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 POSA IN OPERA DI DUE SCATOLARI FINALIZZATI
ALLA REALIZZAZIONE DI PISTA CICLOPEDONALE
LUNGO LA VIA CROCETTA.

RELAZIONE GEOLOGICA
MODELLAZIONE SISMICA
E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Committente: COMUNE DI LONGIANO.

Cesena, MAGGIO 2025

Dott. Geol. Borghetti Massimo

PREMESSA

Il presente lavoro costituisce la sintesi dell'indagine geologico – tecnica per il posizionamento di due scatolari in cls. finalizzati alla realizzazione di pista ciclo pedonale lungo la Via Crocetta 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 sono eseguite n° 2 penet rometrie statiche a punta meccanica con penetrometro statico Pagani modello 20 ton, spinte alla profondità di 10,00 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

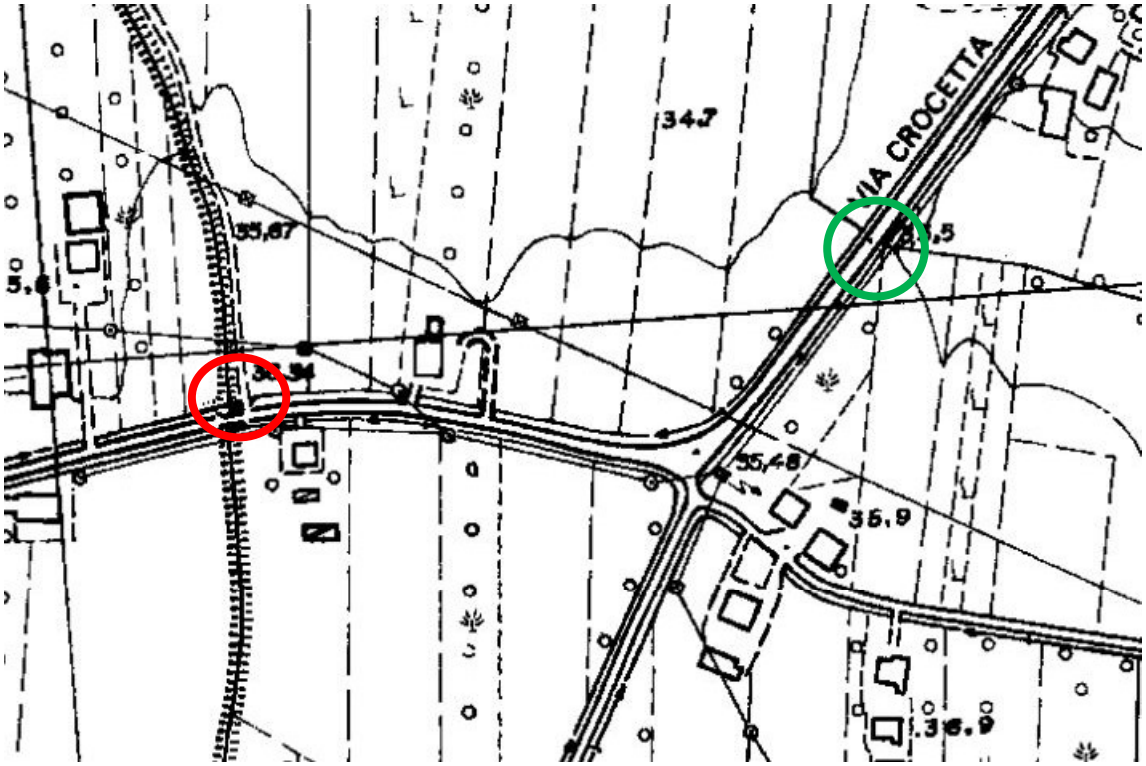
- D.M. 17 GENNAIO 2018 aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"
- D.M. 14 GENNAIO 2008 **"**Nuove norme tecniche per le costruzioni"
- CIRCOLARE N° 617 del 02/02/2019 **"**Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"
- L.R. Emilia Romagna 20 marzo 2000 "Disciplina 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 dice mbre 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°2 penetrometriche statiche, diagrammi di resist enza, valutazioni litologiche, valori di resistenza, parametri geotecnici, verifica alla liquefazione.

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area in oggetto si trova verso la parte nord del territorio del Comune di Longiano in prossimità della località Crocetta.
L'area si presenta sub-pianeggiante senza apprezzabili variazioni di quota.
La quota è di circa 35,00 – 36,00 mt s.l.m. (dati tratti dal CTR scala 1.5.000).
Per quanto riguarda le opere di progetto si specifica che saranno posizionati N° 2 scatolari, ubicati come da planimetria sotto riportata, a corredo del progetto di pista ciclo pedonale e finalizzati all'attraversamento dello scolo Albiani (colore **verde** della C.T.R.) e del Rio Baldona (colore **rosso** della C.T.R).



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-quaternaria del margine appenninico padano:

AES8 - SUBSINTEMA 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’unita’ **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 - Subsintema 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 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 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'unita' 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 subsintemi e sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità circa 28 metri.

