



**AMPLIAMENTO DEL COMPARTO INDUSTRIALE PRODUTTIVO CPC - MCAM
AI SENSI DELL'ART.53 DELLA L.R. 24/2017**

PROCEDIMENTO UNICO L.R. 24/2017 ART.53



FASE: **PDC** DISCIPLINA: **REL** PROGR: **04AII.02** REVISIONE: **rev00**

OGGETTO:

ELABORATI DESCRITTIVI

Rel.geologica-geotecnica-sismica

FILE PDF: **PDC_REL-04AII.02_rev00_Rel.geologica-geotecnica-sismica.pdf**

CODICE PROGETTO: **P1139-21**

FILE: **P1139 ADP tw**

00 29-01-2024

REV. DATA

DESCRIZIONE

TIMBRI:

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA E INTEGRATA:

PROSPAZIO
ARCHITECTURE - ENGINEERING

PROSPAZIO S.C.a.r.l.
Via Regina Pacis, 86/b
41049 Sassuolo (MO)
Tel. +39 0536 91.94.34
info@prospazio.com
www.prospazio.com



COORDINAMENTO **ING. GIULIO RIMINI** STUDIO ARCHILINEA S.R.L.

ARCHITETTONICO **ING. GIULIO RIMINI** STUDIO ARCHILINEA S.R.L.

STRUTTURE **ING. DANILO DALLARI** STUDIO INGEGNERI ASSOCIATI DALLARI-FREGNI

ELETTRICO **ING. MAURIZIO MANZINI** STUDIO TECNICO ASSOCIATO MANZINI

MEC-ANTINCENDIO **Per.Ind. PAOLO BURANI** STUDIO BURANI-NOCETTI

GEOLOGO **DOTT. GEOL. FRANCESCO DETTORI**

ACUSTICA

COMMITTENTE

SINDACO

GIANCARLO MUZZARELLI

RUP

ING. BARBARA NEROZZI

DISEGNATORE:

SIMONE VENTURELLI STUDIO ARCHILINEA S.R.L.

RESPONSABILE:

ING. GIULIO RIMINI STUDIO ARCHILINEA S.R.L.

È vietato l'uso di copie non autorizzate di questo disegno, nonché qualsiasi riproduzione, parziale o totale, e qualsiasi forma di trasmissione a concorrenti o a terzi senza previa autorizzazione scritta. (Prescrizioni di legge vigenti per la tutela del diritto di proprietà intellettuale e industriale).

COMUNE DI MODENA

PROVINCIA DI MODENA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO PARCHEGGIO
MULTIPIANO DA ESEGUIRSI IN FREGIO A VIA DELLA SUORE, A
MODENA - FOGLIO 85, MAPPALI 102-104-105-106

- RELAZIONE GEOLOGICA
- RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI
- RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA E SULLA RISPOSTA
SISMICA LOCALE

COMMITTENTE: FRANCO IORIO SRL

PROGETTISTA: Prospazio Architecture Engineering srl

dicembre 2022

Dott. Geol. Francesco Dettori



INDICE

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. RELAZIONE GEOLOGICA: INQUADRAMENTO GENERALE	4
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	6
3.3 IDROGEOLOGIA DELL'AREA.....	6
3.4. INQUADRAMENTO INERENTE ALLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA	7
3.4.1 MICROZONAZIONE SISMICA.....	8
4. CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL SITO MEDIANTE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE	10
4.1 PROVE PENETROMETRICHE: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE	11
4.2 PROVA MASW: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE.....	12
4.3 PROVA MICROTREMORE A STAZIONE SINGOLA: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE.....	13
4.4 SONDAGGI A CAROTAGGIO E PRELIEVO DI CAMPIONI	15
5. RELAZIONE GEOLOGICA SULLE INDAGINI	16
5.1 MODELLO LITOSTRATIGRAFICO E IDROGEOLOGICO DEL TERRENO	16
5.1.1 MODELLO GEOLOGICO CPT 1.....	17
5.1.2 MODELLO GEOLOGICO CPT 2	19
5.1.3 MODELLO GEOLOGICO CPT 3	21
5.1.4 MODELLO GEOLOGICO CPT 4.....	23
5.1.5 MODELLO GEOLOGICO CPT 5	25
5.2 MODELLO LITOSTRATIGRAFICO E IDROGEOLOGICO DEL TERRENO DA SONDAGGIO A CAROTAGGIO	27
6. RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI	30
6.1 MODELLO GEOTECNICO E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO	30
6.1.1 MODELLO GEOTECNICO CPT 1	31
6.1.2 MODELLO GEOTECNICO CPT 2	31
6.1.3 MODELLO GEOTECNICO CPT 3	32
6.1.4 MODELLO GEOTECNICO CPT 4	32
6.1.5 MODELLO GEOTECNICO CPT 5	33
6.2 PROVE SPT - STANDARD PENETRATION TEST	33
6.3 ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO	34
6.3.1 PROVE D'IDENTIFICAZIONE FISICA DEI TERRENI	35
6.3.2 PROVE MECCANICHE SUI TERRENI.....	35
7. RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE E PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO	37
7.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE: SISMICITÀ DEL TERRITORIO E CLASSIFICAZIONI	37
7.2 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO DAL PUNTO DI VISTA SISMOSTRATIGRAFICO	39
7.2.1 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA MASW	39
7.2.2 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA HVSR	41
7.3 CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO AI SENSI DELLE NTC 2018	44
7.4 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA IN SUPERFICIE AI SENSI DELLE NTC 2018	44
7.4.1 DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICO	44
7.4.2 DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICO.....	45
7.4.3 COEFFICIENTI SISMICI E ACCELERAZIONE MASSIMA IN SUPERFICIE A _{MAX} PER I DIVERSI STATI LIMITE.....	45
7.5 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO ATTESO IN SUPERFICIE DI CUI ALLE NTC 2018	46
7.6 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE E CALCOLO DEI CEDIMENTI POST SISMICI	47
8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	52
TABELLE E ALLEGATI	

1. PREMESSA

Su incarico della Committenza e in accordo con i Tecnici Progettisti si è eseguito il presente studio del terreno di fondazione di un'area ubicata in via Delle Suore a Modena (MO) – Fg 85, Mapp.li 102-104-105-106. Il progetto prevede la realizzazione di un nuovo parcheggio multipiano a servizio delle attività produttive.

Il documento focalizza l'attenzione sugli aspetti geologici, geomorfologici e di stabilità generale dell'area, oltre allo studio di pericolosità sismica del territorio intesa come propagazione delle onde sismiche che possono provocare fenomeni di instabilità, cedimento e liquefazione dei terreni.

Per determinare le suddette caratteristiche sono stati raccolti tutti i dati e le informazioni precedentemente acquisiti in occasione di indagini di settore o per la predisposizione di strumenti di pianificazione, tra cui cartografie topografiche, geologiche, geomorfologiche, ecc., i risultati di prove geognostiche e prove geofisiche eseguite specificamente per l'intervento in oggetto.

Il documento è suddiviso nelle seguenti parti:

- 1) RELAZIONE GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA riguardante la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito;
- 2) RELAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini eseguite, la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato;
- 3) RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE SISMICA concernente la "RISPOSTA SISMICA DEL SITO" e verifica di possibili fenomeni di liquefazione e cedimento del terreno.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata eseguita in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento per il settore geologico e geotecnico e consultando gli strumenti di pianificazione comunale, provinciale e di bacino. Sono di seguito elencate le principali normative di riferimento:

- *Deliberazione della Giunta Regionale (DGR) n.2193/2015, Art.16 c.1, L.R. 20/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica", di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n.112;*
- *L.R. 30 ottobre 2008, n. 19 "NORME PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO" e ss. mm. e ii.;*
- *O.P.C.M. 3274 del 20.03.2003 "Classificazione sismica e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";*
- *Ordinanza n. 3316 – Modifiche e integrazioni O.P.C.M. 3274;*
- *D.M. 17/01/2018 – Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni;*
- *Associazione Geotecnica Italiana: "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica". Linee Guida. Ed. Marzo 2005;*
- *Circ.RER n.1288 del 11/03/1983 "Indicazioni metodologiche sulle indagini geologiche da produrre per i piani urbanistici".*

3. RELAZIONE GEOLOGICA: INQUADRAMENTO GENERALE

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il comparto oggetto di studio è ubicato nella porzione nord-ovest della città di Modena, in un'area urbana a vocazione artigianale e commerciale, raggiungibile da Via delle Suore (**Figura 1**).

Da un punto di vista topografico la zona si trova all'interno della pianura modenese. L'area, situata su di una zona pianeggiante, è topograficamente posta alla quota di 35 m s.l.m., con un leggera pendenza verso nord-est.



Figura 1: Area di interesse da foto aerea tratta Google Earth.

Dal punto di vista cartografico l'area in esame è compresa:

- nella Tavola della C.T.R. 201SE denominata "Modena" in scala 1:25.000 (**Figura 2a**);
- nell'Elemento della C.T.R. 201123 denominata "Modena nord-est" in scala 1:5.000 (**Figura 2b**).

This is a technical map of a residential area in San Marino. The map shows a grid of streets and numerous buildings, some of which are shaded with a cross-hatch pattern. A specific plot of land is highlighted with an orange oval. This plot is situated between a street labeled 'S. ANTONIO S. GIOVANNI' to the west and a street labeled 'STRADA DEL...' to the south. The plot itself is labeled with the number '34.0'. Other elevation points are marked throughout the map, including 33.5, 33.9, 34.2, 34.4, 34.9, and 35.4. The map also shows a road labeled 'STRADA' and a building labeled 'S. ANTONIO S. GIOVANNI'.



3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Nel comune di Modena affiorano prevalentemente materiali alluvionali costituenti le conoidi sedimentarie del Fiume Panaro, del Fiume Secchia e dei corsi d'acqua minori. In superficie sono presenti sedimenti abbastanza recenti le cui classi granulometriche sono comprese tra quelle delle argille e quelle delle sabbie, sotto forma di livelli stratiformi limoso-argillosi, sabbioso-limosi e argillosi organici. La prima lente ghiaiosa superficiale si presenta alla profondità di circa 22/27 m (dati stratigrafici da bibliografia). La successione alluvionale alterna poi lenti ghiaiose a depositi a granulometria più fine per uno spessore che supera i 200 m. Il substrato sovraconsolidato è costituito dalle argille di origine marina del ciclo plio-pleistocenico.

La Carta Geologica di **Figura 3**, tratta dal progetto CARG del Servizio Sismico e Geologico della Regione Emilia-Romagna, individua per l'area di interesse le coperture quaternarie appartenenti alla Successione del Margine Appenninico Padano (neogenico-quaternaria). I depositi più recenti prendono il nome di Unità di Modena (**AES8a**), così descritta: *"Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m). Al suo interno sono stati distinti alcuni elementi morfologici quali paleoalvei, ventagli di rotta ed argini artificiali"*.

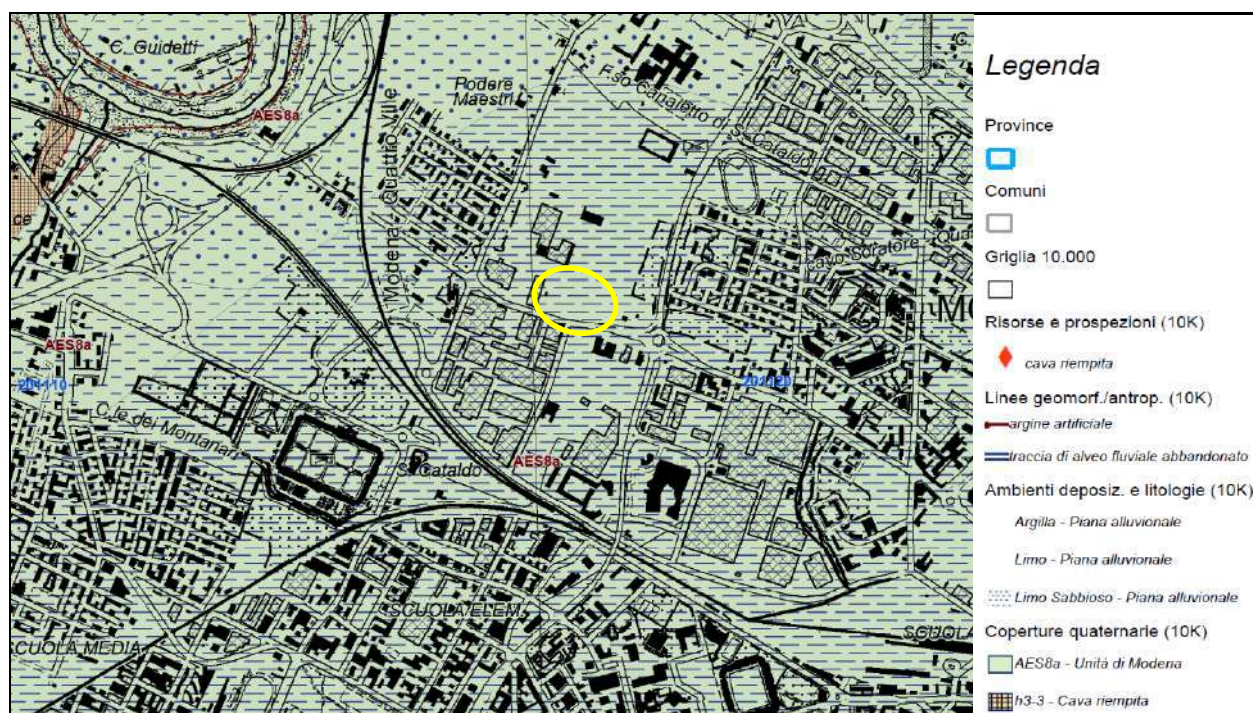


Figura 3: Carta Geologica tratta da "Servizio Sismico, Geologico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna" – stralcio in scala grafica

La morfologia della zona è caratterizzata dalla presenza di superfici piane o molto debolmente inclinate che si sviluppano uniformemente verso i quadranti nord-orientali. Dall'analisi delle curve di livello si possono riconoscere deboli sovrelevazioni delle quote topografiche con direzione prevalente S-N rappresentanti dossi relitti di piana alluvionale (dossi fossili).

3.3 IDROGEOLOGIA DELL'AREA

Per quel che concerne l'idrografia dell'area, il corso d'acqua a minor distanza è il Fiume Secchia (a circa 0.8 km in direzione ovest). A circa 5 km in direzione est si trova invece il Fiume Panaro. Tra questi fiumi sono presenti una serie di canali di scolo minori che attraversano la città. Si

tratta di canali di acque torbide derivanti dai fiumi Secchia e Panaro, e canali di acque chiare alimentati dalle risorgive (i paduli).

Le caratteristiche idrogeologiche dell'area sono direttamente correlabili con le variazioni litologiche dei depositi alluvionali. Le alluvioni sabbiose dei corsi d'acqua della zona sono spesso sature e ospitano falde confinate, semiconfinate o freatiche, essendo in continuità con la falda idrica superficiale. In superficie, i livelli da fini a medio grossolani, attribuibili alle esondazioni dei corsi d'acqua, ospitano spesso una falda freatica alimentata principalmente dalle infiltrazioni superficiali e dai canali di bonifica. Le profondità della falda freatica sono spesso modeste (dell'ordine di 1-5 m dal p.c.) e variano con l'andamento delle stagioni e ovviamente con le variazioni topografiche che si riscontrano tra le valli (falda più vicina alla superficie) e i dossi fluviali (più profonda).

FALDA DA PROVE CPT: il monitoraggio del livello piezometrico misurato all'interno dei fori di sondaggio in data **24-25/06/2020** ha rilevato il seguente livello di falda:

CPT (profondità in m)	CPT 1 (-25,0 m da p.c.)	CPT 2 (-20,0 m da p.c.)	CPT 3 (-20,0 m da p.c.)
Profondità falda	-1,6 m	-1,5 m	-1,6 m

CPT (profondità in m)	CPT 4 (-21,8 m da p.c.)	CPT 5 (-20,0 m da p.c.)
Profondità falda	-1,8 m	-1,7 m

3.4. INQUADRAMENTO INERENTE ALLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA

La microzonazione sismica si propone di studiare e valutare quantitativamente l'influenza che le condizioni geologiche locali hanno sui movimenti del suolo durante un evento sismico.

L'elemento base della microzonazione sismica è la valutazione della "risposta sismica locale" (RSL). Con tale termine s'intende l'insieme delle modifiche in intensità, ampiezza e frequenza, che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), posta ad una certa profondità nel sottosuolo, subisce attraverso gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie.

La microzonazione sismica è quindi uno strumento di riduzione del rischio che si attua nel rispetto di specifiche normative nazionali e regionali e che viene applicato fino dalle prime fasi della pianificazione urbanistica.

Gli aspetti e i principi fondamentali degli studi di MS sono:

- 1) definizione degli scenari di pericolosità sismica locale, cioè identificazione delle parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.);
- 2) suddivisione del territorio in zone a diversa pericolosità sismica locale e stima quantitativa della risposta sismica locale dei depositi e delle morfologie presenti nelle aree indagate ("Microzonazione Sismica", MS);
- 3) tre livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle condizioni di pericolosità sismica locale;
- 4) gli studi di MS fanno riferimento ad un periodo di ritorno dell'evento atteso di 474 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).

Gli studi di Microzonazione Sismica (MS) consentono quindi di caratterizzare il territorio in base alla risposta sismica locale, cioè al comportamento del terreno durante e dopo il terremoto, individuando e delimitando le aree a comportamento omogeneo, distinguendo tra:

- zone stabili,
- zone suscettibili di amplificazione del moto sismico e
- zone soggette a instabilità, quali frane, fratturazioni superficiali e liquefazioni.

3.4.1 MICROZONAZIONE SISMICA

Il **Comune di Modena** ha redatto nel novembre 2018, nell'ambito dello studio sismico del territorio, la *carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)*, in scala 1:10000.

La cartografia prodotta ha consentito di caratterizzare il territorio in base alla risposta sismica locale, cioè al comportamento del terreno durante e dopo il terremoto, individuando e delimitando le aree a comportamento omogeneo, suddivise in zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e in zone di attenzione per instabilità.

Come si evince dalla **Figura 4** l'area di interesse ricade in Zone stabili suscettibili di amplificazione locali. Tale area appartiene in particolare alla Zona 16 definita come: *aree con substrato rigido rilevato a profondità maggiori di 100 m, con alternanza limi e argille e Vs30 media < a 225 m/s*.

Microzonazione sismica: approfondimenti di II livello per la stima dei cedimenti differenziali.

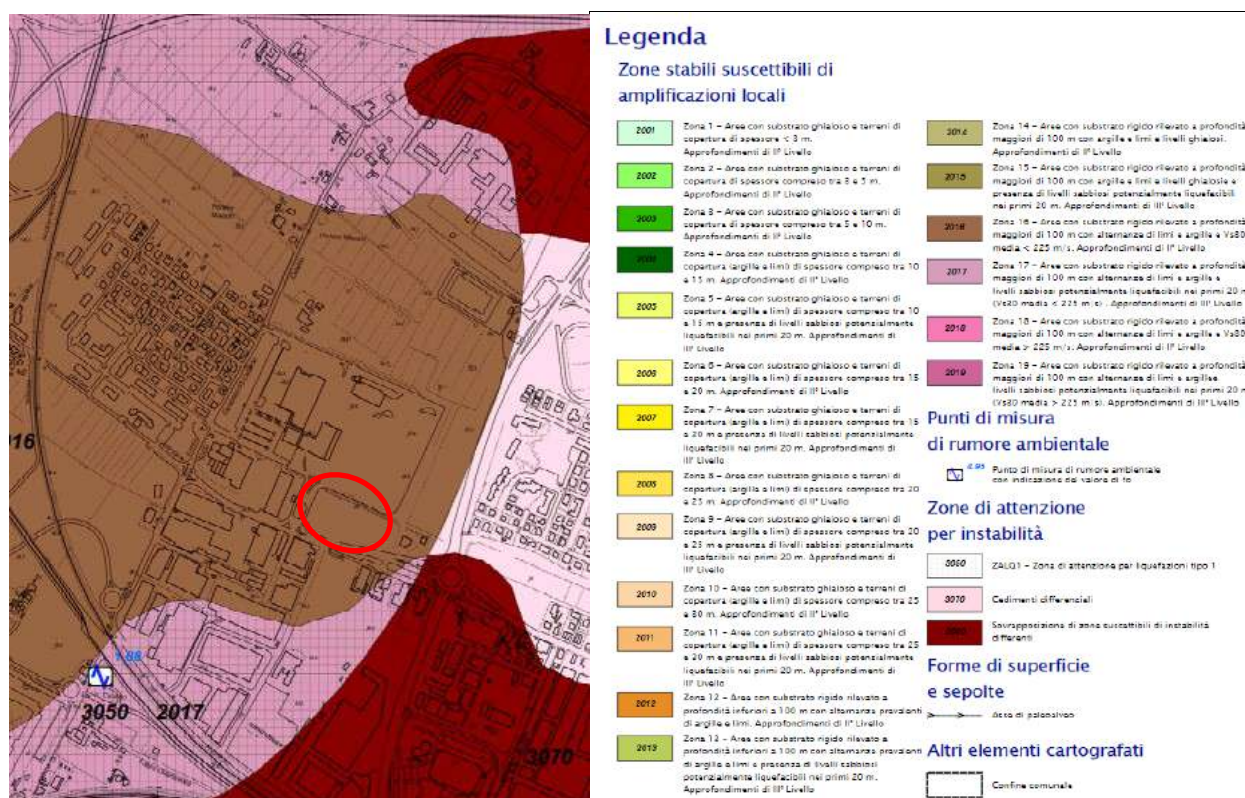


Figura 4: Carta delle MOPS (stralcio in scala 1:10000)

Come previsto dagli indirizzi regionali (DGR 112/2007 e DGR 2193/2015) e nazionali (ICMS, 2008), il secondo livello di approfondimento ha riguardato la stesura della cartografia di microzonazione sismica (in scala 1:10.000) con le informazioni fondamentali sullo scuotimento sismico atteso, in termini di fattori di amplificazione sismica, e sulle eventuali instabilità presenti, in termini di indici di rischio, per TR=475 anni.

Per quanto riguarda le mappe dei fattori di amplificazione, sono state consultate e analizzate quelle previste dagli indirizzi regionali, vale a dire le mappe dei fattori di amplificazione della PGA (F_{PGA}) e dell'Intensità di Housner (rapporto tra gli spettri di output e di input pseudovelocità) che sono sinteticamente descritti nella seguente **Tabella n.1**:

F.A.	Valore/Range:
P.G.A.	1,5-1,6

F.A. I. S. relativi a:	Valore/Range:
0,1 - 0,5 sec	1,7-1,8
0,5 - 1,0 sec	≥ 2,5

Tab. 1 – livelli di F.A. (P.G.A. e I.S.), dedotti dalle mappe di Microzonazione Sismica di 2 livello, redatti in scala 1:10000

4. CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL SITO MEDIANTE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

In relazione alle criticità riscontrate in sito e alle esigenze progettuali, si è realizzata una campagna di indagini atta a supportare i successivi gradi approfondimento richiesti. La campagna di indagini è stata concordata con il Tecnico Progettista e ha previsto una distribuzione tale da essere rappresentativa dell'intera area in esame. A tal fine sull'area di intervento si sono considerate le seguenti indagini:

- n. 5 prove penetrometriche statiche "CPT", spinte fino alla quota massima di -25,0 m da p.c.;
- n. 1 prova di sismica attiva mediante la metodologia "MASW" multicanale per la determinazione della velocità delle onde di taglio con la profondità;
- n. 2 acquisizioni di sismica passiva "HV" con misurazione di microtremore a stazione singola;
- n. 1 sondaggio a carotaggio continuo "S" per scopi stratigrafici e geotecnici fino a -30,0 m dal p.c., con prove SPT e prelievo di campioni di terreno indisturbati da sottoporre ad analisi di laboratorio geotecnico;
- prove di laboratorio geotecnico atte ad accertare le caratteristiche geomeccaniche dei terreni.

L'ubicazione generale delle indagini considerate nel presente studio è riportata in **Figura n. 5**.

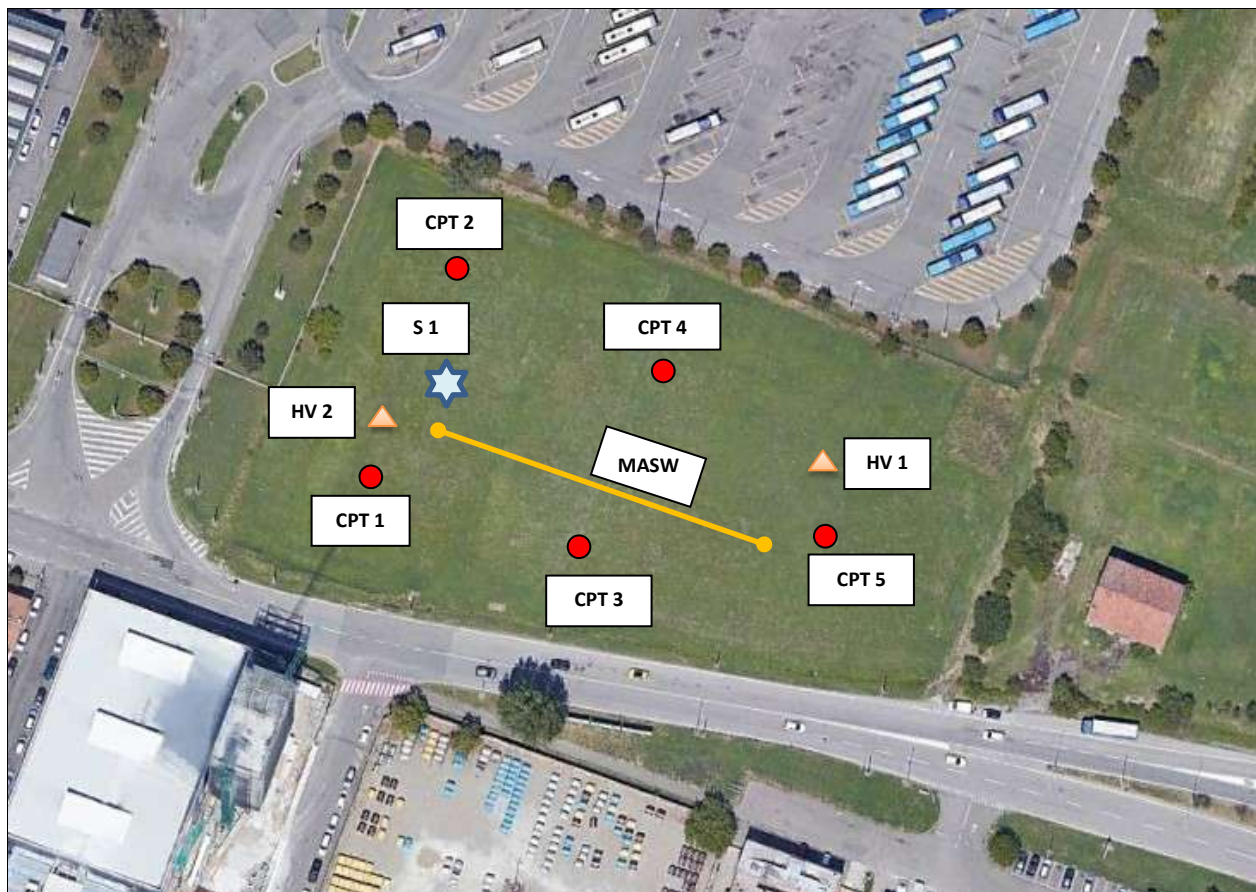


Figura 5: ubicazione indagini geognostiche (in rosso) e geofisiche (in giallo) base cartografica tratta da Google Earth.

4.1 PROVE PENETROMETRICHE: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE

L'attrezzatura utilizzata si compone di un penetrometro statico Pagani da 100 kN montato su carro cingolato. Il segnale elettrico generato dalla cella di pressione durante l'infissione della CPT viene opportunamente condizionato e amplificato dalla centralina di acquisizione e visualizzato su di un display digitale a quattro cifre.

Le caratteristiche dello strumento impiegato per i sondaggi sono le seguenti:

- punta meccanica	Begemann;	- parametri registrati:	Rp (resistenza alla punta); RI (resistenza attrito-laterale);
- spinta	100 kN;	- area punta	10 cm ² ;
- intervalli di misura	20 cm;	- angolo alla punta	60°.

La prova penetrometrica statica CPT (Cone Penetration Test) viene realizzata infiggendo nel terreno, alla velocità di 2 cm/sec, la punta meccanica Begemann. La punta presenta alla sua estremità inferiore un cono avente un angolo al vertice di 60°, un diametro alla base di 36 mm e quindi un'area di base di 10 cm². Esso supporta lungo il suo stelo un manicotto d'attrito, la cui superficie laterale è di 150 cm².

I parametri geotecnici della prova sono stati ottenuti mediante la lettura di campagna relativa all'infissione della sola punta (Rp), e mediante la lettura dell'infissione della punta e del manicotto (RI). Si sono ottenuti così i valori di resistenza alla punta (q_c) e di resistenza laterale locale (f_s), espressi in MPa, per ogni 20 cm di terreno attraversato. Dal rapporto q_c / f_s si è potuta effettuare una valutazione della litologia.

Alcune fasi delle indagini geognostiche sono riportate in **Figura n. 6**.



Figura 6a-b: immagini della prova penetrometrica CPT1 e CPT2



Figura 6c-d: immagini della prova penetrometrica CPT3 e CPT4



Figura 6e: immagini della prova penetrometrica CPT5

4.2 PROVA MASW: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE

La prova MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) è stata eseguita con un sismografo multicanale della ditta SARA srl, mod. "DOREMI", dotato di 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz.

Lo strumento è in grado di rilevare l'istante di energizzazione tramite geofono starter. È inoltre equipaggiato di software proprietario in grado di gestire tutte le operazioni di campagna attraverso le seguenti fasi:

- impostazione numero di canali, frequenza e lunghezza di campionamento;
- selezione entità dell'amplificazione del segnale per ogni canale;
- impostazione filtri delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione sismogramma con misura dei tempi di arrivo;
- esecuzione operazioni di somma e sottrazione di ulteriori sismogrammi.

Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza del peso di 8 kg e una piastra di battuta di alluminio.

L'indagine sismica di tipo MASW consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in modo da ottenere una corretta caratterizzazione della categoria sismica del sottosuolo dell'area indagata.

L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW è basata sul fatto che la quasi totalità dell'energia sviluppata a seguito di un'energizzazione (circa 2/3) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).

A tale scopo Park et Alii (1999) hanno sviluppato il metodo MASW con l'utilizzo simultaneo di 24 (o più) geofoni (sismometri polarizzati verticalmente -freq. max 4,5 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità Vs, dallo studio delle velocità di fase dei numerosi treni d'onda di Rayleigh. I geofoni possono essere spazati da 0,5 sino ad un max di circa 8-10 m e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase. Le tracce dei sismogrammi permettono di distinguere ed evidenziare le onde di Rayleigh, caratterizzate da elevata ampiezza di segnale.

Dal sismogramma tramite una trasformata nel dominio frequenza (f) – numero d'onda (k) si può così risalire alla curva di dispersione (cioè un grafico ampiezza/frequenza) mediante la relazione: $VR(f)=f/k$.

Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito è seguito da una fase di elaborazione-interpretazione detta "analisi spettrale". Si procede quindi a definire il modello sismo-stratigrafico del terreno seguendo una serie di passaggi, tra cui:

- fase di pre-processing per migliorare la qualità del dato acquisito;
- passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK;

- picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni frequenza dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK, finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell'onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori;
- estrazione curva di dispersione sperimentale tramite la procedura sopra indicata dallo spettro FK;
- inversione: tale procedura è avviata per ottimizzare un modello stratigrafico che sia sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale del sito; il programma utilizza una tecnica di inversione lineare che presenta il vantaggio di minimizzare l'errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici;

Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d'inversione, con inserimento (eventuale) di strati, assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie, ecc.).

Alcune fasi delle indagini geofisiche sono riportate in **Figura 7**.



Figura 7: immagine della prova geofisica MASW

4.3 PROVA MICROTREMORE A STAZIONE SINGOLA: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE

Le misure puntuali ad alta risoluzione di sismica passiva eseguite con tromografo digitale sono finalizzate all'elaborazione degli spettri di base ed analisi HVSr del sottosuolo. Tale strumento misura il rumore di fondo e lo utilizza come funzione di eccitazione per identificare in maniera passiva, non invasiva e rapida le frequenze di risonanza del sottosuolo, che sono in relazione diretta con l'amplificazione sismica, oggi considerata da molti la prima causa di danno e distruzione durante un terremoto (Mulargia et al., 2007).

Il rumore di fondo (microtremore), presente ovunque sulla superficie terrestre ed associato sia a fenomeni atmosferici che all'attività antropica, è relativo ad oscillazioni molto piccole (10^{-15} m/s²), con componenti spettrali che vengono scarsamente attenuate nello spazio e misurabili

con tecniche di acquisizione dette passive.

Tutte le onde elastiche dalla sorgente al sito, subiscono modifiche al loro tragitto ed attenuazioni in relazione alla natura del sottosuolo attraversato. Le informazioni stratigrafiche contenute nei microtremori sono sovrapposte al rumore casuale e possono essere estratte attraverso metodologie come quella di Nakamura dei rapporti spettrali (HVSr – horizontal to vertical spectral ratio). Tale tecnica è utilizzata per la determinazione dell'amplificazione sismica locale e per stimare le frequenze principali di risonanza del sottosuolo, dati molto utili anche per la progettazione ingegneristica delle strutture (Castellaro, 2012).

Il metodo considera i microtremori come composti in massima parte da onde di superficie (di Rayleigh) nelle componenti orizzontali e verticali, che vengono amplificate per effetto di sito a causa della presenza di discontinuità stratigrafiche nel sottosuolo. È quindi possibile ricostruire la forma spettrale del microtremore, in cui i picchi alle diverse frequenze rappresentano il rapporto tra la componente orizzontale e verticale dei segnali registrati.

Per la campagna di indagine è stato utilizzato lo strumento SARA Electronic Instruments srl denominato Sara Geobox con sensore Sara SS45PACK, con sensore integrato da 4,5 Hz.

