



**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:

DISCIPLINA:

PROGR:

REVISIONE:

**PDC**

**REL**

**04AII.01**

**rev00**

OGGETTO:

**ELABORATI DESCRITTIVI**

**Rel.geologica-geotecnica-sismica**

FILE PDF: **PDC\_REL-04AII.01\_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 PRELIMINARE DI NUOVA COSTRUZIONE DI 2  
FABBRICATI PRODUTTIVI (N1 E N2) SITI IN VIA DELLE SUORE PER  
CONTO DELLA SOCIETÀ FRANCO IORIO SRL  
FOGLIO 76, MAPPALI 28, 29, 30, 31, 32

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

COMMITTENTE: *FRANCO IORIO SRL*

PROGETTO: *PROSPAZIO Architecture Engineering*

marzo 2022

**Dott. Geol. Francesco Dettori**



## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>3. RELAZIONE GEOLOGICA: INQUADRAMENTO GENERALE .....</b>	<b>4</b>
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.....	7
<b>4. CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL SITO MEDIANTE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE .....</b>	<b>9</b>
4.1 PROVE PENETROMETRICHE: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE .....	9
4.2 PROVA MASW: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE.....	11
4.3 PROVA MICROTREMORE A STAZIONE SINGOLA: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE.....	13
<b>5. RELAZIONE GEOLOGICA SULLE INDAGINI .....</b>	<b>14</b>
5.1 MODELLO LITOSTRATIGRAFICO E IDROGEOLOGICO DEL TERRENO .....	14
5.1.1 MODELLO GEOLOGICO CPT 1 .....	15
5.1.2 MODELLO GEOLOGICO CPT 2 .....	17
5.1.3 MODELLO GEOLOGICO CPT 3 .....	19
5.1.4 MODELLO GEOLOGICO CPT 4.....	21
5.1.5 MODELLO GEOLOGICO CPT 5 .....	23
5.1.6 MODELLO GEOLOGICO CPT 6.....	25
5.1.7 MODELLO GEOLOGICO CPT 7 .....	27
5.1.8 MODELLO GEOLOGICO CPT 8.....	29
<b>6. RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI .....</b>	<b>31</b>
6.1 MODELLO GEOTECNICO E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO .....	31
6.1.1 MODELLO GEOTECNICO CPT 1 .....	32
6.1.2 MODELLO GEOTECNICO CPT 2 .....	32
6.1.3 MODELLO GEOTECNICO CPT 3 .....	32
6.1.4 MODELLO GEOTECNICO CPT 4 .....	33
6.1.5 MODELLO GEOTECNICO CPT 5 .....	33
6.1.6 MODELLO GEOTECNICO CPT 6 .....	33
6.1.7 MODELLO GEOTECNICO CPT 7 .....	34
6.1.8 MODELLO GEOTECNICO CPT 8 .....	34
<b>7. RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE E PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO .....</b>	<b>35</b>
7.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE: SISMICITÀ DEL TERRITORIO E CLASSIFICAZIONI .....	35
7.2 CARATTERIZZAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA DEL SITO .....	37
7.2.1 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA MASW .....	37
7.2.2 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA HVSR .....	39
7.3 CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO AI SENSI DELLE NTC 2018 .....	40
7.4 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA IN SUPERFICIE AI SENSI DELLE NTC 2018 .....	41
7.4.1 DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICO .....	41
7.4.2 DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICO .....	41
7.4.3 COEFFICIENTI SISMICI E ACCELERAZIONE MASSIMA IN SUPERFICIE AMAX PER I DIVERSI STATI LIMITE...42	
7.5 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO ATTESO IN SUPERFICIE DI CUI ALLE NTC 2018.....	43
7.6 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE E CALCOLO DEI CEDIMENTI POST SISMICI .....	44
<b>8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>48</b>
TABELLE E ALLEGATI	





## 1. PREMESSA

Su incarico della Committenza e in accordo con i Tecnici Progettisti si è eseguito il presente studio preliminare del terreno di fondazione di un'area industriale oggetto di riqualificazione attraverso la demolizione di fabbricati esistenti e la nuova costruzione di due magazzini identificati con le sigle N1 e N2. Il sito è posto in via Delle Suore a Modena (MO) – Fg 76, Mapp.li 28-29-30-31-32.

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 è ubicato nella porzione nord-ovest della città di Modena, in un'area urbana a vocazione artigianale e industriale, raggiungibile da Via delle Suore. Il terreno oggetto di studio si sviluppa su di una superficie complessiva di circa 9000 m<sup>2</sup> come raffigurata in **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.



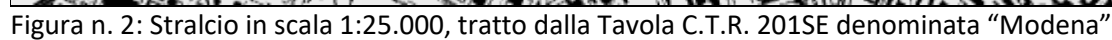
Figura 1: Area di interesse da foto aerea tratta Google Earth.

Da un punto di vista topografico la zona si trova nella pianura modenese; il fabbricato è ubicato ad una quota pari a 35 m s.l.m.

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

- nella Tavola della C.T.R. 2015E denominata "Modena" in scala 1:25.000 (**Figura n. 2**);
- nell'Elemento della C.T.R. 201123 denominato "Modena nord est" e nell'Elemento della C.T.R. 201112 denominato "Modena nord ovest" in scala 1:5.000 (**Figura n. 3**).





### 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 4**, 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"*.

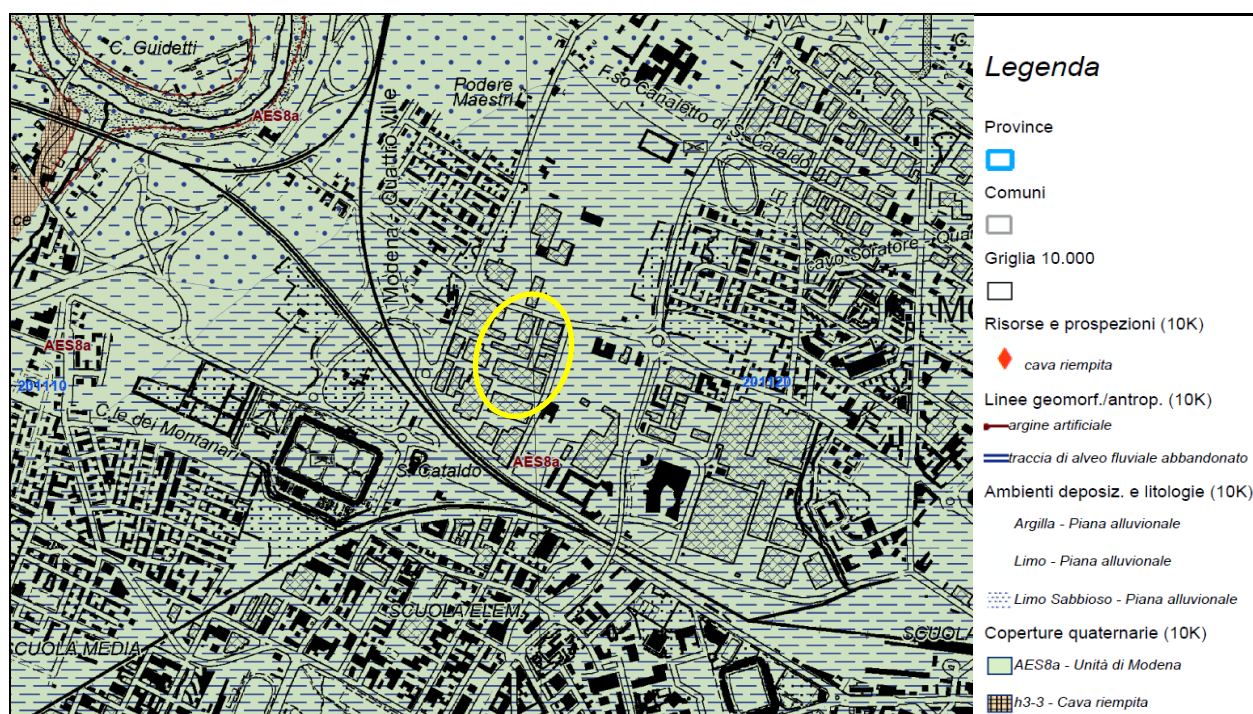


Figura 4: Carta Geologica tratta da "Servizio Sismico, Geologico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna" – stralcio in scala grafica

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, semiconfinite o spesso freatiche, essendo in continuità con la falda idrica superficiale. I livelli da fini a medio grossolani, attribuibili alle esondazioni dei corsi d'acqua, ospitano quindi una falda freatica alimentata principalmente dalle infiltrazioni superficiali e dai canali di bonifica. Le profondità della falda freatica sono spesso modeste (dell'ordine di 1-4 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 15/02/2022, ha rilevato il livello di falda alla profondità -1,60/-1,90 m da p.c.

### **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 amplificazione locali e in zone di attenzione per instabilità.

Come si evince dalla **Figura 5** 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.

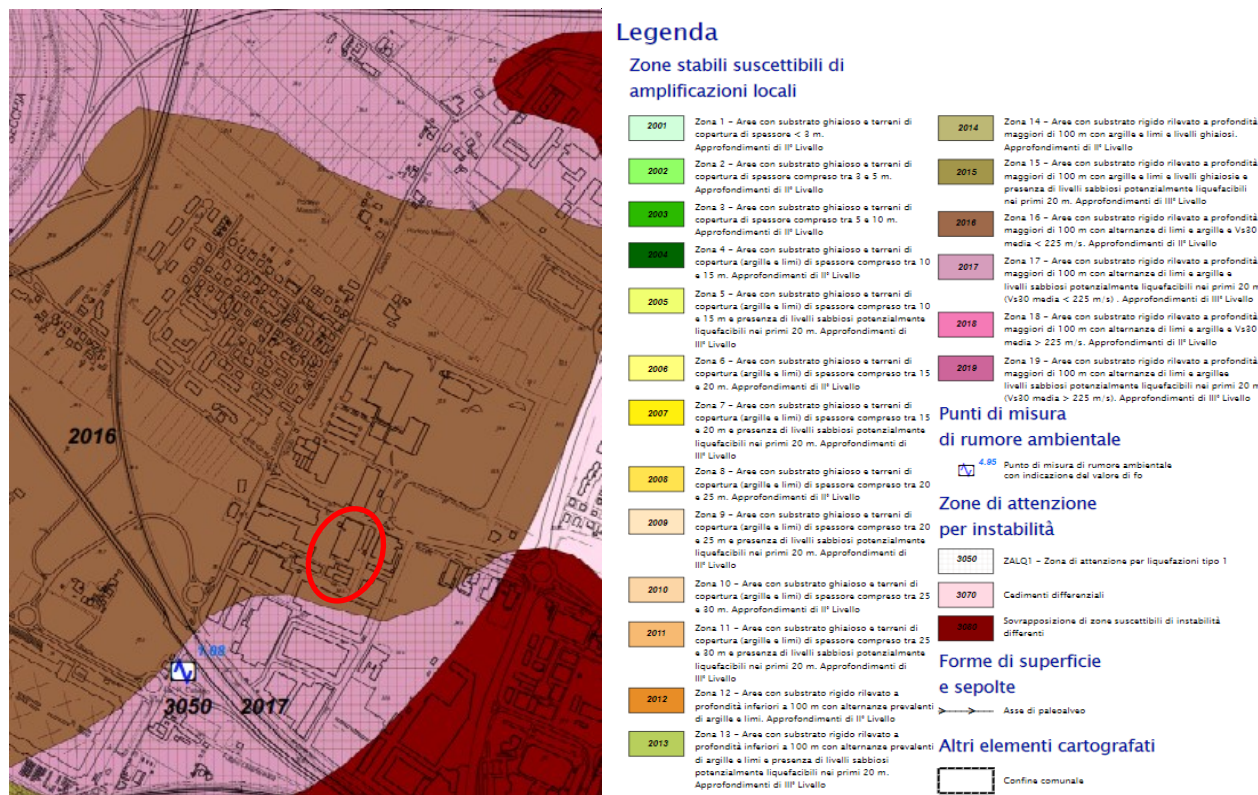


Figura 5: Carta delle MOPS (stralcio in scala 1:10000)

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. 8 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 con misurazione di microtremore a stazione singola TR.

L'ubicazione generale delle indagini considerate nel presente studio è riportata nella planimetria di progetto in **Figura n. 6**.

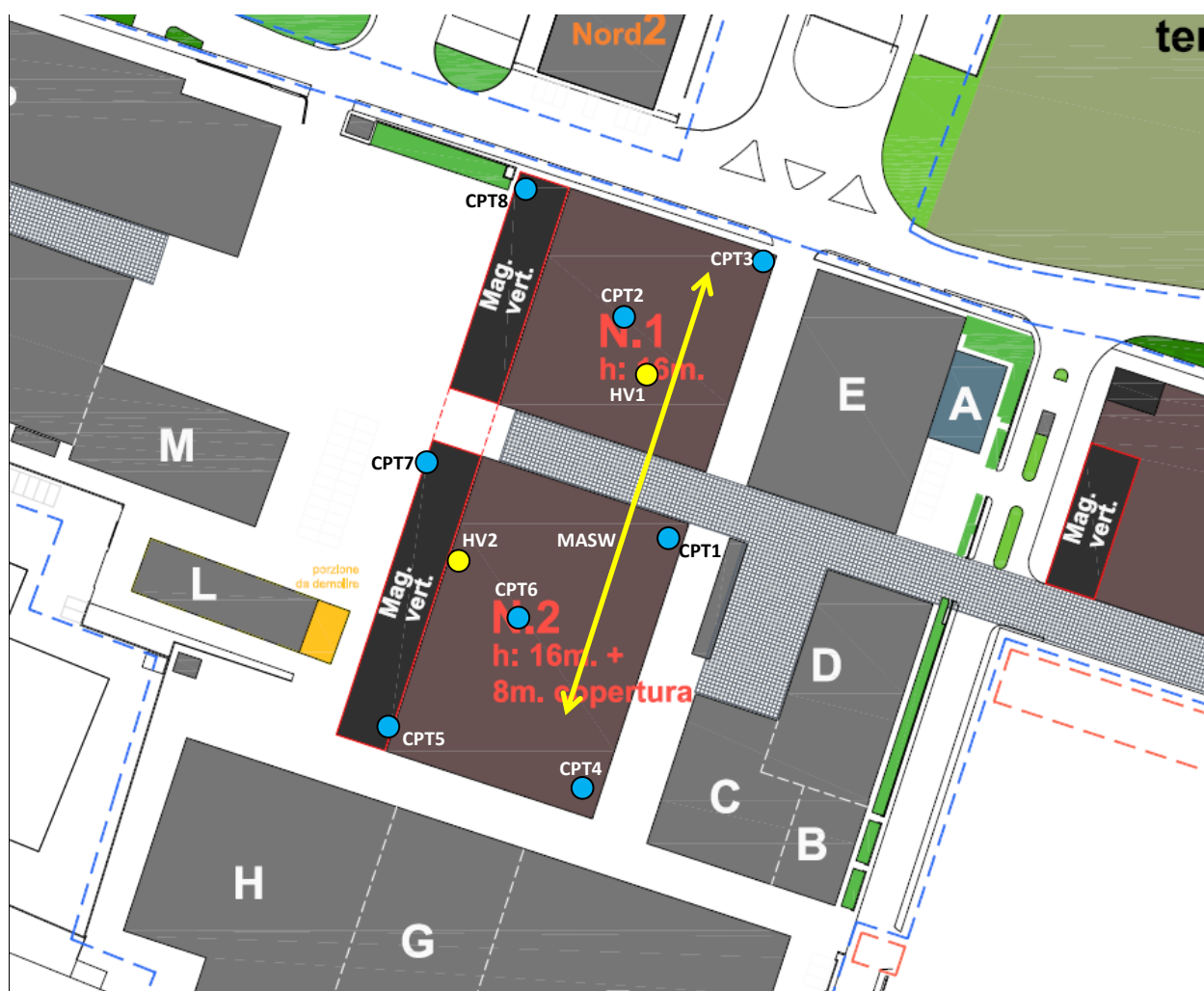


Figura 6: ubicazione indagini geognostiche e geofisiche; base cartografica tratta da progetto preliminare

##### 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); Rl (resistenza attrito-laterale);
- spinta	100 kN;	- area punta	10 cm <sup>2</sup> ;
- 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 cm<sup>2</sup>. Esso supporta lungo il suo stelo un manicotto d'attrito, la cui superficie laterale è di 150 cm<sup>2</sup>.

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 (Rl). 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 nelle immagini di **Figura n. 7**.



Figura 7a-b: immagini della prova penetrometrica CPT1 e CPT2



Figura 7c-d: immagini della prova penetrometrica CPT3 e CPT4





Figura 7e-f: immagini della prova penetrometrica CPT5 e CPT6

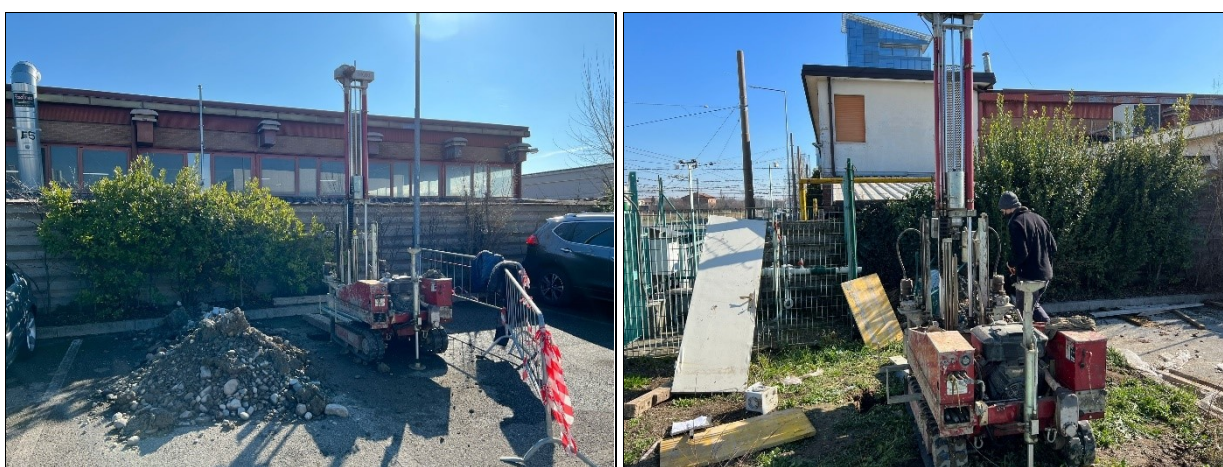


Figura 7g-h: immagini della prova penetrometrica CPT7 e CPT8

#### 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 filtraggi 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  $V_s$ , 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 8**.

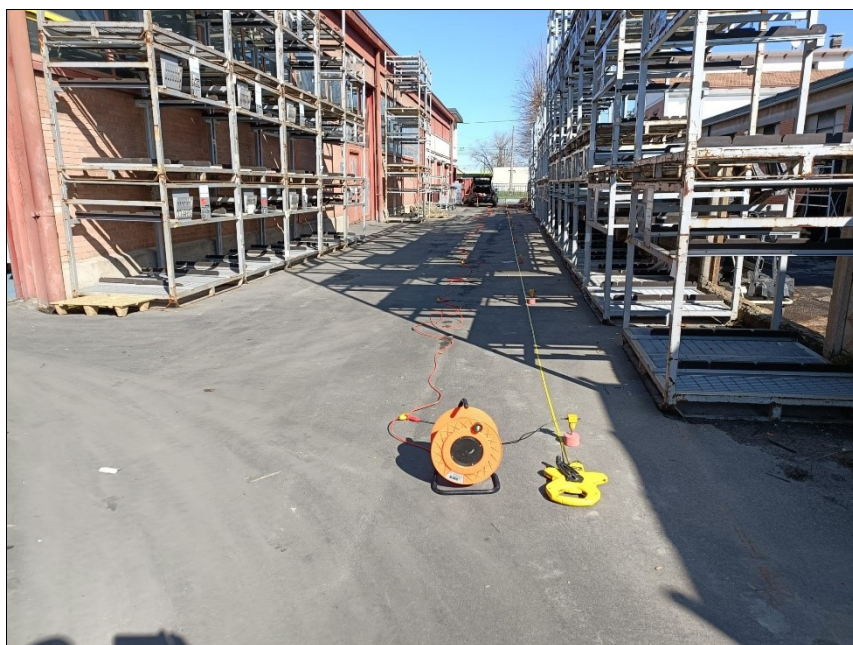


Figura 8: immagine della prova geofisica MASW



#### **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/s<sup>2</sup>), 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 9**.