Pleistocene sup. - Olocene

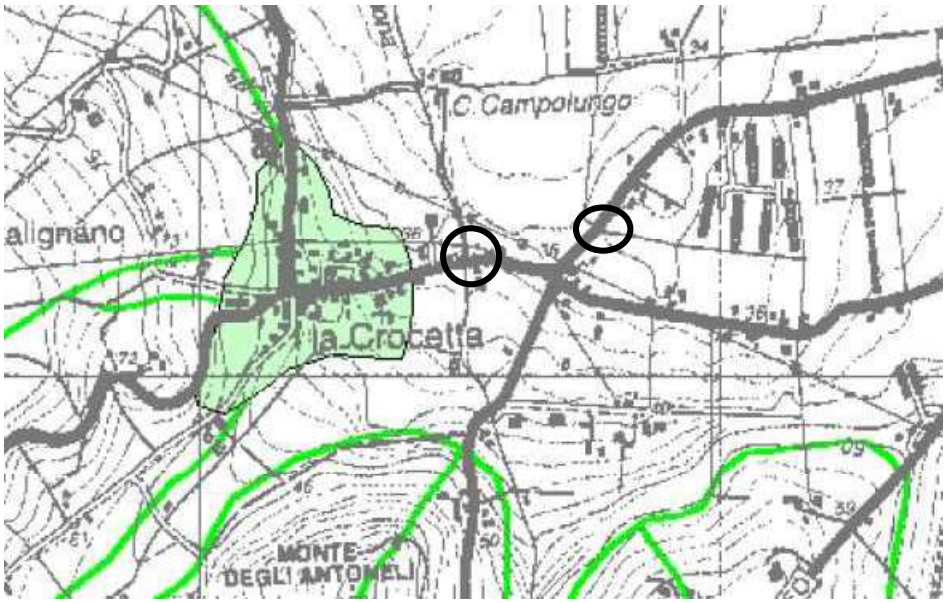
IDROLOGIA ED IDROGEOLOGIA

Nella zona di intervento il livello della falda al momento dell'indagine è stata rilevata a **–2,20 m** dal piano campagna. (misure eseguite nei fori di sondaggio).
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°2 penetrometrie statiche (CPT1 – CPT2).

Più precisamente la prova CPT1 è ubicata in prossimità dello Scolo Albiani e la prova CPT2 in prossimità del Rio Baldona.

L'indagine geognostica in questa fase è stata spinta a - 10.00 mt. dal p.c. profondità più che sufficiente a definire le caratteristiche dei terreni maggiormente interessati dalle tensioni indotte dalle opere di progetto.



- 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 = 2cm/s +- 0,5 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):

- Rp (Kg/cm^2) = resistenza alla punta (conica)
- RL (Kg/cm^2) = resistenza laterale (manicotto)

La resistenza alla punta -Rp- 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 Rp/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 Rp e del rapporto FR = (RL/Rp) % (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 Cu, angolo di attrito interno efficace Ø', densità relativa Dr, verifica alla liquefazione);

inoltre sempre con correlazioni empiriche si possono determinare: modulo edometrico Mo, moduli di deformazione non drenato Eu 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 Rp e il modulo di deformazione edometrico Mo.
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)
Dai diagrammi ottenuti 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 limoso sabbiosi.
In generale la stratigrafia, per ogni prova, viene suddivisa in diverse unità litologiche visualizzate in seguito.

CPT1 (Scolo Albiani)

- **UNITA' A1** da -0,00 mt. sino alla profondità di circa 0,80 mt. si è in presenza della coltre vegetale caratterizzata da limi argillosi con resistenza statica media di 7,00 Kg/cmq.
- **UNITA' B1** da -0,80 mt. a circa -3,00 mt è un intervallo caratterizzato da argilla limosa di media consistenza che vede un valore della resistenza statica pari a circa 19,00 Kg/cmq
- **UNITA' C1** dalla profondità di circa 3,00 mt sino a 7,00 mt si è in presenza di terreni prevalentemente argilloso sabbiosi compatti con resistenza statica media pari a circa 47,00 Kg/cmq.
- **UNITA' D1** dalla profondità di circa 7,00 mt sino al termine si è in presenza di terreni prevalentemente argilloso sabbiosi con rari livelli sabbiosi decimetrici molto compatti e dove si nota un certo aumento della resistenza alla punta pari 65,00 Kg/cmq.

- **Livello della falda: -2,20 dal p.c.**

CPT2 (Rio Baldona)

- **UNITA' A2** da -0,00 mt. sino alla profondità di circa 6,00 mt. si è in presenza della coltre vegetale dello spessore di circa 0,60 mt a cui segue prevalente argilla e argilla limosa con resistenza statica media di 13,00 Kg/cmq.
- **UNITA' B2** da -6,00 mt. sino al termine argille e argille limoso sabbiose compatte che vede un valore della resistenza statica pari a circa 43,00 Kg/cmq

- **Livello della falda: -2,20 dal p.c.**

MODELLAZIONE GEOLOGICA e GEOTECNICA
Sulla base dell'andamento della resistenza statica alla punta Rp, le unità geologiche individuate presentano comportamento e caratteristiche geotecniche uniformi le quali vengono visualizzate nelle tabelle sottostanti**.**
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 02.02.2019), il programma assegna allo strato il valore caratteristico della media dei valori dei singoli livelli minori;

Parametri geotecnici: valori caratteristici prossimi al valore medio

CPT1

UNITA'	Prof. tetto	Prof. Base	**Qc** resistenza alla punta	**CuK** coesione non drenata	**Eed K** modulo edometrico coesivi	**Eed K** modulo edometrico incoerenti	**CuK' coesione drenata**	**φK'** angolo di attrito interno	**γK**
	(m)	(m)	Kg/cmq	Kg/cmq	Kg/cmq	Kg/cmq	Kg/cmq	◦	Ton/mc
A1	0,00	0,80	7,50	0,35	35		0,04	18	1,80
B1	0,80	3,00	19,00	0,90	90		0,10	22	1,95
C1	3,00	7,00	47,00	2,50	118		0,15	24	2,10
D1	7,00	10,00	65,00	3,30	160		0,18	26	2,00

,

CPT2

UNITA'	Prof. tetto	Prof. Base	**Qc** resistenza alla punta	**CuK** coesione non drenata	**Eed K** modulo edometrico coesivi	**Eed K** modulo edometrico incoerenti	**CuK' coesione drenata**	**φK'** angolo di attrito interno	**γK**
	(m)	(m)	Kg/cmq	Kg/cmq	Kg/cmq	Kg/cmq	Kg/cmq	◦	Ton/mc
A2	0,00	6,00	13,00	0,65	60		0,09	20	1,80
B2	6,00	10,00	43,00	0,2,30	110		0,13	22	2,10

,

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,
La quota 0,00 di inizio perforazione corrisponde al piano campagna attuale.