L'acquisizione dei dati è stata effettuata alla frequenza di 300 Hz con un tempo di singola registrazione pari a 20 minuti.

Le registrazioni sono state elaborate utilizzando un modulo del software "GeoExplorer HVSr 2.0.0 Alfa version" per la modellazione delle curve H/V nell'intervallo 0,0 – 128 Hz, impostando una larghezza delle finestre di analisi tra 25 e 40 secondi, e liscio secondo una finestra triangolare con ampiezza pari al 20%. Alcune fasi delle indagini geofisiche sono riportate in **Figura 8**.



Figura 8: immagini della prova geofisica HVSr 1 e HVSr 2

4.4 SONDAGGI A CAROTAGGIO E PRELIEVO DI CAMPIONI

Al fine di caratterizzare nel dettaglio i terreni coinvolti nel progetto, si è eseguito un campionamento mediante un sondaggio a carotaggio continuo. L'indagine è stata eseguita con l'impiego di una Sonda Idraulica cingolata Ellettari EK200/STR, attrezzata con carotiere semplice (diam. 101 mm) e rivestimento foro in diametro 127 mm.

I carotaggi hanno consentito il prelievo di carote di terreno in continuità stratigrafica fino a 30 m di profondità. I campioni, sistemati in apposite cassette catalogatrici, possono essere classificati per qualità alla categoria Q1/Q2. Ciò ha consentito un buon riconoscimento litostratigrafico, granulometrico, del colore e delle fasi alterate dei minerali, della consistenza (anche mediante indagini speditive), del grado di umidità e della presenza di inclusi quali sostanza organica, calcinoli o altro.

A profondità ritenute particolarmente importanti ai fini dell'intervento si sono prelevati campioni di terreno di categoria Q5. Tale campionamento, ottenuto mediante opportuni procedimenti (senza rotazione della batteria di aste) e con l'ausilio di particolari fustelle in acciaio a pareti sottili (Shelby), ha consentito di preservare il terreno per le analisi geotecniche di dettaglio da eseguirsi in laboratorio. Il campionatore utilizzato è in acciaio inox a pareti sottili e ha diametro standard pari a 88,9 mm.

Il campionatore, una volta estratto, è stato sigillato mediante paraffina su entrambi i lati, quindi conferito presso un laboratorio per analisi sui terreni avente Certificazione Ufficiale - Settore «A» - Prove di laboratorio sui terreni - AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI, Decreto 1845/15-02-2017 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010.

Durante la perforazione sono state eseguiti anche n.2 Standard Penetration Test (SPT), con lo scopo di valutare il grado di compattezza/addensamento dei terreni attraversati. Si tratta di una prova che consente di determinare la resistenza offerta dal terreno alla penetrazione dinamica di una punta infissa a partire dal fondo foro del sondaggio.

Alcune fasi delle indagini geofisiche sono riportate in **Figura 9a-b**.



Figura 9a-b: immagini del sondaggio a carotaggio continuo e di una prova SPT

5. RELAZIONE GEOLOGICA SULLE INDAGINI

La ricostruzione della stratigrafia del sottosuolo, finalizzata alla creazione del modello geologico è stata ottenuta mediante un rilievo geologico-geomorfologico di superficie, la consultazione delle note bibliografiche disponibili e acquisendo i dati di prove penetrometriche (denominate **CPT 1, CPT 2, CPT 3, CPT4 e CPT5**).

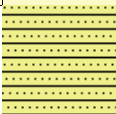
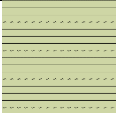
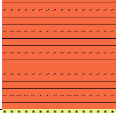
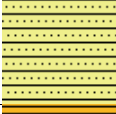


In relazione delle caratteristiche di resistenza del terreno, l'indagine CPT è stata spinta ad una profondità massima di -25,0 m. Durante l'esecuzione delle indagini non si sono riscontrate anomalie di funzionamento delle apparecchiature sia meccaniche che digitali.

5.1 MODELLO LITOSTRATIGRAFICO E IDROGEOLOGICO DEL TERRENO

La trattazione statistica dei dati numerici di resistenza permette la suddivisione in strati per la creazione di un modello geologico. I criteri per la suddivisione del volume significativo in strati sono di carattere stratigrafico-litologico, idrogeologico e di resistenza (intesa come resistenza all'infissione). Le elaborazioni numeriche delle penetrometrie per conseguire informazioni geologiche sono state supportate da un programma di calcolo della GeoStru Software, in licenza allo Scrivente. A partire dalla caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche si sono definiti i parametri di resistenza utilizzando la **Media** ovvero il valore statistico riferito alla media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

L'elaborazione congiunta delle indagini ha permesso di individuare il seguente schema stratigrafico medio dell'area oggetto di studio:

Modello geologico-stratigrafico medio del terreno

Prof. tetto strato (m)	Prof. base strato (m)	Retino	Descrizione litologica
0,0	-1,0/-1,4		argilla limosa e sabbiosa consistente
-1,0/-1,4	-3,2/-4,0		argilla limosa mediamente consistente
-3,2/-4,0	-6,8/-7,4		argilla limosa da poco a mediamente consistente
-6,8/-7,4	- 14,4/-14,6		argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente
- 14,4/14,6	-21,2/-23,4		argilla e limo con sabbia, consistente
-21,2/-23,4	-25,0 (fondo foro indagine)		sabbia ghiaiosa/ghiaia sabbiosa alternata a livelli sabbioso limosi e argillosi

Idrogeologia del sito

Fatte salve le indicazioni di carattere generale riportate nel capitolo 3.3, per quel che riguarda l'idrogeologia, si registra la sovrapposizione di due sistemi di conoidi differenti: uno sepolto (>25 m) riferibile al F. Secchia, a litologia prevalentemente ghiaiosa, ed uno più superficiale attribuibile al reticolo secondario (T. Cerca, T. Fossa, ecc.) prevalentemente coesivo. In questi due sistemi si sovrappongono due distinti acquiferi.

Nella conoide più superficiale del reticolo secondario è stato possibile individuare una falda libera all'interno dei livelli limosi posti tra -1,5/-2,5 m. I rilievi nel corso dei sondaggi penetrometrici, per misurare i livelli idrostatici superficiali, in data 24-25/06/2020, hanno registrato i seguenti risultati:

Sondaggio	1	2	3	4	5
Profondità prova	-25.0 m	-20.0 m	-21.8 m	-20.0 m	-20.0 m
Misura falda in data 24-25/06/2020	-1.6 m	-1.5 m	-1.6 m	-1.9 m	-1.7 m

Nella conoide più profonda del F.Secchia le ghiaie presenti sono ricoperte da materiali fini ed ospitano un acquifero confinato con una falda in pressione.

È presente quindi una fascia intermedia di interdigitazione tra queste due situazioni, dove la falda presenta caratteristiche transitorie (falda semiconfinata leggermente in pressione).

5.1.1 MODELLO GEOLOGICO CPT 1

Sulla base dei riscontri penetrometrici si ricostruisce la seguente sequenza stratigrafica:

Unità Litostratigrafica	Prof. base strato (m)	Qc Medio (MPa)	Fs Media (MPa)	Gamma Medio (KN/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
A	1,20	3,07	0,18	19,4	Incoerente- Coesivo	argilla limosa sabbiosa consistente
B	4,00	1,67	0,11	19,0	Incoerente- Coesivo	argilla limosa mediamente consistente
C	7,20	1,19	0,07	18,4	Incoerente- Coesivo	argilla limosa da poco a mediamente consistente
D	14,40	1,51	0,08	18,7	Incoerente- Coesivo	argilla limosa e sabbiosa, mediamente consistente
E	23,40	2,49	0,14	19,6	Incoerente- Coesivo	argilla e limo con sabbia, consistente
F	25,00	12,80	0,25	20,9	Incoerente	sabbia ghiaiosa

La verticale d'indagine può essere rappresentata graficamente come segue (**Figura 10**):

Probe CPT - Cone Penetration Nr.1
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente:
Cantiere:
Località:

Franco Iorio srl
Studio del sottosuolo
Modena via Delle Suore

Data: 24/06/2020

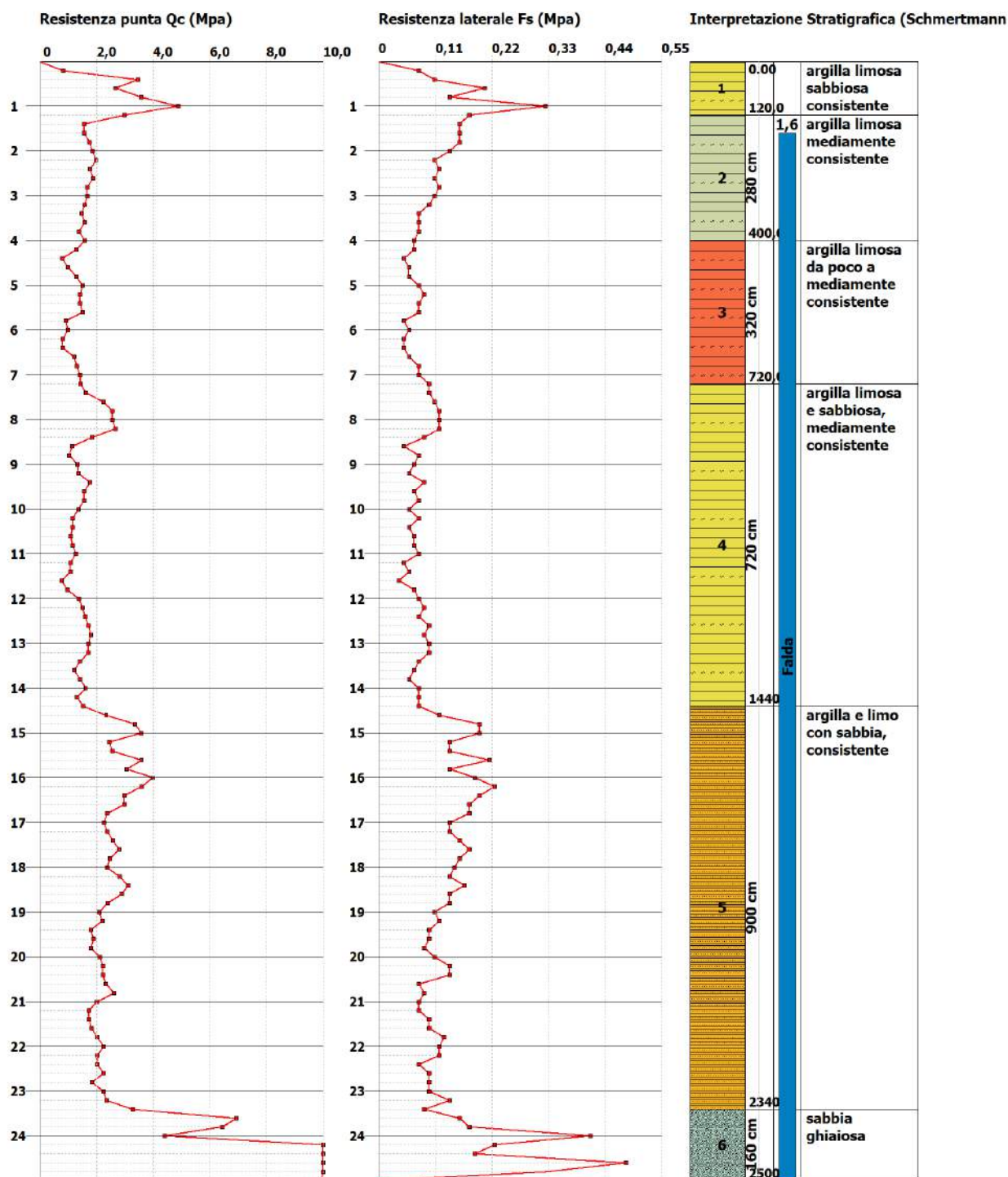


Figura 10: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica 1

5.1.2 MODELLO GEOLOGICO CPT 2

Sulla base dei riscontri penetrometrici si ricostruisce la seguente sequenza stratigrafica:

Unità Litostratigrafica	Prof. base strato (m)	Qc Medio (MPa)	Fs Media (MPa)	Gamma Medio (KN/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
A	1,00	2,48	0,18	19,3	Incoerente- Coesivo	argilla limosa sabbiosa consistente
B	3,20	1,67	0,14	19,0	Incoerente- Coesivo	argilla limosa mediamente consistente
C	7,00	1,05	0,05	18,2	Incoerente- Coesivo	argilla limosa da poco a mediamente consistente
D	14,60	1,53	0,08	18,8	Incoerente- Coesivo	argilla limosa e sabbiosa, mediamente consistente
E	20,00	2,62	0,14	19,6	Incoerente- Coesivo	argilla e limo con sabbia, consistente

La verticale d'indagine può essere rappresentata graficamente come segue (**Figura 11**):

Probe CPT - Cone Penetration Nr.2
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente:
Cantiere:
Località:

Franco Iorio srl
Studio del sottosuolo
Modena via Delle Suore

Data: 24/06/2020

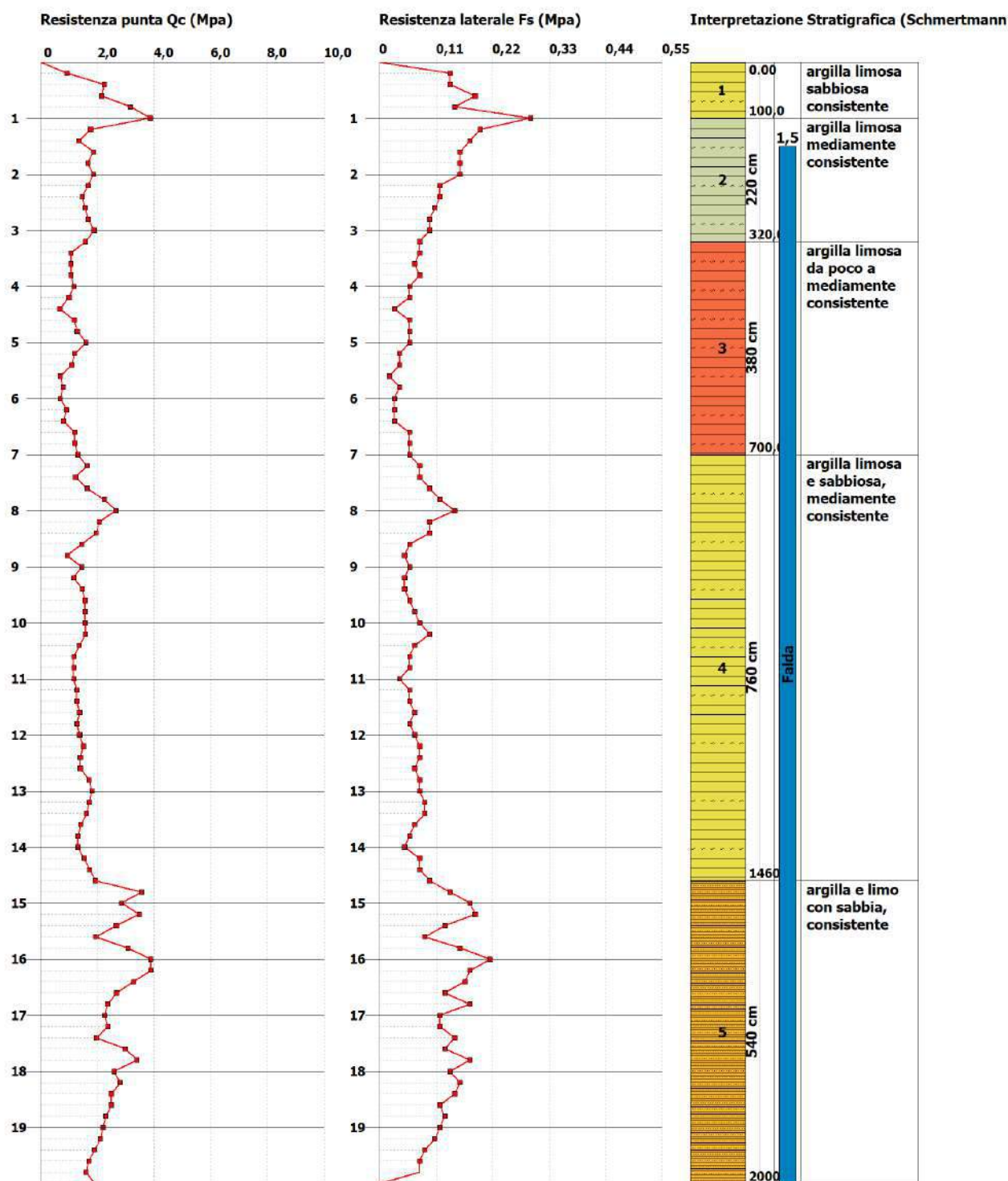


Figura 11: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica 2

5.1.3 MODELLO GEOLOGICO CPT 3

Sulla base dei riscontri penetrometrici si ricostruisce la seguente sequenza stratigrafica:

Unità Litostratigrafica	Prof. base strato (m)	Qc Medio (MPa)	Fs Media (MPa)	Gamma Medio (KN/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
A	1,40	4,24	0,20	20,0	Incoerente- Coesivo	argilla limosa sabbiosa consistente
B	3,20	1,73	0,15	19,1	Incoerente- Coesivo	argilla limosa mediamente consistente
C	6,80	1,21	0,07	18,4	Incoerente- Coesivo	argilla limosa da poco a mediamente consistente
D	14,60	1,61	0,09	18,8	Incoerente- Coesivo	argilla limosa e sabbiosa, mediamente consistente
E	20,00	2,58	0,13	19,6	Incoerente- Coesivo	argilla e limo con sabbia, consistente

La verticale d'indagine può essere rappresentata graficamente come segue (**Figura 12**):

Probe CPT - Cone Penetration Nr.3
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente:
Cantiere:
Località:

Franco Iorio srl
Studio del sottosuolo
Modena via Delle Suore

Data: 24/06/2020

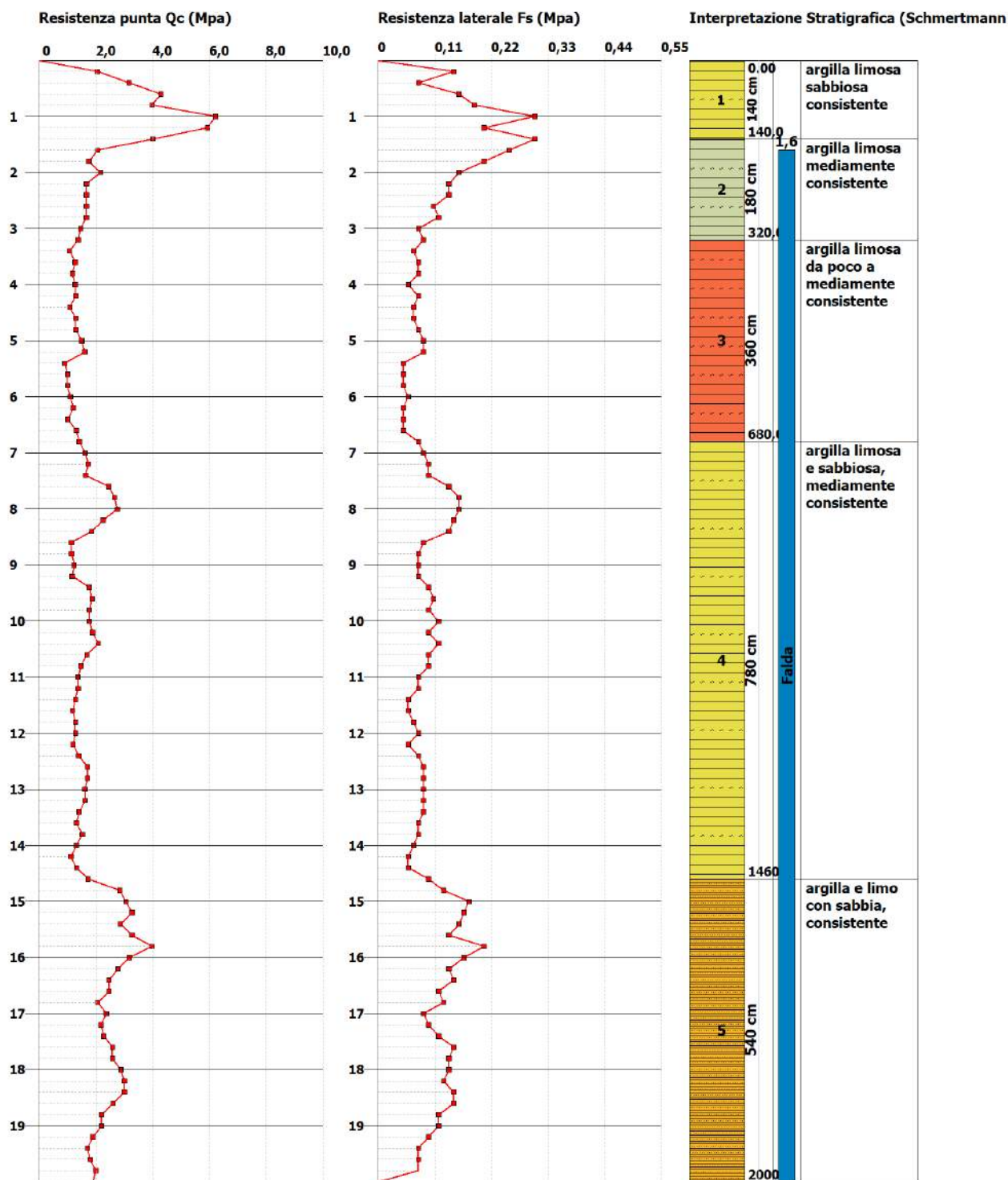


Figura 12: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica 3

5.1.4 MODELLO GEOLOGICO CPT 4

Sulla base dei riscontri penetrometrici si ricostruisce la seguente sequenza stratigrafica:

Unità Litostratigrafica	Prof. base strato (m)	Qc Medio (MPa)	Fs Media (MPa)	Gamma Medio (KN/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
A	1,40	3,48	0,22	19,5	Incoerente- Coesivo	argilla limosa sabbiosa consistente
B	3,40	1,71	0,14	19,1	Incoerente- Coesivo	argilla limosa mediamente consistente
C	7,40	1,08	0,05	18,2	Incoerente- Coesivo	argilla limosa da poco a mediamente consistente
D	14,60	1,50	0,08	18,7	Incoerente- Coesivo	argilla limosa e sabbiosa, mediamente consistente
E	21,20	2,69	0,16	19,7	Incoerente- Coesivo	argilla e limo con sabbia, consistente
F	21,80	28,51	0,23	19,6	Incoerente	sabbia ghiaiosa

La verticale d'indagine può essere rappresentata graficamente come segue (**Figura 13**):

Probe CPT - Cone Penetration Nr.4
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente:
Cantiere:
Località:

Franco Iorio srl
Studio del sottosuolo
Modena via Delle Suore

Data: 24/06/2020

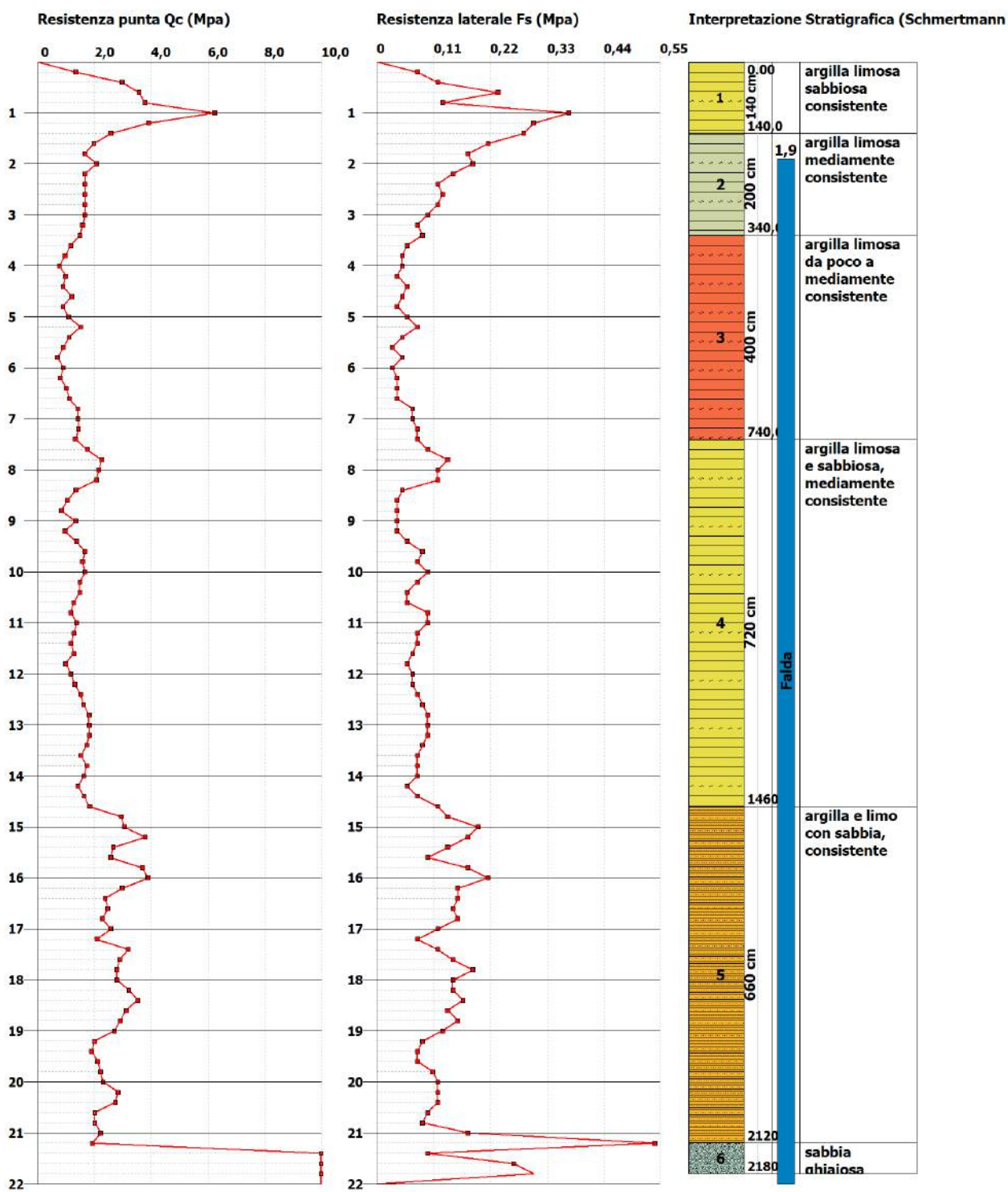


Figura 13: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica 4



5.1.5 MODELLO GEOLOGICO CPT 5

Sulla base dei riscontri penetrometrici si ricostruisce la seguente sequenza stratigrafica:

Unità Litostratigrafica	Prof. base strato (m)	Qc Medio (MPa)	Fs Media (MPa)	Gamma Medio (KN/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
A	1,40	2,77	0,20	19,5	Incoerente- Coesivo	argilla limosa sabbiosa consistente
B	3,00	1,48	0,14	18,8	Incoerente- Coesivo	argilla limosa mediamente consistente
C	7,00	1,09	0,06	18,2	Incoerente- Coesivo	argilla limosa da poco a mediamente consistente
D	14,40	1,39	0,08	18,6	Incoerente- Coesivo	argilla limosa e sabbiosa, mediamente consistente
E	20,00	1,98	0,10	19,2	Incoerente- Coesivo	argilla e limo con sabbia, consistente

La verticale d'indagine può essere rappresentata graficamente come segue (**Figura 14**):

Probe CPT - Cone Penetration Nr.5
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente:
Cantiere:
Località:

Franco Iorio srl
Studio del sottosuolo
Modena via Delle Suore

Data: 25/06/2020

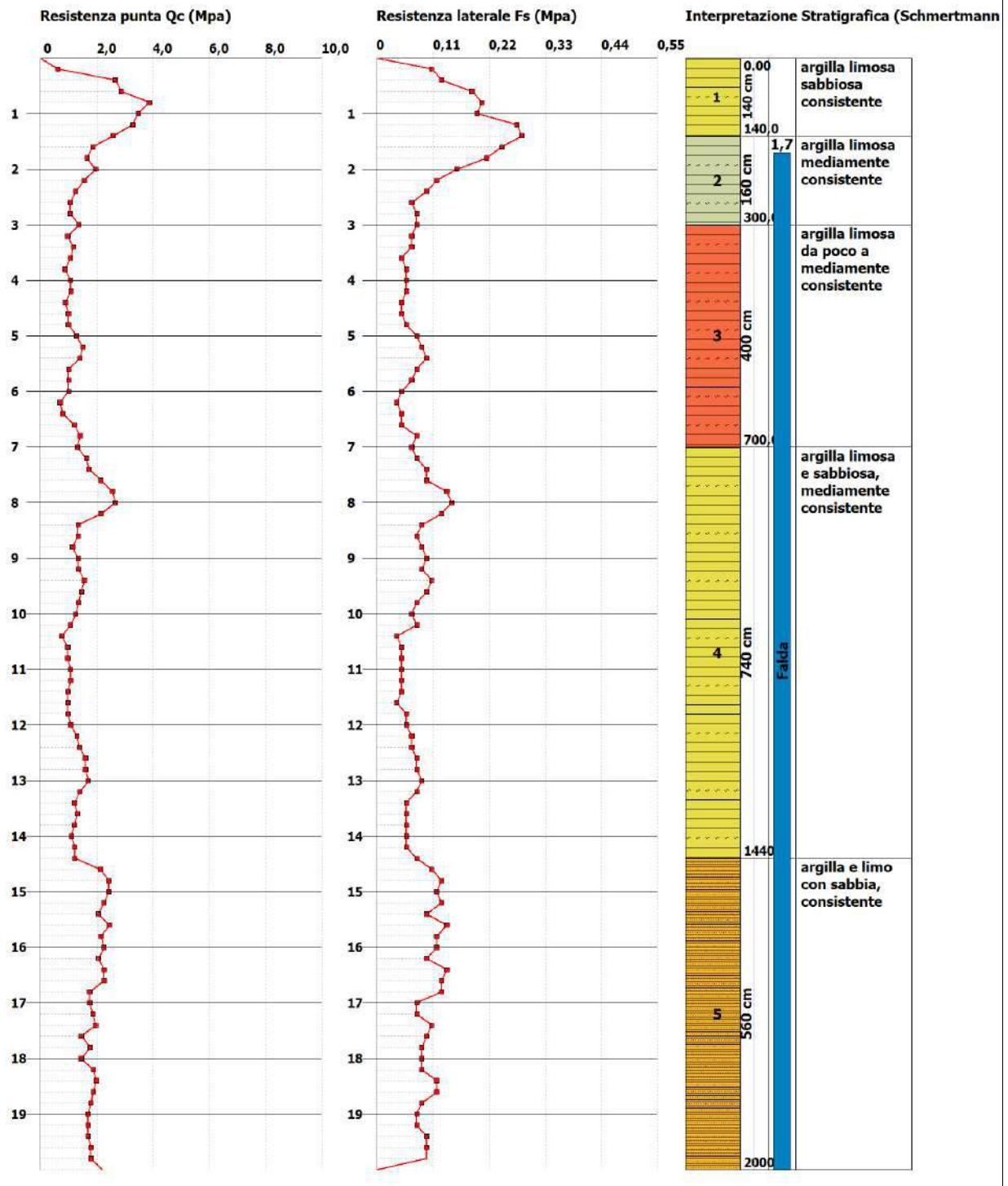


Figura 14: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica 5

5.2 MODELLO LITOSTRATIGRAFICO E IDROGEOLOGICO DEL TERRENO DA SONDAGGIO A CAROTAGGIO

Il sondaggio a carotaggio, mediante il prelievo e l'analisi di campioni di terreno in continuità stratigrafica, ha consentito un migliore dettaglio interpretativo della situazione idrogeologica e litologica del terreno di fondazione, fino alla profondità di -30 m.

Nelle immagini sottostanti si riportano le foto relative alle carote di terreno prelevate (**figura 15**), mentre a seguire il modello descrittivo della stratigrafia del terreno (**figura 16**).



