



COMUNE DI CORREGGIO

PROVINCIA DI REGGIO EMILIA

PROGETTO DI ADEGUAMENTO SISMICO DI UNA PORCILAIA IN VIA
ERBOSA/VIA FORNACE A CORREGGIO (RE), LOCALITÀ PRATO –
FG.79, MAPP.180

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

COMMITTENTE: *FRANCESCHINI UGO*

PROGETTISTA: *STUDIO TECNICO GEOM. MESSORI IMER*

Giugno 2018

Dott. Geol. Francesco Dettori



Francesco Dettori

INDICE

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA DI INQUADRAMENTO	4
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	4
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	4
3.3 IDROGEOLOGIA DELL'AREA	5
4. CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL SITO MEDIANTE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE	6
4.1 PROVE PENETROMETRICHE: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE	6
4.2 PROVA MASW: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE.....	7
5. RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE	9
5.1 MODELLO IDROGEOLOGICO-LITOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO	9
5.2 VALORI DI RESISTENZA DEL TERRENO DA PROVE PENETROMETRICHE	12
5.3 MODELLO GEOTECNICO E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO DI FONDAZIONE	13
6. RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE E PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO	14
6.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE: SISMICITÀ DEL TERRITORIO E CLASSIFICAZIONI	14
6.2 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO DAL PUNTO DI VISTA SISMOSTRATIGRAFICO.....	16
6.2.1 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA MASW	16
6.3 CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO AI SENSI DELLE NTC.....	18
6.4 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA IN SUPERFICIE.....	18
6.5 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO ATTESO IN SUPERFICIE DI CUI ALLE NTC 2018.....	20
6.6 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE E CALCOLO DEI CEDIMENTI POST SISMICI.....	21
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	25
TABELLE E ALLEGATI	

1. PREMESSA

Su incarico della Committenza e in accordo con i Tecnici Progettisti si è eseguito il presente studio del terreno di fondazione di un fabbricato agricolo ad uso porcilaia su cui è previsto un adeguamento sismico, posto in via Erbosa/via Fornace a Correggio (RE).

Il documento focalizza l'attenzione su quegli aspetti geologici e di pericolosità sismica del territorio che influenzano la propagazione delle onde sismiche e possono provocare fenomeni di instabilità e liquefazione dei terreni. Lo studio è stato condotto ad un livello di approfondimento tale da valutare in maniera integrata tutte le interazioni potenzialmente negative.

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 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 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:

- 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;
- Circ.RER n.1288 del 11/03/1983 "Indicazioni metodologiche sulle indagini geologiche da produrre per i piani urbanistici";
- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Autorità di Bacino Po, approvato con D.P.C.M. 24/05/2001;
- Associazione Geotecnica Italiana: "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica". Linee Guida. Ed. Marzo 2005;
- D.M. 159/2006 e D.M. (infrastrutture) 14 gennaio 2008 recante "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" (G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008) in vigore dal 1 luglio 2009;
- D.M. 17/01/2018 – Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

3. RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA DI INQUADRAMENTO

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il lotto oggetto di studio è ubicato a sud di Correggio, in un'area rurale situata a circa 5,7 km dal centro del paese, raggiungibile da Via Fornace, come si può osservare in **Figura 1**.

Da un punto di vista topografico la zona si trova all'interno della pianura reggiana. L'area, situata su di una zona pianeggiante, è topograficamente posta alla quota di 38 m s.l.m., con un leggera pendenza verso nord-est.

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

- nella Tavola della C.T.R. 201NO denominata "Correggio" in scala 1:25.000 (**Tavola 1**).

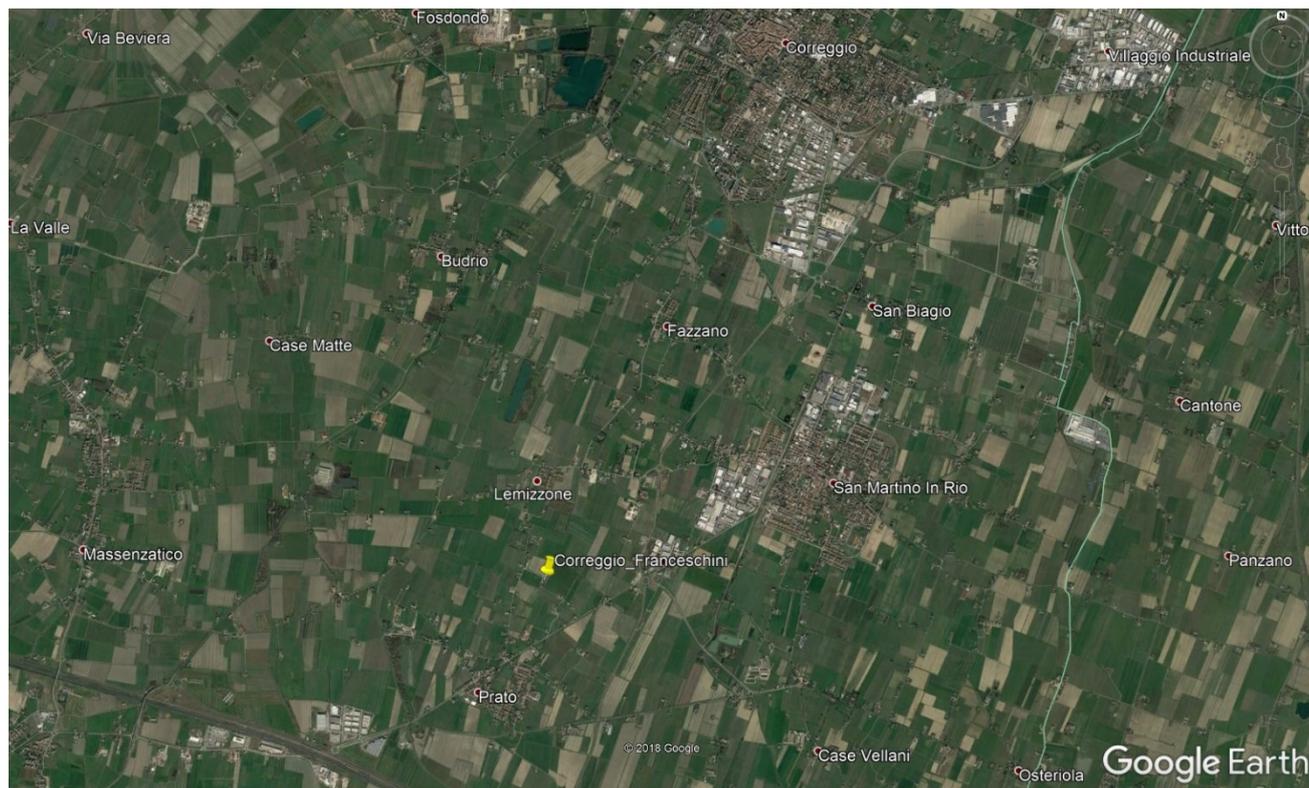


Figura 1: Area di interesse da foto aerea tratta Google Earth

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Nella pianura appenninica, esternamente alle aree occupate dal letto dei corsi d'acqua sia principali, sia minori, affiorano materiali alluvionali le cui classi granulometriche sono comprese tra quelle delle argille e quelle delle ghiaie. Le ghiaie costituiscono le conoidi dei corsi d'acqua sia principali che minori; esse sono predominanti in corrispondenza dello sbocco in pianura dei corsi d'acqua e si dispongono in lenti di estensione e spessore variabili. Talvolta sono ben selezionate, in altri casi si trovano commiste ad abbondanti porzioni limo-sabbiose.

Nella media pianura, lateralmente ai corsi d'acqua principali e ai dossi fossili (un tempo sede del letto fluviale), si rinvencono conoidi di deiezione (o di rotta fluviale) di spessore ed estensione variabile. Gli strati di terreno che costituiscono questi depositi sono a granulometria più fine sabbioso-limoso-argillosi, legati a episodi deposizionali a minore energia. Con minore frequenza e a maggiore profondità le lenti di sedimenti fini possono essere interrotte da lenti ghiaiose di spessore ed estensione limitata.

