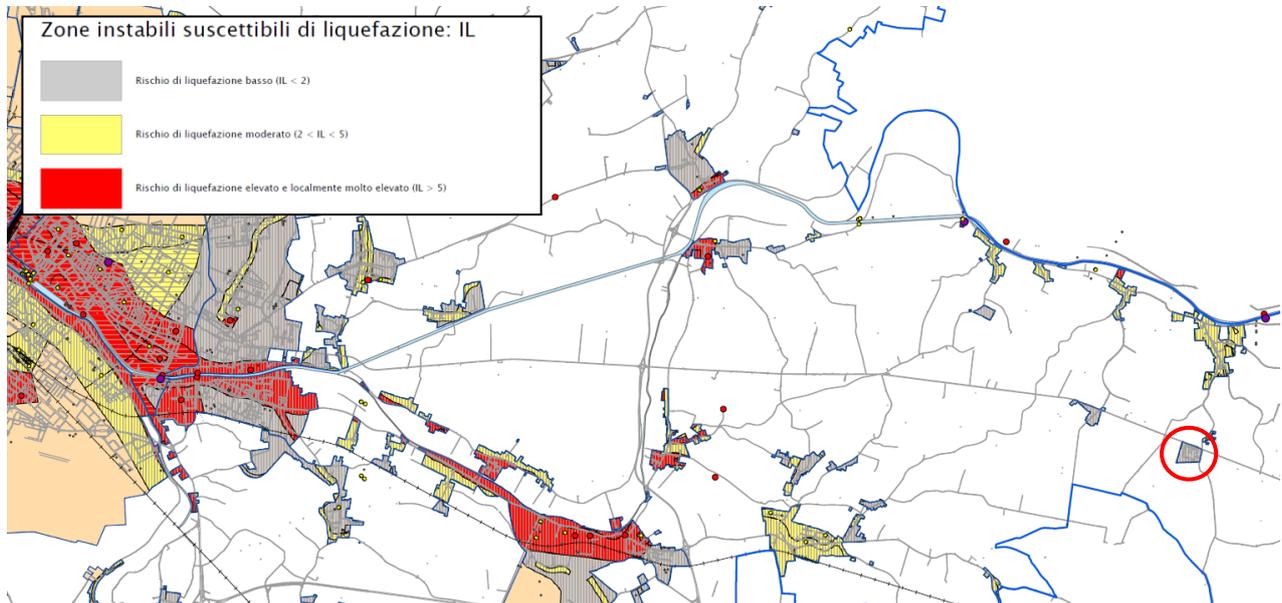


Fig. 2.9 – Stralcio della Carta di microzonazione sismica di livello 3 (area di studio in rosso)

Dall'analisi delle carte della microzonazione si osserva come l'area di indagine ricada all'interno di un settore suscettibile di potenziale liquefazione, caratterizzato da fattori di amplificazione della PGA di 1,5-1,6 ma allo stesso tempo, la carta di MS di livello 3 permette di verificare come **il lotto di terreno di studio sia caratterizzato da un Rischio di Liquefazione basso (IL<2).**

	<p>VERIFICA DI ASSOGETTABILITÀ A VIA PER REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI TRATTAMENTO RIFIUTI LIQUIDI NON PERICOLOSI CON POTENZIALITÀ DI 50 TON/GIORNO E SVOLGIMENTO OPERAZIONI D8 E D9</p> <p>Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica</p> <p><i>Committente: Globalambiente</i></p> <p><i>Sito: via Lacobella – Villanova di Denore (FE)</i></p> <p><i>Dicembre 2023</i></p>
---	--

3 INDAGINI ESEGUITE

3.1 Premessa

Nell'area di indagine sono state effettuate le prove riportate nella seguente tabella.

Data di esecuzione	Tipologia Indagine	Scopo
Aprile 2022	n°2 CPTU	<p>Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni tramite misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante per la misura</p> <ul style="list-style-type: none"> • lo sforzo necessario per la penetrazione della punta: qc; • l'attrito che si sviluppa sul manicotto posto al di sopra della punta: fs. <p>Tali prove, sono state eseguite al fine di verificare:</p> <ul style="list-style-type: none"> • la capacità portante dei terreni fondali • verifica eventuale rischio sismico <p>La punta è inoltre munita di un settore poroso e relativo trasduttore (piezocono) per la misurata della pressione dell'acqua interstiziale nei pori durante l'avanzamento: u</p>
	n°1 SCPTU	<p>La strumentazione è analoga a quella indicata per le prove CPTU inoltre ad ogni metro di profondità viene sospesa l'infissione del piezocono e dopo aver generato vibrazioni artificiali vengono registrati i relativi segnali sismici.</p>

In tavola 1 viene rappresentata l'ubicazione delle prove eseguite.

3.2 Prove Penetrometriche Statiche con piezocono (CPTU e SCPTU)

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

3.2.1 Strumentazione utilizzata

Le prove penetrometriche sono state eseguite con penetrometro modello TG63-200 della Ditta “PAGANI Geotechnical Equipment”, motorizzato e cingolato

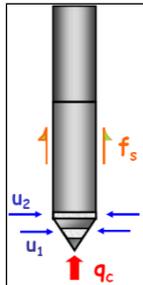


Fig. 3.1 – Schema punta CPTU



Fig. 3.2 – Penetrometro TG63-200

Nella tabella seguente si riportano le caratteristiche del penetrometro utilizzato.

Tab. 3.2 – Caratteristiche penetrometro		
Pesi e dimensioni		
H (mm)	1520	
L (mm)	2450	
P (mm)	1120	
Peso (kg)	1140	
Dati tecnici		
Motore	Tipo	Diesel 2 cil.
	Potenza	18 (13.5) - 3600
	Raffreddamento	Acqua
Traslazione	Cingolato a trasmissione idrostatica	Cingolato Gommato
	Velocità di traslazione (km/h)	0 ÷ 2
	Pendenza Max %	25
Pompa Idraulica	Numero di Pompe	2
	Max. pressione operativa (bar)	315
Stabilizzatori	Numero	3
	Tipo	Idraulico
Caratteristiche tecnico-strumentali prova dinamica		
Peso massa battente (kg)	63,5	
Peso sistema di battuta (kg)	1,8	
Diametro punta conica (mm)	51,0	
Peso aste (kg/m)	6,31	
Area di base punta (cm ²)	20,43	
Altezza di caduta (m)	0,75	
Avanzamento punta (cm)	20	
Lunghezza aste (m)	1	
Ancoraggio		
Motori idraulici con riduttore	4	
Coppia [kgm]	160	
Sistema di ancoraggio	Aste elicoidali composte	
Aste elicoidali Ø x L (mm)	100 x 750	

3.2.2 Risultati delle prove

I dati acquisiti con la prova sono stati elaborati con il programma CPeT-IT v.1.6 della Geologismiki Geotechnical Software. Tale programma permette una facile interpretazione dei dati acquisiti con le prove ed esegue interpretazioni sulla base delle condizioni di comportamento del suolo (SBT: Soil Behaviour Type) e vari altri parametri geotecnici basati sulle correlazioni pubblicate da Lunne, Robertson and Powell (1997) e i più recenti aggiornamenti del professor Robertson. In particolare, nelle tabelle seguenti vengono riportate per le indagini effettuate la descrizione delle caratteristiche litologiche ed il valore di alcuni parametri geotecnici, di validità orientativa, individuati attraverso correlazioni e bibliografia.

In particolare i parametri geotecnici riportati sono:

M: modulo edometrico (kg/cm²)

E_s: Modulo di elasticità longitudinale o modulo di Young (kg/cm²);

G₀: Modulo di taglio massimo (kg/cm²);

Su: Coesione non drenata (kg/cm²);

Dr: Densità relativa (%);

φ: Angolo d'attrito interno (°);

γ: Peso di Volume (t/m³).

Per maggiori dettagli si vedano i report in allegato 1.

Tab. 3.3 - Prova penetrometrica SCPTU – 30 m								
N	litologia	M (kg/cm ²)	E _s (kg/cm ²)	G ₀ (kg/cm ²)	Su (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)	γ (t/m ³)
Da – 0,00 a – 3,00 metri dal p.c.								
1	Argilla e argilla limosa, primo metro presenza di materiali molto densi e compatti	131	308	271	0,66	-	-	1,74
Da – 3,00 a – 4,00 metri dal p.c.								
2	Sabbia limosa e limo sabbioso	312	302	362	-	38,8	36,5	1,70
Da – 4,00 a – 12,50 metri dal p.c.								
3	Argilla e argilla debolmente Limosa	55	247	293	0,39	-	-	1,64
Da – 12,50 a – 14,00 metri dal p.c.								
4	Limo sabbioso e sabbia limosa	541	543	654	-	37,2	36,1	1,78
Da – 14,00 a – 19,40 metri dal p.c.								
5	Argilla e argilla debolmente Limosa	41	445	357	0,52	-	-	1,62
Da – 19,40 a – 30,00 metri dal p.c.								
6	Sabbia limosa e limo sabbioso con lenti debolmente argillose	881	886	1051	-	39,4	36,6	1,87

Tab. 3.4 - Prova penetrometrica CPTU 2 – 20 m

N	litologia	M (kg/cm ²)	E _s (kg/cm ²)	G ₀ (kg/cm ²)	Su (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)	γ (t/m ³)
Da – 0,00 a – 1,50 metri dal p.c								
1	Sabbia limosa e limo sabbioso a tratti molto compatto	315	275	366	-	58,1	40,4	1,83
Da – 1,50 a – 12,00 metri dal p.c.								
2	Argilla e argilla limosa	41	226	240	0,36	-	-	1,61
Da – 12,00 a – 13,70 metri dal p.c.								
3	Sabbia limosa e limo sabbioso	605	534	663	-	38,1	36,3	1,79
Da – 13,70 a – 19,50 metri dal p.c.								
4	Argilla e argilla limosa	33	431	350	0,45	-	-	1,62
Da – 19,50 a – 20,00 metri dal p.c.								
5	Sabbia limosa e limo sabbioso	805	776	947	-	36,8	36,0	1,87