Figura 9a-b: immagini della prova geofisica HVSr 1 e 2

## 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, CPT5, CPT6, CPT7, CPT8**).


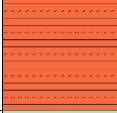
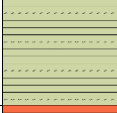
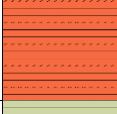
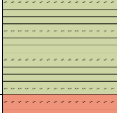
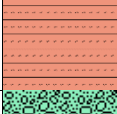

In relazione delle caratteristiche di resistenza del terreno, l'indagine CPT è stata spinta ad una profondità massima di -25,0 m. Durante l'esecuzione delle indagini non si sono riscontrate anomalie di funzionamento delle apparecchiature sia meccaniche che digitali.

### 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

<b>Prof. tetto strato (m)</b>	<b>Prof. base strato (m)</b>	<b>Retino</b>	<b>Descrizione litologica</b>	<b>Qc (resistenza alla punta - valore min/max in Mpa)</b>
0,0	-1,2/-1,6		terreno di riporto misto (pavimentazione industriale, sottofondo con ghiaia prevalente e altri materiali di riempimento)	--
-1,2/-1,6	-2,0/-2,6		argilla con limo e sabbia, poco consistente	0,99 – 1,17
-2,0/-2,6	-4,2/-5,6		argilla limosa (localmente sabbiosa), mediamente consistente	1,56 – 1,79
-4,2/-5,6	-5,8/-7,2		argilla con limo e sabbia, poco consistente	0,96 – 1,22
-5,8/-7,2	-15,2/-16,0		argilla limosa e sabbiosa, mediamente consistente	1,63 – 2,11
-15,2/-16,0	-22,6/-24,8		argilla e limo con sabbia, consistente (localmente molto consistente)	2,84 – 3,5
≈ -22,6/-26,0			primo livello sabbioso ghiaioso (spessore modesto)	--

## 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 (>23/26 m) riferibile al F. Secchia, a litologia prevalentemente ghiaiosa, ed uno più superficiale attribuibile al reticolo secondario (T. Cerca, 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 (o leggermente in pressione) 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 15-17/02/2022, hanno registrato i seguenti risultati:

Sondaggio	1	2	3	4	5	6	7	8
Profondità prova	-24.2 m	-21.4 m	-24.8 m	-23.2 m	-20.8 m	-23.6 m	-20.0 m	-18.6 m
Misura falda in data 24-25/06/2020	-1.6 m	-1.8 m	-1.6 m	-1.9 m	-1.7 m	-1.8 m	-1.7 m	-1.8 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.

### 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 <sup>3</sup> )	Descrizione
A	1.20	-	-	-	riporto
B	2.20	1.09	0.05	18.5	argilla con limo e sabbia poco consistente
C	5.20	1.56	0.08	18.9	argilla limosa mediamente consistente
D	7.00	1.08	0.05	18.3	argilla con limo e sabbia poco consistente
E	16.00	1.67	0.08	18.9	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente
F	23.80	3.04	0.16	19.9	argilla e limo con sabbia consistente
G	24.20	9.71	0.24	20.4	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**  
**Edifici N1 e N2**  
**Modena via delle Suore**

**Data: 15/02/2022**

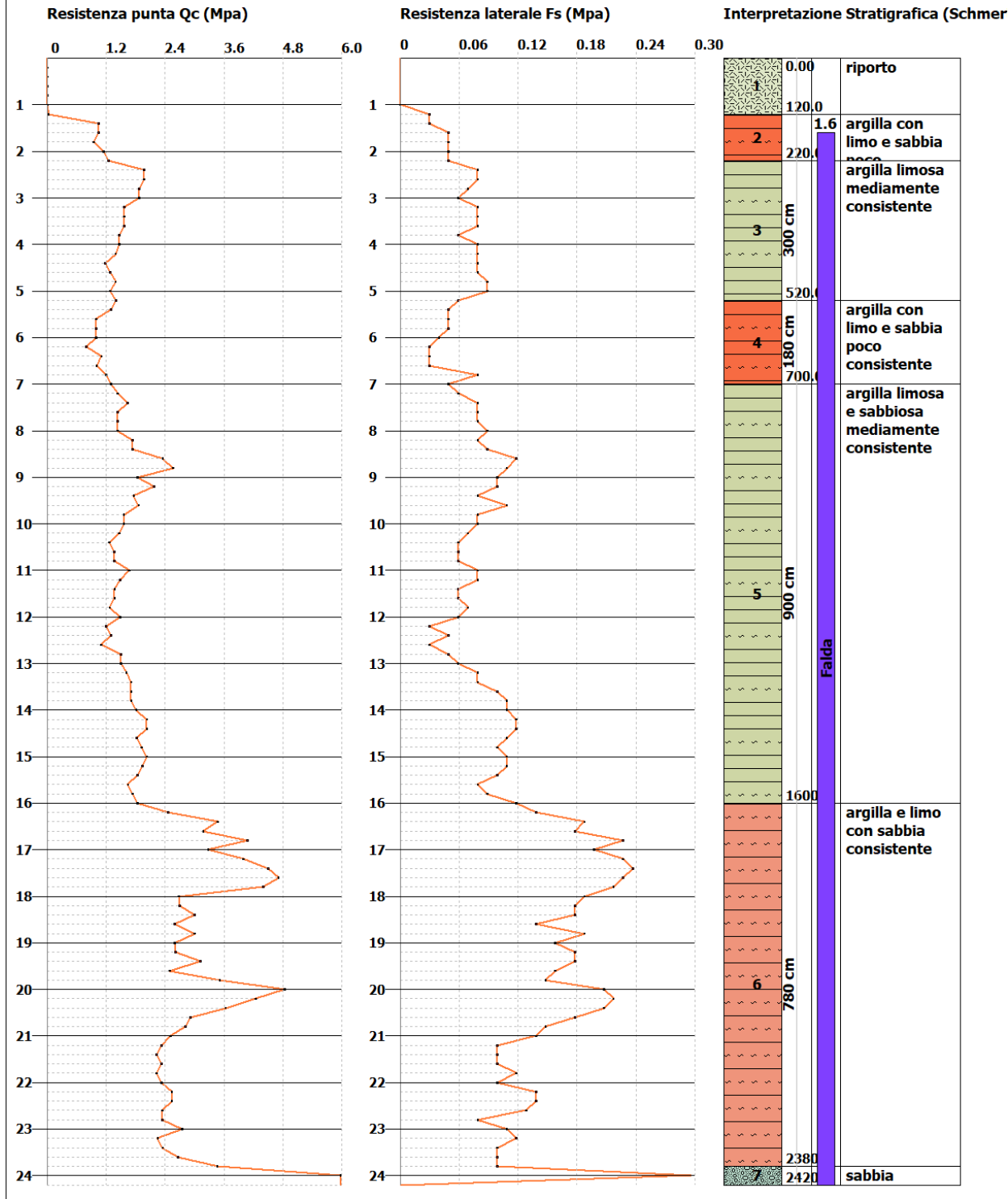


Figura 10: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica CPT 1

### 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 <sup>3</sup> )	Descrizione
A	1.20	-	-	-	riporto
B	2.20	1.17	0.07	18.5	argilla con limo e sabbia poco consistente
C	5.20	1.67	0.07	19.0	argilla limosa mediamente consistente
D	7.20	1.07	0.05	18.2	argilla con limo e sabbia poco consistente
E	16.00	1.66	0.08	18.9	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente
F	21.40	2.9	0.16	19.8	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: Franco Iorio Srl  
 Cantiere: Edifici N1 e N2  
 Località: Modena via delle Suore

Data: 15/02/2022

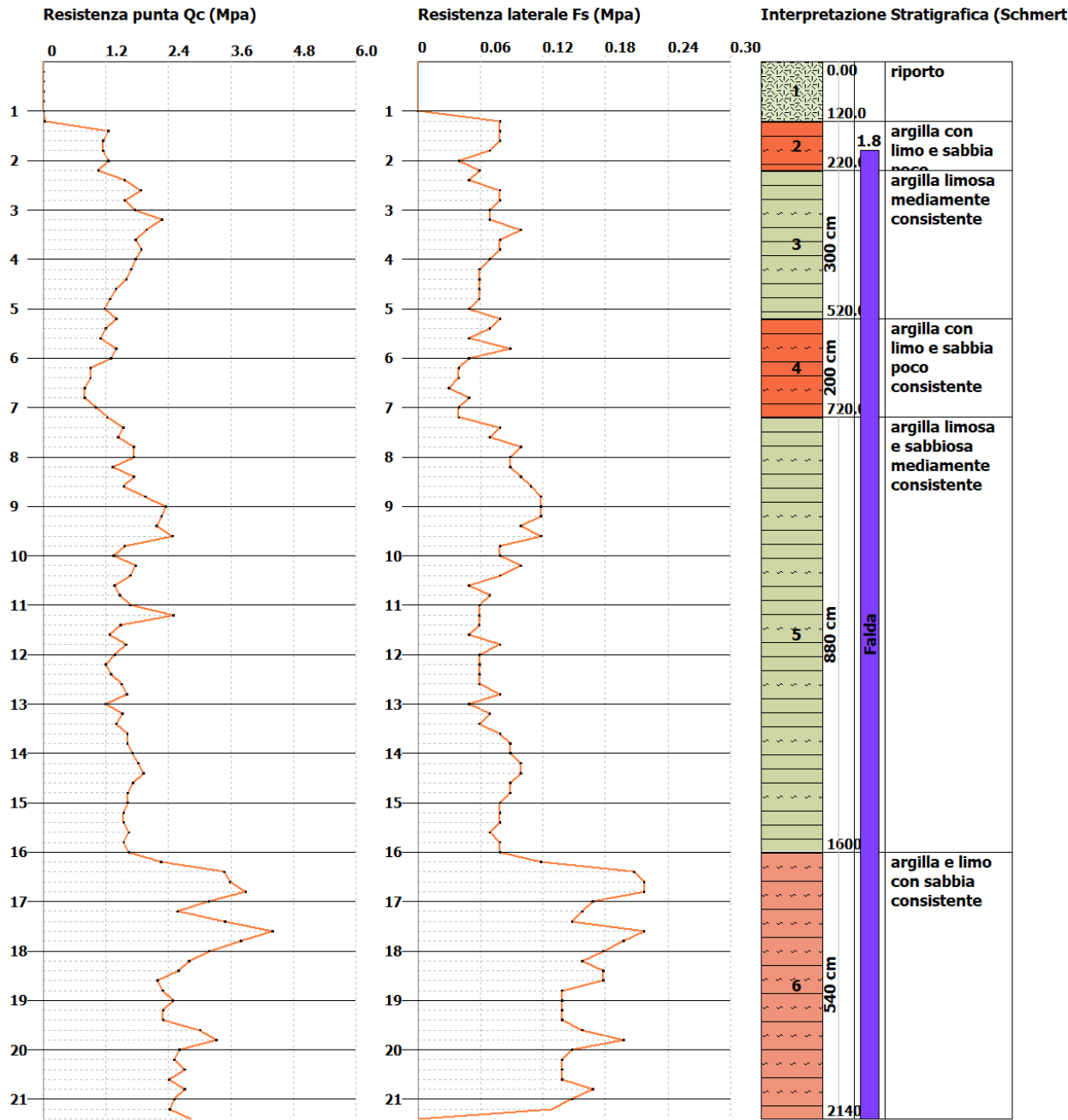


Figura 11: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica CPT 2



### 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 <sup>3</sup> )	Descrizione
A	1.40	-	-	-	riporto
B	2.00	1.02	0.04	18.2	argilla con limo e sabbia poco consistente
C	4.60	1.72	0.09	19.1	argilla limosa mediamente consistente
D	7.20	1.22	0.07	18.5	argilla con limo e sabbia poco consistente
E	15.80	1.66	0.09	18.9	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente
F	24.80	2.84	0.15	19.8	argilla e limo con sabbia consistente

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

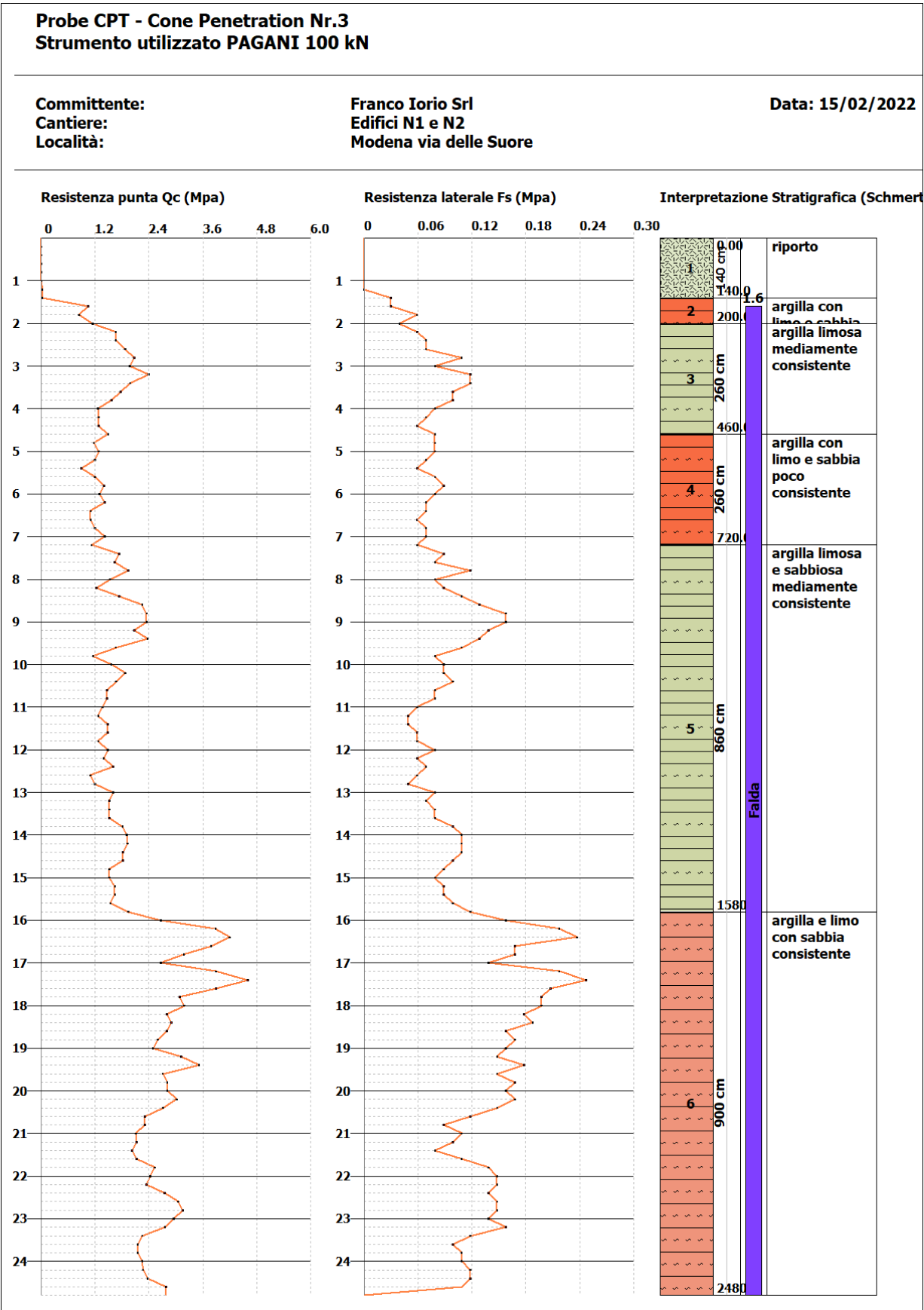


Figura 12: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica CPT 3



#### 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 <sup>3</sup> )	Descrizione
A	1.20	-	-	-	riporto
B	2.20	1.01	0.03	18.2	argilla con limo e sabbia poco consistente
C	4.20	1.78	0.06	19.2	argilla limosa mediamente consistente
D	6.20	0.99	0.04	18.1	argilla con limo e sabbia poco consistente
E	15.60	1.63	0.06	18.8	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente
F	22.60	2.93	0.13	19.9	argilla e limo con sabbia consistente
G	23.20	14.89	0.3	21.3	ghiaia sabbiosa

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

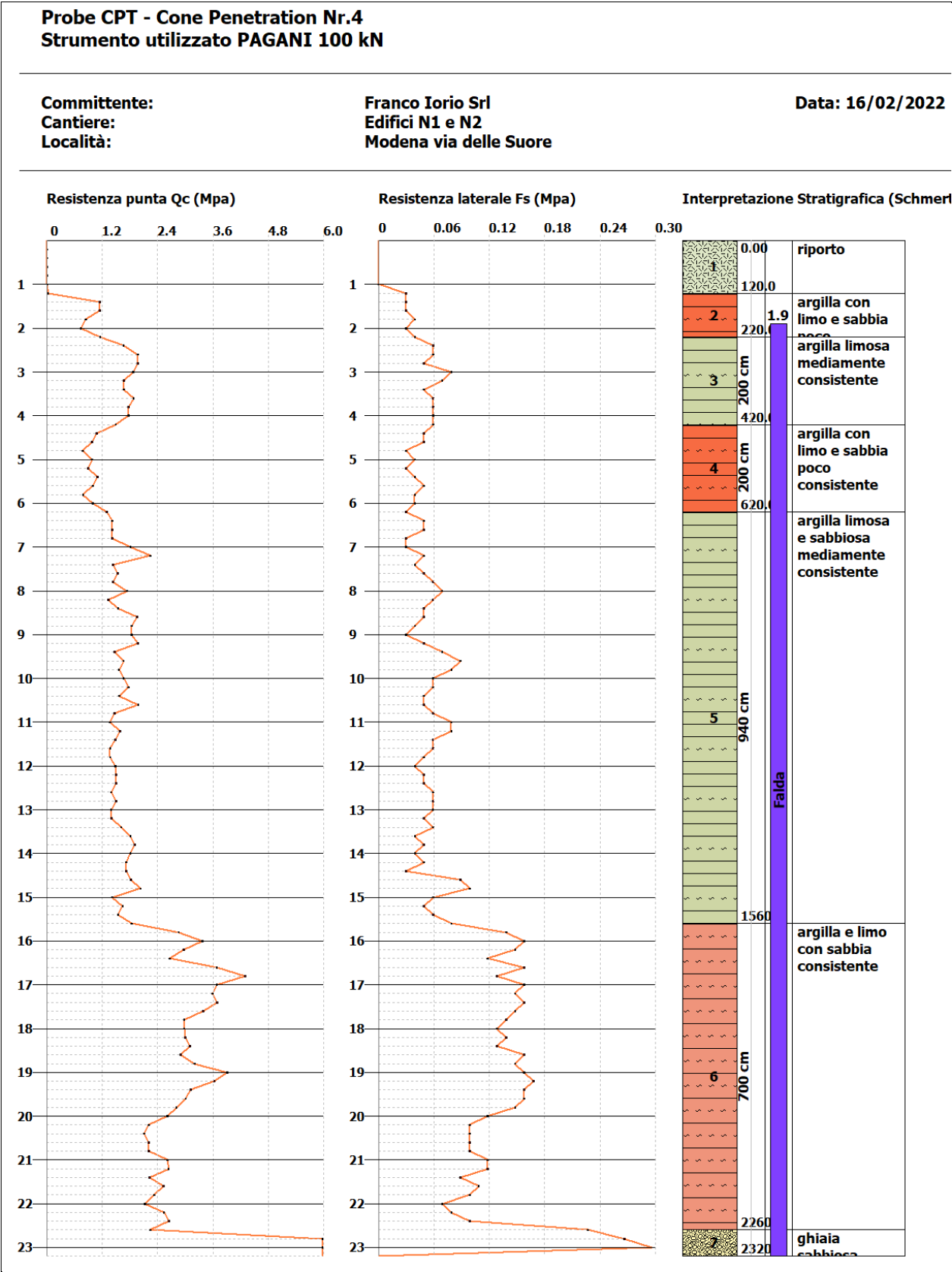


Figura 13: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica CPT 4



### 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 <sup>3</sup> )	Descrizione
A	1.40	-	-	-	riporto
B	2.20	1.03	0.04	18.2	argilla con limo e sabbia poco consistente
C	5.00	1.79	0.06	19.2	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente
D	5.80	1.25	0.05	18.5	argilla con limo e sabbia poco consistente
E	15.20	1.78	0.08	19.1	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente
F	20.80	3.03	0.13	19.8	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: Franco Iorio Srl  
 Cantiere: Edifici N1 e N2  
 Località: Modena via delle Suore