Come è possibile vedere dalla Carta Geologica allegata (**Figura 2**), tratta dal progetto CARG del Servizio Sismico e Geologico della Regione Emilia-Romagna, i depositi affioranti nell'area di interesse prendono il nome di Subsintema di Ravenna (**AES8**), definiti: "Limi sabbiosi e limi argillosi negli

apparatî dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Potenza fino a oltre 20 m. - Olocene”

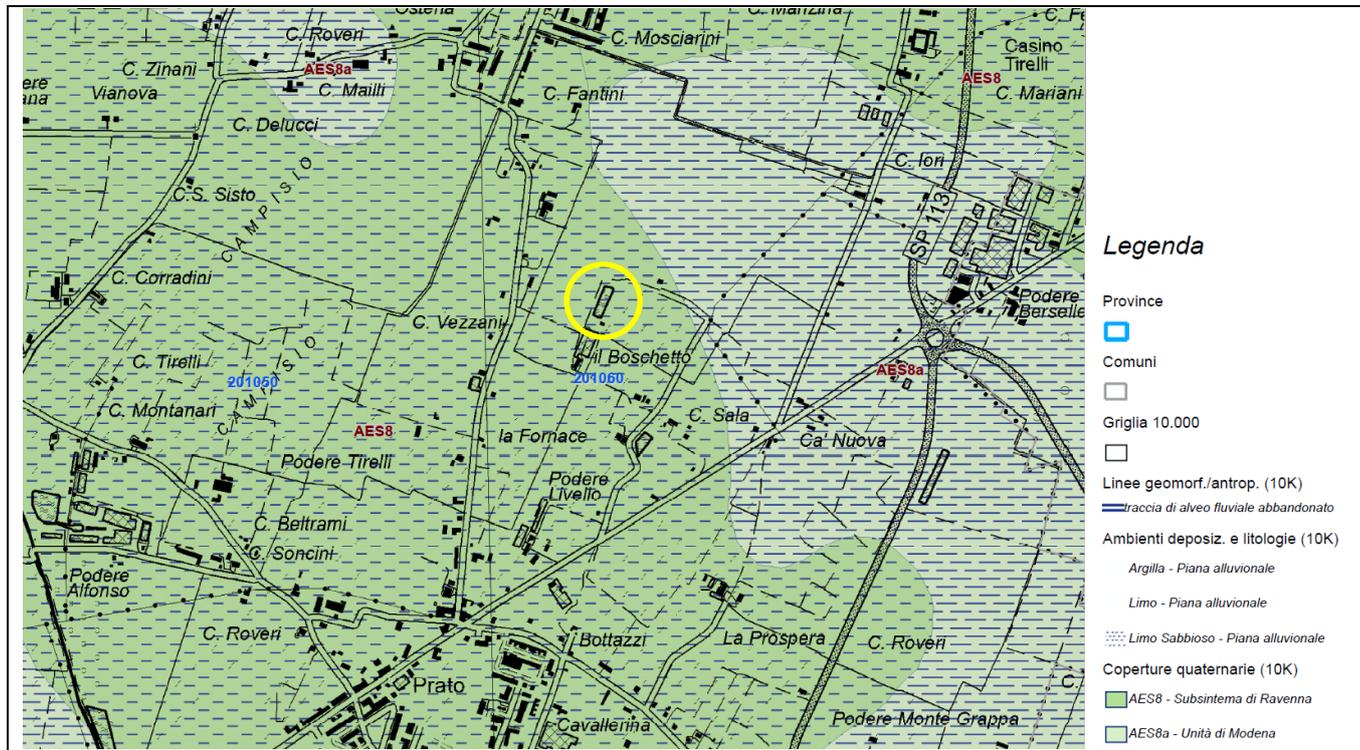


Figura 2: Carta Geologica tratta da “Servizio Sismico, Geologico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna” – stralcio in scala grafica

Per quel che riguarda i lineamenti morfologici dell’area, il paesaggio è pressoché pianeggiante con dislivelli generalmente contenuti. Si distinguono ancora, nella campagna circostante, alcune fasce strette, allungate in direzione SO-NE, relativamente più rilevate (dossi fluviali) alternate a fasce più ampie e depresse denominate “valli”.

3.3 IDROGEOLOGIA DELL’AREA

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).

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

Una volta valutato l'intervento in progetto, in relazione alle criticità riscontrate nel primo livello di approfondimento, si è decisa una campagna di indagini atta a supportare i successivi gradi di approfondimento richiesti dalle normative di riferimento. La campagna di indagini è stata concordata con il Tecnico Progettista e ha previsto una distribuzione tale da essere rappresentative dell'intera area in esame. A tal fine sull'area di intervento si sono programmate le seguenti indagini:

- n.2 prove penetrometriche statiche CPT 1 e CPT 2;
- n.1 prova di sismica attiva tipo MASW.

L'ubicazione delle indagini è riportata in **Figura 3**.



Figura 3: ubicazione indagini geognostiche (in rosso) e geofisiche (in giallo) da Planimetria Generale

4.1 PROVE PENETROMETRICHE: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE

L'attrezzatura utilizzata si compone di un penetrometro Pagani TG 63-100 montato su carro cingolato, ancorato al terreno mediante eliche, avente 10 ton di spinta (per prove statiche) e con maglio di battuta pari a 63,5 kg (per prove dinamiche). Il dispositivo di misura per le prove statiche consiste in una centralina di acquisizione digitale Pagani TGAS11, con certificato di calibrazione. 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
Spinta	100 kN
Intervalli di misura	20 cm
Parametri registrati	Rp (resistenza punta); Rl (resistenza attrito-laterale)
Area punta	10 cm ²
Angolo alla punta	60°.

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

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

Alcune fasi delle indagini geognostiche sono riportate in **Figura 4**.



Figura 4: immagini delle prove penetrometriche

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 5**.



Figura 5: immagini della prova geofisica MASW

5. RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

La relazione geotecnica, intesa come l'insieme delle scelte progettuali, il programma e i risultati delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica, unitamente ai calcoli per il dimensionamento geotecnico delle opere e alla descrizione delle fasi e modalità costruttive, basa la sua struttura su una serie di indagini geognostiche e geotecniche, in sito ed in laboratorio.

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

In relazione delle caratteristiche di resistenza del terreno, l'indagine CPT è stata spinta ad una profondità massima di -20,0 m. Durante l'esecuzione delle indagini non si sono riscontrate anomalie di funzionamento delle apparecchiature sia meccaniche che digitali.

5.1 MODELLO IDROGEOLOGICO-LITOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO

A partire dallo studio bibliografico della geologia locale, correlato con i risultati del rilevamento geologico-geomorfologico di campagna e dall'elaborazione delle verticali di indagine è stato possibile effettuare diverse correlazioni stratigrafiche (i rapporti numerici delle prove compaiono in **allegato**).

Si riassume quindi la situazione geologica, litostratigrafica ed idrogeologica dell'area interessata dall'intervento, come segue:

- dal piano inizio prove 0,0 m a -0,8 m di profondità è presente terreno vegetale, sovraconsolidato, a composizione limo argillosa;
- da -0,8 m a -7,4 (CPT 1) /-7,6 (CPT 2) m di profondità è presente uno strato di argille sabbiose e limose;
- da -7,4/-7,6 m a -16,2/-16,4 m di profondità è presente un livello di argilla limosa molto consistente, con valori di resistenza massimi nella parte centrale dello strato;
- da -16,2/-16,4 m a -20,0 m di profondità è presente argilla limosa consistente.

FALDA

Il monitoraggio del livello piezometrico misurato all'interno dei fori di sondaggio ha consentito di identificare il seguente livello di falda rispetto al piano di campagna:

CPT 1: -0,9 m	CPT 2: -0,85 m
----------------------	-----------------------

Le misure sono riferibili ad una falda libera, caratterizzata da medio-bassi valori di trasmissività e da una variabilità del proprio livello in stretta relazione con gli apporti meteorici, la stagionalità e il reticolo di bonifica presente. Non si esclude che le acque di provenienza meteorica possano risalire, in occasione di forti e/o prolungate precipitazioni, in strati di terreno anche più superficiali.