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°,0870 nord Long. 12°,3580 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	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* 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	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* 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	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* 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	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, 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	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Nelle definizioni precedenti Vs30 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 Vs30 se disponibile, altrimenti sulla base del valore di Nspt.
E' stata eseguita un'indagine sismica passiva a stazione singola al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio (Vs) 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:

$$Vs30 = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{Vs_i}}$$

I risultati dell'indagine sismica sono:

Profondità di calcolo	**VS30 = m/sec**	**Categoria di suolo**
0,00 – 30,00	**218**	**C**
1,00 – 31,00	**220**	**C**
2,00 – 32,00	**222**	**C**

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

amax = ag x S espressa in m/sec^2

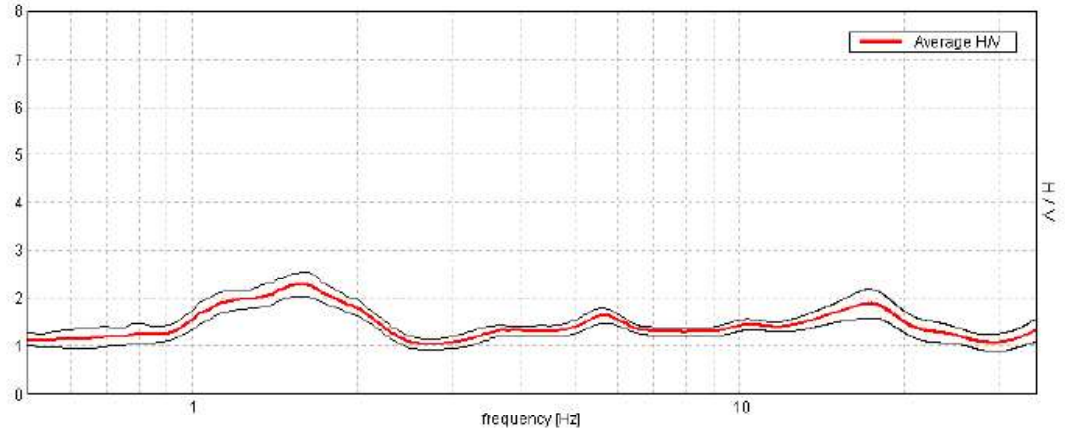
Dove S è un coefficiente che tiene conto della categoria di suolo ed è il prodotto fra il valore Ss (coefficiente di amplificazione stratigrafica) e il valore St (coefficiente di amplificazione topografica) nel nostro caso =1
Utilizzando nel nostro caso **SLV** si ha:
ag =0,186 paria 1,82 m/sec^2 con S= SsxSt= 1,42 si ottiene

amax = 2,58 m/sec^2

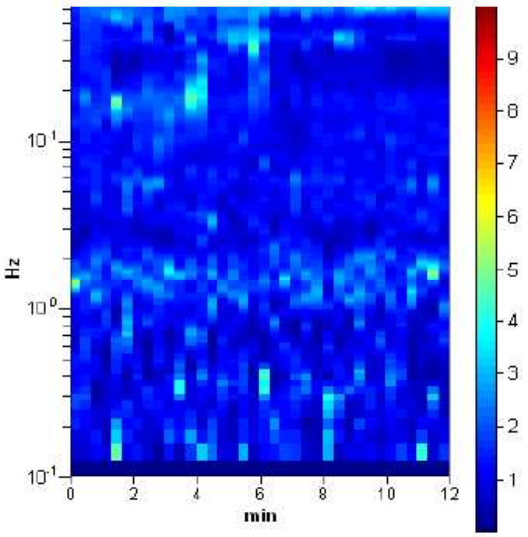
Trace length: 0h12'00". Analysis performed on the entire trace.
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 15%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

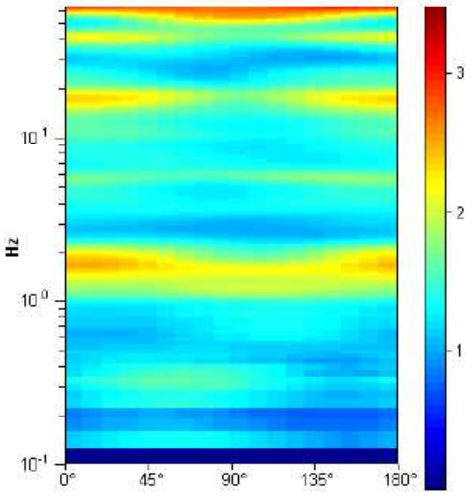
Max. H/V at 1.63 ± 2.69 Hz. (in the range 0.5 - 30.0 Hz).



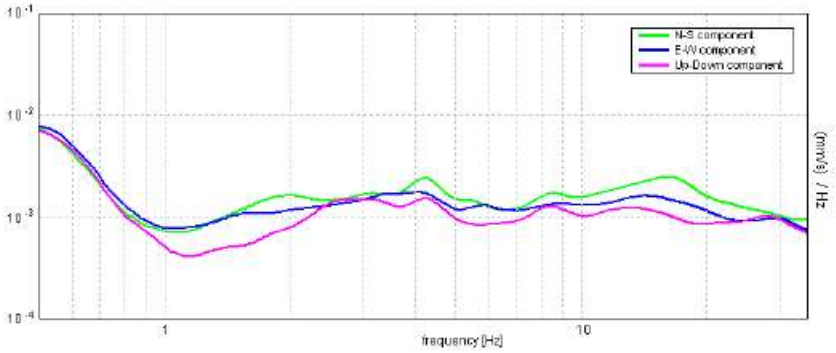
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

