

**PROGETTAZIONE E CONSULENZA GEOLOGICA  
DOTT. GEOL. BORGHETTI MASSIMO**

VIA S.MAURO 2077 CESENA tel. 0547/335501 cell. 3355884247

**COMUNE DI LONGIANO**  
Provincia di Forlì-Cesena

**PROGETTO DI AMPLIAMENTO DI IMPIANTO PRODUZIONE  
MANGIMI CON FOSSA DI RICEZIONE IN VIA EMILIA 310.**

**RELAZIONE GEOLOGICA  
MODELLAZIONE SISMICA  
E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

Committente: M.B.MANGIMI S.P.A.

Cesena, febbraio 2023

Dott. Geol. Borghetti Massimo

## **PREMESSA**

Il presente lavoro costituisce la sintesi dell'indagine geologico – tecnica per ampliamento di impianto produzione mangimi con fossa di ricezione da eseguirsi presso il Mangimificio M.B sito in Via Emilia 310 del Comune di Longiano.

Lo studio realizzato è basato sull'analisi, estesa ad un adeguato intorno, degli aspetti altimetrici, geomorfologici, geolitologici ed idrogeologici in modo da caratterizzare l'area nel suo insieme e finalizzata alla costruzione del modello geologico e geotecnico.

Nelle planimetrie e corografie allegate viene indicato lo sviluppo della zona d'intervento.

Scopo dell'indagine è quello di fornire elementi di valutazione geologico – tecnici al fine di elaborare relativamente agli interventi in esame, le più opportune linee progettuali ed operative; a tal fine si è verificato:

- La natura e stratigrafia dei terreni.
- I caratteri geotecnici e litologici dei terreni attraversati.
- Rilevamento falda idrica.
- Rilevamento di eventuali discontinuità.

Per le indagini in sito si è eseguita n° 1 penetrometria statica a punta meccanica con penetrometro statico Pagani modello 20 ton, spinta alla profondità di 20,00 mt dal piano campagna e una indagine sismica a stazione singola per la determinazione della VS30 e categoria di suolo in base alle NTC 2018.

## **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- D.M. 17 GENNAIO 2018 aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”
- D.M. 14 GENNAIO 2008 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”
- CIRCOLARE N° 617 del 02/02/2019 “Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”
- L.R. Emilia Romagna 20 marzo 2000 “Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio” “Indirizzi per gli studi di microzonazione territoriale ed urbanistica”
- Delibera Giunta Regione E – R N° 2193 del 21 dicembre 2015 aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia – Romagna per la Pianificazione Territoriale Urbanistica”

## **ELENCO ELABORATI**

Alla seguente relazione si allega:

- Corografia C.T.R. scala 1:5.000 elemento 256053
- Carta geologica e legenda scala 1:5.000 sezione 256050
- Stralcio perimetrazione aree a rischio idrogeologico scala 1:25.000
- Planimetria satellitare con ubicazione delle indagini geognostiche
- N°1 Prova penetrometrica statica, diagrammi di resistenza, valutazioni litologiche, valori di resistenza, parametri geotecnici, verifica alla liquefazione.

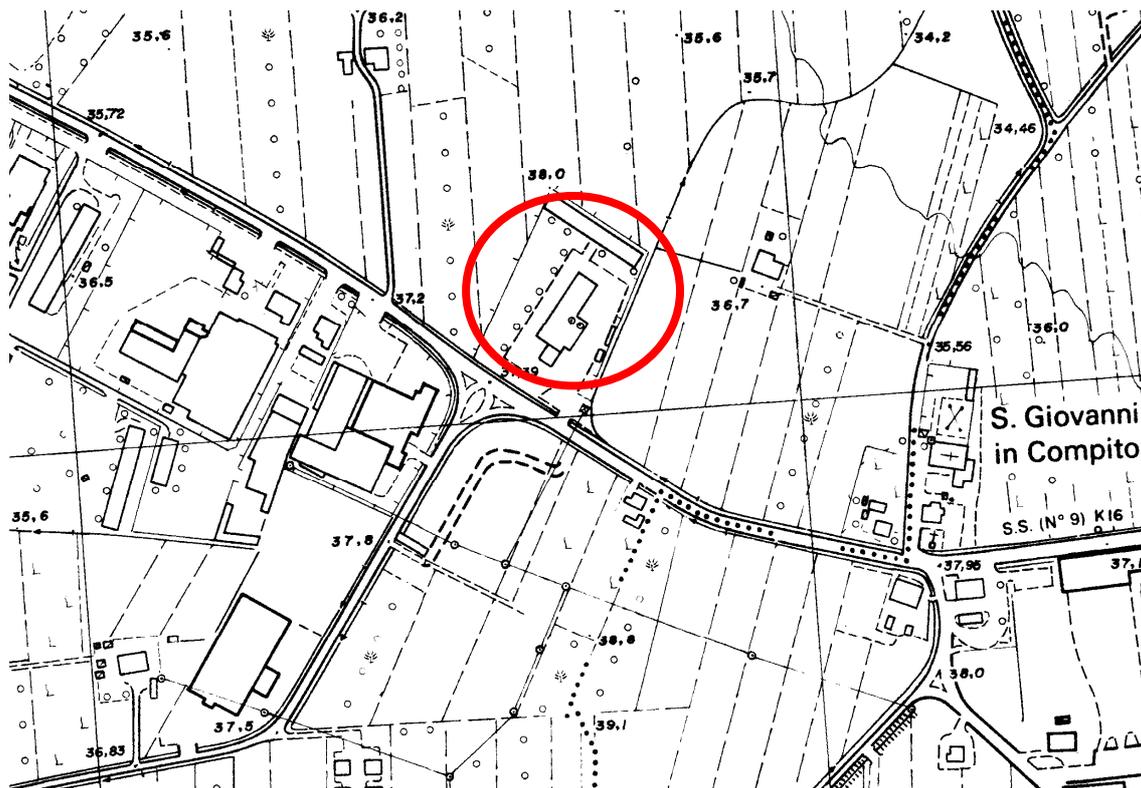
## **INQUADRAMENTO TERRITORIALE**

L'area in oggetto si trova verso la parte orientale del territorio del Comune di Longiano in prossimità con il confine del territorio di Savignano sul Rubicone.

Il lotto si presenta sub-pianeggiante senza apprezzabili variazioni di quota.

La quota sul l.m. è di circa 38,00 mt (dati tratti dal CTR scala 1.5.000).

Per quanto riguarda le opere di progetto si rimanda agli elaborati progettuali.



### DEPOSITI ALLUVIONALI DELLA PIANURA

L'area indagata è compresa nella Sezione 256090 "SAVIGNANO SUL RUBICONE" della Carta Geologica del Servizio Geologico sismico dei suoli dell'Emilia-Romagna.

Il contesto geomorfologico e sedimentario dell'ambito studiato è quello dei depositi continentali di età pleistocenica-olocenica, costituenti la fascia intermedia tra i sedimenti dell'alta pianura a Sud e quelli del litorale adriatico a Nord.

L'assetto morfologico è pianeggiante e totalmente privo di manifestazioni erosive.