Le verticali d'indagine possono essere rappresentate graficamente attraversato un'immagine in continuo del sottosuolo, come segue (**Figure 6-7**):

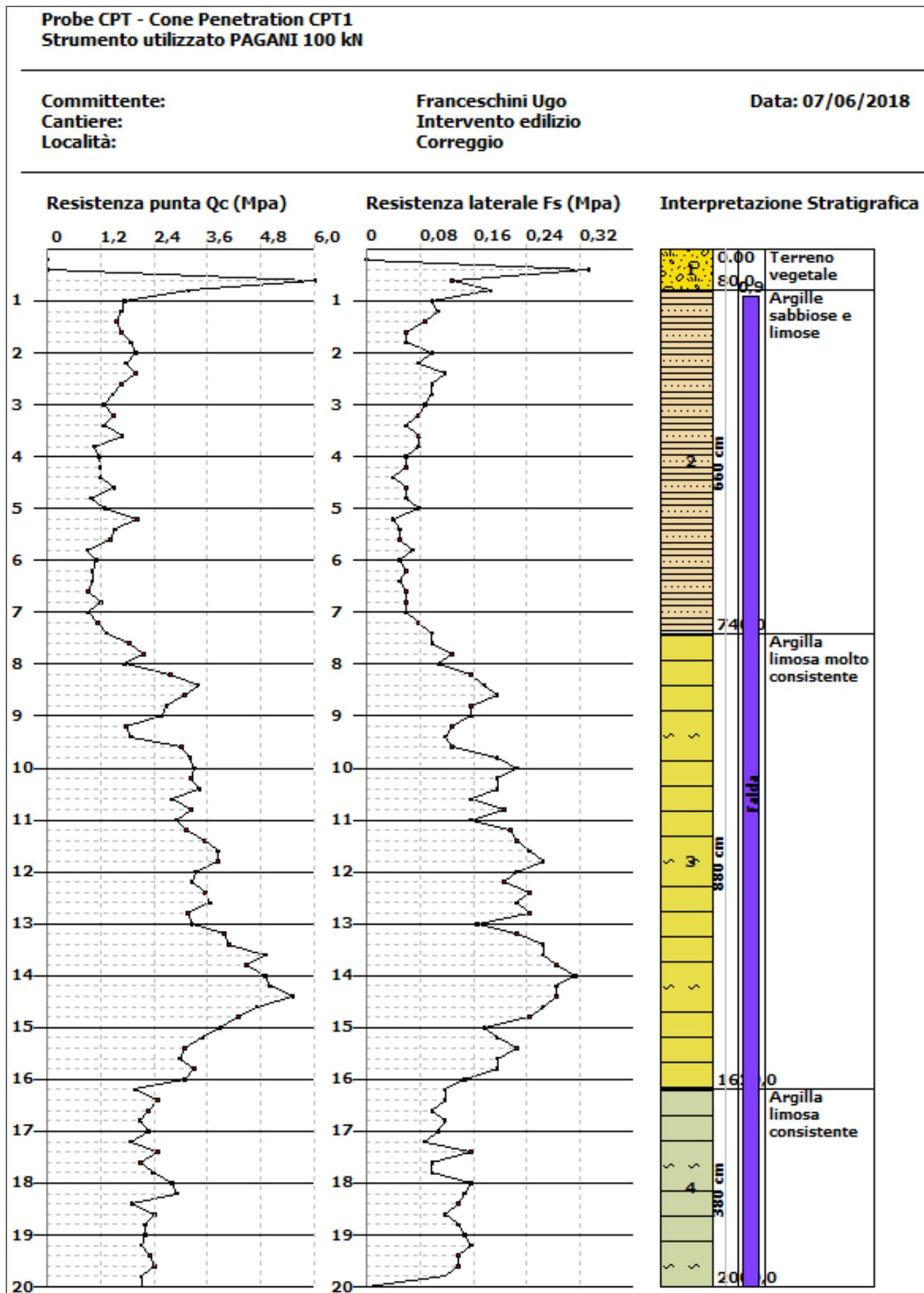


Figura 6: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica CPT 1

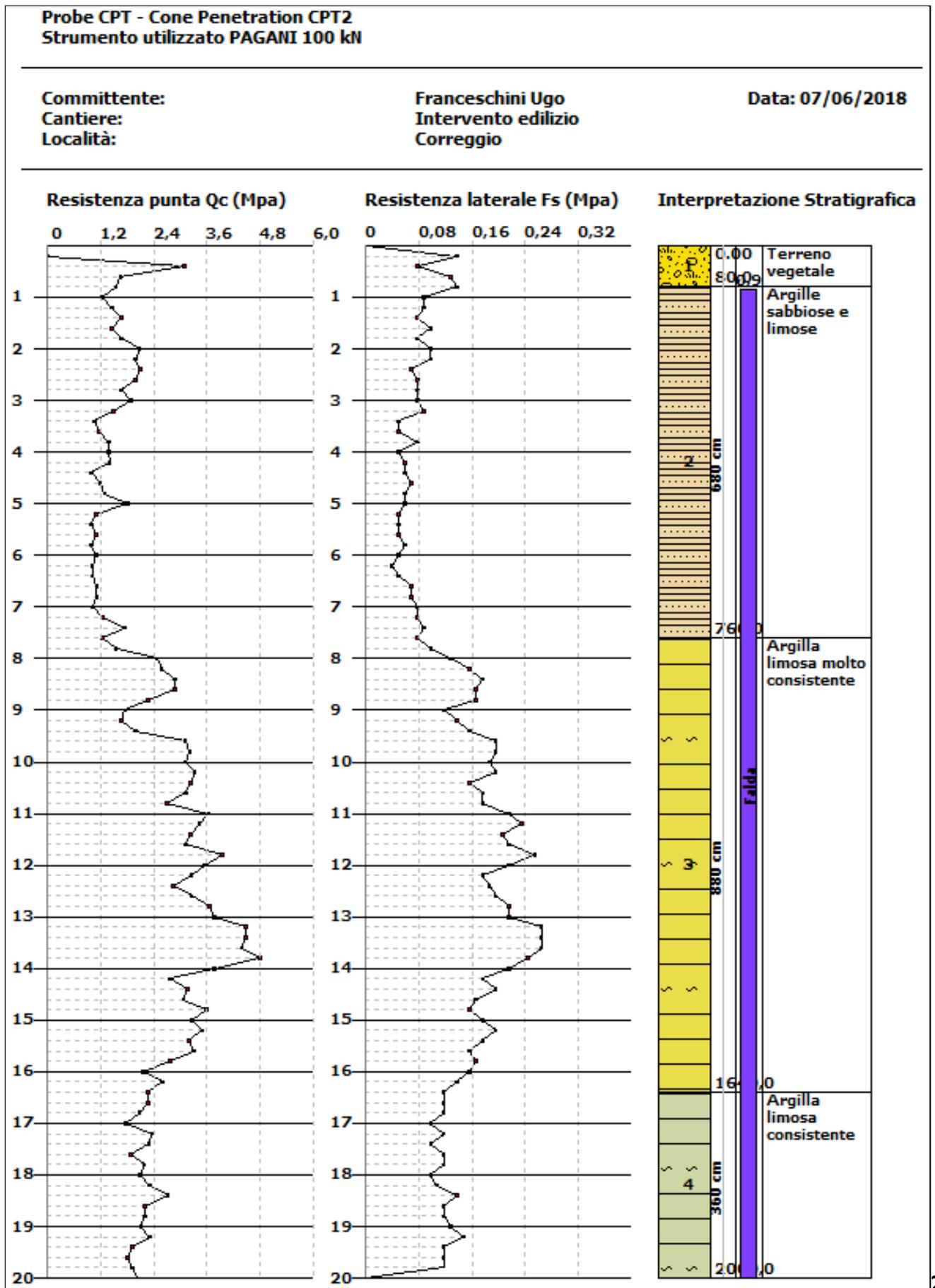


Figura 7: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica CPT 2

5.2 VALORI DI RESISTENZA DEL TERRENO DA PROVE PENETROMETRICHE

La valutazione statistica dei dati numerici di resistenza tiene conto della suddivisione in strati del modello geologico descritto in precedenza. I criteri per la suddivisione del volume significativo in diversi strati sono di carattere stratigrafico-litologico, idrogeologico e di resistenza (intesa come resistenza all'infissione).