Figura 15a: foto campioni da 0,0 m a -10,0 m - SONDAGGIO 1

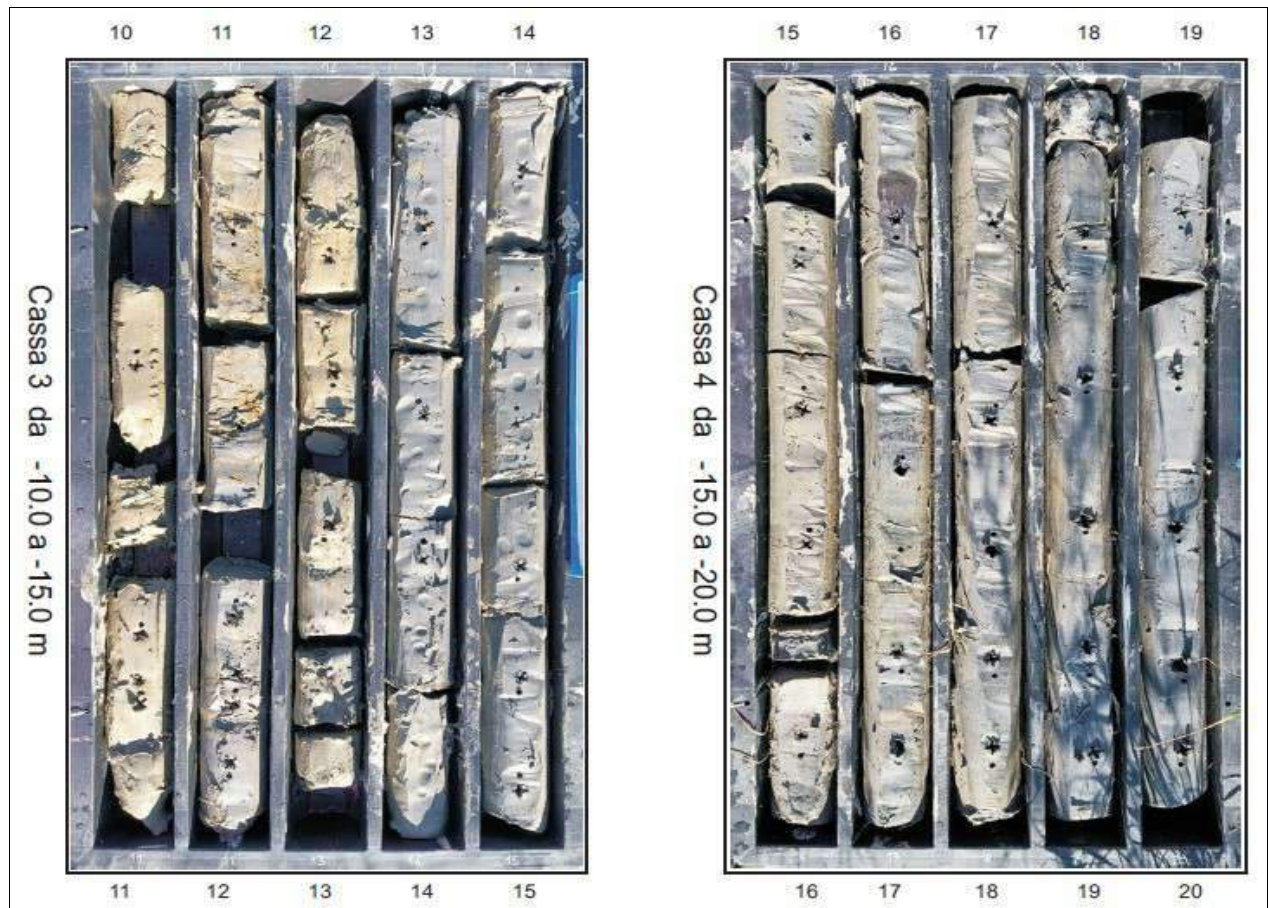


Figura 15b: foto campioni da -10,0 m a -20,0 m - SONDAGGIO 1



Figura 15c: foto campioni da -20,0 m a -30,0 m - SONDAGGIO 1

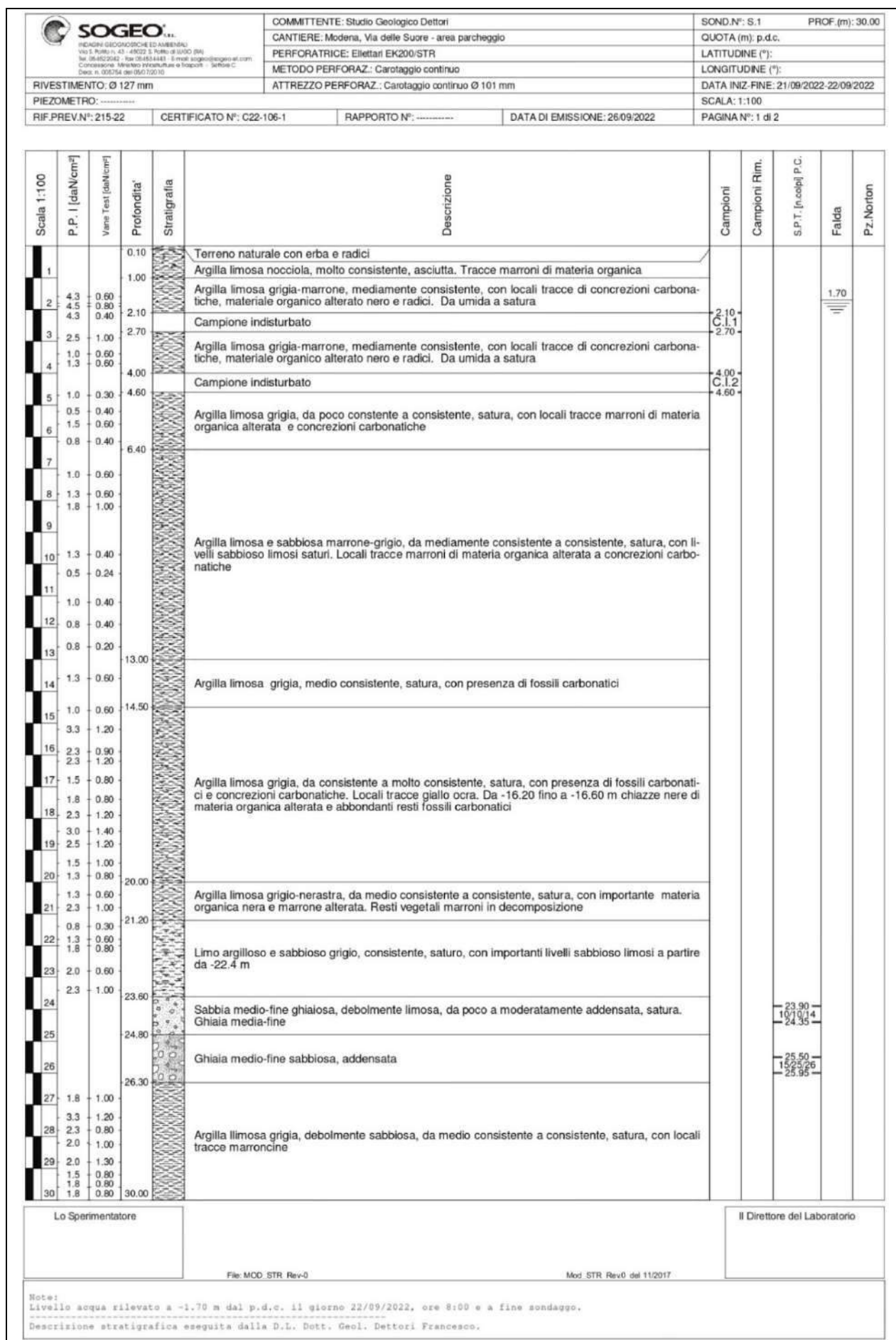


Figura 16: modello stratigrafia SONDAGGIO 1



6. RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI

La relazione geotecnica, intesa come l'insieme delle scelte progettuali e i risultati delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica, basa la sua struttura su una serie di indagini geognostiche e geotecniche, in sito ed in laboratorio.

6.1 MODELLO GEOTECNICO E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO

I valori di resistenza meccanica del terreno hanno consentito la suddivisione in strati del terreno per la creazione di un **Modello Geotecnico** per singola verticale di indagine. Il modello geotecnico tiene conto dell'insieme delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni coinvolti nell'intervento in progetto, entro un volume reputato significativo. Tutti i parametri e i valori di resistenza al taglio indicati sono stati estrapolati da una "stima ragionata e cautelativa" del dato sperimentale acquisito.

Le elaborazioni numeriche per conseguire informazioni geotecniche sono state effettuate con il supporto di un programma di calcolo della GeoStru Software, in licenza allo Scrivente.

A partire dallo schema stratigrafico medio dell'area visto in precedenza si riporta:

Modello geologico-geotecnico medio del terreno (semplificato)

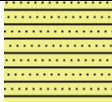
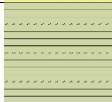
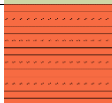



Prof. tetto strato (m)	Prof. base strato (m)	Retino	Descrizione litologica	Cu (KPa)	Fi (°)
0,0	-1,0/-1,4		argilla limosa e sabbiosa consistente	70 – 130	23 – 26
-1,0/-1,4	-3,2/-4,0		argilla limosa mediamente consistente	48 – 56	20 – 21
-3,2/-4,0	-6,8/-7,4		argilla limosa da poco a mediamente consistente	35 – 40	18 – 20
-6,8/-7,4	-14,4/-14,6		argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente	46 – 53	19 – 21
-14,4/14,6	-21,2/-23,4		argilla e limo con sabbia, consistente	50 – 80	19 – 22
-21,2/-23,4	-25,0 (fondo foro indagine)		sabbia ghiaiosa/ghiaia sabbiosa alternata a livelli sabbiosi limosi e argillosi	–	29 – 35

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

Cu:	Coesione non drenata (KPa)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
-----	----------------------------	-----	------------------------------------

6.1.1 MODELLO GEOTECNICO CPT 1

Si riporta per ogni strato la stima dei parametri geotecnici caratteristici:

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Fi	Ey
[1]	argilla limosa sabbiosa consistente	1,20	92,3	30,8	3,2	22,5	18,1	20,9	25,6	7,7
[2]	argilla limosa mediamente consistente	4,00	55,7	16,7	3,5	15,5	17,0	19,8	20,3	4,2
[3]	argilla limosa da poco a mediamente consistente	7,20	39,7	12,0	2,5	12,6	17,4	19,2	18,8	3,0
[4]	argilla limosa e sabbiosa, mediamente consistente	14,40	50,3	15,1	3,2	14,6	18,8	19,6	19,7	3,8
[5]	argilla e limo con sabbia, consistente	23,40	83,0	24,9	2,6	19,8	19,6	20,4	20,7	6,2
[6]	sabbia ghiaiosa	25,00	--	--	8,1	53,9	17,7	20,6	29,0	32,0

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

Nr:	Numero progressivo strato	G:	Modulo di deformazione a taglio (MPa)
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (KN/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (KPa)	PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
Ey:	Modulo di Young (MPa)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (MPa)	Mo:	Modulo Edometrico (MPa)

6.1.2 MODELLO GEOTECNICO CPT 2

Si riporta per ogni strato la stima dei parametri geotecnici caratteristici:

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Fi	Ey
[1]	argilla limosa sabbiosa consistente	1,00	72,7	24,7	2,6	19,8	19,4	20,5	25,3	6,2
[2]	argilla limosa mediamente consistente	3,20	55,7	16,7	3,5	15,5	17,0	19,8	20,7	4,2
[3]	argilla limosa da poco a mediamente consistente	7,00	35,0	10,6	2,2	11,7	17,2	19,0	19,4	2,6
[4]	argilla limosa e sabbiosa, mediamente consistente	14,60	51,0	15,3	3,2	14,7	18,8	19,6	19,7	3,8
[5]	argilla e limo con sabbia, consistente	20,00	87,3	26,3	2,7	20,4	19,7	20,5	20,8	6,6

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

Nr:	Numero progressivo strato	G:	Modulo di deformazione a taglio (MPa)
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (KN/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (KPa)	PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
Ey:	Modulo di Young (MPa)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (MPa)	Mo:	Modulo Edometrico (MPa)

6.1.3 MODELLO GEOTECNICO CPT 3

Si riporta per ogni strato la stima dei parametri geotecnici caratteristici:

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Fi	Ey
[1]	argilla limosa sabbiosa consistente	1,40	130,3	42,4	4,5	27,4	19,4	21,4	26,9	10,6
[2]	argilla limosa mediamente consistente	3,20	57,7	17,3	3,7	15,9	17,1	19,9	20,4	4,3
[3]	argilla limosa da poco a mediamente consistente	6,80	40,3	12,2	2,6	12,7	17,5	19,3	18,9	3,0
[4]	argilla limosa e sabbiosa, mediamente consistente	14,60	53,7	16,1	3,4	15,2	18,9	19,7	19,8	4,0
[5]	argilla e limo con sabbia, consistente	20,00	86,0	25,9	2,7	20,2	19,7	20,5	20,8	6,5

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

Nr:	Numero progressivo strato	G:	Modulo di deformazione a taglio (MPa)
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (KN/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (KPa)	PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
Ey:	Modulo di Young (MPa)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (MPa)	Mo:	Modulo Edometrico (MPa)

6.1.4 MODELLO GEOTECNICO CPT 4

Si riporta per ogni strato la stima dei parametri geotecnici caratteristici:

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Fi	Ey
[1]	argilla limosa sabbiosa consistente	1,40	106,0	34,7	3,7	24,3	19,3	21,1	25,3	8,7
[2]	argilla limosa mediamente consistente	3,40	57,0	17,1	3,6	15,7	17,1	19,9	20,3	4,3
[3]	argilla limosa da poco a mediamente consistente	7,40	36,0	10,8	2,3	11,9	17,3	19,0	18,7	2,7
[4]	argilla limosa e sabbiosa, mediamente consistente	14,60	50,0	14,9	3,2	14,5	18,8	19,6	19,6	3,8
[5]	argilla e limo con sabbia, consistente	21,20	89,7	26,9	2,8	20,8	19,8	20,5	21,0	6,7
[6]	sabbia ghiaiosa	21,80	--	--	18,1	87,9	18,6	21,6	33,3	71,3

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

Nr:	Numero progressivo strato	G:	Modulo di deformazione a taglio (MPa)
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (KN/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (KPa)	PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
Ey:	Modulo di Young (MPa)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (MPa)	Mo:	Modulo Edometrico (MPa)

6.1.5 MODELLO GEOTECNICO CPT 5

Si riporta per ogni strato la stima dei parametri geotecnici caratteristici:

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Fi	Ey
[1]	argilla limosa sabbiosa consistente	1,40	82,3	27,7	2,9	21,1	18,9	20,7	23,3	6,9
[2]	argilla limosa mediamente consistente	3,00	49,3	14,7	3,2	14,4	17,8	19,6	20,1	3,7
[3]	argilla limosa da poco a mediamente consistente	7,00	36,3	11,0	2,3	12,0	17,3	19,1	18,8	2,7
[4]	argilla limosa e sabbiosa, mediamente consistente	14,40	46,3	13,9	3,0	13,9	18,6	19,4	19,3	3,5
[5]	argilla e limo con sabbia, consistente	20,00	66,0	19,8	4,2	17,2	19,2	20,0	20,6	5,0

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

Nr:	Numero progressivo strato	G:	Modulo di deformazione a taglio (MPa)
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (KN/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (KPa)	PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
Ey:	Modulo di Young (MPa)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (MPa)	Mo:	Modulo Edometrico (MPa)

6.2 PROVE SPT - STANDARD PENETRATION TEST

SPT è l'acronimo di Standard Penetration Test (prova penetrometrica standard) e consiste in una prova di tipo discontinuo che viene eseguita nel corso della perforazione.

La prova SPT è stata standardizzata alle seguenti norme:

- A.G.I. – Associazione geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini geotecniche.
- UNI EN ISO 22476-3:2012 Prova penetrometrica dinamica tipo SPT (standard penetration test)

Risultati conseguiti e osservazioni: i risultati sono riassunti in tabella

denominazione	Profondità (m)	n. colpi tratto preliminare	n. colpi 1° tratto prova	n. colpi 2° tratto prova
SPT 1	23,9	10	10	14
SPT 2	25,5	15	25	26

La prova SPT può essere correlata con molti parametri geotecnici e con altri tipi di prova. Tra i parametri geotecnici quelli che presentano la bibliografia più corposa su terreni incoerenti riguardano la Densità Relativa (DR) e l'Angolo d'Attrito Interno (ϕ).

La tabella sottostante riproduce l'associazione tra la densità relativa e i valori di NSPT secondo Terzaghi & Peck (1948), intesa in termini di addensamento, e secondo Gibbs-Holtz (1957), in termini percentuali. Il deposito è da considerarsi normalconsolidato.

NSPT colpi/30 cm	DR Terzaghi- Peck (1948)	DR Gibbs-Holtz (1957)
0-4	Molto sciolta	0-15%
4-10	Sciolta	15-35%
10-30	Media	35-65%
30-50	Densa	65-85%
Oltre 50	Molto densa	85-100%

Nelle sabbie (e nei terreni incoerenti in generale) NSPT è correlato con l'angolo di attrito interno ϕ' attraverso metodi diretti NSPT- ϕ e attraverso metodi indiretti, perlopiù in associazione con il valore di densità relativa DR. Un metodo diretto di facile applicazione può esser quello proposto da "Japanese National Railway", valido per sabbie medie-grosse fino a sabbie ghiaiose e che



trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità superiori a 8-10 m nel caso di terreni sopra falda e di 15 m per terreni immersi in falda ($\sigma > 15-20$ t/mq). Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\phi = 0.3NSPT + 27$$

dove NSPT è il numero di colpi medio misurato nello strato.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva da cui estrapolare i valori indicativi di Densità Relativa (DR) e l'Angolo d'Attrito Interno (ϕ) in associazione alle singole prove SPT eseguite:

denominazione	Profondità (m)	N _{SPT(30)}	DR - Terzaghi & Peck (1948)	DR - Gibbs & Holtz (1957)	Angolo d'Attrito Interno (ϕ)
SPT 1	23,9	24	Media	35-65 %	34,2°
SPT 2	25,5	51	Molto Densa	85-90 %	42,3°

6.3 ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO

Per la modellizzazione geotecnica del suolo in rapporto al progetto strutturale si è provveduto ad integrare le indagini esistenti mediante il prelievo di n. 2 campioni di terreno indisturbati da sottoporre ad indagini di laboratorio geotecnico. Le analisi, eseguite presso un Laboratorio Geotecnico, hanno consentito una più accurata classificazione fisico-meccanica dei terreni e l'ottenimento dei seguenti parametri:

- contenuto di umidità naturale (w%);
- peso dell'unità di volume (γ);
- coesione delle terre fini in condizioni di tensioni efficaci (c');
- angolo d'attrito interno (ϕ);
- coefficiente di compressibilità (m_v);
- coefficiente di compressione (c_c);

L'approfondimento di laboratorio ha permesso di determinare alcuni indici rappresentativi della consistenza e del comportamento geomeccanico dei terreni coesivi e granulari, a delle quote prestabilite, di comune accordo con il Tecnico Progettista.

I campioni prelevati e le prove eseguite sono i seguenti:

CAMPIONI - Sondaggio 1				
denominazione	Profondità(m)	Descrizione	Prove e/o determinazioni eseguite	Parametri determinati
C1 - indisturbato	2,1 – 2,5	Limo argilloso/argilla limosa (10yr 4/2 Dark grayish brown), molto consistente, umida	APE, PDV, UMD, TGD, EDO	w%; c' ; ϕ' ; m_v ; c_c
C2 - indisturbato	4,0 – 4,6	Limo argilloso/argilla limosa (5yr 4/1 dark gray), da poco consistente a consistente, umida	APE, PDV, UMD, TGD, EDO	w%; c' ; ϕ' ; m_v ; c_c
Legenda: (tra parentesi): sigla Munsell Soil Color Charts; APE: aperture e descrizione; UMD: umidità; PDV: peso di volume; PSP: peso specifico; LLP: limite liquido e plastico; LLR: limite di ritiro; GRA: granulometria; CLS: classificazione; PRM: permeabilità (ED edometro; TRX in cella triassiale); EDO: edometria; TCU: triassiale CIU; TCD: triassiale CID; TUU: triassiale UU; ELL: Espansione laterale libera; TGD: taglio diretto; TGR: taglio residuo; PRT: proctor (ST standard; MD: modificata).				

I risultati delle prove di laboratorio vengono riportati e riassunti nei paragrafi seguenti. Per i dettagli sulle prove di laboratorio si vedano gli allegati.

6.3.1 PROVE D'IDENTIFICAZIONE FISICA DEI TERRENI

CONTENUTO DI UMIDITÀ NATURALE

Il contenuto d'acqua, o umidità di un terreno è definito dal rapporto tra il peso W_w dell'acqua contenuta nei pori (esclusa l'acqua adsorbita) e il peso della materia secca W_s , ossia dei suoi granuli. Viene indicato per un terreno allo stato naturale col simbolo w e si esprime in percentuale:

$$w = (W_w/W_s) \cdot 100$$

Il contenuto in acqua è una delle più importanti caratteristiche dei terreni coerenti, poiché ne definisce lo stato di consolidamento, e quindi la resistenza di coesione.

Risultati conseguiti e osservazioni: il contenuto d'acqua naturale nel campione C1 è di 29,46%, nel campione C2 è di 31,79%. Tali valori corrispondono ad un tasso di umidità elevato/saturo che porta l'argilla ad uno stato di consolidamento prossimo o superiore al limite di plasticità. Si tenga presente che tutti i campioni sono stati prelevati al disotto del primo livello freatico riscontrato.

PESO DELL'UNITÀ DI VOLUME

Per peso specifico apparente o peso volume si intende il peso dell'unità di volume della massa composta dalle particelle solide, dal liquido, e dal gas eventualmente contenuti negli spazi interstiziali. Esso si esprime con la formula:

$$\gamma = (W/V)$$

essendo W il peso del campione di terreno e V il suo volume.

Il peso volume, in sito, di un terreno varia, a seconda del contenuto in acqua e della struttura allo stato naturale.

Risultati conseguiti e osservazioni: Il peso di volume γ misurato ha valore 17,6 kN/m³ per C1 e 18,6 kN/m³ per C2, valori sostanzialmente allineati per i campioni argilloso limosi normalconsolidati, in relazione alle quote di prelievo e allo stato tensionale dell'unità geologica.

6.3.2 PROVE MECCANICHE SUI TERRENI

PROVE DI TAGLIO CONSOLIDATE DRENATE (CD)

Per la determinazione dei parametri di resistenza alla rottura dei terreni sono state effettuate tre prove per ogni campione con l'apparecchio di taglio di Casagrande. Queste prove hanno consentito di determinare, su campioni indisturbati, i valori dell'angolo di attrito interno (ϕ') e della coesione (c') in condizioni consolidate e drenate (CD).

La prova di taglio diretto consiste nel sottoporre il campione, opportunamente preparato, a due forze poste su piani ortogonali tra loro: una verticale fornita dai carichi applicati (σ) e l'altra orizzontale di taglio (τ). Queste tensioni sono legate alla coesione e all'angolo d'attrito interno tramite l'equazione di Coulomb – Terzaghi: $\tau = c + \sigma \tan \phi$

Il sistema di applicazione del carico verticale è costituito da apposito bilanciere la cui parte inferiore è in grado di accogliere i pesi necessari al raggiungimento del σ desiderato.

Il sistema di applicazione dello sforzo di taglio è costituito da una scatola mobile in senso orizzontale che è in grado di tagliare il provino a velocità costante di 0,006 mm/min.

Risultati conseguiti: i risultati sono riassunti in tabella

denominazione	Profondità (m)	Angolo d'attrito ϕ' (°)	Coesione efficace c' (kN/m ²)
C1	2,1 – 2,5	20,74	18,85
C2	4,0 – 4,6	19,44	12,21



L'angolo di attrito riferito sia al campione C1 sia a C2 definisce un valore tendenzialmente minore rispetto a quanto stimato nelle prove penetrometriche (tabelle al paragrafo 6.1) e relativo a terreni limo-argillosi dal comportamento plastico, a bassa consistenza.

I valori di resistenza dati dalla coesione efficace c' (in condizioni drenate) sono risultati di circa il 50/60% inferiori rispetto ai valori della coesione c_u in condizioni non drenate. Il dato è in linea con la tipologia di terreno e con la storia tensionale del deposito.

PROVA DI COMPRESSIBILITÀ EDOMETRICA

La prova edometrica è una prova di compressione assiale senza deformazione laterale, serve a determinare le caratteristiche di comprimibilità dei terreni. Di interesse è la consolidazione primaria che si può determinare attraverso un diagramma in scala semilogaritmica sforzo-deformazione (ϵ_v , $\log \sigma'_v$).

Il diagramma mantiene qualitativamente lo stesso andamento se al posto della deformazione relativa ϵ_v si considera l'indice dei vuoti (e): unica differenza è che l'asse è rivolto verso l'alto (all'aumentare del carico, la deformazione cresce e l'indice dei vuoti diminuisce).

Dal diagramma $\epsilon_v - \log \sigma'_v$ si possono estrapolare alcuni parametri importanti per valutare il comportamento del terreno. Tra essi si riporta:

coefficiente di compressibilità' $mv = \Delta \epsilon_v / \Delta \sigma'_v$

modulo edometrico $M(E_{ed}) = 1 / mv$

Il fattore fondamentale che determina la velocità di dissipazione delle sovrappressioni neutre e la velocità con cui si verificano i cedimenti del banco è il coefficiente di consolidazione cv . Il valore di cv si ricava dalle curve cedimento-tempo.

Risultati conseguiti: si sono determinati i valori del coefficiente di compressibilità (mv) e del modulo edometrico $M(E_{ed})$ nell'intervallo di pressione carico (pressione verticale) compreso tra 24,5 kPa e 3138 kPa, riassunti in tabella

denominazione	Profondità (m)	Pressione (kPa)	$M(E_{ed})$ (kPa)	mv (kPa ⁻¹)	mv (m ² /MN)
C1	2,1 – 2,5	24,5	3180	$3,1 \times 10^{-4}$	0,31
		49	3540	$2,8 \times 10^{-4}$	0,28
		98	4010	$2,4 \times 10^{-4}$	0,24
		196	5040	$1,9 \times 10^{-4}$	0,19
		392	7110	$1,3 \times 10^{-4}$	0,14
		784	10110	$8,9 \times 10^{-5}$	0,098
		1568	14490	$5,9 \times 10^{-5}$	0,069
		3138	27730	$2,9 \times 10^{-5}$	0,028
C2	4,0 – 4,6	24,5	2120	$4,7 \times 10^{-4}$	0,47
		49	2030	$4,8 \times 10^{-4}$	0,49
		98	2160	$4,4 \times 10^{-4}$	0,46
		196	3500	$2,7 \times 10^{-4}$	0,28
		392	4800	$1,9 \times 10^{-4}$	0,20
		784	8020	$1,1 \times 10^{-4}$	0,12
		1568	1364	$5,9 \times 10^{-5}$	0,73
		3138	2790	$2,7 \times 10^{-5}$	0,35

I valori di mv ricavati sul campione C1 presentano una discreta corrispondenza rispetto ai livelli argillosi normalconsolidati riscontrati nel sondaggio. Il calcolo del modulo edometrico è inoltre compatibile con quanto rilevato dalle prove penetrometriche. A questo dato si associa un basso valore di cv , che è direttamente proporzionale al coefficiente di permeabilità (basso).

I valori di mv calcolati sul campione C2 sono correlabili a litologie sottoconsolidate da cui risultano valori del modulo edometrico decisamente più bassi, comunque compatibili con quanto rilevato dalle prove penetrometriche.

7. RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE E PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO

La componente pericolosità del rischio sismico dipende:

- dalle caratteristiche sismiche dell'area, cioè dalle sorgenti sismiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti; questi aspetti sono indicati come "pericolosità sismica di base";
- dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio, in quanto alcuni depositi e forme del paesaggio possono modificare le caratteristiche del moto sismico in superficie e costituire aspetti predisponenti al verificarsi di effetti locali quali fenomeni di amplificazione o di instabilità dei terreni (cedimenti, frane, fenomeni di liquefazione); questi aspetti sono comunemente indicati come "pericolosità sismica locale".

7.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE: SISMICITÀ DEL TERRITORIO E CLASSIFICAZIONI

La pericolosità sismica di base, intesa in senso probabilistico, è lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo.

Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input (quali catalogo dei terremoti, zone sorgente, relazione di attenuazione del moto del suolo, ecc.) e dei parametri di riferimento (scuotimento in accelerazione/spostamento, tipo di suolo, finestra temporale, ecc.).

La zonazione sismogenetica del territorio nazionale, chiamata ufficialmente ZS9, che identifica le zone sorgente a caratteristiche sismiche omogenee, elaborata da I.N.G.V. (2003), colloca l'area in oggetto nella zona sismogenetica **912**, ovvero in prossimità della zona sismogenetica 913. Le zone 913 e 912 sono quelle con un potenziale sismico tale da generare effetti non trascurabili nel territorio del Comune di **Modena**. Altre zone sismogenetiche al contorno vengono considerate poco influenti pur generando terremoti con magnitudo a volte anche elevata (ad es. la zona 915).

Le citate zone sono principalmente collegate a meccanismi focali compressivi e trascorrenti, che si originano nella Dorsale Ferrarese ma risentono anche dell'attività sismica del margine appenninico e, seppur in modo subordinato, della sismicità della zona subalpina. Risultano secondari e subordinati i meccanismi focali distensivi.

Gli eventi sismici di maggiore intensità per l'area di interesse si sono verificati nella pianura emiliana, il reggiano e il parmense, con ipocentri concentrati prevalentemente nei primi 10/15 km del sottosuolo (attività sismogenetica di tipo superficiale), e più di recente con la crisi sismica che ha colpito la bassa pianura modenese e ferrarese nel maggio-giugno 2012; la distribuzione degli ipocentri focali che si generano tra -10 e -40 km dal piano campagna, è simile a quella più superficiale ma contraddistinta da intensità e frequenza inferiori.

Nell'ambito territoriale a cui appartiene il **Comune di Modena**, il Database Macrosismico Italiano DBMI15 (a cura di A. Rovida, M. Locati, R. Camassi et. Alti), utilizzato per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 (Gruppo di lavoro CPTI, 2015 – INGV) sono documentati gli eventi sismici giungenti al 7°-8° grado della scala Mercalli – Cancani Siedberg, con intensità variabile tra $M = 5.9 \div 6.05$.

L'OPCM 3519/2006 ha indicato i Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone. A tale ordinanza è allegata la Mappa di Pericolosità Sismica di riferimento a scala nazionale (progetto DPC-INGV-S1) nella quale è possibile verificare che il territorio di interesse è compreso nell'area caratterizzata da valori dell'accelerazione massima al suolo (a_{max}), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, All. 2, 3.1), compresi **tra 0,150 e 0,175 g**.

La Regione Emilia-Romagna, in data 02-05-2007, ha approvato la Del. n. 112 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica."; in All. A4 sono riportati i valori di accelerazione max, espressa sempre in frazione

dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}), per ogni comune della Regione. Per il Comune di **Modena** risulta **$a_{refg}=0,163$** .

Con l'aggiornamento apportato dalla DGR n.2193/2015 la Regione Emilia-Romagna ha disposto che la pericolosità sismica sia valutata a partire dai valori di a_{refg} elaborati da INGV per il territorio nazionale, resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0,05 gradi, e disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, tema "Sismica – Microzonazione Sismica". Il valore di a_{refg} relativo al sito analizzato si ottiene interpolando i valori di a_{refg} definiti nei punti della griglia più prossimi al sito oppure utilizzando il valore del punto della griglia più vicino. A tal riguardo, per il sito di interesse si è ottenuto il valore **$a_{refg}=0,162$** per edifici in classe d'uso 2.

Le Nuove NTC (2018), col sostegno dei risultati del progetto S1-INGV, consentono di definire la pericolosità sismica di base attraverso le forme spettrali per differenti periodi di ritorno T_R , a iniziare dai valori dei parametri:

a_g accelerazione orizzontale massima;

F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per la definizione della pericolosità si fa riferimento a 4 stati limite per l'azione sismica (SLO, SLD, SLV, SLC), al cui crescere fanno corrispondere una progressiva crescita del danneggiamento dell'insieme di struttura, elementi non strutturali ed impianti. A seconda delle caratteristiche prestazionali richieste alla generica costruzione si possono ricavare l'accelerazione del suolo a_g e le forme dello spettro di risposta di progetto per ciascun sito, costruzione, situazione d'uso, stato limite.

A partire dalle coordinate geografiche e caratteristiche prestazionali dei manufatti di interesse, facendo riferimento alla media pesata dei valori che si riferiscono a quattro punti del reticolo che comprendono l'area in oggetto (coordinate espresse in ED50):

latitudine: 44,664278

longitudine: 10,918848

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 16058	Lat: 44,6565	Lon: 10,8908	Distanza: 2379,182
Sito 2	ID: 16059	Lat: 44,6580	Lon: 10,9610	Distanza: 3407,667
Sito 3	ID: 15837	Lat: 44,7080	Lon: 10,9589	Distanza: 5800,000
Sito 4	ID: 15836	Lat: 44,7065	Lon: 10,8887	Distanza: 5262,326

si è potuto risalire ai seguenti valori dei parametri e agli spettri di risposta per i diversi stati limite:

Operatività (SLO):		Danno (SLD):	
Probabilità di superamento:	81 %	Probabilità di superamento:	63 %
Tr:	30 [anni]	Tr:	50 [anni]
a_g :	0,047 g	a_g :	0,059 g
F_o :	2,475	F_o :	2,506
T_c^* :	0,253 [s]	T_c^* :	0,269 [s]
Salvaguardia della vita (SLV):		Prevenzione dal collasso (SLC):	
Probabilità di superamento:	10 %	Probabilità di superamento:	5 %
Tr:	475 [anni]	Tr:	975 [anni]
a_g :	0,162 g	a_g :	0,214 g
F_o :	2,484	F_o :	2,471
T_c^* :	0,280 [s]	T_c^* :	0,283 [s]



7.2 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO DAL PUNTO DI VISTA SISMOSTRATIGRAFICO

Si è eseguita sul terreno oggetto di studio una campagna di indagine geofisica comprensiva di:

- n. 1 indagine sismica con metodo MASW di tipo attivo;
- n. 2 indagini sismiche passive mediante la metodologia HVSr.

L'indagine è stata svolta con l'obiettivo primario di determinare la sismostratigrafia dell'area di intervento, nonché la velocità ponderata delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri a partire da piano campagna (V_{s30}), in riferimento al D.M. 17/01/18 ("Nuove NTC").

I dati ottenuti dalla prospezione sismica di superficie sono stati opportunamente tarati con dati stratigrafici e litologici presenti in bibliografia (pozzi, sezioni stratigrafiche ecc.) e delle prove penetrometriche eseguite in sito. Tali indagini hanno consentito la creazione del modello sismostratigrafico del terreno, la definizione del profilo di V_s con la profondità e quindi all'analisi di risposta sismica locale del suolo di fondazione.

7.2.1 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA MASW

La Base Masw, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta la geometria come sotto indicato:

➤ Numero geofoni 24	➤ Spaziatura geofoni 2,0 m
➤ Lunghezza stendimento geofonico 46,0 m	➤ Distanza punto di shot da ultimo geofono 4,0 m
➤ Lunghezza complessiva 50 m	

I diagrammi di "dispersione Frequenza (Hz)/Vel. di Fase (m/s) con analisi spettrale (picking)" – e di "inversione" sono riportati in **Figura 17**.