In particolare in questa parte di territorio si distingue la seguente unità, appartenente alla Successione Neogenico-quadernaria del margine appenninico padano:

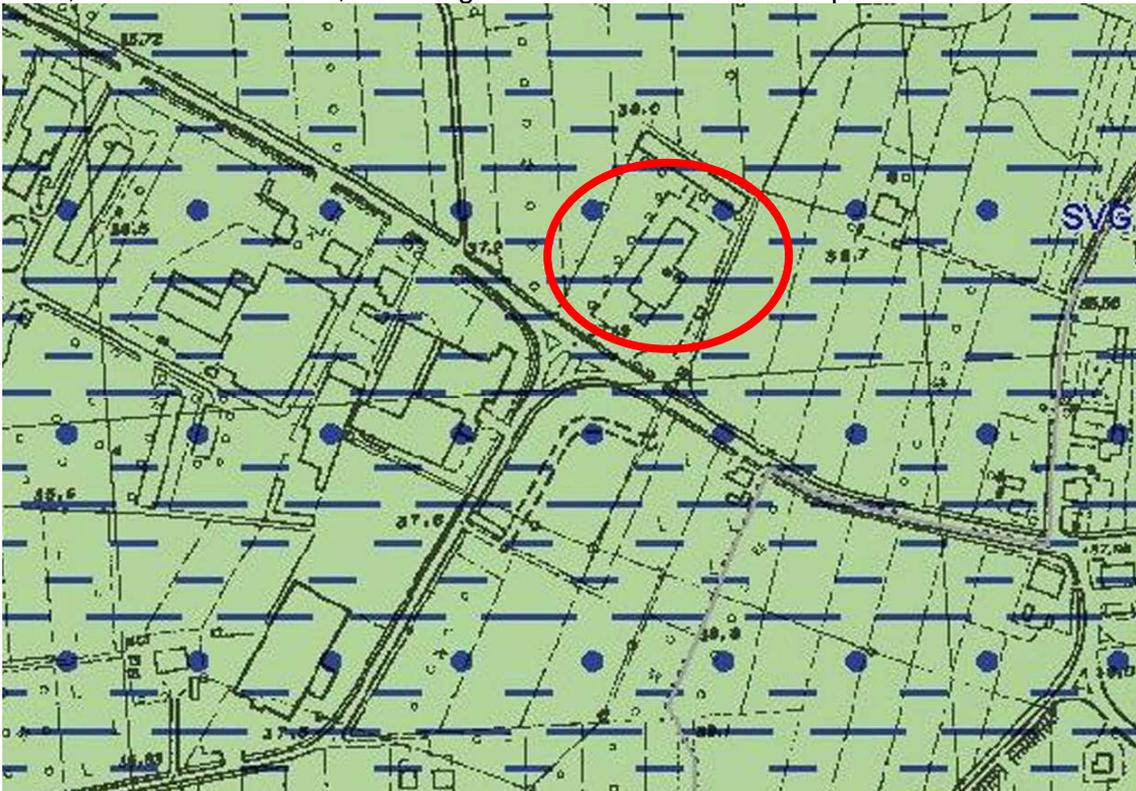
### AES8 - SUBSISTEMA DI RAVENNA

Ghiaie da molto grossolane a fini con matrice sabbiosa, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi, limi e limi sabbiosi, rispettivamente depositi di conoide ghiaiosa, intra vallivi terrazzati e di interconoide. Argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di tracimazione fluviale (piana inondabile, argine, e tracimazioni indifferenziate). Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico. A tetto, suoli, variabili da non calcarei a calcarei, a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente meno di 150 cm, e a luoghi di parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unità **AES8a (unità di Modena)**; nel sottosuolo della pianura: depositi argillosi e limosi grigi e grigio scuri, arricchiti in sostanza organica, di piana inondabile non drenata, palude e laguna passanti, verso l'alto, a limi-sabbiosi, limi ed argille bruni e giallastri di piana alluvionale ben drenata con suoli calcarei e non calcarei al tetto; depositi deltizi, litorali e, localmente, marini. I depositi di piana

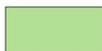
alluvionale includono ghiaie di canale fluviale e geometria nastriforme; lungo la fascia costiera passano con contatto netto ed erosivo a sabbie litorali. Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsistemi e sulle unità più antiche.

La successione sedimentaria presente è il risultato di alterne vicende legate soprattutto ad avanzamenti ed arretramenti della linea di riva, determinati da diversi fattori quali l'innalzamento tettonico, l'eustatismo, la mutevolezza dell'andamento dei corsi d'acqua e la variabilità del loro carico sedimentario in fasi climatiche diverse, glaciali ed interglaciali.

A causa della pluralità degli ambienti deposizionali sia in senso spaziale che temporale, il complesso sedimentario presenta un'elevata variabilità litologica degli strati, costituito da sabbie, limi e argille e da miscele di tali lito tipi.



#### Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano



##### AES8 - Subintesa di Ravenna

Ghiaie da molto grossolane a fini con matrice sabbiosa, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi, limi e limi sabbiosi, rispettivamente depositi di conoide ghiaiosa, intravallivi terrazzati e di interconoide. Argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di trascinamento fluviale (piana inondabile, argine, e trascinamenti indifferenziati). Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico. A tetto suoli, variabili da non calcarei a calcarei, a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente meno di 150 cm, e a luoghi parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. nel sottosuolo della pianura: depositi argillosi e limosi grigi e grigio scuri, arricchiti in sostanza organica, di piana inondabile non drenata, palude e laguna passanti, verso l'alto, a limi-sabbiosi, limi ed argille bruni e giallastri di piana alluvion Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsistemi e sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità circa 28 metri.

*Pleistocene sup. - Olocene*

## **IDROLOGIA ED IDROGEOLOGIA**

L'area di intervento è situata in sinistra orografica del Fiume Rubicone.

Il drenaggio delle acque superficiali è riconducibile in parte all'assorbimento diretto del terreno in parte al deflusso delle acque meteoriche nell'apparato fognario.

Nella zona di intervento il livello della falda al momento dell'indagine è stata rilevata a

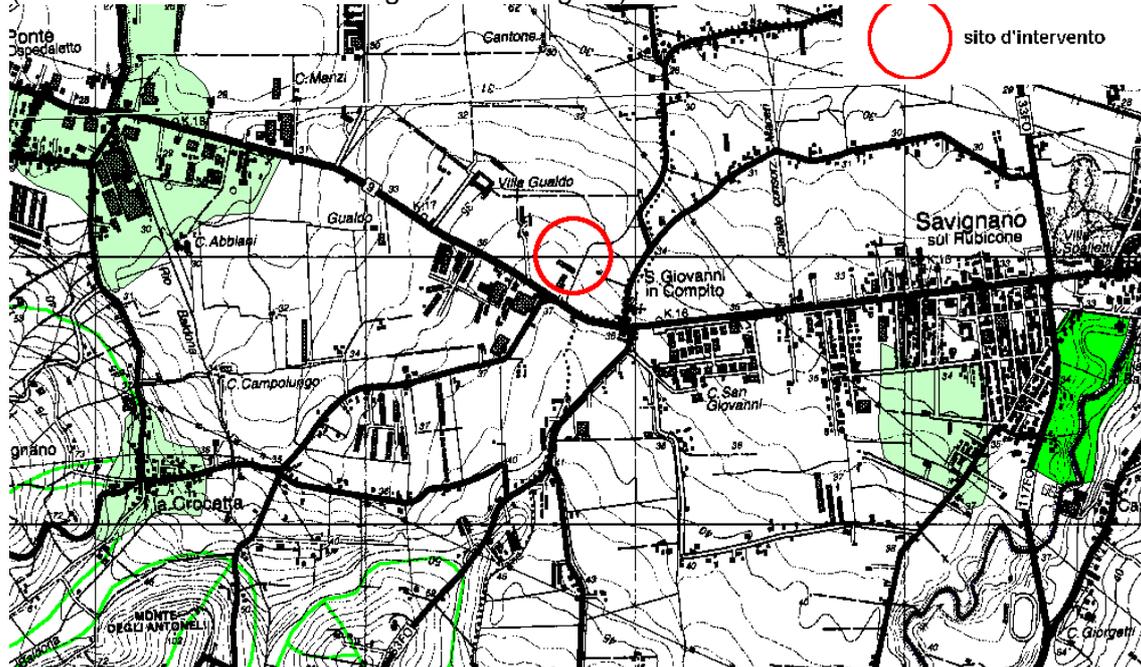
–4,90 m dal piano campagna. (misura eseguita nel pozzo esistente).

