
RELAZIONE GEOGNOSTICA SULLE INDAGINI ESEGUITE IN SITO

MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA DEL SITO E CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA DEL VOLUME SIGNIFICATIVO DEI TERRENI INTERESSATI DALLA COSTRUZIONE DI UNO STABILIMENTO PER LA PRODUZIONE DI PRODOTTI CASEARI

ANALISI SISMICA DEL SITO RIPORTANTE LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

D.P.R. 380/2001

D.P.R. 328/2001

Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"

Legge Regionale 30 Ottobre 2008 n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico"

D.M. 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" in vigore dal 22 Marzo 2018

Circolare 7/2019

D.G.R. 630/2019 e s.m.i. di cui alle DGR 476/2021 e 564/2021

D.G.R. 1814 del 07.12.2020

PUG IN FORMA ASSOCIATA

COMMITTENTE: CASEIFICIO RAZIONALE NOVESE SOC.COOP. VA AGRICOLA

CANTIERE: NOVI DI MODENA - VIA PROVINCIALE MANTOVA n.73 - NOVI DI MODENA -

UBICAZIONE CATASTALE: Foglio 12 - Mappale 74-62

DATA: GIUGNO 2025

INDICE

1.PREMESSA.....	3
2.RIFERIMENTI NORMATIVI.....	3
3.MODELLLO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO	4
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO PAESAGGISTICO	4
3.2 DESCRIZIONE DEI PROCESSI DI MODELLAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	7
3.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	9
3.1.1 Idrogeologia locale.....	15
3.1.2 Andamento piezometrico.....	17
3.1.3 Misura della permeabilità in sito con punta piezometrica.....	20
4.CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA	22
4.1 CARATTERISTICHE TECNICHE DI INDAGINE.....	22
4.2 INTERPRETAZIONE LITOLOGICA.....	25
4.3 PARAMETRI GEOTECNICI MEDI E CARATTERISTICI DI CIASCUNA UNITA' GEOTECNICA INDIVIDUATA.....	31
5. ANALISI RESISTENZE DI PROGETTO	34
6. ANALISI SISMICA RIPORTANTE LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO.....	39
6.1 SISMICITA' DEL TERRITORIO	39
6.1.1 Cenni sulla sismotettonica della pianura padana	39
6.1.2 Sismicità storica ed attuale.....	43
6.2 ANALISI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE I°LIVELLO	45
6.3 ANALISI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE DI II LIVELLO	48
6.3.1. Definizione categoria sismica mediante analisi del sottosuolo in sismica passiva HVRs.....	54
6.3.2 Modello sismico del sottosuolo.....	60
6.4 ANALISI PERICOLOSITA SISMICA LOCALE DI III° LIVELLO.....	62
6.4.1 Valutazione fattore di amplificazione e parametri spettrali mediante analisi di risposta sismica locale con approfondimento di III livello	62
6.4.2 Analisi del rischio di liquefazione da prove in sito.....	74
6.4.3 Calcolo dei cedimenti post sismici.....	103
7. CONCLUSIONI	108
ALLEGATI.....	118

1.PREMESSA

Su incarico e per conto del Committente si produce una modellazione idrogeologica del sito, un'analisi di pericolosità sismica locale, riportando gli effetti attesi, ed una caratterizzazione geotecnica della litologia superficiale e profonda del volume significativo di terreno interessato dalla costruzione di un nuovo stabilimento per la produzione di prodotti caseari in Comune di Novi di Modena Via Provinciale – Mantova n. 73 presso il Caseificio Razionale Novese.

La caratterizzazione litologica di dettaglio e la definizione dei parametri geotecnici del profilo stratigrafico nel sito, sono ricavati dai risultati di n. 3 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT spinte alla profondità di – 30 metri dal p.c. in data 12/06/2025, e n. 1 prova penetrometrica statica CPTU spinta a 14 metri dal p.c. all'inizio delle litologie sabbiose dalla GEO DEEP DRILL di Diego Geol. Merlin di Bondeno di Ferrara.

Le prove sono state spinte alla profondità di – 30.00 m dal piano campagna per la definizione in dettaglio delle caratteristiche litologiche e stratigrafiche fino a tale quota.

Durante l'esecuzione della prova penetrometrica con punta elettrica, alla profondità di – 1.10 m e alla quota di – 2.40 metri sono state eseguite prove di permeabilità per dissipazione delle pressioni interstiziali per misurare la permeabilità degli strati più superficiali di terreno.

Al fine di produrre un'analisi di pericolosità sismica locale, determinare il valore della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s equivalente) e fornire la frequenza fondamentale del sito, si sono prese in considerazione 2 prove in sismica passiva HVRS eseguite in sito in data 27/06/2012.

Scopo dell'indagine è stato fornire un modello geologico dell'area in epigrafe e una caratterizzazione geotecnica della litologia superficiale e profonda del sito. Viene prodotta un'analisi di pericolosità sismica locale con approfondimento di III livello che riporta il valore di amplificazione litologica quale effetto di sito atteso, il valore di accelerazione atteso in superficie, il valore della frequenza fondamentale del sito e i parametri spettrali, viene verificata la predisposizione a fenomeni di liquefazione dei terreni sabbiosi e limo-sabbiosi saturi presenti secondo la recente D.G.R. 630/2019 e s.m.i. di cui alle DGR 476/2021 e 564/2021 e vengono calcolati i cedimenti post sismici.

I rapporti delle prove penetrometriche statiche eseguite in sito e l'ubicazione delle indagini sono allegati alla presente relazione. All. n. 1 e 2.

2.RIFERIMENTI NORMATIVI

D.P.R. 380/2001

D.P.R. 328/2001

Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"

Legge Regionale 30 Ottobre 2008 n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico"

D.M. 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" in vigore dal 22 Marzo 2018

Circolare 7/2019

3.MODELLO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO PAESAGGISTICO

La zona oggetto di studio si trova a nord-nord-est rispetto al centro cittadino di Novi di Modena, in zona di ambito agricolo ad una quota media di 17 m slm.

Le coordinate geografiche del sito sono 44° 54' 26"N e 10° 54' 28"E.

Il sito ha accesso da Via Provinciale Mantova (SP413).

I centri abitati vicini sono:

Novi di Modena a circa 1.80 Km a sud-sud-ovest

Rolo a circa 4.60 Km a sud-ovest

Reggiolo a circa 8.00 Km a ovest

Moglia a circa 3.10 Km a nord

Concordia sulla Secchia a 6.20 Km a est

Oltre che a varie frazioni e località.

Il territorio del Comune di Novi di Modena è situato a Nord della provincia di Modena e ricade nel settore assiale della Pianura Padana "propriamente detta".

L'area, secondo quanto indicato nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Modena, approvato con D.C.P. n.46 del 18/03/2009, ricade nell'Unità di Paesaggio indicata con il numero 3 "Pianura della bonifica recente nei territori di Novi di Modena e a nord di Carpi".

Nell'ambito del PTCP per unità di paesaggio è stato inteso individuare un territorio che presenta elementi omogenei nel paesaggio che ha subito la stessa formazione ed evoluzione.

I caratteri ambientali dell'Unità di Paesaggio n. 3 sono rappresentati, soprattutto nella porzione più settentrionale e in quella centrale, da un reticolo di canali di bonifica con presenza di diverse zone umide le quali complessivamente interessano una superficie abbastanza ampia, rappresentata da relitti di risaie, impianti recenti di itticoltura, e zone umide recuperate per scopi venatori.

Si tratta di terreni vallivi e quindi di aree morfologicamente depresse interessate da pochi dossi tra i quali il più esteso è il dosso su cui è localizzato l'abitato di Novi.

La presenza di zone umide copre nel complesso una superficie abbastanza estesa e rappresenta unitamente al reticolo dei canali di bonifica un elemento di caratterizzazione del territorio. Le aree umide ed i prati umidi sono costituiti prevalentemente da risaie, allevamenti ittici ed in buona parte da zone oggetto di intervento di ripristino ambientale per scopi venatori e naturalistici. La vegetazione dominante è quella erbacea delle zone palustri e dei canali a cui si aggiungono salici e pioppi oltre alla presenza di alberi isolati posti prevalentemente lungo i margini dei campi.

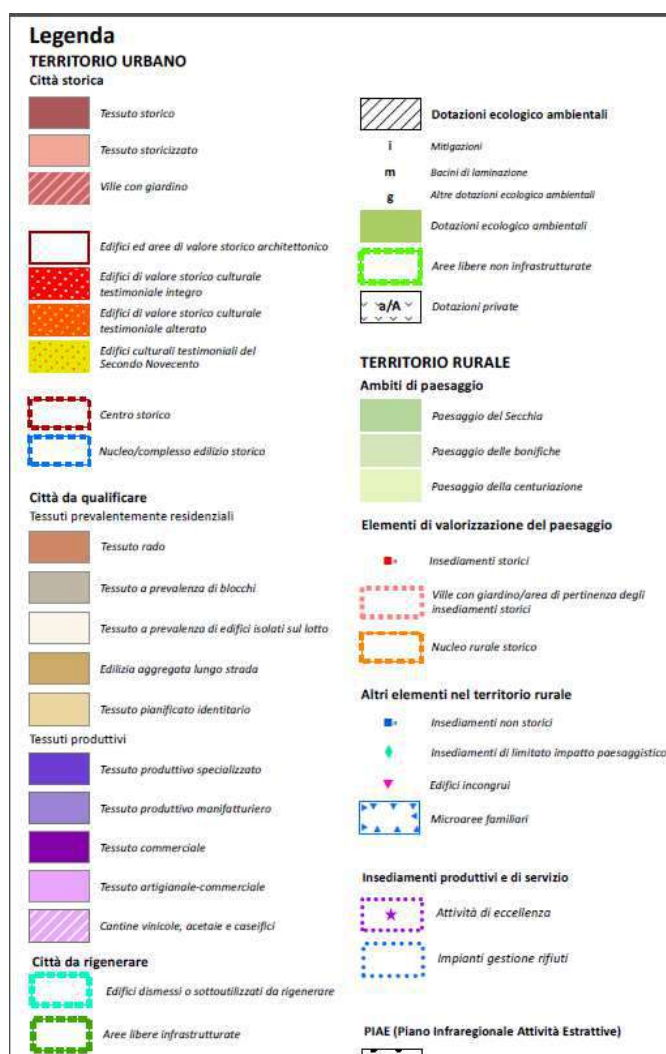
La zona a nord di Novi presenta un importante esempio di sistema di siepi, forse unico nella pianura modenese per estensione e dimensioni, con esemplari arborei di grandi dimensioni costituiti da specie tipiche dei boschi planiziali.

La fauna ornitica di passo e stanziale è presente in modo massiccio soprattutto in corrispondenza delle zone umide che hanno contribuito in modo determinante all'arricchimento faunistico del territorio in questi ultimi anni, anche per ciò che riguarda mammiferi ed anfibi. In particolare è da segnalare fra i primi esempi l'oasi Borsari a sud di Novi.

La rete idrografica è costituita da canali di bonifica di diversa importanza, tra i quali il Canale di Gruppo ed il Collettore Acque Basse Modenesi, che costituiscono il principale elemento caratterizzante questo territorio.

All'interno di questa unità di paesaggio prevalgono le aziende agricole ad indirizzo produttivo di tipo estensivo con coltura a seminativi, ed un consistente numero di unità produttive ad indirizzo misto di tipo viticolo-zootecnico.

Nella tavola "Tr1.2 Trasformabilità" del PUG Unione delle Terre d'Argine del Luglio 2023 il sito è in territorio rurale, ambito del paesaggio delle bonifiche.



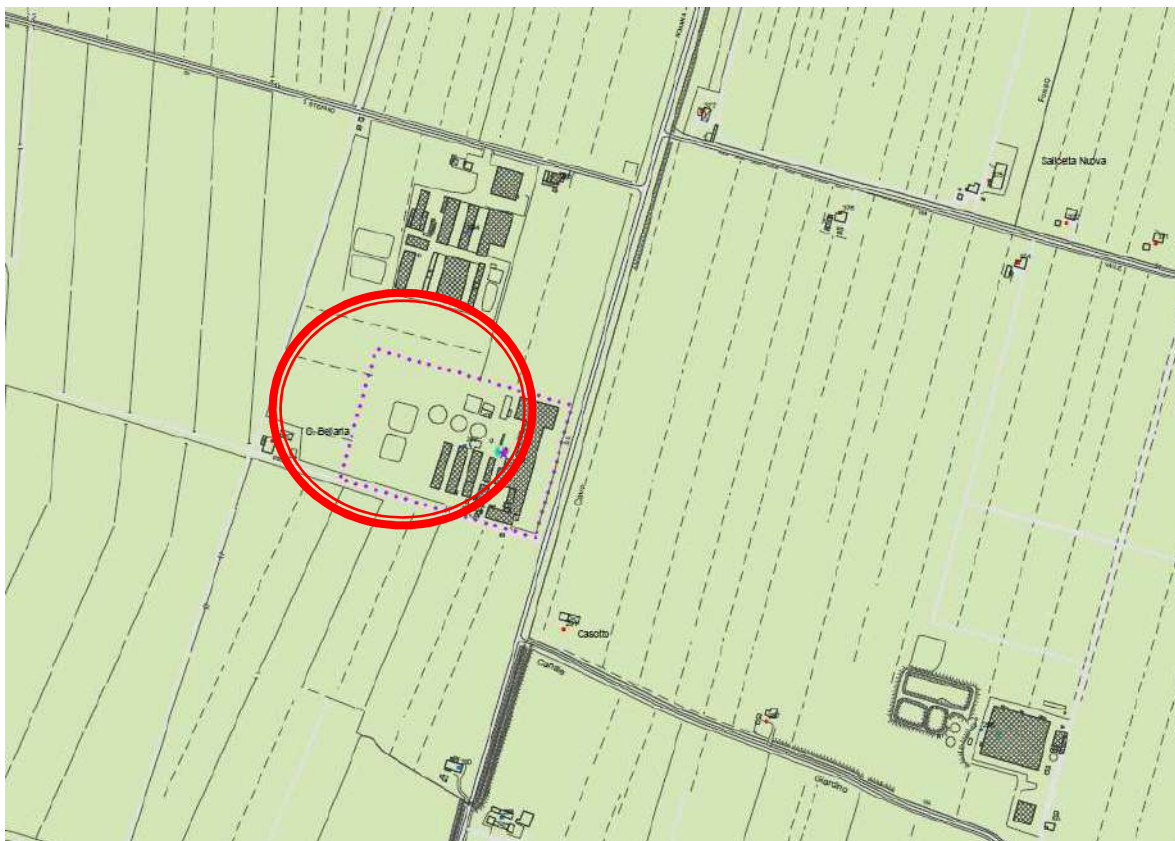


Fig.1. : Stralcio della tavola "Tr1.2 Trasformabilità" del PUG Unione delle Terre d'Argine del Luglio23



Fig.2. :Ortofoto

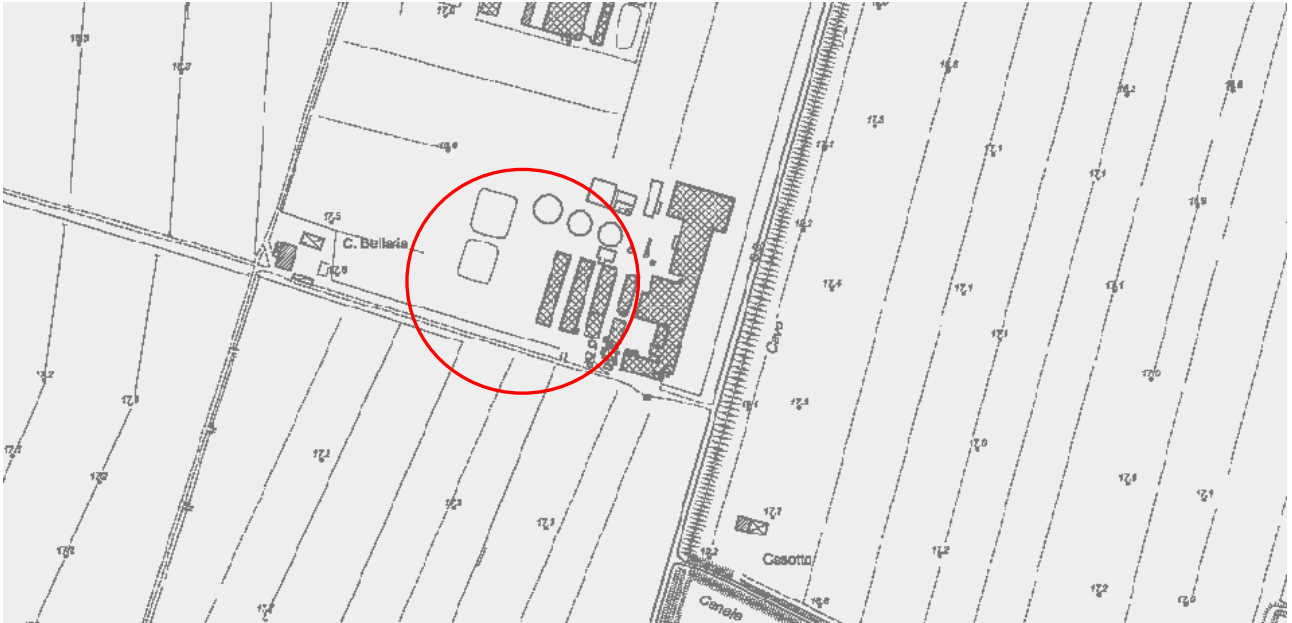


Fig.3. Carta Tecnica Regionale.



Fig.4. Ubicazione catastale Foglio:12 – Particella 74-62

3.2 DESCRIZIONE DEI PROCESSI DI MODELLAMENTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Il Comune di Novi di Modena appartiene alla fascia di transizione tra i depositi alluvionali della Media e Bassa Pianura Padana Appenninica costituita dalle evoluzioni idrografiche del Po e dei suoi affluenti che hanno colmato il Golfo Padano delimitato dagli affioramenti appenninici a sud e da quelli alpini a nord.

Tali corsi d'acqua, naturalmente, tendevano ad alluvionare le aree ad essi circostanti svolgendo un'azione prevalentemente di sedimentazione.

Questi agenti hanno generato una successione litostratigrafica che contraddistingue il sottosuolo con la presenza di depositi sabbiosi di notevole spessore nelle zone settentrionali del comune e con livelli sabbiosi di modesta potenza nelle aree a meridione.

I materiali in carico delle acque, durante i fenomeni di accrescimento dei bacini di pianura, si distribuiscono in modo che quelli più grossolani (sabbie) formino sponde naturali dell'alveo e le barre fluviali, mentre quelli più fini (argille e limi) si depositano nei punti più distanti dagli argini e quindi nelle depressioni comprese tra un fiume e l'altro, oppure nelle aree vallive.

Questo evidenzia come l'energia idrodinamica sia discretamente alta negli ambienti sedimentari a granulometria sabbiosa (alveo); d'altra parte le aree contraddistinte da litotipi argilloso limosi definiscono settori di bassa energia a sedimentazione lenta concordanti con ambienti palustri.

Di conseguenza, risulta evidente che i corsi d'acqua naturali una volta raggiunto un determinato livello sui terreni circostanti, tendono a rompere in occasione di forti eventi pluviometrici, mutando il loro corso e colmando le aree più depresse di infraalveo.

A tali condizioni consegue un incremento di dislivello tra il fiume e le aree ad esso circostanti poiché i materiali fini delle aree infrafluviali sono soggetti ad un costipamento maggiore e più prolungato nel tempo, rispetto ai depositi a granulometria sabbiosa.

Questa condizione di equilibrio dinamico è stato fortemente influenzato dall'uomo. Quest'ultimo, infatti, per proteggersi dalle esondazioni, ha costretto i corsi d'acqua a scorrere sempre negli stessi alvei elevando gli argini di pari passo all'innalzamento dei letti fluviali. Gli interventi antropici hanno così accentuato i dislivelli tra i fiumi ed i territori circostanti, sia per un mancato apporto di materiali che per un incremento di subsidenza differenziale.

Nel territorio comunale di Novi di Modena si riscontra un sistema paleoidrografico chiaramente definito che evidenzia tracce di rami fluviali con direzione SW – NE nei settori meridionali del comune (paleoalveo esteso circa da S.Marino – Fossoli – Budrione) e ad orientazione circa WE in quelli settentrionali (paleoalveo parallelo alla strada Novi - Rolo). Su quest'ultimo è ubicato il capoluogo ed è attribuibile ad un antico tracciato del Fiume Po, con tutta probabilità è la prosecuzione occidentale del Dosso di Gavello rinvenibile a nord-est di Mirandola.

Invece, aree depresse residue, contraddistinte da una sedimentazione di tipo palustre, sono attualmente identificabili nei settori a nord di Novi, compresi tra il capoluogo, il collettore Acque Basse Reggiane ed il confine con Concordia sulla Secchia, e nelle zone meridionali del Comune nella fascia compresa tra il confine con Carpi ed il bordo orientale del Cavo Lama.

Recentemente l'agente che ha influito sulla formazione del territorio è il Fiume Secchia. Attualmente il fiume è regimato dalle casse di espansione di Rubiera e quindi la tendenza evolutiva è di tipo conservativo. Si rileva comunque che nel recente passato il Secchia ha esondato in sponda sinistra, come evidenziano i coni di rotti rilevati a nord di S. Antonio in Marcadello ed a nord di Rovereto.

L'area di studio è ubicata in una zona priva di rilevanti morfostrutture, come indicato nella carta "Tutela delle risorse paesistiche e storico culturali" del PTCP della Provincia di Modena, approvato il 18 Marzo 2009, di cui si riporta uno stralcio.

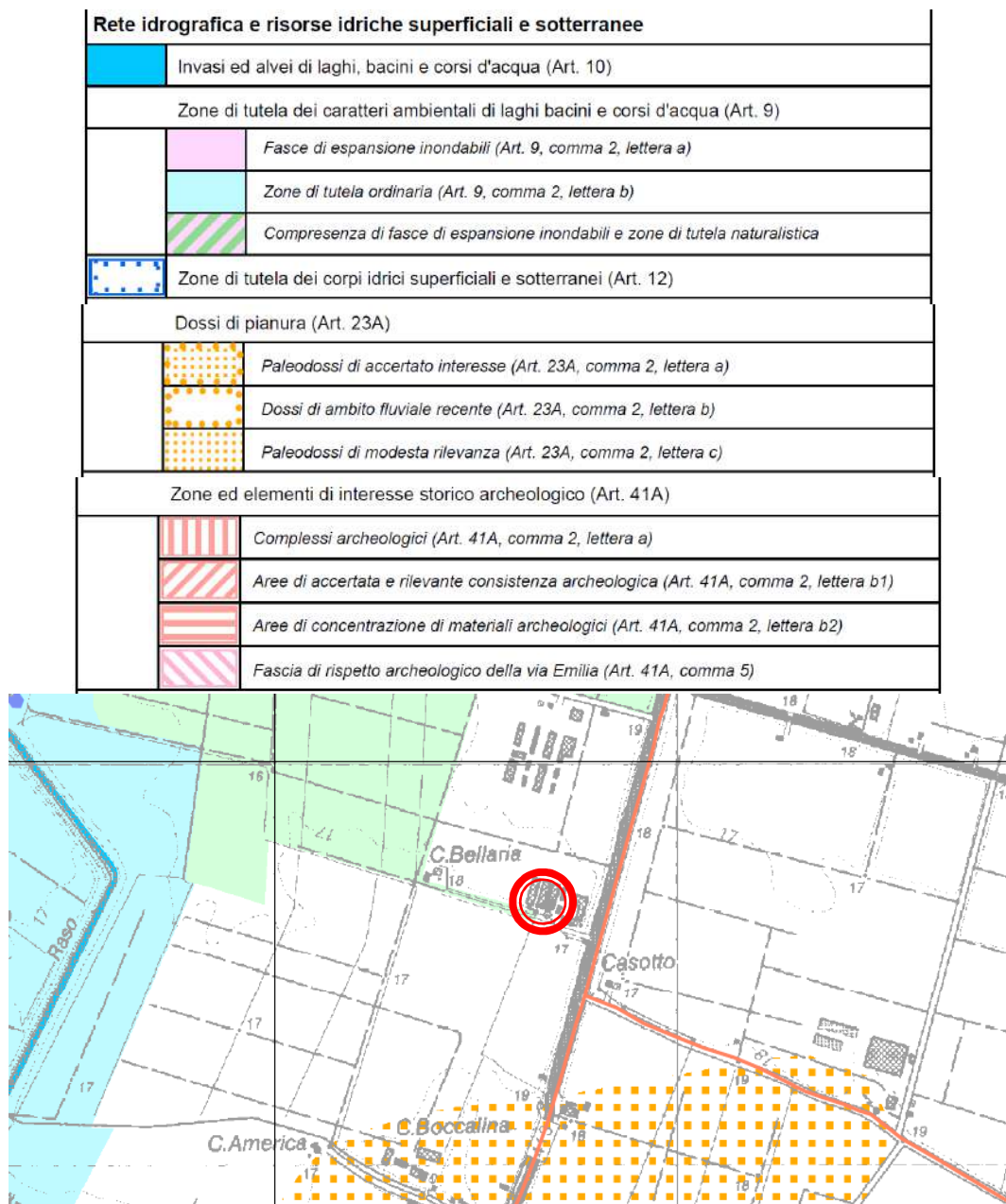


Fig.5. Tav. 1.1.2 "Carta della Tutela delle risorse paesistiche e storico culturali del Nuovo PTCP".

3.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Per quanto riguarda l'idrogeologia del sottosuolo, la pianura modenese si sviluppa ai piedi della catena appenninica ove affiorano le formazioni argillose del ciclo plio-pleistocentrico, che rappresentano la base delle alluvioni pleistoceniche superiori ed oloceniche costituenti la pianura.

Il passaggio tra la sedimentazione marina e quella continentale affiora al margine appenninico ed è contraddistinta da depositi di transizione quali sabbie e ghiaie, talora cementate, di ambiente litorale e peliti sabbiose e ghiaie di delta, poiché il ritiro delle acque dall'antico golfo padano è avvenuto con movimenti alterni a causa sia delle glaciazioni, che si sono succedute nel Quaternario, sia di movimenti tettonici, determinando sollevamenti della catena e subsidenza nella pianura.

Questi ultimi (facies continentali) consistono prevalentemente in conoidi pedemontane formate dall'accumulo dei materiali alluvionali depositi dai corsi d'acqua al loro sfociare in pianura. Tali conoidi risultano incastrate le une alle altre di cui le più antiche sono spesso ridotte a lembi erosi e tettonizzati, mentre le più recenti conservano la loro originaria morfologia.

Nel sottosuolo della pianura e sul Margine Appenninico Padano sono stati riconosciuti tre Gruppi Acquiferi separati da barriere di permeabilità di estensione regionale, informalmente denominati Gruppo Acquifero A, B e C a partire dal piano campagna.

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.

Di seguito si effettua una caratterizzazione sintetica delle tre Unità Idrogeologiche A, B e C sovrapposte.

La prima, stratigraficamente superiore, è costituita da ghiaie e conglomerati, sabbie e peliti di terrazzo e conoidi alluvionali organizzati in strati lenticolari di spessore estremamente variabile, da alcune decine di centimetri a svariati metri, in genere costituiti da un letto di conglomerati eterometrici ed eterogenei, con matrice sabbiosa, talora disorganizzati, talora embriciati, generalmente poco cementati, e da un tetto sabbioso-limoso.

La base degli strati è fortemente erosiva. Sono presenti paleosuoli. La potenza dell'unità in affioramento è variabile da qualche metro fino ad alcune decine di metri.

Il contatto con le unità idrogeologiche sottostanti B e C e le unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è frequentemente discordante.

L'età di questo Gruppo Acquifero A è *Pleistocene medio-Olocene*.

La seconda, Unità Idrogeologica B, è costituita da prevalenti argille limose di pianura alluvionale con talora intercalati livelli discontinui di ghiaie e conglomerati eterometrici ed eterogenei e sabbie; sono anche presenti alcuni paleosuoli.

La potenza dell'unità in affioramento è variabile da qualche metro fino ad alcune decine di metri. Il contatto sulle unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è frequentemente discordante. I depositi appartenenti a questa unità risalgono al *Pleistocene medio*.

L'ultima, l'Unità Idrogeologica C, è formata da depositi di delta-conoidi e marino-marginali costituiti da prevalenti sabbie e areniti, generalmente poco cementate o con cementazione disomogenea, ben selezionate con granulometria media e fine, talora grossolana, in genere ben stratificate e con evidente laminazione incrociata. Spesso sono massive e ricche in bioclasti, con frequenti intercalazioni, da sottili a molto spesse, di conglomerati eterogenei ed eterometrici e di peliti.

La potenza dell'unità in affioramento raramente è maggiore di cento metri. Il contatto, sulle unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è generalmente netto, di tipo erosivo ed in discordanza angolare.

I depositi appartenenti a questa unità risalgono al *Pliocene inferiore - Pleistocene medio*.

A fare da Aquitardo Basale alle sovrastanti unità idrogeologiche c'è un insieme di Unità complessivamente impermeabili che, estendendosi nel sottosuolo della pianura ed affiorando sul Margine Appenninico Padano, costituiscono il limite della circolazione idrica-sotterranea qui presente.

In generale il Coefficiente di Immagazzinamento Specifico (S_{sm}) assume valori con variabilità sempre più ridotta passando dal Gruppo Acquifero A al Gruppo Acquifero C in cui tende a stabilizzarsi intorno al valore di $10^{-6} m^{-1}$; questo trend è in accordo con l'entità della compattazione che cresce dal Gruppo Acquifero A al Gruppo Acquifero C.

Per quanto riguarda il Coefficiente di Conducibilità Idraulica si evidenziano alti valori, che si spingono sino a $10^{-3} m/s$ per i Conoidi Alluvionali e i Riempimenti di Canali del paleoPo dei Gruppi Acquiferi A e B.

I valori della Porosità risultano particolarmente alti nei corpi sabbiosi dei paleodelta del Fiume Po che, in tutti e tre i Gruppi Acquiferi, esprimono valori compresi fra 32 e 46%.

Non meno importanti sono le aree di ricarica diretta dei serbatoi acquiferi; i suoli esplicano questa funzione di ricarica, e sono anche le zone più esposte e vulnerabili agli inquinamenti. Oltre alla permeabilità, che è dipendente dalla porosità, altri fattori concorrono a regolare una maggiore o minore facilità d'infiltrazione nei suoli: il clima, la vegetazione, l'inclinazione del pendio e le pratiche colturali eseguite.

Le due immagini di seguito riportate sono tratte dal lavoro ENI-AGIP e rappresentano la prima un inquadramento stratigrafico ed idrostratigrafico dell'area studiata, la seconda una sezione sismica passante per Bologna in cui sono stati evidenziati in colore i tre acquiferi descritti prima.

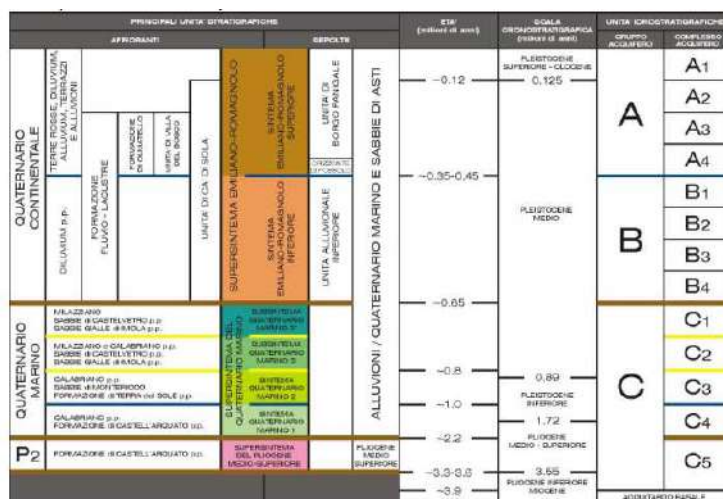


Fig.6. Inquadramento geologico-stratigrafico e idrostratigrafico dell'area di studio.

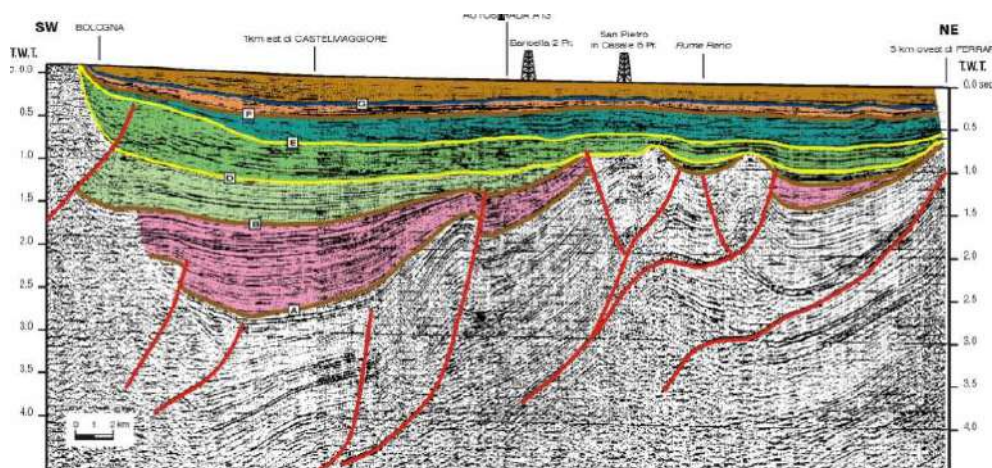


Fig.7. profilo sismico interpretato (cortesia Agip).

L'assetto idrogeologico dell'area è schematizzato nella sezione geologica riportata in figura 9, tratta dal volume "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna".

La sezione mostra la presenza sulla verticale dei tre gruppi acquiferi sopracitati.

Ciascun gruppo acquifero a sua volta viene suddiviso in diversi complessi acquiferi e acquitardi, secondo un modello di suddivisione gerarchico per ranghi via via più piccoli sulla base della dimensione e dell'estensione areale dei corpi idrogeologici che li compongono.

Sulla base di alcune loro caratteristiche geometriche, gli acquiferi nel sottosuolo si distinguono in:

acquifero monostrato: si sviluppa nella zona a ridosso dell'Appennino dove troviamo un unico acquifero costituito da ghiaie che dalla superficie continuano nel sottosuolo per decine e decine di metri senza soluzione di continuità; tale zona corrisponde anche alla zona di ricarica degli acquiferi;

acquifero multistrato: si sviluppa più a nord del precedente dove i corpi di ghiaie e sabbie si separano gli uni dagli altri per la presenza di intercalazioni di terreni più fini (limi e argille) e costituiscono quindi diversi acquiferi verticalmente sovrapposti (è il caso dell'area di interesse).

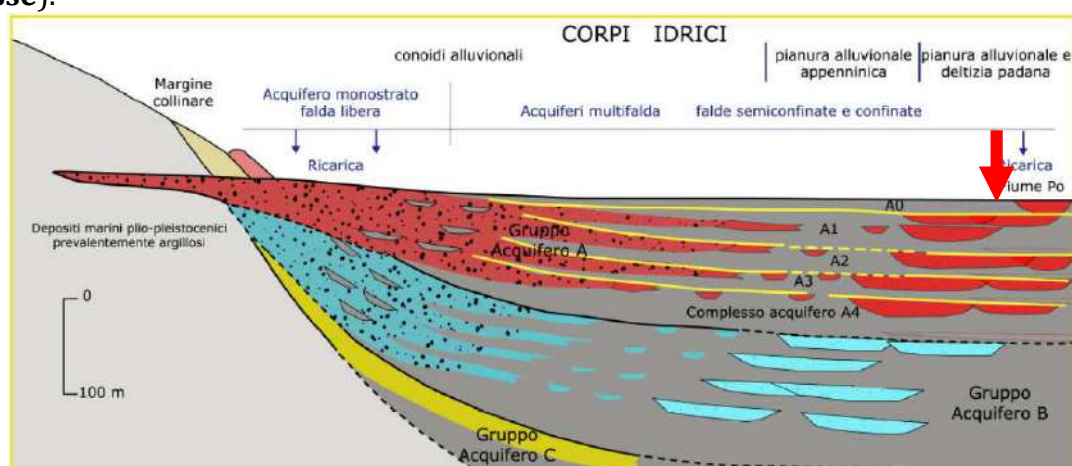


Fig.8. distribuzione schematica dei corpi idrici e delle unità idrostratigrafiche nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola (la freccia indica la situazione in Comune di Novi di Modena).

Dove l'acquifero è monostrato, esso è un *acquifero freatico (o libero)*, cioè la falda può oscillare liberamente all'interno del deposito permeabile in cui è contenuta e la porzione più alta di questo deposito è insatura (asciutta).

Diversamente i singoli acquiferi che costituiscono l'acquifero multistrato, come presso le aree in esame, sono *acquiferi in pressione (o confinati)*, in questo caso l'acqua, all'interno dei depositi permeabili, è confinata superiormente dalla presenza di depositi impermeabili o poco permeabili (gli acquitardi).

L'acquifero è sempre completamente riempito d'acqua sotto pressione e, se perforato, all'interno del foro l'acqua salirà ad una quota più alta del limite superiore dei depositi che la contengono.

Più in dettaglio il Comune di Novi di Modena ricade a nord della fascia dei bacini idrici sotterranei compresi all'interno delle conoidi alluvionali che si dividono in:

Conoide del fiume Secchia (1);

Conoide del fiume Panaro (3);

Conoidi di fiumi minori (2).

L'acquifero principale, in termini di qualità e quantità di risorsa idrica fruibile, è costituito dalle acque contenute nei livelli ghiaiosi dei corpi alluvionali (conoidi dei Fiumi Secchia -1- e Panaro -3-).

Di minore importanza sono gli acquiferi costituiti dalle acque presenti nei livelli sabbiosi delle conoidi dei fiumi minori (2) e della piana alluvionale (4 e 5) della medio-bassa pianura modenese (**dove si trova il Comune di Novi di Modena**).

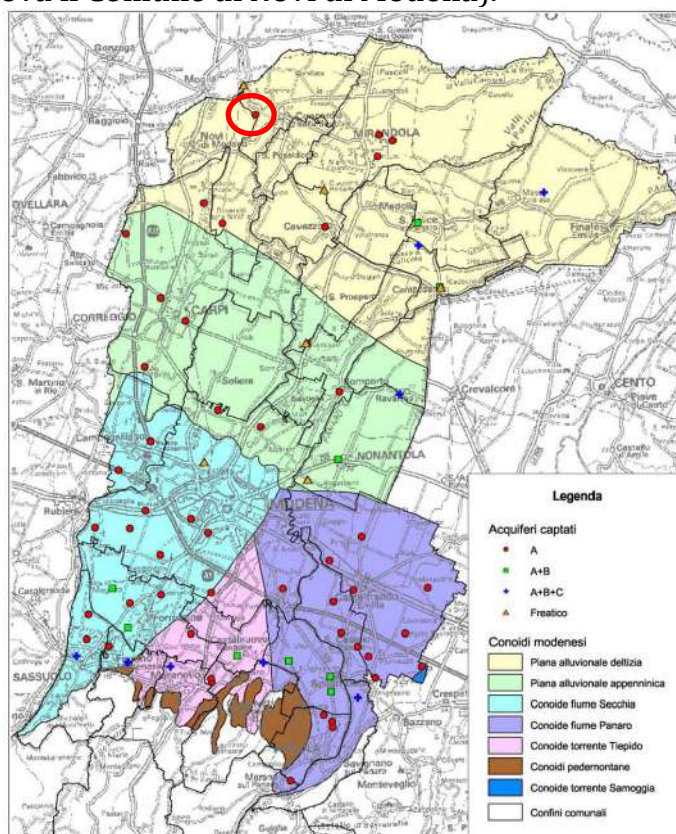


Fig.9. Unità idrogeologiche del territorio della pianura modenese.

Nella Bassa Pianura Modenese quindi, in generale, si ha una serie di falde sovrapposte tutte e quasi ovunque in pressione, la cui alimentazione è peraltro complessa.

L'elemento caratterizzante dell'idrogeologia del settore è rappresentato dalla "Dorsale Ferrarese" che è, come noto, una struttura anticlinale del substrato marino sottostante la copertura alluvionale Olocenica, che in certi punti si innalza a meno di 80 metri dalla superficie topografica.

Essa è intersecata da un complesso reticolato di faglie che hanno interessato, probabilmente, anche la coltre alluvionale, condizionando indubbiamente la struttura degli acquiferi ed, in certe zone, il chimismo stesso delle acque (Gasperi e Pellegrini, 1969).

A sud della "Dorsale Ferrarese" si riscontrano i depositi alluvionali dei fiumi appenninici, prevalentemente a granulometria medio fine e quindi sede di profondi acquiferi, sempre in pressione, con valori di soggiacenza prossimi al piano campagna.

In superficie (entro i primi 10 metri) è frequente riscontrare livelli acquiferi sospesi, di tipo freatico, a volte separati dall'acquifero principale e dotati di acque scadenti.

Nel settore nord, **dove si trova l'area di interesse**, si rinvencono le alluvioni sabbiose grossolane del fiume Po, connesse con il suo progressivo spostamento verso il percorso attuale.

Sono in genere banchi allungati in direzione est – ovest. Il deflusso generale delle acque sotterranee segue all'incirca questa direttrice. Queste bancate sono in genere ricoperte da alluvioni limo-argillose dallo spessore variabile.

Nelle zone del comprensorio, ove si riscontrano le culminazioni della Dorsale Ferrarese, si vengono a creare interferenze tra le acque dolci e quelle salate ad alto contenuto alogenico di facies marina.

Queste ultime, attraverso orizzonti più permeabili o tramite le fratture stesse della dorsale, risalgono permeando anche gli acquiferi più superficiali. Si sono osservate miscelazioni di queste acque di fondo con quelle della falda superficiale anche durante prolungati emungimenti dai pozzi.

I meccanismi di ricarica dei principali acquiferi del territorio della pianura modenese sono di seguito indicati:

- 1) Infiltrazione di acque meteoriche nelle zone collinari e pedecollinari in corrispondenza degli affioramenti impermeabili;
- 2) Infiltrazioni di acque dai corsi superficiali e dai subalvei;
- 3) Interscambi tra differenti livelli di acquiferi tra loro separati da strati semi-impermeabili (fenomeni di drenanza).

L'apporto alle falde idriche sotterranee, da parte delle acque meteoriche, va considerato in termini di piogge efficaci.

Queste corrispondono alla quantità di pioggia realmente in grado di infiltrarsi nel sottosuolo e di raggiungere le falde.

Alla quantità totale di pioggia devono essere dunque sottratte sia l'aliquota dell'evapotraspirazione reale sia l'aliquota di quella di ruscellamento, ovvero dell'acqua che scorre in superficie alimentando la rete idrografica superficiale.

Ne consegue che, a parità di precipitazioni e di condizioni di esposizione solare, le piogge efficaci risultano minori in corrispondenza di suoli impermeabili a litologia argillosa oppure nelle aree intensamente urbanizzate piuttosto che in aree con litologia superficiale ghiaioso-sabbiosa.

In particolare, per gli acquiferi di interesse, gli apporti sono in gran parte dovuti al fiume Po, con il quale sono in diretta comunicazione. Trascurabili sono le infiltrazioni superficiali, che raggiungono un'efficacia del 25% solamente in corrispondenza dei "dossi sabbiosi" (Pellegrini e Zavatti, 1980).

3.1.1 Idrogeologia locale

La situazione idrogeologica del sito si inserisce quindi nel contesto sopra descritto.

I lineamenti della struttura del sottosuolo sono definiti dalle indagini eseguite in sito e dai dati di bibliografia.

Lo schema tipo delle Unità Idrogeologiche, dall'alto al basso nel sito di studio, si può sintetizzare:

Copertura di riporto - strato dello spessore medio di 0.50 m costituito da materiale di riporto compreso asfalto e/o terreno vegetale;

Livello impermeabile - strato argilloso e limo argilloso che raggiunge la profondità di variabile da - 9 a - 14 m. dal p.c.

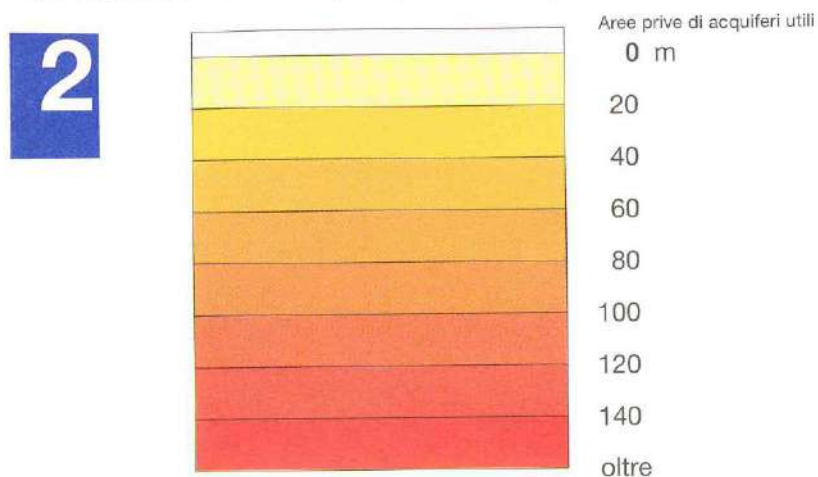
Acquifero dalla quota di - 9/14.00 m sabbie da medie a grosse ricche in acqua (con probabili intercalazioni argillose) sede dell'acquifero locale da cui attingono i pozzi della zona (**k >1 x 10⁻⁴ m/s**)

Livello impermeabile strati argillosi a circa - 40/50 metri.

Il substrato impermeabile nel sito di studio si trova sui 80/120 metri.

Dall'analisi delle Carta dello spessore cumulativo dell'acquifero e della base del livello basale redatta dalla Regione Emilia Romagna Riserve Idriche Sotterranee, lo spessore cumulativo dell'acquifero A è da 20 a 40 metri e il livello basale si posiziona sui 120/150 metri.

Spessore cumulativo (in m) dei livelli porosi-permeabili



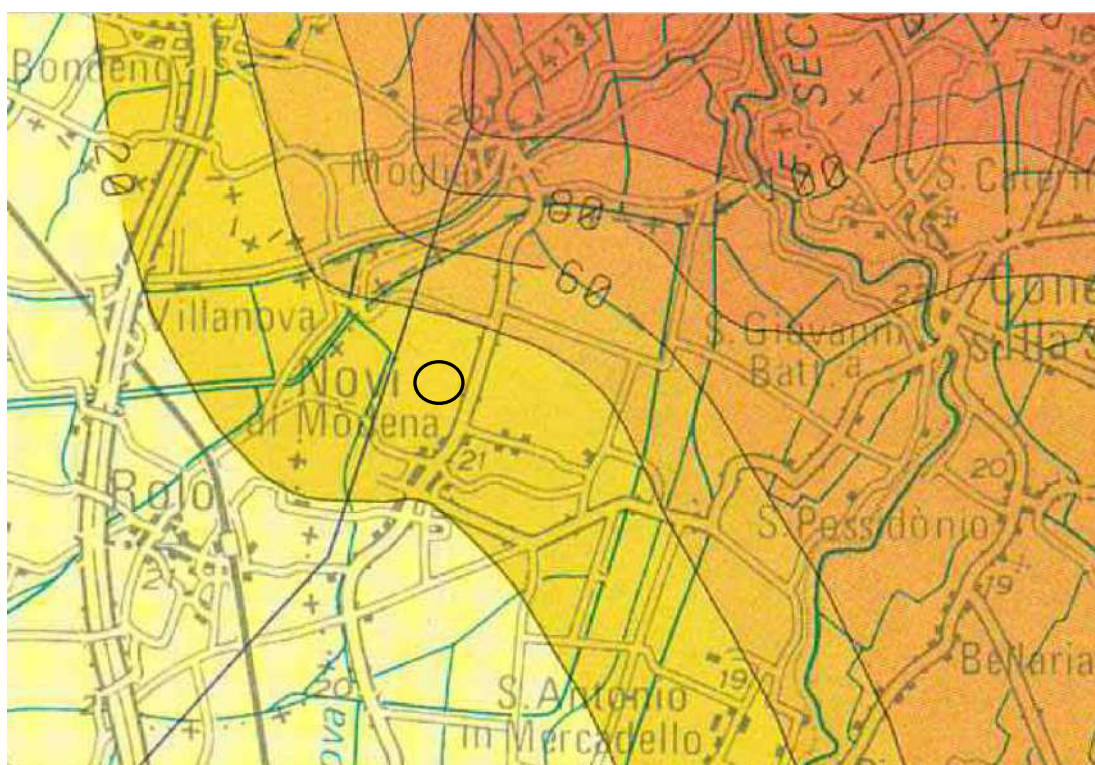
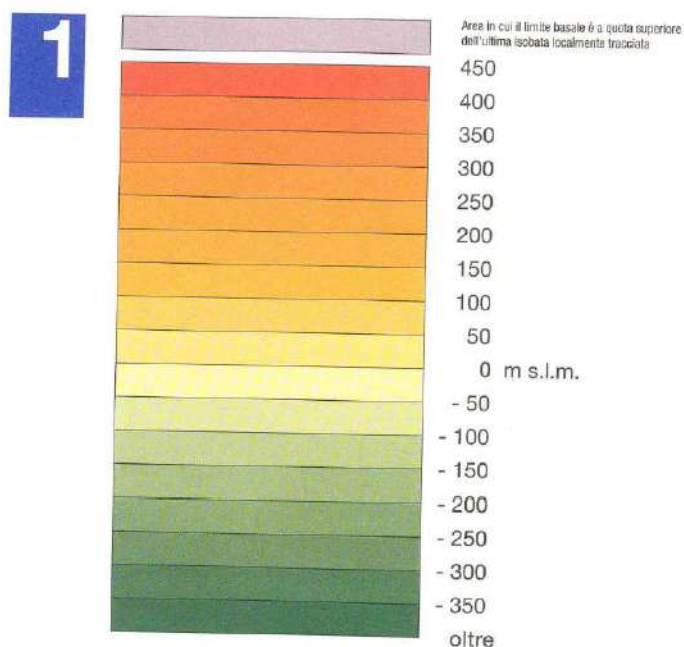


Fig.10. Stralcio Carta Spessore Cumulativo dell'Acquifero A da Risorse Idriche della Regione Emilia Romagna



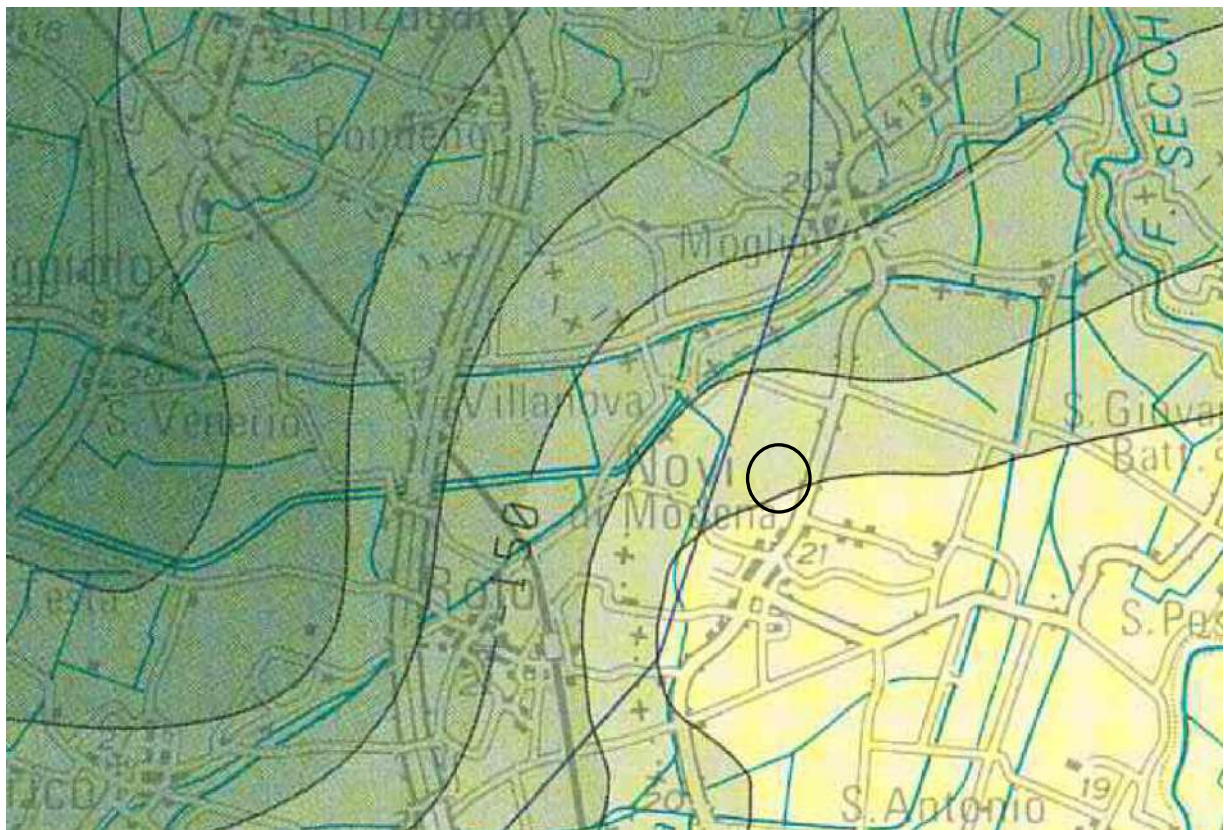


Fig.11. Stralcio Carta Livello basale dell'Acquifero A da Risorse Idriche della Regione Emilia Romagna

A livello locale, quindi il primo acquifero captabile di natura sabbiosa si riscontra a partire da una profondità variabile da - 9.00 a - 14.00 m .

L'acquifero fa parte del Complesso Acquifero A1 è sede della prima falda sotterranea confinata al tetto da litologie argillose impermeabili, con valori di soggiacenza prossimi al piano campagna in quanto in pressione.

Nei sedimenti più superficiali di natura argillosa e limosa si ha una circolazione idrica lenta e poco significativa causa della bassa permeabilità dei depositi ospitanti (complesso Acquifero denominato A0) .

Tale orizzonte freatico assume caratteristiche di acquitardo e non di acquifero ed è prevalentemente alimentato dalle infiltrazioni meteoriche dalla superficie che risultano massime nelle zone agricole e minime nelle aree urbanizzate dove sono presenti coperture impermeabili.

3.1.2 Andamento piezometrico

L'andamento generale delle acque sotterranee, da studi di bibliografia sulle acque sotterranee della bassa pianura modenese e riferite al primo sistema acquifero principale confinato (corpo acquifero A1) è mediamente verso Est o Est-Nord-Est, con gradiente idraulico molto basso tipico di questa zona di bassa pianura.

La circolazione idrica entro il sistema di saturazione superficiale si differenzia nettamente dall'acquifero di sfruttamento in quanto trattasi di un livello idrico sospeso, con circolazione molto lenta a causa della bassa permeabilità dei depositi argillosi e limosi.

L'alimentazione del freatico è legata prevalentemente alle infiltrazioni meteoriche dalla superficie, queste risultano massime nelle zone agricole e minime nelle aree urbanizzate, come nell'area di studio, dove sono presenti coperture impermeabili.

L'alimentazione dai fiumi risulta trascurabile per la distanza del sito da forme fluviali attive: il fiume Secchia passa a circa 6.00 Km est del sito mentre il canale consortile Fossa Raso a 1.0 Km a Ovest.

La direzione del deflusso sotterraneo del freatico si diversifica in funzione della ricarica stagionale.

Il livello dell'orizzonte freatico è stato misurato in foro, durante l'esecuzione delle prove penetrometriche in data 12/06/2025 e 17/06/2025 alla quota di - 1.10 e 0.90 metri dal p.c.

Si è eseguito inoltre, un rilievo del livello freatico misurato nel foro di diverse prove penetrometriche eseguite in zone limitrofe al punto di interesse e in diversi periodi dell'anno, che mostra una oscillazione stagionale del freatico da - 0.90 metri misurato nel Giugno 2025 a - 4.30 m dal p.c. misurato nel Febbraio 2019.

La soggiacenza della frangia freatica, inoltre è stata misurata in piezometri presenti in sito in data 20/09/2024 in un periodo particolarmente ricco in precipitazioni e si posiziona alla quota variabile da -2.50m a - 1.40m dal p.c.

I piezometri, sono alla profondità di - 9.50 metri e - 8.00 metri dal p.c. e indagano l'acquifero superficiale.

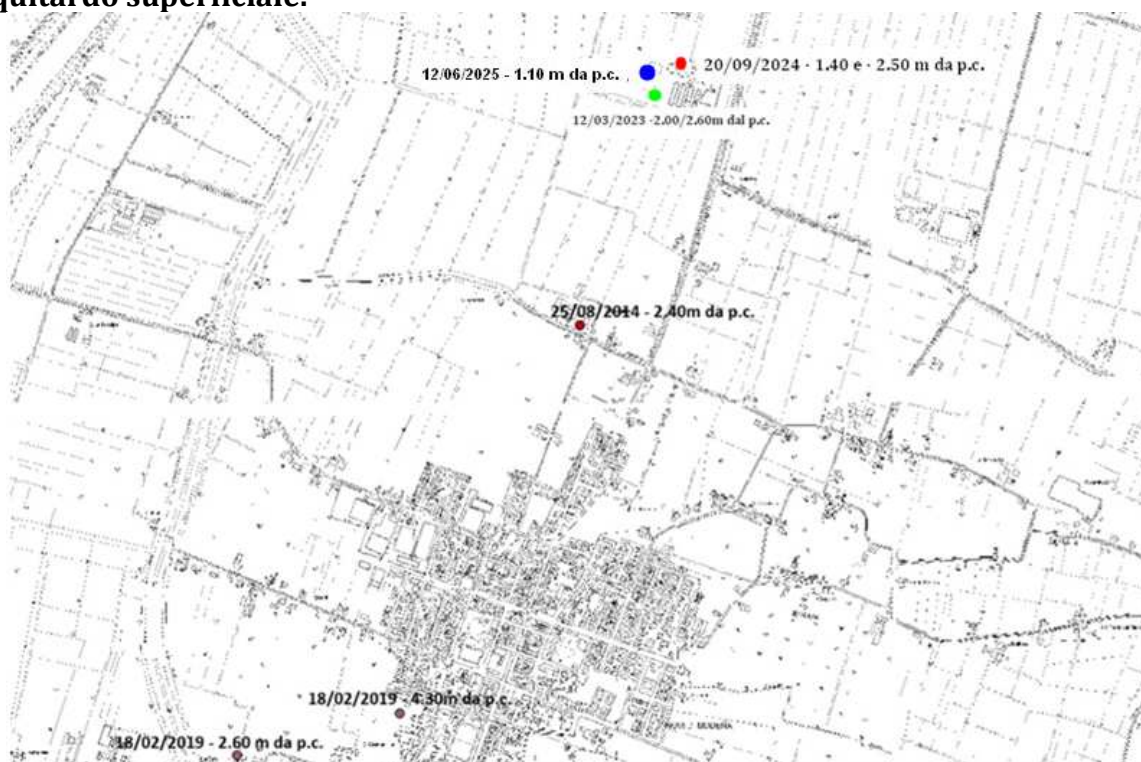
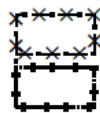


Fig.12. Rilievi del livello di falda freatica eseguite dalla scrivente

Nella Carta della Soggiacenza della falda ipodermica redatta per il quadro conoscitivo del recente PUG dell'Unione Terre D'argine il sito di studio si trova ubicato in un'area a soggiacenza media da 121-140cm.

Legenda



Confine Unione

Confine Comune

Falda Ipodermica



Soggiacenza media 100-120 cm



Soggiacenza media 121-140 cm



Soggiacenza media 141-160 cm



Soggiacenza media 161-180 cm



Soggiacenza media 181-200 cm



Soggiacenza media 201-250 cm



Soggiacenza media 250-300 cm

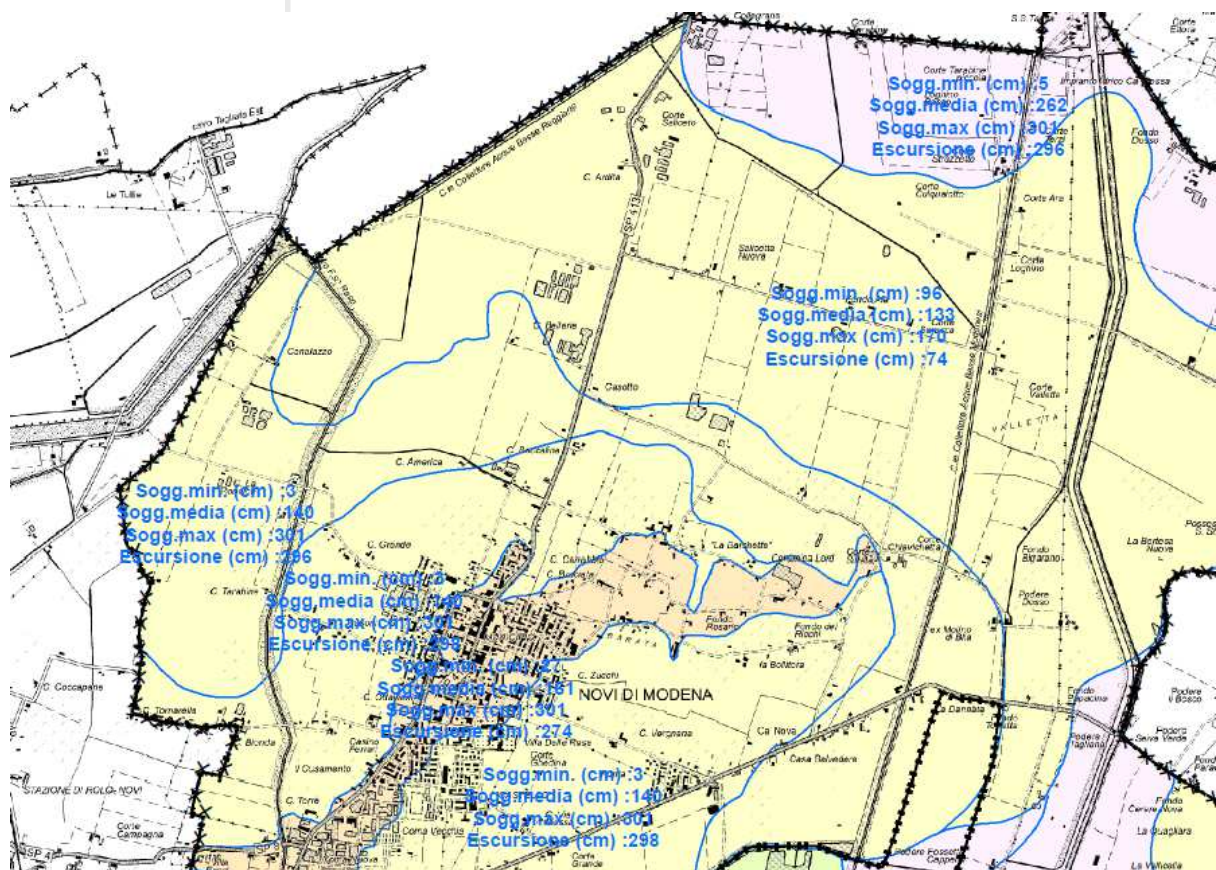


Fig.13. Stralcio "Carta della Soggiacenza della falda ipodermica" redatta per il quadro conoscitivo del recente PUG dell'Unione Terre D'argine

3.1.3 Misura della permeabilità in sito con punta piezometrica

Al fine di indagare la permeabilità del primo substrato di terreno per definirne la permeabilità si sono eseguite in sito n. 3 prove di dissipazione delle pressioni interstiziali in corrispondenza del punto di ubicazione della prova CPTU, dove verrà realizzata una vasca di laminazione ai fini del principio di invarianza idraulica.