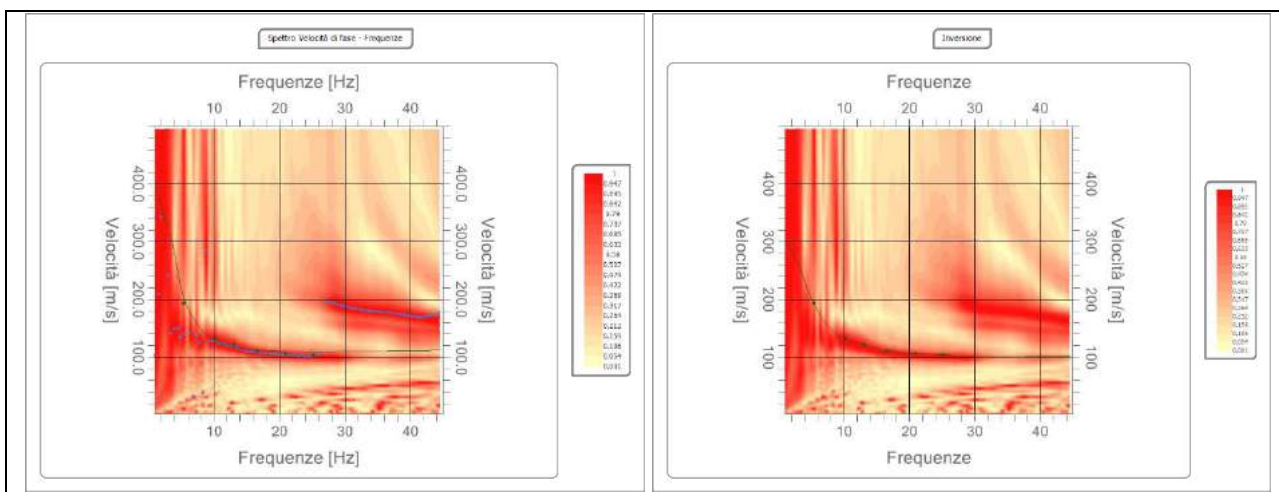


Figura 17: diagrammi della curva di dispersione e di inversione del sito in oggetto

Di seguito si riporta il modello sismostratigrafico in forma tabellare e l'andamento della curva delle onde S con la profondità (**Figura 18**). I valori della velocità media delle onde di taglio V_s risultano:

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
2.98	2.98	106.83
5.98	3.00	143.72
9.34	3.37	152.79
18.81	9.46	242.02
24.17	5.37	242.07
oo	oo	345.20

Ai vari sismo-strati è stato associato il valore della velocità V_s , consentendo di ottenere la seguente V_{s30} (velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo):

$$V_{s30} = \mathbf{201,42 \text{ m/sec}} \text{ (da p.c. a -30,0 m).}$$

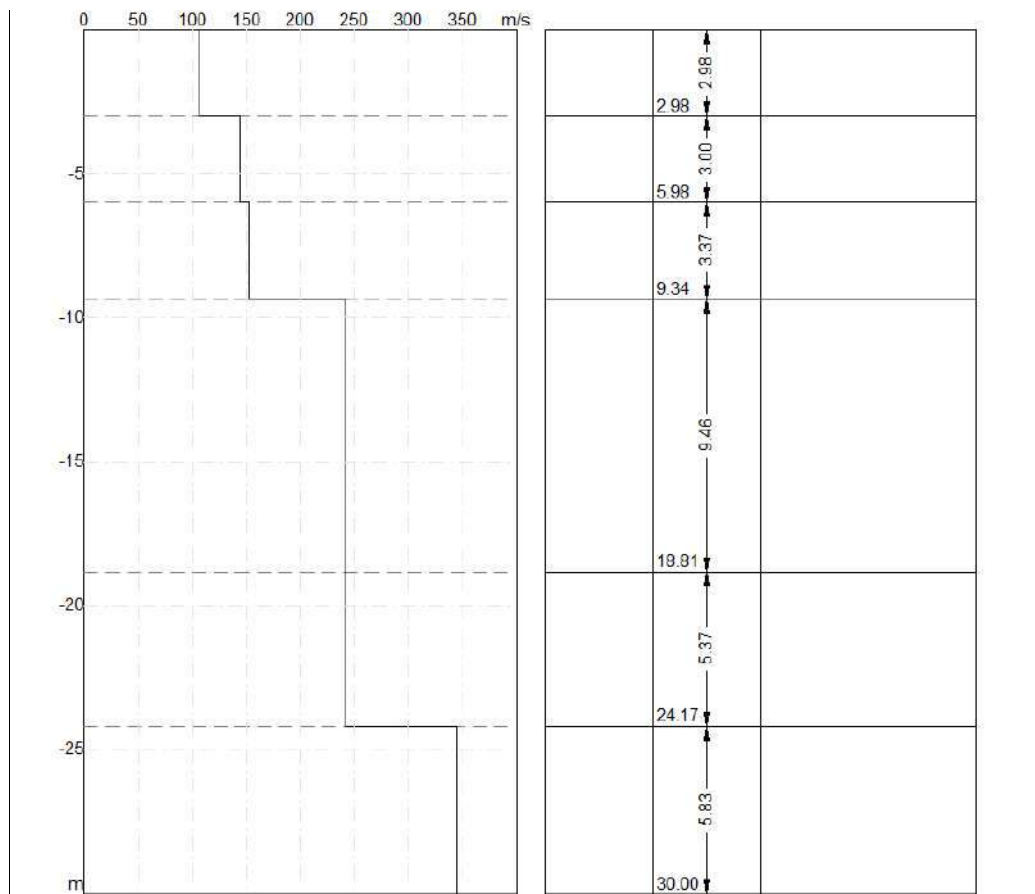


Figura 18: diagramma velocità V_s /profondità da prova MASW

7.2.2 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA HVSR

Per la misura HV n.1 è stata selezionata la seguente frequenza (diagrammi in figura 19):

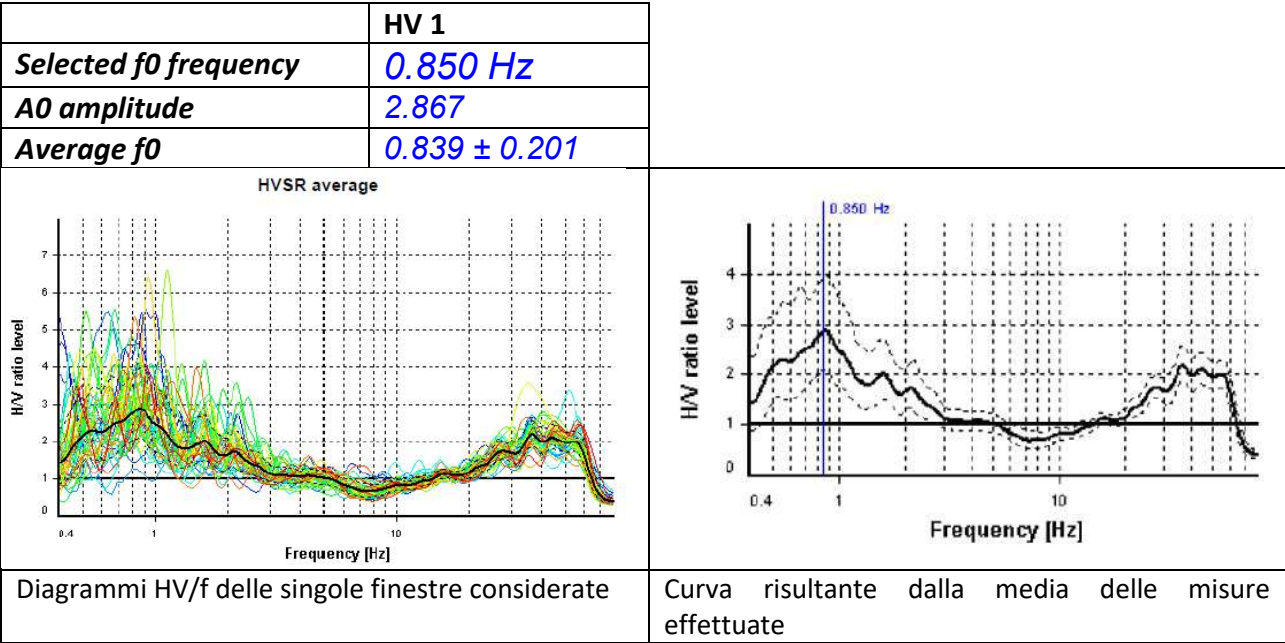


Figura 19: diagrammi HVSR/f delle singole finestre considerate e curva risultante dalla media delle misure effettuate, con evidenziata la frequenza di picco

Tra i massimi rapporti spettrali H/V si è selezionato, per il terreno in oggetto, una frequenza pari a 0,850 Hz, con un valore del rapporto H/V poco superiore a 2,85. Tale contrasto sismico evidenzia una superficie di contatto tra terreni a differente rigidità alla quota di circa -160/170 m dal piano di campagna.

Di seguito (figura 20a-b) si riporta la sovrapposizione tra la curva sperimentale e la curva sintetica HVSR, il modello sismostratigrafico e l’andamento delle curve delle onde P ed S con la profondità.

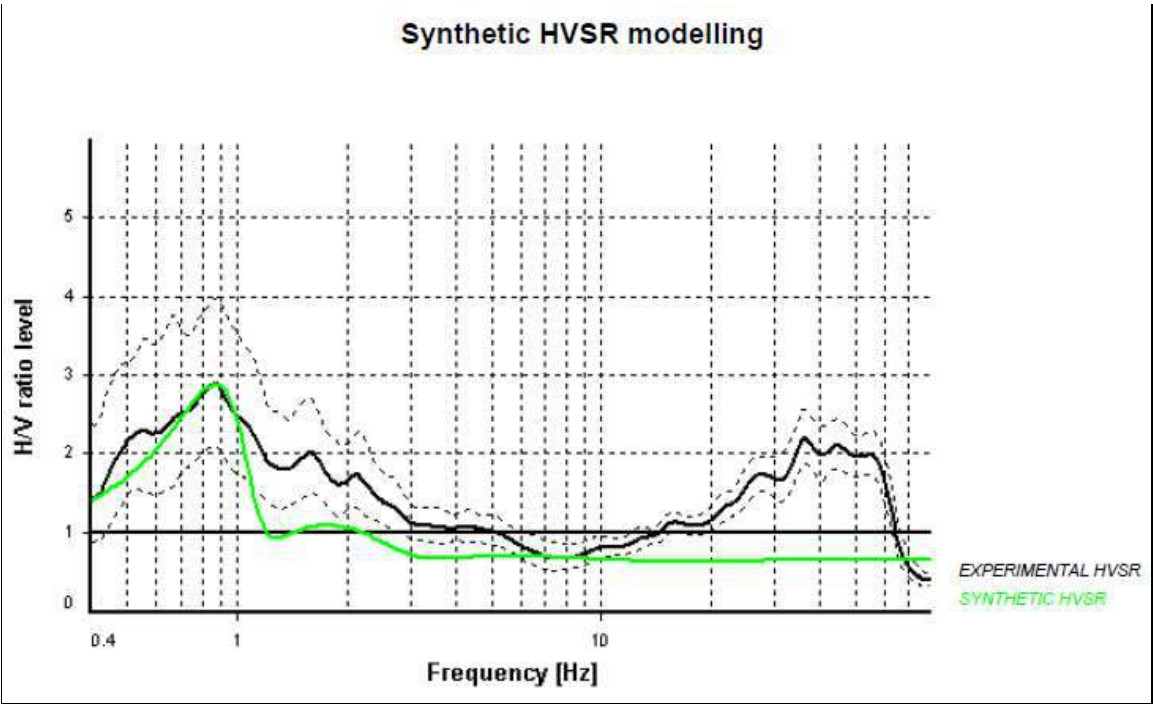


Figura 20 a: curva sperimentale e curva sintetica HVSR

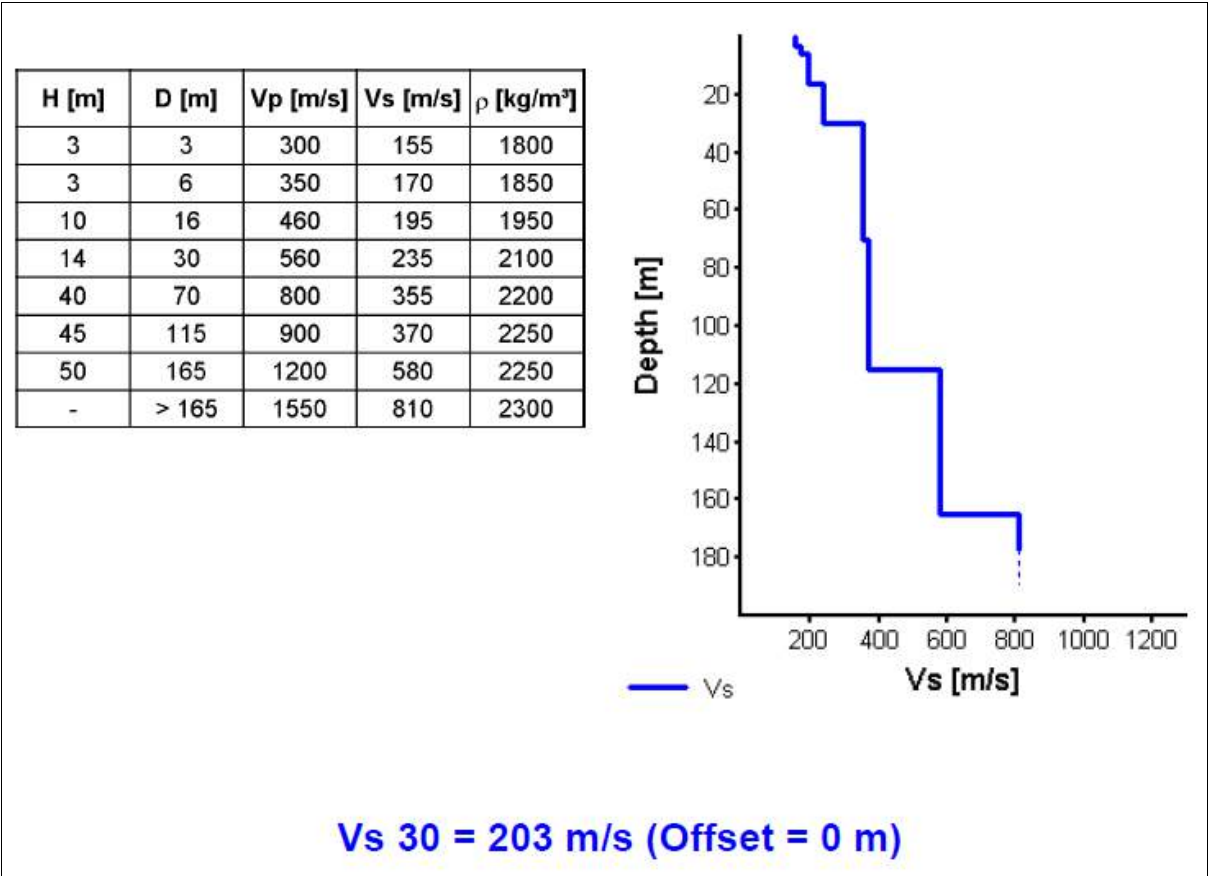


Figura 20 b: modello sismostratigrafico del terreno-TR1

Per la misura **HV n.2** è stata selezionata la seguente frequenza (diagrammi in **figura 21**):

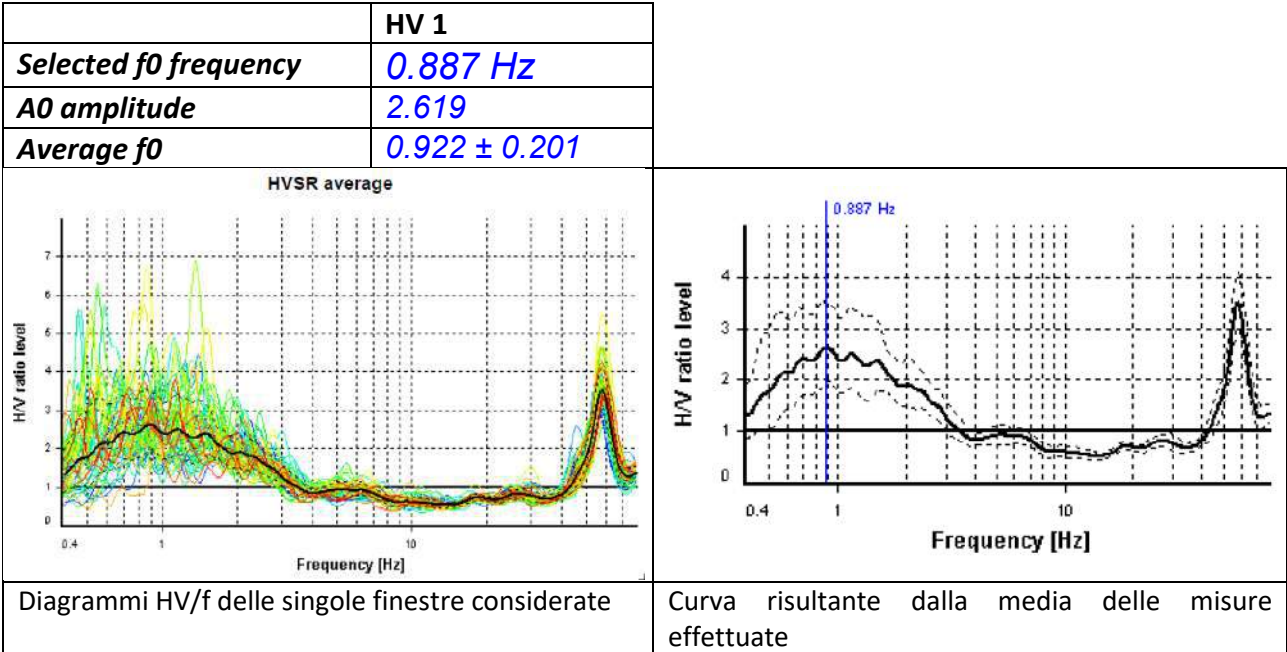


Figura 21: diagrammi HVSR/f delle singole finestre considerate e curva risultante dalla media delle misure effettuate, con evidenziata la frequenza di picco

Tra i massimi rapporti spettrali H/V si è selezionato, per il terreno in oggetto, una frequenza pari a 0,887 Hz, con un valore del rapporto H/V poco superiore a 2,6. Tale contrasto sismico evidenzia una superficie di contatto tra terreni a differente rigidità alla quota di circa -150/160 m dal piano di campagna.

Di seguito (**figura 22a-b**) si riporta la sovrapposizione tra la curva sperimentale e la curva sintetica HVSR, il modello sismostratigrafico e l'andamento delle curve delle onde P ed S con la profondità.

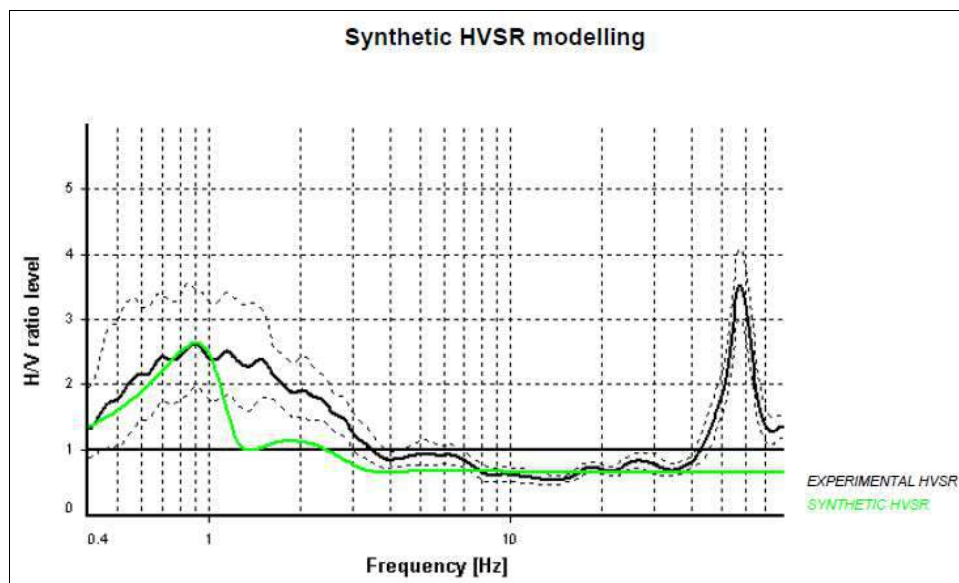


Figura 22 a: curva sperimentale e curva sintetica HVSR

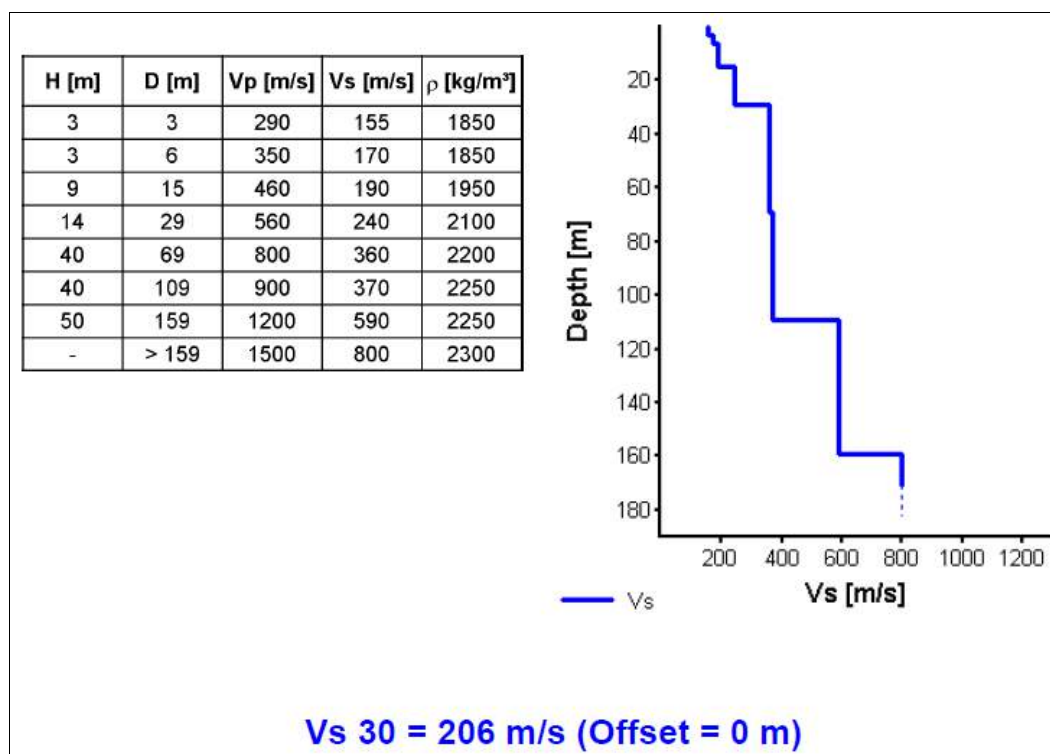


Figura 22 b: modello sismostratigrafico del terreno-TR1

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 $V_{s,30}$, di cui si riporta il valore per i primi 30 m di sottosuolo:

HV1: $V_{s,30}$ = 203 m/sec (da p.c. a -30,0 m);

HV2: $V_{s,30}$ = 206 m/sec (da p.c. a -30,0 m).

7.3 CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO AI SENSI DELLE NTC 2018

I risultati delle indagini geofisiche hanno permesso la ricostruzione del modello di sottosuolo per l'analisi di risposta sismica locale riferita a un approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'equazione 3.2.1 delle NTC 2018.

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 nell'equazione 3.2.1 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Dalle verifiche si evince che la descrizione e i valori di V_s corrispondono alla **categoria** del suolo di fondazione di **tipo C**, definita *"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"*.

7.4 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA IN SUPERFICIE AI SENSI DELLE NTC 2018

La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione (spettro normalizzato) per uno smorzamento convenzionale del 5%. Esso fornisce la risposta massima in accelerazione del generico sistema dinamico elementare con periodo di oscillazione $T \leq 4$ s ed è espresso come il prodotto di una forma spettrale per l'accelerazione massima del terreno.

La forma spettrale per le componenti orizzontali è definita mediante F_0 , insieme alle grandezze a_g , T_c . Per la componente verticale, invece, le uniche grandezze fornite in funzione della pericolosità del sito sono l'accelerazione massima, posta pari alla massima accelerazione orizzontale del suolo a_g , e l'amplificazione spettrale massima F_v , espressa come funzione di a_g .

L'accelerazione spettrale massima dipende dal coefficiente $S = S_S \cdot S_T$ che comprende gli effetti delle amplificazioni stratigrafica (S_S) e topografica (S_T). Per le componenti orizzontali dell'azione sismica, il periodo T_c di inizio del tratto a velocità costante dello spettro, è funzione invece del coefficiente C_c , dipendente anch'esso dalla categoria di sottosuolo.

7.4.1 DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICO

Per le componenti orizzontali dell'azione sismica il coefficiente S_S è definito nella Tabella 3.2.IV delle NTC. Esso è il rapporto tra il valore dell'accelerazione massima attesa in superficie e quello su sottosuolo di categoria A ed è definito in funzione della categoria di sottosuolo e del livello di pericolosità sismica del sito (descritto dal prodotto $F_0 \cdot a_g$). Delle seguenti espressioni si evidenzia quella corrispondente alla categoria precedentemente identificata.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_S e di C_c		
Categoria sottosuolo	S_S	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

7.4.2 DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICO

La modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno va attribuita alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche ed all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello diffratto. I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza. Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III), di cui si evidenzia la **categoria T1** come quella corrispondente al sito in oggetto.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

In funzione delle categorie topografiche i valori del coefficiente topografico S_T sono riportati nella Tab. 3.2.V

Tab. 3.2.V – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

7.4.3 COEFFICIENTI SISMICI E ACCELERAZIONE MASSIMA IN SUPERFICIE A_{MAX} PER I DIVERSI STATI LIMITE

Sulla base delle caratteristiche litologiche e di risposta sismica riscontrate al contorno dell'area e della classificazione contenuta nelle NTC 2018, tenuto conto dell'accelerazione al suolo di riferimento, si riportano i seguenti **coefficienti sismici e accelerazione massima in superficie A_{MAX}** per i diversi stati limite:

<p>SLO:</p> <p>Ss: 1,500</p> <p>Cc: 1,650</p> <p>St: 1,000</p> <p>Kh: 0,014</p> <p>Kv: 0,007</p> <p>Amax: 0,696</p> <p>Beta: 0,200</p>	<p>SLD:</p> <p>Ss: 1,500</p> <p>Cc: 1,620</p> <p>St: 1,000</p> <p>Kh: 0,018</p> <p>Kv: 0,009</p> <p>Amax: 0,865</p> <p>Beta: 0,200</p>
<p>SLV:</p> <p>Ss: 1,460</p> <p>Cc: 1,600</p> <p>St: 1,000</p> <p>Kh: 0,057</p> <p>Kv: 0,028</p> <p>Amax: 2,320</p> <p>Beta: 0,240</p>	<p>SLC:</p> <p>Ss: 1,380</p> <p>Cc: 1,590</p> <p>St: 1,000</p> <p>Kh: 0,083</p> <p>Kv: 0,041</p> <p>Amax: 2,899</p> <p>Beta: 0,280</p>

7.5 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO ATTESO IN SUPERFICIE DI CUI ALLE NTC 2018

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR (v. § 2.4 e § 3.2.1).

Gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s. Per strutture con periodi fondamentali superiori lo spettro deve essere definito da apposite analisi ovvero l'azione sismica deve essere descritta mediante accelerogrammi.

A partire dalla categoria di sottosuolo C determinata per il sito in oggetto si definisce il seguente spettro di risposta elastico:

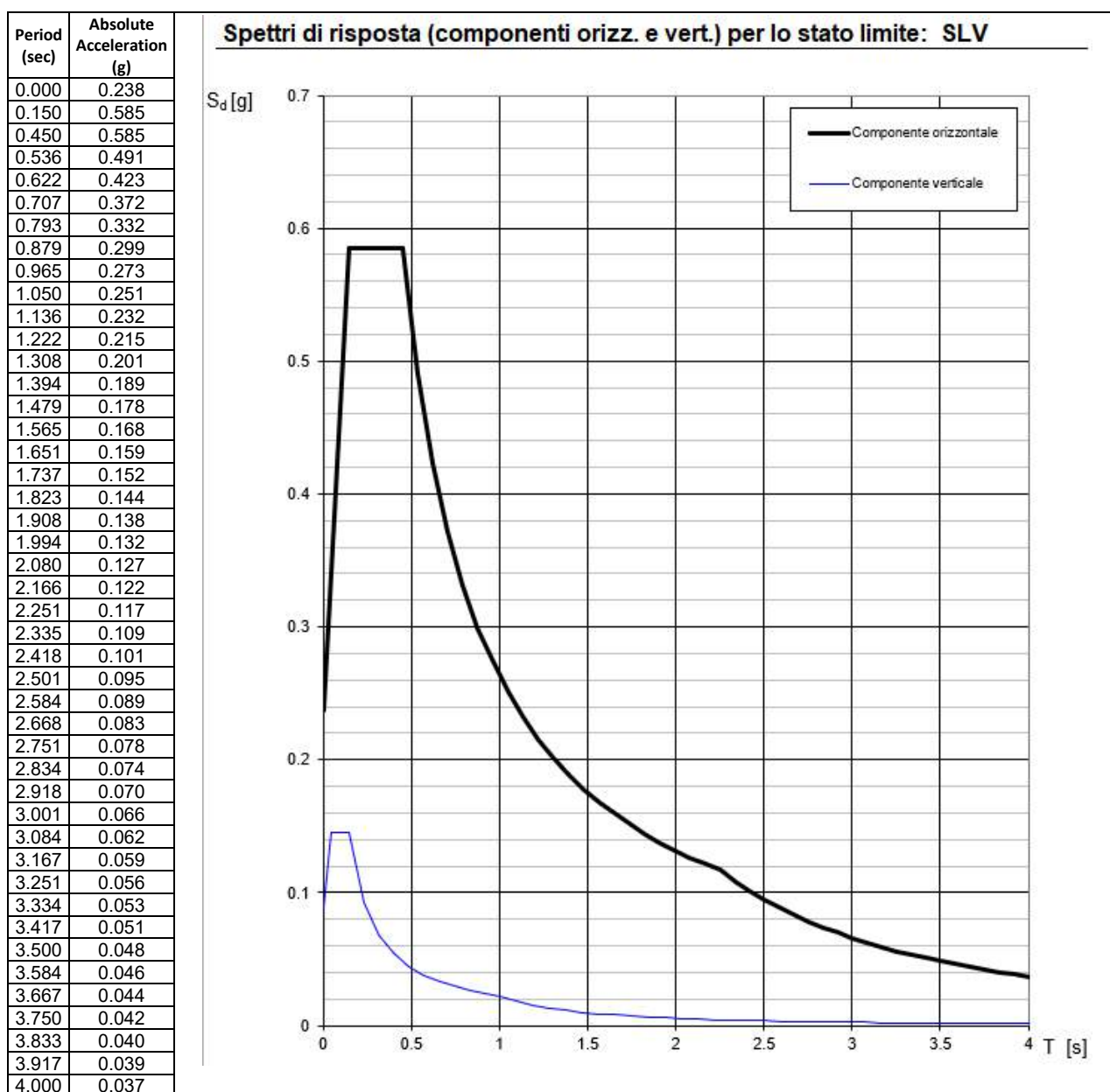


Figura 23: spettro di risposta relativo alla categoria di sottosuolo C definibile attraverso un approccio semplificato (NTC 2018)

7.6 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE E CALCOLO DEI CEDIMENTI POST SISMICI

DESCRIZIONE PROCEDIMENTO: il termine liquefazione denota la circostanza, causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, caratterizzata da deformazioni permanenti significative o dall'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. Il rischio di liquefazione deve essere valutato per tutti i terreni suscettibili di tale comportamento.

Nel sito in oggetto i terreni posizionati nei primi 20,0 m dal piano di campagna corrispondono a depositi alluvionali da mediamente a molto consistenti, intercalati a livelli granulari fini con un medio grado di addensamento. A parte le coperture più superficiali, tutti i livelli sottostanti sono sede di un acquifero, definito multistrato e multicompartimentato, e presentano, in linea di principio, le condizioni predisponenti il fenomeno di liquefazione in caso di sisma.

Il rischio di liquefazione può essere stimato con metodi semplificati dai risultati di prove SPT (Standard Penetration Test), CPT (Cone Penetration Test), DMT (Dilatometer Test) e da misure della velocità delle onde di taglio (VS), ottenute da prove sismiche in foro (di tipo down-hole o cross-hole), mediante il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione IL di Iwasaki et al. (1982).

Nel presente elaborato la verifica alla liquefazione è stata eseguita secondo il metodo che permette di correlare la resistenza al taglio mobilitata nel terreno con i risultati della prova penetrometrica statica CPT.

L'indice IL è un parametro che quantifica i possibili effetti della liquefazione in superficie, tenendo conto della severità dell'azione sismica, della profondità, spessore e valore del fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione. L'uso dell'indice IL consente la stesura delle carte di rischio di liquefazione, in cui un territorio è suddiviso in zone di differente classe di potenziale di liquefazione. Le classi di potenziale di liquefazione, proposte da **Sonmez (2003)**, sulla base della tipologia e dell'intensità dei fenomeni di liquefazione osservati durante i terremoti storici, sono le seguenti:

IL (LPI)	Potenziale di liquefazione	Pericolosità di liquefazione
0	Non liquefacibile ($FSL \geq 1.2$)	Nulla
$0 < IL \leq 2$	Basso	Bassa
$2 < IL \leq 5$	Moderato	Moderata
$5 < IL \leq 15$	Alto	Alta
$IL > 15$	Molto alto	Molto alta

L'indice IL è definito nel modo seguente:

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

, in cui z_{crit} indica la profondità massima (assunta pari a 20 m) alla quale strati liquefatti producono effetti in superficie, $F(z)$ è una variabile con valori compresi tra 0 e 1, definita ad ogni profondità $0 \leq z \leq z_{crit}$ in funzione del valore che, a quella profondità, assume il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione FSL, e che assume il valore zero qualora lo strato sia giudicato non liquefacibile. $w(z)$ è un fattore di peso della profondità.

Il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione è definito nel modo seguente:

$$FSL = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_{\sigma} \quad \text{con}$$

$CRR_{7.5}$ = Rapporto di Resistenza Ciclica per $M = 7.5$ (Cyclic Resistance Ratio)

MSF = Fattore di Scala della Magnitudo (Magnitude Scale Factor)

K_{σ} = Fattore di correzione per la pressione di confinamento (Overburden Correction Factor)

$$CSR = 0.65 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \cdot r_d = \text{Rapporto di Tensione Ciclica (Cyclic Stress Ratio)}$$

in cui a_{max} è l'accelerazione massima in superficie, g è l'accelerazione di gravità, σ_{v0} e σ'_{v0} , le tensioni geostatiche verticali rispettivamente totali ed efficaci, e r_d un coefficiente di riduzione delle tensioni che tiene conto della deformabilità del terreno.