Data: 16/02/2022

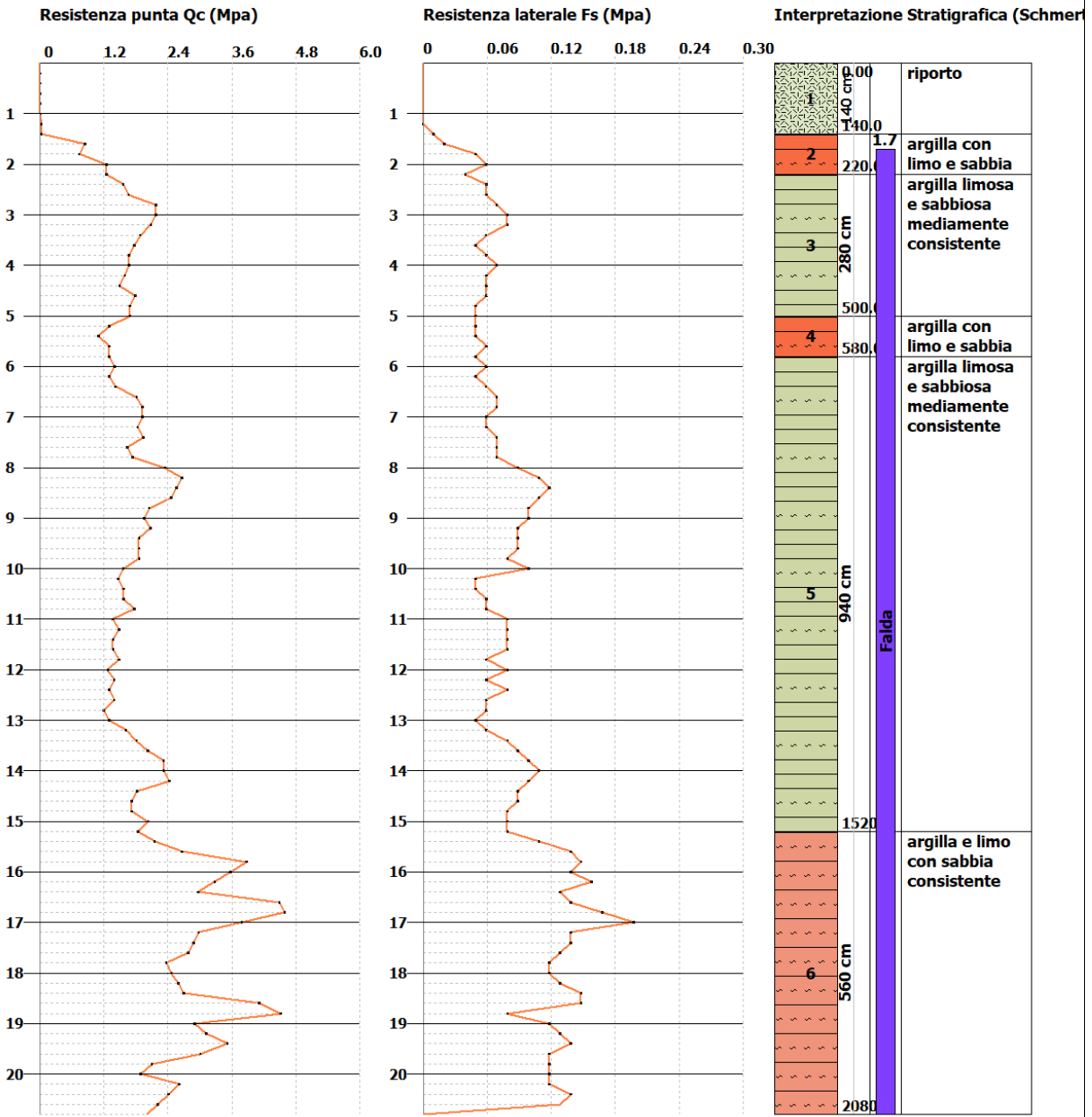


Figura 14: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica CPT 5



### 5.1.6 MODELLO GEOLOGICO CPT 6

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 <sup>3</sup> )	Descrizione
A	1.20	-	-	-	riporto
B	2.00	1.13	0.05	18.4	argilla con limo e sabbia poco consistente
C	4.20	1.68	0.06	18.9	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente
D	5.80	0.96	0.03	18.0	argilla con limo e sabbia poco consistente
E	15.60	1.99	0.08	19.2	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente
F	23.00	3.2	0.12	20.0	argilla e limo con sabbia consistente
G	23.60	19.76	0.51	21.8	sabbia ghiaiosa

La verticale d'indagine può essere rappresentata graficamente come segue (**Figura 15**):

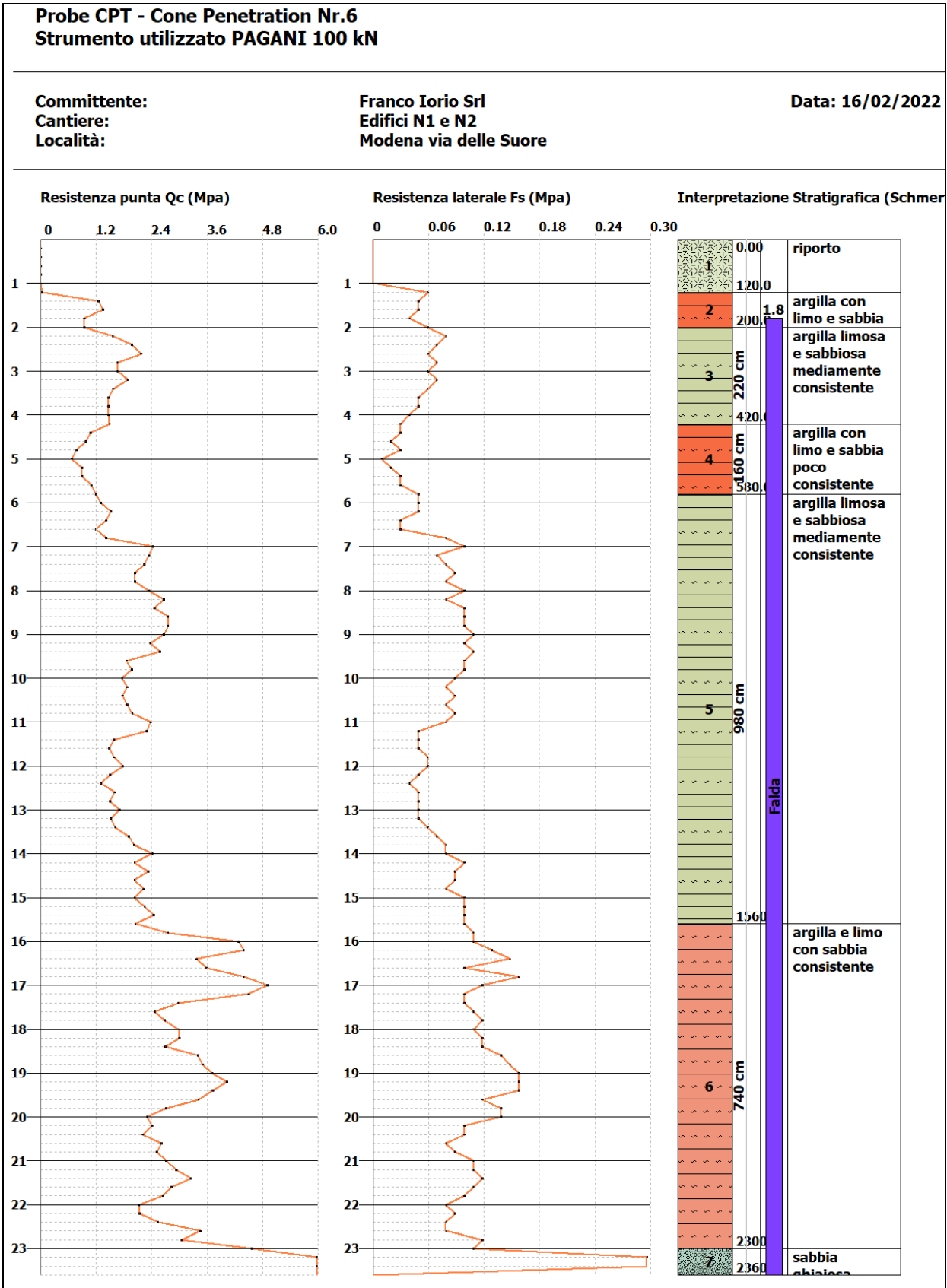


Figura 15: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica CPT 6

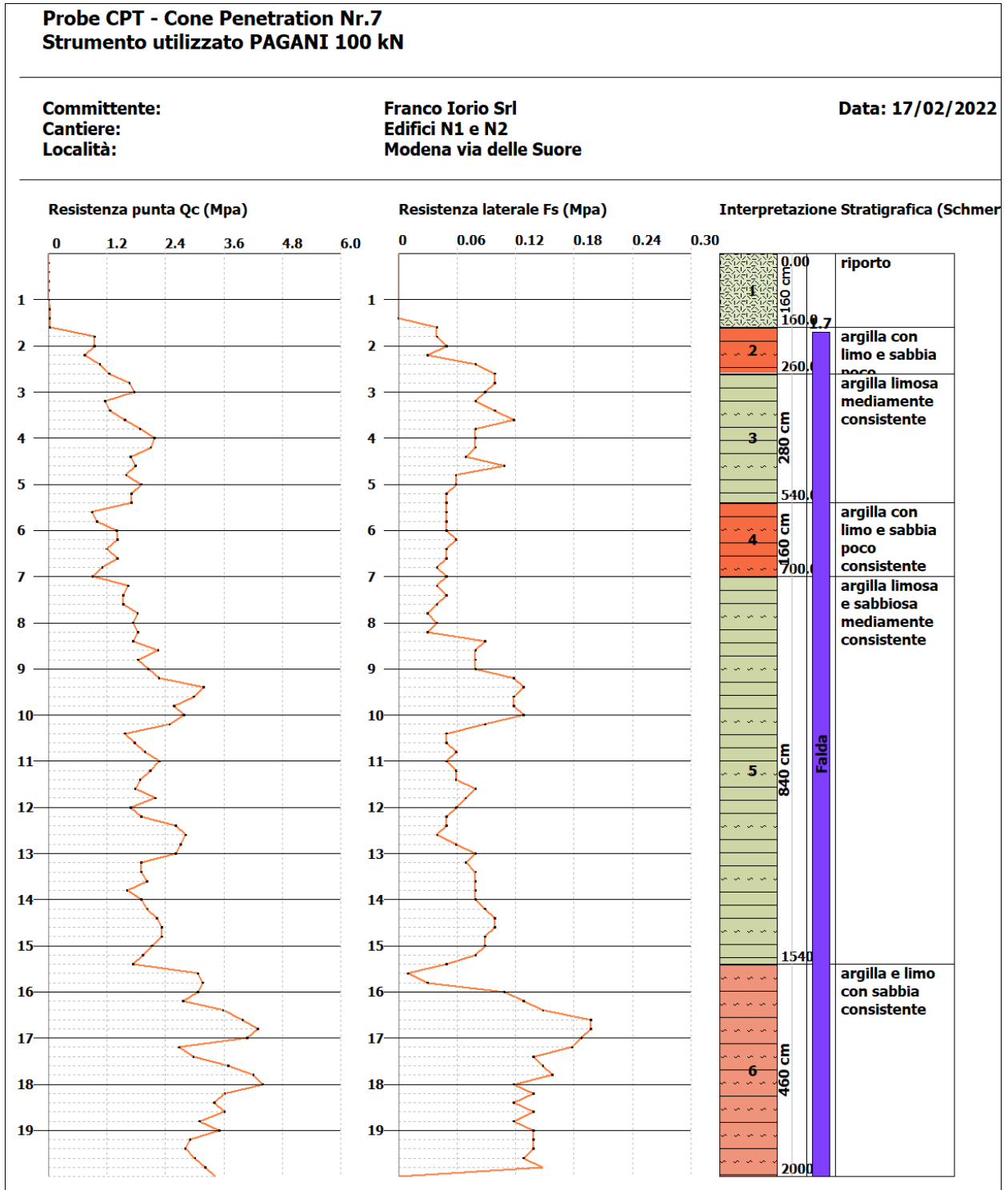
### 5.1.7 MODELLO GEOLOGICO CPT 7

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 <sup>3</sup> )	Descrizione
A	1.60	-	-	-	riporto
B	2.60	0.99	0.06	18.2	argilla con limo e sabbia poco consistente
C	5.40	1.72	0.08	19.1	argilla limosa mediamente consistente
D	7.00	1.17	0.05	18.4	argilla con limo e sabbia poco consistente
E	15.40	2.11	0.07	19.2	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente
F	20.00	3.43	0.13	20.0	argilla e limo con sabbia consistente

La verticale d'indagine può essere rappresentata graficamente come segue (**Figura 16**):





### 5.1.8 MODELLO GEOLOGICO CPT 8

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 <sup>3</sup> )	Descrizione
A	1.20	-	-	-	riporto
B	2.40	1.02	0.06	18.2	argilla con limo e sabbia poco consistente
C	5.60	1.64	0.08	19.0	argilla limosa mediamente consistente
D	7.00	1.37	0.07	18.7	argilla con limo e sabbia poco consistente
E	15.80	1.89	0.08	19.2	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente
F	18.60	3.52	0.17	20.1	argilla e limo con sabbia consistente

La verticale d'indagine può essere rappresentata graficamente come segue (**Figura 17**):

Probe CPT - Cone Penetration Nr.8  
 Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: Franco Iorio Srl  
 Cantiere: Edifici N1 e N2  
 Località: Modena via delle Suore

Data: 17/02/2022

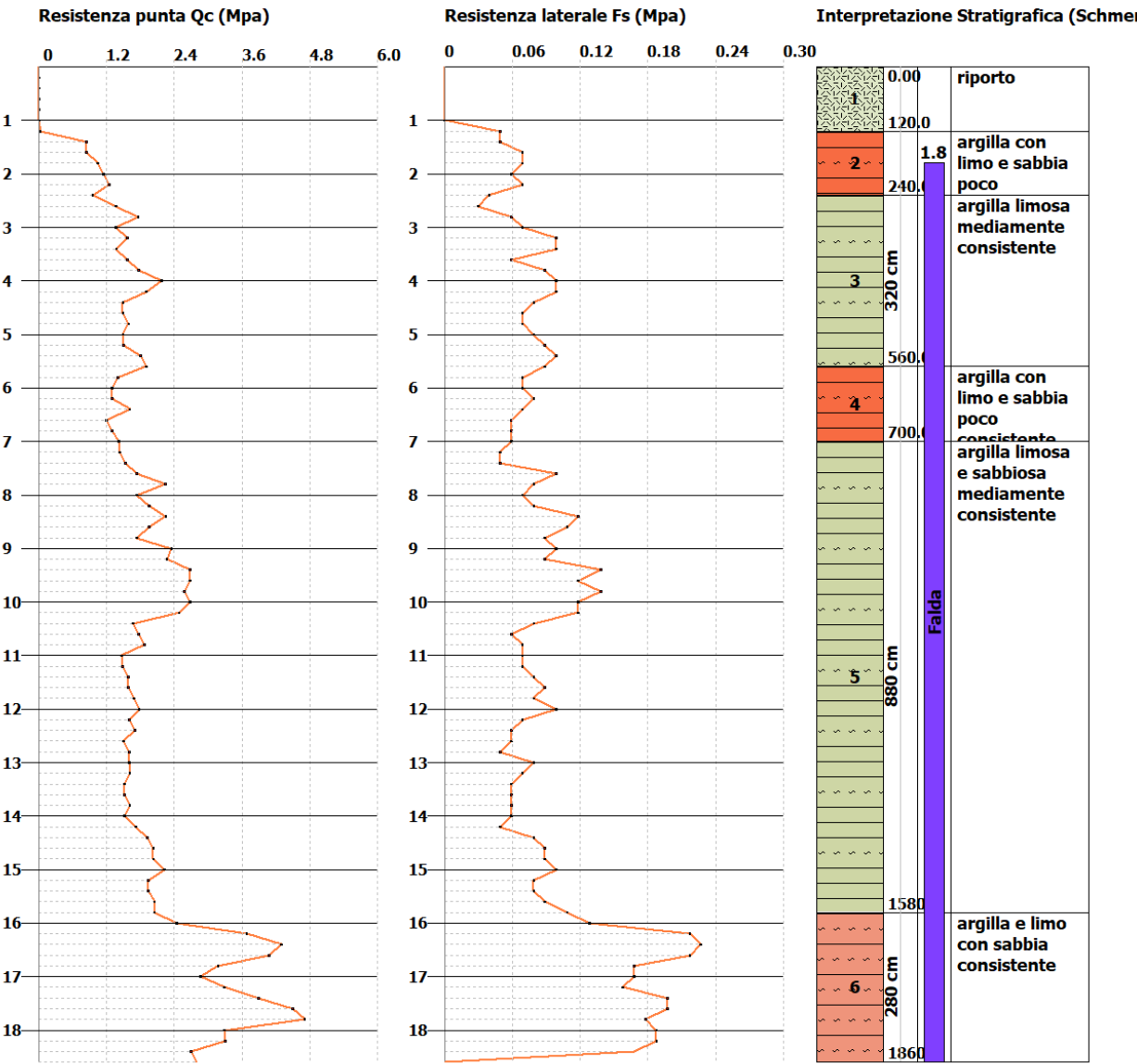


Figura 17: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica CPT 8



## 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.




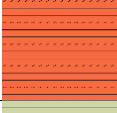
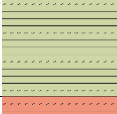
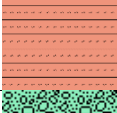

### 6.1 MODELLO GEOTECNICO E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO

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	-1,2/-1,6		terreno di riporto misto	--	
-1,2/-1,6	-2,0/-2,6		argilla con limo e sabbia, poco consistente	33 – 39	20 – 21
-2,0/-2,6	-4,2/-5,6		argilla limosa (localmente sabbiosa), mediamente consistente	52 – 59	21 – 23
-4,2/-5,6	-5,8/-7,2		argilla con limo e sabbia, poco consistente	33 – 42	20 – 21
-5,8/-7,2	-15,2/-16,0		argilla limosa e sabbiosa, mediamente consistente	54 – 66	21 – 23
-15,2/-16,0	-22,6/-24,8		argilla e limo con sabbia, consistente (localmente molto consistente)	94 – 115	23 – 25
≈ -22,6/-26,0			primo livello sabbioso ghiaioso (spessore modesto)	--	28 – 33
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 medi:

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
[1]	riporto	1.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--
[2]	argilla con limo e sabbia poco consistente	2.2	36.3	8.2	5.5	12.0	18.3	19.1	24.7	20.4	2.7
[3]	argilla limosa mediamente consistente	5.2	52.0	11.8	7.8	14.9	18.9	19.7	25.9	21.2	3.9
[4]	argilla con limo e sabbia poco consistente	7.0	36.0	8.1	5.4	11.9	18.3	19.0	5.0	20.3	2.7
[5]	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente	16.0	55.7	12.5	8.3	15.5	19.0	19.7	6.7	21.5	4.2
[6]	argilla e limo con sabbia consistente	23.8	101.3	22.8	7.6	22.4	19.0	20.7	14.8	24.0	7.6
[7]	sabbia ghiaiosa	24.2	--	--	14.6	45.5	17.7	20.6	50.1	28.0	24.3

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

Prof:	Profondità strato (m)	G:	Modulo di deformazione a taglio (MPa)
Cu:	Coesione non drenata (KPa)	Puv:	Peso unità di volume (KN/m³)
Ey:	Modulo di Young (MPa)	PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (MPa)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Dr:	Densità relativa (%)	Mo:	Modulo Edometrico (MPa)

### 6.1.2 MODELLO GEOTECNICO CPT 2

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

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
[1]	riporto	1.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--
[2]	argilla con limo e sabbia poco consistente	2.2	39.0	8.8	5.9	12.5	18.5	19.2	27.1	20.5	2.9
[3]	argilla limosa mediamente consistente	5.2	55.7	12.5	8.3	15.5	19.0	19.8	27.6	21.3	4.2
[4]	argilla con limo e sabbia poco consistente	7.2	35.7	8.1	5.4	11.8	18.2	19.0	5.0	20.3	2.7
[5]	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente	16.0	55.3	12.5	8.3	15.5	18.9	19.7	6.1	21.5	4.2
[6]	argilla e limo con sabbia consistente	21.4	96.7	21.8	7.2	21.7	19.9	20.7	14.6	23.8	7.3

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

Prof:	Profondità strato (m)	G:	Modulo di deformazione a taglio (MPa)
Cu:	Coesione non drenata (KPa)	Puv:	Peso unità di volume (KN/m³)
Ey:	Modulo di Young (MPa)	PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (MPa)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Dr:	Densità relativa (%)	Mo:	Modulo Edometrico (MPa)