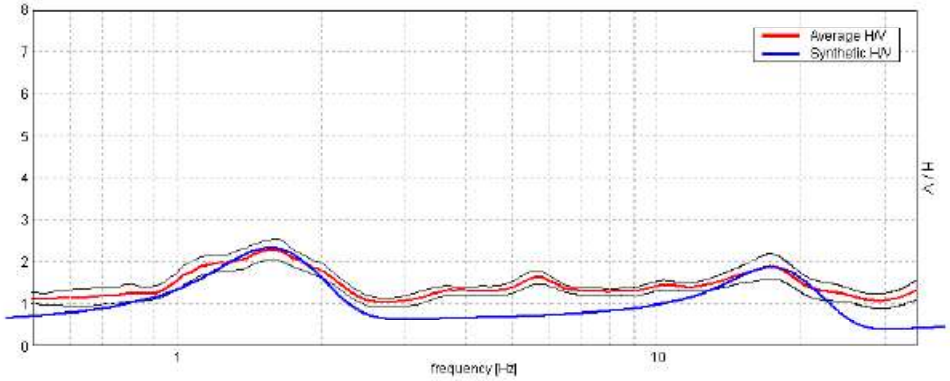


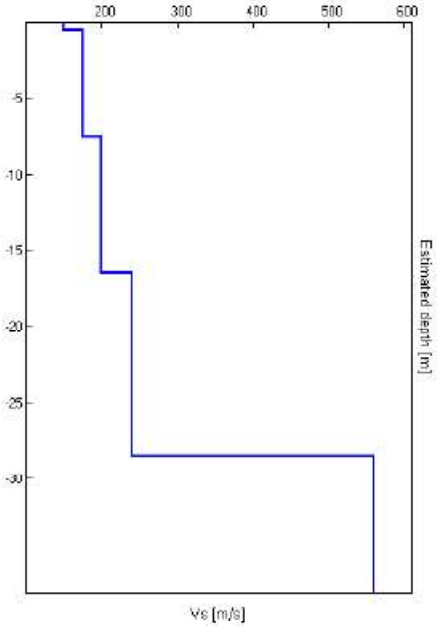
SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 1.63 ± 2.69 Hz. (In the range 0.5 - 30.0 Hz).





Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	150
7.50	7.00	175
16.50	9.00	200
28.50	12.00	240
inf.	inf.	560

Vs(1.0-31.0)=220m/s

SEZIONE DI SCAVO

Per la posa Dello scatolare sul Rio Baldona, che si prende in considerazione in quanto presenta dimensioni maggiori, è prevista l'esecuzione di uno scavo di altezza di circa 2,50 mt.

PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

In relazione all'esito della prova penetrometrica sono stati determinati i principali parametri geotecnici del terreno dello strato interessato dalla scavo (0,0 ÷ 3.0) m e sono emersi, sotto forma di caratteristici, i seguenti:

$\varphi'_k = 20°$
$c'_k = 0.09$ Kg/cm^2
$cu_k = 0.65$ Kg/cm^2

APPROCCIO DI CALCOLO

Come indicato nel capitolo 6.8.2 delle NTC 2018 le verifiche agli SLU saranno effettuate secondo l'approccio 1 combinazione 2 (A2+M2+R2), dove:

M2 = coefficienti riduttivi dei parametri di resistenza
Tanφ'_k : $\gamma_{\varphi'} = 1.25$
c'_k : $\gamma_{c'} = 1.25$
cu_k : $\gamma_{cu} = 1.4$

R2 : coefficiente parziale della resistenza globale $\gamma_r = 1.1$

PARAMETRI GEOTECNICI DI VERIFICA

In base a quanto esposto i parametri geotecnici di verifica (caratteristici prossimi alla media) sono:

Cu_{kv} (Kg/cm^2)	c'_{kv} (Kg/cm^2)	Φ'_{kv} (°)	γ_{kv} (Kg/cm^3)
0.52	0.07	18.7	0.18

METODOLOGIA DI VERIFICA

Per la verifica della stabilità delle pareti di scavo si fa riferimento al metodo di Taylor con:

per le **condizioni non drenate** la ricerca della superficie critica passante per il piede con la definizione dell'altezza critica (Taylor Hc = cu * n/γ), che deve risultare maggiore di quella di scavo

per le **condizioni drenate** la definizione, mediante la carta di Taylor, del coefficiente di sicurezza, con limite discriminate tra instabilità e stabilità posto nel valore di 1.1 e con valutazione del grado di stabilità come da tabella seguente:

fattore di sicurezza	Grado di stabilità
Fs<1.05	instabile
1.05 < Fs < 1.2	Scarsamente stabile
1.2 < Fs < 1.4	Medio stabile
1.4 < Fs < 1.7	Discretamente stabile
1.7 < Fs < 2.5	stabile
Fs > 2.5	Molto stabile

ESITO DELLE VERIFICHE

Si riportano gli esiti numerici e schematici delle verifiche in condizioni non drenate e drenate che risulta la più critica:

Condizione non drenata : Hc_k = 5,43/1.1 = 4,93 mt > H scavo (2.50 m)

Condizione drenata Fs_k = 1.47/1.1 = 1.34 Medio stabile

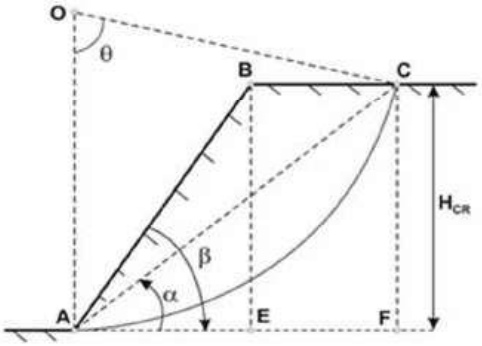
Nota: *tutte le verifiche prendono in esame la situazione di scavo in assenza di circolazione idrica. Per tanto, vista la quota del pelo libero della falda (-2,20 m da p.c.), si dovrà procedere ad un abbattimento della stessa al fine di creare la condizione di uno scavo in terreno asciutto nel caso di innalzamento.*