Le elaborazioni numeriche delle penetrometrie per conseguire informazioni geotecniche 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:

PROVA CPT 1

Prof. base strato (m)	Qc Medio (MPa)	Fs Media (MPa)	Gamma Medio (KN/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,80	5,9	0,17	20,08	Incoerente-Coesivo	Terreno vegetale
7,40	1,39	0,07	18,66	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
16,20	3,34	0,2	20,11	Incoerente-Coesivo	Argilla limosa molto consistente
20,00	2,28	0,12	19,42	Incoerente-Coesivo	Argilla limosa consistente

PROVA CPT 2

Prof. base strato (m)	Qc Medio (MPa)	Fs Media (MPa)	Gamma Medio (KN/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,80	1,57	0,12	19,34	Incoerente-Coesivo	Terreno vegetale
7,60	1,38	0,07	18,66	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
16,40	3,11	0,19	19,99	Incoerente-Coesivo	Argilla limosa molto consistente
20,00	2,13	0,11	19,29	Incoerente-Coesivo	Argilla limosa consistente

Modello del Terreno - legenda e metodologia prova CPT

I valori sono calcolati con queste formule:

qc (RP) = (LP x Ct) / 10 cm² Resistenza alla punta

fs (RL) = [(LT - LP) x Ct] / 150 cm² Resistenza laterale

Gamma = Peso di Volume (formula di Meyerhof)

LP=Lettura alla punta; LT=Lettura laterale; Ct=Cost.diTrasformazione; Ap=Superficie Punta(10cm²); Am=area del manicotto di frizione (150cm²)

5.3 MODELLO GEOTECNICO E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO DI FONDAZIONE

I valori di resistenza meccanica del terreno hanno consentito la suddivisione in strati del terreno per la creazione di un **Modello Geotecnico** per ciascuna 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:

PROVA CPT 1

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Fi
[1]	Terreno vegetale	0,80	56,67	6,18	11,8	33,56	21,16	21,95	21,02
[2]	Argille sabbiose e limose	7,40	41,33	13,83	4,74	13,88	18,73	19,51	20,45
[3]	Argilla limosa molto consistente	16,20	91,33	19,12	6,68	23,71	20,16	20,95	22,14
[4]	Argilla limosa consistente	20,00	71,0	12,06	4,56	18,77	19,46	20,24	21,94

PROVA CPT 2

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Fi
[1]	Terreno vegetale	0,80	42,33	5,58	4,71	14,95	18,97	19,76	20,71
[2]	Argille sabbiose e limose	7,60	41,0	13,02	4,74	13,81	18,71	19,5	20,25
[3]	Argilla limosa molto consistente	16,40	89,67	19,09	6,22	22,7	20,04	20,83	22,05
[4]	Argilla limosa consistente	20,00	69,0	12,02	4,26	18,01	19,34	20,12	21,57

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

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

6. 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".

6.1 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**, ovvero in prossimità della zona sismogenetica 913. Le zone 913 e 912 sono quelle con un potenziale sismico tale da generare effetti non trascurabili nel territorio del Comune di **Correggio**. Altre zone sismogenetiche al contorno vengono considerate poco influenti pur generando terremoti con magnitudo a volte anche elevata (ad es. la zona 915).

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

Per quanto riguarda la zonazione sismica, sulla base della vigente classificazione (OPCM 3274/2003), il comune ricade in **zona sismica 3**, ossia Zona a bassa sismicità.

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 del Comune di **Correggio** è compreso nell'area caratterizzata da valori dell'accelerazione massima al suolo (a_{max}), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, All. 2, 3.1), **compresi tra 0,150 e 0,175 g**.

La Regione Emilia-Romagna, in data 02-05-2007, ha approvato la Del. n. 112 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica."; in All. A4 sono riportati i valori di accelerazione max, espressa sempre in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}), per ogni comune della Regione. Per il Comune di **Correggio** risulta **$a_{refg}=0,152$** .

Con l'aggiornamento apportato dalla DGR n.2193/2015 la Regione Emilia-Romagna ha disposto che la pericolosità sismica sia valutata a partire dai valori di a_{refg} elaborati da INGV per il territorio nazionale, resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0,05 gradi, e disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, tema "Sismica – Microzonazione Sismica". Il valore di a_{refg} relativo al sito analizzato si ottiene interpolando i valori di a_{refg} definiti nei punti della griglia più prossimi al sito oppure utilizzando il valore del punto della griglia più vicino. A tal riguardo, per il sito di interesse si è ottenuto il valore **$a_{refg}=0,158$** .

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

a_g accelerazione orizzontale massima;

F_0 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: 44,725075
 longitudine: 10,753545
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 15834 Lat: 44,7033 Lon: 10,7481 Distanza: 2456,459
 Sito 2 ID: 15835 Lat: 44,7049 Lon: 10,8184 Distanza: 5592,259
 Sito 3 ID: 15613 Lat: 44,7549 Lon: 10,8162 Distanza: 5957,885
 Sito 4 ID: 15612 Lat: 44,7533 Lon: 10,7459 Distanza: 3195,243

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]
ag:	0,046 g	ag:	0,057 g
Fo:	2,484	Fo:	2,501
Tc*:	0,251 [s]	Tc*:	0,266 [s]
Salvaguardia della vita (SLV):		Prevenzione dal collasso (SLC):	
Probabilità di superamento:	10 %	Probabilità di superamento:	5 %
Tr:	475 [anni]	Tr:	975 [anni]
ag:	0,158 g	ag:	0,210 g
Fo:	2,466	Fo:	2,469
Tc*:	0,280 [s]	Tc*:	0,282 [s]

6.2 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO DAL PUNTO DI VISTA SISMOSTRATIGRAFICO

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

- n. 1 indagine sismica MASW di tipo attivo.

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

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

6.2.1 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA MASW

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

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

I diagrammi di "dispersione Frequenza (Hz)/Vel. di Fase (m/s) con analisi spettrale (picking)" – e di "inversione" sono riportati in **Figura 10**.

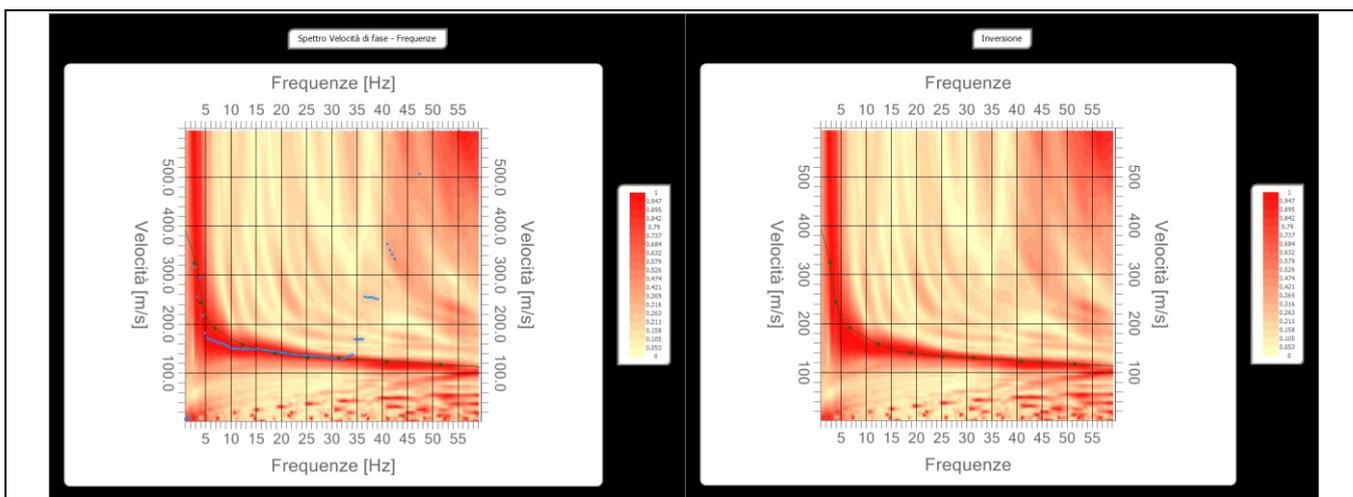


Figura 10: diagrammi della curva di dispersione e di inversione del sito in oggetto

Di seguito si riporta il modello sismostratigrafico in forma tabellare e l'andamento della curva delle onde S con la profondità (**Figura 11**). I valori della velocità media delle onde di taglio V_s risultano:

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
1.01	1.01	111.9
3.87	2.86	146.0
5.76	1.90	167.2
13.49	7.73	208.3
29.88	16.39	250.1
∞	∞	456.0