### 6.1.3 MODELLO GEOTECNICO CPT 3

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

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
[1]	riporto	1.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--
[2]	argilla con limo e sabbia poco consistente	2.0	34.0	7.6	5.1	11.5	18.2	19.0	23.0	20.1	2.6
[3]	argilla limosa mediamente consistente	4.6	57.3	12.9	8.6	15.8	19.1	19.9	31.3	21.4	4.3
[4]	argilla con limo e sabbia poco consistente	7.2	40.7	9.1	6.1	12.8	18.5	19.3	9.3	20.5	3.1
[5]	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente	15.8	55.3	12.5	8.3	15.5	19.0	19.7	6.5	21.5	4.2
[6]	argilla e limo con sabbia consistente	24.8	94.7	21.3	7.1	21.5	19.8	20.6	12.0	23.6	7.1

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

Prof:	Profondità strato (m)	G:	Modulo di deformazione a taglio (MPa)
Cu:	Coesione non drenata (KPa)	Puv:	Peso unità di volume (KN/m³)
Ey:	Modulo di Young (MPa)	PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (MPa)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Dr:	Densità relativa (%)	Mo:	Modulo Edometrico (MPa)



#### 6.1.4 MODELLO GEOTECNICO CPT 4

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

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
[1]	riporto	1.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--
[2]	argilla con limo e sabbia poco consistente	2.2	33.7	7.5	5.1	11.4	18.2	19.0	21.5	20.1	2.5
[3]	argilla limosa mediamente consistente	4.2	59.3	13.4	8.9	16.1	19.1	19.9	31.2	21.7	4.5
[4]	argilla con limo e sabbia poco consistente	6.2	33.0	7.4	5.0	11.3	18.1	18.9	5.0	20.0	2.5
[5]	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente	15.6	54.3	12.2	8.2	15.3	18.9	19.7	6.5	21.5	4.1
[6]	argilla e limo con sabbia consistente	22.6	97.7	21.9	7.3	21.9	19.9	20.7	14.3	23.7	7.3
[7]	sabbia ghiaiosa	23.2	--	--	22.3	59.1	17.7	20.6	65.7	30.6	37.2

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

Prof:	Profondità strato (m)	G:	Modulo di deformazione a taglio (MPa)
Cu:	Coesione non drenata (KPa)	Puv:	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> )
Ey:	Modulo di Young (MPa)	PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m <sup>3</sup> )
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (MPa)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Dr:	Densità relativa (%)	Mo:	Modulo Edometrico (MPa)

#### 6.1.5 MODELLO GEOTECNICO CPT 5

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

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
[1]	riporto	1.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--
[2]	argilla con limo e sabbia poco consistente	2.2	34.3	7.8	5.2	11.6	18.2	19.0	21.9	20.2	2.6
[3]	argilla limosa mediamente consistente	5.0	59.7	13.4	9.0	16.2	19.2	19.9	30.7	21.8	4.5
[4]	argilla con limo e sabbia poco consistente	5.8	41.7	9.4	6.3	13.0	18.5	19.3	11.3	20.6	3.1
[5]	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente	15.2	59.3	13.4	8.9	16.1	19.1	19.9	10.2	21.8	4.5
[6]	argilla e limo con sabbia consistente	20.8	101.0	22.7	7.6	22.3	20.0	20.7	16.6	24.0	7.6

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

Prof:	Profondità strato (m)	G:	Modulo di deformazione a taglio (MPa)
Cu:	Coesione non drenata (KPa)	Puv:	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> )
Ey:	Modulo di Young (MPa)	PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m <sup>3</sup> )
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (MPa)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Dr:	Densità relativa (%)	Mo:	Modulo Edometrico (MPa)

#### 6.1.6 MODELLO GEOTECNICO CPT 6

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

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
[1]	riporto	1.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--
[2]	argilla con limo e sabbia poco consistente	2.0	37.7	8.5	5.7	12.2	18.4	19.2	26.6	20.4	2.8
[3]	argilla limosa mediamente consistente	4.2	56.0	12.7	8.4	15.6	19.0	19.8	30.1	21.6	4.2
[4]	argilla con limo e sabbia poco consistente	5.8	32.0	7.2	4.8	11.1	18.1	18.8	5.0	19.9	2.4
[5]	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente	15.6	66.3	14.9	10.0	17.3	19.3	20.1	13.6	22.3	5.0
[6]	argilla e limo con sabbia consistente	23.0	106.7	24.0	8.0	23.1	20.0	20.8	16.6	24.3	8.0
[7]	sabbia ghiaiosa	23.6	--	--	29.6	70.2	17.7	20.6	74.6	31.8	49.4

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

Prof:	Profondità strato (m)	G:	Modulo di deformazione a taglio (MPa)
Cu:	Coesione non drenata (KPa)	Puv:	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> )
Ey:	Modulo di Young (MPa)	PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m <sup>3</sup> )
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (MPa)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Dr:	Densità relativa (%)	Mo:	Modulo Edometrico (MPa)



### 6.1.7 MODELLO GEOTECNICO CPT 7

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

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
[1]	riporto	1.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--
[2]	argilla con limo e sabbia poco consistente	2.6	33.0	7.4	5.0	11.3	18.2	18.9	19.1	20.0	2.5
[3]	argilla limosa mediamente consistente	5.4	57.3	12.9	8.6	15.8	19.1	19.9	28.1	21.7	4.3
[4]	argilla con limo e sabbia poco consistente	7.0	39.0	8.8	5.9	12.5	18.4	19.2	6.9	20.5	2.9
[5]	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente	15.4	70.3	15.9	5.3	17.9	19.4	20.2	15.0	22.4	5.3
[6]	argilla e limo con sabbia consistente	20.0	114.3	25.7	8.6	24.1	20.2	21.0	21.3	24.5	8.6
Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda: Prof: Profondità strato (m) Cu: Coesione non drenata (KPa) Ey: Modulo di Young (MPa) Eu: Modulo di deformazione non drenato (MPa) Dr: Densità relativa (%) G: Modulo di deformazione a taglio (MPa) Puv: Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> ) PuvS: Peso unità di volume saturo (KN/m <sup>3</sup> ) Fi: Angolo di resistenza al taglio (°) Mo: Modulo Edometrico (MPa)											

### 6.1.8 MODELLO GEOTECNICO CPT 8

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

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
[1]	riporto	1.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--
[2]	argilla con limo e sabbia poco consistente	2.4	34.0	7.6	5.1	11.5	18.2	19.0	21.1	20.2	2.6
[3]	argilla limosa mediamente consistente	5.6	54.7	12.4	8.2	15.4	19.0	19.8	25.9	21.5	4.1
[4]	argilla con limo e sabbia poco consistente	7.0	45.7	10.3	6.8	13.8	18.7	19.5	11.5	21.0	3.4
[5]	argilla limosa e sabbiosa mediamente consistente	15.8	63.0	14.1	9.5	16.7	19.2	20.0	10.5	22.2	4.7
[6]	argilla e limo con sabbia consistente	18.6	117.3	26.3	8.8	24.5	20.2	21.0	22.7	24.7	8.8
Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda: Prof: Profondità strato (m) Cu: Coesione non drenata (KPa) Ey: Modulo di Young (MPa) Eu: Modulo di deformazione non drenato (MPa) Dr: Densità relativa (%) G: Modulo di deformazione a taglio (MPa) Puv: Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> ) PuvS: Peso unità di volume saturo (KN/m <sup>3</sup> ) Fi: Angolo di resistenza al taglio (°) Mo: Modulo Edometrico (MPa)											



## **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 o 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**, con un potenziale sismico tale da generare effetti non trascurabili nel territorio di interesse. Altre zone sismogenetiche al contorno vengono considerate poco influenti pur generando terremoti con magnitudo a volte anche significativa (ad es. la zona 913 e 915).

Le citate zone sono principalmente collegate a meccanismi focali distensivi, compressivi e trascorrenti, che si originano principalmente nel tratto compreso tra il margine appenninico settentrionale e le pieghe sepolte della Dorsale Ferrarese.

Gli eventi sismici di rilievo per l'area di interesse si sono verificati nel territorio modenese, con ipocentri concentrati maggiormente nei primi 15/20 km del sottosuolo (attività sismogenetica di tipo superficiale); la distribuzione degli ipocentri focali che si generano tra -15 e -40 km dal piano campagna, è simile a quella più superficiale ma contraddistinta da intensità e frequenza inferiori.

L'Ordinanza PCM 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 ( $Vs_{30} > 800$  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 arefg 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 **arefg=0,162**.

Le Nuove NTC (2008), 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 del manufatto 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: 44,663862

longitudine: 10,916629

**Classe: 2**

Vita nominale: 50

#### Siti di riferimento

Sito 1 ID: 16058 Lat: 44,6565 Lon: 10,8908 Distanza: 2198,985

Sito 2 ID: 16059 Lat: 44,6580 Lon: 10,9610 Distanza: 3570,906

Sito 3 ID: 15837 Lat: 44,7080 Lon: 10,9589 Distanza: 5935,780

Sito 4 ID: 15836 Lat: 44,7065 Lon: 10,8887 Distanza: 5227,034

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
$F_o$ :	2,482	$F_o$ :	2,469
$T_c^*$ :	0,280 [s]	$T_c^*$ :	0,284 [s]

## 7.2 CARATTERIZZAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA DEL SITO

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

- n.1 prova di sismica attiva mediante la metodologia MASW;
- n.2 prove di sismica passiva (TR) mediante la metodologia HVSR.

L'indagine è stata svolta con l'obiettivo primario di determinare la sismostratigrafia dell'area di intervento, la frequenza fondamentale del terreno, nonché la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), 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 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 sottoindicato:

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

I diagrammi di "dispersione Frequenza (Hz)/Vel. di Fase (m/s) con analisi spettrale (picking)" – e di "inversione" sono riportati in **Figura 18**.

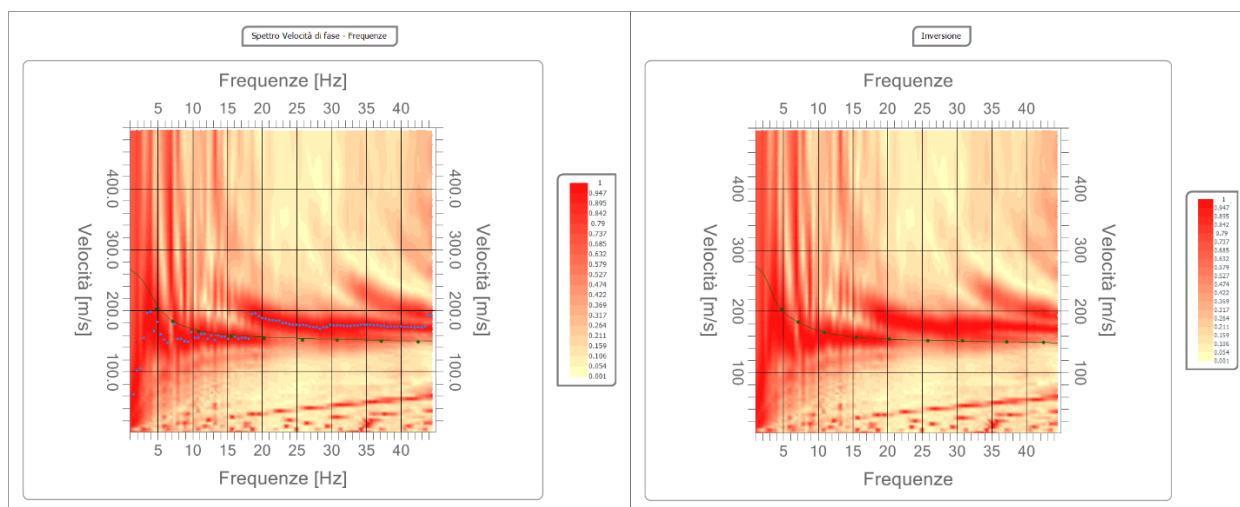


Figura 18: diagrammi della curva di dispersione e di inversione del sito in oggetto

Di seguito si riporta il modello sismostratigrafico in forma tabellare e l'andamento della curva delle onde S con la profondità (**Figura 19**). I valori della velocità media delle onde di taglio  $V_s$  risultano:

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
1.28	1.28	150.37
3.55	2.26	164.42
6.17	2.62	161.32
11.07	4.91	191.33
21.61	10.54	216.04
28.89	7.28	238.57
36.29	7.40	295.30
oo	oo	309.91



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:

$V_{s30} = 204 \text{ m/sec (da p.c. a -30,0 m).}$

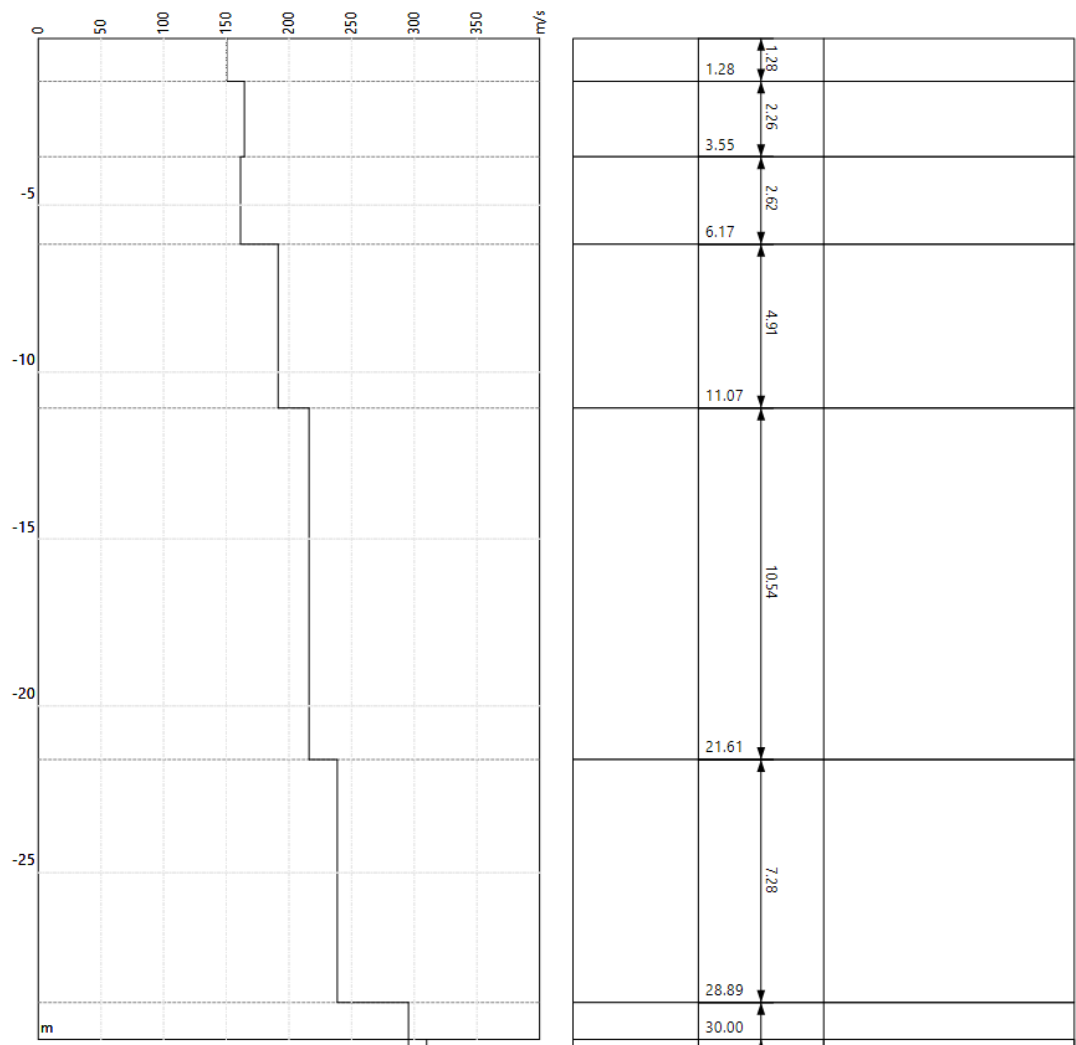


Figura 19: diagramma velocità Vs/profondità da prova MASW



### 7.2.2 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA HVSR

Le misure con tromografo TR1-TR2 hanno restituito i seguenti risultati (diagrammi in **Figura 20**):

	TR1	TR2
<b>Selected <math>f_0</math> frequency</b>	<b>0.925 Hz</b>	<b>0.764 Hz</b>
<b>A0 amplitude</b>	<b>2.879</b>	<b>3.325</b>
<b>Average <math>f_0</math></b>	<b><math>0.911 \pm 0.136</math></b>	<b><math>0.727 \pm 0.110</math></b>

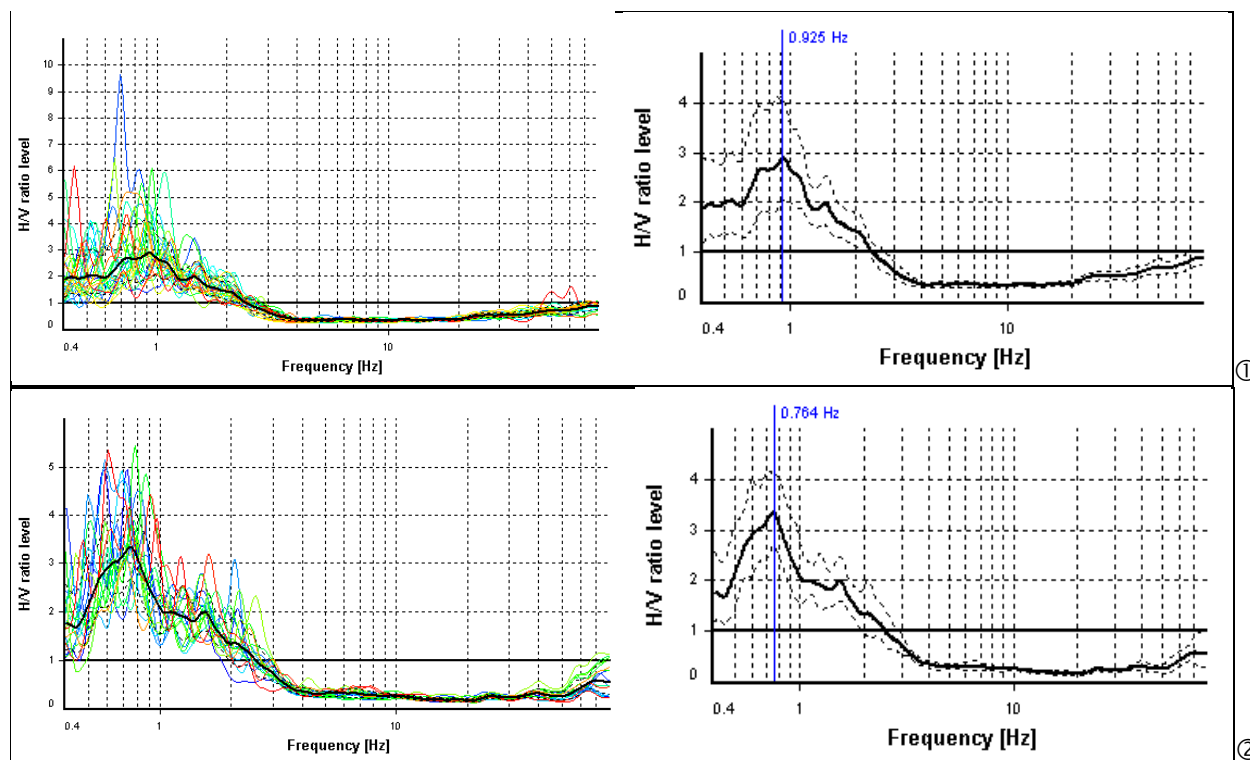


Figura 20: diagrammi delle prove HVSR/f delle singole finestre considerate e curve risultanti dalla media delle misure effettuate, con evidenziata la frequenza di picco

I massimi rapporti spettrali H/V individuano due picchi di frequenza del terreno:

**$f_0(\text{HV1}) = 0,92 \text{ Hz};$**

**$f_0(\text{HV2}) = 0,76\text{Hz}.$**

Questi picchi corrispondono al passaggio tra la sequenza alluvionale continentale e il bedrock (con  $V_s < 800 \text{ m/s}$ ) a profondità ipotizzabili comprese tra -140 m e -160 m.

Di seguito (**Figura 21**) si riporta la sovrapposizione tra la curva sperimentale e la curva sintetica HVSR, il modello sismostratigrafico per ciascuna prova e l'andamento delle curve delle onde S con la profondità.