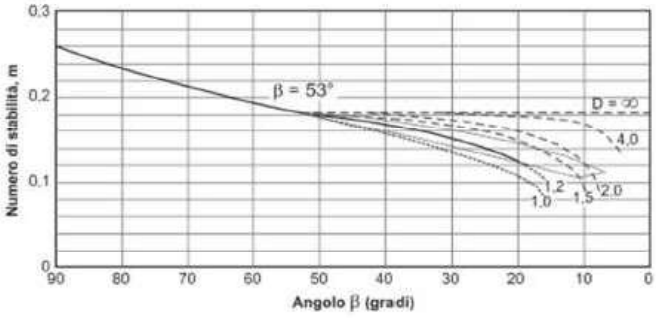
PENDIO DI ALTEZZA LIMITATA

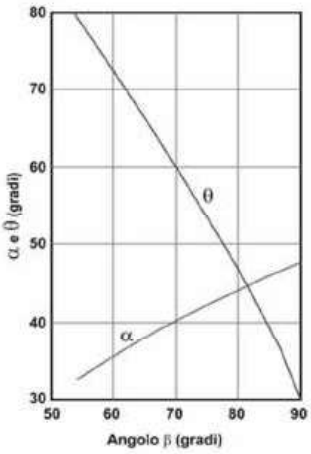
Condizione per $\beta > 53°$
Cerchio critico passante per il piede del pendio

Dati:

γ =	1800	[kg/m^3]
cu =	0,52	[kg/cm^2]
φ =	0,0	[gradi]
β =	90,0	[gradi]
m =	0,266	[-]
α =	48,0	[gradi]
F =	2,00	[-]







Risultati:

H_{cr} =	10,86	[m]	**BC** =	9,78	[m]
c_d =	0,26	[kg/cm^2]	H =	5,43	[m]

Legenda:

γ =	Peso di volume del terreno	H_{cr} =	Altezza critica
cu =	Coesione non drenata	**BC** =	Distanza dalla cresta del pendio
φ =	Angolo di attrito	c_d =	Coesione massima
β =	Angolo del pendio	H =	Altezza corrispondente al fattore di sicurezza assegnato
m =	Numero di stabilità		
α =	Angolo della corda AC		
F =	Fattore di sicurezza		

PENDIO DI ALTEZZA LIMITATA

Carta di stabilità di Taylor

Dati:

γ =	1800	[kg/m^3]
φ' =	18,7	[gradi]
c' =	0,07	[kg/cm^2]
β =	45,0	[gradi]
H =	2,50	[m]

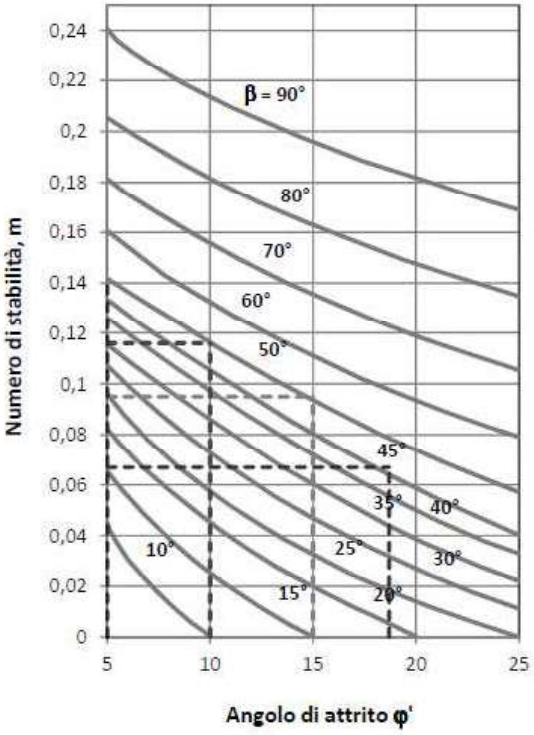
H_{cr} =	5,80	[m]
c'_d =	0,03	[kg/cm^2]

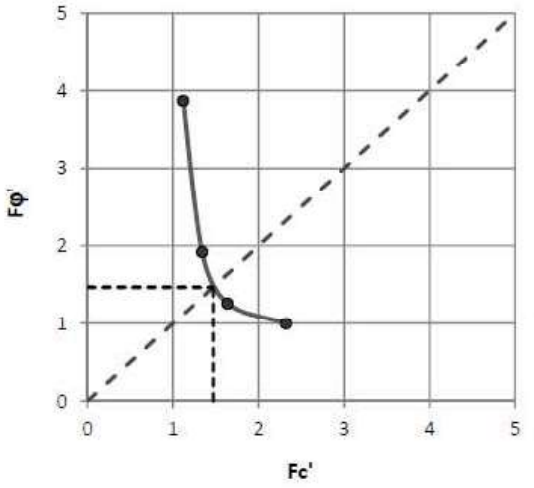
m_1=	0,067
m_2=	0,095
m_3=	0,116
m_4=	0,139
m_5=	0,000

φ'_d	tan φ'_d	$F_{\varphi'}$
18,7	0,3385	1,00
15,0	0,2679	1,26
10,0	0,1763	1,92
5,0	0,0875	3,87

m	c'_d	$F_{c'}$
0,067	0,030	2,32
0,095	0,043	1,64
0,116	0,052	1,34
0,139	0,063	1,12

Fs =	1,47





Legenda:

γ =	peso di volume del terreno	H_{cr} =	altezza critica del pendio
φ' =	angolo di attrito	c'_d e φ'_d =	resistenze al taglio
c' =	coesione	m =	numero di stabilità

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 amax > 0,10g.
I terreni che hanno manifestato fluidificazioni sono costituiti da materiali granulari fini, saturi, non consolidati, con granulometria uniforme (Uc < 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 (D50 ~ 0,1mm), a granulometria uniforme (Uc<5) e con elementi arrotondati sono di gran lunga i più vulnerabili.
Nel caso in esame per la presenza di terreni coesivi si ritiene che il deposito indagato 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 dei lotti sono stati indagati con prove penetrometriche statiche con punta meccanica. Tramite il loro esito si è appurato la presenza di argille e argille limoso sabbiose sino a 10,00 mt dal piano campagna.