Studi ed esperienze condotti utilizzando la punta piezometrica (C.P.T.U.) permettono di determinare in sito il coefficiente di permeabilità orizzontale K ; il metodo consiste nell'infissione nel terreno di un filtro in metallo poroso che, a mezzo di trasduttori elettronici di pressioni neutrali a strain-gauge, misura nel tempo l'andamento delle sovrappressioni neutre generate dal contatto con il terreno.

La permeabilità orizzontale del terreno è valutabile con una relazione del tipo :

$$K_h = M_v \times Y_w \times C_h$$

cioè dal prodotto del coefficiente di compressibilità del volume M_v , per il peso unitario dell'acqua Y_w , per il coefficiente di consolidazione orizzontale C_h .

Secondo Mitchell (1978), il modulo di deformazione edometrica nei terreni coesivi può essere espresso con la relazione:

$$1/M_v = E = \alpha Q_c \quad \text{con } \alpha = 7$$

dove Q_c è la resistenza unitaria di punta del penetrometro statico alla quota considerata.

La determinazione di $C_h(OC)$ costituisce la parte originale della prova di dissipazione C.P.T.U., eseguita con penetrometro dotato di piezocono, sviluppata contemporaneamente da Torstensson (1975) e da Wissa (1975).

Il coefficiente di consolidazione si ottiene con la relazione del tipo :

$$C_h = T/t \times R^2$$

dove T è un fattore di tempo corrispondente al grado di consolidazione considerato, ricavabile da diagrammi standard di riferimento, t è il tempo necessario per produrre la consolidazione considerata, che si ottiene dal grafico relativo alla prova di dissipazione ed R è il raggio del penetrometro.

Gli schemi grafici delle prove di dissipazione eseguite nei terreni coesivi, alla quota di - 1.25 metri a - 2.50 m a - 3.50 m. dal p.c. nello strato di terreno dove verrà realizzata la vasca di laminazione hanno dato i seguenti risultati

RELAX TEST n. 1

$K_{(-1.25\text{m dal p.c.})} = 3.69 \times 10^{-7} \text{ cm/s.}$

Si tratta di terreni classificati a BASSA PERMEABILITA'

RELAX TEST n. 2

$K_{(-2.50\text{m da p.c.})} = 8.14 \times 10^{-7} \text{ cm/s.}$

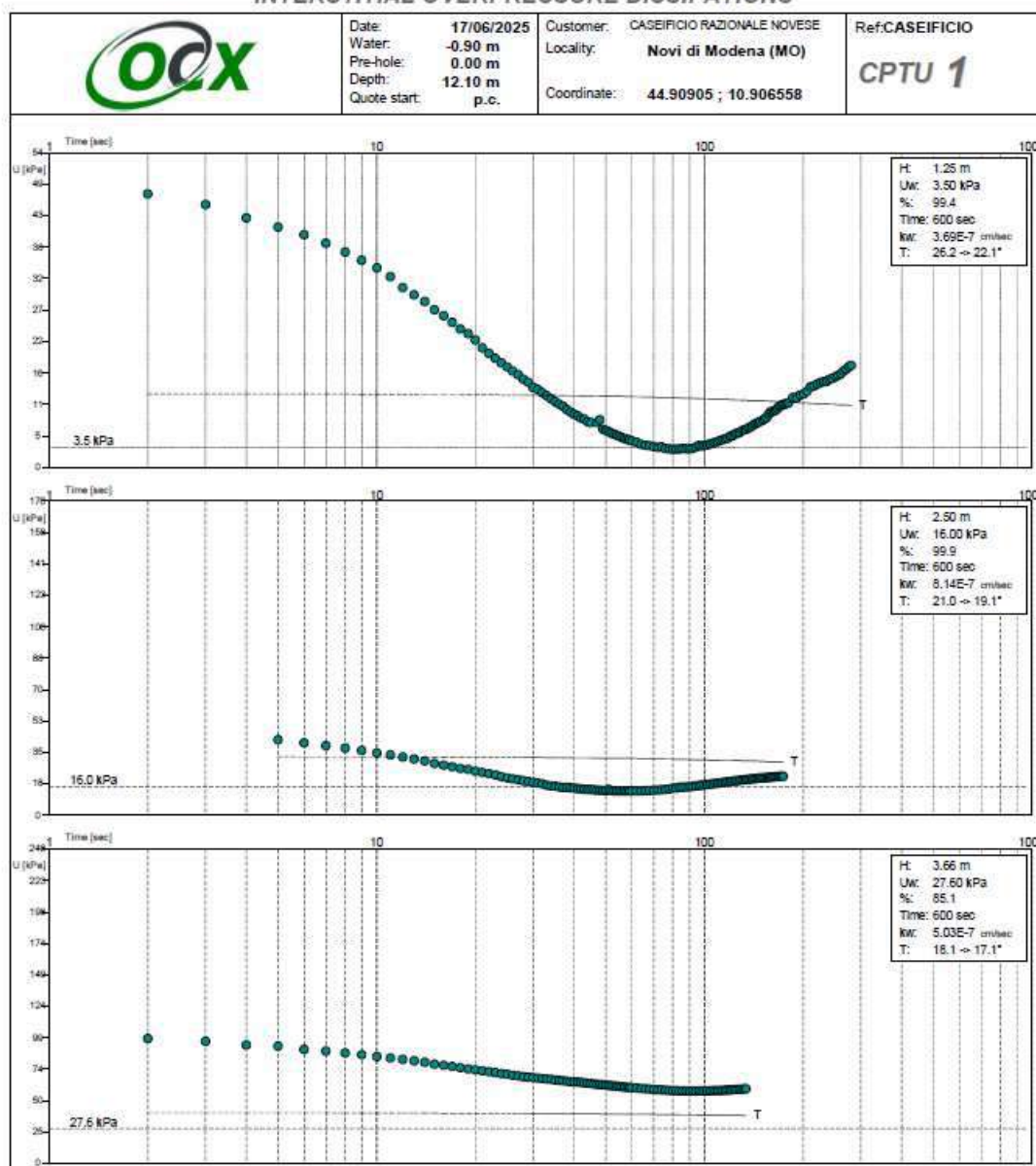
Si tratta di terreni classificati a BASSA PERMEABILITA'

RELAX TEST n. 3

$K_{(-3.66\text{m da p.c.})} = 5.03 \times 10^{-7} \text{ cm/s.}$

Si tratta di terreni classificati a BASSA PERMEABILITA'

INTERSTITIAL OVERPRESSURE DISSIPATIONS



Il valore di permeabilità calcolato è tipico di terreni a bassa permeabilità. Terreni con queste caratteristiche di permeabilità rendono l'infiltrazione dell'acqua meteorica molto lenta

Tabella 1. Permeabilità dei terreni.

k (cm/s)	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸
k (m/s)	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta	Bassa	BB	Impermeabile				
Tipi di terreno	Ghiaie pulite		Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie		Sabbie fini	Miscele di sabbie e limi		Limi argillosi e argille limose, fanghi argillosi		Argille omogenee compatte	

4.CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA

4.1 CARATTERISTICHE TECNICHE DI INDAGINE

Al fine della caratterizzazione geotecnica e litostratigrafica del volume significativo del terreno sottostante la fondazione, considerando il tipo e le dimensioni dell'opera di progetto si sono realizzate n. 3 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT spinte a -30 m dal piano campagna, e una prova CPTU con punta elettrica e piezocono spinta a 20 metri dal p.c.

La prova penetrometrica statica meccanica è stata realizzata con un penetrometro statico su cingolato, dotato di punta meccanica "jacket friction cone" in cui l'avanzamento automatico è regolato da centraline elettroniche.

La prova penetrometrica statica consiste nell'infiggere a pressione nel terreno una punta conica misurando separatamente ma con continuità lo sforzo necessario per la penetrazione della punta e l'adesione terreno-acciaio di un manicotto posto al di sopra della punta.

L'infissione avviene tramite un pistone idraulico che spinge la batteria di aste su cui è montata la punta a velocità costante di 2 cm/s con una tolleranza di ± 5 mm/s, l'avanzamento è automatico e regolato da centraline elettroniche.

Il penetrometro meccanico possiede il manicotto di attrito che si muove indipendentemente dalla punta secondo il metodo Begemann.

Lo sforzo per l'infissione della punta è misurato mediante manometri collegati al martinetto che esercita la spinta. L'acquisizione dati viene rilevata da manometri meccanici a bagno d'olio con sensibilità minima pari a 0.1 Bar.

Le caratteristiche del penetrometro statico olandese tipo Gouda sono:

- punta conica meccanica $\phi = 35.7$ mm - angolo di apertura $\alpha = 60^\circ$ - area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- manicotto laterale di attrito tipo "Begemann" $\phi = 35.7$ mm. - h = 133 mm. - sup.lat. $A_m = 150 \text{ cm}^2$
- le aste sono doppie: una cava $\phi = 36$ mm. e una, il cui diametro è tale da essere contenuta all'interno delle aste cave.

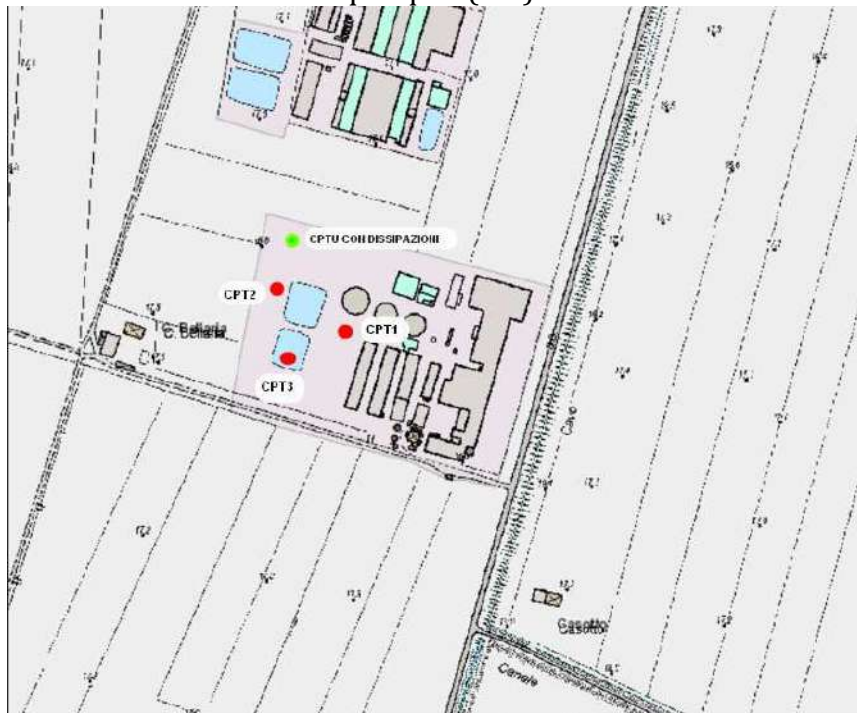
La prova penetrometrica statica elettrica CPTU è stata realizzata con PUNTA ELETTRICA CPTU con piezocono "Envi Memocone" con inclinometro per la determinazione in continuo delle caratteristiche litologiche e idrauliche dei terreni. Infissione tramite pistone idraulico a velocità costante di 2 cm/sec, tolleranza di 3.5 .

Le caratteristiche tecniche del piezocono "Envi Memocone" utilizzato sono:

PIEZOCONO	
Area di punta	: 10.0 cm ²
Diametro	: 35.7 mm
Area netta	: 6.6 cm ²
Superficie manicotto	: 150.0 cm ²
Lunghezza manicotto	: 133.7 mm
Area superiore manicotto	: 2.22 cm ²
Area inferiore manicotto	: 3.31 cm ²
Lunghezza totale punta elettrica	: 600.0 mm
Peso complessivo	: 3 kg
RACCORDO PIEZOCONO -ASTE	
Diametro	: 35.7 mm
Lunghezza	: 250.0 mm
Caratteristiche elettriche	
Sensori di Resistenza alla punta (Rp)	
Sensori	: 8 estensimetri da 350 ohm a ponte completo con bilanciamento di zero
Fondo Scala	: 500 Kg
Risoluzione	: 0.1 Kg/cm ²
Precisione	: < ± 1% F.S.
Valore minimo misurabile	: -13 kg/cm ²
Deriva termica di zero	: < 0.05% F.S./°C
Sensori di Cella Resistenza laterale (Rl)	
Sensori	: 8 estensimetri da 350 ohm a ponte completo con bilanciamento di zero
F.S.	: 5 Kg
Risoluzione	: 0.01 kg/cm ²
Precisione	: < ± 2% F.S.
Valore minimo misurabile	: -0.55 kg/cm ²
Deriva termica di zero	: < 0.05% F.S./°C
Influenza di Rp su Rl	: > 1.5% F.S. di Rl
Sensori di Pressione neutrale (Pn)	
Sensore	: Trasduttore di pressione piezoresistivo
F.S.	: 20 bar

$$a = A_N(6.6 \text{ cm}^2) / A_T(10 \text{ cm}^2) = 0.66$$

$$q_{ct} = q_c + u(1-a)$$



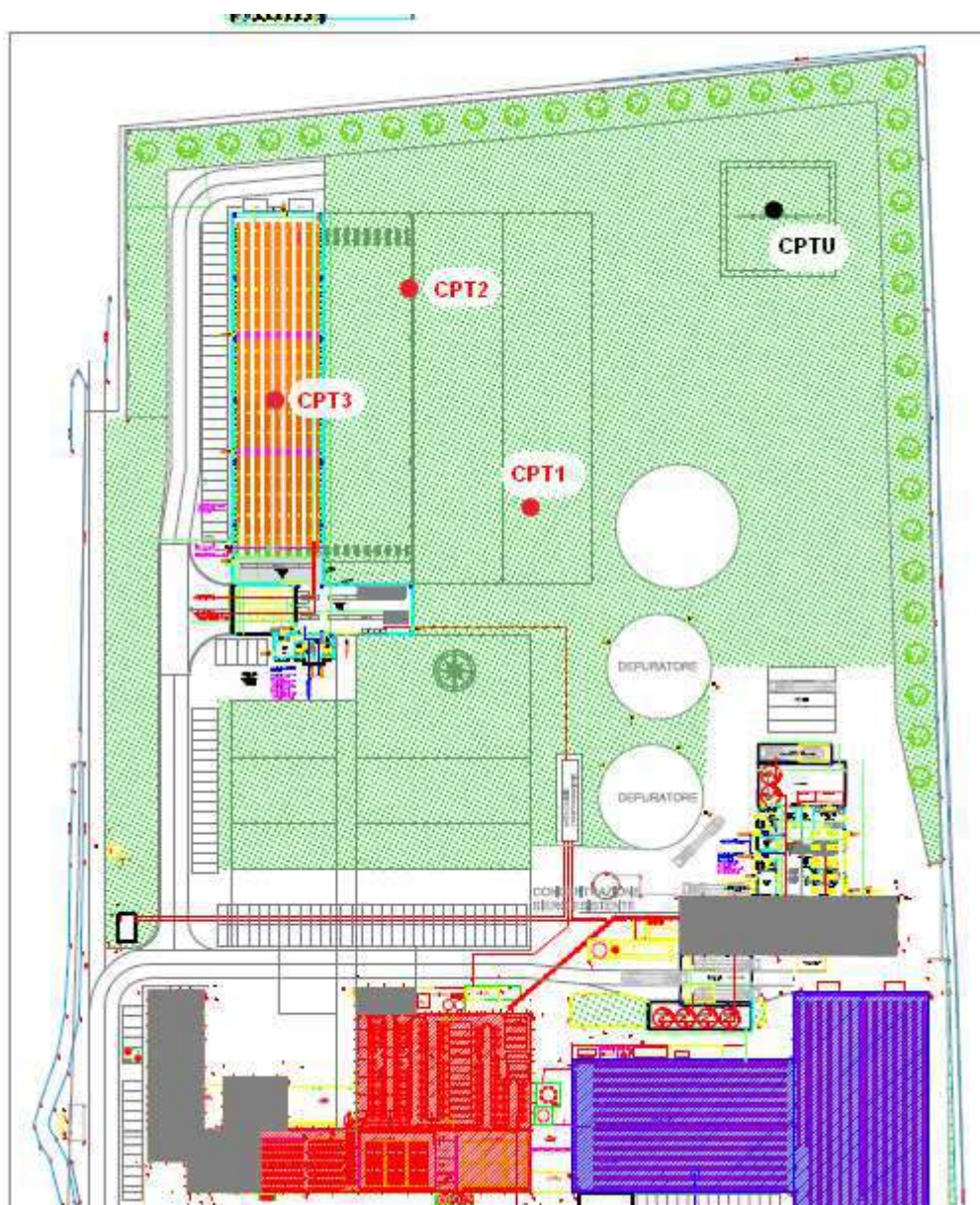


Fig.14. : Ubicazione prove penetrometriche statiche eseguite in sito.



Fig.15. : Penetrometro statico sui punti di prova.

Durante l'esecuzione delle prove MECCANICHE CPT ogni 20 cm vengono lette nei manometri, la resistenza all'avanzamento della sola punta L.punta, la resistenza dell'avanzamento della punta e del manicotto L.laterale e la resistenza totale all'avanzamento delle sole aste cave.

Nei diagrammi vengono rappresentati:

- la resistenza alla punta q_c in MPa
- la resistenza laterale locale f_s in MPa
- la linea a destra rappresenta il rapporto q_c/f_s (numero puro).

Nei digrammi della prova CPTU sono graficati i seguenti valori:

- il primo riquadro rappresenta la resistenza alla punta q_c (tip resistance), espressa in MPa.
- il secondo diagramma rappresenta la resistenza d'attrito laterale f_s , espressa in kPa,
- la terza strisciata rappresentano l'andamento della pressione interstiziale u (pore pressure), espressa in kPa,
- la quarta rappresenta il valore della temperatura del terreno espressa in gradi Celsius $^{\circ}C$
- la quinta strisciata rappresenta l'interpretazione litologica secondo la carta normalizzata del comportamento dei vari tipi di terreno (SBTn - Soil Behaviour Type normalized)
- la sesta rappresenta il rapporto q_c/f_s numero puro

4.2 INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

La natura litologica dei terreni, oggetto delle prove penetrometriche, è dedotta dall'analisi dei diagrammi penetrometrici mediante "Guide for estimating soil type from dutch friction-cone ratio" (after Schmertmann, 1969), Raccomandazioni A.G.I. 1977.

Per l'interpretazione della prova CPTU si è considerata la carta normalizzata del comportamento dei vari tipi di terreno (SBTn - Soil Behaviour Type normalized) di P.K. Robertson (2009), carta basata sulla resistenza alla penetrazione della punta del cono, normalizzata (Q_t) e sul rapporto d'attrito normalizzato (Fr).

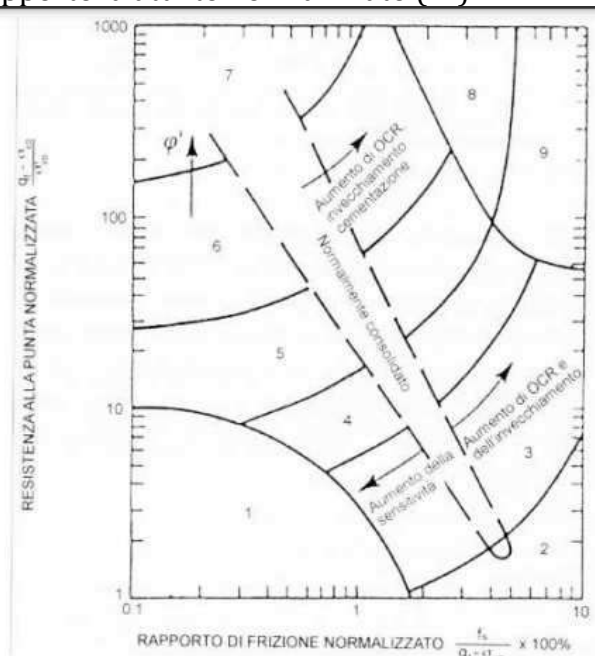


Fig.16. : Carta SBTn di Robertson per la classificazione dei terreni con prove CPT da penetrometro elettrico : 1) terreno sensitivo a grana fine 2) terreno organico, torba 3) Argille. Da argille ad argille limose 4) Limi. Da limi argillosi ad argille limose 5) Sabbie. Da sabbie limose a limi sabbiosi 6) Sabbie. Da sabbie pulite a sabbie limose 7) Da sabbie ghiaiose a sabbie 8) Da sabbie molto dense a sabbie argillose fortemente sovraconsolidate o cementate 9) Materiali fini granulari molto duri, fortemente sovraconsolidati o cementati

La carta SBT proposta da Robertson nel 1990, è predittiva del comportamento meccanico dei terreni e non fornisce direttamente una classificazione del terreno in base alla granulometria ed alla plasticità come per esempio la classificazione USCS (ASTM 2006).

Fortunatamente, la granulometria e la plasticità dei terreni, sono spesso correlabili ragionevolmente bene con il comportamento in situ dei terreni e, quindi, c'è spesso una buona corrispondenza tra la classificazione USCS e quella ottenuta con correlazioni basate sui dati forniti dalle prove CPT interpretati mediante la carta SBT proposta da Robertson.

Robertson (1990) propose di utilizzare i parametri normalizzati e adimensionali Q_{t1} , Fr e B_q , le cui equazioni (1), (2) e (3) per la loro determinazione, sono di seguito riportate ed in cui σ'_{vo} è la tensione efficace verticale in sito, u_0 è la pressione di equilibrio in sito dell'acqua e Δu è l'eccesso di pressione neutra durante la penetrazione.

$$Q_{t1} = (q_t - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo} \quad (1)$$

$$Fr = [f_s / (q_t - \sigma_{vo})] 100\% \quad (2)$$

$$B_q = (u_2 - u_0) / (q_t - \sigma_{vo}) = \Delta u / (q_t - \sigma_{vo}) \quad (3)$$

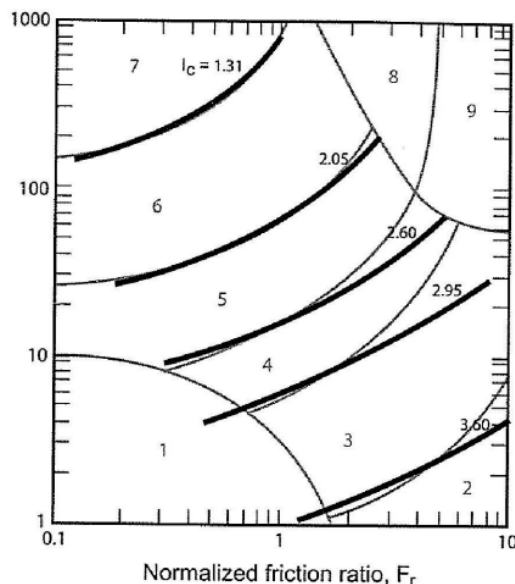
Il termine Q_{t1} (resistenza di punta normalizzata adimensionale) è usato per definire la resistenza di punta corretta, q_t è la resistenza alla punta totale; Fr rappresenta il rapporto di attrito normalizzato adimensionale, mentre B_q rappresenta il rapporto delle pressioni interstiziali. Tali parametri sono utilizzati da Robertson per la stesura di due carte, nella prima delle quali si correlano fra loro i valori di $Q_{t1} - Fr$, e nella seconda si mettono in relazione i valori di Q_{t1} e B_q .

Jefferies and Davies (1993) hanno rilevato che l'indice di comportamento dei terreni I_c , rappresenta, sulla carta $Q_{t1} - Fr$ (SBTn), delle aree che sono sostanzialmente dei cerchi concentrici che definiscono i contorni di vari tipi di terreno.

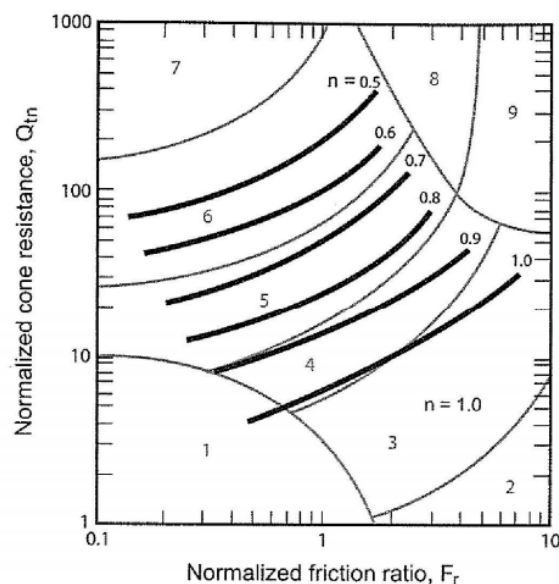
Robertson e Wride (1998) modificarono la definizione di I_c per applicarlo alla carta di Robertson (1990) tramite la relazione

$$I_c = [(3.47 - \log Q_{t1})^2 + (\log Fr + 1.22)^2]^{0.5}$$

Il grafico del parametro I_c è rappresentato in fig. 12 e 13 e il contorno di I_c può essere usato per approssimare i confini già determinati nella carta SBTn. Inoltre Jefferies e Davis (1993) suggerirono che l'indice I_c può essere usato per modificare le correlazioni empiriche che variano con il tipo di terreno.



Contorni dell'indice di comportamento sulla carta $Q_{tn} - Fr$ SBTn (Zone SBT basate su Robertson (1990)).



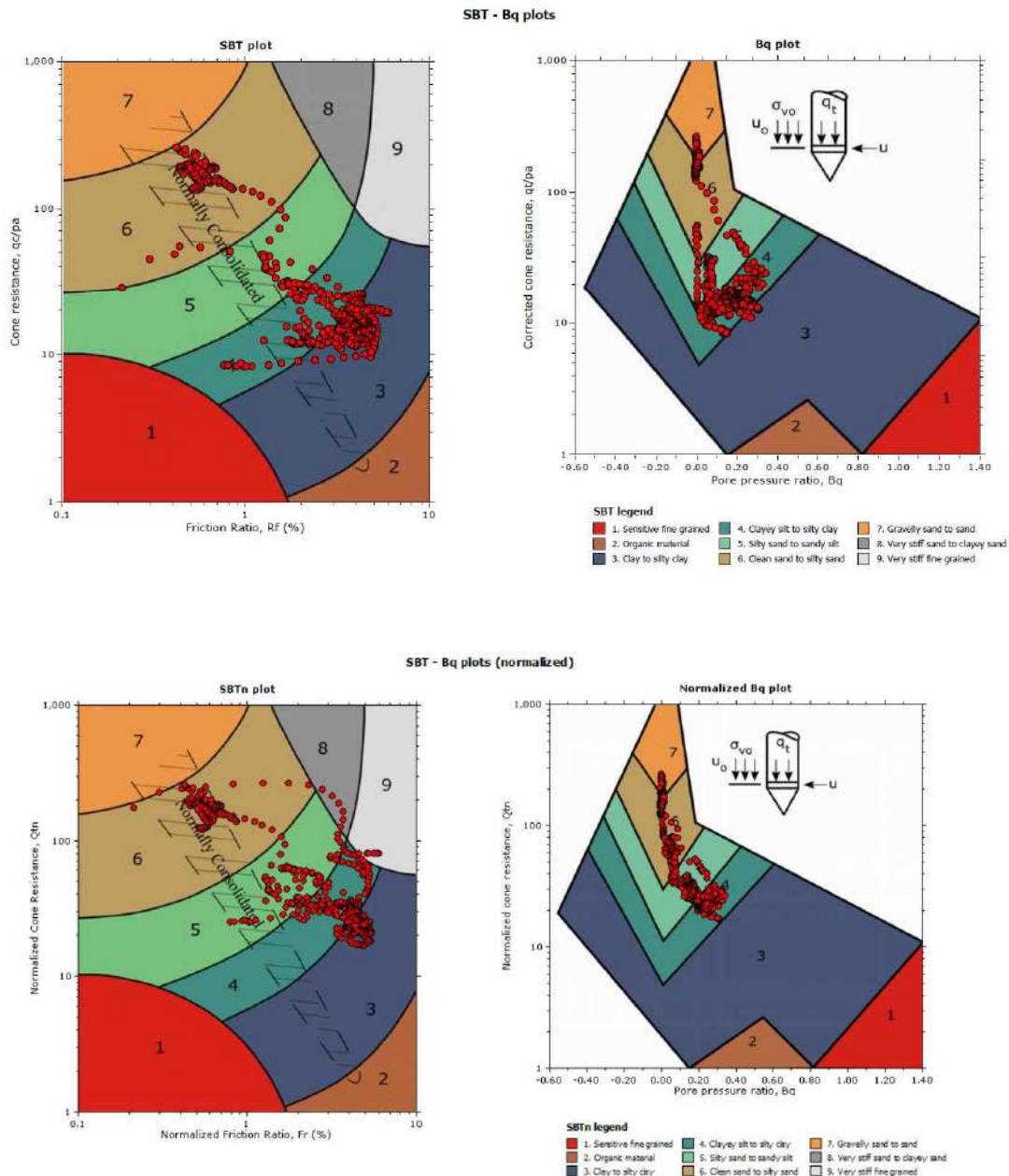
Contorni dell'esponente di sforzo n terreno I_c (per $\sigma'_{vo}/p_a = 1.0$) sulla carta $Q_{tn} - Fr$ SBTn normalizzata.

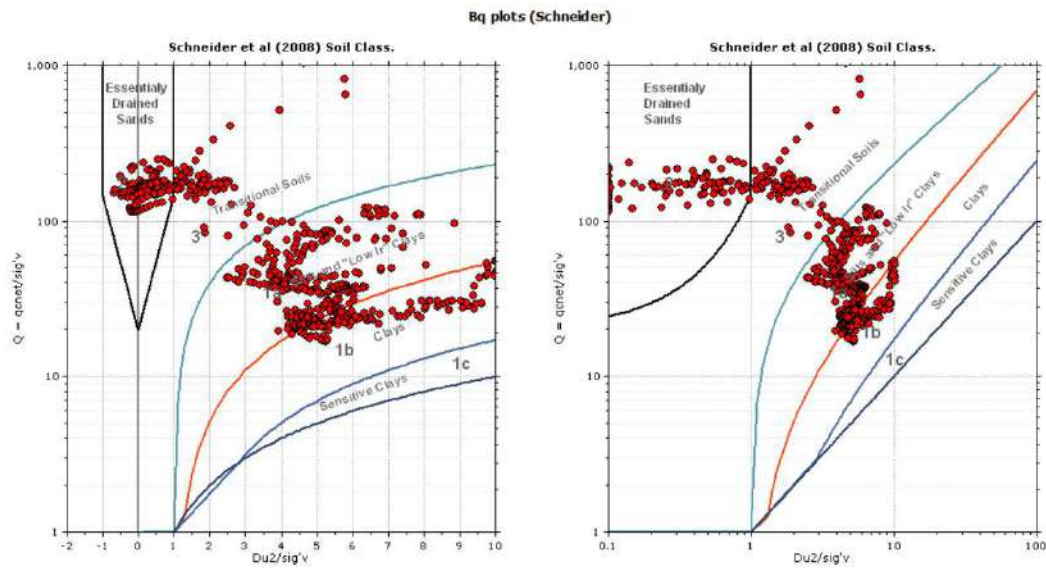
Robertson e Campanella (1983) discussero come la resistenza alla punta è influenzata dal

terreno davanti e dietro la punta stessa e confermarono che il terreno che si trova compreso tra circa 15 diametri prima e circa 15 diametri dietro alla punta durante la penetrazione può influenzare la resistenza di punta.

E' possibile identificare le zone di transizione utilizzando il rapporto di cambiamento I_c . Robertson e Wride (1998) il valore di questo parametro per la transizione tra sabbie ed argille è di circa $I_c = 2,60$. Quindi quando il valore di I_c varia rapidamente ed assume valori intorno a 2.60, siamo in presenza di una zona di transizione tra sabbia e argilla e/o viceversa. I Profili di I_c possono fornire un utile mezzo per identificare e rimuovere queste zone di transizione.

Si riporta di seguito la carta non normalizzata e normalizzata del comportamento dei vari tipi terreno (SBTn - Soil Behaviour Type normalized) per la prova CPTU.





La sequenza stratigrafica riscontrata si presenta moderatamente omogenea nei i 4 punti di prova:

- Al di sotto di terreno o riporto, dello spessore di 0.80 m., si evidenziano limi argillosi poco compatti;
- Da - 3 m a - 5 m si trovano argille limose da poco compatte a soffici.
- Da - 5 a 8.40 m si trovano argille debolmente limose compatte;
- Da -8.40 a - 8.60/14.80 m si sabbie limose e limi sabbiosi sciolti;
- Da - 8.60/14.80 a - 26.0 m si evidenziano sabbie addensate con strati debolmente meno addensati;
- Da -26.0 a - 30.0 m si trovano sabbie addensate.

Di seguito si riporta lo schema della sequenza stratigrafica dedotta dalle prove.

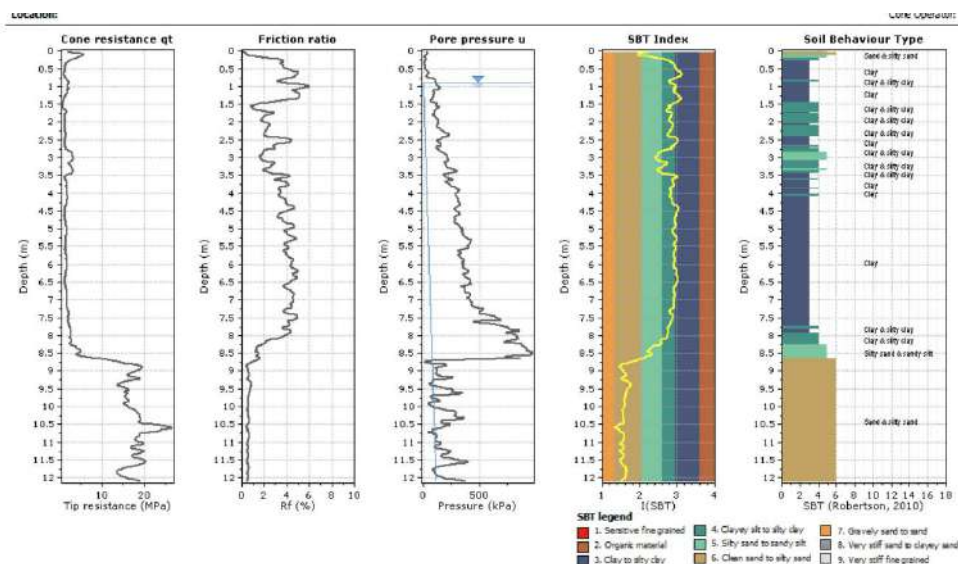
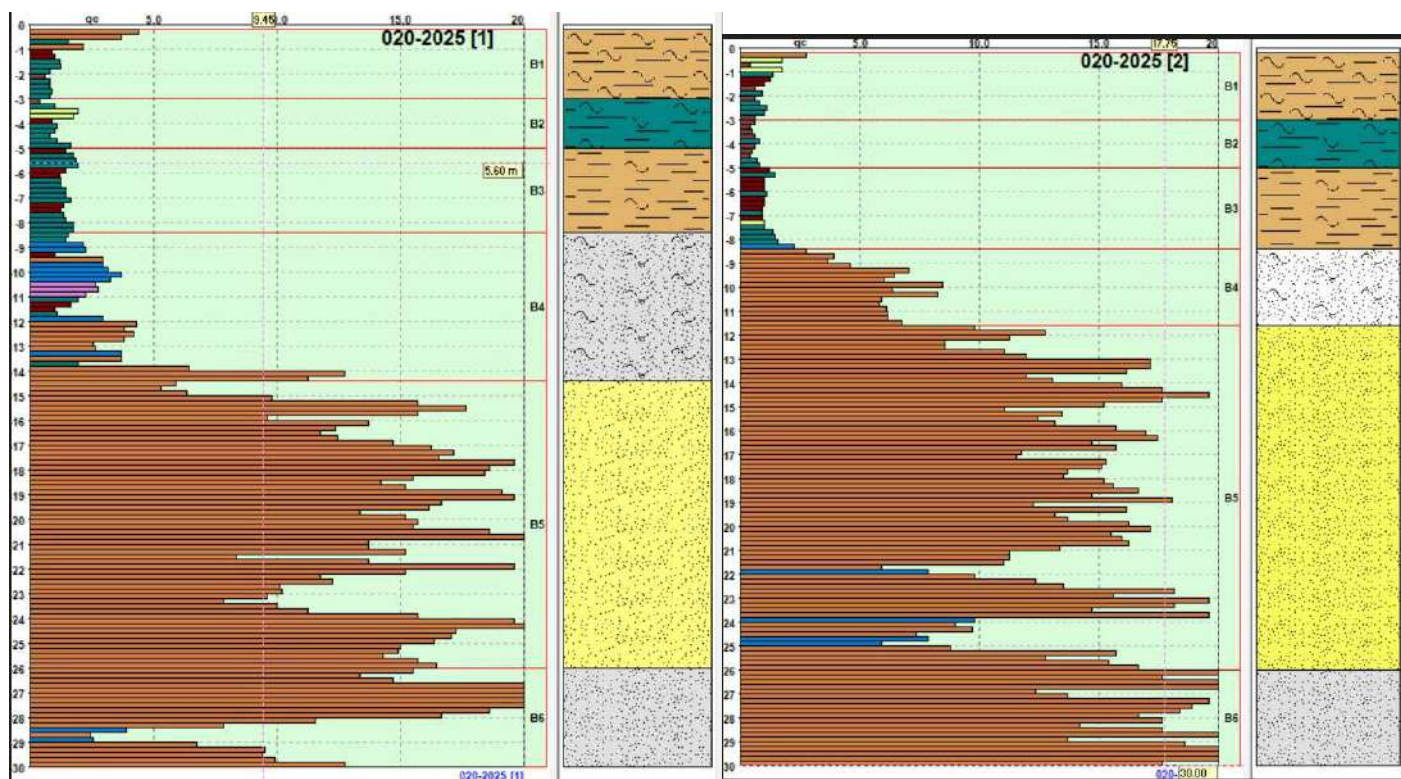
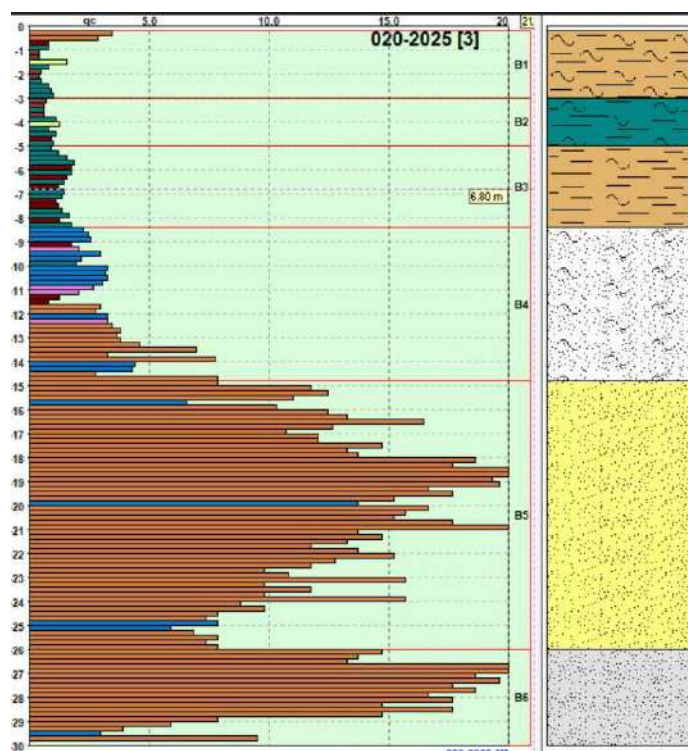


Fig.17. Schema sequenza stratigrafica CPTU



CPT 1

CPT2



CPT3

Fig.18. Schema sequenza stratigrafica CPT 1-2-3

La stratigrafia di dettaglio è riportata nei report prova CPTU nelle trasformazioni litostratigrafiche e nei valori dei parametri geotecnici allegati alla relazione.

4.3 PARAMETRI GEOTECNICI MEDI E CARATTERISTICI DI CIASCUNA UNITA' GEOTECNICA INDIVIDUATA

Il cap. 6.2.2. del DM 17 Gennaio 2018 detta: " ...per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti il regime delle pressioni interstiziali e i valori caratteristici dei parametri geotecnici. Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito"

Per quanto attiene ai parametri geotecnici caratteristici, le resistenze dei terreni vengono scelte secondo una stima cautelativa del valore medio delle stesse.

Stima cautelativa perché la variabile può essere rappresentata da più parametri ma la trattazione deve necessariamente riguardare tutti i possibili valori della variabile, e non solo il valore atteso (media); deve cioè tener conto di tutta la distribuzione della variabile.

La variabile aleatoria da prendere in considerazione **negli strati coesivi** studiati, per il tipo di indagini geognostiche svolte direttamente in sito, è il **parametro geotecnico caratteristico cu**; la variabile aleatoria da prendere in considerazione **negli strati sciolti** studiati, per il tipo di indagini geognostiche svolte direttamente in sito, è il **parametro geotecnico caratteristico ϕ** .

Il valore caratteristico scelto è pari al 5° percentile della media della distribuzione lognormale del parametro geotecnico (cu) per gli strati coesivi, è pari invece al 5° percentile della media della distribuzione normale del parametro geotecnico ϕ per gli strati sciolti.

La formula utilizzata per il calcolo del 5° percentile della distribuzione lognormale del parametro geotecnico (cu) è:

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} - \frac{t_{1-\alpha/2}(n-1)}{\sqrt{n}} * \sqrt{S^2 \left(1 + \frac{S^2}{2}\right)}$$

La formula utilizzata per il calcolo del 5° percentile della distribuzione normale del parametro geotecnico (ϕ) è:

$$\mu = t(n-1) \left(\frac{s}{\sqrt{n-1}} \right) + \bar{x}$$

I dati immessi nei calcoli sono i valori di cu e di ϕ , derivati dalle correlazioni dei valori di qc e fs ricavati direttamente dalla prova penetrometrica mediante le correlazioni standard (Raccomandazioni AGI 1977-Ricceri et Altri 1974 – Marsal et al. 1974/1979).

COESIONE NON DRENATA Terreni COESIVI $C_u = R_p/\beta$		
CORRELAZIONI STANDARD - Raccomandazioni A.G.I. 1977 - Ricceri et al. 1974 - Marsland et al. 1974/1979		
- Argille normalmente consolidate N.C. ($q_c \leq 10 \text{ kg/cm}^2$)	$\beta = 25$	(valore standard: 20)
- Argille intermedie ($10 < q_c < 30 \text{ kg/cm}^2$)	$\beta = \text{valore interpolato}$	
- Argille sovra consolidate S.C. ($q_c \geq 30 \text{ kg/cm}^2$)	$\beta = 40$	(valore standard: 30)

Fig.19. Correlazioni per il calcolo di c_u dai valori di q_c e f_s .

I valori immessi nella formula, utilizzata per il calcolo del 5° percentile della distribuzione relativi ai parametri geotecnici di interesse, sono quelli significativi per i singoli strati indagati.

Lo scopo è fornire un valore di c_u e ϕ che caratterizzi lo strato nel suo complesso.

Nei calcoli vengono quindi eliminati, se presenti, i valori di picco di livelli centimetrici non rappresentativi delle caratteristiche litologiche dello strato.

Se si considerano tutti i valori definiti dalla prova penetrometrica, senza fare un'analisi ragionata delle proprietà litologiche dello strato, si rischia di ottenere dei parametri geotecnici che falsano le reali caratteristiche dello strato.

I dati immessi nei calcoli sono i valori di c_u e di ϕ , derivati dalle correlazioni dei valori di q_c e f_s ricavati direttamente dalle prove penetrometriche CPTU, interpretati e "ragionati" dalla scrivente.

Primo strato da 0 m a - 0.8: RIPORTO IN TERRA E MATERIALI VARI

Secondo strato da - 0.80 m a - 3.00 m: LIMI ARGILLOSI POCO COMPATTI: $c_{uk} = 36 \text{ kPa}$;

Terzo strato da - 3.0 m a - 5.0 m: ARGILLE LIMOSE DA POCO COMPATTE A SOFFICI: $c_{uk} = 26 \text{ kPa}$;

Quarto strato da - 5.0 m a - 8.40 m: ARGILLE DEBOLMENTE LIMOSE COMPATTE: $c_{uk} = 57 \text{ kPa}$;

Quinto strato da - 8.40 m a - 8.60/14.80 m: SABBIE LIMOSE E LIMI SABBIOSI SCIOLTI: $\phi_k = 26^\circ$;

Sesto strato da - 11.40/14.80 m a - 26.0 m: SABBIE ADDENSATE CON STRATI DEBOLMENTE MENO ADDENSATI: $\phi_k = 30^\circ$;

Settimo strato: da - 26.0 m a - 30.0 m: SABBIE ADDENSATE: $\phi_k = 31^\circ$.

Sintetizzando, nella tabella di seguito si riportano i parametri in termini di resistenza dei terreni indagati derivati da prove penetrometriche mediante trasformazioni indirette della geotecnica classica in condizioni non drenate e drenate. Si precisa che risulta più corretto definire un intervallo di confidenza (range) dei parametri geotecnici in condizioni drenate anziché fissare un unico valore restrittivo in quanto stimati in base a correlazioni empiriche della geotecnica classica (Schmertmann, 1978; Robertson e Campanella, 1983). Si ritiene quindi più opportuno accompagnare la stima dei parametri geotecnici in condizioni drenate con un intervallo di valori anziché fissarne uno unico.

Profondità dal p.c. (m)	Unità Formazionale	γ'_d (kN/m ³)	γ'_w (KN/m ³)	c'_k (kPa)	ϕ'_k (°)	C_{uk} (kPa)	Dr (%)	Indice Plastico Ip
0.00 - 0.80	RIPORTO IN TERRA E MATERIALI VARI	18	21	/	/	/	/	/
0.80 - 3.0	LIMI ARGILLOSI POCO COMPATTI	16	18	4÷7	14÷16	36	/	32
3.0 - 5.0	ARGILLE LIMOSE DA POCO COMPATTE A SOFFICI	15	17	3÷5	12÷13	26	/	35
5.0 - 8.40	ARGILLE DEBOLMENTE LIMOSE COMPATTE	17	19	8÷10	17÷18	57	/	18
8.40 - 11.40/14.80	SABBIE LIMOSE E LIMI SABBIOSI SCIOLTI	17	19.50	8÷10	25÷27	/	40	0
11.40/14.80 - 26.0	SABBIE ADDENSATE CON STRATI DEBOLMENTE MENO ADDENSATI	18	20	0	29÷30	/	60	0
26- 30.0	SABBIE ADDENSATE	18	20	0	30÷32	0	70	0

Si riportano, inoltre, i parametri geotecnici in termini di deformabilità dedotti da prove di laboratorio eseguite su campioni di terreno paragonabili a quelli indagati e da dati di bibliografia.

Profondità dal p.c. (m)	Unità Formazionale	Coeff.di Poisson (ν)	Modulo elastico E' (kPa)	Modulo Edometrico E_d (kPa)	V_s (m/s)	Modulo di winkler K_w (KN/m ³)
0.00 - 0.80	RIPORTO IN TERRA E MATERIALI VARI	/	/	/	/	/
0.80 - 3.0	LIMI ARGILLOSI POCO COMPATTI	0.45	/	4000÷5000	120	9000
3.0 - 5.0	ARGILLE LIMOSE DA POCO COMPATTE A SOFFICI	0.45	/	2000÷4000	120	8.000
5.0 - 8.40	ARGILLE DEBOLMENTE LIMOSE COMPATTE	0.45	/	7000÷9000	150	23.000
8.40 - 11.40/14.80	SABBIE LIMOSE E LIMI SABBIOSI SCIOLTI	0.38	10000÷15000	/	220	80.000
11.40/14.80 - 26.0	SABBIE ADDENSATE CON STRATI DEBOLMENTE MENO ADDENSATI	0.35	20000÷25000	/	250	/
26- 30.0	SABBIE ADDENSATE	0.35	25000÷30000	/	280	/

Si riportano, inoltre, per i vari livelli stratigrafici definiti, i parametri geotecnici medi, e valori di q_c e f_s delle letture delle prove penetrometriche.

Profondità dal p.c. (m)	Unità Formazionale	Q_c (MPa)	F_s (MPa)	Q_c/f_s	γ'_d (kN/m ³)	γ'_w (kN/m ³)	c'_{medio} (kPa)	ϕ'_{medio} (°)	C_{umedio} (kPa)
0.00 - 0.80	RIPORTO IN TERRA E MATERIALI VARI	/	/	/	18	21	/	/	/
0.80 - 3.0	LIMI ARGILLOSI POCO COMPATTI	1.20	0.05	24	16	18	6.25	18	45
3.0 - 5.0	ARGILLE LIMOSE DA POCO COMPATTE A SOFFICI	0.88	0.073	12.05	15	17	5	15	33
5.0 - 8.40	ARGILLE DEBOLMENTE LIMOSE COMPATTE	1.36	0.083	16.38	17	19	12	21	70
8.40 - 11.40/14.80	SABBIE LIMOSE E LIMI SABBIOSI SCIOLTI	4.00	0.116	34.48	17	19.50	10	31	/
11.40/14.80 - 26.0	SABBIE ADDENSATE CON STRATI DEBOLMENTE MENO ADDENSATI	13.72	0.20	68.60	18	20	/	36	/
26 - 30.0	SABBIE ADDENSATE	16.85	0.26	64.80	18	20	/	38	/

5. ANALISI RESISTENZE DI PROGETTO

Per ogni stato limite ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO), come definiti al § 2.6.1 NTC 2018, deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d \quad [6.2.1]$$

essendo E_d il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione ed R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

In accordo a quanto stabilito al §2.6.1 NTC 2018, la verifica della condizione [6.2.1] 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). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi. Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto. Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti.

Gli approcci progettuali da seguire sono i seguenti:

- Approccio 1:

Combinazione 1 – (A1+M1+R1) - STR

Combinazione 2 – (A2+M2+R2) – GEO

- Approccio 2:

Combinazione – (A1+M1+R3) - STR+GEO

Per quanto riguarda le resistenze, secondo le Nuove Norme Tecniche Sulle Costruzioni (6.2.4.1.2); Il valore di progetto della resistenza R_d può essere determinato:

a) in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;

b) in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;

c) sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

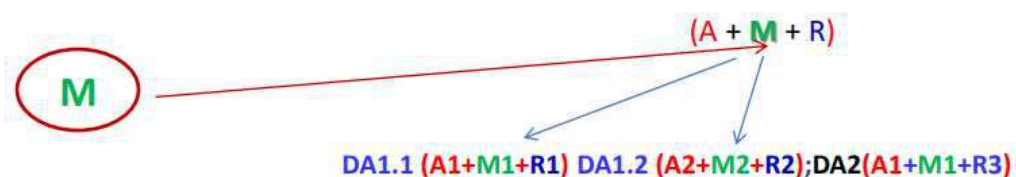


Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_f	1,0	1,0
Resistenza unitaria al taglio	τ_R	γ_{τ_R}	1,0	1,25

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali.

Il valore di progetto della resistenza si ottiene, per il caso (a), applicando al valore caratteristico della resistenza unitaria al taglio τ_R un coefficiente parziale $\gamma_R=1,0$ (M1) e $\gamma_R=1,25$ (M2) oppure procedendo come previsto ai punti b) e c) di cui sopra.

I fattori parziali per il gruppo R1 sono sempre unitari; quelli del gruppo R2 possono essere maggiori o uguali all'unità e, in assenza di indicazioni specifiche per lo stato limite ultimo

considerato, devono essere scelti dal progettista in relazione alle incertezze connesse con i procedimenti adottati.

Il valore di γ_R R3 nel caso di fondazioni superficiali è indicato nella tabella 6.4.I.

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Si è proceduto alla determinazione delle Resistenze con l'ausilio del programma di calcolo "Loadcap 2021 .30.2.1026" della ditta GEOSTRU sas.

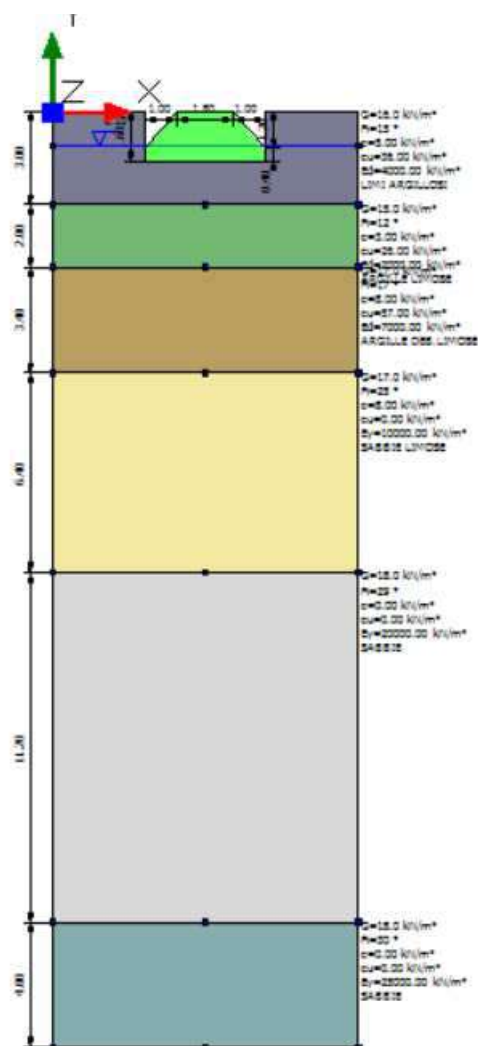
Per la determinazione dei valori teorici delle resistenze di progetto (Rd), come da DM 2018 è stato considerato l'approccio 2 DA2(A1+M1+R3) in **condizioni drenate e non drenate e statiche considerando, una fondazione superficiale a PLINTO impostata a - 1.80 m dal p.c.**

DATI GENERALI FONDAZIONE SUPERFICIALE A PLINTO

Normativa	NTC 2018
Larghezza fondazione	3.8 m
Lunghezza fondazione	3.8 m
Profondità falda	-1.60 m

STRATIGRAFIA TERRENO

N°	DB	Spessore strato (m)	Gk (kN/m²)	Gk Saturo (kN/m²)	Fik (°)	ck (kN/m²)	cuk (kN/m²)	Eyk (kN/m²)	Edk (kN/m²)	Colore	Retini	Descrizione
1		3.00	16.0	18.0	15	5.0	35.0	0.0	4000.0			LIMI ARGILLOSI
2		2.00	15.0	17.0	12	3.0	26.0	0.0	2000.0			ARGILLE LIMOSE
3		3.40	17.0	19.0	17	8.0	57.0	0.0	7000.0			ARGILLE DEB.LIMOSE
4		6.40	17.0	19.5	25	8.0	0.0	10000.0	0.0			SABBIE LIMOSE
5		11.20	18.0	20.0	29	0.0	0.0	20000.0	0.0			SABBIE
6		4.00	18.0	20.0	30	0.0	0.0	25000.0	0.0			SABBIE



Approccio 2: Combinazione - (A1+M1+R3)

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto (kN/m²)	N (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Hx (kN)	Hy (kN)	Tipo
1	A1+M1+R3	0	0	0	0	0	0	Progetto
2	S.L.E.	0	0	0	0	0	0	Servizio
3	S.L.D.	0	0	0	0	0	0	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr.	Correzione Sismica (Nessuna)	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	no	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	no	1	1	1	1	1	1	1
3	no	1	1	1	1	1	1	1

STR+GEO CONDIZIONI DRENATE STATICHE

Carico limite verticale

Nome combinazione	Autore	Carico limite [Qult] (kN/m ²)	Resistenza di progetto [Rd] (kN/m ²)	Tipo rottura	Costante sottofondo (kN/m ³)
A1+M1+R3					
	HANSEN (1970)	220.05	95.67	* Rottura generale; Ir=0.0; Icrit=20.513	8802.09
	TERZAGHI (1955)	211.66	92.02	* Rottura generale; Ir=0.0; Icrit=20.513	8466.28
	MEYERHOF (1963)	208.80	90.78	* Rottura generale; Ir=0.0; Icrit=20.513	8352.12
	VESIC (1975)	233.57	101.55	* Rottura generale; Ir=0.0; Icrit=20.513	9342.80
	Brinch - Hansen 1970	224.35	97.54	* Rottura generale; Ir=0.0; Icrit=20.513	8974.10

STR+GEO CONDIZIONI NON DRENATE STATICHE

Carico limite verticale

Nome combinazione	Autore	Carico limite [Qult] (kN/m ²)	Resistenza di progetto [Rd] (kN/m ²)	Tipo rottura	892
A1+M1+R3					
	Brinch - Hansen 1970	248.65	108.11	Rottura generale; Ir=0.0; Icrit=20.513	9945.92

In sintesi

Combinazione – (A1+M1+R3) - STR+GEO

CONDIZIONI DRENATE A LUNGO TERMINE

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 224.35 kN/m²

Resistenza di progetto [Rd] 97.54 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 8974.10 kN/m³

CONDIZIONI NON DRENATE A BREVE TERMINE

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 248.65 kN/m²

Resistenza di progetto [Rd] 108.11 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 9945.92 kN/m³

6. ANALISI SISMICA RIPORTANTE LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO

6.1 SISMICITA' DEL TERRITORIO

Il 20 Marzo 2003 è stata promulgata l'ordinanza n. 3274 della presidenza del Consiglio dei Ministri "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" che fissa le regole per l'identificazione dei comuni sismici e definisce le norme tecniche costruttive per la progettazione di edifici e per le opere di fondazione.

Nella nuova classificazione tutto il territorio viene suddiviso in 4 zone di cui la n. 1 è la più pericolosa.

Per quanto riguarda la Regione Emilia Romagna la novità consiste in un allargamento della zona 3 ed in un ampliamento della zona 2 entro la quale ricadono alcuni comuni.

Il comune di Novi di Modena e la zona d'indagine ricadono nella zona 3 e vengono definiti a "bassa sismicità".

La classificazione è rimasta tale anche dopo la grossa recente crisi sismica verificatasi la mattina del 20 Maggio 2012 con un terremoto di magnitudo locale pari a 5.9 con epicentro Finale Emilia e la mattina del 29 Maggio con terremoto di magnitudo locale pari a 5.8 ed epicentro fra i Comuni di Medolla e Cavezzo.

6.1.1 Cenni sulla sismotettonica della pianura padana

(Carta della Sismotettonica redatta dalla Regione Emilia Romagna nel Luglio 2016)

Il sottosuolo della Pianura Padana è intensamente deformato da fronti sepolti delle catene a thrust del Sud-Alpino e dell'Appennino Settentrionale.

A sud del fiume Po sono presenti tre archi formati da thrust ciechi nord-vergenti e dalle relative anticlinali, che costituiscono i fronti più esterni della catena appenninica in sollevamento.

Questi sono da ovest verso est: il Monferrato, l'arco delle Pieghe Emiliane e l'arco delle Pieghe Ferraresi-Romagnole.

L'attività recente di alcuni dei thrust appartenenti a questi fronti è dimostrata dalla sismicità storica e strumentale dei depositi Quaternari deformati, osservazione ottenuta dall'analisi delle linee sismiche e, in superficie, dalla correlazione con evidenti anomalie del drenaggio.

Dal punto di vista tettonico e stratigrafico la Pianura Padana è caratterizzata dal Supersintema Emiliano Romagnolo.

Il Supersintema Emiliano Romagnolo è rappresentato da depositi di tipo alluvionali instaurati nel Pliocene medio a causa della prosecuzione del sollevamento. Le fonti dei sedimenti sono da ricercare nell'attività deposizionale del Fiume Po, dei suoi affluenti di destra e dei fiumi romagnoli.

Questo supersintema si suddivide in due sotto sintemi: il Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore (SERI) ed il Sintema Emiliano Romagnolo Superiore (SERS).

Il SERI, datato tra 0.65 e 0.45 Ma, è caratterizzato da argille limose di piana alluvionale con intercalazioni di sabbie di canale e ghiaie di conoide alluvionale.

Il SERS invece ha un'età compresa tra 0.45 Ma ed il presente; è rappresentato da ghiaie e sabbie di terrazzo e conoide alluvionale.

Tettonicamente sono molto importanti poiché il SERI, e talora il SERS, poggiano in discordanza angolare sul substrato marino rappresentando così le più recenti superfici di discordanza riconoscibili a scala regionale.

La geometria del SERS è articolata in zone più o meno depresse. Questa variabilità è data dalle anticlinali, interna ed esterna, che costituiscono il sistema dell'arco della dorsale ferrarese.