Tab. 3.5 - Prova penetrometrica CPTU 3 – 20 m

N	litologia	M (kg/cm ²)	E _s (kg/cm ²)	G ₀ (kg/cm ²)	Su (kg/cm ²)	Dr (%)	φ (°)	γ (t/m ³)
Da – 0,00 a – 1,50 metri dal p.c								
1	Sabbia limosa e limo sabbioso a tratti molto compatto	332	249	397	-	54,7	39,8	1,86
Da – 1,50 a – 12,00 metri dal p.c.								
2	Argilla e argilla limosa	40	228	265	0,34	-	-	1,64
Da – 12,00 a – 14,70 metri dal p.c.								
3	Sabbia e sabbia limosa	792	695	848	-	45,5	38,0	1,86
Da – 14,70 a – 19,50 metri dal p.c.								
4	Argilla e argilla limosa	39	-	416	0,53	-	-	1,67
Da – 19,50 a – 20,00 metri dal p.c.								
5	Sabbia limosa e limo sabbioso	1211	1033	1280	-	42,2	37,3	1,95

4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

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

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

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

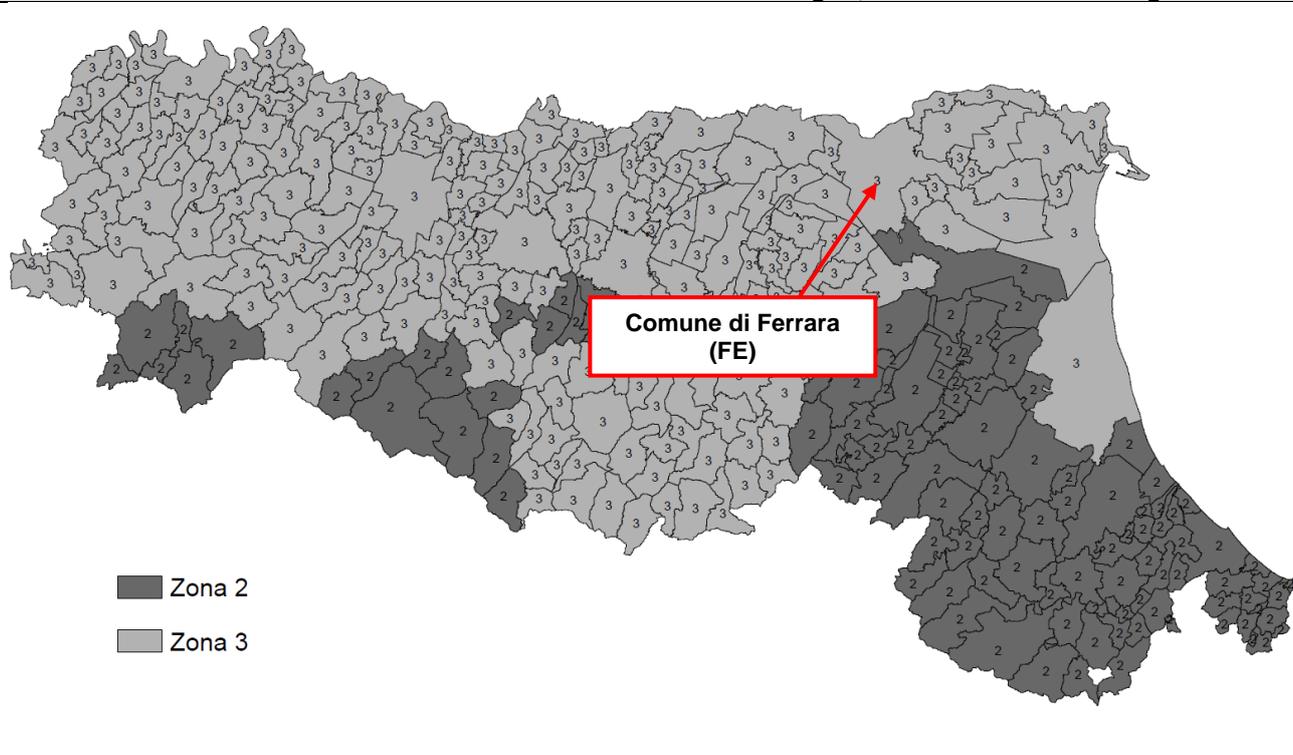
4.1 Classificazione sismica del sito

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

Per quanto riguarda la Regione Emilia Romagna, la classificazione sismica del territorio regionale è stata Aggiornata con Deliberazione della Giunta Regionale n. 1164 del 23/07/2018 “Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell’Emilia-Romagna”.

Il Comune di Ferrara risulta classificato con codice ISTAT 38008 e come zona a rischio sismico di terza categoria (Zona 3).

Tab. 4.1 – Classificazione Sismica dei comuni dell’Emilia Romagna, DGR n. 1164 del 23 luglio 2018



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

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

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

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

Individuate le coordinate ED50: *Long. 11,805219 – Lat. 44,818878* e in base ai parametri indicati nella precedente tabella si determinano i parametri:

- **ag**: accelerazione orizzontale massima al sito;
- **Fo**: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- **Tc***: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

in funzione del periodo di ritorno come disposto dalle NTC18.

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

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE	11,80522	LATITUDINE	44,81888
-------------	----------	------------	----------

Ricerca per comune

REGIONE	Emilia-Romagna	PROVINCIA	Ferrara
	COMUNE	Ferrara	

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

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0,036	2,540	0,251
50	0,044	2,523	0,278
72	0,052	2,485	0,284
101	0,060	2,511	0,292
140	0,071	2,497	0,286
201	0,084	2,571	0,279
475	0,120	2,608	0,278
975	0,159	2,583	0,283
2475	0,227	2,515	0,292

Fig. 4.1 – Parametri a_g , F_o , T_c^ di cui al D.M. 17/01/2018 elaborati con Spettri-NTC ver. 1.0.3*

Assumendo un tempo di ritorno pari a 475 anni, attraverso il software “Spettri NTC ver. 1.0.3” è stata individuata un Accelerazione orizzontale massima pari a:

- $a_g = 0,120 \text{ g}$

4.2 Magnitudo di riferimento

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

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

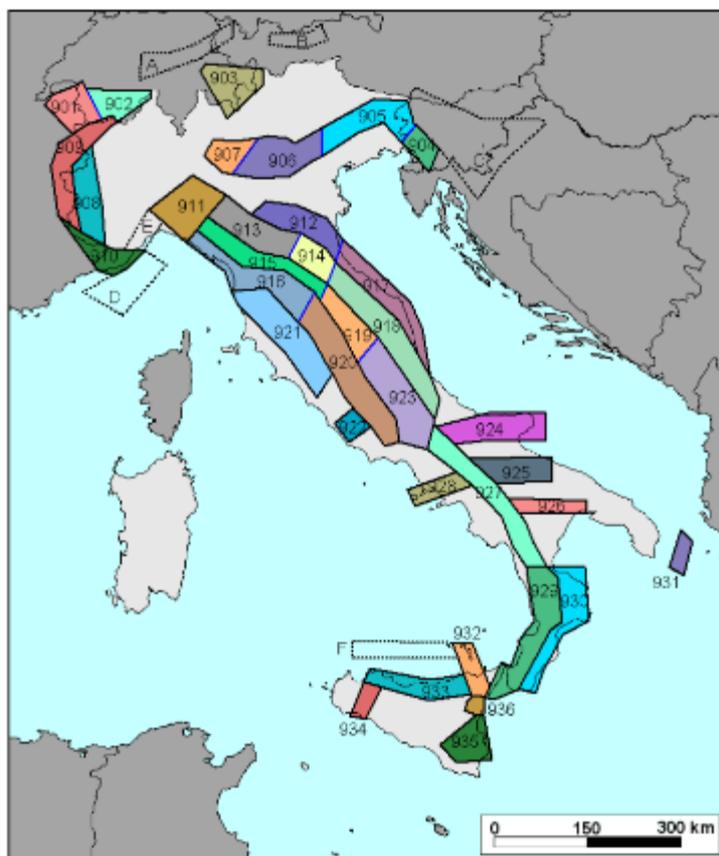


Fig. 4.2 – Zonizzazione sismogenetica ZS9 - Gruppo di lavoro per la redazione di pericolosità sismica (OPCM n. 3274) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Come si evince dalla figura la Provincia di Ferrara rientra parzialmente nella **zona sismogenetica 912** che coincide con l'area geologica denominata “**Dorsale Ferrarese**”. I caratteri che contraddistinguono la zona 912 sono riportati nella seguente figura.

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

Fig. 4.3 – Caratteristiche principali delle zone sismogenetiche ZS9

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

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

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II (v. Tab. seguente), si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo. I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

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

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

Dove:

- h_i = spessore in metri dell'i-esimo strato;
- V_{si} = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N = numero di strati
- H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per il lavoro in oggetto si è quindi fatto riferimento a tale valore di velocità equivalente riferito al parametro $V_{s,30}$, potendo classificare il sottosuolo con riferimento alla Tabella 3.2.II delle NTC18, di seguito riportata.

	<p>VERIFICA DI ASSOGGETTABILITÀ A VIA PER REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI TRATTAMENTO RIFIUTI LIQUIDI NON PERICOLOSI CON POTENZIALITÀ DI 50 TON/GIORNO E SVOLGIMENTO OPERAZIONI D8 E D9</p> <p>Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica</p> <p><i>Committente: Globalambiente</i></p> <p><i>Sito: via Lacobella – Villanova di Denore (FE)</i></p> <p><i>Dicembre 2023</i></p>
---	---

Tab. 4.2 – Categorie di sottosuolo secondo il D.M. 17/01/2018 (Tabella 3.2.II)		
Categoria	Descrizione	V _{S,30} (m/s)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.	> 800
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	360 ÷ 800
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s).	180 ÷ 360
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.	100 ÷ 180
E	<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>	---

La prova SCPTU (v. All. 2) eseguita ha definito una V_{S,eq} pari a **140,77 m/s**.

Di conseguenza, in relazione alla tabella precedente che riprende quanto riportano alle NTC 2018, il suolo risulta appartenente alla **Categoria D**: “*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.*”.

5 VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

5.1 Generalità sul fenomeno

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.2 Valutazione del rischio di liquefazione del sito

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

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

Le normative che regolano la materia sono:

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

Proprio in relazione a quest'ultima normativa citata, prima della vera e propria verifica della suscettibilità di liquefazione, le NTC propongono una griglia di casi per i quali il sito d'indagine non presenta possibilità di liquefazione dei terreni.