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 **2.20 mt**.(al momento del rilievo).
La recente perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico edita dalla “Autorità Dei Bacini Romagnoli” inserisce i lotti in oggetto in un’aree esenti 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.

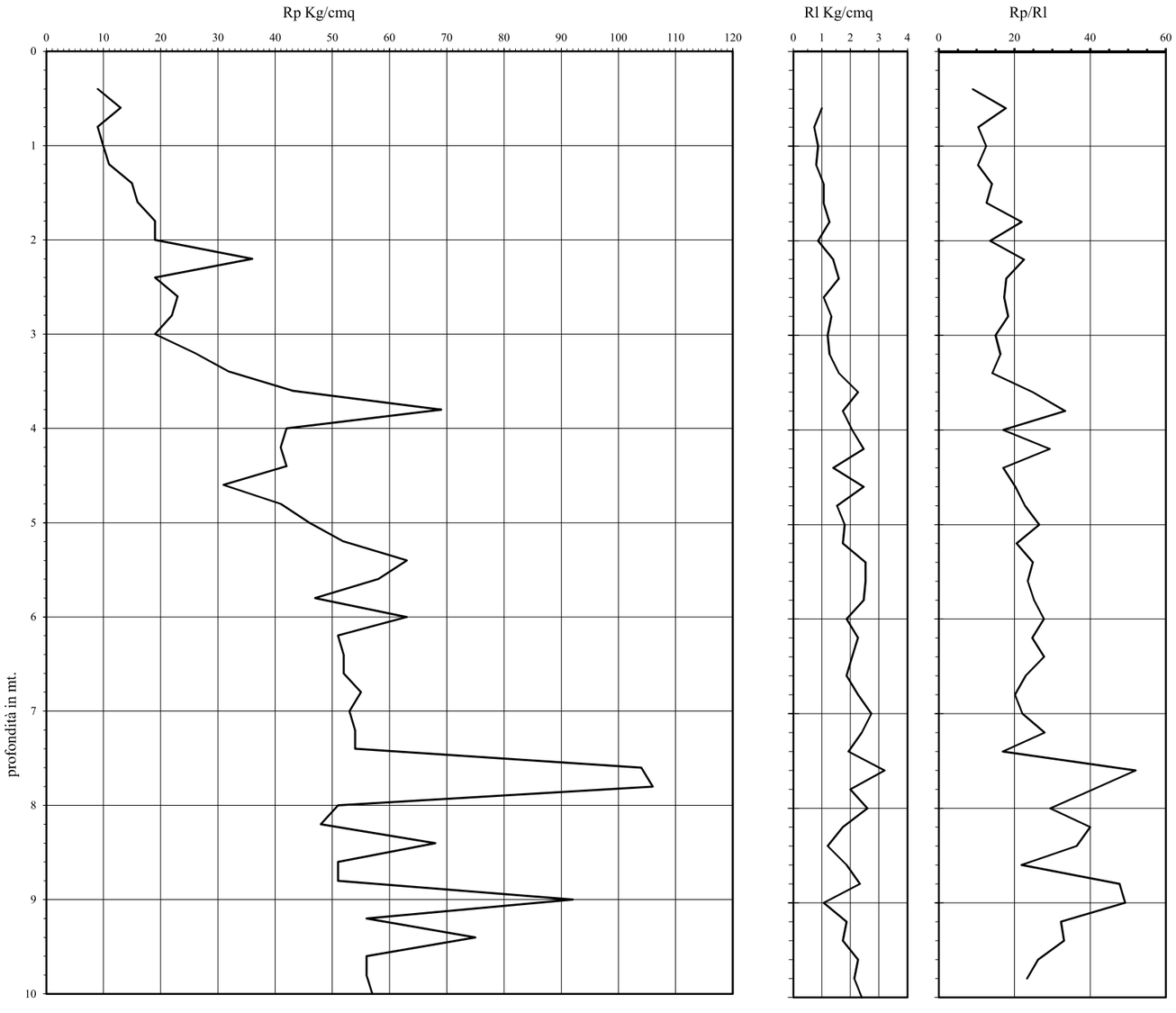
ORIENTAMENTI GEOTECNICI: In linea generale si tratta di terreni con buone caratteristiche geomeccaniche, le quali gli conferiscono quegli aspetti da renderli idonei ad essere sede di fondazioni superficiali di manufatti in genere.

Cesena, maggio 2025 Dott. Geol. Borghetti Massimo

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Prova n.: CPTM 1
Cantiere: Longiano (FC) - Via Crocetta Scolo Albiani
Data: Aprile 2025

Quota inizio: piano campagna
Liv.falda: -2,20 mt.
Note:



Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)