Per la stima di FSL è stato utilizzato il metodo di **Idriss & Boulanger (2008)**. Tale metodo è risultato quello che fornisce valori di IL più compatibili con gli effetti osservati a seguito degli eventi sismici del maggio 2012 in Emilia, così come riportato in vari documenti tecnici dal gruppo di lavoro liquefazione (costituito con prot. PG/2012/0134978 del 31 maggio 2012), coordinato dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e dal Dipartimento della Protezione Civile.

Il metodo di **Idriss & Boulanger (2008)** utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo IC che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q_n - 3.47)^2}$$

in cui i parametri F e Q_n valgono:

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} \cdot 100$$

$$Q_n = \left(\frac{q_c - \sigma_{v0}}{p_a} \right) \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

con p_a pressione atmosferica.

dove q_c è la resistenza alla punta, f_s è l'attrito laterale.

Se $IC > 2,6$ il suolo è ritenuto di tipo argilloso e l'analisi si ferma dato che il suolo non è liquefacibile.

Se $IC \leq 2,6$, vuol dire che l'ipotesi assunta è errata e IC deve essere ricalcolato nuovamente con le seguenti formule:

$$q_{cIN,cs} = q_{cIN} + \Delta q_{cIN}$$

$$\Delta q_{cIN} = \left(5.4 + \frac{q_{cIN}}{16} \right) \cdot \exp \left[1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01} \right)^2 \right]$$

La resistenza di punta normalizzata è calcolata nel modo seguente:

$$q_{cIN} = C_Q \cdot \left(\frac{q_c}{p_a} \right)$$

$$C_Q = \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n \leq 1.7$$

in cui l'esponente n vale:

$$n = 1.338 - 0.249 \cdot q_{cIN}^{0.264}$$

pertanto q_{cIN} è calcolato con procedimento iterativo.

La frazione fine FC (%) può essere stimata con l'equazione:

$$FC = 1.75 \cdot I_c^{3.25} - 3.7$$

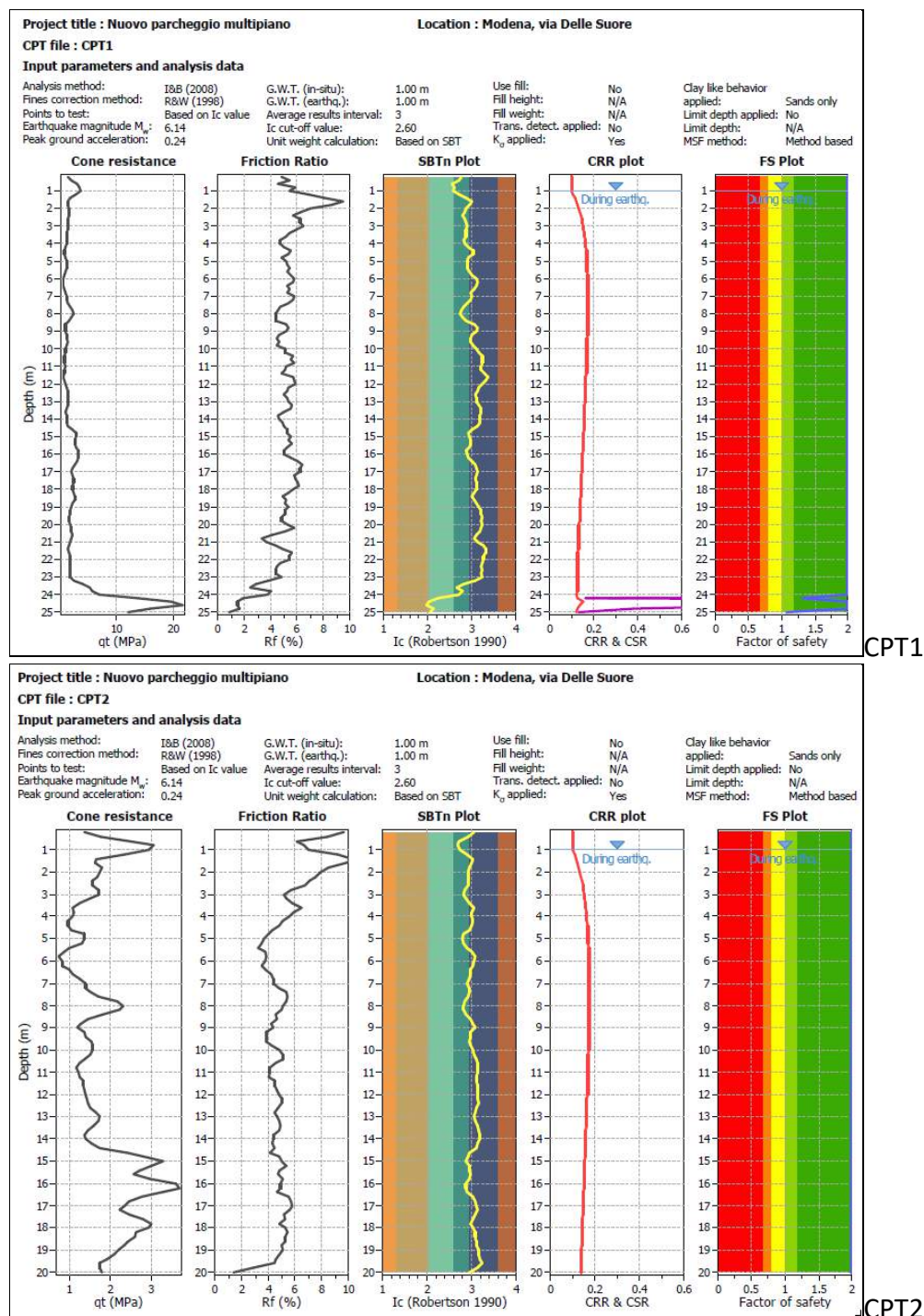
Il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione, FSL, è calcolato con la formula vista in precedenza in cui:

$$CRR_{7.5} = \exp \left[\frac{q_{cIN,cs}}{540} + \left(\frac{q_{cIN,cs}}{67} \right)^2 - \left(\frac{q_{cIN,cs}}{80} \right)^3 + \left(\frac{q_{cIN,cs}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

VERIFICA: i dati di input utilizzati per la stima dell'indice del potenziale di liquefazione in corrispondenza di ciascuna prova CPT, applicando il metodo di **Idriss e Boulanger (2008)**, sono:

- accelerazione sismica di progetto $A_{MAX}(g)$ pari a **0,24g**;
- magnitudo di riferimento M_w pari a **6,14** (da ZS9);
- profondità della falda in condizioni statiche e sismiche: **-1,0 m**.

RISULTATI LPI: nei grafici che seguono (**Figura 24**) si riporta l'andamento con la profondità dei parametri Q_t , R_f , I_c , CRR/CSR e F_s delle verticali di indagine:



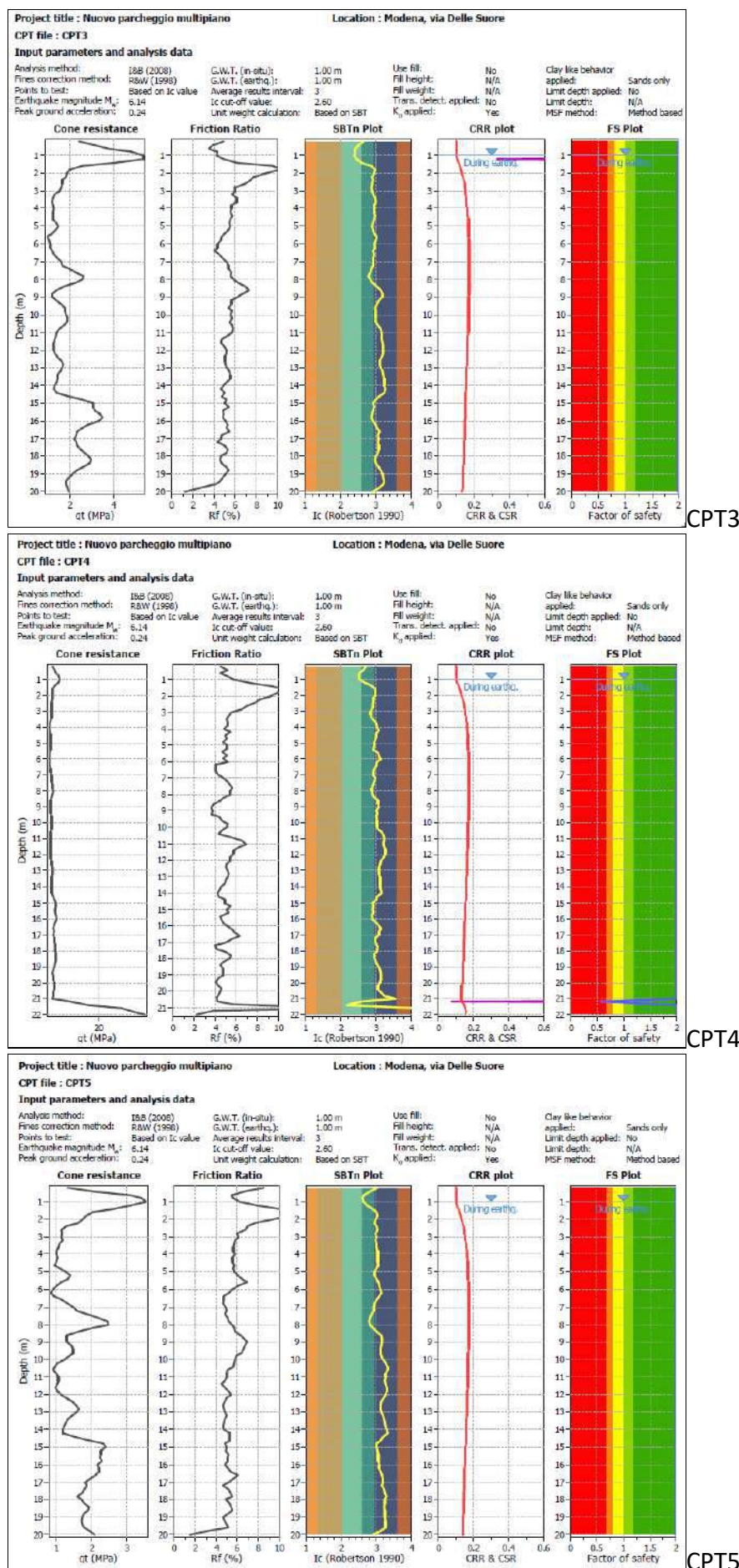


Figura 24: andamento con la profondità dei parametri Q_t , R_f , I_c , CRR/CSR e F_s



Dai diagrammi e dai valori numerici di ciascun parametro si denota che nel terreno di fondazione non sono presenti rari livelli di limo sabbioso, poco o mediamente addensati, saturi, con caratteristiche predisponenti la liquefazione.

Il calcolo del valore **Indice Potenziale di Liquefazione (IL)** ha restituito il seguente risultato (Figura 25):

	CPT 1	CPT 2	CPT 3	CPT 4	Media
IL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
potenziale di liquefazione	Nulla	Nulla	Nulla	Nulla	Nulla

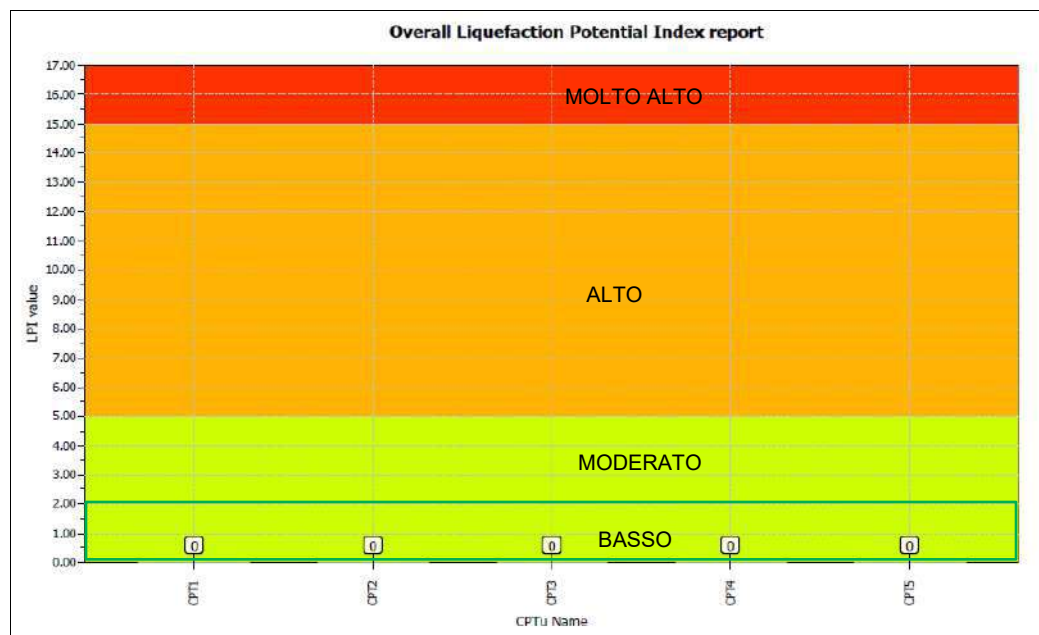


Figura 25: Indice del Potenziale di Liquefazione. La suddivisione in categorie è quella proposta da **Sonmez (2003)**.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI: il dettaglio della verifica eseguita riporta per il sito di interesse una *pericolosità* complessiva definita "**nulla**" secondo la classificazione proposta da Sonmez (2003), con un valore medio dell'Indice Potenziale di Liquefazione IL (o LPI) pari a **0,0**.

8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I rilevamenti effettuati hanno permesso di definire le condizioni geologiche, idrogeologiche, sismiche e di stabilità generale del terreno utili alla progettazione delle opere in oggetto.

La **modellazione geologica e idrogeologica** del sito ha evidenziato la presenza di litologie sedimentarie alluvionali sintetizzabili nel seguente schema:

Prof. tetto strato (m)	Prof. base strato (m)	Descrizione litologica
0,0	-1,0/-1,4	argilla limosa e sabbiosa consistente
-1,0/-1,4	-3,2/-4,0	argilla limosa mediamente consistente
-3,2/-4,0	-6,8/-7,4	argilla limosa da poco a mediamente consistente
-6,8/-7,4	-14,4/-14,6	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente
-14,4/14,6	-21,2/-23,4	argilla e limo con sabbia, consistente
-21,2/-23,4	-25,0	sabbia ghiaiosa/ghiaia sabbiosa alternata a livelli sabbiosi limosi e argillosi

Il rilievo della **falda** durante la campagna d'indagine ha riportato la misura compresa tra -1,6 m e -1,9 m dalla quota di piano campagna.

I valori di resistenza meccanica del terreno hanno consentito la creazione di un **Modello Geotecnico** di riferimento per il sito in oggetto:

Prof. tetto strato (m)	Prof. base strato (m)	Descrizione litologica	Cu (KPa)	Fi (°)
0,0	-1,0/-1,4	argilla limosa e sabbiosa consistente	70 – 130	23 – 26
-1,0/-1,4	-3,2/-4,0	argilla limosa mediamente consistente	48 – 56	20 – 21
-3,2/-4,0	-6,8/-7,4	argilla limosa da poco a mediamente consistente	35 – 40	18 – 20
-6,8/-7,4	-14,4/-14,6	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente	46 – 53	19 – 21
-14,4/14,6	-21,2/-23,4	argilla e limo con sabbia, consistente	50 – 80	19 – 22
-21,2/-23,4	-25,0	sabbia ghiaiosa/ghiaia sabbiosa alternata a livelli sabbiosi limosi e argillosi	–	29 – 35

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

Cu:	Coesione non drenata (KPa)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
-----	----------------------------	-----	------------------------------------

Le indagini geofisiche hanno consentito di ottenere un modello sismostratigrafico di dettaglio utile all'**Analisi di Risposta Sismica Locale**, con un grado di approfondimento conforme agli strumenti urbanistici e alla complessità del progetto. L'analisi di risposta sismica locale è stata quindi riferita a un approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in relazione alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'equazione 3.2.1 delle NTC 2018. Il risultato dei rilievi geofisici ha permesso di classificare il terreno di fondazione appartenente alla **categoria C**, come definito in Tab. 3.2.II.

05/12/2022

Dott. Geol. Francesco Dettori



[Redacted signature]

ALLEGATO: Certificati penetrometrici PROVE CPT

Caratteristiche Strumentali PAGANI 100 kN

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35.7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

PROVA ... Nr.1

Committente: Franco Iorio srl
Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN
Prova eseguita in data: 24/06/2020
Profondità prova: 25,00 mt
Località: Modena via Delle Suore

Profondità (m)	Lettura punta (Mpa)	Lettura laterale (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,82	1,20	0,83	0,08	10,38	9,6
0,40	3,47	4,60	3,48	0,11	31,64	3,2
0,60	2,65	4,30	2,66	0,21	12,67	7,9
0,80	3,57	6,70	3,58	0,14	25,57	3,9
1,00	4,89	7,00	4,90	0,33	14,85	6,7
1,20	2,96	7,90	2,99	0,18	16,61	6,0
1,40	1,53	4,30	1,56	0,16	9,75	10,3
1,60	1,53	4,00	1,56	0,16	9,75	10,3
1,80	1,73	4,20	1,76	0,16	11,00	9,1
2,00	1,84	4,20	1,87	0,14	13,36	7,5
2,20	1,94	4,10	1,98	0,11	18,00	5,6
2,40	1,73	3,40	1,77	0,12	14,75	6,8
2,60	1,84	3,60	1,88	0,11	17,09	5,9
2,80	1,63	3,30	1,67	0,12	13,92	7,2
3,00	1,63	3,50	1,67	0,11	15,18	6,6
3,20	1,53	3,20	1,58	0,10	15,80	6,3
3,40	1,43	3,00	1,48	0,08	18,50	5,4
3,60	1,53	2,80	1,58	0,08	19,75	5,1
3,80	1,33	2,60	1,38	0,08	17,25	5,8
4,00	1,53	2,70	1,58	0,07	22,57	4,4
4,20	1,22	2,20	1,29	0,07	18,43	5,4
4,40	0,71	1,70	0,78	0,05	15,60	6,4
4,60	0,92	1,70	0,99	0,06	16,50	6,1
4,80	1,22	2,00	1,29	0,06	21,50	4,7
5,00	1,43	2,40	1,50	0,08	18,75	5,3
5,20	1,33	2,50	1,41	0,09	15,67	6,4
5,40	1,33	2,70	1,41	0,08	17,63	5,7
5,60	1,43	2,60	1,51	0,08	18,88	5,3
5,80	0,82	2,00	0,90	0,05	18,00	5,6
6,00	0,92	1,70	1,00	0,06	16,67	6,0
6,20	0,71	1,60	0,80	0,05	16,00	6,3
6,40	0,71	1,40	0,80	0,05	16,00	6,3
6,60	1,12	1,80	1,21	0,06	20,17	5,0
6,80	1,22	2,10	1,31	0,08	16,38	6,1
7,00	1,33	2,60	1,42	0,08	17,75	5,6
7,20	1,33	2,50	1,44	0,10	14,40	6,9
7,40	1,53	3,00	1,64	0,10	16,40	6,1
7,60	2,14	3,60	2,25	0,11	20,45	4,9
7,80	2,45	4,10	2,56	0,12	21,33	4,7
8,00	2,45	4,20	2,56	0,12	21,33	4,7
8,20	2,55	4,40	2,67	0,12	22,25	4,5
8,40	1,73	3,50	1,85	0,09	20,56	4,9
8,60	1,02	2,40	1,14	0,05	22,80	4,4
8,80	0,92	1,70	1,04	0,08	13,00	7,7
9,00	1,22	2,40	1,34	0,07	19,14	5,2
9,20	1,22	2,20	1,36	0,06	22,67	4,4
9,40	1,63	2,60	1,77	0,09	19,67	5,1



9,60	1,43	2,80	1,57	0,07	22,43	4,5
9,80	1,43	2,50	1,57	0,08	19,63	5,1
10,00	1,22	2,50	1,36	0,06	22,67	4,4
10,20	1,02	1,90	1,17	0,08	14,63	6,8
10,40	1,02	2,10	1,17	0,06	19,50	5,1
10,60	0,92	1,80	1,07	0,07	15,29	6,5
10,80	1,02	2,00	1,17	0,07	16,71	6,0
11,00	1,12	2,10	1,27	0,08	15,88	6,3
11,20	0,92	2,00	1,08	0,05	21,60	4,6
11,40	0,92	1,60	1,08	0,06	18,00	5,6
11,60	0,61	1,50	0,77	0,04	19,25	5,2
11,80	0,82	1,40	0,98	0,07	14,00	7,1
12,00	1,22	2,20	1,38	0,08	17,25	5,8
12,20	1,33	2,60	1,51	0,09	16,78	6,0
12,40	1,43	2,80	1,61	0,08	20,13	5,0
12,60	1,53	2,80	1,71	0,10	17,10	5,8
12,80	1,63	3,10	1,81	0,09	20,11	5,0
13,00	1,53	2,90	1,71	0,10	17,10	5,8
13,20	1,53	3,10	1,72	0,10	17,20	5,8
13,40	1,22	2,80	1,41	0,08	17,63	5,7
13,60	1,02	2,20	1,21	0,07	17,29	5,8
13,80	1,22	2,20	1,41	0,06	23,50	4,3
14,00	1,43	2,40	1,62	0,08	20,25	4,9
14,20	1,12	2,20	1,32	0,08	16,50	6,1
14,40	1,33	2,50	1,53	0,08	19,13	5,2
14,60	2,14	3,40	2,34	0,12	19,50	5,1
14,80	3,16	4,90	3,36	0,20	16,80	6,0
15,00	3,37	6,30	3,57	0,20	17,85	5,6
15,20	2,24	5,20	2,46	0,14	17,57	5,7
15,40	2,35	4,50	2,57	0,14	18,36	5,4
15,60	3,37	5,50	3,59	0,22	16,32	6,1
15,80	2,86	6,10	3,08	0,14	22,00	4,5
16,00	3,77	5,90	3,99	0,19	21,00	4,8
16,20	3,37	6,20	3,60	0,23	15,65	6,4
16,40	2,75	6,10	2,98	0,20	14,90	6,7
16,60	2,75	5,70	2,98	0,18	16,56	6,0
16,80	2,14	4,90	2,37	0,18	13,17	7,6
17,00	2,04	4,70	2,27	0,14	16,21	6,2
17,20	2,14	4,20	2,38	0,14	17,00	5,9
17,40	2,35	4,50	2,59	0,16	16,19	6,2
17,60	2,55	4,90	2,79	0,18	15,50	6,5
17,80	2,24	4,90	2,48	0,16	15,50	6,5
18,00	2,14	4,60	2,38	0,15	15,87	6,3
18,20	2,55	4,80	2,81	0,14	20,07	5,0
18,40	2,86	5,00	3,12	0,17	18,35	5,4
18,60	2,65	5,20	2,91	0,14	20,79	4,8
18,80	2,14	4,30	2,40	0,14	17,14	5,8
19,00	1,84	4,00	2,10	0,11	19,09	5,2
19,20	1,94	3,60	2,21	0,12	18,42	5,4
19,40	1,53	3,40	1,80	0,10	18,00	5,6
19,60	1,63	3,10	1,90	0,10	19,00	5,3
19,80	1,53	3,00	1,80	0,09	20,00	5,0
20,00	1,84	3,20	2,11	0,11	19,18	5,2
20,20	1,94	3,60	2,22	0,14	15,86	6,3
20,40	1,94	4,10	2,22	0,14	15,86	6,3
20,60	2,04	4,20	2,32	0,08	29,00	3,4
20,80	2,35	3,50	2,63	0,09	29,22	3,4
21,00	1,73	3,10	2,01	0,08	25,13	4,0
21,20	1,43	2,70	1,73	0,08	21,63	4,6
21,40	1,43	2,60	1,73	0,10	17,30	5,8
21,60	1,53	3,00	1,83	0,10	18,30	5,5
21,80	1,73	3,30	2,03	0,13	15,62	6,4
22,00	1,94	3,90	2,24	0,12	18,67	5,4
22,20	1,73	3,50	2,04	0,12	17,00	5,9
22,40	1,73	3,50	2,04	0,08	25,50	3,9
22,60	1,94	3,20	2,25	0,10	22,50	4,4



22,80	1,53	3,10	1,84	0,10	18,40	5,4
23,00	1,94	3,40	2,25	0,10	22,50	4,4
23,20	2,04	3,50	2,36	0,14	16,86	5,9
23,40	2,96	5,00	3,28	0,09	36,44	2,7
23,60	6,63	8,00	6,95	0,16	43,44	2,3
23,80	6,12	8,50	6,44	0,18	35,78	2,8
24,00	4,08	6,80	4,40	0,42	10,48	9,5
24,20	9,79	16,00	10,13	0,23	44,04	2,3
24,40	26,51	30,00	26,85	0,19	141,32	0,7
24,60	21,11	24,00	21,45	0,49	43,78	2,3
24,80	15,91	23,30	16,25	0,33	49,24	2,0
25,00	9,59	14,60	9,93	0,00		0,0

PROVA ... Nr.2

Committente: Franco Iorio srl
Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN
Prova eseguita in data: 24/06/2020
Profondità prova: 20,00 mt
Località: Modena via Delle Suore

Profondità (m)	Lettura punta (Mpa)	Lettura laterale (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,92	1,80	0,93	0,14	6,64	15,1
0,40	2,24	4,30	2,25	0,14	16,07	6,2
0,60	2,14	4,30	2,15	0,19	11,32	8,8
0,80	3,16	6,00	3,17	0,15	21,13	4,7
1,00	3,87	6,10	3,88	0,30	12,93	7,7
1,20	1,73	6,20	1,76	0,20	8,80	11,4
1,40	1,33	4,30	1,36	0,18	7,56	13,2
1,60	1,84	4,50	1,87	0,16	11,69	8,6
1,80	1,63	4,10	1,66	0,16	10,38	9,6
2,00	1,84	4,20	1,87	0,16	11,69	8,6
2,20	1,63	4,00	1,67	0,12	13,92	7,2
2,40	1,43	3,20	1,47	0,12	12,25	8,2
2,60	1,53	3,40	1,57	0,11	14,27	7,0
2,80	1,63	3,30	1,67	0,10	16,70	6,0
3,00	1,84	3,40	1,88	0,10	18,80	5,3
3,20	1,53	3,00	1,58	0,08	19,75	5,1
3,40	1,02	2,20	1,07	0,08	13,38	7,5
3,60	1,02	2,10	1,07	0,07	15,29	6,5
3,80	1,02	2,00	1,07	0,08	13,38	7,5
4,00	1,12	2,20	1,17	0,06	19,50	5,1
4,20	0,92	1,80	0,99	0,06	16,50	6,1
4,40	0,61	1,40	0,68	0,03	22,67	4,4
4,60	1,12	1,60	1,19	0,06	19,83	5,0
4,80	1,22	2,00	1,29	0,06	21,50	4,7
5,00	1,53	2,40	1,60	0,06	26,67	3,8
5,20	1,12	2,00	1,20	0,04	30,00	3,3
5,40	1,02	1,60	1,10	0,04	27,50	3,6
5,60	0,61	1,20	0,69	0,02	34,50	2,9
5,80	0,71	1,00	0,79	0,04	19,75	5,1
6,00	0,61	1,20	0,69	0,03	23,00	4,3
6,20	0,82	1,20	0,91	0,03	30,33	3,3
6,40	0,71	1,10	0,80	0,03	26,67	3,8
6,60	1,12	1,60	1,21	0,06	20,17	5,0
6,80	1,12	1,90	1,21	0,06	20,17	5,0
7,00	1,22	2,00	1,31	0,06	21,83	4,6
7,20	1,53	2,50	1,64	0,08	20,50	4,9
7,40	1,12	2,20	1,23	0,08	15,38	6,5
7,60	1,53	2,70	1,64	0,10	16,40	6,1
7,80	2,14	3,70	2,25	0,12	18,75	5,3
8,00	2,55	4,30	2,66	0,15	17,73	5,6
8,20	1,94	4,20	2,06	0,10	20,60	4,9
8,40	1,84	3,40	1,96	0,10	19,60	5,1
8,60	1,33	2,80	1,45	0,06	24,17	4,1
8,80	0,82	1,70	0,94	0,05	18,80	5,3
9,00	1,33	2,10	1,45	0,06	24,17	4,1



9,20	1,02	1,80	1,16	0,05	23,20	4,3
9,40	1,33	2,10	1,47	0,05	29,40	3,4
9,60	1,43	2,20	1,57	0,06	26,17	3,8
9,80	1,43	2,40	1,57	0,07	22,43	4,5
10,00	1,43	2,50	1,57	0,08	19,63	5,1
10,20	1,43	2,60	1,58	0,10	15,80	6,3
10,40	1,22	2,70	1,37	0,07	19,57	5,1
10,60	1,02	2,00	1,17	0,06	19,50	5,1
10,80	1,02	1,80	1,17	0,06	19,50	5,1
11,00	1,02	1,80	1,17	0,04	29,25	3,4
11,20	1,12	1,70	1,28	0,06	21,33	4,7
11,40	1,12	2,00	1,28	0,06	21,33	4,7
11,60	1,22	2,00	1,38	0,07	19,71	5,1
11,80	1,12	2,10	1,28	0,06	21,33	4,7
12,00	1,22	2,10	1,38	0,07	19,71	5,1
12,20	1,33	2,40	1,51	0,08	18,88	5,3
12,40	1,22	2,50	1,40	0,08	17,50	5,7
12,60	1,22	2,40	1,40	0,07	20,00	5,0
12,80	1,53	2,60	1,71	0,08	21,38	4,7
13,00	1,63	2,90	1,81	0,08	22,63	4,4
13,20	1,53	2,80	1,72	0,09	19,11	5,2
13,40	1,43	2,80	1,62	0,09	18,00	5,6
13,60	1,22	2,60	1,41	0,07	20,14	5,0
13,80	1,12	2,10	1,31	0,06	21,83	4,6
14,00	1,12	2,00	1,31	0,05	26,20	3,8
14,20	1,33	2,10	1,53	0,08	19,13	5,2
14,40	1,53	2,70	1,73	0,08	21,63	4,6
14,60	1,73	2,90	1,93	0,10	19,30	5,2
14,80	3,37	4,80	3,57	0,14	25,50	3,9
15,00	2,65	4,80	2,85	0,18	15,83	6,3
15,20	3,26	6,00	3,48	0,19	18,32	5,5
15,40	2,45	5,30	2,67	0,13	20,54	4,9
15,60	1,73	3,70	1,95	0,09	21,67	4,6
15,80	2,86	4,20	3,08	0,16	19,25	5,2
16,00	3,67	6,10	3,89	0,22	17,68	5,7
16,20	3,67	6,90	3,90	0,18	21,67	4,6
16,40	3,06	5,70	3,29	0,17	19,35	5,2
16,60	2,45	5,00	2,68	0,13	20,62	4,9
16,80	2,14	4,10	2,37	0,18	13,17	7,6
17,00	2,04	4,80	2,27	0,12	18,92	5,3
17,20	2,14	4,00	2,38	0,12	19,83	5,0
17,40	1,73	3,50	1,97	0,15	13,13	7,6
17,60	2,75	5,00	2,99	0,13	23,00	4,3
17,80	3,16	5,10	3,40	0,18	18,89	5,3
18,00	2,35	5,10	2,59	0,14	18,50	5,4
18,20	2,55	4,70	2,81	0,16	17,56	5,7
18,40	2,24	4,60	2,50	0,15	16,67	6,0
18,60	2,24	4,50	2,50	0,12	20,83	4,8
18,80	2,04	3,90	2,30	0,13	17,69	5,7
19,00	1,94	3,90	2,20	0,12	18,33	5,5
19,20	1,84	3,60	2,11	0,11	19,18	5,2
19,40	1,63	3,30	1,90	0,09	21,11	4,7
19,60	1,43	2,80	1,70	0,08	21,25	4,7
19,80	1,33	2,50	1,60	0,08	20,00	5,0
20,00	1,63	2,90	1,90	0,00		0,0

PROVA ... Nr.3

Committente: Franco Iorio srl

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 24/06/2020

Profondità prova: 20,00 mt

Località: Modena via Delle Suore

Profondità (m)	Lettura punta (Mpa)	Lettura laterale (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	2,04	4,60	2,05	0,15	13,67	7,3
0,40	3,16	5,40	3,17	0,08	39,63	2,5