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:

**TR①  $V_{s,30} = 206 \text{ m/sec}$  (da p.c. a -30,0 m).**

**TR②  $V_{s,30} = 204 \text{ m/sec}$  (da p.c. a -30,0 m).**

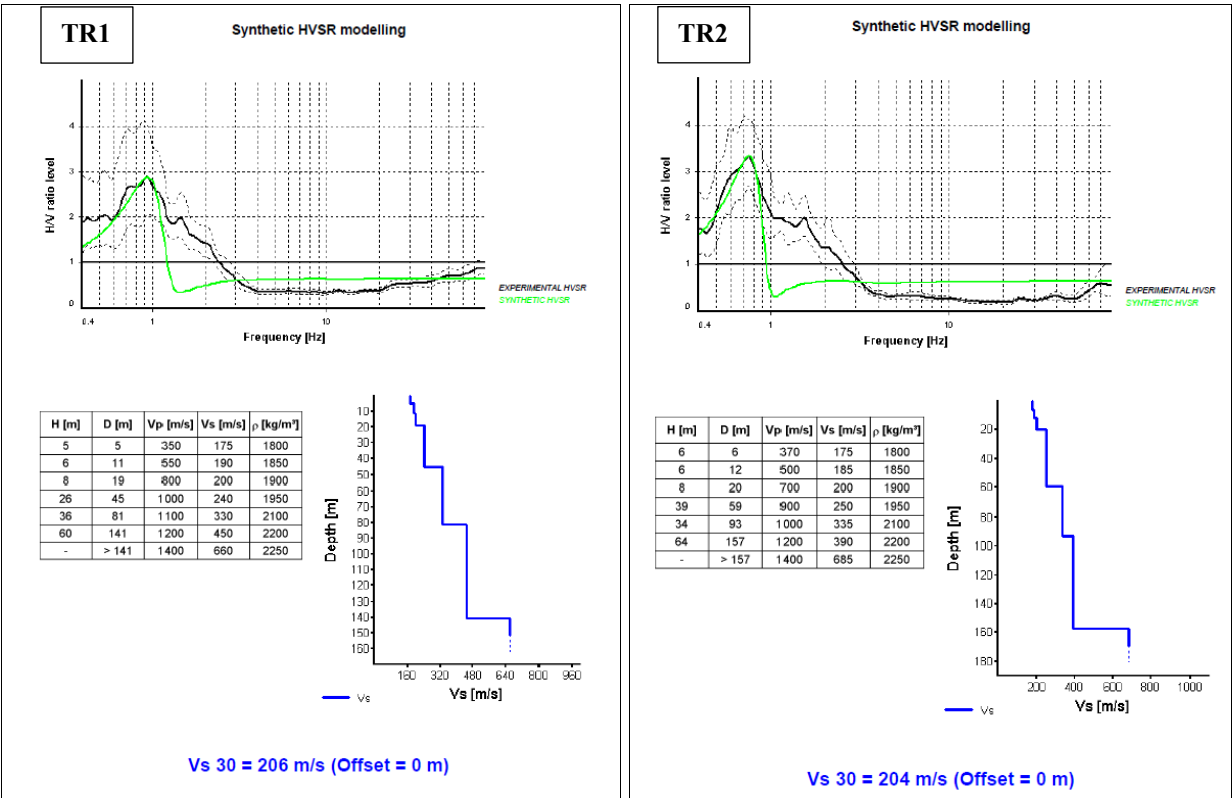


Figura 21: curve sperimentali e curve sintetiche HVSR del modello sismostratigrafico del terreno-TR1 e TR2

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. L’area indagata presenta caratteristiche sostanzialmente omogenee dal punto di vista della risposta sismica e, rispetto alle lunghezze d’onda di interesse, il sottosuolo può essere assunto monodimensionale 1D.

Limitatamente all’approccio semplificato, di cui al § 3.2.2 delle NTC 2018, ai vari sismo-strati è stato associato il valore della velocità Vs, consentendo di ottenere le seguenti Vs30 (velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo) derivanti dalle diverse prove:

MASW	Vs30= <b>204</b> m/sec (da p.c. a -30,0 m);
TR1	Vs30= <b>206</b> m/sec (da p.c. a -30,0 m);
TR2	Vs30= <b>204</b> m/sec (da p.c. a -30,0 m);
Valore medio	Vs30= <b>205</b> m/sec (da p.c. a -30,0 m).

Tenuto conto della descrizione geotecnica, di cui alla Tabella 3.2.II (categorie di sottosuolo), contenuta nelle NTC 2018, si classifica il terreno di fondazione come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a “*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: 2,321</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: 2,900</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:

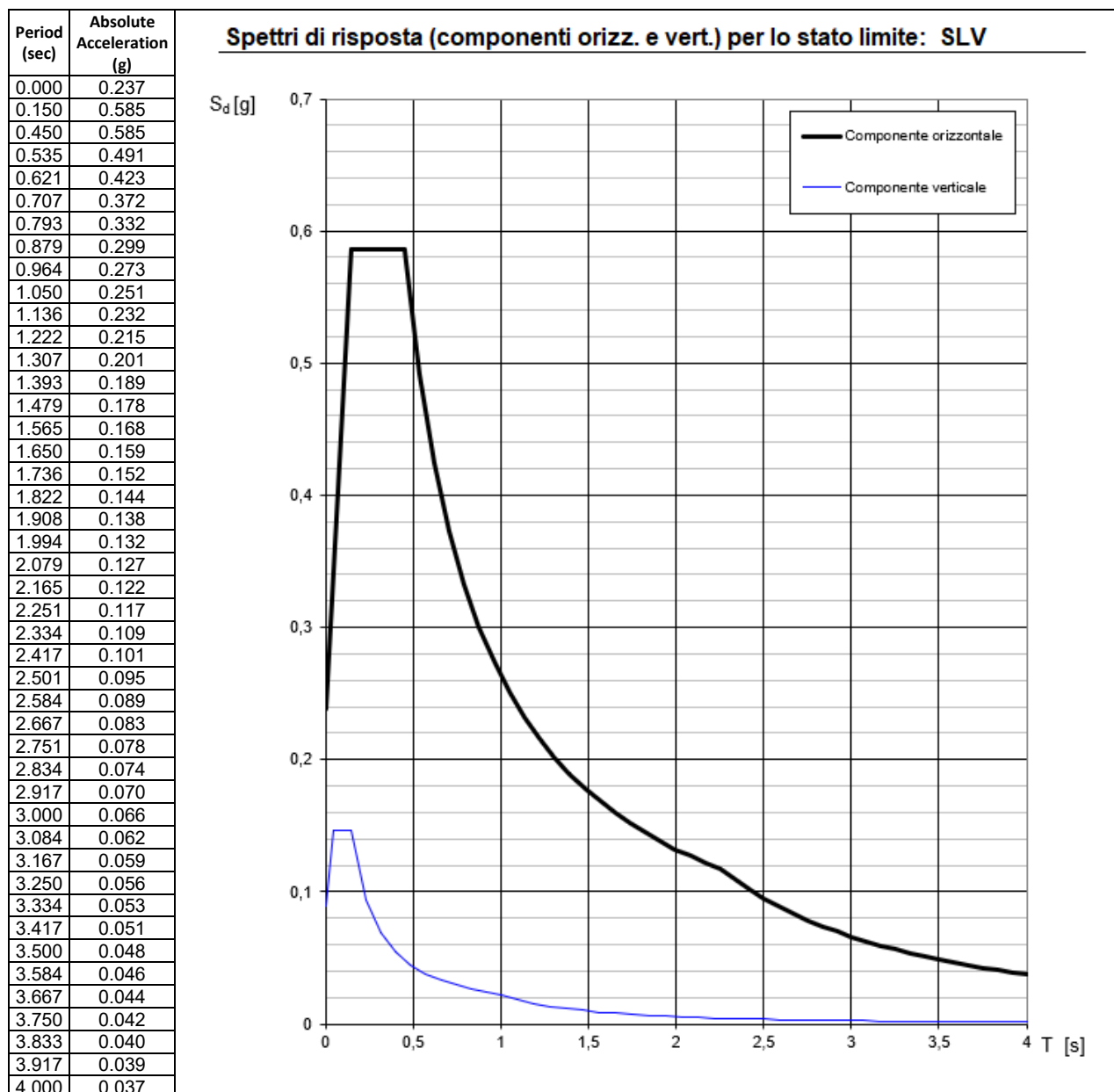


Figura 22: spettro di risposta relativo alla categoria di sottosuolo C definibile attraverso un approccio semplificato (NTC 2018)

## 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)

$K_{\sigma}$  = 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,  $\sigma_{v0}$  e  $\sigma'_{v0}$ , 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:

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

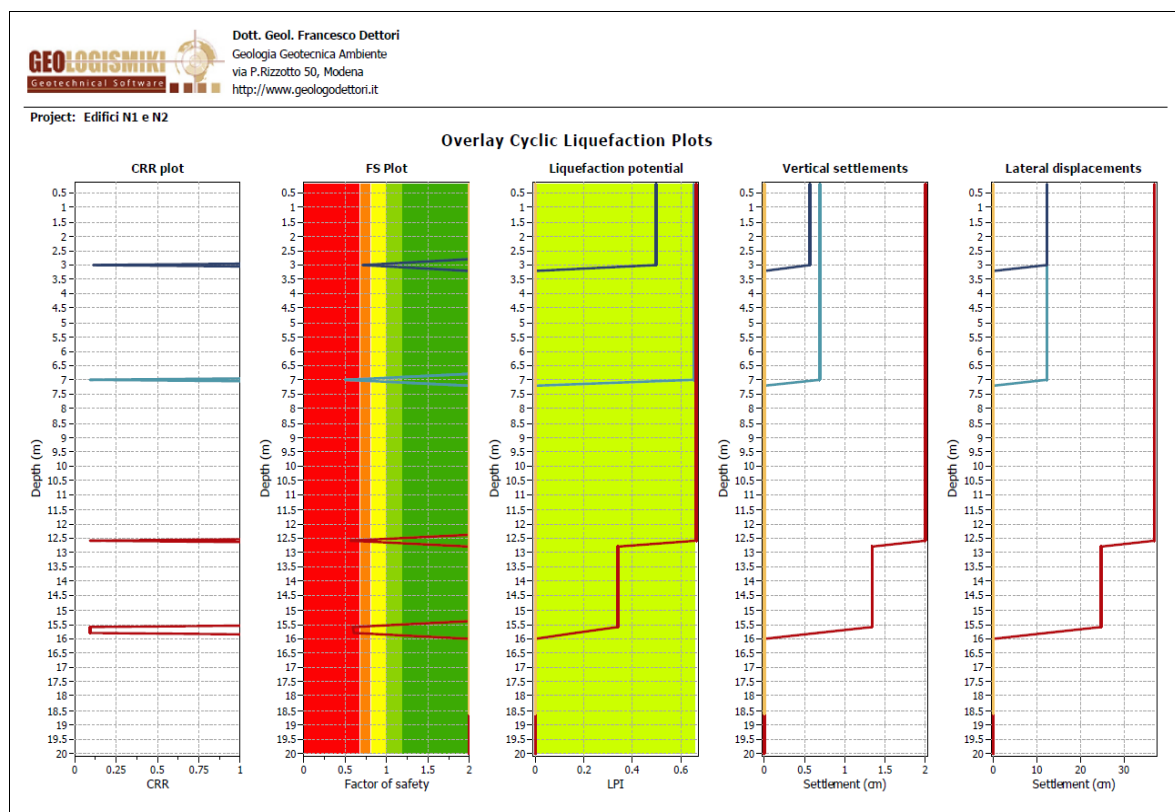
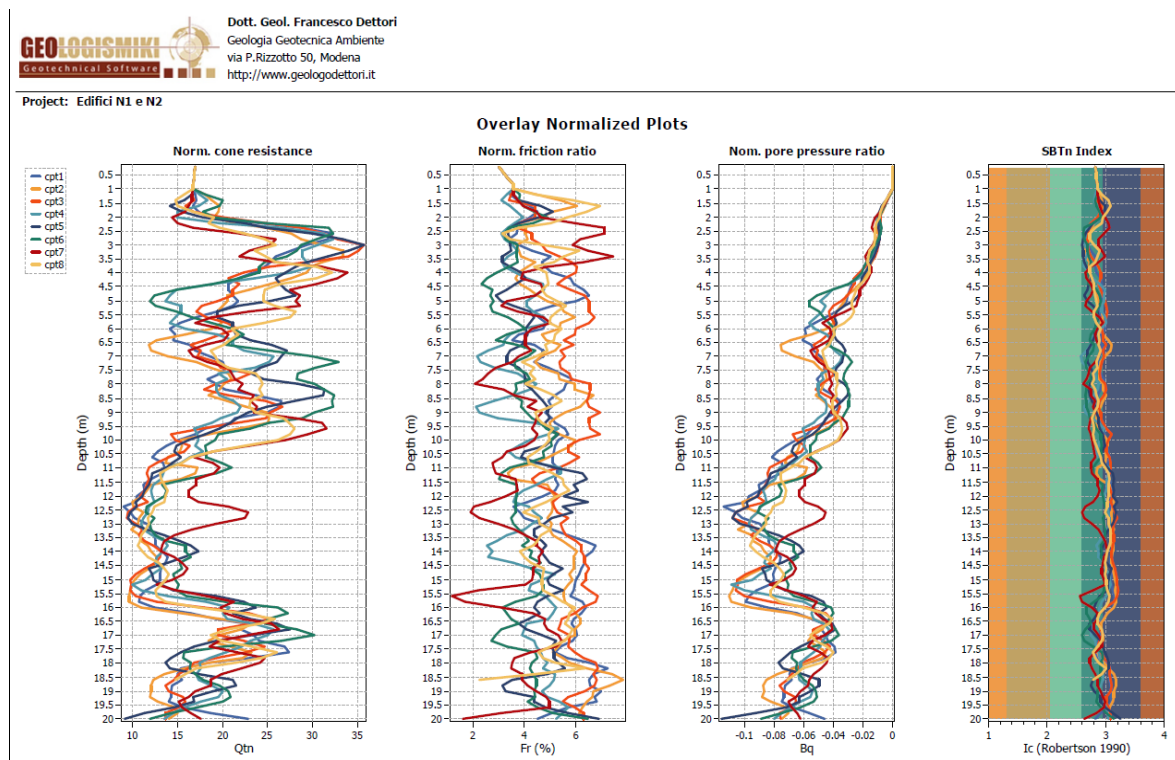
Il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione, FSL, è calcolato con la formula vista in precedenza in cui:

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

**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 (**Figure n.23 e 24**) si riporta l'andamento con la profondità dei parametri  $Q_{tn}$ ,  $Fr(\%)$ ,  $B_q$ ,  $I_c$ ;  $CRR$ ,  $F_s$ ,  $LPI$  e cedimenti delle verticali di indagine:





Dai diagrammi e dai valori numerici di ciascun parametro si denota che nel terreno di fondazione sono presenti isolati e sottili livelli di limo sabbioso, sabbiosi poco o mediamente addensati, saturi, con caratteristiche predisponenti la liquefazione. Tali strati sono presenti nelle sole verticali di indagine Cpt 4 (a -7,0 m di profondità), Cpt 5 (a -3,0 m) e Cpt 7 (a -12,5 m e a -15,5 m).

Il calcolo dell'**Indice Potenziale di Liquefazione (IL)** ha restituito il seguente risultato (Fig. 25):

	CPT 1	CPT 2	CPT 3	CPT 4	CPT 5	CPT 6	CPT 7	CPT 8
<b>IL</b>	0,0	0,0	0,0	0,653	0,496	0,0	0,663	0,0
<b>potenziale di liquefazione</b>	Nulla	Nulla	Nulla	Basso	Basso	Nulla	Basso	Nulla

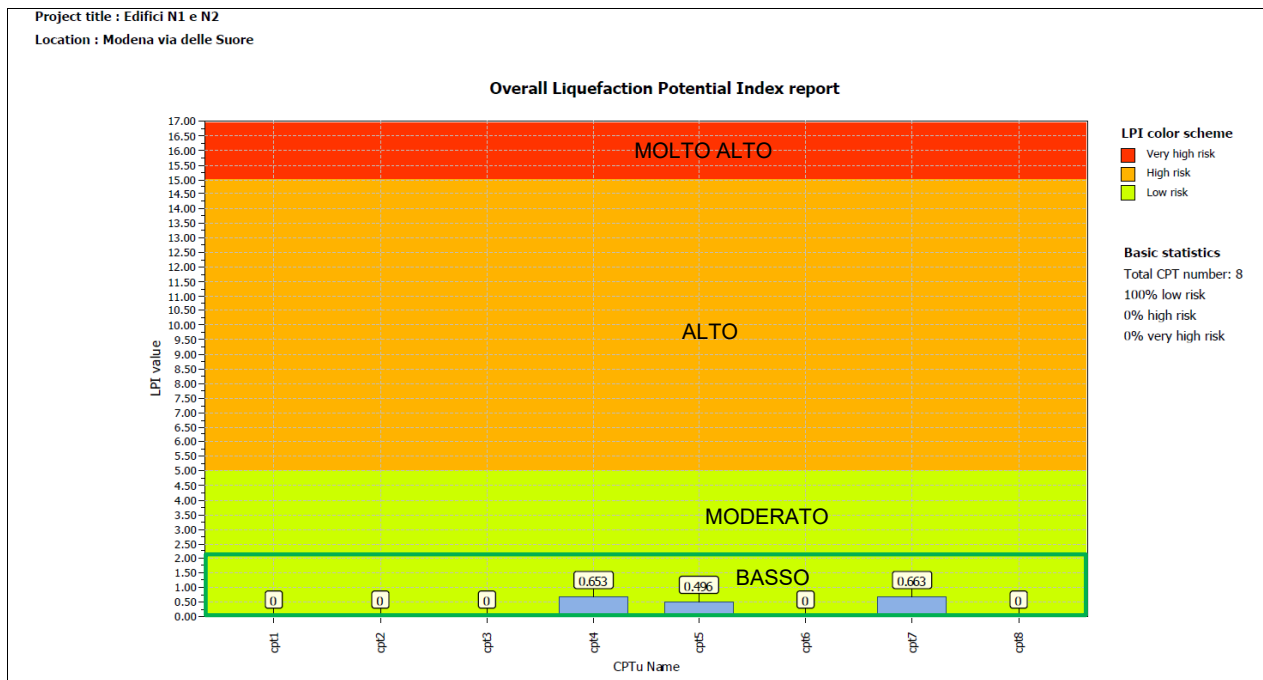


Figura n.27: Indice di Potenziale Liquefazione. La suddivisione è quella proposta da **Sonmez (2003)**.

**CALCOLO CEDIMENTI:** il programma di calcolo ha permesso anche la stima del **cedimento potenziale** a seguito del sisma di progetto. Il valore del cedimento post-sismico riguarda la valutazione delle deformazioni volumetriche indotte a seguito dell'addensamento dei terreni granulari. I cedimenti sono stati valutati in accordo a **Robertson (2009)** attraverso la metodologia elaborata da **Zhang et Al. (2002)**. Sulla base della prova penetrometrica è stato definito il valore alla punta normalizzata e corretta per il contenuto di fine, il valore del fattore di sicurezza a liquefazione FS, e, attraverso le funzioni riportate da Zhang et Al. (2002), si sono valutate le deformazioni volumetriche post sismiche indotte ( $\epsilon_v$ ). Noto lo spessore di partenza dello strato, il cedimento corrispondente (s) è stato ricavato applicando la seguente formula di Robertson (2009):

$$s = \epsilon_v \cdot \Delta H$$

Il valore del cedimento potenziale, calcolato su 20 m di profondità, ha restituito il seguente risultato:

	CPT 1	CPT 2	CPT 3	CPT 4	CPT 5	CPT 6	CPT 7	CPT 8
<b>Max Cedimento (cm)</b>	0,0	0,0	0,0	0,7	0,6	0,0	2,0	0,0

**DISCUSSIONE DEI RISULTATI:** il dettaglio della verifica eseguita riporta per il sito di interesse una **pericolosità** complessiva definita "**bassa**" secondo la classificazione proposta da Sonmez (2003), con un valore massimo dell'Indice Potenziale di Liquefazione IL (o LPI) pari a **0,7**.