Tale falda risulta fortemente influenzata da eventi meteorici importanti per cui soggetta a escursioni nei diversi periodi dell'anno.

La tendenza di massima della Conducibilità Idraulica (K) dell'acquifero superficiale in questa zona della pianura ha un ordine di grandezza pari a  $K_m = 10^{-5} - 10^{-6}$  cm/s per gli orizzonti sabbiosi, e  $K_m = 10^{-7} - 10^{-8}$  cm/s per gli orizzonti limoso, limoso-argillosi. La conducibilità idraulica (K), misurata in cm/s o m/s, rappresenta la quantità d'acqua che passa attraverso una sezione unitaria di terreno, nell'unità di tempo, sotto un gradiente idraulico unitario e ad una data temperatura.

### RISCHIO DI ALLUVIONAMENTO

In base allo stralcio della perimetrazione aree a rischio idrogeologico (fonte: Autorità dei bacini Regionali Romagnoli) l'area non risulta vincolata.



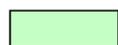
#### *Art. 4 - aree a moderata probabilità di esondazione*



*Art. 4 - comma 3*



*Art. 4 - comma 2*



*Art. 6 - aree di potenziale allagamento*



*Art. 5 - aree a bassa probabilità di esondazione*

### INDAGINI SVOLTE

L'indagine è stata condotta mediante un rilevamento geomorfologico di superficie ed una campagna geognostica, che ha visto l'esecuzione di n°1 penetrometria statica (CPT1).

L'indagine geognostica in questa fase è stata spinta a - 20.00 mt. dall' attuale p.c. profondità più che sufficiente a definire le caratteristiche dei terreni maggiormente interessati dalle tensioni indotte dalle opere di progetto, si tratta inoltre della profondità oltre la quale la pressione di confinamento assume valori certamente superiori a 2.00

Kg/cmq. e diminuisce sensibilmente il rischio di liquefazione dei terreni incoerenti in caso di sisma.



## 1 - Ubicazione penetrometria

### METODOLOGIA DELL'INDAGINE

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ( $v = 2\text{cm/s} \pm 0,5\text{ cm/s}$ ) La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta (martinetto idraulico) opportunamente ancorato al suolo (ovvero zavorrato), che agisce su una batteria doppia di aste (aste esterne cave e aste interne piene coassiali), alla cui estremità inferiore è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura, collegato al martinetto idraulico. La punta conica (tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante per la misura dell'attrito laterale (punta /manicotto tipo "Begemann").

Le dimensioni della punta/manicotto sono standardizzate (vedi legenda).

Sulla batteria di aste esterne può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'approfondimento.

Nei diagrammi e nelle tabelle allegate sono riportati i seguenti valori di resistenza (rilevati dalle letture di campagna, durante l'infissione dello strumento):

-  $R_p$  ( $\text{Kg/cm}^2$ ) = resistenza alla punta (conica)

-  $RL$  ( $\text{Kg/cm}^2$ ) = resistenza laterale (manicotto)

La resistenza alla punta - $R_p$ - e la resistenza laterale - $RL$ - sono rilevate a intervalli regolari di 20 cm.

### ELABORAZIONE DEI DATI.

Nelle prove CPT oltre all'elaborazione dei valori di resistenza del sottosuolo, vengono fornite utili informazioni per il riconoscimento di massima dei terreni attraversati, in base al rapporto  $R_p/RL$  fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale del penetrometro (Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977), ovvero in base ai valori di  $R_p$  e del rapporto  $FR = (RL/R_p) \%$  (esperienze di Schmertmann) - 1978.

Con riferimento alle prove penetrometriche statiche CPT, nelle tavole allegate sono riportate indicazioni concernenti i principali parametri geotecnici (coesione non drenata  $C_u$ , angolo di attrito interno efficace  $\phi'$ , densità relativa  $D_r$ , verifica alla liquefazione);

inoltre sempre con correlazioni empiriche si possono determinare: modulo edometrico  $M_o$ , moduli di deformazione non drenato  $E_u$  e Drenato  $E'$ , peso di volume  $Y$ , ecc.). I cedimenti vengono valutati in via approssimativa con il metodo edometrico nella ipotesi di consolidazione monodimensionale del sottosuolo, sulla scorta di opportune correlazioni fra la resistenza alla punta  $R_p$  e il modulo di deformazione edometrico  $M_o$ . Le elaborazioni sopra citate (effettuate mediante un programma di calcolo automatico) fanno riferimento a esperienze e ricerche condotte in vari Paesi da diversi Autori.

### **RISULTATI DELL'INDAGINE PENETROMETRICA (CPT)**

Dal diagramma ottenuto e dalla classificazione orientativa dei terreni secondo Schmertmann è evidente che la stratigrafia del sottosuolo è prevalentemente argilloso limosa con la presenza di rari livelli francamente sabbiosi.

Per una visione dettagliata della stratigrafia dell'area si rimanda alla prova penetrometrica posta in allegato.

La, stratigrafia è caratterizzata da quattro unità che, relativamente a questo aspetto hanno un comportamento ben contraddistinto:

- **UNITA' A** da -0,00 mt. sino alla profondità di circa 1,60 mt. Si è in presenza di materiale eterogeneo lapideo in matrice argilloso sabbiosa che costituisce il rilevato del piazzale esistente.
  - **UNITA' B** da -1,60 mt. a circa -11,40 mt è un intervallo caratterizzato da argilla limosa consistente che vede un valore della resistenza statica pari a circa 17,00 Kg/cmq
  - **UNITA' C** dalla profondità di circa 11,40 mt sino a 14,80 mt si è in presenza di terreni prevalentemente argilloso sabbiosi compatti con resistenza statica media pari a circa 33,00 Kg/cmq.
  - **UNITA' D** dalla profondità di circa 14,80 mt sino al termine si è in presenza di terreni prevalentemente argilloso sabbiosi dove si nota una diminuzione della resistenza alla punta pari 22 Kg/cmq.
- **Livello della falda: -4,90 dal p.c.**

### **MODELLAZIONE GEOLOGICA e GEOTECNICA**

Sulla base dell'andamento della resistenza statica alla punta  $R_p$ , sono state individuate le quattro unità litologiche a comportamento e caratteristiche geotecniche uniformi visualizzate nella tabella sottostante.