0,60	4,28	5,40	4,29	0,16	26,81	3,7
0,80	3,98	6,30	3,99	0,19	21,00	4,8
1,00	6,22	9,10	6,23	0,31	20,10	5,0
1,20	5,91	10,50	5,94	0,21	28,29	3,5
1,40	3,98	7,10	4,01	0,31	12,94	7,7
1,60	2,04	6,70	2,07	0,26	7,96	12,6
1,80	1,73	5,60	1,76	0,21	8,38	11,9
2,00	2,14	5,30	2,17	0,16	13,56	7,4
2,20	1,63	4,10	1,67	0,14	11,93	8,4
2,40	1,63	3,80	1,67	0,14	11,93	8,4
2,60	1,63	3,70	1,67	0,11	15,18	6,6
2,80	1,63	3,30	1,67	0,12	13,92	7,2
3,00	1,43	3,20	1,47	0,08	18,38	5,4
3,20	1,33	2,50	1,38	0,09	15,33	6,5
3,40	1,02	2,40	1,07	0,07	15,29	6,5
3,60	1,22	2,20	1,27	0,08	15,88	6,3
3,80	1,12	2,40	1,17	0,08	14,63	6,8
4,00	1,22	2,40	1,27	0,06	21,17	4,7
4,20	1,22	2,10	1,29	0,08	16,13	6,2
4,40	1,02	2,20	1,09	0,07	15,57	6,4
4,60	1,22	2,20	1,29	0,07	18,43	5,4
4,80	1,22	2,20	1,29	0,08	16,13	6,2
5,00	1,43	2,60	1,50	0,09	16,67	6,0
5,20	1,53	2,90	1,61	0,09	17,89	5,6
5,40	0,82	2,10	0,90	0,05	18,00	5,6
5,60	0,92	1,60	1,00	0,05	20,00	5,0
5,80	0,92	1,60	1,00	0,05	20,00	5,0
6,00	1,02	1,70	1,10	0,06	18,33	5,5
6,20	1,12	1,90	1,21	0,05	24,20	4,1
6,40	0,92	1,60	1,01	0,05	20,20	5,0
6,60	1,22	1,90	1,31	0,05	26,20	3,8
6,80	1,33	2,10	1,42	0,08	17,75	5,6
7,00	1,53	2,70	1,62	0,09	18,00	5,6
7,20	1,63	3,00	1,74	0,10	17,40	5,7
7,40	1,53	3,00	1,64	0,10	16,40	6,1
7,60	2,35	3,80	2,46	0,14	17,57	5,7
7,80	2,55	4,60	2,66	0,16	16,63	6,0
8,00	2,65	5,10	2,76	0,16	17,25	5,8
8,20	2,14	4,50	2,26	0,15	15,07	6,6
8,40	1,73	4,00	1,85	0,14	13,21	7,6
8,60	1,02	3,20	1,14	0,09	12,67	7,9
8,80	1,02	2,40	1,14	0,08	14,25	7,0
9,00	1,12	2,40	1,24	0,08	15,50	6,5
9,20	1,02	2,10	1,16	0,08	14,50	6,9
9,40	1,63	2,80	1,77	0,10	17,70	5,6
9,60	1,73	3,20	1,87	0,11	17,00	5,9
9,80	1,63	3,30	1,77	0,10	17,70	5,6
10,00	1,63	3,10	1,77	0,12	14,75	6,8
10,20	1,73	3,50	1,88	0,10	18,80	5,3
10,40	1,94	3,50	2,09	0,12	17,42	5,7
10,60	1,53	3,40	1,68	0,10	16,80	6,0
10,80	1,33	2,80	1,48	0,10	14,80	6,8
11,00	1,22	2,70	1,37	0,08	17,13	5,8
11,20	1,22	2,50	1,38	0,08	17,25	5,8
11,40	1,12	2,20	1,28	0,06	21,33	4,7
11,60	1,02	1,90	1,18	0,06	19,67	5,1
11,80	1,12	1,90	1,28	0,07	18,29	5,5
12,00	1,12	2,10	1,28	0,08	16,00	6,3
12,20	1,02	2,10	1,20	0,06	20,00	5,0
12,40	1,22	2,10	1,40	0,08	17,50	5,7
12,60	1,53	2,70	1,71	0,09	19,00	5,3
12,80	1,53	2,90	1,71	0,09	19,00	5,3
13,00	1,43	2,80	1,61	0,09	17,89	5,6
13,20	1,43	2,80	1,62	0,09	18,00	5,6
13,40	1,22	2,60	1,41	0,09	15,67	6,4
13,60	1,12	2,50	1,31	0,08	16,38	6,1



13,80	1,33	2,50	1,52	0,08	19,00	5,3
14,00	1,12	2,40	1,31	0,07	18,71	5,3
14,20	0,92	1,90	1,12	0,06	18,67	5,4
14,40	1,12	1,90	1,32	0,06	22,00	4,5
14,60	1,53	2,50	1,73	0,10	17,30	5,8
14,80	2,65	4,20	2,85	0,13	21,92	4,6
15,00	2,86	4,80	3,06	0,18	17,00	5,9
15,20	3,06	5,80	3,28	0,17	19,29	5,2
15,40	2,65	5,20	2,87	0,16	17,94	5,6
15,60	3,06	5,50	3,28	0,14	23,43	4,3
15,80	3,77	5,90	3,99	0,21	19,00	5,3
16,00	2,96	6,10	3,18	0,17	18,71	5,3
16,20	2,55	5,10	2,78	0,14	19,86	5,0
16,40	2,24	4,40	2,47	0,15	16,47	6,1
16,60	2,24	4,50	2,47	0,12	20,58	4,9
16,80	1,84	3,70	2,07	0,13	15,92	6,3
17,00	2,14	4,10	2,37	0,09	26,33	3,8
17,20	1,94	3,30	2,18	0,10	21,80	4,6
17,40	2,04	3,60	2,28	0,12	19,00	5,3
17,60	2,35	4,10	2,59	0,15	17,27	5,8
17,80	2,35	4,60	2,59	0,14	18,50	5,4
18,00	2,65	4,80	2,89	0,14	20,64	4,8
18,20	2,75	4,90	3,01	0,13	23,15	4,3
18,40	2,75	4,70	3,01	0,15	20,07	5,0
18,60	2,35	4,60	2,61	0,15	17,40	5,7
18,80	1,94	4,20	2,20	0,12	18,33	5,5
19,00	1,94	3,80	2,20	0,12	18,33	5,5
19,20	1,63	3,40	1,90	0,10	19,00	5,3
19,40	1,43	2,90	1,70	0,08	21,25	4,7
19,60	1,53	2,80	1,80	0,08	22,50	4,4
19,80	1,73	3,00	2,00	0,08	25,00	4,0
20,00	1,63	2,80	1,90	0,00		0,0

PROVA ... Nr.4

Committente: Franco Iorio srl

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 24/06/2020

Profondità prova: 22,00 mt

Località: Modena via Delle Suore

Profondità (m)	Lettura punta (Mpa)	Lettura laterale (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	1,33	2,60	1,34	0,08	16,75	6,0
0,40	2,96	4,10	2,97	0,12	24,75	4,0
0,60	3,57	5,30	3,58	0,24	14,92	6,7
0,80	3,77	7,30	3,78	0,13	29,08	3,4
1,00	6,22	8,20	6,23	0,38	16,39	6,1
1,20	3,87	9,60	3,90	0,31	12,58	7,9
1,40	2,55	7,20	2,58	0,29	8,90	11,2
1,60	1,94	6,30	1,97	0,22	8,95	11,2
1,80	1,63	4,90	1,66	0,18	9,22	10,8
2,00	2,04	4,70	2,07	0,19	10,89	9,2
2,20	1,63	4,50	1,67	0,15	11,13	9,0
2,40	1,63	3,90	1,67	0,12	13,92	7,2
2,60	1,63	3,50	1,67	0,13	12,85	7,8
2,80	1,63	3,60	1,67	0,12	13,92	7,2
3,00	1,63	3,40	1,67	0,10	16,70	6,0
3,20	1,53	3,00	1,58	0,08	19,75	5,1
3,40	1,43	2,60	1,48	0,09	16,44	6,1
3,60	1,12	2,50	1,17	0,06	19,50	5,1
3,80	0,92	1,80	0,97	0,05	19,40	5,2
4,00	0,71	1,40	0,76	0,05	15,20	6,6
4,20	0,92	1,60	0,99	0,04	24,75	4,0
4,40	0,82	1,40	0,89	0,06	14,83	6,7
4,60	1,12	2,00	1,19	0,05	23,80	4,2
4,80	0,82	1,60	0,89	0,04	22,25	4,5
5,00	1,02	1,60	1,09	0,06	18,17	5,5



5,20	1,43	2,40	1,51	0,08	18,88	5,3
5,40	1,02	2,20	1,10	0,05	22,00	4,5
5,60	0,82	1,60	0,90	0,03	30,00	3,3
5,80	0,61	1,10	0,69	0,05	13,80	7,2
6,00	0,82	1,60	0,90	0,03	30,00	3,3
6,20	0,71	1,20	0,80	0,04	20,00	5,0
6,40	0,92	1,50	1,01	0,04	25,25	4,0
6,60	1,02	1,60	1,11	0,04	27,75	3,6
6,80	1,33	1,90	1,42	0,07	20,29	4,9
7,00	1,33	2,40	1,42	0,07	20,29	4,9
7,20	1,33	2,40	1,44	0,08	18,00	5,6
7,40	1,22	2,40	1,33	0,08	16,63	6,0
7,60	1,63	2,90	1,74	0,10	17,40	5,7
7,80	2,14	3,60	2,25	0,14	16,07	6,2
8,00	2,04	4,10	2,15	0,12	17,92	5,6
8,20	1,94	3,70	2,06	0,12	17,17	5,8
8,40	1,22	3,00	1,34	0,05	26,80	3,7
8,60	0,92	1,60	1,04	0,04	26,00	3,8
8,80	0,71	1,30	0,83	0,04	20,75	4,8
9,00	1,22	1,80	1,34	0,04	33,50	3,0
9,20	0,82	1,40	0,96	0,04	24,00	4,2
9,40	1,22	1,80	1,36	0,06	22,67	4,4
9,60	1,53	2,40	1,67	0,09	18,56	5,4
9,80	1,43	2,80	1,57	0,08	19,63	5,1
10,00	1,53	2,80	1,67	0,10	16,70	6,0
10,20	1,33	2,80	1,48	0,08	18,50	5,4
10,40	1,33	2,50	1,48	0,06	24,67	4,1
10,60	1,12	1,90	1,27	0,06	21,17	4,7
10,80	1,02	1,90	1,17	0,10	11,70	8,5
11,00	1,22	2,80	1,37	0,10	13,70	7,3
11,20	1,12	2,60	1,28	0,08	16,00	6,3
11,40	1,02	2,20	1,18	0,08	14,75	6,8
11,60	1,12	2,20	1,28	0,07	18,29	5,5
11,80	0,82	1,80	0,98	0,06	16,33	6,1
12,00	1,02	1,90	1,18	0,07	16,86	5,9
12,20	1,12	2,10	1,30	0,07	18,57	5,4
12,40	1,33	2,40	1,51	0,08	18,88	5,3
12,60	1,43	2,60	1,61	0,09	17,89	5,6
12,80	1,63	3,00	1,81	0,10	18,10	5,5
13,00	1,63	3,20	1,81	0,10	18,10	5,5
13,20	1,63	3,10	1,82	0,10	18,20	5,5
13,40	1,53	3,00	1,72	0,09	19,11	5,2
13,60	1,33	2,70	1,52	0,08	19,00	5,3
13,80	1,53	2,70	1,72	0,08	21,50	4,7
14,00	1,43	2,60	1,62	0,08	20,25	4,9
14,20	1,22	2,40	1,42	0,06	23,67	4,2
14,40	1,43	2,40	1,63	0,08	20,38	4,9
14,60	1,63	2,80	1,83	0,12	15,25	6,6
14,80	2,75	4,50	2,95	0,14	21,07	4,7
15,00	2,86	4,90	3,06	0,20	15,30	6,5
15,20	3,57	6,50	3,79	0,18	21,06	4,7
15,40	2,45	5,20	2,67	0,14	19,07	5,2
15,60	2,35	4,50	2,57	0,10	25,70	3,9
15,80	3,47	4,90	3,69	0,18	20,50	4,9
16,00	3,67	6,40	3,89	0,22	17,68	5,7
16,20	2,75	6,00	2,98	0,16	18,63	5,4
16,40	2,14	4,60	2,37	0,16	14,81	6,8
16,60	2,24	4,70	2,47	0,15	16,47	6,1
16,80	2,04	4,30	2,27	0,16	14,19	7,0
17,00	2,35	4,70	2,58	0,12	21,50	4,7
17,20	1,84	3,70	2,08	0,08	26,00	3,8
17,40	2,96	4,20	3,20	0,12	26,67	3,8
17,60	2,65	4,50	2,89	0,15	19,27	5,2
17,80	2,55	4,80	2,79	0,19	14,68	6,8
18,00	2,55	5,40	2,79	0,15	18,60	5,4
18,20	2,96	5,20	3,22	0,15	21,47	4,7



18,40	3,26	5,50	3,52	0,17	20,71	4,8
18,60	2,86	5,40	3,12	0,14	22,29	4,5
18,80	2,65	4,80	2,91	0,16	18,19	5,5
19,00	2,45	4,80	2,71	0,13	20,85	4,8
19,20	1,73	3,70	2,00	0,09	22,22	4,5
19,40	1,63	3,00	1,90	0,08	23,75	4,2
19,60	1,84	3,10	2,11	0,08	26,38	3,8
19,80	1,94	3,20	2,21	0,11	20,09	5,0
20,00	2,04	3,70	2,31	0,12	19,25	5,2
20,20	2,55	4,40	2,83	0,12	23,58	4,2
20,40	2,45	4,20	2,73	0,12	22,75	4,4
20,60	1,73	3,50	2,01	0,10	20,10	5,0
20,80	1,73	3,20	2,01	0,09	22,33	4,5
21,00	1,94	3,30	2,22	0,18	12,33	8,1
21,20	1,63	4,40	1,93	0,72	2,68	37,3
21,40	21,41	32,20	21,71	0,10	217,10	0,5
21,60	24,47	26,00	24,77	0,27	91,74	1,1
21,80	38,75	42,80	39,05	0,31	125,97	0,8
22,00	37,22	41,80	37,52	0,00		0,0

PROVA ... Nr.5

Committente: Franco Iorio srl

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 25/06/2020

Profondità prova: 20,00 mt

Località: Modena via Delle Suore

Profondità (m)	Lettura punta (Mpa)	Lettura laterale (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,61	1,00	0,62	0,11	5,64	17,7
0,40	2,65	4,30	2,66	0,13	20,46	4,9
0,60	2,86	4,80	2,87	0,19	15,11	6,6
0,80	3,87	6,70	3,88	0,21	18,48	5,4
1,00	3,47	6,60	3,48	0,20	17,40	5,7
1,20	3,26	6,20	3,29	0,28	11,75	8,5
1,40	2,55	6,70	2,58	0,29	8,90	11,2
1,60	1,84	6,20	1,87	0,25	7,48	13,4
1,80	1,63	5,30	1,66	0,22	7,55	13,3
2,00	1,94	5,20	1,97	0,16	12,31	8,1
2,20	1,53	4,00	1,57	0,12	13,08	7,6
2,40	1,22	3,10	1,26	0,10	12,60	7,9
2,60	1,02	2,50	1,06	0,07	15,14	6,6
2,80	1,02	2,00	1,06	0,08	13,25	7,5
3,00	1,33	2,50	1,37	0,08	17,13	5,8
3,20	0,92	2,00	0,97	0,07	13,86	7,2
3,40	1,12	2,10	1,17	0,07	16,71	6,0
3,60	1,02	2,00	1,07	0,05	21,40	4,7
3,80	0,82	1,60	0,87	0,06	14,50	6,9
4,00	1,02	1,90	1,07	0,06	17,83	5,6
4,20	1,02	1,90	1,09	0,06	18,17	5,5
4,40	0,82	1,70	0,89	0,05	17,80	5,6
4,60	0,92	1,70	0,99	0,05	19,80	5,1
4,80	0,92	1,70	0,99	0,06	16,50	6,1
5,00	1,22	2,10	1,29	0,08	16,13	6,2
5,20	1,43	2,60	1,51	0,09	16,78	6,0
5,40	1,33	2,70	1,41	0,10	14,10	7,1
5,60	0,92	2,50	1,00	0,08	12,50	8,0
5,80	0,92	2,00	1,00	0,07	14,29	7,0
6,00	0,92	1,90	1,00	0,05	20,00	5,0
6,20	0,61	1,30	0,70	0,04	17,50	5,7
6,40	0,71	1,30	0,80	0,05	16,00	6,3
6,60	1,12	1,80	1,21	0,05	24,20	4,1
6,80	1,33	2,00	1,42	0,08	17,75	5,6
7,00	1,22	2,40	1,31	0,07	18,71	5,3
7,20	1,53	2,60	1,64	0,08	20,50	4,9
7,40	1,63	2,90	1,74	0,10	17,40	5,7
7,60	2,04	3,50	2,15	0,10	21,50	4,7



7,80	2,45	4,00	2,56	0,14	18,29	5,5
8,00	2,55	4,70	2,66	0,15	17,73	5,6
8,20	2,04	4,30	2,16	0,13	16,62	6,0
8,40	1,22	3,20	1,34	0,09	14,89	6,7
8,60	1,22	2,60	1,34	0,08	16,75	6,0
8,80	1,02	2,10	1,14	0,09	12,67	7,9
9,00	1,22	2,60	1,34	0,10	13,40	7,5
9,20	1,22	2,80	1,36	0,09	15,11	6,6
9,40	1,43	2,80	1,57	0,11	14,27	7,0
9,60	1,33	3,00	1,47	0,10	14,70	6,8
9,80	1,22	2,80	1,36	0,08	17,00	5,9
10,00	1,12	2,40	1,26	0,07	18,00	5,6
10,20	0,92	1,90	1,07	0,08	13,38	7,5
10,40	0,61	1,70	0,76	0,04	19,00	5,3
10,60	0,82	1,40	0,97	0,05	19,40	5,2
10,80	0,82	1,50	0,97	0,05	19,40	5,2
11,00	0,92	1,70	1,07	0,05	21,40	4,7
11,20	0,92	1,70	1,08	0,05	21,60	4,6
11,40	0,82	1,60	0,98	0,05	19,60	5,1
11,60	0,82	1,50	0,98	0,04	24,50	4,1
11,80	0,82	1,40	0,98	0,06	16,33	6,1
12,00	0,92	1,80	1,08	0,06	18,00	5,6
12,20	1,12	2,00	1,30	0,07	18,57	5,4
12,40	1,22	2,20	1,40	0,07	20,00	5,0
12,60	1,43	2,50	1,61	0,08	20,13	5,0
12,80	1,43	2,70	1,61	0,08	20,13	5,0
13,00	1,53	2,70	1,71	0,09	19,00	5,3
13,20	1,22	2,60	1,41	0,08	17,63	5,7
13,40	1,02	2,10	1,21	0,06	20,17	5,0
13,60	1,12	2,00	1,31	0,06	21,83	4,6
13,80	1,02	1,90	1,21	0,06	20,17	5,0
14,00	0,92	1,80	1,11	0,06	18,50	5,4
14,20	1,02	1,80	1,22	0,06	20,33	4,9
14,40	1,02	1,90	1,22	0,08	15,25	6,6
14,60	1,94	3,20	2,14	0,11	19,45	5,1
14,80	2,24	3,90	2,44	0,13	18,77	5,3
15,00	2,24	4,20	2,44	0,12	20,33	4,9
15,20	2,04	3,80	2,26	0,13	17,38	5,8
15,40	1,84	3,80	2,06	0,10	20,60	4,9
15,60	2,24	3,80	2,46	0,14	17,57	5,7
15,80	1,94	4,00	2,16	0,12	18,00	5,6
16,00	2,04	3,80	2,26	0,12	18,83	5,3
16,20	1,84	3,60	2,07	0,10	20,70	4,8
16,40	2,04	3,50	2,27	0,14	16,21	6,2
16,60	2,04	4,20	2,27	0,13	17,46	5,7
16,80	1,53	3,50	1,76	0,13	13,54	7,4
17,00	1,53	3,50	1,76	0,08	22,00	4,5
17,20	1,63	2,90	1,87	0,08	23,38	4,3
17,40	1,73	3,00	1,97	0,11	17,91	5,6
17,60	1,22	2,90	1,46	0,10	14,60	6,8
17,80	1,53	3,00	1,77	0,09	19,67	5,1
18,00	1,22	2,60	1,46	0,09	16,22	6,2
18,20	1,63	3,00	1,89	0,09	21,00	4,8
18,40	1,73	3,10	1,99	0,12	16,58	6,0
18,60	1,63	3,40	1,89	0,12	15,75	6,3
18,80	1,53	3,40	1,79	0,09	19,89	5,0
19,00	1,43	2,80	1,69	0,08	21,13	4,7
19,20	1,43	2,70	1,70	0,08	21,25	4,7
19,40	1,43	2,70	1,70	0,10	17,00	5,9
19,60	1,53	3,00	1,80	0,10	18,00	5,6
19,80	1,53	3,00	1,80	0,10	18,00	5,6
20,00	1,94	3,40	2,21	0,00		0,0



000

11

2396
STUDIO GEOLOGICO DETTORI
MODENA
VIA DELLE SUORE- AREA PARCHEGGIO

Samples identification and performed tests

Note - *Remarks:*

These results are for the exclusive use of the client for whom they were obtained. They apply only to the tested samples and are not

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre





GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

SAMPLE DESCRIPTION

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 14688-1/2 - Racc. AGI

Technical specification

Certificato - *Test report*

Verbale - *Acceptance report*

Committente - *Commissioner*

Località - *Locality*

Cantiere - *Site*

Sondaggio - *Borehole*

Campione - *Sample*

Profondità - *Depth*

Data ricevimento - *Receiving date*

Data inizio prove - *Test starting date*

Data fine prove - *Test ending date*

Data certificazione - *Report date*

Data apertura campione - *Sample opening date*

Classe campione - *Sample quality*

2396- 22.531- 001

2396

STUDIO GEOLOGICO DETTORI

MODENA

VIA DELLE SUORE- AREA PARCHEGGIO

S1

Cl1

2.10- 2.50 m

26/09/2022

27/09/2022

17/10/2022

17/10/2022

27/09/2022

Q4



Pocket Penetrometer Test (kg/cm²)

2.6- 2.9- 2.2

Vane Test (kg/cm²)

1.4- 1.4- 1.1

Limo argilloso/argilla limosa. Colore 4/2 tav. 10yr dark grayish brown.

Note - *Remarks*

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 5/A - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre



IOP DE 3.5 - MOD PROD 11 B8 REV2



GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

PESO DI VOLUME CON FUSTELLA TARATA

Determination of bulk and dry density of fine-grained soil with sampling tube

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

Technical specification

Certificato - *Test report*

Verbale - *Acceptance report*

Committente - *Commissioner*

Località - *Locality*

Cantiere - *Site*

Sondaggio - *Borehole*

Campione - *Sample*

Profondità - *Depth*

Data ricevimento - *Receiving date*

Data inizio prove - *Test starting date*

Data fine prove - *Test ending date*

Data certificazione - *Report date*

Data apertura campione - *Sample opening date*

Classe campione - *Sample quality*

2396- 22.531- 002

2396

STUDIO GEOLOGICO DETTORI

MODENA

VIA DELLE SUORE- AREA PARCHEGGIO

S1

CI1

2.10- 2.50 m

26/09/2022

27/09/2022

17/10/2022

17/10/2022

27/09/2022

Q4

Massa tara (g) - *Tara weight* 71.95
Massa campione umido + tara (g)
Moist specimen + tara 98.58
Massa campione secco + tara (g)
Dried specimen + tara 92.52
Volume fustella tarata (cm³)
Sampling tube volume 14.88

Umidità naturale (%) - *Water content* 29.46

Massa volumica umida (kg/m³) - *Bulk density* 1789.17

Massa volumica secca (kg/m³) - *Dry density* 1382.02

Note - *Remarks*

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 7/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre



GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTQUALITY

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

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

Technical specification

Certificato - Test report	2396- 22.531- 003
Verbale - Acceptance report	2396
Committente - Commissioner	STUDIO GEOLOGICO DETTORI
Località - Locality	MODENA
Cantiere - Site	VIA DELLE SUORE- AREA PARCHEGGIO
Sondaggio - Borehole	S1
Campione - Sample	CI1
Profondità - Depth	2.10- 2.50 m
Data ricevimento - Receiving date	26/09/2022
Data inizio prove - Test starting date	27/09/2022
Data fine prove - Test ending date	17/10/2022
Data certificazione - Report date	17/10/2022
Data apertura campione - Sample opening date	27/09/2022
Classe del campione - Sample quality	Q4

Umidità iniziale - Initial water content	%	29.46		
Densità naturale iniziale - Initial wet density	kg/m ³	1789.17		
Densità secca iniziale - Initial dry density	kg/m ³	1382.02		
Provino - Specimen id	n°	1	2	3
Lato - Specimen side	mm	60.0	60.0	60.0
Altezza iniziale - Initial specimen height	mm	20.0	20.0	20.0
Velocità di taglio utilizzata - Strain rate	mm/min	0.006	0.006	0.006
Press. di consolidazione	kPa	98.1	196.1	294.2
Consolidation pressure				
Umidità finale - Final water content	%	31.45	30.00	29.99

Fase di consolidazione - Consolidation test

Note - Remarks

Limo argilloso/argilla limosa. Colore 4/2 tav. 10yr dark grayish brown.

Pocket Penetrometer	2.6- 2.9- 2.2 kg/cm ²
Tor Vane	1.4- 1.4- 1.1 kg/cm ²

Grado di incertezza delle misure degli strumenti di forza: ± 0,13%

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori

IOD DE 3.5 - MOD PROD 11 B31 REV2



GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

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

Technical specification

Certificato - Test report 2396- 22.531- 003
Verbale - Acceptance report 2396

Consolidation test (0-100 kPa)		Provino 1 - Specimen 1			Provino 2 - Specimen 2			Provino 3 - Specimen 3		
time (s)	def. ↓ (mm)	def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)	def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)	def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)
1		0.07	-0.05	8.33	0.09	-0.04	11.28	0.06		10.90
6		0.19	-0.04	11.55	0.22	-0.02	19.06	0.19	0.00	17.02
12		0.31	-0.04	14.77	0.33	-0.02	25.50	0.31	-0.01	18.31
24		0.43	-0.04	18.63	0.44	-0.03	32.20	0.42	-0.02	21.53
30		0.54	-0.04	24.10	0.55	-0.03	37.57	0.53	-0.02	25.71
60		0.65	-0.04	28.61	0.66	-0.04	45.34	0.65	-0.02	31.18
90		0.76	-0.04	32.47	0.78	-0.04	53.12	0.76	-0.03	37.30
120		0.87	-0.05	36.01	0.89	-0.05	60.09	0.87	-0.04	44.38
180		1.00	-0.06	39.23	1.01	-0.06	66.53	0.99	-0.05	54.03
240		1.12	-0.06	42.13	1.13	-0.06	71.89	1.12	-0.06	62.72
300		1.24	-0.07	45.02	1.26	-0.06	76.71	1.23	-0.07	70.44
360		1.36	-0.07	47.28	1.38	-0.07	80.73	1.35	-0.08	77.84
420		1.47	-0.08	50.17	1.50	-0.07	84.48	1.47	-0.09	84.59
480		1.61	-0.09	52.10	1.62	-0.08	87.70	1.59	-0.10	91.34
540		1.73	-0.10	53.71	1.75	-0.09	90.11	1.72	-0.11	97.13
600		1.86	-0.11	55.00	1.80	-0.09	91.72	1.84	-0.11	102.27
900		1.89	-0.11	55.96	1.95	-0.09	92.52	1.93	-0.13	107.09
1200		2.07	-0.11	56.28	2.08	-0.10	92.25	2.01	-0.14	111.27
1500		2.20	-0.11	56.28	2.20	-0.10	92.52	2.18	-0.15	115.45
1800		2.31	-0.12	55.64	2.31	-0.11	92.25	2.29	-0.16	119.31
2100		2.42	-0.12	55.32	2.43	-0.11	91.72	2.40	-0.17	122.52
2400		2.53	-0.13	54.68	2.53	-0.11	90.11	2.51	-0.18	123.81
2700		2.64	-0.13	54.03	2.64	-0.13	88.23	2.62	-0.19	125.73
3000		2.75	-0.13	53.07	2.75	-0.13	86.36	2.73	-0.19	127.34
3300		2.86	-0.13	52.42	2.86	-0.13	84.48	2.83	-0.20	129.27
3600		2.96	-0.14	51.14	2.97	-0.13	82.61	2.94	-0.20	130.24
4200		3.08	-0.14	50.17	3.08	-0.13	81.00	3.05	-0.21	130.56
4800		3.18	-0.14	48.88	3.19	-0.13	79.39	3.17	-0.22	129.59
5400		3.30	-0.14	47.92	3.31	-0.13	77.78	3.28	-0.23	129.27
6000		3.43	-0.15	46.63	3.44	-0.13	75.64	3.40	-0.23	128.63
7200		3.55	-0.15	45.66	3.57	-0.13	73.49	3.53	-0.24	127.99
8400		3.67	-0.15	45.02	3.69	-0.13	71.89	3.65	-0.24	127.02
9600		3.79	-0.15	44.06	3.81	-0.13	70.28	3.78	-0.25	124.77
10800		3.91	-0.15	43.41	3.94	-0.13	68.13	3.90	-0.26	121.88
12000		4.04	-0.15	42.45	4.06	-0.13	66.53	4.03	-0.26	119.31
13200		4.16	-0.15	41.48	4.18	-0.13	65.18	4.15	-0.26	116.74
14400		4.28	-0.15	40.84	4.30	-0.13	63.84	4.27	-0.26	113.84
16800		4.39	-0.15	40.19	4.42	-0.13	62.51	4.39	-0.26	110.31
19200		4.51	-0.15	39.55	4.54	-0.13	61.16	4.50	-0.26	107.42
21600		4.62	-0.15	38.91	4.64	-0.13	59.82	4.62	-0.26	104.84
28800		4.73	-0.15	38.27	4.76	-0.13	59.02	4.73	-0.28	102.27
36000		4.85	-0.15	37.94	4.88	-0.13	57.95	4.85	-0.28	100.66
45600		4.96	-0.15	37.30	4.99	-0.13	56.87	4.96	-0.28	99.06
54000		5.08	-0.15	36.98	5.10	-0.13	55.80	5.07	-0.28	97.45
72000		5.19	-0.15	36.33	5.21	-0.13	55.00	5.19	-0.28	95.84
79200		5.30	-0.15	36.33	5.32	-0.13	54.19	5.30	-0.29	94.56
82800		5.40	-0.15	36.01	5.43	-0.13	53.12	5.40	-0.29	93.59
86400		5.52	-0.15	35.69	5.55	-0.13	52.32	5.52	-0.29	92.63
		5.64	-0.15	35.05	5.67	-0.13	51.51	5.64	-0.29	91.34
		5.76	-0.15	34.72	5.79	-0.13	50.98	5.76	-0.29	90.38
		5.88	-0.15	34.40	5.91	-0.13	50.17	5.88	-0.29	89.73
		6.00	-0.14	33.76	6.03	-0.14	49.63	6.00	-0.29	88.77
		6.13	-0.14	33.44	6.16	-0.13	48.83	6.12	-0.29	87.80
		6.26	-0.14	33.12	6.29	-0.14	48.29	6.25	-0.30	87.16
		6.39	-0.14	32.47	6.42	-0.14	47.76	6.38	-0.30	86.52
		6.52	-0.13	32.15	6.55	-0.14	46.95	6.51	-0.30	85.55
		6.65	-0.13	31.83	6.67	-0.14	46.69	6.64	-0.30	84.91
								6.76	-0.30	84.27

Direttore

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre



GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

PROVA EDOMETRICA I.L.

INCREMENTAL LOADING OEDOMETER TEST

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-5

Technical specification

Certificato - Test report

Verbale - Acceptance report

Committente - Commissioner

Località - Locality

Cantiere - Site

Sondaggio - Borehole

Campione - Sample

Profondità - Depth

Data ricevimento - Receiving date

Data inizio prove - Test starting date

Data fine prove - Test ending date

Data certificazione - Report date

Data apertura campione - Sample opening date

Classe campione - Sample quality

2396- 22.531- 004

2396

STUDIO GEOLOGICO DETTORI

MODENA

VIA DELLE SUORE- AREA PARCHEGGIO

S1

CI1

2.10- 2.50 m

26/09/2022

27/09/2022

17/10/2022

17/10/2022

27/09/2022

Q4

Area (cm²) - Cross-sectional area of specimen

20.00

Altezza provino (cm) - Specimen height

2.00

σ_v (kPa)	ε_v (mm)	ε_v (%)	e
Carichi Vert. load	Deformazione verticale Vertical strain		Indice vuoti Void ratio
12.2	0.005	0.02	0.950
24.5	0.082	0.41	0.942
49.0	0.219	1.10	0.929
98.0	0.458	2.29	0.905
196.0	0.831	4.16	0.869
392.0	1.345	6.73	0.819
784.0	2.041	10.21	0.751
1568.0	2.963	14.82	0.661
3138.0	3.876	19.38	0.572
392.0	3.125	15.63	-
98.0	2.475	12.38	-
12.2	1.930	9.65	-

Pocket Penetrometer 2.6- 2.9- 2.2 kg/cm²

Tor Vane 1.4- 1.4- 1.1 kg/cm²

Umidità naturale iniziale
Initial water content 29.46 %

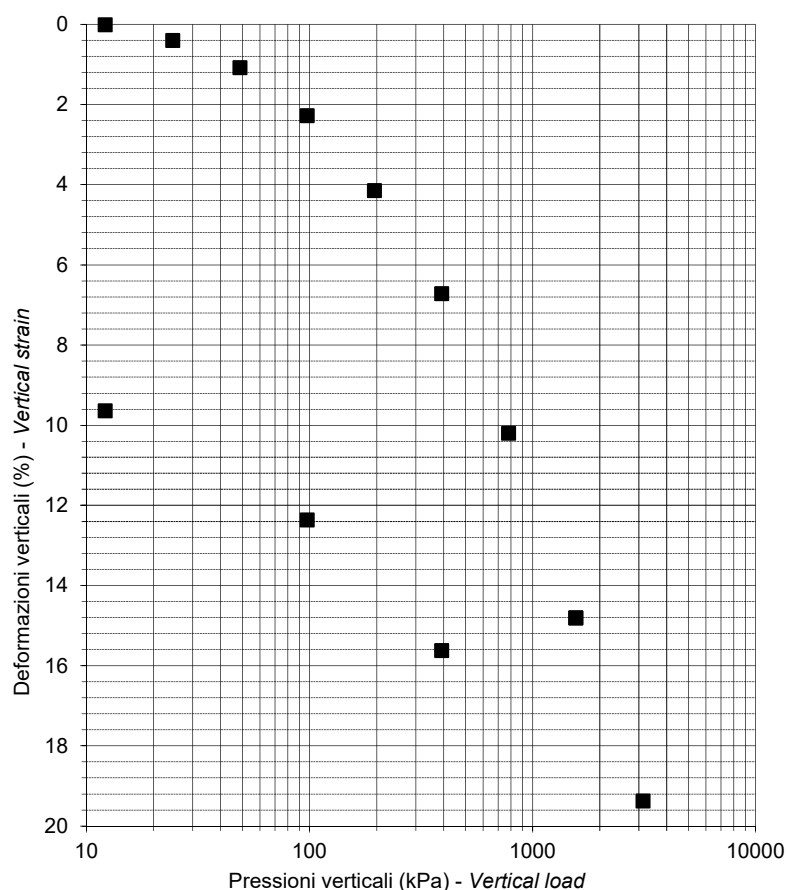
Densità naturale
Bulk density 1.79 t/m³

Densità secca
Dry density 1.38 t/m³

Peso specifico dei grani
Specific gravity 2.69 t/m³

Umidità finale
Final water content 30.02 %

Indice dei vuoti iniziale
Original void ratio 0.95



Note - Remarks

Direttore Manager

Sperimentatore Technician

Via della Tecnica 57/A4 - 41068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre



GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

SAMPLE DESCRIPTION

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 14688-1/2 - Racc. AGI

Technical specification

Certificato - *Test report*

Verbale - *Acceptance report*

Committente - *Commissioner*

Località - *Locality*

Cantiere - *Site*

Sondaggio - *Borehole*

Campione - *Sample*

Profondità - *Depth*

Data ricevimento - *Receiving date*

Data inizio prove - *Test starting date*

Data fine prove - *Test ending date*

Data certificazione - *Report date*

Data apertura campione - *Sample opening date*

Classe campione - *Sample quality*

2396- 22.531- 005

2396

STUDIO GEOLOGICO DETTORI

MODENA

VIA DELLE SUORE- AREA PARCHEGGIO

S1

CI2

4.00- 4.60 m

26/09/2022

27/09/2022

17/10/2022

17/10/2022

27/09/2022

Q4



Pocket Penetrometer Test (kg/cm²) 0.7- 0.4- 1.2- 1.6

Vane Test (kg/cm²)

0.3- 0.2- 0.6- 0.6

Limo argilloso/argilla limosa. Colore 4/1 tav. 5yr dark gray.