L'anticlinale più interna, quella di Mirandola, è più pronunciata nel settore occidentale (Novi di Modena, Mirandola sud, Medolla Nord), dove il tetto del substrato geologico è < 100 m (come nel sito di studio).

L'anticlinale più esterna, quella di Ferrara, è più pronunciata nel settore orientale, con il suo culmine tra Bondeno e Occhiobello dove la base del SERS è a una profondità inferiore a - 100 m s.l.m.

Queste zone di alto permettono di ipotizzare un'attività tardo - pleistocenica della struttura.

Lo studio in dettaglio, delle strutture sepolte della Pianura Padana, è possibile soprattutto grazie all'interpretazione di profili sismici.

I terreni più recenti, che registrano diffuse deformazioni alla mesoscala, sono le Sabbie di Imola e il Sistema Emiliano-Romagnolo inferiore. Risulta dunque evidente, anche da osservazioni di campagna, che gran parte del margine appenninico-padano e del sottosuolo padano-adriatico sono stati interessati da deformazioni più recenti di 0.45 Ma.

Le maggiori evidenze di strutture attive, segnalate nella Carta della Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, sono nel settore del margine compreso tra Salsomaggiore e la valle dell'Idice (a est di Bologna), sul fronte sepolto delle pieghe emiliane (tra Piacenza e Reggio Emilia) e al tetto delle dorsale ferrarese (tra Reggio Emilia e le Valli di Comacchio), dove si trova il sito di studio.

L'attività recente e attuale della dorsale ferrarese è indicata, oltre che dagli ultimi eventi sismici, anche da alcune evidenze morfologiche.

Alcuni depositi di canale dei fiumi appenninici non raggiungono né il Po, né il mare e sembrano non oltrepassare l'alto della dorsale ferrarese. Anche il corso del Po, a nord di Reggio Emilia, fa una brusca deviazione verso nord, immediatamente prima di raggiungere Novellara e Mirandola, zone in cui il fronte della dorsale ferrarese è molto vicino alla superficie.

Nell'area di studio la SERS è indicata a una profondità compresa fra 100 e 150 m. Dall'analisi della prova eseguita con sismica passiva HVRS risulta che fino alla profondità di circa 110/120 m si registrano aumenti graduali delle velocità di propagazione delle onde sismiche fino a 400 m/s. La profondità di 110-120 m può essere considerata come la quota del bedrock sismico.

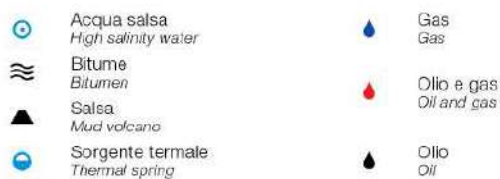
100 ÷ 50
50 ÷ 0
0 ÷ -50
-50 ÷ -100
-100 ÷ -150
-150 ÷ -200
-200 ÷ -250
-250 ÷ -300
-300 ÷ -350
-350 ÷ -400
-400 ÷ -450

Isobate della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS; 0,45 Ma-Presente) riferite al livello del mare
Isobaths of the base of the Emilia-Romagna Upper Synthem (SERS; 0,45 My-Present) referred to the sea level

Ma = milioni di anni
 My = millions of years



Manifestazioni superficiali *Surface manifestations*



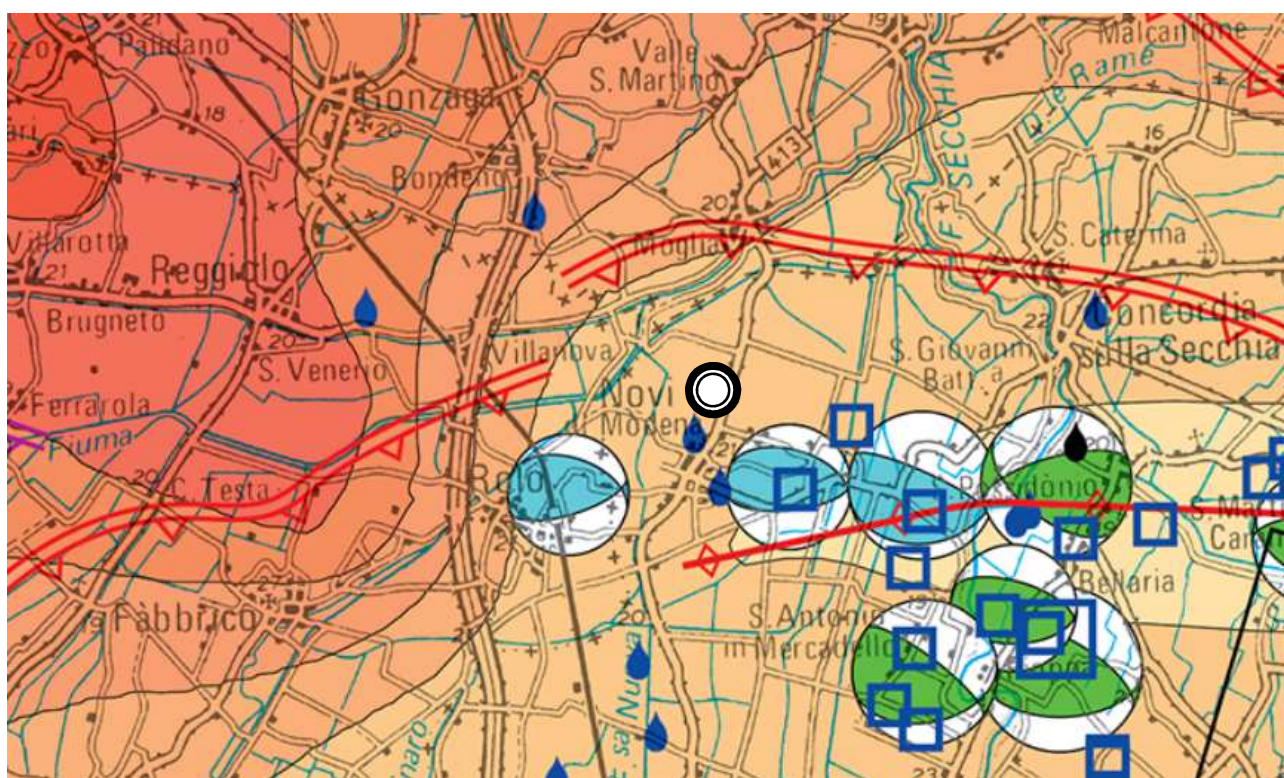
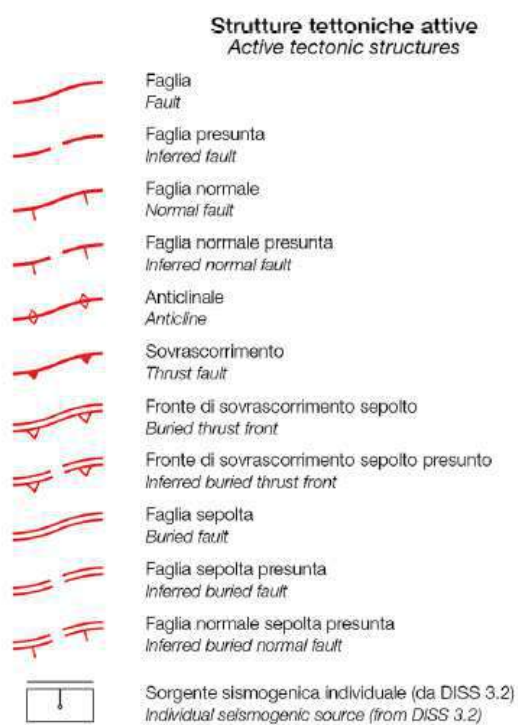


Fig.20. Carta della Sismotettonica redatta dalla Regione Emilia Romagna nel Luglio 2016.

6.1.2 Sismicità storica ed attuale

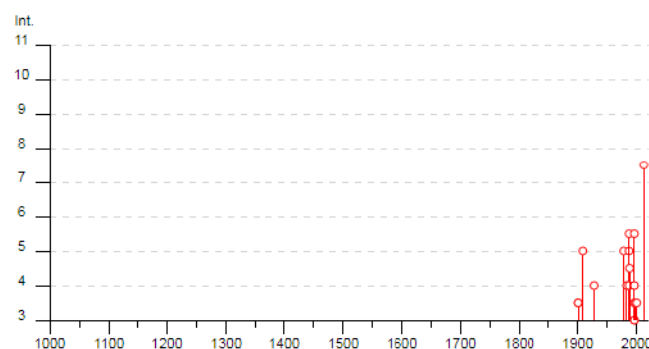
La prima versione disponibile al pubblico del DataBase Macrosismico Italiano risale al maggio 2007 ([DBMI04](#); Stucchi et al., 2007). Esso conteneva i dati di intensità utilizzati per la compilazione dei parametri del catalogo parametrico rilasciato nel maggio 2004 ([CPTI04](#); Gruppo di Lavoro Catalogo Parametrico Italiano CPTI, 2004), a sua volta utilizzato per la compilazione della [Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale](#) (MPS04, Gruppo di Lavoro MPS, 2004).

Il DBMI04 con il passare degli anni ha subito svariati aggiornamenti dei contenuti relativi alle finestre temporali, arrivando dunque alla pubblicazione del DBMI15 del 2015.

Nella tabella sottostante sono riportati i dati storici del comune di Novi di Modena reperibile all'indirizzo web :<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>.

Novi di Modena

PlaceID IT_38785
Coordinates (lat, lon) 44.893, 10.901
Municipality (ISTAT 2015) Novi di Modena
Province Modena
Region Emilia-Romagna
No. of reported earthquakes 23



Effects	Reported earthquakes												
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area				NMDP	Io	Mw
2	1898	03	04	21	05		Parmense				313	7-8	5.37
3-4	1901	01	20	06	30		Bassa modenese				10	4	3.68
3-4	1901	01	20	06	34	2	Bassa modenese				12	5	4.11
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale				867	6-7	5.36
4	1928	06	13	08			Carpi				35	6	4.67
5	1978	12	25	22	53	4	Bassa modenese				28	5	4.39
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense				850	6-7	5.04
2	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese				604	6	4.43
5	1987	04	24	02	30	2	Reggiano				54	6	4.64
5-6	1987	05	02	20	43	5	Reggiano				802	6	4.71
4	1987	05	08	11	10	2	Bassa modenese				24	6	4.44
4-5	1988	03	15	12	03	1	Reggiano				160	6	4.57
5-6	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana				135	7	5.38
3-4	1996	10	26	04	56	5	Pianura emiliana				63	5-6	3.94
3	1996	10	26	06	50	2	Pianura emiliana				35	5-6	3.63
3	1996	11	25	19	47	5	Pianura emiliana				65	5-6	4.29
4	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana				115	5-6	4.06
NF	1997	05	12	22	13	5	Pianura emiliana				56	4-5	3.68
3-4	1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana				104	5	3.93
3-4	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana				304	5-6	4.40
NF	2002	06	18	22	23	3	Frignano				186	4	4.30
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta				768	5	4.21
7-8	2012	05	29	07	00	0	Pianura emiliana				87	7-8	5.90

La crisi sismica del 2012 ha messo in evidenza le potenzialità sismogenetiche delle strutture della zona delle Pieghe Ferraresi attraverso 7 scosse di magnitudo maggiore di 5.0 Mw, con notevoli effetti di sito che in molti casi hanno causato ingenti danni.

La sequenza sismica è rappresentata da due principali *mainshock* (Lavecchia et al. 2012):

- Terremoto del 20 Maggio 2012, caratterizzato da una magnitudo di 5.9 Ml e 6.1 Mw, l'epicentro è localizzato nel comune di Finale Emilia ad una profondità di circa 6 km;
- Terremoto del 29 Maggio 2012, caratterizzato da una magnitudo di 5.8 Ml e 6.0 Mw, l'epicentro è localizzato nel comune di Medolla ad una profondità di circa 10 km.

L'evidente attività sismica italiana mette in mostra l'importanza di conoscere le caratteristiche sismogenetiche delle strutture.

Il gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 Marzo 2003 n.3274) dell'INGV, ha proposto la zonazione sismogenetica.

Per ogni zona sismogenetica è possibile definire un "terremoto Caratteristico", in quanto, tramite metodi deterministici, è più appropriato definire le regioni dove ogni faglia attiva dà

luogo a terremoti di intensità sempre simile.

Constatando l'importanza di conoscere le caratteristiche sismogenetiche delle strutture, il gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 Marzo 2003 n.3274) dell' INGV, ha proposto la zonazione sismogenetica ZS9.

La ZS9 è stata costruita basandosi sugli approcci cinematici ed i modelli sismotettonici della ZS4, ovviando al problema delle ridotte dimensioni delle zone sorgente con un numero esiguo di campioni sismici. È stata integrata con le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche nazionali (DISS 2.0 – *Database of Potential Sources for Earthquake Larger than M5.5 in Italy*, Valensise e Pantosti, 2001) e regionali; inoltre sono presenti anche i dati risultati dalle considerazioni sui terremoti più importanti che si sono verificati dopo la ZS4.

Il Comune di Novi di Modena e la zona d'interesse ricade nella zona sismogenetica numero 912.

La zona sismogenetica 912 coincide con l'area geologica della Dorsale Ferrarese. Rappresenta la zona più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale.

All'interno della zona si osserva un regime tettonico debolmente compressivo in atto. Strutture compressive (prevalentemente *thrust*), allineate lungo la costa o a breve distanza da essa, sono responsabili della sismicità.

Nella zona 912 i dati pubblicati dal Gruppo di Lavoro dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (marzo 2004) evidenziano che negli anni di monitoraggio strumentale la magnitudo massima registrata sia stata di 4.6 Md, la profondità efficace è di 7 Km e che la maggior parte dei terremoti che si verificano hanno basse magnitudo, indicando così un frequente movimento che ha funzione dissipativa delle energie tettoniche che possono accumularsi nell'area.

La magnitudo prevista Mw della zona sismogenetica 912, è pari a 6.14 ed è quella che l'INGV consiglia di utilizzare per le verifiche e le analisi di pericolosità sismica locale nel territorio in esame.

Di recente il gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica dell'INGV, ha proposto a livello di studio una nuova zonazione sismogenetica.

In analogia con quanto proposto dalla nuova zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti et al., 2004), viene fornita la localizzazione geografica, la stima del meccanismo di fagliazione, la profondità efficace e la magnitudo massima attesa.

Dall'esame del Database versione recente 3.2.1 <http://diss.rm.ingv.it/dissnet/> si osserva, come indicato a pag. 35 e 36 della relazione geologica e sismica, che il sito di studio ricade in adiacenza alla sorgente sismogenetica ITCS051 Carpi - Poggio Renatico la cui magnitudo massima è 6.0.

Si riportano di seguito i dettagli della sorgente sismogenetica di appartenenza del sito come riportato dal Database of Individual Seismogenic Sources.

Il Comune di Novi di Modena ricade nella ITCS051 Carpi-Poggio Renatico

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS051
Name	Carpi-Poggio Renatico



Fig.21. : Stralcio cartografica DISS da <http://diss.rm.ingv.it/dissmap>.

Rappresenta la zona più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale.

Strutture compressive (prevalentemente *thrust*), allineate lungo la costa o a breve distanza da essa, sono responsabili della sismicità.

PARAMETRIC INFORMATION

	PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Max depth [km]	10.0	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Strike [deg] min... max	50...120	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Dip [deg] min... max	25...45	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	OD	Inferred from geological and active stress data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.5...1.04	LD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Max Magnitude [Mw]	6.0	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

6.2 ANALISI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE I° LIVELLO

Il sito di studio nella "Carta Geologica e tecnica", redatta per lo studio di Microzonazione Sismica approfondimento di I livello, del Giugno 2021, viene classificato come CLpi-Argille inorganiche di medio bassa plasticità, argille sabbiose, argille limose di piana inondabile.

Legenda

Elementi puntuali

-  Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)

Elementi lineari

-  Traccia di sezione geologica

-  Territorio Urbanizzato

Unità geologico-tecniche

-  CLpi-Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille sabbicce, argille limose di piana inondabile
-  SCes-Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla di argine/barre/canali
-  SMes-Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di argine/barre/canali

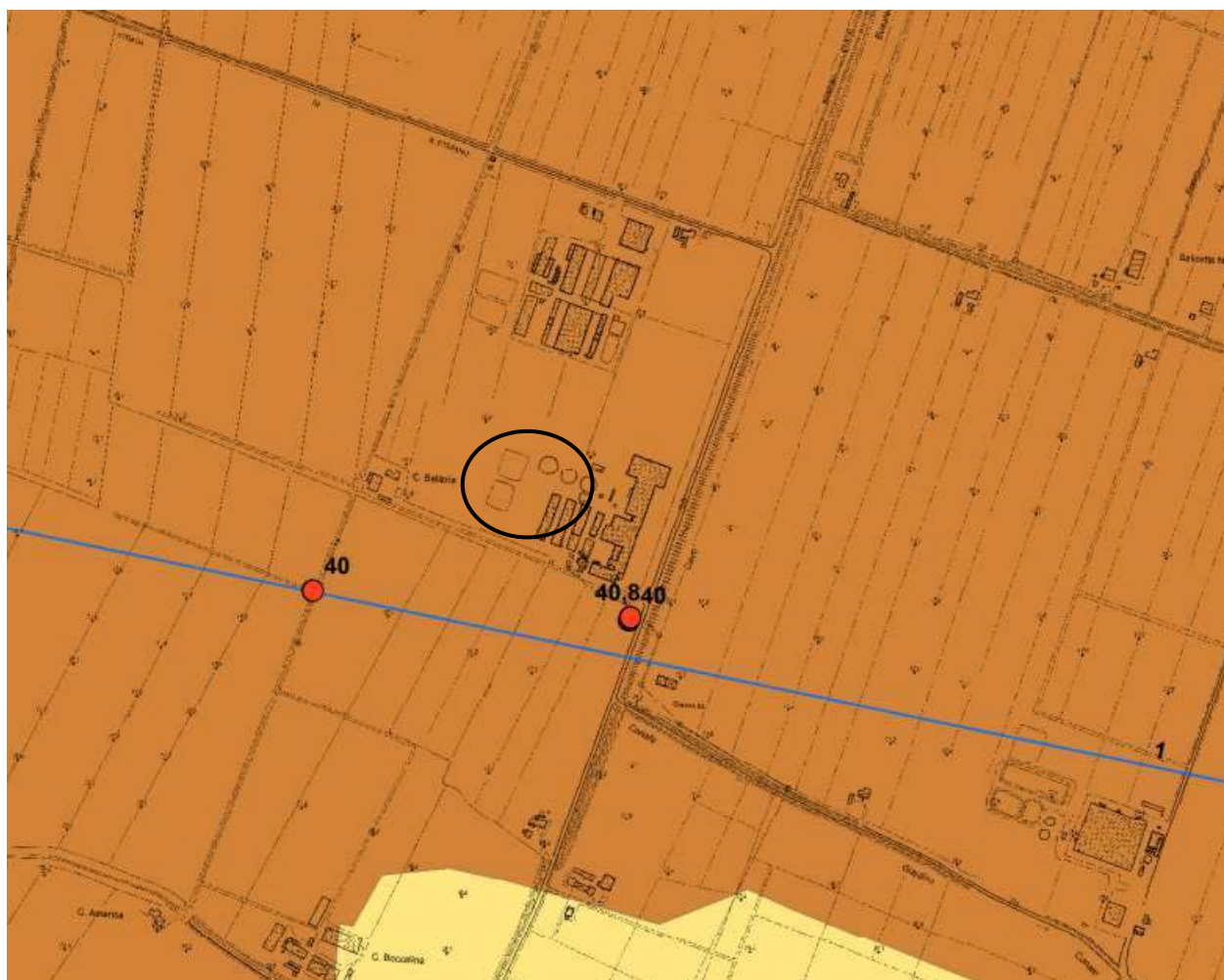


Fig.22. : Stralcio Carta Geologica Tecnica Studio di Microzonazione Sismica I livello (Giugno 2021)

Il sito di studio nella “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica”, redatta per lo studio di Microzonazione Sismica approfondimento di I livello, del Luglio 2013, rientra tra le zone suscettibili di instabilità di liquefazione nell’inviluppo 2006: Altezze tra strati metrici/plurimetrici sabbiosi e strati metrici/plurimetrici pelitici.

Zone stabili suscettibili di amplificazione

-  2007-Peliti con radi strati sabbiosi oltre i 10 m di profondità (100 m < bedrock < 150 m)
-  2013-Peliti con radi strati sabbiosi oltre i 10 m di profondità (bedrock > 150 m)

ZAIq-Zone di attenzione per instabilità da liquefazione

-  30502001-Sabbie in strati alternati a pelitici (bedrock < 100 m)
-  30502002-Peliti (8-10 m di spessore) sovrastanti sabbie e sabbie limose (bedrock < 100 m)
-  30502003-Peliti con strati sabbiosi (spessore 10 m), sovrastanti sabbie (bedrock < 100 m)
-  30502004-Depositi limo-sabbiosi con strati argillosi (spessore 10-15 m), su sabbie medio-grossolane (bedrock < 100 m)
-  30502005-Depositi limo-sabbiosi con strati argillosi (spessore 10-15 m), su sabbie medio-grossolane (100 m < bedrock < 150 m)
-  30502006-Peliti (6-8 m di spessore) sovrastanti sabbie e sabbie limose (100 m < bedrock < 150 m)
-  30502008-Sabbie in strati alternate a pelitici (100 m < bedrock < 150 m)
-  30502009-Peliti (8-10 m di spessore) sovrastanti sabbie e sabbie limose (100 m < bedrock < 150 m)
-  30502010-Peliti con strati sabbiosi (spessore 10 m), sovrastanti sabbie (100 m < bedrock < 150 m)
-  30502011-Peliti con strati sabbiosi (spessore 10 m), sovrastanti sabbie (bedrock > 150 m)
-  30502012-Depositi limo-sabbiosi con strati argillosi (spessore 10-15 m) (bedrock > 150 m)

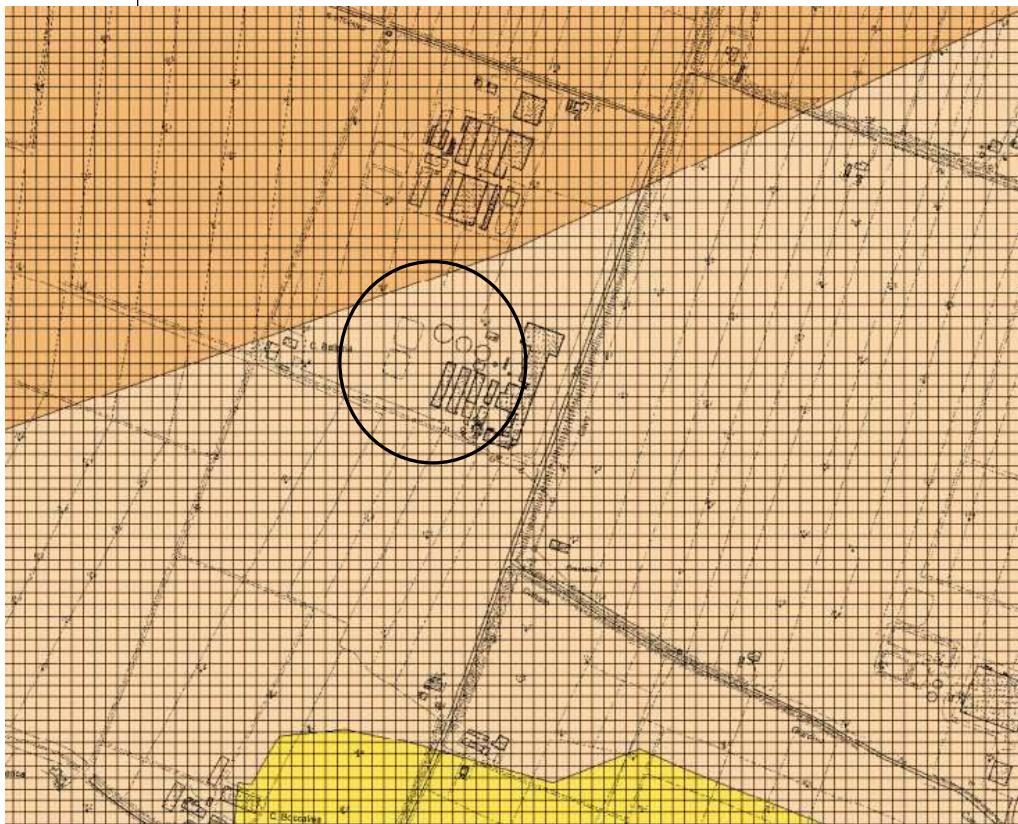


Fig.23. : Stralcio Carta MOPS di Microzonazione Sismica I livello (Gennaio 2022)

6.3 ANALISI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE DI II LIVELLO

Nella "Carta di microzonazione sismica- FA PGA ", del Gennaio 2022, il sito di studio rientra nell'involuppo zone STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI (FAPGA) FA = 1.3-1.4.

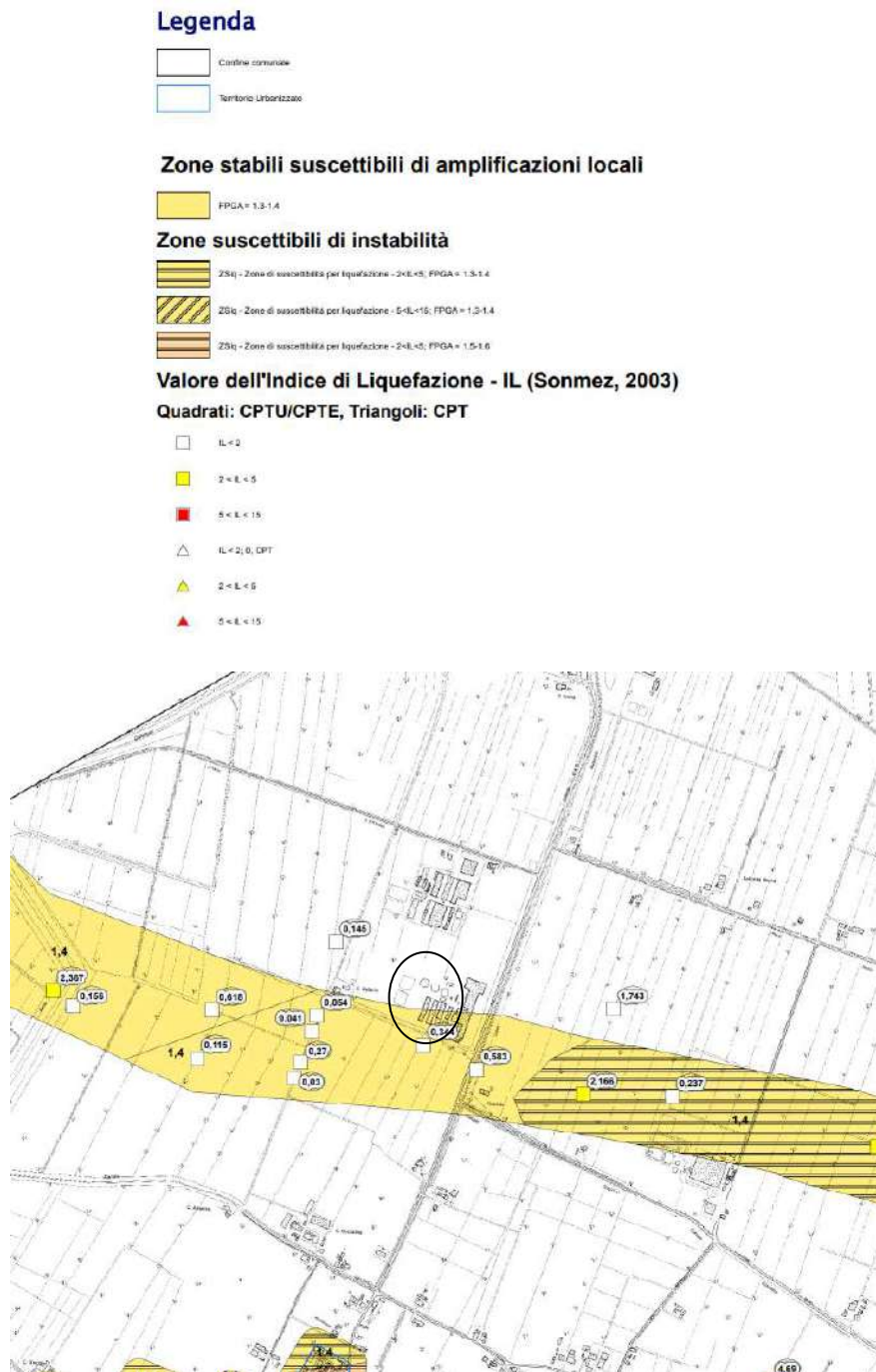


Fig.24. : Stralcio Carta "FA PGA "Studio di Microzonazione Sismica" (Gennaio 2022)

Nella “Carta di microzonazione sismica- FA 0105 ”, del Gennaio 2022, il sito di studio rientra nell’involuppo zone STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI (FA0105) FA = 1.3-1.4.

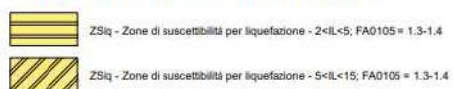
Legenda



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zone suscettibili di instabilità



Valore dell'Indice di Liquefazione - IL (Sonmez, 2003)

Quadrati: CPTU/CPTE, Triangoli: CPT

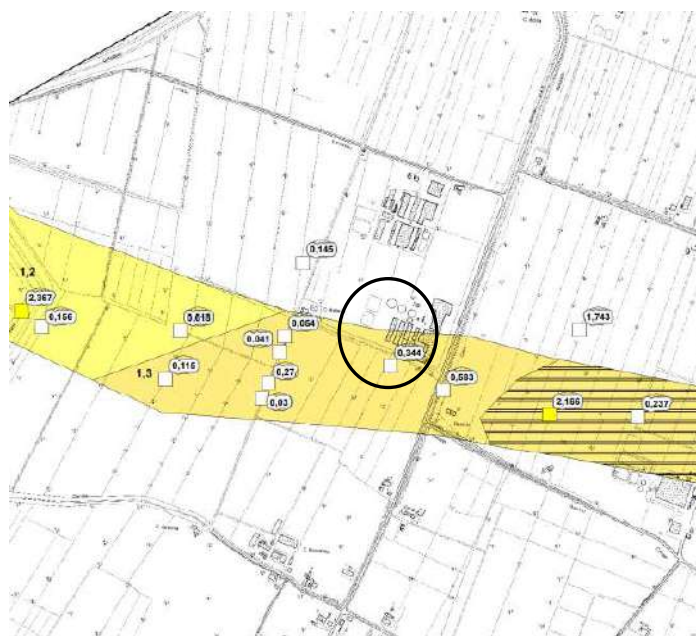
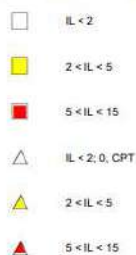


Fig.25. : Stralcio Carta “FA0105 “Studio di Microzonazione Sismica” (Gennaio 2022)

Nella “Carta di microzonazione sismica- FA 0711”, del Gennaio 2022, il sito di studio rientra nell’involuppo zone STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI (FA0711) FA = 2.1-2.2.

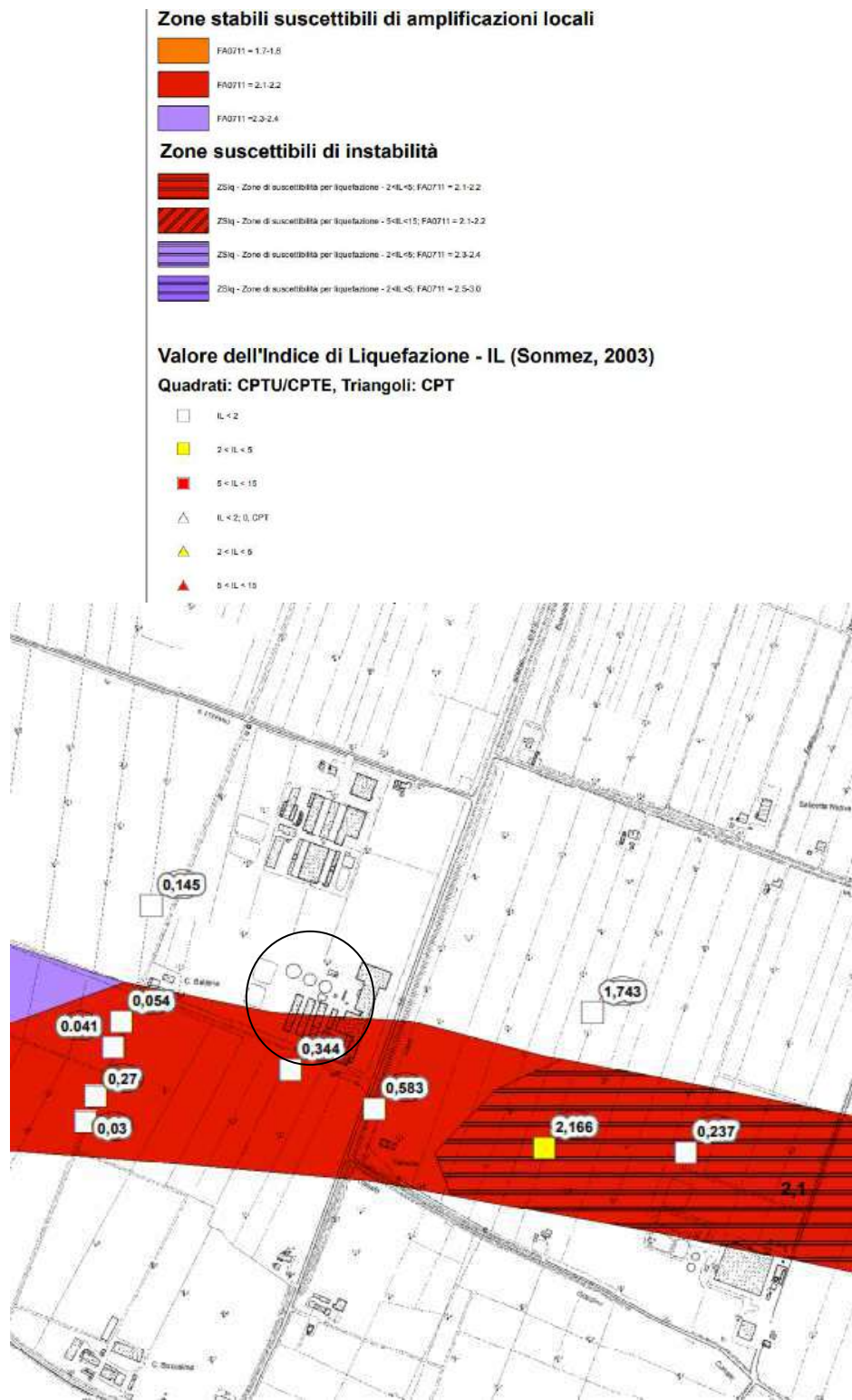


Fig.26. : Stralcio Carta “FA0711 “Studio di Microzonazione Sismica” (Gennaio 2022)

Nella “Carta di microzonazione sismica- FA 0515 ”, del Gennaio 2022, il sito di studio rientra nell’involuppo zone STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI (FA0515) FA = 1.9-2.0.

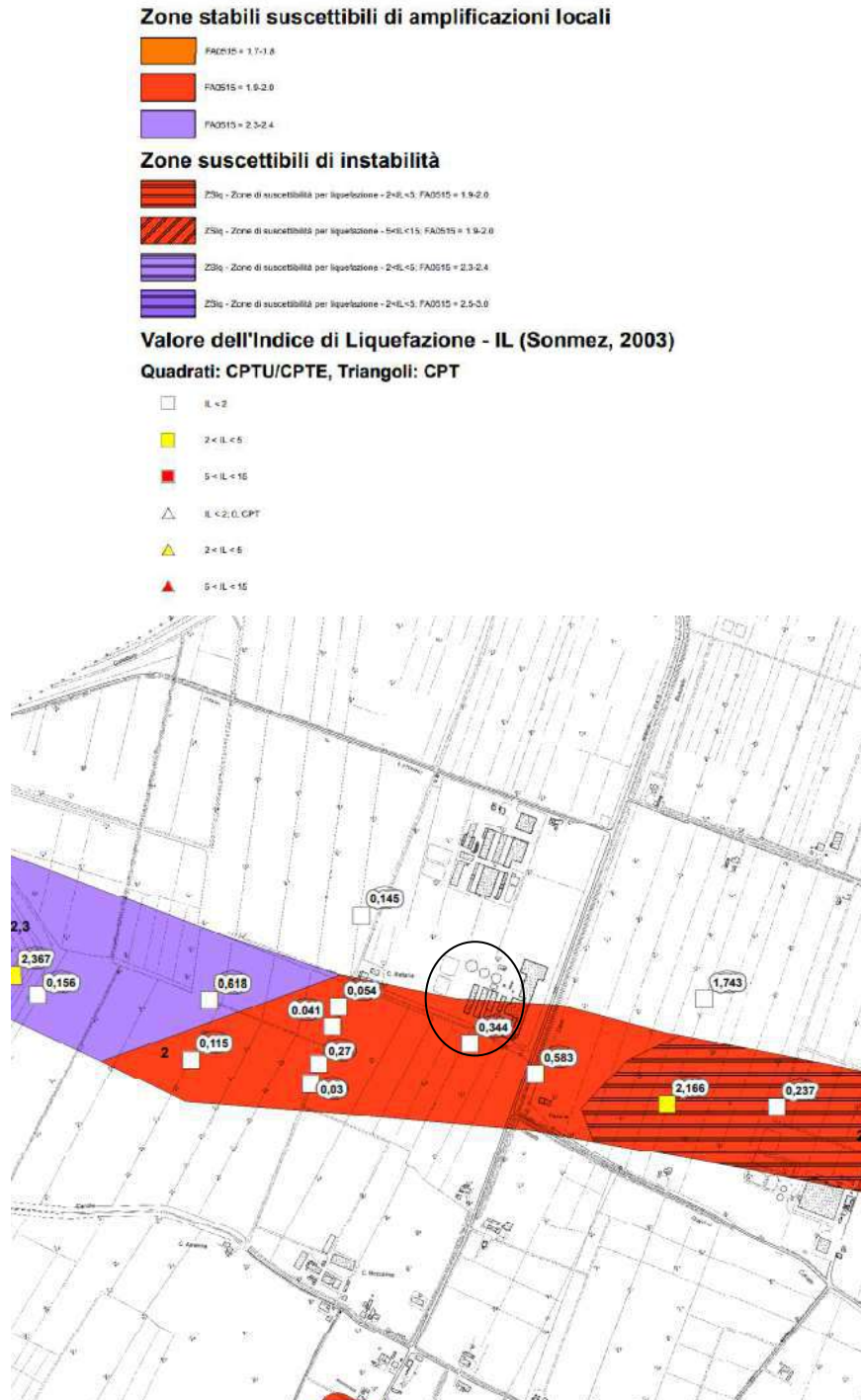


Fig.27. : Stralcio Carta “FA0515 “Studio di Microzonazione Sismica” (Gennaio 2022)

Nella “Carta di microzonazione sismica– FH 0105 ”, del Gennaio 2022, il sito di studio rientra nell’inviluppo zone STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI (FH0105) FA = 1.3-1.4.

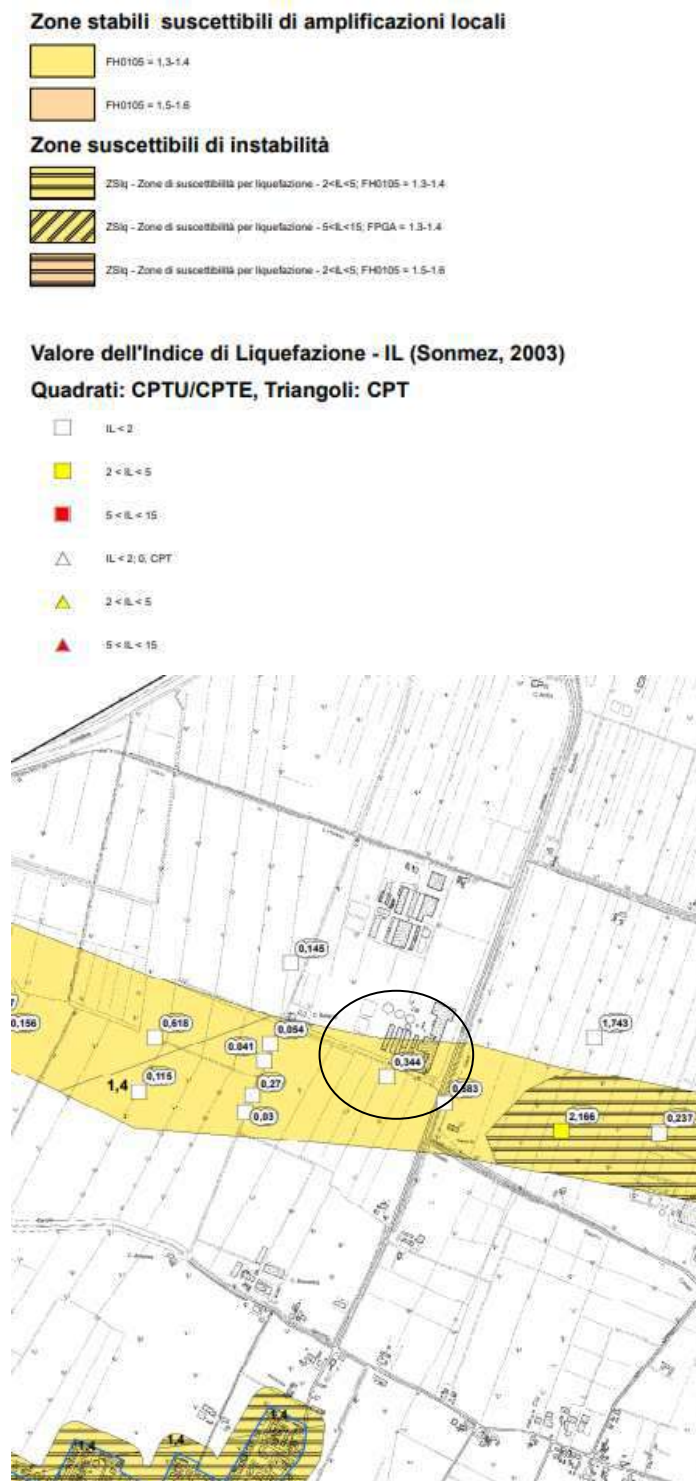


Fig.28. : Stralcio Carta “FH0105 “Studio di Microzonazione Sismica” (Gennaio 2022)

Nella “Carta di microzonazione sismica– FH 0510 ”, del Gennaio 2022, il sito di studio rientra nell’inviluppo zone STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI (FH0510) FA = 1.9-2.0.

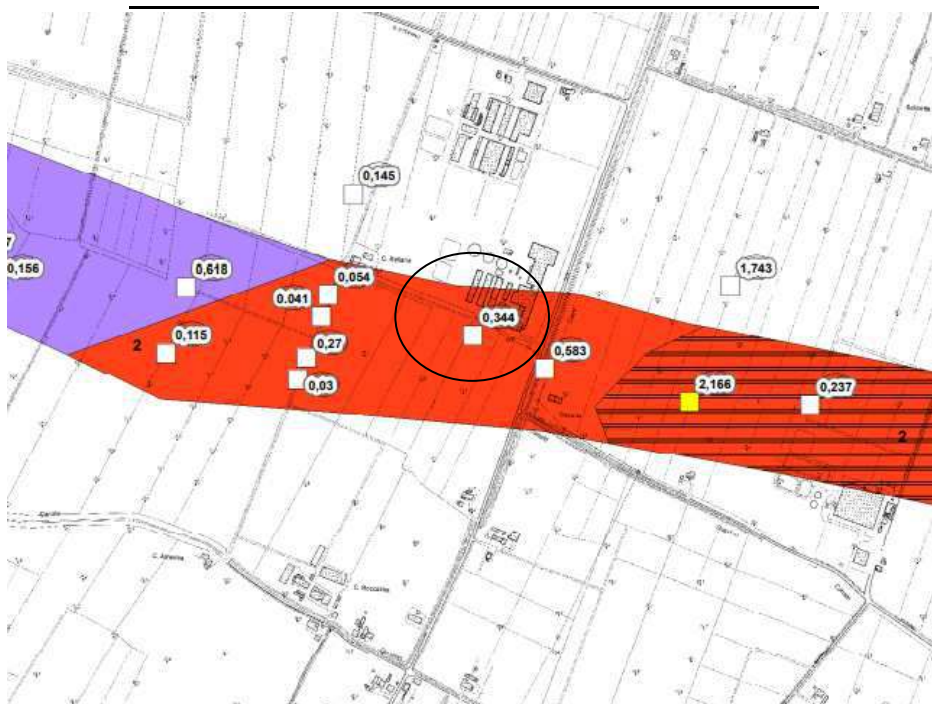


Fig.29. : Stralcio Carta “FH0510 “Studio di Microzonazione Sismica” (Gennaio 2022)

6.3.1. Definizione categoria sismica mediante analisi del sottosuolo in sismica passiva HVRS

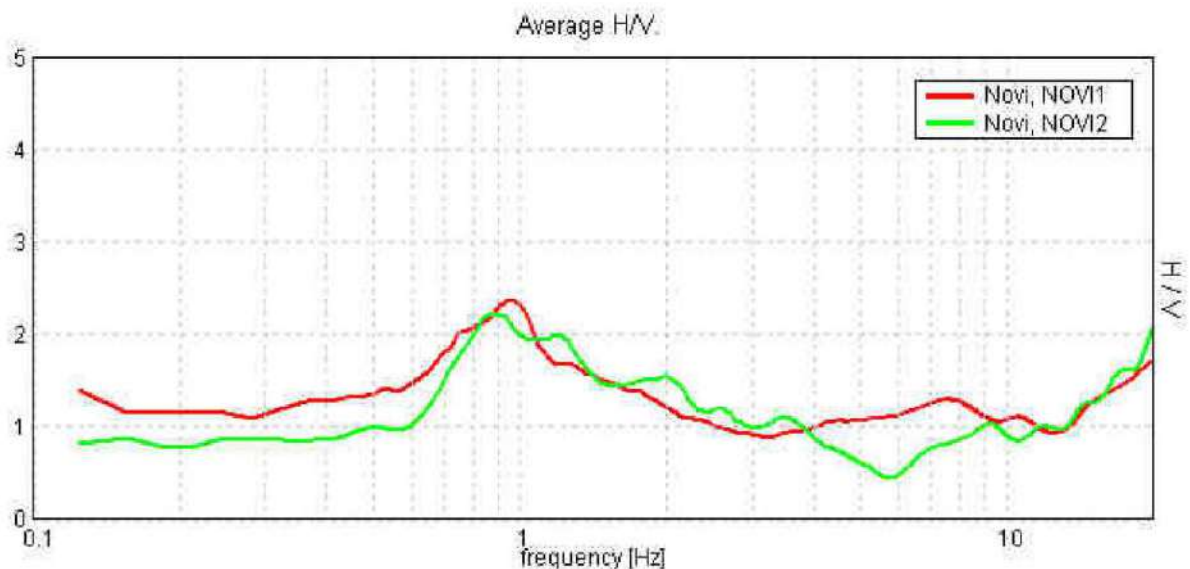
L'indagine geofisica è stata eseguita mediante sismica passiva a stazione singola (HVSR) per la definizione del picco di risonanza dei terreni di fondazione (f_0) e per la determinazione della categoria di suolo richiesta dalla normativa, mediante la ricostruzione delle V_{sEq} .

La campagna di prospezione geofisica è stata eseguita nel Giugno 2012 nel sito di studio ed ha consistito in 2 acquisizioni di microtremori a stazione singola di tipo HVSR. I dati ottenuti dalla curva HVSR forniscono utili indicazioni per quanto riguarda le frequenze di risonanza e sui fattori di amplificazione sismica dei suoli durante un terremoto e permettono di definire l'andamento delle V_s con la profondità e quindi la definizione delle V_{sEq} ai fini della classificazione sismica dei suoli di fondazione come previsto dal D.M. 17 gennaio 2018.



Fig.30. Ubicazione prove sismiche in sito

Nell'elaborazione delle registrazioni effettuate si individuano i picchi principali a circa 0.97 Hz e a 0.88 Hz corrispondenti a una frequenza caratteristica di sito di 0.92 Hz e periodo caratteristico pari a 1.09 s che rappresenta un contrasto di impedenza profondo circa 100-120 m. Il rapporto H/V evidenzia contrasti di impedenza deboli $2 < H/V < 3$ in caso di moto sismico.



Di seguito si riportano i report delle prove HVSR eseguit e in sito.

HVSR TROMINO 1 – CASEIFICIO RAZIONALE NOVESE

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 27/06/12 15:53:22 Fine registrazione: 27/06/12 16:07:23

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00"

Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

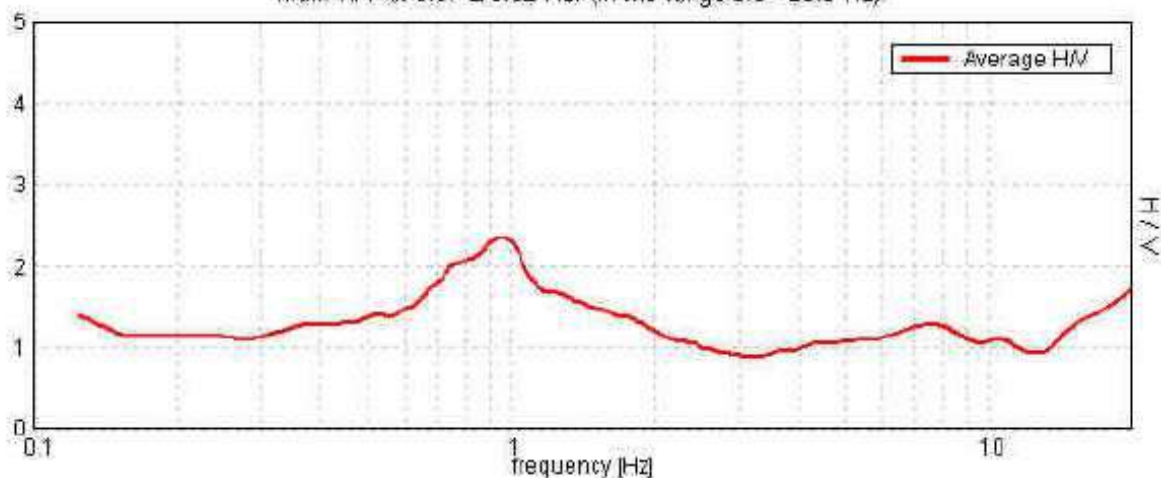
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di liscio: Triangular window

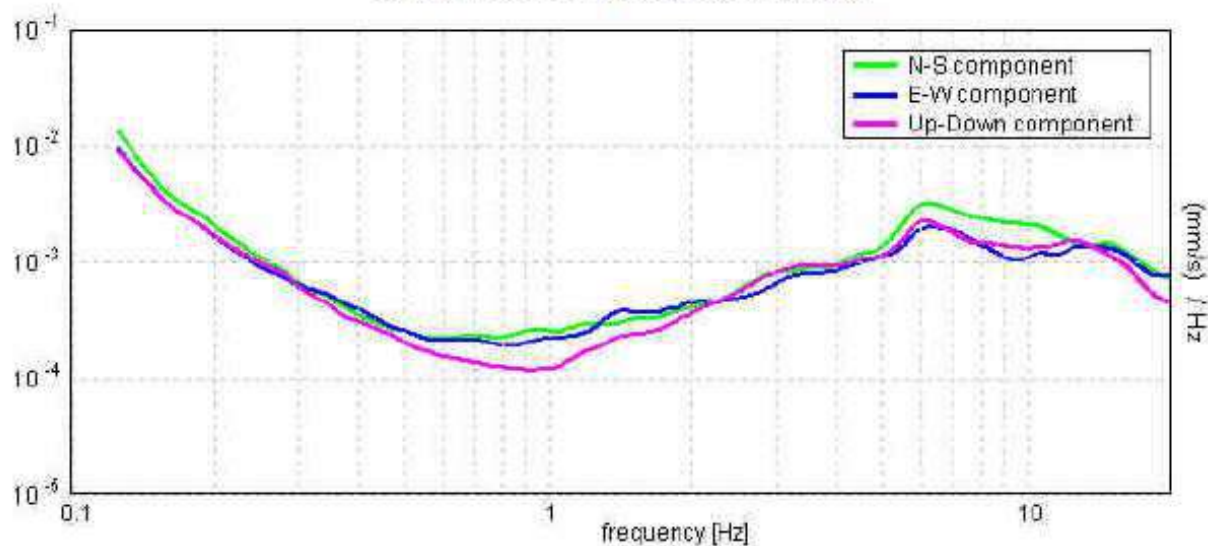
Liscio: 10%

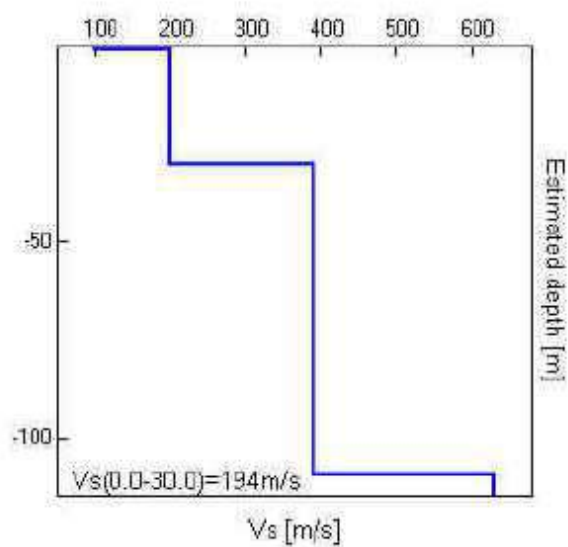
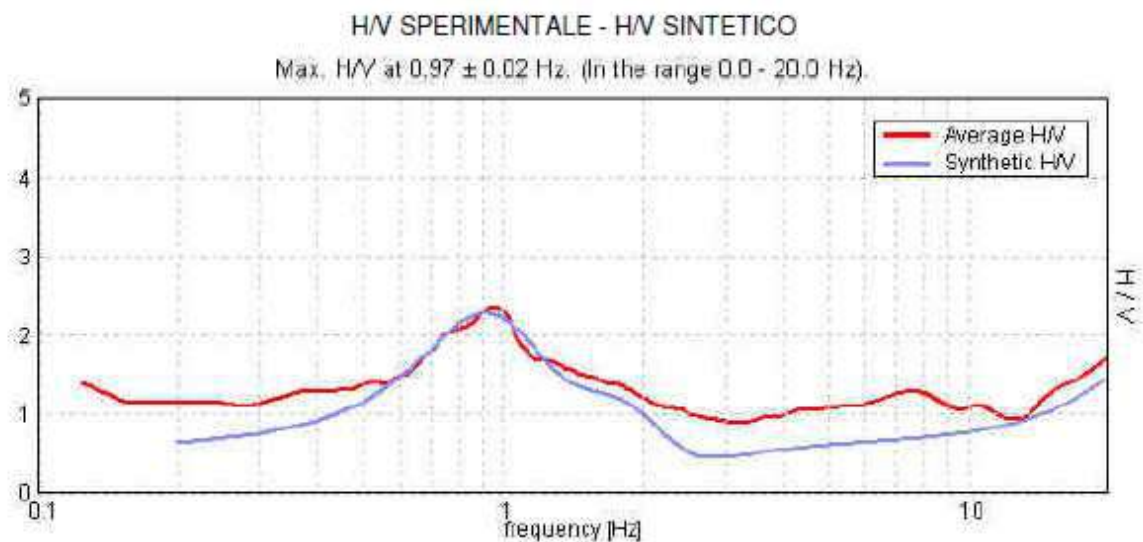
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE - HVSR

Max. H/V at 0.97 ± 0.02 Hz. (in the range 0.0 - 20.0 Hz)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI





Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	V_s [m/s]
1.00	1.00	100
30.00	29.00	200
110.00	80.00	390
inf.	inf.	630

$V_{sEQ-30} = 194 \text{ m/s}$

HVSR TROMINO 2 – CASEIFICIO RAZIONALE NOVESE

Strumento: TRZ-0011/01-09

Inizio registrazione: 27/06/12 16:16:26 Fine registrazione: 27/06/12 16:30:27

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00"

Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

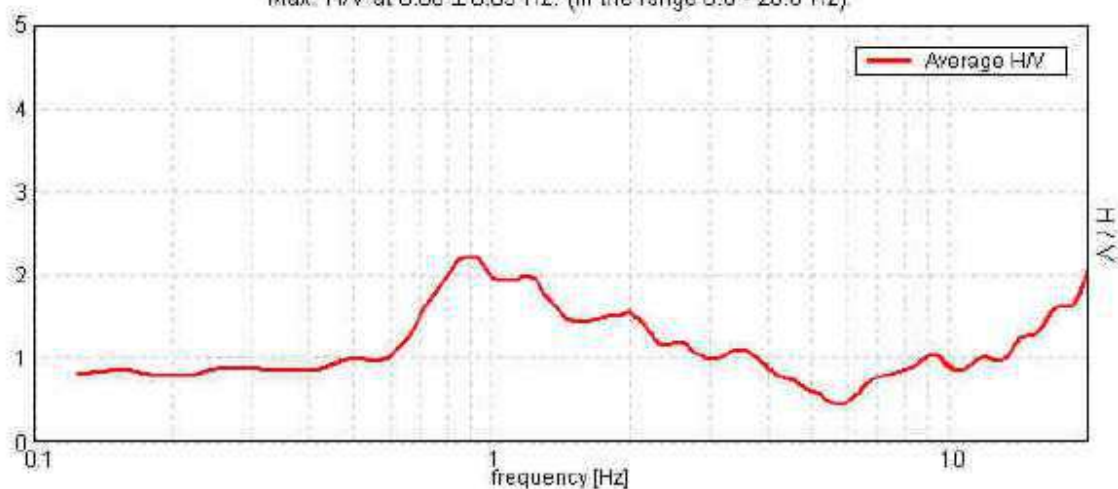
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

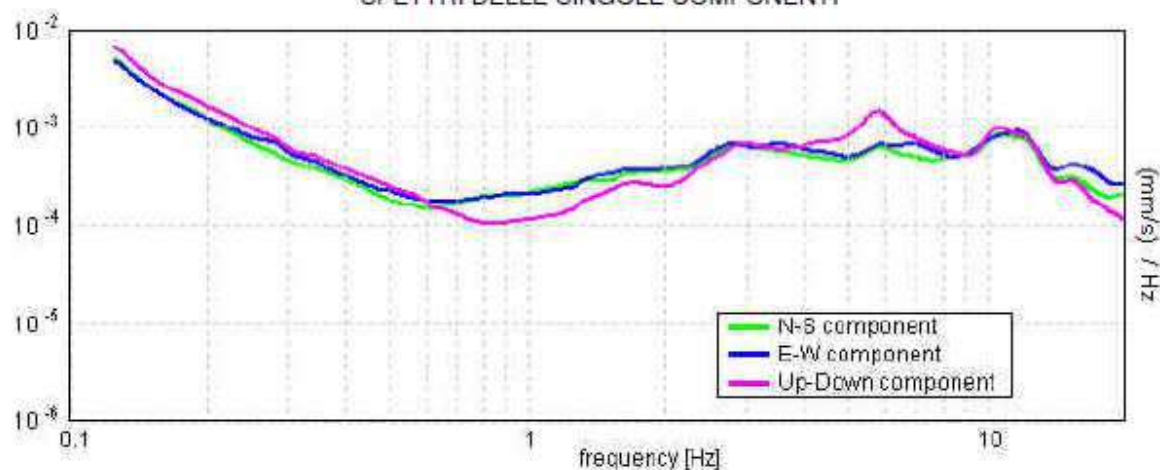
Lisciamento: 10%

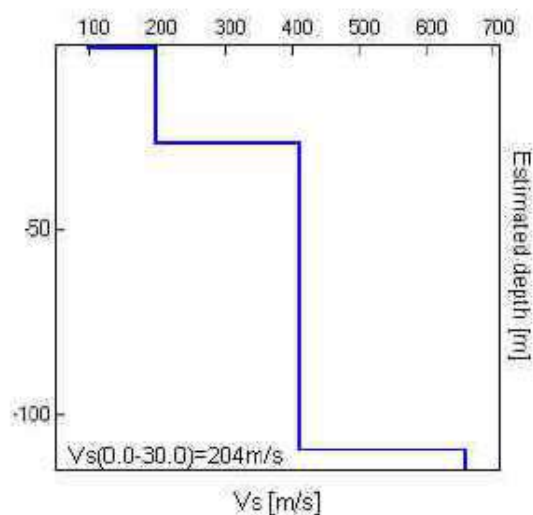
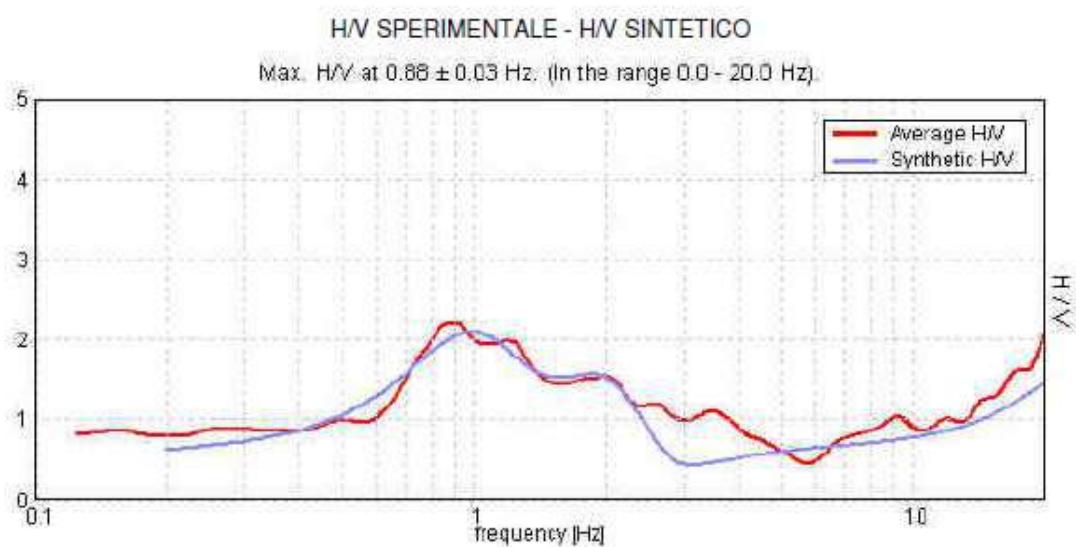
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE - HVSR

Max. H/V at 0.88 ± 0.03 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz)



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI





Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	100
27.00	26.00	200
110.00	83.00	415
inf.	inf.	660

$V_{SEQ-30} = 204 \text{ m/s}$

6.3.2 Modello sismico del sottosuolo

Secondo quanto indicato nelle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018) § 3.2.2.:

“I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove..... La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

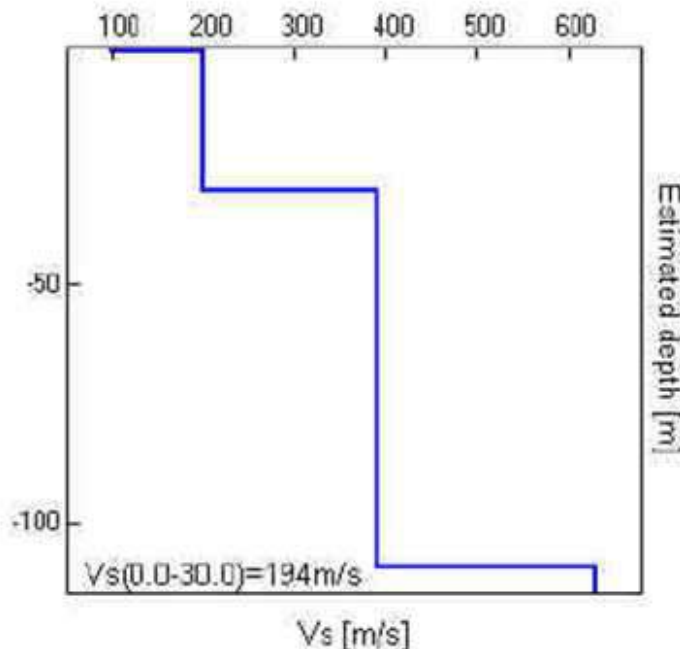
N numero di strati;

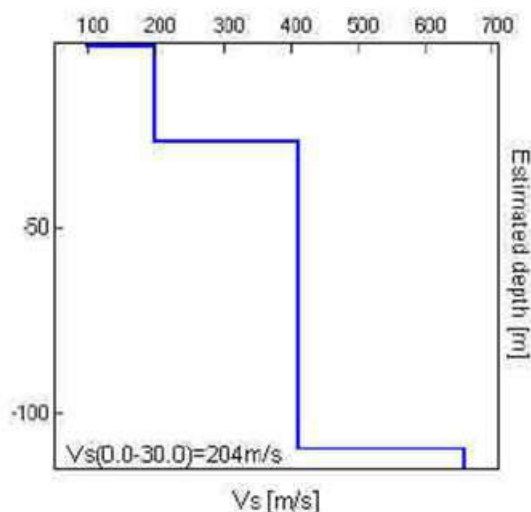
H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

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

Il profilo di V_S con la profondità e il valore di $V_{S,eq}$ è stato ricavato dall'analisi congiunta della tecnica in sismica passiva (che rappresenta bene le basse frequenze e quindi gli strati di terreno più profondo), vincolando le curve spettrali alle prove CPT e CPTU .