Per ogni intervallo individuato vengono poi visualizzati i valori dei parametri **geotecnici caratteristici** valutati nella seguente maniera:

Valore caratteristico della media (opere che coinvolgono un elevato volume di terreno secondo la Circolare 02.02.2009), il programma assegna allo strato il valore caratteristico della media dei valori dei singoli livelli minori;

### Parametri geotecnici: valori caratteristici prossimi al valore medio

| UNITA' | Prof. tetto | Prof. Base | Qc<br>resistenza<br>alla punta | CuK<br>coesione<br>non<br>drenata | Eed K<br>modulo<br>edometrico<br>coesivi | Eed K<br>modulo<br>edometrico<br>incoerenti | CuK'<br>coesione<br>drenata | $\phi$ K'<br>angolo<br>di attrito<br>interno | $\gamma$ K |
|--------|-------------|------------|--------------------------------|-----------------------------------|--|---|-----------------------------|--|------------|
|        | (m)         | (m)        | Kg/cmq                         | Kg/cmq                            | Kg/cmq                                   | Kg/cmq                                      | Kg/cmq                      | °  | Ton/mc     |
| A      | 0,00        | 1,60       | 9,00                           | 0,55                              | 35                                       |   | 0,05                        | 20   | 1,80       |
| B      | 1,60        | 11,40      | 18,00                          | 0,93                              | 60                                       |   | 0,12                        | 22   | 1,95       |
| C      | 11,40       | 14,80      | 33,00                          | 1,62                              | 58                                       |   | 0,15                        | 25   | 2,10       |
| D      | 14,80       | 20,00      | 22,00                          | 0,84                              | 67                                       |   | 0,13                        | 23   | 2,00       |

Per quanto concerne il comportamento geotecnico dei terreni, si assume la predisposizione seguente:

frazione sabbioso limosa e limoso sabbiosa con ghiaia : **incoerente**

frazione limoso argillosa e argilloso limosa sabbiosa: **coerente**

**da cui:**

**TUTTE LE UNITA'** terreni a comportamento prevalentemente coerente,

### SISMICA

L'azione sismica di progetto viene definita partendo dalla pericolosità sismica di base del sito in rispetto dello stato limite considerato (**SLV**) stato limite di salvaguardia della vita.

Le elaborazioni più avanti allegate sono state effettuate con "spettri NTC ver.1.0.2" (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici) partendo dalla ricerca delle coordinate geografiche del sito e più precisamente:

**Lat. 44°0933 no rd      Long. 12°3687 est**

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto la normativa definisce le seguenti categorie di profili stratigrafico del suolo di fondazione (riferite al piano di posa delle fondazioni):

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

| Categoria | Descrizione  |
|-----------|--|
| A         | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.   |
| B         | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).      |
| C         | <i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina). |
| D         | <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).                |
| E         | <i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).  |

Nelle definizioni precedenti  $V_{s30}$  è la velocità media di propagazione entro 30 mt di profondità delle onde di taglio pertanto il sito verrà classificato sulla base del valore di  $V_{s30}$  se disponibile, altrimenti sulla base del valore di  $N_{spt}$ .

E' stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) per fornire la categoria di suolo di fondazione, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2018).

La registrazione avviene senza l'utilizzo di alcun strumento di energizzazione del terreno.

Lo strumento di registrazione è stato installato, previa pulizia del terreno da erba e radici, in posizione orizzontale (tramite bolla sferica).

La strumentazione di acquisizione ha le seguenti specifiche:

Sensori triassiali (N-S, E-W, verticali) a bassa frequenza (<1-2 Hz);

Amplificatori;

Digitalizzatore;

Convertitore A/D a 24 bit;

Durata registrazioni: 20 minuti;

Posizionamento GPS;

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire, si basa sul concetto di contrasto di impedenza. Per strato si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

#### **Procedure di analisi dati per stazioni singole H/V**

Dalla registrazione del rumore sismico ambientale in campo libero, è stata ricavata la curva H/V secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005), con parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale.
- rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V.

La curva H/V è stata invertita creando una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in

sistemi multistrato), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. L'inversione delle curve H/V è possibile esclusivamente in presenza di un vincolo. Nel caso in questione tale vincolo è fornito dalla profondità di un riflettore sismico noto tramite prove dirette (penetrometria statica) il cui marker sia riconoscibile nelle curve H/V.

La velocità media delle onde di taglio nei primi 30m di terreno viene calcolata ai sensi di legge (Norme Tecniche per le Costruzioni 2018) con la seguente formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

**I risultati dell'indagine sismica sono:**

| <b>Profondità di calcolo</b> | <b>VS30 = m/sec</b> | <b>Categoria di suolo</b> |
|------------------------------|---------------------|---------------------------|
| <b>0,00 – 30,00</b>          | <b>198</b>          | <b>C</b>                  |
| <b>1,00 – 31,00</b>          | <b>200</b>          | <b>C</b>                  |
| <b>2,00 – 32,00</b>          | <b>202</b>          | <b>C</b>                  |
|                              |                     |                           |

Pertanto l'accelerazione massima prevista nel sito in esame risulta essere:

$$a_{max} = a_g \times S \quad \text{espressa in } m/sec^2$$

Dove S è un coefficiente che tiene conto della categoria di suolo ed è il prodotto fra il valore S<sub>s</sub> (coefficiente di amplificazione stratigrafica) e il valore S<sub>t</sub> (coefficiente di amplificazione topografica) nel nostro caso =1

Utilizzando nel nostro caso **SLV** si ha:

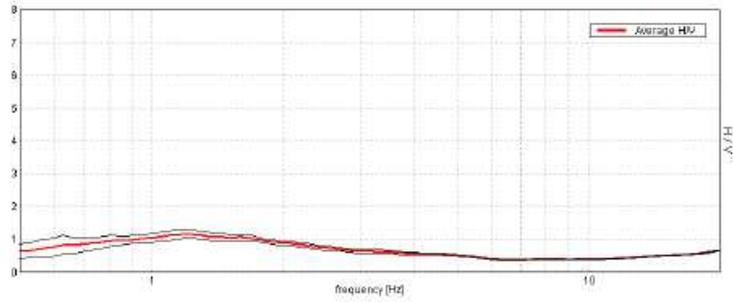
a<sub>g</sub> = 0,186 paria 1,82 m/sec<sup>2</sup> con S = S<sub>s</sub> × S<sub>t</sub> = 1,42 si ottiene

$$a_{max} = 2,58 m/sec^2$$

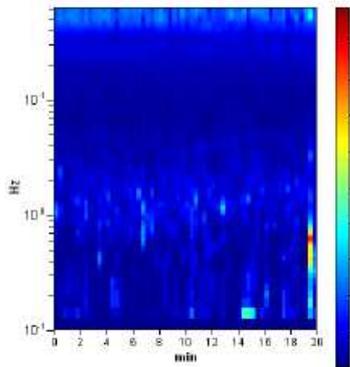
Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.  
 Sampling frequency: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing window: Triangular window  
 Smoothing: 15%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

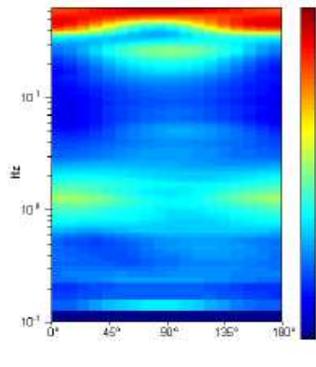
Max. H/V at 1.19 ± 0.02 Hz. (in the range 0.0 - 20.0 Hz)