In particolare le NTC recitano che: **La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:**

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(NI)_{60} > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(NI)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche 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 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ ”

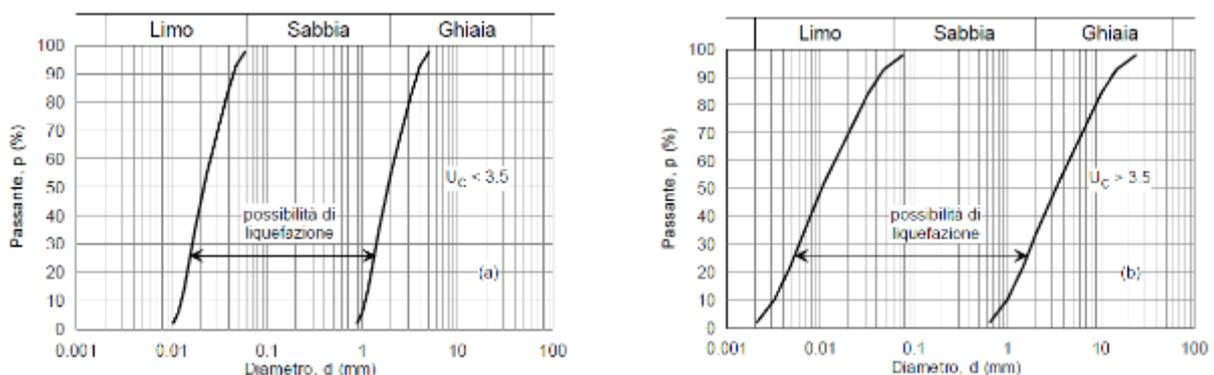


Fig. 5.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (tratto Figura 7.11.1 (a) e (b) del D.M. 17/01/2018

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

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

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

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

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

$$F_L(z) = \frac{CRR_{M=7,5; \sigma'_{v0}=1atm}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad \text{(DGR Emilia Romagna 21/12/2015 n.2193 e n.630 del 29/04/2019)}$$

Dove:

- **CRR (Cyclic Resistange Ratio): rappresenta la capacità di resistenza del terreno alla liquefazione;** è il rapporto di resistenza ciclica, ovvero la resistenza normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale σ'_{v0} , per terremoto di magnitudo $M=7,5$ e pressione efficace di riferimento $\sigma'_{v0} = 1atm$;
- K_σ è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata;
- **CSR (Cyclic Stress Ratio) rappresenta la domanda di resistenza ciclica del terreno alla liquefazione;** è la tensione indotta dal terremoto:

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

dove:

- $a_{max,s}$ è il picco di accelerazione al piano campagna del terremoto di riferimento;
 - g è l'accelerazione di gravità;
 - σ_{v0} e $\sigma'_{v,0}$ sono rispettivamente la tensione verticale totale e la tensione verticale efficace alla profondità considerata;
 - r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo (in letteratura vari autori hanno proposto relazioni per la sua stima);
- **MSF** è un fattore di scala funzione della magnitudo dei terremoti attesi. In letteratura vari autori hanno proposto relazioni per la sua stima. Nel programma utilizzato descritto al paragrafo seguente le opzioni sono per gli autori Robertson, Idriss & Boulanger (2008-2014) e Moss (2006).

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

5.2.1 Valutazione del rischio di liquefazione del sito

La valutazione del rischio di liquefazione del sito è stata eseguita con il programma Cliq sulla base dei dati desunti dalle prove penetrometriche eseguite.

Per poter eseguire la valutazione del rischio occorre definire:

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

In particolare la formula utilizzata è la seguente:

$$a_{max} = S * ag$$

Il fattore di amplificazione (S) è stato analizzato nello studio di Microzonazione (v. par. 2.4), il quale ha stabilito per l'area di studio un FA della PGA pari a 1,5-1,6; cautelativamente per il sito di studio si è adottato il fattore di amplificazione più elevato tra i due previsti dalla Carta della Microzonazione di livello 2.

Per quanto riguarda l'amplificazione topografica, sulla base delle indicazioni contenute nella DGR 630/2019 Allegato 2 punto A2.2 "Effetti della topografia", questa può essere trascurata per pendii con inclinazione media inferiore a 15°.

Quindi il valore di accelerazione massima sarà:

$$a_{max} = 1,6 * 0,120 = 0,19g = 1,88 \text{ m/s}^2$$

Programma utilizzato

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

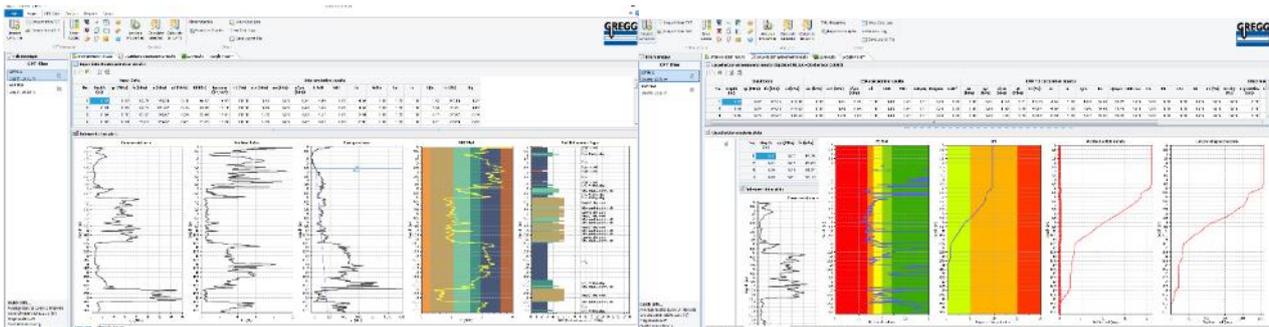


Fig. 5.2 – Esempi di schermate tratta dal software Cliq

Valutazione degli effetti della liquefazione

Come indicato nelle Linee Guida AGI “Aspetti geotecnici della progettazione in zone sismiche” (2005) alcune metodologie semplificate consentono, seppure con sensibili approssimazioni, di stimare gli effetti della liquefazione.

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

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

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

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

$F(z) = 0$	per $F_L \geq 1.2$
$F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L)$	per $1.2 \leq F_L \leq 0.95$
$F(z) = 1 - F_L$	per $F_L \leq 0.95$

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

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

Fig. 5.3 – Scala del Potenziale di Liquefazione (Sonmez, 2003)

Nell’immagine seguente si riportano i risultati ottenuti dalle elaborazioni eseguite mediante il software C-Liq (v. All. 3).

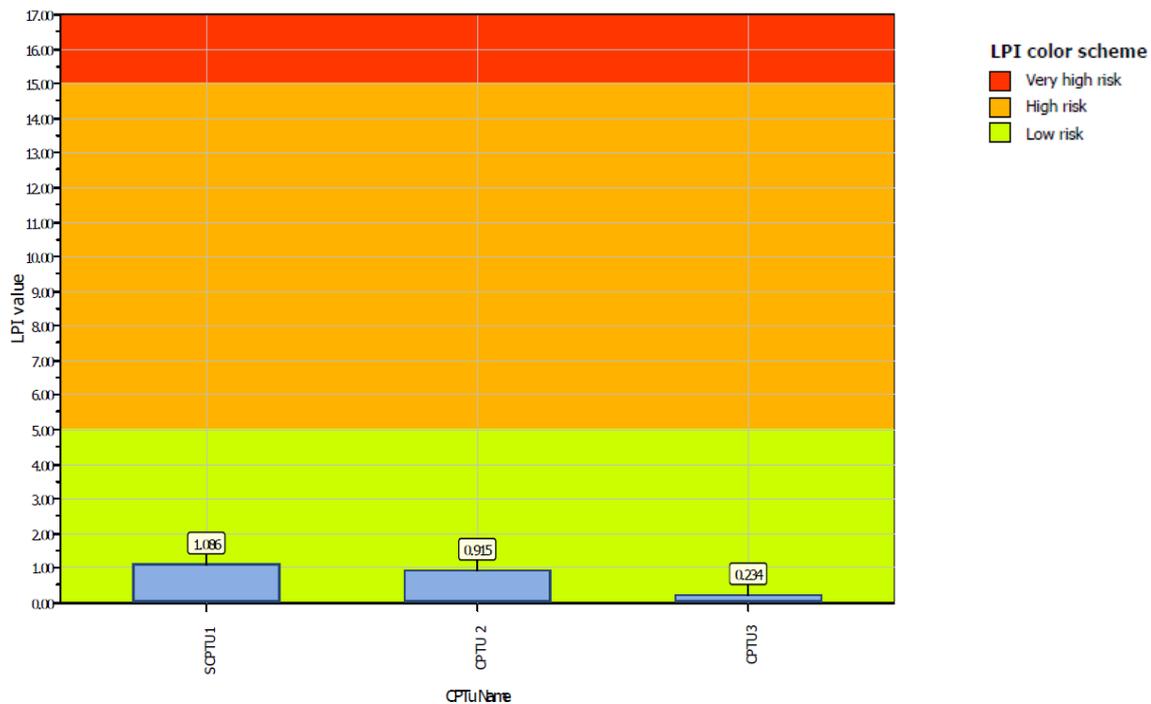


Figura 5.4 - Indice del potenziale di Liquefazione calcolato

Dall’elaborazione dei risultati delle prove penetrometriche eseguite nell’area in esame, utilizzando il valore di accelerazione massima calcolato in precedenza, il sito risulta caratterizzato da un rischio di liquefazione da nullo a basso, in quanto i valori ottenuti dall’elaborazione, mostrati nella figura soprastante, sono risultati compresi tra 0,2 e 1,09.

L’elaborazione qui riportata, pertanto, conferma quanto indicato dalle cartografie della microzonazione sismica locale (v. Par. 2.5).

6 STIMA DELLA RESISTENZA DEL SISTEMA GEOTECNICO

6.1 Premessa

Nel presente capitolo sono riportate le informazioni principali, a disposizione del progettista, per la stima della resistenza del sistema geotecnico in base alle disposizioni del **D.M. 17 gennaio 2018**, noto come “*Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*” e anche con l’acronimo NTC 2018.

La normativa in questione disciplina la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle costruzioni al fine di garantire prestabiliti livelli di sicurezza nei riguardi della pubblica incolumità. La sicurezza e le prestazioni di una struttura vanno valutate in relazione all’insieme degli “stati limite” che si possono verificare durante la vita utile del progetto.

Il punto 6.2.4.1 del D.M. 17/01/18 stabilisce che per ogni stato limite ultimo, che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO), deve essere rispettata la condizione:

$$Ed \leq Rd$$

dove:

Ed = valore di progetto o dell’effetto dell’azione;

Rd = valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Lo stesso punto dispone che:

“La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3)”.