$V_{S,eq} = V_{S(30)}: 194\text{-}204 \text{ m/s}$





Secondo quanto indicato nelle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M.17.01.18) § 3.2.2.:

“Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, l’effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3.

In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l’approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2..... Le categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
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.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per il sito di studio le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono riconducibili alla categoria di sottosuolo definita nella Tab. 3.2.II di tipo C:

- Presenza di terreni a grana fine mediamente consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 180 e 360 m/s definiti da prove sismiche in sito,
- profondità del substrato oltre i 30 metri,
- mancanza nel volume significativo di sottosuolo indagato con prove geognostiche e sismiche di contrasti di impedenza, nè inversioni di velocità significative quindi la stima della V_{seq} non è soggetta a incertezze.
- Edificio ad uso produttivo con classe d'uso II, quindi non strategico.

Il sito, in un approccio semplificato, rientra in una categoria di sottosuolo C :

(V_s , eq = V_s (30): 194-204 m/s) .

Nei capitoli successivi, si procede a un'analisi di pericolosità sismica locale con approfondimento di III livello:

- Si produce una modellazione numerica con sets accelerometrici di input opportunamente selezionati, al fine di fornire i parametri spettrali e i valori di amplificazione litologica quale effetto di sito atteso;
- Viene verificata la predisposizione a fenomeni di liquefazione dei terreni sabbiosi e limo-sabbiosi saturi presenti con approccio cautelativo da PROVE CPTU e CPT secondo la recente D.G.R. 630/2019 e s.m.i. di cui alle DGR 476/2021 e 564/2021;
- Si determinano i cedimenti post sismici .

6.4 ANALISI PERICOLOSITA SISMICA LOCALE DI III° LIVELLO

6.4.1 Valutazione fattore di amplificazione e parametri spettrali mediante analisi di risposta sismica locale con approfondimento di III livello

Dal punto di vista strettamente fisico, per analisi di risposta sismica locale si intende la valutazione quantitativa delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite da un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S).

Dal punto di vista tecnico, è forse più significativa una valutazione alternativa di tale fenomeno, cioè quella che assume come moto sismico di riferimento quello relativo ad un ipotetico (o reale) affioramento della formazione rocciosa di base (A).

Il calcolo della risposta sismica locale nelle analisi di terzo livello è eseguito secondo i criteri del DM 2018, DGR 630/2019 e nuovi aggiornamenti D.G.R. n. 476/2021 e D.G.R. integrativa n. 564/2021, secondo i seguenti step:

1) Ricostruzione del modello geologico-tecnico del sottosuolo attraverso indagini specifiche geognostiche e geofisiche .

La ricostruzione accurata del modello geologico e geofisico è desumibile dai dati geologici riportati nella presente relazione e dai risultati delle indagini geognostiche e sismiche che ha

permesso la ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio fino al substrato di terreno molto rigido caratterizzato dalla velocità delle onde di taglio > 800 m/s.

Per poter valutare la velocità V_s tra la massima profondità raggiunta dalle indagini ed il bedrock sismico, si è fatto riferimento ai dati disponibili in letteratura, tipo i dati pubblicati nello studio "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna" RER – ENI, Agip 1998 (a cura di G. Di Dio).

In particolare nella sez. 3 della Tavola 7 riportata in figura 19 passante per il sito, si evidenzia che la base della AES6 si trova a circa 100/110 m dal p.c. e la base della AES si ubica a circa 170/180 m dal p.c.

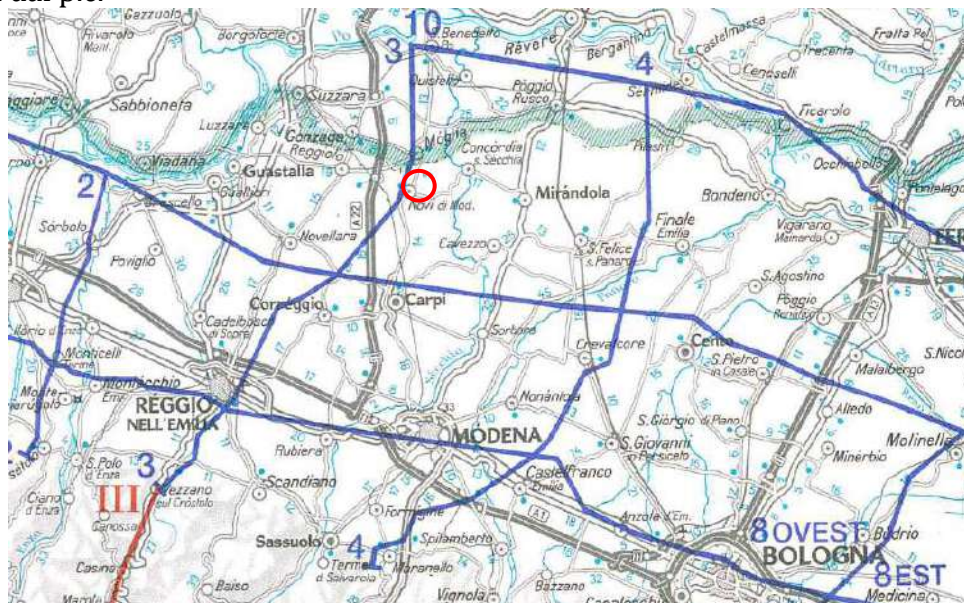


Fig.31. Ubicazione sezione esaminata da "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna" RER – ENI, Agip 1998 (a cura di G. Di Dio)"



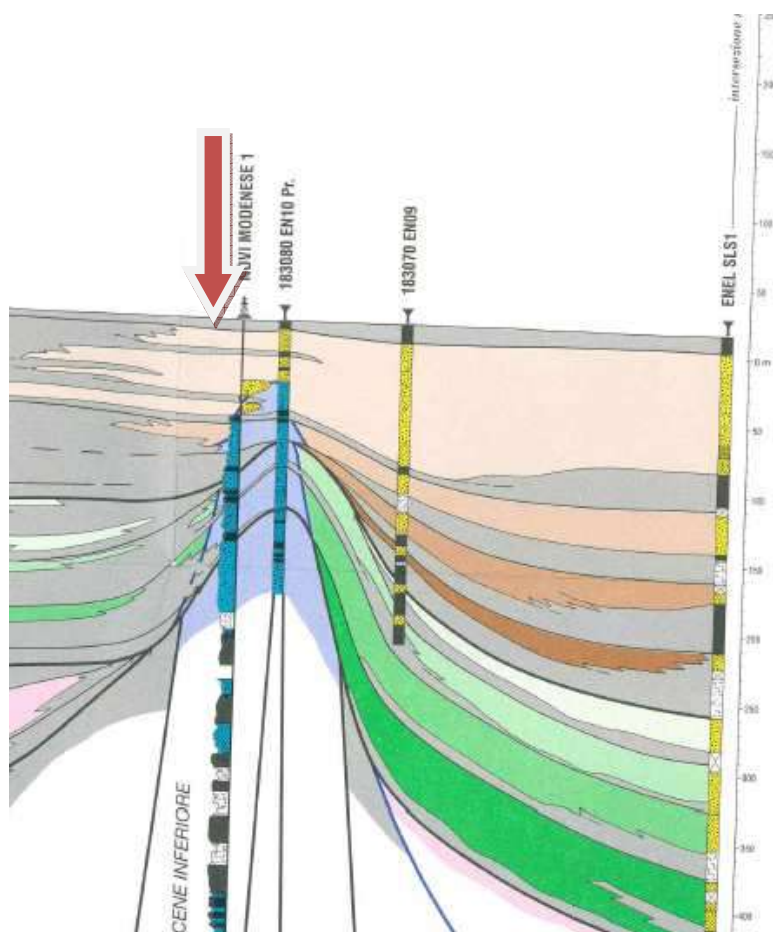


Fig.32. :Sezione geologica n. 3 Progetto Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna (1998) con evidenziata l'area di ubicazione dell'intervento con la freccia

Il valore della frequenza fondamentale misurato in sito, pari a 0.92 Hz che segna un contrasto di impedenza debole ($2 < H/V < 3$) in caso di moto sismico, conferma la profondità di 100/110 metri del primo contrasto di impedenza, come bedrock sismico, anche se alcuni studi (Martelli et alii, 2013 e Martelli et alii, 2014) hanno riconosciuto che "il maggior contrasto di impedenza si ha in genere tra la base della AES, datata tra 350.000 e 450.000 anni, e la base del sub sistema AES6, datata circa 230.000 – 250.000 anni (RER e ENI – Agip, 1998), ubicata a 170/180 metri .

Il profilo utilizzato è:

Spessori	Profondità	Vs
1.0	1.0	100
3.0	1.0	120
10.0	4.0	150
10.0	14.0	250
10.0	24.0	250
6.0	34.0	250
10.0	40.0	290
10.0	50.0	290
10.0	60.0	290
10.0	70.0	343
10.0	80.0	415
5.0	90.0	415
10.0	95.0	580
5.0	105.0	800

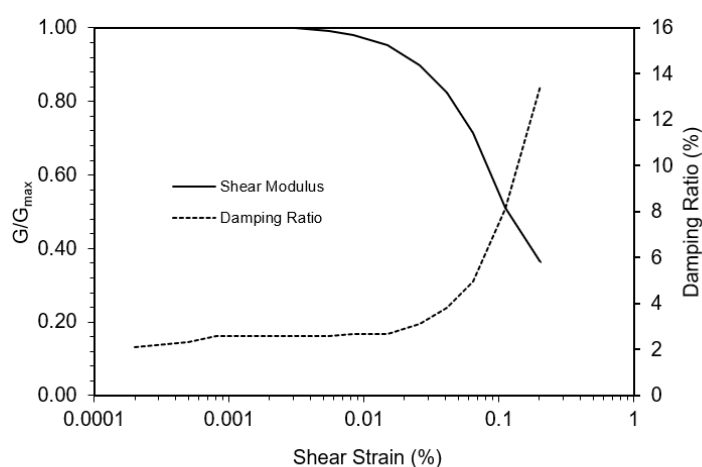
Per definire il comportamento non lineare dei terreni di fondazione sottoposti a carichi ciclici si è fatto riferimento, non avendo effettuate indagini dinamiche di laboratorio, a curve disponibili in letteratura sulle stesse tipologie di materiali e, ove disponibili, prelevate anche alle stesse profondità.

In particolare per i cinque strati in cui è stato discretizzato il terreno fino al bedrock sismico si sono utilizzate le seguenti curve di degrado dei materiali:

Materiale 1: ARGILLA LIMOSA S9 CI2 RC1 SAN CARLO ORDINANZA 70

ARGILLA LIMOSA S9 CI2 RC1 SAN CARLO ORDINANZA 70

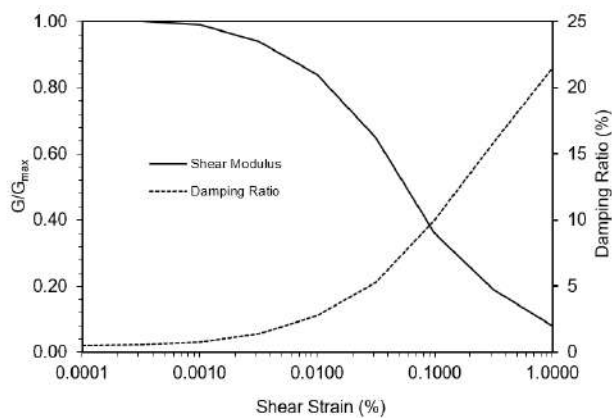
Strain (%)	G/G _{max}	Strain (%)	Damping (%)
0.0002	1.00	0.0002	2.1
0.0005	1.00	0.0005	2.309
0.0008	1.00	0.0008	2.571
0.0013	1.00	0.0013	2.571
0.0019	1.00	0.0019	2.571
0.0031	1.00	0.0031	2.571
0.0055	0.99	0.0055	2.571
0.0083	0.98	0.0083	2.683
0.015	0.95	0.0150	2.687
0.0258	0.90	0.0258	3.114
0.0414	0.82	0.0414	3.841
0.0648	0.71	0.0648	4.985
0.1108	0.51	0.1108	8.118
0.2021	0.36	0.2021	13.509



Materiale 2: SABBIA MEDIAMENTE ADDENSATA (SEED & IDRIS 1970)

Modulus for sand (Seed & Idriss 1970) - Upper Range and damping for sand (Idriss 1990) - (about LRing from SI 1970)

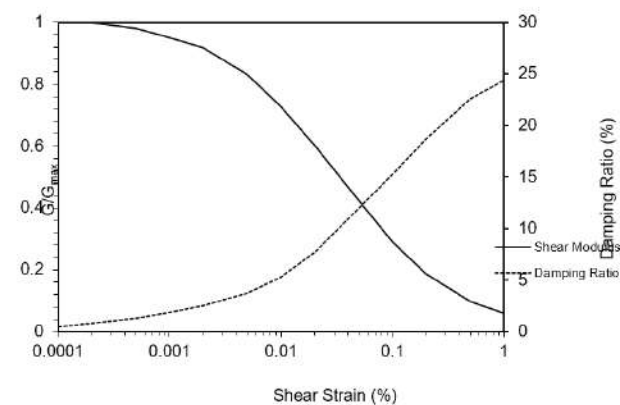
Strain (%)	G/G _{max}	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1.00	0.0001	0.5
0.0003	1.00	0.0003	0.6
0.0010	0.99	0.0010	0.8
0.0032	0.94	0.0032	1.4
0.0100	0.84	0.0100	2.8
0.0316	0.65	0.0316	5.3
0.1000	0.36	0.1000	10
0.3160	0.19	0.3160	15.8
1.0000	0.08	1.0000	21.5



Materiale 3: Alluvioni sabbiose addensate (CURVA DIPARTIMENTO PROTEZIONE CIVILE)

curva dpc ALLUVIONI SABBIOSE

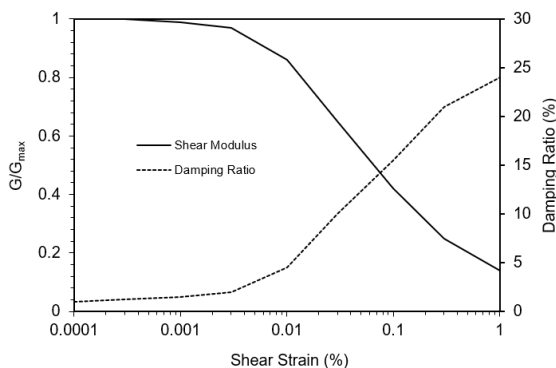
Strain (%)	G/G _{max}	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	0.5
0.0002	0.998	0.0002	0.8
0.0005	0.98	0.0005	1.3
0.001	0.949	0.001	1.9
0.002	0.917	0.002	2.5
0.005	0.832	0.005	3.7
0.01	0.729	0.01	5.3
0.02	0.6	0.02	7.7
0.05	0.421	0.05	12
0.1	0.291	0.1	15.3
0.2	0.188	0.2	18.7
0.5	0.098	0.5	22.6
1	0.06	1	24.4



Materiale 4: ALLUVIONI GHIAIOSE

Alluvioni ghiaiose

Strain (%)	G/G _{max}	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	1
0.0003	1	0.0003	1.2
0.001	0.99	0.001	1.5
0.003	0.97	0.003	2
0.01	0.86	0.01	4.5
0.03	0.65	0.03	10
0.1	0.42	0.1	15.5
0.3	0.25	0.3	21
1	0.14	1	24



2) Definizione del modello di calcolo

L'analisi di risposta sismica locale è stata effettuata con il programma EERA [Bardet et al., 2000], che fa riferimento ad un modello costitutivo del terreno di tipo viscoelastico lineare-equivalente.

Questo codice di calcolo, derivato direttamente da SHAKE [Schnalbe et al., 1972], lavora in termini di tensioni totali, con un modello a strati piano-paralleli e a comportamento viscoelastico lineare equivalente.

Per ogni strato di terreno occorre definire spessore, massa volumica e le curve che descrivono la degradazione del modulo di taglio e dello smorzamento in funzione del livello di deformazione di taglio.

Si ipotizza che il moto sismico, applicato al substrato, sia costituito da onde che si propagano in direzione verticale, perpendicolarmente alla direzione di giacitura degli strati.

3) Moto di input

Per poter effettuare tali analisi, è necessario definire l'azione sismica da applicare al substrato roccioso, rappresentata da un numero prefissato di registrazioni accelerometriche. Si sono utilizzati accelerogrammi naturali (il numero minimo che consente di far riferimento ai valori medi dei risultati, secondo quanto prescritto dalle NTC 2018) selezionato da banche accelerometriche digitali, imponendo i criteri di scelta e spettro-compatibilità imposti dalle NTC.

I segnali di riferimento sono stati reperiti sulla base delle indicazioni dei nuovi aggiornamenti della DGR630/2019 (D.G.R. n. 476/2021 e D.G.R. integrativa n. 564/2021) che sostituiscono l'Allegato A4. I nuovi segnali di input sono scaricabili dal sito <http://egeos-test.eucentre.it/rer/home.html>.

Il primo criterio per la selezione degli accelerogrammi reali è la compatibilità con i vincoli sismo tettonici del contesto geologico regionale ed, in particolare, con i valori di magnitudo, distanza epicentrale e i meccanismi focali dei terremoti di scenario che contribuiscono maggiormente alla pericolosità del sito.

Tale informazione può essere ottenuta dall'analisi di disaggregazione della pericolosità. I risultati della disaggregazione dello studio di pericolosità sismica sono disponibili sul sito web dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>) per tutto il territorio nazionale, con riferimento ai punti del reticolo in cui esso è stato suddiviso.

Per il sito in esame, il sito web dell'INGV fornisce un valore medio di magnitudo $M=4.93$ e distanza epicentrale $d=9.78$ km.

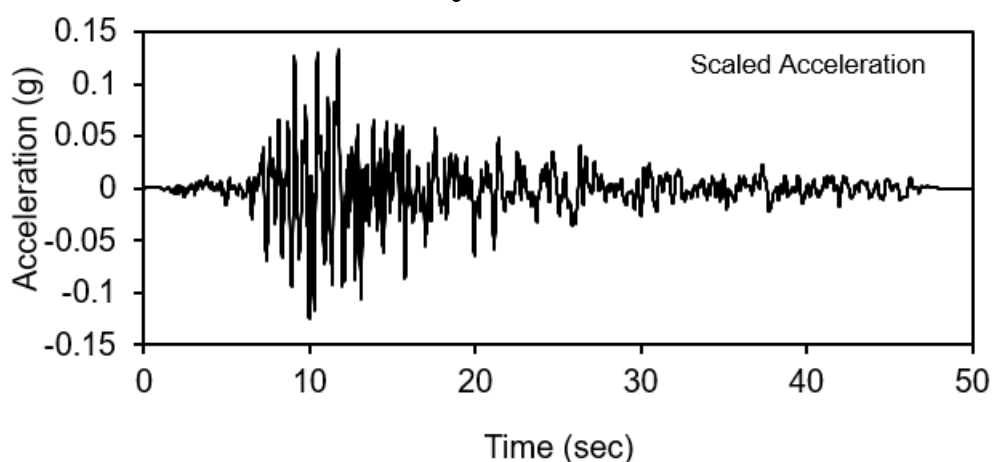
Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.93	9.78	0.436

Gli accelerogrammi spettro-compatibili sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica ISED attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento (nel nostro caso questa forma spettrale corrisponde alla forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni) e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISED **su suolo di tipo A con classe d'uso II ($C_u = I$) e tempo di ritorno di 475 anni**

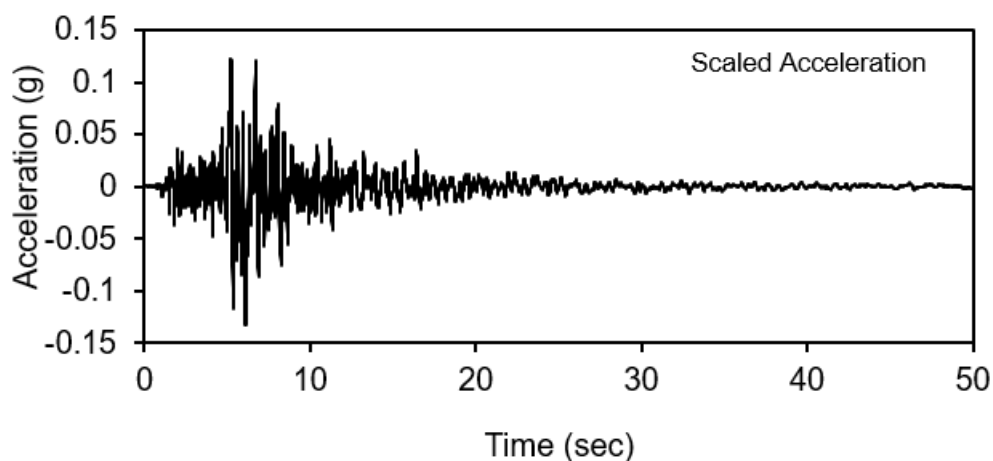
Al fine di ottenere la spettro-compatibilità, gli accelerogrammi selezionati sono stati tutti scalati, prima dell'analisi, linearmente al valore di accelerazione di picco prescritta dalle NTC 18 per il sito in oggetto.

Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor	Source	File_Name			
6.2	29.9	1.74	ESM EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC				
5.74	12.57	1.14	NGA RSN146_COYOTELK_G01320.AT2				
6.69	38.07	0.88	NGA RSN1091_NORTHR_VAS000.AT2				
5.6	18	0.84	ESM IT.LRS..HNE.D.19980909.112800.C.ACC.ASC				
6.2	78.79	2.33	NGA RSN2989_CHICHI.05_CHY102N.AT2				
6.6	31	0.54	KiKnet SMNH100010061330.EW2				
6.5	57.74	2.87	NGA RSN8167_SANSIMEO_DC2247.AT2				

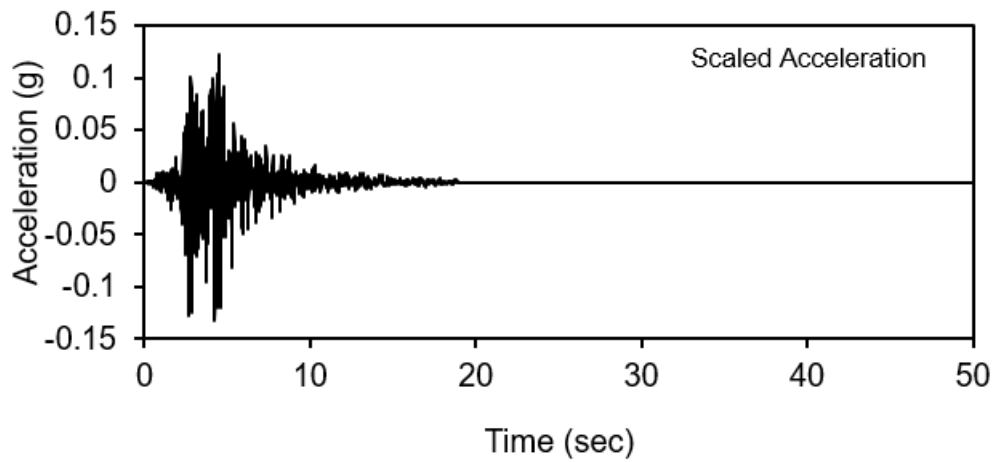
EARTHQUAKE ID14948 – 1xa



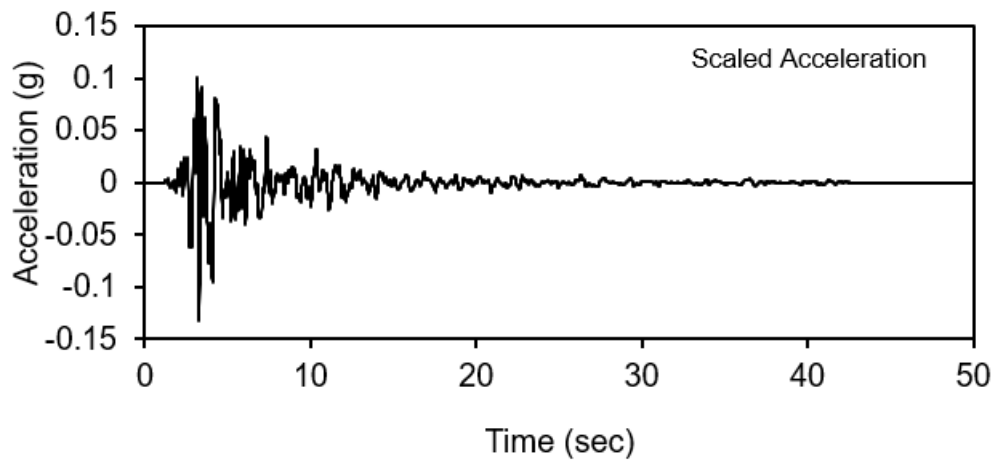
EARTHQUAKE ID14948 – 2xa



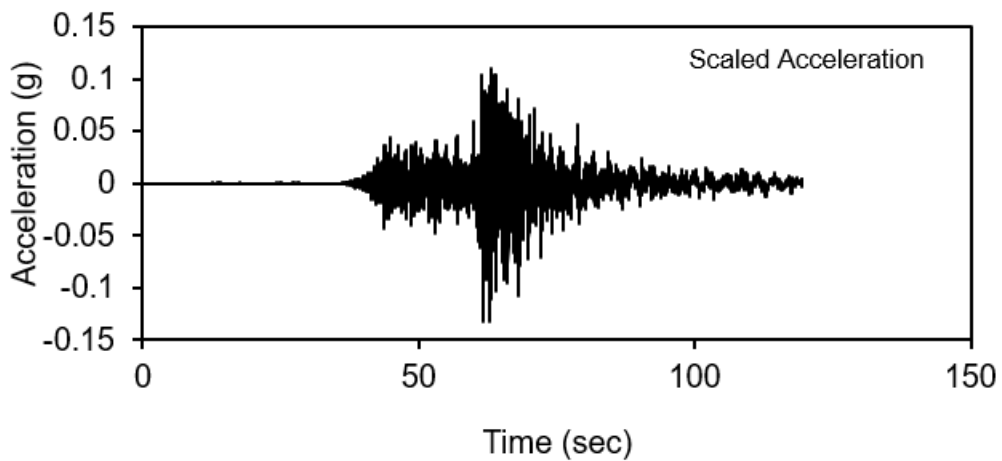
EARTHQUAKE ID14948 – 3xa



EARTHQUAKE ID14948 – 4xa



EARTHQUAKE ID14948 – 5xa



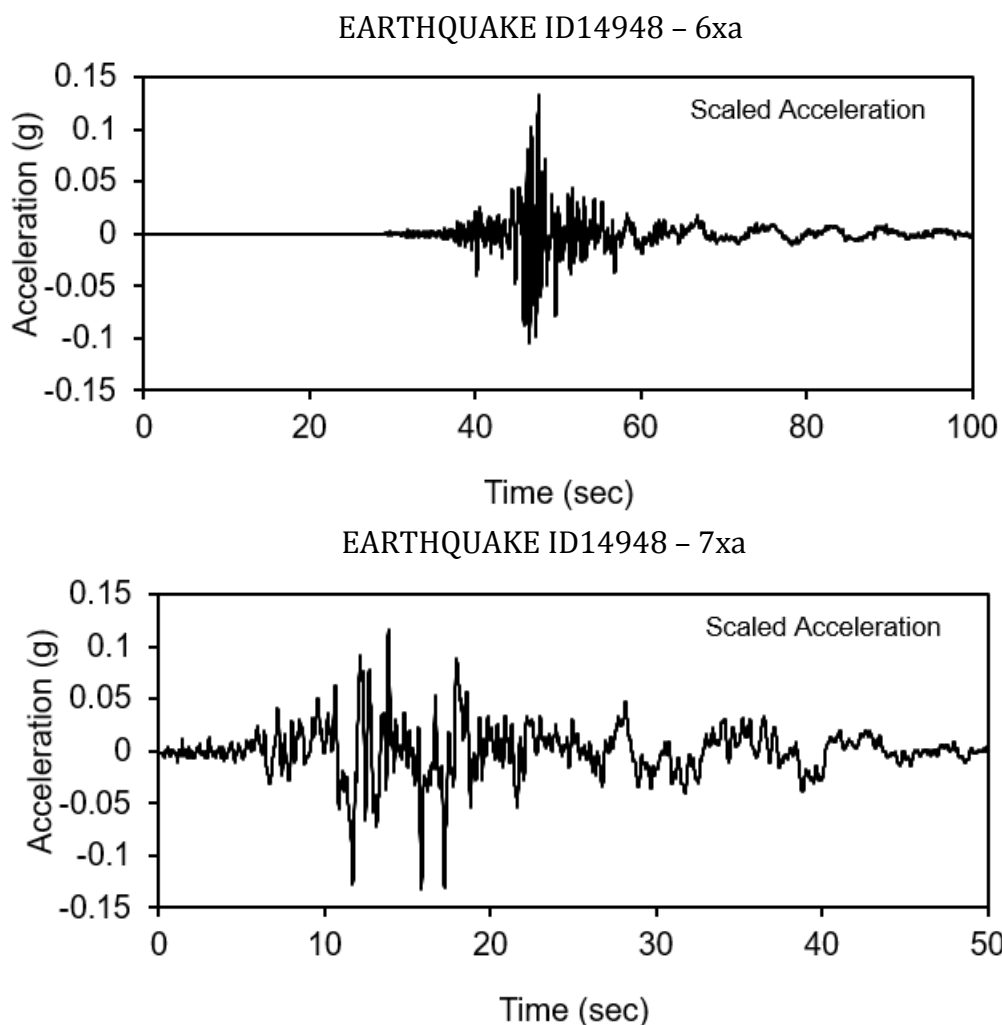


Fig.33. Accelerogrammi spettro-compatibili selezionati dalla banca Banca Dati Eucenter per il sito di studio

La $PGA_0 R_{di}$ cioè la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido così come indicato nel reticolo di riferimento per tempo di ritorno di 475 anni è pari a 0.133g.

Un risultato che ci indica la buona riuscita della modellazione è il confronto tra la “Funzione di trasferimento o funzione di amplificazione” ed i risultati della prova HV condotta nel sito d'indagine. **Dai grafici di seguito si evidenzia che le funzioni di trasferimento hanno lo stesso andamento.**

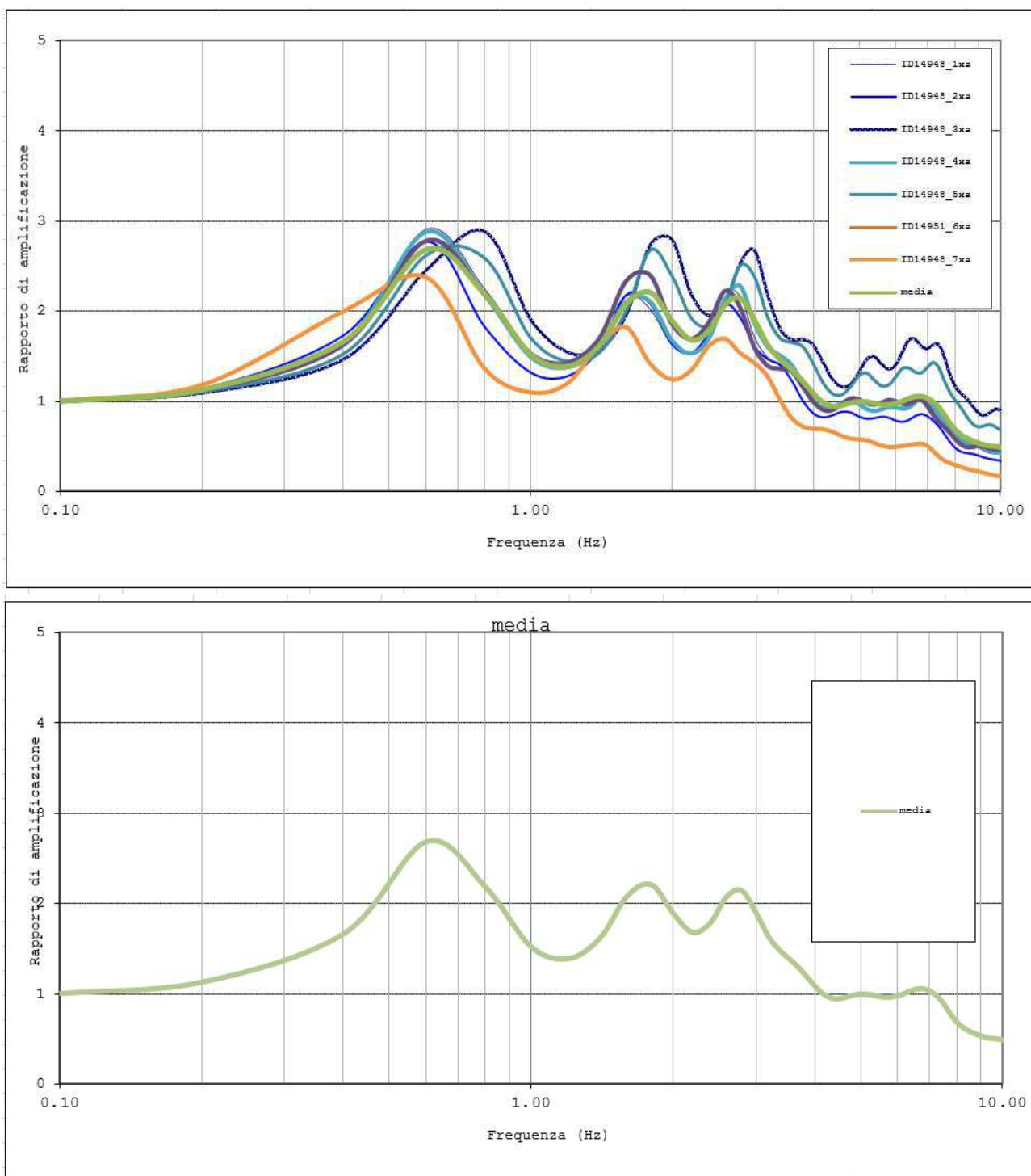


Fig.34. Curva funzione di amplificazione ottenuta dalla RSL

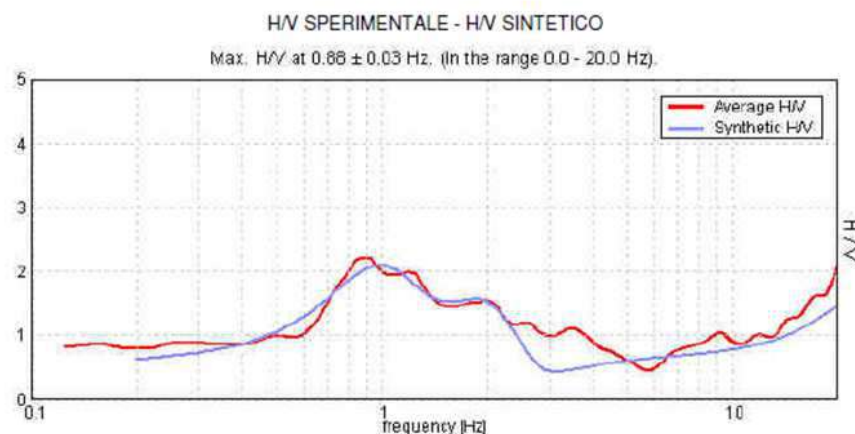


Fig.35. funzione di trasferimento calcolata misurata in sito con la prova HV.

La modellazione numerica ha il fine di fornire gli spettri di risposta con periodo di ritorno di 475anni e smorzamento $\xi = 5\%$.

Si definiscono così i fattori amplificativi espressi come rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito (PGA/PGA_0).

I sette spettri attesi e lo spettro medio con periodo di ritorno di 475 anni e smorzamento $\xi = 5\%$ per il sito di studio, sono indicati nella figura 30.

Gli spettri vengono confrontati con gli spettri di norma per un suolo di tipo C, per un suolo di tipo D (classe d'uso II) . Dall'analisi spettrale lo spettro ottenuto dalla RSL viene ben inviluppato dallo spettro di norma ottenuto con procedura semplificata per un suolo di tipo D.

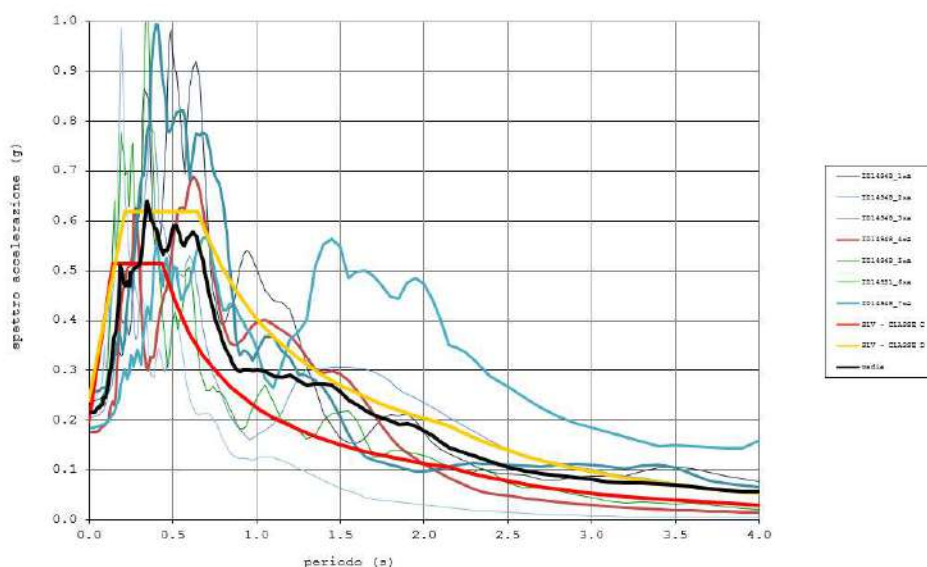


Fig.36. Spettri attesi con periodo di ritorno di 475 anni e smorzamento $\xi = 5\%$ per il sito di studio e confronto con spettri di norma per suoli di tipo C e di tipo D

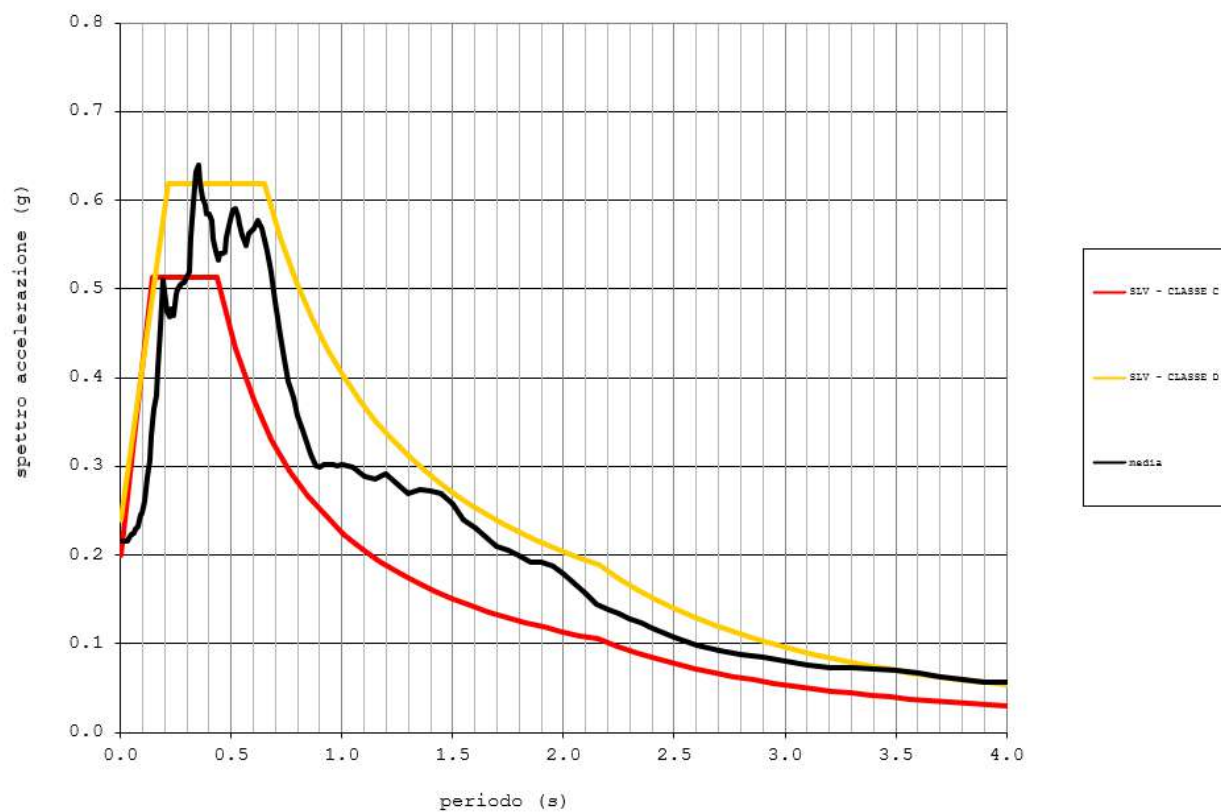


Fig.37. Spettro medio ottenuto dalla RSL con periodo di ritorno di 475 anni e smorzamento $\xi = 5\%$ per il sito di studio e confronto con spettri di norma per suoli di tipo C e di tipo D

Le accelerazioni massime attese in superficie (PGA) per i sette sismi di riferimento e l'accelerazione media sono indicati nella tabella di seguito. Il valore dell'accelerazione media $a_g = 0.22$. Il valore dell'accelerazione massima è 0.26g.

ID14948_1xa	ID14948_2xa	ID14948_3xa	ID14948_4xa	ID14948_5xa	ID14951_6xa	ID14948_7xa	media g 0.22
Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	
g	g	g	g	g	g	g	
0.24	0.21	0.23	0.18	0.22	0.26	0.19	

Fig.38. Accelerazioni massime attese in superficie per i sette sismi di riferimento e l'accelerazione media

Si riporta infine, nella tabella di seguito, il fattore di amplificazione PGA/PGA_0 (rapporti di accelerazione massima orizzontale calcolati in riferimento al valore massimo di PGA desunto dall'accelerogramma calcolato per ognuno dei 7 sismogrammi normalizzati e il valore di PGA_0 pari a 0.136g) in relazione alla modellazione di suolo adottata.

Si riportano i valori di Intensità spettrale in pseudovelocità FV di Housner da 0.1 a 0.5s e da 0.5 e 1.0s

	ID14948_1xa	ID14948_2xa	ID14948_3xa	ID14948_4xa	ID14948_5xa	ID14951_6xa	ID14948_7xa	MEDIA
Fattore di amplificazione PGA/PGA₀	1.79	1.55	1.68	1.32	1.65	1.92	1.40	1.62
Intensità spettrale (spettro di risposta in pseudovelocità) 0,1 - 0,5 s	1.67	1.64	1.80	1.55	1.82	1.79	1.45	1.67
Intensità spettrale (spettro di risposta in pseudovelocità) 0,5 - 1 s	1.87	1.93	2.32	1.96	2.01	1.90	1.70	1.96

Fig.39. Fattore di amplificazione stratigrafica

Dall'analisi di risposta sismica locale risulta che l'accelerazione massima attesa in superficie ottenuta dalla media per i 7 sismi di riferimento è pari a **0.22g**, il **valore massimo è 0.26g**, e il fattore di amplificazione stratigrafico medio è **PGA/PGA₀ = 1.62**, il **valore massimo è 1.92**.

Per quanto attiene al calcolo dei Fattori di Amplificazione, in conformità alla *DGR 630/2019 e s.m.i. di cui alle DGR 476/2021 e 564/2021*, **si riportano, le Amplificazioni calcolate per lo spettro ottenuto dall'analisi di RSL per i periodi compresi fra 01 - 05 s ; 04 - 08 s; 07 - 1.1sec.**

	ID14948_1xa	ID14948_2xa	ID14948_3xa	ID14948_4xa	ID14948_5xa	ID14951_6xa	ID14948_7xa	MEDIA
SA1 01 - 05	1.63	1.53	1.67	1.46	1.68	1.78	1.41	1.59
SA2 04 - 08	1.79	1.87	2.20	1.87	2.04	1.89	1.67	1.90
SA3 07 - 1.1	1.74	1.78	2.11	1.88	1.76	1.71	1.81	1.83

Le amplificazioni definite concordano con quanto indicato nello studio di microzonazione sismica comunale.

6.4.2 Analisi del rischio di liquefazione da prove in sito

In conformità a quanto indicato negli studi di microzonazione sismica citati, considerando che per il sito oggetto di studio, nessuna delle circostanze dettate nel capitolo 7.11.3.4.2 (NTC 2018) è soddisfatta, in conformità alle NTA Comunali, considerando che dalla valutazione delle caratteristiche litologiche del sito in esame, si riscontrano terreni di natura limosa e sabbiosa occorre fare una valutazione preventiva del potenziale rischio liquefazione dei terreni riscontrati in sito.

Intendendo con liquefazione, quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Al fine di verificare la stabilità o criticità del sito nei confronti dei processi di liquefazione, l'analisi **rischio liquefazione è stata realizzata su tutte le verticali delle prove (CPT e CPTU) eseguite in sito mediante metodi semplificati, che in condizioni di free field permettono un'analisi puntuale e significativa della zona di indagine, considerando gli input di seguito descritti.**

Si sottolinea quanto indicato nell'allegato A3 della Dgr 630/2019 e smi per l'analisi da prova penetrometrica statica CPTU con punta elettrica: " Tra i metodi semplificati di stima del potenziale di liquefazione è da preferire quello basato sui risultati di prove CPT

elettriche (CPTe/CPTu)".

Secondo le indicazioni della Dgr 630/2019 e smi è stata eseguita nel cap. 3.3 un'analisi dei livelli di falda e delle misure piezometriche, considerando i rilievi del livello di soggiacenza della falda, eseguiti in più punti di prove penetrometriche in sito, in diversi periodi di ricarica della falda, sia considerando il livello del freatico misurato in sito nel Giugno 2025 che si posiziona alla quota variabile da - 1.10 a - 0.90 m dal p.c.

La massima soggiacenza della falda freatica nel sito di studio può essere considerata pari a - 0.90 m dal p.c.

La Magnetudo Mw pari a 6.14 considerata, è quella della zona sismogenetica 912 di appartenenza del sito come da indicazioni dell'INGV

Secondo quanto indicato dall'allegato A3 della Dgr 630/2019, il picco di accelerazione massima in superficie da considerare è il maggiore fra quella definita dagli studi di microzonazione sismica di II livello che forniscono a_{max} di riferimento e quella definita dagli studi di microzonazione sismica. **L'accelerazione utilizzata è quella ottenuta dall'analisi di RSL di III livello $a_{gmax} = 0.22$.**

Per la verticale di prova, è stato riportato l'andamento del fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione FL(Z) fino alla profondità critica di 20 metri (Z crit) da piano campagna.

La stima del rischio liquefazione complessivo lungo una verticale di calcolo viene fornita dal parametro indice di liquefazione IPL che viene calcolato secondo la formula della Dgr 630/2019.

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

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.

Tra i vari metodi semplificati da prove CPT che permettono un'analisi puntuale del rischio liquefazione riconosciuti dalla Comunità Scientifica Internazionale, si è scelto, cautelativamente di utilizzare come metodo semplificato di analisi, **Idriss e Boulanger 2008 che è indicato al punto 3.3 della determinazione regionale n. 1105 del 03/02/2014** redatta ai fini degli interventi esecutivi per mitigare il rischio liquefazione, come *"quello meglio compatibile con gli effetti osservati in sito dal confronto fra i vari metodi utilizzati dal gruppo di lavoro che ha effettuato la microzonazione sismica di cui all'Ordinanza del Commissario delegato n. 70/2012"*. Si ritiene, inoltre, sulla base di risultati di diverse analisi eseguite in sito dalla scrivente nel territorio interessato dagli eventi sismici del 2012 che, come da quanto indicato nella Dgr 1105 /2014, in fase di progetti esecutivi, il metodo semplificato di Idriss e Boulanger (2008) sia quello che meglio analizza e definisce il valore dell'indice IPL e del rischio liquefazione.

Il calcolo dell'indice IPL, per le prove CPT, è stato definito considerando le seguenti equazioni di regressione CPTe funzione di CPT meccanica in considerazione del fatto

che tutti i metodi semplificati di calcolo dell'indice di liquefazione sono stati pensati e basati su prove CPTE e non su prove CPT meccaniche.

Quindi tramite le seguenti equazioni di regressione vengono ricalcolate le resistenze corrette per punta elettrica per due modelli di calcolo (Juang et al. 2006, Boulanger e Idriss 2014), quindi ricalcolate tutte le grandezze funzione di $qc1Ncs$ ($CRR_{7.5-\sigma}$, MSF , $K\sigma$, ecc.):

$$qc1Ncs,e=0.8714 \cdot qc1Ncs,m+4.3138 \text{ (Juang et al. 2006)}$$

$$qc1Ncs,e=0.0260 \cdot qc1Ncs,m1.5611+49.6590 \text{ (Boulanger e Idriss 2014)}$$

Si ritiene che gli input scelti per le verifiche (ag_{max} , livello di falda, Mw e metodi di analisi) sono tutti stati definiti a favore di cautela e per quanto motivato sopra, l'analisi rischio liquefazione con approccio cautelativo da PROVE CPT e CPTU secondo la recente D.G.R. 630/2019 e s.m.i. di cui alle DGR 476/2021 e 564/2021 è adeguata ai terreni presenti nel suolo e sottosuolo del sito di ubicazione delle strutture oggetto di intervento.

VERIFICA CPT 1

DATI GENERALI

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: AMPLIAMENTO CASEIFICIO

Codice identificativo NOVI RAZIONALE 1

Cliente: CASEIFICIO RAZIONALE NOVESE

Indirizzo, Coordinate: VIA PROVINCIALE MANTOVA - NOVI DI MODENA

Data 12/06/2025

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, 2018

Fattore sicurezza normativa 1

FALDA

Profondità falda idrica 0.9 m

DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.133

Fattore amplificazione 2.59

Tipo Suolo: A-Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi $V_{s30}>800$

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.7

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6.14

Distanza epicentro 20 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.22

Metodo di Idriss & Boulanger (2008) con applicata l'equazione di regressione tra punta elettrica e meccanica

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.43

Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di compressamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione
1	1.10	21.000	19.039	21.288	2.432	2.342	2.760129	86.944	1.036	0.122	0.163	1.130	Terreno non suscettibile di liquefazione
2	1.30	24.600	20.677	8.715	10.617	3.030	3.223442	86.944	1.032	0.122	0.163	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
3	1.50	28.200	22.316	9.682	8.228	2.937	3.022711	86.944	1.029	0.122	0.163	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
4	1.70	31.800	23.955	11.616	6.247	2.819	2.793039	86.944	1.025	0.122	0.163	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
5	1.90	35.400	25.593	12.583	5.771	2.786	2.653212	86.944	1.021	0.122	0.163	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
6	2.10	39.000	27.232	7.747	6.174	2.950	2.778235	86.944	1.017	0.122	0.163	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
7	2.30	42.600	28.871	5.803	8.445	3.141	2.793357	86.944	1.013	0.122	0.163	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
8	2.50	46.200	30.509	7.747	4.377	2.879	2.577736	86.944	1.009	0.122	0.163	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
9	2.70	49.800	32.148	7.747	6.265	2.995	2.48578	86.944	1.005	0.122	0.163	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
10	2.90	53.400	33.787	8.715	4.725	2.890	2.364324	86.944	1.001	0.122	0.163	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
11	3.10	57.000	35.425	7.747	6.327	3.022	2.324825	86.944	0.996	0.122	0.163	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
12	3.30	60.600	37.064	3.869	13.899	3.490	2.440714	86.944	0.992	0.122	0.163	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
13	3.50	64.200	38.703	9.682	4.276	2.864	2.126231	86.944	0.987	0.122	0.163	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
14	3.70	67.800	40.341	19.354	1.708	2.409	1.892443	72.544	0.983	0.103	0.236	0.637	Terreno suscettibile di liquefazione
15	3.90	71.400	41.980	17.419	3.067	2.610	1.872692	72.544	0.978	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione

16	4.10	75.000	43.619	8.715	8.126	3.114	1.979095	72.544	0.974	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
17	4.30	78.600	45.257	10.649	4.604	2.896	1.887124	72.544	0.969	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
18	4.50	82.200	46.896	9.682	6.542	3.037	1.856941	72.544	0.964	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
19	4.70	85.800	48.535	7.747	6.588	3.122	1.848521	72.544	0.959	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
20	4.90	89.500	50.273	10.649	5.942	2.997	1.750487	72.544	0.954	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
21	5.10	93.300	52.112	16.452	4.546	2.790	1.639023	72.544	0.949	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
22	5.30	97.100	53.951	14.518	7.133	2.971	1.618978	72.544	0.944	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
23	5.50	100.900	55.789	17.419	5.477	2.844	1.55717	72.544	0.939	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
24	5.70	104.700	57.628	18.386	5.964	2.861	1.516889	72.544	0.934	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
25	5.90	108.500	59.467	19.354	6.348	2.871	1.478605	72.544	0.929	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
26	6.10	112.300	61.305	14.518	9.160	3.079	1.478636	72.544	0.924	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
27	6.30	116.100	63.144	11.616	9.237	3.161	1.467438	72.544	0.919	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
28	6.50	119.900	64.983	12.583	6.787	3.051	1.429043	72.544	0.913	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
29	6.70	123.700	66.821	12.583	5.107	2.977	1.399205	72.544	0.908	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
30	6.90	127.500	68.660	14.518	4.887	2.923	1.360036	72.544	0.903	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
31	7.10	131.300	70.499	14.518	6.803	3.026	1.333404	72.544	0.897	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
32	7.30	135.100	72.337	16.452	5.566	2.933	1.300194	72.544	0.892	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
33	7.50	138.900	74.176	13.550	9.529	3.164	1.286741	72.544	0.887	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
34	7.70	142.700	76.015	12.583	8.655	3.168	1.265948	72.544	0.881	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione

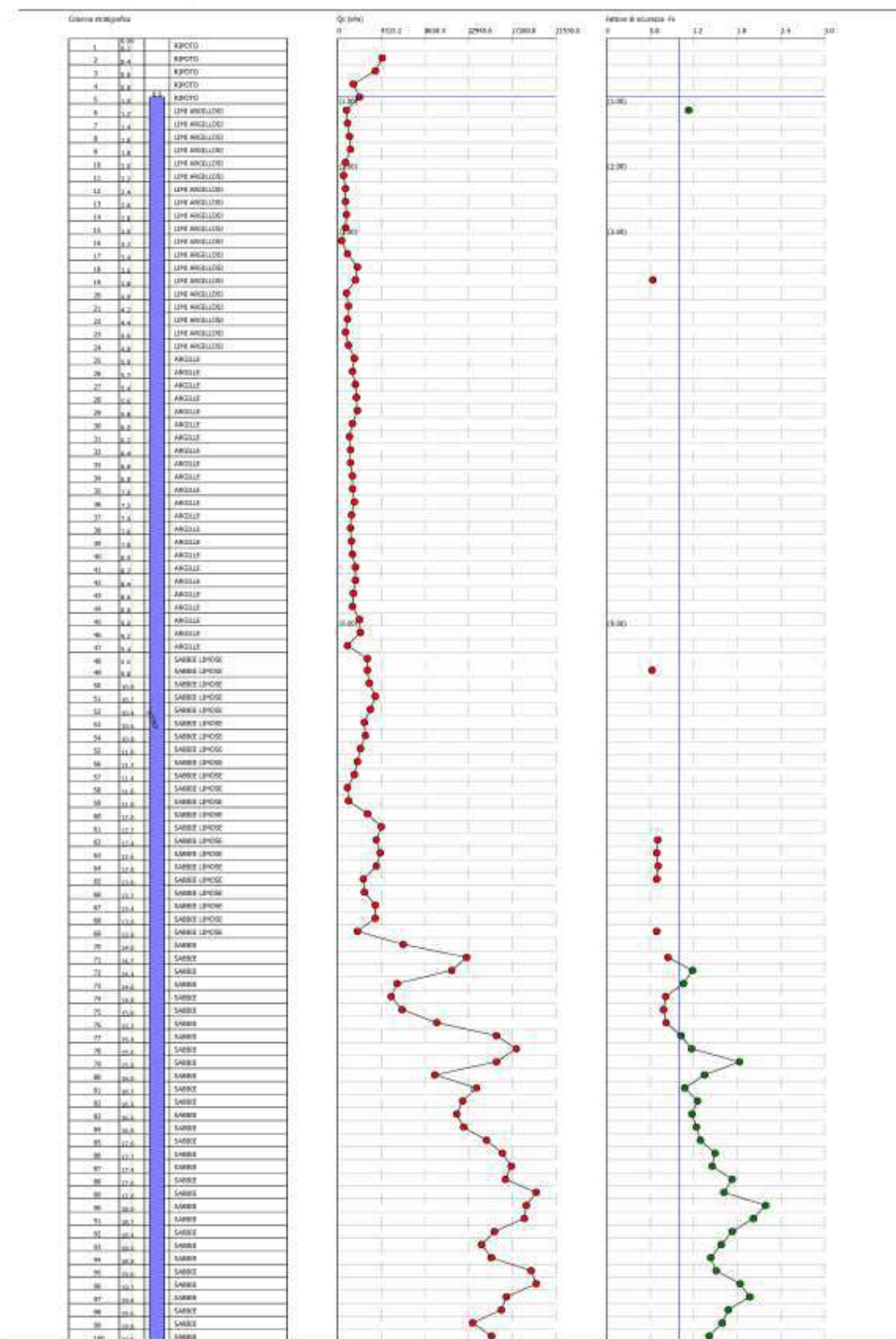
35	7.90	146.500	77.853	13.550	6.951	3.085	1.239045	72.544	0.876	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
36	8.10	150.300	79.692	14.518	6.456	3.046	1.213814	72.544	0.870	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
37	8.30	154.100	81.531	17.419	6.509	2.992	1.185781	72.544	0.865	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
38	8.50	157.900	83.370	17.419	5.671	2.958	1.165814	72.544	0.859	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
39	8.70	161.700	85.208	15.485	6.476	3.044	1.149721	72.544	0.854	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
40	8.90	165.500	87.047	14.518	6.005	3.052	1.132041	72.544	0.848	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
41	9.10	169.300	88.886	21.288	3.944	2.802	1.10535	72.544	0.843	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
42	9.30	173.100	90.724	22.265	5.317	2.878	1.087647	72.544	0.837	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
43	9.50	176.950	92.613	9.682	11.335	3.407	1.081846	72.544	0.832	0.103	0.236	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
44	9.70	180.850	94.552	29.035	2.378	2.569	1.051364	69.552	0.826	0.099	0.226	0.627	Terreno suscettibile di liquefazione
45	9.90	184.750	96.490	29.035	4.265	2.739	1.03615	69.552	0.821	0.099	0.226	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
46	10.10	188.650	98.429	30.970	6.214	2.836	1.021047	69.552	0.815	0.099	0.226	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
47	10.30	192.550	100.368	36.783	4.076	2.656	1.006591	69.552	0.810	0.099	0.226	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
48	10.50	196.450	102.306	31.937	6.029	2.826	0.9931063	69.552	0.804	0.099	0.226	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
49	10.70	200.350	104.245	26.134	8.808	3.013	0.9788614	69.552	0.799	0.099	0.226	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
50	10.90	204.250	106.184	27.101	7.210	2.944	0.9655504	69.552	0.793	0.099	0.226	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
51	11.10	208.150	108.122	22.265	14.022	3.222	0.9505733	69.552	0.788	0.099	0.226	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
52	11.30	212.050	110.061	19.354	6.724	3.051	0.9357361	69.552	0.782	0.099	0.226	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
53	11.50	215.950	112.000	16.452	8.577	3.187	0.9204314	69.552	0.777	0.099	0.226	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione