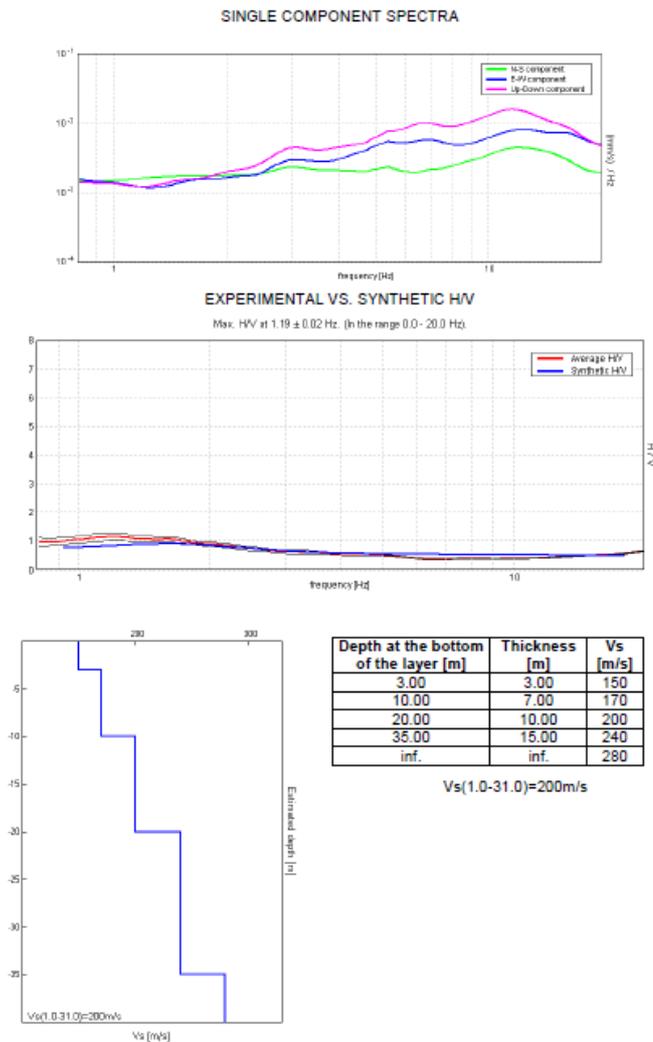


H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V





### **Frequenza di sito**

La prova HVSR evidenzia un picco pari a  $1.00 \pm 0.21$  Hz, ovvero un basso contrasto. L'entità di tale frequenza è, inoltre, indice di un probabile riflettore sismico posizionato alla profondità di circa  $70 \div 90$  m.

In caso di evento sismico è importante che la frequenza di vibrazione del sito non sia coincidente con quella dell'edificio. E' noto come le strutture siano caratterizzate da differenti modi di vibrazione, in funzione di molti parametri tra cui l'elevazione, la tipologia, il materiale costruttivo, ecc. Dal punto di vista analitico, l'influenza maggiore è dovuta alla sua altezza, ed una relazione empirica che la prende in considerazione è la seguente:

$f = (10 \div 12)/n^\circ$  piani. Essendo la frequenza di vibrazione del sito pari circa a 1,00 ne deriva che la situazione più critica si realizza per edifici aventi uno sviluppo verticale di  $9 \div 10$  piani.

### **RISCHIO LIQUEFAZIONE IN CASO DI SISMA**

Il fenomeno si verifica nei depositi naturali e artificiali incoerenti saturi sotto l'azione dei terremoti ed è dovuta all'incremento progressivo della pressione interstiziale.

Le condizioni principali in cui si può avere liquefazione sono sinteticamente qui riassunte.

I terremoti che producono liquefazione in aree di pianura sono caratterizzati da magnitudo superiore a 5÷6, da durate prolungate, da accelerazioni massime al sito  $a_{max} > 0,10g$ .

I terreni che hanno manifestato fluidificazioni sono costituiti da materiali granulari fini, saturi, non consolidati, con granulometria uniforme ( $U_c < 5$ ) e con densità da media a bassa.

La liquefazione difficilmente interessa strati di profondità maggiore di 15 m.

La presenza di percentuali di argilla o di ghiaia riducono in maniera rilevante la suscettibilità alla liquefazione dei depositi.

La dimensione, la distribuzione, il grado di uniformità e la forma delle particelle solide influenzano notevolmente la liquefazione dei depositi. I depositi costituiti da sabbie fini sono più suscettibili di liquefazione di quelli con una presenza di sabbie grosse.

Nel caso di terreni con una certa percentuale di fini, la riduzione della suscettibilità è fortemente legata ai valori della coesione, se questa è alta, anche la resistenza alla liquefazione è alta. A tutti gli effetti pratici si può affermare che i depositi naturali con alte percentuali di ghiaia ( $> 50\%$ ) e di argilla ( $>20\%$ ) non sono suscettibili di liquefazione, mentre i depositi saturi di sabbie fini ( $D_{50} \sim 0,1mm$ ), a granulometria uniforme ( $U_c < 5$ ) e con elementi arrotondati sono di gran lunga i più vulnerabili.

Nel caso in esame sono stati rilevati alcuni livelli decimetrici di sabbie limose senza continuità laterale con sovrastanti notevoli spessori di argille e argille limose, si ritiene pertanto che il deposito non sia soggetto a liquefazione.

## **CONSIDERAZIONI FINALI**

Nei paragrafi precedenti sono state indicate le indagini geognostiche e geofisiche eseguite nel lotto, e sono state messe in evidenza le caratteristiche geologiche, morfologiche, idrogeologiche, sismiche e di stabilità del sito in oggetto.

In ultima analisi si riassumono di seguito i risultati dello studio, descritti nei rispettivi capitoli, ai quali si rimanda per un maggior dettaglio.

**CONTESTO GEOLOGICO** I terreni del lotto sono stati indagati con prove penetrometriche statiche con punta meccanica. Tramite il loro esito si è appurato la presenza di un primo strato costituito da argille limose consistenti sino a 11,40 mt dal piano camagna.

**CONTESTO GEOTECNICO** gli esiti delle prove penetrometriche hanno permesso di suddividere la successione stratigrafica superficiale locale in unità, per le quali sono stati stimati i principali parametri geotecnici caratteristici.

**CONTESTO IDROGEOLOGICO** il deposito è sede di una falda freatica attestata alla profondità di **4.90 m**.(al momento del rilievo).La recente perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico edita dalla "Autorità Dei Bacini Romagnoli" inserisce il lotto in oggetto in un'area esente da rischi di esondazione da collasso della rete idrografica.

**PERICOLOSITA' SISMICA** con l'indagine geofisica di superficie tipo HVSR è stata valutata la frequenza di sito e la propagazione delle onde di taglio (Vs). L'esito di questa analisi ha permesso di assimilare il suolo alla **categoria "C"**.

**LIQUEFACIBILITA' DEI TERRENI:** la verifica della suscettibilità alla liquefazione mostra esiti tali da ritenere che, nel sito in oggetto, gli effetti al suolo di questo fenomeno siano da considerarsi nulli per la presenza di terreni prevalentemente coesivi.

**ORIENTAMENTI GEOTECNICI:** In linea generale si tratta di terreni con buone caratteristiche geomeccaniche, le quali gli conferiscono quegli aspetti da renderli idonei ad essere sede di fondazioni di manufatti in genere.

Cesena, Febbraio 2023

Dott. Geol. Borghetti Massimo

SI ALLEGA:

- 1) CARATTERIZZAE GEOTECNICA OGNI 20 CM. PASSO DI LETTURA STRUMENTALE
- 2) ISTOGRAMMA PENETROMETRICO

Borghetti Dott. Geol. Massimo

Via San Mauro, 2077 - 47522 Cesena FC

e-mail: geologiaborghetti@gmail.com tel.: 3355884247

Committente: MB MANGIMI SPA

Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO PAGANI MODELLO 20 TON.