In pratica nelle diverse condizioni di carico si deve tener conto di opportuni gruppi di coefficienti che variano a base alle diverse combinazioni.

Nel presente capitolo si forniscono i dati utili necessari al progettista per le verifiche agli stati limite ultimi e di esercizio ai sensi delle NTC 2018.

6.2 Parametri e coefficienti sismici determinati in base al D.M. 17/01/18

In base alle norme tecniche per le costruzioni, contenute nel D.M. 17/01/18, si devono definire i parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito e della classe d’uso della costruzione.

La sicurezza e le prestazioni di un’opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale.

Lo “stato limite” è la condizione superata la quale l’opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

I coefficienti sismici, determinati in base alla posizione geografica del sito (latitudine e longitudine), sono funzione di parametri caratteristici definiti dalla normativa.

	<p>VERIFICA DI ASSOGETTABILITÀ A VIA PER REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI TRATTAMENTO RIFIUTI LIQUIDI NON PERICOLOSI CON POTENZIALITÀ DI 50 TON/GIORNO E SVOLGIMENTO OPERAZIONI D8 E D9</p> <p>Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica</p> <p><i>Committente: Globalambiente</i></p> <p><i>Sito: via Lacobella – Villanova di Denore (FE)</i></p> <p><i>Dicembre 2023</i></p>
---	--

Tab. 6.1 - Parametri per la determinazione dei coefficienti sismici

Parametro	Valore	Riferimento D.M. 17÷01÷18	Osservazioni ÷ Considerazioni
V_N Vita nominale	50 anni	Tabella 2.4.I "Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari"	La vita nominale (V _N) di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.
Classe d'uso	Classe II	Punto 2.4.2	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche o sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. [...]
C_U Coefficiente d'uso	1,0	Tabella 2.4.II	Il valore del coefficiente d'uso C _U è definito al variare della classe d'uso.
V_R Periodo di riferimento per l'azione sismica	50 anni	Punto 2.4.3	Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V _R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto V _N per il coefficiente d'uso C _U : V_R = V_N x C_U
Categoria del sottosuolo	Categoria D	Tabella 3.2.II	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.
Categoria topografica	Categoria T1	Tabella 3.2.III Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	È funzione delle caratteristiche della superficie topografica; per il caso in esame trattasi di superficie pianeggiante.

Al fine di determinare i parametri e coefficienti sismici, di seguito elencati, è stato utilizzato un software dedicato distribuito da Geostru Software (http://www.geostru.com/geoapp/Parametri_Sismici.aspx) utilizzando come dati di input i dati delle tabelle precedenti.

Tab. 6.2 - Parametri e coefficienti sismici

Ubicazione: Via Lacobella – Villanova di Denore (FE)



Stati limite

Classe Edificio: II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.036	2.540	0.252
Danno (SLD)	50	0.044	2.522	0.278
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.121	2.607	0.278
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.160	2.581	0.283
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

I valori T_r , a_g , T_c^* si ricavano in base alla alla posizione del sito (latitudine e longitudine).

* I coefficienti **Ss**, **Cc**, e **St** sono determinati con riferimento al punto 3.2.3 ("VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA") del D.M. 17÷01÷18; nel prospetto sono riportati gli estremi superiori del range di variabilità.

I coefficienti sismici **Kh**, **Kv**, **Amax** e **Beta** sono funzione dell'opera:

- Opere di sostegno punto 7.11.6 del D.M.
- Stabilità dei pendii e fondazioni punto 7.11.3.5 del D.M.
- Paratie punto 7.11.6.3 del D.M.

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: D

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,80	1,80	1,80	1,78
CC Coeff. funz categoria	2,49	2,37	2,37	2,35
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.013	0.016	0.052	0.068
kv	0.006	0.008	0.026	0.034
Amax [m/s²]	0.629	0.771	2.130	2.796
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Ferrara, Dicembre 2023

Dott. Geol. Linda Collina



TAVOLA

IN COLLABORAZIONE CON



SGI INGEGNERIA S.r.L.



IN COLLABORAZIONE CON:



LEGENDA		
	CPTU	
Committente:	Globalambiente	
Titolo:	VERIFICA DI ASSOGGETTABILITA' A VIA PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI TRATTAMENTO RIFIUTI LIQUIDI NON PERICOLOSI CON POTENZIALITA' DI 50 ton/giorno E SVOLGIMENTO OPERAZIONI D8 E D9 Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica	
Oggetto:	CARTA UBICAZIONE INDAGINI ESEGUITE	
Sito:	Via Laobella – Villanova di Denore (FE)	
Tavola n.	Scala:	Data:
1	1:1.000	Dicembre 2023



ALLEGATO 1

IN COLLABORAZIONE CON



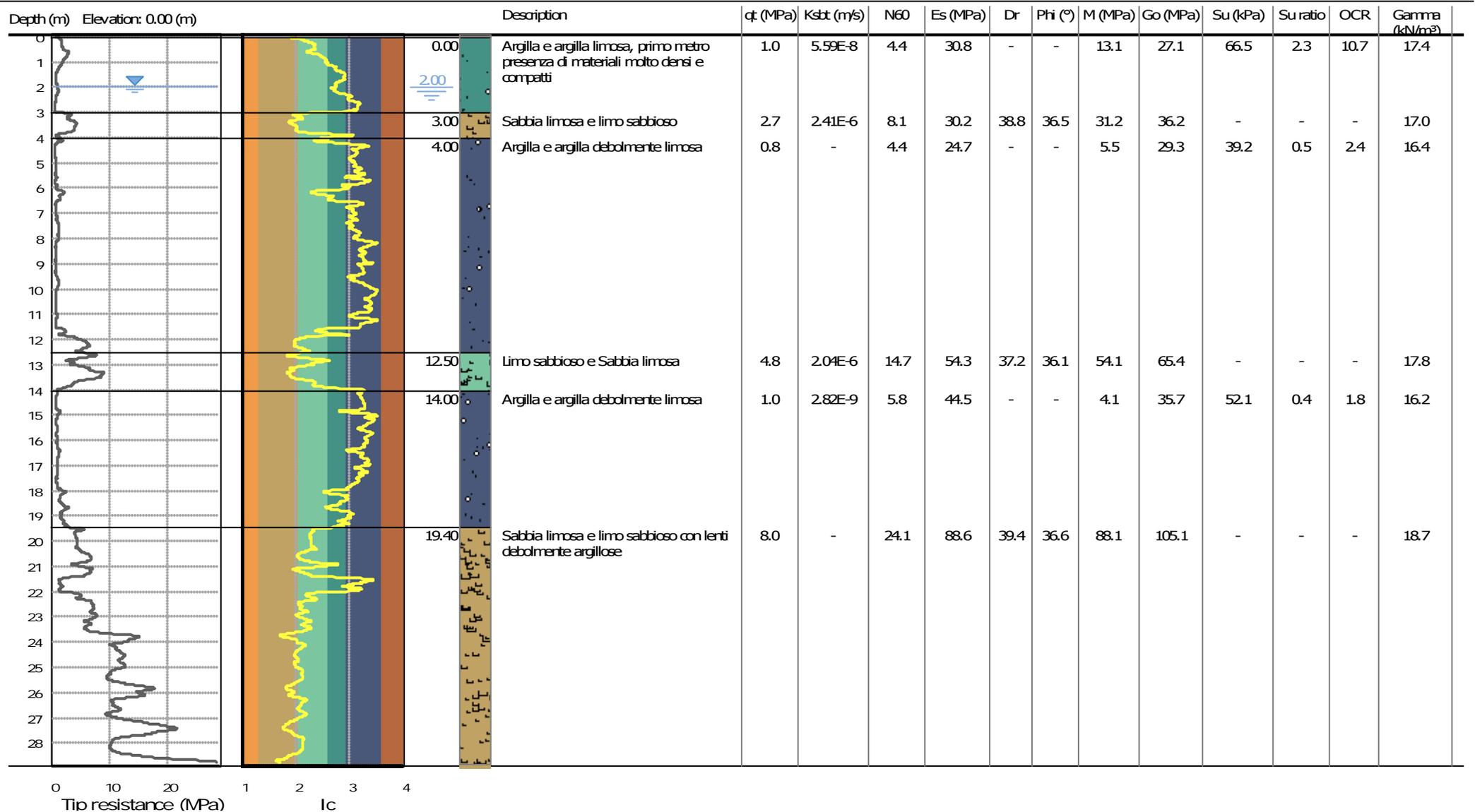
SGI INGEGNERIA S.r.L.

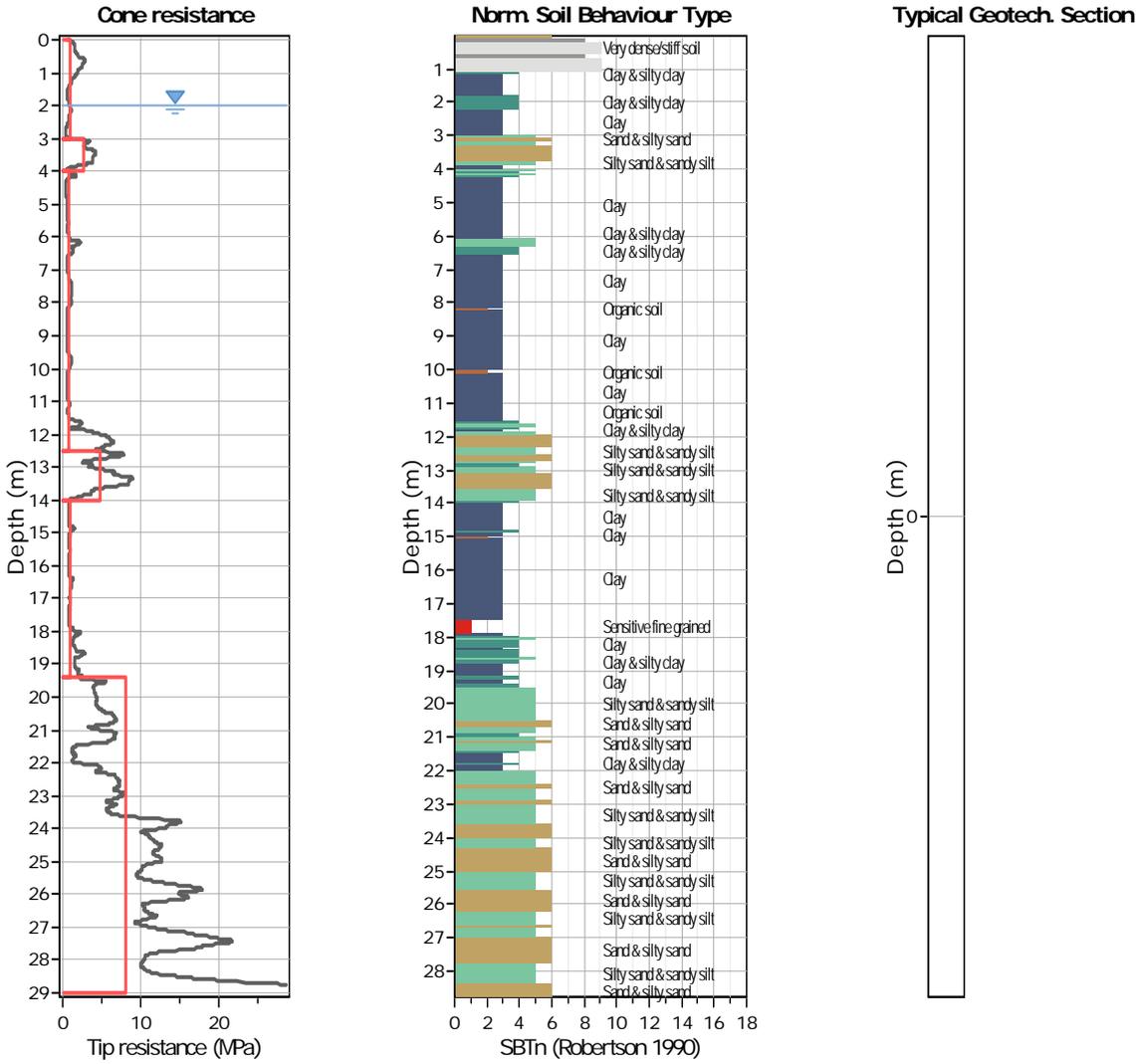
Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica
Location: via Lacobella – Villanova di Denore (FE)