Note - *Remarks*

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 5/A - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre



GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

PESO DI VOLUME CON FUSTELLA TARATA

Determination of bulk and dry density of fine-grained soil with sampling tube

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

Technical specification

Certificato - <i>Test report</i>	2396- 22.531- 006
Verbale - <i>Acceptance report</i>	2396
Committente - <i>Commissioner</i>	STUDIO GEOLOGICO DETTORI
Località - <i>Locality</i>	MODENA
Cantiere - <i>Site</i>	VIA DELLE SUORE- AREA PARCHEGGIO
Sondaggio - <i>Borehole</i>	S1
Campione - <i>Sample</i>	CI2
Profondità - <i>Depth</i>	4.00- 4.60 m
Data ricevimento - <i>Receiving date</i>	26/09/2022
Data inizio prove - <i>Test starting date</i>	27/09/2022
Data fine prove - <i>Test ending date</i>	17/10/2022
Data certificazione - <i>Report date</i>	17/10/2022
Data apertura campione - <i>Sample opening date</i>	27/09/2022
Classe campione - <i>Sample quality</i>	Q4

Massa tara (g) - <i>Tara weight</i>	71.97
Massa campione umido + tara (g) <i>Moist specimen + tara</i>	100.12
Massa campione secco + tara (g) <i>Dried specimen + tara</i>	93.33
Volume fustella tarata (cm ³) <i>Sampling tube volume</i>	14.88
Umidità naturale (%) - <i>Water content</i>	31.79
Massa volumica umida (kg/m³) - <i>Bulk density</i>	1891.29
Massa volumica secca (kg/m³) - <i>Dry density</i>	1435.10

Note - *Remarks*

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 7/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre



GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTQUALITY

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

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

Technical specification

Certificato - Test report

Verbale - Acceptance report

Committente - Commissioner

Località - Locality

Cantiere - Site

Sondaggio - Borehole

Campione - Sample

Profondità - Depth

Data ricevimento - Receiving date

Data inizio prove - Test starting date

Data fine prove - Test ending date

Data certificazione - Report date

Data apertura campione - Sample opening date

Classe del campione - Sample quality

2396- 22.531- 007

2396

STUDIO GEOLOGICO DETTORI

MODENA

VIA DELLE SUORE- AREA PARCHEGGIO

S1

CI2

4.00- 4.60 m

26/09/2022

27/09/2022

17/10/2022

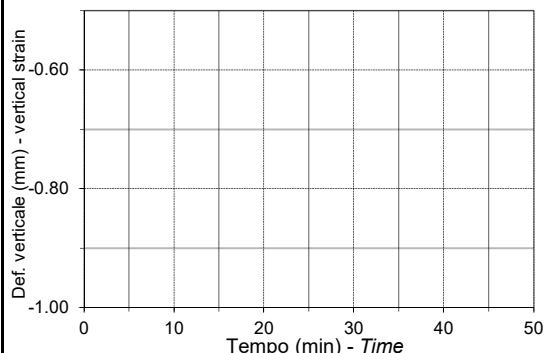
17/10/2022

27/09/2022

Q4

Umidità iniziale - Initial water content	%	31.79		
Densità naturale iniziale - Initial wet density	kg/m ³	1891.29		
Densità secca iniziale - Initial dry density	kg/m ³	1435.10		
Provino - Specimen id	n°	1	2	3
Lato - Specimen side	mm	60.0	60.0	60.0
Altezza iniziale - Initial specimen height	mm	20.0	20.0	20.0
Velocità di taglio utilizzata - Strain rate	mm/min	0.006	0.006	0.006
Press. di consolidazione	kPa	98.1	196.1	294.2
Consolidation pressure				
Umidità finale - Final water content	%	29.45	29.00	28.45

Fase di consolidazione - Consolidation test

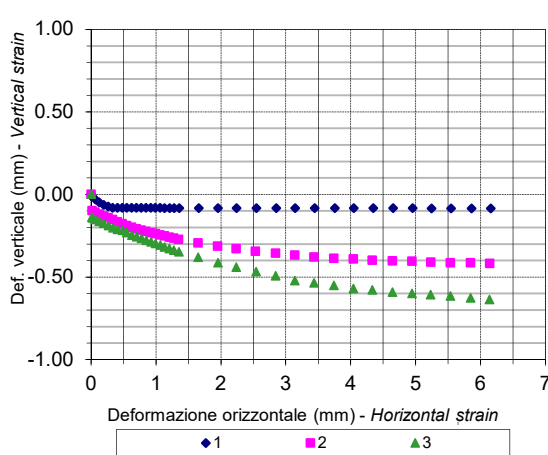
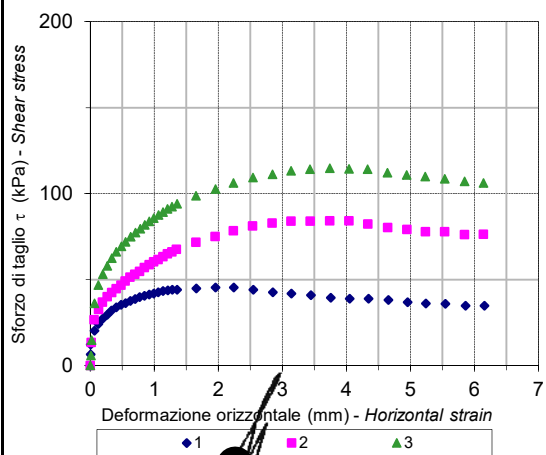


Note - Remarks

Limo argilloso/argilla limosa di colore 4/1 tav. 5yr dark gray.

Pocket Penetrometer 0.7- 0.4- 1.2- 1 kg/cm²

Tor Vane 0.3- 0.2- 0.6- 0 kg/cm²



Direttore Manager

Sperimentatore Technician

Grado di incertezza delle misure degli strumenti di forza: $\pm 0,15\%$

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori



GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNEN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

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

Technical specification

Certificato - Test report 2396- 22.531- 007
Verbale - Acceptance report 2396

Consolidation test (0-100 kPa)		Provino 1 - Specimen 1			Provino 2 - Specimen 2			Provino 3 - Specimen 3		
time (s)	def. ↓ (mm)	def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)	def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)	def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)
1		0.00	0.00	6.57	0.02	0.10	13.33	0.01	0.14	5.75
6		0.01	0.01	12.37	0.06	0.11	26.67	0.02	0.14	14.69
12		0.07	0.03	20.20	0.13	0.12	32.50	0.07	0.15	36.10
24		0.13	0.05	24.24	0.19	0.13	36.94	0.13	0.17	46.64
30		0.19	0.06	27.27	0.26	0.14	40.00	0.20	0.18	53.03
60		0.26	0.07	29.55	0.33	0.15	42.50	0.27	0.19	57.82
90		0.33	0.08	32.07	0.41	0.17	44.72	0.34	0.20	62.29
120		0.41	0.08	33.84	0.48	0.18	46.67	0.41	0.21	66.13
180		0.48	0.08	35.35	0.55	0.19	49.17	0.48	0.22	69.32
240		0.55	0.08	36.36	0.62	0.20	51.39	0.55	0.23	71.88
300		0.62	0.08	37.63	0.70	0.21	53.06	0.63	0.25	74.75
360		0.70	0.08	38.64	0.77	0.22	54.72	0.70	0.26	77.31
420		0.77	0.08	39.90	0.84	0.23	56.94	0.78	0.27	79.54
480		0.84	0.08	40.66	0.92	0.23	58.61	0.85	0.28	81.78
540		0.92	0.08	41.41	0.99	0.24	60.28	0.92	0.29	83.69
600		0.99	0.08	41.92	1.06	0.25	61.67	0.99	0.30	85.61
900		1.06	0.08	42.68	1.13	0.25	63.33	1.07	0.31	87.53
1200		1.13	0.08	43.43	1.20	0.26	65.00	1.13	0.32	89.13
1500		1.21	0.08	43.69	1.27	0.27	66.11	1.20	0.33	91.04
1800		1.28	0.08	44.19	1.35	0.27	67.50	1.27	0.34	92.32
2100		1.36	0.08	44.19	1.65	0.29	71.67	1.36	0.35	93.92
2400		1.66	0.08	44.95	1.95	0.31	75.00	1.65	0.38	98.71
2700		1.96	0.08	45.45	2.24	0.33	78.33	1.95	0.42	102.54
3000		2.24	0.08	45.45	2.53	0.34	81.11	2.23	0.44	106.06
3300		2.55	0.08	44.19	2.84	0.36	82.78	2.54	0.47	109.25
3600		2.85	0.08	42.68	3.14	0.37	83.89	2.84	0.50	111.17
4200		3.14	0.08	41.92	3.43	0.38	83.89	3.14	0.52	113.08
4800		3.44	0.08	40.91	3.74	0.39	84.17	3.43	0.54	114.04
5400		3.75	0.08	39.39	4.04	0.39	84.17	3.74	0.55	114.68
6000		4.05	0.08	38.89	4.33	0.40	82.22	4.04	0.57	114.36
7200		4.35	0.08	38.89	4.64	0.40	80.28	4.33	0.58	114.04
8400		4.65	0.08	38.13	4.95	0.41	79.17	4.64	0.59	112.13
9600		4.96	0.08	36.87	5.24	0.41	77.78	4.94	0.60	110.85
10800		5.24	0.09	36.11	5.54	0.41	77.78	5.23	0.61	109.89
12000		5.55	0.09	35.86	5.85	0.42	76.11	5.54	0.62	108.61
13200		5.86	0.09	34.85	6.14	0.42	76.39	5.85	0.63	107.01
14400		6.16	0.09	34.85				6.14	0.64	106.06
16800										
19200										
21600										
28800										
36000										
45600										
54000										
72000										
79200										
82800										
86400										

Note - Remarks

Direttore Manager

Experimentatore Technician

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici



GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

PROVA EDOMETRICA I.L.

INCREMENTAL LOADING OEDOMETER TEST

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-5

Technical specification

Certificato - Test report

Verbale - Acceptance report

Committente - Commissioner

Località - Locality

Cantiere - Site

Sondaggio - Borehole

Campione - Sample

Profondità - Depth

Data ricevimento - Receiving date

Data inizio prove - Test starting date

Data fine prove - Test ending date

Data certificazione - Report date

Data apertura campione - Sample opening date

Classe campione - Sample quality

2396- 22.531- 008

2396

STUDIO GEOLOGICO DETTORI

MODENA

VIA DELLE SUORE- AREA PARCHEGGIO

S1

CI2

4.00- 4.60 m

26/09/2022

27/09/2022

17/10/2022

17/10/2022

27/09/2022

Q4

Area (cm²) - Cross-sectional area of specimen

Altezza provino (cm) - Specimen height

20.00

2.00

σ_v (kPa)	ε_v (mm)	ε_v (%)	e
Carichi Vert. load	Deformazione verticale Vertical strain	Indice vuoti Void ratio	
12.2	0.077	0.39	0.846
24.5	0.192	0.96	0.836
49.0	0.428	2.14	0.814
98.0	0.862	4.31	0.774
196.0	1.383	6.92	0.725
392.0	2.113	10.57	0.658
784.0	2.947	14.74	0.580
1568.0	3.874	19.37	0.494
3138.0	4.733	23.67	0.415
392.0	4.175	20.88	-
98.0	3.618	18.09	-
12.2	3.004	15.02	-

Pocket Penetrometer 0.7- 0.4- 1.2- 1.6 kg/cm²

Tor Vane 0.3- 0.2- 0.6- 0.8 kg/cm²

Umidità naturale iniziale
Initial water content 31.79 %

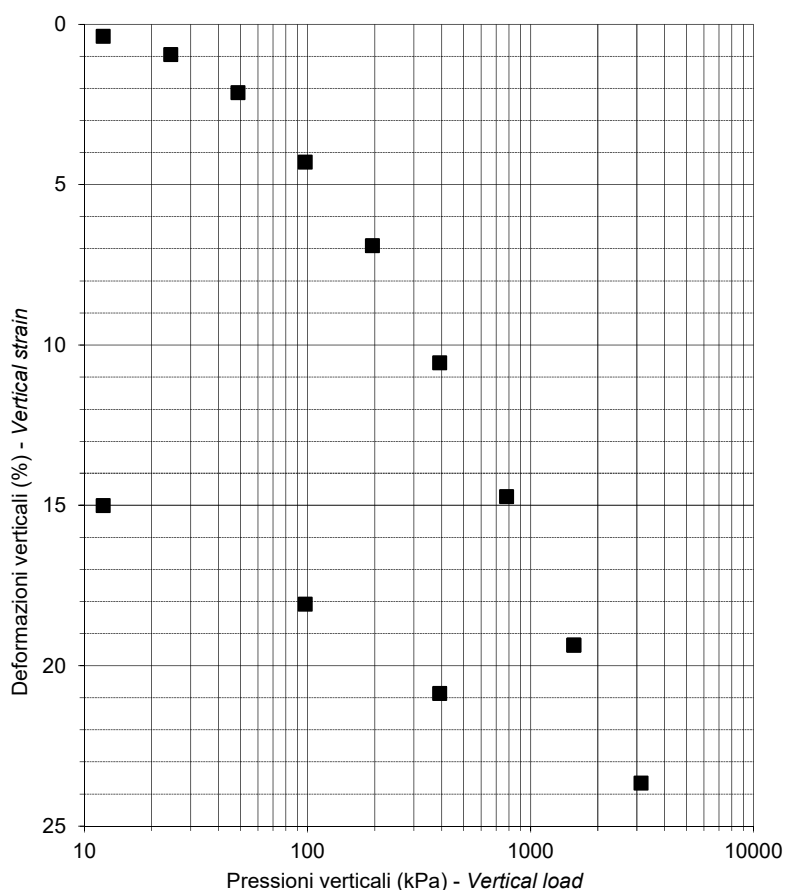
Densità naturale
Bulk density 1.89 t/m³

Densità secca
Dry density 1.44 t/m³

Peso specifico dei grani
Specific gravity 2.66 t/m³

Umidità finale
Final water content 29.96 %

Indice dei vuoti iniziale
Original void ratio 0.85



Note - Remarks

Direttore Manager

Sperimentatore Technician

Via della Tecnica 57/A - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre

TAGLIO DIRETTO

Committente: STUDIO GEOLOGICO DETTORI Sondaggio: S1
Località: MODENA Campione: C11
Cantiere: VIA DELLE SUORE- AREA PARCHEGGIO Profondità: 2.10- 2.50 m

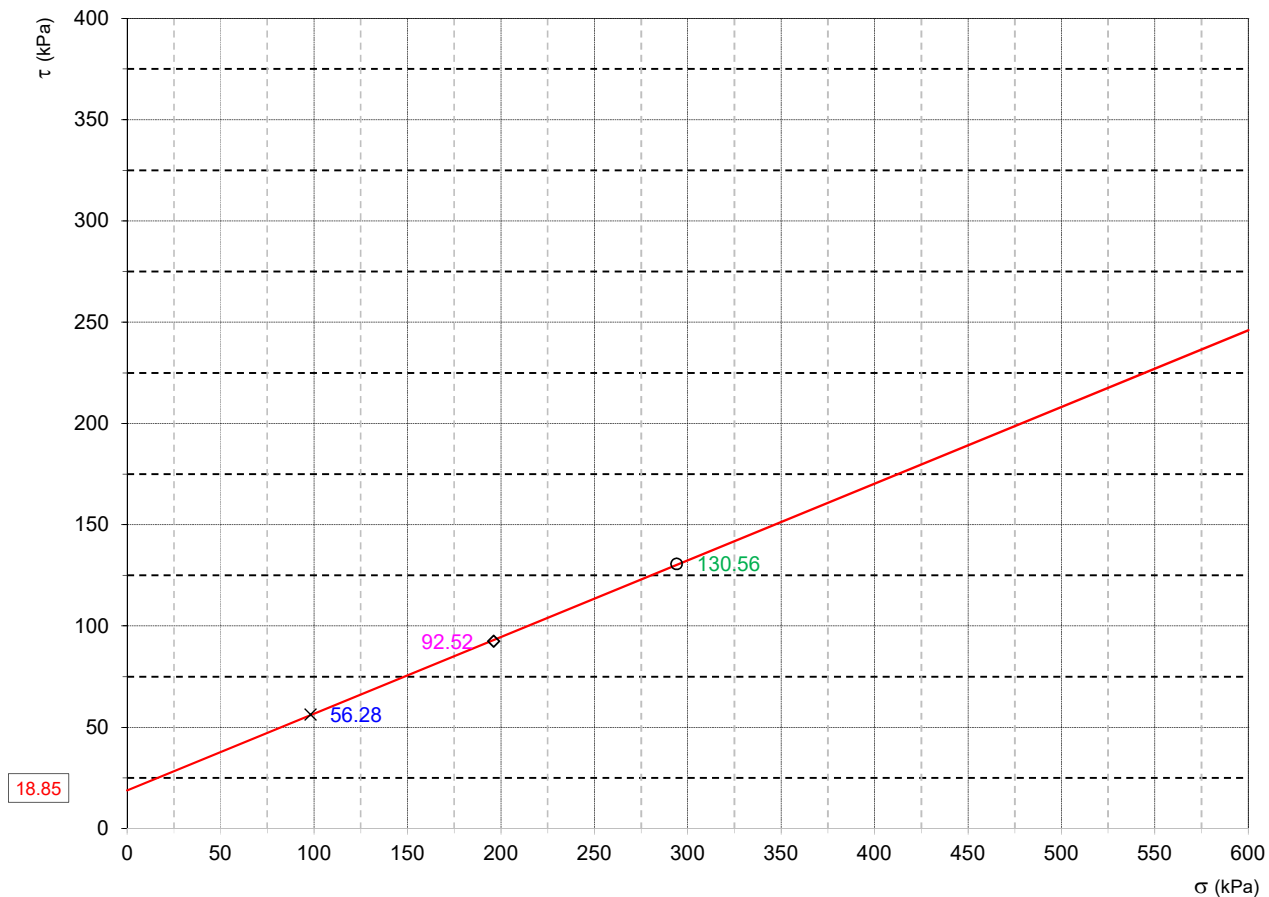
REGRESSIONE LINEARE DEI TRE VALORI DI SFORZO MASSIMO

Lato provino	60.00	mm
Altezza iniziale	20.00	mm

Valori dei provini a rottura				
Provino	n°	1	2	3
Sforzo a rottura	kPa	56.28	92.52	130.56
Intercetta C'	KPa	18.85		
ϕ'	° sess	20.74		

Velocità di prova
0.006
mm/min

Limo argilloso/argilla limosa. Colore 4/2 tav. 10yr
dark grayish brown.



x1

◇2

○3

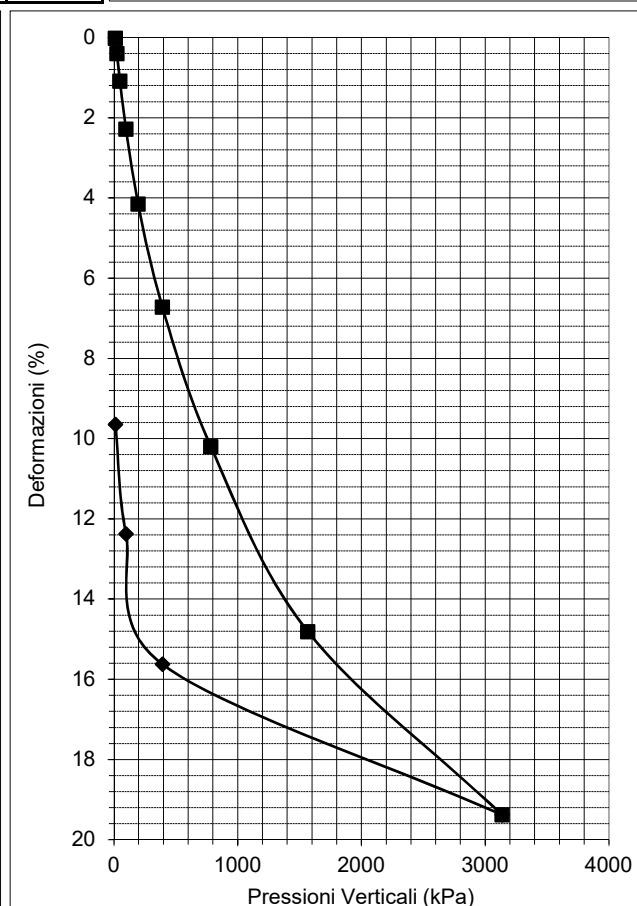
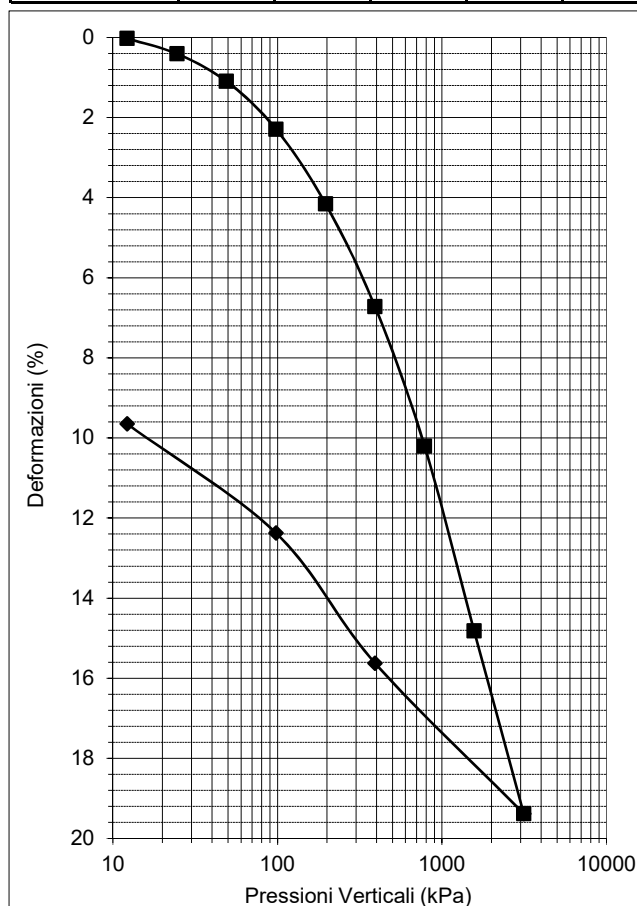
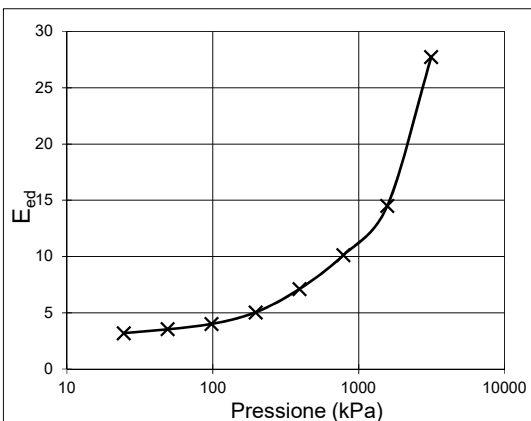
La coesione efficace e l'angolo di resistenza al taglio si riferiscono alla elaborazione della prova di taglio diretto eseguita mediante una semplice regressione lineare sui tre punti di sforzo massimo e per il campo tensionale nel quale i vari provini sono stati sottoposti a taglio.

Committente: STUDIO GEOLOGICO DETTORI
Località: MODENA
Cantiere: VIA DELLE SUORE- AREA PARCHEGGIO

Sondaggio: S1
Campione: CI1
Profondità: 2.10- 2.50 m

ELABORAZIONE PROVA EDOMETRICA

Pressione	dv	dv	e	E _{ed}	mv	Cc
kPa	mm	%		MPa	kPa ⁻¹	
12.2	0.00	0.02	0.95	-		0.0248
24.5	0.08	0.41	0.942	3.18	3.1E-04	0.0444
49	0.22	1.10	0.929	3.54	2.8E-04	0.0774
98	0.46	2.29	0.905	4.01	2.4E-04	0.1208
196	0.83	4.16	0.869	5.04	1.9E-04	0.1665
392	1.35	6.73	0.819	7.11	1.3E-04	0.2254
784	2.04	10.21	0.751	10.11	8.9E-05	0.2986
1568	2.96	14.82	0.661	14.49	5.9E-05	0.2954
3138	3.88	19.38	0.572	27.73	2.9E-05	
392	3.13	15.63	-			
98	2.48	12.38	-			
12.2	1.93	9.65	-			



Legenda: Dv = deformazione verticale; dh = deformazione percentuale; e = indice dei vuoti; E_{ed} = modulo edometrico; mv = indice di compressibilità; Cc = coefficiente di compressibilità.

TAGLIO DIRETTO

Committente: STUDIO GEOLOGICO DETTORI

Località: MODENA

Cantiere: VIA DELLE SUORE- AREA PARCHEGGIO

Sondaggio: S1

Campione: CI2

Profondità: 4.00- 4.60 m

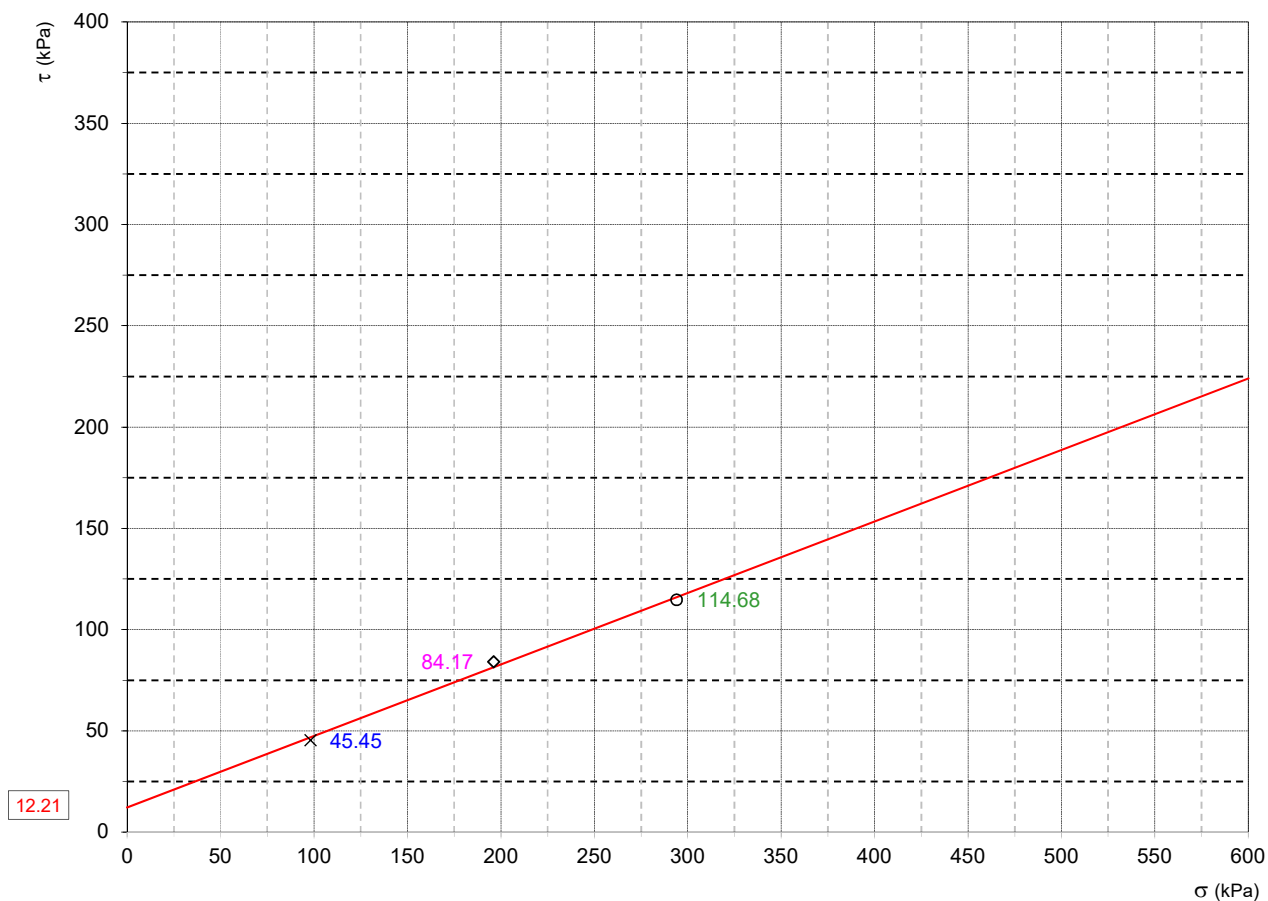
REGRESSIONE LINEARE DEI TRE VALORI DI SFORZO MASSIMO

Lato provino	60.00	mm
Altezza iniziale	20.00	mm

Limo argilloso/argilla limosa di colore 4/1 tav. 5yr dark gray.

Valori dei provini a rottura				
Provino	n°	1	2	3
Sforzo a rottura	kPa	45.45	84.17	114.68
Intercetta C'	KPa	12.21		
ϕ'	° sess	19.44		

Velocità di prova
0.006
mm/min



×1

◇2

○3

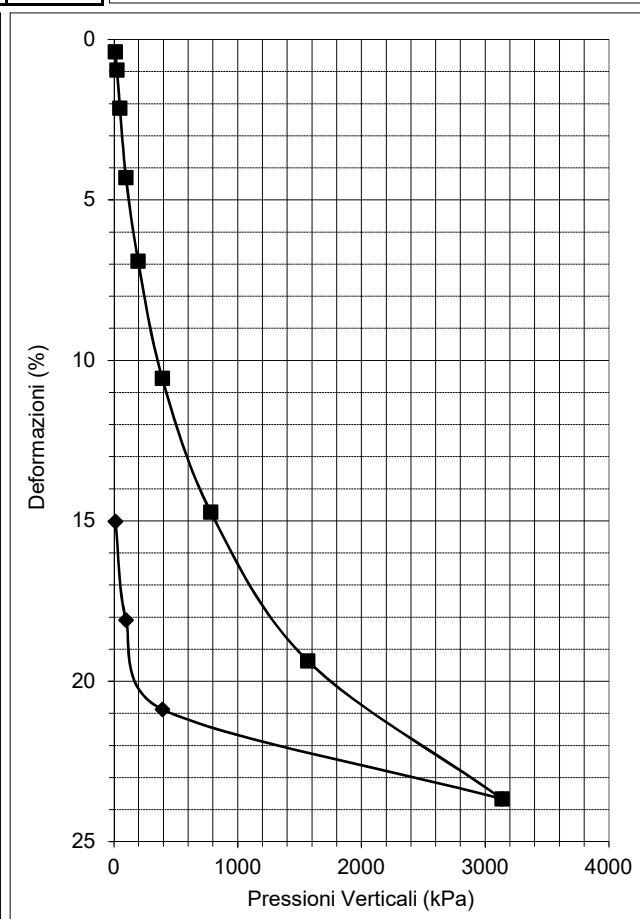
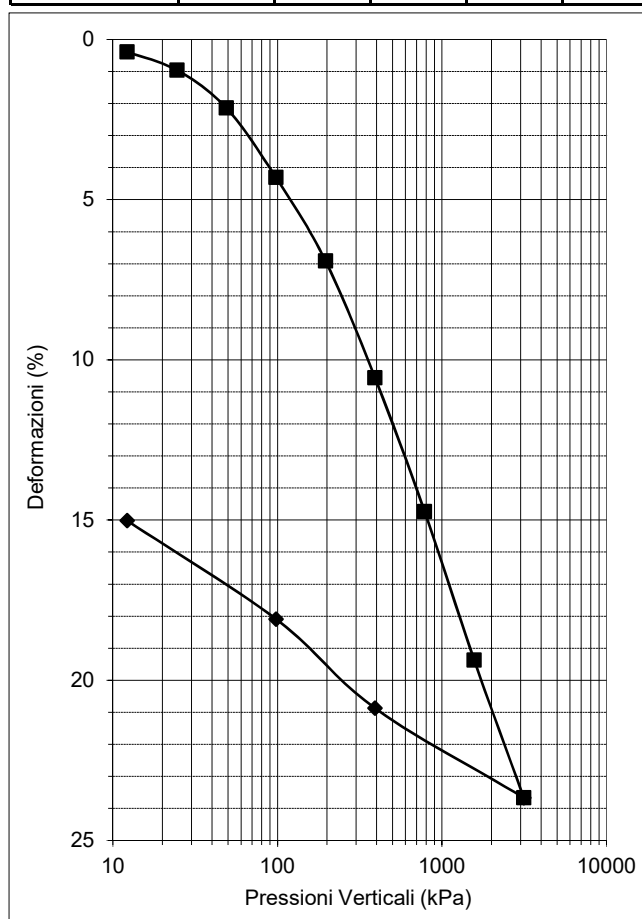
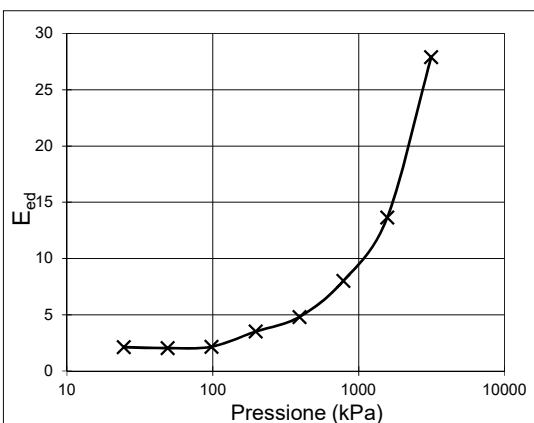
La coesione efficace e l'angolo di resistenza al taglio si riferiscono alla elaborazione della prova di taglio diretto eseguita mediante una semplice regressione lineare sui tre punti di sforzo massimo e per il campo tensionale nel quale i vari provini sono stati sottoposti a taglio.