Località: VIA EMILIA 310 LONGIANO

Data: FEBBRAIO 2023

Sigla: \CPT1

Note: QUOTA INIZIO PERFORAZIONE PIANO CAMPAGNA CON PREFORO A -0.60 MT

Quota(m):

### Parametri geotecnici

| Prof. base (m) | k       | Cc   | Phi (°) | gamma (t/mc) | Dr % | Ey (kg/cm) | Cu (kg/cm) | Ed co. C. R. | O. C. | G0 (kg/cm) | Ed in. (kg/cm) | s' (kg/cm) |
|----------------|---------|------|---------|--------------|------|------------|------------|--------------|-------|------------|----------------|------------|
| 0,8            | 6,3E-02 |      |         | 1,92         |      |            | 0,698      | 42           | 1,4   | 128        |                | 0,08       |
| 1              | 9,3E-03 |      |         | 2,02         |      |            | 1,102      | 37           | 1,0   | 185        |                | 0,17       |
| 1,2            | 1,1E-05 |      |         | 1,94         |      |            | 0,748      | 46           | 0,5   | 134        |                | 0,21       |
| 1,4            | 9,3E-05 |      |         | 1,92         |      |            | 0,687      | 42           | 0,4   | 128        |                | 0,25       |
| 1,6            | 9,5E-8  |      | 34      | 2,07         | 74   | 110        |            |              |       | 283        | 64             | 0,29       |
| 1,8            | 4E-17   | 0,05 |         | 1,97         |      |            | 0,858      | 53           | 0,4   | 146        |                | 0,33       |
| 2              | 2,1E-05 |      |         | 1,98         |      |            | 0,914      | 56           | 0,4   | 152        |                | 0,37       |
| 2,2            | 3,8E-05 |      |         | 2,02         |      |            | 1,087      | 67           | 0,5   | 169        |                | 0,41       |
| 2,4            | 6,9E-05 |      |         | 2,04         |      |            | 1,202      | 36           | 0,6   | 180        |                | 0,45       |
| 2,6            | 1,9E-9  | 0,05 |         | 2,03         |      |            | 1,137      | 39           | 0,6   | 190        |                | 0,49       |
| 2,8            | 4,2E-9  | 0,06 |         | 1,98         |      |            | 0,933      | 67           | 0,5   | 169        |                | 0,53       |
| 3              | 1,2E-05 |      |         | 2,08         |      |            | 1,429      | 43           | 0,9   | 200        |                | 0,57       |
| 3,2            | 7E-11   | 0,06 |         | 2,02         |      |            | 1,075      | 67           | 0,7   | 169        |                | 0,61       |
| 3,4            | 1,3E-9  | 0,06 |         | 2,01         |      |            | 1,028      | 36           | 0,7   | 180        |                | 0,66       |
| 3,6            | 2,9E-9  | 0,07 |         | 1,96         |      |            | 0,824      | 60           | 0,6   | 158        |                | 0,69       |
| 3,8            | 2,6E-07 |      |         | 1,97         |      |            | 0,893      | 56           | 0,9   | 152        |                | 0,73       |

Profondità della falda (m):

4,90

LEGENDA: k=permeabilità; Cc=indice di consolidazione; Phi=angolo di resistenza al taglio; gamma=peso di volume naturale; Dr=densità relativa; Ey=modulo di Young; OCR=rapporto di sovraconsolidazione; G0=modulo di taglio per basse deformazioni; Ed=modulo edometrico; s'=pressione efficace a metà strato.



Borghetti Dott. Geol. Massimo

Via San Mauro, 2077 - 47522 Cesena FC

e-mail: geologiaborghetti@gmail.com tel.: 3355884247

| Prof. base (m) | k       | Cc   | Phi (°) | gamma (t/mc) | Dr % | Ey (kg/cm) | Cu (kg/cm) | Ed co. C. (kg/cm) | G0 (kg/cm) | Ed in. s' (kg/cm) |      |      |
|----------------|---------|------|---------|--------------|------|------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------|------|
| 16,8           | 9,3E-01 | 0,09 |         | 2            |      |            | 1,002      | 37                | 2,1        | 185               | 2,16 |      |
| 17             | 2,1E-01 |      |         | 1,94         |      |            | 0,75       | 53                | 1,4        | 146               | 2,18 |      |
| 17,2           | 2,3E-9  | 0,1  |         | 1,9          |      |            | 0,646      | 53                | 1,2        | 146               | 2,2  |      |
| 17,4           | 9E-11   | 0,09 |         | 1,98         |      |            | 0,923      | 63                | 1,8        | 164               | 2,22 |      |
| 17,6           | 2,1E-6  |      | 30      | 1,94         | 15   | 45         |            |                   |            | 164               | 39   | 2,24 |
| 17,8           | 4,9E-5  |      | 34      | 1,99         | 27   | 120        |            |                   |            | 298               | 49   | 2,26 |
| 18             | 4,3E-01 | 0,09 |         | 1,99         |      |            | 0,946      | 36                | 1,8        | 180               | 2,28 |      |
| 18,2           | 7,4E-01 |      |         | 1,97         |      |            | 0,86       | 60                | 1,6        | 158               | 2,3  |      |
| 18,4           | 3,1E-01 |      |         | 1,98         |      |            | 0,917      | 63                | 1,7        | 164               | 2,32 |      |
| 18,6           | 7,4E-9  | 0,09 |         | 2,07         |      |            | 1,347      | 49                | 2,8        | 219               | 2,34 |      |
| 18,8           | 1,4E-01 |      |         | 1,97         |      |            | 0,856      | 60                | 1,5        | 158               | 2,36 |      |
| 19             | 1,9E-01 |      |         | 1,95         |      |            | 0,797      | 56                | 1,4        | 152               | 2,38 |      |
| 19,2           | 6,3E-6  |      | 32      | 1,94         | 15   | 78         |            |                   |            | 228               | 41   | 2,4  |
| 19,4           | 9,3E-9  | 0,09 |         | 2            |      |            | 0,989      | 37                | 1,8        | 185               | 2,42 |      |
| 19,6           | 3,1E-01 | 0,09 |         | 2,02         |      |            | 1,086      | 36                | 2,0        | 180               | 2,44 |      |
| 19,8           | 2,8E-01 |      |         | 1,96         |      |            | 0,851      | 60                | 1,5        | 158               | 2,46 |      |
| 20             | 0       | 0,09 |         | 2,03         |      |            | 1,142      | 37                | 2,1        | 185               | 2,48 |      |

Profondità della falda (m):