## 8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

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

La **modellazione geologica e idrogeologica** del sito ha evidenziato la presenza di litologie sedimentarie alluvionali sintetizzabili nel seguente schema di riferimento per l'intero comparto:

Prof. tetto strato (m)	Prof. base strato (m)	Descrizione litologica	Qc (resistenza alla punta - valore min/max in Mpa)
0,0	-1,2/-1,6	terreno di riporto misto	--
-1,2/-1,6	-2,0/-2,6	argilla con limo e sabbia, poco consistente	0,99 – 1,17
-2,0/-2,6	-4,2/-5,6	argilla limosa (localmente sabbiosa), mediamente consistente	1,56 – 1,79
-4,2/-5,6	-5,8/-7,2	argilla con limo e sabbia, poco consistente	0,96 – 1,22
-5,8/-7,2	-15,2/-16,0	argilla limosa e sabbiosa, mediamente consistente	1,63 – 2,11
-15,2/-16,0	-22,6/-24,8	argilla e limo con sabbia, consistente (localmente molto consistente)	2,84 – 3,5
≈ -22,6/-26,0		primo livello sabbioso ghiaioso (spessore modesto)	--

Il livello di **falda** rilevato durante la campagna d'indagine ha riportato la misura compresa tra -1,6 m e -1,9 m dalla quota di inizio prove.

I valori di resistenza meccanica del terreno hanno consentito la creazione di un **Modello Geotecnico** di riferimento per ogni verticale di indagine, sintetizzabili nel seguente schema complessivo semplificato:

Prof. tetto strato (m)	Prof. base strato (m)	Descrizione litologica	Cu (KPa)	Fi (°)
0,0	-1,2/-1,6	terreno di riporto misto	--	
-1,2/-1,6	-2,0/-2,6	argilla con limo e sabbia, poco consistente	33 – 39	20 – 21
-2,0/-2,6	-4,2/-5,6	argilla limosa (localmente sabbiosa), mediamente consistente	52 – 59	21 – 23
-4,2/-5,6	-5,8/-7,2	argilla con limo e sabbia, poco consistente	33 – 42	20 – 21
-5,8/-7,2	-15,2/-16,0	argilla limosa e sabbiosa, mediamente consistente	54 – 66	21 – 23
-15,2/-16,0	-22,6/-24,8	argilla e limo con sabbia, consistente (localmente molto consistente)	94 – 115	23 – 25
≈ -22,6/-26,0		primo livello sabbioso ghiaioso (spessore modesto)	--	28 – 33

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

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

Le indagini geofisiche hanno restituito 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.



Il livello di approfondimento è stato espletato anche con la finalità di valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale delle aree potenzialmente instabili e liquefacibili presenti nell'area oggetto di intervento. Le verifiche dell'indice potenziale di liquefazione e dei cedimenti post sismici del terreno hanno dato i seguenti risultati:

<i>Sito</i>	<i>CPT 1</i>	<i>CPT 2</i>	<i>CPT 3</i>	<i>CPT 4</i>	<i>CPT 5</i>	<i>CPT 6</i>	<i>CPT 7</i>	<i>CPT 8</i>
<i>Indice IL</i>	0,0	0,0	0,0	0,653	0,496	0,0	0,663	0,0
<i>Max cedimento potenziale (cm)</i>	0,0	0,0	0,0	0,7	0,6	0,0	2,0	0,0
<i>Pericolosità di liquefazione</i>	Nulla	Nulla	Nulla	Bassa	Bassa	Nulla	Bassa	Nulla

**03/03/2022**

**Dott. Geol. Francesco Dettori**



## 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: 15/02/2022

Profondità prova: 24.20 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	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.40	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.60	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.80	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
1.00	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
1.20	0.0	0.0	0.03	0.03	1.0	100.0
1.40	1.02	1.53	1.05	0.03	35.0	2.86
1.60	1.02	1.53	1.05	0.05	21.0	4.76
1.80	0.92	1.63	0.95	0.05	19.0	5.26
2.00	1.12	1.84	1.15	0.05	23.0	4.35
2.20	1.22	1.94	1.26	0.05	25.2	3.97
2.40	1.94	2.65	1.98	0.08	24.75	4.04
2.60	1.94	3.06	1.98	0.08	24.75	4.04
2.80	1.84	2.96	1.88	0.07	26.86	3.72
3.00	1.84	2.86	1.88	0.06	31.33	3.19
3.20	1.53	2.35	1.58	0.08	19.75	5.06
3.40	1.53	2.75	1.58	0.08	19.75	5.06
3.60	1.53	2.75	1.58	0.08	19.75	5.06
3.80	1.43	2.55	1.48	0.06	24.67	4.05
4.00	1.43	2.35	1.48	0.08	18.5	5.41
4.20	1.33	2.55	1.4	0.08	17.5	5.71
4.40	1.12	2.24	1.19	0.08	14.88	6.72
4.60	1.22	2.35	1.29	0.08	16.13	6.2
4.80	1.33	2.45	1.4	0.09	15.56	6.43
5.00	1.22	2.55	1.29	0.09	14.33	6.98
5.20	1.33	2.65	1.41	0.06	23.5	4.26
5.40	1.22	2.14	1.3	0.05	26.0	3.85
5.60	0.92	1.63	1.0	0.05	20.0	5.0
5.80	0.92	1.63	1.0	0.05	20.0	5.0
6.00	0.92	1.63	1.0	0.04	25.0	4.0
6.20	0.71	1.33	0.8	0.03	26.67	3.75
6.40	1.02	1.53	1.11	0.03	37.0	2.7
6.60	0.92	1.33	1.01	0.03	33.67	2.97
6.80	1.12	1.63	1.21	0.08	15.13	6.61
7.00	1.22	2.35	1.31	0.05	26.2	3.82
7.20	1.33	2.04	1.44	0.06	24.0	4.17
7.40	1.53	2.35	1.64	0.08	20.5	4.88
7.60	1.33	2.55	1.44	0.08	18.0	5.56
7.80	1.33	2.45	1.44	0.08	18.0	5.56
8.00	1.33	2.45	1.44	0.09	16.0	6.25
8.20	1.63	2.96	1.75	0.08	21.88	4.57
8.40	1.63	2.86	1.75	0.09	19.44	5.14



8.60	2.24	3.57	2.36	0.12	19.67	5.08
8.80	2.45	4.28	2.57	0.11	23.36	4.28
9.00	1.73	3.37	1.85	0.1	18.5	5.41
9.20	2.04	3.57	2.18	0.1	21.8	4.59
9.40	1.63	3.06	1.77	0.08	22.13	4.52
9.60	1.73	2.96	1.87	0.11	17.0	5.88
9.80	1.43	3.06	1.57	0.08	19.63	5.1
10.00	1.43	2.65	1.57	0.08	19.63	5.1
10.20	1.33	2.45	1.48	0.07	21.14	4.73
10.40	1.12	2.14	1.27	0.06	21.17	4.72
10.60	1.22	2.14	1.37	0.06	22.83	4.38
10.80	1.22	2.14	1.37	0.06	22.83	4.38
11.00	1.53	2.45	1.68	0.08	21.0	4.76
11.20	1.33	2.55	1.49	0.08	18.63	5.37
11.40	1.22	2.35	1.38	0.06	23.0	4.35
11.60	1.22	2.14	1.38	0.06	23.0	4.35
11.80	1.12	2.04	1.28	0.07	18.29	5.47
12.00	1.33	2.35	1.49	0.06	24.83	4.03
12.20	1.02	1.94	1.2	0.03	40.0	2.5
12.40	1.12	1.63	1.3	0.05	26.0	3.85
12.60	0.92	1.63	1.1	0.03	36.67	2.73
12.80	1.33	1.73	1.51	0.05	30.2	3.31
13.00	1.33	2.14	1.51	0.06	25.17	3.97
13.20	1.43	2.35	1.62	0.08	20.25	4.94
13.40	1.53	2.65	1.72	0.08	21.5	4.65
13.60	1.53	2.75	1.72	0.1	17.2	5.81
13.80	1.53	3.06	1.72	0.11	15.64	6.4
14.00	1.63	3.26	1.82	0.11	16.55	6.04
14.20	1.84	3.47	2.04	0.12	17.0	5.88
14.40	1.84	3.57	2.04	0.12	17.0	5.88
14.60	1.63	3.37	1.83	0.11	16.64	6.01
14.80	1.73	3.37	1.93	0.1	19.3	5.18
15.00	1.84	3.37	2.04	0.11	18.55	5.39
15.20	1.73	3.37	1.95	0.11	17.73	5.64
15.40	1.63	3.26	1.85	0.1	18.5	5.41
15.60	1.43	2.86	1.65	0.08	20.63	4.85
15.80	1.53	2.75	1.75	0.09	19.44	5.14
16.00	1.63	2.96	1.85	0.12	15.42	6.49
16.20	2.24	3.98	2.47	0.14	17.64	5.67
16.40	3.26	5.4	3.49	0.19	18.37	5.44
16.60	2.96	5.81	3.19	0.18	17.72	5.64
16.80	3.87	6.53	4.1	0.23	17.83	5.61
17.00	3.06	6.53	3.29	0.2	16.45	6.08
17.20	3.77	6.73	4.01	0.23	17.43	5.74
17.40	4.28	7.75	4.52	0.24	18.83	5.31
17.60	4.49	8.06	4.73	0.23	20.57	4.86
17.80	4.18	7.55	4.42	0.22	20.09	4.98
18.00	2.45	5.81	2.69	0.19	14.16	7.06
18.20	2.45	5.3	2.71	0.18	15.06	6.64
18.40	2.75	5.51	3.01	0.18	16.72	5.98
18.60	2.35	5.1	2.61	0.14	18.64	5.36
18.80	2.75	4.89	3.01	0.19	15.84	6.31
19.00	2.35	5.2	2.61	0.16	16.31	6.13
19.20	2.35	4.69	2.62	0.18	14.56	6.87
19.40	2.86	5.51	3.13	0.18	17.39	5.75
19.60	2.24	4.89	2.51	0.16	15.69	6.37
19.80	3.26	5.61	3.53	0.15	23.53	4.25
20.00	4.59	6.83	4.86	0.21	23.14	4.32
20.20	3.98	7.14	4.26	0.22	19.36	5.16
20.40	3.37	6.63	3.65	0.21	17.38	5.75
20.60	2.65	5.81	2.93	0.18	16.28	6.14
20.80	2.55	5.3	2.83	0.15	18.87	5.3
21.00	2.24	4.49	2.52	0.14	18.0	5.56
21.20	2.04	4.08	2.34	0.1	23.4	4.27
21.40	1.94	3.47	2.24	0.1	22.4	4.46
21.60	2.04	3.57	2.34	0.1	23.4	4.27





21.80	1.94	3.47	2.24	0.12	18.67	5.36
22.00	2.04	3.87	2.34	0.1	23.4	4.27
22.20	2.24	3.77	2.55	0.14	18.21	5.49
22.40	2.24	4.38	2.55	0.14	18.21	5.49
22.60	2.04	4.08	2.35	0.13	18.08	5.53
22.80	2.04	3.98	2.35	0.08	29.38	3.4
23.00	2.45	3.67	2.76	0.11	25.09	3.99
23.20	1.94	3.57	2.26	0.12	18.83	5.31
23.40	2.04	3.77	2.36	0.1	23.6	4.24
23.60	2.35	3.77	2.67	0.1	26.7	3.75
23.80	3.16	4.69	3.48	0.1	34.8	2.87
24.00	5.81	7.34	6.13	0.48	12.77	7.83
24.20	12.95	20.19	13.29	0.0		0.0

## PROVA ... Nr.2

Committente: Franco Iorio Srl

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 15/02/2022

Profondità prova: 21.40 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	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.40	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.60	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.80	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
1.00	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
1.20	0.0	0.0	0.03	0.08	0.38	266.67
1.40	1.22	2.45	1.25	0.08	15.63	6.4
1.60	1.12	2.24	1.15	0.08	14.38	6.96
1.80	1.12	2.24	1.15	0.07	16.43	6.09
2.00	1.22	2.24	1.25	0.04	31.25	3.2
2.20	1.02	1.63	1.06	0.06	17.67	5.66
2.40	1.53	2.35	1.57	0.05	31.4	3.18
2.60	1.84	2.65	1.88	0.08	23.5	4.26
2.80	1.53	2.65	1.57	0.08	19.63	5.1
3.00	1.73	2.86	1.77	0.07	25.29	3.95
3.20	2.24	3.26	2.29	0.07	32.71	3.06
3.40	1.94	2.96	1.99	0.1	19.9	5.03
3.60	1.73	3.16	1.78	0.08	22.25	4.49
3.80	1.84	2.96	1.89	0.08	23.63	4.23
4.00	1.73	2.96	1.78	0.07	25.43	3.93
4.20	1.63	2.65	1.7	0.06	28.33	3.53
4.40	1.53	2.35	1.6	0.06	26.67	3.75
4.60	1.33	2.24	1.4	0.06	23.33	4.29
4.80	1.22	2.14	1.29	0.06	21.5	4.65
5.00	1.12	1.94	1.19	0.05	23.8	4.2
5.20	1.33	2.14	1.41	0.08	17.63	5.67
5.40	1.12	2.24	1.2	0.07	17.14	5.83
5.60	1.02	2.04	1.1	0.05	22.0	4.55
5.80	1.33	2.14	1.41	0.09	15.67	6.38
6.00	1.22	2.55	1.3	0.05	26.0	3.85
6.20	0.82	1.63	0.91	0.04	22.75	4.4
6.40	0.82	1.43	0.91	0.04	22.75	4.4
6.60	0.71	1.33	0.8	0.03	26.67	3.75
6.80	0.71	1.22	0.8	0.05	16.0	6.25
7.00	0.92	1.63	1.01	0.04	25.25	3.96
7.20	1.12	1.73	1.23	0.04	30.75	3.25
7.40	1.43	2.04	1.54	0.08	19.25	5.19
7.60	1.33	2.45	1.44	0.07	20.57	4.86
7.80	1.63	2.65	1.74	0.1	17.4	5.75
8.00	1.63	3.06	1.74	0.09	19.33	5.17
8.20	1.22	2.55	1.34	0.09	14.89	6.72
8.40	1.63	2.96	1.75	0.1	17.5	5.71



8.60	1.43	2.86	1.55	0.11	14.09	7.1
8.80	1.84	3.47	1.96	0.12	16.33	6.12
9.00	2.24	3.98	2.36	0.12	19.67	5.08
9.20	2.14	3.98	2.28	0.12	19.0	5.26
9.40	2.04	3.77	2.18	0.1	21.8	4.59
9.60	2.35	3.87	2.49	0.12	20.75	4.82
9.80	1.43	3.16	1.57	0.08	19.63	5.1
10.00	1.22	2.45	1.36	0.08	17.0	5.88
10.20	1.63	2.75	1.78	0.1	17.8	5.62
10.40	1.53	3.06	1.68	0.08	21.0	4.76
10.60	1.22	2.45	1.37	0.05	27.4	3.65
10.80	1.33	2.14	1.48	0.07	21.14	4.73
11.00	1.53	2.55	1.68	0.06	28.0	3.57
11.20	2.35	3.26	2.51	0.06	41.83	2.39
11.40	1.33	2.24	1.49	0.06	24.83	4.03
11.60	1.12	1.94	1.28	0.05	25.6	3.91
11.80	1.43	2.24	1.59	0.08	19.88	5.03
12.00	1.22	2.45	1.38	0.06	23.0	4.35
12.20	1.02	1.84	1.2	0.06	20.0	5.0
12.40	1.12	1.94	1.3	0.06	21.67	4.62
12.60	1.33	2.24	1.51	0.06	25.17	3.97
12.80	1.43	2.35	1.61	0.08	20.13	4.97
13.00	1.02	2.14	1.2	0.05	24.0	4.17
13.20	1.33	2.04	1.52	0.07	21.71	4.61
13.40	1.22	2.24	1.41	0.06	23.5	4.26
13.60	1.43	2.35	1.62	0.08	20.25	4.94
13.80	1.43	2.55	1.62	0.09	18.0	5.56
14.00	1.53	2.86	1.72	0.09	19.11	5.23
14.20	1.63	2.96	1.83	0.1	18.3	5.46
14.40	1.73	3.26	1.93	0.1	19.3	5.18
14.60	1.53	3.06	1.73	0.09	19.22	5.2
14.80	1.43	2.75	1.63	0.09	18.11	5.52
15.00	1.43	2.75	1.63	0.08	20.38	4.91
15.20	1.33	2.45	1.55	0.08	19.38	5.16
15.40	1.33	2.55	1.55	0.08	19.38	5.16
15.60	1.43	2.55	1.65	0.07	23.57	4.24
15.80	1.33	2.35	1.55	0.08	19.38	5.16
16.00	1.43	2.65	1.65	0.08	20.63	4.85
16.20	2.04	3.26	2.27	0.12	18.92	5.29
16.40	3.26	5.0	3.49	0.21	16.62	6.02
16.60	3.37	6.53	3.6	0.22	16.36	6.11
16.80	3.67	6.93	3.9	0.22	17.73	5.64
17.00	2.96	6.22	3.19	0.17	18.76	5.33
17.20	2.35	4.89	2.59	0.16	16.19	6.18
17.40	3.26	5.61	3.5	0.15	23.33	4.29
17.60	4.18	6.42	4.42	0.22	20.09	4.98
17.80	3.57	6.93	3.81	0.2	19.05	5.25
18.00	2.96	5.91	3.2	0.18	17.78	5.63
18.20	2.55	5.2	2.81	0.16	17.56	5.69
18.40	2.35	4.69	2.61	0.18	14.5	6.9
18.60	1.94	4.59	2.2	0.18	12.22	8.18
18.80	2.04	4.69	2.3	0.14	16.43	6.09
19.00	2.24	4.38	2.5	0.14	17.86	5.6
19.20	2.04	4.08	2.31	0.14	16.5	6.06
19.40	2.04	4.18	2.31	0.14	16.5	6.06
19.60	2.75	4.89	3.02	0.16	18.88	5.3
19.80	3.06	5.4	3.33	0.2	16.65	6.01
20.00	2.35	5.3	2.62	0.15	17.47	5.73
20.20	2.24	4.49	2.52	0.14	18.0	5.56
20.40	2.45	4.49	2.73	0.14	19.5	5.13
20.60	2.14	4.28	2.42	0.14	17.29	5.79
20.80	2.45	4.59	2.73	0.17	16.06	6.23
21.00	2.24	4.79	2.52	0.15	16.8	5.95
21.20	2.14	4.38	2.44	0.13	18.77	5.33
21.40	2.55	4.49	2.85	0.0		0.0



## PROVA ... Nr.3

Committente: Franco Iorio Srl

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 15/02/2022

Profondità prova: 24.80 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	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.40	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.60	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.80	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
1.00	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
1.20	0.0	0.0	0.03	0.0		0.0
1.40	0.0	0.0	0.03	0.03	1.0	100.0
1.60	1.02	1.53	1.05	0.03	35.0	2.86
1.80	0.82	1.33	0.85	0.06	14.17	7.06
2.00	1.12	2.04	1.15	0.04	28.75	3.48
2.20	1.63	2.24	1.67	0.06	27.83	3.59
2.40	1.63	2.55	1.67	0.07	23.86	4.19
2.60	1.84	2.86	1.88	0.07	26.86	3.72
2.80	2.04	3.06	2.08	0.11	18.91	5.29
3.00	1.94	3.57	1.98	0.08	24.75	4.04
3.20	2.35	3.57	2.4	0.12	20.0	5.0
3.40	1.94	3.67	1.99	0.12	16.58	6.03
3.60	1.73	3.47	1.78	0.1	17.8	5.62
3.80	1.53	3.06	1.58	0.1	15.8	6.33
4.00	1.22	2.65	1.27	0.08	15.88	6.3
4.20	1.22	2.45	1.29	0.07	18.43	5.43
4.40	1.22	2.24	1.29	0.06	21.5	4.65
4.60	1.43	2.35	1.5	0.08	18.75	5.33
4.80	1.12	2.35	1.19	0.08	14.88	6.72
5.00	1.22	2.45	1.29	0.08	16.13	6.2
5.20	1.12	2.35	1.2	0.07	17.14	5.83
5.40	0.82	1.84	0.9	0.06	15.0	6.67
5.60	1.12	2.04	1.2	0.08	15.0	6.67
5.80	1.33	2.45	1.41	0.09	15.67	6.38
6.00	1.22	2.55	1.3	0.08	16.25	6.15
6.20	1.33	2.55	1.42	0.07	20.29	4.93
6.40	1.02	2.04	1.11	0.07	15.86	6.31
6.60	1.02	2.04	1.11	0.06	18.5	5.41
6.80	1.12	1.94	1.21	0.07	17.29	5.79
7.00	1.33	2.35	1.42	0.07	20.29	4.93
7.20	1.02	2.04	1.13	0.06	18.83	5.31
7.40	1.63	2.55	1.74	0.09	19.33	5.17
7.60	1.53	2.86	1.64	0.08	20.5	4.88
7.80	1.84	3.06	1.95	0.12	16.25	6.15
8.00	1.43	3.26	1.54	0.08	19.25	5.19
8.20	1.12	2.35	1.24	0.09	13.78	7.26
8.40	1.63	2.96	1.75	0.11	15.91	6.29
8.60	2.14	3.77	2.26	0.13	17.38	5.75
8.80	2.24	4.18	2.36	0.16	14.75	6.78
9.00	2.24	4.59	2.36	0.16	14.75	6.78
9.20	1.94	4.28	2.08	0.14	14.86	6.73
9.40	2.24	4.38	2.38	0.13	18.31	5.46
9.60	1.53	3.47	1.67	0.11	15.18	6.59
9.80	1.02	2.65	1.16	0.08	14.5	6.9
10.00	1.43	2.65	1.57	0.09	17.44	5.73
10.20	1.73	3.06	1.88	0.09	20.89	4.79
10.40	1.53	2.86	1.68	0.1	16.8	5.95
10.60	1.33	2.75	1.48	0.08	18.5	5.41
10.80	1.33	2.55	1.48	0.08	18.5	5.41
11.00	1.22	2.45	1.37	0.06	22.83	4.38
11.20	1.12	2.04	1.28	0.05	25.6	3.91
11.40	1.33	2.14	1.49	0.05	29.8	3.36
11.60	1.33	2.14	1.49	0.06	24.83	4.03