CPT: SCPTU1

Total depth: 28.77 m, Date: 11/04/2022

Surface Elevation: 0.00 m





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 0.00 (m), End depth: 3.00 (m)	
Description: Argilla e argilla limosa, primo metro presenza di materiali molto densi e compatti		
Basic results	Estimation results	
Total cone resistance: 1.03 ±0.71 MPa	Permeability: 5.59E-08 ±1.78E-06 m/s	Constrained Mod.: 13.08 ±10.55 MPa
Sleeve friction: 47.49 ±45.46 kPa	N60: 4.35 ±2.13 blows	Go: 27.14 ±10.22 MPa
SBT _n : 4	Es: 30.79 ±7.75 MPa	Su: 66.49 ±49.00 kPa
SBT _n description: Clay & silty clay	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 2.32 ±3.50
	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 10.71 ±16.19
	Unit weight: 17.44 ±1.00 kN/m ³	

:: Layer No: 2 ::**Code: 2** **Start depth: 3.00 (m), End depth: 4.00 (m)****Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 2.68 ±1.13 MPa

Sleeve friction: 22.56 ±5.58 kPa

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

Permeability: 2.41E-06 ±6.43E-06 m/s

N60: 8.08 ±2.26 blows

Es: 30.24 ±3.92 MPa

Dr (%): 38.84 ±4.16

φ (degrees): 36.53 ±1.10 °

Unit weight: 16.95 ±0.32 kN/m³

Constrained Mod.: 31.15 ±11.14 MPa

Go: 36.23 ±5.86 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

:: Layer No: 3 ::**Code: 3** **Start depth: 4.00 (m), End depth: 12.50 (m)****Description:** Argilla e argilla debolmente limosa**Basic results**

Total cone resistance: 0.85 ±1.28 MPa

Sleeve friction: 21.08 ±20.43 kPa

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

Permeability: 0.00E+00 ±1.65E-06 m/s

N60: 4.41 ±3.18 blows

Es: 24.72 ±8.22 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.43 ±0.85 kN/m³

Constrained Mod.: 5.47 ±16.71 MPa

Go: 29.27 ±12.79 MPa

Su: 39.24 ±18.82 kPa

Su ratio: 0.53 ±0.26

O.C.R.: 2.45 ±1.18

:: Layer No: 4 ::**Code: 4** **Start depth: 12.50 (m), End depth: 14.00 (m)****Description:** Limo sabbioso e Sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 4.83 ±2.30 MPa

Sleeve friction: 40.08 ±11.27 kPa

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

Permeability: 2.04E-06 ±8.81E-06 m/s

N60: 14.67 ±4.37 blows

Es: 54.26 ±7.54 MPa

Dr (%): 37.18 ±7.14

φ (degrees): 36.08 ±1.86 °

Unit weight: 17.84 ±0.46 kN/m³

Constrained Mod.: 54.12 ±19.74 MPa

Go: 65.36 ±11.23 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

:: Layer No: 5 ::**Code: 5** **Start depth: 14.00 (m), End depth: 19.40 (m)****Description:** Argilla e argilla debolmente limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.04 ±0.49 MPa

Sleeve friction: 15.55 ±11.72 kPa

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

Permeability: 2.82E-09 ±3.08E-08 m/s

N60: 5.82 ±1.73 blows

Es: 44.55 ±2.94 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.16 ±0.80 kN/m³

Constrained Mod.: 4.12 ±7.67 MPa

Go: 35.69 ±10.05 MPa

Su: 52.06 ±31.39 kPa

Su ratio: 0.39 ±0.20

O.C.R.: 1.79 ±0.94

.: Layer No: 6 .:

Code: 6 **Start depth:** 19.40 (m), **End depth:** 29.00 (m)**Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso con lenti debolmente argillose**Basic results**

Total cone resistance: 8.01 ±5.23 MPa

Sleeve friction: 69.61 ±48.95 kPa

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

Permeability: 0.00E+00 ±1.33E-05 m/s

N60: 24.08 ±11.31 blows

Es: 88.63 ±28.44 MPa

Dr (%): 39.36 ±8.86

φ (degrees): 36.62 ±2.08 °

Unit weight: 18.67 ±0.98 kN/m³

Constrained Mod.: 88.05 ±49.11 MPa

Go: 105.10 ±38.03 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica
Location: via Lacobella – Villanova di Denore (FE)

CPT: SCPTU1

Total depth: 28.77 m, Date: 11/04/2022
Surface Elevation: 0.00 m

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	3.00	5.59E-08	4.4	30.8	0.0	0.0	13.1	27.1	66.5	2.3	10.7	17.4
3.00		(±1.78E-06)	(±2.1)	(±7.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±10.5)	(±10.2)	(±49.0)	(±3.5)	(±16.2)	(±1.0)
3.00	1.00	2.41E-06	8.1	30.2	38.8	36.5	31.2	36.2	0.0	0.0	0.0	17.0
4.00		(±6.43E-06)	(±2.3)	(±3.9)	(±4.2)	(±1.1)	(±11.1)	(±5.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.3)
4.00	8.50	0.00E+00	4.4	24.7	0.0	0.0	5.5	29.3	39.2	0.5	2.4	16.4
12.50		(±1.65E-06)	(±3.2)	(±8.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±16.7)	(±12.8)	(±18.8)	(±0.3)	(±1.2)	(±0.8)
12.50	1.50	2.04E-06	14.7	54.3	37.2	36.1	54.1	65.4	0.0	0.0	0.0	17.8
14.00		(±8.81E-06)	(±4.4)	(±7.5)	(±7.1)	(±1.9)	(±19.7)	(±11.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
14.00	5.40	2.82E-09	5.8	44.5	0.0	0.0	4.1	35.7	52.1	0.4	1.8	16.2
19.40		(±3.08E-08)	(±1.7)	(±2.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±7.7)	(±10.0)	(±31.4)	(±0.2)	(±0.9)	(±0.8)
19.40	9.60	0.00E+00	24.1	88.6	39.4	36.6	88.1	105.1	0.0	0.0	0.0	18.7
29.00		(±1.33E-05)	(±11.3)	(±28.4)	(±8.9)	(±2.1)	(±49.1)	(±38.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.0)

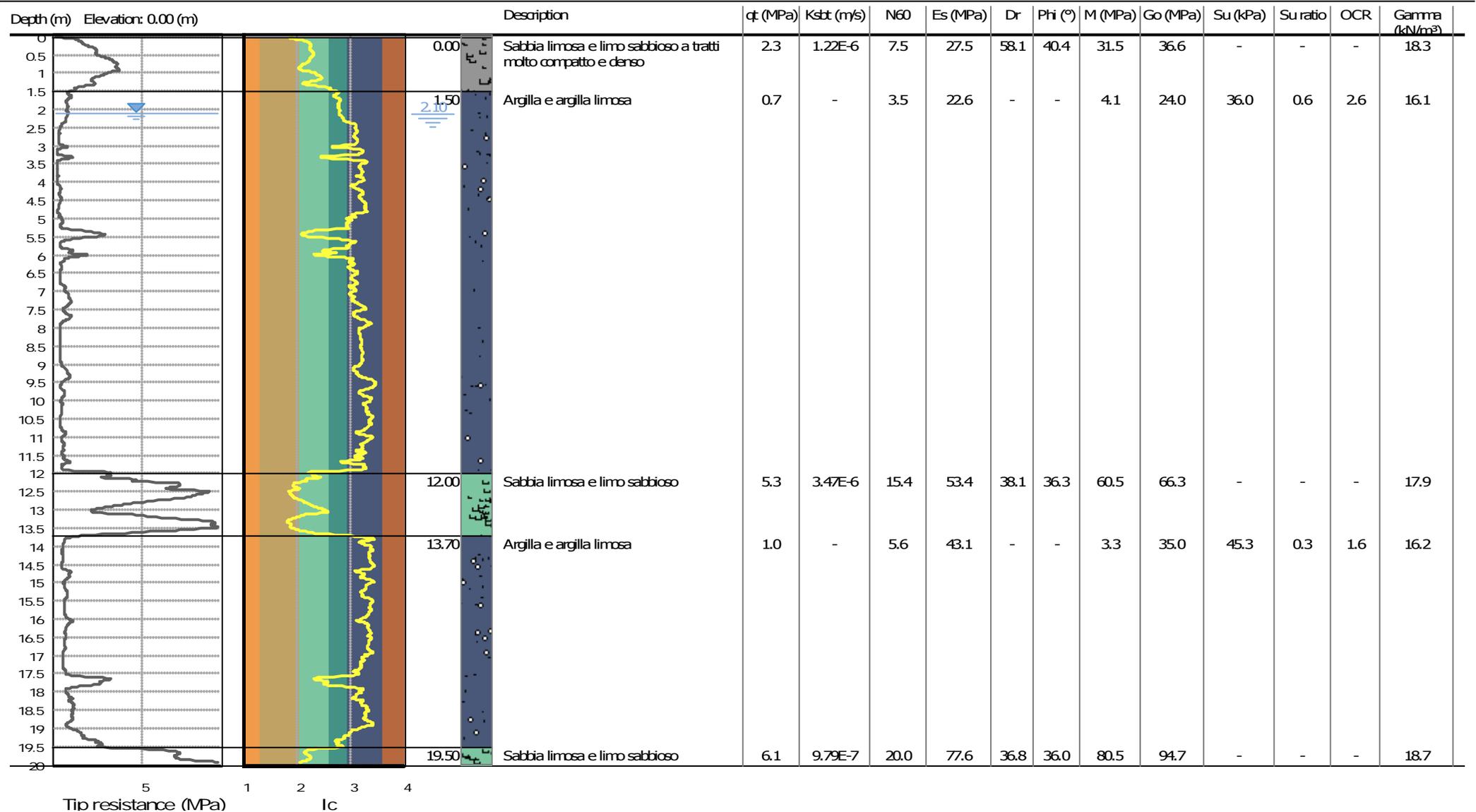
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