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

$$V_{s30} = \mathbf{210,06 \text{ m/sec}} \text{ (da p.c. a -30,0 m).}$$

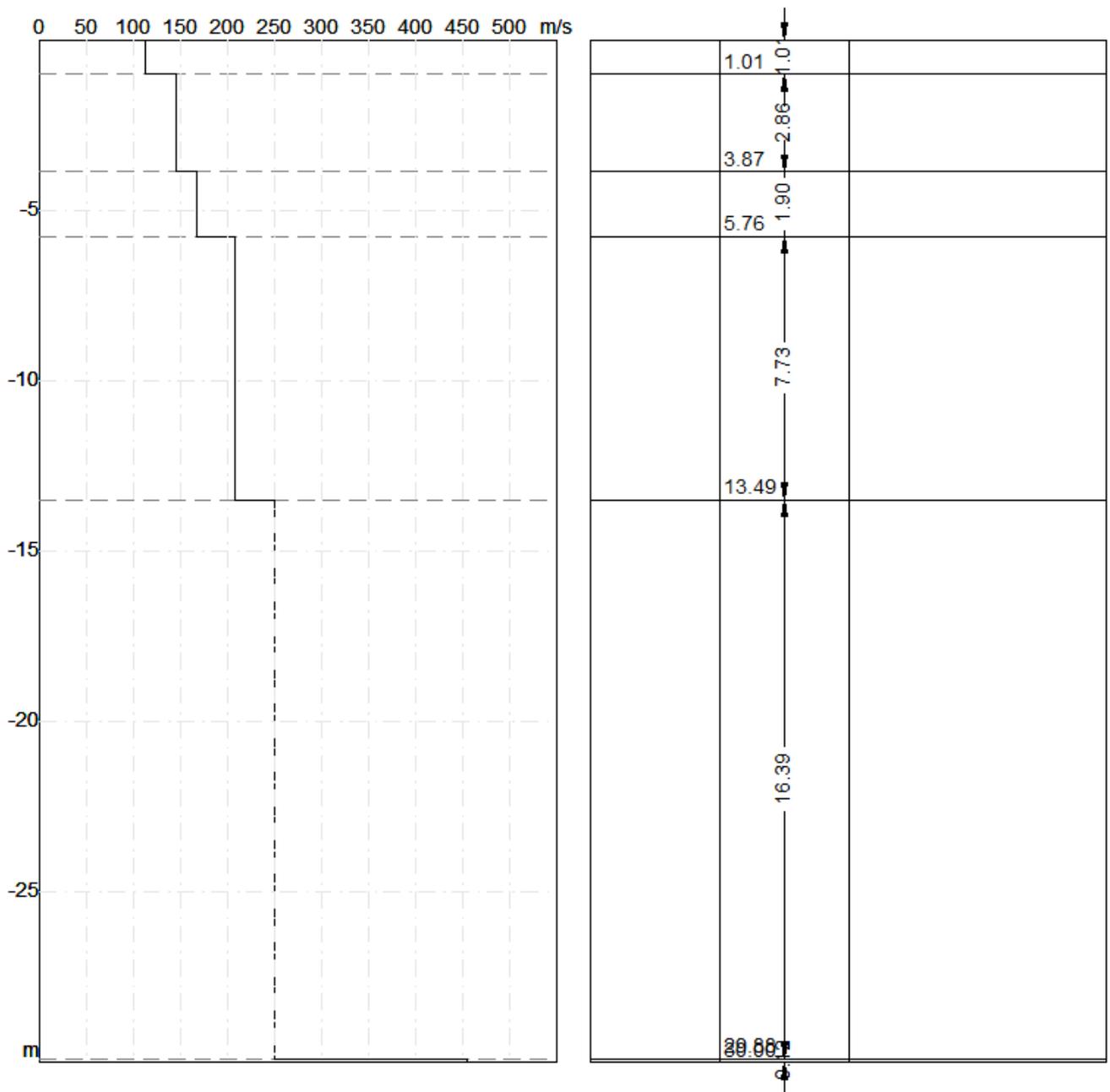


Figura 11: diagramma velocità Vs/profondità da prova MASW

6.3 CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO AI SENSI DELLE NTC

I risultati delle indagini geofisiche tra loro combinati hanno permesso la ricostruzione del modello di sottosuolo per l'analisi di risposta sismica locale riferita a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II).

Dalle verifiche si evince che i valori di Vs30 ottenuti corrispondono alla categoria del suolo di fondazione di **tipo C**. 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 spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

6.4 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA IN SUPERFICIE

La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione 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 massima F_v , espressa come funzione di a_g .

L'accelerazione spettrale massima dipende dal coefficiente $S = S_S \times S_T$ 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.

DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICO

Gli effetti topografici sono legati alla configurazione topografica del piano campagna. 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 e Tab. 3.2.V, NTC 2018):

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	Fattore di amplificazione S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1,0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1,4

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Sulla base delle caratteristiche topografiche al contorno dell'area e della classificazione contenuta nelle NTC 2018, il sito di interesse appartiene alla **categoria T1** corrispondente a "superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".

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 $F_0 \cdot a_g$).

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	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

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: 1,660</p> <p>St: 1,000</p> <p>Kh: 0,014</p> <p>Kv: 0,007</p> <p>Amax: 0,671</p> <p>Beta: 0,200</p>	<p>SLD:</p> <p>Ss: 1,500</p> <p>Cc: 1,630</p> <p>St: 1,000</p> <p>Kh: 0,017</p> <p>Kv: 0,009</p> <p>Amax: 0,841</p> <p>Beta: 0,200</p>
<p>SLV:</p> <p>Ss: 1,470</p> <p>Cc: 1,600</p> <p>St: 1,000</p> <p>Kh: 0,056</p> <p>Kv: 0,028</p> <p>Amax: 2,283</p> <p>Beta: 0,240</p>	<p>SLC:</p> <p>Ss: 1,390</p> <p>Cc: 1,590</p> <p>St: 1,000</p> <p>Kh: 0,082</p> <p>Kv: 0,041</p> <p>Amax: 2,862</p> <p>Beta: 0,280</p>

6.5 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:

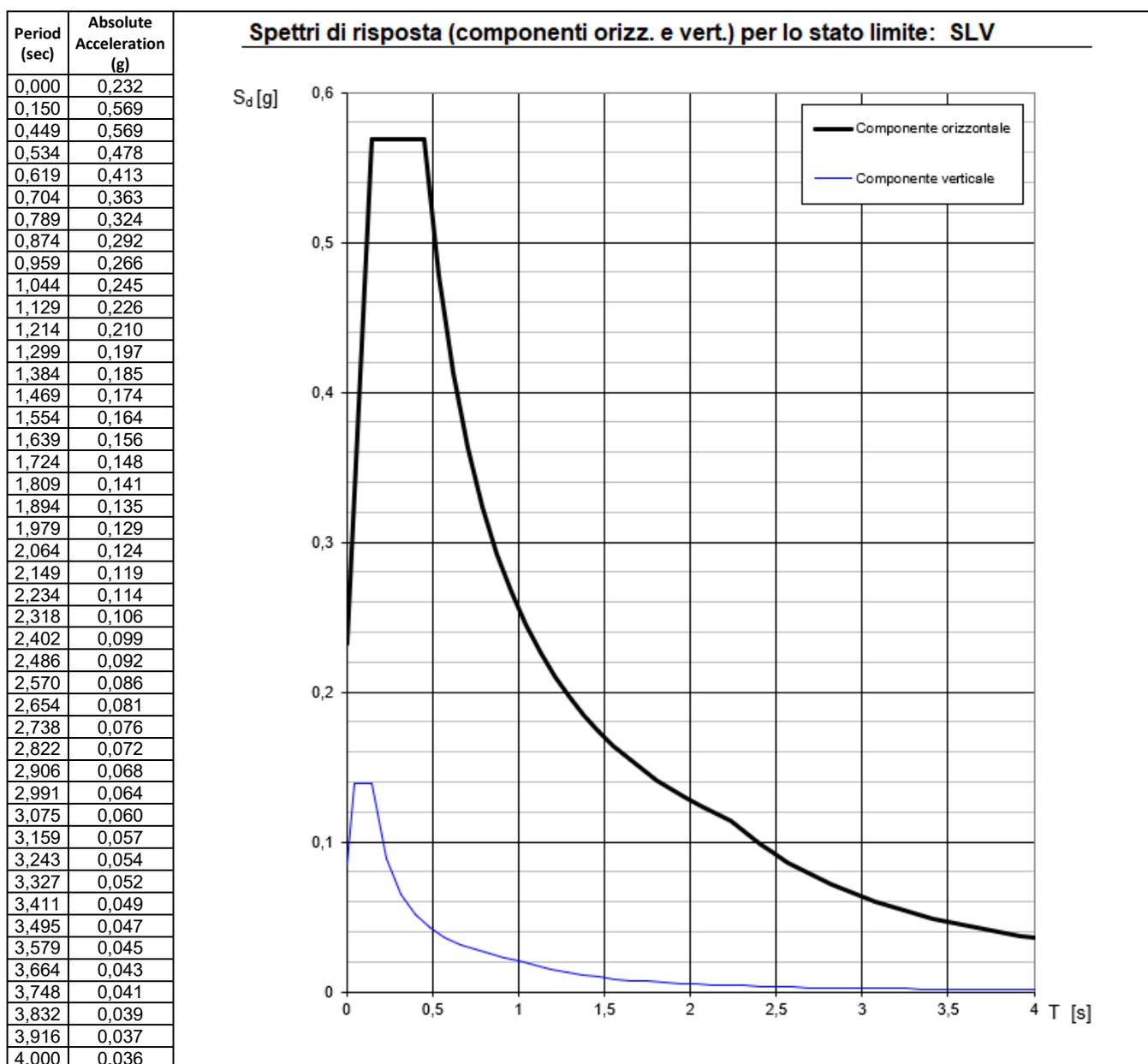


Figura 12: spettro di risposta relativo alla categoria di sottosuolo C definibile attraverso un approccio semplificato (NTC 2018)