11.80	1.12	1.94	1.28	0.06	21.33	4.69
12.00	1.33	2.24	1.49	0.08	18.63	5.37
12.20	1.22	2.35	1.4	0.06	23.33	4.29
12.40	1.43	2.35	1.61	0.07	23.0	4.35
12.60	0.92	1.94	1.1	0.06	18.33	5.45
12.80	1.02	1.84	1.2	0.05	24.0	4.17
13.00	1.43	2.24	1.61	0.08	20.13	4.97
13.20	1.33	2.55	1.52	0.07	21.71	4.61
13.40	1.33	2.35	1.52	0.08	19.0	5.26
13.60	1.33	2.45	1.52	0.08	19.0	5.26
13.80	1.63	2.86	1.82	0.1	18.2	5.49
14.00	1.73	3.26	1.92	0.11	17.45	5.73
14.20	1.73	3.37	1.93	0.11	17.55	5.7
14.40	1.63	3.26	1.83	0.11	16.64	6.01
14.60	1.63	3.26	1.83	0.1	18.3	5.46
14.80	1.33	2.86	1.53	0.09	17.0	5.88
15.00	1.33	2.65	1.53	0.08	19.13	5.23
15.20	1.43	2.65	1.65	0.09	18.33	5.45
15.40	1.43	2.75	1.65	0.09	18.33	5.45
15.60	1.33	2.65	1.55	0.1	15.5	6.45
15.80	1.73	3.16	1.95	0.12	16.25	6.15
16.00	2.45	4.28	2.67	0.16	16.69	5.99
16.20	3.67	6.02	3.9	0.22	17.73	5.64
16.40	3.98	7.24	4.21	0.24	17.54	5.7
16.60	3.57	7.14	3.8	0.17	22.35	4.47
16.80	2.96	5.51	3.19	0.17	18.76	5.33
17.00	2.45	5.0	2.68	0.14	19.14	5.22
17.20	3.67	5.81	3.91	0.22	17.77	5.63
17.40	4.38	7.65	4.62	0.25	18.48	5.41
17.60	3.67	7.44	3.91	0.21	18.62	5.37
17.80	2.86	6.02	3.1	0.2	15.5	6.45
18.00	2.96	5.91	3.2	0.2	16.0	6.25
18.20	2.55	5.51	2.81	0.18	15.61	6.41
18.40	2.65	5.3	2.91	0.19	15.32	6.53
18.60	2.55	5.4	2.81	0.16	17.56	5.69
18.80	2.35	4.69	2.61	0.17	15.35	6.51
19.00	2.24	4.79	2.5	0.16	15.63	6.4
19.20	2.86	5.2	3.13	0.15	20.87	4.79
19.40	3.26	5.51	3.53	0.18	19.61	5.1
19.60	2.45	5.1	2.72	0.15	18.13	5.51
19.80	2.55	4.79	2.82	0.17	16.59	6.03
20.00	2.55	5.1	2.82	0.16	17.63	5.67
20.20	2.75	5.1	3.03	0.17	17.82	5.61
20.40	2.45	5.0	2.73	0.15	18.2	5.49
20.60	2.04	4.28	2.32	0.12	19.33	5.17
20.80	2.04	3.87	2.32	0.09	25.78	3.88
21.00	1.84	3.16	2.12	0.11	19.27	5.19
21.20	1.84	3.47	2.14	0.1	21.4	4.67
21.40	1.73	3.16	2.03	0.08	25.38	3.94
21.60	1.84	3.06	2.14	0.11	19.45	5.14
21.80	2.24	3.87	2.54	0.14	18.14	5.51
22.00	2.14	4.18	2.44	0.15	16.27	6.15
22.20	2.04	4.28	2.35	0.15	15.67	6.38
22.40	2.45	4.69	2.76	0.14	19.71	5.07
22.60	2.75	4.89	3.06	0.15	20.4	4.9
22.80	2.86	5.1	3.17	0.15	21.13	4.73
23.00	2.65	4.89	2.96	0.14	21.14	4.73
23.20	2.45	4.49	2.77	0.16	17.31	5.78
23.40	1.94	4.28	2.26	0.12	18.83	5.31
23.60	1.84	3.57	2.16	0.1	21.6	4.63
23.80	1.84	3.37	2.16	0.11	19.64	5.09
24.00	1.94	3.57	2.26	0.11	20.55	4.87
24.20	1.94	3.57	2.28	0.12	19.0	5.26
24.40	2.04	3.87	2.38	0.12	19.83	5.04
24.60	2.45	4.18	2.79	0.11	25.36	3.94
24.80	2.45	4.08	2.79	0.0		0.0



## PROVA ... Nr.4

Committente: Franco Iorio Srl

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 16/02/2022

Profondità prova: 23.20 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	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.40	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.60	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.80	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
1.00	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
1.20	0.0	0.0	0.03	0.03	1.0	100.0
1.40	1.12	1.63	1.15	0.03	38.33	2.61
1.60	1.12	1.63	1.15	0.03	38.33	2.61
1.80	0.82	1.33	0.85	0.04	21.25	4.71
2.00	0.71	1.33	0.74	0.03	24.67	4.05
2.20	1.12	1.53	1.16	0.04	29.0	3.45
2.40	1.63	2.24	1.67	0.06	27.83	3.59
2.60	1.94	2.86	1.98	0.06	33.0	3.03
2.80	1.94	2.86	1.98	0.05	39.6	2.53
3.00	1.84	2.65	1.88	0.08	23.5	4.26
3.20	1.63	2.75	1.68	0.07	24.0	4.17
3.40	1.63	2.65	1.68	0.05	33.6	2.98
3.60	1.84	2.65	1.89	0.06	31.5	3.17
3.80	1.73	2.55	1.78	0.06	29.67	3.37
4.00	1.73	2.65	1.78	0.06	29.67	3.37
4.20	1.43	2.35	1.5	0.06	25.0	4.0
4.40	1.02	1.94	1.09	0.05	21.8	4.59
4.60	0.92	1.73	0.99	0.05	19.8	5.05
4.80	0.71	1.43	0.78	0.03	26.0	3.85
5.00	0.92	1.33	0.99	0.04	24.75	4.04
5.20	0.82	1.43	0.9	0.03	30.0	3.33
5.40	1.02	1.53	1.1	0.04	27.5	3.64
5.60	0.92	1.53	1.0	0.05	20.0	5.0
5.80	0.71	1.43	0.79	0.04	19.75	5.06
6.00	0.92	1.53	1.0	0.04	25.0	4.0
6.20	1.22	1.84	1.31	0.03	43.67	2.29
6.40	1.33	1.84	1.42	0.05	28.4	3.52
6.60	1.33	2.04	1.42	0.05	28.4	3.52
6.80	1.33	2.04	1.42	0.03	47.33	2.11
7.00	1.73	2.24	1.82	0.03	60.67	1.65
7.20	2.14	2.65	2.25	0.05	45.0	2.22
7.40	1.33	2.04	1.44	0.04	36.0	2.78
7.60	1.43	2.04	1.54	0.05	30.8	3.25
7.80	1.33	2.14	1.44	0.06	24.0	4.17
8.00	1.63	2.55	1.74	0.07	24.86	4.02
8.20	1.22	2.24	1.34	0.06	22.33	4.48
8.40	1.43	2.35	1.55	0.05	31.0	3.23
8.60	1.84	2.65	1.96	0.05	39.2	2.55
8.80	1.73	2.45	1.85	0.04	46.25	2.16
9.00	1.73	2.35	1.85	0.03	61.67	1.62
9.20	1.84	2.24	1.98	0.05	39.6	2.53
9.40	1.33	2.14	1.47	0.07	21.0	4.76
9.60	1.53	2.55	1.67	0.09	18.56	5.39
9.80	1.43	2.75	1.57	0.08	19.63	5.1
10.00	1.53	2.65	1.67	0.06	27.83	3.59
10.20	1.63	2.55	1.78	0.06	29.67	3.37
10.40	1.43	2.35	1.58	0.05	31.6	3.16
10.60	1.84	2.65	1.99	0.05	39.8	2.51
10.80	1.33	2.14	1.48	0.06	24.67	4.05
11.00	1.22	2.14	1.37	0.08	17.13	5.84
11.20	1.43	2.65	1.59	0.08	19.88	5.03
11.40	1.33	2.45	1.49	0.06	24.83	4.03





11.60	1.22	2.14	1.38	0.06	23.0	4.35
11.80	1.22	2.14	1.38	0.05	27.6	3.62
12.00	1.33	2.04	1.49	0.04	37.25	2.68
12.20	1.33	1.94	1.51	0.05	30.2	3.31
12.40	1.33	2.14	1.51	0.05	30.2	3.31
12.60	1.22	1.94	1.4	0.06	23.33	4.29
12.80	1.33	2.24	1.51	0.06	25.17	3.97
13.00	1.22	2.14	1.4	0.06	23.33	4.29
13.20	1.22	2.04	1.41	0.05	28.2	3.55
13.40	1.43	2.14	1.62	0.06	27.0	3.7
13.60	1.63	2.45	1.82	0.04	45.5	2.2
13.80	1.73	2.35	1.92	0.05	38.4	2.6
14.00	1.63	2.35	1.82	0.04	45.5	2.2
14.20	1.53	2.14	1.73	0.05	34.6	2.89
14.40	1.53	2.24	1.73	0.03	57.67	1.73
14.60	1.63	2.14	1.83	0.09	20.33	4.92
14.80	1.84	3.16	2.04	0.1	20.4	4.9
15.00	1.22	2.65	1.42	0.06	23.67	4.23
15.20	1.43	2.35	1.65	0.05	33.0	3.03
15.40	1.33	2.14	1.55	0.06	25.83	3.87
15.60	1.63	2.45	1.85	0.08	23.13	4.32
15.80	2.65	3.77	2.87	0.14	20.5	4.88
16.00	3.16	5.3	3.38	0.16	21.13	4.73
16.20	2.75	5.2	2.98	0.15	19.87	5.03
16.40	2.45	4.69	2.68	0.12	22.33	4.48
16.60	3.47	5.3	3.7	0.16	23.13	4.32
16.80	4.08	6.53	4.31	0.13	33.15	3.02
17.00	3.47	5.4	3.7	0.16	23.13	4.32
17.20	3.37	5.71	3.61	0.15	24.07	4.16
17.40	3.47	5.71	3.71	0.16	23.19	4.31
17.60	3.16	5.51	3.4	0.15	22.67	4.41
17.80	2.75	5.0	2.99	0.14	21.36	4.68
18.00	2.75	4.79	2.99	0.13	23.0	4.35
18.20	2.75	4.69	3.01	0.14	21.5	4.65
18.40	2.86	5.0	3.12	0.13	24.0	4.17
18.60	2.65	4.59	2.91	0.16	18.19	5.5
18.80	2.96	5.4	3.22	0.15	21.47	4.66
19.00	3.67	5.91	3.93	0.16	24.56	4.07
19.20	3.37	5.71	3.64	0.17	21.41	4.67
19.40	2.86	5.4	3.13	0.16	19.56	5.11
19.60	2.75	5.2	3.02	0.16	18.88	5.3
19.80	2.55	4.89	2.82	0.15	18.8	5.32
20.00	2.35	4.59	2.62	0.12	21.83	4.58
20.20	1.94	3.67	2.22	0.1	22.2	4.5
20.40	1.84	3.37	2.12	0.1	21.2	4.72
20.60	1.94	3.37	2.22	0.1	22.2	4.5
20.80	1.94	3.37	2.22	0.1	22.2	4.5
21.00	2.35	3.87	2.63	0.12	21.92	4.56
21.20	2.35	4.08	2.65	0.12	22.08	4.53
21.40	1.94	3.67	2.24	0.09	24.89	4.02
21.60	2.24	3.57	2.54	0.11	23.09	4.33
21.80	2.04	3.67	2.34	0.1	23.4	4.27
22.00	1.84	3.37	2.14	0.07	30.57	3.27
22.20	2.24	3.26	2.55	0.08	31.88	3.14
22.40	2.35	3.47	2.66	0.1	26.6	3.76
22.60	1.94	3.47	2.25	0.23	9.78	10.22
22.80	8.36	11.73	8.67	0.27	32.11	3.11
23.00	12.64	16.62	12.95	0.62	20.89	4.79
23.20	22.74	32.02	23.06	0.0		0.0



## PROVA ... Nr.5

Committente: Franco Iorio Srl

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 16/02/2022

Profondità prova: 20.80 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	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.40	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.60	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.80	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
1.00	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
1.20	0.0	0.0	0.03	0.0		0.0
1.40	0.0	0.0	0.03	0.01	3.0	33.33
1.60	0.82	1.02	0.85	0.02	42.5	2.35
1.80	0.71	1.02	0.74	0.05	14.8	6.76
2.00	1.22	1.94	1.25	0.06	20.83	4.8
2.20	1.22	2.14	1.26	0.04	31.5	3.17
2.40	1.53	2.14	1.57	0.06	26.17	3.82
2.60	1.63	2.45	1.67	0.06	27.83	3.59
2.80	2.14	3.06	2.18	0.07	31.14	3.21
3.00	2.14	3.16	2.18	0.08	27.25	3.67
3.20	2.04	3.26	2.09	0.08	26.13	3.83
3.40	1.84	2.96	1.89	0.06	31.5	3.17
3.60	1.73	2.65	1.78	0.05	35.6	2.81
3.80	1.63	2.35	1.68	0.06	28.0	3.57
4.00	1.63	2.55	1.68	0.07	24.0	4.17
4.20	1.53	2.55	1.6	0.06	26.67	3.75
4.40	1.43	2.35	1.5	0.06	25.0	4.0
4.60	1.73	2.65	1.8	0.06	30.0	3.33
4.80	1.63	2.45	1.7	0.05	34.0	2.94
5.00	1.63	2.35	1.7	0.05	34.0	2.94
5.20	1.22	1.94	1.3	0.05	26.0	3.85
5.40	1.02	1.73	1.1	0.05	22.0	4.55
5.60	1.22	1.94	1.3	0.06	21.67	4.62
5.80	1.22	2.04	1.3	0.05	26.0	3.85
6.00	1.33	2.14	1.41	0.06	23.5	4.26
6.20	1.22	2.04	1.31	0.05	26.2	3.82
6.40	1.33	2.04	1.42	0.06	23.67	4.23
6.60	1.73	2.65	1.82	0.07	26.0	3.85
6.80	1.84	2.86	1.93	0.07	27.57	3.63
7.00	1.84	2.86	1.93	0.06	32.17	3.11
7.20	1.73	2.55	1.84	0.06	30.67	3.26
7.40	1.84	2.75	1.95	0.07	27.86	3.59
7.60	1.53	2.55	1.64	0.07	23.43	4.27
7.80	1.63	2.65	1.74	0.07	24.86	4.02
8.00	2.24	3.26	2.35	0.09	26.11	3.83
8.20	2.55	3.87	2.67	0.11	24.27	4.12
8.40	2.45	4.08	2.57	0.12	21.42	4.67
8.60	2.35	4.18	2.47	0.11	22.45	4.45
8.80	1.94	3.57	2.06	0.1	20.6	4.85
9.00	1.84	3.26	1.96	0.1	19.6	5.1
9.20	1.94	3.47	2.08	0.09	23.11	4.33
9.40	1.73	3.06	1.87	0.09	20.78	4.81
9.60	1.73	3.06	1.87	0.09	20.78	4.81
9.80	1.73	3.06	1.87	0.08	23.38	4.28
10.00	1.43	2.65	1.57	0.1	15.7	6.37
10.20	1.33	2.75	1.48	0.05	29.6	3.38
10.40	1.43	2.24	1.58	0.05	31.6	3.16
10.60	1.43	2.24	1.58	0.06	26.33	3.8
10.80	1.63	2.55	1.78	0.06	29.67	3.37
11.00	1.22	2.14	1.37	0.08	17.13	5.84
11.20	1.33	2.45	1.49	0.08	18.63	5.37
11.40	1.22	2.45	1.38	0.08	17.25	5.8



11.60	1.22	2.45	1.38	0.08	17.25	5.8
11.80	1.33	2.55	1.49	0.06	24.83	4.03
12.00	1.12	2.04	1.28	0.08	16.0	6.25
12.20	1.22	2.45	1.4	0.06	23.33	4.29
12.40	1.12	2.04	1.3	0.08	16.25	6.15
12.60	1.22	2.45	1.4	0.06	23.33	4.29
12.80	1.02	1.84	1.2	0.06	20.0	5.0
13.00	1.12	2.04	1.3	0.05	26.0	3.85
13.20	1.43	2.24	1.62	0.06	27.0	3.7
13.40	1.63	2.45	1.82	0.08	22.75	4.4
13.60	1.84	2.96	2.03	0.09	22.56	4.43
13.80	2.14	3.47	2.33	0.1	23.3	4.29
14.00	2.14	3.67	2.33	0.11	21.18	4.72
14.20	2.24	3.87	2.44	0.1	24.4	4.1
14.40	1.63	3.06	1.83	0.09	20.33	4.92
14.60	1.53	2.86	1.73	0.09	19.22	5.2
14.80	1.53	2.86	1.73	0.08	21.63	4.62
15.00	1.84	3.06	2.04	0.08	25.5	3.92
15.20	1.63	2.86	1.85	0.08	23.13	4.32
15.40	1.94	3.16	2.16	0.11	19.64	5.09
15.60	2.45	4.08	2.67	0.14	19.07	5.24
15.80	3.67	5.81	3.89	0.15	25.93	3.86
16.00	3.37	5.61	3.59	0.14	25.64	3.9
16.20	3.06	5.2	3.29	0.16	20.56	4.86
16.40	2.75	5.1	2.98	0.13	22.92	4.36
16.60	4.28	6.22	4.51	0.14	32.21	3.1
16.80	4.38	6.53	4.61	0.17	27.12	3.69
17.00	3.57	6.12	3.8	0.2	19.0	5.26
17.20	2.75	5.71	2.99	0.14	21.36	4.68
17.40	2.65	4.79	2.89	0.14	20.64	4.84
17.60	2.55	4.59	2.79	0.13	21.46	4.66
17.80	2.14	4.08	2.38	0.12	19.83	5.04
18.00	2.24	3.98	2.48	0.12	20.67	4.84
18.20	2.35	4.08	2.61	0.13	20.08	4.98
18.40	2.45	4.38	2.71	0.15	18.07	5.54
18.60	3.87	6.12	4.13	0.15	27.53	3.63
18.80	4.28	6.53	4.54	0.08	56.75	1.76
19.00	2.65	3.87	2.91	0.12	24.25	4.12
19.20	2.86	4.59	3.13	0.13	24.08	4.15
19.40	3.26	5.2	3.53	0.14	25.21	3.97
19.60	2.75	4.89	3.02	0.12	25.17	3.97
19.80	1.84	3.67	2.11	0.12	17.58	5.69
20.00	1.63	3.37	1.9	0.12	15.83	6.32
20.20	2.35	4.08	2.63	0.12	21.92	4.56
20.40	2.14	3.98	2.42	0.14	17.29	5.79
20.60	1.94	4.08	2.22	0.13	17.08	5.86
20.80	1.73	3.67	2.01	0.0		0.0