54	11.70	219.850	113.938	9.682	12.875	3.521	0.9001037	69.552	0.771	0.099	0.226	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
55	11.90	223.750	115.877	10.649	8.365	3.365	0.8877231	69.552	0.766	0.099	0.226	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
56	12.10	227.650	117.816	29.035	4.585	2.813	0.8930508	69.552	0.760	0.099	0.226	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
57	12.30	231.550	119.754	42.586	1.440	2.359	0.8914351	73.041	0.755	0.103	0.209	0.705	Terreno suscettibile di liquefazione
58	12.50	235.450	121.693	37.750	2.184	2.518	0.8779188	70.945	0.749	0.101	0.207	0.691	Terreno suscettibile di liquefazione
59	12.70	239.350	123.632	41.619	2.291	2.499	0.8707243	72.769	0.744	0.103	0.206	0.711	Terreno suscettibile di liquefazione
60	12.90	243.250	125.570	37.750	1.450	2.421	0.8578759	70.051	0.739	0.100	0.205	0.692	Terreno suscettibile di liquefazione
61	13.10	247.150	127.509	25.167	2.255	2.698	0.8355134	70.051	0.733	0.100	0.205	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
62	13.30	251.050	129.448	26.134	1.922	2.647	0.8265563	70.051	0.728	0.100	0.205	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
63	13.50	254.950	131.386	36.783	3.952	2.714	0.828414	70.051	0.723	0.100	0.205	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
64	13.70	258.850	133.325	36.783	0.763	2.303	0.8192797	67.998	0.718	0.097	0.199	0.692	Terreno suscettibile di liquefazione
65	13.90	262.800	135.314	19.354	3.866	2.964	0.7872307	67.998	0.713	0.097	0.199	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
66	14.10	266.800	137.352	63.874	2.953	2.445	0.8259177	83.498	0.707	0.117	0.196	0.846	Terreno suscettibile di liquefazione
67	14.30	270.800	139.391	125.823	1.045	1.906	0.8525917	112.315	0.702	0.164	0.195	1.183	Terreno non suscettibile di liquefazione
68	14.50	274.800	141.430	111.305	0.891	1.909	0.8428401	101.973	0.697	0.146	0.194	1.060	Terreno non suscettibile di liquefazione
69	14.70	278.800	143.468	58.071	2.098	2.390	0.7967865	78.622	0.692	0.111	0.192	0.814	Terreno suscettibile di liquefazione
70	14.90	282.800	145.507	52.267	1.701	2.376	0.7833079	75.035	0.687	0.106	0.191	0.785	Terreno suscettibile di liquefazione
71	15.10	286.800	147.546	62.906	0.966	2.163	0.7858403	78.140	0.682	0.110	0.190	0.820	Terreno suscettibile di liquefazione
72	15.30	290.800	149.584	96.788	1.370	2.091	0.8065395	96.851	0.677	0.137	0.188	1.027	Terreno non suscettibile di liquefazione

73	15.50	294.800	151.623	154.858	0.426	1.617	0.8174777	108.245	0.672	0.157	0.187	1.170	Terreno non suscettibile di liquefazione
74	15.70	298.800	153.662	174.212	1.508	1.928	0.8120367	143.401	0.667	0.244	0.186	1.830	Terreno non suscettibile di liquefazione
75	15.90	302.800	155.700	154.858	0.847	1.796	0.806703	119.432	0.663	0.178	0.184	1.349	Terreno non suscettibile di liquefazione
76	16.10	306.800	157.739	94.853	2.949	2.338	0.7793801	98.536	0.658	0.140	0.183	1.076	Terreno non suscettibile di liquefazione
77	16.30	310.800	159.778	135.505	0.971	1.884	0.7963434	111.588	0.653	0.163	0.182	1.252	Terreno non suscettibile di liquefazione
78	16.50	314.800	161.816	121.954	1.034	1.941	0.7887089	105.324	0.648	0.152	0.180	1.175	Terreno non suscettibile di liquefazione
79	16.70	318.800	163.855	116.141	2.166	2.179	0.7784237	109.174	0.644	0.158	0.179	1.237	Terreno non suscettibile di liquefazione
80	16.90	322.800	165.894	122.921	1.995	2.136	0.7784165	112.457	0.639	0.164	0.178	1.292	Terreno non suscettibile di liquefazione
81	17.10	326.800	167.932	145.176	1.819	2.056	0.7767678	124.481	0.635	0.190	0.177	1.494	Terreno non suscettibile di liquefazione
82	17.30	330.800	169.971	160.661	0.983	1.841	0.7720955	121.891	0.630	0.184	0.175	1.453	Terreno non suscettibile di liquefazione
83	17.50	334.800	172.010	169.376	1.555	1.963	0.7675063	135.201	0.626	0.217	0.174	1.728	Terreno non suscettibile di liquefazione
84	17.70	338.800	174.048	163.573	1.406	1.945	0.7629981	129.397	0.621	0.201	0.173	1.614	Terreno non suscettibile di liquefazione
85	17.90	342.800	176.087	193.575	1.693	1.954	0.7585683	150.404	0.617	0.273	0.172	2.188	Terreno non suscettibile di liquefazione
86	18.10	346.800	178.126	183.893	1.785	1.988	0.7542149	144.866	0.612	0.250	0.171	2.019	Terreno non suscettibile di liquefazione
87	18.30	350.800	180.164	181.959	1.154	1.857	0.7499356	133.604	0.608	0.213	0.169	1.731	Terreno non suscettibile di liquefazione
88	18.50	354.800	182.203	152.924	1.812	2.052	0.7457283	125.427	0.604	0.192	0.168	1.579	Terreno non suscettibile di liquefazione
89	18.70	358.800	184.242	140.341	1.647	2.051	0.741591	116.640	0.600	0.173	0.167	1.434	Terreno non suscettibile di liquefazione
90	18.90	362.800	186.280	150.022	1.539	2.011	0.7375218	120.538	0.596	0.181	0.166	1.509	Terreno non suscettibile di liquefazione
91	19.10	366.800	188.319	188.729	1.217	1.869	0.7335188	136.240	0.592	0.220	0.165	1.837	Terreno non suscettibile di liquefazione

92	19.30	370.800	190.358	193.575	1.360	1.896	0.7295805	140.868	0.588	0.235	0.164	1.971	Terreno non suscettibile di liquefazione
93	19.50	374.800	192.396	164.540	1.606	2.000	0.7257047	127.716	0.584	0.197	0.163	1.674	Terreno non suscettibile di liquefazione
94	19.70	378.800	194.435	159.694	1.445	1.979	0.7218902	122.958	0.580	0.186	0.161	1.590	Terreno non suscettibile di liquefazione
95	19.90	382.800	196.474	131.626	2.217	2.176	0.7117749	111.890	0.576	0.163	0.160	1.413	Terreno non suscettibile di liquefazione

IPL (Sonmez)=2.46 Zcrit=20 m Rischio=Moderato



VERIFICA CPT2 DATI GENERALI

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: AMPLIAMENTO CASEIFICIO

Codice identificativo NOVI RAZIONALE 1

Cliente: CASEIFICIO RAZIONALE NOVESE

Indirizzo, Coordinate: VIA PROVINCIALE MANTOVA - NOVI DI MODENA

Data 12/06/2025

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, 2018

Fattore sicurezza normativa 1

FALDA

Profondità falda idrica 0.9 m

DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.133

Fattore amplificazione 2.59

Tipo Suolo: A-Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi $V_{s30} > 800$

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.7

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6.14

Distanza epicentro 20 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.22

Metodo di Idriss & Boulanger (2008) con applicata l'equazione di regressione tra punta elettrica e meccanica

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.43

Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di compressione I _c	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta q _{c1} (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione
1	1.10	18.700	16.739	17.419	2.974	2.432	3.074083	83.976	1.036	0.118	0.166	1.078	Terreno non suscettibile di liquefazione
2	1.30	22.300	18.377	13.550	6.748	2.761	3.127213	83.976	1.032	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
3	1.50	25.900	20.016	12.583	8.395	2.862	3.03768	83.976	1.029	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
4	1.70	29.500	21.655	9.682	11.020	3.026	3.073147	83.976	1.025	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
5	1.90	33.100	23.293	5.803	15.365	3.276	3.230757	83.976	1.021	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
6	2.10	36.700	24.932	8.715	4.632	2.814	2.877382	83.976	1.017	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione

7	2.30	40.300	26.571	5.803	8.410	3.120	2.959589	83.976	1.013	0.118	0.166	0.000	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione
8	2.50	43.900	28.209	7.747	6.215	2.961	2.717135	83.976	1.009	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
9	2.70	47.500	29.848	10.649	4.465	2.787	2.487962	83.976	1.005	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
10	2.90	51.100	31.487	9.682	6.323	2.929	2.439421	83.976	1.001	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
11	3.10	54.700	33.125	5.803	14.701	3.347	2.530624	83.976	0.996	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
12	3.30	58.300	34.764	5.803	7.400	3.154	2.44526	83.976	0.992	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
13	3.50	61.900	36.403	3.869	11.875	3.440	2.475168	83.976	0.987	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
14	3.70	65.500	38.041	4.836	9.234	3.305	2.334178	83.976	0.983	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
15	3.90	69.100	39.680	5.803	8.876	3.245	2.216816	83.976	0.978	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
16	4.10	72.700	41.319	7.747	6.466	3.071	2.084538	83.976	0.974	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
17	4.30	76.300	42.957	5.803	9.001	3.274	2.085799	83.976	0.969	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
18	4.50	79.900	44.596	4.836	12.665	3.449	2.059358	83.976	0.964	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
19	4.70	83.500	46.235	3.869	16.836	3.626	2.039374	83.976	0.959	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
20	4.90	87.100	47.873	6.770	5.400	3.111	1.891174	83.976	0.954	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
21	5.10	90.800	49.612	7.747	6.635	3.132	1.818125	83.976	0.949	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
22	5.30	94.600	51.451	11.616	7.877	3.059	1.708144	83.976	0.944	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
23	5.50	98.400	53.289	14.518	4.784	2.851	1.632803	83.976	0.939	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
24	5.70	102.200	55.128	9.682	10.371	3.218	1.647992	83.976	0.934	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
25	5.90	106.000	56.967	9.682	8.960	3.184	1.606871	83.976	0.929	0.118	0.166	0.000	Terreno non

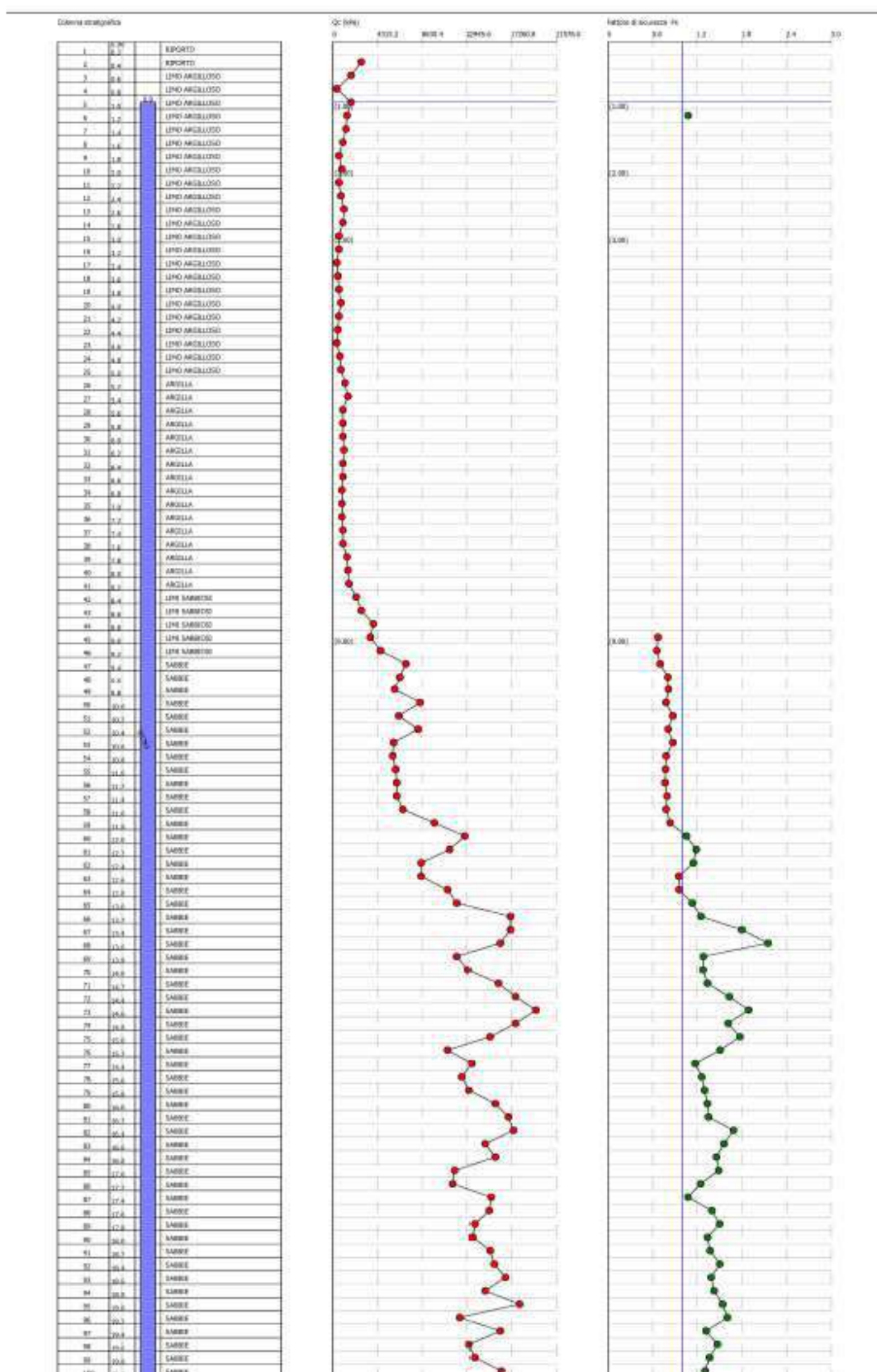
26	6.10	109.800	58.805	9.682	7.537	3.142	1.568418	83.976	0.924	0.118	0.166	0.000	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione
27	6.30	113.600	60.644	10.649	7.410	3.114	1.522106	83.976	0.919	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
28	6.50	117.400	62.483	9.682	9.873	3.239	1.496071	83.976	0.913	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
29	6.70	121.200	64.321	9.682	8.321	3.198	1.462498	83.976	0.908	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
30	6.90	125.000	66.160	8.715	8.662	3.256	1.438005	83.976	0.903	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
31	7.10	128.800	67.999	8.715	6.887	3.200	1.406491	83.976	0.897	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
32	7.30	132.600	69.837	8.715	7.836	3.245	1.376254	83.976	0.892	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
33	7.50	136.400	71.676	9.682	3.829	3.019	1.341173	83.976	0.887	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
34	7.70	140.200	73.515	9.682	6.993	3.191	1.31367	83.976	0.881	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
35	7.90	144.000	75.353	13.550	5.821	3.025	1.271135	83.976	0.876	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
36	8.10	147.800	77.192	14.518	4.962	2.962	1.244202	83.976	0.870	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
37	8.30	151.650	79.081	15.485	6.015	3.001	1.218458	83.976	0.865	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
38	8.50	155.550	81.020	22.265	5.272	2.846	1.181965	83.976	0.859	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
39	8.70	159.450	82.958	27.101	3.031	2.626	1.154872	83.976	0.854	0.118	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
40	8.90	163.350	84.897	38.717	3.467	2.553	1.124532	77.709	0.848	0.110	0.233	0.674	Terreno suscettibile di liquefazione
41	9.10	167.250	86.836	35.815	3.199	2.560	1.110567	75.256	0.843	0.106	0.232	0.657	Terreno suscettibile di liquefazione
42	9.30	171.200	88.824	45.487	1.921	2.339	1.087961	80.370	0.837	0.113	0.231	0.703	Terreno suscettibile di liquefazione
43	9.50	175.200	90.863	69.687	0.954	2.009	1.063152	91.428	0.832	0.129	0.229	0.807	Terreno suscettibile di liquefazione
44	9.70	179.200	92.902	63.874	1.869	2.228	1.051787	91.636	0.826	0.129	0.228	0.814	Terreno suscettibile di liquefazione

45	9.90	183.200	94.940	59.038	1.808	2.249	1.039801	87.681	0.821	0.123	0.226	0.781	suscettibile di liquefazione
46	10.10	187.200	96.979	83.237	0.867	1.934	1.023635	96.735	0.815	0.137	0.225	0.873	Terreno suscettibile di liquefazione
47	10.30	191.200	99.018	62.906	2.108	2.281	1.013735	89.892	0.810	0.127	0.224	0.811	Terreno suscettibile di liquefazione
48	10.50	195.200	101.056	81.303	0.975	1.981	1.001442	95.812	0.804	0.136	0.222	0.874	Terreno suscettibile di liquefazione
49	10.70	199.200	103.095	58.071	2.293	2.340	0.9894502	85.974	0.799	0.121	0.221	0.783	Terreno suscettibile di liquefazione
50	10.90	203.200	105.134	57.103	2.106	2.325	0.9774551	84.637	0.793	0.119	0.219	0.775	Terreno suscettibile di liquefazione
51	11.10	207.200	107.172	60.005	1.118	2.139	0.966312	83.410	0.788	0.117	0.218	0.769	Terreno suscettibile di liquefazione
52	11.30	211.200	109.211	60.972	1.856	2.275	0.9553233	85.774	0.782	0.121	0.216	0.795	Terreno suscettibile di liquefazione
53	11.50	215.200	111.250	60.972	1.315	2.184	0.9444019	83.947	0.777	0.118	0.215	0.783	Terreno suscettibile di liquefazione
54	11.70	219.200	113.288	66.785	2.095	2.286	0.9356192	89.013	0.771	0.125	0.213	0.837	Terreno suscettibile di liquefazione
55	11.90	223.200	115.327	96.788	2.045	2.160	0.9348704	108.730	0.766	0.158	0.212	1.056	Terreno non suscettibile di liquefazione
56	12.10	227.200	117.366	125.823	1.041	1.876	0.9291544	118.336	0.760	0.176	0.210	1.186	Terreno non suscettibile di liquefazione
57	12.30	231.200	119.404	111.305	1.597	2.045	0.9211882	115.065	0.755	0.169	0.209	1.149	Terreno non suscettibile di liquefazione
58	12.50	235.200	121.443	84.204	1.973	2.204	0.9041037	98.080	0.749	0.139	0.208	0.953	Terreno suscettibile di liquefazione
59	12.70	239.200	123.482	84.204	2.127	2.230	0.8954243	98.006	0.744	0.139	0.206	0.958	Terreno suscettibile di liquefazione
60	12.90	243.200	125.520	109.371	1.627	2.064	0.8979852	112.181	0.739	0.164	0.205	1.133	Terreno non suscettibile di liquefazione
61	13.10	247.200	127.559	118.076	2.066	2.116	0.8912567	120.142	0.733	0.180	0.203	1.250	Terreno non suscettibile di liquefazione
62	13.30	251.200	129.598	169.376	1.350	1.875	0.8842188	147.055	0.728	0.259	0.202	1.799	Terreno non suscettibile di liquefazione
63	13.50	255.200	131.636	169.376	2.127	2.024	0.8773451	156.950	0.723	0.307	0.200	2.150	Terreno non suscettibile di liquefazione

64	13.70	259.200	133.675	159.694	0.616	1.673	0.8706293	121.100	0.718	0.182	0.199	1.283	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione
65	13.90	263.200	135.714	118.076	2.622	2.202	0.8640653	119.928	0.713	0.179	0.198	1.279	Terreno non suscettibile di liquefazione
66	14.10	267.200	137.752	128.724	1.895	2.075	0.8576475	123.153	0.707	0.186	0.196	1.337	Terreno non suscettibile di liquefazione
67	14.30	271.200	139.791	157.760	1.540	1.950	0.8513708	138.298	0.702	0.227	0.195	1.631	Terreno non suscettibile di liquefazione
68	14.50	275.200	141.830	174.212	1.506	1.915	0.8452298	147.882	0.697	0.262	0.193	1.891	Terreno non suscettibile di liquefazione
69	14.70	279.200	143.868	193.575	0.674	1.644	0.8392199	137.153	0.692	0.223	0.192	1.615	Terreno non suscettibile di liquefazione
70	14.90	283.200	145.907	174.212	1.315	1.877	0.8333362	142.946	0.687	0.243	0.191	1.774	Terreno non suscettibile di liquefazione
71	15.10	287.200	147.946	150.022	1.531	1.972	0.8275747	130.440	0.682	0.204	0.189	1.508	Terreno non suscettibile di liquefazione
72	15.30	291.200	149.984	109.371	2.243	2.194	0.8142381	108.412	0.677	0.157	0.188	1.173	Terreno non suscettibile di liquefazione
73	15.50	295.200	152.023	132.593	1.141	1.929	0.8164013	114.335	0.672	0.168	0.187	1.260	Terreno non suscettibile di liquefazione
74	15.70	299.200	154.062	122.921	2.153	2.147	0.8109816	116.247	0.667	0.172	0.185	1.299	Terreno non suscettibile di liquefazione
75	15.90	303.200	156.100	129.692	1.832	2.082	0.8056685	118.213	0.663	0.176	0.184	1.337	Terreno non suscettibile di liquefazione
76	16.10	307.200	158.139	154.858	0.847	1.799	0.8004585	118.860	0.658	0.177	0.183	1.351	Terreno non suscettibile di liquefazione
77	16.30	311.200	160.178	167.441	1.453	1.935	0.7953483	136.249	0.653	0.220	0.181	1.688	Terreno non suscettibile di liquefazione
78	16.50	315.200	162.216	172.277	0.989	1.812	0.7903346	129.831	0.648	0.203	0.180	1.560	Terreno non suscettibile di liquefazione
79	16.70	319.200	164.255	145.176	1.587	2.010	0.7854147	123.459	0.644	0.187	0.179	1.458	Terreno non suscettibile di liquefazione
80	16.90	323.200	166.294	154.858	1.275	1.926	0.7805855	124.767	0.639	0.190	0.178	1.488	Terreno non suscettibile di liquefazione
81	17.10	327.200	168.332	116.141	2.287	2.201	0.7663665	108.532	0.635	0.157	0.176	1.246	Terreno non suscettibile di liquefazione
82	17.30	331.200	170.371	114.207	0.697	1.875	0.7591462	95.196	0.630	0.135	0.175	1.076	Terreno non suscettibile di liquefazione

83	17.50	335.200	172.410	150.989	1.048	1.882	0.7666153	117.794	0.626	0.175	0.174	1.397	suscettibile di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione
84	17.70	339.200	174.448	149.045	1.593	2.013	0.7621226	123.209	0.621	0.187	0.173	1.501	Terreno non suscettibile di liquefazione
85	17.90	343.200	176.487	135.505	1.318	1.989	0.7577081	112.743	0.617	0.165	0.172	1.338	Terreno non suscettibile di liquefazione
86	18.10	347.200	178.526	133.560	1.687	2.069	0.7533693	114.388	0.612	0.168	0.170	1.373	Terreno non suscettibile di liquefazione
87	18.30	351.200	180.564	150.022	1.538	2.006	0.7491043	121.793	0.608	0.183	0.169	1.504	Terreno non suscettibile di liquefazione
88	18.50	355.200	182.603	153.891	0.900	1.843	0.7449109	114.428	0.604	0.168	0.168	1.387	Terreno non suscettibile di liquefazione
89	18.70	359.200	184.642	164.540	0.799	1.789	0.7407871	116.531	0.600	0.172	0.167	1.427	Terreno non suscettibile di liquefazione
90	18.90	363.200	186.680	145.176	2.186	2.131	0.7367311	122.177	0.596	0.184	0.166	1.542	Terreno non suscettibile di liquefazione
91	19.10	367.200	188.719	178.090	0.959	1.817	0.7327409	125.517	0.592	0.192	0.165	1.605	Terreno non suscettibile di liquefazione
92	19.30	371.200	190.758	120.987	2.531	2.242	0.7146586	107.294	0.588	0.155	0.163	1.319	Terreno non suscettibile di liquefazione
93	19.50	375.200	192.796	159.694	0.992	1.867	0.7249513	116.860	0.584	0.173	0.162	1.471	Terreno non suscettibile di liquefazione
94	19.70	379.200	194.835	129.692	1.843	2.123	0.7137812	109.419	0.580	0.159	0.161	1.366	Terreno non suscettibile di liquefazione
95	19.90	383.200	196.874	135.505	0.977	1.924	0.7146171	105.015	0.576	0.151	0.160	1.306	Terreno non suscettibile di liquefazione

IPL (Sonmez)=3.29 Zcrit=20 m Rischio=Moderato



VERIFICA CPT3 DATI GENERALI

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: AMPLIAMENTO CASEIFICIO

Codice identificativo NOVI RAZIONALE 1

Cliente: CASEIFICIO RAZIONALE NOVESE

Indirizzo, Coordinate: VIA PROVINCIALE MANTOVA - NOVI DI MODENA

Data 12/06/2025

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, 2018

Fattore sicurezza normativa 1

FALDA

Profondità falda idrica 0.9 m

DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.133

Fattore amplificazione 2.59

Tipo Suolo: A-Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi $V_{s30} > 800$

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.7

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6.14

Distanza epicentro 20 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.22

Metodo di Idriss & Boulanger (2008) con applicata l'equazione di regressione tra punta elettrica e meccanica

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.43

Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di compressamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione
1	1.10	19.500	17.539	7.747	3.457	2.687	3.6347	0.000	1.036	0.000	0.000	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
2	1.30	23.100	19.177	3.869	10.626	3.224	3.951391	0.000	1.032	0.000	0.000	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
3	1.50	26.700	20.816	3.869	8.853	3.190	3.734049	0.000	1.029	0.000	0.000	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
4	1.70	30.300	22.455	15.485	1.720	2.355	2.736111	75.790	1.025	0.107	0.198	0.806	Terreno suscettibile di liquefazione
5	1.90	33.900	24.093	7.747	6.915	2.958	3.00302	75.790	1.021	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione

6	2.10	37.500	25.732	4.836	10.179	3.221	3.111915	75.790	1.017	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
7	2.30	41.100	27.371	3.869	7.541	3.219	3.077923	75.790	1.013	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
8	2.50	44.700	29.009	4.836	5.942	3.098	2.858842	75.790	1.009	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
9	2.70	48.300	30.648	7.747	3.592	2.826	2.570125	75.790	1.005	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
10	2.90	51.900	32.287	8.715	5.542	2.926	2.439926	75.790	1.001	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
11	3.10	55.500	33.925	9.682	4.236	2.829	2.322221	75.790	0.996	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
12	3.30	59.100	35.564	6.770	7.347	3.109	2.360933	75.790	0.992	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
13	3.50	62.700	37.203	5.803	9.888	3.258	2.324901	75.790	0.987	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
14	3.70	66.300	38.841	5.803	6.199	3.136	2.252317	75.790	0.983	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
15	3.90	70.000	40.580	5.803	7.568	3.206	2.177541	75.790	0.978	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
16	4.10	73.800	42.419	10.649	3.900	2.833	1.973048	75.790	0.974	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
17	4.30	77.600	44.257	12.583	2.701	2.690	1.881365	75.790	0.969	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
18	4.50	81.400	46.096	7.747	7.382	3.140	1.922626	75.790	0.964	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
19	4.70	85.200	47.935	10.649	3.944	2.869	1.810982	75.790	0.959	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
20	4.90	89.000	49.773	8.715	7.406	3.124	1.794649	75.790	0.954	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
21	5.10	92.800	51.612	9.682	6.620	3.067	1.730886	75.790	0.949	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
22	5.30	96.600	53.451	8.715	6.605	3.111	1.701102	75.790	0.944	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
23	5.50	100.400	55.289	11.616	4.824	2.935	1.620899	75.790	0.939	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
24	5.70	104.200	57.128	15.485	6.222	2.924	1.546931	75.790	0.934	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione

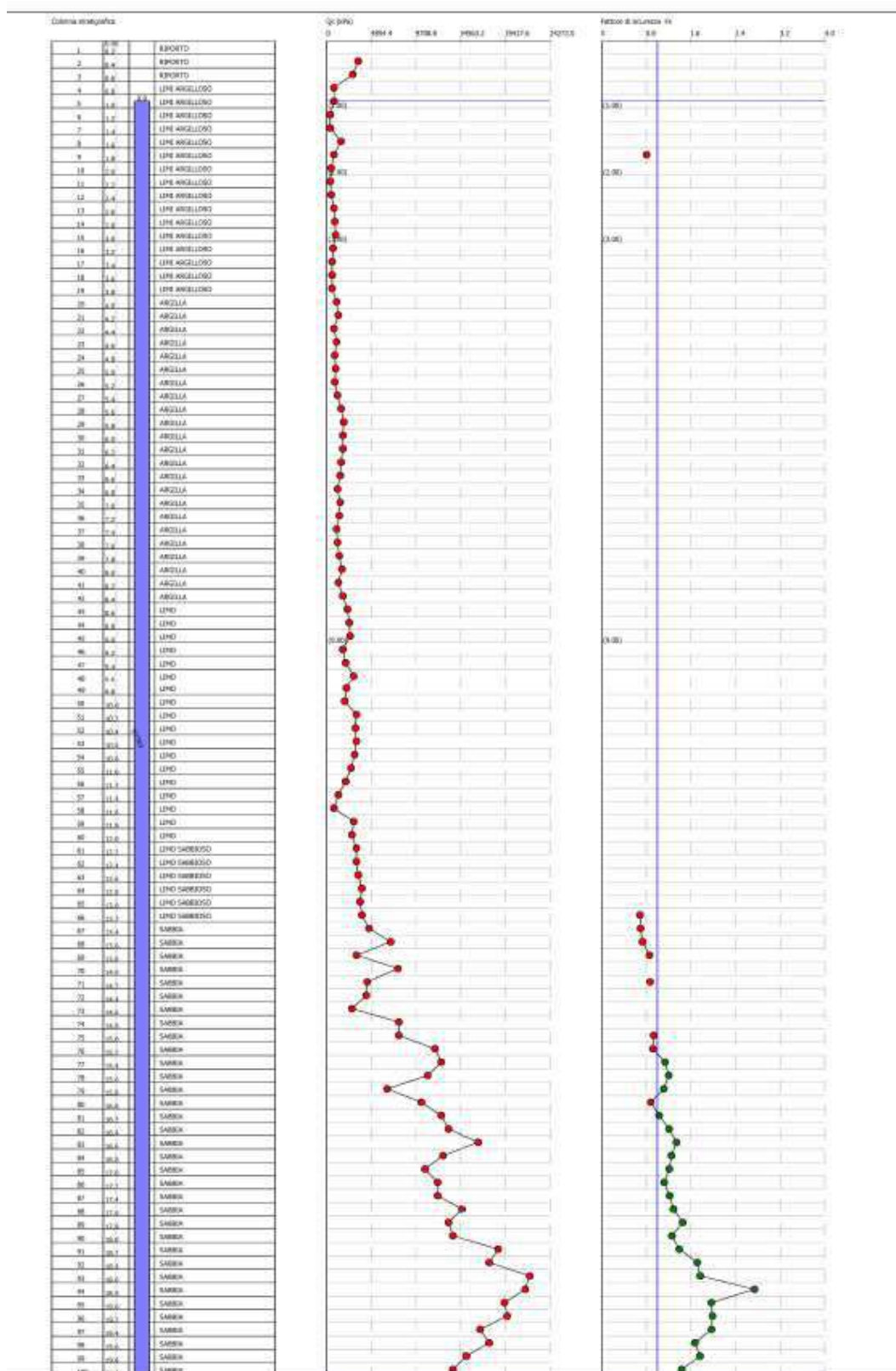
25	5.90	108.000	58.967	18.386	5.584	2.846	1.492866	75.790	0.929	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
26	6.10	111.800	60.805	17.419	7.113	2.944	1.467728	75.790	0.924	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
27	6.30	115.600	62.644	17.419	6.714	2.933	1.437652	75.790	0.919	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
28	6.50	119.400	64.483	15.485	7.234	3.000	1.41922	75.790	0.913	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
29	6.70	123.200	66.321	14.518	6.326	2.988	1.395777	75.790	0.908	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
30	6.90	127.000	68.160	11.616	8.120	3.144	1.383971	75.790	0.903	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
31	7.10	130.800	69.999	14.518	5.850	2.980	1.340548	75.790	0.897	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
32	7.30	134.600	71.837	13.550	6.885	3.059	1.318846	75.790	0.892	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
33	7.50	138.400	73.676	10.649	11.773	3.308	1.306501	75.790	0.887	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
34	7.70	142.200	75.515	11.616	7.576	3.155	1.276451	75.790	0.881	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
35	7.90	146.000	77.353	13.550	4.792	2.977	1.24531	75.790	0.876	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
36	8.10	149.800	79.192	16.452	4.328	2.886	1.214636	75.790	0.870	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
37	8.30	153.600	81.031	12.583	8.739	3.190	1.203215	75.790	0.865	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
38	8.50	157.450	82.919	17.419	5.669	2.956	1.170641	75.790	0.859	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
39	8.70	161.350	84.858	22.265	5.287	2.859	1.1428	75.790	0.854	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
40	8.90	165.250	86.797	24.199	5.143	2.828	1.121786	75.790	0.848	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
41	9.10	169.150	88.735	25.167	5.763	2.855	1.103044	75.790	0.843	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
42	9.30	173.050	90.674	17.419	9.419	3.132	1.092427	75.790	0.837	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
43	9.50	176.950	92.613	20.321	12.497	3.175	1.072283	75.790	0.832	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione

44	9.70	180.850	94.551	29.035	3.798	2.700	1.051365	75.790	0.826	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
45	9.90	184.750	96.490	21.288	6.609	2.974	1.038573	75.790	0.821	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
46	10.10	188.650	98.429	19.354	7.354	3.045	1.023182	75.790	0.815	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
47	10.30	192.550	100.368	31.937	5.796	2.809	1.006817	75.790	0.810	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
48	10.50	196.450	102.306	30.970	4.897	2.773	0.9930586	75.790	0.804	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
49	10.70	200.350	104.245	31.937	5.585	2.807	0.9797519	75.790	0.799	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
50	10.90	204.250	106.184	30.002	6.912	2.897	0.96628	75.790	0.793	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
51	11.10	208.150	108.122	26.134	7.230	2.962	0.9520794	75.790	0.788	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
52	11.30	212.050	110.061	20.321	8.118	3.089	0.9362821	75.790	0.782	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
53	11.50	215.950	112.000	12.583	11.752	3.382	0.9171774	75.790	0.777	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
54	11.70	219.850	113.938	7.747	13.872	3.641	0.8974064	75.790	0.771	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
55	11.90	223.750	115.877	29.035	2.416	2.630	0.9044992	75.790	0.766	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
56	12.10	227.650	117.816	27.101	3.113	2.729	0.8915937	75.790	0.760	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
57	12.30	231.550	119.754	31.937	3.686	2.720	0.8841808	75.790	0.755	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
58	12.50	235.450	121.693	31.937	7.610	2.941	0.8734818	75.790	0.749	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
59	12.70	239.350	123.632	33.871	3.070	2.656	0.8646353	75.790	0.744	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
60	12.90	243.250	125.570	37.750	3.092	2.623	0.8578762	75.790	0.739	0.107	0.198	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
61	13.10	247.150	127.509	35.815	1.942	2.520	0.8464401	69.268	0.733	0.099	0.203	0.689	Terreno suscettibile di liquefazione
62	13.30	251.100	129.498	37.750	1.837	2.490	0.838455	69.940	0.728	0.100	0.202	0.700	Terreno suscettibile di liquefazione

63	13.50	255.100	131.536	45.487	1.508	2.371	0.8357668	73.160	0.723	0.104	0.200	0.733	Terreno suscettibile di liquefazione
64	13.70	259.100	133.575	68.719	1.857	2.277	0.844651	85.657	0.718	0.121	0.199	0.857	Terreno suscettibile di liquefazione
65	13.90	263.100	135.614	31.937	3.066	2.704	0.8031808	85.657	0.713	0.121	0.199	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
66	14.10	267.100	137.652	76.457	0.956	2.065	0.8339391	85.778	0.707	0.121	0.196	0.869	Terreno suscettibile di liquefazione
67	14.30	271.100	139.691	43.553	5.040	2.743	0.797927	85.778	0.702	0.121	0.196	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
68	14.50	275.100	141.730	42.586	4.366	2.711	0.7883933	85.778	0.697	0.121	0.196	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
69	14.70	279.100	143.768	27.101	3.178	2.796	0.7598712	85.778	0.692	0.121	0.196	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
70	14.90	283.100	145.807	77.424	2.592	2.352	0.80471	89.667	0.687	0.126	0.191	0.935	Terreno suscettibile di liquefazione
71	15.10	287.100	147.846	77.424	1.725	2.235	0.7975763	87.744	0.682	0.124	0.189	0.920	Terreno suscettibile di liquefazione
72	15.30	291.100	149.884	116.141	1.136	1.971	0.8189816	105.840	0.677	0.152	0.188	1.138	Terreno non suscettibile di liquefazione
73	15.50	295.100	151.923	122.921	1.233	1.976	0.8166702	110.297	0.672	0.160	0.187	1.204	Terreno non suscettibile di liquefazione
74	15.70	299.100	153.962	108.404	1.403	2.062	0.8015118	102.831	0.667	0.147	0.185	1.115	Terreno non suscettibile di liquefazione
75	15.90	303.100	156.000	64.851	4.487	2.596	0.757908	81.726	0.663	0.115	0.184	0.881	Terreno suscettibile di liquefazione
76	16.10	307.100	158.039	101.624	0.981	1.993	0.7840548	94.942	0.658	0.134	0.183	1.032	Terreno non suscettibile di liquefazione
77	16.30	311.100	160.078	122.921	1.235	1.986	0.7941104	108.502	0.653	0.157	0.181	1.211	Terreno non suscettibile di liquefazione
78	16.50	315.100	162.116	130.659	1.767	2.074	0.7905786	116.892	0.648	0.173	0.180	1.342	Terreno non suscettibile di liquefazione
79	16.70	319.100	164.155	162.596	0.485	1.644	0.7856541	110.765	0.644	0.161	0.179	1.252	Terreno non suscettibile di liquefazione
80	16.90	323.100	166.194	124.856	1.113	1.958	0.7789445	106.952	0.639	0.154	0.178	1.213	Terreno non suscettibile di liquefazione
81	17.10	327.100	168.232	105.492	1.579	2.124	0.7579268	99.222	0.635	0.141	0.176	1.121	Terreno non suscettibile di liquefazione

82	17.30	331.100	170.271	119.043	1.504	2.067	0.7633664	106.221	0.630	0.153	0.175	1.220	Terreno non suscettibile di liquefazione
83	17.50	335.100	172.310	119.043	2.566	2.233	0.7581066	110.318	0.626	0.160	0.174	1.288	Terreno non suscettibile di liquefazione
84	17.70	339.100	174.348	145.176	1.548	2.012	0.7623414	120.633	0.621	0.181	0.173	1.455	Terreno non suscettibile di liquefazione
85	17.90	343.100	176.387	130.659	1.064	1.940	0.7572764	107.425	0.617	0.155	0.172	1.260	Terreno non suscettibile di liquefazione
86	18.10	347.100	178.426	135.505	1.706	2.068	0.7535806	115.617	0.612	0.171	0.170	1.392	Terreno non suscettibile di liquefazione
87	18.30	351.100	180.464	183.893	1.072	1.832	0.749312	132.816	0.608	0.211	0.169	1.714	Terreno non suscettibile di liquefazione
88	18.50	355.100	182.503	174.212	1.513	1.956	0.7451152	134.532	0.604	0.215	0.168	1.768	Terreno non suscettibile di liquefazione
89	18.70	359.100	184.542	217.765	1.625	1.913	0.740988	161.379	0.600	0.335	0.167	2.739	Terreno non suscettibile di liquefazione
90	18.90	363.100	186.580	212.929	0.924	1.746	0.7369286	141.891	0.596	0.239	0.166	1.966	Terreno non suscettibile di liquefazione
91	19.10	367.100	188.619	190.664	1.484	1.927	0.7329353	141.747	0.592	0.238	0.165	1.987	Terreno non suscettibile di liquefazione
92	19.30	371.100	190.658	193.575	1.360	1.897	0.7290062	140.785	0.588	0.235	0.164	1.970	Terreno non suscettibile di liquefazione
93	19.50	375.100	192.696	164.540	1.606	2.000	0.7251396	127.645	0.584	0.197	0.162	1.673	Terreno non suscettibile di liquefazione
94	19.70	379.100	194.735	174.212	1.515	1.966	0.7213339	131.436	0.580	0.207	0.161	1.763	Terreno non suscettibile di liquefazione
95	19.90	383.100	196.774	150.022	1.104	1.922	0.7175875	113.499	0.576	0.166	0.160	1.435	Terreno non suscettibile di liquefazione

IPL (Sonmez)=1.24 Zcrit=20 m Rischio=Basso



VERIFICA CPTU

DATI GENERALI

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: AMPLIAMENTO CASEIFICIO

Codice identificativo NOVI RAZIONALE CPTU

Cliente: CASEIFICIO RAZIONALE NOVESE

Indirizzo, Coordinate: VIA PROVINCIALE MANTOVA, NOVI DI MODENA

Data 17/06/2025

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, NTC 2018

Fattore sicurezza normativa 1

FALDA

Profondità falda idrica 0.9 m

DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.133

Fattore amplificazione 2.59

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.7

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6.14

Distanza epicentro 20 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.22

Idriss & Boulanger, 2008

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.43

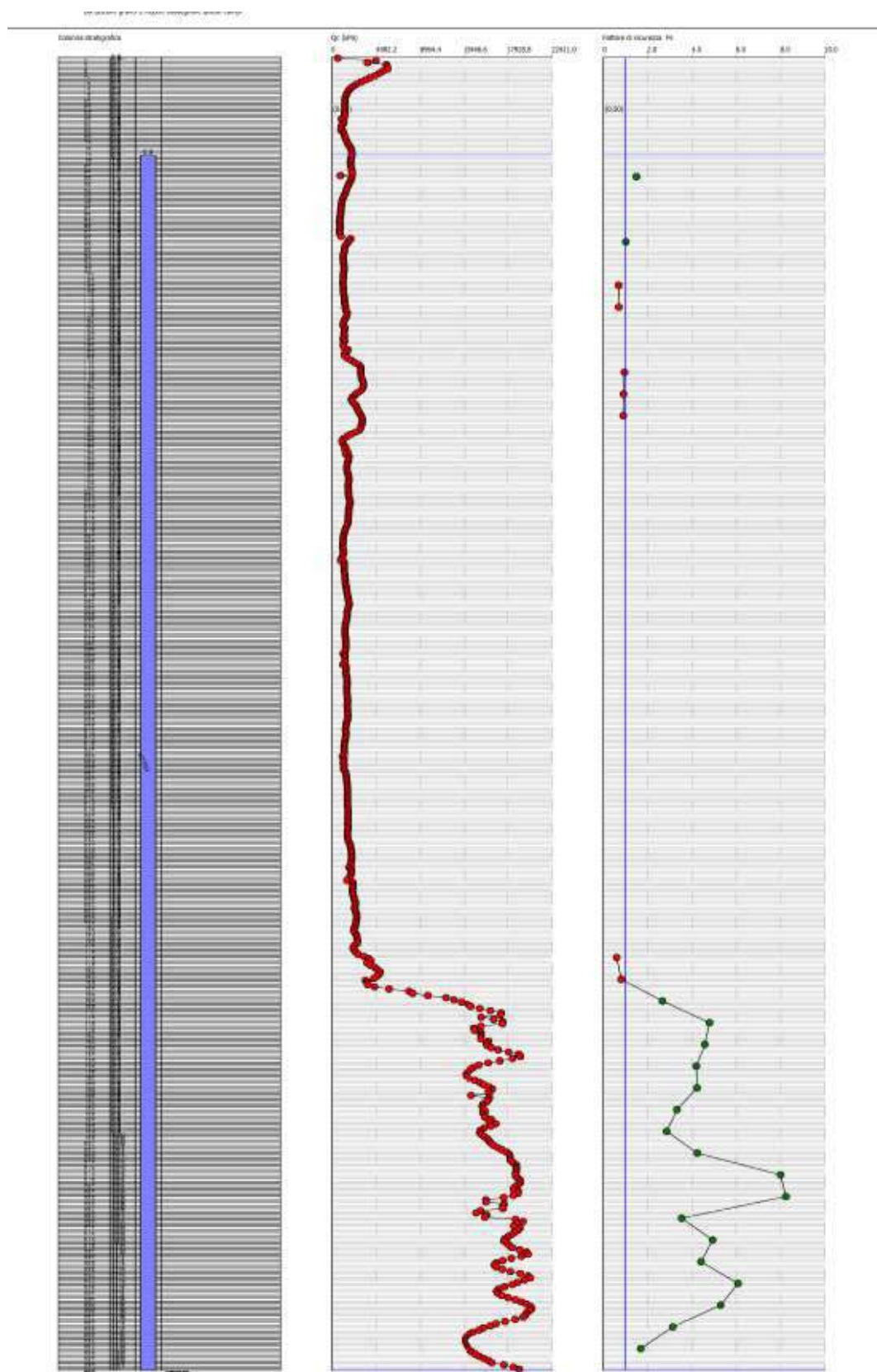
Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Resistenza laterale e normalizzata F(%)	Indice di compressione I _c	Correzione per la pressione litostatica efficace C _Q	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente ridotti (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio norma lizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione
1	1.10	18.000	16.039	20.656	4.969	2.549	3.002152	112.380	1.036	0.164	0.166	1.500	Terreno non suscettibile di liquefazione
2	1.30	21.600	17.677	12.573	5.294	2.695	3.240488	112.380	1.032	0.164	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
3	1.50	25.200	19.316	8.497	5.300	2.808	3.366788	112.380	1.029	0.164	0.166	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
4	1.70	28.800	20.955	19.018	2.797	2.428	2.702358	96.833	1.025	0.137	0.201	1.023	Terreno non suscettibile di liquefazione
5	1.90	32.400	22.593	11.754	5.282	2.754	2.88376	96.833	1.021	0.137	0.201	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
6	2.10	36.000	24.232	11.221	2.807	2.594	2.798281	71.682	1.017	0.102	0.216	0.697	Terreno suscettibile di liquefazione

7	2.30	39.600	25.871	13.146	2.159	2.492	2.61146	74.815	1.013	0.106	0.222	0.706	Terreno suscettibile di liquefazione
8	2.50	43.200	27.509	11.350	4.951	2.782	2.590614	74.815	1.009	0.106	0.222	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
9	2.70	46.800	29.148	12.287	2.938	2.621	2.464993	74.815	1.005	0.106	0.222	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
10	2.90	50.400	30.787	29.213	1.907	2.267	2.050418	105.061	1.001	0.151	0.234	0.958	Terreno suscettibile di liquefazione
11	3.10	54.000	32.425	28.749	1.840	2.270	2.008233	102.283	0.996	0.146	0.237	0.914	Terreno suscettibile di liquefazione
12	3.30	57.600	34.064	28.897	2.285	2.340	1.954261	102.135	0.992	0.146	0.240	0.901	Terreno suscettibile di liquefazione
13	3.50	61.200	35.703	19.156	3.899	2.620	2.035723	102.135	0.987	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
14	3.70	64.800	37.341	17.172	3.886	2.658	2.015282	102.135	0.983	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
15	3.90	68.400	38.980	16.975	3.409	2.632	1.96859	102.135	0.978	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
16	4.10	72.000	40.619	17.784	3.514	2.636	1.906908	102.135	0.974	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
17	4.30	75.600	42.258	16.422	4.180	2.719	1.878676	102.135	0.969	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
18	4.50	79.200	43.896	11.202	4.736	2.881	1.917428	102.135	0.964	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
19	4.70	82.800	45.535	12.327	3.533	2.777	1.850432	102.135	0.959	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
20	4.90	86.400	47.174	14.389	4.826	2.826	1.775785	102.135	0.954	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
21	5.10	90.000	48.812	15.781	4.400	2.779	1.719198	102.135	0.949	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
22	5.30	93.600	50.451	13.235	5.596	2.912	1.711482	102.135	0.944	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
23	5.50	97.200	52.090	13.531	4.569	2.854	1.670255	102.135	0.939	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
24	5.70	100.800	53.728	14.735	4.295	2.817	1.621283	102.135	0.934	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione

25	5.90	104.400	55.367	15.218	5.168	2.868	1.583267	102.135	0.929	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
26	6.10	108.000	57.006	16.195	4.912	2.841	1.543909	102.135	0.924	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
27	6.30	111.600	58.644	13.916	4.991	2.902	1.531563	102.135	0.919	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
28	6.50	115.200	60.283	12.317	5.173	2.960	1.514101	102.135	0.913	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
29	6.70	118.800	61.922	15.396	4.552	2.856	1.461705	102.135	0.908	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
30	6.90	122.400	63.560	15.781	5.228	2.895	1.432137	102.135	0.903	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
31	7.10	126.000	65.199	16.442	4.714	2.858	1.402774	102.135	0.897	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
32	7.30	129.600	66.838	18.712	4.212	2.790	1.367055	102.135	0.892	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
33	7.50	133.200	68.476	17.192	5.227	2.886	1.350396	102.135	0.887	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
34	7.70	137.000	70.315	20.785	4.810	2.807	1.311223	102.135	0.881	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
35	7.90	140.800	72.154	23.627	4.940	2.780	1.279268	102.135	0.876	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
36	8.10	144.600	73.993	22.995	3.798	2.717	1.25882	102.135	0.870	0.146	0.240	0.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
37	8.30	148.420	75.851	26.529	1.815	2.472	1.229272	72.336	0.865	0.103	0.242	0.610	Terreno suscettibile di liquefazione
38	8.50	152.420	77.890	45.458	1.480	2.239	1.178828	96.103	0.859	0.136	0.240	0.816	Terreno suscettibile di liquefazione
39	8.70	156.420	79.929	114.000	1.331	1.918	1.12592	173.093	0.854	0.441	0.239	2.672	Terreno non suscettibile di liquefazione
40	8.90	160.420	81.967	163.040	0.537	1.543	1.11183	191.056	0.848	0.781	0.237	4.795	Terreno non suscettibile di liquefazione
41	9.10	164.420	84.006	157.898	0.653	1.612	1.098256	189.771	0.843	0.744	0.236	4.581	Terreno non suscettibile di liquefazione
42	9.30	168.421	86.045	157.572	0.643	1.612	1.085167	187.260	0.837	0.680	0.234	4.200	Terreno non suscettibile di liquefazione
													100

43	9.50	172.421	88.083	152.973	0.770	1.677	1.072535	187.360	0.832	0.682	0.233	4.231	Terreno non suscettibile di liquefazione
44	9.70	176.421	90.122	151.542	0.670	1.645	1.060335	179.897	0.826	0.534	0.231	3.328	Terreno non suscettibile di liquefazione
45	9.90	180.421	92.161	153.269	0.555	1.594	1.048541	174.425	0.821	0.457	0.230	2.861	Terreno non suscettibile di liquefazione
46	10.10	184.421	94.199	171.271	0.516	1.540	1.037133	186.980	0.815	0.673	0.228	4.240	Terreno non suscettibile di liquefazione
47	10.30	188.421	96.238	185.532	0.609	1.561	1.026089	202.205	0.810	1.263	0.227	8.000	Terreno non suscettibile di liquefazione
48	10.50	192.421	98.277	187.318	0.623	1.568	1.01539	202.708	0.804	1.294	0.225	8.236	Terreno non suscettibile di liquefazione
49	10.70	196.421	100.315	155.934	0.768	1.691	1.00502	181.069	0.799	0.554	0.224	3.539	Terreno non suscettibile di liquefazione
50	10.90	200.421	102.354	177.054	0.621	1.593	0.9949602	190.595	0.793	0.768	0.222	4.935	Terreno non suscettibile di liquefazione
51	11.10	204.421	104.393	180.765	0.516	1.539	0.9851969	187.403	0.788	0.683	0.221	4.413	Terreno non suscettibile di liquefazione
52	11.30	208.421	106.432	193.743	0.482	1.500	0.9757156	195.565	0.782	0.936	0.219	6.078	Terreno non suscettibile di liquefazione
53	11.50	212.421	108.470	190.713	0.498	1.518	0.9665029	192.039	0.777	0.812	0.217	5.297	Terreno non suscettibile di liquefazione
54	11.70	216.421	110.509	165.507	0.627	1.632	0.9575463	176.065	0.771	0.478	0.216	3.140	Terreno non suscettibile di liquefazione
55	11.90	220.421	112.548	135.376	0.517	1.656	0.9488341	146.347	0.766	0.256	0.214	1.693	Terreno non suscettibile di liquefazione

IPL (Sonmez)=2.14 Zcrit=20 m Rischio=Moderato



Si sintetizzano di seguito i risultati ottenuti

PROVA	a_g	LPI Idriss & Boulanger 2008 con applicata l'equazione di regressione tra CPTE e CPTM	RISCHIO (Sonmez 2003)	SPESSORI STRATI (m)	PROFONDITA' (m)
CPT1	0.22	2.46	MODERATO	0.60 1.40	12.30÷12.90 13.70÷15.10
CPT2	0.22	3.29	MODERATO	2.80	8.90÷11.70
CPT3	0.22	1.24	MODERATO	1.0	13.10÷14.10
CPTU	0.22	2.14	MODERATO	0.60 0.40	2.90÷3.30 8.30÷8.50

Sulla base delle verifiche eseguite sulle verticali di prova CPTU e CPT, il valore dell'Indice del potenziale di liquefazione IPL è MODERATO $2 < IPL < 5$, secondo quanto classificato seguendo il metodo Somenz 2003:

- $IL = 0$ il rischio di liquefazione è molto basso;
- $0 < IL < 2$ il rischio di liquefazione è basso;
- $2 \leq IL < 5$ il rischio di liquefazione è moderato;
- $5 \leq IL < 15$ il rischio di liquefazione è elevato;
- $IL \geq 15$ il rischio di liquefazione è estremamente elevato.

I livelli potenzialmente liquefacibili si riscontrano nelle prime sabbie e limi sabbiosi sciolti dalla profondità di 8.50 metri.

Si calcolano i cedimenti post sismici.

6.4.3 Calcolo dei cedimenti post sismici

In ottemperanza alla DGR 630/2019 e in accordo con le indicazioni di piano del Comune di Novi di Modena, al fine di accertarne la compatibilità con l'intervento di progetto, si è condotta una stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica.

I valori che si ottengono applicando le procedure elencate al punto B dell'allegato 3 alla DGR 630/2019 devono intendersi solo orientativi.

Il cedimento permanente post sismico può essere stimato con l'equazione

$$s = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{vi} \cdot \Delta z_i$$

In cui ε_{vi} è la deformazione volumetrica (e verticale) dello strato i-esimo e Δz_i il suo spessore. I cedimenti permanenti indotti dall'azione sismica possono essere dovuti alle deformazioni volumetriche (e quindi verticali) di:

B1: terreni granulari saturi

B2: terreni granulari insaturi,

B3: terreni coesivi soffici.

I cedimenti conseguenti a liquefazione di terreni granulari saturi hanno luogo immediatamente dopo il terremoto o comunque in un tempo non superiore a un giorno, i cedimenti per densificazione di terreni granulari insaturi avvengono durante lo scuotimento sismico, mentre i cedimenti per consolidazione di terreni coesivi molli possono richiedere tempi anche molto lunghi in funzione delle condizioni stratigrafiche e geotecniche.

Considerata la stratigrafia del sito in esame e le caratteristiche geotecniche e di deformabilità dei terreni superficiali e profondi, i cedimenti post sismici da definire per il sito di studio sono del tipo B3 nei terreni coesivi soffici e plastici compresi fra 3 e 5.0 metri e del tipo B1 nei terreni granulari saturi potenzialmente liquefacibili compresi fra 8.50 e 14.80 m.

La causa dei cedimenti di riconsolidazione che si registrano dopo un evento sismico in un terreno è dovuta alla dissipazione delle pressioni interstiziali man mano che l'acqua viene espulsa dalla zona interessata.

Per stimare l'entità di tale cedimento è necessario caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni riscontrati.

Nelle tabelle di seguito si ricordano i parametri geotecnici in termini di resistenza dei terreni indagati.

Profondità dal p.c. (m)	Unità Formazionale	γ'_d (kN/m ³)	γ'_w (kN/m ³)	c'_k (kPa)	ϕ'_k (°)	C_{uk} (kPa)	Dr (%)
0.00 - 1.0	RIPORTO	18	21	/	/	/	/
1.0 - 4.0	ARGILLE DA MEDIAMENTE A POCO COMPATTE	16	18	6÷8	15÷17	40	/
4.0 - 6.0	ARGILLE COMPATTE	17	19	8÷10	18÷20	70	/
6.0-8.40	ARGILLE LIMOSE MEDIAMENTE COMPATTE	17	19	7÷8	17÷18	60	/
8.40 - 11.80	ARGILLE MOLTO COMPATTE	17	19	11÷13	20÷22	85	/
11.80 - 13.60	ARGILLE DEBOLMENTE LIMOSE POCO CONSISTENTI	16	18	5÷7	14÷16	35	/
13.60 - 20.0	SABBIA ADDENSATE	18	20	0	29÷31	0	65

PROVA	a _g	LPI Idriss & Boulanger 2008	RISCHIO (Sonmez 2003)	SPESSORI STRATI (m)	PROFONDITA' (m)
CPT1	0.22	2.46	MODERATO	0.60 1.40	12.30÷12.90 13.70÷15.10
CPT2	0.22	3.29	MODERATO	/2.80	8.90÷11.70
CPT3	0.22	1.24	MODERATO	1.0	13.10÷14.10
CPTU	0.22	2.14	MODERATO	0.60 0.40	2.90÷3.30 8.30÷8.50

Il cedimento di riconsolidazione, **per i terreni granulari saturi liquefacibili e per i terreni coesivi**, può essere valutato dalla seguente espressione:

$$\Delta H = \varepsilon_{vr} \cdot H$$

dove H è l'altezza del generico strato ed ε_{vr} (%) rappresenta la deformazione volumetrica post-ciclica definita da:

$$\varepsilon_{vr} = \frac{\alpha \cdot C_r}{1 + e_0} \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

in cui

α : costante sperimentale compresa tra 1 e 1.5;

e_0 : è l'indice dei vuoti iniziale;

$Cr=0.225 Cc$: è l'indice di riconsolidazione post-ciclica;

Cc : è l'indice di compressione.

Nel caso di terreni coesivi, *si calcola* il rapporto di pressione interstiziale come:

$$\frac{\Delta u}{\sigma'_0} = \beta \cdot \left[\log \frac{\gamma_{max}}{\gamma_v} \right]$$

dove

σ'_0 è il valore iniziale della pressione media efficace alla profondità considerata;

$$\sigma'_0 = \sigma'_{v0} \cdot \frac{(1 + 2k_0)}{3}$$

σ'_{v0} è la pressione verticale efficace e k_0 il coefficiente di spinta a riposo

γ_{max} è la deformazione di taglio massima raggiunta durante il sisma;

b è posto circa uguale a 0.45 (coefficiente sperimentale);

γ_v è la deformazione di soglia volumetrica, determinabile da prove cicliche di laboratorio.

Ma può anche essere valutata, in prima approssimazione, con la relazione che segue

$$\gamma_v = A \cdot (\text{OCR} - 1) + B$$

OCR è il grado di sovraconsolidazione, A e B sono coefficienti sperimentali che possono essere calcolati per interpolazione lineare dalla seguente Tabella.

I_p [%]	A	B
20	$0.4 \cdot 10^{-3}$	$0.6 \cdot 10^{-3}$
40	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$
55	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$

Valori suggeriti per i coefficienti A e B

Il rapporto di pressione interstiziale, nel caso di terreni incoerenti liquefacibili, viene determinato per interpolazione lineare dai valori riportati in Tabella in funzione dell'ampiezza della deformazione massima indotta dal terreno.

$\gamma_{\max}$ [%]	$r_u = \Delta u / \sigma'_0$
0.005	0.2
0.1	0.4
0.2	0.6
0.4	0.8
5	0.95

Rapporto di pressione interstiziale r_u in funzione di $\gamma_{\max}$

L'ampiezza della deformazione di taglio massima $\gamma_{\max}$ si calcola dalla relazione seguente:

$$\gamma_{\max} = 0.65 \cdot \frac{a_{\max,s}}{g} \cdot \sigma_v \cdot r_d \cdot \frac{1}{G}$$

dove

$a_{\max,s}$: è il picco di accelerazione al piano campagna del sisma di progetto;

g : è l'accelerazione di gravità;

σ_v : è la tensione totale verticale;

r_d : coefficiente riduttivo dell'azione sismica che mette in conto la deformabilità del sottosuolo determinato dalla relazione $r_d = 1 - 0.015z$;

G : modulo di taglio corrispondente al livello deformativo $\gamma_{\max}$;

Il modulo di taglio può essere determinato da prove di laboratorio o mediante la Tabella seguente applicando un fattore riduttivo al modulo di taglio G_0 (modulo di taglio a piccole deformazioni).