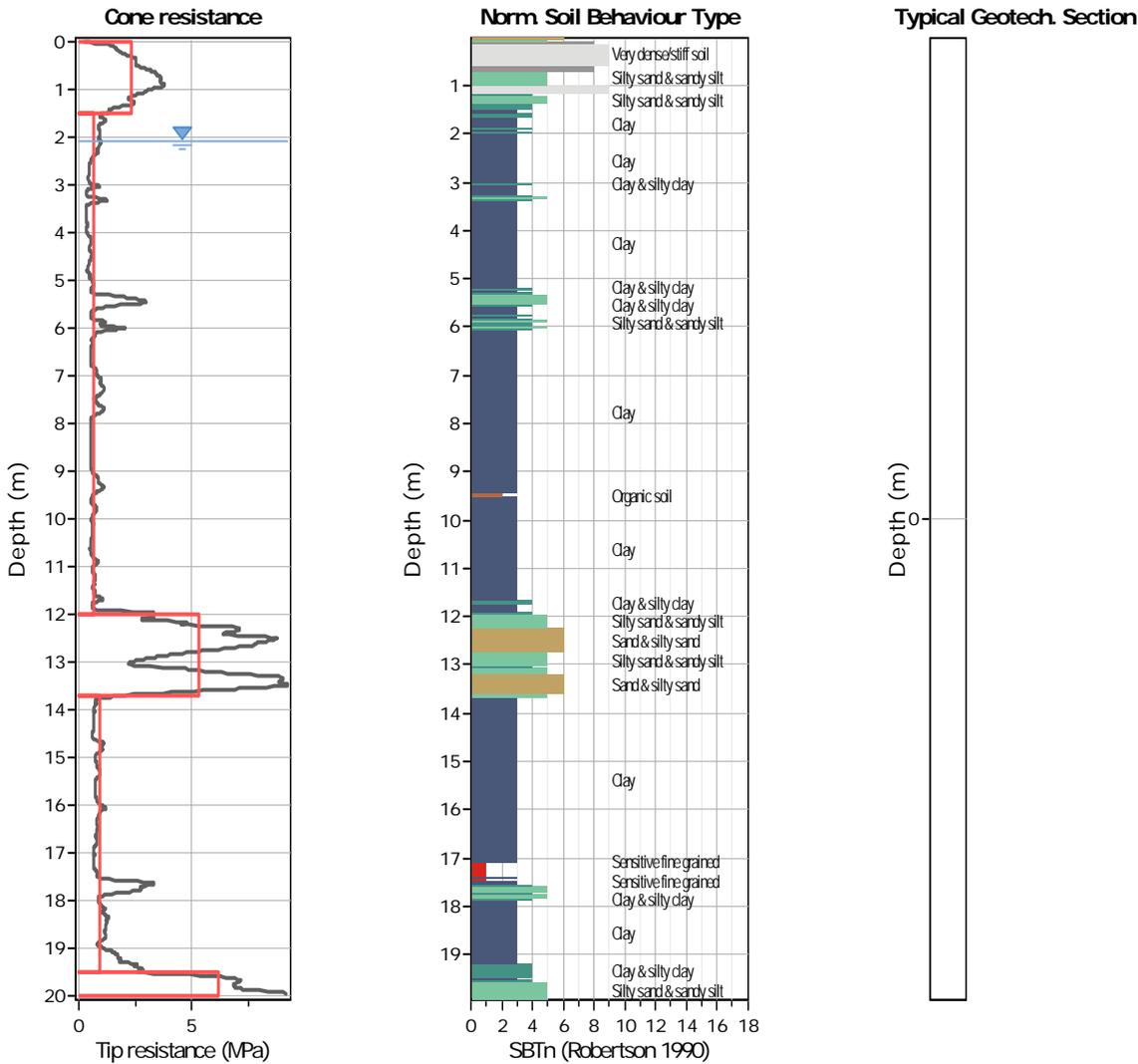
Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Total depth: 19.94 m, Date: 11/04/2022

Location: via Lacobella – Villanova di Denore (FE)

Surface Elevation: 0.00 m





Tabular results

:: Layer No: 1 ::		
Code: 1	Start depth: 0.00 (m), End depth: 1.50 (m)	
Description: Sabbia limosa e limo sabbioso a tratti molto compatto e denso		
Basic results		
Total cone resistance:	2.35 ±0.83 MPa	
Sleeve friction:	79.28 ±37.14 kPa	
SBT _n :	5	
SBTn description:	Silty sand & sandy silt	
Estimation results		
Permeability:	1.22E-06 ±3.22E-06 m/s	Constrained Mod.: 31.55 ±11.12 MPa
N60:	7.47 ±2.42 blows	Go: 36.63 ±11.37 MPa
Es:	27.50 ±11.26 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
Dr (%):	58.10 ±11.38	Su ratio: 0.00 ±0.00
φ (degrees):	40.35 ±1.92 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
Unit weight:	18.35 ±0.79 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code: 2** **Start depth: 1.50 (m), End depth: 12.00 (m)****Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 0.65 ±0.39 MPa

Sleeve friction: 17.10 ±14.88 kPa

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

Permeability: 0.00E+00 ±3.95E-07 m/s

N60: 3.55 ±1.23 blows

Es: 22.64 ±5.18 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.09 ±0.77 kN/m³

Constrained Mod.: 4.09 ±6.51 MPa

Go: 24.00 ±7.28 MPa

Su: 36.04 ±15.49 kPa

Su ratio: 0.56 ±0.42

O.C.R.: 2.60 ±1.94

::: Layer No: 3 :::**Code: 3** **Start depth: 12.00 (m), End depth: 13.70 (m)****Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 5.33 ±2.29 MPa

Sleeve friction: 41.26 ±12.14 kPa

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

Permeability: 3.47E-06 ±8.60E-06 m/s

N60: 15.44 ±4.42 blows

Es: 53.41 ±9.58 MPa

Dr (%): 38.13 ±7.86

φ (degrees): 36.31 ±2.05 °

Unit weight: 17.91 ±0.49 kN/m³

Constrained Mod.: 60.51 ±17.82 MPa

Go: 66.30 ±12.22 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 4 :::**Code: 4** **Start depth: 13.70 (m), End depth: 19.50 (m)****Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 0.96 ±0.56 MPa

Sleeve friction: 16.89 ±13.44 kPa

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

Permeability: 0.00E+00 ±8.77E-08 m/s

N60: 5.61 ±1.94 blows

Es: 43.15 ±4.12 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.22 ±0.88 kN/m³

Constrained Mod.: 3.34 ±9.00 MPa

Go: 35.00 ±11.35 MPa

Su: 45.31 ±30.62 kPa

Su ratio: 0.35 ±0.21

O.C.R.: 1.60 ±0.95

::: Layer No: 5 :::**Code: 5** **Start depth: 19.50 (m), End depth: 20.00 (m)****Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 6.14 ±1.64 MPa

Sleeve friction: 77.37 ±13.14 kPa

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

Permeability: 9.79E-07 ±1.23E-06 m/s

N60: 19.97 ±3.52 blows

Es: 77.57 ±6.28 MPa

Dr (%): 36.79 ±2.72

φ (degrees): 36.02 ±0.73 °

Unit weight: 18.68 ±0.26 kN/m³

Constrained Mod.: 80.46 ±21.98 MPa

Go: 94.74 ±9.51 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Total depth: 19.94 m, Date: 11/04/2022

Location: via Lacobella – Villanova di Denore (FE)

Surface Elevation: 0.00 m

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G _o (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.00	1.50	1.22E-06	7.5	27.5	58.1	40.4	31.5	36.6	0.0	0.0	0.0	18.3
1.50		(±3.22E-06)	(±2.4)	(±11.3)	(±11.4)	(±1.9)	(±11.1)	(±11.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.8)
1.50	10.50	0.00E+00	3.5	22.6	0.0	0.0	4.1	24.0	36.0	0.6	2.6	16.1
12.00		(±3.95E-07)	(±1.2)	(±5.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±6.5)	(±7.3)	(±15.5)	(±0.4)	(±1.9)	(±0.8)
12.00	1.70	3.47E-06	15.4	53.4	38.1	36.3	60.5	66.3	0.0	0.0	0.0	17.9
13.70		(±8.60E-06)	(±4.4)	(±9.6)	(±7.9)	(±2.1)	(±17.8)	(±12.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
13.70	5.80	0.00E+00	5.6	43.1	0.0	0.0	3.3	35.0	45.3	0.3	1.6	16.2
19.50		(±8.77E-08)	(±1.9)	(±4.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±9.0)	(±11.4)	(±30.6)	(±0.2)	(±1.0)	(±0.9)
19.50	0.50	9.79E-07	20.0	77.6	36.8	36.0	80.5	94.7	0.0	0.0	0.0	18.7
20.00		(±1.23E-06)	(±3.5)	(±6.3)	(±2.7)	(±0.7)	(±22.0)	(±9.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.3)