4,90

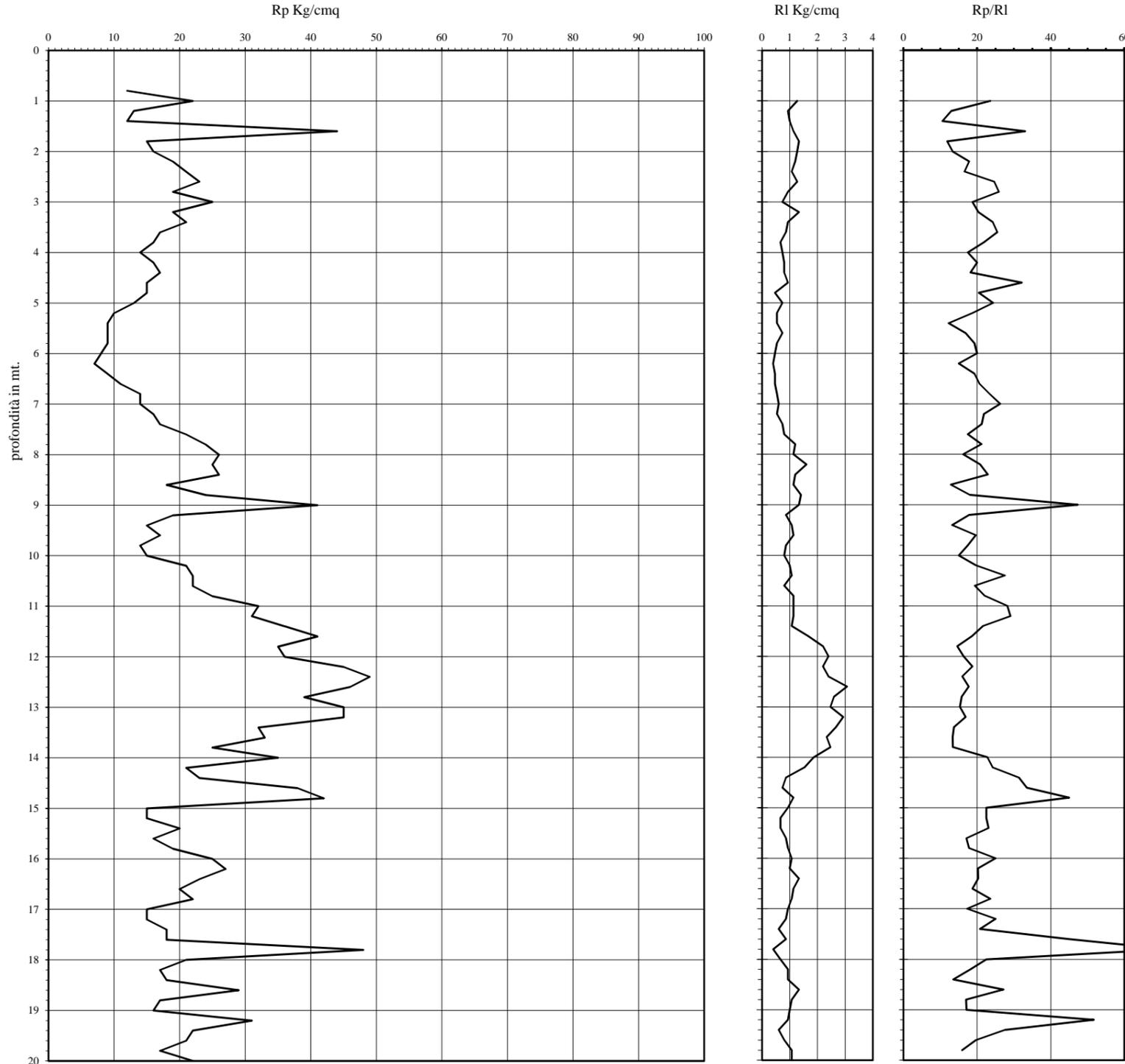
LEGENDA: k=permeabilità; Cc=indice di consolidazione; Phi=angolo di resistenza al taglio; gamma=peso di volume naturale; Dr=densità relativa; Ey=modulo di Young; OCR=rapporto di sovraconsolidazione; G0=modulo di taglio per basse deformazioni; Ed=modulo edometrico; s'=pressione efficace a metà strato.

# Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT 1  
 Cantiere: Longiano (FC) - Via Emilia 310 - MB Mangimi  
 Data: Febbraio 2023

Quota inizio: piano campagna  
 Liv.falda: -4,90 mt. (pozzo)  
 Note:

Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)