$a_{max,s}$ [g]	G/G_0
0.10	0.80
0.20	0.50
0.30	0.35
0.40	0.28

Fattore di riduzione del modulo di taglio nei primi 20 m in funzione dell' accelerazione $a_{max,s}$

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

La deformazione volumetrica (e verticale) ε_v nei terreni granulari saturi potenzialmente liquefacibili, può essere stimata da prove CPT in funzione della resistenza penetrometrica di punta normalizzata e corretta, (q_{c1Ncs}) e del coefficiente di sicurezza alla liquefazione FL ,

Il cedimento post-sismico per ciascuno strato è dato da:

$$\Delta s_i = \varepsilon_{vi} \cdot \Delta z_i.$$

In alternativa, la deformazione volumetrica, ε_v (espressa in decimali), può essere stimata mediante le seguenti espressioni (Idriss e Boulanger, 2008):

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp \left(2.551 - 1.147 \cdot (q_{c1Ncs})^{0.264} \right) \cdot \min(0.08, \gamma_{max}) \quad \text{con } q_{c1Ncs} \geq 21$$

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp \left(-0.369 \cdot \sqrt{(N_1)_{60cs}} \right) \cdot \min(0.08, \gamma_{max})$$

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

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

dove G è il modulo di taglio corrispondente al livello deformativo γ , che può essere determinato per via iterativa, noto il valore della rigidezza iniziale G_0 ($=\rho V_s^2$) utilizzando la legge di variazione $G(\gamma)/G_0$ ottenuta con prove dinamiche in laboratorio o, in modo approssimato, desunta da curve di letteratura per terreni con proprietà simili (si veda ad es. Figura 4 da AGI, 2005).

Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni coesivi soffici

Nei depositi coesivi molto soffici ($c_u \leq 70 \text{ kPa}$) e plastici ($I_p \geq 30\%$) in cui si prevede un incremento delle pressioni interstiziali

$$\frac{\Delta u}{\sigma'_0} \geq 0.3$$

durante il terremoto di riferimento deve essere valutata l'entità del cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto.

Il calcolo dei cedimenti post sismici per **terreni coesivi soffici** per i quali l'entità del cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto è stato stimato come da indicazione dell'allegato 3 della DGR con l'equazione (Yasuhara e Andersen, 1991) mentre per la stima del rapporto di sovrappressione interstiziale è stata utilizzata la relazione empirica (Matsui et al., 1980).

Di seguito si riportano i parametri considerati e i cedimenti indotti dall'azione sismica (cedimenti in terreni granulari saturi potenzialmente liquefacibili e cedimenti in terreni coesivi soffici ad alta plasticità) che si stimano dell'ordine di 1.4 cm.

Si sottolinea che i cedimenti conseguenti a liquefazione di terreni granulari saturi hanno luogo immediatamente dopo il terremoto o comunque in un tempo non superiore a un giorno. Mentre i cedimenti per consolidazione di terreni coesivi molli posso richiedere tempi anche molti lunghi in funzione delle condizioni stratigrafiche e geotecniche, per lenta dissipazione delle pressioni interstiziali in terreni argillosi poco permeabili.

Tensione efficace [kN/m²]	Deformazione verticale	Cedimento post- sismico [mm]	Incremento pressione neutra [kN/m²]
33.1657	0.00E+00	0	0
47.5527	-4.69E-03	9.3706	23.73
78.8089	0.00E+00	0	0
140.8441	6.44E-04	-4.1231	69.2
255.0057	0.00E+00	0	0
295.7777	0.00E+00	0	0
		13.49366	

Strato	N160 [°]	QCIN kN/m²	Metodo	Indice plasticità [%]	Indice vuoti [%]	Indice compressione	Modulo taglio statico [kN/m²]	OCR	Alfa
(1) LIMI ARGILLOSI		0	IdrissBoulanger	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0
(2) ARGILLE LIMOSE	8.7	10.15	Yasuhiro Anderse	38.00	0.90	0.07	20000.00	1.00	1
(3) ARGILLE	0	0	Yasuhiro Anderse	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0
(4) SABBIE LIMOSE	10.95	21.07	IdrissBoulanger	0.00	0.80	0.4	60000.00	1.00	1
(5) SABBIE	0	0	IdrissBoulanger	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0
(6) SABBIE	0	0	IdrissBoulanger	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0

7. CONCLUSIONI

Su incarico e per conto del Committente si è prodotta una modellazione geologica del sito, un'analisi di pericolosità sismica locale, riportando gli effetti attesi, ed una caratterizzazione geotecnica della litologia superficiale e profonda del volume significativo di terreno interessato dalla costruzione di un nuovo stabilimento per la produzione di prodotti caseari in Comune di Novi di Modena Via Provinciale – Mantova n. 73 presso il Caseificio Razionale Novese.

La caratterizzazione litologica di dettaglio e la definizione dei parametri geotecnici del profilo stratigrafico nel sito, sono ricavati dai risultati di n. 3 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT spinte alla profondità di – 30 metri dal p.c. in data 12/06/2025 e 17/06/2025, e n. 1 prova penetrometrica statica CPTU spinta a 14 metri dal p.c. all'inizio delle litologie sabbiose dalla GEO DEEP DRILL di Diego Geol. Merlin di Bondeno di Ferrara.

Le prove sono state spinte alla profondità di – 30.00 m dal piano campagna per la definizione in dettaglio delle caratteristiche litologiche e stratigrafiche fino a tale quota.

Durante l'esecuzione della prova penetrometrica con punta elettrica, alla profondità di – 1.10 m e alla quota di – 2.40 metri sono state eseguite prove di permeabilità per dissipazione delle pressioni interstiziali per misurare la permeabilità degli strati più superficiali di terreno.

Al fine di produrre un'analisi di pericolosità sismica locale, determinare il valore della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s equivalente) e fornire la frequenza fondamentale del sito, si sono prese in considerazione 2 prove in sismica passiva HVRS eseguite in sito in data 27/06/2012.

La zona oggetto di studio si trova a nord-nord-est rispetto al centro cittadino di Novi di Modena, in zona di ambito agricolo ad una quota media di 17 m slm.

Le coordinate geografiche del sito sono 44° 54' 26"N e 10° 54' 28"E.

Il sito ha accesso da Via Provinciale Mantova (SP413).

I centri abitati vicini sono:

Novi di Modena a circa 1.80 Km a sud-sud-ovest

Rolo a circa 4.60 Km a sud-ovest

Reggiolo a circa 8.00 Km a ovest

Moglia a circa 3.10 Km a nord

Concordia sulla Secchia a 6.20 Km a est

Oltre che a varie frazioni e località.

Il territorio del Comune di Novi di Modena è situato a Nord della provincia di Modena e ricade nel settore assiale della Pianura Padana "propriamente detta".

L'area, secondo quanto indicato nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Modena, approvato con D.C.P. n.46 del 18/03/2009, ricade nell'Unità di Paesaggio indicata con il numero 3 "Pianura della bonifica recente nei territori di Novi di Modena e a nord di Carpi".

I caratteri ambientali dell'Unità di Paesaggio n. 3 sono rappresentati, soprattutto nella porzione più settentrionale e in quella centrale, da un reticolo di canali di bonifica con presenza di diverse zone umide le quali complessivamente interessano una superficie abbastanza ampia, rappresentata da relitti di risaie, impianti recenti di itticultura, e zone umide recuperate per scopi venatori.

Si tratta di terreni vallivi e quindi di aree morfologicamente depresse interessate da pochi dossi tra i quali il più esteso è il dosso su cui è localizzato l'abitato di Novi.

La zona si trova ubicata in un'area priva di rilevanti morfostrutture.

Nella tavola "Zonizzazione del Territorio", approvata nella variante specifica n.8 del Piano Regolatore Generale del Comune di Novi di Modena, D.C.C. n.41 del 09/07/2011, le strutture ricadono in "Zona omogenea di tipo D.1 - ZONA ARTIGIANALE/INDUSTRIALE DI COMPLETAMENTO" ed in "Zona omogenea di tipo E1 - AGRICOLA NORMALE".

Dal punto di vista idrogeologico, a livello locale, il primo acquifero captabile di natura sabbiosa si riscontra a partire da una profondità variabile da - 9.00 a - 14.00 m .

L'acquifero fa parte del Complesso Acquifero A1 è sede della prima falda sotterranea confinata al tetto da litologie argillose impermeabili, con valori di soggiacenza prossimi al piano campagna in quanto in pressione.

Nei sedimenti più superficiali di natura argillosa e limosa si ha una circolazione idrica lenta e poco significativa causa della bassa permeabilità dei depositi ospitanti (complesso Acquifero denominato A0).

Tale orizzonte freatico assume caratteristiche di acquitardo e non di acquifero ed è prevalentemente alimentato dalle infiltrazioni meteoriche dalla superficie che risultano massime nelle zone agricole e minime nelle aree urbanizzate dove sono presenti coperture impermeabili.

Il livello dell'orizzonte freatico è stato misurato in foro, durante l'esecuzione delle prove penetrometriche in data 12/06/2025 e 17/06/2025 alla quota di - 1.10 e 0.90 metri dal p.c.

Si è eseguito inoltre, un rilievo del livello freatico misurato nel foro di diverse prove penetrometriche eseguite in zone limitrofe al punto di interesse e in diversi periodi dell'anno, che mostra una oscillazione stagionale del freatico da - 0.90 metri misurato nel Giugno 2025 a - 4.30 m dal p.c. misurato nel Febbraio 2019.

Al fine di indagare la permeabilità del primo substrato di terreno per definirne la permeabilità si sono eseguite in sito n. 3 prove di dissipazione delle pressioni interstiziali in

corrispondenza del punto di ubicazione della prova CPTU, dove verrà realizzata una vasca di laminazione ai fini del principio di invarianza idraulica.

Gli schemi grafici delle prove di dissipazione eseguite nei terreni coesivi, alla quota di - 1.25 metri a - 2.50 m a - 3.50 m. dal p.c.

RELAX TEST n. 1

$K_{(-1.25\text{m dal p.c.})} = 3.69 \times 10^{-7} \text{ cm/s.}$

Si tratta di terreni classificati a BASSA PERMEABILITA'

RELAX TEST n. 2

$K_{(-2.50\text{m da p.c.})} = 8.14 \times 10^{-7} \text{ cm/s.}$

Si tratta di terreni classificati a BASSA PERMEABILITA'

RELAX TEST n. 3

$K_{(-3.66\text{m da p.c.})} = 5.03 \times 10^{-7} \text{ cm/s.}$

Si tratta di terreni classificati a BASSA PERMEABILITA'

Il valore di permeabilità calcolato è tipico di terreni a bassa permeabilità. Terreni con queste caratteristiche di permeabilità rendono l'infiltrazione dell'acqua meteorica molto lenta.

La sequenza stratigrafica riscontrata si presenta moderatamente omogenea nei i 4 punti di prova:

- **Al di sotto di terreno o riporto, dello spessore di 0.80 m., si evidenziano limi argillosi poco compatti;**
- **Da - 3 m a - 5 m si trovano argille limose da poco compatte a soffici.**
- **Da - 5 a 8.40 m si trovano argille debolmente limose compatte;**
- **Da -8.40 a - 8.60/14.80 m si sabbie limose e limi sabbiosi sciolti;**
- **Da - 8.60/14.80 a - 26.0 m si evidenziano sabbie addensate con strati debolmente meno addensati;**
- **Da -26.0 a - 30.0 m si trovano sabbie addensate.**

Il cap. 6.2.2. del DM 2018 detta: " ... Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito"

Come da quanto indicato in norma di seguito, si riportano i parametri caratteristici in termini di resistenza dei terreni indagati derivati da prove penetrometriche mediante trasformazioni indirette della geotecnica classica in condizioni non drenate e drenate secondo una stima ragionata e cautelativa.

Profondità dal p.c. (m)	Unità Formazionale	γ'_d (kN/m ³)	γ'_w (kN/m ³)	c'_k (kPa)	ϕ'_k (°)	C_{uk} (kPa)	Dr (%)	Indice Plastico Ip
0.00 - 0.80	RIPORTO IN TERRA E MATERIALI VARI	18	21	/	/	/	/	/
0.80 - 3.0	LIMI ARGILLOSI POCO COMPATTI	16	18	4÷7	14÷16	36	/	32

3.0 - 5.0	ARGILLE LIMOSE DA POCO COMPATTE A SOFFICI	15	17	3÷5	12÷13	26	/	35
5.0 - 8.40	ARGILLE DEBOLMENTE LIMOSE COMPATTE	17	19	8÷10	17÷18	57	/	18
8.40 - 11.40/14.80	SABBIE LIMOSE E LIMI SABBIOSI SCIOLTI	17	19.50	8÷10	25÷27	/	40	0
11.40/14.80 - 26.0	SABBIE ADDENSATE CON STRATI DEBOLMENTE MENO ADDENSATI	18	20	0	29÷30	/	60	0
26- 30.0	SABBIE ADDENSATE	18	20	0	30÷32	0	70	0

Si riportano, inoltre, i parametri geotecnici in termini di deformabilità dedotti da prove di laboratorio eseguite su campioni di terreno paragonabili a quelli indagati e da dati di bibliografia.

Profondità dal p.c. (m)	Unità Formazionale	Coeff.di Poisson (ν)	Modulo elastico E' (kPa)	Modulo Edometrico E_d (kPa)	V_s (m/s)	Modulo di winkler K_w (KN/m ³)
0.00 - 0.80	RIPORTO IN TERRA E MATERIALI VARI	/	/	/	/	/
0.80 - 3.0	LIMI ARGILLOSI POCO COMPATTI	0.45	/	4000÷5000	120	9000
3.0 - 5.0	ARGILLE LIMOSE DA POCO COMPATTE A SOFFICI	0.45	/	2000÷4000	120	8.000
5.0 - 8.40	ARGILLE DEBOLMENTE LIMOSE COMPATTE	0.45	/	7000÷9000	150	23.000
8.40 - 11.40/14.80	SABBIE LIMOSE E LIMI SABBIOSI SCIOLTI	0.38	10000÷15000	/	220	80.000
11.40/14.80 - 26.0	SABBIE ADDENSATE CON STRATI DEBOLMENTE MENO ADDENSATI	0.35	20000÷25000	/	250	/
26- 30.0	SABBIE ADDENSATE	0.35	25000÷30000	/	280	/

Si riportano, inoltre, per i vari livelli stratigrafici definiti, i parametri geotecnici medi, e valori di q_c e f_s delle letture delle prove penetrometriche.

Profondità dal p.c. (m)	Unità Formazionale	Q_c (MPa)	F_s (MPa)	Q_c/f_s	γ'_d (kN/m ³)	γ'_w (KN/m ³)	c'_{medio} (kPa)	ϕ'_{medio} (°)	C_{umedio} (kPa)
0.00 - 0.80	RIPORTO IN TERRA E MATERIALI VARI	/	/	/	18	21	/	/	/

0.80 - 3.0	LIMI ARGILLOSI POCO COMPATTI	1.20	0.05	24	16	18	6.25	18	45
3.0 - 5.0	ARGILLE LIMOSE DA POCO COMPATTE A SOFFICI	0.88	0.073	12.05	15	17	5	15	33
5.0 - 8.40	ARGILLE DEBOLMENTE LIMOSE COMPATTE	1.36	0.083	16.38	17	19	12	21	70
8.40 - 11.40/14.80	SABBIE LIMOSE E LIMI SABBIOSI SCIOLTI	4.00	0.116	34.48	17	19.50	10	31	/
11.40/14.80 - 26.0	SABBIE ADDENSATE CON STRATI DEBOLMENTE MENO ADDENSATI	13.72	0.20	68.60	18	20	/	36	/
26- 30.0	SABBIE ADDENSATE	16.85	0.26	64.80	18	20	/	38	/

Sulla base della caratterizzazione geotecnica dei terreni studiati, per la determinazione dei valori teorici delle resistenze di progetto (Rd), come da DM 2018 è stato considerato l'approccio 2 DA2(A1+M1+R3) **in condizioni drenate e non drenate e statiche considerando, una fondazione superficiale a PLINTO ipotizzando un piano di posa a - 1.60 m da p.c.**

In sintesi

Combinazione - (A1+M1+R3) - STR+GEO

CONDIZIONI DRENATE A LUNGO TERMINE

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 224.35 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 97.54 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 8974.10 kN/m³

CONDIZIONI NON DRENATE A BREVE TERMINE

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult] 248.65 kN/m²

Resistenza di progetto[Rd] 108.11 kN/m²

Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] --

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 9945.92 kN/m³

Per l'analisi di pericolosità sismica di base in un analisi di I livello, il sito di studio nella "Carta Geologica e tecnica", redatta per lo studio di Microzonazione Sismica approfondimento di I livello, del Giugno 2021, viene classificato come CLpi-Argille inorganiche di medio bassa plasticità, argille sabbiose, argille limose di piana inondabile.

Il sito di studio nella "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", redatta per lo studio di Microzonazione Sismica approfondimento di I livello, del Luglio 2013, rientra tra le

zone suscettibili di instabilità di liquefazione nell'inviluppo 2006: Alternanze tra strati metrici/plurimetrici sabbiosi e strati metrici/plurimetrici pelitici.

Nella "Carta di microzonazione sismica- FA PGA ", del Gennaio 2022, microzonazione sismica di II livello, il sito di studio rientra nell'inviluppo zone STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI (FAPGA) FA = 1.3- 1.4.

Per l'analisi di pericolosità sismica di base si è condotto un approfondimento di II livello mediante indagine in sismica passiva a stazione singola (HVSr) sia per la definizione del valore puntuale della frequenza fondamentale dei terreni di fondazione (f_0) sia per la determinazione della categoria di suolo richiesta dalla normativa, mediante la ricostruzione delle $V_{S,eq}$.

Relativamente alle **frequenze caratteristiche di sito**, abbiamo un **picco stratigrafico** caratteristico **alla frequenza di 0.92 Hz e periodo caratteristico pari a 1.08 s** che rappresenta un contrasto di impedenza profondo circa 100-110 m. **Il rapporto H/V evidenzia contrasti di impedenza deboli ($2 < H/V < 3$) in caso di moto sismico.**

Secondo quanto indicato nelle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 § 3.2.2.:

"I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove..... La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

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.

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

Il profilo di V_S con la profondità e il valore di $V_{S,eq}$ è stato ricavato dall'analisi congiunta della tecnica in sismica attiva (che rappresenta bene le alte frequenze e quindi gli strati di terreno più superficiale) con quella in sismica passiva (che rappresenta bene le basse frequenze e quindi gli strati di terreno più profondo), vincolando le curve spettrali alle prove CPT .

$V_{S,eq} = V_{S(30)}$: 194 -204 m/s

"Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3.

In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S . I valori 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, di cui al § 6.2.2.....

Per il sito di studio le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono riconducibili alle categoria **di sottosuolo definita nella Tab. 3.2.II di tipo C:**

- Presenza di terreni a grana fine mediamente consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 180 e 360 m/s definiti da prove sismiche in sito,
- profondità del substrato oltre i 30 metri,
- mancanza nel volume significativo di sottosuolo indagato con prove geognostiche e sismiche di contrasti di impedenza, nè inversioni di velocità significative quindi la stima della V_{seq} non è soggetta a incertezze.
- Edificio ad uso produttivo con classe d'uso II, quindi non strategico.

Il sito, in un approccio semplificato, rientra in una categoria di sottosuolo C :

($V_s, eq = V_s (30)$: 194-204 m/s).

Nei capitoli successivi, si procede a un'analisi di pericolosità sismica locale con approfondimento di III livello:

- Si produce una modellazione numerica con sets accelerometrici di input opportunamente selezionati, al fine di fornire i parametri spettrali e i valori di amplificazione litologica quale effetto di sito atteso;
- Viene verificata la predisposizione a fenomeni di liquefazione dei terreni sabbiosi e limo-sabbiosi saturi presenti con approccio cautelativo da PROVE CPTU e CPT secondo la recente D.G.R. 630/2019 e s.m.i. di cui alle DGR 476/2021 e 564/2021;
- Si determinano i cedimenti post sismici .

Si è quindi eseguita una modellazione numerica con analisi di pericolosità sismica di III livello al fine di fornire gli spettri di risposta con periodo di ritorno di 475 anni (classe d'uso II) e smorzamento $\xi = 5\%$.

I 7 spettri attesi e lo spettro medio sono indicati nella figura 36.

Gli spettri vengono confrontati con gli spettri di norma per un suolo di tipo C, per un suolo di tipo D (classe d'uso II) . Dall'analisi spettrale lo spettro ottenuto dalla RSL viene ben involupato dallo spettro di norma ottenuto con procedura semplificata per un suolo di tipo D.

Le accelerazioni massime attese in superficie (PGA) per i sette sismi di riferimento e l'accelerazione media sono indicati nella tabella di seguito. Il valore dell'accelerazione media $a_g = 0.22$. Il valore dell'accelerazione massima è 0.26g.

ID14948_1xa	ID14948_2xa	ID14948_3xa	ID14948_4xa	ID14948_5xa	ID14951_6xa	ID14948_7xa	media
Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	g
g	g	g	g	g	g	g	g
0.24	0.21	0.23	0.18	0.22	0.26	0.19	0.22

Si riporta, nella tabella di seguito, il fattore di amplificazione PGA/PGA_0 (rapporti di accelerazione massima orizzontale calcolati in riferimento al valore massimo di PGA desunto dall'accelerogramma calcolato per ognuno dei 7 sismogrammi normalizzati e il valore di PGA_0 pari a 0.133g) in relazione alla modellazione di suolo adottata.

Si riportano i valori di Intensità spettrale in pseudovelocità FV di Housner da 0.1 a 0.5s e da 0.5 e 1.0s

	ID14948 1xa	ID14948 2xa	ID14948 3xa	ID14948 4xa	ID14948 5xa	ID14951 6xa	ID14948 7xa	MEDIA
Fattore di amplificazione PGA/PGA ₀	1.79	1.55	1.68	1.32	1.65	1.92	1.40	1.62
Intensità spettrale (spettro di risposta in pseudovelocità) 0,1 - 0,5 s	1.67	1.64	1.80	1.55	1.82	1.79	1.45	1.67
Intensità spettrale (spettro di risposta in pseudovelocità) 0,5 - 1 s	1.87	1.93	2.32	1.96	2.01	1.90	1.70	1.96

Dall'analisi di risposta sismica locale risulta che l'accelerazione massima attesa in superficie ottenuta dalla media per i 7 sismi di riferimento è pari a **0.22g**, e il fattore di amplificazione stratigrafico medio è **PGA/PGA₀ = 1.62**.

Per quanto attiene al calcolo dei Fattori di Amplificazione, in conformità alla *DGR 630/2019 e s.m.i. di cui alle DGR 476/2021 e 564/2021*, **si riportano, le Amplificazioni calcolate per lo spettro ottenuto dall'analisi di RSL per i periodi compresi fra 01 - 05 s ; 04 - 08 s; 07 - 1.1sec.**

	ID14948 1xa	ID14948 2xa	ID14948 3xa	ID14948 4xa	ID14948 5xa	ID14951 6xa	ID14948 7xa	MEDIA
SA1 01 - 05	1.63	1.53	1.67	1.46	1.68	1.78	1.41	1.59
SA2 04 - 08	1.79	1.87	2.20	1.87	2.04	1.89	1.67	1.90
SA3 07 - 1.1	1.74	1.78	2.11	1.88	1.76	1.71	1.81	1.83

In conformità a quanto indicato negli studi di microzonazione sismica citati, considerando che per il sito oggetto di studio, nessuna delle circostanze dettate nel capitolo 7.11.3.4.2 (NTC 2018) è soddisfatta, in conformità alle NTA Comunali, considerando che dalla valutazione delle caratteristiche litologiche del sito in esame, si riscontrano terreni di natura limosa e sabbiosa occorre fare una valutazione preventiva del potenziale rischio liquefazione dei terreni riscontrati in sito.

Al fine di verificare la stabilità o criticità del sito nei confronti dei processi di liquefazione, l'analisi **rischio liquefazione è stata realizzata su tutte le verticali delle prove (CPT e CPTU) eseguite in sito mediante metodi semplificati, che in condizioni di free field permettono un'analisi puntuale e significativa della zona di indagine, considerando gli input di seguito descritti.**

Si sottolinea quanto indicato nell'allegato A3 della Dgr 630/2019 e smi per l'analisi da prova penetrometrica statica CPTU con punta elettrica: "Tra i metodi semplificati di stima del potenziale di liquefazione è da preferire quello basato sui risultati di prove CPT elettriche (CPTe/CPTu)".

Secondo le indicazioni della Dgr 630/2019 e smi è stata eseguita nel cap. 3.3 un'analisi dei livelli di falda e delle misure piezometriche, considerando i rilievi del livello di soggiacenza della falda, eseguiti in più punti di prove penetrometriche in sito, in diversi periodi di ricarica della falda, sia considerando il livello del freatico misurato in sito nel Giugno 2025 che si posiziona alla quota variabile da - 1.10 a - 0.90 m dal p.c.

La massima soggiacenza della falda freatica nel sito di studio può essere considerata pari a - 0.90 m dal p.c.

La Magnetudo Mw pari a 6.14 considerata, è quella della zona sismogenetica 912 di appartenenza del sito come da indicazioni dell'INGV

L'accelerazione utilizzata è quella ottenuta dall'analisi di RSL di III livello a_{gmax} = 0.22 .

Per la verticale di prova, è stato riportato l'andamento del fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione FL(Z) fino alla profondità critica di 20 metri (Z crit) da piano campagna.

La stima del rischio liquefazione complessivo lungo una verticale di calcolo viene fornita dal parametro indice di liquefazione IPL che viene calcolato secondo la formula della Dgr 630/2019.

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

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.

Tra i vari metodi semplificati da prove CPT che permettono un'analisi puntuale del rischio liquefazione riconosciuti dalla Comunità Scientifica Internazionale, si è scelto, cautelativamente di utilizzare come metodo semplificato di analisi, **Idriss e Boulanger 2008** che è indicato al punto 3.3 della determinazione regionale n. 1105 del 03/02/2014 redatta ai fini degli interventi esecutivi per mitigare il rischio liquefazione, come *"quello meglio compatibile con gli effetti osservati in sito dal confronto fra i vari metodi utilizzati dal gruppo di lavoro che ha effettuato la microzonazione sismica di cui all'Ordinanza del Commissario delegato n. 70/2012"*. Si ritiene, inoltre, sulla base di risultati di diverse analisi eseguite in sito dalla scrivente nel territorio interessato dagli eventi sismici del 2012 che, come da quanto indicato nella Dgr 1105 /2014, in fase di progetti esecutivi, il metodo semplificato di Idriss e Boulanger (2008) sia quello che meglio analizza e definisce il valore dell'indice IPL e del rischio liquefazione.

Il calcolo dell'indice IPL, per le prove CPT, è stato definito considerando le equazioni di regressione CPTE funzione di CPT meccanica in considerazione del fatto che tutti i metodi semplificati di calcolo dell'indice di liquefazione sono stati pensati e basati su prove CPTE e non su prove CPT meccaniche.

Si ritiene che gli input scelti per le verifiche ($a_{g,max}$, livello di falda, Mw e metodi di analisi) sono tutti stati definiti a favore di cautela e per quanto motivato sopra, l'analisi rischio liquefazione con approccio cautelativo da PROVE CPT e CPTU secondo la recente D.G.R. 630/2019 e s.m.i. di cui alle DGR 476/2021 e 564/2021 è adeguata ai terreni presenti nel suolo e sottosuolo del sito di ubicazione delle strutture oggetto di intervento.

Si sintetizzano di seguito i risultati ottenuti

PROVA	a_g	LPI Idriss & Boulanger 2008 con applicata l'equazione di regressione tra CPTe e CPTM	RISCHIO (Sonmez 2003)	SPESSORI STRATI (m)	PROFONDITA' (m)
CPT1	0.22	2.46	MODERATO	0.60 1.40	12.30÷12.90 13.70÷15.10
CPT2	0.22	3.29	MODERATO	2.80	8.90÷11.70
CPT3	0.22	1.24	MODERATO	1.0	13.10÷14.10
CPTU	0.22	2.14	MODERATO	0.60 0.40	2.90÷3.30 8.30÷8.50

Sulla base delle verifiche eseguite sulle verticali di prova CPTU e CPT, il valore dell'Indice del potenziale di liquefazione IPL è **MODERATO** $2 < IPL < 5$, secondo quanto classificato seguendo il metodo Somenz 2003.

I livelli potenzialmente liquefacibili si riscontrano nelle prime sabbie e limi sabbiosi sciolti dalla profondità di 8.50 metri.

In ottemperanza alla DGR 630/2019 e in accordo con le indicazioni di piano del Comune di Novi di Modena, al fine di accertarne la compatibilità con l'intervento di progetto, si è condotta una stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica.

Considerata la stratigrafia del sito in esame e le caratteristiche geotecniche e di deformabilità dei terreni superficiali e profondi, i cedimenti post sismici da definire per il sito di studio sono del tipo B3 nei terreni coesivi soffici e plastici compresi fra 3 e 5.0 metri e del tipo B1 nei terreni granulari saturi potenzialmente liquefacibili compresi fra 8.50 e 14.80 m.

I cedimenti indotti dall'azione sismica in terreni si stimano dell'ordine di 1.4 cm.

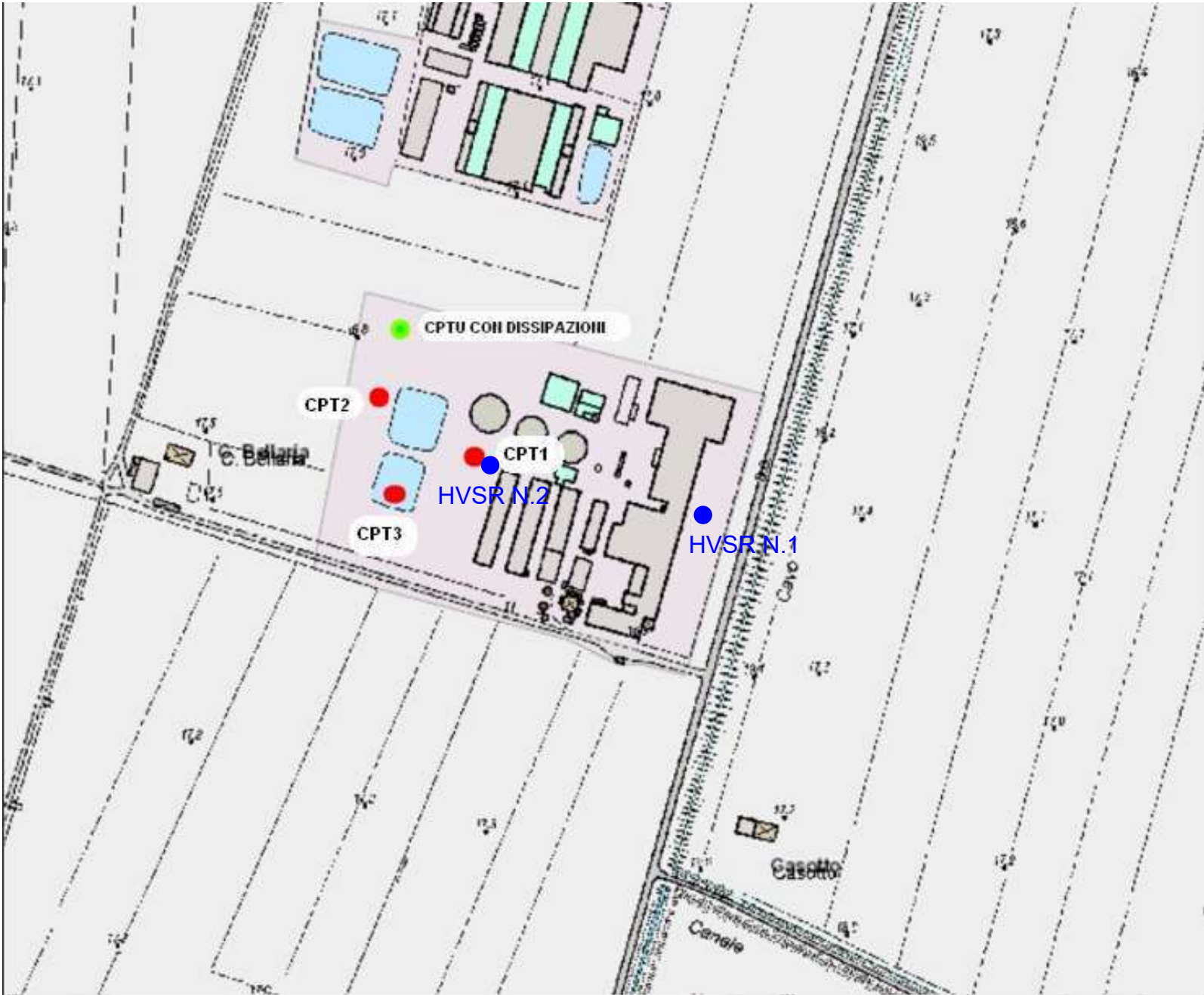
Si sottolinea che i cedimenti conseguenti a liquefazione di terreni granulari saturi hanno luogo immediatamente dopo il terremoto o comunque in un tempo non superiore a un giorno. Mentre i cedimenti per consolidazione di terreni coesivi molli posso richiedere tempi anche molti lunghi in funzione delle condizioni stratigrafiche e geotecniche, per lenta dissipazione delle pressioni interstiziali in terreni argillosi poco permeabili.

Dott. Geol. RITA BALLISTA



ALLEGATI

1. UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE ESEGUITE IN SITO
2. DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE MECCANICHE CPT
3. VALUTAZIONI LITOLOGICHE PROVE CPT
4. PARAMETRI GEOTECNICI PROVE CPT
5. DIAGRAMMI PROVA CPTU
6. REPORT DI DETTAGLIO PROVA CPTU
7. DIAGRAMMI PROVE DI DISSIPAZIONE DELLE PRESSIONI INTERSTIZIALI



DIAGRAMMI PROVE CPT

ALL.N.2

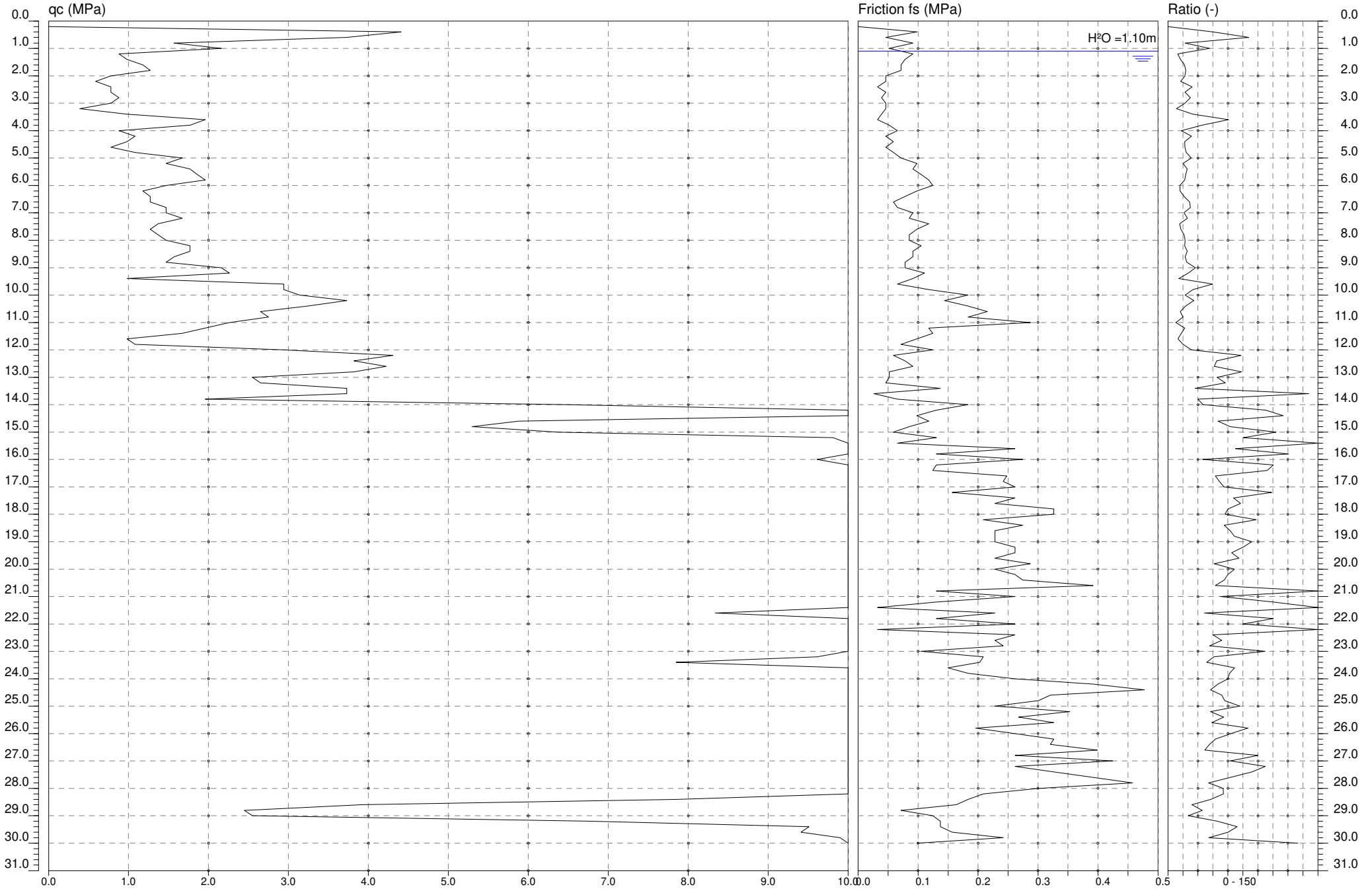


OCX
Via C.A.Dalla Chiesa,14
Castelmassa (RO)

Committente: CASEIFICIO RAZIONALE NOVESE
Cantiere: NOVI DI MODENA
Data: 12/06/2025

Quota:
Preforo:
Falda: -1.10

Prova n° 1



30.000 m

Sperimentatore: Dott. Diego Merlin

Direttore Laboratorio:

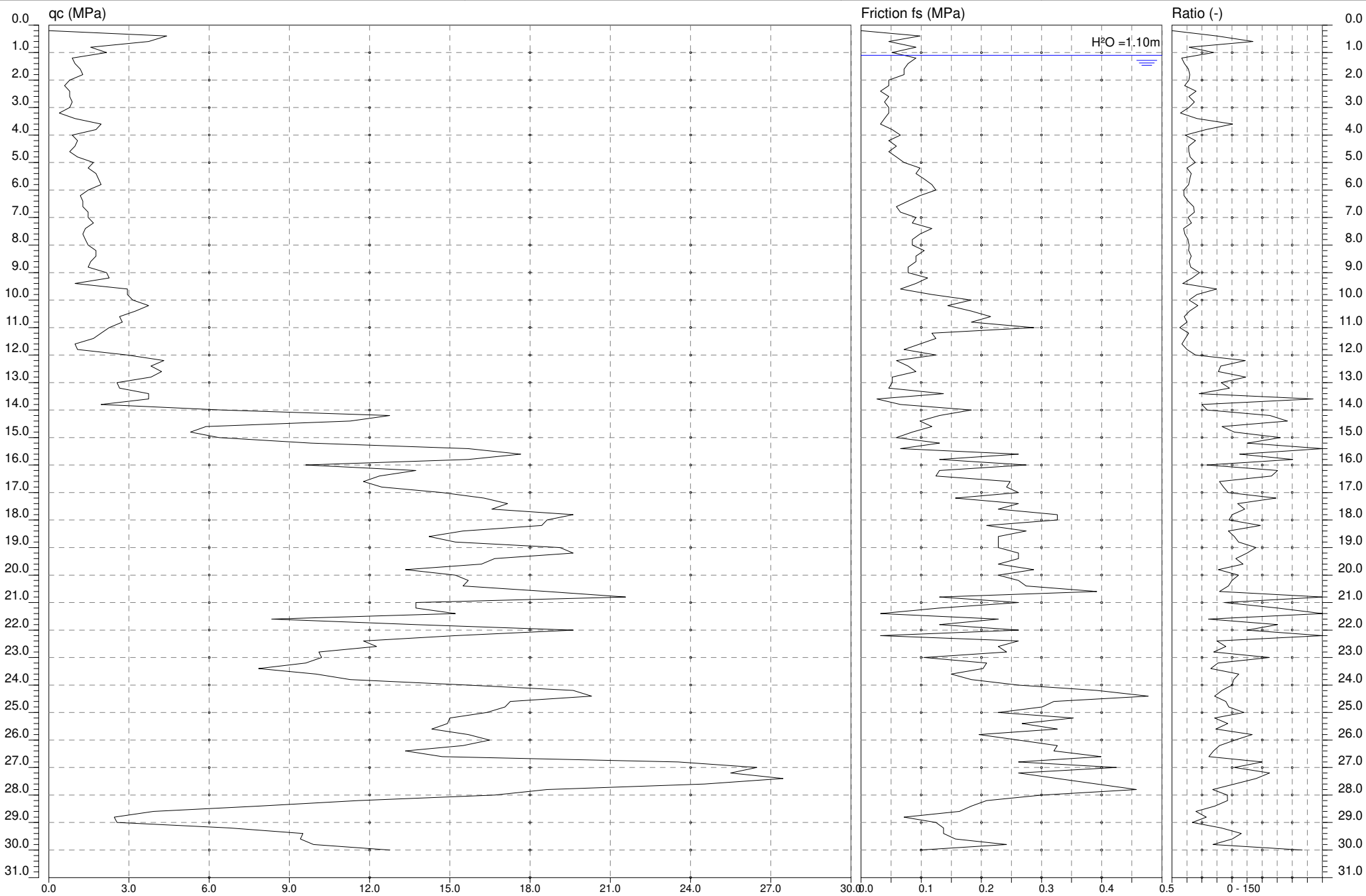


OCX
Via C.A.Dalla Chiesa,14
Castelmassa (RO)

Committente: CASEIFICIO RAZIONALE NOVESE
Cantiere: NOVI DI MODENA
Data: 12/06/2025

Quota:
Preforo:
Falda: -1.10

Prova n° 1



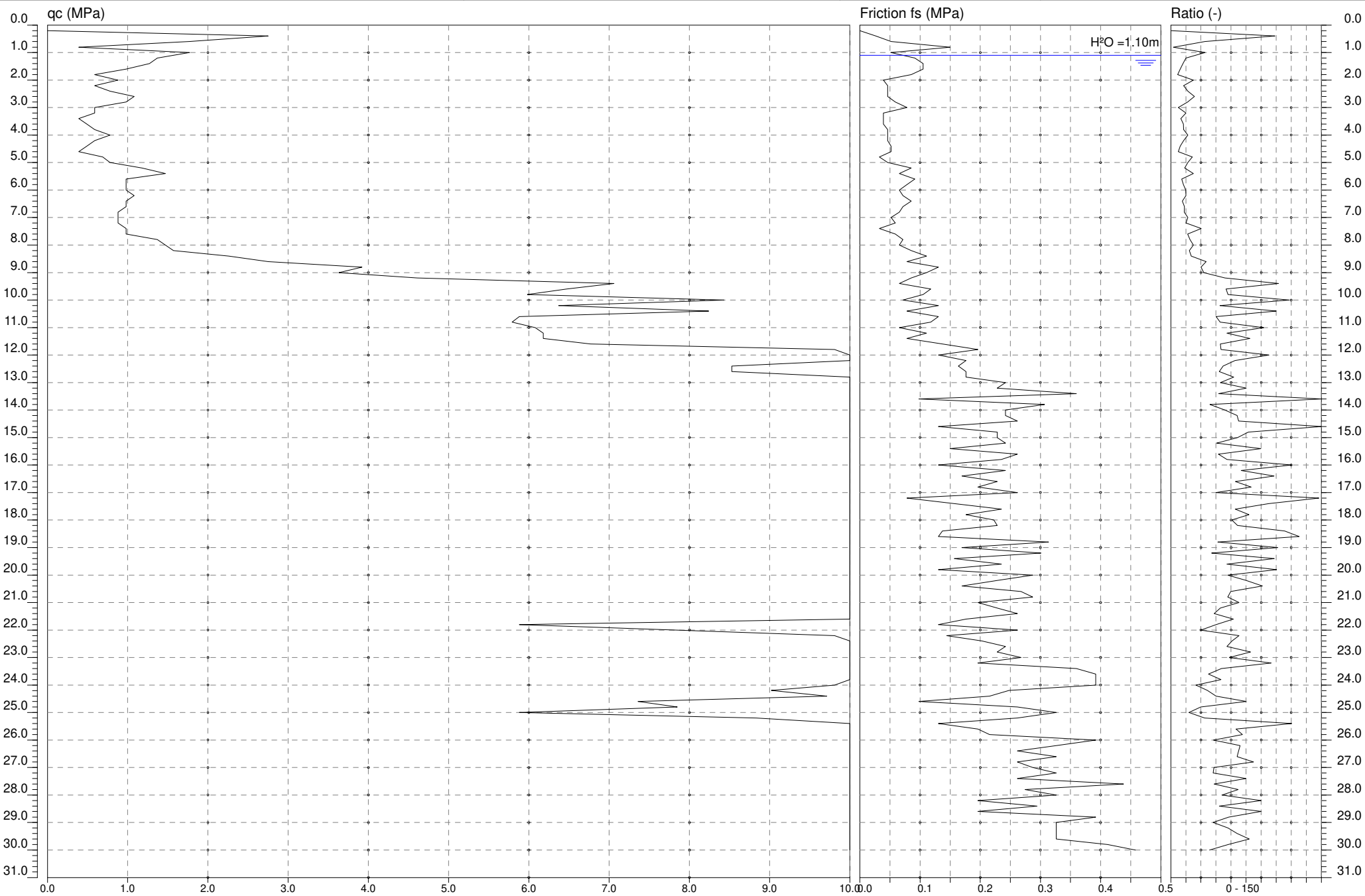


OCX
Via C.A.Dalla Chiesa,14
Castelmassa (RO)

Committente: CASEIFICIO RAZIONALE NOVESE
Cantiere: NOVI DI MODENA
Data: 12/06/2025

Quota:
Preforo:
Falda: -1.10

Prova n° 2



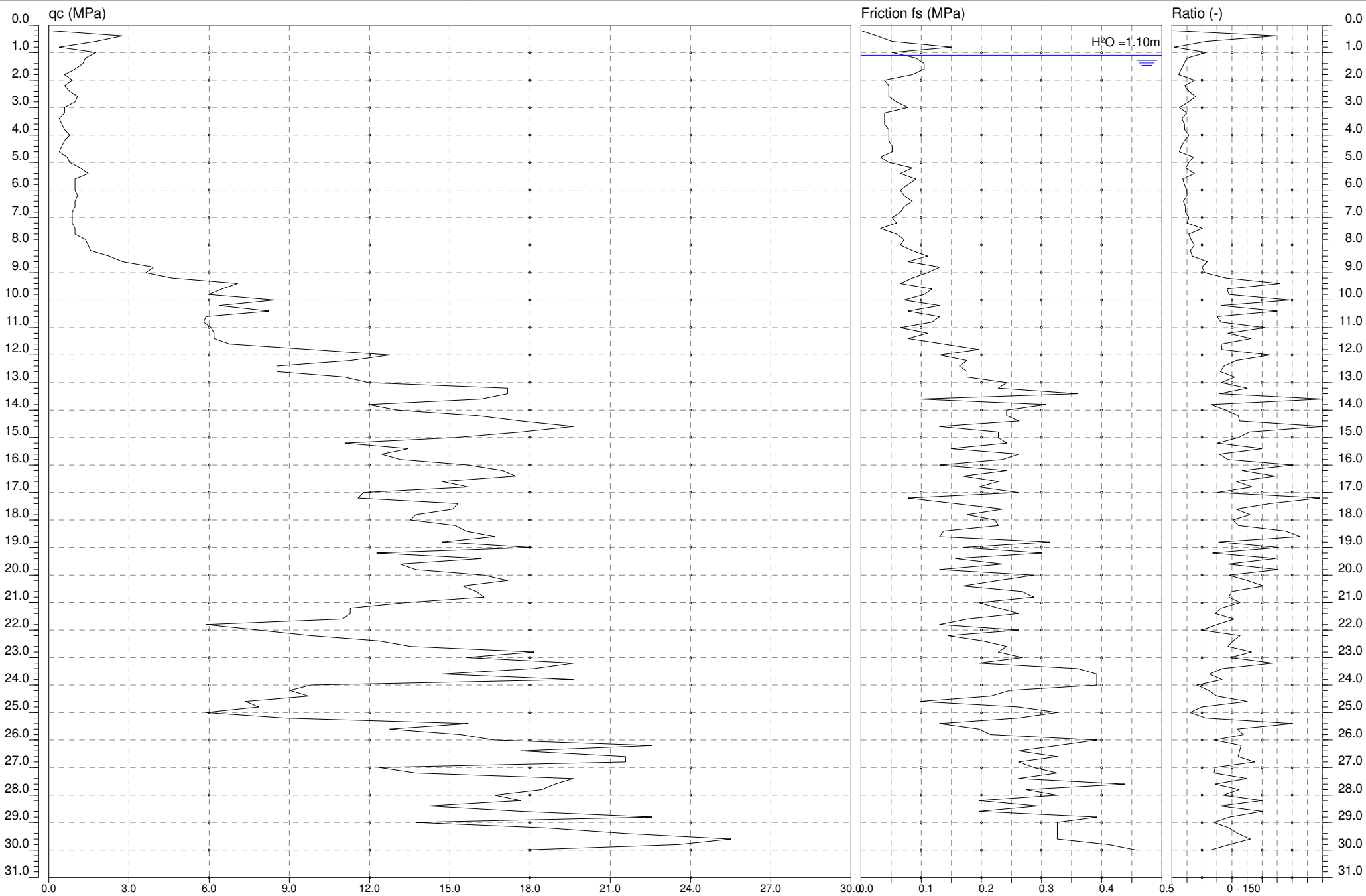


OCX
Via C.A.Dalla Chiesa,14
Castelmassa (RO)

Committente: CASEIFICIO RAZIONALE NOVESE
Cantiere: NOVI DI MODENA
Data: 12/06/2025

Quota:
Preforo:
Falda: -1.10

Prova n° 2



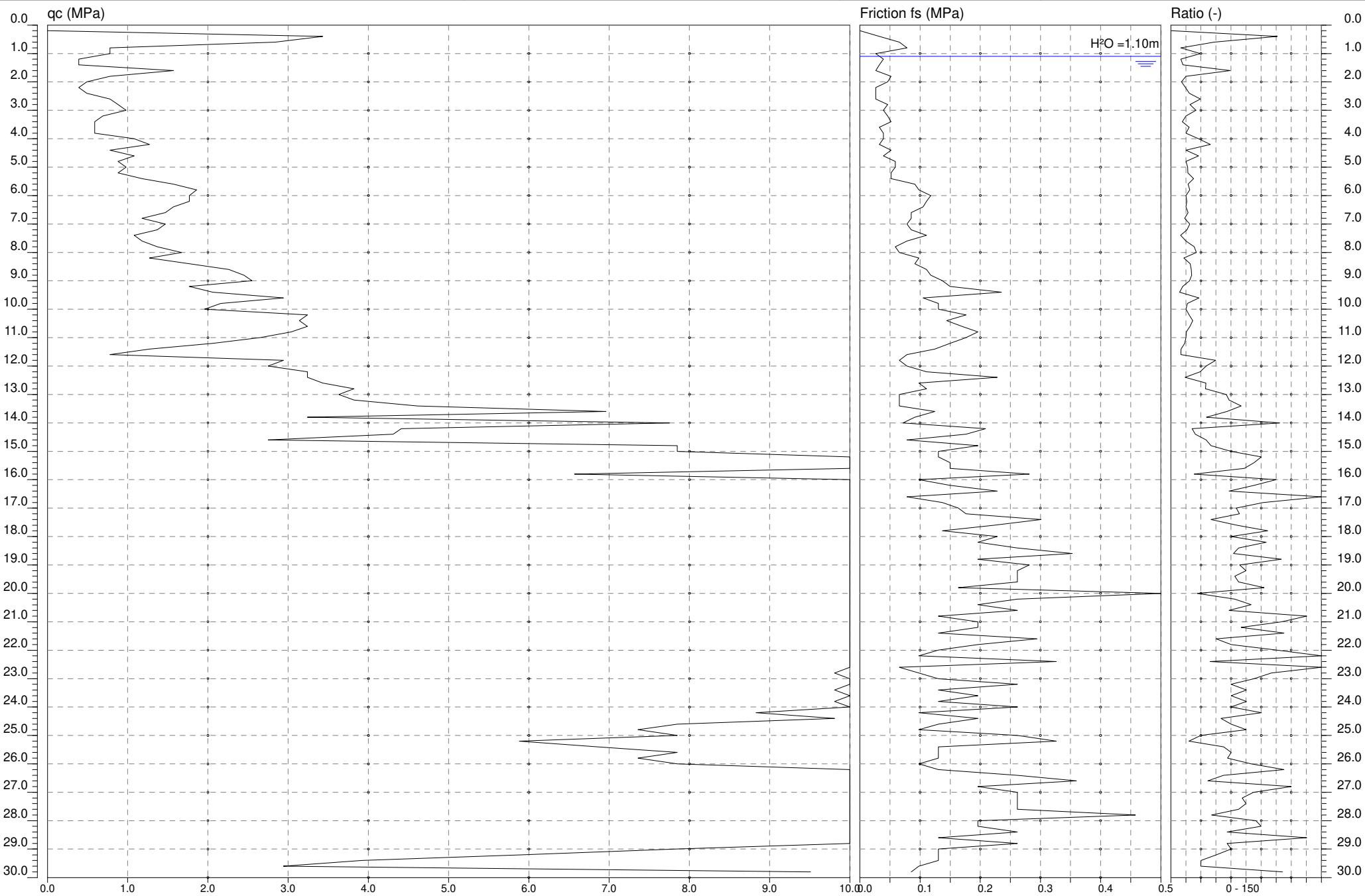


OCX
Via C.A.Dalla Chiesa,14
Castelmassa (RO)

Committente: CASEIFICIO RAZIONALE NOVESE
Cantiere: NOVI DI MODENA
Data: 12/06/2025

Quota:
Preforo:
Falda: -1.10

Prova n° 3



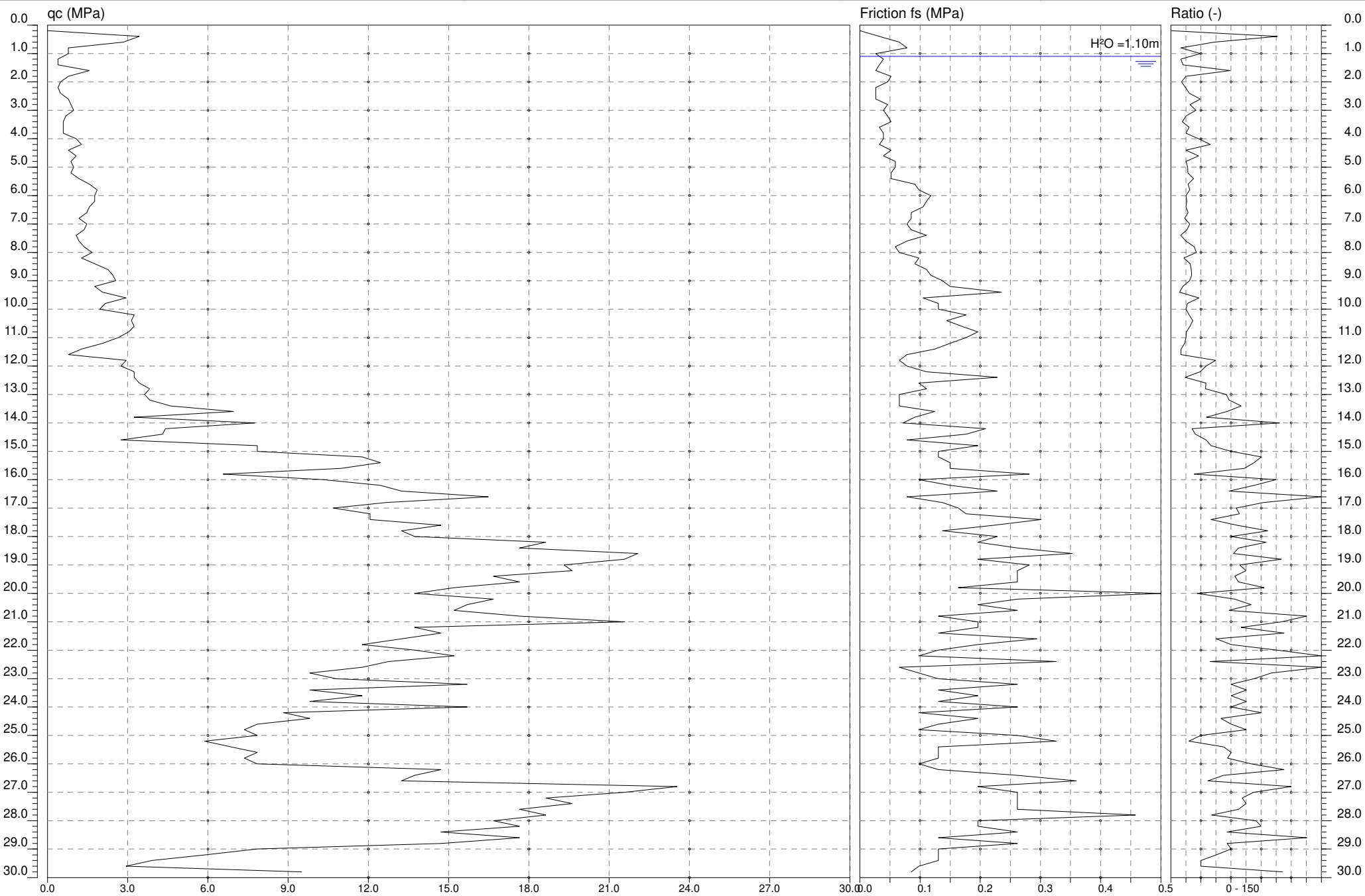


OCX
Via C.A.Dalla Chiesa,14
Castelmassa (RO)

Committente: CASEIFICIO RAZIONALE NOVESE
Cantiere: NOVI DI MODENA
Data: 12/06/2025

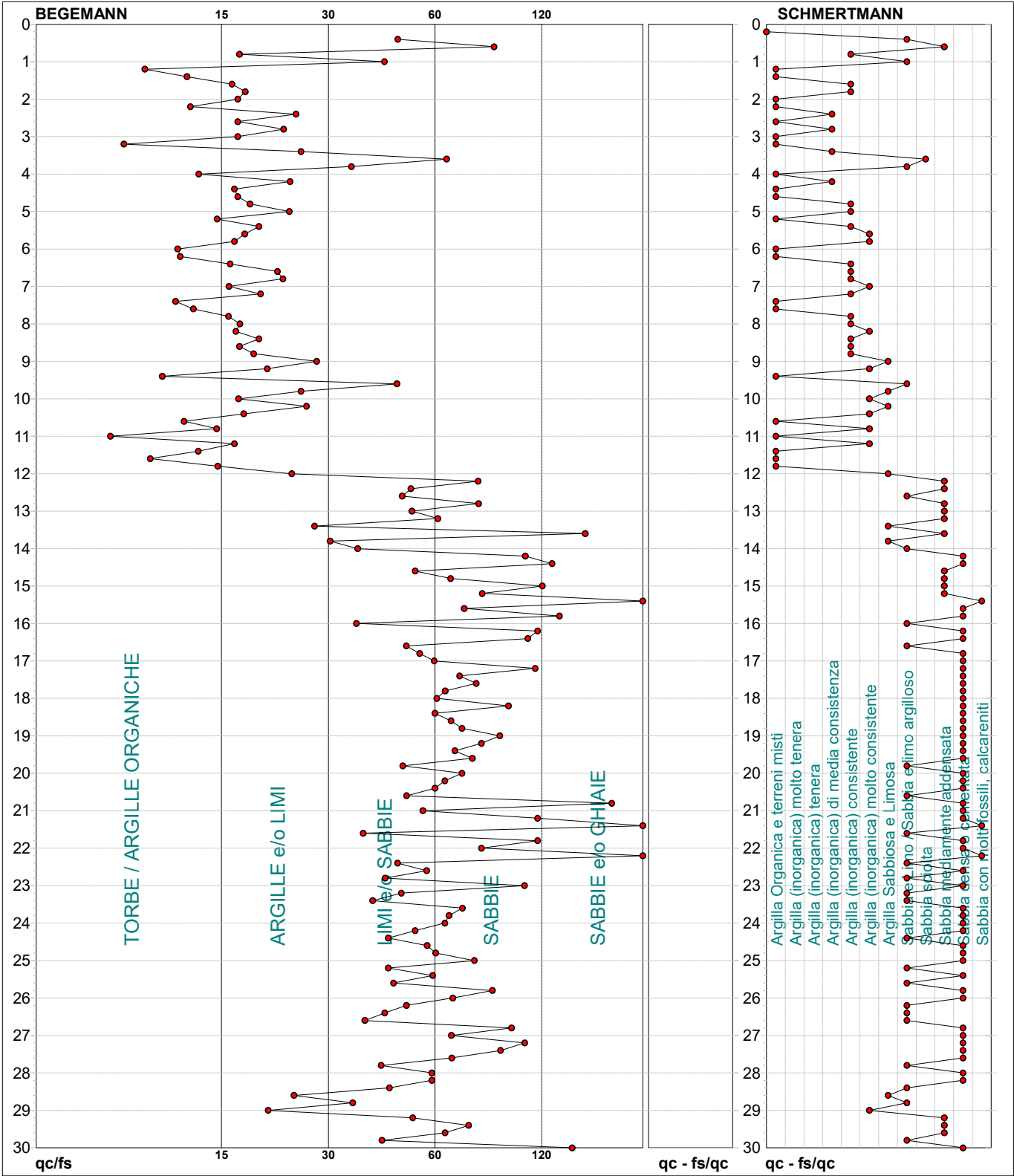
Quota:
Preforo:
Falda: -1.10

Prova n° 3



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI LITOLOGIA	CPT	1
	Riferimento	020-2025