6.6 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	Potenziale di liquefazione
0	Non liquefacibile (FSL ≥ 1.2)
0 < IL ≤ 2	Basso
2 < IL ≤ 5	Moderato
5 < IL ≤ 15	Alto
IL > 15	Molto alto

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:

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

con

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

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

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

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

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

Per la stima di FSL è stato utilizzato il metodo di **Idriss & Boulanger (2008)**. Tale metodo è risultato quello che fornisce valori di IL più compatibili con gli effetti osservati a seguito degli eventi sismici del maggio 2012 in Emilia, così come riportato in vari documenti tecnici dal gruppo di lavoro liquefazione (costituito con prot.

PG/2012/0134978 del 31 maggio 2012), coordinato dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e dal Dipartimento della Protezione Civile.

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

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

in cui i parametri F e Q_n valgono:

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

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

con p_a pressione atmosferica.

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

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

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

$$q_{c1N,cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

$$\Delta q_{c1N} = \left(5.4 + \frac{q_{c1N}}{16} \right) \cdot \exp \left[1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01} \right)^2 \right]$$

La resistenza di punta normalizzata è calcolata nel modo seguente:

$$q_{c1N} = C_Q \cdot \left(\frac{q_c}{p_a} \right)$$

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

in cui l'esponente n vale:

$$n = 1.338 - 0.249 \cdot q_{c1N}^{0.264}$$

pertanto q_{c1N} 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:

$$CRR_{7.5} = \exp \left[\frac{q_{c1N,cs}}{540} + \left(\frac{q_{c1N,cs}}{67} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1N,cs}}{80} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1N,cs}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

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 **0.23 g**;

magnitudo di riferimento M_w pari a **6,14** (da ZS9);

profondità del tetto della falda pari a **0,9 m**.

Nei grafici che seguono (**Figura 13**) si riporta l'andamento con la profondità dei parametri Q_t , R_f , I_c , CRR/CSR e F_s delle verticali di indagine:

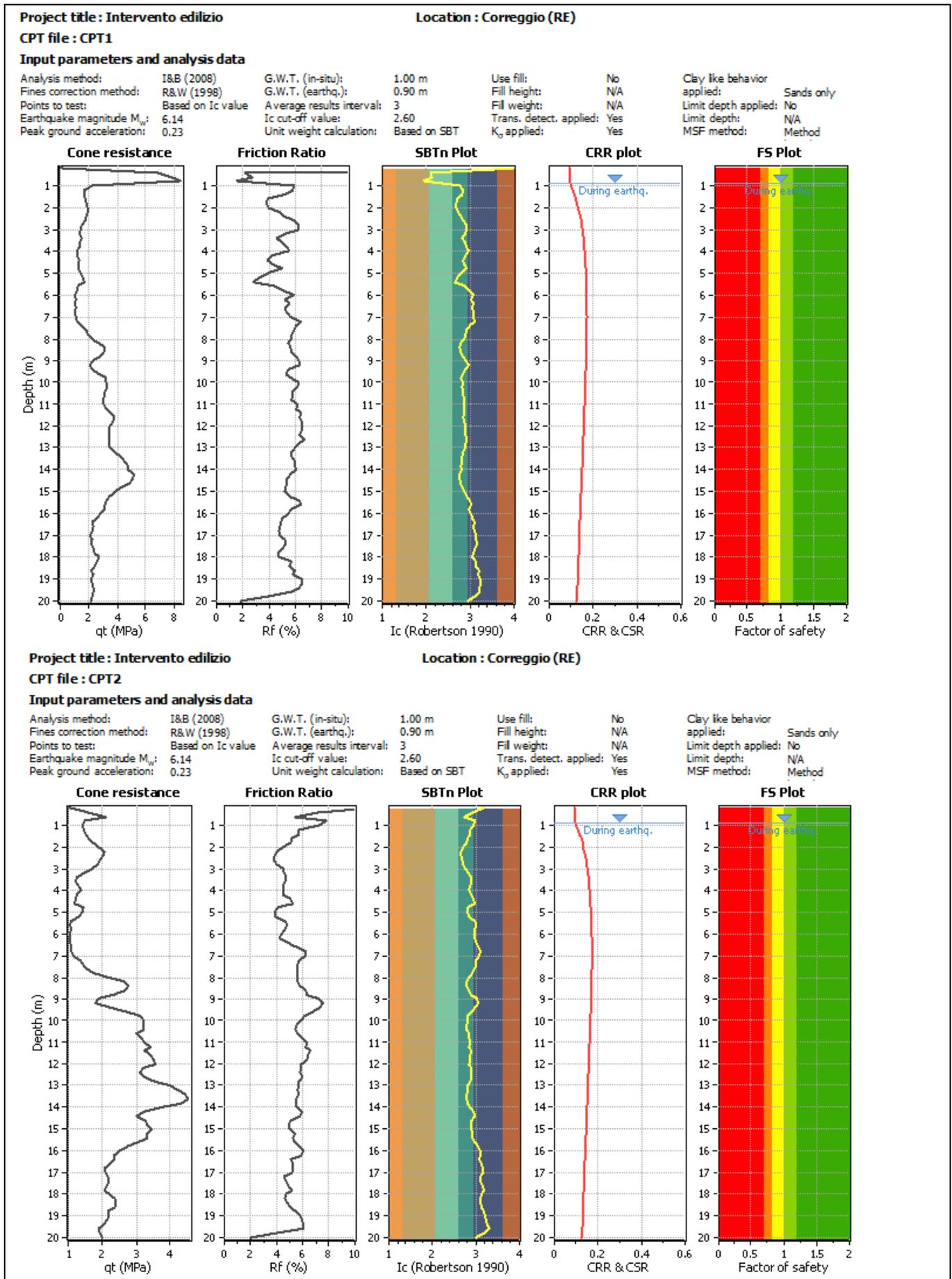


Figura 13: andamento con la profondità dei parametri Q_t , R_f , I_c , CRR/CSR e F_s

Dai diagrammi e dai valori numerici di ciascun parametro (questi ultimi si omettono per motivi di spazio) si denota che nel terreno di fondazione non sono presenti livelli sabbiosi che possano in qualche modo favorire un eventuale fenomeno di liquefazione.

Il calcolo del valore **Indice Potenziale di Liquefazione (IL)** ha restituito il seguente risultato (**Figura 14**).