## PROVA ... Nr.6

Committente: Franco Iorio Srl  
 Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN  
 Prova eseguita in data: 16/02/2022  
 Profondità prova: 23.60 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	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.40	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.60	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.80	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
1.00	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
1.20	0.0	0.0	0.03	0.06	0.5	200.0
1.40	1.22	2.04	1.25	0.05	25.0	4.0
1.60	1.33	2.14	1.36	0.05	27.2	3.68



1.80	0.92	1.63	0.95	0.04	23.75	4.21
2.00	0.92	1.53	0.95	0.06	15.83	6.32
2.20	1.53	2.35	1.57	0.08	19.63	5.1
2.40	1.94	3.06	1.98	0.07	28.29	3.54
2.60	2.14	3.16	2.18	0.06	36.33	2.75
2.80	1.63	2.45	1.67	0.07	23.86	4.19
3.00	1.63	2.65	1.67	0.06	27.83	3.59
3.20	1.84	2.75	1.89	0.07	27.0	3.7
3.40	1.53	2.55	1.58	0.06	26.33	3.8
3.60	1.43	2.35	1.48	0.05	29.6	3.38
3.80	1.43	2.24	1.48	0.05	29.6	3.38
4.00	1.43	2.24	1.48	0.04	37.0	2.7
4.20	1.43	2.04	1.5	0.03	50.0	2.0
4.40	1.02	1.53	1.09	0.03	36.33	2.75
4.60	0.92	1.33	0.99	0.02	49.5	2.02
4.80	0.71	1.02	0.78	0.03	26.0	3.85
5.00	0.61	1.02	0.68	0.01	68.0	1.47
5.20	0.82	1.02	0.9	0.02	45.0	2.22
5.40	0.82	1.12	0.9	0.03	30.0	3.33
5.60	1.02	1.43	1.1	0.03	36.67	2.73
5.80	1.12	1.53	1.2	0.05	24.0	4.17
6.00	1.22	1.94	1.3	0.05	26.0	3.85
6.20	1.43	2.24	1.52	0.05	30.4	3.29
6.40	1.33	2.14	1.42	0.03	47.33	2.11
6.60	1.12	1.53	1.21	0.03	40.33	2.48
6.80	1.33	1.84	1.42	0.08	17.75	5.63
7.00	2.35	3.57	2.44	0.1	24.4	4.1
7.20	2.24	3.77	2.35	0.07	33.57	2.98
7.40	2.14	3.16	2.25	0.08	28.13	3.56
7.60	1.94	3.16	2.05	0.09	22.78	4.39
7.80	1.94	3.26	2.05	0.08	25.63	3.9
8.00	2.24	3.47	2.35	0.1	23.5	4.26
8.20	2.55	3.98	2.67	0.08	33.38	3.0
8.40	2.35	3.47	2.47	0.1	24.7	4.05
8.60	2.65	4.18	2.77	0.1	27.7	3.61
8.80	2.65	4.18	2.77	0.1	27.7	3.61
9.00	2.55	4.08	2.67	0.11	24.27	4.12
9.20	2.24	3.87	2.38	0.1	23.8	4.2
9.40	2.45	3.98	2.59	0.11	23.55	4.25
9.60	1.73	3.37	1.87	0.1	18.7	5.35
9.80	1.84	3.26	1.98	0.1	19.8	5.05
10.00	1.63	3.06	1.77	0.09	19.67	5.08
10.20	1.73	3.06	1.88	0.08	23.5	4.26
10.40	1.63	2.86	1.78	0.09	19.78	5.06
10.60	1.73	3.06	1.88	0.08	23.5	4.26
10.80	1.84	2.96	1.99	0.09	22.11	4.52
11.00	2.24	3.57	2.39	0.08	29.88	3.35
11.20	2.14	3.37	2.3	0.05	46.0	2.17
11.40	1.43	2.14	1.59	0.05	31.8	3.14
11.60	1.33	2.14	1.49	0.05	29.8	3.36
11.80	1.43	2.14	1.59	0.06	26.5	3.77
12.00	1.63	2.45	1.79	0.06	29.83	3.35
12.20	1.33	2.24	1.51	0.05	30.2	3.31
12.40	1.12	1.84	1.3	0.04	32.5	3.08
12.60	1.43	2.04	1.61	0.05	32.2	3.11
12.80	1.33	2.14	1.51	0.05	30.2	3.31
13.00	1.53	2.24	1.71	0.05	34.2	2.92
13.20	1.33	2.04	1.52	0.05	30.4	3.29
13.40	1.43	2.24	1.62	0.06	27.0	3.7
13.60	1.73	2.65	1.92	0.07	27.43	3.65
13.80	1.84	2.86	2.03	0.08	25.38	3.94
14.00	2.24	3.47	2.43	0.08	30.38	3.29
14.20	1.84	3.06	2.04	0.1	20.4	4.9
14.40	2.14	3.57	2.34	0.09	26.0	3.85
14.60	1.84	3.16	2.04	0.09	22.67	4.41
14.80	2.04	3.37	2.24	0.08	28.0	3.57



15.00	1.84	3.06	2.04	0.1	20.4	4.9
15.20	2.04	3.47	2.26	0.1	22.6	4.42
15.40	2.24	3.77	2.46	0.1	24.6	4.07
15.60	1.84	3.26	2.06	0.1	20.6	4.85
15.80	2.55	3.98	2.77	0.11	25.18	3.97
16.00	4.08	5.71	4.3	0.11	39.09	2.56
16.20	4.18	5.81	4.41	0.13	33.92	2.95
16.40	3.16	5.1	3.39	0.15	22.6	4.42
16.60	3.37	5.61	3.6	0.1	36.0	2.78
16.80	4.18	5.71	4.41	0.16	27.56	3.63
17.00	4.69	7.14	4.92	0.12	41.0	2.44
17.20	4.28	6.12	4.52	0.1	45.2	2.21
17.40	2.75	4.28	2.99	0.1	29.9	3.34
17.60	2.24	3.77	2.48	0.11	22.55	4.44
17.80	2.45	4.08	2.69	0.12	22.42	4.46
18.00	2.75	4.59	2.99	0.11	27.18	3.68
18.20	2.75	4.38	3.01	0.12	25.08	3.99
18.40	2.45	4.18	2.71	0.12	22.58	4.43
18.60	3.16	4.89	3.42	0.14	24.43	4.09
18.80	3.26	5.3	3.52	0.15	23.47	4.26
19.00	3.47	5.71	3.73	0.16	23.31	4.29
19.20	3.77	6.22	4.04	0.16	25.25	3.96
19.40	3.47	5.81	3.74	0.16	23.38	4.28
19.60	3.16	5.61	3.43	0.12	28.58	3.5
19.80	2.45	4.18	2.72	0.14	19.43	5.15
20.00	2.04	4.08	2.31	0.14	16.5	6.06
20.20	2.14	4.28	2.42	0.1	24.2	4.13
20.40	1.94	3.37	2.22	0.1	22.2	4.5
20.60	2.35	3.77	2.63	0.08	32.88	3.04
20.80	2.24	3.47	2.52	0.09	28.0	3.57
21.00	2.45	3.77	2.73	0.11	24.82	4.03
21.20	2.65	4.28	2.95	0.11	26.82	3.73
21.40	2.96	4.59	3.26	0.12	27.17	3.68
21.60	2.55	4.28	2.85	0.11	25.91	3.86
21.80	2.35	3.98	2.65	0.1	26.5	3.77
22.00	1.84	3.37	2.14	0.08	26.75	3.74
22.20	1.84	2.96	2.15	0.09	23.89	4.19
22.40	2.24	3.57	2.55	0.08	31.88	3.14
22.60	3.16	4.28	3.47	0.08	43.38	2.31
22.80	2.75	3.98	3.06	0.12	25.5	3.92
23.00	4.28	6.12	4.59	0.11	41.73	2.4
23.20	13.66	15.3	13.98	0.66	21.18	4.72
23.40	22.23	32.12	22.55	0.88	25.63	3.9
23.60	22.43	35.69	22.75	0.0		0.0

## PROVA ... Nr.7

Committente: Franco Iorio Srl  
 Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN  
 Prova eseguita in data: 17/02/2022  
 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	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.40	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.60	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.80	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
1.00	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
1.20	0.0	0.0	0.03	0.0		0.0
1.40	0.0	0.0	0.03	0.0		0.0
1.60	0.0	0.0	0.03	0.04	0.75	133.33
1.80	0.92	1.53	0.95	0.04	23.75	4.21
2.00	0.92	1.53	0.95	0.05	19.0	5.26
2.20	0.71	1.43	0.75	0.03	25.0	4.0





2.40	1.02	1.53	1.06	0.08	13.25	7.55
2.60	1.22	2.45	1.26	0.1	12.6	7.94
2.80	1.63	3.16	1.67	0.1	16.7	5.99
3.00	1.73	3.26	1.77	0.09	19.67	5.08
3.20	1.12	2.45	1.17	0.08	14.63	6.84
3.40	1.22	2.45	1.27	0.1	12.7	7.87
3.60	1.53	3.06	1.58	0.12	13.17	7.59
3.80	1.84	3.57	1.89	0.08	23.63	4.23
4.00	2.14	3.37	2.19	0.08	27.38	3.65
4.20	2.04	3.26	2.11	0.08	26.38	3.79
4.40	1.63	2.86	1.7	0.07	24.29	4.12
4.60	1.73	2.75	1.8	0.11	16.36	6.11
4.80	1.53	3.16	1.6	0.06	26.67	3.75
5.00	1.84	2.75	1.91	0.06	31.83	3.14
5.20	1.63	2.55	1.71	0.05	34.2	2.92
5.40	1.63	2.35	1.71	0.05	34.2	2.92
5.60	0.82	1.63	0.9	0.05	18.0	5.56
5.80	0.92	1.73	1.0	0.05	20.0	5.0
6.00	1.33	2.14	1.41	0.05	28.2	3.55
6.20	1.33	2.04	1.42	0.06	23.67	4.23
6.40	1.12	1.94	1.21	0.05	24.2	4.13
6.60	1.33	2.14	1.42	0.05	28.4	3.52
6.80	1.02	1.73	1.11	0.04	27.75	3.6
7.00	0.82	1.43	0.91	0.05	18.2	5.49
7.20	1.53	2.24	1.64	0.04	41.0	2.44
7.40	1.43	2.04	1.54	0.05	30.8	3.25
7.60	1.43	2.14	1.54	0.04	38.5	2.6
7.80	1.73	2.35	1.84	0.03	61.33	1.63
8.00	1.63	2.14	1.74	0.04	43.5	2.3
8.20	1.73	2.35	1.85	0.03	61.67	1.62
8.40	1.63	2.14	1.75	0.09	19.44	5.14
8.60	2.14	3.47	2.26	0.08	28.25	3.54
8.80	1.73	2.96	1.85	0.08	23.13	4.32
9.00	1.94	3.16	2.06	0.08	25.75	3.88
9.20	2.14	3.37	2.28	0.12	19.0	5.26
9.40	3.06	4.79	3.2	0.13	24.62	4.06
9.60	2.86	4.79	3.0	0.12	25.0	4.0
9.80	2.45	4.28	2.59	0.12	21.58	4.63
10.00	2.65	4.38	2.79	0.13	21.46	4.66
10.20	2.35	4.28	2.5	0.09	27.78	3.6
10.40	1.43	2.75	1.58	0.05	31.6	3.16
10.60	1.63	2.35	1.78	0.05	35.6	2.81
10.80	1.84	2.55	1.99	0.06	33.17	3.02
11.00	2.14	3.06	2.29	0.05	45.8	2.18
11.20	1.94	2.65	2.1	0.06	35.0	2.86
11.40	1.73	2.65	1.89	0.06	31.5	3.17
11.60	1.63	2.55	1.79	0.08	22.38	4.47
11.80	2.04	3.16	2.2	0.07	31.43	3.18
12.00	1.53	2.55	1.69	0.06	28.17	3.55
12.20	1.73	2.55	1.91	0.05	38.2	2.62
12.40	2.45	3.26	2.63	0.05	52.6	1.9
12.60	2.65	3.37	2.83	0.04	70.75	1.41
12.80	2.55	3.16	2.73	0.06	45.5	2.2
13.00	2.45	3.37	2.63	0.08	32.88	3.04
13.20	1.73	2.86	1.92	0.07	27.43	3.65
13.40	1.73	2.75	1.92	0.08	24.0	4.17
13.60	1.84	2.96	2.03	0.08	25.38	3.94
13.80	1.43	2.55	1.62	0.08	20.25	4.94
14.00	1.73	2.86	1.92	0.08	24.0	4.17
14.20	1.84	2.96	2.04	0.09	22.67	4.41
14.40	2.04	3.37	2.24	0.1	22.4	4.46
14.60	2.14	3.57	2.34	0.1	23.4	4.27
14.80	2.14	3.57	2.34	0.09	26.0	3.85
15.00	1.94	3.26	2.14	0.09	23.78	4.21
15.20	1.73	3.06	1.95	0.08	24.38	4.1
15.40	1.53	2.65	1.75	0.05	35.0	2.86



15.60	2.86	3.57	3.08	0.01	308.0	0.32
15.80	2.96	3.16	3.18	0.03	106.0	0.94
16.00	2.86	3.26	3.08	0.11	28.0	3.57
16.20	2.55	4.18	2.78	0.13	21.38	4.68
16.40	3.37	5.3	3.6	0.15	24.0	4.17
16.60	3.77	6.02	4.0	0.2	20.0	5.0
16.80	4.08	7.04	4.31	0.2	21.55	4.64
17.00	3.87	6.83	4.1	0.19	21.58	4.63
17.20	2.45	5.3	2.69	0.18	14.94	6.69
17.40	2.75	5.4	2.99	0.14	21.36	4.68
17.60	3.47	5.51	3.71	0.15	24.73	4.04
17.80	3.98	6.22	4.22	0.16	26.38	3.79
18.00	4.18	6.53	4.42	0.12	36.83	2.71
18.20	3.37	5.2	3.63	0.14	25.93	3.86
18.40	3.16	5.2	3.42	0.12	28.5	3.51
18.60	3.37	5.2	3.63	0.14	25.93	3.86
18.80	2.86	4.89	3.12	0.12	26.0	3.85
19.00	3.26	5.0	3.52	0.14	25.14	3.98
19.20	2.65	4.79	2.92	0.14	20.86	4.79
19.40	2.55	4.59	2.82	0.14	20.14	4.96
19.60	2.75	4.79	3.02	0.13	23.23	4.3
19.80	2.96	4.89	3.23	0.15	21.53	4.64
20.00	3.16	5.4	3.43	0.0		0.0

## PROVA ... Nr.8

Committente: Franco Iorio Srl

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 17/02/2022

Profondità prova: 18.60 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	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.40	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.60	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
0.80	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
1.00	0.0	0.0	0.01	0.0		0.0
1.20	0.0	0.0	0.03	0.05	0.6	166.67
1.40	0.82	1.63	0.85	0.05	17.0	5.88
1.60	0.82	1.63	0.85	0.07	12.14	8.24
1.80	1.02	2.04	1.05	0.07	15.0	6.67
2.00	1.12	2.14	1.15	0.06	19.17	5.22
2.20	1.22	2.14	1.26	0.07	18.0	5.56
2.40	0.92	1.94	0.96	0.04	24.0	4.17
2.60	1.33	1.94	1.37	0.03	45.67	2.19
2.80	1.73	2.14	1.77	0.06	29.5	3.39
3.00	1.33	2.24	1.37	0.07	19.57	5.11
3.20	1.53	2.55	1.58	0.1	15.8	6.33
3.40	1.33	2.75	1.38	0.1	13.8	7.25
3.60	1.53	3.06	1.58	0.06	26.33	3.8
3.80	1.73	2.55	1.78	0.09	19.78	5.06
4.00	2.14	3.47	2.19	0.1	21.9	4.57
4.20	1.84	3.37	1.91	0.1	19.1	5.24
4.40	1.43	2.86	1.5	0.08	18.75	5.33
4.60	1.43	2.55	1.5	0.07	21.43	4.67
4.80	1.53	2.55	1.6	0.07	22.86	4.38
5.00	1.43	2.45	1.5	0.08	18.75	5.33
5.20	1.43	2.65	1.51	0.09	16.78	5.96
5.40	1.73	3.06	1.81	0.1	18.1	5.52
5.60	1.84	3.26	1.92	0.09	21.33	4.69
5.80	1.33	2.65	1.41	0.07	20.14	4.96
6.00	1.22	2.24	1.3	0.07	18.57	5.38
6.20	1.22	2.24	1.31	0.08	16.38	6.11
6.40	1.53	2.65	1.62	0.07	23.14	4.32
6.60	1.12	2.14	1.21	0.06	20.17	4.96



6.80	1.22	2.14	1.31	0.06	21.83	4.58
7.00	1.33	2.24	1.42	0.06	23.67	4.23
7.20	1.33	2.24	1.44	0.05	28.8	3.47
7.40	1.43	2.24	1.54	0.05	30.8	3.25
7.60	1.63	2.35	1.74	0.1	17.4	5.75
7.80	2.14	3.57	2.25	0.08	28.13	3.56
8.00	1.63	2.86	1.74	0.07	24.86	4.02
8.20	1.84	2.86	1.96	0.08	24.5	4.08
8.40	2.14	3.37	2.26	0.12	18.83	5.31
8.60	1.84	3.57	1.96	0.11	17.82	5.61
8.80	1.63	3.26	1.75	0.09	19.44	5.14
9.00	2.24	3.57	2.36	0.1	23.6	4.24
9.20	2.14	3.57	2.28	0.09	25.33	3.95
9.40	2.55	3.87	2.69	0.14	19.21	5.2
9.60	2.55	4.59	2.69	0.12	22.42	4.46
9.80	2.45	4.28	2.59	0.14	18.5	5.41
10.00	2.55	4.59	2.69	0.12	22.42	4.46
10.20	2.35	4.18	2.5	0.12	20.83	4.8
10.40	1.53	3.26	1.68	0.08	21.0	4.76
10.60	1.63	2.75	1.78	0.06	29.67	3.37
10.80	1.73	2.65	1.88	0.07	26.86	3.72
11.00	1.33	2.35	1.48	0.07	21.14	4.73
11.20	1.33	2.35	1.49	0.07	21.29	4.7
11.40	1.43	2.45	1.59	0.08	19.88	5.03
11.60	1.43	2.55	1.59	0.09	17.67	5.66
11.80	1.53	2.86	1.69	0.08	21.13	4.73
12.00	1.63	2.86	1.79	0.1	17.9	5.59
12.20	1.43	2.86	1.61	0.07	23.0	4.35
12.40	1.53	2.55	1.71	0.06	28.5	3.51
12.60	1.33	2.24	1.51	0.06	25.17	3.97
12.80	1.43	2.35	1.61	0.05	32.2	3.11
13.00	1.43	2.14	1.61	0.08	20.13	4.97
13.20	1.43	2.65	1.62	0.07	23.14	4.32
13.40	1.33	2.35	1.52	0.06	25.33	3.95
13.60	1.33	2.24	1.52	0.06	25.33	3.95
13.80	1.43	2.35	1.62	0.06	27.0	3.7
14.00	1.33	2.24	1.52	0.06	25.33	3.95
14.20	1.53	2.35	1.73	0.05	34.6	2.89
14.40	1.73	2.45	1.93	0.08	24.13	4.15
14.60	1.84	3.06	2.04	0.09	22.67	4.41
14.80	1.84	3.16	2.04	0.09	22.67	4.41
15.00	2.04	3.37	2.24	0.1	22.4	4.46
15.20	1.73	3.16	1.95	0.08	24.38	4.1
15.40	1.73	2.96	1.95	0.08	24.38	4.1
15.60	1.84	3.06	2.06	0.09	22.89	4.37
15.80	1.84	3.16	2.06	0.11	18.73	5.34
16.00	2.24	3.87	2.46	0.13	18.92	5.28
16.20	3.47	5.4	3.7	0.22	16.82	5.95
16.40	4.08	7.34	4.31	0.23	18.74	5.34
16.60	3.87	7.24	4.1	0.22	18.64	5.37
16.80	2.96	6.32	3.19	0.17	18.76	5.33
17.00	2.65	5.2	2.88	0.17	16.94	5.9
17.20	3.06	5.61	3.3	0.16	20.63	4.85
17.40	3.67	6.12	3.91	0.2	19.55	5.12
17.60	4.28	7.24	4.52	0.2	22.6	4.42
17.80	4.49	7.55	4.73	0.18	26.28	3.81
18.00	3.06	5.71	3.3	0.19	17.37	5.76
18.20	3.06	5.91	3.32	0.19	17.47	5.72
18.40	2.45	5.3	2.71	0.17	15.94	6.27
18.60	2.55	5.1	2.81	0.0		0.0