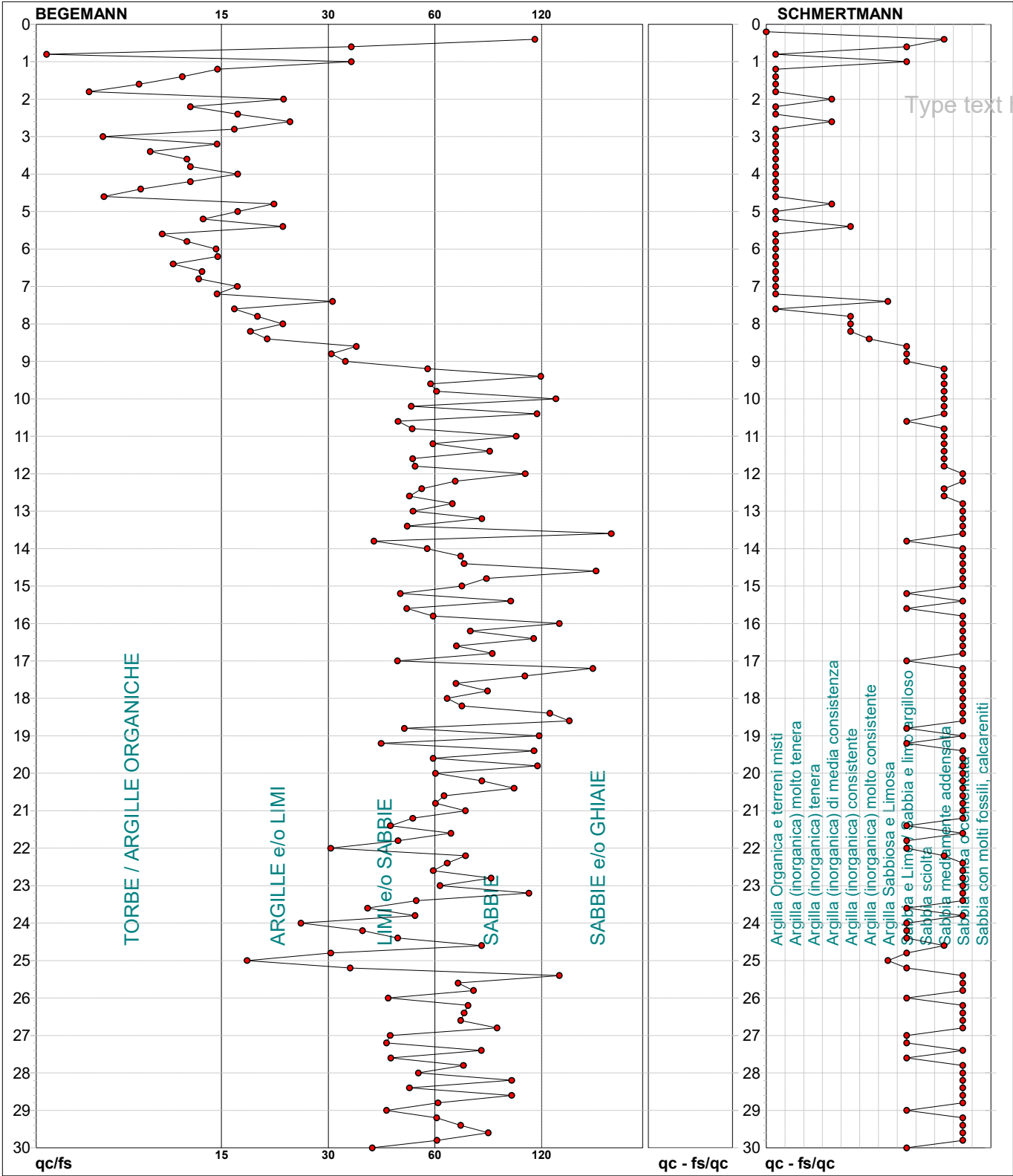
Committente	Caseificio Razionale Novese	U.M.:	MPa	Data eseg.	14/06/2025
Cantiere	Via Provinciale Mantova Novi di Modena	Scala:	1:150		
Località	Via Provinciale Mantova Novi di Modena	Pagina	1		
		Elaborato		Falda	-0.80 m



● 020-2025 [1] : 30.00 m

note:

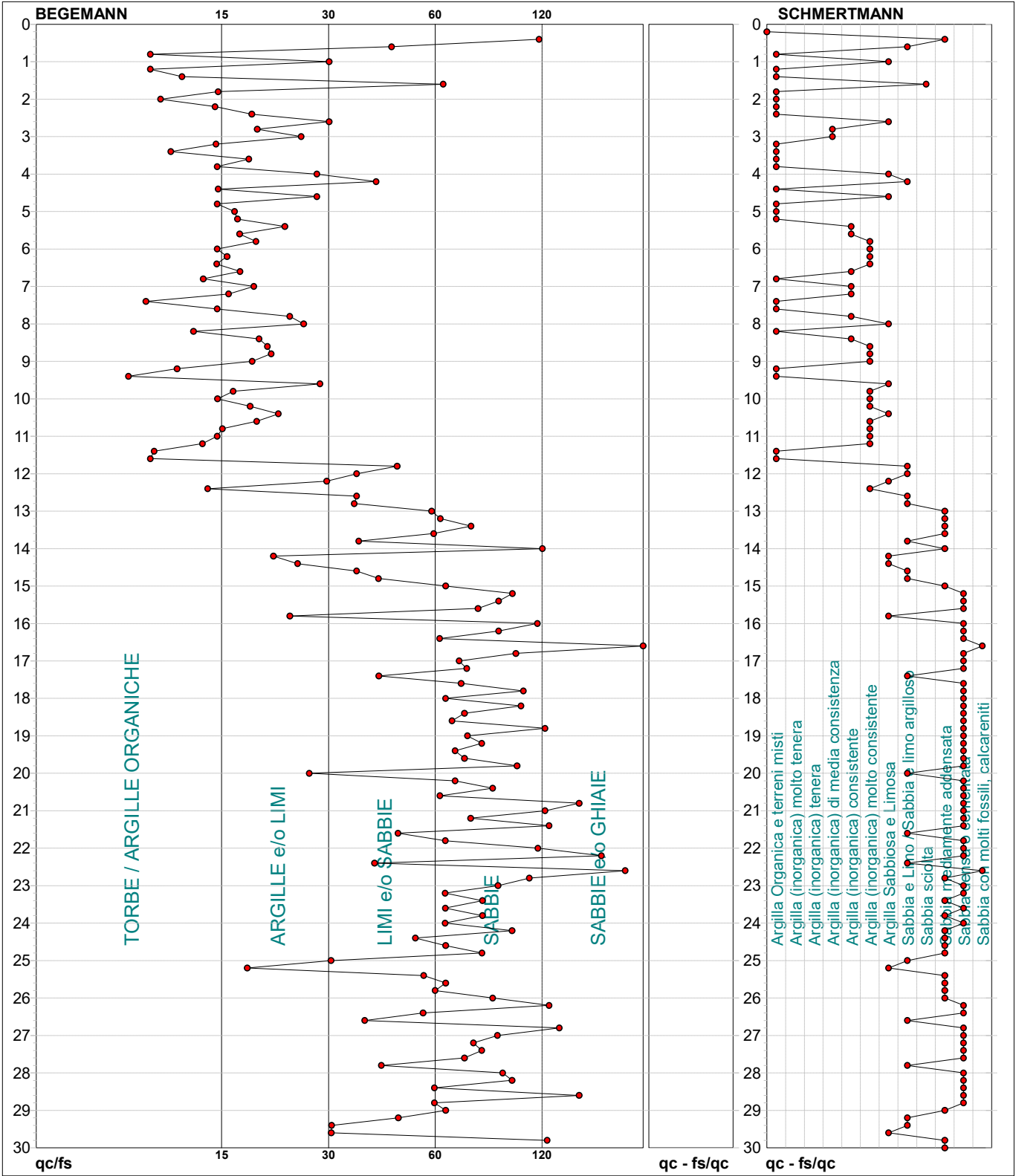
FON066



● 020-2025 [2] : 30.00 m

note:

FON066



● 020-2025 [3] : 30.00 m

note:

FON066

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI						CPT	1
						Riferimento	020-2025

Committente	Caseificio Razionale Novese	U.M.:	MPa	Data eseg.	14/06/2025
Cantiere	Via Provinciale Mantova Novi di Modena	Pagina	1		
Località	Via Provinciale Mantova Novi di Modena	Elaborato		Falda	-1.10 m

						NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE												
H	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m³	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
0.20	--	--	3	1.85	3.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	4.4	45.0	3	1.85	7.3	--	--	--	--	--	--	100	43	42	39	36	45	31	7.4	11.0	13.2	--	--
0.60	3.7	80.9	3	1.85	10.9	--	--	--	--	--	--	92	42	39	36	34	42	30	6.2	9.3	11.2	--	--
0.80	1.6	17.2	2	0.96	12.8	68.2	51.0	11.6	17.4	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	2.2	41.5	3	0.86	14.4	--	--	--	--	--	--	67	39	35	32	30	39	28	3.6	5.4	6.5	--	--
1.20	0.9	9.7	2	0.88	16.2	44.1	22.0	7.5	11.2	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	1.0	12.5	2	0.90	17.9	49.0	22.1	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.60	1.2	16.4	2	0.92	19.7	56.0	23.1	9.5	14.3	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	1.3	17.8	2	0.93	21.6	59.3	22.2	10.1	15.1	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.00	0.8	17.0	2	0.86	23.2	39.2	12.1	6.7	10.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.20	0.6	12.8	2	0.46	24.1	29.4	8.0	1.3	2.0	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	0.8	24.2	2	0.86	25.8	39.2	10.6	6.7	10.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	0.8	17.0	2	0.86	27.5	39.2	9.8	6.7	10.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	0.9	22.5	2	0.88	29.2	44.1	10.5	7.5	11.2	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	0.8	17.0	2	0.86	30.9	39.2	8.4	7.3	11.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	0.4	8.5	1	0.46	31.8	19.6	3.4	1.7	2.6	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	1.0	25.0	2	0.90	33.6	49.0	10.1	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	2.0	60.6	4	0.93	35.4	78.4	17.0	13.3	20.0	5.9	42	36	30	27	25	34	27	3.3	4.9	5.9	--	--	
3.80	1.8	34.0	4	0.91	37.2	73.5	14.7	12.5	18.7	5.5	37	36	29	26	24	33	27	2.9	4.4	5.3	--	--	
4.00	0.9	13.4	2	0.88	38.9	44.1	7.3	9.6	14.4	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	1.1	23.4	2	0.91	40.7	52.6	8.6	9.6	14.5	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	1.0	16.7	2	0.90	42.5	49.0	7.5	10.4	15.6	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	0.8	17.0	2	0.86	44.1	39.2	5.4	12.0	18.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	1.1	18.3	2	0.91	45.9	52.6	7.4	11.3	16.9	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	1.7	23.3	2	0.97	47.8	70.9	10.3	12.1	18.1	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	1.5	15.0	2	0.95	49.7	65.3	8.8	11.8	17.7	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	1.8	19.4	2	0.98	51.6	73.5	9.8	12.5	18.8	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	1.9	17.8	2	0.99	53.6	76.0	9.7	13.0	19.5	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	2.0	16.7	4	0.93	55.4	78.4	9.7	13.4	20.1	5.9	31	35	27	24	23	31	27	3.3	4.9	5.9	--	--	
6.00	1.5	11.8	2	0.95	57.2	65.3	7.4	14.1	21.1	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	1.2	12.0	2	0.92	59.0	56.0	5.9	15.7	23.6	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	1.3	16.3	2	0.93	60.9	59.3	6.1	16.0	24.1	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	1.3	21.7	2	0.93	62.7	59.3	5.9	16.7	25.1	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	1.5	22.4	2	0.95	64.5	65.3	6.4	16.7	25.1	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	1.5	16.1	2	0.95	66.4	65.3	6.2	17.4	26.2	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	1.7	19.5	2	0.97	68.3	70.9	6.6	17.5	26.3	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.40	1.4	11.7	2	0.94	70.1	62.4	5.4	19.1	28.6	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.60	1.3	13.0	2	0.93	72.0	59.3	4.9	19.9	29.9	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.80	1.4	16.1	2	0.94	73.8	62.4	5.1	20.3	30.5	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.00	1.5	17.2	2	0.95	75.7	65.3	5.2	20.7	31.1	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.20	1.8	16.8	2	0.98	77.6	73.5	5.9	20.7	31.0	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	1.8	19.4	2	0.98	79.5	73.5	5.7	21.4	32.0	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.60	1.6	17.2	2	0.96	81.4	68.2	5.0	22.4	33.7	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.80	1.5	18.8	2	0.95	83.3	65.3	4.6	23.2	34.8	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.00	2.2	27.5	4	0.93	85.1	82.9	6.1	22.4	33.6	6.5	23	34	26	23	21	29	28	3.6	5.4	6.5	--	--	
9.20	2.3	20.4	4	0.94	86.9	85.1	6.1	22.9	34.3	6.8	24	34	26	23	21	29	28	3.8	5.6	6.8	--	--	
9.40	1.0	10.8	2	0.90	88.7	49.0	3.0	24.2	36.3	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.60	2.9	44.8	3	0.88	90.4	--	--	--	--	--	--	33	35	27	24	22	31	29	4.9	7.4	8.8	--	--
9.80	2.9	25.0	4	0.96	92.3	98.0	6.8	23.4	35.2	8.8	32	35	27	24	22	31	29	4.9	7.4	8.8	--	--	
10.00	3.1	17.1	4	0.97	94.2	104.5	7.2	23.4	35.2	9.4	34	35	27	24	23	31	29	5.2	7.8	9.4	--	--	
10.20	3.7	25.9	4	0.99	96.1	124.1	8.6	22.8	34.2	11.2	39	36	28	25	23	32	30	6.2	9.3	11.2	--	--	
10.40	3.2	17.6	4	0.97	98.0	107.8	7.1	24.5	36.8	9.7	34	35	27	24	23	31	29	5.4	8.1	9.7	--	--	
10.60	2.6	12.3	4	0.95	99.9	92.8	5.7	26.8	40.2	7.9	27	34	26	23	21	30	28	4.4	6.6	7.9	--	--	
10.80	2.7	15.0	4	0.96	101.8	94.6	5.7	27.3	40.9	8.2	27	35	26	23	22	30	28	4.6	6.9	8.2	--	--	
11.00	2.3	7.8	4	0.94	103.6	85.1	4.9	28.7	43.0	6.8	20	34	25	22	21	28	28	3.8	5.6	6.8	--	--	
11.20	2.0	16.7	4	0.93	105.4	78.4	4.3	29.4	44.2	5.9	15	33	24	21	20	28	27	3.3	4.9	5.9	--	--	
11.40	1.7	13.4	2	0.97	107.3	70.9	3.7	30.3	45.4	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.60	1.0	10.0	2	0.90	109.1	49.0	2.3	26.6	39.9	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.80	1.1	15.1	2	0.91	110.9	52.6	2.5	28.0	42.0	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.00	2.9	23.6	4	0.96	112.7	98.0	5.3	30.8	46.3	8.8	27	35	26	23	21	29	29	4.9	7.4	8.8	--	--	
12.20	4.3	73.3	3	0.91	114.5	--	--	--	--	--	--	40	36	28	25	23	32	31	7.2	10.8	12.9	--	--

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	1
	Riferimento	020-2025

Committente	Caseificio Razionale Novese	U.M.:	MPa	Data esec.	14/06/2025
Cantiere	Via Provinciale Mantova Novi di Modena	Pagina	2		
Località	Via Provinciale Mantova Novi di Modena	Elaborato		Falda	-0.80 m

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'_{vo}	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m³	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
20.00	15.2	66.5	3	1.08	195.4		--	--	--	--	--	70	40	31	28	27	36	36	25.3	38.0	45.6	--	--
20.20	15.7	59.9	3	1.09	197.6		--	--	--	--	--	71	40	31	29	27	36	36	26.1	39.2	47.0	--	--
20.40	15.5	56.4	3	1.09	199.7		--	--	--	--	--	70	40	31	28	27	36	36	25.8	38.7	46.5	--	--
20.60	18.6	47.5	3	1.14	201.9		--	--	--	--	--	76	40	32	29	27	37	37	31.0	46.6	55.9	--	--
20.80	21.6	165.4	3	1.15	204.2		--	--	--	--	--	81	41	33	30	28	37	38	35.9	53.9	64.7	--	--
21.00	13.7	52.4	3	1.06	206.2		--	--	--	--	--	65	39	31	28	26	35	36	22.9	34.3	41.2	--	--
21.20	13.7	105.3	3	1.06	208.3		--	--	--	--	--	65	39	31	28	26	35	36	22.9	34.3	41.2	--	--
21.40	15.2	469.7	3	1.08	210.4		--	--	--	--	--	68	39	31	28	26	35	36	25.3	38.0	45.6	--	--
21.60	8.3	36.5	3	0.98	212.3		--	--	--	--	--	48	37	28	25	23	32	33	13.9	20.8	25.0	--	--
21.80	13.7	105.3	3	1.06	214.4		--	--	--	--	--	64	39	30	27	26	34	36	22.9	34.3	41.2	--	--
22.00	19.6	74.9	3	1.15	216.7		--	--	--	--	--	76	40	32	29	27	36	38	32.7	49.0	58.8	--	--
22.20	15.2	469.7	3	1.08	218.8		--	--	--	--	--	67	39	31	28	26	35	36	25.3	38.0	45.6	--	--
22.40	11.8	44.9	3	1.03	220.8		--	--	--	--	--	58	38	30	26	25	33	35	19.6	29.4	35.3	--	--
22.60	12.3	53.6	3	1.04	222.8		--	--	--	--	--	60	38	30	27	25	34	35	20.4	30.6	36.8	--	--
22.80	10.1	41.7	3	1.00	224.8		--	--	--	--	--	53	38	29	26	24	33	34	16.8	25.2	30.3	--	--
23.00	10.2	97.2	3	1.01	226.8		--	--	--	--	--	53	38	29	26	24	33	34	17.0	25.5	30.6	--	--
23.20	9.6	46.0	3	1.00	228.7		--	--	--	--	--	51	37	28	25	24	32	34	16.0	24.0	28.8	--	--
23.40	7.8	38.6	3	0.97	230.6		--	--	--	--	--	43	36	27	24	23	31	33	13.1	19.6	23.5	--	--
23.60	10.0	66.7	3	1.00	232.6		--	--	--	--	--	52	37	28	25	24	32	34	16.7	25.0	30.0	--	--
23.80	11.3	61.5	3	1.02	234.6		--	--	--	--	--	55	38	29	26	24	33	35	18.8	28.2	33.8	--	--
24.00	15.7	59.9	3	1.09	236.7		--	--	--	--	--	67	39	31	28	26	35	36	26.1	39.2	47.0	--	--
24.20	19.6	50.0	3	1.15	239.0		--	--	--	--	--	74	40	32	29	27	36	38	32.7	49.0	58.8	--	--
24.40	20.3	42.5	3	1.15	241.2		--	--	--	--	--	75	40	32	29	27	36	38	33.8	50.7	60.9	--	--
24.60	17.2	53.8	3	1.11	243.4		--	--	--	--	--	69	40	31	28	26	35	37	28.7	43.1	51.7	--	--
24.80	17.1	56.7	3	1.11	245.6		--	--	--	--	--	69	39	31	28	26	35	37	28.4	42.6	51.2	--	--
25.00	16.4	71.7	3	1.10	247.8		--	--	--	--	--	67	39	31	28	26	35	37	27.3	40.9	49.1	--	--
25.20	15.0	42.5	3	1.08	249.9		--	--	--	--	--	64	39	30	27	25	34	36	25.0	37.5	45.0	--	--
25.40	14.9	55.7	3	1.08	252.0		--	--	--	--	--	63	39	30	27	25	34	36	24.8	37.2	44.7	--	--
25.60	14.3	43.8	3	1.07	254.1		--	--	--	--	--	62	39	30	27	25	34	36	23.8	35.8	42.9	--	--
25.80	15.7	80.0	3	1.09	256.2		--	--	--	--	--	65	39	30	27	25	34	36	26.1	39.2	47.0	--	--
26.00	16.5	62.9	3	1.10	258.4		--	--	--	--	--	66	39	30	27	26	34	37	27.4	41.2	49.4	--	--
26.20	15.5	47.4	3	1.09	260.5		--	--	--	--	--	64	39	30	27	25	34	36	25.8	38.7	46.5	--	--
26.40	13.3	41.6	3	1.05	262.6		--	--	--	--	--	59	38	29	26	25	33	35	22.2	33.3	40.0	--	--
26.60	14.7	36.9	3	1.08	264.7		--	--	--	--	--	62	39	30	27	25	34	36	24.5	36.8	44.1	--	--
26.80	23.5	89.9	3	1.15	266.9		--	--	--	--	--	78	41	32	29	27	36	39	39.2	58.8	70.6	--	--
27.00	26.5	62.4	3	1.15	269.2		--	--	--	--	--	81	41	33	30	28	37	40	44.1	66.2	79.4	--	--
27.20	25.5	97.4	3	1.15	271.4		--	--	--	--	--	80	41	32	29	28	37	40	42.5	63.7	76.4	--	--
27.40	27.4	84.1	3	1.15	273.7		--	--	--	--	--	82	41	33	30	28	37	40	45.7	68.6	82.3	--	--
27.60	24.5	62.5	3	1.15	275.9		--	--	--	--	--	78	41	32	29	27	36	39	40.8	61.3	73.5	--	--
27.80	18.6	40.7	3	1.14	278.2		--	--	--	--	--	69	39	31	28	26	35	37	31.0	46.6	55.9	--	--
28.00	16.7	55.4	3	1.11	280.3		--	--	--	--	--	65	39	30	27	25	34	37	27.8	41.7	50.0	--	--
28.20	11.6	55.4	3	1.03	282.3		--	--	--	--	--	52	37	28	25	24	32	35	19.3	28.9	34.7	--	--
28.40	7.8	42.8	3	0.97	284.2		--	--	--	--	--	38	36	26	23	22	30	33	13.1	19.6	23.5	--	--
28.60	3.9	24.0	4	1.00	286.2		130.7	2.4	70.5	105.7	11.8	14	33	23	19	18	26	30	6.5	9.8	11.8	--	--
28.80	2.5	34.2	3	0.86	287.9		--	--	--	--	--	--	31	20	17	16	25	28	4.1	6.1	7.4	--	--
29.00	2.5	20.5	4	0.95	289.7		91.0	1.5	53.2	79.8	7.6	--	31	21	17	16	25	28	4.2	6.4	7.6	--	--
29.20	6.8	49.3	3	0.95	291.6		--	--	--	--	--	33	35	25	22	21	29	32	11.3	16.9	20.3	--	--
29.40	9.5	69.3	3	1.00	293.6		--	--	--	--	--	44	37	27	24	22	31	34	15.8	23.8	28.5	--	--
29.60	9.4	60.0	3	0.99	295.5		--	--	--	--	--	44	36	27	24	22	31	34	15.7	23.5	28.2	--	--
29.80	9.9	40.9	3	1.00	297.5		--	--	--	--	--	45	37	27	24	23	31	34	16.5	24.7	29.7	--	--
30.00	12.7	130.0	3	1.05	299.5		--	--	--	--	--	54	38	28	25	24	32	35	21.2	31.9	38.2	--	--

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	2
	Riferimento	020-2025

Committente	Caseificio Razionale Novese	U.M.:	MPa	Data esec.	14/06/2025
Cantiere	Via Provinciale Mantova Novi di Modena	Pagina	1		
Località	Via Provinciale Mantova Novi di Modena	Elaborato		Falda	-1.10 m

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'_{vo}	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m³	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
0.20	--	--	3	1.85	3.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	2.7	103.7	3	1.85	7.3	--	--	--	--	--	--	92	42	39	37	34	43	28	4.6	6.9	8.2	--	--
0.60	1.8	34.0	4	1.85	10.9	73.5	68.4	12.5	18.7	5.5	5.5	67	39	35	32	30	39	27	2.9	4.4	5.3	--	--
0.80	0.4	2.6	1	1.85	14.5	19.6	9.1	0.8	1.2	0.6	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	1.8	34.0	4	1.85	18.1	73.5	36.1	12.5	18.7	5.5	5.5	54	38	33	30	28	37	27	2.9	4.4	5.3	--	--
1.20	1.4	15.1	2	0.94	20.0	62.4	26.1	10.6	15.9	4.7	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	1.3	12.1	2	0.93	21.8	59.3	21.9	10.1	15.1	4.6	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.60	1.0	9.3	2	0.90	23.6	49.0	15.7	8.3	12.5	3.9	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	0.6	6.9	1	0.46	24.5	29.4	7.9	1.4	2.0	0.9	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.00	0.9	22.5	2	0.88	26.2	44.1	12.0	7.5	11.2	3.7	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.20	0.6	12.8	1	0.46	27.1	29.4	7.0	1.5	2.2	0.9	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	0.8	17.0	2	0.86	28.8	39.2	9.2	6.9	10.3	3.4	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	1.1	23.4	2	0.91	30.6	52.6	12.4	8.9	13.4	4.2	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	1.0	16.7	2	0.90	32.3	49.0	10.6	8.3	12.5	3.9	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	0.6	7.5	1	0.46	33.2	29.4	5.4	1.7	2.6	0.9	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	0.6	15.0	1	0.46	34.1	29.4	5.2	1.8	2.7	0.9	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	0.4	10.0	1	0.46	35.0	19.6	3.0	1.9	2.9	0.6	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	0.5	12.5	1	0.46	35.9	24.5	3.9	1.8	2.7	0.7	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	0.6	12.8	1	0.46	36.8	29.4	4.7	1.9	2.8	0.9	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	0.8	17.0	2	0.86	38.5	39.2	6.4	10.0	15.0	3.4	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	0.6	12.8	1	0.46	39.4	29.4	4.4	2.0	3.0	0.9	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	0.5	9.4	1	0.46	40.3	24.5	3.4	2.2	3.3	0.7	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	0.4	7.5	1	0.46	41.2	19.6	2.5	2.2	3.3	0.6	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	0.7	21.2	2	0.84	42.9	34.3	4.8	11.9	17.9	3.2	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	0.8	17.0	2	0.86	44.6	39.2	5.4	12.1	18.2	3.4	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	1.2	13.8	2	0.92	46.4	56.0	8.0	11.1	16.7	4.4	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	1.5	22.4	2	0.95	48.2	65.3	9.2	11.5	17.2	4.9	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	1.0	10.8	2	0.90	50.0	49.0	6.1	13.1	19.7	3.9	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	1.0	12.5	2	0.90	51.7	49.0	5.9	13.8	20.7	3.9	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	1.0	14.9	2	0.90	53.5	49.0	5.6	14.4	21.6	3.9	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	1.1	15.1	2	0.91	55.3	52.6	5.9	14.7	22.1	4.2	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	1.0	11.5	2	0.90	57.1	49.0	5.2	15.6	23.5	3.9	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	1.0	13.7	2	0.90	58.8	49.0	5.0	16.2	24.4	3.9	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	0.9	13.4	2	0.88	60.5	44.1	4.2	16.9	25.4	3.7	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	0.9	17.0	2	0.88	62.3	44.1	4.1	17.4	26.1	3.7	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	0.9	15.0	2	0.88	64.0	44.1	3.9	17.9	26.9	3.7	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.40	1.0	30.3	4	0.86	65.7	49.0	4.4	18.3	27.5	3.9	3.9	3	32	23	20	19	26	26	1.6	2.5	2.9	--	--
7.60	1.0	16.7	2	0.90	67.5	49.0	4.2	18.8	28.3	3.9	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.80	1.4	19.2	2	0.94	69.3	62.4	5.5	18.8	28.2	4.7	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.00	1.5	22.4	2	0.95	71.2	65.3	5.6	19.2	28.7	4.9	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.20	1.6	18.4	2	0.96	73.0	68.2	5.8	19.6	29.3	5.1	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	2.3	20.4	4	0.94	74.9	85.1	7.4	18.4	27.7	6.8	6.8	28	35	27	24	22	30	28	3.8	5.6	6.8	--	--
8.60	2.7	35.0	3	0.87	76.6	--	--	--	--	--	--	34	35	28	24	23	31	28	4.6	6.9	8.2	--	--
8.80	3.9	30.1	3	0.90	78.3	--	--	--	--	--	--	46	37	29	26	25	33	30	6.5	9.8	11.8	--	--
9.00	3.6	32.7	3	0.89	80.1	--	--	--	--	--	--	43	36	29	26	24	33	30	6.0	9.1	10.9	--	--
9.20	4.6	54.0	3	0.91	81.9	--	--	--	--	--	--	50	37	30	27	25	34	31	7.7	11.5	13.8	--	--
9.40	7.1	107.5	3	0.95	83.7	--	--	--	--	--	--	65	39	32	29	27	36	32	11.8	17.6	21.2	--	--
9.60	6.5	55.0	3	0.94	85.6	--	--	--	--	--	--	61	39	31	28	26	35	32	10.8	16.2	19.4	--	--
9.80	6.0	57.0	3	0.94	87.4	--	--	--	--	--	--	58	38	31	28	26	35	32	10.0	14.9	17.9	--	--
10.00	8.4	117.8	3	0.98	89.3	--	--	--	--	--	--	69	40	32	29	28	37	33	14.0	21.1	25.3	--	--
10.20	6.4	48.9	3	0.94	91.2	--	--	--	--	--	--	59	38	31	28	26	35	32	10.6	15.9	19.1	--	--
10.40	8.2	105.0	3	0.97	93.1	--	--	--	--	--	--	67	39	32	29	27	36	33	13.7	20.6	24.7	--	--
10.60	5.9	45.1	3	0.93	94.9	--	--	--	--	--	--	55	38	30	27	26	34	32	9.8	14.7	17.6	--	--
10.80	5.8	49.2	3	0.93	96.7	--	--	--	--	--	--	54	38	30	27	25	34	32	9.6	14.5	17.3	--	--
11.00	6.1	92.5	3	0.94	98.6	--	--	--	--	--	--	55	38	30	27	26	34	32	10.1	15.2	18.2	--	--
11.20	6.2	55.8	3	0.94	100.4	--	--	--	--	--	--	56	38	30	27	26	34	32	10.3	15.4	18.5	--	--
11.40	6.2	78.8	3	0.94	102.3	--	--	--	--	--	--	55	38	30	27	25	34	32	10.3	15.4	18.5	--	--
11.60	6.8	49.3	3	0.95	104.1	--	--	--	--	--	--	58	38	31	28	26	35	32	11.3	16.9	20.3	--	--
11.80	9.8	50.0	3	1.00	106.1	--	--	--	--	--	--	70	40	32	29	27	37	34	16.3	24.5	29.4	--	--
12.00	12.7	97.7	3	1.05	108.1	--	--	--	--	--	--	79	41	33	31	29	38	35	21.2	31.9	38.2	--	

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	2
	Riferimento	020-2025

Committente	Caseificio Razionale Novese	U.M.:	MPa	Data esec.	14/06/2025
Cantiere	Via Provinciale Mantova Novi di Modena	Pagina	2		
Località	Via Provinciale Mantova Novi di Modena	Elaborato		Falda	-1.10 m

H m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
							Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
							kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
20.00	16.3	56.7	3	1.10	195.5		--	--	--	--	--	73	40	32	29	27	36	37	27.1	40.7	48.8	--	--
20.20	17.2	75.1	3	1.11	197.6		--	--	--	--	--	74	40	32	29	27	36	37	28.6	42.9	51.5	--	--
20.40	15.5	91.3	3	1.09	199.8		--	--	--	--	--	70	40	31	28	27	36	36	25.8	38.7	46.5	--	--
20.60	16.0	59.7	3	1.09	201.9		--	--	--	--	--	71	40	31	29	27	36	36	26.6	39.9	47.9	--	--
20.80	16.3	56.7	3	1.10	204.1		--	--	--	--	--	72	40	32	29	27	36	37	27.1	40.7	48.8	--	--
21.00	13.3	68.0	3	1.05	206.1		--	--	--	--	--	64	39	30	27	26	35	35	22.2	33.3	40.0	--	--
21.20	11.3	49.4	3	1.02	208.1		--	--	--	--	--	58	38	30	27	25	34	35	18.8	28.2	33.8	--	--
21.40	11.3	43.1	3	1.02	210.1		--	--	--	--	--	58	38	30	27	25	34	35	18.8	28.2	33.8	--	--
21.60	11.0	62.2	3	1.02	212.1		--	--	--	--	--	57	38	29	26	25	33	34	18.3	27.4	32.9	--	--
21.80	5.9	45.1	3	0.93	214.0		--	--	--	--	--	35	35	26	23	22	30	32	9.8	14.7	17.6	--	--
22.00	7.8	30.0	4	1.03	216.0		261.3	8.0	51.9	77.9	23.5	45	37	28	24	23	31	33	13.1	19.6	23.5	--	--
22.20	9.8	68.0	3	1.00	218.0		--	--	--	--	--	52	38	29	26	24	33	34	16.3	24.5	29.4	--	--
22.40	12.3	60.9	3	1.04	220.0		--	--	--	--	--	60	38	30	27	25	34	35	20.6	30.9	37.0	--	--
22.60	13.5	55.9	3	1.06	222.1		--	--	--	--	--	63	39	30	27	25	34	36	22.5	33.8	40.6	--	--
22.80	18.1	79.4	3	1.13	224.3		--	--	--	--	--	73	40	32	29	27	36	37	30.2	45.3	54.4	--	--
23.00	15.6	58.2	3	1.09	226.4		--	--	--	--	--	67	39	31	28	26	35	36	26.0	39.0	46.7	--	--
23.20	19.6	100.0	3	1.15	228.7		--	--	--	--	--	75	40	32	29	27	36	38	32.7	49.0	58.8	--	--
23.40	18.1	50.4	3	1.13	230.9		--	--	--	--	--	72	40	31	28	27	36	37	30.2	45.3	54.4	--	--
23.60	14.7	37.5	3	1.08	233.0		--	--	--	--	--	65	39	30	27	26	34	36	24.5	36.8	44.1	--	--
23.80	19.6	50.0	3	1.15	235.2		--	--	--	--	--	74	40	32	29	27	36	38	32.7	49.0	58.8	--	--
24.00	9.8	25.0	4	1.05	237.3		326.7	9.4	56.7	85.0	29.4	50	37	28	25	24	32	34	16.3	24.5	29.4	--	--
24.20	9.0	36.4	3	0.99	239.2		--	--	--	--	--	47	37	28	25	23	32	33	15.0	22.5	27.0	--	--
24.40	9.7	45.0	3	1.00	241.2		--	--	--	--	--	50	37	28	25	23	32	34	16.2	24.3	29.1	--	--
24.60	7.4	75.0	3	0.96	243.1		--	--	--	--	--	40	36	27	24	22	30	32	12.3	18.4	22.1	--	--
24.80	7.8	30.0	4	1.03	245.1		261.3	6.8	62.1	93.2	23.5	42	36	27	24	22	31	33	13.1	19.6	23.5	--	--
25.00	5.9	18.0	4	1.02	247.1		196.0	4.7	68.7	103.0	17.6	32	35	26	22	21	29	32	9.8	14.7	17.6	--	--
25.20	8.8	33.7	3	0.98	249.0		--	--	--	--	--	46	37	27	24	23	31	33	14.7	22.1	26.5	--	--
25.40	15.7	120.3	3	1.09	251.2		--	--	--	--	--	65	39	30	27	26	34	36	26.1	39.2	47.0	--	--
25.60	12.7	65.0	3	1.05	253.2		--	--	--	--	--	58	38	29	26	25	33	35	21.2	31.9	38.2	--	--
25.80	15.4	71.4	3	1.09	255.3		--	--	--	--	--	64	39	30	27	25	34	36	25.6	38.5	46.2	--	--
26.00	16.7	42.5	3	1.11	257.5		--	--	--	--	--	67	39	30	27	26	35	37	27.8	41.7	50.0	--	--
26.20	22.5	69.1	3	1.15	259.7		--	--	--	--	--	77	40	32	29	27	36	39	37.6	56.4	67.6	--	--
26.40	17.6	67.4	3	1.12	261.9		--	--	--	--	--	68	39	31	28	26	35	37	29.4	44.1	52.9	--	--
26.60	21.6	66.1	3	1.15	264.2		--	--	--	--	--	75	40	32	29	27	36	38	35.9	53.9	64.7	--	--
26.80	21.6	82.4	3	1.15	266.5		--	--	--	--	--	75	40	32	29	27	36	38	35.9	53.9	64.7	--	--
27.00	12.3	43.0	3	1.04	268.5		--	--	--	--	--	55	38	29	26	24	33	35	20.6	30.9	37.0	--	--
27.20	13.7	42.0	3	1.06	270.6		--	--	--	--	--	59	38	29	26	25	33	36	22.9	34.3	41.2	--	--
27.40	19.6	74.9	3	1.15	272.8		--	--	--	--	--	71	40	31	28	26	35	38	32.7	49.0	58.8	--	--
27.60	18.9	43.2	3	1.14	275.1		--	--	--	--	--	69	40	31	28	26	35	38	31.5	47.3	56.7	--	--
27.80	18.4	67.1	3	1.13	277.3		--	--	--	--	--	68	39	31	28	26	35	37	30.7	46.1	55.3	--	--
28.00	16.7	51.1	3	1.11	279.4		--	--	--	--	--	65	39	30	27	25	34	37	27.8	41.7	50.0	--	--
28.20	17.6	90.0	3	1.12	281.6		--	--	--	--	--	66	39	30	27	26	34	37	29.4	44.1	52.9	--	--
28.40	14.2	48.3	3	1.07	283.7		--	--	--	--	--	59	38	29	26	25	33	36	23.7	35.5	42.6	--	--
28.60	17.6	90.0	3	1.12	285.9		--	--	--	--	--	66	39	30	27	26	34	37	29.4	44.1	52.9	--	--
28.80	22.5	57.5	3	1.15	288.2		--	--	--	--	--	74	40	31	28	27	36	39	37.6	56.4	67.6	--	--
29.00	13.7	42.0	3	1.06	290.3		--	--	--	--	--	57	38	29	26	24	33	36	22.9	34.3	41.2	--	--
29.20	18.6	57.1	3	1.14	292.5		--	--	--	--	--	67	39	30	27	26	34	37	31.0	46.6	55.9	--	--
29.40	21.6	66.1	3	1.15	294.7		--	--	--	--	--	72	40	31	28	26	35	38	35.9	53.9	64.7	--	--
29.60	25.5	78.1	3	1.15	297.0		--	--	--	--	--	78	41	32	29	27	36	40	42.5	63.7	76.4	--	--
29.80	23.5	57.1	3	1.15	299.2		--	--	--	--	--	75	40	31	28	27	36	39	39.2	58.8	70.6	--	--
30.00	17.6	38.5	3	1.12	301.4		--	--	--	--	--	65	39	30	27	25	34	37	29.4	44.1	52.9	--	--

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	3
	Riferimento	020-2025

Committente	Caseificio Razionale Novese	U.M.:	MPa	Data esec.	16/06/2025
Cantiere	Via Provinciale Mantova Novi di Modena	Pagina	1		
Località	Via Provinciale Mantova Novi di Modena	Elaborato		Falda	-1.10 m

						NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE												
H	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'_{vo}	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m ³	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
0.20	--	--	3	1.85	3.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	3.4	106.1	3	1.85	7.3	--	--	--	--	--	--	99	43	40	38	35	44	29	5.7	8.6	10.3	--	--
0.60	2.8	43.3	3	1.85	10.9	--	--	--	--	--	--	83	41	37	35	32	41	29	4.7	7.1	8.5	--	--
0.80	0.8	10.0	2	1.85	14.5	39.2	21.8	6.7	10.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	0.8	29.6	2	1.85	18.1	39.2	16.5	6.7	10.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	0.4	10.0	1	0.46	19.0	19.6	6.5	1.0	1.5	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	0.4	12.1	1	0.46	19.9	19.6	6.1	1.1	1.6	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.60	1.6	59.3	4	0.90	21.7	68.2	26.3	11.6	17.4	5.1	46	37	31	28	26	35	27	2.6	3.9	4.7	--	--	
1.80	0.8	15.1	2	0.86	23.4	39.2	12.0	6.7	10.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.00	0.5	10.6	1	0.46	24.3	24.5	6.3	1.3	2.0	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.20	0.4	14.8	2	0.46	25.2	19.6	4.6	1.3	1.9	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	0.5	18.5	2	0.80	26.8	24.5	5.6	7.2	10.8	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	0.8	29.6	2	0.86	28.4	39.2	9.4	6.8	10.2	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	0.9	19.1	2	0.88	30.2	44.1	10.1	7.5	11.2	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	1.0	25.0	2	0.90	31.9	49.0	10.7	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	0.7	14.9	1	0.46	32.8	34.3	6.6	1.8	2.7	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	0.6	11.3	2	0.46	33.7	29.4	5.3	1.8	2.7	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	0.6	18.2	2	0.82	35.3	29.4	5.0	9.8	14.6	2.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	0.6	15.0	1	0.46	36.2	29.4	4.8	1.9	2.8	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	1.1	27.5	2	0.91	38.0	52.6	9.4	9.1	13.7	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	1.3	39.4	4	0.88	39.7	59.3	10.3	10.1	15.1	4.6	24	34	27	24	22	31	26	2.1	3.2	3.8	--	--	
4.40	0.8	15.1	2	0.86	41.4	39.2	5.9	11.0	16.6	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	1.1	27.5	2	0.91	43.2	52.6	8.0	10.4	15.6	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	0.9	15.0	2	0.88	44.9	44.1	6.1	11.8	17.7	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	1.0	16.7	2	0.90	46.7	49.0	6.7	11.9	17.9	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	0.9	17.0	2	0.88	48.4	44.1	5.6	13.1	19.6	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	1.2	22.6	2	0.92	50.2	56.0	7.2	12.5	18.7	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	1.6	17.2	2	0.96	52.1	68.2	8.8	12.3	18.5	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	1.9	19.0	2	0.99	54.1	76.0	9.6	13.0	19.6	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	1.8	15.0	2	0.98	56.0	73.5	8.8	13.3	19.9	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	1.8	15.9	2	0.98	57.9	73.5	8.5	13.7	20.6	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	1.6	15.0	2	0.96	59.8	68.2	7.4	14.7	22.1	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	1.5	17.2	2	0.95	61.6	65.3	6.8	15.7	23.5	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	1.2	13.8	2	0.92	63.4	56.0	5.4	17.3	25.9	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	1.5	18.8	2	0.95	65.3	65.3	6.3	17.0	25.5	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	1.4	16.1	2	0.94	67.1	62.4	5.7	18.0	27.0	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.40	1.1	9.7	2	0.91	68.9	52.6	4.5	19.2	28.8	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.60	1.2	15.0	2	0.92	70.7	56.0	4.7	19.7	29.5	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.80	1.4	23.3	2	0.94	72.6	62.4	5.2	19.9	29.9	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.00	1.7	25.4	2	0.97	74.5	70.9	5.9	19.8	29.7	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.20	1.3	13.0	2	0.93	76.3	59.3	4.6	21.3	31.9	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	1.8	19.4	2	0.98	78.2	73.5	5.8	20.9	31.4	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.60	2.3	20.4	4	0.94	80.1	85.1	6.8	20.3	30.5	6.8	26	34	26	23	22	30	28	3.8	5.6	6.8	--	--	
8.80	2.5	20.8	4	0.94	81.9	89.1	7.0	20.6	30.9	7.4	29	35	27	23	22	30	28	4.1	6.1	7.4	--	--	
9.00	2.5	18.6	4	0.95	83.8	91.0	7.0	21.1	31.6	7.6	30	35	27	24	22	30	28	4.2	6.4	7.6	--	--	
9.20	1.8	11.8	2	0.98	85.7	73.5	5.2	23.5	35.3	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.40	2.1	8.8	4	0.93	87.5	80.7	5.7	23.5	35.3	6.2	21	34	25	22	21	29	27	3.4	5.1	6.2	--	--	
9.60	2.9	28.0	4	0.96	89.4	98.0	7.0	22.4	33.6	8.8	33	35	27	24	23	31	29	4.9	7.4	8.8	--	--	
9.80	2.2	16.5	4	0.93	91.2	82.9	5.6	24.6	37.0	6.5	22	34	25	22	21	29	28	3.6	5.4	6.5	--	--	
10.00	2.0	15.0	4	0.93	93.0	78.4	5.1	25.6	38.4	5.9	18	33	25	22	20	28	27	3.3	4.9	5.9	--	--	
10.20	3.2	18.3	4	0.97	95.0	107.8	7.4	23.4	35.1	9.7	35	35	27	24	23	31	29	5.4	8.1	9.7	--	--	
10.40	3.1	21.8	4	0.97	96.9	104.5	6.9	24.4	36.6	9.4	33	35	27	24	22	31	29	5.2	7.8	9.4	--	--	
10.60	3.2	19.1	4	0.97	98.8	107.8	7.0	24.8	37.2	9.7	34	35	27	24	23	31	29	5.4	8.1	9.7	--	--	
10.80	3.0	15.5	4	0.97	100.7	101.3	6.3	26.2	39.3	9.1	31	35	27	24	22	30	29	5.1	7.6	9.1	--	--	
11.00	2.6	15.0	4	0.95	102.5	92.8	5.5	27.7	41.6	7.9	26	34	26	23	21	29	28	4.4	6.6	7.9	--	--	
11.20	2.1	13.7	4	0.93	104.3	80.7	4.6	29.1	43.6	6.2	17	33	25	21	20	28	27	3.4	5.1	6.2	--	--	
11.40	1.3	10.2	2	0.93	106.2	59.3	3.0	29.1	43.6	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.60	0.8	10.0	2	0.86	107.8	39.2	1.8	22.4	33.6	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.80	2.9	44.8	3	0.88	109.6	--	--	--	--	--	--	28	35	26	23	22	30	29	4.9	7.4	8.8	--	--
12.00	2.7	35.0	3	0.87	111.3	--	--	--	--	--	--	25	34	26	22	21	29	28	4.6	6.9	8.2	--	--
12.20	3.2	29.2	4	0.97																			

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	3
	Riferimento	020-2025

Committente	Caseificio Razionale Novese	U.M.:	MPa	Data esec.	16/06/2025
Cantiere	Via Provinciale Mantova Novi di Modena	Pagina	2		
Località	Via Provinciale Mantova Novi di Modena	Elaborato		Falda	-1.10 m

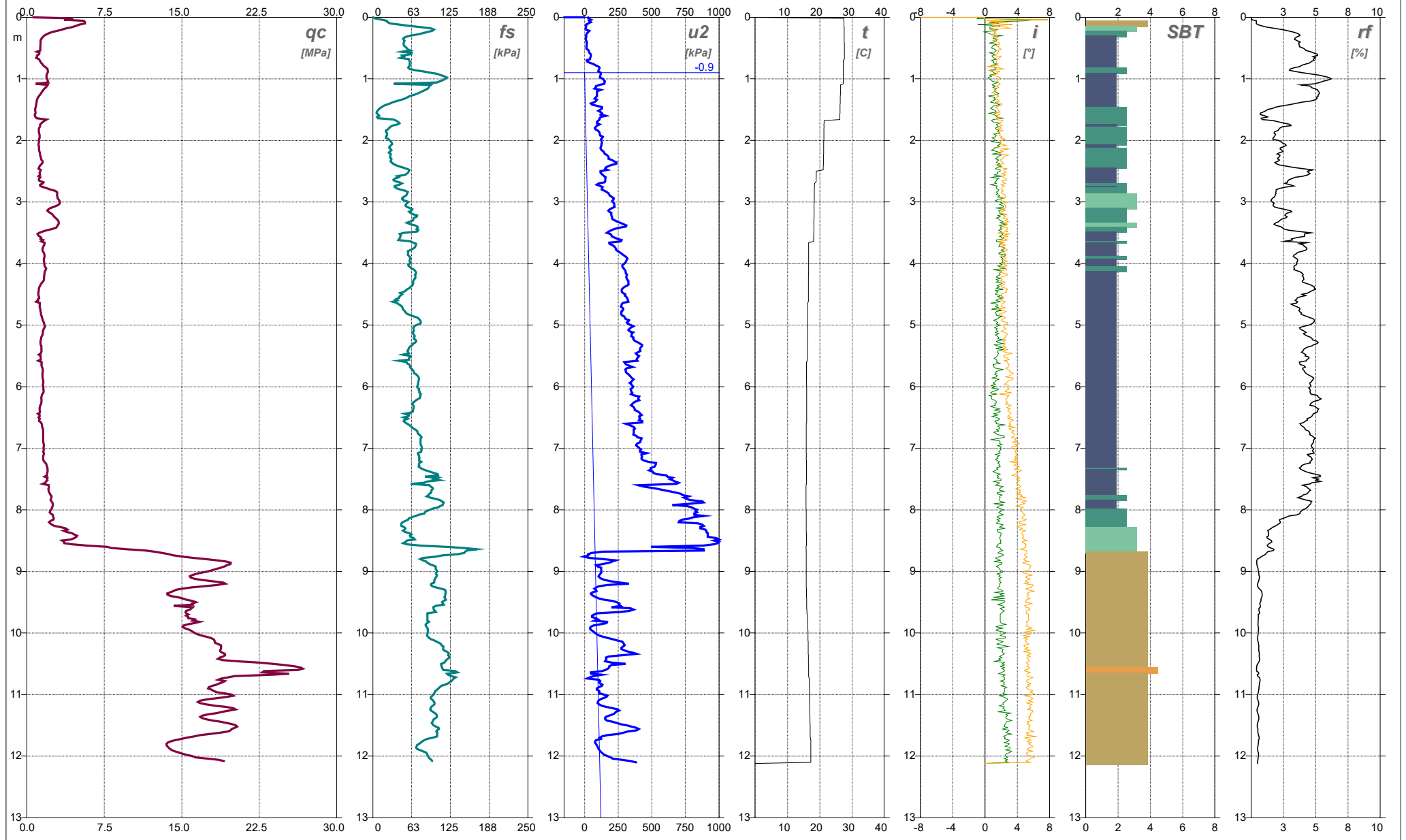
						NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE												
H	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'_{vo}	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m³	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
20.00	13.7	26.3	4	1.08	193.6		457.3	18.4	77.7	116.6	41.2	67	39	31	28	26	35	36	22.9	34.3	41.2	--	--
20.20	16.7	63.7	3	1.11	195.7		--	--	--	--	--	73	40	32	29	27	36	37	27.8	41.7	50.0	--	--
20.40	15.7	80.0	3	1.09	197.9		--	--	--	--	--	71	40	31	29	27	36	36	26.1	39.2	47.0	--	--
20.60	15.2	58.1	3	1.08	200.0		--	--	--	--	--	70	40	31	28	27	35	36	25.3	38.0	45.6	--	--
20.80	17.6	135.3	3	1.12	202.2		--	--	--	--	--	75	40	32	29	27	36	37	29.4	44.1	52.9	--	--
21.00	21.6	110.0	3	1.15	204.4		--	--	--	--	--	81	41	33	30	28	37	38	35.9	53.9	64.7	--	--
21.20	13.7	70.0	3	1.06	206.5		--	--	--	--	--	65	39	31	28	26	35	36	22.9	34.3	41.2	--	--
21.40	14.7	112.8	3	1.08	208.6		--	--	--	--	--	67	39	31	28	26	35	36	24.5	36.8	44.1	--	--
21.60	13.2	45.0	3	1.05	210.7		--	--	--	--	--	64	39	30	27	26	34	35	22.1	33.1	39.7	--	--
21.80	11.8	60.0	3	1.03	212.7		--	--	--	--	--	59	38	30	27	25	34	35	19.6	29.4	35.3	--	--
22.00	13.7	105.3	3	1.06	214.8		--	--	--	--	--	64	39	30	27	26	34	36	22.9	34.3	41.2	--	--
22.20	15.2	155.0	3	1.08	216.9		--	--	--	--	--	68	39	31	28	26	35	36	25.3	38.0	45.6	--	--
22.40	12.7	39.0	3	1.05	218.9		--	--	--	--	--	61	39	30	27	25	34	35	21.2	31.9	38.2	--	--
22.60	11.8	179.1	3	1.03	221.0		--	--	--	--	--	58	38	30	26	25	33	35	19.6	29.4	35.3	--	--
22.80	9.8	100.0	3	1.00	222.9		--	--	--	--	--	52	37	29	25	24	32	34	16.3	24.5	29.4	--	--
23.00	10.8	82.7	3	1.02	224.9		--	--	--	--	--	55	38	29	26	24	33	34	18.0	27.0	32.3	--	--
23.20	15.7	59.9	3	1.09	227.0		--	--	--	--	--	68	39	31	28	26	35	36	26.1	39.2	47.0	--	--
23.40	9.8	75.2	3	1.00	229.0		--	--	--	--	--	51	37	28	25	24	32	34	16.3	24.5	29.4	--	--
23.60	11.8	60.0	3	1.03	231.0		--	--	--	--	--	57	38	29	26	25	33	35	19.6	29.4	35.3	--	--
23.80	9.8	75.2	3	1.00	233.0		--	--	--	--	--	51	37	28	25	24	32	34	16.3	24.5	29.4	--	--
24.00	15.7	59.9	3	1.09	235.1		--	--	--	--	--	67	39	31	28	26	35	36	26.1	39.2	47.0	--	--
24.20	8.8	90.0	3	0.98	237.0		--	--	--	--	--	47	37	28	25	23	31	33	14.7	22.1	26.5	--	--
24.40	9.8	50.0	3	1.00	239.0		--	--	--	--	--	50	37	28	25	24	32	34	16.3	24.5	29.4	--	--
24.60	7.8	60.2	3	0.97	240.9		--	--	--	--	--	42	36	27	24	22	31	33	13.1	19.6	23.5	--	--
24.80	7.4	75.0	3	0.96	242.8		--	--	--	--	--	40	36	27	24	22	30	32	12.3	18.4	22.1	--	--
25.00	7.8	30.0	4	1.03	244.8		261.3	6.8	62.0	93.1	23.5	42	36	27	24	22	31	33	13.1	19.6	23.5	--	--
25.20	5.9	18.0	4	1.02	246.8		196.0	4.7	68.6	102.9	17.6	32	35	26	22	21	29	32	9.8	14.7	17.6	--	--
25.40	6.9	52.6	3	0.95	248.7		--	--	--	--	--	37	36	26	23	22	30	32	11.4	17.2	20.6	--	--
25.60	7.8	60.2	3	0.97	250.5		--	--	--	--	--	41	36	27	24	22	30	33	13.1	19.6	23.5	--	--
25.80	7.4	56.4	3	0.96	252.4		--	--	--	--	--	39	36	27	23	22	30	32	12.3	18.4	22.1	--	--
26.00	7.8	80.0	3	0.97	254.3		--	--	--	--	--	41	36	27	24	22	30	33	13.1	19.6	23.5	--	--
26.20	14.7	112.8	3	1.08	256.4		--	--	--	--	--	62	39	30	27	25	34	36	24.5	36.8	44.1	--	--
26.40	13.7	52.4	3	1.06	258.5		--	--	--	--	--	60	38	29	26	25	33	36	22.9	34.3	41.2	--	--
26.60	13.2	36.8	3	1.05	260.6		--	--	--	--	--	58	38	29	26	25	33	35	22.1	33.1	39.7	--	--
26.80	23.5	120.0	3	1.15	262.8		--	--	--	--	--	78	41	32	29	27	36	39	39.2	58.8	70.6	--	--
27.00	21.6	82.4	3	1.15	265.1		--	--	--	--	--	75	40	32	29	27	36	38	35.9	53.9	64.7	--	--
27.20	18.6	71.2	3	1.14	267.3		--	--	--	--	--	70	40	31	28	26	35	37	31.0	46.6	55.9	--	--
27.40	19.6	74.9	3	1.15	269.5		--	--	--	--	--	71	40	31	28	26	35	38	32.7	49.0	58.8	--	--
27.60	17.6	67.4	3	1.12	271.7		--	--	--	--	--	67	39	30	27	26	35	37	29.4	44.1	52.9	--	--
27.80	18.6	40.7	3	1.14	274.0		--	--	--	--	--	69	40	31	28	26	35	37	31.0	46.6	55.9	--	--
28.00	16.7	85.0	3	1.11	276.1		--	--	--	--	--	65	39	30	27	25	34	37	27.8	41.7	50.0	--	--
28.20	17.6	90.0	3	1.12	278.3		--	--	--	--	--	67	39	30	27	26	34	37	29.4	44.1	52.9	--	--
28.40	14.7	56.2	3	1.08	280.4		--	--	--	--	--	60	38	29	26	25	33	36	24.5	36.8	44.1	--	--
28.60	17.6	135.3	3	1.12	282.6		--	--	--	--	--	66	39	30	27	26	34	37	29.4	44.1	52.9	--	--
28.80	14.7	56.2	3	1.08	284.7		--	--	--	--	--	60	38	29	26	25	33	36	24.5	36.8	44.1	--	--
29.00	7.8	60.2	3	0.97	286.6		--	--	--	--	--	38	36	26	23	22	30	33	13.1	19.6	23.5	--	--
29.20	5.9	45.1	3	0.93	288.5		--	--	--	--	--	28	35	25	21	20	28	32	9.8	14.7	17.6	--	--
29.40	3.9	30.1	3	0.90	290.2		--	--	--	--	--	14	33	23	19	18	26	30	6.5	9.8	11.8	--	--
29.60	2.9	30.0	4	0.96	292.1		98.0	1.6	56.7	85.1	8.8	4	32	21	18	17	25	29	4.9	7.4	8.8	--	--
29.80	9.5	111.5	3	1.00	294.1		--	--	--	--	--	44	37	27	24	22	31	34	15.8	23.8	28.5	--	--
30.00	9.5	--	3	1.00	296.0		--	--	--	--	--	44	37	27	24	22	31	34	15.8	23.8	28.5	--	--

DIAGRAMMA PROVA CPTU

ALL. N.5

ELECTRIC STATIC PENETROMETRIC TEST WITH PIEZOCONE

	Date: 17/06/2025	Water: -0.90 m	Customer: CASEIFICIO RAZIONALE NOVESE	Ref: CASEIFICIO CPTU 1
	Coordinate:	Pre-hole: 0.00 m	Locality: Novi di Modena (MO)	
	Latitude: 44.90905	Depth: 12.10 m		
	Longitude: 10.906558	Quote start: p.c.		