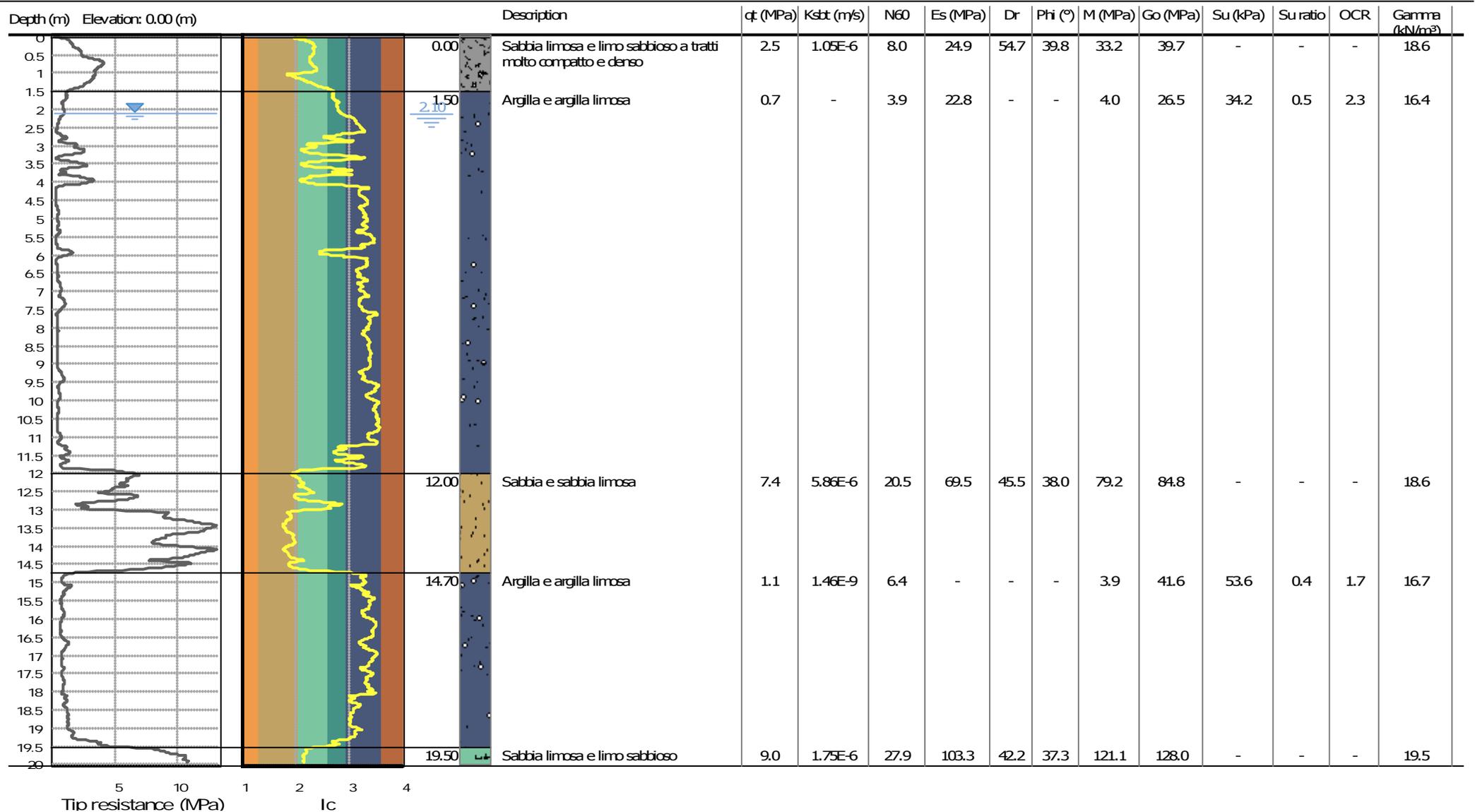
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

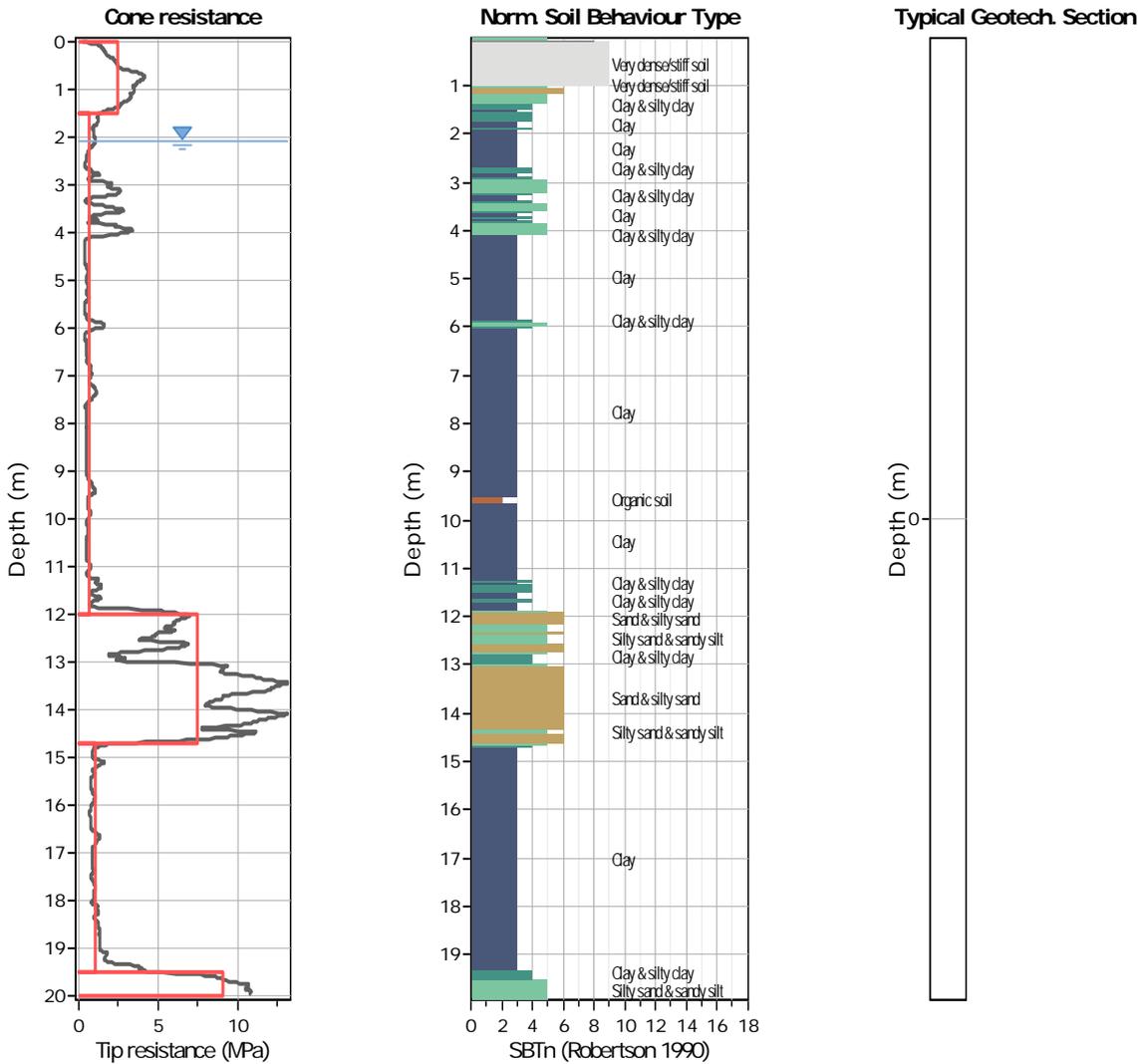
Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica
Location: via Lacobella – Villanova di Denore (FE)

CPT: CPTU3

Total depth: 19.94 m, Date: 11/04/2022

Surface Elevation: 0.00 m





Tabular results

:: Layer No: 1 ::		
Code: 1	Start depth: 0.00 (m), End depth: 1.50 (m)	
Description: Sabbia limosa e limo sabbioso a tratti molto compatto e denso		
Basic results		
Total cone resistance:	2.47 ±0.94 MPa	
Sleeve friction:	94.10 ±61.26 kPa	
SBT _n :	8	
SBTn description:	Very dense/stiff soil	
Estimation results		
Permeability:	1.05E-06 ±4.22E-06 m/s	Constrained Mod.: 33.16 ±12.87 MPa
N60:	7.98 ±2.94 blows	Go: 39.68 ±15.47 MPa
Es:	24.88 ±11.12 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
Dr (%):	54.67 ±11.91	Su ratio: 0.00 ±0.00
φ (degrees):	39.78 ±1.83 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
Unit weight:	18.57 ±0.83 kN/m ³	

:: Layer No: 2 ::

Code: 2 Start depth: 1.50 (m), End depth: 12.00 (m)

Description: Argilla e argilla limosa

Basic results

Total cone resistance: 0.69 ±0.73 MPa

Sleeve friction: 21.69 ±15.06 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay

Estimation results

Permeability: 0.00E+00 ±8.86E-07 m/s

N60: 3.88 ±1.83 blows

Es: 22.81 ±3.68 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.39 ±0.72 kN/m³

Constrained Mod.: 3.96 ±10.71 MPa

Go: 26.50 ±7.99 MPa

Su: 34.17 ±19.13 kPa

Su ratio: 0.51 ±0.50

O.C.R.: 2.34 ±2.29

:: Layer No: 3 ::

Code: 3 Start depth: 12.00 (m), End depth: 14.70 (m)

Description: Sabbia e sabbia limosa

Basic results

Total cone resistance: 7.42 ±3.08 MPa

Sleeve friction: 65.89 ±19.48 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand

Estimation results

Permeability: 5.86E-06 ±1.18E-05 m/s

N60: 20.48 ±5.91 blows

Es: 69.51 ±12.11 MPa

Dr (%): 45.53 ±7.19

φ (degrees): 38.03 ±1.55 °

Unit weight: 18.57 ±0.47 kN/m³

Constrained Mod.: 79.22 ±22.22 MPa

Go: 84.81 ±16.27 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

:: Layer No: 4 ::

Code: 4 Start depth: 14.70 (m), End depth: 19.50 (m)

Description: Argilla e argilla limosa

Basic results

Total cone resistance: 1.05 ±0.59 MPa

Sleeve friction: 24.49 ±20.00 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay

Estimation results

Permeability: 1.46E-09 ±9.89E-09 m/s

N60: 6.40 ±2.25 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.69 ±0.67 kN/m³

Constrained Mod.: 3.88 ±9.18 MPa

Go: 41.56 ±13.44 MPa

Su: 53.56 ±41.36 kPa

Su ratio: 0.38 ±0.26

O.C.R.: 1.74 ±1.22

:: Layer No: 5 ::