Committente: STUDIO GEOLOGICO DETTORI
Località: MODENA
Cantiere: VIA DELLE SUORE- AREA PARCHEGGIO

Sondaggio: S1
Campione: CI2
Profondità: 4.00- 4.60 m

ELABORAZIONE PROVA EDOMETRICA

Pressione	dv	dv	e	E _{ed}	mv	Cc
kPa	mm	%		MPa	kPa ⁻¹	
12.2	0.08	0.39	0.85	-		0.0352
24.5	0.19	0.96	0.836	2.12	4.7E-04	0.0727
49	0.43	2.14	0.814	2.03	4.8E-04	0.1336
98	0.86	4.31	0.774	2.16	4.4E-04	0.1604
196	1.38	6.92	0.725	3.50	2.7E-04	0.2247
392	2.11	10.57	0.658	4.80	1.9E-04	0.2567
784	2.95	14.74	0.580	8.02	1.1E-04	0.2854
1568	3.87	19.37	0.494	13.64	5.9E-05	0.2642
3138	4.73	23.67	0.415	27.90	2.7E-05	
392	4.18	20.88	-			
98	3.62	18.09	-			
12.2	3.00	15.02	-			



Legenda: Dv = deformazione verticale; dh = deformazione percentuale; e = indice dei vuoti; E_{ed} = modulo edometrico; mv = indice di compressibilità; Cc = coefficiente di compressibilità.

COMUNE DI MODENA

PROVINCIA DI MODENA

COMUNICAZIONE DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE E
RIMOZIONE D'URGENZA DI TERRE DI FONDERIA IN UN SITO
INDUSTRIALE DISMESSO UBICATO IN AREA EX-NEON MODENA
ED EX-TETRACCIAI, VIA DELLE SUORE NN. 225, 231, 243

RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

Ai sensi degli artt. 245 e 304 del D.Lgs. 152/2006

SOGGETTO PROPONENTE: CPC S.R.L.

GENNAIO 2023

Dott. Geol. Francesco Dettori
Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna



INDICE

1. PREMESSA	3
2. QUADRO NORMATIVO	3
3. INQUADRAMENTO GENERALE DEL SITO	4
4. RICOSTRUZIONE STORICA DELLE ATTIVITÀ PRODUTTIVE SVOLTE SUL SITO E DELLA POTENZIALE CONTAMINAZIONE ..	5
4.1 INDIVIDUAZIONE DELLE SORGENTI POTENZIALMENTE INQUINANTI	6
5. INDIVIDUAZIONE DI POTENZIALI BERSAGLI E DESCRIZIONE DELLE MISURE DI PREVENZIONE ED INTERVENTI	9

1. PREMESSA

Si è redatta la presente relazione tecnico-illustrativa al fine di descrivere la situazione di potenziale contaminazione storica della matrice suolo rilevata nel sito dismesso a vocazione industriale/artigianale, oggetto di recupero e riqualificazione, ubicato in via Delle Suore 225, 231 e 243 a Modena.

A seguito dei lavori di demolizione selettiva dei fabbricati, si sono rinvenute delle terre di fonderia in alcuni punti sotto la pavimentazione in asfalto dell'area cortiliva che circonda gli edifici.

Si ritiene necessaria l'azione di prevenzione mediante la rimozione delle sorgenti potenzialmente inquinanti e la messa in sicurezza dell'area di scavo, nonché quanto necessario affinché non vi siano rischi di aggravamento della situazione di contaminazione per l'ambiente.

L'attuale proprietario dell'area, così come il soggetto proponente che attiva il presente procedimento, si dichiarano NON responsabili della potenziale contaminazione.

2. QUADRO NORMATIVO

La normativa in materia di bonifica di siti inquinati, introdotta con l'art.17 del D.Lgs. 22/97 (Decreto Ronchi), è stata successivamente completata ed attuata dal DM 471/99 e poi modificata dal D.Lgs. 152/06. Il D.Lgs. 152/06, al Titolo V Parte IV, recependo il D.M. 471/99, disciplina, dal punto di vista tecnico-amministrativo, le procedure da utilizzare in caso di fenomeni di contaminazione della matrice suolo e delle acque sotterranee.

Ai sensi dell'art. 245 del D.Lgs 152/2006, le procedure per gli interventi di messa in sicurezza, di bonifica e di ripristino ambientale possono essere comunque attivate su iniziativa degli interessati non responsabili. Il proprietario o il gestore dell'area che rilevi il superamento o il pericolo concreto e attuale del superamento della concentrazione soglia di contaminazione (CSC) deve darne comunicazione alla regione, alla provincia ed al comune territorialmente competenti e attuare le misure di prevenzione secondo la procedura di cui all'articolo 242. La provincia, una volta ricevute le comunicazioni di cui sopra, si attiva, sentito il comune, per l'identificazione del soggetto responsabile al fine di dar corso agli interventi di bonifica. Il procedimento è interrotto qualora il soggetto non responsabile della contaminazione esegua volontariamente il piano di caratterizzazione nel termine perentorio di sei mesi dall'approvazione o comunicazione ai sensi dell'articolo 252, comma 4. In tal caso il procedimento per l'identificazione del responsabile della contaminazione deve concludersi nel termine perentorio di sessanta giorni dal ricevimento delle risultanze della caratterizzazione validate dall'Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente competente. È comunque riconosciuta al proprietario o ad altro soggetto interessato la facoltà di intervenire in qualunque momento volontariamente per la realizzazione degli interventi di bonifica necessari nell'ambito del sito in proprietà o disponibilità.

3. INQUADRAMENTO GENERALE DEL SITO

L'area oggetto di intervento è situata nella porzione nord-ovest della città di Modena, a circa 2km dal centro storico e a circa 1 km in direzione sud-est dal Fiume Secchia (**Figura 1a e 1b**). L'area di studio si sviluppa in un'area urbana a vocazione artigianale e industriale, raggiungibile da Via Delle Suore. Il Sito d'intervento è catastalmente censito al Foglio n° 85, mappali n° 10 (parte), 33 (parte), 54 (parte) ed è delimitato in direzione Sud e Ovest da aree produttive già oggetto di bonifica e messa in sicurezza, a nord da infrastrutture viarie di importanza comunale, a est dalla Moschea della Comunità Islamica di Modena (**Figura 2**).



Figura 1a: Area di interesse, evidenziata in rosso, da foto aerea tratta da Google Earth.

Dal punto di vista cartografico l'area è compresa nell'Elemento della C.T.R. 201123 denominato "Modena Nord Est", in scala 1: 5000 (**Figura 2**)



Figura 1b: Stralcio tratto da Elemento C.T.R. 201123. In rosso è evidenziata l'area di cantiere



Figura 2: Dettaglio catastale area di interesse

4. RICOSTRUZIONE STORICA DELLE ATTIVITÀ PRODUTTIVE SVOLTE SUL SITO E DELLA POTENZIALE CONTAMINAZIONE

L'approccio metodologico applicato si compone di una ricerca storico-ambientale dell'area e di uno studio del rischio di inquinamento potenzialmente indotto dalle attività antropiche che si sono succedute nel tempo.

Il comparto nasce nella prima metà degli anni '60 e viene edificato a partire da un suolo agricolo periferico rispetto alla città di Modena. Attualmente si colloca in un'area urbana sviluppata e consolidata a vocazione artigianale e industriale, raggiungibile da Via Delle Suore. Nello specifico si tratta di diversi fabbricati che hanno ospitato in passato le seguenti attività ad uso Commerciale ed Industriale:

- foglio 85 mappale 10 – Nell'area è presente un unico capannone il cui corpo centrale è stato costruito nel 1964, quindi ampliato nel 1967. L'edificio adibito ad uffici e produzione di insegne luminose, della ditta Neon Modena snc, subisce un ampliamento con sopraelevazione nel 1971. Questa attività è stata dismessa nel 2020/21 circa;
- foglio 85 mappale 54 – Dalle pratiche edilizie risulta l'edificazione di un fabbricato residenziale nel 1962, quindi nel 1966 viene ampliato con la costruzione di un fabbricato industriale. Nel 2001 il fabbricato di proprietà di TE-TRA ACCIAI SRL subisce delle modifiche non sostanziali. L'attività della ditta consiste nel trattamento metalli e lavorazioni acciai. Questa attività è stata dismessa nel 2020/21 circa;
- foglio 85 mappale 55 – È presente un edificio a vocazione industriale costruito nel 1966, quindi non risultano pratiche edilizie sino al 2017, quando sono state richieste la risistemazione e la realizzazione di opere esterne non sostanziali. È stato utilizzato dalla ditta TE-TRA ACCIAI SRL come deposito attrezzature e/o materiale per le lavorazioni. Questa attività è stata dismessa nel 2020/21 circa;

- foglio 85 mappale 33 – Il lotto presenta al suo interno un capannone rettangolare, edificato nel 1962, a cui sono asti aggiunti corpi di fabbrica di piccole dimensioni in ampliamento, edificati tra il 1968 e il 1988. La ditta TE-TRA ACCIAI SRL (trattamento metalli e lavorazioni acciai) ha eseguito ulteriori modifiche nel 2009 con la realizzazione di una tettoia. Questa attività è stata dismessa nel 2020/21 circa.

Dal 2021 l'intera area è stata acquistata della ditta MCAM S.r.l. L'area è stata quindi data in utilizzo alla ditta CPC S.r.l. che, previa demolizione e ricostruzione degli attuali edifici, ne realizzerà un nuovo polo tecnologico nel settore delle lavorazioni meccaniche e di materiali compositi in varie aree industriali come racing, automotive, industrial e aeronautica.

4.1 INDIVIDUAZIONE DELLE SORGENTI POTENZIALMENTE INQUINANTI

All'atto delle demolizioni, ovvero della scarifica delle pavimentazioni interne ed esterne ai fabbricati, sono stati messi alla luce dei terreni neri di riporto ascrivibili a terre e sabbie di fonderia. In alcuni punti sono quindi stati eseguiti dei sondaggi con escavatore meccanico che hanno attraversato tutto lo spessore del terreno di riporto superficiale fino al raggiungimento del terreno naturale sottostante. In **figura 3** si riporta la planimetria complessiva dei sondaggi eseguiti.



Figura 3: punti di sondaggio ambientale

In modo speditivo, la **figura 3** mostra la rappresentazione dello stato di potenziale contaminazione: sono riportati con il colore rosso i punti in cui si sono riscontrati orizzonti neri ascrivibili a terre di fonderia, con il colore verde i punti in cui non sono risultate evidenze di potenziale contaminazione.

Di seguito si riporta una sintesi del profilo stratigrafico di ciascuno scavo (sono evidenziati in grigio gli orizzonti ascrivibili a terre di fonderia):

S1

- Da p.c. a -0,13 m: cemento
- Da -0,13 m a -0,20 m: ghiaia sabbioso limosa
- Da -0,20 m a -0,40 m: sabbie nere (fonderia)
- Da -0,40 m a -0,60 m: riporto limo sabbioso con laterizi
- Da -0,60 m a -0,80 m: argilla limosa

S2

- Da p.c. a -0,13 m: cemento
- Da -0,13 m a -0,25 m: ghiaia sabbioso limosa con laterizi
- Da -0,25 m a -0,65 m: riporto limo sabbioso nerastro con laterizi (fonderia)
- Da -0,65 m a -0,80 m: argilla limosa

S3

- Da p.c. a -0,13 m: cemento
- Da -0,13 m a -0,25 m: riporto con ghiaia sabbioso limosa con laterizi
- Da -0,25 m a -0,65 m: sabbie ghiaiose nere e grigie (fonderia) miste a blocchi di risulta di fonderia
- Da -0,65 m a -0,80 m: argilla limosa

S4

- Da p.c. a -0,12 m: pavimento industriale (cemento)
- Da -0,12 m a -0,70 m: ghiaie
- Da -0,70 m a -0,80 m: argilla limosa

S5

- Da p.c. a -0,12 m: pavimento industriale (cemento)
- Da -0,12 m a -0,60 m: ghiaie
- Da -0,60 m a -0,70 m: argilla limosa

S6

- Da p.c. a -0,65 m: terreno di riporto costituito da sabbia ghiaiosa e limosa marrone con tracce di laterizi
- Da -0,65 m a -0,75 m: argilla limosa

S7

- Da p.c. a -0,05 m: asfalto
- Da -0,05 m a -0,20 m: cemento
- Da -0,20 m a -0,50 m: riporto costituito da frammenti di laterizio, ghiaia e sabbia
- Da -0,50 m a -0,60 m: riporto sabbioso limoso nerastro (fonderia)
- Da -0,60 m a -0,80 m: argilla limosa

S8

- Da p.c. a -0,05 m: asfalto
- Da -0,05 m a -0,50 m: cemento
- Da -0,50 m a -0,60 m: riporto sabbioso (nero) e limoso nerastro e marrone scuro con ghiaia
- Da -0,60 m a -0,85 m: argilla limosa

S9

- Da p.c. a -0,15 m: cemento
- Da -0,15 m a -0,65 m: ghiaia sabbiosa
- Da -0,65 m a -0,90 m: argilla limosa

S10

- Da p.c. a -0,05 m: asfalto
- Da -0,05 m a -0,20 m: cemento
- Da -0,20 m a -0,30 m: ghiaia sabbiosa di sottofondo
- Da -0,30 m a -0,70 m: riporto costituito da frammenti di laterizi, ghiaia e sabbia
- Da -0,70 m a 0,9 m: argilla limosa

S11

- Da p.c. a -0,20 m: cemento
- Da -0,20 m a -0,50 m: ghiaia sabbiosa di sottofondo
- Da -0,50 m a -0,80 m: argilla limosa di riporto con ghiaia e laterizi
- Da -0,80 m a -1,20 m: riporto costituito da frammenti di laterizi, ghiaia e argilla
- Da -1,2 m a -1,4 m: argilla limosa

S12

- Da p.c. a -0,20 m: pavimento e cemento
- Da -0,20 m a -0,40 m: ghiaia sabbiosa di sottofondo
- Da -0,40 m a -0,90 m: riporto costituito da ghiaia, sabbia e frammenti di laterizi
- Da -0,90 m a -1,30 m: argilla limosa

Tenuto conto delle indagini svolte e degli accertamenti visivi eseguiti, è stato possibile stimare l'estensione dei terreni neriastri potenzialmente inquinanti secondo una rappresentazione grafica come quella di figura 4, in cui sono state evidenziate con lo sfondo arancione le aree potenzialmente contaminate.



Figura 4: modello con evidenza delle aree potenzialmente contaminate

In base al modello proposto, si stima che la superficie oggetto della potenziale contaminazione possa estendersi per circa 540 m². Ponendo come ipotesi una contaminazione che riguarda spessori medi pari a circa 50 cm (ricomprendendo quindi anche terreni non apparentemente contaminati) si può stimare un volume di terreno potenzialmente contaminato pari a m³ 270.

5. INDIVIDUAZIONE DI POTENZIALI BERSAGLI E DESCRIZIONE DELLE MISURE DI PREVENZIONE ED INTERVENTI

L'area di rinvenimento delle sorgenti potenzialmente contaminanti è stata opportunamente delimitata e segnalata; inoltre, l'accesso all'area di cantiere è consentito solo al personale autorizzato.

È stato valutato che l'esposizione delle terre e sabbie di fonderia agli agenti atmosferici (pioggia), attraverso il fenomeno del dilavamento, possa comportare rischi di aggravamento della situazione di contaminazione della matrice suolo.

Per quanto attiene alla matrice acqua di falda si sono consultati alcuni studi idrogeologici di riferimento per l'area di interesse, da cui si rileva che è presente un acquifero superficiale ubicato entro limi sabbiosi posti alla profondità di 5,4/5,5 – 7,0/8,0 m dal piano campagna; l'acquifero è definibile come un acquitardo leggermente in pressione che risale la colonna piezometrica fino a circa -1,5 m da p.c. Dal momento che la stratigrafia dei terreni presenti dal piano di campagna fino alla profondità di 5,4/5,5 m è costituita da limi-argillosi e argille limose a bassa o bassissima permeabilità è ragionevole ritenere che la potenziale contaminazione possa essere confinata negli strati di terreno più superficiali senza quindi raggiungere l'acquitardo sottostante.

Quali misure di prevenzione e di messa in sicurezza di emergenza si intendono adottare le seguenti attività:

- copertura temporanea con teli di plastica delle sorgenti potenzialmente inquinanti (terre di fonderia), esposte agli agenti atmosferici;
- rimozione progressiva delle terre di fonderia ovvero dei terreni che presentano evidenze di contaminazione, affinché i terreni stessi non possano comportare rischi di aggravamento della situazione di contaminazione per l'ambiente;
- messa in sicurezza dell'area di scavo per evitare franamenti delle pareti.

I terreni rimossi saranno posizionati internamente all'area di cantiere su una superficie impermeabile, opportunamente protetta e recintata, quindi gestiti secondo la normativa sui rifiuti e conferiti presso una discarica autorizzata per lo smaltimento.

Contestualmente all'invio della comunicazione di potenziale contaminazione agli enti competenti, verranno svolte delle indagini volte ad accertare il superamento delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC), ai sensi della parte IV del D.lgs. 152/2006.

L'esito delle indagini e le misure di prevenzione adottate, saranno trasmesse alle autorità competenti.

05/01/2023

Dott. Geol. Francesco Dettori

Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna



COMUNE DI MODENA

PROVINCIA DI MODENA

COMUNICAZIONE DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE E
RIMOZIONE D'URGENZA DI TERRE DI FONDERIA IN UN SITO
INDUSTRIALE DISMESSO UBICATO IN AREA EX-NEON MODENA
ED EX-TETRACCIAI, VIA DELLE SUORE NN. 225, 231, 243

RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

Ai sensi degli artt. 245 e 304 del D.Lgs. 152/2006

SOGGETTO PROPONENTE: CPC S.R.L.

GENNAIO 2023

Dott. Geol. Francesco Dettori
Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna



INDICE

1. PREMESSA	3
2. QUADRO NORMATIVO	3
3. INQUADRAMENTO GENERALE DEL SITO	4
4. RICOSTRUZIONE STORICA DELLE ATTIVITÀ PRODUTTIVE SVOLTE SUL SITO E DELLA POTENZIALE CONTAMINAZIONE ..	5
4.1 INDIVIDUAZIONE DELLE SORGENTI POTENZIALMENTE INQUINANTI	6
5. INDIVIDUAZIONE DI POTENZIALI BERSAGLI E DESCRIZIONE DELLE MISURE DI PREVENZIONE ED INTERVENTI	9

1. PREMESSA

Si è redatta la presente relazione tecnico-illustrativa al fine di descrivere la situazione di potenziale contaminazione storica della matrice suolo rilevata nel sito dismesso a vocazione industriale/artigianale, oggetto di recupero e riqualificazione, ubicato in via Delle Suore 225, 231 e 243 a Modena.

A seguito dei lavori di demolizione selettiva dei fabbricati, si sono rinvenute delle terre di fonderia in alcuni punti sotto la pavimentazione in asfalto dell'area cortiliva che circonda gli edifici.

Si ritiene necessaria l'azione di prevenzione mediante la rimozione delle sorgenti potenzialmente inquinanti e la messa in sicurezza dell'area di scavo, nonché quanto necessario affinché non vi siano rischi di aggravamento della situazione di contaminazione per l'ambiente.

L'attuale proprietario dell'area, così come il soggetto proponente che attiva il presente procedimento, si dichiarano NON responsabili della potenziale contaminazione.

2. QUADRO NORMATIVO

La normativa in materia di bonifica di siti inquinati, introdotta con l'art.17 del D.Lgs. 22/97 (Decreto Ronchi), è stata successivamente completata ed attuata dal DM 471/99 e poi modificata dal D.Lgs. 152/06. Il D.Lgs. 152/06, al Titolo V Parte IV, recependo il D.M. 471/99, disciplina, dal punto di vista tecnico-amministrativo, le procedure da utilizzare in caso di fenomeni di contaminazione della matrice suolo e delle acque sotterranee.

Ai sensi dell'art. 245 del D.Lgs 152/2006, le procedure per gli interventi di messa in sicurezza, di bonifica e di ripristino ambientale possono essere comunque attivate su iniziativa degli interessati non responsabili. Il proprietario o il gestore dell'area che rilevi il superamento o il pericolo concreto e attuale del superamento della concentrazione soglia di contaminazione (CSC) deve darne comunicazione alla regione, alla provincia ed al comune territorialmente competenti e attuare le misure di prevenzione secondo la procedura di cui all'articolo 242. La provincia, una volta ricevute le comunicazioni di cui sopra, si attiva, sentito il comune, per l'identificazione del soggetto responsabile al fine di dar corso agli interventi di bonifica. Il procedimento è interrotto qualora il soggetto non responsabile della contaminazione esegua volontariamente il piano di caratterizzazione nel termine perentorio di sei mesi dall'approvazione o comunicazione ai sensi dell'articolo 252, comma 4. In tal caso il procedimento per l'identificazione del responsabile della contaminazione deve concludersi nel termine perentorio di sessanta giorni dal ricevimento delle risultanze della caratterizzazione validate dall'Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente competente. È comunque riconosciuta al proprietario o ad altro soggetto interessato la facoltà di intervenire in qualunque momento volontariamente per la realizzazione degli interventi di bonifica necessari nell'ambito del sito in proprietà o disponibilità.

3. INQUADRAMENTO GENERALE DEL SITO

L'area oggetto di intervento è situata nella porzione nord-ovest della città di Modena, a circa 2km dal centro storico e a circa 1 km in direzione sud-est dal Fiume Secchia (**Figura 1a e 1b**). L'area di studio si sviluppa in un'area urbana a vocazione artigianale e industriale, raggiungibile da Via Delle Suore. Il Sito d'intervento è catastalmente censito al Foglio n° 85, mappali n° 10 (parte), 33 (parte), 54 (parte) ed è delimitato in direzione Sud e Ovest da aree produttive già oggetto di bonifica e messa in sicurezza, a nord da infrastrutture viarie di importanza comunale, a est dalla Moschea della Comunità Islamica di Modena (**Figura 2**).



Figura 1a: Area di interesse, evidenziata in rosso, da foto aerea tratta da Google Earth.

Dal punto di vista cartografico l'area è compresa nell'Elemento della C.T.R. 201123 denominato "Modena Nord Est", in scala 1: 5000 (**Figura 2**)



Figura 1b: Stralcio tratto da Elemento C.T.R. 201123. In rosso è evidenziata l'area di cantiere



Figura 2: Dettaglio catastale area di interesse

4. RICOSTRUZIONE STORICA DELLE ATTIVITÀ PRODUTTIVE SVOLTE SUL SITO E DELLA POTENZIALE CONTAMINAZIONE

L'approccio metodologico applicato si compone di una ricerca storico-ambientale dell'area e di uno studio del rischio di inquinamento potenzialmente indotto dalle attività antropiche che si sono succedute nel tempo.

Il comparto nasce nella prima metà degli anni '60 e viene edificato a partire da un suolo agricolo periferico rispetto alla città di Modena. Attualmente si colloca in un'area urbana sviluppata e consolidata a vocazione artigianale e industriale, raggiungibile da Via Delle Suore. Nello specifico si tratta di diversi fabbricati che hanno ospitato in passato le seguenti attività ad uso Commerciale ed Industriale:

- foglio 85 mappale 10 – Nell'area è presente un unico capannone il cui corpo centrale è stato costruito nel 1964, quindi ampliato nel 1967. L'edificio adibito ad uffici e produzione di insegne luminose, della ditta Neon Modena snc, subisce un ampliamento con sopraelevazione nel 1971. Questa attività è stata dismessa nel 2020/21 circa;
- foglio 85 mappale 54 – Dalle pratiche edilizie risulta l'edificazione di un fabbricato residenziale nel 1962, quindi nel 1966 viene ampliato con la costruzione di un fabbricato industriale. Nel 2001 il fabbricato di proprietà di TE-TRA ACCIAI SRL subisce delle modifiche non sostanziali. L'attività della ditta consiste nel trattamento metalli e lavorazioni acciai. Questa attività è stata dismessa nel 2020/21 circa;
- foglio 85 mappale 55 – È presente un edificio a vocazione industriale costruito nel 1966, quindi non risultano pratiche edilizie sino al 2017, quando sono state richieste la risistemazione e la realizzazione di opere esterne non sostanziali. È stato utilizzato dalla ditta TE-TRA ACCIAI SRL come deposito attrezzature e/o materiale per le lavorazioni. Questa attività è stata dismessa nel 2020/21 circa;

- foglio 85 mappale 33 – Il lotto presenta al suo interno un capannone rettangolare, edificato nel 1962, a cui sono asti aggiunti corpi di fabbrica di piccole dimensioni in ampliamento, edificati tra il 1968 e il 1988. La ditta TE-TRA ACCIAI SRL (trattamento metalli e lavorazioni acciai) ha eseguito ulteriori modifiche nel 2009 con la realizzazione di una tettoia. Questa attività è stata dismessa nel 2020/21 circa.

Dal 2021 l'intera area è stata acquistata della ditta MCAM S.r.l. L'area è stata quindi data in utilizzo alla ditta CPC S.r.l. che, previa demolizione e ricostruzione degli attuali edifici, ne realizzerà un nuovo polo tecnologico nel settore delle lavorazioni meccaniche e di materiali compositi in varie aree industriali come racing, automotive, industrial e aeronautica.

4.1 INDIVIDUAZIONE DELLE SORGENTI POTENZIALMENTE INQUINANTI

All'atto delle demolizioni, ovvero della scarifica delle pavimentazioni interne ed esterne ai fabbricati, sono stati messi alla luce dei terreni neri di riporto ascrivibili a terre e sabbie di fonderia. In alcuni punti sono quindi stati eseguiti dei sondaggi con escavatore meccanico che hanno attraversato tutto lo spessore del terreno di riporto superficiale fino al raggiungimento del terreno naturale sottostante. In **figura 3** si riporta la planimetria complessiva dei sondaggi eseguiti.



Figura 3: punti di sondaggio ambientale

In modo speditivo, la **figura 3** mostra la rappresentazione dello stato di potenziale contaminazione: sono riportati con il colore rosso i punti in cui si sono riscontrati orizzonti neri ascrivibili a terre di fonderia, con il colore verde i punti in cui non sono risultate evidenze di potenziale contaminazione.

Di seguito si riporta una sintesi del profilo stratigrafico di ciascuno scavo (sono evidenziati in grigio gli orizzonti ascrivibili a terre di fonderia):

S1

- Da p.c. a -0,13 m: cemento
- Da -0,13 m a -0,20 m: ghiaia sabbioso limosa
- Da -0,20 m a -0,40 m: sabbie nere (fonderia)
- Da -0,40 m a -0,60 m: riporto limo sabbioso con laterizi
- Da -0,60 m a -0,80 m: argilla limosa

S2

- Da p.c. a -0,13 m: cemento
- Da -0,13 m a -0,25 m: ghiaia sabbioso limosa con laterizi
- Da -0,25 m a -0,65 m: riporto limo sabbioso nerastro con laterizi (fonderia)
- Da -0,65 m a -0,80 m: argilla limosa

S3

- Da p.c. a -0,13 m: cemento
- Da -0,13 m a -0,25 m: riporto con ghiaia sabbioso limosa con laterizi
- Da -0,25 m a -0,65 m: sabbie ghiaiose nere e grigie (fonderia) miste a blocchi di risulta di fonderia
- Da -0,65 m a -0,80 m: argilla limosa

S4

- Da p.c. a -0,12 m: pavimento industriale (cemento)
- Da -0,12 m a -0,70 m: ghiaie
- Da -0,70 m a -0,80 m: argilla limosa

S5

- Da p.c. a -0,12 m: pavimento industriale (cemento)
- Da -0,12 m a -0,60 m: ghiaie
- Da -0,60 m a -0,70 m: argilla limosa

S6

- Da p.c. a -0,65 m: terreno di riporto costituito da sabbia ghiaiosa e limosa marrone con tracce di laterizi
- Da -0,65 m a -0,75 m: argilla limosa

S7

- Da p.c. a -0,05 m: asfalto
- Da -0,05 m a -0,20 m: cemento
- Da -0,20 m a -0,50 m: riporto costituito da frammenti di laterizio, ghiaia e sabbia
- Da -0,50 m a -0,60 m: riporto sabbioso limoso nerastro (fonderia)
- Da -0,60 m a -0,80 m: argilla limosa

S8

- Da p.c. a -0,05 m: asfalto
- Da -0,05 m a -0,50 m: cemento
- Da -0,50 m a -0,60 m: riporto sabbioso (nero) e limoso nerastro e marrone scuro con ghiaia
- Da -0,60 m a -0,85 m: argilla limosa



S9

- Da p.c. a -0,15 m: cemento
- Da -0,15 m a -0,65 m: ghiaia sabbiosa
- Da -0,65 m a -0,90 m: argilla limosa

S10

- Da p.c. a -0,05 m: asfalto
- Da -0,05 m a -0,20 m: cemento
- Da -0,20 m a -0,30 m: ghiaia sabbiosa di sottofondo
- Da -0,30 m a -0,70 m: riporto costituito da frammenti di laterizi, ghiaia e sabbia
- Da -0,70 m a 0,9 m: argilla limosa

S11

- Da p.c. a -0,20 m: cemento
- Da -0,20 m a -0,50 m: ghiaia sabbiosa di sottofondo
- Da -0,50 m a -0,80 m: argilla limosa di riporto con ghiaia e laterizi
- Da -0,80 m a -1,20 m: riporto costituito da frammenti di laterizi, ghiaia e argilla
- Da -1,2 m a -1,4 m: argilla limosa

S12

- Da p.c. a -0,20 m: pavimento e cemento
- Da -0,20 m a -0,40 m: ghiaia sabbiosa di sottofondo
- Da -0,40 m a -0,90 m: riporto costituito da ghiaia, sabbia e frammenti di laterizi
- Da -0,90 m a -1,30 m: argilla limosa

Tenuto conto delle indagini svolte e degli accertamenti visivi eseguiti, è stato possibile stimare l'estensione dei terreni nerastri potenzialmente inquinanti secondo una rappresentazione grafica come quella di figura 4, in cui sono state evidenziate con lo sfondo arancione le aree potenzialmente contaminate.



Figura 4: modello con evidenza delle aree potenzialmente contaminate

In base al modello proposto, si stima che la superficie oggetto della potenziale contaminazione possa estendersi per circa 540 m². Ponendo come ipotesi una contaminazione che riguarda spessori medi pari a circa 50 cm (ricomprendendo quindi anche terreni non apparentemente contaminati) si può stimare un volume di terreno potenzialmente contaminato pari a m³ 270.

5. INDIVIDUAZIONE DI POTENZIALI BERSAGLI E DESCRIZIONE DELLE MISURE DI PREVENZIONE ED INTERVENTI

L'area di rinvenimento delle sorgenti potenzialmente contaminanti è stata opportunamente delimitata e segnalata; inoltre, l'accesso all'area di cantiere è consentito solo al personale autorizzato.

È stato valutato che l'esposizione delle terre e sabbie di fonderia agli agenti atmosferici (pioggia), attraverso il fenomeno del dilavamento, possa comportare rischi di aggravamento della situazione di contaminazione della matrice suolo.

Per quanto attiene alla matrice acqua di falda si sono consultati alcuni studi idrogeologici di riferimento per l'area di interesse, da cui si rileva che è presente un acquifero superficiale ubicato entro limi sabbiosi posti alla profondità di 5,4/5,5 – 7,0/8,0 m dal piano campagna; l'acquifero è definibile come un acquitardo leggermente in pressione che risale la colonna piezometrica fino a circa -1,5 m da p.c. Dal momento che la stratigrafia dei terreni presenti dal piano di campagna fino alla profondità di 5,4/5,5 m è costituita da limi-argillosi e argille limose a bassa o bassissima permeabilità è ragionevole ritenere che la potenziale contaminazione possa essere confinata negli strati di terreno più superficiali senza quindi raggiungere l'acquitardo sottostante.

Quali misure di prevenzione e di messa in sicurezza di emergenza si intendono adottare le seguenti attività:

- copertura temporanea con teli di plastica delle sorgenti potenzialmente inquinanti (terre di fonderia), esposte agli agenti atmosferici;
- rimozione progressiva delle terre di fonderia ovvero dei terreni che presentano evidenze di contaminazione, affinché i terreni stessi non possano comportare rischi di aggravamento della situazione di contaminazione per l'ambiente;
- messa in sicurezza dell'area di scavo per evitare franamenti delle pareti.

I terreni rimossi saranno posizionati internamente all'area di cantiere su una superficie impermeabile, opportunamente protetta e recintata, quindi gestiti secondo la normativa sui rifiuti e conferiti presso una discarica autorizzata per lo smaltimento.

Contestualmente all'invio della comunicazione di potenziale contaminazione agli enti competenti, verranno svolte delle indagini volte ad accertare il superamento delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC), ai sensi della parte IV del D.lgs. 152/2006.

L'esito delle indagini e le misure di prevenzione adottate, saranno trasmesse alle autorità competenti.

05/01/2023

Dott. Geol. Francesco Dettori
Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