A 0	A M T	A T	A M	A C	A M C	A S L	S L	S L A	S S	S	S D

mt.	Rp	Rl	Rp/Rl	ϕ °	Dr	Cu Kg/cmq	Nspt	Verifica alla liquefazione magnitudo di 6 g accelerazione massima al suolo 0,25 g (Seed et al. 1985) coefficiente di sicurezza
0,2								
0,4	9		9,00	/	/	0,45	/	n.l.
0,6	13	1,00	17,73	/	/	0,65	/	n.l.
0,8	9	0,73	10,38	/	/	0,45	/	n.l.
1	10	0,87	12,50	/	/	0,5	/	n.l.
1,2	11	0,80	10,31	/	/	0,55	/	n.l.
1,4	15	1,07	14,06	/	/	0,75	/	n.l.
1,6	16	1,07	12,63	/	/	0,8	/	n.l.
1,8	19	1,27	21,92	/	/	0,95	/	n.l.
2	19	0,87	13,57	/	/	0,95	/	n.l.
2,2	36	1,40	22,50	/	/	1,8	/	n.l.
2,4	19	1,60	17,81	/	/	0,95	/	n.l.
2,6	23	1,07	17,25	/	/	1,15	/	n.l.
2,8	22	1,33	18,33	/	/	1,1	/	n.l.
3	19	1,20	15,00	/	/	0,95	/	n.l.
3,2	26	1,27	16,25	/	/	1,3	/	n.l.
3,4	32	1,60	14,12	/	/	1,6	/	n.l.
3,6	43	2,27	24,81	/	/	2,15	/	n.l.
3,8	69	1,73	33,39	/	/	/	17,25	2,77
4	42	2,07	17,03	/	/	2,1	/	n.l.
4,2	41	2,47	29,29	/	/	/	10,25	2,26
4,4	42	1,40	17,03	/	/	2,1	/	n.l.
4,6	31	2,47	20,22	/	/	1,55	/	n.l.
4,8	41	1,53	22,78	/	/	2,05	/	n.l.
5	46	1,80	26,54	/	/	2,3	/	n.l.
5,2	52	1,73	20,53	/	/	2,6	/	n.l.
5,4	63	2,53	24,87	/	/	3,15	/	n.l.
5,6	58	2,53	23,51	/	/	2,9	/	n.l.
5,8	47	2,47	25,18	/	/	2,35	/	n.l.
6	63	1,87	27,79	/	/	/	15,75	2,77
6,2	51	2,27	24,68	/	/	2,55	/	n.l.
6,4	52	2,07	27,86	/	/	2,6	/	n.l.
6,6	52	1,87	22,94	/	/	2,6	/	n.l.
6,8	55	2,27	20,12	/	/	2,75	/	n.l.
7	53	2,73	22,08	/	/	2,65	/	n.l.
7,2	54	2,40	27,93	/	/	2,7	/	n.l.
7,4	54	1,93	16,88	/	/	2,7	/	n.l.
7,6	104	3,20	52,00	39	0,56	/	26	2,77
7,8	106	2,00	40,77	/	/	/	26,5	2,77
8	51	2,60	29,42	/	/	/	12,75	2,11
8,2	48	1,73	40,00	/	/	/	12	1,90
8,4	68	1,20	36,43	/	/	/	17	2,77
8,6	51	1,87	21,86	/	/	2,55	/	n.l.
8,8	51	2,33	47,81	36	0,43	/	12,75	1,12
9	92	1,07	49,29	38	0,53	/	23	2,77
9,2	56	1,87	32,31	/	/	/	14	2,15
9,4	75	1,73	33,09	/	/	/	18,75	2,77
9,6	56	2,27	26,25	/	/	2,8	/	n.l.
9,8	56	2,13	23,33	/	/	2,8	/	n.l.
10	57	2,40						

Cu media Kg/cmq 1,80139 | 17,167 Nspt media n. colpi

INTERGEO s.r.l. - *Servizi Geologici*
Strada Acquasala, 9 - 47899 Serravalle - RSM
Codice Operatore Economico SM 21197
telefono: 333 220 8376 | 349 559 4709
sito: www.intergeosm.com

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

Legenda:

argilla
sabbia limoso argillosa
sabbia

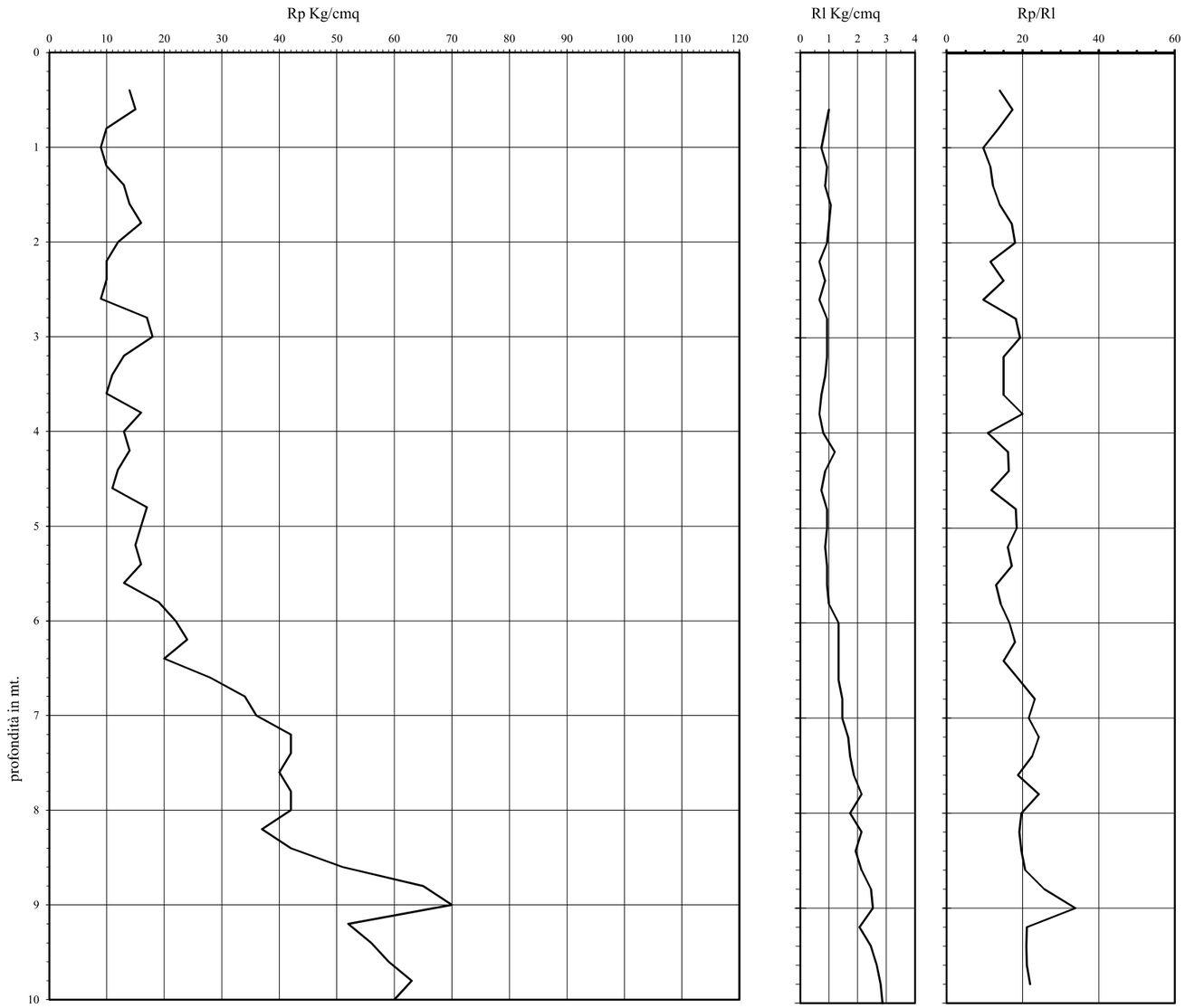
AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;
AT argilla tenera; AM argilla media;AC argilla compatta
AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;
SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa
SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