| mt.  | Rp | Rl   | Rp/Rl | φ° | Dr   | Cu Kg/cmq | Nspt  | coefficiente di sicurezza |
|------|----|------|-------|----|------|-----------|-------|---------------------------|
| 0.2  |    |      |       |    |      |           |       |                           |
| 0.4  |    |      |       |    |      |           |       |                           |
| 0.6  |    |      |       |    |      |           |       |                           |
| 0.8  |    |      |       |    |      |           |       |                           |
| 1    | 12 | 1.27 | 23.57 | /  | /    | 0.6       | /     | n.l.                      |
| 1.2  | 13 | 0.93 | 13.00 | /  | /    | 1.1       | /     | n.l.                      |
| 1.4  | 12 | 1.00 | 10.59 | /  | /    | 0.6       | /     | n.l.                      |
| 1.6  | 44 | 1.13 | 33.00 | /  | /    | /         | 11    | 2.77                      |
| 1.8  | 15 | 1.33 | 11.84 | /  | /    | 0.75      | /     | n.l.                      |
| 2    | 16 | 1.27 | 13.33 | /  | /    | 0.8       | /     | n.l.                      |
| 2.2  | 19 | 1.20 | 17.81 | /  | /    | 0.95      | /     | n.l.                      |
| 2.4  | 21 | 1.07 | 16.58 | /  | /    | 1.05      | /     | n.l.                      |
| 2.6  | 23 | 1.27 | 24.64 | /  | /    | 1.15      | /     | n.l.                      |
| 2.8  | 19 | 0.93 | 25.91 | /  | /    | 0.95      | /     | n.l.                      |
| 3    | 25 | 0.73 | 18.75 | /  | /    | 1.25      | /     | n.l.                      |
| 3.2  | 19 | 1.33 | 20.36 | /  | /    | 0.75      | /     | n.l.                      |
| 3.4  | 21 | 0.93 | 24.23 | /  | /    | 1.05      | /     | n.l.                      |
| 3.6  | 17 | 0.87 | 25.50 | /  | /    | 0.85      | /     | n.l.                      |
| 3.8  | 16 | 0.67 | 21.82 | /  | /    | 0.8       | /     | n.l.                      |
| 4    | 14 | 0.73 | 17.50 | /  | /    | 0.7       | /     | n.l.                      |
| 4.2  | 16 | 0.80 | 20.00 | /  | /    | 0.8       | /     | n.l.                      |
| 4.4  | 17 | 0.80 | 18.21 | /  | /    | 0.85      | /     | n.l.                      |
| 4.6  | 15 | 0.93 | 32.14 | /  | /    | 0.75      | /     | n.l.                      |
| 4.8  | 15 | 0.47 | 20.45 | /  | /    | 0.75      | /     | n.l.                      |
| 5    | 13 | 0.73 | 24.38 | /  | /    | 0.65      | /     | n.l.                      |
| 5.2  | 10 | 0.53 | 18.75 | /  | /    | 0.5       | /     | n.l.                      |
| 5.4  | 9  | 0.53 | 12.27 | /  | /    | 0.45      | /     | n.l.                      |
| 5.6  | 9  | 0.73 | 16.88 | /  | /    | 0.45      | /     | n.l.                      |
| 5.8  | 9  | 0.53 | 19.29 | /  | /    | 0.45      | /     | n.l.                      |
| 6    | 8  | 0.47 | 20.00 | /  | /    | 0.4       | /     | n.l.                      |
| 6.2  | 7  | 0.40 | 15.00 | /  | /    | 0.45      | /     | n.l.                      |
| 6.4  | 9  | 0.47 | 19.29 | /  | /    | 0.45      | /     | n.l.                      |
| 6.6  | 11 | 0.47 | 20.63 | /  | /    | 0.55      | /     | n.l.                      |
| 6.8  | 14 | 0.53 | 23.33 | /  | /    | 0.7       | /     | n.l.                      |
| 7    | 14 | 0.60 | 26.25 | /  | /    | 0.7       | /     | n.l.                      |
| 7.2  | 16 | 0.53 | 21.82 | /  | /    | 0.8       | /     | n.l.                      |
| 7.4  | 17 | 0.73 | 21.25 | /  | /    | 0.85      | /     | n.l.                      |
| 7.6  | 21 | 0.80 | 17.50 | /  | /    | 1.05      | /     | n.l.                      |
| 7.8  | 24 | 1.20 | 21.18 | /  | /    | 1.2       | /     | n.l.                      |
| 8    | 26 | 1.13 | 16.25 | /  | /    | 1.3       | /     | n.l.                      |
| 8.2  | 25 | 1.60 | 20.83 | /  | /    | 1.25      | /     | n.l.                      |
| 8.4  | 26 | 1.20 | 22.94 | /  | /    | 1.3       | /     | n.l.                      |
| 8.6  | 18 | 1.13 | 12.86 | /  | /    | 0.9       | /     | n.l.                      |
| 8.8  | 24 | 1.40 | 18.00 | /  | /    | 1.2       | /     | n.l.                      |
| 9    | 41 | 1.33 | 47.31 | 35 | 0.40 | 1.2       | 10.25 | 0.84                      |
| 9.2  | 19 | 0.87 | 17.81 | /  | /    | 0.95      | /     | n.l.                      |
| 9.4  | 15 | 1.07 | 13.24 | /  | /    | 0.75      | /     | n.l.                      |
| 9.6  | 17 | 1.13 | 19.62 | /  | /    | 0.85      | /     | n.l.                      |
| 9.8  | 14 | 0.87 | 17.50 | /  | /    | 0.7       | /     | n.l.                      |
| 10   | 15 | 0.80 | 15.00 | /  | /    | 0.75      | /     | n.l.                      |
| 10.2 | 21 | 1.00 | 19.69 | /  | /    | 1.05      | /     | n.l.                      |
| 10.4 | 22 | 1.07 | 27.50 | /  | /    | 1.1       | /     | n.l.                      |
| 10.6 | 22 | 0.80 | 19.41 | /  | /    | 1.1       | /     | n.l.                      |
| 10.8 | 25 | 1.13 | 22.06 | /  | /    | 1.25      | /     | n.l.                      |
| 11   | 32 | 1.13 | 28.24 | /  | /    | 1.6       | /     | n.l.                      |
| 11.2 | 31 | 1.13 | 29.06 | /  | /    | 1.55      | /     | n.l.                      |
| 11.4 | 36 | 1.07 | 21.60 | /  | /    | 1.8       | /     | n.l.                      |
| 11.6 | 41 | 1.67 | 18.64 | /  | /    | 2.05      | /     | n.l.                      |
| 11.8 | 35 | 2.20 | 14.58 | /  | /    | 1.75      | /     | n.l.                      |
| 12   | 36 | 2.40 | 16.36 | /  | /    | 1.8       | /     | n.l.                      |
| 12.2 | 45 | 2.20 | 18.75 | /  | /    | 2.2       | /     | n.l.                      |
| 12.4 | 49 | 2.40 | 15.98 | /  | /    | 2.45      | /     | n.l.                      |
| 12.6 | 46 | 3.07 | 17.69 | /  | /    | 2.3       | /     | n.l.                      |
| 12.8 | 39 | 2.60 | 15.81 | /  | /    | 1.95      | /     | n.l.                      |
| 13   | 45 | 2.47 | 15.34 | /  | /    | 2.25      | /     | n.l.                      |
| 13.2 | 45 | 2.93 | 16.88 | /  | /    | 2.25      | /     | n.l.                      |
| 13.4 | 32 | 2.67 | 13.71 | /  | /    | 1.6       | /     | n.l.                      |
| 13.6 | 33 | 2.33 | 13.38 | /  | /    | 1.65      | /     | n.l.                      |
| 13.8 | 25 | 2.47 | 13.39 | /  | /    | 1.25      | /     | n.l.                      |
| 14   | 35 | 1.87 | 22.83 | /  | /    | 1.75      | /     | n.l.                      |
| 14.2 | 21 | 1.53 | 24.23 | /  | /    | 1.05      | /     | n.l.                      |
| 14.4 | 23 | 0.87 | 31.36 | /  | /    | 1.15      | /     | n.l.                      |
| 14.6 | 38 | 0.73 | 33.53 | /  | /    | /         | 9.5   | 1.27                      |
| 14.8 | 42 | 1.13 | 45.00 | /  | /    | /         | 10.5  | 1.34                      |
| 15   | 15 | 0.97 | 22.50 | /  | /    | 0.75      | /     | n.l.                      |
| 15.2 | 15 | 0.67 | 22.50 | /  | /    | 0.75      | /     | n.l.                      |
| 15.4 | 20 | 0.67 | 23.08 | /  | /    | 1         | /     | n.l.                      |
| 15.6 | 16 | 0.87 | 17.14 | /  | /    | 0.8       | /     | n.l.                      |
| 15.8 | 19 | 0.93 | 17.81 | /  | /    | 0.95      | /     | n.l.                      |
| 16   | 25 | 1.07 | 25.00 | /  | /    | 1.25      | /     | n.l.                      |
| 16.2 | 27 | 1.00 | 20.25 | /  | /    | 1.35      | /     | n.l.                      |
| 16.4 | 25 | 1.33 | 20.29 | /  | /    | 1.15      | /     | n.l.                      |
| 16.6 | 20 | 1.33 | 18.75 | /  | /    | 1         | /     | n.l.                      |
| 16.8 | 22 | 1.07 | 23.57 | /  | /    | 1.1       | /     | n.l.                      |
| 17   | 15 | 0.93 | 17.31 | /  | /    | 0.75      | /     | n.l.                      |
| 17.2 | 15 | 0.87 | 25.00 | /  | /    | 0.75      | /     | n.l.                      |
| 17.4 | 18 | 0.60 | 20.77 | /  | /    | 0.9       | /     | n.l.                      |
| 17.6 | 18 | 0.87 | 45.00 | /  | /    | /         | 4.5   | 0.83                      |
| 17.8 | 48 | 0.40 | 72.00 | 36 | 0.42 | /         | 12    | 0.63                      |
| 18   | 21 | 0.67 | 22.50 | /  | /    | 1.05      | /     | n.l.                      |
| 18.2 | 17 | 0.93 | 18.21 | /  | /    | 0.85      | /     | n.l.                      |
| 18.4 | 18 | 0.93 | 13.50 | /  | /    | 0.9       | /     | n.l.                      |
| 18.6 | 29 | 1.33 | 27.19 | /  | /    | 1.45      | /     | n.l.                      |
| 18.8 | 17 | 1.07 | 17.00 | /  | /    | 0.85      | /     | n.l.                      |
| 19   | 16 | 1.00 | 17.14 | /  | /    | 0.8       | /     | n.l.                      |
| 19.2 | 31 | 0.93 | 51.67 | 33 | 0.38 | /         | 7.75  | 0.30                      |
| 19.4 | 27 | 0.60 | 27.50 | /  | /    | 1.1       | /     | n.l.                      |
| 19.6 | 21 | 0.80 | 19.69 | /  | /    | 1.05      | /     | n.l.                      |
| 19.8 | 17 | 1.07 | 15.94 | /  | /    | 0.85      | /     | n.l.                      |
| 20   | 22 | 1.07 |       | /  | /    |           |       | n.l.                      |

Legenda:

Cu media Kg/cmq 1,06966 9,3571 Nspt media n. colpi

Caratteristiche strumento: penetrometro statico semovente, 200kN spinta  
 Punta meccanica tipo Begemann - manicotto laterale superficie 150 cmq

argilla AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;  
 sabbia limoso argillosa AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta  
 sabbia AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;  
 SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa  
 SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

n.l. non liquefacibile