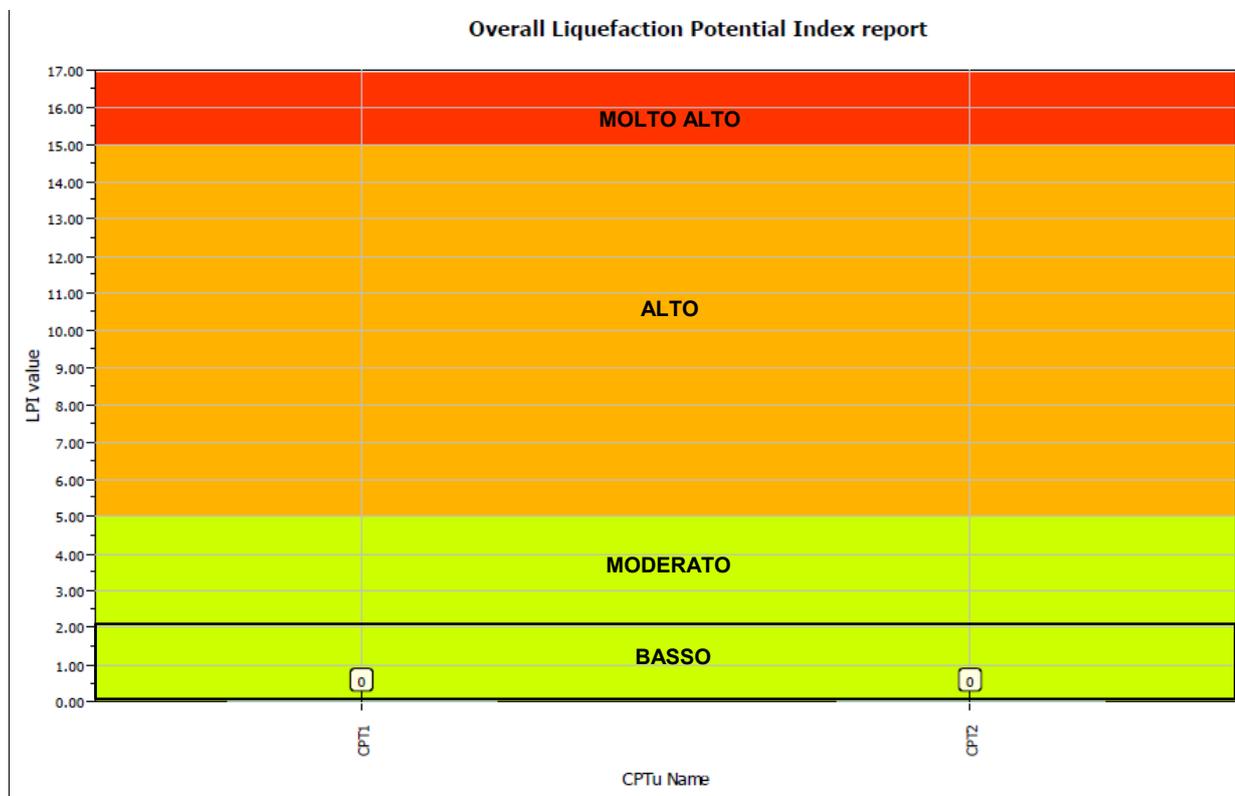


Figura 14: Indice del Potenziale di Liquefazione per la verticale di indagine. La suddivisione in categorie è quella proposta da **Sonmez (2003)**.

CONSIDERAZIONI: la verifica riporta per il sito di interesse un rischio **“Basso”** secondo la classificazione proposta da Sonmez (2003). L’assenza di lenti liquefacibili fa risultare il sito come non liquefacibile.

7. 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 delle opere in oggetto.

La modellazione geologica e idrogeologica del sito attraverso indagini di dettaglio ha evidenziato la presenza, in superficie, di una leggera coltre di terreno vegetale a composizione limo argillosa. A maggiore profondità si rinvennero **litologie** naturali a granulometria medio-fine, coesive e granulari, a cui seguono strati argilloso-limosi ad elevata consistenza, in concordanza con le caratteristiche dei depositi alluvionali in cui risiede l'area di interesse. Il livello di **falda** rilevato durante la campagna d'indagine ha riportato la misura media di -0,90 m dalla quota di inizio prove.

I valori di resistenza meccanica del terreno hanno consentito la creazione di un **Modello Geotecnico** per ogni verticale di indagine.

La caratterizzazione geofisica del suolo di fondazione è stata supportata da una indagine sismica attiva MASW, appositamente eseguita nell'area di intervento. Il risultato dei rilievi geofisici ha consentito di classificare il terreno di fondazione appartenente alla **categoria C**, ai sensi del DM 17-01-18 Norme Tecniche per le Costruzioni.

I rilievi geofisici hanno consentito l'**Analisi di Risposta Sismica Locale**. Si è quindi stimata l'amplificazione del moto in superficie rispetto al bedrock, in funzione della frequenza, e si è definito lo spettro di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo proprio della struttura e per uno smorzamento tipico del 5%.

La verifica di possibili effetti di liquefazione riferito al terremoto di progetto riporta per il sito di interesse un rischio "**Basso**" secondo la classificazione proposta da Sonmez (2003), con assenza di lenti liquefacibili.

29/06/2018

Dott. Geol. Francesco Dettori



TAVOLA 1

TOPOGRAFIA

ESTRATTO DALLA TAVOLA C.T.R. 201NO - "Correggio"

Scala 1:25.000

 Ubicazione area in esame



ALLEGATO:

Certificati penetrometrici PROVE CPT

Committente: Franceschini Ugo
Cantiere: Intervento Edilizio
Località: Correggio (RE)

Caratteristiche Strumentali PROVE CPT: PAGANI 100KN

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 CPT Nr. 1

Profondità (m)	Letture punta (Mpa)	Letture laterale (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann	Profondità (m)	Letture punta (Mpa)	Letture laterale (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann
0,20	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	10,20	3,06	6,53	3,21	0,2	16,05
0,40	0,0	0,0	0,01	0,34	0,029	10,40	3,26	6,32	3,41	0,2	17,05
0,60	20,39	25,49	20,4	0,13	156,923	10,60	2,65	5,61	2,8	0,16	17,5
0,80	3,16	5,1	3,17	0,19	16,684	10,80	3,06	5,51	3,21	0,21	15,286
1,00	1,73	4,59	1,74	0,1	17,4	11,00	2,75	5,91	2,9	0,16	18,125
1,20	1,63	3,16	1,66	0,11	15,091	11,20	2,96	5,3	3,12	0,22	14,182
1,40	1,53	3,16	1,56	0,09	17,333	11,40	3,37	6,73	3,53	0,23	15,348
1,60	1,63	2,96	1,66	0,06	27,667	11,60	3,67	7,04	3,83	0,25	15,32
1,80	1,84	2,75	1,87	0,06	31,167	11,80	3,67	7,44	3,83	0,27	14,185
2,00	1,94	2,86	1,97	0,1	19,7	12,00	3,16	7,14	3,32	0,23	14,435
2,20	1,73	3,16	1,77	0,08	22,125	12,20	3,06	6,53	3,24	0,21	15,429
2,40	1,94	3,06	1,98	0,12	16,5	12,40	3,37	6,53	3,55	0,25	14,2
2,60	1,63	3,37	1,67	0,1	16,7	12,60	3,47	7,14	3,65	0,23	15,87
2,80	1,43	2,86	1,47	0,1	14,7	12,80	2,96	6,42	3,14	0,25	12,56
3,00	1,22	2,75	1,26	0,09	14,0	13,00	3,06	6,73	3,24	0,17	19,059
3,20	1,43	2,75	1,48	0,08	18,5	13,20	3,77	6,32	3,96	0,23	17,217
3,40	1,22	2,45	1,27	0,06	21,167	13,40	3,87	7,34	4,06	0,27	15,037
3,60	1,63	2,45	1,68	0,08	21,0	13,60	4,69	8,67	4,88	0,27	18,074
3,80	1,02	2,14	1,07	0,08	13,375	13,80	4,28	8,36	4,47	0,29	15,414
4,00	1,12	2,35	1,17	0,06	19,5	14,00	4,69	9,08	4,88	0,32	15,25
4,20	1,12	2,04	1,19	0,06	19,833	14,20	4,79	9,59	4,99	0,29	17,207
4,40	1,12	1,94	1,19	0,04	29,75	14,40	5,3	9,69	5,5	0,29	18,966
4,60	1,43	2,04	1,5	0,06	25,0	14,60	4,49	8,77	4,69	0,27	17,37
4,80	0,92	1,84	0,99	0,06	16,5	14,80	4,08	8,16	4,28	0,25	17,12
5,00	1,22	2,14	1,29	0,08	16,125	15,00	3,67	7,34	3,87	0,18	21,5
5,20	1,94	3,06	2,02	0,04	50,5	15,20	3,26	6,02	3,48	0,2	17,4
5,40	1,43	2,04	1,51	0,05	30,2	15,40	2,86	5,81	3,08	0,23	13,391
5,60	1,33	2,04	1,41	0,05	28,2	15,60	2,75	6,12	2,97	0,2	14,85
5,80	0,82	1,63	0,9	0,07	12,857	15,80	3,06	6,12	3,28	0,2	16,4
6,00	1,02	2,04	1,1	0,05	22,0	16,00	2,86	5,81	3,08	0,15	20,533
6,20	0,92	1,73	1,01	0,06	16,833	16,20	1,73	3,98	1,96	0,12	16,333
6,40	0,92	1,84	1,01	0,05	20,2	16,40	2,24	4,08	2,47	0,12	20,583
6,60	0,82	1,63	0,91	0,06	15,167	16,60	2,04	3,87	2,27	0,1	22,7
6,80	1,12	1,94	1,21	0,06	20,167	16,80	1,84	3,37	2,07	0,12	17,25
7,00	0,82	1,73	0,91	0,06	15,167	17,00	2,04	3,77	2,27	0,11	20,636
7,20	1,02	1,84	1,13	0,08	14,125	17,20	1,63	3,26	1,87	0,09	20,778
7,40	1,22	2,35	1,33	0,1	13,3	17,40	2,24	3,57	2,48	0,16	15,5
7,60	1,73	3,16	1,84	0,1	18,4	17,60	1,84	4,28	2,08	0,1	20,8
7,80	2,04	3,57	2,15	0,13	16,538	17,80	2,14	3,67	2,38	0,1	23,8
8,00	1,63	3,57	1,74	0,11	15,818	18,00	2,55	3,98	2,79	0,16	17,438
8,20	2,65	4,28	2,77	0,16	17,313	18,20	2,65	5,0	2,91	0,15	19,4
8,40	3,26	5,61	3,38	0,18	18,778	18,40	1,63	3,87	1,89	0,14	13,5
8,60	2,96	5,71	3,08	0,2	15,4	18,60	2,14	4,28	2,4	0,12	20,0
8,80	2,55	5,51	2,67	0,16	16,688	18,80	1,94	3,77	2,2	0,14	15,714
9,00	2,45	4,89	2,57	0,16	16,063	19,00	1,94	3,98	2,2	0,15	14,667
9,20	1,63	4,08	1,77	0,13	13,615	19,20	1,84	4,08	2,11	0,16	13,188
9,40	1,73	3,67	1,87	0,12	15,583	19,40	2,04	4,38	2,31	0,14	16,5
9,60	2,86	4,59	3,0	0,13	23,077	19,60	2,14	4,28	2,41	0,14	17,214
9,80	3,06	5,0	3,2	0,2	16,0	19,80	1,84	3,98	2,11	0,12	17,583
10,00	3,16	6,12	3,3	0,23	14,348	20,00	1,84	3,67	2,11	0,0	0,0