n.l. non liquefacibile

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Prova n.: CPTM 2
Cantiere: Longiano (FC) - Via Crocetta Rio Baldona
Data: Aprile 2025

Quota inizio: piano campagna
Liv.falda: -2,20 mt.
Note:



Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)

A 0	A M T	A T	A M	A C	A M C	A S L	S L	S L A	S S	S	S D	mt.	Rp	Rl	Rp/Rl	ϕ °	Dr	Cu Kg/cmq	Nspt	Verifica alla liquefazione magnitudo di 6 g accelerazione massima al suolo 0,25 g (Seed et al. 1985) coefficiente di sicurezza
												0,2								
												0,4	14		14,00	/	/	0,7	/	n.l.
												0,6	15	1,00	17,31	/	/	0,75	/	n.l.
												0,8	10	0,87	13,64	/	/	0,5	/	n.l.
												1	9	0,73	9,64	/	/	0,45	/	n.l.
												1,2	10	0,93	11,54	/	/	0,5	/	n.l.
												1,4	13	0,87	12,19	/	/	0,65	/	n.l.
												1,6	14	1,07	14,00	/	/	0,7	/	n.l.
												1,8	16	1,00	17,14	/	/	0,8	/	n.l.
												2	12	0,93	18,00	/	/	0,6	/	n.l.
												2,2	10	0,67	11,54	/	/	0,5	/	n.l.
												2,4	10	0,87	15,00	/	/	0,5	/	n.l.
												2,6	9	0,67	9,64	/	/	0,45	/	n.l.
												2,8	17	0,93	18,21	/	/	0,85	/	n.l.
												3	18	0,93	19,29	/	/	0,9	/	n.l.
												3,2	13	0,93	15,00	/	/	0,65	/	n.l.
												3,4	11	0,87	15,00	/	/	0,55	/	n.l.
												3,6	10	0,73	15,00	/	/	0,5	/	n.l.
												3,8	16	0,67	20,00	/	/	0,8	/	n.l.
												4	13	0,80	10,83	/	/	0,65	/	n.l.
												4,2	14	1,20	16,15	/	/	0,7	/	n.l.
												4,4	12	0,87	16,36	/	/	0,6	/	n.l.
												4,6	11	0,73	11,79	/	/	0,55	/	n.l.
												4,8	17	0,93	18,21	/	/	0,85	/	n.l.
												5	16	0,93	18,46	/	/	0,8	/	n.l.
												5,2	15	0,87	16,07	/	/	0,75	/	n.l.
												5,4	16	0,93	17,14	/	/	0,8	/	n.l.
												5,6	13	0,93	13,00	/	/	0,65	/	n.l.
												5,8	19	1,00	14,25	/	/	0,95	/	n.l.
												6	22	1,33	16,50	/	/	1,1	/	n.l.
												6,2	24	1,33	18,00	/	/	1,2	/	n.l.
												6,4	20	1,33	15,00	/	/	1	/	n.l.
												6,6	28	1,33	19,09	/	/	1,4	/	n.l.
												6,8	34	1,47	23,18	/	/	1,7	/	n.l.
												7	36	1,47	21,60	/	/	1,8	/	n.l.
												7,2	42	1,67	24,23	/	/	2,1	/	n.l.
												7,4	42	1,73	22,50	/	/	2,1	/	n.l.
												7,6	40	1,87	18,75	/	/	2	/	n.l.
												7,8	42	2,13	24,23	/	/	2,1	/	n.l.
												8	42	1,73	19,69	/	/	2,1	/	n.l.
												8,2	37	2,13	19,14	/	/	1,85	/	n.l.
												8,4	42	1,93	19,69	/	/	2,1	/	n.l.
												8,6	51	2,13	20,68	/	/	2,55	/	n.l.
												8,8	65	2,47	25,66	/	/	3,25	/	n.l.
												9	70	2,53	33,87	/	/	/	17,5	2,77
												9,2	52	2,07	21,08	/	/	2,6	/	n.l.
												9,4	56	2,47	21,00	/	/	2,8	/	n.l.
												9,6	59	2,67	21,07	/	/	2,95	/	n.l.
												9,8	63	2,80	21,98	/	/	3,15	/	n.l.
												10	60	2,87						

Cu media Kg/cmq 1,24468 | 17,5 Nspt media n. colpi

INTERGEO s.r.l. – *Servizi Geologici*
Strada Acquasala, 9 - 47899 Serravalle - RSM
Codice Operatore Economico SM 21197
telefono: 333 220 8376 | 349 559 4709
sito: www.intergeosm.com

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

Legenda:

argilla
sabbia limoso argillosa
sabbia

AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;
AT argilla tenera; AM argilla media;AC argilla compatta
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