Code: 5 Start depth: 19.50 (m), End depth: 20.00 (m)

Description: Sabbia limosa e limo sabbioso

Basic results

Total cone resistance: 9.03 ±1.72 MPa

Sleeve friction: 136.58 ±26.19 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt

Estimation results

Permeability: 1.75E-06 ±7.52E-07 m/s

N60: 27.93 ±4.03 blows

Es: 103.30 ±10.29 MPa

Dr (%): 42.20 ±3.52

φ (degrees): 37.33 ±0.86 °

Unit weight: 19.49 ±0.31 kN/m³

Constrained Mod.: 121.08 ±22.99 MPa

Go: 127.98 ±14.10 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G _o (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.00	1.50	1.05E-06	8.0	24.9	54.7	39.8	33.2	39.7	0.0	0.0	0.0	18.6
1.50		(±4.22E-06)	(±2.9)	(±11.1)	(±11.9)	(±1.8)	(±12.9)	(±15.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.8)
1.50	10.50	0.00E+00	3.9	22.8	0.0	0.0	4.0	26.5	34.2	0.5	2.3	16.4
12.00		(±8.86E-07)	(±1.8)	(±3.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±10.7)	(±8.0)	(±19.1)	(±0.5)	(±2.3)	(±0.7)
12.00	2.70	5.86E-06	20.5	69.5	45.5	38.0	79.2	84.8	0.0	0.0	0.0	18.6
14.70		(±1.18E-05)	(±5.9)	(±12.1)	(±7.2)	(±1.6)	(±22.2)	(±16.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
14.70	4.80	1.46E-09	6.4	0.0	0.0	0.0	3.9	41.6	53.6	0.4	1.7	16.7
19.50		(±9.89E-09)	(±2.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±9.2)	(±13.4)	(±41.4)	(±0.3)	(±1.2)	(±0.7)
19.50	0.50	1.75E-06	27.9	103.3	42.2	37.3	121.1	128.0	0.0	0.0	0.0	19.5
20.00		(±7.52E-07)	(±4.0)	(±10.3)	(±3.5)	(±0.9)	(±23.0)	(±14.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.3)

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



ALLEGATO 2

IN COLLABORAZIONE CON



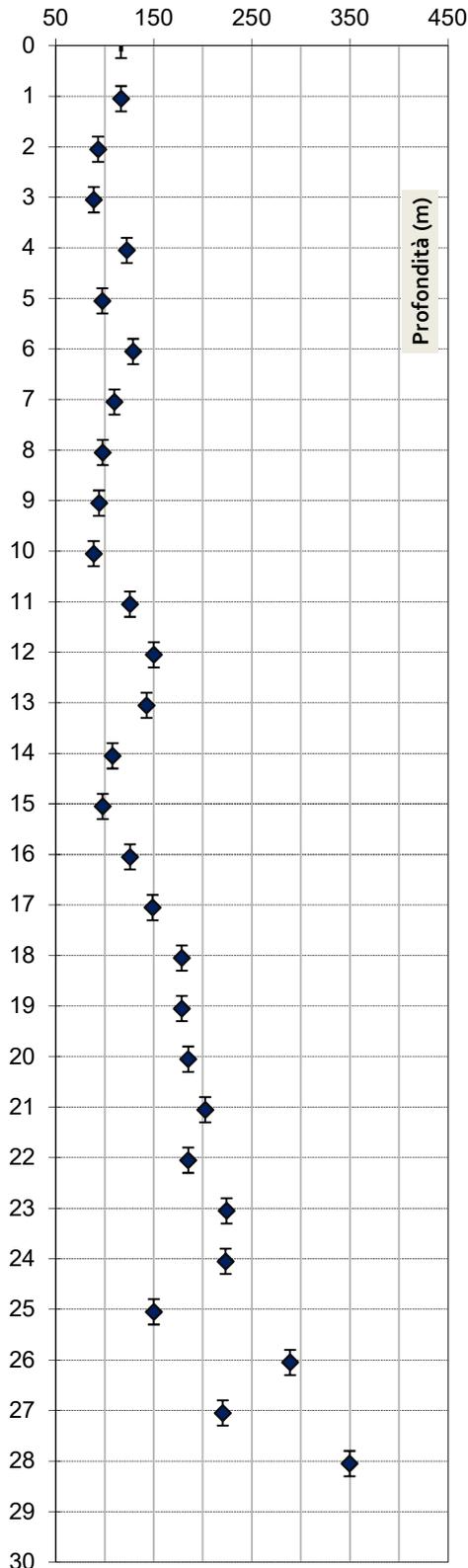
SGI INGEGNERIA S.r.L.

PROVA SCPTU

Committente: **Globalambiente**
 Cantiere: **Villanova di Denore (FE) - Via Lacobella**
 Prova: **S-CPTU**
 Data prova: **11 aprile 2022**

Distanza sorgente da verticale misura: **0,50 metri**
 Profondità sorgente da piano campagna: **0.00 metri**

Velocità onde di taglio V_{SVH} (m/s)



Prof. misura	Prof. dato	Velocità	Time Shift	Accuratezza
da	a	m	msec	
		0,00	18,810	
0,8	1,3	1,05	116,68	0,978
1,8	2,3	2,05	93,22	0,957
2,8	3,3	3,05	88,72	0,933
3,8	4,3	4,05	122,48	0,942
4,8	5,3	5,05	97,56	0,931
5,8	6,3	6,05	129,09	0,961
6,8	7,3	7,05	109,86	0,904
7,8	8,3	8,05	97,85	0,953
8,8	9,3	9,05	94,20	0,975
9,8	10,3	10,05	88,70	0,796
10,8	11,3	11,05	125,82	0,995
11,8	12,3	12,05	150,02	0,979
12,8	13,3	13,05	142,75	0,878
13,8	14,3	14,05	107,92	0,814
14,8	15,3	15,05	97,99	0,863
15,8	16,3	16,05	125,88	0,920
16,8	17,3	17,05	148,75	0,992
17,8	18,3	18,05	178,50	0,971
18,8	19,3	19,05	178,51	0,976
19,8	20,3	20,05	185,13	0,945
20,8	21,3	21,05	202,37	0,922
21,8	22,3	22,05	185,14	0,930
22,8	23,3	23,05	224,16	0,948
23,8	24,3	24,05	223,17	0,928
24,8	25,3	25,05	150,12	0,944
25,8	26,3	26,05	288,96	0,927
26,8	27,3	27,05	220,23	0,862
27,8	28,3	28,05	349,59	0,911

V_{Seq} calcolata in base all'art. 3.2.2. del N.T.C.18

Profondità posa fondazione in metri da p.c. :

$$V_{Seq} \quad 0,0 \quad / \quad 30,0 \quad = \quad 140,77 \quad m/s$$

0,0



ALLEGATO 3

IN COLLABORAZIONE CON



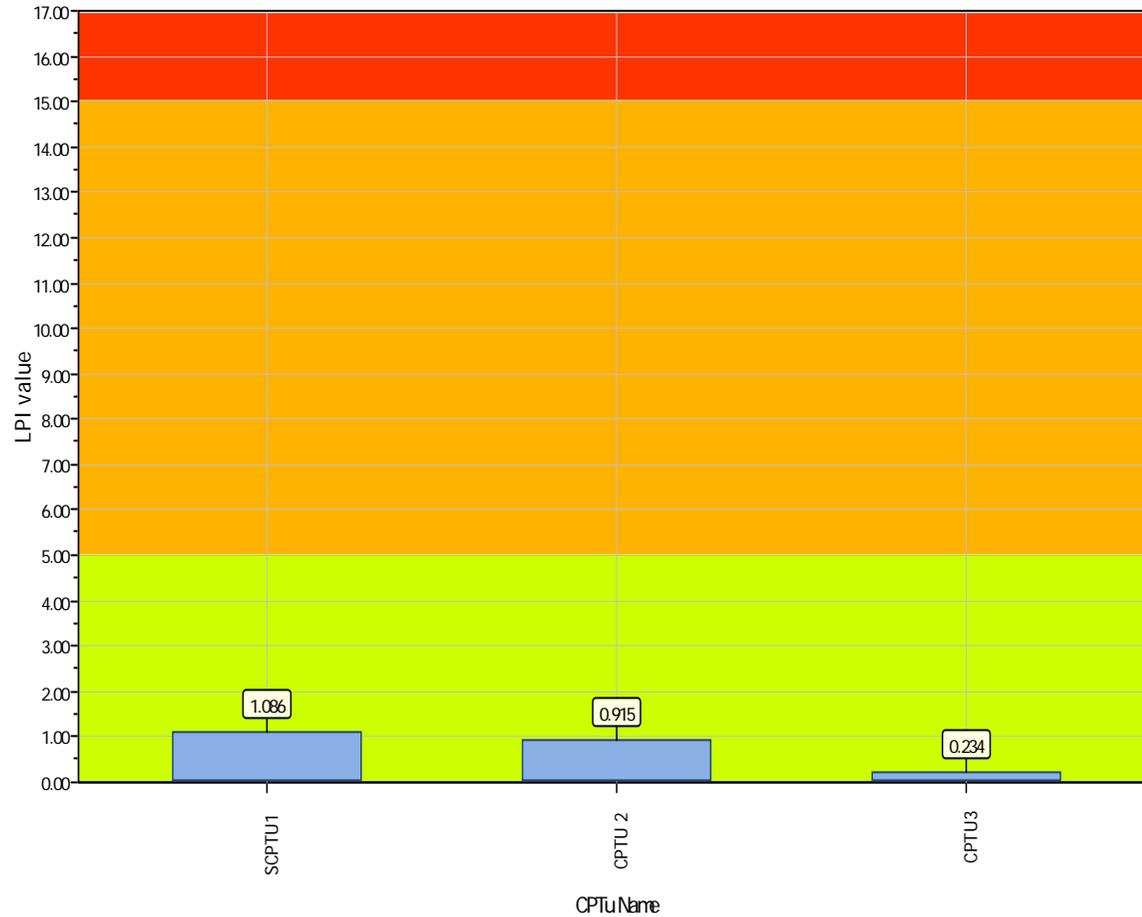
SGI INGEGNERIA S.r.L.



Project title : Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location : via Lacobella – Villanova di Denore (FE)

Overall Liquefaction Potential Index report



LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Basic statistics

Total CPT number: 3
 100.00% low risk
 0.00% high risk
 0.00% very high risk