ELECTRIC STATIC PENETROMETRIC TEST WITH PIEZOCONE

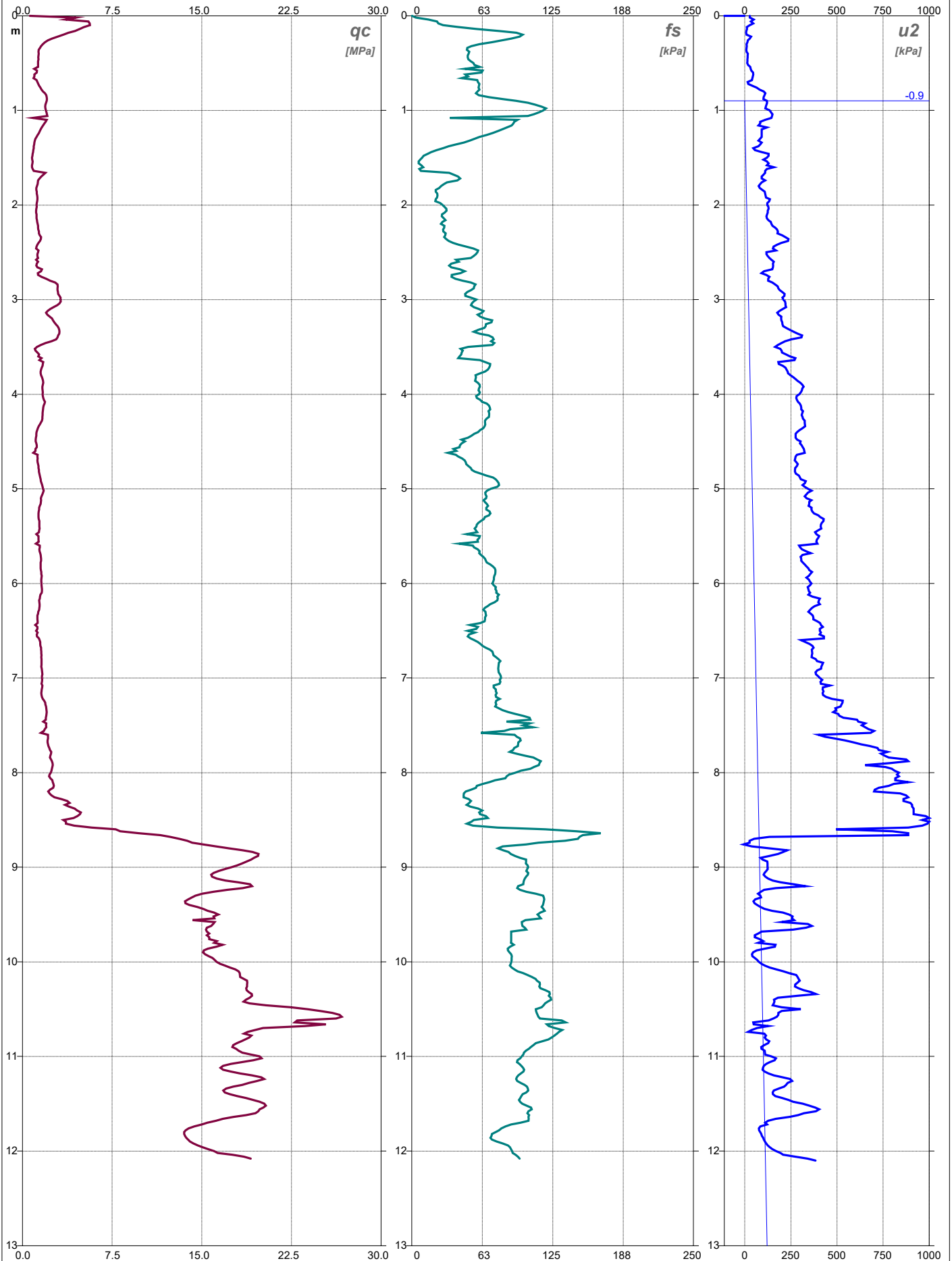


Date: **17/06/2025**
Water: **-0.90 m**
Pre-hole: **0.00 m**
Depth: **12.10 m**
Quote start: **p.c.**

Customer:
Locality: **Novi di Modena (MO)**
Coordinate: **44.90905 ; 10.906558**

Ref: **CASEIFICIO**

CPTU 1





GeoLogismiki
Geotechnical Engineers
Merarhias 56
<http://www.geologismiki.gr>

CPT: FOGLIO CPTU

Total depth: 12.10 m, Date: 18/06/2025

Surface Elevation: 0.00 m

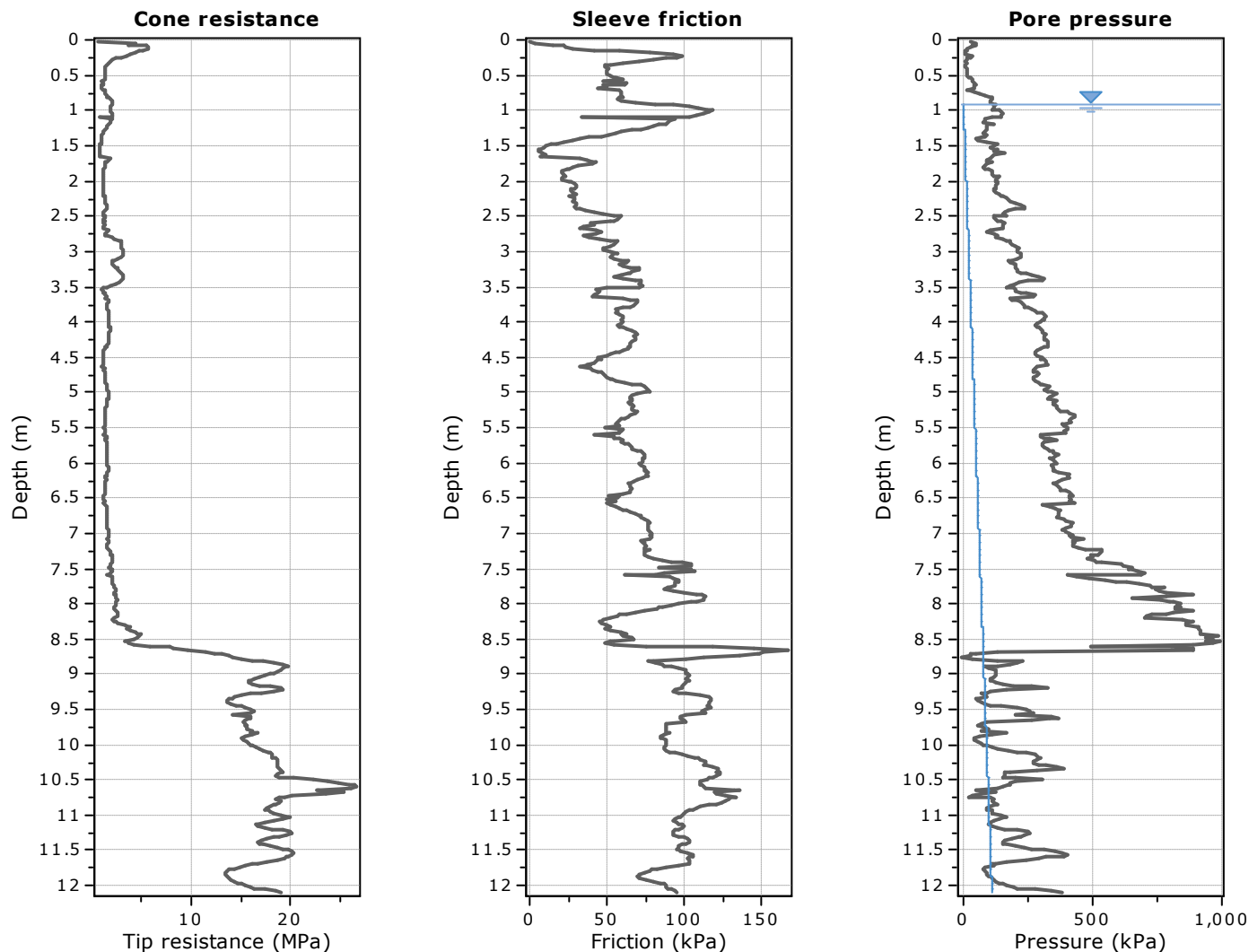
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

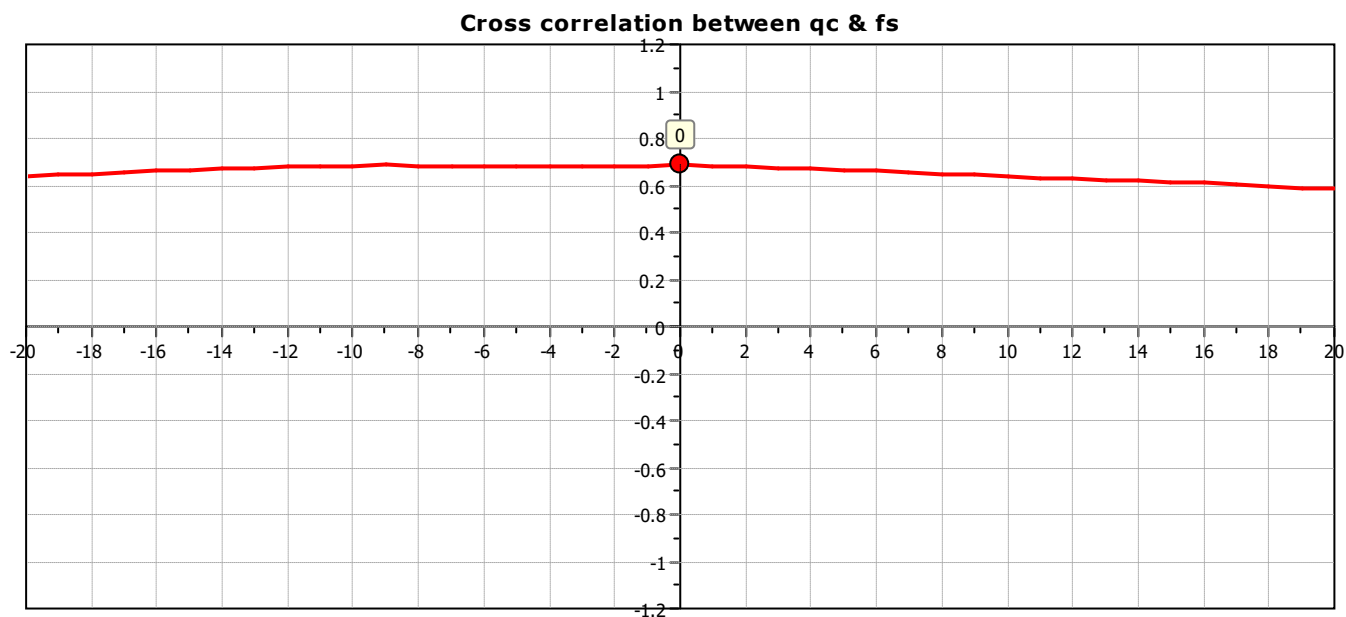
Cone Operator:

Project:

Location:



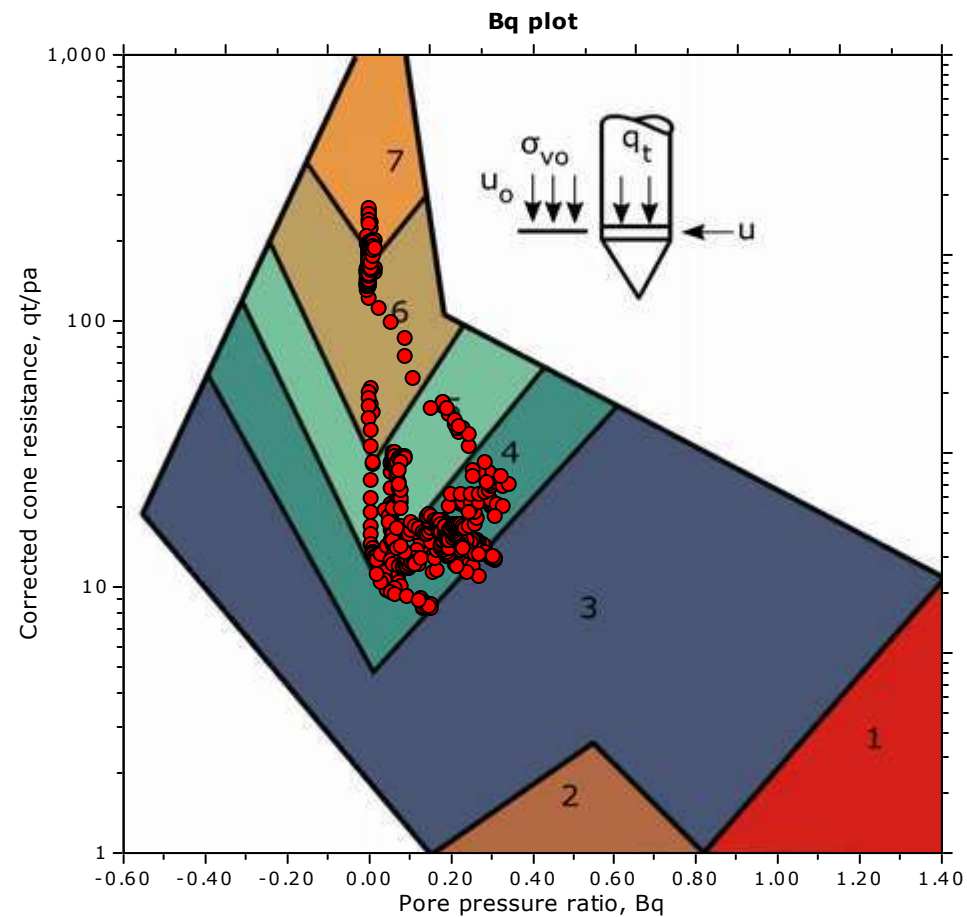
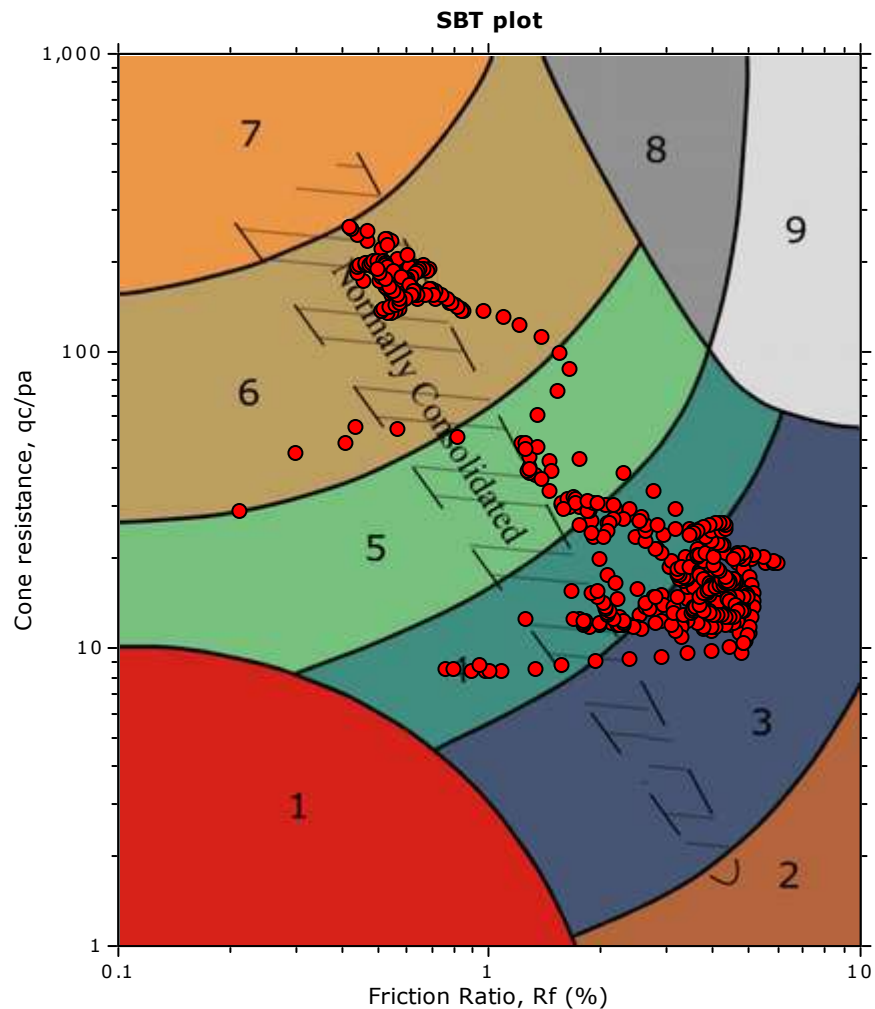
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



Project:

Location:

SBT - Bq plots



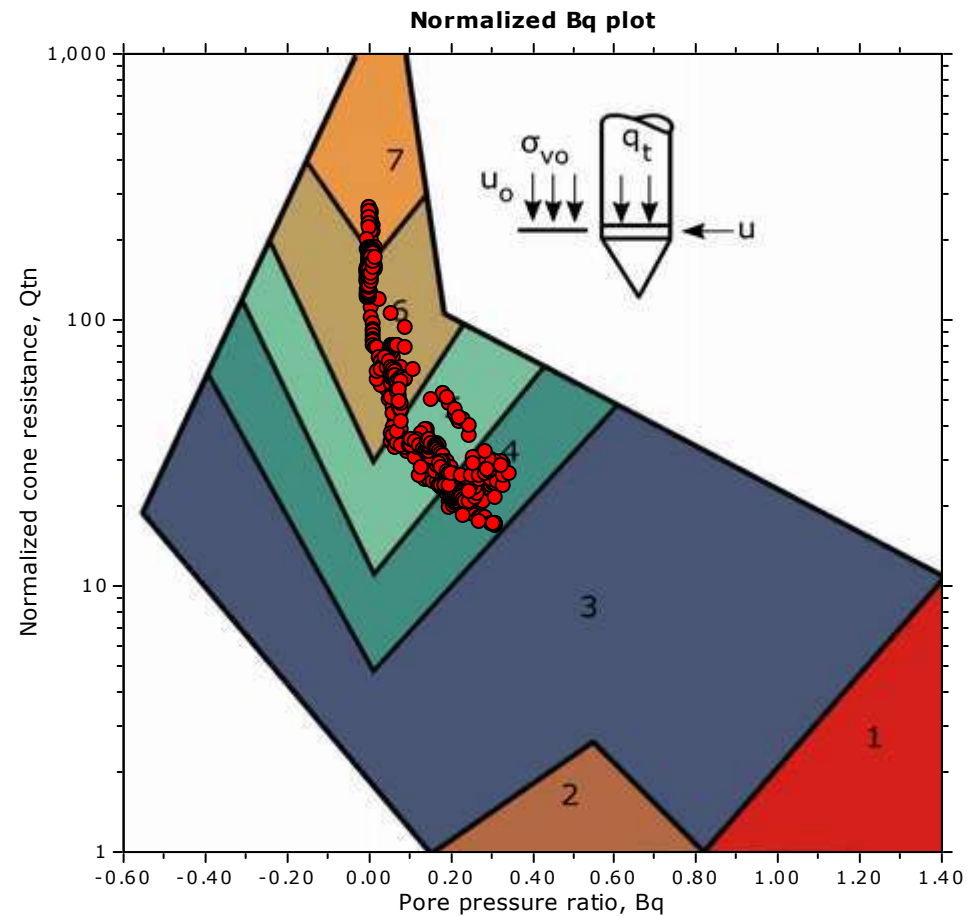
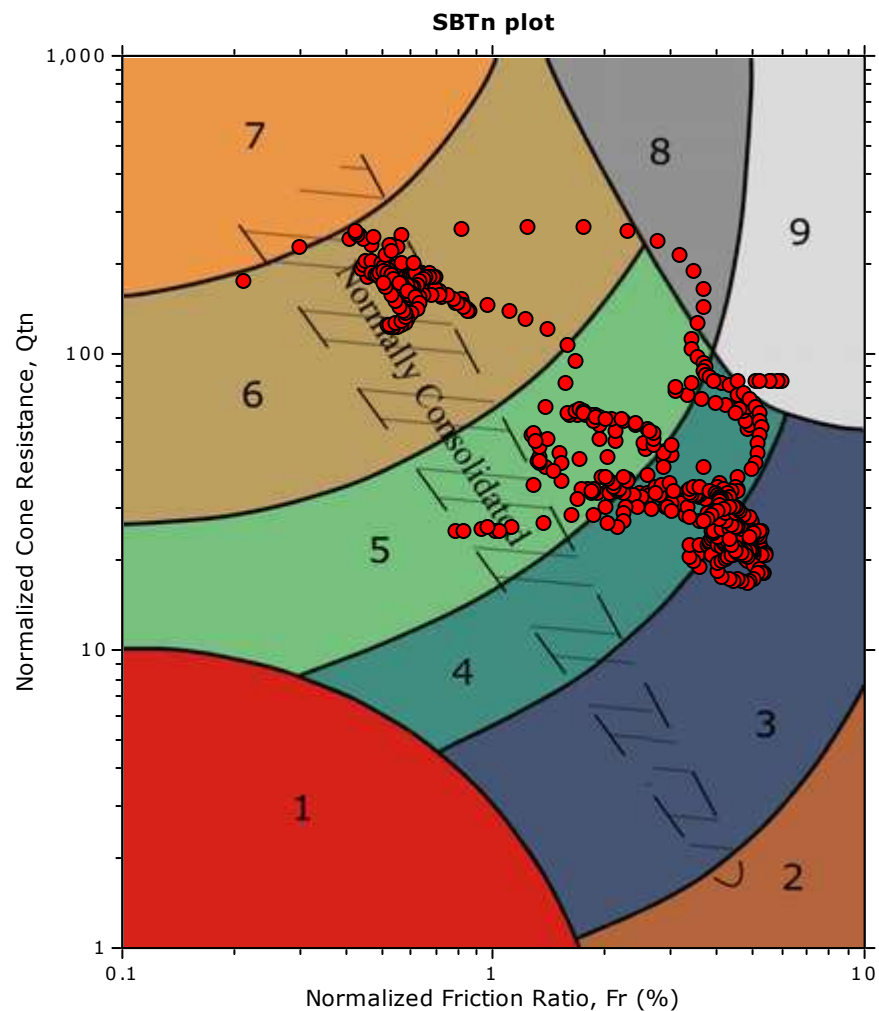
SBT legend

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

Project:

Location:

SBT - Bq plots (normalized)



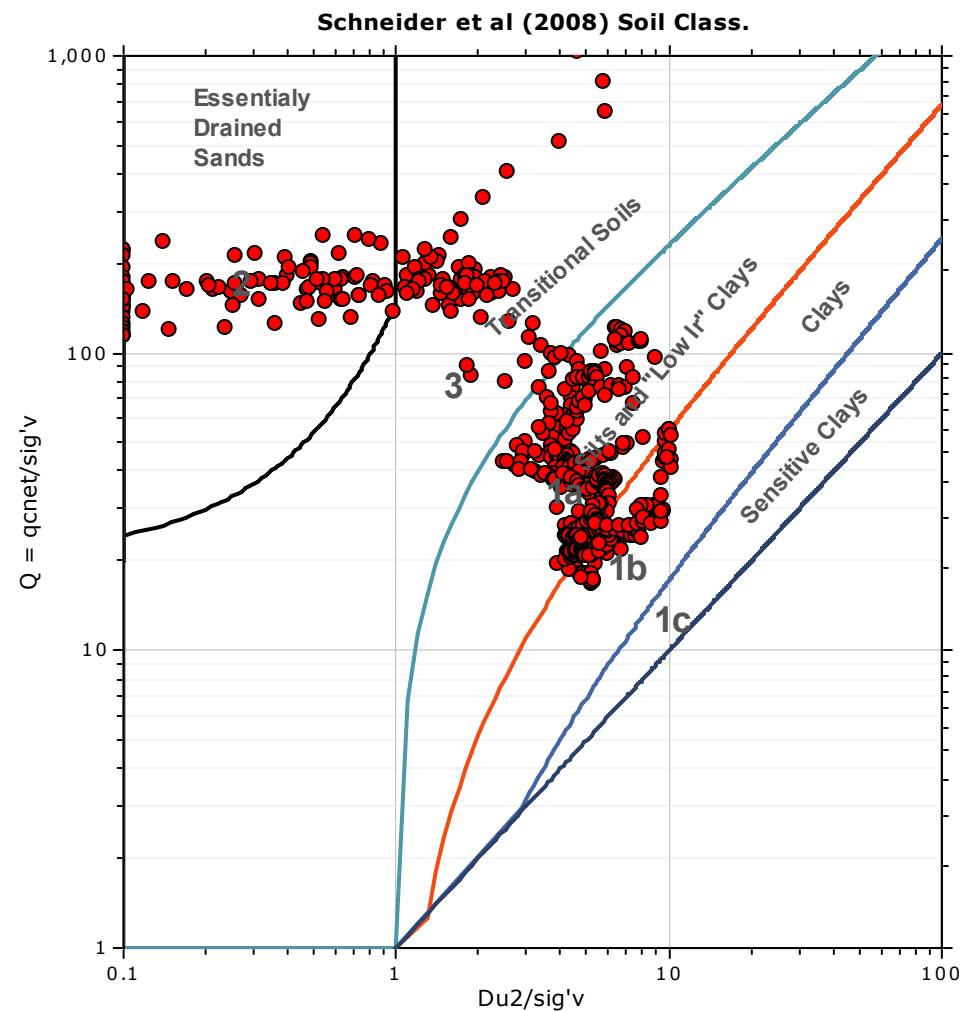
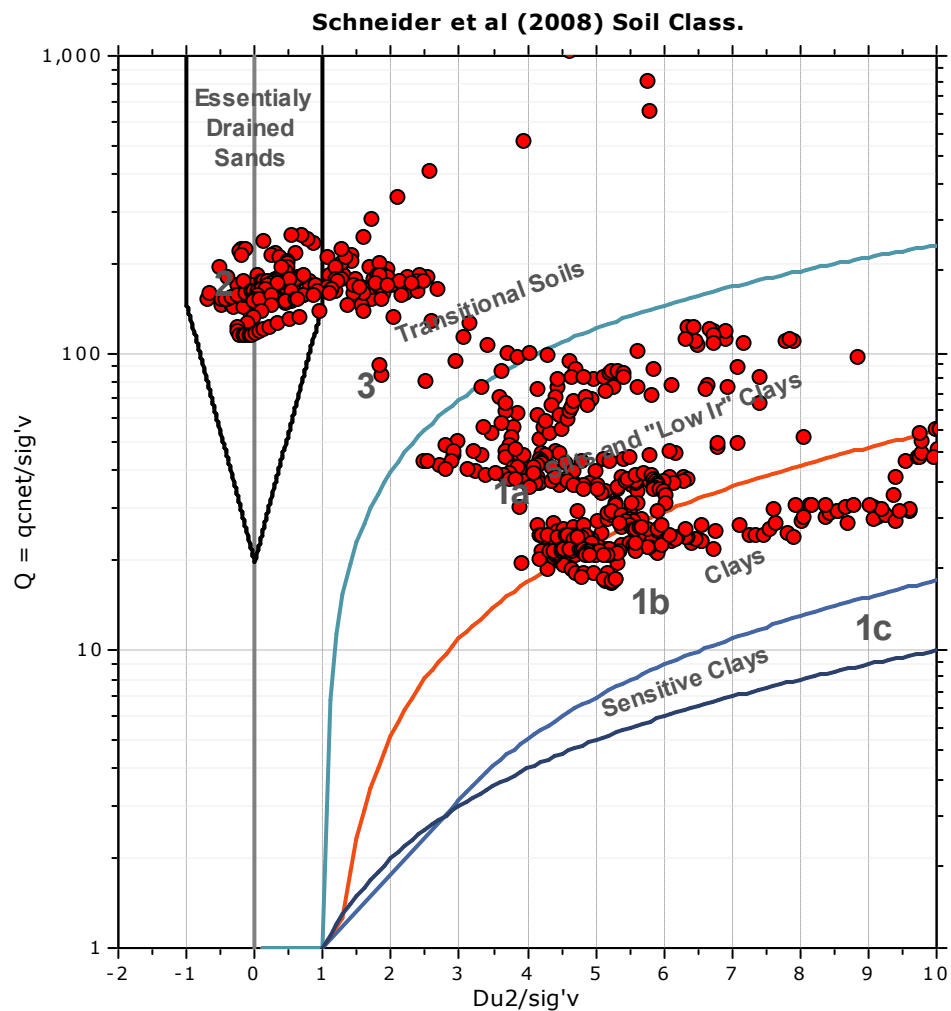
SBTn legend

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

Project:

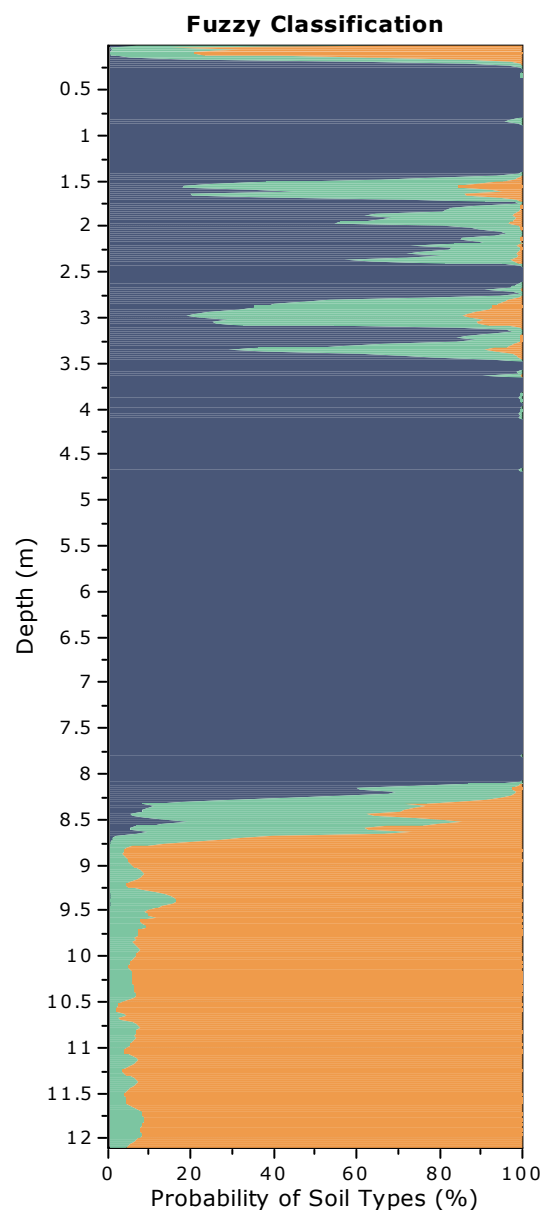
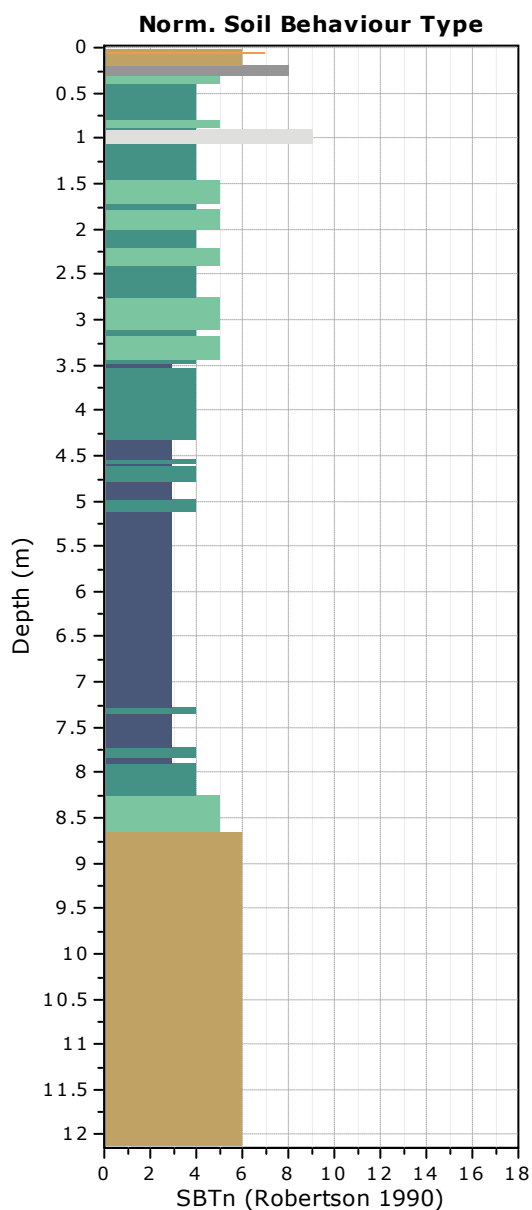
Location:

Bq plots (Schneider)



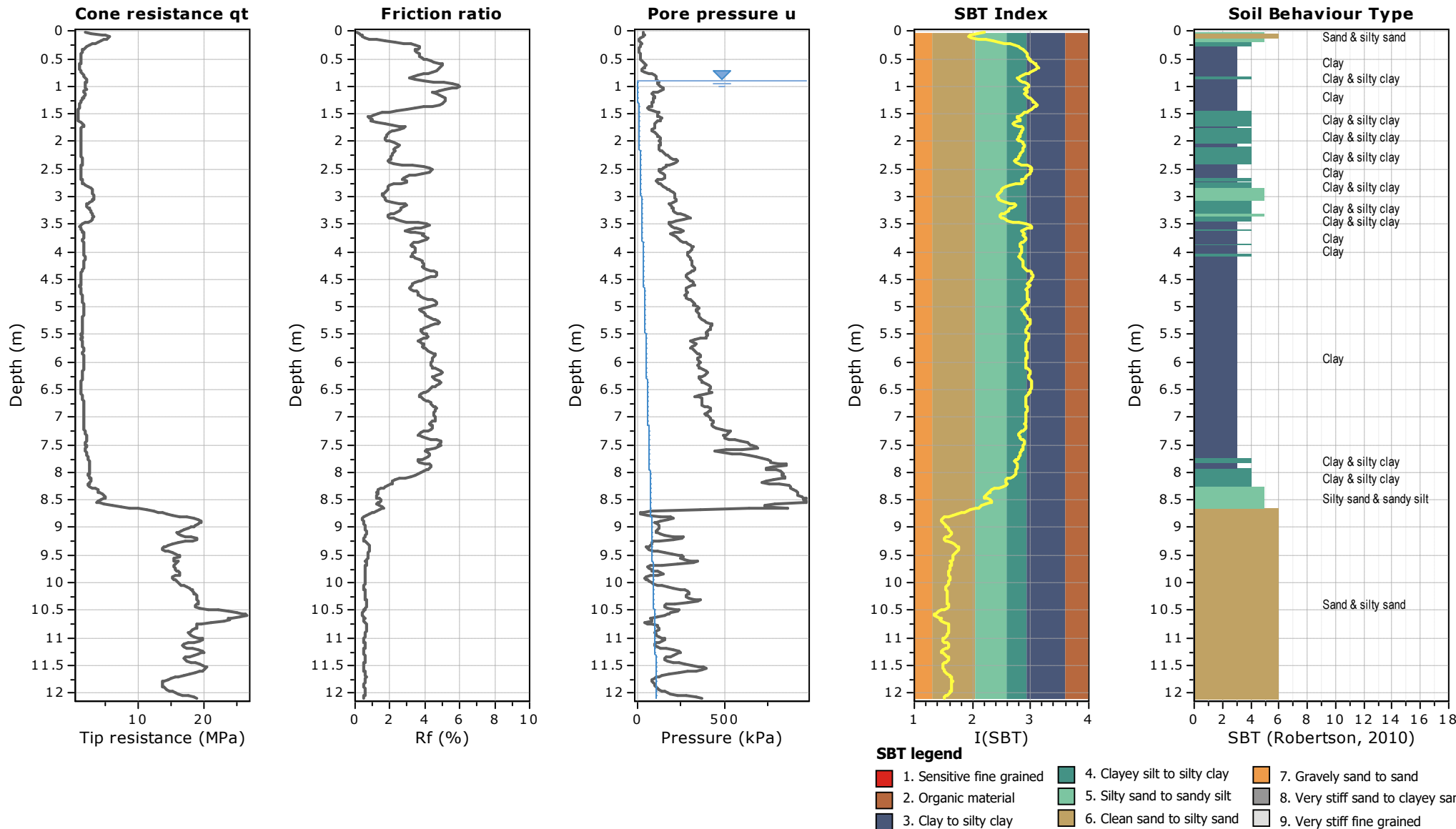
Project:

Location:



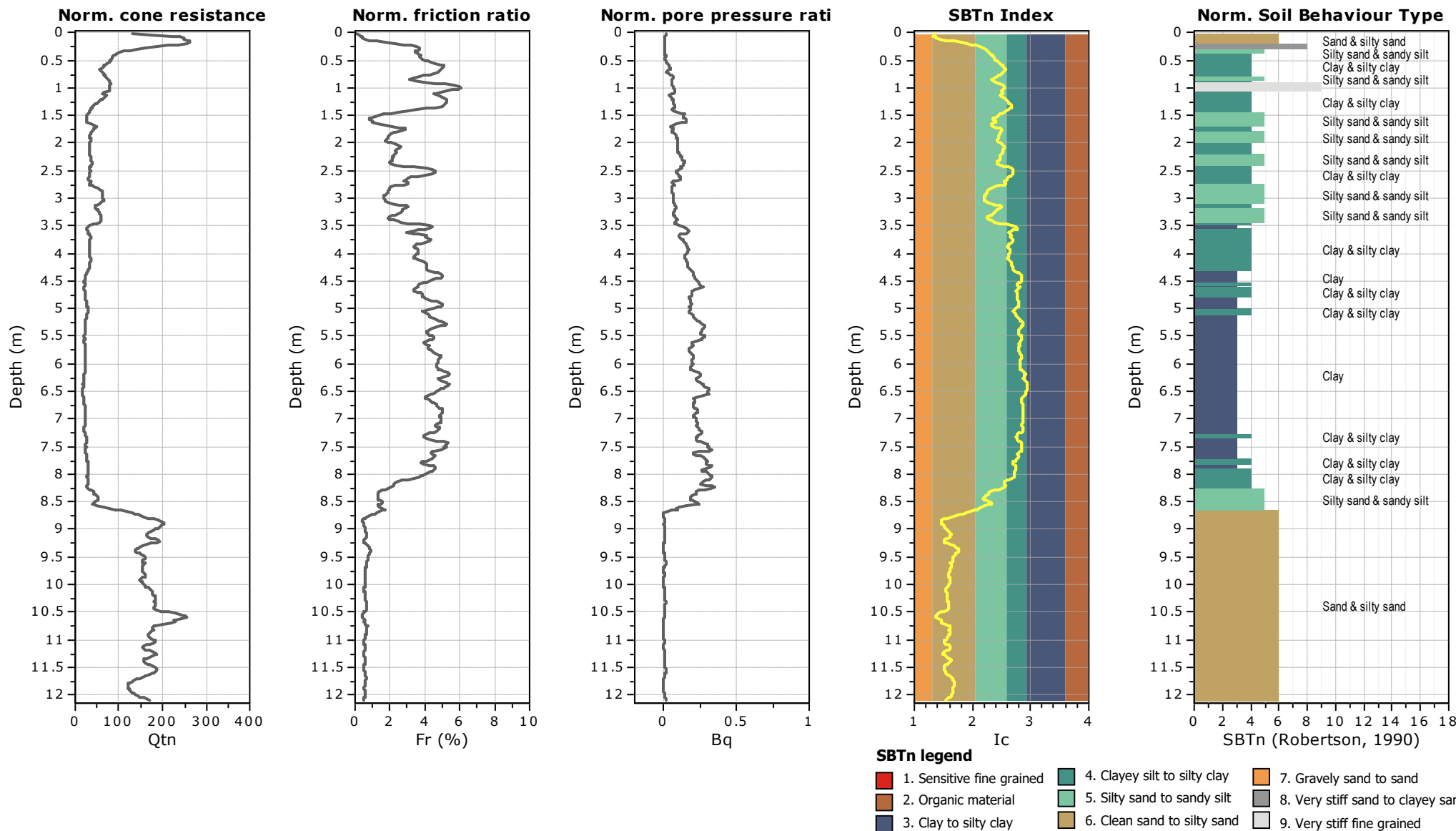
Project:

Location:



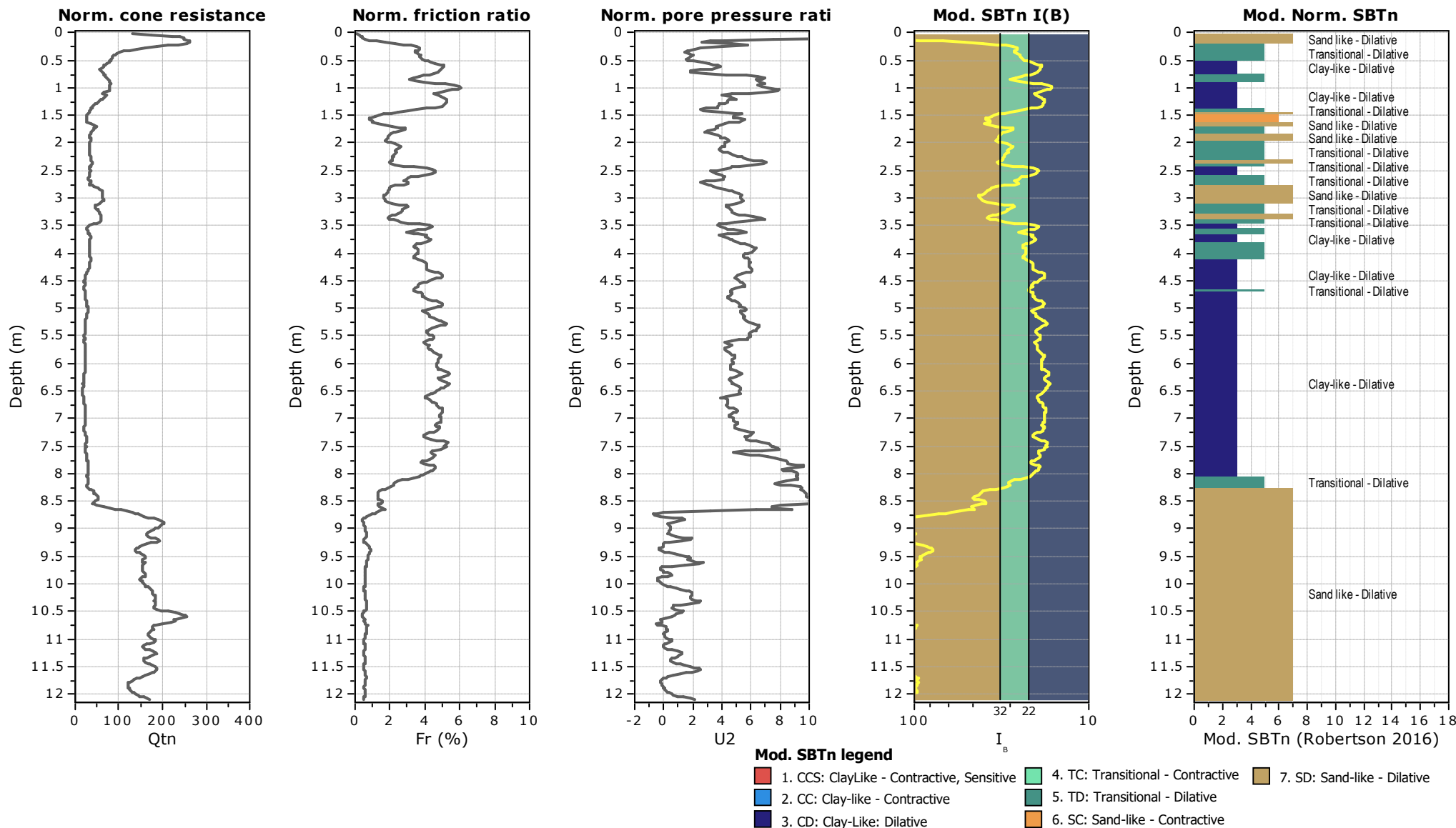
Project:

Location:



Project:

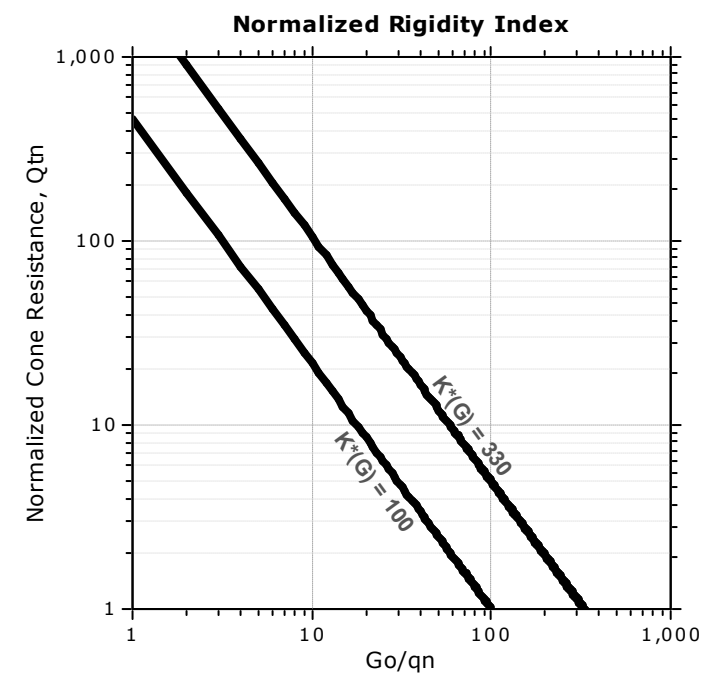
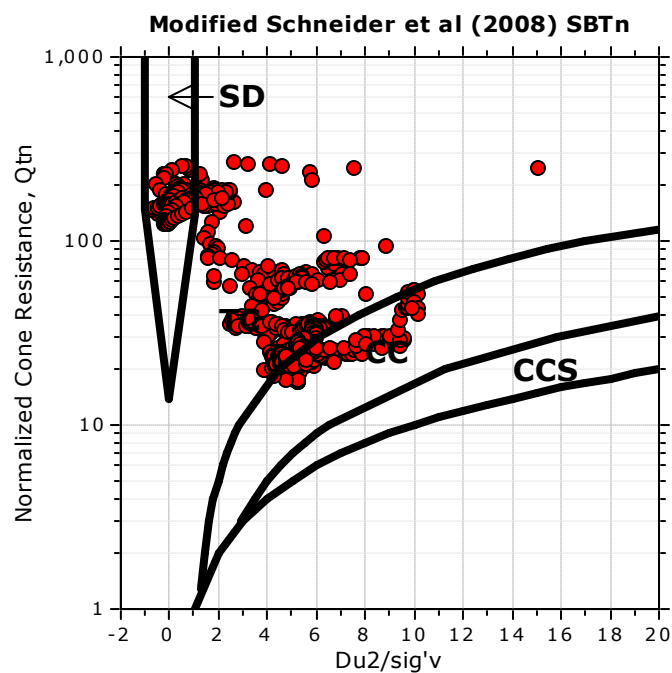
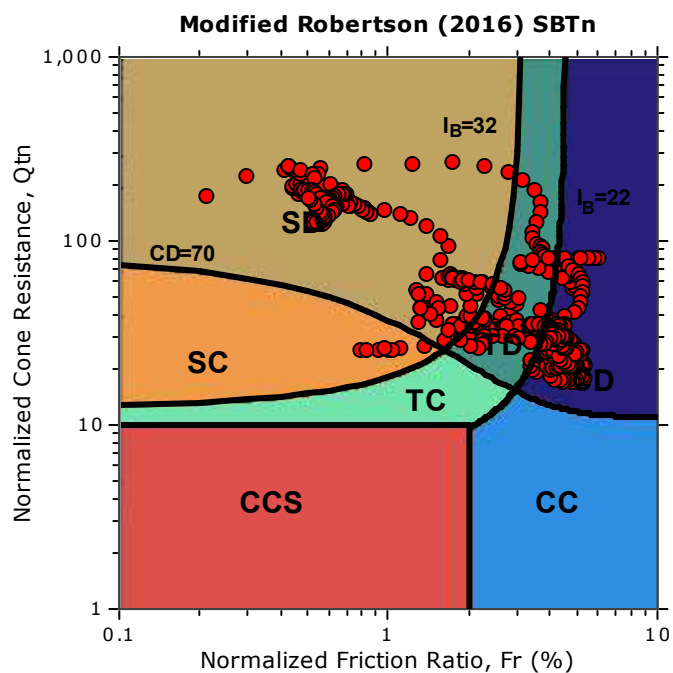
Location:



Project:

Location:

Updated SBTn plots

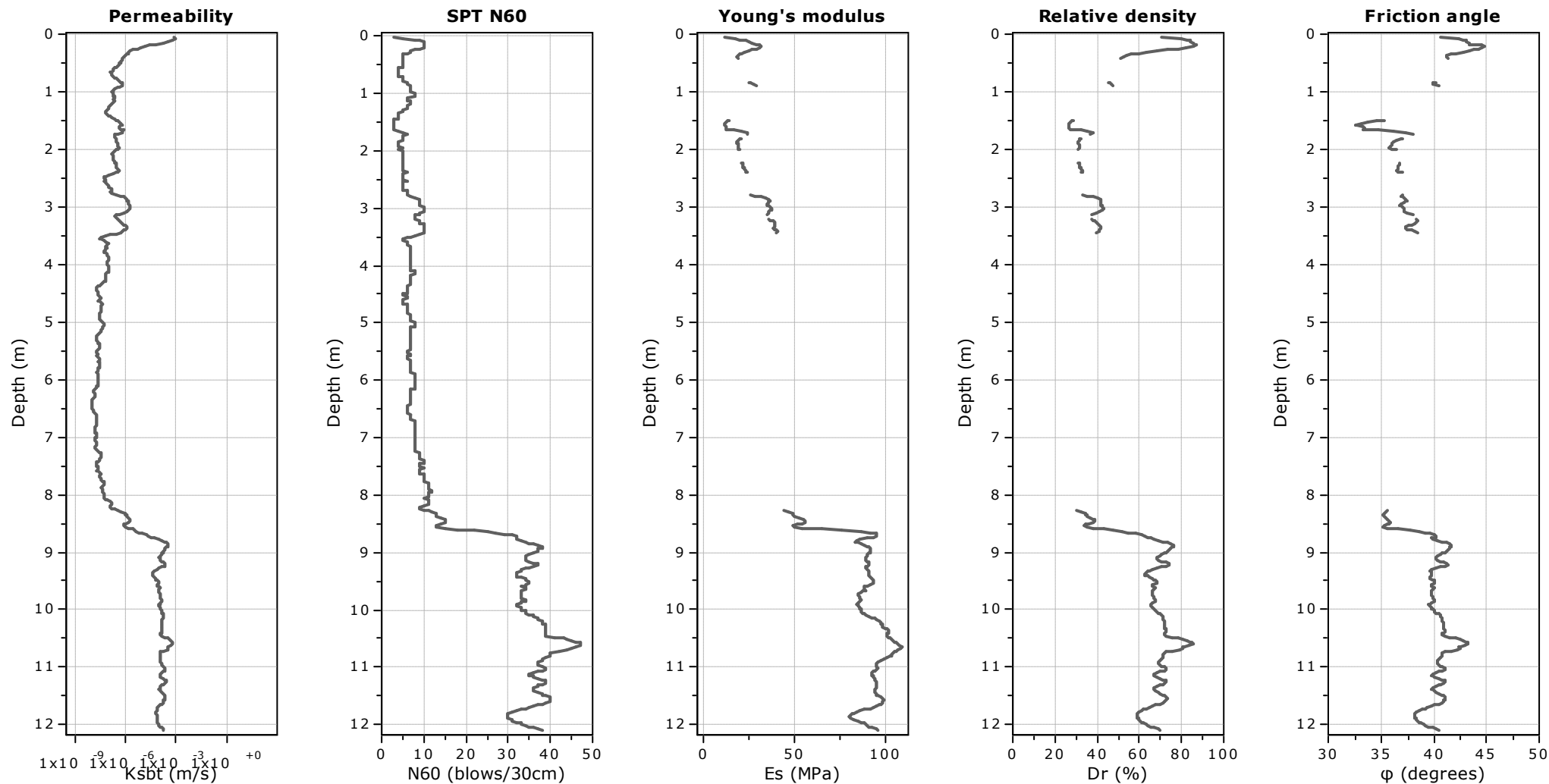


CCS: Clay-like - Contractive - Sensitive
CC: Clay-like - Contractive
CD: Clay-like - Dilative
TC: Transitional - Contractive
TD: Transitional - Dilative
SC: Sand-like - Contractive
SD: Sand-like - Dilative

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

Project:

Location:



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

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

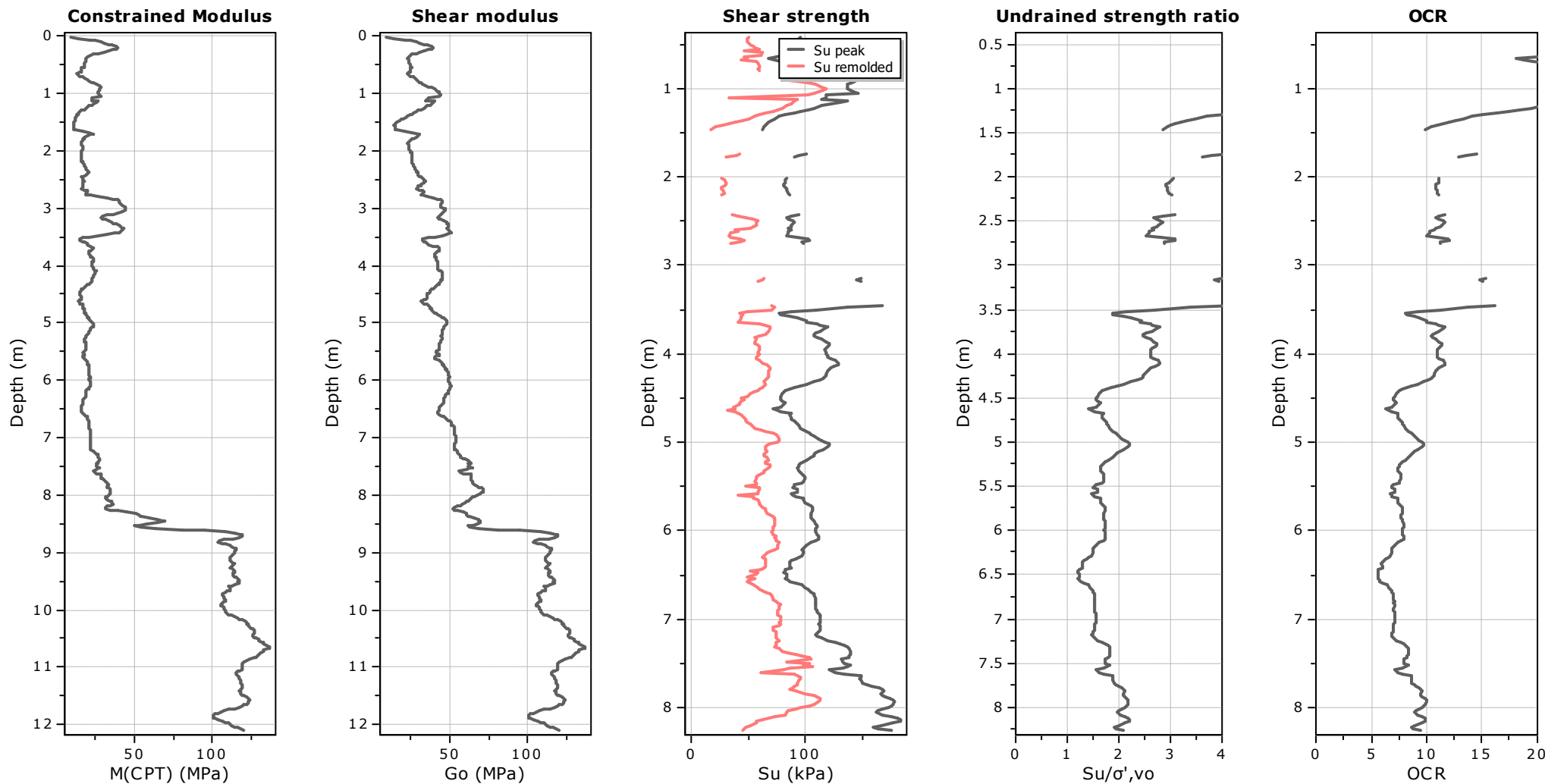
Relative density constant, C_{Dr} : 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

● User defined estimation data

Project:

Location:



Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable α using I_c and Q_{in} (Robertson, 2009)

Go: Based on variable α using I_c (Robertson, 2009)

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

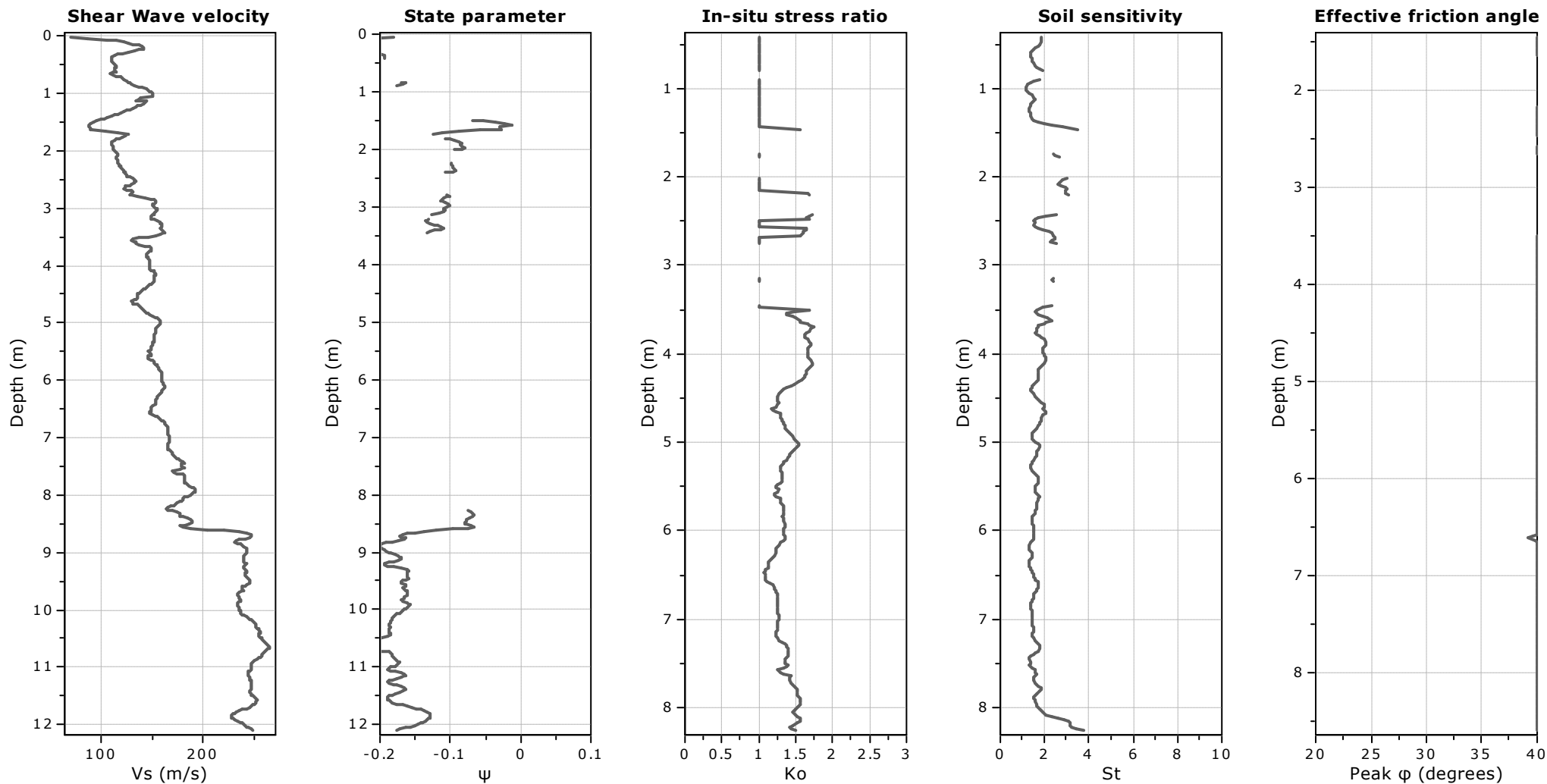
OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

● User defined estimation data

● Flat Dilatometer Test data

Project:

Location:



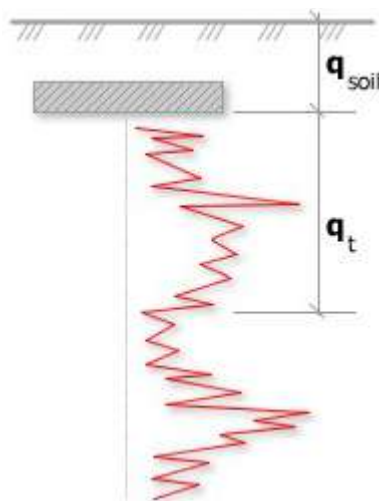
Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

Project:

Location:



Bearing Capacity calculation is performed based on the formula:

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

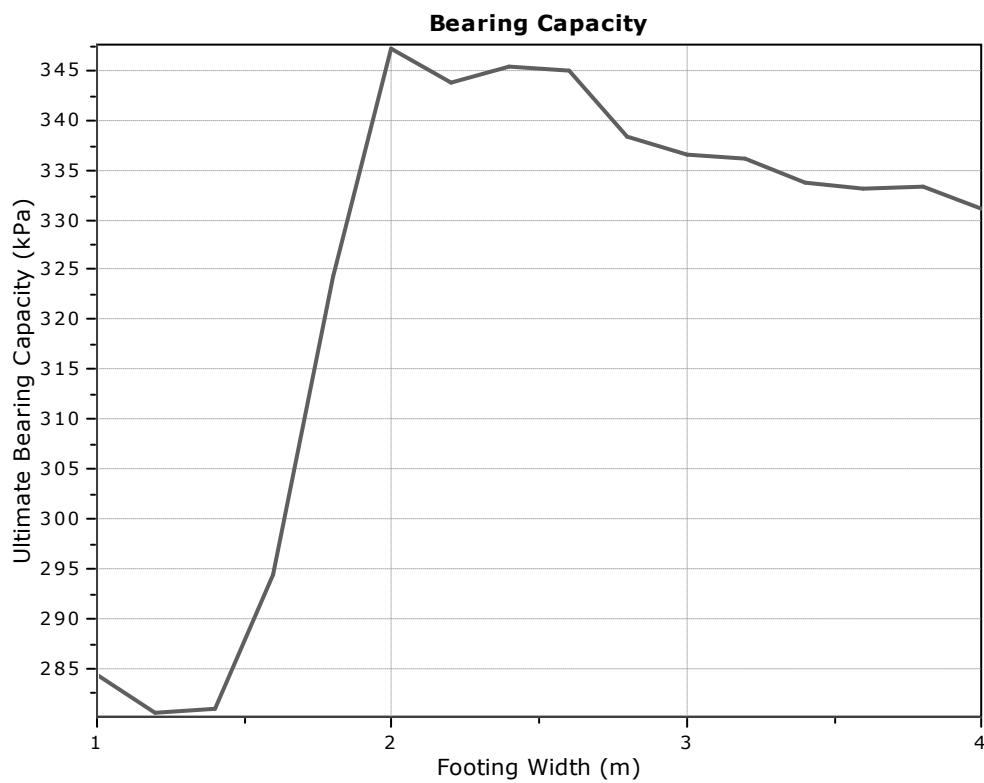
where:

R_k : Bearing capacity factor

q_t : Average corrected cone

resistance over calculation depth

q_{soil} : Pressure applied by soil above footing



:: Tabular results ::

No	B (m)	Start Depth (m)	End Depth (m)	Ave. q_t (MPa)	R_k	Soil Press. (kPa)	Ult. bearing cap. (kPa)
1	1.00	0.50	2.00	1.37	0.20	9.50	284.48
2	1.20	0.50	2.30	1.36	0.20	9.50	280.61
3	1.40	0.50	2.60	1.36	0.20	9.50	280.96
4	1.60	0.50	2.90	1.42	0.20	9.50	294.46
5	1.80	0.50	3.20	1.57	0.20	9.50	324.25
6	2.00	0.50	3.50	1.69	0.20	9.50	347.14
7	2.20	0.50	3.80	1.67	0.20	9.50	343.74
8	2.40	0.50	4.10	1.68	0.20	9.50	345.24
9	2.60	0.50	4.40	1.68	0.20	9.50	344.97
10	2.80	0.50	4.70	1.64	0.20	9.50	338.40
11	3.00	0.50	5.00	1.64	0.20	9.50	336.53
12	3.20	0.50	5.30	1.63	0.20	9.50	336.11
13	3.40	0.50	5.60	1.62	0.20	9.50	333.81
14	3.60	0.50	5.90	1.62	0.20	9.50	333.20
15	3.80	0.50	6.20	1.62	0.20	9.50	333.39
16	4.00	0.50	6.50	1.61	0.20	9.50	331.02

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

:: Unit Weight, g (kN/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_{SPT} (blows per 30 cm) ::

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

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

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

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

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

:: Relative Density, Dr (%) ::

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

:: State Parameter, ψ ::

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

:: Drained Friction Angle, ϕ (°) ::

$$\phi = \phi'_{cv} + 15.94 \cdot \log(Q_{tn,cs}) - 26.88$$

(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8 or $I_c < I_{c_cutoff}$)

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

If $I_c > 2.20$

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

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

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

If $I_c \geq 2.20$

$$M_{CPT} = 0.03 \cdot (q_t - \sigma_v) \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

:: 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) ::

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

:: 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 $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Peak Friction Angle, ϕ' (°) ::

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

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 5th Edition, November 2012
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)
- N Barounis, J Philpot, Estimation of in-situ water content, void ratio, dry unit weight and porosity using CPT for saturated sands, Proc. 20th NZGS Geotechnical Symposium

INTERSTITIAL OVERPRESSURE DISSIPATIONS



Date: **17/06/2025**
 Water: **-0.90 m**
 Pre-hole: **0.00 m**
 Depth: **12.10 m**
 Quote start: **p.c.**

Customer: **CASEIFICIO RAZIONALE NOVESE**
 Locality: **Novi di Modena (MO)**
 Coordinate: **44.90905 ; 10.906558**

Ref: **CASEIFICIO****CPTU 1**