PROVA CPT Nr. 2

Profondità (m)	Letture punta (Mpa)	Letture laterale (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann	Profondità (m)	Letture punta (Mpa)	Letture laterale (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann
0,20	0,0	0,0	0,01	0,14	0,071	10,20	3,16	6,02	3,31	0,2	16,55
0,40	3,06	5,2	3,07	0,08	38,375	10,40	3,06	6,02	3,21	0,16	20,063
0,60	1,63	2,86	1,64	0,13	12,615	10,60	2,96	5,4	3,11	0,18	17,278
0,80	1,53	3,47	1,54	0,14	11,0	10,80	2,55	5,3	2,7	0,18	15,0
1,00	1,22	3,37	1,23	0,09	13,667	11,00	3,47	6,22	3,62	0,22	16,455
1,20	1,43	2,75	1,46	0,09	16,222	11,20	3,26	6,53	3,42	0,24	14,25
1,40	1,63	2,96	1,66	0,08	20,75	11,40	3,06	6,63	3,22	0,21	15,333
1,60	1,43	2,65	1,46	0,1	14,6	11,60	2,96	6,12	3,12	0,22	14,182
1,80	1,63	3,16	1,66	0,08	20,75	11,80	3,77	7,04	3,93	0,26	15,115
2,00	2,04	3,16	2,07	0,1	20,7	12,00	3,37	7,24	3,53	0,22	16,045
2,20	1,94	3,37	1,98	0,1	19,8	12,20	3,06	6,32	3,24	0,18	18,0
2,40	2,04	3,47	2,08	0,07	29,714	12,40	2,65	5,3	2,83	0,19	14,895
2,60	1,94	2,96	1,98	0,08	24,75	12,60	3,06	5,91	3,24	0,2	16,2
2,80	1,63	2,86	1,67	0,08	20,875	12,80	3,47	6,42	3,65	0,22	16,591
3,00	1,84	2,96	1,88	0,08	23,5	13,00	3,57	6,83	3,75	0,22	17,045
3,20	1,43	2,55	1,48	0,09	16,444	13,20	4,28	7,55	4,47	0,27	16,556
3,40	1,02	2,35	1,07	0,05	21,4	13,40	4,28	8,26	4,47	0,27	16,556
3,60	1,12	1,84	1,17	0,05	23,4	13,60	4,18	8,16	4,37	0,27	16,185
3,80	1,33	2,04	1,38	0,08	17,25	13,80	4,59	8,57	4,78	0,25	19,12
4,00	1,33	2,55	1,38	0,05	27,6	14,00	3,57	7,34	3,76	0,22	17,091
4,20	1,33	2,14	1,4	0,06	23,333	14,20	2,55	5,91	2,75	0,18	15,278
4,40	0,92	1,84	0,99	0,06	16,5	14,40	2,96	5,61	3,16	0,2	15,8
4,60	1,12	2,04	1,19	0,07	17,0	14,60	2,86	5,81	3,06	0,17	18,0
4,80	1,22	2,24	1,29	0,06	21,5	14,80	3,37	5,91	3,57	0,16	22,313
5,00	1,73	2,65	1,8	0,06	30,0	15,00	3,06	5,4	3,26	0,18	18,111
5,20	1,02	1,84	1,1	0,05	22,0	15,20	3,26	6,02	3,48	0,2	17,4
5,40	0,92	1,73	1,0	0,05	20,0	15,40	2,96	5,91	3,18	0,18	17,667
5,60	1,02	1,73	1,1	0,05	22,0	15,60	3,06	5,81	3,28	0,16	20,5
5,80	0,92	1,73	1,0	0,06	16,667	15,80	2,55	5,0	2,77	0,17	16,294
6,00	1,02	1,84	1,1	0,05	22,0	16,00	1,94	4,49	2,16	0,16	13,5
6,20	0,92	1,63	1,01	0,04	25,25	16,20	2,35	4,79	2,58	0,14	18,429
6,40	0,92	1,53	1,01	0,05	20,2	16,40	2,04	4,18	2,27	0,12	18,917
6,60	1,02	1,73	1,11	0,07	15,857	16,60	2,04	3,87	2,27	0,12	18,917
6,80	1,02	2,04	1,11	0,07	15,857	16,80	1,84	3,57	2,07	0,12	17,25
7,00	0,92	1,94	1,01	0,08	12,625	17,00	1,53	3,37	1,76	0,1	17,6
7,20	1,12	2,24	1,23	0,08	15,375	17,20	2,14	3,57	2,38	0,12	19,833
7,40	1,63	2,75	1,74	0,09	19,333	17,40	2,04	3,77	2,28	0,1	22,8
7,60	1,12	2,45	1,23	0,08	15,375	17,60	1,63	3,06	1,87	0,12	15,583
7,80	1,43	2,65	1,54	0,1	15,4	17,80	1,94	3,67	2,18	0,12	18,167
8,00	2,35	3,77	2,46	0,13	18,923	18,00	1,84	3,57	2,08	0,1	20,8
8,20	2,45	4,38	2,57	0,16	16,063	18,20	2,04	3,57	2,3	0,11	20,909
8,40	2,75	5,1	2,87	0,18	15,944	18,40	2,45	4,08	2,71	0,14	19,357
8,60	2,75	5,4	2,87	0,17	16,882	18,60	1,94	3,98	2,2	0,12	18,333
8,80	2,14	4,69	2,26	0,17	13,294	18,80	1,94	3,67	2,2	0,12	18,333
9,00	1,63	4,18	1,75	0,12	14,583	19,00	1,84	3,67	2,1	0,13	16,154
9,20	1,53	3,26	1,67	0,14	11,929	19,20	2,04	3,98	2,31	0,15	15,4
9,40	1,84	3,98	1,98	0,16	12,375	19,40	1,63	3,87	1,9	0,12	15,833
9,60	2,96	5,4	3,1	0,2	15,5	19,60	1,53	3,26	1,8	0,12	15,0
9,80	3,06	6,12	3,2	0,2	16,0	19,80	1,63	3,37	1,9	0,12	15,833
10,00	2,96	6,02	3,1	0,19	16,316	20,00	1,73	3,57	2,0	0,0	

